

primljen: 28.12.2022.
korigovan: 27.01.2023.
prihvaćen: 01.03.2023.

pregledni rad

UDK : 624.042.4(497.11)

ODABRANE IZVEDENE MEMBRANSKE KONSTRUKCIJE U REPUBLICI SRBIJI

Vuk Milošević¹, Dragan Kostić²

Rezime: Membranske konstrukcije se, među trenutno aktuelnim konstruktivnim sistemima, izdvajaju pre svega svojim specifičnim formama. Detaljnijom analizom dolazi se do zaključka da one imaju puno osobenosti u odnosu sa druge tipove konstrukcija i druge konstruktivne materijale. U svetu se njihova primena kreće od konstrukcija jako malih raspona do izuzetno velikih i reprezentativnih objekata. Međutim, za sve ove konstrukcije zajedničko je da odišu lakoćom i elegancijom. Upravo zbog ovoga, membranske konstrukcije su svoje mesto našle i u umetnosti, te se sve češće primenjuju kao prostorne skulpture. U Republici Srbiji se membranske konstrukcije primenjuju sa skoro pola veka zaostatka u odnosu na svet. U ovom radu prikazana su četiri objekta izvedena u našoj zemlji. Oni su izabrani tako da prikazuju trenutne domete naše graditeljske prakse u oblasti membranskih konstrukcija. Svaki od objekata posebno je analiziran u radu. Na osnovu obrađenih objekata doneti su zaključci o trenutnom stanju i predviđanja o daljem razvoju primene membranskih konstrukcija u Republici Srbiji.

Ključne reči: membranske konstrukcije, lake prostorne strukture, zategnute konstrukcije, izvedeni objekti, Republika Srbija

SELECTED BUILT MEMBRANE STRUCTURES IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Abstract: Membrane structures differentiate among other structural systems mainly by their characteristic forms. Further analysis leads to conclusion that they have many specific properties compared to other structures and structural materials. In the world, their applications range from very small to extremely large and representative buildings. However, all of these structures have elegance and lightweight nature in common. For this reason, membrane structures are also used in art, as spatial sculptures. In the Republic of Serbia the construction of membrane structures lags almost fifty years behind the world. This paper presents four selected built membrane structures in our country. These structures represent state of the art in building practice in Serbia in the field of membrane structures. Each of the structures is separately analyzed in the paper. Based on this, the results about the current state and the predictions about the future use of membrane structures in the Republic of Serbia are given.

Key words: Membrane Structures, Lightweight Structures, Tensile Structures, Built Structures, Republic of Serbia

¹ dr, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija, vukamer@yahoo.com

² dr, redovni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija, dragan.kostic@gaf.ni.ac.rs

1 MEMBRANSKE KONSTRUKCIJE U SVETU I KOD NAS

Membranske konstrukcije objedinjuju strukturalnu sofisticiranost i atraktivne forme, povezujući na taj način kvalitete građevinarstva i arhitekture. Savremene membranske konstrukcije razvijaju se od sredine prošlog veka. Od tada je u svetu izgrađeno puno značajnih objekata u ovom konstruktivnom sistemu. Danas su poznate mnoge osobine membranskih konstrukcija, ali se istraživanje o njima i dalje konstantno sprovode. Među prednostima membranskih konstrukcija ističu se njihova izuzetno mala sopstvena težina, neuobičajena geometrija i relativno veliki rasponi. Sa druge strane, loše termičke karakteristike sprečavaju njihovu rasprostranjeniju upotrebu.

Postoji nekoliko značajnih publikacija koje se bave različitim aspektima membranskih konstrukcija. Evropsko uputstvo za projektovanje zategnutih površinskih konstrukcija [1] i Nacrt evropskog pravilnika za proračun zategnutih membranskih konstrukcija [2] su najznačajniji evropski dokumenti, dok ne bude usvojen Evrokod o projektovanju membranskih konstrukcija, koji je u najavi. Za izvođače membranskih konstrukcija značajna je publikacija Zategnute površinske konstrukcije – praktičan vodič za kablovske i membranske konstrukcije [3].

