



UPOTREBA LASERSKOG GRAVIRANJA I 3D ŠTAMPANJA PRI IZRADI MODELA URBANOG PODRUČJA VEĆE RAZMERE

PRODUCTION OF LARGE URBAN FRAGMENTS USING LASER ENGRAVING AND 3D PRINTING TECHNIQUES

Tamara Miljković, Marko Jovanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ARHITEKTURA

Kratak sadržaj – Tema ovog istraživanja bavi se pronalaženjem efikasnog i isplativog procesa izrade modela većeg urbanog područja, u razmeri. Istraživanje obuhvata testiranje različitih pristupa generisanja digitalnog modela grada i njegove fabrikacije tako da se kao krajnji rezultat dobije maketa grada veće razmere, primenom tehnika laserskog graviranja i 3d štampanja.

Ključne reči: Fabrikacija, maketa grada, digitalni model grada, lasersko graviranje, 3d štampanje

Abstract – The topic of this research is finding an efficient and cost-effective process of creating a scale model of a larger urban area. The research includes testing different approaches to generating a digital model of the city and its fabrication, by using laser engraving and 3d printing techniques, so that the end result is a larger-scale physical model of the city.

Keywords: Fabrication, city scale-model, digital city model, laser engraving, 3d printing

1. UVOD

Arhitektonski modeli, odnosno makete, imaju dugu istoriju svestranog instrumenta kojim su se arhitekta služile kako bi vizualizovale, razvijale i definisale svoje ideje i koncepte. Iako su se makete u početku koristile za prikazivanje jednog zasebnog objekta ili njegovog dela, u periodu od 17. do 19. veka počele su da se izrađuju i makete čitavih gradova [1]. Pri izradi ovih, ali i maketa u opštem slučaju, posebnu pažnju treba posvetiti odabiru odgovarajuće razmere, koja, između ostalog, zavisi i od količine detalja koje na modelu treba prikazati.

1.1. Oblast istraživanja

Izrada modela u razmeri je disciplina koja pokriva fabrikaciju fizičkih modela nekog objekta koji pritom treba da zadrži određenu skalu ili relativne proporcije. Razmera u kojoj će model biti izrađen zavisi od vrste modela i njegove namene. U okviru podele modela na osnovu prostora koji reprezentuju, između ostalih, ubrajaju se i modeli gradova [2]. Modeli gradova predstavljaju šire urbano područje onakvim kakvo trenutno jeste. Najčešće se koriste za proučavanje urbanističkih rešenja na širem nivou – blok, deo grada ili ceo grad.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Marko Jovanović, docent.

Zastupljenost i primena ovih modela česta je i van okvira arhitekture. Jedan od vida upotrebe modela gradova, jesu trodimenzionalne mape gradova koje se mogu sresti u velikom broju nacionalnih i zabavnih parkova, aerodroma, gradskih kuća i trgova. Na ovako široku primenu umnogome je uticala, kako pojava CNC mašina, poput lasera i 3d štampača, tako i razvoj računarske grafike.

U prošlosti, izrada maketa je obuhvatala upotrebu grafičkih crteža i skica. Razvoj računarske grafike doveo je do pojave digitalnih modela koji, osim za reprezentaciju, svoju primenu pronalaze i u izradi fizičkih modela u razmeri, odnosno maketa. Upotreba digitalnih modela u ovom pogledu, pruža mogućnosti brzih izmena pri pronalaženju odgovarajućih formi i oblika, ali i strategijama fabrikacije.

1.2. Predmet istraživanja

Usled pojave olakšavajućih okolnosti po pitanju izrade, kako fizičkih, tako i digitalnih modela gradova, nastalo je posebno tržište produkcije modela gradova u komercijalne svrhe. Razvoj specijalizovanog tržišta uticao je na potražnju za rešenjima i načinima automatizacije procesa izrade jednog ovakvog modela.

Predmet ovog istraživanja jeste izrada modela većeg urbanog područja, koja obuhvata testiranje različitih pristupa digitalnog modelovanja gradova i pristupa fabrikaciji, tako da se kao krajnji rezultat dobije fizički model grada u razmeri, napravljen od drveta ili plastike.

1.3. Stanje u oblasti

Na osnovu stanja u oblasti, proces fabrikovanja modela grada, u slučaju primene tehnike 3d štampanja, obuhvata: generisanje digitalnog modela upotrebom 15 različitih slojeva podataka dobijenih optičkim radarom i satelitskim snimcima, ručno usavršavanje finijih detalja digitalnog modela, dodatnu obradu modela po završetku štampe [4].

