

3D-TISK

VEČFUNKCIONALNEGA OBJEKTA Z DVEMA TEHNOLOGIJAMA

Simona PEROVŠEK, Andrej ISKRA, Helena GABRIJELČIČ TOMC

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta

3D-tehnologije so danes v izjemnem vzponu, njihova uporaba pa se iz zaprtih inženirskih krogov širi na vsa področja človekovega udejstvovanja. Prisotne so na veliko področjih človekovega delovanja, ustvarjanja in komuniciranja ter nas iz dneva v dan presenečajo in bogatijo s svojimi neomejenimi možnostmi. Delimo jih na programsko (3D-modelirniki in drugi 3D-grafični programi) in strojno opremo (3D-skenerji in 3D-tiskalniki). Njihov namen je izboljšati komunikacijo med subjekti in vizualno predstaviti o kakem procesu ali objektu ⁽¹⁾.

Namen članka je predstavitev postopka izdelave izdelka, od načrtovanja, postopka priprave prek 3D-modeliranja, optimizacije do 3D-tiska in primerjave rezultatov večfunkcionalnega unikatnega objekta, natisnjenega z dvema tehnologijama. Načrtovali in oblikovali smo vazo, ki ima poleg osnovne funkcije dodatno možnost uporabe dišav v obliki dišečih kroglic za prostor. Vaza je bila natisnjena s tehnologijama 3DP (kapljično-prašno ciljno nalaganje) in FDM (termoplastična ekstruzija).

Priprava za 3D-tisk in 3D-modeliranje

Priprava za 3D-tisk je vključevala prostoročni izris skice modela večfunkcionalne vaze in 3D-modeliranje. Računalniško podprto 3D-modeliranje je proces, pri katerem uporabnik z grafičnim vmesnikom zmodelira predmet v treh dimenzijah, rezultat pa so geometrična telesa v prostoru, ki so običajno prikazana na ploskem mediju. Računalnik izračuna geometrične prostorske modele s pomočjo kompleksnih



Nova različica platforme Fiery za upravljanje digitalnih tiskarskih sistemov rezanega papirja.

Nova platforma Fiery za digitalne tiskarske sisteme

Proizvajalec sodobne programske in strojne grafične opreme EFI je predstavil novo platformo Fiery za upravljanje sistemov digitalnega tiska s pole. Uporabniški vmesnik FS150 Pro DFE omogoča integracijo v MIS- in ERP-sisteme.

S štiriprocesno osnovo aktualna različica rastrsko procesnega modula Fiery Hyper RIP obdeluje podatke znatno hitreje. Nova tehnološka osnova upravljalnika delovnih nalogov FS150 Pro pa sistemu Fiery-DFE zagotavlja učinkovitejšo produkcijo na splošno.

Vmesnik Fiery FS150 Pro DFE uporabnikom omogoča uporabo različnih funkcij obdelave, kot smo jih vajeni iz prejšnjih različic. Dodane pa so nekatere nove, kot je funkcija Greyscale Composite Overprint, ki zagotavlja korektno upodobitev senc, prosojnih in prekrivajočih slojev predlog za črno-beli tisk.

Fiery Image Viewer, orodje za upravljanje barvnih izvlečkov, omogoča barvno upravljanje barvnih tonov v zadržnem hipu pred tiskom.

Vmesnik Fiery FS 150 Pro DFE je možno integrirati v sistem Fiery Command Work Station, kar uporabnikom prinaša dodatne funkcije samodejnega nadzora in upravljanja nalogov. Delovni procesi so tako strežniško samodejno vodeni, upravlja pa jih lahko poljubno številni administratorjev.

Več informacij na www.efi.com.

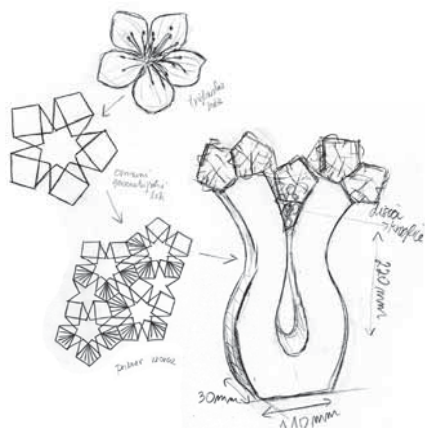
www.graficar.si



Preglednica 1: Specifikacije 3D-tiskalnikov ZPrinter 450 in RapMan 3.1.



