

Parametarsko modeliranje i varijacije oblika

Boris Uremović¹, prof. dr. sc. **Ivica Završki²**

¹Tehničko veleučilište u Zagrebu, buremovic@tvz.hr

²Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, ivica.zavrski@grad.unizg.hr

Sažetak

Ovaj rad ima za cilj prikazati osnovne pojmove vezane uz parametarsko modeliranje, s obzirom da je ono postalo nezaobilazni alat projektantima u graditeljstvu i ostalim područjima inženjerskog djelovanja. Bit će prikazane osnovne mogućnosti jednog od najraširenijih alata za modeliranje Rhinoceros 3D s dodatkom za parametarsko modeliranje Grasshopper, te će biti prikazana izmjena pojedinih parametara konceptualnog parametarskog modela i izrada varijantnih rješenja. Također će biti date osnovne smjernice za daljnja istraživanja i potencijal razvoja parametarskog modeliranja u budućnosti.

Ključne riječi: parametarsko, modeliranje, dizajn, Rhinoceros, Grasshopper

Parametric modelling using mathematical functions

Abstract

This paper has a goal to show basic terms regarding parametric modelling, regarding the fact that it has become an unavoidable tool for designers in architecture and civil engineering as well as in other fields of engineering. Basic tools from one of the most widespread modelling application Rhinoceros 3D and its parametric modelling addon Grasshopper will be shown, and also will be shown a development of a conceptual model and the making of variant solutions based on parameter change. References and guidelines for future research of parametric modelling will also be given.

Key words: parametric, modelling, design, Rhinoceros, Grasshopper

1 Uvod

Zadnjih godina, računalna pismenost i dostupnost tehnologije potiču ubrzani razvoj digitalnih inovacija. Projektanti svih struka potaknuti tim istim znanjem započeli su zamišljati sve odvažnije, raznolike i mijenjajuće oblike. Parametarsko modeliranje je pronašlo svoje mjesto u mnogim područjima, a pogotovo u trenucima kad svoje modele projektanti više ne mogu kvalitetno kontrolirati uobičajenim alatima ili ih predočiti klasičnim tehnikama [1]. Današnji digitalni modeli često se sastoje od složenih međudnosa opisanih algoritmima, a ta složenost je često potaknuta interdisciplinarnošću svih sudionika uključenih u procese projektiranja, izgradnje i korištenja građevina, a za takve složene digitalne modele čija struktura je opisana raznim matematički definiranim uvjetima (bilo algebarskim ili geometrijskim), najprikladnija metoda izrade bez premca je parametarsko modeliranje [2].

2 Pojam parametarskog modeliranja

Kako bi jednostavnije objasnili pojam parametarsko modeliranje potrebno je za početak proučiti pojmove "parametar" i "model" i njihova objašnjenja u enciklopedijama i normativnim rječnicima hrvatskoga jezika.

Tako Hrvatska enciklopedija za pojam **parametar** u [3] kaže "*matematički pojam s više značenja. Npr. (1) Varijabilna veličina čijim je posebnim značenjem određen konkretni element nekoga skupa...*" ili "*(4) Veličina u matematičkome opisu nekoga geometrijskoga objekta ili fizikalnoga zakona koja je u nekom posebnom slučaju stalna, ali za različite slučajeve poprima različite vrijednosti.*", Školski rječnik hrvatskoga jezika u [4] kaže "*veličina ili mjerilo prema kojem se što mjeri ili određuje*", a Hrvatski jezični portal u [5] pojam parametar definira kao "*matematička veličina, obično realna varijabla, čije vrijednosti služe za razlikovanje elemenata nekog skupa točaka, funkcija, jednadžbi ili drugih matematičkih objekata.*".

Za pojam **model** moguće je pronaći puno više različitih objašnjenja, a što je i logično s obzirom na postanak navedene riječi, te značenja koja povezuju područja od matematike do mode iako im je lingvistički korijen jednak. Od ponuđenih opisa i objašnjenja, iz Hrvatske enciklopedije [6] je možda najprikladnije "*Oblik (lik, tip) u koji se netko ugleda, koji uzima za primjer ili ga oponaša (reproducira); obrazac, uzorak, predložak, uzor, primjer.*", iz Školskog rječnika hrvatskoga jezika [7] najprikladnije je "*uzorak prema kojemu se izrađuju ostali proizvodi*" ili "*umanjeni prikaz kojega predmeta ili objekta*", a na Hrvatskom jezičnom portalu [8] imamo možda i ponajbolji opis "*...mat. približni opis nekih pojava ili objekata u stvarnom svijetu, uz pomoć matematičke simbolike (funkcija, jednadžbi itd.)*". Uz pojam model, kao stranu riječ, izravno je vezan i pojam modeliranje, i pojam dizajn, koje oba u svojoj najkraćoj i najjednostavnijoj formi možemo najbolje objasniti pojmom/riječi oblikovanje, odnosno postupak oblikovanja.

