

Revolucionarni postupci poput 3D tiskanja privlače veliku pozornost*

Privedila: Ana PILIPOVIĆ

A Skeptic's Guide to 3D Printing

Excitement about any new technology should be balanced with the application of time-tested forecasting tools. To predict the cost curve of a new technology, we need to consider both the rate of volume growth and the rate of cost decline. It is a stretch to envision a near-term future in which the typical consumer uses a 3D printer at home to make a fork or a chess piece.

Claims that 3D printing poised to shake up the manufacturing industry in dramatic fashion have been on the rise. There is no question whether 3D printing offers a new manufacturing model. It eliminates the need for expensive, customized tooling. The cost of 3D printers continues to decline; but technology forecasting analysis shows, 3D printing is not poised to take the place of factory production anytime soon.

Although designers are increasingly working to simplify the printer and software, whatever it takes far more technical knowledge than the use of standard ink-jet or laser printer. So the big question remains: Will users of home 3D printer be able to print high-quality products without the knowledge of additive technologies, properties of materials, construction, etc.?

Moreover, even if we assume that 3D printing will become even easier with time, it will be more practical for the users to engage external service instead of buying a 3D printer.

Uravnotežiti nove i provjerene postupke proizvodnje

Predviđanje budućnosti vrlo je teško, pogotovo ako želimo odvojiti tehničke izume od želja. Mnogi se ne mogu sjetiti primjera pogrešnog predviđanja tehničkog napretka kao što je to bio slučaj s internetom ili dvokolicom Segway. Danas najbolji primjer inovacije su aditivni postupci proizvodnje, 3D tiskanje (e. *Additive manufacturing, 3D printing*).

Prvi komercijalni stroj samo za pravljenje prototipova lansiran je na tržište 1987. godine za postupak stereolitografije (postupak aditivne proizvodnje). Tada nitko nije mogao zamisliti da će 27 godina poslije aditivni postupci preplaviti tržište. Aditivna proizvodnja pruža velike mogućnosti u pravljenju početnoga, a najčešće i gotovog oblika potrebnog proizvoda. Ta proizvodnja, međutim, neće potpuno zamijeniti klasične postupke praoblikovanja.

3D tiskanje u posljednjih je nekoliko godina prilično promijenilo prerađivačku industriju i trajno raste. Izvještaj investicijskog savjetnika *Motley Foola* iz rujna 2013. predviđa da će aditivna proizvodnja rezultirati zatvaranjem 112 000 kineskih tvornica i pokrenuti proizvodnu revoluciju 21. stoljeća, osobito u Sjedinjenim Američkim Državama (gdje su i prvi začeci te proizvodnje). Iako bi se željelo vratiti proizvodnju na zapad, i prije nego što se otpusti na milijune kineskih radnika, treba se vratiti korak unatrag i analizirati aditivne postupke iz dosadašnjeg iskustva te kako ih potrošači usvajaju i kako na njih reagiraju. I prije nego što se predvidi široka promjena u strukturi prerađivačke industrije, mora se razmišljati o investicijskim, ekonomskim i gospodarskim okolnostima u pojedinoj državi.

Nema sumnje da 3D tiskanje nudi novi proizvodni model jer prije svega uklanja potrebu za skupim alatima i kalupima. Cijene potrebne opreme za tu proizvodnju trajno padaju (hobi verzije pisača za 3D tiskanje dostupne su za manje od 250 USD), no za sada analize pokazuju da 3D tiskanje u skorije vrijeme neće zauzeti mjesto u serijskoj proizvodnji.

Jedna od najučinkovitijih metoda predviđanja mogućnosti nekoga novog postupka potječe iz 1936. godine. Tada je zrakoplovni inženjer Theodor P. Wright nakon godina promatranja proizvodnje zrakoplova objavio članak u časopisu *Journal of Aeronautical Sciences* u kojem je predstavio matematički model za predviđanje sniženja troškova tijekom vremena. Predložio je da se broj radnih sati potrebnih za izgradnju zrakoplova mijenja kao funkcija kumulativnog broja proizvedenih jedinica zbog povećanja znanja i učinkovitosti koji dolaze iz iskustva i prakse. Za svako udvostručenje kumulativnih proizvedenih jedinica, broj radnih sati smanjuje se za određeni postotak.

