

- [5] Mladenović G., Vajdić N. Indikatori uticaja na okolinu pri građenju i eksploataciji puteva, Građevinski kalendar, br. 45, 2013, s. 344-406.
- [6] D. Bond, C. Harmer, B. Harris, A. Hewitt, R. Woodward, H. Gudmundsson, C. Delepierre (2012). SBAKPI Strategic Benchmarking and Key Performance Indicators. ERANET ROAD, Copenhagen, Denmark.
- [7] D. Kokot, A. Mauko, J. Kovač (2012). Good maintenance for lower emissions and energy consumption. Poster at the Rolling Resistance – an Exploratory Workshop, København, Denmark
- [8] <http://www.hdmglobal.com/>
- [9] <https://www.epa.gov/moves>
- [10] C. Bennett and I. Greenwood (2001). Modelling road user and environmental effects in HDM-4. Vol. 7 of the Highway Development and Management Manual. France: PIARC, the World Road Association.

Prof. dr Dragica JEVTIĆ, redovni profesor u penziji¹
Nikola MIRKOVIĆ, asistent – student doktorskih studija²
Uroš MIRKOVIĆ, student doktorskih studija³

UPOTREBA 3D ŠTAMPAČA I SAVREMENIH MATERIJALA U GRAĐEVINARSTVU

0352-2733,50 (2018), p. 141-181

UDK:624:004.356.2
PREGLEDNI NAUČNI ČLANAK

Rezime

Ovaj rad predstavlja osnovne principe primene 3D štampača u građevinarstvu, zasnovane na tehnologiji stereolitografije – procesu stvaranja objekata gde se materijal nanosi sloj po sloj i formira željene oblike i forme. Prikazani su idejni koncepti trenutno aktuelnih 3D sistema koji se koriste u oblasti građevinarstva kao i njihove osnovne karakteristike, mogućnosti i specifičnosti. Poseban akcenat u radu je stavljen na antigravitacione materijale, na-

¹ Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

² Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

³ Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, Jaroslava Černog 80, 11226 Beograd
 Rad primljen mart 2018.

nokompozite - materijale koji se dobijaju u laboratoriji primenom 3D tehnologije štampe, kao i na ostale 3D kompatibilne materijale.

Ključne reči: 3D štampači, stereolitografija, nanokompoziti, antigravitacioni materijali, 3D kompatibilni materijali.

USE OF 3D PRINTERS AND CONTEMPORARY MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING

Abstract

This paper presents the basic principles use of 3D printers in civil engineering, which is based on the technology of stereolithography - the process of creating objects where the material is applied layer by layer and form the desired shape. It's also shown preliminary concepts currently available 3D systems used in civil engineering as well as their basic characteristics, features and specifications. Special emphasis in this paper is placed on antigravity materials, nanocomposites - materials that are obtained in the laboratory by using 3D printing technology, as well as other 3D compatible materials.

Key words: 3D printers, stereolithography, nanocomposites, antigravity materials, 3D compatible materials.

1. UVOD

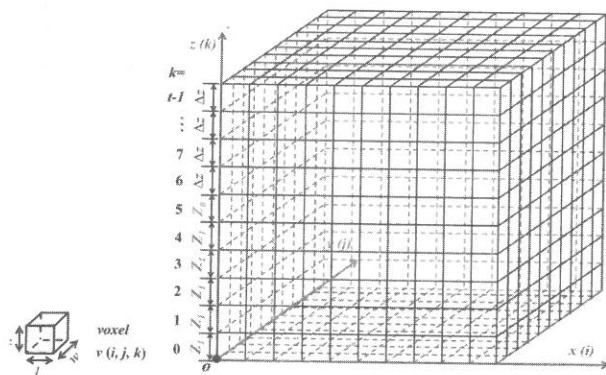
Ideja o trodimenzionalnim štampačima (eng. 3D printers) koji bi jednog dana mogli izrađivati predmete odavno nije novost, no uglavnom se radilo o konceptima ili ranim prototipovima vrlo ograničenog delovanja. Zahvaljujući brzom napretku tehnologije, njihova sadašnja primena značajno se povećala u građevinarstvu, dizajnu, medicini i industriji.

U početku su se primenjivali za izradu modela u proizvodnji, dok se danas koriste u pravljenju konačnih proizvoda, poput kuća, pa čak i zgrada sa nekoliko spratova. Trodimenzionalno ispisivanje (eng. 3D printing) nova je tehnologija brze izrade prototipova kojom se na uređajima zasnovanim na patentiranoj 3D tehnologiji MIT univerziteta (eng. Massachusetts Institute of Technology) "ispisuju", tj. direktno iz nekog od 3D programa izrađuju fizički predmeti u prostoru. Ispis u boji omogućio je inženjerima i dizajnerima jasan uvid u tok postupka dizajniranja, isticanje raznih parametara, lako i rano uočavanje grešaka kao i njihovo brzo i efikasno ispravljanje.

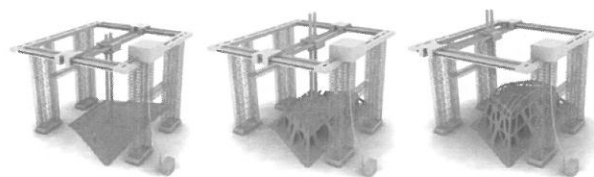
Najznačajniji parametar 3D štampača je njegova rezolucija. Rezolucija predstavlja veličinu najmanjeg elementa koji 3D štampač može ispisati. Ovde se može govoriti o debljini sloja i veličini voksel. Voksel je trodimenzionalni ekvivalent piksela. Kao što se otisak iz klasičnog dvodimenzionalnog štampača sastoji od malih 2D tačkica - piksela, tako se i trodimenzionalni otisak iz

3D štampač sastoji od malih 3D tačkica - voksela. Ose koje se dodeljuju objektima označavaju se slovima Z za visinu, X za širinu i Y za dubinu, prikazano na *slici 1*.

Prvi 3D štampač patentiran je 1988. godine u svrhu izrade trodimenzionalnih objekata, tako što se jedan po drugom nanose slojevi određenih vrsta materijala. Postupak započinje kreiranjem digitalne datoteke objekta (eng. STL file) u nekom od programa za trodimenzionalno modeliranje ili skeniranjem objekta. Da bi se iz takvih digitalnih datoteka dobile naredbe koje 3D štampač razume, softver deli model na stotine ili hiljade horizontalnih slojeva – (eng. G code), a zatim štampač čita takvu



Slika 1.- Prikaz izolovanog voksela i trodimenzionalne mreže sa oznakama koordinatnog sistema XYZ



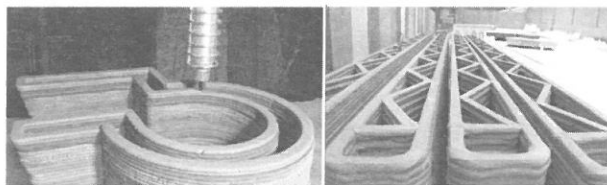
Slika 2.- Konceptualno rešenje 3D štampača za primenu u građevinarstvu

datoteku i nastavlja kreiranje svakog sloja. Oni potom postaju jedna celina bez vidljivih granica, pa kao rezultat imamo trodimenzionalnu građevinu. Kasnih osamdesetih počeli su se primenjivati termini aditivne proizvodnje (eng. Additive manufacturing) ili stereolitografije (eng. Stereolithography), da bi ih kasnije sve zamenio izraz 3D štampa (eng. 3D printing). Na *slici 2* je prikazan prototip 3D štampača za potrebe građevinarstva.

2. STEREOLOGRAFIJA U GRAĐEVINARSTVU

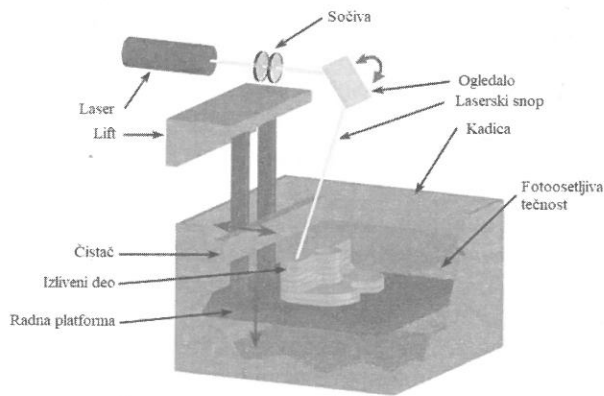
Enriko Dini (eng. Enrico Dini), inženjer iz Toskane, proveo je celu karijeru u sektoru mehanike, automatike i robotike, proučavajući primenu stereolitografije na proizvodnju većih predmeta.

