

SELECTION OF OPTIMAL RAPID PROTOTYPING PROCESS

IZBOR OPTIMALNOG POSTUPKA BRZE IZRADBE PROTOTIPOVA

RAOS, Pero; STOJSIC, Josip & SOMOLANJI, Marija

Abstract: *The rapid pace of new product development and the global market requirements demand rapid adaptation to new conditions and constantly adaption of new technologies. In the last few years the rapid prototyping fabrication with computer aided design (CAD) is represented in almost all industries. This paper describes the main types of prototypes, the principle of a prototype genesis designed with CAD model, and the main procedures of rapid prototyping.*

Key words: *rapid prototyping, prototype, stereolithography, SLA, selective laser sintering, SLS*

Sažetak: *Ubrzani tempo razvoja novih proizvoda, te zahtjevi globalnog tržišta zahtijevaju i brzu prilagodbu novim uvjetima i neprestano usvajanje novih tehnologija. U posljednjih nekoliko godina tehnologija brze izradbe prototipova uz računalom potpomognuto konstruiranje (CAD) zastupljena je u gotovo svim granama industrije. U radu su opisane glavne vrste prototipova, opisan je princip nastanka prototipa od konstruiranog CAD modela, te su opisani glavni postupci brze izradbe prototipova.*

Ključne riječi: *brza izradba prototipova, prototip, stereolitografija, SLA, selektivno srašćivanje laserom, SLS*



Authors' data: Pero **Raos**, prof. dr. sc., Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, praos@sfsb.hr; Josip **Stojsic**, dipl. ing. stroj., Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, jstojsic@sfsb.hr; Marija **Somolanji**, prof. mat. i inf., HEP-Plin d.o.o., Osijek, marija.somolanji@hep.hr

1. Uvod

Brza izradba prototipova (rapid prototyping) je pojam koji označava niz tehnologija kojima je moguće iz digitalnog dvodimenzionalnog prikaza nekog modela napravljenog u CAD alatima stvoriti funkcionalan i kompleksan radni prototip. To je moguće pomoću uređaja koji se specijalno nazivaju 3D printeri. Za relativno kratko vrijeme (od dva do tri sata, pa do dva do tri dana) radni model je precizno izrađen prema zahtijevanim nacrtima. Postupci brze izradbe prototipova najčešće se dijele na tri glavne kategorije [1]:

1. *Rapid Prototyping* (brza izradba prototipova);

Kategorija *Rapid prototyping* predstavlja izradbu modela na temelju 3D CAD podataka ili podataka dobivenih digitaliziranjem. Kao materijali mogu se koristiti drvo, polimeri, metali, keramika i kompoziti u raznim oblicima kao što su tekućine, prahovi, tanke ploče itd. Modeli se najčešće izrađuju u svrhu procjene oblika i dimenzija, određivanja funkcionalnosti, ergonomskih proučavanja, izrade uzoraka za kupca, fotografiranja proizvoda u marketinške svrhe itd.

2. *Rapid Tooling* (brza izradba alata);

Ova kategorija obuhvaća niz tehnika koje se koriste za brzu izradbu složenih alata, kalupa i oblika koji se zatim koriste za izradbu gotovih dijelova. Ovi se postupci najčešće primjenjuju kada se radi o malim serijama proizvoda i kada bi izrada alata uobičajenim postupcima bila jako skupa.

3. *Rapid Manufacturing* (brza izradba proizvoda);

Tehnologije za brzu izradbu prototipova primjenjuju se za izradbu gotovih dijelova koji idu u prodaju.

<i>FAZE</i>	<i>Faza 1</i>	<i>Faza 2</i>	<i>Faza 3</i>	<i>Faza 4</i>
	Planiranje	Koncipiranje	Konstruiranje	Razrada
<i>VRSTE</i>	<i>Konceptni</i>	<i>Geometrijski</i>	<i>Funkcionalni</i>	<i>Tehnički</i>
<i>PROTOTIPA</i>	<i>prototip</i>	<i>prototip</i>	<i>prototip</i>	<i>prototip</i>
F	Vizualizacija	Vizualizacija	Provedba pokusa	Izrađuju se istim
U	proporcija	točnih i	mehaničkog ili	ili sličnim
N	proizvoda	detaljnih	toplinskog	postupkom kao i
K		proporcija	opterećivanja i/ili	serijski proizvodi
C		proizvoda	montažnih	radi analize
I			karakteristika	utjecaja
J			kao dopuna	postupka
A			simulacijskim	
			metodama	

