

REVOLUCIONARNO: TRODIMENZIONALNA TEHNOLOGIJA IZRADE ZGRADA

Isprintana stambena zgrada s četiri kata

PRIPREMILA:
Anđela Bogdan

Da bi se iz digitalnih datoteta dobile upute za trodimenzionalni printer, softver dijeli model na stotine ili tisuće horizontalnih slojeva, a zatim printer počinje kreirati svaki sloj

Uvodne napomene i princip rada

Ideja o trodimenzionalnim (3D) pisačima odnosno printerima koji bi jednog dana mogli izrađivati predmete nije novost, no uglavnom se radilo o konceptima ili ranim prototipovima vrlo ograničenog djelovanja. Zahvaljujući brzom napretku tehnologije, njihova se sadašnja primjena značajno povećala u graditeljstvu, dizajnu, medicini, strojarstvu, industriji itd. Prijašnjih su se godina primjenjivali za izradu modela u proizvodnji, dok danas omogućuju proizvodnju konačnih proizvoda, poput kuća, pa čak i zgrada s nekoliko katova. Trodimenzionalno ispisivanje (eng. *3D printing*) nova je tehnologija brze izrade prototipa kojom se uređajima zasnovanima na patentiranoj 3D tehnologiji MIT sveučilišta (Massachusetts Institute of Technology) "ispisuju", tj. izravno iz 3D CAD programa izrađuju fizički predmeti u prostoru. Ispis u boji omogućio je inženjerima i dizajnerima jasan uvid u tijek postupka dizajniranja,

isticanje raznih parametara, lako i rano uočavanje pogrešaka te njihovo brzo i učinkovito ispravljanje.

Rezolucija je veličina najmanjeg elementa koji trodimenzionalni printer može ispisati, zapravo debljini sloja i veličini vokseli koji je trodimenzionalni ekvivalent piksela

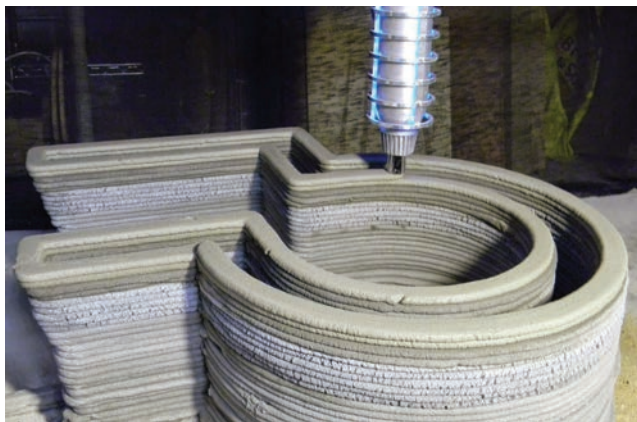
Najznačajnije obilježje 3D tiska jest njegova rezolucija. Rezolucija predstavlja veličinu najmanjeg elementa koji 3D printer može ispisati. Ovdje možemo govoriti o debljini sloja i veličini vokseli. Voksel nije ništa drugo nego trodimenzionalni ekvivalent piksela. Kao što se otisak iz klasičnog dvodimenzionalnog printera sastoji od malih 2D točkica - piksela, tako se i trodimenzionalni tisak sastoji od malih 3D točkica - vokseli. Osi koje se dodjeljuju objektima označavaju

se slovima Z (za visinu), X (za širinu) i Y (za dubinu).

