

## KORIŠTENJE VIZUALNOG PROGRAMSKOG JEZIKA U GRAĐEVINARSTVU

### *USE OF VISUAL PROGRAMMING LANGUAGE IN CIVIL ENGINEERING*

**Hrvoje Dravinski<sup>1</sup>, Boris Uremović<sup>1</sup>, Marija Čačić<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10000 Zagreb, Hrvatska*

<sup>2</sup>*Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10000 Zagreb, Hrvatska, student*

#### SAŽETAK

Cilj ovog rada je prikaz primjene računalnog programa za 3D modeliranje Rhinoceros 3D i njegove nadogradnje Grasshopper pri izradi računalnog 3D modela konstrukcije jednog pješačkog mosta malog raspona. Ono što razlikuje Rhinoceros 3D i Grasshopper od drugih računalnih programa za izradu 3D modela je to što je Grasshopper alat za vizualno programiranje i izradu parametarski definiranog modela korištenjem grafičkog sučelja za izradu potrebnog algoritma. Iako Rhinoceros 3D i Grasshopper nisu specijalizirani za neku inženjersku djelatnost, cilj rada je pokazati da ih je moguće koristiti za izradu modela građevinske konstrukcije, i da je moguće temeljem pravilno određenog algoritma i na njemu temeljenog parametarskog modela izraditi valjana varijantna rješenja. Također, kao dodatni izazov, građevinska konstrukcija će biti atipičnog oblika kojeg bi bilo vrlo teško ili čak nemoguće napraviti u nekom drugom računalnom programu specijaliziranom za izradu parametarskih modela građevina. Na kraju, važno je napomenuti da je takva varijantna rješenja odnosno modele proizašle iz njih moguće dalje dodatno obrađivati u drugim računalnim programima, primjerice moguće ih je virtualno testirati u raznim računalnim programima za provjeru mehaničke otpornosti ili je pomoću njih moguće napraviti virtualni prikaz (vizualizaciju) gotovog objekta i njegovo uklapanje u postojeći okoliš.

**Ključne riječi:** *Rhinoceros 3D, Grasshopper, vizualno programiranje, VPL, parametarsko modeliranje, varijantna rješenja*

#### ABSTRACT

The goal of this paper is to show the 3D modelling application software Rhinoceros 3D and its add-on Grasshopper and their usage in the making of a computer 3D model of a small span pedestrian bridge. What differentiates Rhinoceros 3D and Grasshopper from other application software for 3D modelling is that Grasshopper is a visual programming tool and can facilitate a parametrically defined 3D model through a graphic interface. Although Rhinoceros 3D and Grasshopper are not specialized for any particular engineering activity, the goal of this paper is to show that they can be used for the making of a civil engineering construction, and that on the basis of a correctly defined algorithm it is possible to make valid variant solutions of the construction. Also, for an additional challenge, the civil engineering construction will be of an atypical form which would be very hard or even impossible to make in a different application software for parametric modelling of civil engineering constructions. In the end, it is important to say that it is possible to analyse any variant solution made with Rhinoceros 3D and Grasshopper in an application software for structure analysis or to make a visualization of the structure in the surrounding area.

**Key words:** *Rhinoceros 3D, Grasshopper, visual programming, VPL, parametric modelling, variant solutions*

## 1. UVOD

### 1. INTRODUCTION

Glavni cilj ovog rada je prikazati praktičnu mogućnost uporabe računalnog programa za 3D modeliranje, ali onog koji nije specijaliziran isključivo za građevinsku namjenu, za modeliranje parametarske konstrukcije jednostavnog pješačkog mosta malog raspona do razine razrade dostatne za izradu idejnog projekta te mogućnost izrade nacрта, dijelova i iskaza materijala prema izrađenom modelu.

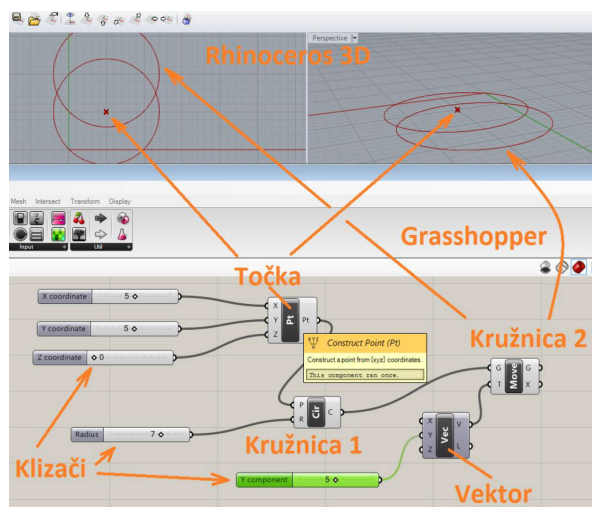
Konstrukcija mosta je zamišljena kao metalna konstrukcija izvedena od komada čeličnog lima rezanog CNC strojem, a koji dijelovi će biti spojeni varenjem. Tijek izrade rada koncipiran je kroz cjeline uvod i opis korištenog alata, postavljanja ulaznih parametara zadatka i osmišljavanja algoritma za nosivu konstrukciju mosta, izrade i odabira varijante idejnog rješenja, te izrade osnovnih nacрта i drugih priloga poput iskaza materijala.