Stereolitografija je tehnologija stvaranja objekata poput maketa i prototipova manjih dimenzija u procesu gde ultraljubičasta svetlost (eng. ultraviolet light) prelazi preko bazena sa fotoosetljivom tečnošću i tako formira



Slika 3.- Proces stereolitografije u građevinarstvu

željene oblike i forme materijala u finalne proizvode, prikazano na slikama 3 i 4. U toku izrade, model se spušta u kadicu sloj po sloj, dok se ne dobije finalni proizvod. Još jedna prednost ove vrste tehnologije 3D štampe je visok



Slika 4.- Šematski prikaz procesa stereolitografije, metode ispisivanja materijala sloj po sloj

nivo detalja i obrade završne površine. Jedna od glavnih prednosti takvog štampanja je sama brzina izrade, tako da se isti modeli proizvode i do 5 puta brže nego u svim ostalim tehnikama.

Dini je 2004. godine patentirao mašinu za "štampanje" zgrada, koju je 2007. godine usavršio i osnovao kompaniju pod nazivom D-shape radi proizvodnje i prodaje 3D štampanja za zgrade, zajedno sa potrebnim materijalima, opremom i uslugama.

Nakon četiri godine istraživanja i razvoja, uspešno je testirao prototip mašine veličine 6 x 6 m, koja je mogla da proizvodi zgrade od betona u punoj veličini i bez ljudske intervencije, upotrebljavajući stereolitografski proces kome je za rad potreban samo pesak i neorgansko vezivno sredstvo.

Koncept D-shape se odnosi na proces gradnje koji je sličan ispisu. Mašina ubrizgava vezivno sredstvo na sloj peska, slično kao i ink jet štampe. Na taj način inženjeri mogu stvarati kompleksne konstrukcijske sisteme, a kao primer navodi se struktura nazvana Radiolaria – zraklaš, jednoćelijski eukariotski organizam u kojoj je nasledni materijal u jezgri obavijen membranom, koju je projektovao arhitekta Andrea Morgante (Shiro Studio, London), slika 5.

Radiolaria predstavlja prvu primenu klasične stereolitografije u građevinskoj industriji. To je dva metra visoka monolitna konstrukcija od peska "odštampana" u slojevima peska od 10 do 20 mm koji su povezani neo-



Slika 5.- Radiolaria - Prva primena stereolitografije u građevinarstvu

rganskim vezivnim sredstvom. CAD-CAM softver vodi ceo građevinski proces, a glavni deo štampača postavljen je na aluminijskoj konstrukciji. Proces traje bez preki-da, od temelja do krova, uključujući stubove, spoljašnje i unutrašnje zidove, konkavne i konveksne površine, kao i otvore za instalacije. Pri izlivanju svakog sloja “konstrukcijsko mastilo” se ubrizgava na pesak. Proces očvršćavanja traje 24 sata.

Štampanje počinje na dnu konstrukcije i penje se u visinu u slojevima od 5 do 10 mm. Kontaktom peska i

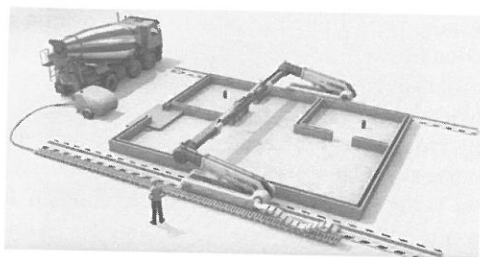
neorganskog veziva počinje proces očvršćavanja nakon čega se dodaje novi sloj. Novi materijal se potom ispituje na pritisak i savijanje. Veštački pesak ima odlična mehanička svojstva, vrlo slična mermeru.

Dini tvrdi da vezivno sredstvo koje se primenjuje u procesu transformiše bilo koji tip peska u materijal poput mermera sa svojstvima superiornim cementu u tolikoj meri da nije potrebno armirati konstrukcije. Osim toga, proces je prihvatljiv kako u ekološkom tako i u finansijskom smislu, jer ne koristi cement, armaturu, oplatu, skelu u ljudski rad [1].

3. 3D TEHNOLOGIJE U GRAĐEVINARSTVU

3.1 Contour crafting – primena 3d štampača u naseljavanju svemira

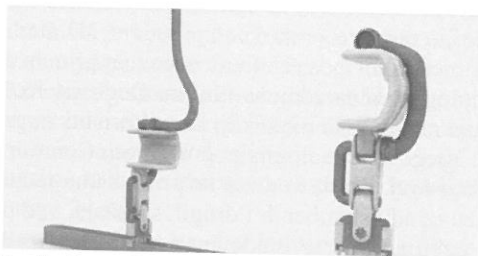
Pre dvadesetak godina prof. dr Berlok Košnevis (eng. Behrokh Khoshnevis), inženjer sa Univerziteta u Južnoj Kaliforniji, započeo je sa koncipiranjem 3D štampanih kuća primenjujući tada relativno nepoznat princip aditivne tehnologije. U saradnji sa firmom Degussa, Košnevis započinje razvoj materijala koji će se koristiti za gradnju zidova. Njegova tehnologija pod nazivom Contour Crafting (slika 6) 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



Slika 6.- Konceptualno rešenje Contour Crafting sistema

gradnju. Najveću prepreku za izradu takvog štampača do nedavno je stvarala brizgalica betona, koju je naučnik uspešno rešio, *slika 7.*

Contour Crafting je kompjuterski upravljani sistem koji kroz mlaznicu istiskuje smesu viskoznog betona sloj po sloj. Mlaznica se kreće prema unapred definisanim koordinatama u XY ravni, a ispisom jednog sloja ponovo se diže za 25,4 mm po Z osi i ispisuje novi sloj. Brzina



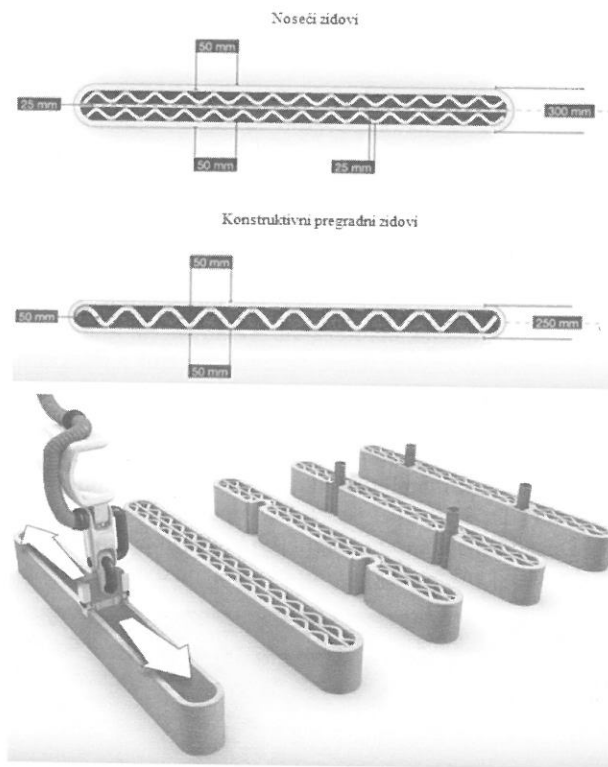
Slika 7.- Brizgalica za beton Contour Crafting sistema

polaganja materijala je 7,5 m/min. U prototip mašine uloženo je 30.000 dolara, a 2005. godine je prebačen u NASA-in centar kako bi se istražile mogućnosti, ograničenja i upotreba 3D štampanih elemenata od regolita i vodom modifikovanih stena od očvrslih naslaga, poznatih i pod nazivom "mesečeva prašina". Prvobitna ideja je bila da se takav robot koristi za vanzemaljske aplikacije, tj. gradnju infrastrukture na licu mesta (na Marsu ili Mesecu). Dimenzije prototipa mašine su (XYZ) 1,8 x 1,8 x 2,5 m. Materijali koji se razmatraju su regolit (mrvljeni materijal koji se sastoji od sedimenata) i drobljene stene sa primесama raznih vlakana i veziva. Svrha takvih građevina je prvenstveno zaštita skupe opreme u svemiru. Neki od planiranih sadržaja koji bi se izgradili su plato za sletanje svemirskih brodova, objekti za zaštitu od prašine i radijacije, saobraćajnice, zaštitni hangari za opremu (zaštita od mikrometeorita), toplotni štitovi i kontrolni toranj, prikazano na *slici 8.*

Dosadašnja testiranja različitih konstrukcija pokazala su da nosivi zidovi moraju biti izrađeni od dva reda mate-



Slika 8.- Pretpostavljeni prikaz gradilišta budućih svemirskih kolonija na Mesecu



Slika 9.- Izgled nosećih i konstruktivnih pregradnih zidova
Contour Crafting sistema i postupak njihove izrade

rijala sa ojačanjem u sredini u vidu trougaone rešetkaste ispune. Ostali zidovi se izrađuju od jednog reda materijala. Većina zidova je šuplja i predodređena za naknadnu ugradnju izolacije i instalacija, prikazano na *slici 9*.

