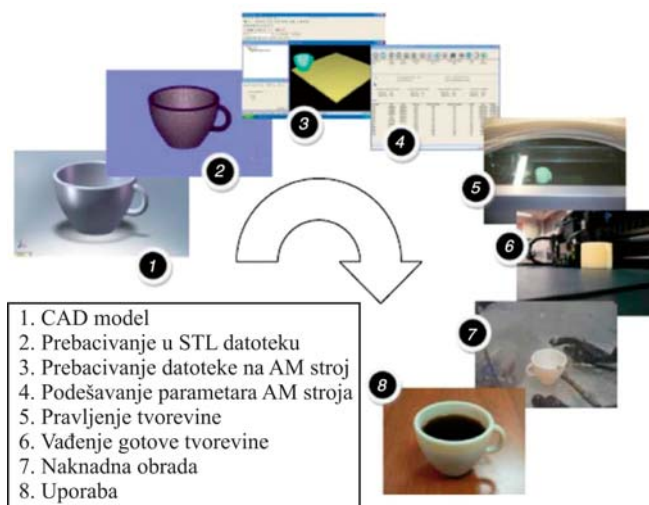


SLIKA 1 – Princip aditivnih postupaka proizvodnje prototipova: a – prikaz slaganja slojeva, b – 3D tvorevina (Foto: A. Pilipović)



SLIKA 2 – Faze AM postupaka<sup>3</sup>

- izrade CAD modela
- pretvaranja CAD modela u STL datoteku
- prebacivanja STL datoteke na AM stroj
- podešavanja parametara AM stroja
- pravljenja prototipa
- vađenja prototipa
- naknadne obrade, ako je potrebna
- uporabe.

Prvi korak svih AM postupaka je izrada trodimenzionalnoga geometrijskog modela u nekom CAD programu. Takav model sprema se u različitim formatima, no već od 1987. tvrtka 3D Systems uvodi STL datoteku (e. *Standard Tessellation Language*), koja predmet pokazuje kao mrežu povezanih trokuta. STL datoteka nema boje, pa je 2009. uvedena AMF datoteka (e. *Additive Manufacturing File*), koja uz STL postaje standard za AM postupke i čini osnovu za rezanje u slojeve, na čemu se temelje AM postupci. AMF datoteka predstavlja jedan ili više objekata raspoređenih u vektore. Svaki je objekt opisan kao skupina nepreklopljenih volumena koji su opisani kao mreža trokuta koja povezuje skupinu točaka. Te se točke mogu po-

dijeliti između volumena. AMF datoteka može opisati materijal i boje pojedinog volumena te boju svakog trokuta u mreži.<sup>4,5</sup>

U nekim postupcima (npr. *SLA, FDM, PolyJet*) potrebno je izgraditi potpunu strukturu koja bi trebala slijediti obod donjeg sloja prototipa, uključujući njegove kutove. Podupiranjem, cijelo područje dna prototipa sprječava vitoperenje tvorevine tijekom izrade slojeva.<sup>5</sup>

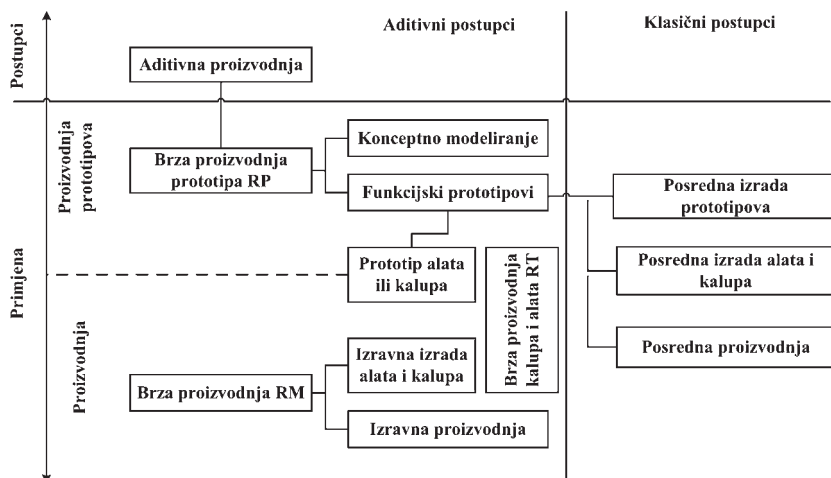
Nakon podešavanja parametara stroja (debljina sloja, snaga, brzina itd.) slijedi pravljenje prototipa te, nakon završetka zadnjeg sloja, vađenje gotovog prototipa. Prilikom vađenja treba paziti da je temperatura u radnom prostoru stroja dovoljno niska za sigurno rukovanje tvorevinama. U nekim postupcima (npr. stereolitografija, 3DP) potrebno je naknadno umreživanje da bi se završio proces polimerizacije i poboljšala mehanička svojstva, jer unutarnji dijelovi slojeva možda nisu potpuno očvršnuti. Slijedi naknadna obrada (čišćenje viška materijala, odstranjivanje potporne strukture, bojenje itd.).<sup>3</sup>

