

Digitalno modeliranje in izdelovanje

Jurij Ličen

Z uporabo novih tehnologij se je v preteklosti vedno zgodil tudi premik v načinu mišljenja, gradnje in oblikovanja (Robbin, 1996; Sebestyen & Pollington, 2003). S pojavom digitalnih tehnologij za računalniško podprto načrtovanje (ang. Computer Aided Design – CAD) in digitalnih tehnologij za računalniško podprto izdelovanje (ang. Computer Aided Manufacturing – CAM) se v arhitekturi odpirajo povsem nova področja za oblikovanje (Groover, 2011; Menna idr., 2020; Wangler idr., 2016; Žujović idr., 2022).

Izbirni predmet Digitalno modeliranje in izdelovanje v okviru Katedre za arhitekturne tehnologije obravnava razmeroma novo področje digitalno podprtega izdelovanja objektov, predmetov in zgradb. Ko govorimo o digitalnem izdelovanju, ne mislimo zgolj na računalniški izris in 3D model, temveč predvsem na uporabo digitalnih orodij, kot so CNC rezkarji, roboti in 3D tiskalniki večjega merila, ki se v zadnjih letih uveljavljajo na področju arhitekture in gradbeništva. Če je bilo 20. stoletje v arhitekturi zaznamovano z industrializacijo in možnostjo izdelave prefabrikatov v velikih serijah ponavljajočih se elementov, se v 21. stoletju z uporabo industrije 4.0 odpirajo možnosti za izdelovanje velikega števila raznolikih elementov, ki so z uporabo 3D tiskanja, laserskega in CNC razreza lahko prirojeni specifičnim potrebam lokacije, projekta in uporabnika. Arhitekti, kot so Pier Luigi Nervi, Frei Otto in Eladio Dieste, so že v preteklosti izkoriščali potenciale kompleksnih geometrij za premagovanje velikih razponov in optimizacijo porabe materialov. Njihove rešitve so velikokrat temeljile na specifičnem rokodelskem znanju in ročnem delu na gradbišču, ki je z industrializacijo postalo predrago. Sodobne tehnologije za izdelovanje, ki jih krmilijo računalniki, zdaj omogočajo preprostejšo izdelavo kompleksnih geometrij, ki so pri uporabi konvencionalnih tehnologij gradnje drage in težko dosegljive.

Kot je zapisal Mario Carpo, je bila digitalna arhitektura v devetdesetih letih 20. stoletja sestavljena iz krivuljastih in mehkih oblik, ker so to takrat omogočale računalniške tehnologije 3D modeliranja (Carpo, 2014). Podobno lahko predpostavimo, da proces digitalnega oblikovanja z uporabo 3D tiskanja, CNC in laserskega razreza 3D geometrij implicira novo izraznost, ki je prilagojena in lastna načinu izdelovanja z uporabo digitalnih orodij.

Izbirni predmet se osredinja na zmožnosti t. i. postfordistične proizvodnje (Schumacher, 2011), ki v arhitekturi omogoča snovanje kompleksnih konstrukcijskih sistemov. Ti zmanjšujejo porabo materiala, so optimalneje prilagojeni na lokacijo in potrebe uporabnikov, predvsem pa omogočajo optimizacijo konstrukcij. Študenti se pri predmetu spoznajo s sodobnimi tehnologijami za digitalno 3D modeliranje, s pomočjo katerih lahko oblikujejo in analizirajo kompleksne geometrije in konstrukcije, ki so prilagojene za izvedbo z uporabo posamezne digitalne tehnologije – CNC razrez, 3D tisk betona in laserski razrez.

Vaje pri izbirnem predmetu Digitalno modeliranje in izdelovanje (4. in 5. letnik UL FA)

Predmet poteka v obliki vaj, ki so sestavljene iz dveh sklopov. Prvi sklop obsega spoznavanje z digitalnimi orodji za 3D modeliranje in digitalno izdelovanje. Študentje replicirajo že obstoječ objekt, izdelan z uporabo digitalnih orodij, ter se ob tem naučijo tehnik, ki so potrebne za obvladovanje 3D modelov, parametričnih orodij ter orodij za 3D tisk in laserski razrez. Drugi sklop obsega vajo, pri kateri študenti zasnujejo lastno intervencijo v prostoru z uporabo znanj in kompetenc, ki so jih pridobili v prvem sklopu. Vaje se ocenjujejo glede na naslednja merila:

