

REVERZNI INŽENJERING KOMPLEKSNE GEOMETRIJE NA OSNOVU SKENIRANOG MODELA

REVERSE ENGINEERING OF COMPLEX GEOMETRY BASED ON THE SCANNED MODEL

Ernad Bešlagić, dipl.inž.maš.
Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici
Zenica

Josip Kačmarčik, dipl.inž.maš.
Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici
Zenica

Denis Spahić, dipl.inž.maš.
Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici
Zenica

Darko Petković, dipl.inž.maš.
Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici
Zenica

REZIME

Proizvodi kompleksne geometrije su postali široko rasprostranjeni zahvaljujući primjeni savremenih tehnologija u procesu njihove izrade. Često postupak izrade takvih proizvoda počinje od podataka dobivenih 3D skeniranjem. Nakon toga slijedi izrada CAD modela, što kod proizvoda kompleksne geometrije nije uvijek jednostavan posao.

U radu je opisan postupak dobijanja CAD modela dijela stolice složenog oblika izrađenog od punog drveta. Za dobivanje gustog oblaka tačaka i poligonizirane STL mreže, koja precizno opisuje geometriju površine stolice, korišten je beskontaktni optički skener Artec Eva. CAD model je izrađen pomoću softvera SolidWorks upotrebom nove komande Slicing, koja je dostupna od verzije 2019.

Ključne riječi: Reverzni inženjering, 3D skeniranje, proizvodi od drveta

ABSTRACT

Complex geometry products have become widespread thanks to the use of modern technologies in the process of their production. Often, the process of making such products begins with the data obtained by 3D scanning. This is followed by the development of a CAD model, which is not always a simple job in complex geometry products.

The paper describes the process of obtaining a CAD model of a solid part of a solid wood chair. For obtaining a dense cloud of points and a polygonized STL network that accurately describes the surface area geometry, the non-contact optic scanner Artec Eva was used. The CAD model was created using SolidWorks software using the new Slicing command, which is available from version 2019.

Keywords: Reverse engineering, 3D scanning, products made of wood

1. UVOD

Obrnuti ili reverzni inženjering (RI) je skup aktivnosti koje se provode u cilju dobivanja informacija o nekom uređaju, predmetu ili sistemu na osnovu detaljne analize njegove konstrukcije, funkcije i načina rada. RI se provodi u slučajevima kada te informacije nisu

dostupne, bilo da se nalaze u vlasništvu organizacije ili pojedinca koji ih nisu spremni ustupiti, bilo da su izgubljene ili čak uništene. Osnovna zamisao RI nije puko kopiranje originalnog entiteta koji se analizira, bez ikakvog razumijevanja njegove funkcije i namjene, nego dobivanje informacija neophodnih za uspješnu popravku, tekuće održavanje ili razvoj sličnog ili boljeg proizvoda koji vrši istu funkciju. RI je pronašao primjenu u brojnim oblastima, od industrijskog dizajna preko medicine i arheologije do programerskog inženjerstva.

Razvoj tehnologije, prvenstveno CNC strojeva, omogućio je izradu predmeta koji imaju veoma složene površine (engl. *free form surfaces*). Proizvodnja takvih dijelova je u modernim uslovima skoro pa nezamisliva bez postojanja tehničko-tehnološke dokumentacije i CAD modela. U radu je opisan postupak kreiranja CAD modela jednog dijela drvene stolice složenog oblika koji nije moguće napraviti jednostavnim mjerenjem i modeliranjem u nekom 3D softveru, nego je potrebno primijeniti aktivnosti RI.

Generalno, postupak se može podijeliti u tri faze: (1) prikupljanje 3D geometrijskih podataka sa stvarnog modela dijela stolice i primjena određenih softverskih paketa za naknadnu obradu prikupljenih podataka u cilju kreiranja poligonalnog modela koji sa velikom tačnošću i velikom količinom podataka opisuje realnu geometriju dijela stolice, (2) upotreba 3D modelera u cilju kreiranja CAD modela dijela stolice i (3) određivanje odstupanja kreiranog CAD modela od poligonalnog modela.