**Razvoj, podjela i primjena AM postupaka**

Podjela aditivnih postupaka prikazana je na slici 3, od izrade prototipova slojevitim postupcima do posredne uporabe tih prototipova u klasičnim postupcima prerade. Kako su se AM postupci razvijali, širila se uporaba na različitim područjima. Najviše se upotrebljavaju za proizvodnju potrošačkih proizvoda/elektronike, zatim u automobilskoj industriji i medicini, a najmanje u arhitekturi (slika 4). Slika 5 prikazuje strukturu uporabe prototipova pri razvoju i proizvodnji tvorevina.

**KORIŠTEN LITERATURA**

1. Wohlers, T. T.: *Wohlers Report 2009 – State of the Industry Annual Worldwide Progress Report*, Wohlers Associates, Inc., Fort Collins, Colorado, SAD, 2009.
2. Gebhardt, A.: *Understanding Additive Manufacturing, Rapid Prototyping – Rapid Tooling – Rapid Manufacturing*, Carl Hanser Verlag, München, 2012.
3. Gibson, I., Rosen, D. W., Stucker, B.: *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*, Springer, SAD, 2010.
4. Noorani, R.: *Rapid Prototyping: Principles and Applications*, John Wiley & Sons, Inc., SAD, 2006.
5. Kunwoo, L.: *Principles of CAD/CAM/CAE Systems*, Addison – Wesley Longman, Inc., Reading, Massachusetts, 1999, ISBN 0-201-38036-6.
6. Wohlers, T. T.: *Wohlers Report 2012 – Additive Manufacturing, State of the Industry Annual Worldwide Progress Report*, Wohlers Associates, Inc., Fort Collins, Colorado, SAD, 2012.



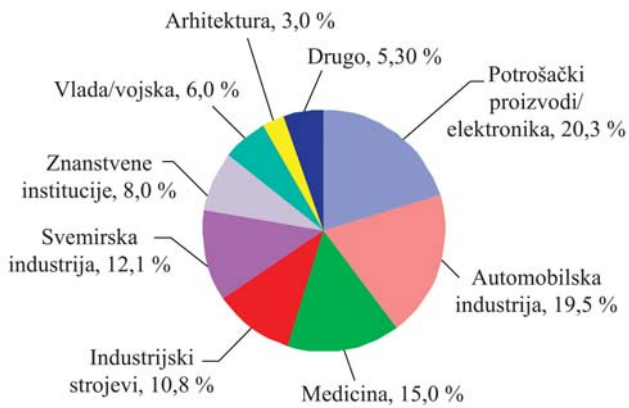
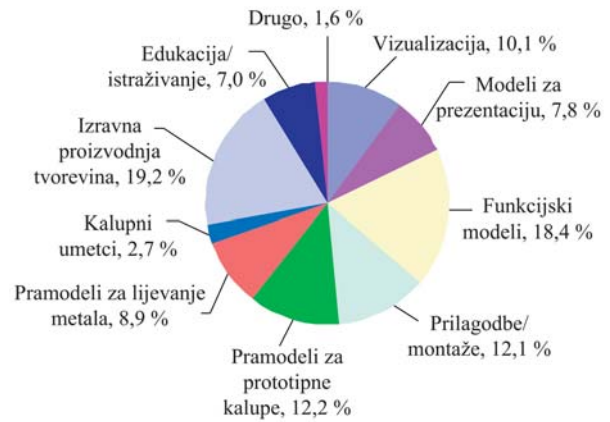
SLIKA 3 – Podjela aditivnih postupaka<sup>2</sup>