Iz svih navedenih definicija pojam parametarsko modeliranje (ili dizajn ili oblikovanje) je ukratko moguće opisati kao proces oblikovanja modela ili oblika pomoću matematičkih funkcija i jednadžbi, ili drugih uvjeta, korištenjem stalnih i/ili varijabilnih parametara.

3 Parametarsko modeliranje u projektiranju građevina

Parametarsko modeliranje (ili dizajniranje) kao pojam je prvi puta spomenuto početkom 60-ih godina prošlog stoljeća [2], te se tako gledajući ne može smatrati iznimno modernim postupkom modeliranja. Bez obzira na navedeno, tijekom zadnjih 10 godina dolazi do postupnog otvaranja sve većih mogućnosti primjene parametarskog modeliranja i to prvenstveno s dodatnim razvojem računala koja su postala neophodna za otkrivanje njegovih mogućnosti i bez kojih bi korištenje parametarskog modeliranja bilo gotovo nemoguće [9].

S obzirom da je postupak projektiranja građevina iterativni postupak, koji do rješenja dovodi najčešće višestrukim i repetitivnim ponavljanjem ustaljenih i unaprijed definiranih procedura, a pri kojim ponavljanjima se vrlo često mijenjaju samo pojedini parametri u unaprijed definiranim i strukturiranim modelima, postaje jasno zašto parametarsko modeliranje ima jasno vidljivu poveznicu s projektiranjem građevina [10, 11] i zašto je danas parametarsko modeliranje jedan od općeprihvaćenih postupaka projektiranja (ili modeliranja, ili oblikovanja). Iz istog razloga, sve je više raznih CAD alata kojima je dodana mogućnost izrade novih parametarskih modela, kao i mogućnost parametrizacije postojećih.

Svrha uvođenja parametarskog modeliranja u dosadašnje postupke projektiranja je mogućnost brze izrade varijantnih rješenja definiranjem modela čiji je izgled odnosno krajnji oblik definiran raznim parametrima i vezama tih parametara. Promjenom jednog parametra (u ovisnosti o postavljenim vezama) dolazi do automatske promjene završnog modela, a iz kojeg je posljedično moguće proučiti sve promjene koje se događaju sa završnim modelom temeljem te jedne promjene [10, 11]. Iterativnim ponavljanjem odnosno iskušavanjem različitih vrijednosti jednog ili više parametara provjeravamo kako određeni parametar utječe na završni model, te u konačnici brže i jednostavnije dolazimo do krajnjeg rezultata.

Kad govorimo o parametarskom modeliranju, nužno je spomenuti i modeliranje informacija o građevinama koje je vjerojatno bolje poznato kao engleski izraz Building Information Modelling odnosno skraćeno BIM. Nužno je naglasiti da BIM i parametarsko modeliranje nisu sinonimi iako tako nekome možda djeluju na prvi pogled. BIM je kompleksan sustav koji je nastao na nekim postulatima parametarskog modeliranja, no do danas je izrastao u općeniti smjer rada u građevinarstvu i temelj pristupa razvoju digitalnog građevinskog sektora, dok je parametarsko modeliranje samo jedan od postupaka modeliranja, ali koji se svojim osnovnim principima savršeno uklapa u principe rada BIM-a.

3.1 Izrada konceptualnog primjera

U ovom radu glavna tema je parametarsko modeliranje kod kojeg se parametri modela međusobno povezuju isključivo pomoću matematičkih funkcija, kako algebarskih tako i geometrijskih, a cilj je modeliranje i proučavanje potpuno novih i unikatnih konstrukcija raznih oblika (linearnog, zaobljenog, nasumičnog, organskog, odnosno bilo koje kombinacije navedenih), a koje nije moguće opisati bez upotrebe složene geometrije. Izrada takvih konstrukcija je gotovo nemoguća bez upotrebe parametarskog modeliranja na računalu jer iziskuje veliki broj ponekad vrlo kompleksnih izračuna i čiji bi izračun klasičnim metodama trajao satima, danima, a u iznimnim slučajevima čak i tjednima.

