

Professional paper / Stručni rad
Manuscript received: 2017-03-17
Revised: 2019-03-12
Accepted: 2019-03-15
Pages: 149-164

Rješavanje problema visećih dijelova kod 3D ispisa

Zoran Hercigonja, mag.edu.inf.

Druga gimnazija Varaždin

zoran.hercigonja@gmail.com

Sažetak: Viseći dijelovi kao samostalne strukture nadograđene na podlogu ili prethodni sloj, sklone su uvijanju ili drugim deformacijama. Dakle, većina 3D aditivnih procesa proizvodnje poput FDM/FFF, SLS, EBM, LOM, PBIH3DP i STL predstavljaju u procesu kreiranja 3D proizvoda inkrementalno slaganje tankih, fleksibilnih slojeva. Problem visećih dijelova generički je termin za bilo koju „viseću“ strukturu (strukturu negativnog kuta). Ukoliko se radi o objektima čiji viseći dijelovi premašuju kut od 45°, potrebno je pribjeći korištenju potpornih struktura. Potporne strukture podrazumijevaju pasivnu strukturu koja nije dio ispisanog objekta, a daje mu strukturalnu podršku to jest onemogućava pojavu deformacije oblika. Upravo sve kompleksniji 3D modeli zahtijevaju mnoštvo visećih dijelova. Međutim, da bi se stvorio kvalitetan proizvod uz što manje otpada i pogrešaka potrebno je u ranim fazama projektiranja, vizualizirati potporne strukture pomoću softvera.

Ključne riječi: 3D ispis, viseći dijelovi, samostalna struktura, STL, modeli

UVOD

3D ispisom nazivamo procese koji se koriste pri izgradnji i sintezi trodimenzionalnih objekata uzastopnim formiranjem tankih slojeva. Objekti su računalno kreirani te opisani kao 3D modeli koji mogu biti gotovo bilo kakvog oblika. Računalne 3D modele interpretiraju 3D pisači koji i izrađuju fizičku kopiju 3D modela. Gledajući samu povijest 3D ispisa, preteče 3D pisača kao i oprema te materijali za njih izrađeni su u 1980-im godinama. Najprije je Hideo Kodama 1981. godine izumio metodu aditivne izrade trodimenzionalnih plastičnih modela koristeći foto učvršćujući polimer kontrolirajući izlaganje ultraljubičastim zrakama. Potom je 1984. godine Chuck Hull osmislio je prototipni sustav koji je baziran na stereolitografiji (STL). Upravo će stereolitografski STL format podataka kasnije postati široko primijenjen u programima specijaliziranim za 3D ispis gdje se zadržava i do danas. Kada govorimo o 3D ispisu metalnih proizvoda dotadašnja su iskustva bila vezana uz oduzimanje materijala. Drugim riječima, od veće količine materijala tehnikama tokarenja, glodanja i sličnim kreirali su se objekti prema predloženim nacrtima. Aditivnim tehnikama 3D ispisa upravo se poradilo na uštedi materijala jer se umjesto tehnike oduzimanja radi o tehnikama koje dodaju slojeve materijala te tako grade fizičke 3D objekte. Osim uštede materijala, 3D ispis je stvorio nove spoznaje i granice ispisivanja različitih oblika. Osim novih spoznaja, došlo se i do nove problematike. Zahtjevi 3D ispisa postaju sve veći to jest ispis kompleksnijih 3D modela koji sadržavaju takozvane viseće dijelove (engl. *Overhang*). Budući da je poznato da postupak kreiranja 3D objekata podrazumijeva slojevitost u ispisu i kreiranju, viseći dijelovi ne bi mogli biti kreirani zbog utjecaja sile gravitacije prilikom procesa ispisa. Stoga ovaj rad nudi pregled problematike 3D ispisa s aspekta visećih dijelova, ali i nudi moguća rješenja ili potporu za rješavanje ispisa visećih dijelova.

2. PROCES ADITIVNE PROIZVODNJE

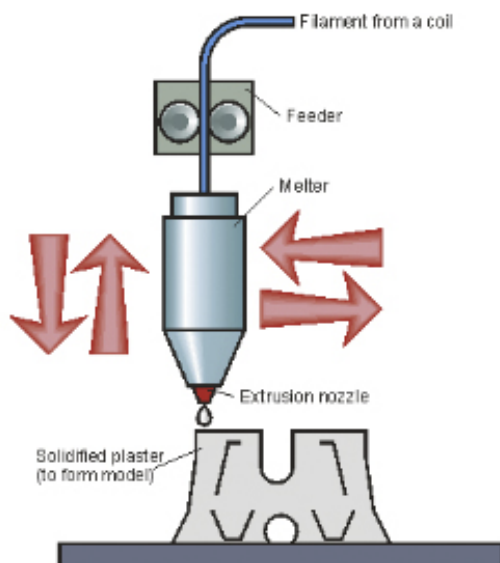
3D ispis ili aditivna tehnologija proizvodnje je način za izradu predmeta izravno iz digitalne datoteke [1]. Tradicionalna proizvodnja se oslanja na tehnologije koje izrađuju predmete izravno iz većih blokova, slojeva materijala ili skupih kalupa. Za razliku od toga, 3D ispis je proces gradnje predmeta sloj po sloj. Najranija uporaba proizvodnji aditiva je tijekom kasnih 1980-ih i ranih 1990-ih. Uzevši u obzir da je prvi 3D pisač jednobojni proizveden 1988. god., a prvi 3D pisač u boji 2000. god. zaključujemo da je tematika 3D ispisa relativno mlada.