Program Rhinoceros 3D je odabran zbog razloga jednostavnosti i još važnije zato što ima nadogradnju koja omogućuje izradu algoritama kojima se stvara i modificira geometrija. Nadogradnja je nazvana Grasshopper te je razvijena uglavnom za stvaranje generativnih algoritama, npr. za generativnu umjetnost [1]. To je umjetnost koja se nekad naziva i algoritmička umjetnost, a nastaje modificiranjem parametara i korištenjem nekog sustava, uglavnom matematike odnosno geometrije, kako bi se generiralo djelo koristeći računalo [1]. Predmet ovog rada (most) može se promatrati i kao takva umjetnička instalacija koja osim umjetničke forme ima i funkciju mosta.

Grasshopper je dodatak koji koristi vizualni programski jezik (eng. kratica VPL) i koji radi unutar CAD programa Rhinoceros 3D [2]. Komponente programskog jezika Grasshopper postavljaju se na njegovom platnu odnosno grafičkom prostoru, uglavnom su pravokutnog oblika koji s lijeve strane imaju točke ulaza podataka dok s desne strane imaju točke izlaza podataka. Točke izlaza se mogu priključiti na točke ulaza jedne ili više slijedećih komponenti ili pomoću žica koje prate tok podataka. Tok podataka kroz naredbu uvijek ide s lijeva na

desno, a između komponenata uvijek slijedi pojedinu žicu do slijedeće komponente.

Na slici 1 prikazan je primjer jednog algoritma nastalog u Grasshopperu. Povezivane su komponente brojčanih klizača koji dopuštaju unos brojčane vrijednosti tipkanjem ili izravnim pomicanjem klizača na naredbu za konstruiranje točke koja ulazne vrijednosti pretvara u koordinate točke. Na nju je povezana komponenta za stvaranje kružnice za koju su potrebni ulazni podaci točka središta i polumjer kružnice za koji dodajemo još jedan brojčani klizač. Slijedeća naredba za pomicanje osim ulaza geometrije (u ovom slučaju kružnice) koja se pomiče zahtjeva i podatak u obliku vektora, te je stoga dodan i dio za stvaranje vektora slično kao i za točku s tri koordinate s tim da ovdje brojčana vrijednost određuje duljinu komponente vektora u smjeru pojedine osi. Ovdje je vidljivo da su i komponenta kojom je postavljena kružnica i komponenta pomaka manifestirane kao zasebne kružnice, odnosno kao zasebni objekti.



Slika 1 Primjer algoritma na Grasshopper platnu i proizvod algoritma u Rhinoceros prostoru

Figure 1 Example of a Grasshopper algorithm placed on the canvas, and the result shown in Rhinoceros space

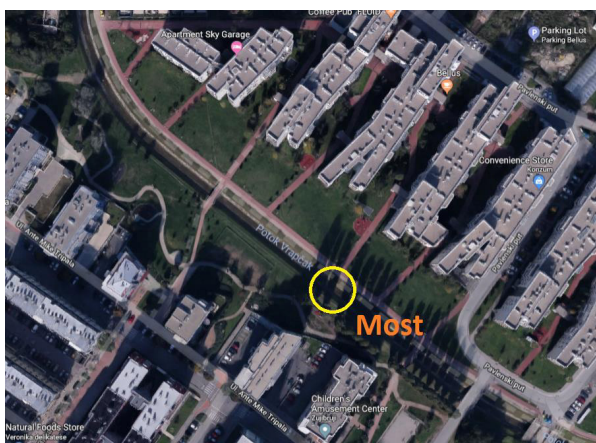
## 2. ZADATAK

### 2. TASK

Osnovna ideja za zadatak ovog rada je izrada parametarske konstrukcije mosta malog raspona koja može poslužiti za izradu idejnog projekta, te koja će biti generirana algoritmom postavljenim

unutar programa Grasshopper. Glavni cilj rada je prikazati tijekom princip izrade samog algoritma, ali i prikazati neke od osnovnih mogućnosti spomenutog programskog jezika za oblikovanje konstrukcija složene geometrije. Misao vodilja je da ta konstrukcija u konačnici bude izvediva u stvarnosti i da ima praktičnu namjenu.