Iako modeliranje pomoću složenih geometrijskih pravila omogućava izradu modela iznimne složenosti, u ovom radu prikazati ćemo postepeni razvoj jednog pojednostavljenog konceptualnog modela od niske do srednje razine složenosti. Kao predložak za razradu konceptualnog modela poslužio je oblik poznatog londonskog nebodera na adresi 30 St Mary Axe (također poznatog pod kolokvijalnim engleskim nazivom "gherkin" – slika 1). Osnovni parametarski konceptualni model, razradu kojeg ćemo prikazati, je zakrivljena ploha nalik na češer, najveće širine po sredini te sužavanjem pri dnu i vrhu zaogrnuta cjevastim profilima nastalima iz krivulje prodira zavojne plohe i osnovnog modela. Iako je zgrada nestandardnog oblika i potpuno je zaobljene fasade, zbog specifične geometrijske konstrukcije fasadni paneli korišteni na cijeloj zgradi nisu zakrivljeni nego su ravne plohe.

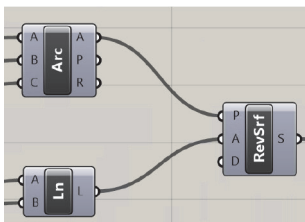


Slika 1. Londonski neboder na adresi 30 St Mary Axe

Osnovni parametarski model nastaje postepeno po sljedećim glavnim koracima:

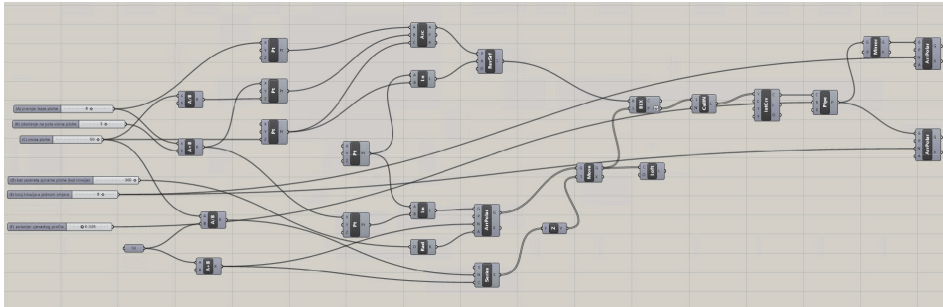
- Izrada krivulje kružnog luka koji će poslužiti kao profilna krivulja za izradu osnovne plohe, a korišteni parametri su: polumjer baze plohe (A); izbočenje plohe na pola visine u odnosu na polumjer baze plohe (B), visina plohe (C).
- Izrada rotacijske plohe pomoću krivulje kružnog luka.
- Izrada zavojne plohe koja će poslužiti za izradu prodorne krivulje za potrebe izrade cjevastih profila, a korišteni parametri su: visina plohe (C), kut zaokreta zavojne plohe (D).
- Izrada prodorne krivulje između osnovne plohe i zavojne plohe.
- Izrada cjevastog profila i njegovo pravilno umnažanje u konačni oblik, a parametri koji su korišteni su: broj krivulja u jednom smjeru (E), polumjer cjevastog profila (F).

Za izradu modela korišten je računalni program za modeliranje Rhinoceros s dodatkom za parametarsko modeliranje Grasshopper, koji za izradu parametarskog modela koristi grafičko sučelje koje se sastoji od čvorova i međusobnih veza. Čvorovi mogu biti ili čvorovi s ulaznim parametrima ili čvorovi s operacijama. Ulazni parametri mogu biti u numeričkom obliku (realni ili cijeli brojevi, te parni ili neparni brojevi – oboje u formi pojedinačnih brojeva, nizova ili sekvenci, te pravilnih ili nasumičnih lista), no mogu biti i unaprijed izrađene točke, krivulje ili plohe. Operacije mogu biti raznih vrsta kao što su algebarske (npr. zbrajanje, množenje, potencija, polinom,...), trigonometrijske (npr. sinus, kosinus,...), operacije za izradu krivulja i ploha i njihovu analizu, ili operacije triangulacije, presjeka, transformacije. Sve navedene operacije su one koje su često korištene no one čine tek manji dio ukupno dostupnih. Na slici 2 je prikazan primjer izgleda strukture (čvorovi i veze). Čvorovi imaju ulaznu (lijevu) i izlaznu (desnu) stranu s priključnim mjestima na koje je moguće prema potrebi spajati jednu ili više veza i koji omogućavaju da rezultat jedne operacije postane ulazni parametar druge operacije, te na taj način omogućuju izradu parametarskih modela velike složenosti.