ZPrinter 450		BFB – RapMan 3.1
3DP – kapljično-prašno nalaganje	Tehnologija	FDM – termoplastična ekstruzija
30.000	Cena (EUR)	1.000
Visokokakovostni prah, materiali za neposredno litje, materiali za litje, elastomerni materiali	Materiali	ABS, PP, PLA, HDPE, UPVC
0,089 - 0,203	Debelina plasti (mm)	0,125 - 0,5
300 × 450	Resolucija tiskanja (dpi)	200 × 200
Ne potrebuje	Podporni material	da
203 × 254 × 203 mm	Delovna površina (mm)	190 × 205 × 200 mm
Hitrost, natančnost, visoka ločljivost, barvni 3D-tiskalnik, ni odpadkov	+	Cena, prilagodljivost, širok izbor materialov
Cena	-	Manjše dimenzije, počasnost, slabša natančnost



Slika 1: Konceptualne skice in optimizirana 3D-modela za posamezni tehnologiji tiska (levo za kapljično-prašno ciljno nalaganje, desno za termoplastično ekstruzijo).

prostorskih operacij, upodobljevalni pogon pa na podlagi osvetljevalnih sistemov, tekstur, materialov, algoritmov za senčenje in nastavitve virtualne kamere upodobi oz. izriše končno podobo 3D-objekta ⁽²⁾. Na splošno lahko tehnike 3D-modeliranja površin (angl. surface modeling) delimo na poligonsko modeliranje ali modeliranje s krivuljami (angl. spline, patches, NURBS). Model smo v našem primeru pripravili v programu Rhinoceros (<http://www.rhino3d.com/>). To je samostojni programski paket, ki je bil prvotno razvit za oblikovanje plovil, torej predvsem amorfnih oblik. V sodobnem računalniško podprtem načrtovanju se uporablja za industrijsko oblikovanje, arhitekturo, oblikovanje nakita, avtomobilov, za izdelovanje prototipov in za številne druge rešitve. Specializiran je za risanje z orodji NURBS, ki omogočajo prosto, neuniformirano modeliranje.

Modeliranje s krivuljami

NURBS (angl. Non Uniform Rational Basis Spline) so matematični modeli, ki se v računalniški grafiki uporabljajo za generiranje in predstavitev krivulj in površin. Matematično definirane krivulje so sestavljene iz krivulje in kontrolnih točk. Med NURBS-krivuljami model sestavljajo t. i. NURBS-površine (angl. NURBS patches). Glavna razlika od poligonov in poligonskega modeliranja, ki sta v računalniški grafiki najbolj zastopani tehniki 3D-modeliranja, je v tem, da so matematično definirane, kar pomeni, da je njihova kakovost linearna (s približevanjem ne izgubimo kakovosti). S kontrolnimi točkami imamo pri delu z NURBS-krivuljami večji nadzor v primerjavi z drugimi tipi



krivulj. Posledično ta vrsta krivulj omogoča veliko prilagodljivost in natančnost pri samem modeliranju ^(3,4).

Format izvožene datoteke

3D-tiskalniki sprejemajo le nekatere vrste datotek, nekateri podpirajo več različnih formatov, npr. STL, VRML, 3DZ in PLY, nekateri pa samo enega. Najpogosteje se uporablja format STL (angl. StereoLithography, Standard Tessellation Language) ameriškega podjetja 3D-Systems. STL je poseben zapis, ki trirazsežen objekt ponazarja z množico trikotnih povezanih ploskev. Natančnost STL-zapisa lahko pri izvozu nastavimo, zatakne pa se lahko pri usmeritvi normal trikotnikov. Obrnjene normale po navadi pomenijo neuporaben izdelek, česar pa pri izvozu ne opazimo. Zato je potrebna posebna pozornost, da je položaj objekta v absolutnem koordinatnem sistemu programske opreme CAD. Pred izvozom v STL-zapis mora biti objekt v celoti v pozitivnem oktantu koordinatnega sistem.