3D pisač postoji od 1986. godine, no u to vrijeme njegova proizvodnja bila je skuplja nego danas, a i bio je prilično ograničen u tome što može proizvesti. Kasnih 1980-ih su se počeli koristiti termini *Rapid Manufacturing*, zatim *Additive Manufacturing* ili *stereolitografija*, da bi se nakon nekoliko godina u upotrebu uveo pojam 3D ispis. Na važnosti dobiva tek 1990. godine kada je već u nekoj mjeri prošao kroz fazu prilagodbe tržištu. Licencirao ga je MIT (engl. *Massachusetts Institute of Technology*) u SAD-u, a tvrtka se

zove 3D Systems [2]. U početku je bio popularan samo u inženjerstvu, arhitekturi i industriji. Primjena postupaka za izradu 3D modela raste iz dana u dan i prisutna je u svim industrijskim granama. Neki od podataka koji tome svjedoče su: 1993. godine je bilo 80 tvrtki koje su pružale usluge izrade modela, a krajem 2001. godine taj se broj popeo na 397. Skoro svako veće poduzeće si ga u današnjici može priuštiti. 1993. godine proizvođači su prodali 157 jedinica za izradu modela, dok se u 2003. godini taj broj popeo na 14.000 [3]. Tehnologija se i dalje razvija na razne načine. Procesi su sve brži, materijali i oprema su jeftiniji, a sve više se koriste materijali poput metala i keramike. Strojevi za tisak sada su u rasponu od veličine malog automobila do veličine mikrovalne pećnice. Nekoliko je aditivnih procesa promijenilo način ispisa 3D objekata.

FUSE DEPOSITION MODELING (FDM) ILI FUSE FILAMENT FABRICATION (FFF)

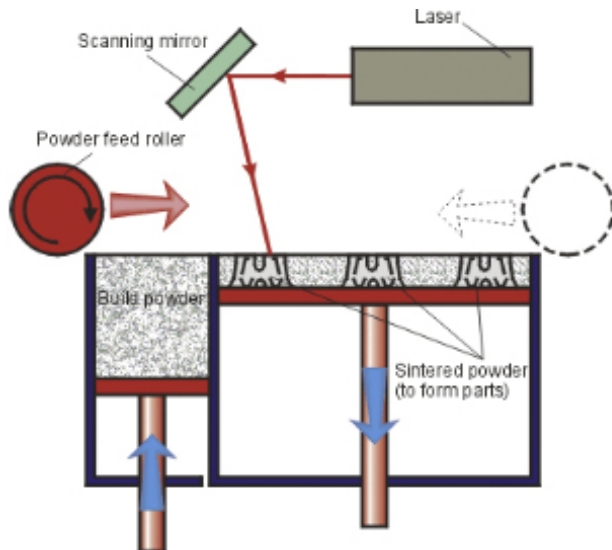
Proces u kojem se plastika u obliku žice (tzv. *filament*) topi, te se mlaznicom nanosi u vrlo tankim slojevima pri čemu se odmah stvrdne. Cijena filameta iznosi otprilike 200 kn po kilogramu. Što se završne obrade tiče, ova se plastika može brusiti, lijepiti i bojati akrilnim bojama. FDM i FFF tehnologije ispisa nalazimo gotovo isključivo u kućnim uređajima.



Slika 1. Prikaz FDM/FFF procesa (preuzeto iz [4])

SELECTIVE LASER SINTERING (SLS)

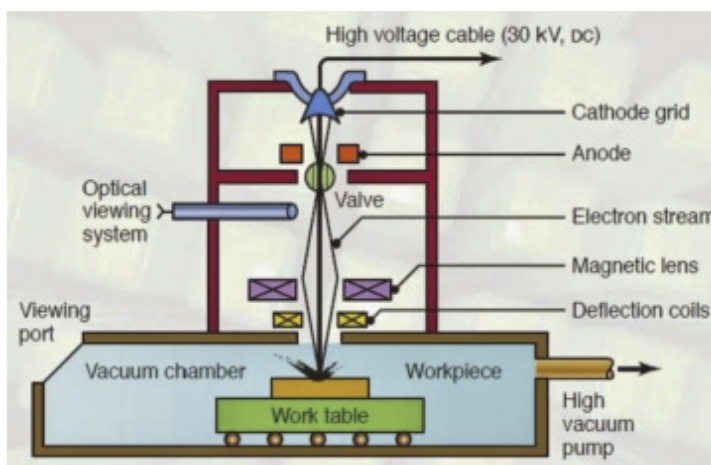
Tehnologija korištena kod profesionalnih 3D pisaa, a temelji se na fokusiranoj laserskoj zruci koja stapa praškastu sirovinu u čvrst materijal. Sirovine su najčešće legure metala, plastike, keramike ili stakla.