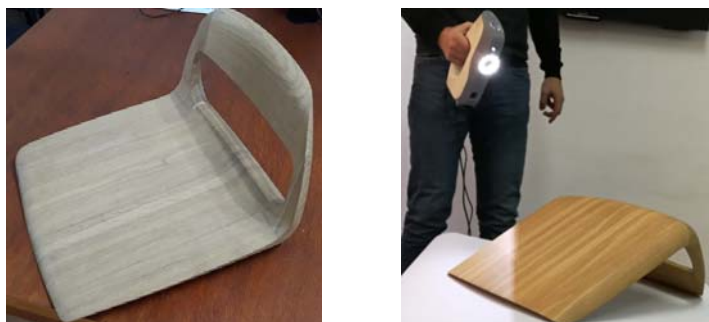
2. 3D SKENIRANJE SJEDIŠTA STOLICE

Prva faza procesa RI je 3D digitalizacija, tj. prevođenje u digitalni oblik prikupljenih podataka o koordinatama tačaka sa površine objekta. Rezultat 3D digitalizacije je skup tačaka koji se, zbog oblika koji zauzima u prostoru, naziva oblak tačaka. Jedna od namjena prikupljenih podataka jeste izrada digitalnih trodimenzionalnih modela, te je 3D digitalizacija, koja se često naziva i 3D skeniranje, veoma bitna u procesu RI jer direktno utiče na kvalitet rezultujućeg CAD modela. Prema tome, 3D skeniranje se može definisati kao proces kojim se mjeri i snima oblik i, ako to korištena oprema omogućava, tekstura postojećeg objekta kako bi se stvorio digitalni oblik tog objekta. U zavisnosti od korištene metode, 3D skeniranje može biti kontaktno i beskontaktno.

Za 3D skeniranje drvenog sjedišta stolice je korišten ručni skener za skeniranje u boji Artec Eva, razvijen 2012. godine od strane kompanije Artec 3D iz Luksemburga, koji može snimiti i obraditi do dva miliona tačaka u sekundi. Ovaj skener koristi tehnologiju skeniranja uz pomoć strukturiranog svjetla bijele boje. Artec Eva 3D skener namijenjen je snimanju objekata srednjih i velikih dimenzija (većih od 10 cm). Uređaj može raditi na udaljenosti od 0,4 m do 1 m od objekta, snimajući do 16 frejmova u sekundi. Područje skeniranja se kreće od 214x148 mm pri najmanjoj do 536x371 mm pri najvećoj dozvoljenoj udaljenosti skenera od objekta skeniranja. Korišteni uređaj ima 3D rezoluciju do 0,5 mm i tačnost 3D tačaka od 0,1 mm. Rezolucija predstavlja najmanju moguću udaljenost između dvije tačke na digitalnom 3D modelu. Ovaj parametar, koji direktno određuje nivo detalja digitalnog 3D modela, definiše se u fazi postprocesinga. Artec Eva ima mogućnost snimanja teksture skeniranog objekta sa rezolucijom do 1,3 Mpx. Procesom skeniranja, obradom, rekonstrukcijom i postprocesingom 3D digitalnog modela upravlja softver Artec Studio. Digitalni model moguće je izvesti u sljedeće kompjuterske formate: OBJ, PLY, WRL, STL, AOP, ASCII, PTX, E57, XYZRGB [1].

