

PRIMENA DIGITALNIH ALATA U FABRIKACIJI CEVASTIH ZATEGNUTIH STRUKTURA**APPLICATION OF DIGITAL TOOLS IN THE FABRICATION OF TUBULAR TENSIONED STRUCTURES**

Jelena Pepić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ARHITEKTURA

Kratak sadržaj – Zatezne strukture datiraju još od starih vremena, kada su se koristile za konstrukcije šatora. Njihova primena u skorašnjoj istoriji može se videti na primerima Fraj Ota, kroz računarski i empirijski dobijene podatke. Međutim svi dosadašnji primeri nemaju jasno definisan pristup radu koji može da da predvidljive rezultate, već se baziraju na empirijskim informacijama. U ovom radu, akcentat je stavljen na primenu naprednih digitalnih alata i procesa optimizacije kako bi se zatezne strukture simulirale u digitalnom okruženju i izvele u stvarnosti prateći računarski dobijene podatke.

Gljučne reči: Zategnute strukture, Digitalni dizajn, Digitalna fabrikacija

Abstract – Tensile structures have been around since the ancient times, when they were used for tent construction. Their application in the recent history can be observed in Frei Otto's examples. However, all recent examples do not portray a clearly defined design approach that can yield predictable results, but are rather based on empirical data. In this paper, the focus is placed on the application of advanced digital tools and optimization process in order to simulate tensile structures in the digital environment and fabricate them in reality following the computed data.

Keywords: Tensioned structure, Digital design, Digital fabrication

1. UVOD

Kroz vekove, potreba za strukturama velikog raspona postaje sve veća. Takve strukture omogućavaju mnoge kolektivne aktivnosti društva [1], poput sportskih aktivnosti i događaja, sajma, pozorišta, koncertnih prostora, terminala za aerodrome i slično. Pitanje je: "Kako da koristimo inženjering i nauku o materijalima da proizvedemo kvalitetnije strukture velikog raspona koje nude bolji ekološki i arhitektonski kvalitet za manje resursa i na taj način napravimo minimalan uticaj na našu planetu [2]." Diskurs na tu temu često pominje lake strukture koje smanjuju utrošenost materijala efikasnim sprovođenjem sila kroz strukturu. Pored toga, one su lake za demontažu i napravljene od materijala koji mogu da se recikliraju [3]. Među njima se posebno ističu prostorne zatezne strukture, kablovske ili membranske, kao

najsavremenije tehnike u projektovanju velikih raspona [4]. Njihovo svojstvo da premoste velike raspone u velikoj meri zavisi od njihove geometrije. Nemački arhitekta Fraj Oto 1950-ih godina postaje pionir projektovanja zategnutih struktura, nakon što je razvio proces pronalaznja forme korišćenjem fizičkih modela. "Form finding (pronalaženje oblika) je proces uspostavljanja strukturne geometrije za mehanizam koji nosi određeno opterećenje [5]." Eksperimenti sa sapunicom bazirani na minimalnim površima, predstavljaju prvi u nizu sve složenijih fizičkih modela, do postizanja preciznosti dovoljne za izvođenje projekta.

Nakon što su projekti dostigli složenost neizvodljivu fizičkim modelom, razvijene su numeričke metode za form finding.

Primena zategnutih struktura je mnogo šira od nadstrešnica velikog raspona. Istraživanja se sprovode na manjim projektima koji teže da daju rešenje za specifične probleme današnjice. Projekat KnitCandela je proizašao iz ideje da zategnute tkane strukture mogu da se koriste kao kalupi pri fabrikaciji betonskih struktura čime se eliminiše potreba za skupim i vremenski zahtevnim kalupima. Međutim za dalje istraživanje zategnutih struktura, interesantniji su primeri gde metode fabrikacije nisu toliko tehnološki napredne.

Projekat Tube (Slika 1) predstavlja primer strukture napravljen je široko dostupnim materijalom i jednostavnom tehnologijom izvođenja. Time je omogućeno izvođenje ekonomsko isplativih prostranih struktura. Iako vrlo isplativo sa aspekta odabira materijala, dalja upotreba struktura tipa Tube, ograničena je procesom projektovanja koji je baziran na fizičkom modelu. Projektovanje u digitalnom okruženju ima mogućnost da reši probleme sa tim pristupom.