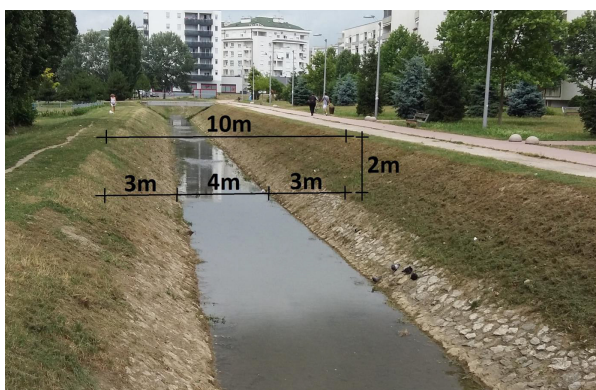
Kako bi se zadatak mogao riješiti prvo treba postaviti ulazne parametre mosta koji su određeni lokacijom odnosno preprekom koju treba premostiti. Za prepreku je odabran potok Vrapčak na lokaciji između ulica Pavlenski put i Ante Mike Tripala u zagrebačkom naselju Špansko-Oranice, a koja je prikazana na slici 2.



*Slika 2 Lokacija mosta (izvor: Google Maps)*

*Figure 2 Bridge location (source: Google Maps)*

Mjere lokacije vidljive na slici 3. određuju oblik prema kojem će biti modeliran teren i koji će utjecati na geometriju mosta. Teren će biti modeliran u programu Rhinoceros 3D te će preko komponenti za geometriju biti iskorišten u Grasshopperu za izradu algoritma.



*Slika 3 Dimenzije lokacije*

*Figure 3 Location dimensions*

Kada je odabrana određena lokacija može se krenuti sa stvaranjem algoritma iako se on mogao izraditi na istim načelima i prije odabira lokacije jer je cilj izraditi algoritam i parametarski model koji će biti moguće jednostavno prilagoditi svakoj lokaciji.

### 3. ALGORITAM

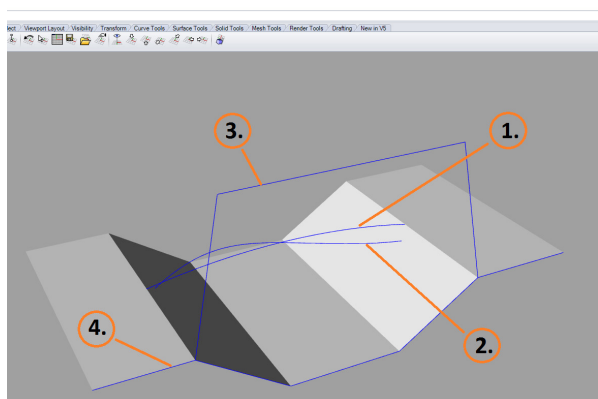
#### 3. ALGORITHM

Konstrukcija mosta zamišljena je kao „waffle“ struktura odnosno struktura stvorena od rebrastih elemenata koji se dobivaju presijecanjem nekog volumena pramenovima ravnina (najčešće dva pramena međusobno okomitih ravnina). Kao dobar primjer jedne takve građevine napravljene od betona, čelika i drva moguće je uzeti građevinu u Sevilji naziva Metropol Parasol, koja je iako u osnovi slične strukture, u konačnici puno složenija građevina od one koju se izrađuje u ovom zadatku. Njena osnovna nosiva konstrukcija je izvedena u betonu i čeliku dok drveni elementi imaju uglavnom estetsku vrijednost i definiraju vanjski izgled građevine. Konstrukcija mosta koja se izrađuje u ovom zadatku će imati primarnu nosivu konstrukciju i prometnu konstrukciju za pješački promet, a pokušat će se postići da konstrukcija osim zadovoljavanja temeljnih mehaničkih karakteristika zadovolji i estetske uvjete i svojom konstrukcijom stvori nesvakidašnji oblik koji osim estetike ima utilitarnu svrhu.

