

## 3D printeri - osvrt na tiskanje odjeće, obuće i modnih dodataka

Prof.dr.sc. **Darko Gojanović**, dipl.ing.

Prof.dr.sc. **Gojko Nikolić**, dipl.ing.

Darko strojevi j.d.o.o.

Zlarin, Hrvatska

\*Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Zagreb, Hrvatska

e-mail: dgojanov@yahoo.com

Prispjelo 30.3.2015.

UDK (677+687):621.694/.72

Pregled

*U radu su prikazani 3D printeri koji donose nove mogućnosti izrade predmeta od različitih vrsta materijala. Primjenjuju se u različitim područjima od medicine, strojogradnje do izrade odjeće. To su uređaji koji se, osim za izradu prototipa, primjenjuju i za izradu unikatnih predmeta namijenjenih za određenu osobu, bilo da se radi o izradi umjetnih organa, kosti ili o odjeći i obući. Moguće je njihovo korištenje i za proizvode u jako malim serijama. S ovom tehnikom mogu se napraviti proizvodi, koji se ne mogu izraditi niti jednom drugom tehnikom; zato njena primjena tek doživljava svoj uzlet. U članku je, osim prikaza tehnologije rada, korištenih materijala i područja primjene, nešto više prostora posvećeno izradi unikatne modne odjeće i obuće, kao i modnih dodataka.*

**Ključne riječi:** 3D printer, trodimenzionalno tiskanje, brza izrada prototipa, tiskanje odjeće, tiskanje obuće.

### 1. Uvod - što je 3D tiskanje

Trodimenzionalno tiskanje je pretvaranje računalno projektiranog 3D modela u fizički proizvod. Taj postupak ostvaruje se na različite načine korištenjem različitih tehnologija rada. Namjena im je brza izrada prototipova (*Rapid prototyping*), brza izrada alata (*Rapid tooling*) te brza izrada proizvoda (*Rapid manufacturing*). Prototipni izradci izrađuju se da se provjeri oblik i dimenzija, da se zadovolji funkcionalnosti, ergonomski zahtjevi, da se izrade uzorci za kupca, fotografiranje proizvoda u marketinške svrhe, za razna testiranja itd. Izrada alata ovim tehnologijama namijenjena je za male serije proizvoda, za što bi klasična izrada alata bila skupa [1]. Trodimenzionalno tiskanje se sve više koristi i u smislu

brze izrade proizvoda namijenjenih prodaji krajnjem korisniku.

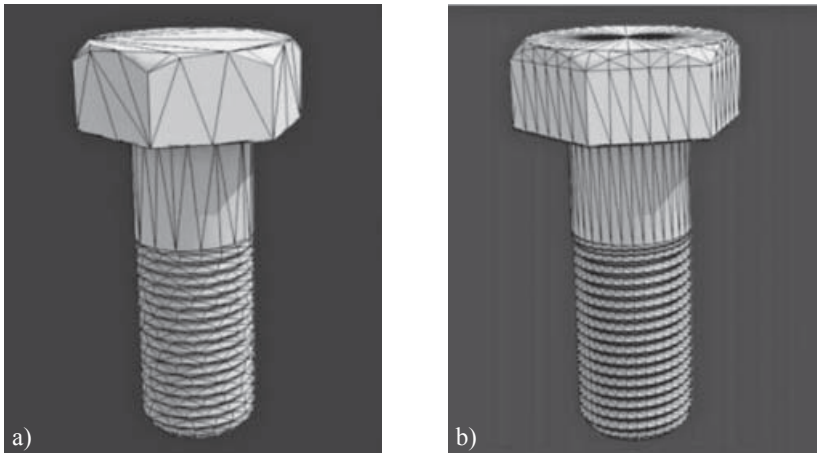
U početku su korišteni materijali bili uglavnom termoplasti, i zbog njih se često taj period razvoja 3D printera naziva i „plastična faza“. Danas se koriste i razne vrste metala, ali i organski materijali. U uporabi su i kombinacije raznih materijala, mogu im se mijenjati svojstva i sl. Ne treba posebno naglašavati mogućnosti koje se sada pružaju projektantima različitih struka, od strojara, arhitekata, građevinara, dizajnera, medicinaru i niza drugih, pa čak i slastičara da isprobaju i načine svoje prototipove, unikatne proizvode, proizvode točno za određenog kupca, odnosno osobu, umjetne biološke organe, kosti, kožu, krvne žile itd. Mogućnosti su neograničene, a tek je, može se slobodno reći, početak.

Najveći naponi sada su usmjereni na razvoj novih vrsta materijala, ubrzanje procesa rada, smanjenje hrapavosti površine i snižavanje cijene. Smatra se da će jednoga dana, poput mikrovalne pećnice, biti u većini kućanstava i da će ukućani prema svom dizajnu i potrebama tiskati te proizvode.

Već i sam naziv 3D-printer izaziva polemike oko ispravnog hrvatskog naziva. Najbliže stručnom i duhu hrvatskog jezika bilo bi 3D-tiskalo, a proces njegovog rada je tiskanje. Međutim, zbog već udomaćenog naziva printer i dalje će se u ovom tekstu koristiti taj naziv.

### 2. Povijest razvoja 3D tiskanja

Preduvjet za razvoj 3D printera ostvaren je 1982. izumom stereolitogra-



Sl.1 Vijak u mrežnom obliku za 3D tisk: a) mreža male gustoće, b) mreža dovoljno dobre gustoće [5]

fije, odnosno procesa koji omogućuje kreiranje trodimenzionalnih objekata iz digitalnih podataka. Prvi funkcijski 3D printer izrađen je 1984. a radio je kao ink-jet printer (tisak mlatom tinte), s tim što je umjesto tinte nanosio željeni materijal. Uz X i Y osi dodana je još i Z os kretanja. Printer je osim visokom cijenom imao i niz početnih slabosti.

Povijest 3D printera je mlada, prvi 3D printer za selektivno lasersko sinteriranje (SLS) izumljen je 1986., a već dvije godine kasnije patentiran je 3D printer s tehnologijom modeliranja nanošenjem taline (FDM). Prvi stereolitografski uređaj proizveden je 1992. godine. Iza toga su se razvijali i drugi poput 1995. godine uređaj *ZPrinting*, 2005. razvijen je 3D printer *RepRap*, koji može reproducirati većinu svojih komponenata. Godina 2009. značajna je za medicinu jer je razvijen 3D biopisac (bioprinter), s kojim je bilo moguće započeti tiskanje bioloških dijelova ili bioloških zamjenskih organa. Rok zaštite patentnih prava za tehnologiju 3D tiskanja ističe 2014. Od tada se očekuje znatno brži razvoj i primjena 3D tiskanja dijelova u svim područjima i djelatnostima [2, 3].