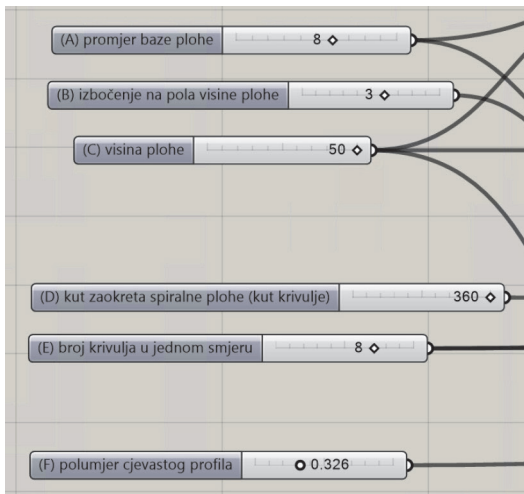
Slika 2. Tri čvora s međusobnim vezama

Na slici 3 je prikazan shematski raspored završenog parametarskog modela konceptualnog primjera.



Slika 3. Shematski raspored završenog parametarskog modela konceptualnog primjera sa čvorovima i vezama

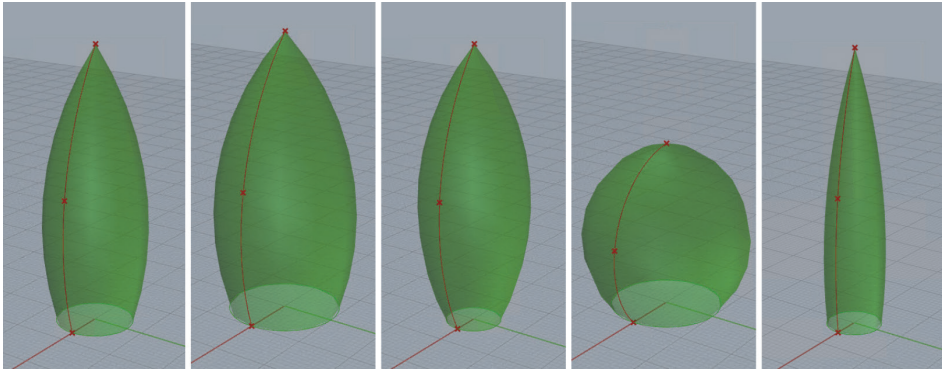
Na slici 4 su prikazani čvorovi u obliku klizača s promjenjivim ulaznim parametrima označeni slovima od A do F, a koji su na shematskom rasporedu cijelog parametarskog modela (slika 3) prikazani s lijeve strane.



Slika 4. Čvorovi s ulaznim parametrima

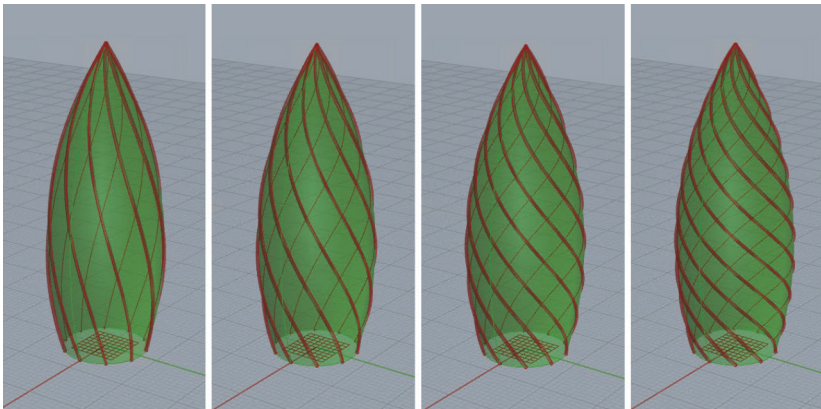
3.2 Izmjena konceptualnog primjera – varijantna rješenja

Izmjenom parametara modela cilj je stvoriti varijantna rješenja. Redoslijed promjene parametara nije zadan niti modelom niti njegovom strukturom, a redoslijed ovisi prvenstveno o namjeri i umnom procesu projektanta. S obzirom na model, jedan od mogućih redoslijeda je taj da se u prvom koraku napravi izmjena parametara A, B, C koji definiraju osnovne konture osnovne plohe. Na slici 5 prikazane su varijante osnovne plohe s obzirom na različite vrijednosti parametara A, B, C.