Prvi jednobojni 3D printer patentiran je 1988., a prvi je višebojni proizveden je 2000. Postoji više različitih metoda ispisivanja. Međutim, svrha im je izraditi trodimenzionalni objekt, tako što se jedan po drugom nanose slojevi određenih vrsta materijala. Postupak započinje kreiranjem digitalne CAD datoteke u nekom od programa za trodimenzionalno modeliranje ili pak skeniranjem. Da bi se iz digitalnih datoteta dobile upute koje 3D printer razumije, softver dijeli model na stotine ili tisuće horizontalnih slojeva, a zatim printer čita datoteku te nastavlja kreiranje svakog sloja. Oni potom postaju jedna cjelina bez vidljivih granica, te kao rezultat imamo trodimenzionalnu građevinu. Kasnih osamdesetih počeli su se primjenjivati termini *Rapid Manufacturing*, zatim *Additive manufacturing* ili *stereolitografija*, a kasnije ih je zamijenio izraz "3D printanje".

Primjena stereolitografije u graditeljstvu

Enrico Dini, inženjer iz Toskane, proveo je cijelu karijeru u sektoru mehanike, automatike i robotike, proučavajući primjenu



Proces stereolitografije, metode ispisivanja sloj po sloj



Isprintani konstrukcijski elementi na izložbi

stereolitografije na proizvodnju većih predmeta. Stereolitografija je tehnologija stvaranja manjih objekata poput maketa, prototipa manjeg mjerila i sl. Dini je 2004. patentirao stroj za "printanje" zgrada, koji je 2007. doradio i osnovao tvrtku *D-shape* radi proizvodnje i prodaje 3D printera za zgrade, zajedno s potrebnim materijalima, opremom i uslugama. Nakon četiri godine istraživanja i razvoja, uspješno je testirao prototip stroja veličine 6 x 6 m.

To postrojenje proizvodi zgrade od pješčenjaka u punoj veličini i bez ljudske intervencije, upotrebljavajući stereolitografski proces koji za rad treba samo pijesak i anorgansko vezivno sredstvo. Koncept se *D shape* odnosi na proces gradnje sličan ispisu. Sustav ubrizgava vezivno sredstvo na sloj pijeska, slično kao i *ink jet* printer. Na taj način inženjeri mogu stvarati kompleksne konstrukcijske sustave, a kao primjer navodimo sjenicu nazvanu *Radiolaria* (eng. *Radiolaria* – zrakaš, jednostanični eukariotski organizam u kojoj je nasljedni materijal u jezgri obavijen membranom) koju je projektirao arhitekt Andrea Morgante (*Shiro Studio*, London).

Radiolaria je dva metra visoka monolitna konstrukcija "isprintana" u slojevima pijeska od 10 do 20 mm koji su povezani anorganskim vezivom

Radiolaria predstavlja prvu primjenu klasične stereolitografije u građevinskoj industriji. To je dva metra visoka monolitna konstrukcija od pješčenjaka "isprintana" u slojevima pijeska od 10 do 20 mm koji su povezani anorganskim vezivnim sredstvom. CAD-CAM softver vodi cijeli građevinski proces, a glavni je dio printera postavljen na aluminijskoj konstrukciji. Proces traje bez prekida, od temelja do krova, uključujući stubišta, vanjske i unutarnje zidove, konkavne i konveksne površine, stupove i otvore za instalacije. Pri proizvodnji se svakog sloja "konstrukcijska tinta" ubrizgava na pijesak. Proces stvrdnjavanja traje 24



Prva primjena klasične stereolitografije u graditeljstvu - sjenica *Radiolaria*

sata. Printanje počinje na dnu konstrukcije i penje se u visinu u slojevima od 5 do 10 mm. Kontaktom pijeska i anorganskog veziva počinje proces stvrdnjavanja nakon čega se dodaje novi sloj. Novi se materijal potom ispituje na tlak i savijanje.

Umjetni pješčenjak ima odlična mehanička svojstva, štoviše vrlo je sličan mramoru. Dini tvrdi da vezivno sredstvo koje se primjenjuje u procesu transformira bilo koji tip pijeska u materijal poput mramora sa svojstvima superiornim cementu u tolikoj mjeri da nije potrebno armirati konstrukcije. Osim toga, proces je prihvatljiv kako u ekološkom tako i u financijskom smislu, jer ne koristi cement, armaturu, oplatu, skelu i ljudski rad.