### 3. Uređaji i način rada

#### 3.1. Program STL za izradu 3D slike predmeta

Objekt treba projektirati pomoću računala u prostorni oblik. Za to mora biti prikazan kao skup zatvorenih po-

vršina koje jasno određuju volumen. Na tržištu postoje različiti programi za 3D modeliranje (I-DEAS, Catia, Pro/Engineer, Autocad, SolidWorks, Maya, Autodesk Inventor, 3D Studio Max i niz drugih), a odabiru se ovisno o potrebama i djelatnosti. 3D modele moguće je stvoriti i pomoću 3D skenera.

Neophodna datoteka za prijenos podataka je STL (*Standard Triangulation Language*) i osmislila ju je 1989. tvrtka 3D Systems. To je prikaz geometrije trodimenzionalnih površina korištenjem trokuta. Površina izrađenog modela razbije se u niz malih planarnih trokuta sa smjerom i orijentacijom, a koji se nazivaju lica (*faces*). Trokuti su optimalno smješteni u oblik predmeta kako bi ga do kraja opisali. Nakon toga se model izrezuje na slojeve poprečnih presjeka (*layers*). Datoteka se prikazuje u mrežnom obliku (*mesh*) a sastavljena je od lica (*faces*). Mreža mora biti gusta kako bi se osigurala kvaliteta površine te izradili i najmanji detalji [4]. Zbog planarnosti trokutastih elemenata nije moguće dobiti točno zakrivljene površine [1]. Primjer vijka je prikazan na sl.1 [5].

#### 3.2. 3D printeri

Danas na tržištu postoji velik broj različitih 3D printera i niz njihovih podvarijanti. Osnovna načela tehnologije 3D tiskanja temelje se na načinu slaganja sloj po sloj odozdo prema gore mijenjajući strukturu materijala,

tj. pretvarajući materijal iz tekućine, odnosno praška u čvrsto stanje. Najčešće su korištene tehnologije SLS, FDM i SLA. Osnovna razlika je u načinu stvaranja slojeva prilikom izrade objekta [6].

##### 3.2.1. Selektivno lasersko sinteriranje – SLS (*Selective laser sintering*)

Selektivno lasersko sinteriranje - SLS je tehnologija koja korištenjem lasera tali čestice praška i dobiva se čvrsti predmet. Skrućivanje praha ovisi o snazi lasera ( $\text{CO}_2$ ) te o temperaturi sinteriranja materijala. Iz računala se poziva novi slijedeći sloj (*layer*) kod svakog slijedećeg prolaza. Komora s već izrađenim dijelom predmeta se spušta (os Z), za debljinu sljedećeg sloja. Valjak iz susjedne komore donosi novi sloj praha koji se ponovo laserskom zrakom tali. Slojevi materijala mogu biti tanki do sto tisućinki milimetra. Taj proces se stalno ponavlja, dok se potpuno ne izradi predmet. Kretanje laserske zrake ostvaruje se zaokretnim ogledalom koje usmjerava zraku u ravnini X i Y. Valjak naizmjenično iz komora dovodi novi sloj praha, sl.2. Ovaj način izrade ima prednost što omogućuje izradu najraznovrsnijih geometrijskih oblika i struktura, a model je tijekom izrade poduprt praškom i time učvršćen. Najčešće korišteni materijali su plastika, metal, keramika i staklo.

Moguće je mijenjati i fizikalne karakteristike izratka mijenjanjem gustoće, stvaranjem legura ili daljnjim pečenjem [7].

Mehanička svojstva izratka izrađenog SLS postupkom su bolja od onih izrađenih postupkom stereolitografije (SLA), a pritom je proces znatno brži. Prašak koji je ostao nakon izrade izratka može se ponovo koristiti za slijedeći.

Koriste se materijali npr. poliamid (DuraForm PA), poliamid punjen staklenim česticama (DuraForm GF), te polistiren (CastForm PS) [1].

Kod rada s metalnim prahom rabi se metoda nazvana Direktno lasersko sinteriranje metala DMLS (*Direct Me-*

tal Laser Sintering,). Metalni prašak u posudi se zagrijava do blizu temperature taljenja tako da se tek s laserskom zrakom dostiže temperatura taljenja.

Prije svega to su metali: titan, bronca, mesing, bakar, srebro, zlato, nehrđajući čelik i dr.

Titan - je vrlo lagan metal. Koristi se titanov prah koji se sinterira pomoću lasera.

Nehrđajući čelik - koristi se prah nehrđajućeg čelika koji je pomiješan s prahom bronce, odnosno presvučen polimernim vezivom (LaserForm ST-100 i 200). Nehrđajući čelik je najjeftiniji materijal za izradu predmeta od metala. Izradci su vrlo čvrsti [1] [8].

Bronca se također primjenjuje u obliku praha.

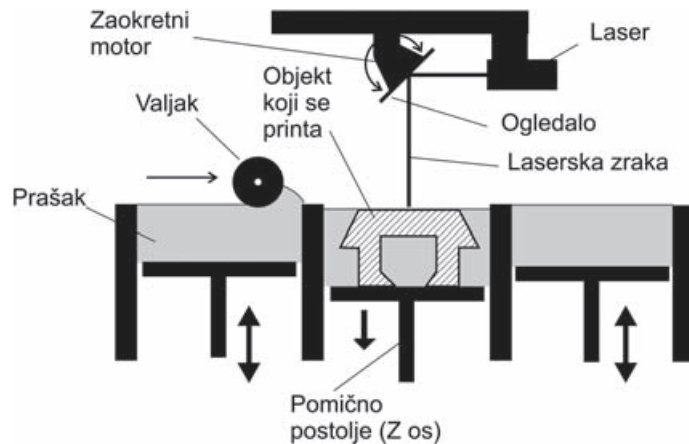
Dostupni materijal za brzu izradu prototipova je i keramika, koja ima sjajan izgled, otporna je na toplinu.