Modeli gradova dobijeni primenom tehnika laserskog graviranja i sečenja najčešće se sastoje od više slojeva. Osnovni sloj se sastoji od ugraviranih osnova zgrada, nakon čega se preko dodaje sloj isečenih puteva. U slučaju postojanja vodenih površina često se ispod dodaje još jedan sloj. Problemi sa ovakvim načinom izrade jesu nedostatak reljefa terena, veliki gubitak materijala pri izradi sloja puteva, kao i vreme potrebno za sklapanje svih slojeva.

Oba načina izrade uslovljena su postojanjem, ili digitalnog modela grada, u slučaju 3d štampe, ili vektorskih podataka u slučaju laserskog graviranja i sečenja. Većina podataka o nekom urbanom području

može se pronaći u specijalizovanim datotekama geografskih nekom urbanom području može se pronaći u specijalizovanim datotekama geografskih informacionih sistema (GIS datoteka), a jedna od takvih lokacija je *OpenStreetMap*-a (OSM). Međutim, načini geometrijske interpretacije ovih podataka jesu ono što je problematično.

1.4. Problem

Analizom stanja u oblasti izrade fizičkih modela većeg urbanog područja, uočeni su određeni problemi. Početni problem jeste generisanje digitalnog modela željenog urbanog područja. Uzevši u obzir površinu teritorije koju je potrebno modelovati, javlja se potreba za pronalaskom automatizovanog procesa modelovanja.

Problemi u načinima izrade fizičkog modela, u slučaju primene tehnike 3d štampanja, odnose se na dužinu trajanja same štampe. Na osnovu toga pokrenuto je pitanje pronalaska odgovarajućih podešavanja kojima bi se osigurala vremenska efikasnost samog procesa, ali kojima se ne bi narušio krajnji kvalitet fabrikovanog modela.

Problemi pri primeni tehnika laserskog graviranja i sečenja ogledaju se u nedostatku osećaja trodimenzionalnosti fabrikovanih modela, kao i nepotrebnih gubitaka velike količine materijala. Još jedan od problema kod primene laserskih tehnika jeste vreme potrebno za spajanje svih potrebnih slojeva.

1.5. Cilj

Cilj ovog istraživanja jeste pronalazak najefikasnijeg načina za generisanje digitalnog modela većeg urbanog područja upotrebom dostupnih podataka, kao i pronalazak najefikasnijeg načina fabrikacije tog modela, upotrebom tehnologija laserskog graviranja i 3d štampanja. Fabrikacija modela u ovom slučaju podrazumeva izradu fizičkog modela koji ne zahteva dodatnu doradu i post-produkciju. Kriterijumi koje je potrebno zadovoljiti su: vreme pripreme modela (odnosi se na vreme potrebno za generisanje digitalnog modela), vreme izrade fizičkog modela, kvalitet finalnog modela (odnosi se na nivo detalja i stanje dobijenog fizičkog modela), troškovi izrade.

2. METODA IZRADE

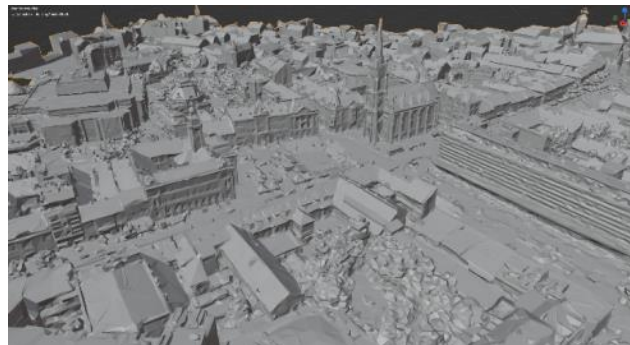
Proces izrade ovog istraživanja sastojao se od dva dela. Prvi deo obuhvatao je testiranje različitih pristupa generisanja digitalnog modela, dok je drugi deo obuhvatao izradu fizičkog modela primenom dva pristupa fabrikacije – laserskog graviranja i 3d štampanja. Za izradu ovog istraživanja odabrano je područje grada Novog Sada, koje obuhvata površinu od oko 10km².

2.1. Generisanje modela

Za generisanje digitalnog modela testirana su tri pristupa, od kojih je jedan baziran na upotrebi podataka dostupnih na gogl mapama, dok su dva bazirana na upotrebi dostupnih izvora i informacija sadržanih u datotekama geografskog informacionog sistema.