Contour Crafting tehnologija bi trebala da se osim u projektima naseljavanja svemira, primenjuje i u komercijalne svrhe, za jeftinu gradnju u zemljama u razvoju i skloništa u kriznim situacijama.

Evropska svemirska agencija u saradnji s kompanijom Monolite UK i arhitektama iz biroa Foster and Partners takođe istražuje mogućnost primene aditivnih tehnologija za građenje baza na Mesecu. Proces D-shape koristi materijal u prahu koji se pomoću mlaznica prska vezivom. Testiranja se obavljaju u vakumskoj komori kako bi se dobili pouzdaniji podaci. Debljina sloja je 5 - 10 mm, a brzina ispisa je 2 - 3,5 m/min. Visina D-shape uređaja je 6 m. Materijal je jako sličan materijalu koji se nalazi na Mesecu, a doprema se s vulkanskog područja u Italiji [2].

3.2 Primena 3D štampača u brzom i jeftinom štampanju kuća

Pomenuti Contour Crafting sistem usmeren je na izradu kolonija na Mesecu i Marsu, ali uz to se teži bržoj i jeftinoj gradnji na Zemlji. Do danas su jedino Kinezi predstavili javnosti 3D štampane kuće koje izgledom ne odudaraju od dosadašnjeg oblika klasične gradnje, *slika*

10. Cilj kompanije WinSun Decoration Design Engineering Co. iz Šangaja jeste brza gradnja kuća površine do 200 m² i to pretežno od recikliranog materijala. Nakon što su 2014. godine odštampani desetak kuća u jednom danu, kineska kompanija je krajem 2015. godine upotrebila 3D štampače kako bi izradila stambenu zgradu s četiri sprata od građevinskog otpada.

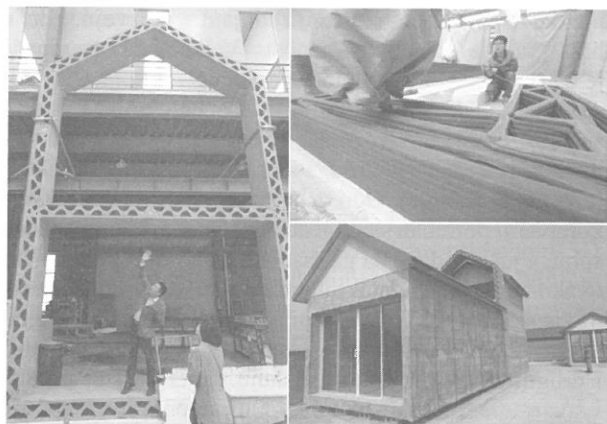
Arhitekte koje stoje iza projekta kažu kako je to trenutno najviša zgrada na svetu izrađena primenom 3D tehnologije. Istom je tehnologijom kompanija WinSun napravila i luksuznu vilu od 1100 m². Iako je gradnja betonskih okvira 3D štampom slična klasičnoj gradnji pomoću betonskih blokova, razlika je u potencijalu izgrad-



Slika 10.- Pogled na četvorospratnicu izrađenu modularnom tehnologijom

nje održivih i jeftinih kuća u zemljama u razvoju, gde je brza gradnja od velike važnosti. Veličina 3D štampača je 32 x 10 x 6,5 m. Metoda je slična Contour Crafting sistemu gde se u XY-ravni kroz mlaznicu polaže sloj po sloj (po Z-osi) brzovezujućeg betona. Ispuna unutar zidova premrežena je trougaonom, betonskom rešetkom (cik-cak pojačanje). Određeni izvori tvrde da je kineskoj kompaniji potreban samo jedan dan da se odštampa jedan sprat, a još pet dana da ga sastave. Kako bi uspeli obaviti ovako zahtevan zadatak, upotrebili su 40 m dugačak i 6 m visok štampač. Primenjeni materijal je uglavnom građevinski otpad poput čelika, staklenih vlakana, cementa i drugih aditiva. Mašina istiskuje materijal sloj po sloj i stvara građevinske blokove. Oni se potom sastavljaju na gradilištu zajedno s čeličnim pojačanjima i izolacijom (slika 11). Iz kompanije WinSun najavljuju da uskoro nameravaju da otvore 100 fabrika za reciklažu građevnog materijala u Kini kako bi osigurali sirovinu za 3D izgradnju kuća.

Kompanija procenjuje kako bi se daljim razvojem projekta, mogla duplo smanjiti trenutna cena gradnje takve kuće od 5000 dolara i tako osigurati pristupačan dom za najsiromašnije stanovnike te zemlje. Inženjeri iz kompanije WinSun koji projektuju takve zgrade navode da su potpuno sigurne za stanovanje, a planiraju gradnju i zgrade od 12 spratova. Prema analizama njihovih inženjera, na građevinskom materijalu se može uštedeti između 30 i 60 %, dok je ukupna cena građevine smanjena za 50 do



Slika 11.- Odštampani betonski elementi od recikliranog materijala

80 %. Uz to, izračunali su i da je vreme građenja kraće za 50 do 70 % [3].

3.3 Canal house - prve 3d štampane kuće u Evropi

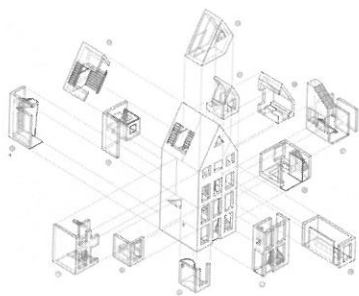
U poslednje vreme i u Evropi se javljaju projekti čiji je cilj da se tehnologijom modularne gradnje naprave kuće u kojima će neko zaista stanovati. Amsterdamska kompanija Dus Architects planira prva da izgradi takvu kuću uz kanal holandske prestonice - projekat Canal House. Projektni tim upotrebljava biomaterijale i obnovljive materijale za realizaciju ovog projekta.



Slika 12.- Vizualizacija projekta Canal House u Amsterdamu

Projekat 3D Print Canal House je projekat koncepta zgrade čiji je cilj da promeni način oblikovanja i izgradnje stambenih zgrada (slika 12).

Prema rečima glavnog projektanta i suosnivača kompanije Dus Architects, krajnji cilj projekta jeste omogućiti ljudima dom iz snova u što kraćem vremenu. Kuća će biti izgrađena uz pomoć štampača koji će individualno odštampati svaku sobu kao zasebnu ćeliju. Inženjeri su najpre morali da konstruišu kvalitetan 3D štampač koji sam po sebi predstavlja pravo tehnološko dostignuće. Štampač pod nazivom KamerMaker, koji u prevodu doslovno znači "proizvođač soba", izrađen je od brodskog kontejnera, dugačak je 6 m kako bi mogao proizvoditi sobe prosečne veličine, a koristi plastiku i drvena vlakna. Tokom gradnje prvo će proizvoditi spoljašnje zidove, potom podove i druge delove pojedinačnih soba, a na kraju nameštaj koji će u njima biti.