### 3.2.2. Modeliranje nanošenjem taline - FDM (Fused Deposition Modelling)

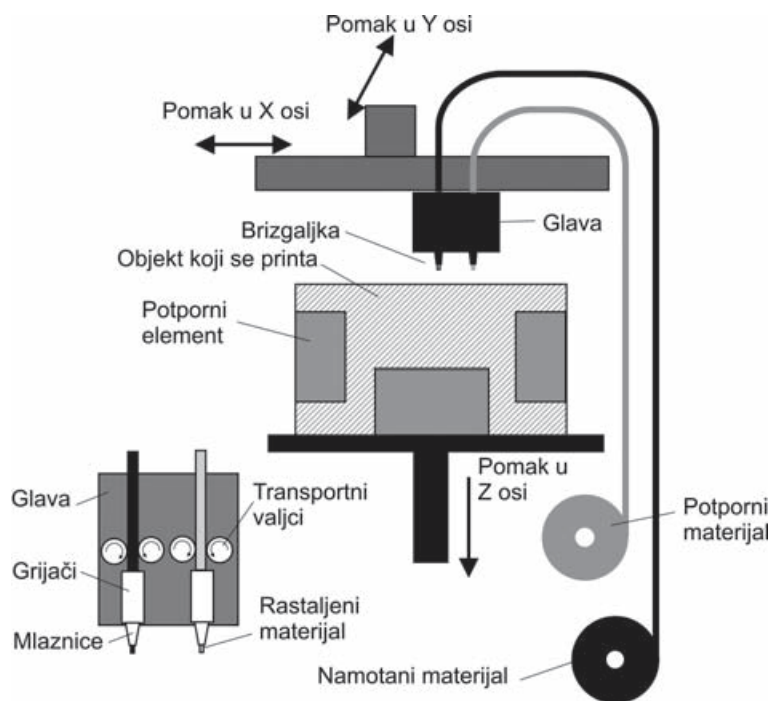
Kao i kod drugih 3D postupaka, proces započinje konverzijom CAD datoteke u STL, odakle se matematički priprema model za proces rada. Materijal u obliku niti (žice) raznih vrsta polimernih materijala dolazi u glavu, gdje se u grijačima tali i talina istiskuje kroz mlaznice malih promjera do min 0,1 mm. Rastopljena talina se nanosi u ravni prema programu i stvara jedan sloj. Glava s mlaznicama giba se u X i Y osi, a pomak u Z osi obavlja se uoči nanošenja sljedećeg sloja, sl.3 [9].

Radi izrade potporne konstrukcije uređaj koristi dvije vrste materijala. Jedna je za izradu izratka, a druga za potporna konstrukciju. Ta druga vrsta materijala može biti topljiva u vodi ili lomljiva kako bi se kasnije kod izvlačenja i čišćenja gotovog izratka lakše odstranila.

Debljina nanesenog sloja u jednom prolazu obično iznosi oko 25 do 200  $\mu\text{m}$ , što je za određene izratke dovoljno točno i površinska hrapavost zadovoljavajuća. Ako nije, ide se na daljnju konvencionalnu obradu površine.



Sl.2 Načelo rada Selektivnog laserskog sinteriranja - SLS



Sl.3 Načelna skica 3D printera postupka FDM - modeliranje nanošenjem taline

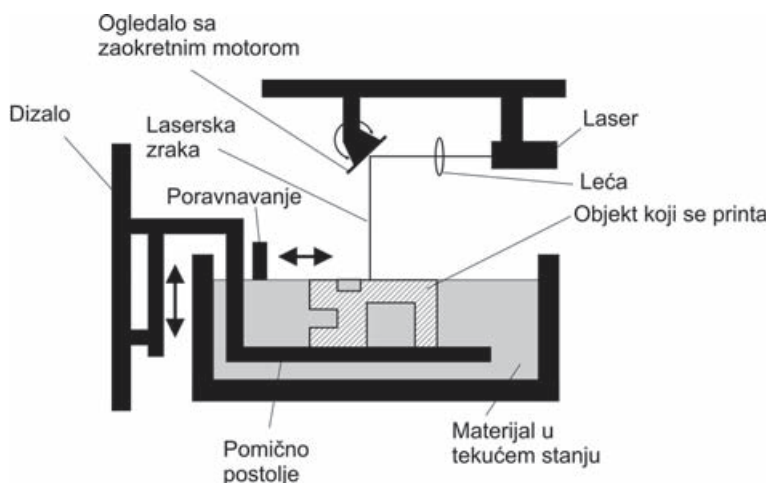
U FDM procesu koriste se polimerni materijali kao što su: ABS (akrilonitril butadien stiren), medicinski ABS, E20 (elastomer na bazi poliestera), vosak za precizno lijevanje itd. [1]. Pri radu ostaje mala količina neiskorištenog materijala. ABS se može ojačati s ugljikovim punilom, koje mu daje dodatnu čvrstoću. Proces se odvija u komori u kojoj je temperatura neznatno niža od temperature tališta polimernog materijala [1]. Izradci od ABS imaju mogućnost jednostavnog zaglađivanja površine tretiranjem parama acetona. Dobiju se polirane površine.

Za određene proizvode (dizajnerski, kućanski, dekoracijski itd.) važna je boja. Do sada su se na tržištu nudile samo određene boje materijala, a najavljuje se pridruživanje 3D printeru posebnog uređaja za automatsko miješenja boja, dobivanje tražene boje [10]. Koji će se materijal koristiti ovisi prije svega o konačnom izratku, njegovim mehaničkim, kemijskim i fizikalnim svojstvima, boji i izgledu, odnosno namjeni te o tehnologiji rada. Najčešće se koriste sljedeći plastični materijali: ABS, PLA, Nylon, PC, PVA itd. Za tehnologiju FDM žica ili



Tab.1 Prikaz dijela korištenih materijala

Naziv	Kratica	Temp. taljenja	Boje	Opis
Polilaktidna kiselina	PLA	180°C -230°C	Razne boje	Biorazgradljivi plastični derivat. Izradci su izrađeni robusni i relativno lomljivi, nisu otporni na visoke temperature.
Akrilonitril butadien stiren	ABS	210°C - 260°C	Razne boje uključujući fluorescentne i termoboje	Tijekom taljenja ispušta neugodne mirise koji mogu biti štetni za zdravlje. Izradci su manje robusni i manje osjetljivi i lomljivi. Otporni su na više temperature.
Poliamid 6.6 (Nylon)	PA	oko 245°C	Prirodna bijela boja	Izradci su savitljivi, male mase, te otporne na kemikalije, male površinske napetosti. Primjena za proizvode u medicini.
Polikarbonat (aromatski poliestar karbonske kiseline)	PC	270°C - 300°C	Razne boje	Čvrsti i otporan materijal. Široka primjena.
Polivinil alkohol	PVA	oko 170°C	Bijela boja	Polimer topljiv u (vrućoj) vodi. Koristi se za potporne konstrukcije za izratke izrađene od PLA i ABS.



Sl.4 Načelna skica 3D printera postupkom SLA - stereolitografijom

nit (filament) su promjera 1,75 i 3 mm. Prikaz nekih korištenih materijala dan je u tab.1 (složena prema [11]).