Prvi pristup obuhvatao je upotrebu *Blender* softvera i *RenderDoc* dodatka. Primena ovog pristupa obuhvatala je: prikupljanje podataka sa gogl mapa pomoću *RenderDoc* dodatka, učitavanje dobijenih podataka u *Blender* softver pomoću *MapsModelsImporter* dodatka,

spajanje dobijenih segmenata modela u jedan, čišćenje mreže modela, ponavljanje celokupnog procesa dok nije dobijena cela željena teritorija. Dobijeni model predstavljao je ljušturu grada, nije imao debljinu zbog čega mu je nedostajala treća dimenzija, koja je u slučaju 3d štampanja neophodna. Iz tog razloga na model je dodata podloga.



Slika 1. Uvećan prikaz dela modela dobijenog prvim pristupom modelovanja

Iako je ovim pristupom dobijen model visokog nivoa detalja, process izrade po pitanju vremena potrebnog za modelovanje pokazao se kao zahtevan. Shodno tome testiran je još jedan pristup.

Drugi pristup obuhvatao je upotrebu *Blender* softvera i *BlenderGIS* dodatka. *BlenderGIS* dodatak pruža mogućnost interpretacije GIS podataka direktno u *Blender* softveru. Ovakav pristup obuhvatao je izdvajanje dela mape izabranog područja grada na osnovu koje se u softveru vrši dalje iščitavanje podataka o zgradama, putevima, železnicama, vodenim tokovima, mostovima i zelenim površinama.



Slika 2. Rezultati dobijeni primenom drugog pristupa modelovanja

Budući da nije bilo moguće automatski generisati reljef terena i da su samo zgrade uspešno generisane, za odabranu teritoriju, ovakav pristup pokazao se kao neefikasan i nije zadovoljio uslove automatizovanog generisanja digitalnog modela grada, zbog čega je testiran i treći pristup.

Treći pristup oslanjao se na primenu vizuelnog programiranja, upotrebom *Grasshopper* dodatka u *Rhinoceros* softveru. Ovaj pristup obuhvatao je preuzimanje OSM i HGT podataka sa OSM i NASA sajta, i upotrebu *Elk* dodatka za *Grasshopper*, kako bi se prikupljeni podaci vizualizovali. *Elk* dodatak pruža opciju očitavanja HGT fajlova preko koje je generisan reljef odabrane teritorije. OSM podaci najpre su predstavljeni preko linija, na osnovu kojih je dalje bilo potrebno generisati odgovarajuću geometriju (zgrade, puteve i sl.).

Kako su ove linije generisane u ravni, prvi korak za dobijanje odgovarajuće geometrije bio je projiciranje linija na površ terena. U slučaju izrade zgrada projiciranje je izvršeno na njihovu najnižu tačku terena ispod, nakon čega su opcijom *extrude* dobijani solidi. U slučaju puteva, projiciranim linijama najpre je dodata debljina, nakon čega je ovakva geometrija oduzeta od geometrije terena.



Slika 3. Rezultati dobijeni primenom trećeg pristupa modelovanja

Treći pristup izrade pružao je dobre rezultate i po pitanju kvaliteta modela i vremena potrebnog za njegovu izradu.

2.2. Fabrikacija modela

U delu istraživanja koje se odnosilo na fabrikaciju modela, kako je već pomenuto, testirana su dva pristupa – lasersko graviranje i 3d štampanje.

Testiranja primene laserskog graviranja sprovedena su na drvenim pločicama, dimenzija 10x10cm, dok su testiranja 3d štampe sprovedena na uzorcima dimenzija 5x5cm. Kada je pronađen najbolji pristup fabrikaciji u oba slučaja, finalni fizički modeli izrađeni su u dimenzijama 20x20cm.

2.2.1. Lasersko graviranje

Za potrebe testiranja laserskog graviranja korišćen je digitalni model dobijen trećim pristupom modelovanja i njegove varijacije. Ova testiranja obuhvatala su, uglavnom, primenu rasterskog graviranja, koje zahteva postojanje slike na osnovu koje bi se radila gravura. Shodno tome, na osnovu digitalnog modela generisana je njegova dubinska mapa. Ovaj deo testiranja sadržao se od primene 4 različita pristupa laserskom graviranju, dok nije pronađen najefikasniji pristup.