Tablica 1. Uporaba pojedinih vrsta prototipa u određenim fazama

Primjena prototipova pri razvoju proizvoda postaje sve važnijom. Razlog je u većem broju razvijenih automatiziranih postupaka brze proizvodnje prototipova koji omogućuju izravno pravljenje prototipova temeljeno na CAD modelu proizvoda u

vrlo kratkom vremenu. Modeli predstavljaju trodimenzijski prikaz stvarne tvorevine (proizvoda) u različitim mjerilima. Pri tome prototipovi predstavljaju samo jednu vrstu modela. Međutim, u sklopu brze proizvodnje tvorevina, postupci pravljenja svih vrsta modela nazivaju se postupcima brze proizvodnje prototipova, pa se za sve modele općenito uzeo naziv prototip.

Vrste modela su:

- Konceptni prototipovi (modeli);
- Geometrijski prototipovi;
- Funkcionalni prototipovi;
- Tehnički prototipovi.

Povezanost razvoja proizvoda i uporaba pojedinih vrsta prototipova u određenim fazama razvoja moguće je prikazati Tablicom 1.

2. Osnovni koraci pri brzom izradbi prototipa

Metodologija svih procesa brze izrade prototipova jednaka je i sastoji se od:

1. *Konstruiranje CAD modela (3D Solid model)*: (Slika 2a) prikazuje model koji se oblikuje pomoću jednog od brojnih softverskih paketa kao što su npr. Catia, SolidWorks, Pro/Engineer itd.

2. *Pretvaranje CAD modela u STL model*: STL format je standardni format koji se koristi za brzu izradu prototipova. Dobiva se pomoću softvera koji je specijaliziran za svaku tehniku izrade posebno. (Slika 2b) prikazuje STL format koji predstavlja trodimenzionalnu površinu koja nastaje kao sklop planarnih trokuta. Upravo zbog planarnosti trokutastih elemenata nemoguće je dobiti točno zakrivljenu površinu. Bolja aproksimacija postiže se povećavanjem broja trokuta čime se povećava veličina STL formata, a time se povećava i vrijeme potrebno za predradnje.

3. *"Rezanje" STL modela u 2D poprečne presjeke*: (Slika 2c)

4. *Generička izrada prototipa "sloj po sloj"*: ovisno o postupku, laserska ili ink-jet glava počinje stvaranje slojeva, od najdonjeg prema najgornjem. Proces skrućivanja materijala ponavlja se za svaki sloj posebno dok se ne dobije gotovi izradak odnosno tvorevina.

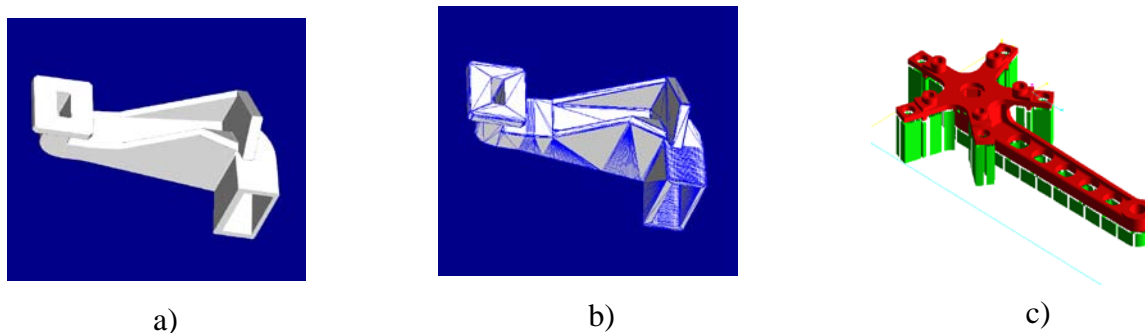
5. *Čišćenje i završna obradba prototipa*: Nakon stvaranja izratka, s njega se uklanja zaostali neželjeni materijal i brusi se ili polira kako bi se dobilo željeno stanje površine.