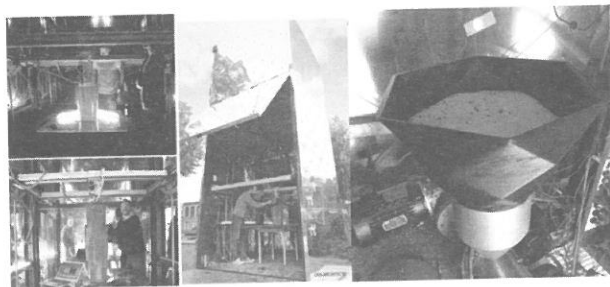


Slika 13.- Šematski prikaz izolovanih soba (čelija) projekta Canal House

U drugoj fazi projekta sobe će biti međusobno povezane zajedničkim podom i tako uklopljene u celinu. U slučaju premeštanja kuće, svaka soba će se moći odvojeno transportovati radi bržeg i jeftinijeg preseljenja. Gотовi elementi kuće sлагаće se poput sлагalice na gradilištu, zahvaljujući posebno dimenzionisanim rubovima koji su napravljeni poput sastava za spajanje lego kockica, a sve će se dodatno utezati i ojačavati čeličnim kablovima (slika 13).

Svaki element se izrađuje metodom ispisa sloj po sloj, a tim kompanije Dus Architects tvrdi kako je KamerMaker štampač u stanju da izradi celu sobu bez zastoja u radu.

Projekat Canal House je pokrenut pre šest godina, a tokom tog perioda, nosioci ovog projekta morali su raz-

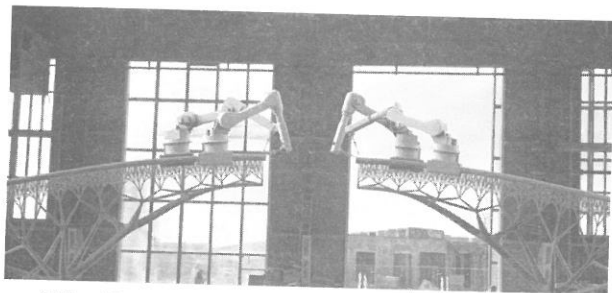


Slika 14.- Prototip KamerMaker štampača i posuda u kojoj se nalazi granulat materijala za štampanje

vijati tehnologiju (slika 14), izraditi detaljne nacрте i pribaviti sve potrebne dozvole za gradnju. Upravo to je bio najteži zadatak jer je ipak reč o najnovijim tehnologijama u građevinarstvu, a zahtevi sigurnosti takvih građevina još uvek nisu dovoljno ispitani [4].

3.4 Upotreba robotizovanih MX3D štampača u mostogradnji

U Amsterdamu, poznata holandska kompanija MX3D specijalizovana za 3D štampu došla je na ideju da gradi čelične mostove na jedan potpuno drugačiji način - robotizovanim 3D štampačima (slika 15). Industrijski roboti na koje su nakačeni 3D štampači naprave čelični pešački most preko jednog od kanala u Amsterdamu za veoma kratko vreme i sa veoma malim troškovima, ko-

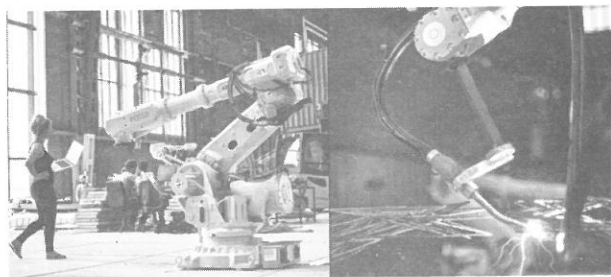


Slika 15.- Konstrukcija prvog čeličnog pešačkog mosta napravljenog robotizovanim 3D štampačima

risteći tehnologiju 3D štampe i napredne robote koji nemaju osna ograničenja u kretanju, čime će u budućnosti biti moguće napraviti i mnogo ozbiljnije konstrukcije. Gradnja mostova na ovaj način povoljna je i sa ekološke strane. Naime, građevinski otpad i potrošnja materijala svode se na minimum jer ugradnju kontroliše računar.

Holandsi dizajner Joris Laarman je pre par godina osnovao kompaniju MX3D, koja je specijalizovana za konstruisanje robota sa glavom 3D štampača koji mogu da izlivaaju čelik i smole u vazduhu i tako primenom konzolne gradnje sa jedne i druge strane obale reke ili kanala prave konstrukciju mosta (slika 16).

Završen most će biti dugačak oko 24 m, i koristiće se za biciklistički i pešački saobraćaj u Amsterdamu. Imaće i neobičan, futuristički dizajn koji je naglašeniji nego kod većine današnjih mostova jer 3D štampa omogućava pre-



Slika 16.- Specijalizovani robot - 3D štampač kompanije MX3D koji štampa čelik

ciznu kontrolu detalja koju industrijska proizvodnja ne može da isprati. Za razliku od većine današnjih 3D štampača koji koriste smole ili plastiku za izgradnju objekata, ovaj most će biti napravljen od nove čelične legure koja je razvijena na Univerzitetu u Delftu, za primenu u 3D štampi. Takav čelik će se u procesu 3D štampe ugrađivati metodom kap po kap (eng. drop by drop) čime će se dobiti veoma kompaktna struktura materijala koji po fizičkim, mehaničkim i hemijskim karakteristikama ne odstupa od standardnog čelika (slika 17).

Za razliku od svih ostalih 3D štampača koji se trenutno razvijaju za potrebe u građevinarstvu, 3D štampač kompanije MX3D se suštinski razlikuje od njih jer je sposoban sam da se pomera duž konstrukcije u toku njene izgradnje. On zapravo sam može odštampati staze ispred sebe po kojima će se kretati. Aditiva tehnologija



Slika 17.- Čelična legura koja se ugrađuje primenom 3D štampača metodom kap po kap

štampe koja je više nalik zavarivanju znači da staze mogu ići u bilo kom pravcu, a ne samo horizontalno, vertikalno i dijagonalno. To mu omogućava da pređe prazan prostor između zidova, ili obala na reci, samo štampanjem svog puta između njih, nešto nalik konzolnoj gradnji mostova.

Kompaniju MX3D u ovom poduhvatu podržala je i softverska firma Autodesk radi rešavanja pratećih problema vezanih za 3D štampu. Njihov zadatak je da programiraju 3D štampač da predvidi i otkloni sve greške u strukturi materijala u realnom vremenu tokom procesa građenja, kako bi konačni kvalitet ugrađenog materijala bio što bolji. To je veliki izazov, ali iz kompanije Autodesk misle da je vredno rešavanja. Ne samo zato što će se napredak videti na konkretnom primeru, već što će se moći primeniti i na druge vrste 3D štampe što otvara vra-

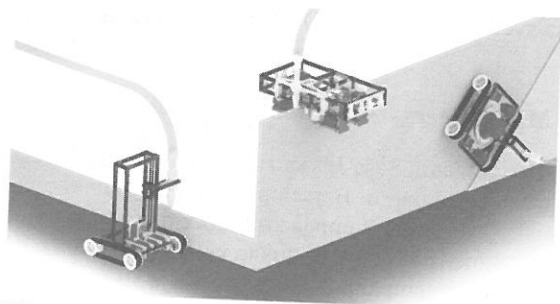
ta ka svetloj budućnosti 3D tehnologije u građevinarstvu [5].

3.5 Minibuilders – mini roboti graditelji

Beograđanin Saša Jokić, zajedno sa svojim kolegom sa master studija u Barseloni, Petrom Novikovićem, osmislio je prvi 3D štampač koji može da štampa objekte velikih dimenzija i time privukao veliku pažnju na tržištu robotike i 3D štampanja (slika 18). Saša je 30-ogodišnjak i završio je Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu i Master studije u Barseloni na IAAC Institutu, gde je prvi put počeo da se bavi primenom 3D štampača i robotike u arhitekturi. Arhitektae su početkom 21. veka počele intenzivno da koriste računare za crtanje i vizualizacije zgrada, a vremenom i programske jezike za kreiranje objekata, uzimajući u obzir mnogo više parametara nego ranije. Tako je nastala digitalna (ili parametarska) arhitektura.

Problem digitalno generisane arhitektonske forme jeste taj što je previše komplikovana i preskupa za izvođenje pomoću tradicionalnih tehnika i materijala, dok robotika i 3D štampa u kombinaciji omogućavaju mnogo efikasniju fabrikaciju.