- smiselna uporaba digitalnih tehnologij za izdelavo objektov, ki polno izkoriščajo potenciale digitalnega izdelovanja,
- racionalnost zasnove konstrukcijskega sistema objektov,
- prilagojenost oblikovanja uporabi izbrane tehnologije za izdelavo (če bo objekt izdelan z uporabo 3D tiskanja, je njegovo oblikovanje drugačno, kot če bo izdelan z uporabo CNC ali laserskega razreza),
- prilagoditve objekta specifičnim potrebam lokacije ali uporabnika, ki jih omogoča uporaba digitalnih tehnologij izdelovanja.

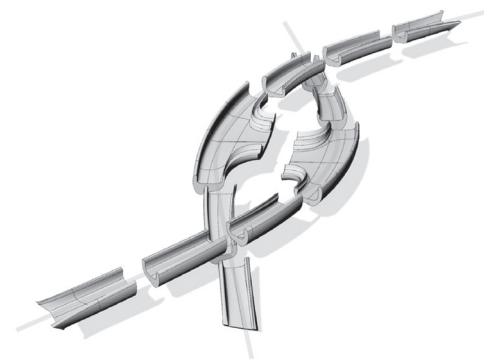
Viri

- Carpo, M. (2014). The digital: From complexity to simplicity: And back. *SAJ - Serbian Architectural Journal*, 6(3), 256–265 (<https://doi.org/10.5937/SAJ1403256C>).
- Groover, M. P. (2011). *Introduction to Manufacturing Processes* (1st edition). Wiley.
- Menna, C., Mata-Falcón, J., Bos, F. P., Vantghem, G., Ferrara, L., Asprone, D., Salet, T., & Kaufmann, W. (2020). Opportunities and challenges for structural engineering of digitally fabricated concrete. *Cement and Concrete Research*, 133, 39 (<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106079>).
- Robbin, T. (1996). *Engineering a New Architecture*. Yale University Press.
- Schumacher, P. (2011). *The Autopoiesis of Architecture* (Let. 1). John Wiley & Sons Ltd.
- Sebestyen, G., & Pollington, C. (2003). *New Architecture and Technology* (1st edition). Architectural Press.
- Wangler, T., Lloret, E., Reiter, L., Hack, N., Gramazio, F., Kohler, M., Bernhard, M., Dillenburger, B., Buchli, J., Roussel, N., & Flatt, R. (2016). Digital Concrete: Opportunities and Challenges. *RILEM Technical Letters*, 1, 67–75 (<https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2016.16>).
- Žujović, M., Obradović, R., Rakonjac, I., & Milošević, J. (2022). 3D Printing Technologies in Architectural Design and Construction: A Systematic Literature Review. *Buildings*, 12(9), Article 9 (<https://doi.org/10.3390/buildings12091319>).

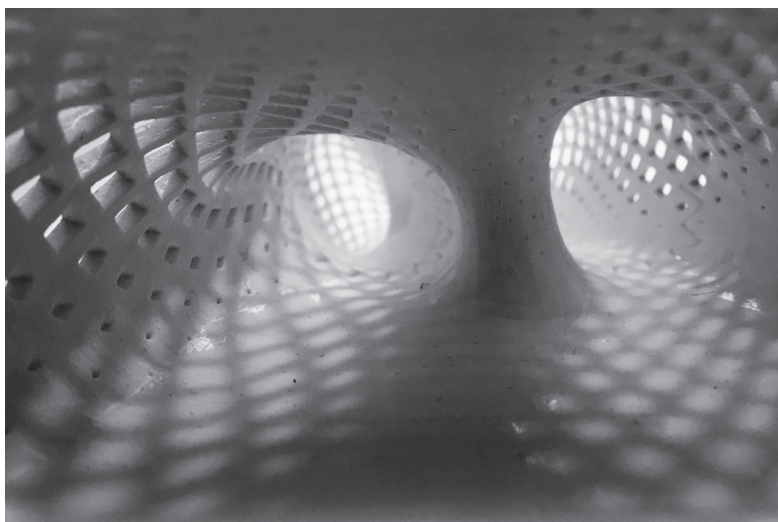
Študijsko leto 2020/21 in 2021/22 – digitalno izdelan most