### 3.2.3. Stereolitografija – SLA (Stereolitography)

Stereolitografija – SLA (ili SL) je tehnologija izrade proizvoda od tekućih fotosenzitivnih polimera. Pod utjecajem UV laserske zrake, koja prelazi preko fotosenzitivnog tekućeg polimernog materijala, skrućuje se površina, a daljnjim radom sloj po sloj stvara se čvrsti izradak, sl.4. Nakon što je izradak napravljen i

izvađen iz uređaja, ispiru se od ostataka neskrućenog polimera, a potom suši u UV komori. Ostvaruju se velike brzine izrade, ali je materijal skup. Budući da je materijal veće viskoznosti, pomak za debljinu sloja od 0,1 mm ne bi omogućio da novi sloj dođe brzo iznad skrućenog, zbog čega se primjenjuje postupak pomicanja stola prema dublje, što omogućuje brzo prelijevanje, novog materijala, a potom se podigne na debljinu budućeg skrućenog sloja. Nakon toga se obavlja poravnavanje da bi se odstranio višak materijala.

Tijekom izrade predmet treba pridržavati potpornim nožicama, koje prateći softver sam kreira prema mjestima gdje su potrebne i uređaj ih sam izrađuje.

Zbog slojevitog procesa rada površina ima stepeničastu površinu, pa se po potrebi i namjeni izratka naknadno obrađuje. Kao naknadna dorada rabi se i UV očvršćivanje u peći [1]. Sustav uređaja 3D printera koji koristi tehnologiju SLA čine tri ključna dijela. To su: računalo koje ima dva zadatka - prvi zadatak je da obrađuje podatke i kreira slojeve, a drugi da nadzire proces rada; mehanizam za pomak s kućištem i ostalim mehaničkim dijelovima; te laserski uređaj ultraljubičastog spektra, valne dužine od 349 do 355 nm.

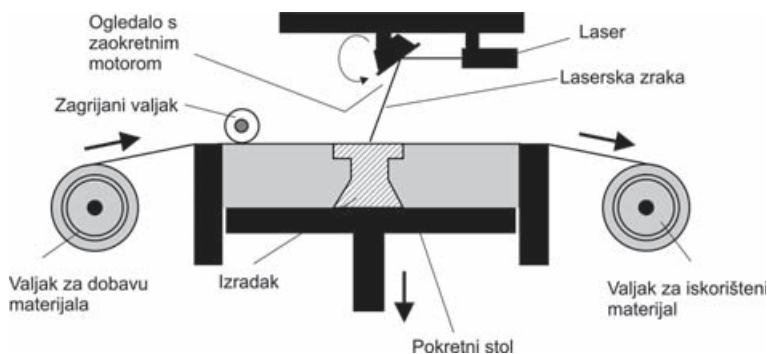
Stereolitografija je pogodna za brzu izradu modela za testiranje oblika, za izradu kalupa, a sve više nalazi primjenu u medicini za proizvodnju personaliziranih ortopedskih implantata. Ova metoda je prikladna i za izradu dijelova odjeće. Nedostaci nastaju kao posljedica fotopolimera koji imaju slabija mehanička svojstva, a stezanjem mogu izazvati natezanja i deformacije. Fotopolimeri su otrovni u tekućem stanju.

Od materijala koji se najčešće koriste su WaterShed, fotopolimer na bazi epoksida koji oponaša mnoga svojstva plastomera PBT (polibutilentereftalata), Somos 8100 i 9100, epoksid na bazi fotopolimera koji oponaša svojstva polipropilena, ACCURA SI 40 koji oponaša svojstva poliamida, te fotopolimer ACUDUR [1].

**DLP** (Direct Light Projecting) je proces sličan SLA, osim što umjesto UV laserske zrake koristi digitalni projektor sa izvorom UV svjetla.

### 3.2.4. Laminirana objektna proizvodnja – LOM (Laminated object manufacturing)

To je tehnologija nanošenja izreznog sloja folije, jednu na drugu. Na valjcima je namotana traka posebne folije koja prelazi preko pomičnog stola (pomaci samo u osi Z). Folije



Sl.5 Načelna slika 3D printera postupkom LOM - laminirane objektne proizvodnje

Tab.2 Rezolucija i debljina sloja 3D tehnologija rada [12]

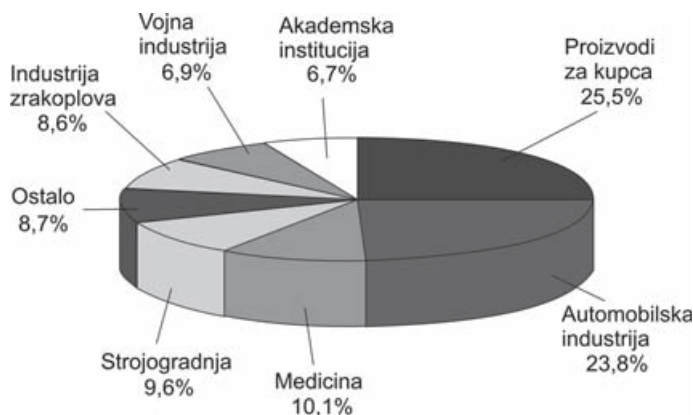
Vrsta 3D tehnologije	Rezolucija	Debljina sloja
SLA - stereolitografija	±100 μm	50 μm
FDM - modeliranje nanošenjem taline	±127 μm	50 - 762 μm
LOM - laminirana objektna proizvodnja	±127 μm	76 - 150 μm
SLS - selektivno lasersko sinteriranje	±51 μm	100 - 150 μm
3D - naštrcavanje	±127 μm	250 μm

mogu biti papirne, polimerne i kompozitne. Laserska zraka preko usmjeravajućeg ogledala izrezuje jedan sloj, sl.5. Kao i kod ostalih postupaka, usmjeravajuće ogledalo kreće se prema zacrtanom programu za taj sloj. Umjesto lasera mogu se koristiti i oštri noževi za rezanje - primjerice Solido [12]. Ostatak folije namata se na izlazni valjak. Da bi se slojevi međusobno vezali, folija ima s donje strane disperzirano polimerno vezivo sredstvo koje osigurava čvrsto povezivanje slojeva. Povezivanje ostvaruje vrući valjak koji nakon svakog izrezivanja folije prelazi preko nje. Nakon svakog njegovog prolaska stol se spusti za debljinu folije, a valjci donesu novu foliju iznad izratka. Proces se ponavlja do završetka

izrade izratka. Na kraju postupka izradak se zaštićuje od vlage impregnacijskim sredstvom.