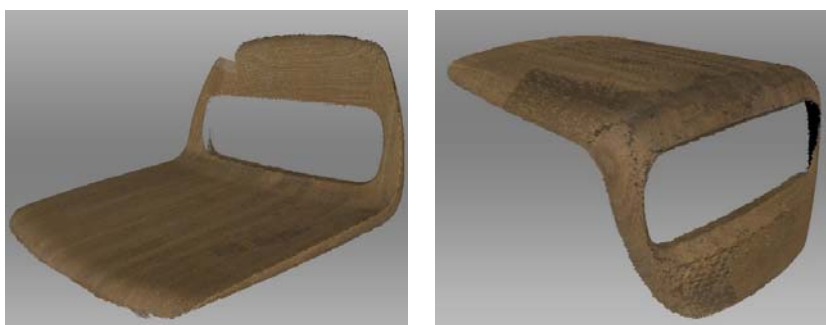
3D skeniranje korištenjem strukturiranog svjetla bazira se na tehnici projektovanja poznatog geometrijskog uzorka svjetla (najčešće paralelne pruge) na predmet, detekciju refleksije putem kamere uređaja, i softverske rekonstrukcije 3D objekta koristeći princip triangulacije. U trigonometriji i geometriji, triangulacija je proces određivanja lokacije tačke formiranjem trouglova prema njoj iz poznatih tačaka. U osnovi, konfiguracija se sastoji od dva senzora koji posmatraju predmet. Jedan od senzora je tipično digitalna kamera, a drugi može biti kamera ili

svjetlosni projektor. Projekcioni centri senzora i razmatrana tačka na površini objekta definišu (prostorni) trougao. Unutar ovog trougla, udaljenost između senzora je baza trougla i mora biti poznata. Određivanjem uglova između projekcionih zraka senzora i osnove, iz triangularnih odnosa izračunava se tačka presjeka, a time i 3D koordinata.



Slika 1. a) Gornja strana sjedišta stolice; b) Skeniranje donje strane sjedišta stolice

Na slici 1. je prikazano drveno sjedalo stolice. Kao i u većini slučajeva, jedno skeniranje nije bilo dovoljno da se snime sve tačke na površini sjedala stolice. Za izradu cjelovitog 3D modela bilo je potrebno izvršiti dva skeniranja, po jedan sa svake strane, kako bi se dobili svi potrebni podaci.



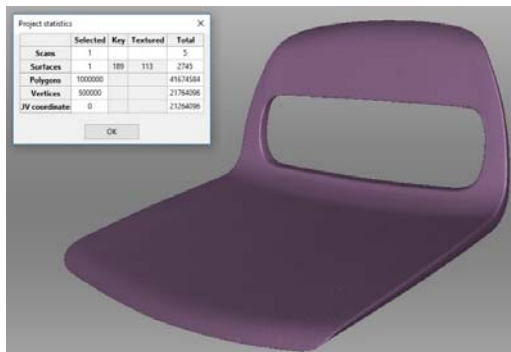
Slika 2. a) Sken gornje strane sjedišta stolice; b) Sken donje strane sjedišta stolice

Nakon procesa skeniranja izvršeno je poravnavanje i spajanje snimljenih skenova. U postprocesing fazi primjenjeni su različiti filteri i algoritmi uz pomoć kojih je veliki broj snimljenih podataka reduciran i optimiran u cilju dobivanja 3D digitalnog modela željenog nivoa detalja i rezolucije koji je pogodan za daljnju upotrebu. Konkretno u ovom slučaju, 1,2 GB podataka dobivenih skeniranjem gornje i donje strane sjedišta stolice (slika 2.) je naknadno obrađeno u softveru Artec Studio i dobiven je konačni model na 106 poligona, koji sadrži 23 MB podataka (slika 3). Digitalni poligonalni model je snimljen u formatu STL datoteke.

3. IZRADA CAD MODELA SJEDIŠTA STOLICE U SOFTVERU SOLIDWORKS

Poligonalni model dobiven naknadnom obradom u softverima koje ili obezbjeđuje proizvođač skenera ili su specijalizirani softveri za tu namjenu (npr. GeoMagic), se najčešće snima u STL formatu i kao takav se može direktno koristiti za 3D printanje. Takav model se ne može modifikovati, odnosno, ne mogu mu se mijenjati oblik i dimenzije. Postupak kreiranja parametarskog CAD modela na osnovu poligonalnog modela dobivenog skeniranjem je u velikoj mjeri usavršen i pojednostavljen primjenom savremenih 3D modelera. Međutim, ako

se radi o objektu koji sadrži složene površine taj posao nije tako jednostavan kako to na prvi pogled izgleda.