Študentje so se pri vajah v študijskih letih 2020/21 in 2021/22 ukvarjali z digitalno izdelavo mostne konstrukcije, ki premošča razpon 30 metrov. V študijskem letu 2020/21 je bil most zasnovan na generični lokaciji, ob reki z nagnjenimi bregovi. Most je oblikovan kot brv za pešce in kolesarje, ki je lahko poljubno sidrana v brežine reke. Postavljen je bil izziv, kako konstrukcijo zasnovati, da bo sestavljiva in razstavljiva na mestu postavitve. Posamezni mostovi so izdelani z uporabo nosilcev iz lepljenega lesa, 3D tiskanjem betona ali s 3D tiskom kovine.

V študijskem letu 2021/22 pa je bila lokacija brvi v realnem prostoru v Ljubljani. Brv povezuje bregove na treh točkah, kjer se iztekajo Salendrova, Križevniška in Stiška ulica. Postavljena je kot vezni člen med obstoječima Šušterskim in Šentjakobskim mostom. Brv ima razpon 35 metrov in povezuje tudi različne nivoje nabrežij; na levi strani reke je višinska razlika med sprehajalno potjo ob vodi ter glavno pešcono na Bregu. Na desni strani Ljubljanice sta strma travnata brežina in dostop do priveza za ladjice. Raznolike rešitve se lotevajo prostorskih parametrov s povezovanjem višin, križanjem poti nad vodo ter uokvirjanjem pogledov vzdolž reke ter proti gradu. Poleg izziva umestitve brvi v prostor se vaja ukvarja še z uporabo oblik, ki jih je mogoče izdelati predvsem z uporabo digitalnih tehnik, kot sta 3D tisk in CNC oziroma laserski razrez.



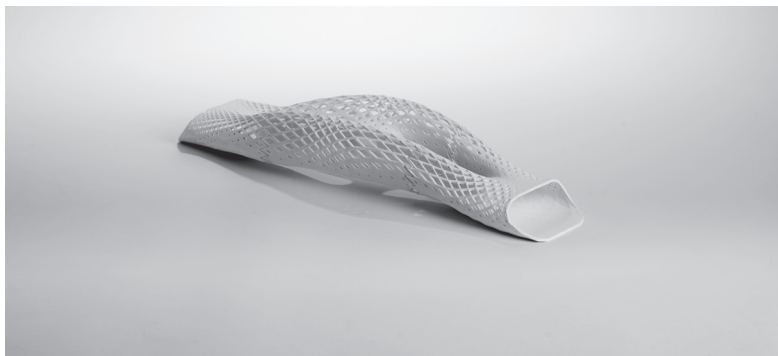
1. PONAPETJE 3D TISKANIH LUPIN
12 različnih 3D tiskanih betonskih kosov se z uporabo jeklenih kablov ponapne skupaj v 2 ločeni brvi.



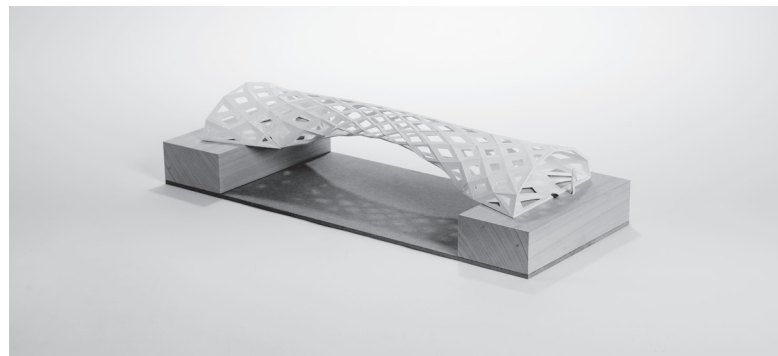
1



2



3



4



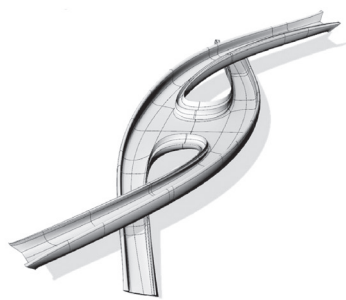
5

- Sl. 1, 2, 3: Lefebvre Bastien
Sl. 4: Hlede Matic, Silan Danilo, Kobal Monika
Sl. 5: Karaguezian Astrig
Sl. 6, 7: Fojkar Valentina
Sl. 8: Kanjer Matea, Kamenšek Nana, Kapš Klemen
Sl. 9: Gržinčič Jan, Fabijan Radan
Sl. 10, 11: Bratkovič Aljoša