Optimizacija modela

Izbor vaze, predvidene za tisk, je temeljil na primernosti konstrukcije modela glede na izbrani tehnologiji in na načinu združevanja obeh funkcij uporabe. Pri optimizaciji za prvi tisk s tehnologijo 3DP (kapljično-prašnim ciljnim nalaganjem, 3DP) je šlo predvsem za povečanje debelin sten in detajlov ter zagotavljanje nosilnosti in potrebne opore. Cilj optimizacije v drugem primeru, termoplastične ekstruzije FDM, je bil izdelati optimalen izdelek in kar najbolje izkoristiti potencial 3D-tiskalnika. Zunanja podoba vaze v grobem osta-

ja enaka, glavna sprememba je bila v višini. Vzorec v zgornjem delu je bil v procesu optimizacije precej poenostavljen, izbranih je bilo veliko detajlov, nosilne stene pa so dobile večji premer (slika 1).

Prototipiranje in hitra izdelava

Hitra izdelava prototipov (angl. Rapid prototyping - RP) izhaja iz časov nastajanja prvih tehnologij, ko mehanske lastnosti uporabljenih materialov niso ustrezale ničemu drugemu kot ogledovanju in tipanju izdelkov. Razvoj na področju tehnologij, predvsem materialov, je privedel do stanja, ko izraz prototip pogosto ni več ustrezen, saj s temi tehnologijami namesto prototipov velikokrat izdelujemo kar končne izdelke. V takih primerih govorimo o hitri izdelavi (angl. Rapid Manufacturing - RM), ki je v primerjavi s klasično proizvodnjo za velike serije primerna le za majhne serije in ekskluzivne izdelke. Posplošeno lahko trdimo, da je hitra izdelava vsak izdelovalni postopek, pri katerem pridemo od CAD-datoteke do fizičnega izdelka s čim manj človeškega posredovanja. 3D-tisk se uvršča med postopke hitre izdelave in tudi med dodatne 3D-tehnologije, kjer 3D-objekt nastaja z dodajanjem materiala v plasteh. 3D-tiskalniki so običajno hitrejši, dostopnejši in enostavnejši za uporabo kot druge dodatne tehnologije ⁽⁵⁾.

3D-tisk večfunkcionalnih vaz

Pri tisku je bila najprej uporabljena tehnologija tiskalnika ZPrinter 450 podjetja Zcorporation, katerega zastopnik na slovenskem trgu je podjetje IBProcadd, d. o. o. Druga uporabljena je bila tehnologija 3D-tiskalnika RapMan 3.1 DH-NS, ki ga v študijske in raziskovalne namene uporabljamo v prostorih Oddelka za tekstilstvo Naravoslovno-tehniške fakultete.

Če povzamemo specifikacije izbranih 3D-tiskalnikov iz preglednice 1, so glavne prednosti Zprinterja 450 hitrost, natančnost, ločljivost in dejstvo, da ne potrebuje podpornega materiala in posledično ne proizvaja odpadkov. Negativna stran v primerjavi z RapMan 3.1 je le cena, ki je precej višja. Kot slabosti RapMana lahko štejemo dimenzije, počasno izdelavo in nenatančnost. Prednosti sta velika izbira materialov in prilagodljivost. Primerjava lastnosti obeh 3D-tiskalnikov podaja razliko v kategoriji,



Sistem serije Kodak Prosper 6000.

Kodak predstavi nov sistem serije Prosper 6000

Kodak je nedavno javnosti ponudil dva modela sistemov serije Prosper 6000: Kodak Prosper 6000C za tisk barvno zahtevnih aplikacij (komercialnih tiskovin) in Kodak Prosper 6000P, ki je namenjen založniškim projektom, torej tisku časopisov in knjig, ki običajno zahtevajo uporabo papirja nižjih gramatur.