Tokom poslednjih 70 godina membranske konstrukcije su građene širom sveta. Najveća koncentracija izgrađenih objekata nalazi se u Evropi, SAD, Japanu i na Bliskom istoku. U regionu u kome se nalazi Republika Srbija do nedavno nije bilo značajnih izvedenih membranskih konstrukcija. U prvoj deceniji XXI veka situacija je počela da se menja i pojavili su se prvi reprezentativni objekti u ovom konstruktivnom sistemu. Danas postoji više izvedenih objekata, kao i planovi za dalju primenu membranskog konstruktivnog sistema. U ovom radu predstavljena su četiri objekta izvedena u Republici Srbiji. Na osnovu njih može se doneti zaključak o trenutnim dometima graditeljske prakse u ovoj oblasti.

Osim toga, aktuelna su i naučna istraživanja membranskih konstrukcija u našoj zemlji. Zloković u svojoj knjizi [4] u sistematizaciju konstruktivnih sistema uključuje kablovske konstrukcije, kao preteču membranskih. Dančević samo par godina kasnije u svojoj knjizi [5] navodi i šatoraste sisteme, kojima pripadaju i membranske konstrukcije. Skorije, naprednim konstruktivnim sistemima, među kojima su

i šatoraste konstrukcije, bavili su se Nestorović [6] i Kostić [7]. Postoje i doktorske disertacije u ovoj oblasti [8-10], kao i jedna monografija posvećena ugibima membrana [11]. Može se na osnovu toga zaključiti da, zajedno sa praksom, i naši istraživači daju doprinos daljem razvoju membranskih konstrukcija.

2 ODABRANE IZVEDENE MEMBRANSKE KONSTRUKCIJE

Objekti izabrani za analizu i dati u ovom radu su izložbeni paviljon u Nacionalnoj vozačkoj akademiji, natkrivač bašte restorana Perla, pokrivač trga u poslovnom parku Airport City i pokrivač pijace Zvezdara.

2.1 IZLOŽBENI PAVILJON U NACIONALNOJ VOZAČKOJ AKADEMIJI

Izložbeni paviljon u Nacionalnoj vozačkoj akademiji nalazi se u Subotištu, neposredno pored piste i poligona za trening vozača. Sama Nacionalna vozačka akademija osnovana je 2008. godine kada je počela i izgradnja piste [12]. Naredne godine izvedena je i membranska konstrukcija prikazana na slici 1.

Površina na kojoj je izvedena konstrukcija je dimenzija približno 25x35 m. Pokrivena površina iznosi približno 500 m². Međutim, korisna površina je nešto manja zbog toga što pokrivač u nekim delovima dolazi skoro do samog nivoa terena. Materijal pokrivača je poliester/PVC membrana.

Forma objekta je potpuno nestandardna za druge tipove konstrukcija i konstruktivnih materijala, a relativno uobičajena kod membranskih konstrukcija. Treba imati u vidu da u vreme nastanka ovog objekta nije bilo drugih reprezentativnih objekata izvedenih u sistemu membranskih konstrukcija u našoj zemlji, pa čak ni u nekim zemljama regiona. Zbog toga ovaj objekat od samog početka privlači mnogo pažnje.

Forma pokrivača sačinjena je od dva objedinjena konusa. Vrh višeg konusa je na visini od 12,34 m u odnosu na tlo, a nižeg na 10,35 m. Oslonačka konstrukcija membrane je čelična. Vrhovi konusa su oslonjeni na stubove koji su blago nagnuti jedan od drugog. Stubovi su izvedeni kao tropojasna rešetka, a pojasevi su raspoređeni u temenima jednakostraničnog trougla. Oni se zglobno oslanjaju na temelje samce.

Po obodu, membranska konstrukcija je oslonjena u 14 tačaka. Jednim delom membrana se oslanja na susedni objekat i to u tri tačke. Tri obodne tačke

oslonjene su na po jedan stub, a svaki od ovih stubova ima i po dve zatege. Četiri obodne tačke oslonjene su direktno na temelje samce, a preostale tri su za temelje vezane sa po dve zatege. Na ovaj način dobijena je različita visina pokrivača u različitim delovima i time omogućena optimalna funkcionalnost prostora. Sa



južne strane moguće je prostoru pristupiti direktno sa trkačke staze te je tu ivica pokrivača na većoj visini, dok je na severnoj strani pokrivač projektovan praktično do tla. Sve ivice pokrivača su projektovane kao fleksibilne i ojačane su prednapregnutim kablovima.