**Aditivna proizvodnja**

Privredila: Jelena PILIPOVIĆ

**Tko će kontrolirati mogućnosti 3D tiskanja?**

U sadašnjosti pisci mogu tiskati tvorevine kapanjem rastaljenog filameta od svih vrsta plastike, a u bliskoj budućnosti stereolitografski pisci selektivno će očvršćivati kapljevitu smolu fotopolimerizacijom. Nove generacije 3D pisaca moći će proizvoditi tvorevine komplicirane geometrije različite elastičnosti i vodljivosti od najrazličitijih tvari. Komercijalni biopisac tvrtke


 SLIKA 4 – Područja primjene AM postupaka u 2012. godini<sup>6</sup>

 SLIKA 5 – Uporaba prototipova pri razvoju i proizvodnji tvorevina u 2012. godini<sup>6</sup>

*Organovo* već sada može oblikovati ljudske stanice u korisno tkivo, tvrtka *Modern Meadow* radi na stroju koji će moći tiskati jestivo meso, stručnjaci sa *Sveučilišta u Glasgowu* otkrili su tiskanje kemijskih spojeva i time otvorili mogućnost tiskanja tableta. No tko kontrolira sredstva proizvodnje? Tvrtka *Intellectual Ventures* patentirala je program koji će kontrolirati prava intelektualnog vlasništva: svaki 3D pisac ovjerit će svaku datoteku s bazom autoriziranih proizvoda.

[www.popsci.com/technology/article/2012-12/fma-who-will-control-what-we-3-d-print](http://www.popsci.com/technology/article/2012-12/fma-who-will-control-what-we-3-d-print)

### Oružje načinjeno 3D tiskanjem

Mogućnosti aditivnih postupaka danas su goleme. Neke čak nameću pitanje legalnosti. Jedna od njih je tiskanje različitog oružja u kućanstvu. Skupina dizajnera napravila je plastični spremnik za metke i donji dio puške *AR-15* (slika 6). Riječ je o dijelu koji drži sve dijelove puške zajedno i za koji jedino treba dozvola. Zakonodavstvo bi trebalo regulirati domaću proizvodnju, vlasništvo, transport, prodaju i kupnju bilo kakvog oružja ili spremnika koji se ne mogu otkriti detektorom metala. 3D tiskanje još je relativno nov postupak, koji obećava, ali također traži novu regulativu.


 SLIKA 6 – Spremnik za metke i donji dio puške *AR-15*

[htechcrunch.com](http://htechcrunch.com)

### 3D tiskanje i posude za mlijeko

Znanstvenici sa *Sveučilišta Michigan Technological* razvili su postupak pretvaranja već upo-

trijebljenih spremnika za mlijeko načinjenih od polietilena visoke gustoće (PE-HD) u materijal potreban za 3D tiskanje. Uređajem za recikliranje *RecycleBot* plastični se spremnici prvo usitne, a zatim stave u uređaj koji ih rastali i ekstrudira u dugačke plastične niti (slika 7). Oko 20 posuda daje 1 kg plastičnog materijala.



SLIKA 7 – Sirovina od plastičnih spremnika za mlijeko

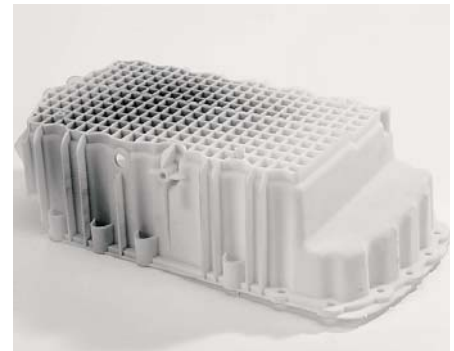
[www.sciencedaily.com](http://www.sciencedaily.com)