Tehnologija je oduvek menjala i bila deo arhitekture, u vremenu kada broj tehnoloških inovacija dostiže svoj vrhunac, neminovno je da robotika bude sledeći veliki korak u evoluciji građevinske industrije. U suš-



Slika 18.- Minibuilders – Mini roboti graditelji koji prkose gravitaciji

tini, spajanjem dizajna i robotike u jednu disciplinu arhitektura više nije proizvoljna i apstraktna, već postaje merljiva i precizna.

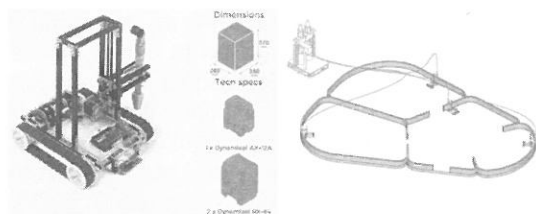
Trenutno postoji nekoliko kompanija koje se komercijalno bave robotičkim fabrikacijama u građevinarstvu, uglavnom proizvodnjom malih serija fasadnih panela i sličnih elemenata, koristeći lasersko sečenje ili 3D duborez. Mnogi u ovome vide veliko tržište i veliki broj projekata je u procesu istraživanja i razvoja gde tek trebaju da pronađu implementacije u stvarnom svetu.

Za upotrebu robota u procesu građenja potrebno je napraviti proizvod koji ne samo da bi zamenio ljude i automatizovao proces, već i bio jeftiniji od angažovanja ljudi. Izazov sa proizvodima koji tek izađu

iz faze istraživanja i razvoja je to što su po pravilu skupi u prvim godinama korišćenja. Implementacija robota pokrenuće revoluciju u načinu kako gradimo i dizajniramo arhitekturu slično poput pronalaska lifta, betona ili čelika. Dizajniranje i oblikovanje zgrada će biti mnogo personalizovanije i prilagođeno potrebama krajnjeg korisnika upotrebom inovativnih CAD softvera za modelovanje i animacije. Tehnološki razvoj građevinskih mašina obezbediće alate pomoću kojih će se fabrikovati mnogo efikasnije u pogledu detalja, vremena i cene. Takav pristup omogućuje da i objekti poput malih privatnih kuća budu inovativni i estetski jedinstveni.

Mašine će biti malimobilni roboti poput letećih dronova koji danas postaju sve popularniji, koji imaju mogućnost da sinhronizovano rade različite aplikacije na istom zadatku, u isto vreme, u velikom broju. Ovaj koncept je mnogo efikasniji od postojećih istraživanja kada se implementiraju velike mašine koje su preskupe da se transportuju i montiraju na određenu lokaciju i pritom uvek moraju biti veće od samog objekta. Ovu viziju o malim robotima Saša je pretočio u stvarnost kroz svoj projekat Minibuilders, skup više štampača koji su svi međusobno povezani i koji mogu da štampaju objekte znatno veće od sebe.

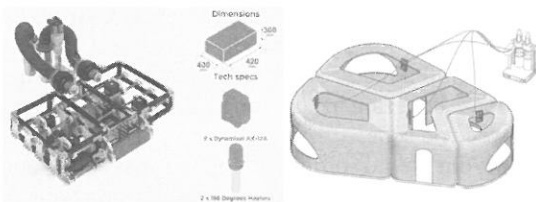
U prvom demo projektu koji su navedeni autori predstavili u Muzeju dizajna u Barseloni proizveli su 4 mini robota sa različitim dizajnom i funkcijama koji kao porodica u koordinaciji fabrikuju jednu celovitu struk-



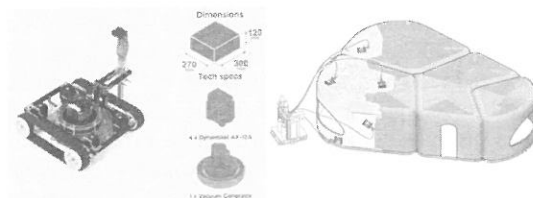
Slika 19.- *Foundation Robot – Robot koji štampa prvih 15 slojeva konstrukcije*

tu. Posao započinje Foundation Robot (*slika 19*), i on pravi prvih 15 slojeva, koji predstavljaju temelj finalne strukture. Senzori koji su ugrađeni u ovaj robot kontrolišu kretanje i pomažu lociranje.

Ostatak objekta je fabrikovan Grip Robotom (*slika 20*), koji ima sposobnost kačenja na već odštampane temelje pomoću četiri rolere. Ovaj robot se sastoji od tri osnovna dela, okvira koji nosi papuče robota i nosača raspršivača materijala.



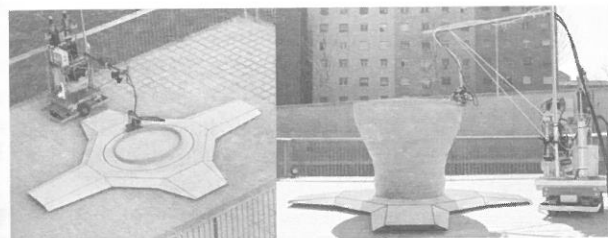
Slika 20.- *Grip Robot – Robot koji štampa zidove i plafone objekta*



Slika 21.- *Vacuum Robot – Robot koji štampa završni sloj materijala po zadovima i plafonima*

Jedno od glavnih ograničenja današnjih 3D štampača je povezano sa orijentacijom smera slojeva materijala, a ovaj problem rešava Vacuum Robot (*slika 21*). On ima specijalno dizajnirani vakuum sistem koji mu omogućava da se kreće po svim površinama, čak i po plafonu i slobodno nanosi novi materijal.

Pored prethodno pomenutih robota, postoji i automatizovana platforma koja precizno prati njihovo kretanje i snabdeva ih materijalom i energijom (*slika 22*).



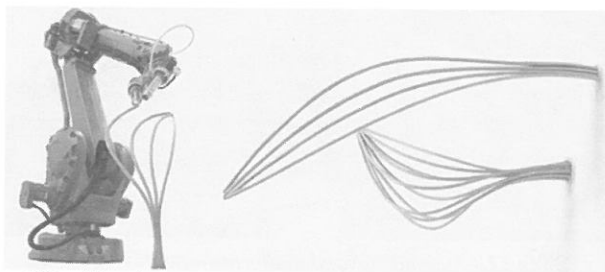
Slika 22.- *Automatizovana platforma – podrška u radu ostalim robotima*

Koncept Minibuilders je mnogo više od ova četiri robota koja su do sada predstavljena; to je svaki robot za sebe u građevinarstvu koji može da pravi strukture veće od sebe. Trenutno se radi na izradi novih mini robota i pronalasku njihove primene u procesu gradnje. Konačni cilj je proizvod koji će pronaći svoju ulogu u već postojećoj građevinskoj industriji kao i smanjenje ljudskog faktora u poslovima gde su roboti efikasniji [6].

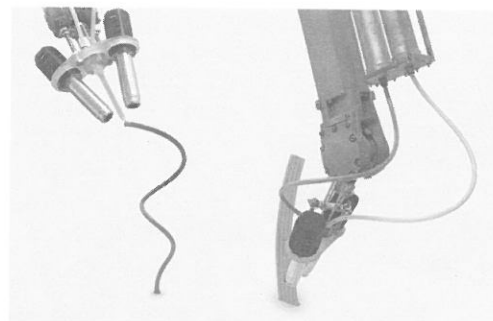
4. 3D KOMPATIBILNI MATERIJALI U GRAĐEVINARSTVU

4.1 Antigravitacioni materijali

Razvoj antigravitacionih materijala je radikalno izmenio način primene 3D štampe koji sada mogu da štampaju na bilo kojoj površini, bez obzira na ugao štampe ili (ne)glatkoću. To znači da ovaj štampač može



Slika 23.- Antigravitacioni materijal u procesu 3D štampe

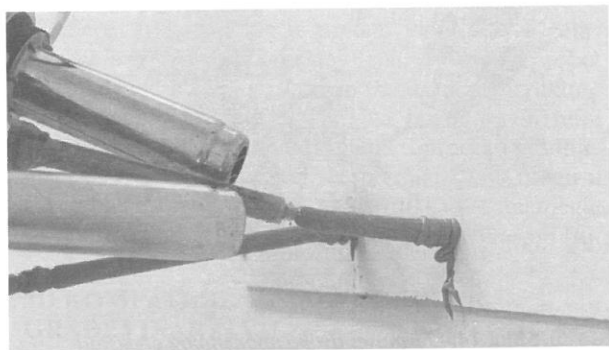


Slika 24.- Termoset dvokomponentnog epoksida

da se bori sa gravitacijom dok štampa i da pobeđuje. Glavna inovacija koja ovo omogućava je termoset dvokomponentnog epoksida umesto termoplastike koja se koristi u postojećim 3D štampačima (slika 23).