Wrightova eksponencijalna krivulja, nazvana *krivulja učenja*, na početku naglo pada, ali s vremenom se poravnava i postaje konstantna

kada broj jedinica potrebnih za udvostručenje kumulativne proizvodnje naraste.

Na osnovi Wrightove ideje Bruce Henderson osmislio je 1960. godine koncepciju *krivulje iskustva*. Tvrdio je da se eksponencijalna krivulja može proširiti na širu paletu proizvoda ako se usredotoči na ukupni proizvodni trošak po jedinici, a ne samo na troškove rada. Približno u isto vrijeme Gordon Moore dao je primjedbu na temelju svoga velikog znanja o računalnim čipovima. On primjenjuje vrijeme kao glavni faktor, a ne volumen kumulativne proizvodnje. Utvrdio je da se broj tranzistora po računalnom čipu udvostručuje svake godine i da će se takav rast nastaviti još 10 godina, što će činiti ukupno 65 000 tranzistora na jednom čipu.

Preispitivanjem Mooreovih podataka, 1975. godine pokazalo se da su njegova predviđanja bila točna i prilagođena za buduće predviđanje, tj. udvostručenje svake dvije godine. Unatoč raspravi o ograničenjima, ta je činjenica postala poznata kao *Mooreov zakon*, stalna stopa poboljšavanja nastavlja biti glavni pokretač u industriji mikroprocesora; najnovija generacija čipova sadržava više od milijardu tranzistora.

Znanstvenici i dalje ispituju i potvrđuju valjanost tih modela predviđanja. Istraživači s *Instituta Santa Fe* objavili su početkom 2013. članak u kojem su prikupili podatke o troškovima i proizvodnim količinama za više od 60 postupaka u različitim vremenskim razdobljima od 1969. do 2005. godine. Otkrili su da se cijena tranzistora u čipu smanjila za 43 % sa svakim udvostručenjem ukupnog volumena i da se kumulativna proizvodnja udvostručila po stopi od svakih 1,2 godine u razdoblju od 37 godina. Njihov skup podataka pokazuje da mnogi postupci imaju stalnu stopu udvostručenja volumena i pad troškova (mjerenu na logaritamskoj krivulji), tj. da između *Mooreova zakona* i *Hendersonove krivulje* nema razlike.

Međutim, stopa se drastično mijenja ovisno o proizvodnom postupku. Npr. tijekom evolucije izrade tvrdih diskova od 1989. do 2007. utvrđeno je sniženje troškova za 49 % s udvostručenjem ukupnog volumena svakih 1,1 godinu, za razliku od proizvodnje polistirena, u kojoj su od 1944. do 1968. troškovi sniženi za samo 16 % s udvostručenjem ukupnog volumena svakih 3,5 godina. Proizvodnja plina pokazuje mnogo strmiju krivulju troškova u odnosu na proizvodnju polistirena, s 32 % smanjenja na svako udvostručenje volumena, ali ukupni volu-

* Laseter, T., Hutchison-Krupata, J.: *A Sceptic Guide to 3D Printing*, Strategy+business, (2013)73, www.strategy-business.com/

men proizvodnje udvostručio se samo jedanput između 1947. i 1967. godine.

Dakle, za predviđanje krivulje troškova novih postupaka treba uzeti u obzir stopu rasta volumena proizvodnje i stopu pada troškova (poznatu kao *nagib krivulje iskustva*). Pitanje je, hoće li se 3D tiskanje ponašati kao i proizvodnja mikročipova?

3D krivulja iskustva

Iako cijena od 250 USD za hobi 3D pisaače pokazuje napredak duž *krivulje iskustva*, proizvod ostaje u fazi rasta. Relativno kratka povijest 3D tiskanja počela je predstavljanjem postupka stereolitografije njegova začetnika Chucka Hulla 1987. godine u tvrtki *3D Systems*. Trebalo je, međutim, proći gotovo desetljeće za poboljšavanje u očvršćivanju fotoosjetljivih polimernih materijala laserom da bi postupak doživio procvat u brzom proizvodnji prototipova (e. *rapid prototyping*).