Kodak je z novo serijo sistemov Prosper 6000 predstavljal rešitev, ki integrira inovativne sisteme vodenja papirja, sušenja in kapljčnega izpisa. Vse skupaj je vodeno s tako imenovanim pametnim sistemom za tisk (Intelligent Print System - IPS), ki primarno skrbi za nepretrgan proces tiska s konsistentno visoko kakovostjo.

Oba modela nove serije Prosper 6000 sta združljiva s premaznimi in nepremaznimi papirji in izpisujeta pri hitrosti 300 m/min., kar je 2,5-krat višja produkcijska hitrost tiska v primerjavi s sistemom serije Prosper-5000-XL. Nova sistema sta namenjena mesečnemu produkcijskemu ciklu 90 milijonov A4-strani na mesec v najbolj kakovostnem načinu izpisa. Naprednejši sistem sušenja modela Kodak Prosper 6000 C pa omogoča tisk tudi na papirje višjih gramatur, premazne ali nepremazne, s hitrostjo največ 200 200 m/min.

Oba modela sta opremljena z nadgrajenim sistemom upravljanja IPS, ki skrbi za konsistentno korektno barvno upodobitev in kontinuiran barvni nadzor in nadzor skladja. Nova sistema uporabljata nova nanobarvila, ki zagotavljajo večji barvni obseg izpisov in z ofsetom primerljive tiskovne rezultate na nepremaznih in premaznih papirjih.

Po besedah proizvajalca sta nova modela predvsem odgovor na vse večje potrebe po tisku na zahtevo najvišje kakovosti in naročilih tiska vse manjših naklad.

Več informacij na graphics.kodak.com.

www.graficar.si

torej prvi je predvsem zaradi stabilnosti namenjen profesionalni uporabi, RapMan 3.1 pa ponuja prednosti za osebno in raziskovalno rabo. V nadaljevanju sledi natančnejši opis postopka tiska s kratko primerjavo.

ZPrinter 450

Postopek temelji na spajanju prašnega materiala z nanašanjem veziva. Mobilna enota najprej zajame nekaj prahu iz posode, ko se premika, strese na delovno površino tanko plast materiala, ki se s pomočjo valja enakomerno razporedi po podlagi. Ko je plast prahu razporejena, inkjet tiskalna glava v gladko plast prahu natisne prečni prerez na spodnjo plast modela, pri čemer se prah zlepi. Podlaga se nato zniža za 0,1016 mm, potem se nanjo naloži nova plast prahu. Tiskalna glava nanese vezivo za naslednji prečni prerez, ki se zlepi z že narejeno spodnjo plastjo. Po končanem 3D-tiskanju nevezani prah obkroža in podpira nastali model. Ko se materiali strdijo, je treba odstraniti nevezani material in model odstraniti s podlage.

V našem primeru je bil natisnjen 3D-model dovolj trpežen za prenašanje, držanje in proučevanje, a še vedno precej krhek. Premaz je zagotavljal lepši lesk modela, povečala pa se je tudi trdnost. Za konceptualne modele se običajno uporablja impregnirani na cianokrilatni osnovi, funkcionalne modele pa prevažamo z epoksi impregnanti, ki naredijo material trden in tog. Vazo smo impregnirali s cianokrilatnim lepilom, ki je brezbarvno in je dobro utrdilo model, vendar ni zagotavljalo neprepustnosti za vodo. Nadaljnje možnosti površinske obdelave modela bi bile lahko še brušenje, peskanje, kitanje, barvanje, rezanje, a modela vaze, razen lakiranja, nismo dodatno mehansko obdelovali.

RapMan 3.1

Pri procesu tiska s FDM-tehnologijo se plastični material z zvitka odvija v brizgalno glavo, kjer se stopi do poltekočega stanja. Glava je pritrjena na mehanizem, ki se pomika v horizontalnih in vertikalnih smereh ter brizga stopljen material skozi majhno šobo v tankih plasteh. Plastika se v trenutku, ko je izbrizgana, strdi in sprime s prejšnjo plastjo. Predhodni sloj je tako podpora naslednjemu.