Slika 2. Prikaz SLS procesa (preuzeto iz [4])

ELECTRON BEAM MELTING (EBM)

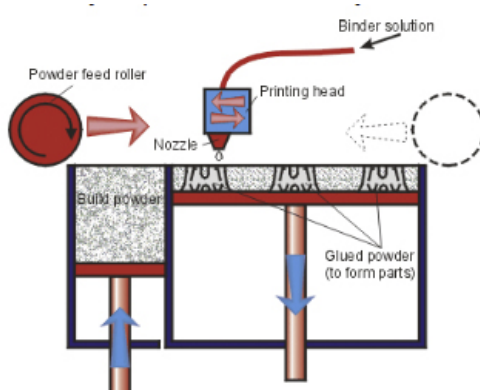
Tehnologija slična SLS-u, ali umjesto lasera prah stapa fokusirana zraka elektrona u vakuumu. Kao materijal koriste se titanijeve legure.



Slika 3. Prikaz EBM procesa (preuzeto iz [4])

POWDER BED AND INKJET HEAD 3D PRINTING (PBIH3DP)

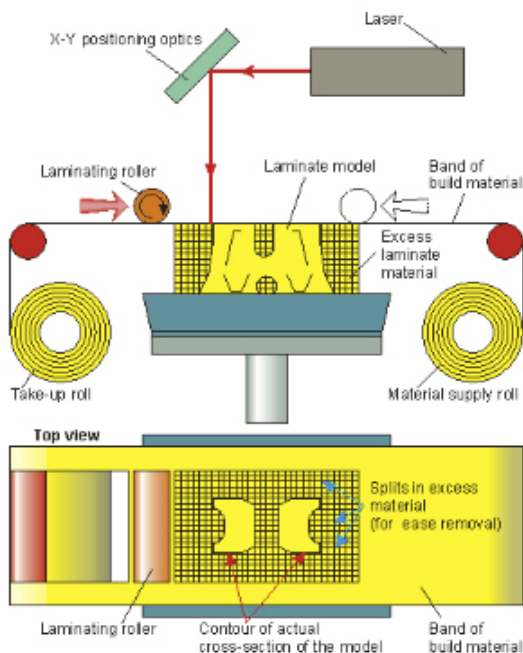
Tehnologija koja je po mnogočemu slična klasičnim pisačima s tintom. Glava pisača naizmjenično slaže slojeve praha te veziva i boje.



Slika 4. Prikaz PBIH3DP procesa (preuzeto iz [5])

LAMINATED OBJECT MANUFACTURING (LOM)

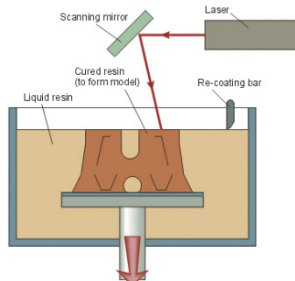
Tanki listovi materijala izrezuju se mehaničkim rezačem ili laserom te se međusobno lijepe. Materijali pogodni za ovu tehnologiju su papir, plastika ili metalne folije.



Slika 5. Prikaz LOM procesa (preuzeto iz [5])

STEREOLITHOGRAPHY (STL)

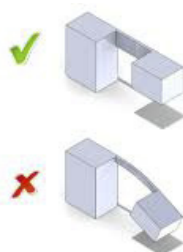
Stereolitografija je još jedna od profesionalnih tehnologija koja se zadržala od najranijih dana. Fotoučvršćujući polimeri se stvrđavaju pod kontroliranim utjecajem ultraljubičastih zraka.



Slika 6. Prikaz STL procesa (preuzeto iz [5])

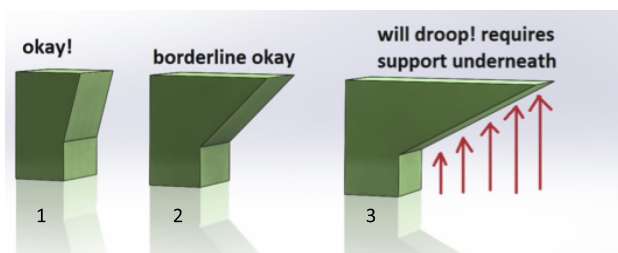
PROBLEM VISEĆIH DIJELOVA

Svaki od prethodno spomenutih i ukratko opisanih procesa aditivne proizvodnje, bez obzira na tehničke prednosti i efikasnost u izradi 3D modela, može se susresti s problemom visećih dijelova (engl. *Overhanging*). Problem visećih dijelova generički je termin za bilo koju „viseću“ strukturu (strukturu negativnog kuta) [6]. To podrazumijeva vrlo strme površine ili dijelove koji su s podlogom spojeni sa samo jednog kuta. Dakle, pojedini dijelovi za ispis, neizvedivi su zbog djelovanja gravitacijske sile, koja ih vuče prema dolje. 3D ispis je aditivni proces, pri čemu se svaki sloj redom dodaje na prethodni sloj. Tako da prethodni sloj mora biti dovoljno čvrst da bi se na njega moglo nadograditi idući sloj. Prema tome, svaki sloj može biti samo nešto veći od prethodnog sloja. Iz makroskopske perspektive, dijelovi moraju imati strme kutove kako bi se mogli ispisati ispravno bez nosača ili neke vrste potpornja. To potpuno odgovara geometriji ispisa s pravilnim kutovima. No problem je upravo s visećim dijelovima koji jednostavno ne odgovaraju geometriji ispisa.