2. SESTAVLJANJE KONSTRUKCIJE NA MESTU

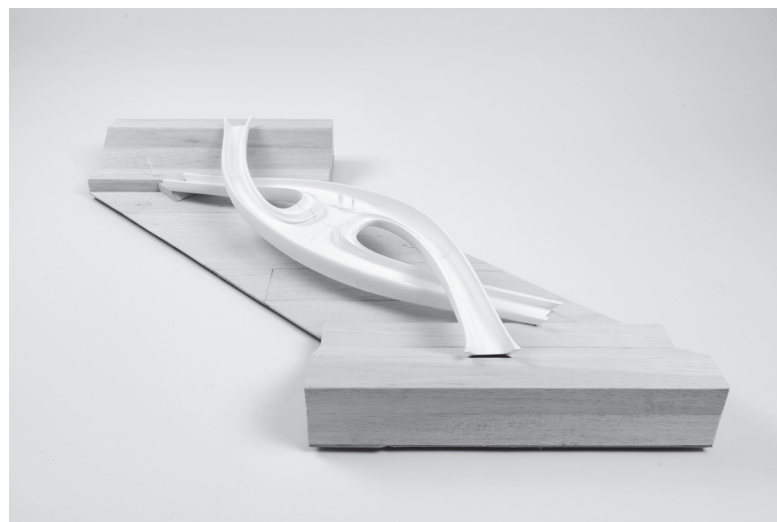
Dve ločeni brvi se v sredini naslanjata ena na drugo, s čimer most ostaja v ravnesju.



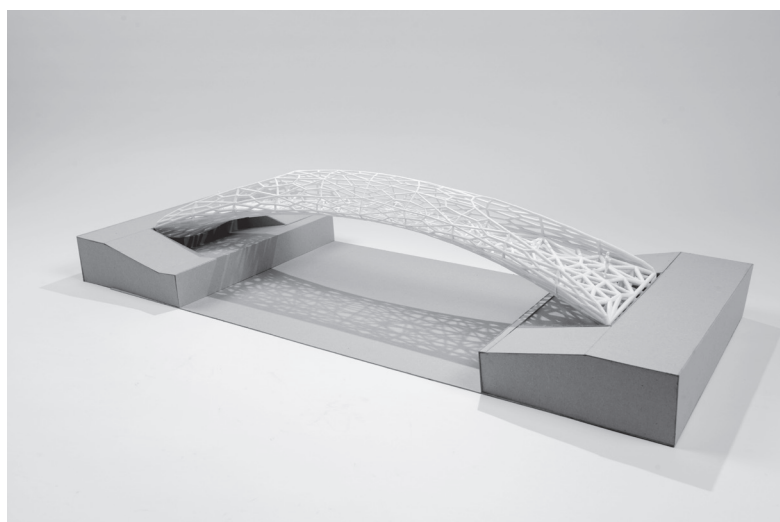
3. SESTAVLJEN MOST

Sestavljena mostna konstrukcija prepletenih brvi, ki omogočata dostop do različnih nivojev na bregu.