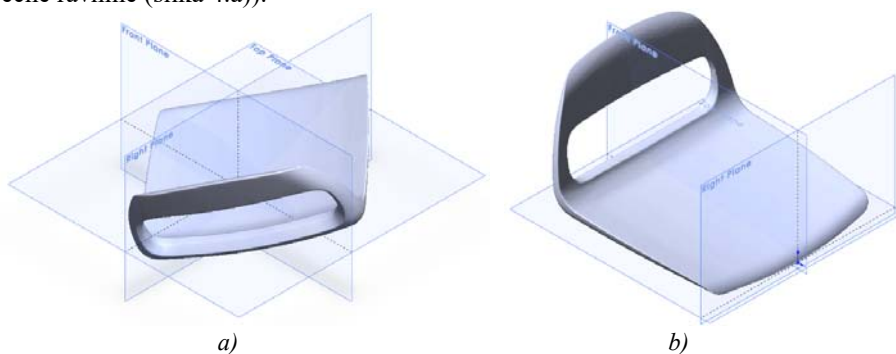


Slika 3. Digitalni poligonalni model sjedišta stolice

Za kreiranje parametarskog CAD modela sjedišta stolice korišten je softver SolidWorks uz upotrebu nove *Slicing* komande koja je dostupna od verzije 2019. Ova komanda omogućava kreiranje većeg broja skica koje presijecaju model i koje se kasnije mogu upotrijebiti za izradu standardne SolidWorks geometrije. Procedura kreiranja tih skica je veoma jednostavna, prvo se izabere početna presječna ravnina te se zatim definiše broj ravnina koje će biti postavljene paralelno početnoj ravnini na definisanoj udaljenosti. U presjeku tih ravnina i grafičkog poligonalnog tijela kreiraju se skice u skladu sa postavkama podešenim u okviru *Slicing* komande.

Sjedište stolice je kompleksnog oblika koji je simetričan i ima veliku šupljinu na kratkom naslonu. Prilikom izrade CAD modela prvo je kreiran model polovine sjedišta bez šupljine a nakon toga je kreirana i šupljina. Čvrsti model polovine stolice je nastao spajanjem površina koje su kreirane pomoću komande *Lofted Surface* za koju su neophodne skice koje se spajaju i kreiraju površinu. *Slicing* komanda se može iskoristiti za kreiranje tih skica.

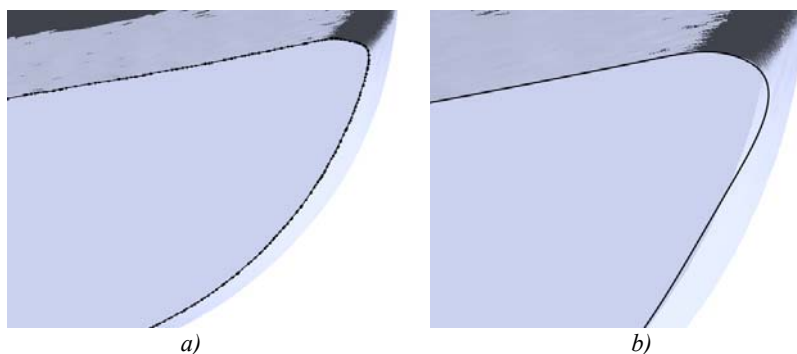
Kreiranje i izbor početne presječne ravnine u slučaju predmeta složenog oblika kao što je sjedište stolice nije moguće direktno na osnovu poligonalnog modela. Naime, na sjedištu ne postoji niti jedna ravna površina na koju se može referencirati prilikom kreiranja početne presječne ravnine. Položaj koordinatnog početka i pripadajućih osnovnih ravnina kreiran prilikom izrade poligonalnog modela je takav da se one ne mogu iskoristiti kao početne presječne ravnine (slika 4.a)).