Slika 7. Primjer problema visećih dijelova (engl. *Overhanging*) (preuzeto iz [7])

Viseći dijelovi kao samostalne strukture nadograđene na podlogu ili prethodni sloj, sklone su uvijanju ili drugim deformacijama. Dakle, većina 3D aditivnih procesa predstavljaju u procesu kreiranja 3D proizvoda inkrementalno slaganje tankih, fleksibilnih slojeva. Vrlo je jasno da složeni 3D oblici imaju mnoštvo visećih dijelova. No oni neće ostati visjeti u zraku ako nisu podržani dodatnim materijalima. Ako je sljedeći sloj mnogo teži od prethodnog sloja ili mnogo veći, zasigurno će se pokoriti zakonu gravitacije i uvinuti se u ostatak 3D modela. Većina 3D softvera omogućuje automatizirano generiranje neke vrste potporne strukture. Važno je isto tako znati da su ti potporni materijali najčešće otpad i treba ih svesti na minimum.



Slika 8. Primjeri dobrih i loših visećih dijelova (engl. Overhanging) (preuzeto iz [7])

Na slici 8 su gradirani viseći dijelovi prema veličini izbočine. Primjerice model pod brojem 1 je model s manjom izbočinom koji ne zahtijeva dodatne potporne materijale jer sila gravitacije nema prejakog djelovanja. Dakle, slojeviti ispis izbočine iz temeljne strukture je moguć i izvediv bez upotrebe dodatnih potpornih materijala. Nema opasnosti od mogućeg uvijanja ili deformacije. Na istoj slici primjer broj 2 isto tako nema opasnosti od uvijanja ili deformacije modela. Na slojevitu strukturu ne djeluje prejaka gravitacijska sila koja bi izbočinu savinula prema dolje. No primjer 3 je izvanredan i jednostavan primjer problema visećih dijelova. Izbočina je vrlo duga s obzirom na bazu na kojoj je izrađena. Dakle, postoji opasnost od uvijanja. Ako dođe do uvijanja na pojedinom sloju, to znači da idući sloj isto tako prati deformaciju modela i izobličava geometriju ispisa 3D pisača. Problem visećih dijelova nastaje ako taj viseći dio premašuje kut od 45°. Primjerice kutovi od 15°, 25°, 30° i 45° jako dobro podržavaju konstrukciju, ali kutovi iznad 45° skloniji su djelovanju gravitacijske sile.

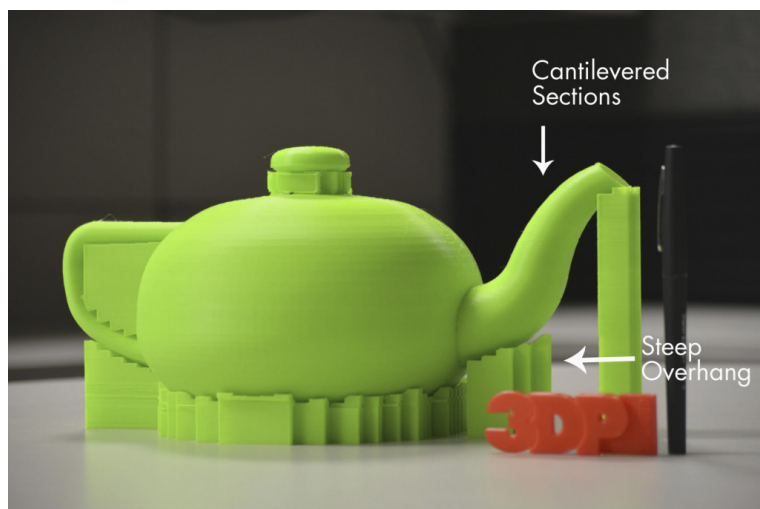


Slika 9. Prikaz omjera kutova visećih dijelova (preuzeto iz [7])

Dakle, sa slike 9 je najbolje vidljivo što se događa s visećim dijelovima pod opterećenjem većeg broja kutova. Primjerice 3D model do oznake s 45° ne treba potporan jer na njega ne djeluje prejaka gravitacijska sila. No dijelovi modela s oznakom 60° i više već ukazuje mogućnost deformacije uslijed jakog djelovanja gravitacijske sile.

POTPORNE STRUKTURE

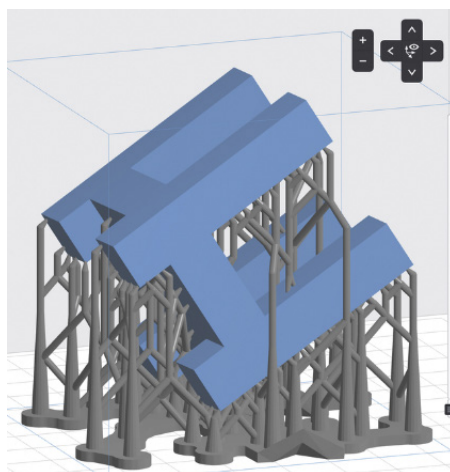
Većina 3D pisača, sposobni su ispisati neki vertikalni objekt s minimalnim kutom visećih dijelova sasvim samostalno bez dodatni potporna ili struktura koje bi spriječile mogućnost deformacije. Ukoliko se radi o objektima čiji viseći dijelovi premašuju kut od 45°, potrebno je pribjeći korištenju potpornih struktura (engl. *Support Structure*). Potporne strukture podrazumijevaju pasivnu strukturu koja nije dio ispisanog objekta, a daje mu strukturalnu podršku to jest onemogućava pojavu deformacije oblika [8]. Potporne strukture mogu se smatrati skelama na gradilištima. One omogućuju izgradnju objekata ili njihovih dijelova i obavezno se uklanjaju nakon ispisa 3D modela. Sastoje se od dvije osnovne komponente: ravne bazu i vertikalne potpornje. Baza osigurava da objekt dobro prijana uz platformi na kojoj je izgrađen. Vertikalni potpornji izlaze iz baze i spajaju se s visećim dijelovima na mjestima koja se zovu dodirne točke. Dodirne točke su od iznimne važnosti pri uklanjanju potpornih struktura nakon obavljenog 3D ispisa. Dodirne točke podrazumijevaju namjerno oslabljena mjesta koja pri uklanjanju ne oštećuju ispisani 3D model, a opet su dovoljno čvrsta da podupiru viseće dijelove. Vertikalne potpornje moguće je ukloniti ručno ili specijalnim alatima za rezanje.