Naravno, ovde je trenutno najveći problem cena materijala. Epoksid koji se koristi za pravljenje ovog materijala napravljen je u saradnji sa francuskom kompanijom Axson i troškovi su veliki s obzirom na to da materijal dolazi direktno iz laboratorije (slika 24). Iz tog razloga je jako bitno da se razvoj 3D štampača uključuje u inovacije na polju novih materijala – u suprotnom bi kvalitet gotovog objekta ostao isti (slika 25).

Postoji mnogo mašina koje su dizajnirane tako da postavljaju opeku jednu na drugu ili sipaju cement sloj po sloj, slično kao što bi se to moglo uraditi ručno samo mnogo brže. Međutim, potrebno je doneti inovacije i na



Slika 25.- *Detalj materijala u toku štampe*

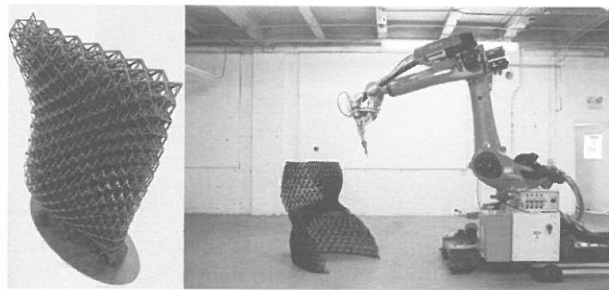
drugim poljima, poput smanjenja utrošenog materijala, energetske efikasnosti, konstruktivnih karakteristika i estetskih efekata ugrađenih materijala. Ako zamislimo, betonski stub u kome je moguće kontrolisati poroznost (gustinu) u zavisnosti od konstruktivne karakteristike tog elementa, bilo bi moguće uštedeti i do 30 % količine utrošenog materijala. Ta količina ne izgleda velika ukoliko se gleda mali blok, ali bi na nivou grada to bila značajna ušteda.

U bližoj budućnosti zahvaljujući razvoju novih materijala, umesto izolacije, prozora, vrata i drugih komponenti naše kuće funkcionisale kao jedinstveno telo, poput organizama koje možemo naći u prirodi. Biće moguće fabrikovati konstruktivni zid, a zatim promeniti

sastav materijala i napraviti transparentan deo zida koji je ustvari prozor i da pritom postoji mogućnost da se napravi interaktivni zid jer je 3D štampanje električnih i mehaničkih komponenti već sad moguće [7].

4.2 3D štampane mreže u proizvoljnoj formi

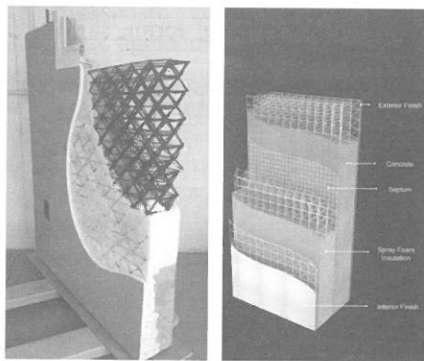
Aditivna proizvodnja u građevinarstvu postepeno preuzima primat nad ostalim tehnologijama zbog svoje brzine građenja ali i primene novih savremenih materijala. Ova tehnologija osim u izvođenju pruža svoje prednosti i u projektovanju konstrukcija. Neke arhitekture su je koristile da pomere granice oblika i forme. Arhitekta Platt Boyd radi konkretno na tom problemu poslednjih godina. On je osnivač i generalni direktor kompanije Branch Tehnology, koja se bavi izradom modularnih zidnih sistema u proizvoljnoj formi, sa 3D štampanom



Slika 26.- *Branch Tehnology – 3D štampana mreža*

mrežom od karbona, koja zamenjuje armaturu i formira oblik elementa (*slika 26*).

Kompanija Branch Tehnology je nedavno izašla u javnost sa velikim 3D štampačem koji će se koristiti za stvaranje zidnih modula. Štampač ima 4 m dugu robotsku ruku koja se kreće na 10 m dugoj šini i pokriva površinu za štampanje od 8 m širine i 18 m dužine, omogućavajući time izradu što većih modula i što efikasnije. Ceo proces funkcioniše tako što 3D štampač ekstruduje ugljenična vlakna u kombinaciji sa ABS plastikom i formira mrežnu strukturu, koja se potom popunjava izolacionom sprej-penom. Sloj betona i fasadna obloga se nanose sa spoljašnje strane panela, dok se sa unutrašnje strane postavlja završni sloj (*slika 27*).



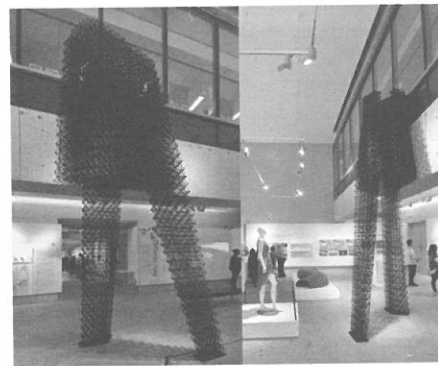
Slika 27.- 3D štampana mreža ugrađena u zidni panel

U mreži se mogu predvideti otvori za vodovodne i električne instalacije, kao i otvori za prozore i vrata. Tako proizvedena mrežna struktura se kamionima transportuje do gradilišta gde se ugrađuje na licu mesta.

Ovakve mreže se najčešće koriste kao oplata ili skele kod konvencionalnih građevinskih materijala, prvenstveno betona, koji u kombinaciji sa njima postaju snažniji i duktilniji.

Trenutno, kompanija Branch Tehnology proizvodi zidne sisteme isključivo za enterijer, gde se traže sloboda u dizajnu i fleksibilnost oblika (*slika 28*).

U bližoj budućnosti predviđa se razvoj i nosećih spoljašnjih zidova. Štampanje velikih zahtevnih 3D mreže zna da bude dugotrajan proces i to je jedana od



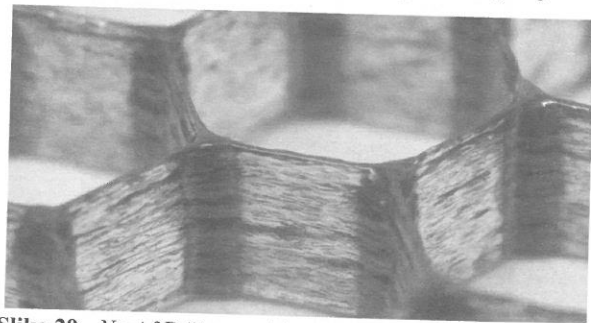
Slika 28.- Proizvoljne forme 3D štampanih mreža

stvari koju u kompaniji žele da unaprede. Za mrežu visine 2 m i širine 3 m potrebno je 30 sati da bi se odštampana, a trenutno istiskivanje materijala je 1 kg/h. Kompanija istražuje kako bi uskoro dostigli predviđenu brzinu štampe od 7 kg/h [8].

4.3 Nano štampani kompoziti u građevinarstvu

Istraživači sa Harvarda razvili su način da štampaju celularni kompozit sa rekordnom lakoćom i izrazitom krutošću koristeći epoksidne smole (*slika 29*).

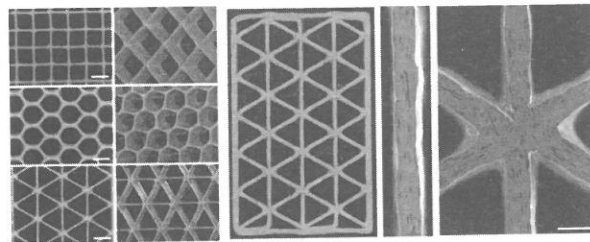
Ovo je prvi put da se epoksid koristi u 3D štampi, i unapred može da dovede do razvoja novih laganih formi za efikasnije vetroelektrana, brže automobile i lakše aviona. Ako su uzmu svi materijali poznati čoveku, bez obzira da li su prirodni ili veštački, i posmatraju njihova



Slika 29.- Novi 3D štampani kompozit koji prevazilazi lakoću i krutost balsa drveta

relativna svojstava, ubrzo će se uočiti vrlo jasan obrazac: gustina i čvrstoća materijala uvek su proporcionalni. Tako na primer, lagana pena je izrazito slab materijal, a na drugom kraju spektra, teški materijali poput čelika i drugih metala su među najjačim.