Osnovna ideja je da se konstrukcija mosta prilagođava podlozi odnosno prepreci koju premošćuje, a to će biti izvedeno tako da se model prepreke izradi u programu Rhinoceros 3D te zatim poveže s Grasshopperovim komponentama. Na model podloge postaviti će se i neke krivulje i pravci potrebni za definiranje prometne plohe i vanjske ovojnice (slika 4):

1. Krivulja prometne površine
2. Krivulja modifikacije konstrukcije
3. Mnogokut za odsijecanje krajeva
4. Linija terena





Slika 4 Model terena

Figure 4 Terrain model

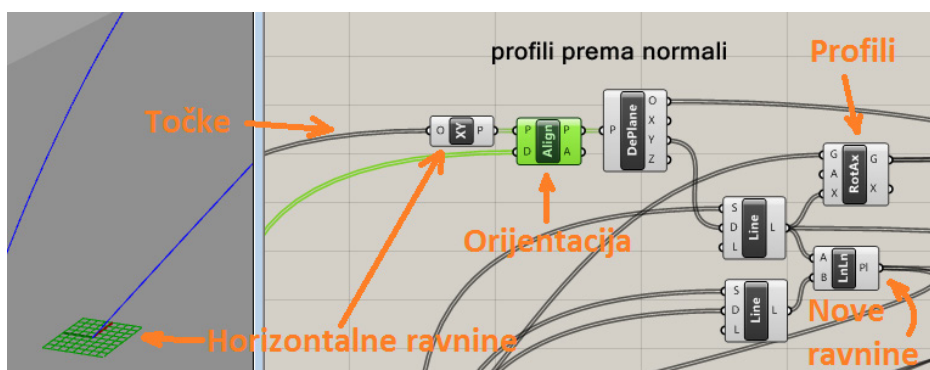
Teren je napravljen crtanjem pravaca u mjerama koje odgovaraju onima u stvarnosti te je zatim iz njih izvučena ploha. Mnogokut koji će biti korišten za odsijecanje krajeva konstrukcije djelomično se preklapa sa pravcima terena tako da se za istu svrhu može koristiti jedan, drugi ili oba oblika ovisno o situaciji odnosno želji autora. Na model terena je zatim postavljena krivulja koja će predstavljati prometnu plohu odnosno na koju se postavljaju pravokutnici dimenzija prometnog profila modelirane građevine. Plan je da prometni profil bude unutarnji dio modela konstrukcije kako bi njegove dimenzije uvijek bile zadovoljene odnosno da generirana konstrukcija uvijek bude veća ili jednaka odabranom prometnom profilu da se ne bi utjecalo na prometne karakteristike mosta odnosno na njegovu primarnu namjenu [3]. Vanjski dio konstrukcije će biti ovisan o drugoj krivulji čiji će položaj u odnosu na krivulju prometnog profila modificirati osnovni oblik presjeka konstrukcije.

Cijela konstrukcija će se moći modificirati na više mjesta u svom algoritmu, ali izrada algoritma mora početi s ulaznim podacima i načinom kako

te podatke prilagođavati te koristiti dalje za razvoj modela konstrukcije.

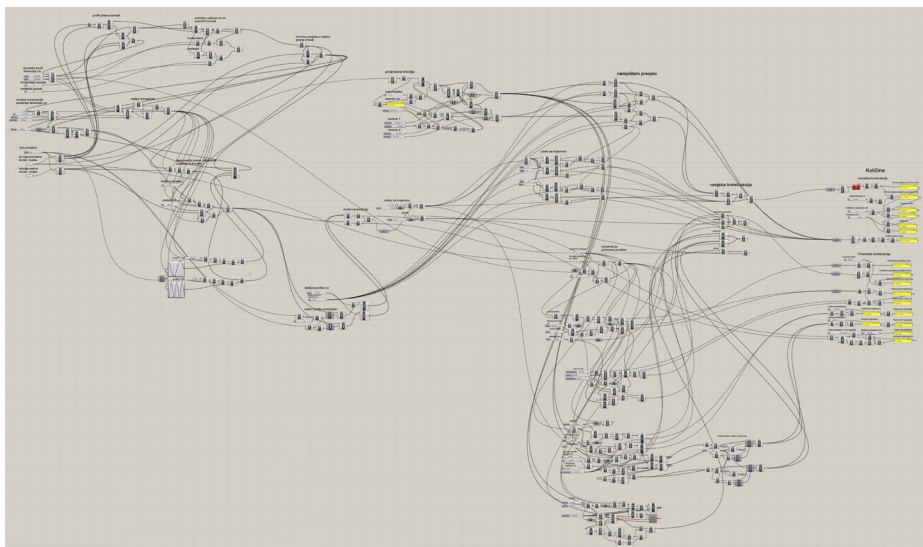
Prvo što je modelirano je teren i krivulje konstrukcije koje se sada iz programa Rhinoceros 3D povezuju u njegov program za vizualno programiranje Grasshopper. Krivulje su uvedene pomoću komponente „Curve“ koja se povezuje s modelom te se njeni podaci tada mogu koristiti u Grasshopperu spajanjem na druge komponente. Ideja je da se mijenjanjem modela krivulje model konstrukcije preko algoritma prilagođava njenom novom položaju. Svaka je krivulja podijeljena na jednak broj dijelova kako bi se skupina podataka dobivenih iz točaka jedne krivulje podudara sa skupinom podataka iz druge krivulje, odnosno kako bi se oni mogli lakše kombinirati. Broj točaka je jednak broju elemenata poprečnog presjeka koji će biti dobiven algoritmom tako da brojčani klizač omogućava jednostavan odabir broja presjeka kojima će se dalje manipulirati za dobivanje vanjske plohe konstrukcije. Za prometni profil postavljen je pravokutnik u yz ravninu (ravninu okomitu na uzdužnu os mosta) dimenzija 200x225cm koja je povezana na točke dobivene podjelom krivulje prometnog profila. Postavljeni su klizači za odabir dimenzija prometnog profila koji omogućavaju prilagodbu profila prema potrebi kao i dodatni klizači za pomicanje prometnog profila u ravninama okomitim na krivulju prometnog profila za slučaj da se pojavi takva potreba.