Ova tehnologija koristi se za teže izratke. Izrađuju se izraci i do 50 kp težine (odnosno oko 490 N). Primjena je za izradu kalupa za lijevanje, te izradaka u automobilskoj industriji [12].

Papir je materijal koji najčešće služi za izradu izradaka trodimenzionalnim laminiranjem. Prednost ovog materijala je cijena i dostupnost [13]. Nakon izrade, neki izradci zahtijevaju naknadnu obradu radi poboljšanja površine ili mehaničkih svojstava. Koriste se premazi određenim materijalom, kao npr. cijanoakrilatna ljepila, epoksi smole, poliuretani, vosak i dr.



Sl.6 Primjena 3D tiskanja u različitim djelatnostima [1]

### 3.2.5 3D naštrcavanje (3D printing)

Ovaj tip 3D pisaača koristi ink-jet mlaznice, kojima se nanosi tekuće vezivo na praškasti materijal. Kao materijal koriste se praškovi od plastomera, ali i metalni, keramički ili kompozitni. Način rada korištenjem CAD modela i STL datoteke identičan je prethodnim rješenjima, osim što je „alat“ drugačiji (mlaznica) i drugi su materijali.

Praškasti materijali korišteni za 3D naštrcavanje s ink-jet tehnologijom, mogu biti i od gipsa s brojnim dodacima koji poboljšavaju vizualna i mehanička svojstva izratka. Prah se sastoji od mješavina ljevačkog pijeska, gipsa i po potrebi drugih dodataka.

Kod pojedinih materijala nakon izrade predmeta slijedi zgušnjavanje koje se sastoji od toplinskih procesa za uklanjanje veziva, sinteriranja i infiltriranja drugog metala koji ima nešto niže talište (npr. bakar) [1].

Postupak je interesantan jer istom tehnologijom (3D biopisač) omogućuje korištenje bioloških materijala, od drvene prašine do proteinskih materijala i živih stanica u medicini.

Usporedba različitih vrsta 3D tehnologija prikazana je u tab.2 u kojoj je dana rezolucija i debljina sloja.

## 4. Primjena u različitim područjima

Gotovo nema grane ljudske djelatnosti gdje se ne primjenjuje 3D tiskanje za različite namjene. Na sl.6 prikazana je primjena u različitim područjima [1]. Prikazani podaci su stari nekoliko godina, i služe za orijentaciju. Korištenje ovih tehnologija rada donosi promjene primjene koje su značajne u svakoj godini, što ne znači da se međusobni odnos znatno mijenja.

### 4.1. Primjena u medicini

Medicina je jedno od najfascinantnijih područja primjene 3D tiska. To se odnosi na razna područja medicine, od stomatologije, ortopedije, facijalne kirurgije do tiskanja bioloških organa sa stanicama pacijenta.

Presadivanje kože je vrlo složeno. Na Sveučilištu u Torontu su razvili metodu za pravljenje „bio-tinte“ od stanica kože. Stvorili su sustav kojim nakon skeniranja rane, stvaraju 3D sliku i tiskaju kožu direktno na oboljelo mjesto pacijenta [14]. Tiskana koža prikazana je na sl.7.



Sl.7 Tiskom izrađena biološka koža [17]

Izrada bioloških uzoraka otvara mogućnosti, testiranje novih lijekova na živom ljudskom tkivu. To će omogućiti bolje testiranje lijekova i veću sigurnost u primjeni [14].



Sl.8 Tiskane kosti vilice [14]

Umjetne kosti mogu se tiskati 3D printerima, sl.8. Još 2013. godine uspješno je ugrađen vratni kralježak starijoj pacijentici i kod nas u Rijeci. Oštećene kosti se mogu popraviti koristeći novu tehnologiju koja uključuje 3D tiskanje. Novom tehnologijom 3D printer tiska „armaturu“ u obliku kosti i onda je napuni matič-



Sl.9 Rekonstrukcija lica ugradnjom 3D tiskanih implantanata [16]

nim stanicama. Matične stanice imaju sposobnost da se razviju u različite vrste tkiva. Nakon što se ugradi u tijelo, tiskana „armatura“ kosti se u roku od tri mjeseca razgradi, a nju zamijeni potpuno nova zdrava kost nastala od matičnih stanica [14].

Još 2000. tiskan je 3D tehnologijom biološki bubreg. To je bio mali ali funkcionalni bubreg koji je mogao kod životinja filtrirati krv i izdvojiti urin. Prema nekim podacima tiskan je već potpuno funkcionalan i ljudski bubreg, ali još nije spreman za transplantaciju [15]. Od drugih ljudskih dijelova koji se uspješno koriste i ugrađuju u pacijente su mjehur, uho, nos, krvne žile [14].

Postoje optimistične prognoze da će se u roku od 5 do 10 godina moći tiskati ljudski organi s vlastitim matičnim stanicama i eliminirati potreba transplantacije organa s donora [14].

Rekonstrukcije lica kod teških nesreća već postaju standardna procedura facijalnoj kirurgiji, sl.9.

3D tiskanje prikladno je za izradu proteza i ortoza po mjeri korisnika, sl.10. Isto tako napravljen je i iskorak izradom „Cortex Cast“ mrežastog gipsanog zavoja koji ima smanjenu težinu u odnosu na gipsane zavoje, kod lomova i imobilizacije udova, sl.11.

#### 4.2. Primjena u strojogradnji, automobilskoj i avioindustriji

Već od 1992. god. počinju se trodimenzionalno tiskati mehanički dijelovi za razne namjene [2]. To su prije svega bili plastični dijelovi. Od 2006. počinju se, korištenjem selektivnog laserskog sinteriranja, masovnije izrađivati metalni dijelovi.



Sl.10 Izrađena proteza 3D tiskom [16]



Sl.11 „Cortex Cast“ mrežasti gipsani zavoji kod imobilizacije ruke izrađeni 3D tiskom [16]

Očekuje se da će 3D tiskanje metalnih dijelova za rakete i zrakoplove znatno smanjiti količinu utrošenog materijala i pojeftiniti izradu [17]. Već se izrađuju dijelovi od legure tungstena, odnosno volframa. Za to se koristi volframovov prah. On se grijanjem pod tlakom i na temperaturi ispod tališta pretvori u kompaktni rastezljivi metal, koji je u stanju izdržati temperature od 3000 °C. Na taj način su zamijenjeni dijelovi izrađeni od titana, tantalata i vanadija [17]. Na sl.12 prikazane su šarke za airbus A320 izrađene 3D tiskanjem i promjene koje su doživjele u konstrukciji (rešetkasta konstrukcija).