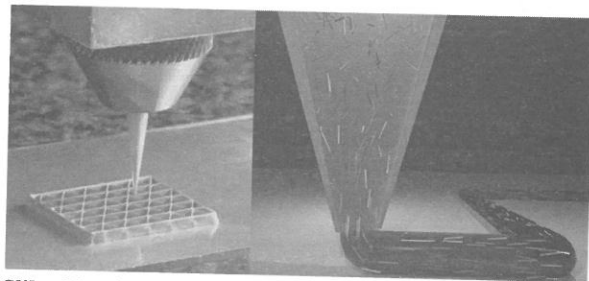
Postoji međutim i nekoliko izuzetaka. Jedan takav primer je drvo Balsa (eng. Balsa tree), koje ima jako malu zapreminsku masu od 40 kg/m^3 , ali je i dalje veoma jako, zahvaljujući njegovoj mikrostrukтури koju karakteriše izuzetno efikasna kombinacija celuloznih vlakana i lignina. Balsa drvo se stoga koristi u situacijama gde se zahteva laka ali jaka struktura konstrukcije, kao na primer kod elipsi na vetrogeneratorima, na šasijama nekih modela aviona i helikoptera. Međutim, postoje ozbiljni problemi u snabdevanju ovom sirovinom, jer preko 95 % svetskih rezervi balsa drveta dolazi iz jedne zemlje - Ekvador. Na *slici 30* prikazana je sačasta struktura nano kompozita formirana u procesu 3D štampe.



Slika 30.- Kvadratna, heksagonalna i trougaona sačasta struktura kompozita

Naučnici sa Harvarda su pronašli novi način da proizvedu celularni kompozit koji je čak i bolji po karakteristikama od balsa drveta, otklanjajući strukturalne nedostatke, koje drvo mogu učiniti manje pouzdanim kao građevinski materijal.

Istraživači su inspiraciju našli u mikroskopskoj strukturi drveta balse, koja je uglavnom šuplja i u kojoj samo zidovi ćelija nose teret. Oni su proizveli novi kompozit korišćenjem smole epoksida koje sadrže primese nanoglina za povećanje viskoznosti, kao i još dve vrste punila - silicijum karbid i grafitna vlakna. Jedna veoma zanimljiva osobina je činjenica da istraživači mogu kontrolisati tačnu krutost materijala promenom orijentacije punila po potrebi (*slika 31*). Orijentišući silicijum karbid upravo na pravac koji će se suočiti sa najviše opterećenja čini materijal jačim - iz istog razloga je lakše seckanje drveta uzdužno, a ne pod pravim uglom sa pravac pružanja vlakana. Ova prilagodivost znači da



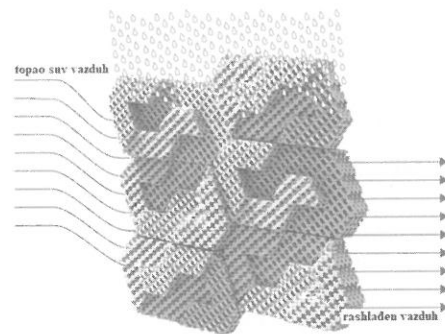
Slika 31.- Automatizovani proces 3D štampe nano kompozita

dizajneri sada mogu digitalno uticati na krutost i žilavost materijala, i da ga mogu spravljati prema željenim specifikacijama.

Istraživač Dženifer A. Levis napominje da njihova istraživanja predstavljaju značajan korak, jer otvaraju put primeni 3D štampe, koristeći materijale kao što su epoksidi. Levis i njegove kolege su dobili kompozite koji su krući od drveta, i do 20 puta čvršći od komercijalnih 3D štampanih polimera [9].

4.4 Ošupljene 3D štampane keramičke opeke

Dizajn studio Emerging Objects je došao na ideju da sa 3D štampe proizvede ošupljene (porozne) opeke koje su nazvali hladnim opekama (eng. cool bricks) čije

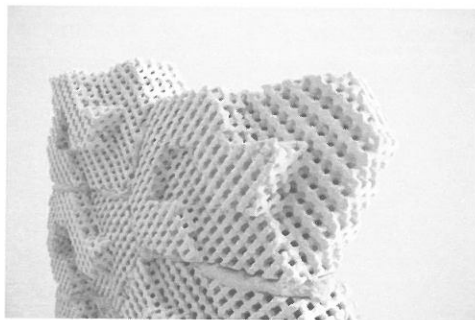


Slika 32.- Ošupljene opeke gde se vodena para dodaje vazduhu radi snižavanja temperature

se šupljine mogu ispuniti vodom i ohladiti materijal usled vrelih perioda, prikazano na *slici 32*.

Opeke koriste princip hlađenja putem isparavanja, gde se vodena para dodaje vazduhu radi snižavanje temperature. Svaka 3D štampana opeka ima trodimenzionalnu keramičku rešetku nalik strukturi koja može da zadrži vodu u svojim porama, kao sunđer. Kada vazduh struji kroz poroznu opeku, on upija vodenu paru, postajući tako hladniji.

Prema dizajnerima, ako su svi zidovi kuće izgrađeni od porozne opeke protok vazduha kroz njih mogao bi da obori unutrašnju temperaturu u objektu. Ovakav princip hlađenja objekata je alternativa klimatizovanim sistemima i mnogo je prirodniji način hlađenja objekta i energetski je efikasniji.



Slika 33.- Modularne opeke mogu da se slože uz pomoć maltera i formiraju zid

Dizajnirane da se uklapaju međusobno, modularne opeke mogu da se slože i postave u malter formirajući zid. Istraživači su tek počeli testove na prototipu radi utvrđivanja efekata hlađenja, i veruju da se cigle mogu koristiti za hlađenje velikih prostorija (*slika 33*) [10].

5. ZAKLJUČAK

Novu revoluciju u današnjem građevinarstvu predstavljaju veliki 3D štampači koji štampaju delove zgrada koje se potom sastavljaju na gradilištu. Svi pomenuti 3D koncepti i savremeni materijali ulaze u trku dokazivanja jeftine i brze metode građenja, ali postoji još mnogo nedoumica oko stabilnosti, ekonomičnosti i brzine građenja, fleksibilnosti izmena dizajna u procesu i sl., ali i onaj najvažniji i pomalo diskutabilni deo, a to je gubitak radnih mesta.

Osim gradnje betonskih kuća ili zgrada, budući graditelji trebali bi rešiti i probleme sa postavljanjem odvoda, električnih instalacija i sličnih elemenata bez kojih kuće ne mogu funkcionisati. Vreme je dobar pokazatelj, pa valja pričekati i videti koja su rešenja, mogućnosti i posledice građenja kuća i zgrada sa ovom novom i izazovnom tehnologijom.

Takođe, uporedo sa razvojem 3D tehnologije štampanja objekata, treba raditi i na razvoju novih savremenih građevinskih materijala koji će biti superiorniji, energetski efikasniji u odnosu na današnje

materijale i lako ugradivi primenom 3D štampača. Jer bez razvoja novih materijala, nema ni napretka u usavršavanju konstrukcija i objekata, a samim tim i kvaliteta života ljudi u njima.

Zahvalnost

Rad je rezultat istraživanja na Tehnološkom projektu 36012 "Istraživanje tehničko-tehnološke, kadrovske i organizacione osposobljenosti Železnice Srbije sa aspekta sadašnjih i budućih zahteva Evropske unije", koje je finansirano od strane Ministarstva za prosvetu i nauku Republike Srbije.