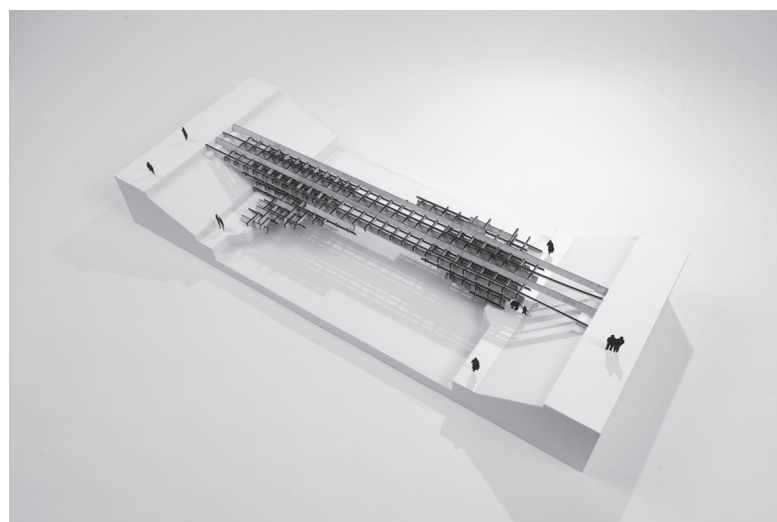
6



7



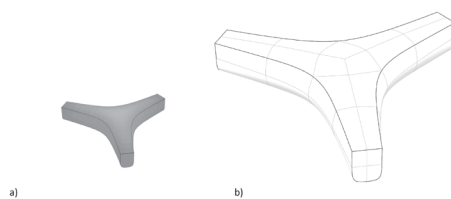
8



9



10

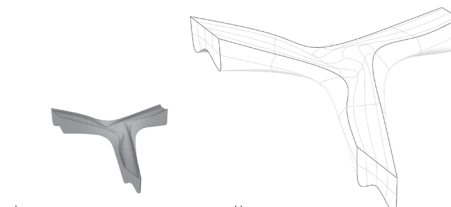


a)

b)

1. OSNOVNA GEOMETRIJA

a) analiza konstrukcije, b) odziv v spremenjeni geometriji

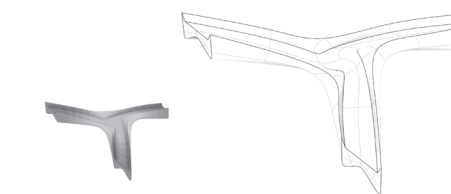


a)

b)

3. ZGOŠČENA TOPOLOGIJA IN ZAČRTAN "TWIST"

a) analiza konstrukcije, b) odziv v spremenjeni geometriji

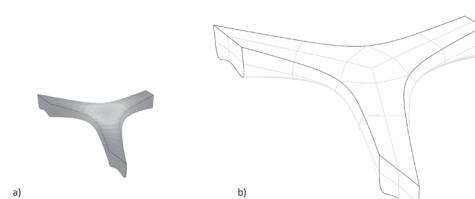


a)

b)

5. STANIŠANA KONSTRUKCIJSKA REBRA NA SPODNJI STRANI

a) analiza konstrukcije, b) odziv v spremenjeni geometriji

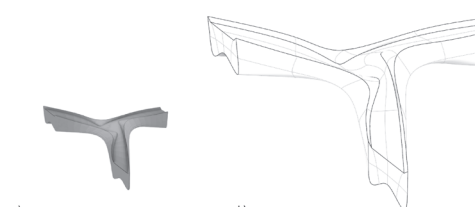


a)

b)

2. DODANA REBRA IN STANIŠANA SREDINA

a) analiza konstrukcije, b) odziv v spremenjeni geometriji

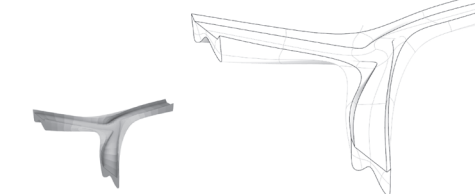


a)

b)

4. DODANA OGRAJA, KI DODATNO OJAČA KONSTRUKCIJO

a) analiza konstrukcije, b) odziv v spremenjeni geometriji



a)

b)