Slika 1. Tube – Numen/For Use [6]

NAPOMENA:

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

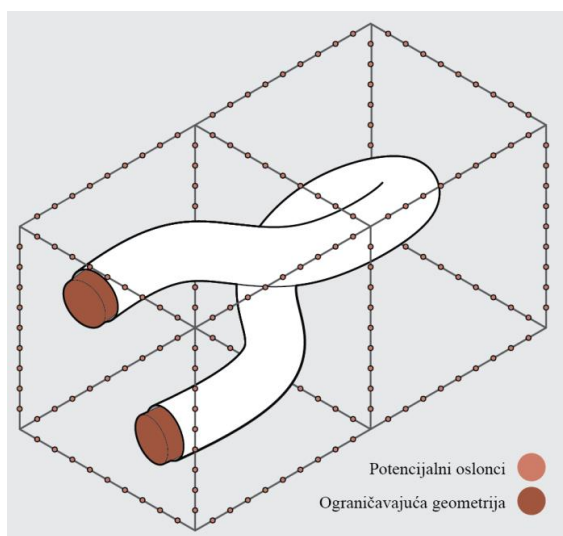
Cilj ovog istraživanja je generisati pristup kojim je moguće imitirati analogni pristup projektovanju zatezних struktura, ali primenom digitalnih alata i numeričkih simulacija. Uspešno rešenje treba da pojednostavi proces projektovanja, a istovremeno omogući veću složenost strukture. Kao rezultat, projekat bi trebao da bude lakši i brži za fabricaciju i montažu/demontažu, kao i jeftiniji za izradu kao posledica uštede na materijalu i broju ljudi potrebnih za izvođenje.

2. METODA

Prvi segment istraživanja podrazumeva analizu lokacije i uslova koje ona mora da zadovolji. Na osnovu analize lokacije, na njoj je pozicioniran model cevaste strukture. Nakon toga, fokus istraživanja je usmeren na automatizaciju procesa izvođenja zategnute strukture ovog tipa, počev od definisanja materijalizacije i njenog uticaja na mesh. Zatim se vrši raspored tačaka zatezanja na strukturi i njihov uticaj na njenu fabricaciju. Potom, tačkama zatezanja su algoritamski dodeljeni odgovarajući oslonci što omogućava da se izvrši numerički form finding proces i dobije konačno rešenje.

2.1. Analiza lokacije

Ravnomerno zatezanje cevaste strukture elastičnim sajlama čini ovu strukturu idealnom za umetanje u postojeći kontekst. Potreba da unutrašnjost cevi bude u potpunosti slobodna zahteva da se cev zategne sa spoljašnje strane. Uvođenje jednostavnog modela u odnosu na složenu strukturu namenjenu specifičnoj lokaciji omogućava bolje sagledavanje problema pri projektovanju ovakvih struktura. Model je koncipiran kao cev sa osom definisanom prostornom krivom i dva krajnja poprečna preseka u vertikalnoj ravni. Da kretanje kroz strukturu ne bi bilo strogo u jednom pravcu, pored elemenata u vidu cevi, uvode se i vezni elementi. Struktura se nalazi unutar noseće konstrukcije sačinjene od greda i stubova sa ravnomerno raspoređenim potencijalnim osloncima. Da bi se obezbedio neometani pristup otvorima u kasnijem radu, u njima su predviđena dva volumena u vidu ograničavajuće geometrije). U ograničavajućoj geometriji ne smeju da se pojave oslonci, niti kroz nju smeju da prođu sajle (Slika 2).