Slika 10. Primjer zbijenih vertikalnih potporna (potpornih struktura) (preuzeto iz [7])

U primjeru čajnika na slici 10, potrebno je ručno dodavanje dodatnih potporna, kako bi model bio u potpunosti podržan, kako ne bi došlo do uvijanja posebice dio s ručkom i dio s cijevi. Vertikalne potporne strukture, nanizane su po čitavoj platformi na kojoj je

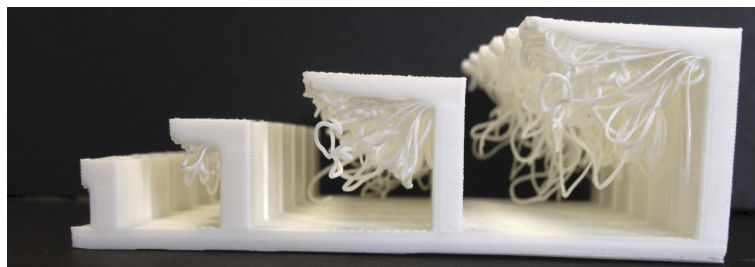
izgrađen model čajnika. Naravno vertikalne strukture su vrlo zbijene iz razloga što su morale stvoriti bazu za kreiranje dna čajnika. Ako se pogledom prate strukture s lijeve strane slike na desnu, moguće je zapaziti i grupirane sekcije potpornih struktura. Tako su posebno zbijene sekcije ispod ručke, ispod dna čajnika te ispod cijevi. Budući da su ove potporne strukture vrlo zbijene, postupak čišćenja bi mogao biti dosta otežan. Iako vertikalne potporne strukture imaju oslabljeni dio tzv. dodirne točke, ovdje su vertikalne potporne strukture vrlo zbijene i time stvaraju jednu zajedničku cjelinu koju je teško ukloniti a da se ispisani model ne ošteti. Naravno zbijenost potpornih struktura ovisi od modela do modela.



Slika 11. Primjer mrežastih vertikalnih potpornja (potpornih struktura) (preuzeto iz [9])

Mrežaste potporne strukture koje najviše nalikuju skeli, koriste se kod modela koji raspolažu s mnoštvo visećih dijelova međusobno spojenih na nekoliko ključnih mjesta. Na primjeru čajnika (slika 10) model je bio podosta kompaktan i zahtijevao je zbijene strukture kako bi se formiralo cjelovito dno. No na slici 11 3D model se sastoji od visećih dijelova koji nemaju zajedničku bazu poput dna čajnik sa slike 10.

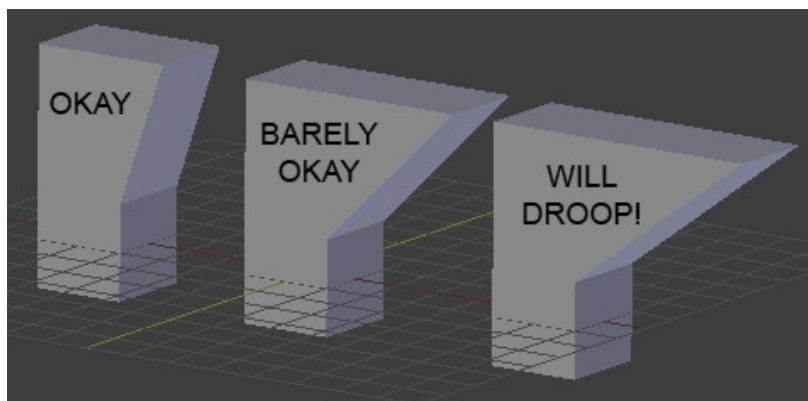
Budući da su dijelovi nekog 3D modela građeni sloj-po-sloj, svaki sloj mora podržavati neka potporna struktura. Na primjeru slike 11 to je vrlo nevjesto izvedeno.



Failed Horizontal Overhangs

Slika 12. Primjer loših potpornih struktura (preuzeto iz [7])

Naime potporne strukture, treba planirati prema slojevitoj izradi nekog 3D modela. To znači da treba dobro procijeniti odnos platforme i baze nekog 3D modela. Na slici 11 potporne strukture ne podupiru ništa. Izrada potpornih struktura, nije započeta na vrijeme. Trebalo ju je započeti s izradom baze. No u ovom primjeru zbog zakrivljenosti potpornih struktura, lako je zaključiti da se generirane tek nakon što je započet ispis visećeg dijela. Ovako je stvoren samo otpad. Ponekad u nekim 3D modelima ne postoji potreba za stvaranjem potpornih struktura. Kao što je već spomenuto u radu, upotreba potpornih struktura zavisi o kutovima nagiba visećih elemenata.