3D tiskanje za potrošačke proizvode koje je nedavno privuklo veliku pozornost, suočava se s tradicionalnim ograničenjima ulaska 3D pisaača u kućanstva. To ograničava potencijalnu veličinu tržišta i sukladno tomu utječe na stupanj udvostručenja volumena koji je potreban za brzo širenje *krivulje iskustva*.

Koliki se potencijal može očekivati od malih stolnih 3D pisaača? Sliku može dati tvrtka *Kickstarter Inc.* po vremenu prikupljanja sredstava. Tako je npr. za projekt izrade 3D pisaača tvrtka *Buccaneer* prikupila u samo 30 dana od 3 500 ljudi 1,4 milijuna USD, premašivši tako očekivanih 100 000 USD. Uvid u potencijal 3D pisaača najbolje se dobiva u usporedni s *desktop* pisaačima. Standardni pisaač, kao što je poznato, ima prilično jednostavan ulaz (razni papir) i izlaz (ispis crno-bijeli ili u boji s određenom kvalitetom fotografija ili teksta) i ne zahtijeva veliko znanje korisnika. S obzirom na to standardni pisaači imaju široku primjenu.

Kod 3D tiskanja situacija je sasvim drukčija. Postoje posebni pisaači za polimerne materijale, metal i keramiku. Zatim, neki polimerni materijali mogu se tiskati na jednom pisaaču, a neki samo na nekoj drugoj vrsti pisaača. Iako se konstruktori trude da pisaač i pripadna programska podrška budu što jednostavniji, ipak je potrebno mnogo veće tehničko znanje nego pri upotrebi standardnih *ink-jet* ili laserskih pisaača. Dakle, ostaje veliko pitanje: *Hoće li korisnici kućnih 3D pisaača moći tiskati kvalitetne proizvode bez znanja o aditivnim tehnologijama, svojstvima materijala, konstruiranju itd.?*

Štoviše, ako se i pretpostavi da će 3D tiskanje s vremenom postati još jednostavnije, korisnicima će biti praktičnije za veće poslove uzeti

vanjsku uslugu nego kupiti 3D pisaač. Dakle, teško je predvidjeti hoće li u bliskoj budućnosti korisnici kod kuće sami izrađivati plastične žlice, igračke, glazbala itd. ili će ih radije kupiti od većih proizvođača.

No možda je to krivo razmišljanje i možda će 3D pisaači postati još jednostavniji za upotrebu, a ako industrija počne proizvoditi milijune pisaača godišnje, i njihove cijene moraju padati. Tako velika proizvodnja uređaja pomaknula bi *krivulju iskustva* prema dolje. Ali koliko će biti strma krivulja i koliko će se brzo dogoditi udvostručenje obujma proizvodnje? Čak i s najoptimističnijim prognozama, rast prodaje 3D pisaača je malen u usporedbi sa sveprisutnim mikroprocesorima. 3D tiskanje postat će jeftinije, ali vjerojatno neće imati volumen proizvodnje kojim može pratiti *Mooreov zakon*. Nadalje, za razliku od mikroprocesora, 3D pisaači sastoje se od različitih starih proizvodnih tehnika. Cijena mikroprocesora koji pokreću pisaače snizit će se, ali mnogi dijelovi, kao što su upravljački elementi pokretnih glava čija je cijena već dosta pala, imaju ograničen daljnji potencijal sniženja cijene. Znatno dio troškova je u samom kućištu pisaača za koji nema potrebe za smanjenjem dimenzija jer se na velikim 3D pisaačima mogu izrađivati i veliki i sitni dijelovi. Tako će *krivulja iskustva* za 3D tiskanje najvjerojatnije biti sličnija *krivulji* proizvodnje plina nego mikročipova: veliki, ali ne preveliki nagib *krivulje* i relativno sporo udvostručenje proizvodnje.