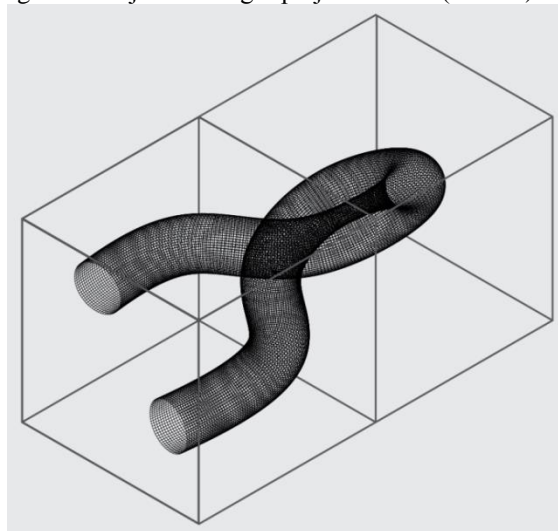


Slika 2. Analiza lokacije

2.2. Sređivanje mesh-a

Nakon što smo elemente strukture ograničili na cevaste elemente različitih dužina i vezne elemente, potrebno je videti koji tip materijala bi najviše odgovarao takvoj strukturi i omogućio što jednostavniju fabricaciju tih elemenata. Neke od prednosti koje ima fabricovanje zategnutih struktura od sigurnosne mreže su propisani standardi i dostupnost. Sigurnosna mreža se proizvodi u širokom spektru dimenzija, a u slučaju da su potrebne veće dužine, mreže mogu da se nastave spojnim kanapom. Takođe, trodimenzionalni elementi poput cevi i veznog elementa planirane strukture mogu da se dobiju na isti način, bez potrebe za krojenjem elemenata po meri. To značajno olakšava fabricaciju i omogućava korišćenje istih elemenata u drugoj konfiguraciji u budućim projektima.

Mreža, kao i elementi sačinjeni od nje bi se u računarskoj grafici predstavili u vidu mesh-a. Mesh predstavlja skup poligona raspoređenih tako da svaki poligon deli barem još jednu tačku sa drugim poligonom u tom skupu. Na osnovu toga, elemente sa kojima dalje radimo možemo da predstavimo u vidu mesh-a sa četvorougaoim poligonima koji su analogni poljima mreže (Slika 3).

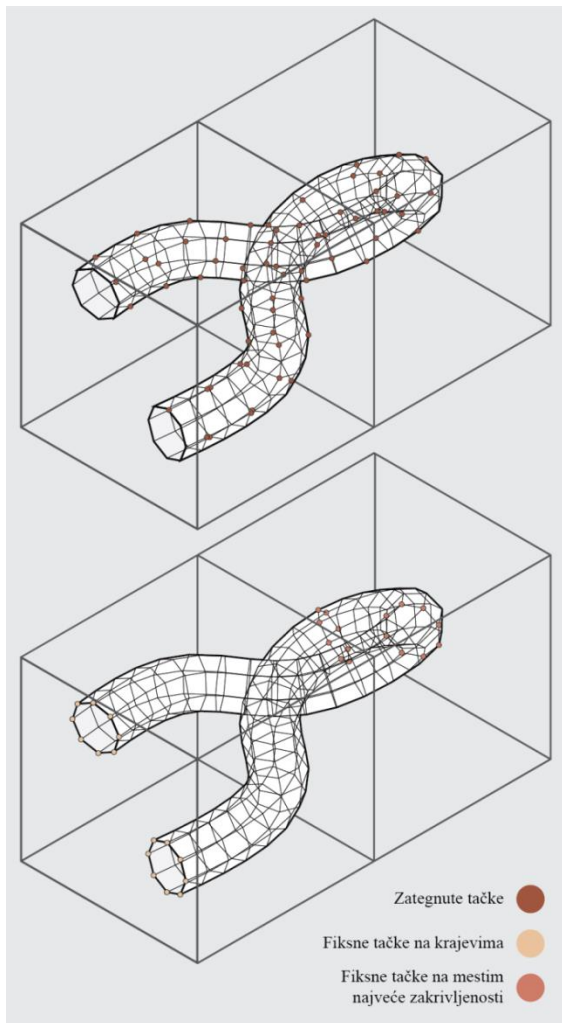


Slika 3. Sređivanje mesh-a

Nakon što smo definisali tačnu podelu elemenata na mesh na osnovu materijala od kojeg će oni biti sačinjeni (Slika 3), potrebno je odrediti tačke u kojima će taj mesh biti zategnut.