Slika 2: Končni večfunkcionalni vazi, iztiskani s tiskalnima ZPrinter 450 in RapMan 3.1.

Ker RapMan 3.1 ni tako stabilen kot ZPrinter 450, je bilo potrebnih več poskusov, da smo prišli do zadovoljivega rezultata. Poskušali smo z različnimi dimenzijami in debelinami detajlov ter iskali optimalno rešitev. Poskušali smo s tiskom vaze v enem kosu, vendar so se v obeh primerih zaradi dolgotrajnega tresenja proti koncu tiska razrahljali vijaki, ki povezujejo osi. Posledično se je vaza premaknila s podlage in tisk smo morali prekiniti. Ena od možnosti, da bi zagotovili dober rezultat, bi bil tisk obeh stranic v vodoravnem položaju, nato pa bi jih zlepili skupaj. S tem bi zmanjšali možnosti za tehnične napake, ki bi se lahko pojavile na 3D-tiskalniku, saj bi se občutno zmanjšala višina tiska in posledično tudi skrajšal čas. Ker pa tisk z RapManom 3.1 DH-NS ni potekal na ogrevalni plošči, ki zmanjša notranje napetosti v izdelku in omogoča izdelavo izdelkov velikih dimenzij, so se pojavile težave in ležeči tisk se ni izkazal kot primeren. Rešitev zapletov smo našli s tem, da smo v pripravi vazo razdelili na polovico in jo pomanjšali na 60 odstotkov originalne velikosti. Tokrat je tisk potekal skoraj brez zapletov in oba dela sta se uspešno natisnila. V procesu obdelave sta bila natisnjena dela v prvem koraku obdelana z acetonom. Zunanja plast se je nekoliko stopila in ustvarila bolj enakomerno, gladko in sijočo površino. Sledila sta odstranitev tiskane podlage in brušenje grobih robov.

V naslednjem koraku smo dela zlepili s cianokrilatnim lepilom in izdelek na koncu še enkrat postavili nad acetonove hlape za bolj enakomerno površino.

Tisk z ZPrinterjem je bil neproblematičen, v drugem primeru pa smo naleteli na kar nekaj težav. Večji ko je model v primeru tiskalnika RapMan 3.1, večja je možnost za napake. Posebej pozorni moramo biti tudi na tisk zelo majhnih debelin, saj ta 3D-tiskalnik ni tako natančen. Pri pripravi in modeliranju je zato treba model optimizirati in precej prilagajati. Ker je tisk potekal brez podpornega materiala, je bilo treba paziti tudi na previse.

Tehnična primerjava 3D-tehnologij in vizualna primerjava izdelkov

Primerjavo natisnjenih fizičnih modelov s tehnično oceno podaja preglednica 2. Analizirane so prednosti in slabosti obeh tehnologij tiska glede na zahtevnost tiskanega modela.

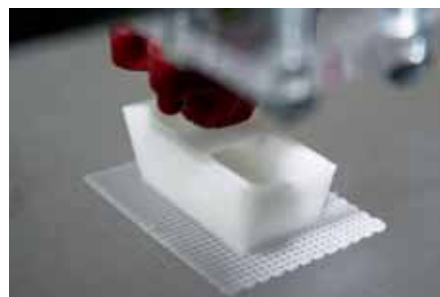
Čeprav tiskalnik Zprinter 450 omogoča barvni tisk, smo se odločili za monokromatski tisk v naravni beli barvi kompozitnega materiala. Uporabljen je bil prah ZP 150 iz mavca in dodatkov. Za tisk z RapManom je bila uporabljena bela ABS (akril-butadien-stiren) plastika proizvajalca BitesFromBytes. V obeh primerih je tisk potekal brez podpornega materiala.