6. LITERATURA

- [1] GIBSON, I., ROSEN, D. W., STUCKER, B.: *Additive Manufacturing: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*, Springer, London, (2010).
- [2] KHOSHNEVIS B., BUKKAPATNAM S., KWON H., & SAITO J.: *Experimental Investigation of Contour Crafting using Ceramics Materials*, Rapid Prototyping Journal, br. 7-1, str. 32-41. (2001).
- [3] <http://www.3ders.org/articles/20150118-win-sun-builds-world-first-3d-printed-villa-and-tallest-3d-printed-building-in-china.html> preuzeto 20.02.2018.
- [4] <http://3dprintcanalhouse.com> preuzeto 20.02.2018.

- [5] <http://mx3d.com> preuzeto 20.02.2018.
- [6] <http://robots.iaac.net> preuzeto 20.02.2018.
- [7] <http://3dprint.com/1167/mx3d-metal-anti-gravity-3d-printer-unveiled> preuzeto 20.02.2018.
- [8] <https://www.branch.technology/> preuzeto 20.02.2018.
- [9] <http://3dprint.com/7390/3d-print-balsa-wood> preuzeto 20.02.2018.
- [10] <http://www.gizmag.com/3d-printed-cool-bricks/36144> preuzeto 20.02.2018.



SAVEZ GRAĐEVINSKIH
INŽENJERA SRBIJE
- BEOGRAD -

GRAĐEVINSKI KALENDAR



JUBILARNI BROJ

2018

SAVEZ GRAĐEVINSKIH INŽENJERA SRBIJE

UDK:624(059)

ISSN 0352-2733

COBISS.SR - ID 43031

GRAĐEVINSKI KALENDAR 2018

Građevinski kalendar, Vol. 50
Beograd, juli 2018, p. I-XX, 1-490

UREDNIŠTVO

GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK

Prof. dr Mihailo Muravljov, dipl. inž. građ.

REDAKCIONI ODBOR:

Prof. dr Radomir Folić, dipl. inž. građ.
Prof. dr Slobodan Ćorić, dipl. inž. građ.
Prof. dr Snežana Marinković, dipl. inž. građ.
Prof. dr Jasna Plavšić, dipl. inž. građ.
Prof. dr Boško Stevanović, dipl. inž. građ.
Prof. dr Đorđe Lađinović, dipl. inž. građ.
Prof. dr Milan Dimkić, dipl. inž. građ.
Prof. dr Branislav Bajat, dipl. inž. geod.
Prof. dr Goran Mladenović, dipl. inž. građ.
Prof. dr Dragoslav Stojić, dipl. inž. građ.
Doc.dr Dragoslav Rakić, dipl. inž. geolog

RECENZENTI:

Prof. dr Stanko Brčić, dipl. inž. građ.
Prof. dr Mihailo Muravljov, dipl. inž. građ.
Prof. dr Dimitrije Zakić, dipl. inž. građ.
Prof. dr Nenad Jaćimović, dipl. inž. građ.
Prof. dr Radomir Folić, dipl. inž. građ.
Dr Ruža Okrajnov-Bajić, dipl. inž. građ.
Prof. dr Dragica Jevtić, dipl. inž. tehnolog
Prof. dr Dejan Bajić, dipl. inž. građ.

**PREDGOVOR IZDANJU
»GRAĐEVINSKI KALENDAR 2018«
- pedeset godina od prvog broja -**

Ovo je jubilarno izdanje *Građevinskog kalendara*, pošto se prema raspoloživim dokumentima 2018. godine navršilo pedeset godina od prvog izdanja *Kalendar*. Takav zaključak sledi i iz *Građevinskog kalendara 1998*, iz koga se vidi da je 1998. godina u stručnoj javnosti označena kao jubilarna godina u kojoj je *Kalendar* proslavio trideset godina svog života. Shodno tome, *Kalendar* je te godine izašao iz štampe kao jubilarno i posebno obeleženo izdanje - sa odgovarajućim istorijskim prikazom dotadašnjih aktivnosti.

Ovde treba reći da je *Kalendar* na početku svog izlaženja zamišljen kao svojevrstan *inženjerski priručnik* (slično tada vrlo cenjenoj nemačkoj publikaciji *BETON-KALENDER*), pri čemu je *Kalendar* pokrenut na inicijativu Milutina Maksimovića, dipl.inž.građ, jednog od vodećih stručnjaka u oblasti graditeljstva u periodu posle Drugog svetskog rata. M. Maksimović, koji je u to vreme bio i prvi predsednik Saveza građevinskih inženjera i teh-

ničara Jugoslavije, bio je i na funkciji glavnog i odgovornog urednika prvih brojeva *Kalendara*. Osim njega, na toj funkciji su do sada bili još Antun Đerki, Vlatko Brčić, Milan Milivojević, Branislav Vojinović i Mladen Uličević, da bi od 2007. do danas tu dužnost obavljao Mihailo Muravljov. S obzirom da je on u svom izveštaju o radu na publikovanju *Kalendara* u 2017. godini, podnetom na Skupštini Saveza građevinskih inženjera Srbije, izjavio da od 2018. godine više neće moći da obavlja dotadašnju funkciju, za novog Glavnog i odgovornog urednika budućih izdanja *Kalendara* izabran je dr Nenad Šušić.

Kao što je *Građevinski kalendar 2017*, nažalost, iz štampe izašao tek u martu mesecu te godine, trend »kašnjenja« se nastavlja i u 2018. godini. Razlozi za to su u prvom redu finansijske prirode, ali oni svakako nisu jedini i o tim drugim razlozima ovde će se reći nešto više.

Po mišljenju potpisnika, u ovom segmentu postoje dva osnovna problema:

- a) - nezainteresovanost čitalaca za kupovinu *Kalendara* s obzirom na današnje mogućnosti informisanja inženjera o različitim stručnim pitanjima;
- b) - slaba zainteresovanost autora za publikovanje radova u *Kalendaru*.

Ovde odmah treba reći da su razlozi pod a) i b) međusobno povezani i da je među njima danas prisutan visok stepen uslovljenosti. Kao što je već rečeno, *Kalendar* je na početku svog izlaženja zamišljen kao svojevrsan in-

ženjerski priručnik, u okviru koga su svoje mesto nalazili mnogi podaci i činjenice opšteg karaktera od značaja za svakodnevnu praksu u oblasti projektovanja i građenja, ali koji su u smislu priloga takođe bili i dovoljno aktuelni. Sadržaj *Kalendara* je, dakle, uvek bio manje-više i na liniji praćenja kretanja u široj oblasti graditeljstva, odnosno na liniji praktične primene naučno-stručnih dometa. Zbog ovakvog koncepta, a što je i potpuno razumljivo, u prvim brojevima *Kalendara* štampani su, između ostalog, različiti prilozi iz oblasti matematike i otpornosti materijala (tablice, formule i dr.), tablice i obrasci za proračun i dimenzionisanje elemenata konstrukcija i slično, pri čemu je fond ovakvih priloga kroz vreme dopunjavan – zavisno od razvoja u pojedinim oblastima (na primer, u oblasti dimenzionisanja betonskih i drugih konstrukcija). Danas, međutim, takav sadržaj *Kalendara* nema velikog opravdanja,

pošto se odgovori na praktično sva stručna pitanja vrlo brzo i lako mogu dobiti putem Interneta; jer danas skoro da nema inženjera koji ne poseduje PC računar i koji nije u mogućnosti da sazna praktično sve što mu je potrebno preko *Google*-a. U takvoj situaciji, logično, više ne postoji veće interesovanje inženjera za publikacijom kakva je *Kalendar*, pa se odmah postavlja i pitanje koji su to radovi koji dolaze u obzir da budu publikovani u *Kalendaru*, a koji će kao takvi biti interesntni za građevinske inženjere.

a to iskreno želim i tome se nadam, uspeti da reši ni malo lake probleme sadržaja *Kalendara* o kojima je napred bilo reči. A u odnosu na rešenja tih problema, kao i na mišljenje o ovom izdanju *Grđevinskog kalendara 2018*, svakako će biti najmerodavnije ocene čitalaca.

Beograd, maj 2018.

Glavni i odgovorni urednik
Prof. dr Mihailo Muravljov, dipl.inž.grđ.

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

624(059)

GRAĐEVINSKI kalendar / glavni i odgovorni
urednik Mihailo Muravljov. - 1970- . - Beograd : Savez
građevinskih inženjera Srbije, 1970-
(Beograd : Tehnološko-metalurški fakultet). - 14 cm

Godišnje.

ISSN 0352 - 2733 = Građevinski kalendar

COBISS.SR-ID 43031