Slika 13. Primjeri upotrebe potpornih struktura (preuzeto iz [7])

Kutovi nagiba vrlo su različiti ovisno o potrebama izrade raznovrsnih 3D modela. Mogu se protezati od 5°, 10°, 15° pa sve do 60°, 90° i tako dalje. Ako se promotri slika 13; prvi model počevši od lijeve strane ima viseći do pod slabim kutom od nekih 10°. Upotreba potpornih struktura nije uključena, jer nema opasnosti od uvijanja ili modifikacije. Drugi model ulazi u nagib od nekih 45°, ali još uvijek se dobro drži i nije potrebno dodavati potporne strukture. No treći model prelazi 45° nagiba i tu već postoji opasnost od urušavanja i uvijanja visećeg dijela prema bazi. Tu bi već trebalo dodavati vertikalne potporne strukture. Nije svaki puta potrebno generirati potporne strukture pogotovo ako se radi o manjim nagibima, jer bi na taj način stvarali samo dodatni otpad i neekonomično iskoristavali resurse. Osim procjene odabira i generiranja potpornih struktura izuzetno je bitna i orijentacija. Osim ako je objekt posve simetričan, obično uvijek postoji optimalna orijentacija (jedna ili dvije). Uvijek je dobro izabrati orijentaciju koja [8]:

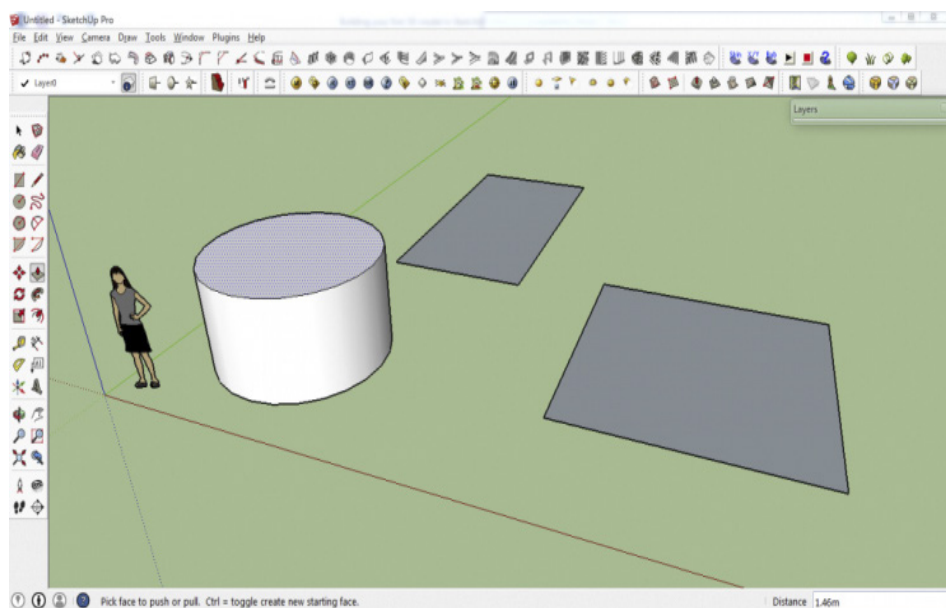
1. Najravniju plohu postavlja uz platformu,
2. Teksturirane detalje (slova, rovašenje, udubine, izbočine) stavlja na bočne stranice,
3. Rupe postavlja vertikalno (duž Z osi),
4. Smanjuje broj visećih dijelova i
5. Ispis čini što bližim jednostavnoj ekstruziji.

ALATI ZA MODELIRANJE POTPORNIH STRUKTURA

Radi prevencije pojave mnoštva deformacija i uvijanja visećih dijelova koriste se potporne strukture. Njih je moguće generirati u različitim alatima za 3D modeliranje kao i alatu u kojem je izgeneriran i pripremljen 3D model za ispis. Problem je najčešće s alatima što su komercijalne prirode pa je teže doći do njih. U ovom poglavlju će biti prikazani i ukratko opisani besplatni alati za 3D modeliranje i generiranje potpornih struktura.

GOOGLE SKETCHUP

Google SketchUp je besplatan i ima sve što je potrebno za 3D modeliranje. Tu je i Professional Edition za arhitekte, dizajneri interijera i inženjera čime je moguće dizajnirati i potporne strukture. Korisničko sučelje mu je vrlo jednostavno za korištenje. Sastoji se od nekoliko skupina alata: alati za manipulaciju objektima, alati za crtanje kuteva i poligonalnih objekata, alati za izdizanje površine, alati za brisanje i mjerenje. Moguće ga je preuzeto na stranici [10] jednostavnom registracijom i potvrdom iste preko e-mail adrese.