Sl.12 Šarke za Airbus A320 izrađene 3D tiskanjem [17]

2011. godine u Kanadi je tiskan prototip ekološki prihvatljivog automobila čija je šasija u potpunosti izrađena pomoću 3D printera [18], a 2013. i u SAD, sl.13 [19].

U Velikoj Britaniji 2011. tiskan je prvi „dron“ - robotizirana letjelica nazvana SULSA (Southampton





Sl.13 Automobil tiskan u SAD-u 2013. god. [19]



Sl.16 Razne vrste tiskanog namještaja [22]



Sl.14 Dron izrađen tehnologijom 3D tiska u Engleskoj 2011. [20]



Sl.15 Tiskani dijelovi za montažnu kuću (tvrtka Winsun New Materials) [21]

University Laser Sintered Aircraft), sl.14 [20].

Uskoro se očekuje izrada satelita 3D tiskanjem od samo jednog dijela metala, što će donijeti, kako se predviđa, i do 50 % uštede, odnosno više mil. eura [17].

Kod izrade postoje i problemi koje treba riješiti prije šire uporabe 3D tiskanja metalnih dijelova. Najznačajnija je poroznost, odnosno pojava malih mjehurića zraka, a drugi problem je gruba površina izradaka. Kao i kod svih novih tehnologija, nakon izvjesnog vremena ti će se problemi u budućnosti otkloniti određenim zahvatima [17].

#### 4.3. Primjena u građevinarstvu i izradi namještaja

Začudjujuće brzo se primjena 3D tiskanja proširila i u građevinarstvu.



Sl.17 Gornji dio odjeće dizajnera Bradleya Rothenberga tiskan s 3D tehnologijom [23]



Sl.18 Kreacije dizajnerice Iris von Harpen, izradene 3D tiskanjem [24]



Sl.19 Još neke kolekcije dizajnerice Iris van Harpen [26]



Sl.20 Kreirane cipele i tiskane 3D tehnologijom [26]



Sl.21 Kompletna kreacija odjeće i cipela tiskana tehnologijom 3D [26]



Slika 22 Rublje izradeno 3D tiskanjem [27]



Sl.23 Dizajnirana obuća izradena 3D tiskom [28]

Arhitekti prema svojim nacrtima izrađuju modele kuća. Sljedeći korak je tiskanje, odnosno izgradnja ekoloških i jeftinih kuća. Nedavno se uspjelo i u tome [21].

Koristeći velik 3D printer (6.6 m × 10 m × 6 m) kineska tvrtka *Winsun new materials* uspjela je izraditi 10 jednostavnih i ekološki prihvatljivih stambenih objekata u samo 24 sata. Svaki objekt je površine od 200 m<sup>2</sup>. Koristio se isključivo reciklirani građevinski i industrijski otpad. Građevni materijal za ovaj printer je mješavina cementa i staklene vune. Tiska se sloj po sloj, u skladu s arhitektonskim CAD nacrtima. Naknadno se umeće instalacija i izolacija, sl.15 [21].

Amsterdam će postati jedan od prvih gradova u svijetu u kojemu će se moći vidjeti kuća tiskana 3D printerom. „Canal house“ će imati 13 prostorija i bit će smještena na jednom od amsterdamskih kanala. Od 3D izrađenih elementa koji se sklapaju formira se građevinski objekt. Gradnja je već počela, a predviđa se da će trajati 3 godine [21].

Ni namještaj nije zaobišla 3D tehnologija. Namještaj se ne izrađuje samo od plastičnih materijala već i od drveta korištenjem fine drvene prašine i ljepila. Drveni elementi namještaja (okviri, nasloni, noge, stranice itd.) nisu puni već je u njima projektirana mreža, kojom se ostvaruje manja potrošnja materijala, a zadržana je čvrstoća namještaja. Kod izrade namještaja dijelovi se mogu kombinirati raznim materijalima s drvom, plastikom i metalom, sl.16.

#### 4.4. Primjena kod tiskanja odjeće i obuće

Već se danas 3D tehnologijom tiskaju dizajnerski modeli odjeće, modni do-



daci, torbice, nakit, kao i cipele, a smatra se da će to biti jedna od većih primjena 3D printera. On omogućuje da kreacija nema ograničenja. Sigurno da su to unikatni uzorci, da ti uzorci odjeće još nisu za svakodnevno korištenje, ali nije velik korak do toga, prije svega s novim materijalima. Materijali su ti koji stvaraju ograničenje.

Već je na sajmu mode poput onog NY Fashion Week, koji je organizirala Katie Gallagher napravljena kolekcija nazvana „Fantasm“ proljeće 2015. Na sl.17 prikazan je gornji dio odjeće dizajnera Bradleya Rothenberga, izrađen 3D tehnologijom tiskanja [23].

Nizozemska dizajnerica Iris van Harpen je prva koja je nastupila sa 3D tiskanom odjećom na modnu pistu, sl.18 [24]. Kako se navodi u članku novinarkе A. Fisher [24], iako je kolekcija dizajnerice van Harpen, fleksibilna, čak se može i prati u perilici, djeluje ipak ukočeno. Kako ona kaže: „Izvršni su za scenski show Gage, ali nisu praktični za vožnju u školu“.

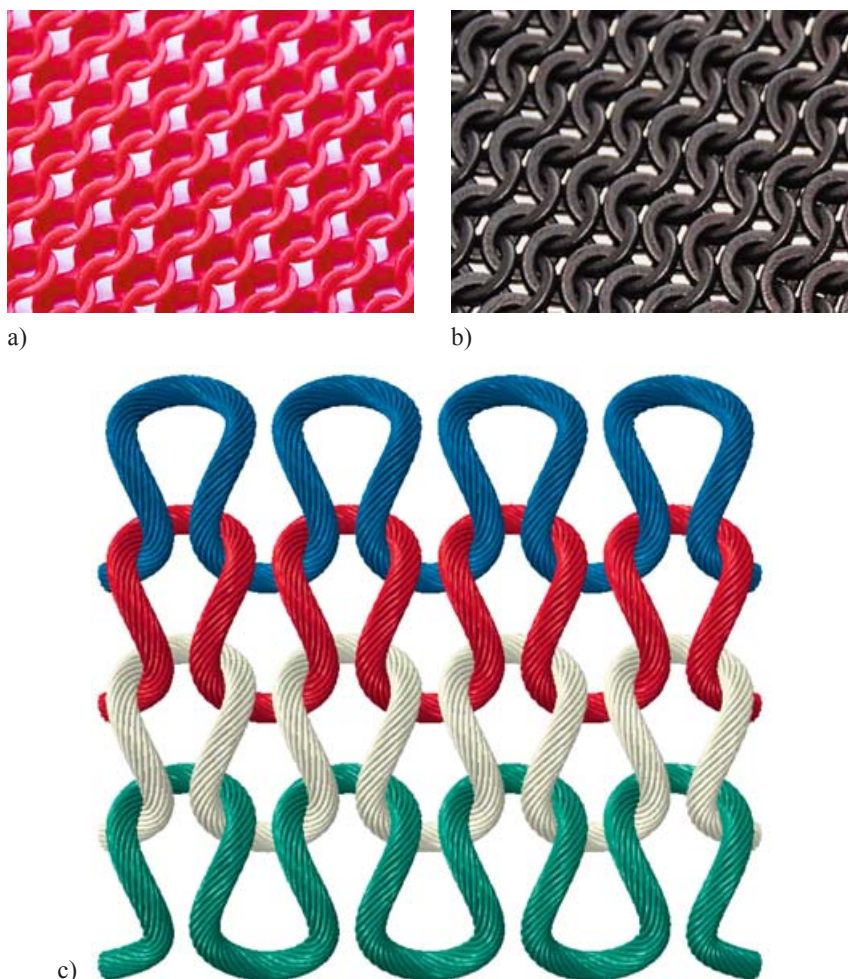
Troškovi izrade još su uvijek izuzetno visoki.