Slika 1 – Izložbeni paviljon u Nacionalnoj vozačkoj akademiji

2.2 NATKRIVAČ BAŠTE RESTORANA PERLA

Restoran Perla nalazi se u Nišu u ulici Dragoljuba Jovanovića Draže [13]. Sa severoistočne strane restorana nalazi se bašta, odnosno plato za koji je odlučeno da bude natkriven. Za konstruktivni sistem pokrivača izabrana je membranska konstrukcija. Izgradnja konstrukcije izvedena je 2014. godine za samo nekoliko dana. Ova konstrukcija prikazana je na slici 2.

Sam natkrivač bašte restorana u mnogome je inspirisan izložbenim paviljonom u Nacionalnoj vozačkoj akademiji. To se najbolje uočava u formi i oslonačkoj konstrukciji, koji su slični kod ova dva objekta. Dimenzije platoa na kome je izvedena membranska konstrukcija su približno 24x29 m.

Membranom je pokrivena površina od približno 500 m². Za razliku od pomenutog izložbenog paviljona, ova membrana je podignuta od zemlje, te je tako prostor ispod nje dostupan sa svih strana i u potpunosti koristan jer nije ograničen visinom membrane. Membranski materijal je poliester/PVC.

Forma objekta je dvostruki konus. Oslonačka konstrukcija je čelična. Dva glavna stuba podupiru vrhove membrana. Oni su nagnuti jedan od drugog i zglobno su oslonjeni. Izvedeni su kao trobojne rešetke, zbog čega odaju utisak izuzetne elegancije i lakoće. Zbog toga su potpuno u skladu sa celokupnim vizualnim doživljajem natkrivača. Kako u eksterijeru, tako i u enterijeru, membranska konstrukcija je vrlo atraktivna i daje prostoru notu dinamičnosti i ekskluzivnosti.



Slika 2 – Natkrivač bašte restorana Perla

Ivični oslonci membrane su odignuti, kako zbog funkcionalnih, tako i zbog estetskih razloga. Naime, dvorište restorana je oivičeno netransparentom ogradom, te se membrana bolje sagledava nego da je na zemlji. Membrana je sa spoljašnje strane oslonjena tačkasto i to na 10 mesta. Dva tačkasta oslonca nalaze se na postojećem objektu restorana. Sedam oslonaca je na vrhovima manjih stubova koji su stabilizovani sa po dve zatege. Jedan oslonac je na stubu koji zbog blizine ogradi nije mogao da ima zatege, te je zbog toga izveden sa dva dodatna kruta podupirača. Ivice membrane između tačkastih oslonaca su fleksibilne i ojačane kablovima. Kablovi za osiguranje bezbednosti u slučaju kolapsa membrane povezuju vrhove konusa. Sa jednog vrha spuštaju se tri, a sa drugog četiri ovakva kabla.

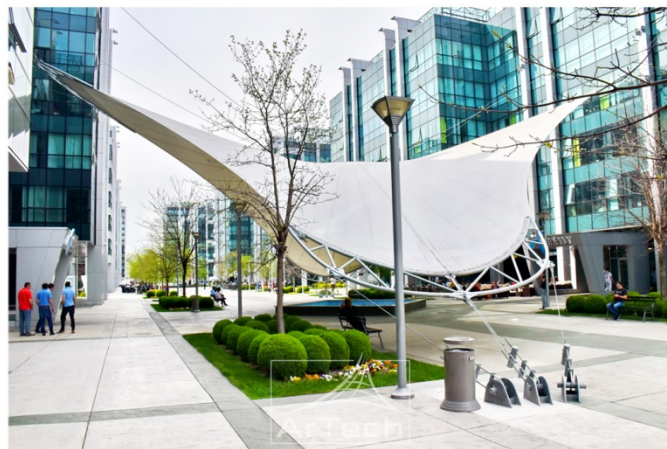
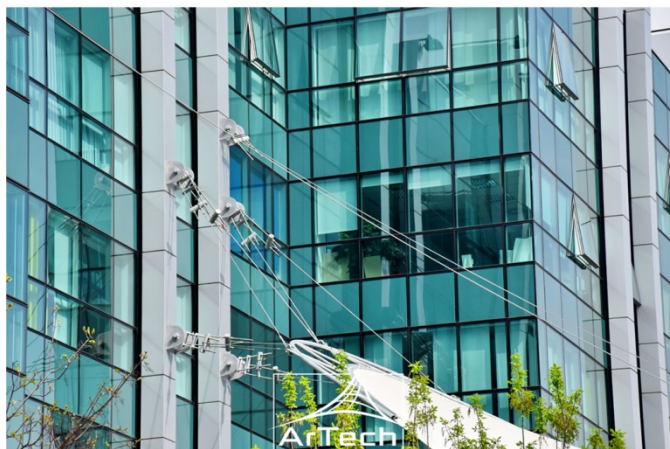
Iako ovaj objekat ne donosi značajan napredak u odnosu na prethodni analizirani, njegov značaj u popularizaciji membranskih konstrukcija je veliki zbog lokacije na kojoj se nalazi. Usled namene koja obezbeđuje čestu eksploataciju i relativno veliki broj korisnika, mnogi stanovnici juga Srbije imali su priliku da se direktno upoznaju sa membranskim konstrukcijama zahvaljujući ovom objektu.