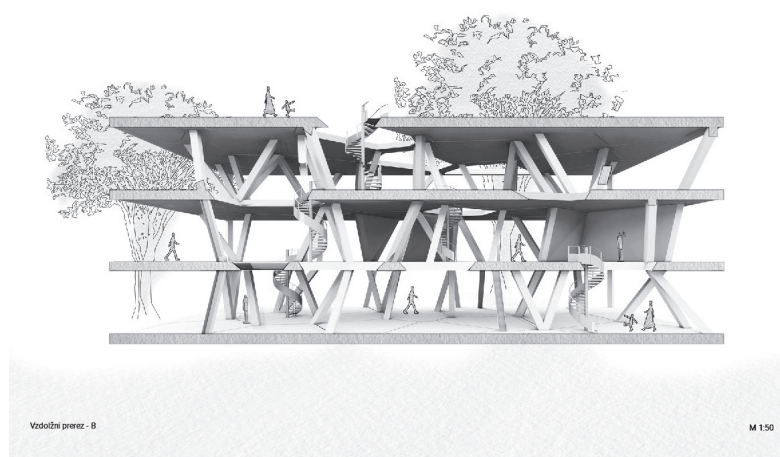
6. ARTIKULACIJA OGRAJE V KORITA ZA DREVESA IN KLOPI

a) analiza konstrukcije, b) odziv v spremenjeni geometriji

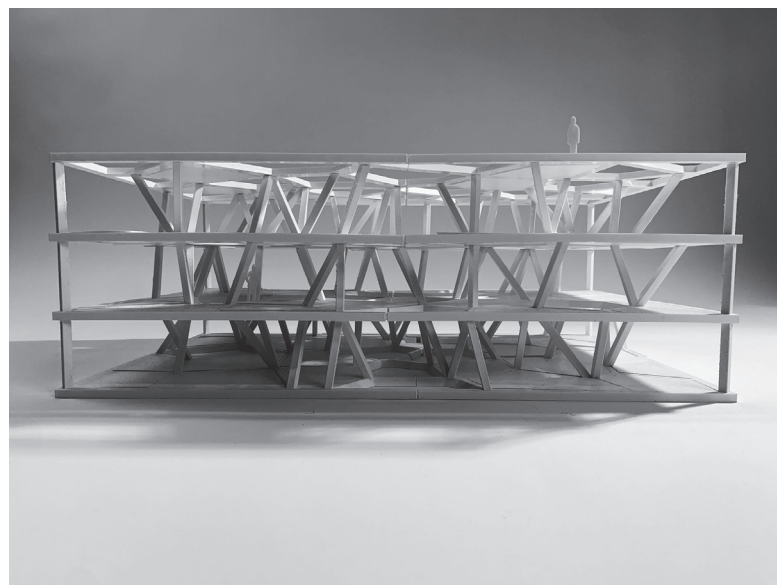
11

Študijsko leto 2022/23 – »dom-ino« sistem za 21. stoletje

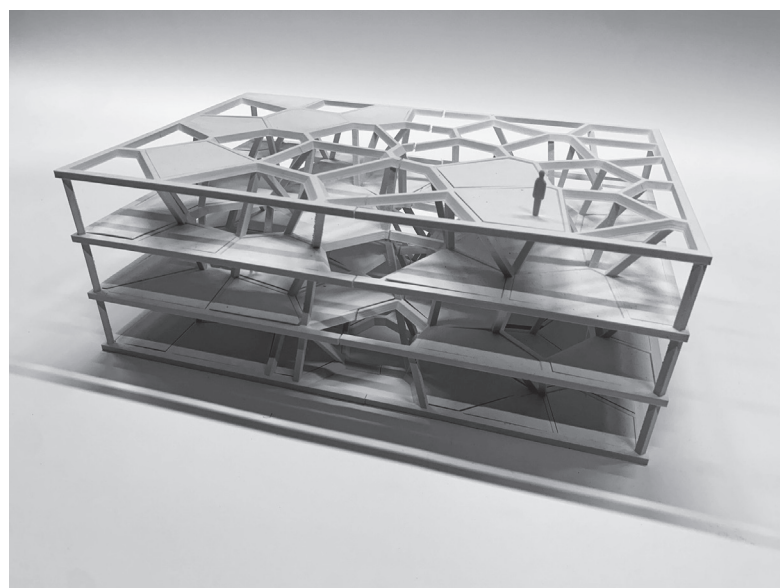
Vaja je obsegala zasnovo novega dom-ino sistema za 21. stoletje, ki je prilagojen na nove bivanjske razmere, s katerimi se soočamo danes. Novi sistem konstrukcije se prilagaja tehnološkim zmožnostim gradnje z uporabo digitalnih orodij, kot sta robotski 3D tisk in kompleksen 3D razrez lesa. Podobno, kot je Le Corbusierov sistem dom-ino poskušal redefinirati način gradnje v 20. stoletju z uporabo novih tehnologij gradnje v armiranem betonu in prefabrikaciji elementov, se pri obravnavi dom-ino sistema za 21. stoletje sprašujemo, kakšne so možnosti konstrukcije in oblik bivanja za 21. stoletje. Je mogoče z uporabo digitalnih tehnologij zasnovati in izdelati konstrukcijski sistem, ki bi bil hkrati učinkovit pri porabi materiala, fleksibilen pri možnostih uporabe ter konstrukcijsko stabilnejši od preprostega skeleta stebrov in plošč, ki je razmeroma slabo odporen na horizontalne obremenitve? Konstrukcijski sistem je pri vajah zasnovan zunaj specifičnega konteksta, pomembna je njegova interna logika (tektonika) sestavljanja elementov, ki so digitalno izdelani.