### Primjena poliamida 6 (PA6) u postupku selektivnoga laserskog srašćivanja

Tvrtka *Solvay group* razvila je poliamidni prah na osnovi  $\alpha$ -kaprolaktama PA6 (nazvan *Sinterline*), isključivo za aditivni postupak selektivnoga laserskog srašćivanja (SLS). PA6 u postupku selektivnoga laserskog srašćivanja visoke je krutosti i toplinske postojanosti, slične onoj kod postupka injekcijskog prešanja. Tvrtka *Solution F/E2R*, specijalizirana za inženjering i aditivne postupke u automobilskoj i svemirskoj industriji, upotrebljavajući *Sinterline* proizvela je cjevčice za dovod zraka (slika 8) i spremnike kapljevine za kočnice (slika 9) te dijelove kabine zrakoplova na Sunčev pogon. Zahvaljujući postojanosti i odličnoj završnoj površini, *Sinterline* će proširiti područje laserski srašćenih tvorevina te se dokazati kao idealan materijal za mnoge primjene u automobilskoj industriji i za elektroničke komponente.



SLIKA 8 – Cjevčice za dovod zraka



SLIKA 9 – Spremnik kapljevine za kočnice

*SOLVAY Engineering Plastics BU (Rhodia Engineering Plastics)* Press release, 11/2012

### Prva zgrada na svijetu načinjena 3D tiskanjem

Mogućnosti 3D tiskanja počele su se širiti i na građevine. Arhitekt J. Ruijssenaars i izumitelj E. Dini namjeravaju do 2014. godine tiskati prvu kuću na svijetu 3D pisčem *D-Shape* (slika 10). Zamišljena kao jedinstvena struktura, dvokatna zgrada bit će napravljena od blokova konzola (okvira) veličine 6 · 9 m i zatim spojena u neprekidnu traku. Za izradu kalupa za okvir upotrijebit će se tanki slojevi pijeska i anorganskog veziva. Svaki će se okvir zatim puniti staklenim vlaknima i cementom kako bi postigli krutost i čvrstoću za 1 000 m<sup>2</sup> zgrade. Procijenjeno je da će izrada takve zgrade stajati 4 – 5 milijuna eura. 3D pisac *D-Shape* može tiskati komplet-

nu zgradu sa stubama, unutarnjim zidovima, stupovima, svodovima (kupolama) i šupljim cijevima upotrebljavajući samo običan pijesak i anorgansko vezivo. Taj materijal jednako izgleda i ima ista fizička svojstva kao mramor, s izdržljivošću armiranog betona. Iz mlaznice se ekstrudira kapljevito ljepljivo na pijesak s umiješanim čvrstim katalizatorom. Vezivo reagira s katalizatorom i započinje očvršćivanje. Preostali pijesak služi kao potporna struktura. Tada se dodaje novi sloj pijeska i cijeli se postupak ponavlja. Proces očvršćivanja traje 24 sata, ali naknadni slojevi debljine 5 – 10 mm mogu se dodavati bez zastoja. Procjenjuje se da trenutačni model *D-Shape* može proizvesti oko 2 500 m<sup>2</sup>, što je jednako 12 dvokatnih zgrada, te da takav postupak traje četvrtinu vremena koje je potrebno za proizvodnju ekvivalentne građevine na tradicionalan način.



SLIKA 10 – Zgrada načinjena 3D tiskanjem

The Crunchies 01/2013

### Dijelovi zrakoplova načinjeni 3D tiskanjem

Kineski su stručnjaci razvili novi postupak 3D tiskanja nazvan *lasersko oblikovanje krutih tvari*. Njime se mogu izraditi titanijski dijelovi za zrakoplove koji su jeftiniji i do 95 %, izdržljiviji te lakši i do 40 % od klasičnih dijelova. Postupak se temelji na laserskom zagrijavanju metalnog praha te se može upotrijebiti ne samo za izradu novih nego i za popravak oštećenih dijelova. Kineski stručnjaci već proizvode takve dijelove za vojne zrakoplove J-20 i J-31 te se nadaju da će do 2016. godine izraditi i titanijske nosive grede za krila putničkog zrakoplova C919 visine 5 m.