Za nju kaže modni novinar Jean Paul Cauvin da stvara inovacije i eksperimentalni dizajn budućnosti. Ona izkreće cijelu modu, to je bježanje od stvarnosti [25]. Za izradu odjeće koristi SLA - stereolitografsku tehniku 3D tiskanja. Ona se vodi svojim zacrtanim putom koji je iskazala riječima: „For me, fashion has always been about setting your own boundaries and making a statement.“

Ova nadarena dizajnerica krenula je i u dizajn obuće, koju kombinira s kreacijama odjeće, sl.20 i 21 [26].

Njemačka tvrtka za rublje Lasca, zajedno s ruskom dizajnericom Viktoriom Anoka iz Moskve izradila je 3D-tiskanjem intimno rublje, sl.22 [27].

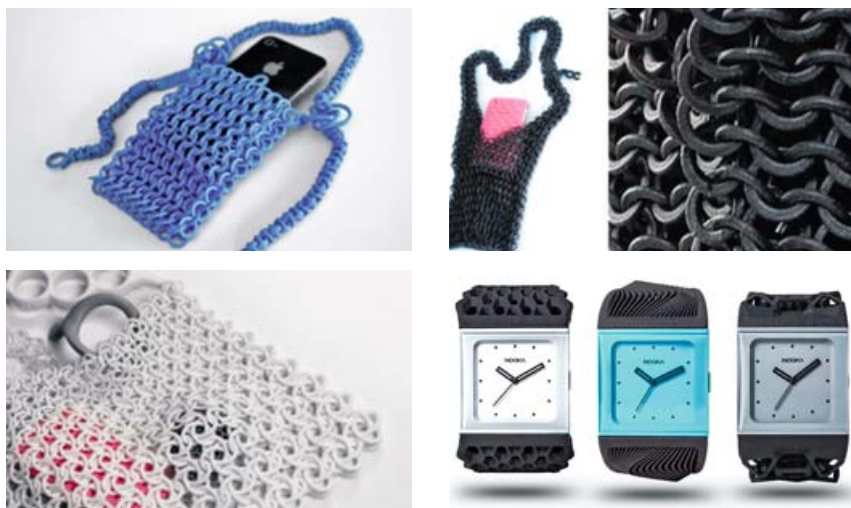
Na izložbi *London College of Fashion* u Londonu 2013. prikazan je niz dizajnerskih proizvoda, među kojima i cipele izrađene 3D tiskom, sl. 23 [28].



Sl.24 Različiti načini povezivanja niti [16]



Sl.25 Narukvice, prstenje, ogrlice i sl. [16]



Sl.26 Torbice, etuiji za mobitele, remeni za satove i sl. [16]

Za tekstilce posebno je važna mogućnost izrade određenog načina povezivanja niti kao kod npr. pletenja, sl.24. Mogućnosti su velike, jer sve što se zamisli može se i ostvariti.

Postoje proizvodi koji već nalaze svakodnevnu uporabu, a to su nakit, torbice, narukvice, remenje za ručne satove, pojedini ukrasi na odjeći i sl, sl.25 i 26. Ti se proizvodi mogu brzo izraditi i nositi u svim prilikama. Cijenu tih proizvoda ne određuje cijena izrade, već cijena autora dizajnerskog rješenja.

## 5. Zaključak

3D tiskanje je jedna od novijih tehnologije koja će znatno izmijeniti određena područja ljudskog djelovanja i procese rada. U pojedinim područjima, kao što je posebno medicina, očekuju se velike promjene i neslućene mogućnosti. Nisu zanemari-ve ni nove mogućnosti u automobilskoj industriji, industriji aviona i plovila te svemirskoj tehnici. Znatan utjecaj sigurno će imati i na odjevne dizajnerske predmete, jer u realizaciji dizajnerske kreacije neće biti ograničenja. Sigurno predstoji velik razvoj novih materijala namijenjenih ovim tehnologijama, jer oni postaju ključni element daljnjeg razvoja ove tehnike rada.

To je sigurno tehnologija budućnosti, neizmjenjnih mogućnosti, a sada je tek na početku.

## Literatura:

- [1] Filetin T., Kramer I. (2007.): Brza izrada prototipova, <http://www.gradimo.hr/clanak/brza-izrada-prototipova/15509>, objavljeno 28. 03.2007.
- [2] A brief history of 3D printing, URL:[http://individual.troweprice.com/staticFiles/Retail/Shared/PDFs/3D\\_Printing\\_Infographic\\_FINAL.pdf](http://individual.troweprice.com/staticFiles/Retail/Shared/PDFs/3D_Printing_Infographic_FINAL.pdf)
- [3] Gridlogics Technologies (2014.). *3D Printing Technology Insight Report - An analysis of patenting activity around 3D-Printing from 1990*, dostupno na: <http://www.patentinsightpro.com/techreports/0214/Tech%20Insight%20Report%20-%203D%20Printing.pdf>
- [4] The STL Library, URL: [http://www.eng.nus.edu.sg/LCEL/RP/u21/wwwroot/stl\\_library.htm](http://www.eng.nus.edu.sg/LCEL/RP/u21/wwwroot/stl_library.htm)
- [5] Leko H. (2015.): 3D pisaci, završni rad, Grafički fakultet, Zagreb
- [6] 3D printanje, <http://www.webgradnja.hr/clanci/3d-printanje/836/>
- [7] Frank M. et al.: Rapid prototyping as an integrated product/process development tool an overview of issues and economics, *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers* Vol. 20 (2003) 3, pp. 240-246 <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.111.93&rep=rep1&type=pdf>
- [8] 3D Printing Materials: The Free Beginner's Guide, <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/materials/> (2014.)