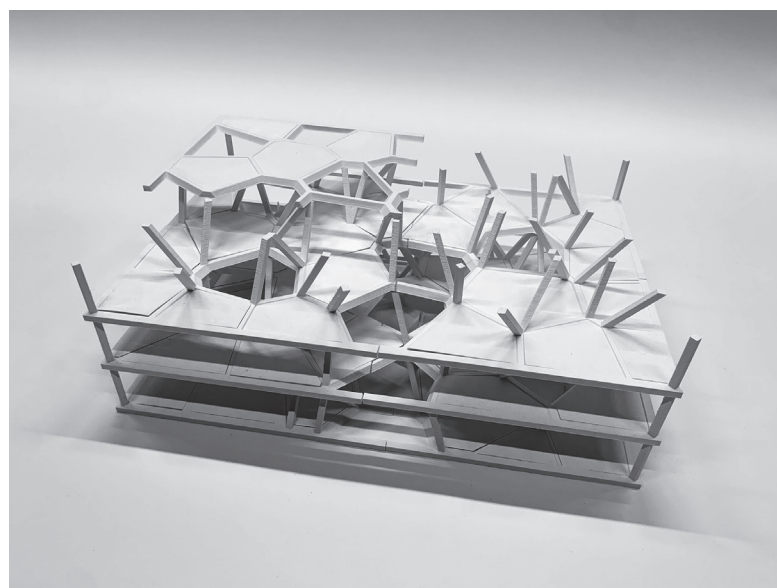
12



13



14

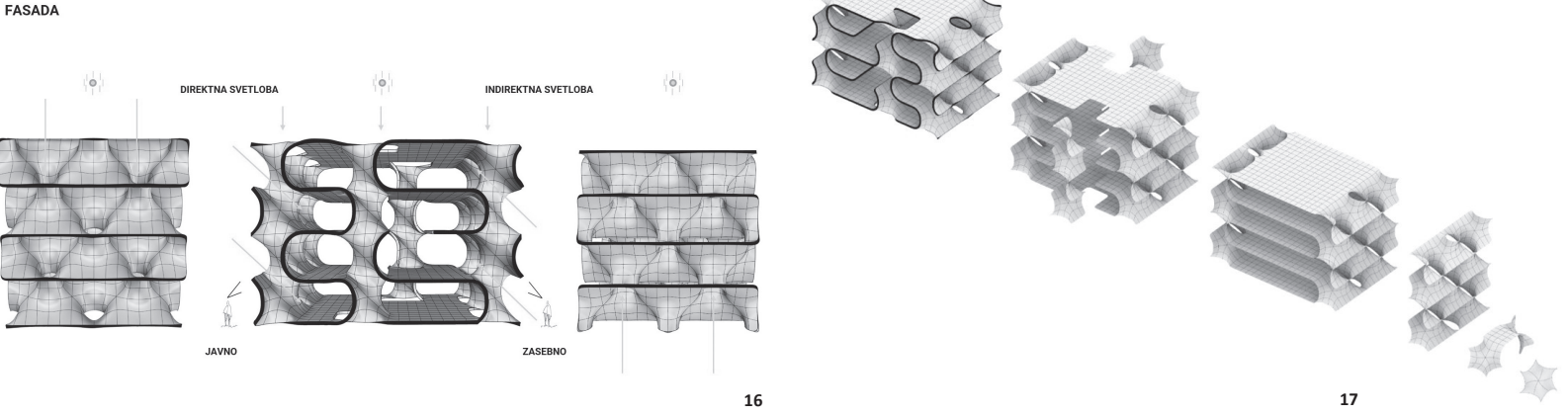


15

»Brez inženirjev nič ne bi stalo pokonci; brez arhitektov si tega ne bi niti želeli. Svet, v katerem živimo, je svet, ki so ga ustvarili inženirji, svet, kolikor ga gledamo, pa je svet arhitektov. Le kako bi lahko pričakovali, da bi se tako različni ljudje strinjali med seboj?«