Primjena u naseljavanju svemira

Prije dvadesetak godina Behrokh Khoshnevis, inženjer sa sveučilišta u južnoj Kaliforniji, započeo je s koncipiranjem 3D printanih kuća primjenjujući tada relativno nepoznat princip aditivne tehnologije. U suradnji s podružnicom korporacije *Degussa*, Khoshnevis započinje razvoj materijala koji će se koristiti za gradnju zidova. Njegova tehnologija pod nazivom *Contour Crafting* (tj. izrada kontura) ne pruža samo jednostavnu i brzu izradu stambenih i drugih sadržaja, već polako zadaje ozbiljan udarac građevinarima, jer će izrada takvih građevina biti znatno jeftinija u odnosu na klasičnu gradnju. Najveću prepreku za izradu takvog printera donedavno je stvarala



Pogled na četverokatnicu izrađenu modularnom tehnologijom

brizgalica betona, koju je znanstvenik uspješno riješio.

Contour Crafting je računalom kontrolirani stroj koji kroz mlaznicu istiskuje smjesu viskozno gipsa sloj po sloj. Mlaznica se kreće prema unaprijed definiranim koordinatama u XY ravnini, a ispisom jednog sloja ponovno se diže za 25,4 mm po Z osi te ispisuje novi sloj. Brzina polaganja materijala je 7,5 metara u minuti. U prototipni stroj uloženo je 30.000 dolara, a 2005. je prebačen u NASA-in centar kako bi se istražile mogućnosti, ograničenja i izvedivost 3D printanih elemenata od regolita i vodom modificiranih stijena te otvrdnutih naslaga, poznatih i pod nazivom "mesečeva prašina".

Prvotna je ideja da se takav robot koristi za izvanzemaljske aplikacije, tj. gradnju infrastrukture na samom mjestu (primjerice na Marsu ili Mjesecu). Dimenzije su prototipnog stroja (XYZ) 1,8 x 1,8 x 2,5 metara. Materijali koji se razmatraju su regolit (mrvljeni materijal koji se sastoji od sedimenata) i drobljene stijene s primjesama raznih vlakana i veziva. Svrha je takvih građevina ponajprije zaštita



Pretpostavljeni prikaz gradilišta budućih svemirskih kolonija na Mjesecu

skupe opreme i priprema terena, a ima naravno i veliko gospodarsko značenje. Neki od planiranih sadržaja su plato za slijetanje, objekti za zaštitu od prašine i radijacije, prometnice, zaštitni hangari za opremu (zaštita od mikrometeorita), toplinski štitovi i kontrolni toranj. Dosađanja testiranja različitih konstrukcija pokazala su da nosivi zidovi moraju biti izrađeni od dva reda (zida) s betonskim pojačanjem unutar stijenci u obliku povezanih trokuta. Ostali se zidovi izrađuju od jednog reda. Većina je zidova šuplja i predodređena je za naknadnu ugradnju izolacije, cjevovoda i struje.

Contour Crafting tehnologija trebala bi se koristiti u projektima naseljavanja svemira, ali i za jeftinu gradnju u zemljama u razvoju te za skloništa u kriznim situacijama

Contour Crafting tehnologija trebala bi, osim u projektima naseljavanja svemira, primjenjivati i u komercijalne svrhe, jeftinu gradnju u zemljama u razvoju te skloništa u kriznim situacijama. Europska svemirska agencija (ESA) u suradnji s kompanijom Monolite UK i arhitektima iz *Foster And Partners* također istražuje mogućnost iskorištavanja aditivnih tehnologija za gradnju baza na Mjesecu. Proces *D-shape* koristi materijal u prahu koji se pomoću mlaznica prska vezivom. Testiranja se obavljaju u vakuumskoj komori kako bi se dobili pouzdaniji podaci. Debljina sloja je 5 - 10 mm, a brzina ispisa je 2 - 3,5 metara u minuti. Visina je *D-shape* uređaja 6 m. Materijal je jako sličan materijalu koji se nalazi na Mjesecu, a doprema se s vulkanskog područja u Italiji.