Iako algoritam za pomicanje neće biti korišten postavljen je u ovom radu kao mogućnost dok će se dalje koristiti algoritam koji postavlja prikazane pravokutnike na način da postavlja središta donje stranice pravokutnika u točke kojima je podijeljena krivulja prometnog profila. To se može izvesti na više načina. Pravokutnici mogu biti postavljeni u yz ravninu, ali je odabrano rješenje da z os tih



Slika 5 Algoritam korišten za poravnanje ravnina presjeka prema krivulji prometne površine

Figure 5 Algorithm used for the alignment of crossing planes and the traffic plane curve



*Slika 6 Umanjeni prikaz cijelog algoritma parametarskog modela*

*Figure 6 Scaled down display of the whole parametric model algorithm*

ravnina bude okomita na tangente krivulje kako bi se presjeci prometnog profila bolje prilagodili krivulji. Ravnine su dobivene tako da su u točke prvo postavljene horizontalne ravnine orijentirane prema tangenti na krivulju prometnog profila od kojih je zatim uzeta y komponenta te postavljena u novoj ravnini za x os dok je y os zamijenjena tangentama krivulje. (slika 5)

Ideja vanjske konstrukcije je da to bude izvučena ploha čiji je osnovni profil mnogokut, te koji će se moći oblikovati promjenom ulaznih parametara kao što su broj stranica, polumjer za zaobljavanje vrhova kao i rotacija cijelog mnogokuta oko njegovog središta.

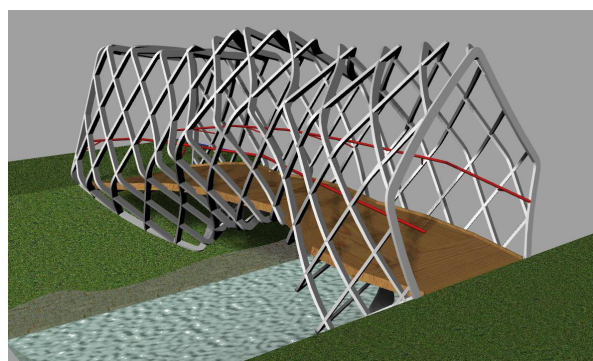
Ovime je okvirno definiran osnovni izgled konstrukcije i mogućnosti manipulacije nekim njenim osnovnim karakteristikama, te slijedi definiranje algoritama pomoću kojih će se dobiti detaljniji model nosive konstrukcije. Nakon definiranja tog algoritma potrebno je na temelju nosive konstrukcije definirati nosivu konstrukciju prometne površine, te još neke dijelove opreme mosta poput rukohvata.

Cijeli algoritam postavljen na Grasshopper platnu, koji u konačnom obliku koristi 65 ulaznih parametara, od toga 60 numeričkih i 5 krivulja definiranih u Rhinoceros prostoru, i koristi više od 300 komponenata, vidljiv je u svojem umanjenom prikazu na slici 6.

Važno je napomenuti da je kod ovog modela mosta geometrijski razrađen samo dio rasponske konstrukcije, odnosno nisu bili proučavani

upornjaci, te način nalijeganja konstrukcije na upornjake odnosno način oslanjanja. S obzirom da je Grasshopper postao relevantan alat za projektiranje pojavila se i potreba za proračunom konstrukcija izrađenih u Grasshopperu. Za tu svrhu, proizvođači programskih alata za proračun konstrukcija (primjerice Sofistik ili Tekla) su izradili dedicerane dodatke za Grasshopper koji omogućuju izravnu povezanost Grasshopper modela i alata za proračun konstrukcija [4], no osim dodataka koji služe povezivanju Grasshoppera i vanjskih programskih alata postoje i dodaci poput FEM Toolbox-a [5] ili Karamba dodatka [6] koji u Grasshopper dodaju mogućnost izravnog proračuna konstrukcija bez vanjskih alata.