2.3. Odabir tačaka na strukturi

U cilju olakšanja fabricacije strukture, poželjno je tačke zatezanja po strukturi rasporediti po nekom pravilu. Kako elementi imaju jednu značajno veću dimenziju u vidu dužine cevi, raspodela tačaka po poprečnim presecima jednake udaljenosti predstavlja jedno od potencijalnih rešenje. Pored osnovne podele tačaka duž strukture, radi bolje aproksimacije željenog oblika uvode se i poprečni preseki kod kojih će sve tačke biti fiksne. Oni se pojavljuju na ulazu ili izlazu iz strukture, kao i na mestima najveće zakrivljenosti ose, gde prilikom relaksacije strukture cev najviše izgubi svoj početni oblik (Slika 4).



Slika 4. Odabir tačaka na strukturi

Nakon što smo odabrali tačke na kojima ćemo zategnuti strukturu, za svaku je potrebno pronaći oslonac odgovarajući oslonac na lokaciji.

2.4. Odabir oslonaca i opuštanje geometrije

Da bi se iskoristile sve prednosti rada u digitalnom okruženju odabir oslonaca je potrebno automatizovati tako da se poštuju određena pravila:

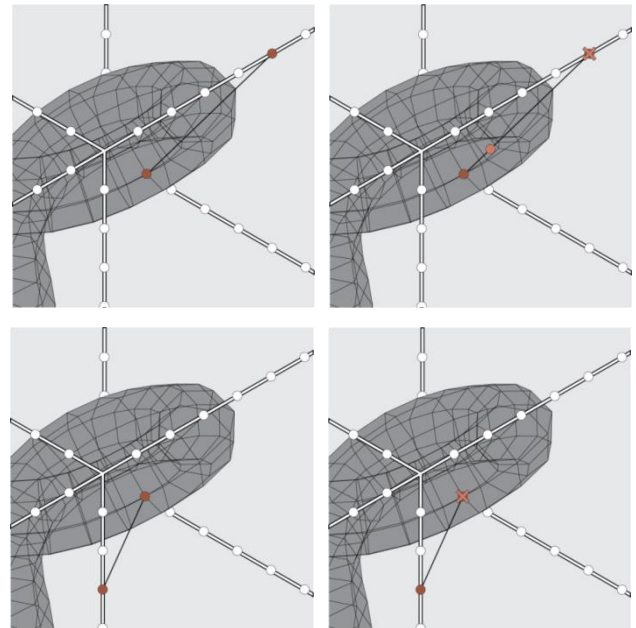
1. Svaka tačka na strukturi mora biti zategnuta kanapom.
2. U tački oslonca može biti povezano više kanapa, ali u tački na strukturi sme samo jedan.
3. Sajle ne smeju da prolaze kroz strukturu ili druge definisane zone.

Za potrebe odabira oslonaca napisana je petlja, čiji su ulazni parametri skup tačaka na strukturi, skup tačaka potencijalnih oslonaca i geometrija strukture i ograničavajuća geometrija.

Dok algoritam ima sledeće korake:

1. Odaberemo jednu tačku iz skupa tačaka na strukturi.
2. Pronađemo najbližu tačku iz skupa potencijalnih oslonaca i povežemo ih linijom (Slika 5a).
3. Proverimo da li se ta linija seče sa ulaznom geometrijom. Ukoliko se seče, eliminišemo taj oslonac iz skupa potencijalnih oslonaca (Slika 5b) i pronađemo sledeću najbližu tačku iz skupa potencijalnih oslonaca (Slika 5c).