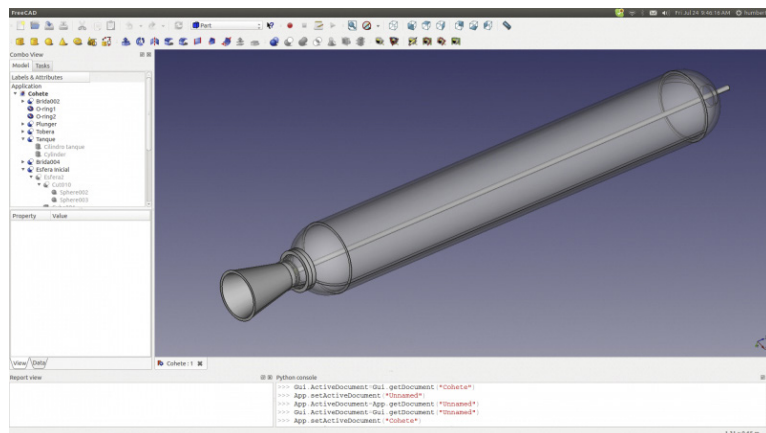


Slika 14. SketchUp softver-radna okolina (preuzeto iz [10])

FREECAD

FreeCAD je softver bogat značajkama i resursima za razvoj svoje dizajnerske vještine. Prilikom 3D modeliranja ima mogućnost kretanja kroz povijest aktivnosti, čime se pospješuje izrada potpornih struktura u slučaju pogrešaka. Podržan je od strane Windows operativnih sustava: Windows Xp, Windows 7, Windows 8 i Windows 10. Moguće ga je

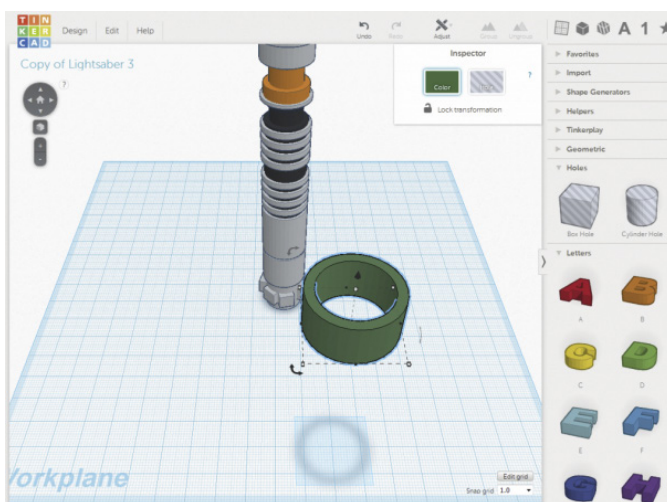
preuzeto sa stranice [10]. Glavno sučelje se sastoji od alatne trake s gotovim modelima i alatima za 3D oblikovanje te od tzv. povijesti aktivnosti (engl. *History*).



Slika 15. FreeCAD softver-radna okolina (preuzeto iz [10])

TINKERCAD

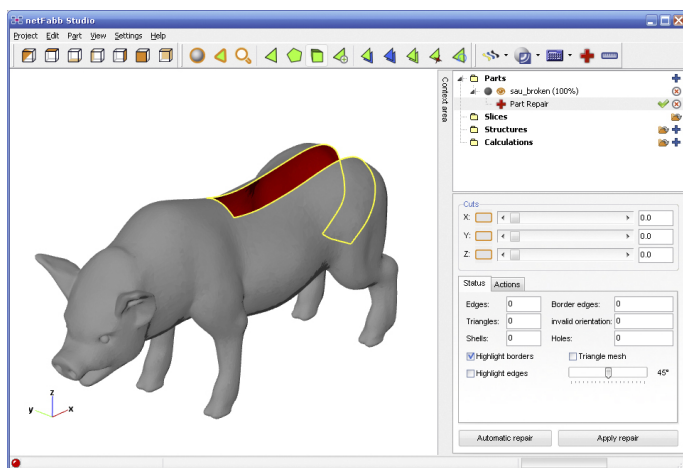
TinkerCAD je online alat za 3D modeliranje tisak koji je dobra polazna točka za početnike. Međutim, njegove značajke dosta su ograničene u odnosu na FreeCAD i SketchUp. Pokreće se odabirom tipke “Start Tinkering now” na stranici [10]. Sučelje mu je vrlo intuitivno. Sadržava bazu gotovih geometrijskih tijela i gotovih dizajna slova. Također ima alate koji koriste za oblikovanje gotovih objekata poput alata za promjenu promjera ili polumjera valjka, stošca i drugih tijela. Ima mogućnost prostorne manipulacije objektima, ali i podlogom na kojoj se object i nalazi.



Slika 16. TinkerCAD softver-radna okolina (preuzeto iz [10])

NETFABB BASIC

Netfabb Basic je softver za 3D modeliranje, gdje se može analizirati, popravljati i uređivati STL datoteka prije ispisa. Moguće ga je preuzeto bez potrebe registracije ili prijave sa stranice [10]. Vrlo je jednostavan za korištenje. Osim gotovih geometrijskih moela ima omogućen takozvani rentgenski prikaz koji omogućava pogled kroz neki 3D object.



Slika 17. Netfabb Basic softver-radna okolina (preuzeto iz [10])

WILLIT 3D

Willit 3D je online softver 3D koji provjerava model i utvrđuje postojanje dijelova koji se ne mogu ispisati. Također izračunava vrijeme ispisa i troškova 3D ispisa (ovisno o pisaču i odabranom materijalu). Moguće ga je preuzeto sa stranice [10] bez prethodne prijave ili registracije.