Temeljem tog algoritma dobivamo parametarski model koji s jednim odabranim setom parametara ima oblik prikazan na slici 7 (inicijalna varijanta modela). Te je koristeći jedan dio algoritma moguće izračunati osnovne količine potrebnih materijala.



*Slika 7 Inicijalna varijanta mosta*

*Figure 7 Bridge initial variation*

## 4. VARIJANTNO RJEŠENJE

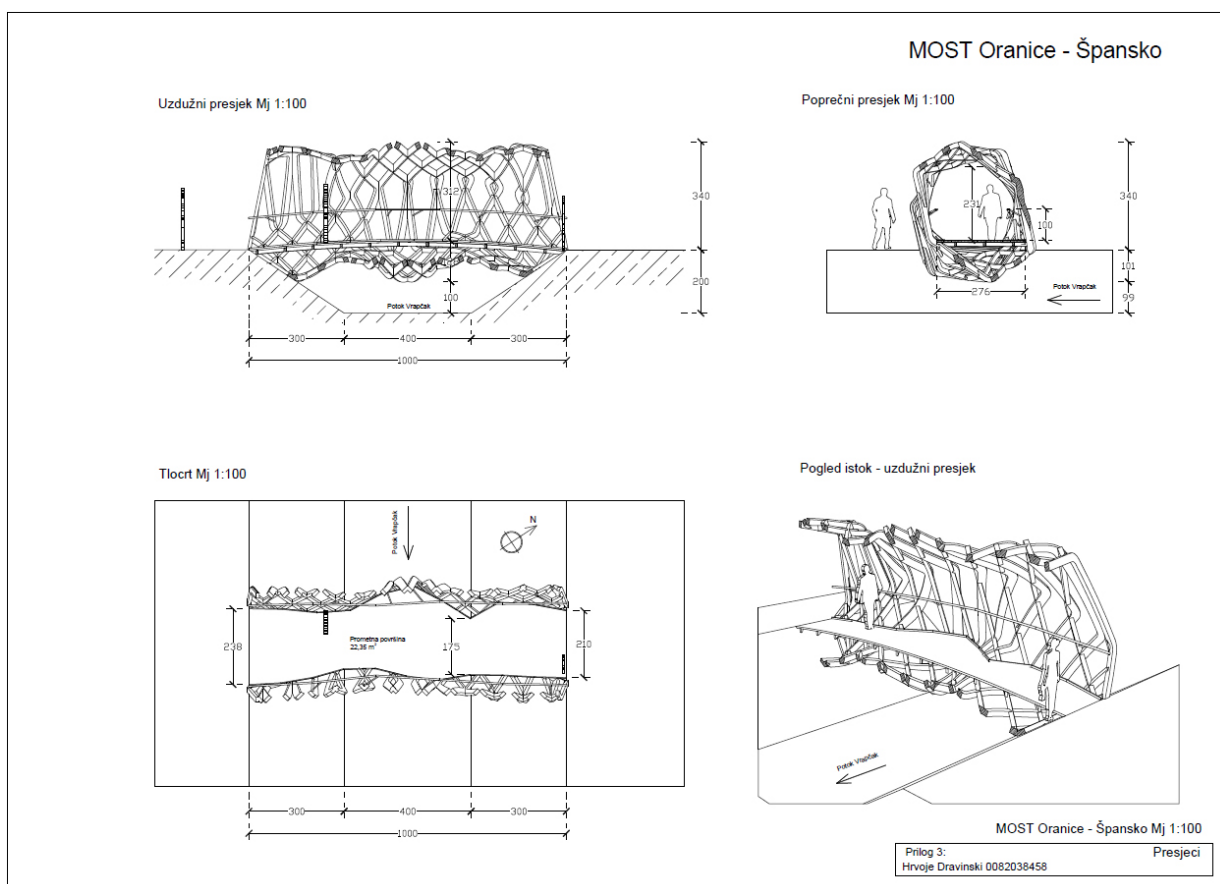
### 4. VARIANT SOLUTION

Nakon definiranja algoritma za cijeli parametarski model i izrade inicijalne varijante moguće je pristupiti izradi raznih varijantnih rješenja. Varijantna rješenja se razlikuju primarno svojim oblikom, a nakon odabira parametara koji nam daju estetski prikladnu konstrukciju, potrebno je izvršiti analizu njene mehaničke otpornosti što je moguće napraviti s više različitih računalnih programa jer Rhinoceros 3D podržava izvoz svojih modela u više različitih datotečnih formata. Nakon što je utvrđeno da konstrukcija zadovoljava analizu mehaničke otpornosti može se izračunati količina potrebnog materijala, ili izraditi vizualni prikaz. Nakon odabira konačne verzije potrebno je pristupiti izradi tehničkih nacrti cijele konstrukcije i izradi nacrti pojedinih elemenata od kojih je konstrukcija sastavljena. Za potrebe ovog rada izrađeni su idejni nacrti konstrukcije mosta prikazani na slikama 8. i 9.