M. Carley

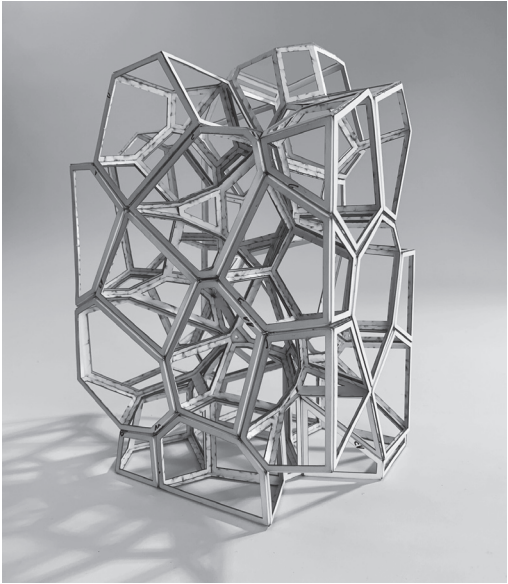
(Iz recenzije knjige *Architect and Engineer* Andrewa Sainta, dostopno na: <http://vulpeslibris.wordpress.com/2009/01/08/architect-and-engineer-a-study-in-sibling-rivalry-by-andrew-saint/>, prosti prevod avtorja.)



18



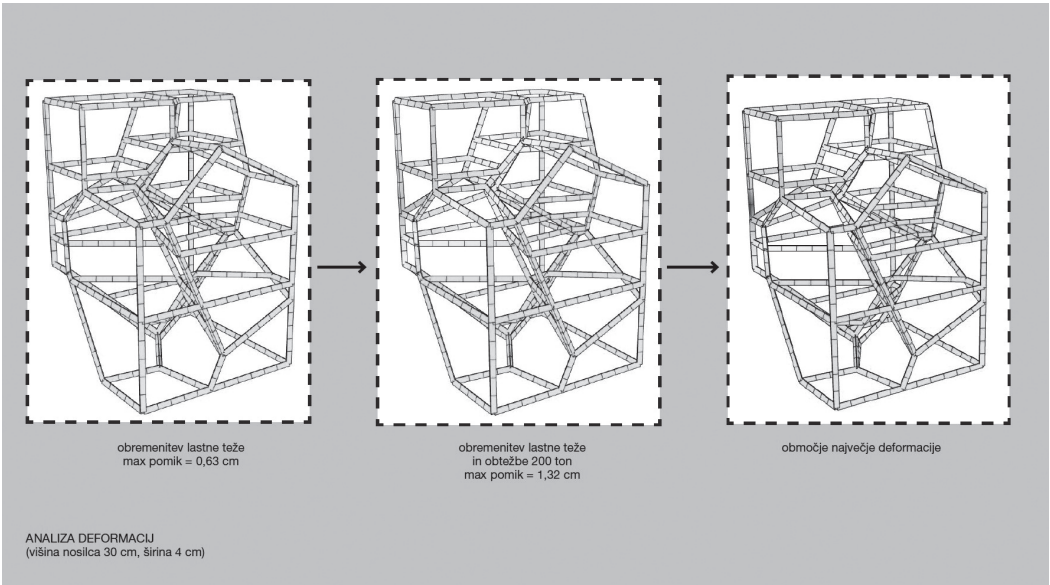
20



21



19



Sl. 12, 13, 14, 15: Divjak Oskar, Zupančič Bor, Flerin Anja
Sl. 16, 17, 18, 19: Cujes Tina, Colja Miha, Barbara Klara Krajnc
Sl. 20, 21, 22: Pajek Hana, Jež Ana