Detalj s gradilišta u Šangaju



Prikaz spajanja isprintanih dijelova kuće

Brzo i jeftino printanje kuća

Spomenuti su projekti usmjereni na izradu nastambi na Mjesecu ili Marsu, ali uz to se teži brzom i jeftinom gradnji na Zemlji. Do danas su jedino Kinezi predstavili javnosti 3D printane kuće koje izgledom ne odudaraju od dosadašnjeg oblika klasične gradnje. Cilj kompanije *WinSun Decoration Design Engineering Co.* iz Šangaja jest brza gradnja kuća površine 200 m² i to pretežno od recikliranog materijala. Nakon što su u travnju 2014. isprintali desetak kuća u jednom danu, kineska je tvrtka krajem siječnja 2015. upotrijebila 3D printer kako bi izradila stambenu zgradu s četiri kata od građevinskog otpada.

kažu kako je to trenutačno najviša isprintana zgrada. Istom je tehnologijom tvrtka *WinSun* napravila i luksuznu vilu od 1100 m². Iako je gradnja betonskih okvira 3D printom slična klasičnoj gradnji pomoću betonskih blokova, razlika je u potencijalu izgradnje održivih i jeftinih kuća u zemljama u razvoju, gdje je brza gradnja od velike važnosti. Veličina 3D printera je 32 x 10 x 6,5 m. Metoda je slična *Contour Craftingu* gdje se u XY-ravnini kroz mlaznicu polaže sloj po sloj (po Z-osi) brzo vezujućeg betona. Zidovi unutar stijenki premreženi su trokutastom, betonskom rešetkom (cik-cak pojačanje).

Neki izvori tvrde da je kineskoj kompaniji potreban tek jedan dan da se isprinta

jedan kat, a još pet dana da ga sastavi. Kako bi uspjeli obaviti ovaj zahtjevni zadatak, upotrijebili su 40 m dugačak i 6 m visok printer. Primijenjeni je materijal uglavnom građevni otpad poput čelika, staklenih vlakana, cementa i drugih aditiva. Stroj istiskuje materijal sloj po sloj i stvara građevinske blokove. Oni se potom na gradilištu sastavljaju zajedno s čeličnim pojačanjima i izolacijom. Iz *WinSun*a javljaju da uskoro namjeravaju otvoriti 100 tvornica za reciklažu građevnog materijala diljem Kine kako bi osigurali sirovinu za 3D izgradnju kuća. Tvrtka procjenjuje kako bi se daljnjim razvojem projekta, mogla trenutačna cijena gradnje takve kuće od 5000 dolara mogla



Pogled na ispisane ukrasne elemente za dom



upola smanjiti te tako osigurati pristupačan dom za najsiromašnije stanovnike te zemlje.

Inženjeri iz *WinSuna* koji projektiraju takve zgrade navode da su potpuno sigurne za stanovanje, a planiraju graditi i zgrade s 12 katova. Prema analizama njihovih inženjera, na građevnom materijalu se može uštedjeti između 30 i 60 %, dok je ukupna cijena građevine smanjena za 50 do 80 %. Uz to, izračunali su i da je vrijeme gradnje kraće za 50 do 70 %.

Prve 3D kuće u Europi

U posljednje vrijeme i u Europi se javljaju projekti kojima je cilj tehnologijom modularne gradnje stvoriti cijelu kuću u kojoj će netko zaista stanovati. Amsterdamska tvrtka *Dus Architects* želi prva izgraditi takvu kuću uz kanal nizozemске prijestolnice (projekt *Canal House*). Projektni tim upotrebljava biomaterijale i obnovljive materijale, a njihova je tvornica osim gradilišta ujedno i muzej koji je ove godine posjetio čak i američki predsjednik Barack Obama.