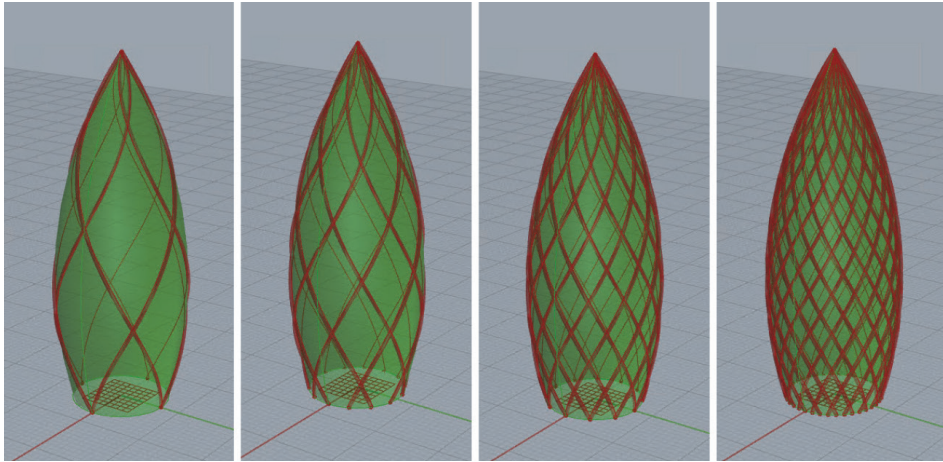
Slika 5. varijante osnovne plohe na temelju parametara A, B, C

Nakon definiranja zadovoljavajućeg oblika osnovne plohe, drugi mogući korak bi bio određivanje najvećeg kuta zakrenutosti cjevaste plohe oko osnovne plohe (parametar D). Na slici 6 prikazan je izgled cjevastih ploha u ovisnosti o veličini parametra D.



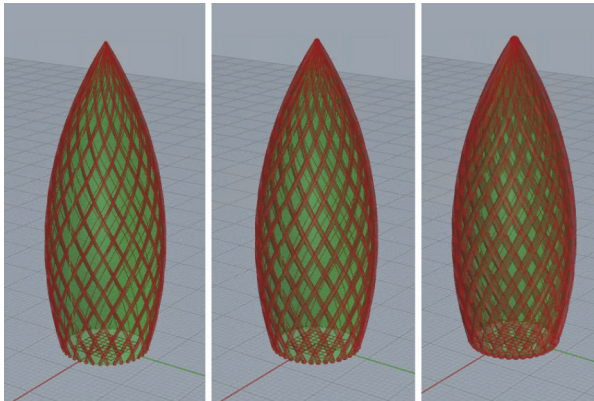
Slika 6. varijante cjevastih ploha na temelju parametra D (90, 180, 270, 360 stupnjeva)

Nakon definiranja zadovoljavajućeg oblika osnovne plohe, i zadovoljavajućeg oblika cjevastih ploha, treći mogući korak bi bio određivanje broja cjevastih ploha zavrnutih oko osnovne plohe u jednom smjeru (parametar E). Na slici 7 prikazan je raspored cjevastih ploha u ovisnosti o veličini parametra E. Kod ovog parametra u slučaju parnog broja cjevaste plohe imaju zajedničke početne točke, a u slučaju neparnog broja cjevaste plohe počinju iz različitih točaka (primjer navedenog je vidljiv na slici 7).