Slika 4. Položaj osnovnih ravnina a) prije i b) poslije podešavanja položaja koordinatnog sistema

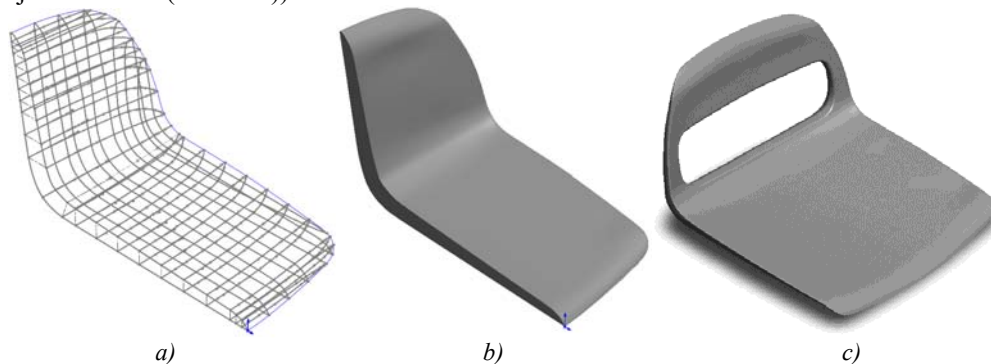
Zbog toga je izvršena translacija i rotacija koordinatnog sistema da bi se on postavio u željeni položaj u odnosu na grafičko tijelo sjedišta stolice (slika 4.b)). Osnovne ravnine su nakon toga iskorištene za kreiranje skica. Komanda *Slicing* omogućava kreiranje presječnih skica na dva

načina. Prvi kreira skicu koju čini jedna izlomljena linija (engl. *polyline*) koja se sastoji od kratkih povezanih linija dobivenih u presjeku trouglastih površina koji čine poligonalni model i presječne ravnine. Ovaj način se koristi kada se površine poligonalnog modela sastoje od malog broja trokutastih površina. Drugi način se koristi onda kada je njihov broj veliki. Tada se skica sastoji od jedne krivulje (engl. *spline*) koja aproksimira presjek ravnine i modela. Na slici 5. je prikazan segment jedne presječne skice kreiran na ova dva različita načina.



Slika 5. Presječna skica u obliku a) izlomljene linije i b) krivulje

Ni jedan od ova dva načina kreiranja presječne skice nije u potpunosti pogodan za kreiranje CAD modela sjedala stolice. Prvi ne odgovara jer se skice sastoje od velikog broja kratkih linija što u znatnoj mjeri otežava i usporava rad sa velikim brojem skica, a drugi jer presječne skice na mjestima prelaza sa gornje na donju stranu sjedala znatno odstupaju od tačnog oblika. Ipak, prihvatljiviji je drugi oblik koji je omogućio kreiranje skica koje su podijeljene na dva dijela (gornji i donji) i u određenoj mjeri modificirane. Na slici 6.a) prikazane su skice koje su korištene za kreiranje površina koje su spojene u čvrsto tijelo (slika 6.b)). Isti postupak se primjenjuje za kreiranje površina pomoću kojih se odstranjuje materijal u cilju kreiranja šupljine na uspravnom dijelu sjedala. Uz pomoć komande *Mirror* kreiran je CAD model cijelog sjedala stolice (slika 6. c)).



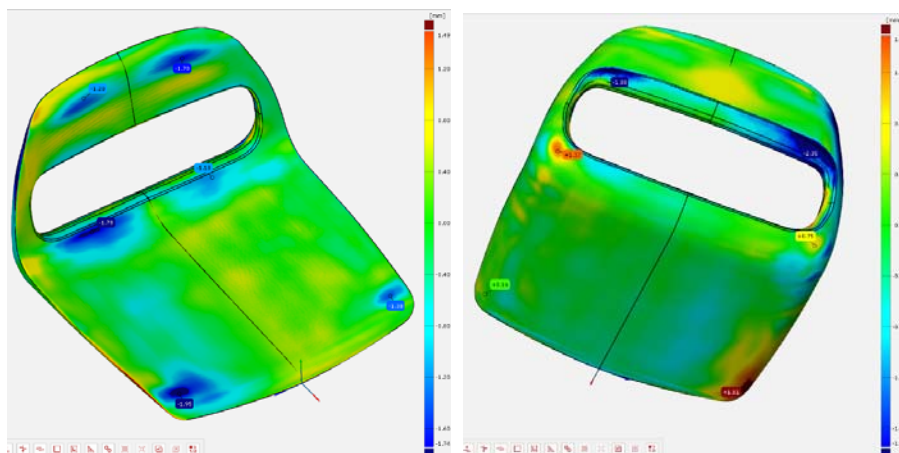
Slika 6. 3D model sjedišta stolice: a) prikaz kreiranih skica, b) polovina modela bez šupljine na naslonu, c) kompletan model sa šupljinom na naslonu