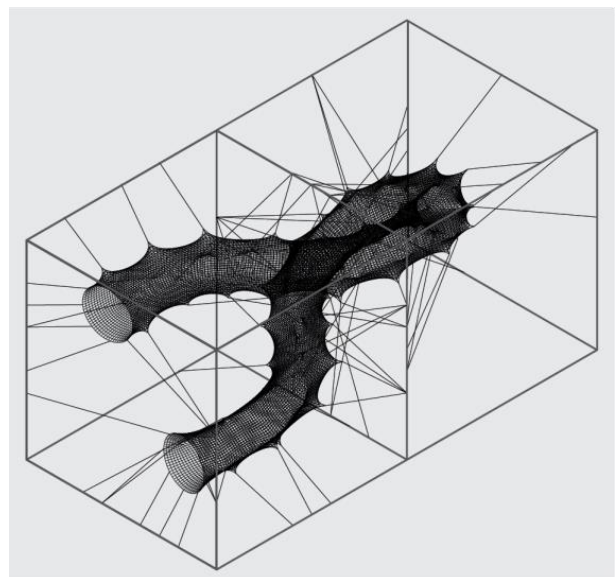
Proverimo da li se ta linija seče sa ulaznom geometrijom. Ukoliko se ne seče, eliminišemo tu tačku iz skupa tačaka na strukturi (Slika 5d) i biramo sledeću tačku iz skupa.



Slika 5. Algoritam: a) gore levo, b) gore desno

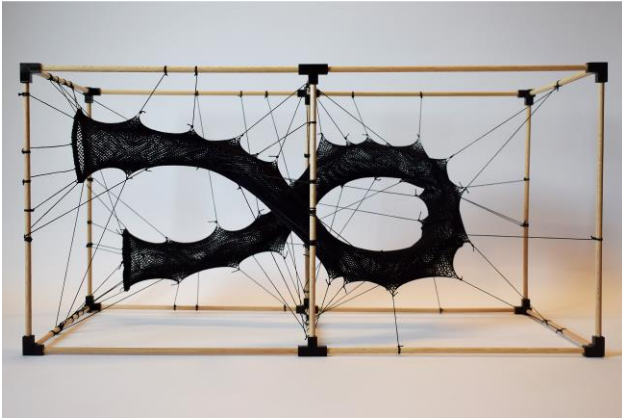
c) dole levo, d) dole desno

Poslednji korak predstavlja simulacija numeričkog form finding procesa (Slika 6), čiji su ulazni parametri: mesh strukture, ivice mesh-a i faktor skaliranja pri opuštanju geometrije, fiksne tačke na ulazu ili izlazu, mestima najveće zakrivljenosti ose i na vezi između cevi i veznih elemenata strukture, kao i zategnute tačke u pravcu vektora zadatog kanapima zatezanja.



Slika 6. Opuštena geometrija

Na osnovu informacija iz digitalnog modela o dužini cevi i rasporedu tačaka po njoj, kao i dužini sajle koja te tačke zateže i mestu vezivanja o konstrukciju, uspešno je izvedena maketa strukture (Slika 7).



Slika 7. Maketa strukture

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je ispitan digitalni pristup za generisanje zateznih struktura. Zaključeno je da ovaj način rada može da da predvidljive rezultate u vidu digitalnog modela. To je pokazano i time što je napravljena maketa koja njemu odgovara. Takođe, digitalni model može da se prikaže kroz mesh čiji poligoni odgovaraju poljima mreže, što približava digitalne rezultate realnim.

Ti rezultati mogu da se dobiju korišćenjem redovnog materijala, što je vidljivo kroz maketu. Zaključeno je da primena dodatka Kangaroo i algoritamsko određivanje njegovih ulaznih parametara, omogućava brz proces digitalne relaksacije uz tačne rezultate.

5. LITERATURA

- [1] M. Barnes, "Form and Stress Modelling of Tension Structures", Widespan Roof Structures, 2000.
- [2] M. Barnes, M. Dickson, "The Evolution of Longspan Lightweight Structures", Widespan Roof Structures, 2000.
- [3] J. Schlaich, M. Schlaich, "Lightweight structures", Widespan Roof Structures, 2000.
- [4] M. Majowiecki, "Concepts and reliability in the design of widespan structures", Widespan Roof Structures, 2000.
- [5] C. J. Williams, "The definition of curved geometry for widespan structures", Widespan Roof Structures, 2000.
- [6] <http://www.numen.eu/installations/tube/innsbruck/>
(pristupljeno u septembru 2022.)

Kratka biografija:



Jelena Pepić rođena je u Novom Sadu 1997. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Arhitektura – Digitalni dizajn i fabrikacija odbranila je 2022.god.

kontakt: jelena.pepic.acc@gmail.com