## 5. ZAKLJUČAK

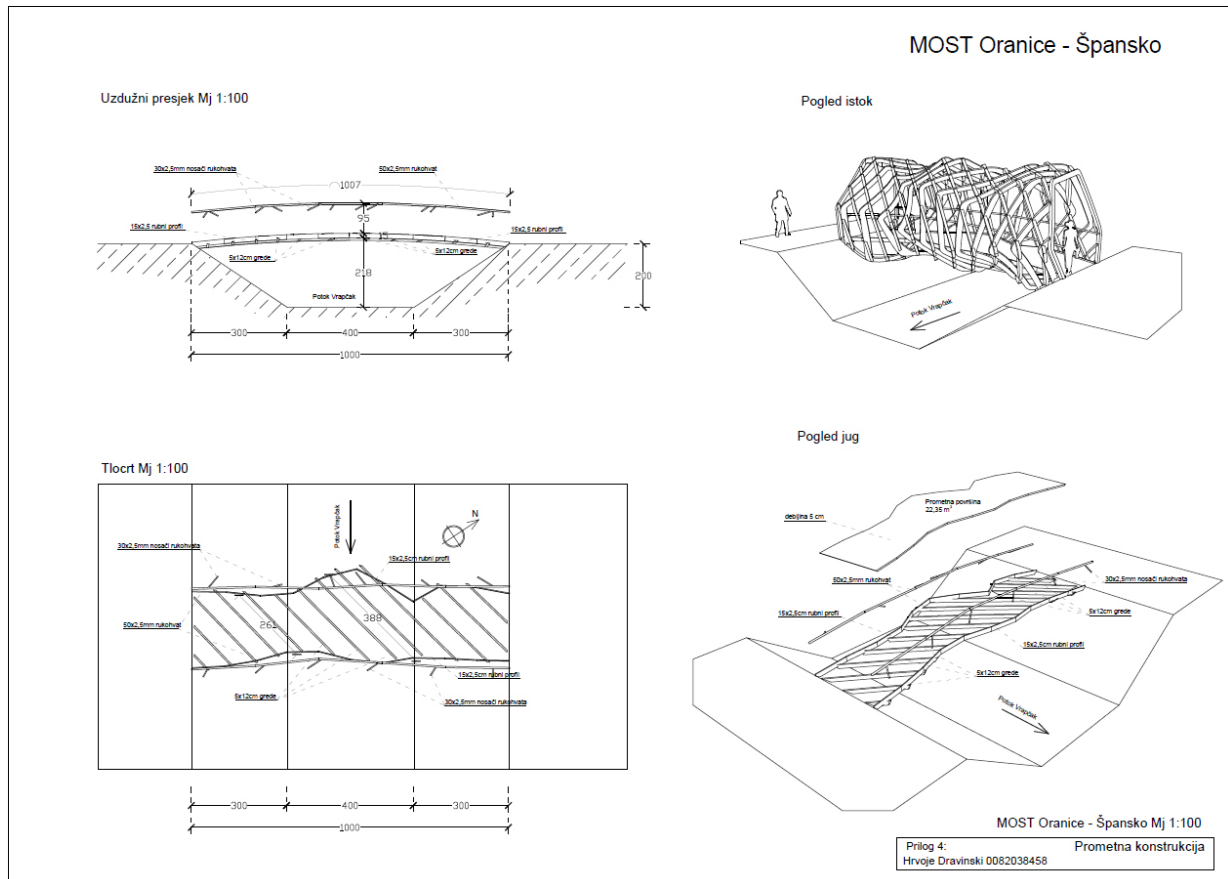
### 5. CONCLUSION

U ovom radu prikazan je primjer primjene vizualnog programskog jezika u izradi 3D modela građevinske konstrukcije u programu za modeliranje opće namjene. Cilj je bio prikazati da program za modeliranje opće namjene kao što je Rhinoceros 3D uz pomoć VPL dodatka Grasshopper svojim mogućnostima omogućava rješavanje svih problema koji se pojavljuju prilikom izrade idejnog rješenja jednog pješačkog mosta malog raspona. Također, cilj je bio definirati parametarski model pomoću kojeg će jednostavnom izmjenom pojedinih parametara biti jednostavno moguće dobiti varijantno rješenje konstrukcije. Iako program nije specijaliziran za neku inženjersku djelatnost pokazalo se kako takav program može biti korišten kao zamjena za specijalizirane programe jer su matematička odnosno geometrijska i algebarska načela na kojima funkcionira, univerzalna. U radu je