Dimenzije vaz se precej razlikujejo, vaza ZPrinterja je skoraj enkrat večja od druge. Čeprav je bilo prvotno načrtovano, da bo premer najmanjših detajlov v drugem primeru večji (debelina tiskane plasti je približno trikrat večja), je na koncu zaradi pomanjšane oblike tudi tu 1,5 mm. Tiskanih plasti je bilo pri ZPrinterju 395, pri RapManu pa 480. Pri tem moramo upoštevati dejstvo, da je šlo v prvem primeru za ležeči tisk, v drugem pa za pokončnega. Za primerjavo: če bi prvo vazo tiskali v višino (neizvedljivo zaradi velikosti), bi moral 3D-tiskalnik natisniti kar 2585 plasti.

To bi seveda pomenilo tudi, da bi se zelo podaljšal čas tiska, ki je bil pri ZPrinterju dve uri in pol, RapMan pa je za tisk obeh delov manjše vaze potreboval več časa, kar štiri ure in pol. Povprečen čas tiska ene plasti z



Slika 3: 3D-tiskanje na tiskalnikih ZPrinter 450 in RapMan 3.1.



ZPrinterjem je bil tako 23 sekund, z RapManom pa 34, pri čemer je treba še dodatno poudariti, da je površina tiskane plasti v drugem primeru veliko manjša.

Količina porabljenega materiala je bila v prvem primeru 234,14 cm³, v drugem pa 37,99 cm³. Teža prve vaze je približno 450 g, druge pa 36,18 g (teža vaze enakih dimenzij kot pri ZPrinterju bi bila 212,7 g).

Kot je razvidno s slike 3, se vazi najbolj razlikujeta v velikosti. Vaza, natisnjena s 3D-tiskalnikom ZPrinter 450, je enkrat višja od vaze, ki je bila natisnjena z RapManom. Naslednja stvar, ki jo opazimo, sta barva in tekstura. Ker je bila druga vaza iz ABS plastike obdelana z acetonom, ima bolj gladek, svetleč videz. Čeprav sta bila na prvo vazo nanešena sekundno lepilo in brezbarven lak, je imela na otip nekoliko hrapavo teksturo. V obeh primerih so imeli tiskani detajli premer približno 1,5 mm, vendar jih je ZPrinter natisnil veliko bolj natančno in brez težav. Za RapMan 3.1 so

bili ti detajli veliko večji zalogaj, bili so neostri in ponekod deformirani. Po drugi strani pa se je izdelek izkazal v večji trdnosti in odpornosti proti morebitnim poškodbam. V primerjavi s prvo vazo, ki ni bila vodotesna, smo lahko v drugo zaradi plastičnega materiala brez skrbi nalili vodo.

Literatura:

1. Portal 3D-tehnologij 3Dt.si [dostopno na daljavo]. [citirano 10. 2. 2014]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.3dt.si/3D-Studio/O-nas/o-nas.html>>.
2. Erzetič, Blaž, Gabrijelčič, Helena. 3D – od točke do upodobitve. 2. izdaja, Pasadena, 2010.
3. Piegl, A. Les. The NURBS Book (Monographs in Visual Communication). 2. izdaja. Springer, 2013.
4. NURBS. V Blatnik [dostopno na daljavo]. Obnovljeno 30. 1. 2011 [citirano 10. 2. 2014]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.blatnik.net/oki/3D-modeling/nurbs.htm>>.
5. Kaj je hitra izdelava prototipov, orodij in izdelkov. V Rapiman [dostopno na daljavo]. 2012 [citirano 10. 2. 2014]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.rapiman.net/faq.php?subpid=3>>.

Preglednica 2: Primerjava karakteristik tiska modela na obeh 3D-tiskalnikih.

ZPrinter 450	Material	BFB – RapMan 3.1
Visokokakovostni prah ZP 150 (mavec, dodatki)		ABS plastika
ne	Podporni material	Ne
13,3 × 3,5 × 23	Dimenzije (mm)	6,85 × 2,1 × 12
1,5	Velikost min. detajlov (mm)	1,5
0,089	Debelina tiskane plasti (mm)	0,25
395 (ležeči tisk)	Število tiskanih plasti	480 (tisk v višino)
2,5	Čas tiska (h)	4,5
23	Čas tiska ene plasti (s)	34
234,14	Volumen porabljenega materiala (cm ³)	37,99
458,5	Teža (g)	36,2