- [9] 3D Printing Processes: The Free Beginner's Guide, <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/>
- [10] Hruškovec I.(2014.): Napravili 3D printer koji printa u boji i koristi više materijala, <http://www.24sata.hr/gadjeti/napravili-3d-printer-koji-printa-u-boji-i-koristi-vise-materijala-350954>, objavljeno 27. 01. 2014
- [11] Canessa E., Fonda C., Zennaro M. (2013.). *Low-cost 3D printing for science, education & sustainable development*, ICTP—The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, ISBN 92-95003-48-9
- [12] Krunic S., Perinic M., Maričić S. (2010.): Način brze izrade predserijskih proizvoda, *Eng. Rev.* 30-2 (2010) 91-100, UDK 004. 896:658.512-027.14, file:///C:/Documents%20and%20Settings/Korisnik/My%20Documents/3D%20printer/09\_KrunicPerinic-Maricic\_final\_1\_LEK%20(1).pdf
- [13] Militiadis A. B. (2010.). *CAD-CAM & Rapid prototyping application evaluation*, Ventus Publishing Aps ISBN 978-87-7681-676-6
- [14] 5 Nevjerovatnih primjera primjene 3D printanja u medicini, <http://pixelizam.com/5-nevjerovatnih-primjera-primjene-3d-printanja-u-medicini/>, objavljeno 08.10.2013.
- [15] 3D printerom isprintane matične stanice embrija!, <http://www.adiva.hr/3d-printerom-isprintane-maticne-stanice-embrija.aspx>
- [16] Gojanović D. (2015.): 3D printeri i njihova primjena u proizvodnji odjeće, PTT, javno predavanje održano 25.11.2015. na TTF-u
- [17] I.S.(2013.): Stiže željezno doba 3D printanja, <http://www.vidi.hr/Sci-Tech/Znanost/Stize-zeljezno-doba-3D-printanja>, objavljeno 16. 10.2013.
- [18] Jezidžić N.: Analiza parametara 3D tiska, diplomski rad, (2014.) Grafički fakultet Zagreb,
- [19] Restua A. (2015.): They literally printed a car! A fully functional car!, <http://trendingpost.net/trending-technology-news/they-literally-printed-a-car-a-fully-functional-car/4/>, objavljen 15.05.2015.
- [20] Dillow C. (2011.): UK engineers print and fly the world's first work-



- ing 3-D printed aircraft, <http://www.popsci.com/technology/article/2011-07/uk-engineers-print-and-fly-worlds-first-working-3-d-printed-aircraft>, objavljeno 28.07.2011.
- [21] 3D printanje, <http://www.webgradnja.hr/clanci/3d-printanje/836/>
- [22] 3D pisači će u bliskoj budućnosti moći "printati" pravi drveni namještaj, <http://www.racunalo.com/3d-pisaci-ce-u-bliskoj-buducnosti-moci-printati-pravi-drveni-namjestaj/>
- [23] Boorman E. (2014.): 3D Printing Spotted at NY Fashion Week in Katie Gallagher's Spring/Summer 2015 Collection, <http://www.materialise.com/blog/3d-printing-spotted-ny-fashion-week-katie-gallaghers-springsummer-2015-collection/>, objavljeno 12.09.2014.
- [24] Fisher A. (2013.): 3D-printed fashion: off the printer, rather than off the peg, <http://www.theguardian.com/technology/2013/oct/15/3d-printed-fashion-couture-catwalk>, objavljeno 15.10.2013.
- [25] Tatiana (2012.): Iris Van Herpen: taking her dresses a level higher, <https://i.materialise.com/blog/iris-van-herpen-taking-her-dresses-a-level-higher>, objavljeno 08.08.2012.
- [26] Condon C. (2013.): How Fashion Designers Incorporate 3D Printing in their Work, <http://www.beyond-designchicago.com/how-fashion-designers-incorporate-3d-printing-in-their-work/>, objavljeno 01.08.2013.
- [27] Marmey E. (2014.): Buy Lingerie Design Online And 3D-Print it at Home, <http://fashionlab.3ds.com/buy-lingerie-design-online-and-3-print-it-at-home/>, objavljeno 23.09.2014.
- [28] 3D Printed Fashion Show Debuts in London, <http://on3dprinting.com/tag/fashion/page/2/>, objavljen 17.04.2013.

## SUMMARY

### 3D printers – review of printing clothing, footwear and accessories

*D. Gojanović, G. Nikolić\**

This article describes 3D printers with new possibilities of making articles of clothing made from various materials. They are used in versatile areas of medicine, civil engineering and clothing manufacturing. These devices are used to make prototypes, unique articles for specific persons, no matter whether in making artificial organs, bones or clothing and footwear. It is possible to use them for making products in very small batches. Using this technique, products can be made for which no other procedure is applicable. As a result, its application has been booming lately. In addition to the description of the technology, applied materials and fields of application, the manufacture of unique fashion clothing, footwear and accessories is also described.

**Key words:** 3D printer, three dimensional printing, fast prototyping, clothing printing, footwear printing

*Darko strojevi j.d.o.o.*

*Zlarin, Croatia*

*\*University of Zagreb, Faculty of Textile Technology*

*Zagreb, Croatia*

*e-mail: dgojanov@yahoo.com*

*Received March 30, 2015*

### 3D Drucker mit Verweis auf das Drucken von Kleidung, Schuhware und Accessories

Der Artikel beschreibt 3D Drucker mit neuen Möglichkeiten, Artikel aus verschiedenen Materialien herzustellen. Sie werden in verschiedenen Bereichen von Medizin, Bauwesen und Kleidungsherstellung verwendet. Diese Geräte werden eingesetzt, um Prototypen und einzigartige Produkte für bestimmte Personen zu erzeugen, ohne Rücksicht darauf, ob es sich dabei um künstliche Organe, Knochen oder Kleidung und Schuhware handelt. Es ist möglich, sie zur Herstellung von Produkten in sehr kleinen Partien zu verwenden. Unter Verwendung dieser Technik können Produkte hergestellt werden, für die kein anderes Verfahren anwendbar ist. Infolgedessen erlebt ihre Anwendung in letzter Zeit einen Aufschwung. Ausser der Beschreibung der Technologie, angewandter Materialien und Anwendungsbereiche wird auch die Fertigung der einzigartigen modischen Kleidung, Schuhware und Accessories beschrieben.