Slika 18. Willit 3D softver-radna okolina (preuzeto iz [10])

ZAKLJUČAK

Postoji veliki broj različitih 3D pisača koji su danas dostupni na tržištu, a sve s malo drugačijim prednostima, nedostacima i značajkama, to je najbrži rastući dio industrije za brzu izradu prototipova. Značaj 3D pisača je u tome što se njihovom upotrebom smanjuju troškovi na skupim greškama dizajniranja, ostvaruje se bolja i brža komunikacija s kupcima, izgrađuju se 3D modeli bez otpada što svakako smanjuje troškove proizvodnje. Zahtjevnost želja i potreba klijenata, otvara novu dimenziju 3D ispisa, problematiku visećih dijelova. Cilj je stvoriti kvalitetan proizvod uz što manje otpada i pogreška. A upravo sve zahtjevniji 3D modeli zahtijevaju mnoštvo visećih dijelova. Tehnike za rješavanje takve problematike, izvedene su preko dodatnih struktura to jest potpornih struktura koje zahtijevaju veći utrošak materijala. Budući da se radi o povećanom utrošku materijala kako bi se postigao kvalitetan ispis 3D modela, potrebno je posvetiti se ekonomičnom i racionalnom generiranju potpornih struktura. To znači da je potrebno procijeniti da li će struktura biti izvedena kao mrežasta što znači manji utrošak materijala ili kao puna struktura od nanizanih vertikalnih potpornja što znači veći utrošak ali i veća vjerojatnost smanjenja greške odnosno deformacije ili uvijanja modela. Važnost procjene zahtijeva i prethodnu vizualizaciju u nekom softveru kojim možemo vizualizirati i predvidjeti upotrebu potpornih struktura na odgovarajućim dijelovima. Ovim radom dali smo uvod u problematiku visećih dijelova i rješenje u obliku potpornih struktura. Isto tako ukazali smo na viši stupanj vizualizacije u ranim fazama projektiranja, otkrivanje grešaka projektiranja pri ispisu 3D modela.

LITERATURA

- [1] Tehnologije 3D printa, <http://www.izit.hr/tehnologije>, citirano [09.01.2017.]
- [2] P. Zamiska, J. Cole H. L. Wheeler, 3D printer, <http://me495.engr.siu.edu/F13-3DPR/LiteratureReview.pdf>, citirano [09.01.2017.]
- [3] Stereolithography (SLA) Rapid Prototypes, <http://www.paramountind.com/stereolithography.html>, citirano [09.01.2017.]
- [4] 3D print, <http://anaruzic.wixsite.com/3dprinter/vrste>, citirano [09.01.2017.]
- [5] H. Leko, 3D pisači, http://eprints.grf.unizg.hr/2239/1/Z576_Leko_Helena.pdf, citirano [09.01.2017.]
- [6] Evans, Brian. Practical 3D printers: The science and art of 3D printing. Apress, 2012. APA
- [7] Tips for Designing 3D Printed Parts, <https://innovationstation.utexas.edu/tip-design>, citirano [09.01.2017.]
- [8] A. Vukorepa, Modeliranje za 3D ispis, <http://gkr.hr/Lab/Citaonica/Ante-Vukorepa-3D-printer-na-stolu-svakog-maker-geeka-u-radionici-svake-skole-i-fakulteta-e-to-je-prica>, citirano [09.01.2017.]

- [9] Advanced Support Structure Settings, <http://formlabs.com/support/software/advanced-support-structure-settings>, citirano [09.01.2017].
- [10] All about 3D printing, <https://all3dp.com/best-3d-printing-software-tools>, citirano [09.01.2017.]

3D printing - Solving the overhang problem

Abstract. Overhangs as independent support structures added to the background or to the previous layer of the model tends to bending or to other forms of deformation. Thus, most 3D additive manufacturing processes such as FDM/FFF, SLS, EBM, LOM, PBIH3DP and STL are incremental assembling the final 3D products through tiny, flexible layers. The overhang problem is a generic term for any “hanging” structure, i.e. structure of a negative angle whatsoever. In case that objects whose overhangs exceed an angle of 45 degrees, it is necessary to resort the use of support structures. Support structures imply to a passive structure that is not part of the printed object, but gives him structural support which prevents the occurrence of any kind of deformation. More and more complex 3D models require lots of overhangs. However, to create a high quality product with the least disposal and faults it is necessary in the early phases of the design, to visualize support structures by means of software.

Keywords: 3D printing, overhanging part, independent suport, STL, models

List of figure:

Figure 1. Displaying the FDM / FFF process

Figure 2. SLS Process View

Figure 3. Viewing EBM Processes

Figure 4. Display of the PBIH3DP process

Figure 5. Displaying the LOM Process

Figure 6. Viewing STL Processes

Figure 7. Example of Overhanging Problems

Figure 8. Examples of good and bad hanging parts (Overhanging)

Figure 9. Displays the angles of the connecting parts

Figure 10 Example of compacted vertical supports (supporting structures)

Figure 11. Example of mesh vertical supports (supporting structures)

Figure 12. An example of poor support structures

Figure 13. Examples of use of supporting structures

Figure 14. SketchUp software-working environment

Figure 15. FreeCAD software-working environment

Figure 16. TinkerCAD software-working environment

Figure 17. Netfabb Basic Software-Work Environment

Figure 18. Willit 3D software-working environment