Projekt *3D Print Canal House* je demonstracija, istraživanje i dokaz o projektu koncepta zgrade kojemu je cilj promijeniti način oblikovanja i gradnje domova. Ideja projekta je pokazati kako se građevinska industrija može odmaknuti od konvencionalnih materijala koji se moraju transportirati na velike udaljenosti. Prema riječima glavnog projektanta i suosnivača *Dus Architects*, krajnji cilj projekta jest omogućiti ljudima dom iz snova u što kraćem vremenu.



Isprintani betonski element od recikliranog materijala

Neki tvrde da je kineskoj kompaniji potreban tek dan da se isprinta jedan kat, a uglavnom se rabi građevni otpad, poput čelika, staklenih vlakana, cementa i aditiva

Kuća će biti izgrađena uz pomoć printera koji će individualno otisnuti svaku pojedinu sobu. Inženjeri su najprije morali napraviti kvalitetan 3D printer koji sam po sebi predstavlja pravo tehnološko dostignuće. Printer pod nazivom *KamerMaker*, koji u prijevodu doslovno znači "proizvođač soba", izrađen je od broskog kontejnera,

dugačak je 6 m kako bi mogao proizvoditi sobe prosječne veličine, a koristi plastiku i drvena vlakna. Tijekom gradnje najprije će se proizvoditi vanjski zidovi, potom stropovi, podovi i drugi dijelovi pojedinačnih soba, a naposljetku namještaj koji će u njima biti. U drugoj fazi projekta sobe će biti međusobno povezane zajedničkim podom te tako uklopljene u kuću. U slučaju premještanja kuće, svaka će se soba moći odvojiti radi brzega i jeftinijega preseljenja. Gotovi elementi kuće slagat će se poput slagalice izravno na građevinskom zemljištu, zahvaljujući posebno dimenzioniranim rubovima koji su napravljeni poput sustava za spajanje lego kockica, a sve će se dodatno povezivati i ojačavati čeličnim kabelima. Svaki se element izrađuje metodom ispisa sloj po sloj, a tim *Dus Architects* tvrdi kako je *KamerMaker* printer u stanju izraditi cijelu sobu bez zastoja u radu printera.

Mladi arhitekti su taj projekt pokrenuli prije šest godina, a tijekom tog razdoblja morali su razviti tehnologiju, izraditi detaljne nacрте te pribaviti sve potrebne dozvole za gradnju. Upravo to je bio najteži zadatak jer je ipak riječ o najnovijim tehnologijama u graditeljstvu, a zahtjevi sigurnosti isprintanih građevina još uvijek nisu dovoljno ispitani.

Umjesto zaključka

Novu revoluciju u današnjem graditeljstvu predstavljaju golemi 3D printeri koji u tvornicama printaju dijelove zgrada koje se potom sastavljaju na gradilištu. Kako se čini, uskoro bi iz novih 3D printera mogli izlaziti i neboderi. Sve te metode ulaze u utrku dokazivanja jeftine i brze metode građenja, no postoji još mnogo dvojbi oko stabilnosti, ekonomičnosti i brzini gradnje, fleksibilnosti izmjena dizajna u procesu i sl., no i onaj najvažniji i pomalo diskutabilni dio, a to je gubitak radnih mjesta. Dakako, osim gradnje betonske kuće ili zgrade, budući graditelji trebali bi riješiti i probleme s postavljanjem odvoda, električnih instalacija i sličnih elemenata bez kojih kuće ne mogu funkcionirati, no i to je već velik napredak u građevinskoj primjeni tehnologije 3D printanja. Vrijeme je dobar pokazatelj, pa valja pričekati i vidjeti koja su rješenja, mogućnosti i posljedice gradnje kuća i zgrada s tom novom i izazovnom tehnologijom.



Vizualizacija projekta *Canal House* u Amsterdamu