[www.tportal.hr](http://www.tportal.hr)

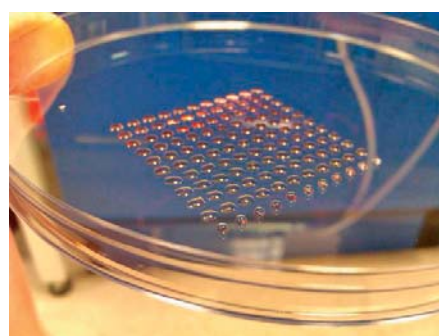
### Ljudske embrionalne matične stanice načinjene 3D tiskanjem

Istraživači sa sveučilišta *Heriot-Watt* iz Škotske nadaju se načiniti tkivo i organe upotrebljavajući matične stanice kao tintu u 3D pisačima (slika

11). Uzeli su matične stanice iz embrionalnog bubrega i uzgojili kulturu. Proizveli su posebnu *biotintu* kako bi mogli sigurno pohraniti stanice. Tlačnim pumpama stanice se potiskuju iz tinte u ventile, koji sadržavaju tlačne mlaznice. Može se kontrolirati količina dijeljenja stanica mijenjajući razne faktore, uključujući stlačeni zrak, promjer mlaznice ili koliko je dugo mlaznica otvorena. Istraživači su uspjeli istisnuti malene kapljice koje sadržavaju pet ili manje stanica različitog oblika i veličine (slika 12). Za proizvodnju skupine stanica najprije treba tiskati stanice, zatim ih obložiti *biotintom* koja u sebi nema stanica i tako dobiti velike kapljice ili sferoid stanica. Stanice se grupiraju zajedno unutar sferoida, koji mora biti određene veličine jer matične stanice traže određene uvjete. Nakon što su istisnute kroz tanku mlaznicu, 99 % stanica još je živo i održivo te se mogu promijeniti u bilo koju drugu stanicu u tijelu. Konačno, mogu se upotrijebiti za tiskanje novog tkiva, kao unutarnje punilo u postojećim organima koji se regeneriraju ili kao zamjena u transplantaciji organa.



SLIKA 11 – Stem Cell Printer



SLIKA 12 – Matične stanice načinjene 3D tiskanjem

[www.popsoci.com](http://www.popsoci.com)

### S pomoću stanica hrskavice i 3D pisača do umjetnog uha

Znanstvenici sa *Sveučilišta Cornell* razvili su umjetni dio vanjskog uha 3D tiskanjem. Postupak počinje digitalnim 3D modelom uha. Hidrogel dobiven iz kolagena mišjeg repa i stanica hrskavice kravljeg uha zatim se ubrizgava u kalup. Kolagen je upotrijebljen kao temelj na kojem se stanice hrskavice mogu naseliti i uzgojiti. Cijeli postupak, od konstruiranja kalupa, ubrizgavanja gela do izrade uha, traje oko dva dana. Kad je uho napravljeno (slika 13), prije implantacije, treba ga obraditi i uzgojiti nekoliko dana u hranjivome mediju. Tri mjeseca od implantiranja kolagena ispod kože laboratorijskog miša uzgojila se hrskavica i zamijenila kolagen. No prije implantacije i primjene ovog postupka na ljudima bit će potrebna još mnoga istraživanja, kao što je upotreba vlastitih ljudskih stanica hrskavice, kako bi se smanjilo odbacivanje uha.



SLIKA 13 – Umjetno uho i postupak izrade umjetnog uha

[www.gizmag.com/3d-printed-bioengineered-ears/26368/](http://www.gizmag.com/3d-printed-bioengineered-ears/26368/)

### Sedamdeset i pet posto čovjekove lubanje zamijenjeno protezom načinjenom 3D tiskanjem

U SAD-u je nedavno obavljena operacija lubanje upotrebom plastične proteze načinjene 3D tiskanjem (slika 14). Tvrtka *Oxford Performance Materials* napravila je umjetni usadak lubanje s pomoću 3D snimke pacijentove glave. Usadak je načinjen od PEKK-a (poli(eter-keton-keton)), s rupama oko kojih mogu izrasti nove stanice i kosti.