*Slika 8* Nacrti glavne nosive konstrukcije mosta

*Figure 8* Blueprints of the main bearing structure of the bridge



**Slika 9** *Nacrti pješačke prometne konstrukcije mosta*

**Figure 9** *Blueprints of the pedestrian traffic structure of the bridge*

prikazano rješavanje jednog jednostavnijeg zadatka kako bi se prikazala izrada algoritma odnosno korištenje programskog jezika. Način na koji je algoritam izrađen nije jedinstven, ali to je uobičajeno jer se puno puta isti rezultat može dobiti na više različitih načina odnosno koristeći više različitih algoritama. Među glavnim problemima u radu s ovim alatima je izrada početne koncepcije algoritma koja se dosta često mora mijenjati ili nadopunjavati kako se mijenjaju uvjeti nastali nakon postavljanja početne ideje, no to nije nužno problem alata već je to vrlo često i problem umnog procesa autora. Problem također predstavlja i broj komponenti, naredbi odnosno (ne)poznavanje načina na koji one obrađuju podatke što često može promijeniti ili potpuno srušiti početnu ideju algoritma i kad je

potrebno krenuti od početka. Zadnji problem je način organizacije radne plohe koji ne ovisi o programskom jeziku već o osobi koja postavlja algoritam. Naredbe je vrlo važno grupirati u skupine vezane nekim logičkim slijedom jer se u slučaju složenijih algoritama vrlo brzo može izgubiti slijed logike kojom je isti izrađen.

Bez obzira na sve navedene probleme, vizualni programski jezici poput ovog korištenog u alatu Grasshopper omogućuju ljudima bez prethodnog znanja nekog programskog jezika, no sa znanjem geometrije i osjećaja prostora, da iskoriste njihove mogućnosti za izradu algoritama kojima se postavljaju 3D modeli i da uspješno savladaju prepreke koje pred njih postavlja proces rješavanja stvarnih inženjerskih problema.



## 6. REFERENCE

### 6. REFERENCES

- [1.] Tedeschi, A.: „AAD\_Algorithms-Aided Design – Parametric Strategies using Grasshopper“, Le Penseur Publisher, 2014, ISBN 978-88-95315-30-0, pp. 27, pp. 36
- [2.] Tedeschi, A.: „Parametric Architecture with Grasshopper“, Le Penseur Publisher, 2011, ISBN-13: 978-88-95315-10-2, pp. 41
- [3.] Radić, J.: „Uvod u mostarstvo“, Hrvatska sveučilišna naklada, Jadring, Građevinski fakultet, Zagreb, 2009., pp. 101
- [4.] Girardet, A.; Boton C.: „A parametric BIM approach to foster bridge project design and analysis“, Automation in Construction, Vol. 126., 2021.; ISSN 0926-5805; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103679>
- [5.] Appelaniz, D.; Vierlinger, R.: „Enhancing structural design with a parametric FEM toolbox“, Steel Construction – Design and Research; Vol. 15., Issue 3.; 2022; pp. 188-195; eISSN 1867-0539
- [6.] Gerbo, J.; Saliklis. E.: „Optimizing a Trussed Frame Subjected to Wind Using Rhino, Grasshopper, Karamba and Galapagos.“; Proceedings of IASS Annual Symposia. Vol. 2014. No. 13. International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), 2014.

## AUTORI · AUTHORS

• **Hrvoje Dravinski** – Po završetku Preddiplomskog studija građevinarstva upisao je Diplomski stručni studij na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu na kojem je odslušao i položio ispite iz kolegija Parametarsko modeliranje I i II, a čije gradivo ga je ponukalo na izradu ovog rada.

• **Boris Uremović** – Viši je predavač na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu gdje izvodi nastavu iz kolegija orijentiranih prema tehnologiji građenja i upotrebi računalne grafike u građevinarstvu. Koautor je nastavnog plana i jedan od nositelja kolegija Parametarsko modeliranje I i II na Diplomskom stručnom studiju građevinarstva.

### Korespondencija · Correspondence

buremovic@tvz.hr

• **Marija Čačić** – Trenutno studira na Preddiplomskom stručnom studiju na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu i studentica je treće godine. Uz studij radi u građevinskoj tvrtki.