3. Podjela postupaka brze izradbe prototipova

Postupci brze proizvodnje omogućuju proizvodnju tvorevina vrlo kompliciranih oblika izravno iz računalnih podataka u vrlo kratkom vremenu s pomoću najčešće automatiziranih procesa. Komercijalni postupci brze izradbe (Rapid Prototypinga) su:

1. Stereolitografski postupak (*Stereolithography - SLA*);
2. Laminiranje (*Laminated Object Manufacturing - LOM*);
3. Selektivno srašćivanje s pomoću lasera (*Selective Laser Sintering - SLS*);
4. Srašćivanje taloženjem (*Fused Deposition Modeling - FDM*);
5. Trodimenzijsko tiskanje (*3D Printing - 3DP*);

6. Hibridni postupak 3DP/SLA (*Polyjet*).

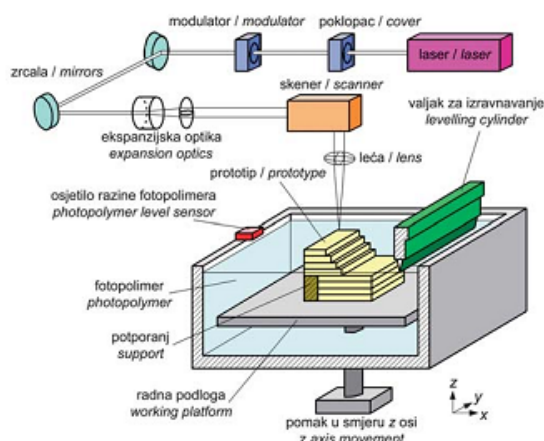


Slika 2. Osnovni koraci pri brzoi izradbi prototipa

U nastavku rada biti će opisani najvažniji komercijalni postupci brze izradbe prototipova.

3.1. Stereolitografski postupak (*Stereolithography - SLA*)

Stereolitografija je prva komercijalno dostupna rapid prototyping tehnologija u svijetu, koja je patentirana 1986. godine u tvrtki 3D Systems iz SAD-a.



Slika 3. Postupak stereolitografije - SLA [2]

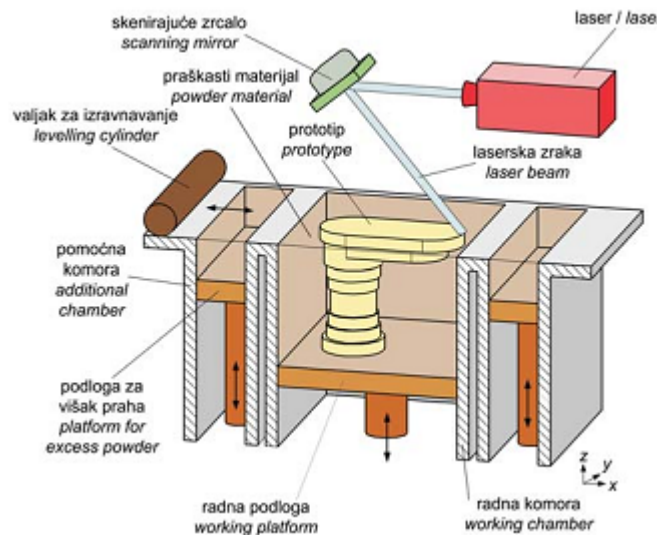
Kao materijali se rabe različite vrste fotopolimera u tekućem stanju koji su osjetljivi na ultraljubičasto zračenje. Tekućina se polijeva po potpornoj konstrukciji u tankom sloju. Budući da ova tekućina ima svojstvo da se pod UV zračenjem laserske jedinice pretvara u krutinu, tekućina se vrlo brzo pretvori u čvrstu tvar, gdje god laser osvjetli polimer. Nakon što je čitav sloj dovršen, praznine se nadopunjuju potpornim materijalom, čitav sloj spušta se niže po vertikalnoj osi pisača i sljedeći sloj se nanosi na prethodni (zbog adhezivnih svojstava materijala, slojevi se odmah spajaju i nakon nekoga vremena formiraju gotov trodimenzionalni objekt).

Prednosti stereolitografije su visoka rezolucija, moguća izrada dvobojnih prototipova, a nedostaci su ograničenje u izboru materijala (samo fotopolimeri) i slabija mehanička svojstva izrađenog prototipa.