Slika 4. Rezultati prva tri testiranja laserskog graviranja

U prvom testiranju korišćen je model sa reljefom i njegova dubinska mapa puštena je na gravuru tri puta. Iako je ovakvim pristupom dobijen reljef terena na fabrikovanom modelu, kvalitet zgrada nije bio zadovoljavajući. U drugom testiranju korišćen je model sa ravnim terenom i dodatim linijama ulica. Dubinska mapa ovakvog modela puštena je na gravuru u 4 prolaza, međutim, ni posle 4 prolaza putevi i ulice nisu bili uočljivi. U trećem testiranju primenjeni su i rastersko i vektorsko graviranje. U prvom sloju rasterski su

ugravirane zgrade, a zatim u drugom sloju vektorski su ugravirani putevi i reka. Ovaj pristup nije se pokazao efikasno ni po pitanju kvaliteta finalnog modela, ni po pitanju vremena izrade. Ideja sa razdvajanjem slojeva, na sloj zgrada i sloj puteva i reke zadržana je i u četvrtom testiranju, s tim da su u ovom slučaju svi slojevi gravirani rasterski.



Slika 5. Slojevi korišćeni u četvrtom pristupu i njegov rezultat

Ovaj pristup davao je dobre rezultate i po pitanju kvaliteta i po pitanju vremena izrade, zbog čega je doneta odluka da se isti primeni u izradi modela dimenzija 20x20cm.

2.2.2. 3D štampanje

Za potrebe testiranja 3d štampe korišćeni su digitalni modeli dobijeni prvim i trećim pristupom modelovanja i njihove varijacije.

U prvom testiranju štampani su uzorci originalnog modela dobijenog prvim pristupom modelovanja i njegove *remesh*-ovane varijacije, kao i uzorak modela dobijen trećim pristupom modelovanja, ali sa ravnim terenom. Debljina sloja postavljena je na 0.2mm, a brzina kretanja štampanja na 50mm/s.



Slika 6. Rezultati prve test štampe

Nijedan od rezultata nije bio ni približno zadovoljavajući kada je reč o kriterijumu kvaliteta, a rezultati štampe modela dobijenog prvim pristupom pokazali su da sa ovim modelom postoji problem iako u softveru za modelovanje on nije bio uočljiv. Iz tog razloga ovaj model izostavljen je iz daljih testiranja.

U sledećem testiranju korišćene su tri varijacije modela dobijenog trećim pristupom modelovanja, sa reljefom i to: model sa visokim zgradama i ispučenim putevima, model sa niskim zgradama i udubljenim putevima. Parametri debljine sloja i brzine kretanja štampanja bili su isti kao i u prethodnom testiranju.



Slika 6. Rezultati druge test štampe

Sagledavanjem odnosa i proporcija elemenata modela, treća varijacija davala je vizuelno najbolje rezultate. U narednom testiranju korišćen je samo ovaj uzorak, sa finijim podešavanjima štampe, kako bi se testiralo koji

nivo zaglađenosti površine je moguće dobiti. U skladu sa tim, debljina sloja postavljena je na 0.06mm.



Slika 7. Rezultati štampe sa finijim podešavanjima

Iako se rezultati u pogledu kvaliteta modela u ovom slučaju mogu smatrati najboljim, vreme štampe finalnog modela, dimenzija 20x20cm, sa ovakvim podešavanjima trajalo bi predugo. Iz tog razloga doneta je odluka da se finalni model štampa sa podešavanjima korišćenim u prethodnom testiranju, odnosno debljinom sloja od 0.2mm.

3. REZULTATI

Na osnovu sprovedenih testiranja, kada je reč o problemu generisanja digitalnog modela, kao najefikasniji pristup pokazala se upotreba vizuelnog programiranja, odnosno treći pristup.

Prvim pristupom moguće je generisati digitalni model, međutim ovakav pristup, ne samo da je vremenski zahtevaa, već model dobijen njegovom primenom zahteva dodatnu doradu i sređivanje.

Drugim pristupom omogućeno je automatizovano modelovanje zgrada, ali ne i terena i puteva, zbog čega se ni ovaj način nije pokazao kao efikasan.

Trećim pristupom rešeni su svi problemi koji su uočeni u prethodna dva, pritom ovaj način izrade pokazao se kao efikasan još i u mogućnostima brzih i lakih izmena modela (reprezentacija ulica, puteva, zgrada).