Krivulja iskustva nudi način za analizu održivosti i potencijala novoga proizvodnog postupka. Ali procijeniti predviđanja strukturalnih promjena prerađivačke industrije, kao što su one potaknute 3D tiskanjem, zahtijeva primjenu dviju dobro poznatih koncepcija: ekonomije razmjera i ukupnog sniženja troškova. Potrebno je uzeti u obzir kako će i gdje tvorevine biti proizvedene, kojih dimenzija i koje preciznosti, ali isto tako mjesto i troškove transporta diljem svijeta.

3D tiskanje omogućuje pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju, dok će klasična proizvodnja poput injekcijskog prešanja ili lijevanja i dalje omogućavati masovnu proizvodnju. Nadalje, bez obzira na to koliko je 3D pisaač jeftin, tvornice neće propasti jer će nastaviti nuditi materijal za ispis proizvoda. Materijali za proizvodnju 3D tiskanjem, a time i sami proizvodi skuplji su nego u klasičnoj proizvodnji. Proizvodi tiskani na kućnim 3D pisaačima lijep su hobi, ali nisu praktični za masovnu i kvalitetnu proizvodnju. Iako je 3D tiskanje uzdrimalo cijelu klasičnu proizvodnju, neće je zamijeniti, ali će sigurno utjecati na određene proizvode. Tvrtke koje imaju profesionalne strojeve za 3D tiskanje

(cijena strojeva od 150 000 € naviše) nude usluge npr. izrade unikatnih medicinskih uređaja, opremanja filmskih studija itd. Cijenom malo povoljniji uređaji, kao 3D pisaač tvrtke *Mcor Technologies*, omogućuju izradu proizvoda od papira laminiranjem (rezanjem i lijepljenjem slojeva papira u čvrst objekt), pa je i potrebni materijal mnogo jeftiniji.

Buduće i sadašnje korisnike 3D tiskanja trebalo bi educirati kako aditivna proizvodnja može pružiti mnoge vrijednosti u određenim nišama. Primjerice, tvrtka *European Aeronautic Defense and Space Company NV* primjenjuje 3D tiskanje za proizvodnju daljinski upravljanih zračnih vozila više čvrstoće uz nižu masu jer mogu načiniti cijelo krilo umjesto montaže više komponenti. To dosad nisu mogli postići nijednim drugim proizvodnim postupkom. Izrada svih dijelova odjednom, tj. izrada više dijelova u jednom dijelu, rezultira završnim proizvodom koji je manje osjetljiv na pogreške, tj. uklanja faze sklapanja.

Primjena 3D tiskanja koja možda u budućnosti najviše obećava uključuje proizvodnju rezervnih dijelova, npr. *NASA* istražuje primjenu 3D tiskanja za izradu specijalnih rezervnih dijelova i alata za potrebe svemirskih istraživanja. Drugim riječima, nositi sve potrebne alate i uređaje za izradu svih rezervnih dijelova na svemirske postaje zahtijeva mnogo prostora i dosta je teško (zbog mase), mnogo više od jednog pisaača. To je ekstreman slučaj (s vrlo malom prodajom), ali danas i automobilska industrija rabi postupke aditivne proizvodnje za brzo pravljenje rezervnih dijelova.

3D tiskanje omogućuje i dijeljenje mnogih proizvoda, npr. korisnici su već napravili *open source* aplikaciju na internetu *MakerBot Thingiverse – Digital designs for physical objects* (www.thingiverse.com), na kojoj se mogu preuzeti modeli proizvoda. Iako je ta aplikacija još u razvoju, nesumnjivo će naći način za ostvarivanje profita, a u konačnici može rezultirati masovnom proizvodnjom dostupnih dizajnerskih modela.

Postupci aditivne proizvodnje neće promijeniti temeljnu strukturu globalne proizvodnje, ali će otvoriti nove mogućnosti za proizvodnju tvorevina, kalupa i ostalih alata, rezervnih dijelova itd. Nadalje, neki znanstvenici razvijaju zamjenske organe 3D tiskanjem iz pacijentovih stanica. No, kao što vrijedi i za tiskanje najjednostavnijih plastičnih i metalnih proizvoda, potrebno je dosta znanja za tiskanje organskih, živih stanica.