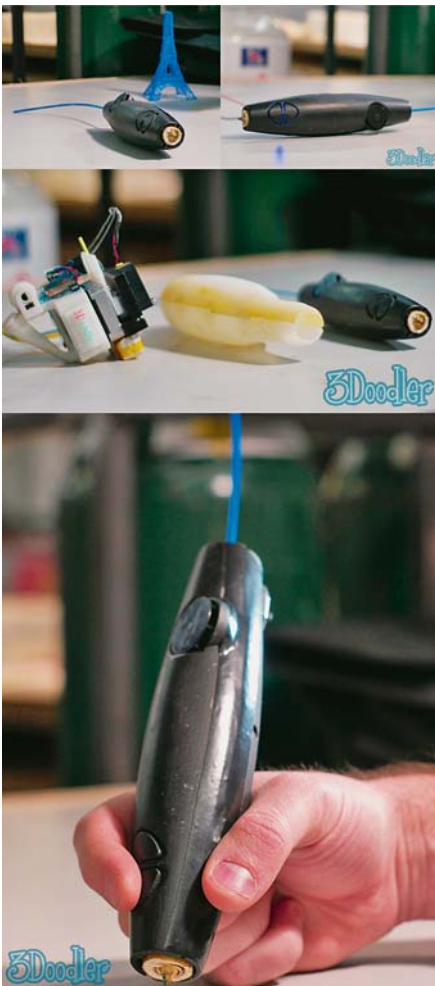


SLIKA 14 – Usadak lubanje od PEKK-a

[www.engadget.com/2013/03/08/75-percent-of-skull-replaced-3d-printed-prosthetic/](http://www.engadget.com/2013/03/08/75-percent-of-skull-replaced-3d-printed-prosthetic/)

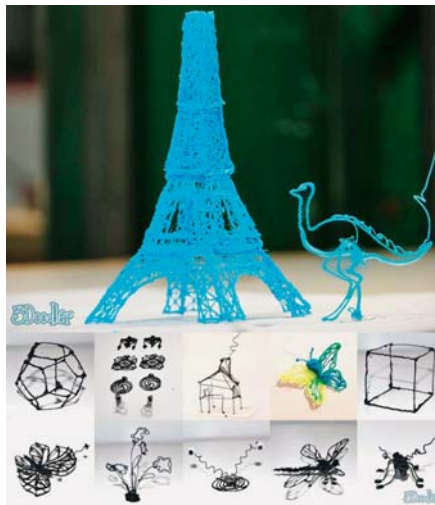
### 3D Doodler – 3D olovka

3D Doodler je olovka (slika 15) koja tiska tvorevine ekstrudirajući zagrijanu žicu promjera 3 mm od ABS-a (akrilonitril/butadien/stiren) ili PLA (polilaktid ili polimer mliječne kiseline – materijal napravljen od kukuruza, biorazgradljiv i ima niže talište od ABS-a), koji se brzo hlade i očvršćuju u stabilnu strukturu. Vrh olovke zagrijava se na temperaturi od 270 °C, a ekstrudirani materijal siguran je za dodir. Ne zahtijeva upotrebu nikakve dodatne programske podrške ili računala (samo se uključuje u struju od 110 ili 240 V). 3D Doodler ima masu oko 200 g, veličine je 180 · 24 mm.



SLIKA 15 – 3D Doodler

Tvorevine se mogu izrađivati na razne načine – kao plosnati oblici na papiru koji se onda odvoje s papira, kao 3D tvorevina ili kao odvojeni dijelovi spojeni zajedno s 3D Doodlerom tako da na kraju tvore trodimenzionalnu strukturu (slika 16). Može se upotrijebiti na bilo kojoj površini, uključujući plastiku, pa i za male popravke. Mogućnosti upotrebe 3D Doodlera su različite: 3D modeli, nakit, privjesci, dekorativni ukrasi, kutije za mobitele, prijenosna računala itd.