4. ODSUPANJA KREIRANOG CAD MODELA OD POLIGONALNOG MODELA

Nakon što je kreiran CAD model sjedala stolice potrebno je provjeriti koliko taj model vjerno opisuje geometriju skeniranog modela. Rezultat procesa provjere jeste polje odstupanja koje se prikazuje kao slika na kojoj svaka boja označava određenu vrijednost odstupanja. Te razlike su mapa boja koja daje vizualnu podatku o odstupanju CAD modela u odnosu na polazni poligonalni model. Ukoliko su odstupanja unutar dozvoljenih granica, može se zaključiti da je

kreirani model prihvatljiv i da se na osnovu njega može napraviti konačni CAD model i sva neophodna dokumentacija [3].

Za kontrolu kreiranog CAD modela sjedišta stolice korišten je softver GOM Inspect. Ovaj softver je prvenstveno namjenjen za analizu 3D mjernih podataka dobivenih pomoću projekcijskih ili laserskih skenera, koordinatnih mjernih mašina (CMM) i drugih mjernih sistema. GOM softver se koristi u razvoju proizvoda, kontroli kvalitete i proizvodnji [4]. Koristi se za određivanje odstupanja poligonalnog modela dobivenog skeniranjem od originalnog CAD modela. U ovom radu GOM Inspekt je korišten za obrnutu provjeru, provjeru koliko CAD model odstupa od poligonalnog modela od kojeg je kreiran.



Slika 7. Odstupanja CAD modela od poligonalnog modela sa a) gornje i b) donje strane

5. ZAKLJUČAK

Reverzni inženjering se sve više koristi u industriji za dobivanje informacija neophodnih za uspješnu popravku, tekuće održavanje ili razvoj sličnog ili boljeg proizvoda koji vrši istu funkciju. U radu je opisan postupak kreiranja CAD modela sjedišta stolice od drveta veoma složene geometrije. Prvo je izvršeno 3D skeniranje u cilju dobivanja poligonalnog modela sjedišta. Na osnovu dobivenog modela kreiran je CAD model u softveru SolidWorks uz upotrebu nove komande *Slicing* koja je dostupna od verzije 2019. Na kraju je izvršena kontrola u cilju određivanja vrijednosti odstupanja kreiranog CAD modela od poligonalnog modela. Utvrđene su zone u kojima odstupanja imaju maksimalne vrijednosti. Odstupanja se kreću u granicama ± 2 mm što se ne može smatrati prihvatljivim. Zbog toga je neophodno izvršiti korekciju CAD modela da bi se utvrđena odstupanja svela u dozvoljene granice.

6. REFERENCE

- [1] <https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-eva> (pristupljeno 24.04.2019)
- [2] *What's New SolidWorks 2019*, Dassault Systèmes SolidWorks Corp., USA, 2019
- [3] <https://oblaktacaka.rs/reverzni-inzenjering/> (pristupljeno 24.04.2019)
- [4] <https://www.gom.com/3d-software/gom-inspect.html> (pristupljeno 25.04.2019)
- [5] <https://geek.hr/znanost/clanak/3d-skeneri-tehnologija-i-princip-rada/#ixzz5mlbzAbku> (pristupljeno 24.04.2019.)