3.2. Selektivno srašćivanje s pomoću lasera (Selective Laser Sintering - SLS)

Postupak selektivnog laserskog sinteriranja patentiran je 1989. godine također u SAD-u i danas je jedan od najvažnijih postupaka brze izradbe. Sinteriraju se praškasti materijali (poliamid, ostali plastomeri, metali) također kao i kod SLA postupka laserskim snopom.

Jedna od glavnih prednosti ove tehnike je mogućnost primjene različitih vrsta materijala. Proces također počinje od STL datoteke koja je dobivena na temelju CAD modela. Nakon toga precizni mehanizam za valjanje raspoređuje praškasti materijal po platformi. Zraka CO₂ lasera prolazi po sloju praha i grije ga na temperaturu nešto nižu od tališta. Pri tome dolazi do povezivanja čestica materijala i skrućivanja sloja prototipa. Skrućivanje praha ovisi o snazi lasera te o temperaturi sinteriranja materijala. Nakon toga se platforma spušta, nanosi se novi sloj praškastog materijala koji se sinterira i tako sve dok nije gotov čitav prototip. Prototip se skida s platforme i naknadno obrađuje ako je to potrebno. Ovom se tehnikom mogu proizvesti dijelovi vrlo složenih oblika.[1]



Slika 4. Selektivno srašćivanje s pomoću lasera (SLS) [3]

Proizvodi dobiveni SLS postupkom boljih su mehaničkih svojstava od onih dobivenih SLA postupkom, te se mogu koristiti i za funkcionalna ispitivanja, sav višak praha koji izlazi van gabarita modela ujedno služi i kao potporna konstrukcija pa nema potrebe za dodatnim potpornim materijalima i strukturama kao kod SLA i FDM tehnologija.

SLS tehnologija ima najveći raspon dostupnih materijala, budući da se sinteriraju polimeri, metali i keramike. Glavni nedostatak u odnosu na SLA postupak je manja točnost i lošija kvaliteta površine.

3.3. Trodimenzijsko tiskanje (3D Printing - 3DP)

Postupak trodimenzionalnog tiskanja (printanja) razvijen je na MIT-u u SAD-u. Osim za brzu izradu prototipova, koristi se i za proizvodnju te izradu alata. Rabe se plastomerni, metalni, keramički ili kompozitni prahovi. Princip rada ove tehnologije vrlo je jednostavan: ink-jet glava selektivno polaže veznu tekućinu na sloj praha. Na

mjestima gdje tekućina pada na prah, čestice praha se lijepe zajedno u krutu tvar, dok se nepovezani prah oko "polivenih" područja zadržava kao privremena potpora. Platforma s modelom se zatim spušta, dodaje se novi sloj praha i proces se ponavlja [1]. Kada se model dovrši, sav suvišan prah "ispuše" se pomoću zraka pod tlakom, a model može ići na dodatnu obradu voskom, ljepilom i sličnim tvarima koje povećavaju trajnost. Tipična debljina sloja je oko 1 mm, što površinu ovakvih modela čini znatom i neuglednom, a ni preciznost dobivenih modela nije previše velika.

4. Izbor optimalnog postupka brze izradbe prototipa

Na tržištu je trenutačno velik broj postupaka brze proizvodnje tvorevina, a trajno se razvijaju novi postupci. Svaki od postupaka ima određene prednosti, ali i nedostatke u usporedbi s ostalim postupcima. Postoji mnogo čimbenika o kojima valja voditi računa pri izboru optimalnog postupka brze proizvodnje tvorevina. Moguće ih je podijeliti u četiri temeljne skupine: [4]

fizikalni i mehanički čimbenici - ubraja se točnost i preciznost izmjera i oblika prototipne tvorevine, postojanost izmjera prototipnih tvorevina, toplinska svojstva prototipnih tvorevina, prozirnost.

Potrebno je izabrati postupak koji omogućuje pravljenje prototipnih tvorevina koje zadovoljavaju postavljene zahtjeve na fizikalna i mehanička svojstva tvorevine. Najčešće su pri izboru pojedinog postupka ključna svojstva materijala od kojeg se pravi prototipna tvorevina.