SLIKA 16 – Tvorevine načinjene 3D Doodlerom

[www.kickstarter.com/projects/1351910088/3doodler-the-worlds-first-3d-printing-pen](http://www.kickstarter.com/projects/1351910088/3doodler-the-worlds-first-3d-printing-pen)

### Nano 3D pisac

Tvrtka *Nanoscribe GmbH* razvila je najbrži komercijalni 3D pisac za izradu mikro- i nanotvorevina *Photonic Professional GT* (slika 17), koji se temelji na postupku 3D laserske litografije. Brzina prijenosa podataka je veća od 5 terabito-va u sekundi zahvaljujući galvanskom postupku – seriji rotirajućih zrcala koja reflektiraju svjetlo lasera za brz i precizan fokus. 3D tvorevine načinjene su upotrebom dvostruke svjetlosne polimerizacije tako da je kratki laserski snop usmjeren na fotoosjetljiv materijal. Izloženi dio fotoosjetljivog materijala se polimerizira, a ostatak materijala se ispere, ostavljajući samo podržanu mikro- i nanostrukturu. Područje skeniranja ograničeno je na 100 µm. Uglavnom se upotrebljava za tkivo kod rasta stanica.



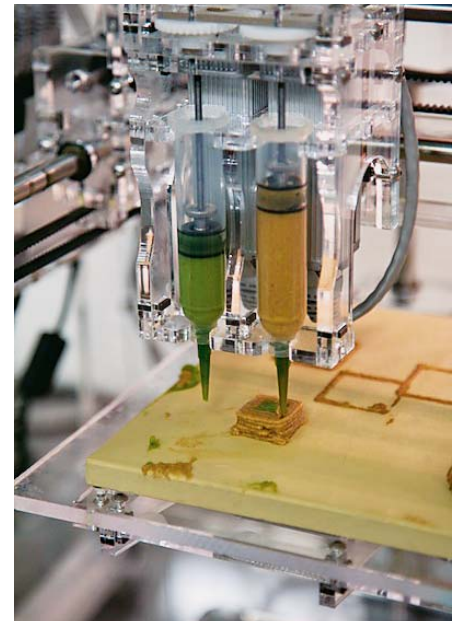
SLIKA 17 – Nano 3D pisac *Photonic Professional GT*

[www.gizmag.com/3d-printing-photonic-professional-gt--nanoscribe/26329/](http://www.gizmag.com/3d-printing-photonic-professional-gt--nanoscribe/26329/)

### Beskrajne mogućnosti 3D tiskanja – hrana za astronaute

*Fab@Home team* sa Sveučilišta *Cornell* razvio je tvar nalik na gel nazvanu *hydrocolloid* (hi-

drokolid), koja se može ekstrudirati i izraditi u različite oblike. Miješanjem s različitim sredstvima za aromatiziranje mogu se proizvesti razni okusi i teksture. 3D pisaci mogli bi miješati vitamine i aminokiseline kako bi dodali hranjive tvari u hranu te bi mogli proizvoditi kockice prepečenog kruha i bjelančevine kao dodatak hrani. Ali 3D tiskanje hrane ima i nedostatke. Neku je hranu lako tiskati, kao zamrznuti ili topljeni sir, ili čokoladni slatkiš koji se kompjutorski izrađuje sloj po sloj upotrebljavajući mlaznicu napunjenu otopljenom čokoladom (slika 18). Ali druga hrana, npr. voće, povrće i meso, mnogo su veći izazov. Sa začinjnim gelovima, da bi se tiskala raznolika hrana, trebat će otkriti kako naći potencijalno različite materijale, različite viskoznosti i potrebne temperature topivosti, upotrebljavajući promjenljive glave pisaca.



SLIKA 18 – Mlaznica za hranu pisaca *Fab@Home*

[www.wired.com/wiredscience/2013/02/3-d-food-printer-space/?cid=co5701504](http://www.wired.com/wiredscience/2013/02/3-d-food-printer-space/?cid=co5701504)

### Poslovanje i marketing

Priredila: Jelena PILIPOVIĆ

### Vijesti iz ENGEL-a

ENGEL predviđa da će u budućnosti godišnje proizvoditi oko 1 200 ubrizgavalica u svojoj tvornici u Koreji, čime će zajedno s tvornicom u Šangaju postati jedna od vodećih tvrtki na azijskom tržištu.

Ta je austrijska tvrtka sklopila partnerstvo s njemačkom tvrtkom *PME fluidtec GmbH* iz Ettenheima, za razvoj postupka vodnoga injekcijskog prešanja. Taj se postupak upotrebljava za učinkovitiju i jeftiniju proizvodnju