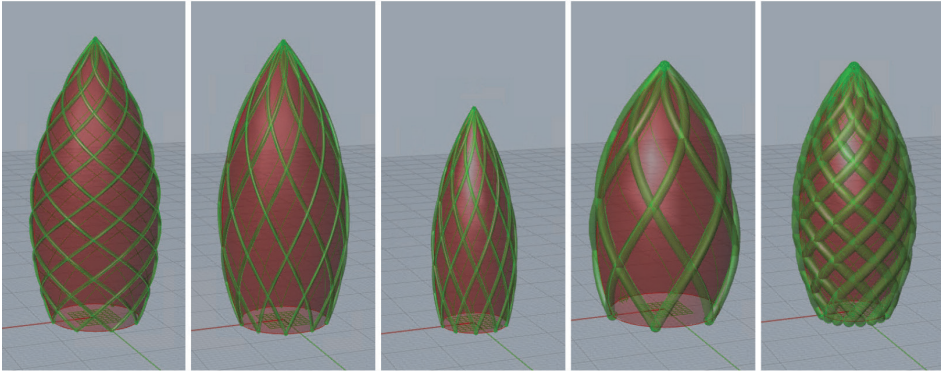
Slika 7. raspored cjevastih ploha na temelju parametra E (4, 5, 12, 19 ploha u jednom smjeru)

Nakon definiranja zadovoljavajućih parametara A, B, C, D i E, četvrti korak bi bio definiranje promjera cjevastih ploha (parametar F). Na slici 8 prikazana su varijantna rješenja u ovisnosti o veličini parametra F.



Slika 8. izgled cjevastih ploha na temelju parametra F (promjer cijevi 0.2, 0.4, 0.7)

Na temelju strukture izrađenog parametarskog modela i variranjem svih ulaznih parametara napravljena su različita varijantna rješenja modela (slika 9), koja se naknadno mogu analizirati, može im se provjeriti mehanička otpornost, provjeriti postoje li kritična mjesta s aspekta prostornog rasporeda, ili napraviti bilo koje drugo ispitivanje koje može utjecati na završni oblik. Iterativnim ponavljanjem postupka izmjena parametara i ispitivanjem novih varijantnih rješenja dolazi se do konačnog optimalnog modela.



Slika 9. Varijantna rješenja modela temeljena na različitim ulaznim parametrima

Također, važno je napomenuti da je modele napravljene pomoću alata Grasshopper moguće izvesti u više različitih datotečnih formata kako bi bili prikladni za uvoz u druge alate kojima se mogu provoditi daljnje analize modela i vizualizacije rezultata.

4 Smjernice za daljnje istraživanje

Koncept parametarskog modeliranja poznat je i u velikoj većini slučajeva jasno definiran, no složenost modela i gotovo neograničene mogućnosti njihove izrade pred projektante stavljaju potrebu za definiranjem sve složenijih i detaljnijih parametarskih modela. Složeniji modeli imat će sve više i više čvorova sa sve složenijim operacijama, a veze među parametrima i operacijama će isto tako postajati sve više detaljne i složene, no već se pojavljuje potreba za izradom novih vrsta operacija. Kod izučavanja strukture čvorova i njihovih veza, veliki naglasak se mora dati na istraživanje i razumijevanje procesa izgradnje građevina i sve više prisutne moderne tehnologije građenja poput 3D ispisa raznim materijalima (beton, polimeri, čelik, aluminij,...) [12], gradnje robotima [13] ili bespilotnim letjelicama [14], i drugih tehnologija izgradnje čije otkrivanje tek slijedi.

Usmjeravanje pažnje na istraživanje mogućnosti primjene svih navedenih modernih tehnologija gradnje bitno je zato što još uvijek, bez obzira na povećanu upotrebu računala i korištenja digitalnih modela građevina, tijekom procesa izgradnje sve što je opisano digitalnim modelom mora biti prenijeto na papir kako bi podaci bili čitljivi izvođačima. To postaje još kompleksnije prilikom svake izmjene projekta, jer svaka izmjena mora jasno i jednostavno biti predočena svim sudionicima, a pogotovo radnicima koji te izmjene moraju usvojiti i primijeniti prilikom izgradnje. Kad dodatno u obzir uzmemo povećanu kompleksnost modernih građevina, koje izlaze iz okvira unificiranosti i uobičajenosti, te mogućnosti njihove brze i jednostavne izmjene korištenjem parametarskog modeliranja, ta digitalno-analoga pretvorba podataka iz

digitalnog modela na papir postaje višestruko složenija i postaje gotovo presudan dio koji značajno utječe na cjelokupni proces izgradnje.