Rabe li se prototipne tvorevine za potrebe funkcijskih ispitivanja, kao konačni proizvodi ili za potrebe brze proizvodnje kalupa, bitna su i mehanička svojstva prototipne tvorevine. Postupci brze proizvodnje tvorevina ponajprije se razlikuju na temelju postignute gustoće i čvrstoće prototipnih tvorevina ili drugih mehaničkih svojstava specifičnih za određenu namjenu prototipne tvorevine.

parametri procesa proizvodnje prototipova - kao najvažniji čimbenik ove skupine kriterija izbora postupka brze proizvodnje tvorevina javlja se veličina prototipne tvorevine koju je moguće načiniti na određenoj opremi. Veličina prototipne tvorevine uglavnom ovisi o veličini radnog prostora uređaja za pravljenje tvorevine.

mogućnost uporabe načinjenih prototipova - mogućnost uporabe prototipnih tvorevina uglavnom je definirana vrstom uporabljenog materijala koji je moguće preraditi određenim postupkom.

gospodarski kriteriji - pri izboru optimalnog postupka brze proizvodnje tvorevina, uz tehničke karakteristike, treba uzeti u obzir i ostale karakteristike koje utječu na cijenu i kvalitetu prototipova. Ponajprije to su nužnost stručnog nadzora tijekom pravljenja prototipne tvorevine, mogućnost automatiziranja postupka te pripreme i prijenosa podataka, vrijeme izobrazbe za rad na opremi, nužnost naknadne obradbe prototipnih tvorevina, troškovi opreme i njezina održavanja, troškovi prerađivanih materijala itd. Prema ovim kriterijima dolazimo do zaključka da izbor tehnologije brze izradbe proizvoda ovisi o njegovoj namjeni, cijeni uređaja i materijala za izradu, veličini proizvoda i ostalim značajkama. (tablica 2)

RP POSTUPAK	Točnost / debljina sloja, mm	Materijal prototipa	Kvaliteta površine	Maksimalne dimenzije prototipa, mm	Približna cijena, USD
Stereolitografski postupak - SLA	odlična/ 0,05	Epoksidi, akrilati	vrlo dobra	1500 · 750 · 500	Od 75 000 do 800 000
Selektivno srašćivanje s pomoću lasera - SLS	vrlo dobra / 0,12	PC, PA, vosak, metali, keramike	odlična	700 · 380 · 580	Oko 300 000
Trodimenzijsko tiskanje – 3DP	vrlo dobra / 0,15	Polimeri, metali	dobra	200 · 200 · 150	Od 20 000 do 70 000

Tablica 2. Usporedba postupaka brze izradbe prototipova

5. Zaključak

U današnje vrijeme postoji potreba izdavanja proizvoda na tržište koji su prilagođeni željama i potrebama kupaca. Također potrebno je proizvod razviti, proizvesti i plasirati na tržište prije konkurentnih tvrtki. Konvencionalnim postupcima razvoja proizvoda ovi zahtjevi nisu mogli biti potpuno zadovoljeni. Iz ovih razloga su razvijene tehnologije brze izrade proizvoda i to direktni i indirektni postupci. Konstantna poboljšanja postupaka i tehnologija brze izrade proizvoda u budućnosti će dovesti do brze izrade dijelova koji su identični masovno proizvedenim dijelovima, čime će biti omogućena mehanička i ostala ispitivanja proizvoda. Biti će omogućena velika fleksibilnost pri razvoju proizvoda i razvoju alata za izradu manjih serija proizvoda koji imaju različite značajke, kao što su kalupi za injekcijsko prešanje polimernih materijala.

6. Literatura

- [1] Filetin, T.; Kramer, I. (2005). *Brza izrada prototipova* Dostupno na: <http://www.gradimo.hr/Brza-izrada-prototipova/hr-HR/8089.aspx>, Pristup: 21-05-2010
- [2] Saurkar, S.; Malloy, R. & McCarthy, S. (1999): *Rapid tooling: a study of different cooling techniques for mold inserts used in direct AIM (Aces Injection Molding) process*, ANTEC '99, str. 1105-1108 Conference Proceedings, Society of Plastics Engineers, New York
- [3] Agarwala, M.; Bourell, D.; Beaman, J.; Marcus, H. & Barlow, J. (1995). Direct selective laser sintering of metals, *Rapid Prototyping Journal*, 1(1995)1, str. 26-36.
- [4] Grimm, T.: *Stereolithography, Selective Laser Sintering and PolyJet: Evaluating and Applying the Right Technology*, Dostupno na: www.atirapid.com, Pristup: 17-05-2010.



Photo 157. Students / Studenti