Kada je reč o testiranju tehnika laserskog graviranja, testirana su 4 pristupa od kojih su tri uključivala primenu rasterskog graviranja, dok je jedan uključivao primenu i rasterskog i vektorskog graviranja. Na osnovu dobijenih rezultata graviranja, kao najefikasniji način pokazao se pristup koji uključuje rastersko graviranje različitih slojeva grada. Ovaj način nakefikasniji je i po pitanju kriterijuma vremena izrade i kvaliteta finalnih rezultata.

Testiranjima vezanim za 3d štampu otkriveni su potencijalni problemi digitalnih modela i pronađena su podešavanja štampe kojim bi bili zadovoljeni i kriterijum vremenske izrade i kriterijum kvaliteta.

Najefikasniji pristup u pogledu laserskog graviranja i 3d štampe, primenjen je na izradi fizičkih modela dimenzija 20x20cm, razmere 1:15000.



Slika 8. Rezultati fabrikacije - Fizički modeli u razmeri 1:15000

Tabelarni prikaz vremena izrade, utrošenog materijala i ukupnih troškova za finalno odabrane pristupe i modele dat je u tabeli 1.

Tabela 1. Tabelarni prikaz dobijenih rezultata

Model	Tehnika izrade	Vreme	Materijal	Troškovi
Treći pristup – bez reljefa	Rastersko graviranje po slojevima	24 minuta	20x20cm	~ 1300 din
Treći pristup – sa reljefom	3D štampanje – finalna podešavanja	20h 20min	19.01m, 150g	~ 3500 din
	3D štampanje - finija podešavanja	2 dana 4h	20.01m, 158g	~ 8400 din

4. ZAKLJUČAK

U okviru tržišta izrade velikih urbanih segmenata kao maketa, pojavile su se mogućnosti za njihovu efikasnu fabrikaciju. Fabrikacija ovakvih maketa obuhvata generisanje digitalnog modela i izradu fizičkog modela, upotrebom CNC mašina poput lasera i 3d štampača. U ovom istraživanju testirano je više pristupa ovakvoj fabrikaciji, primenom različitih tehnika modelovanja za dobijanje digitalnog modela i primenom tehnologija laserskog graviranja i 3d štampanja za dobijanje fizičkog modela. Na osnovu definisanih kriterijuma koji obuhvataju vreme pripreme modela, vreme izrade modela, kvalitet finalnog modela i troškove izrade modela, kao rezultat ovog istraživanja fabrikovan je model većeg urbanog područja teritorije grada Novog Sada, u razmeri 1:15000.

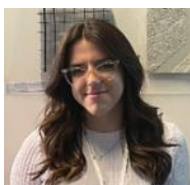
Po pitanju kriterijuma vremena pripreme modela, kao najefikasniji način za dobijanje digitalnog modela grada pokazao se pristup upotrebe vizuelnog programiranja. Po pitanju kriterijuma vremena izrade modela, primena laserskog graviranja davala je bolje rezultate, međutim, i u slučaju primene tehnike 3d štampanja, pokazalo se da je moguće optimizovati vreme izrade, upotrebom adekvatnih parametara, tako da kvalitet finalnog modela ne bude narušen. Kada je reč o kriterijumu kvaliteta, pokazalo se da je primenom tehnike 3d štampanja moguće dobiti veći stepen detalja koji uključuje i reljef terena. Iako se, kada je reč o kriterijumu troškova izrade, potvrdilo da je pristup izrade laserom isplativiji, i u slučaju 3d štampanja pronađena su adekvatna podešavanja, tako da upotrebom ove tehnike troškovi izrade budu svedeni na minimum.

Ovim istraživanjem napravljena je osnova koja se može koristiti u daljoj komercijalizaciji ovakvog tipa maketa.

5. LITERATURA

- [1] Bekkering, J. D., Curulli, G. I., & van Hoof, J. J. P. M. (Eds.) (2020). ARCHITECTURAL MODELS AS LEARNING TOOLS. Caledoscopio
- [2] Knoll, W. & Hechinger, M., 2006, ARCHITECTURAL MODELS Construction Techniques, J. Ross
- [3] Stavrić, M., Šidanin, P. & Tepavčević, B., 2013, Architectural Scale Models in the Digital Age, New York, Springer
- [4] CITYFRAMES, From a city to its 3d model, dostupno na <https://www.cityframes.de/pages/3d-city-model>, (pristupljeno u julu 2023.)

Kratka biografija:



Tamara Miljković rođena je u Kruševcu 2000. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Arhitektura - Digitalni dizajn i fabrikacija, odbranila je u septembru 2023. godine.

kontakt: mtamara00@gmail.com