Upotrebom 3D pisača, robota, bespilotnih letjelica ili sličnih strojeva i/ili uređaja, nestaje ili se drastično umanjuje potreba za takvom pretvorbom, jer je digitalni model moguće izravno prenijeti u programske instrukcije koje određuju njihovo ponašanje do najsitnijih detalja. Potrebno je stoga dodatno istražiti te tehnologije i utvrditi na koje ih je načine moguće prilagoditi i uklopiti u trenutne procese izgradnje, odnosno na koji je način potrebno transformirati procese izgradnje kako bi odgovarali tehnologijama koje zasigurno još uvijek nisu doživjele primjenu svih svojih potencijala u graditeljstvu.

5 Zaključak

Ključ parametarskog modeliranja se nalazi u poznavanju parametara koji određuju model i u poznavanju rubnih uvjeta unutar njega, te u činjenici da mijenjanjem bilo kojeg parametra u konačnici mijenjamo cjelinu. Parametarsko modeliranje nam omogućava izradu velikog broja varijacija oblika modela, a koji se svaki prikazuje u određenom svjetlu prema uvjetima koji su postavljeni pred njega, bili oni oblikovni, strukturalni ili okolišni. Upotrebom parametarskog modeliranja moguće je stvoriti kompleksne geometrijske oblike koji donedavno nisu bili primjenjivani u projektiranju građevina što zbog svojeg oblika, a što zbog nepoznatih svojstava. Koristeći sve postupke koje omogućava parametarsko modeliranje, moguće je stvoriti inovativne konstrukcije, te utvrditi njihove karakteristike i njihovu prikladnost za pojedinu svrhu. Iako je parametarsko modeliranje na računaru sa svojim razvojem počelo još pred više od 50 godina, razvoj računalne opreme i povećanje njenih mogućnosti omogućili su velike pomake u pristupačnosti raznih alata za parametarsko modeliranje, koji više ne spadaju u kategoriju usko specijaliziranih alata nego ih se može staviti uz bok svim uobičajenim CAD alatima. Osim alata koji se koriste u procesu projektiranja korištenjem parametarskih modela, veliku ulogu će u budućnosti igrati i razne nove tehnologije gradnje koje će prema svim očekivanjima iznjedrati velike promjene u cjelokupnom graditeljstvu.

Literatura

- [1] Dimitrijević Jovanović, D., Radović, Lj.: Parametric modelling in Architecture, The 5th International conference mechanical engineering in XXI century, Niš, 2020
- [2] Al-Azzawi, T., Al-Majidi, Z., Parametric architecture: the second international style, 4th International Conference on Engineering Sciences (ICES 2020), Kerbala, 2020

-
- [3] parametar. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 10. 7. 2022. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=46627>
- [4] parametar. Školski rječnik hrvatskoga jezika, mrežno izdanje. Institut za hrvatski jezik i jezikoslovlje i Školska knjiga, 2012. Pristupljeno 10. 7. 2022. <https://rjecnik.hr/search.php?q=parametar>
- [5] parametar. Hrvatski jezični portal. Znanje. Pristupljeno 10. 7. 2022. https://hjp.znanje.hr/index.php?show=search_by_id&id=eFZgXhk%3D&keyword=parametar
- [6] model. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 10. 7. 2022. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=41453>
- [7] model. Školski rječnik hrvatskoga jezika, mrežno izdanje. Institut za hrvatski jezik i jezikoslovlje i Školska knjiga, 2012. Pristupljeno 10. 7. 2022. <https://rjecnik.hr/search.php?q=model>
- [8] model. Hrvatski jezični portal. Znanje. Pristupljeno 10. 7. 2022. https://hjp.znanje.hr/index.php?show=search_by_id&id=e1lhWBY%3D&keyword=model
- [9] Riekstins, A., Teaching Parametricism as a Standard Skill for Architecture, International Conference "Architectural Practice and Education", 2018 (42), pp 34-39
- [10] Tedeschi, A., AAD_Algorithms-Aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper, 2014, Le Penseur
- [11] Tedeschi, A., Parametric architecture with Grasshopper, 2011, Le Penseur
- [12] Soltan, D.G., Li, V.C., A self-reinforced cementitious composite for building-scale 3D printing, Cement and Concrete Composites, 2018, Elsevier
- [13] Afsari, K., et al., Applications of Collaborative Industrial Robots in Building Construction, 54th ASC Annual International Conference Proceedings, 2018, pp 472-479
- [14] Goessens, S., et al., Parametric Design of Drone-Compatible Architectural Timber Structures, Proceedings of the IASS Annual Symposium, Boston, 2018, pp 1-8