2.3 POKRIVAČ TRGA U POSLOVNOM PARKU AIRPORT CITY

Poslovni park Airport City nalazi se na Novom Beogradu u bloku 65. Izgradnja ovog kompleksa započeta je 2005., a prve zgrade završene su naredne godine. Od tada je kompleks u više faza proširivan. Danas ga čini niz poslovnih objekata sa obe strane

pešačke ulice [14]. Na jednom od trgova koji su formirani između postojećih objekata 2017. godine izgrađen je pokrivač od prednapregnute membranske konstrukcije. Konstrukcija je prikazana na slici 3.

Membrana je oblika hiperboličkog paraboloida. Rastojanje između dva niža oslonca je 40,40 m, a između dva viša oslonca 38,20 m. Niži oslonci nalaze se na tlu, a viši na visini od 15 m gde su ankerisani u postojeće objekte. Sama membrana ima dimenziju od približno 22x22 m, sa dijagonalama od 32 m. Središnji deo membrane nalazi se na visini od 7,50 m.



Slika 3 – Pokrivač trga u poslovnom parku Airport City

Uobičajeno je, naime, da membrane oblika hiperboličkog paraboloida budu oslonjene ili tačkasto u temenima, ili kruto duž celih ivica membrane. Kod membrane u poslovnom parku Airport City primenjena je inovativna vrsta oslonaca. Oslonci su osmišljeni kao rešetkasti i nalaze se u temenima, ali nisu tačkasti. Oni su lučnog oblika i daju ivicama membrane suprotnu zakrivljenost u odnosu na fleksibilni deo ivice koji se nalazi između oslonaca. Na taj način bitno menjanju uobičajeni oblik membrane prisutan kod membrana sa tačkastim osloncima. Montaža ovih oslonaca predstavljala je

Pokrivena je površina od približno 500 m². Za pokrivač je korišćen poliester/PVC membranski materijal.

Ova konstrukcija vrlo je specifična i to ne samo u regionu već i mnogo šire. Postoji nekoliko vrlo interesantnih konstruktivnih rešenja primenjenih na ovom objektu [15]. Najpre, to je tip oslonca koji je primenjen na uglovima membrane. Zatim i otvor koji se javlja u sredini membrane, a koji je nekarakterističan za membrane ovog oblika.

poseban problem zbog postizanja prednapreznja u membrani.

Otvor koji se nalazi u sredini membrane karakterističan je za konusne i radijalno orijentisane talasaste membranske konstrukcije. U ovom slučaju izveden je zbog postojanja fontane ispod centralnog dela membrane. Prečnik otvora je oko 4 m. Otvor je ojačan čeličnim prstenom. Postojanje otvora rezultovalo je i nekarakterističnom šemom sečenja. Iako je kod sedlastih membrana uobičajeno koristiti paralelne šeme sečenja, ovde je zbog otvora šema radijalna.

Pokrivač trga u poslovnom parku Airport City predstavlja uspešan eksperiment koji pomera granice mogućnosti membranskih konstrukcija. Zbog inovativnih rešenja primenjenih na ovoj konstrukciji, može se zaključiti da ona ne zaostaje za membranskim konstrukcijama sličnih raspona izvedenim u svetu.

2.4 POKRIVAČ PIJACE ZVEZDARA

Pijaca Zvezdara poznatija je pod nazivom Cvetkova pijaca. Ona se nalazi u Beogradu u ulici Bulevar Kralja Aleksandra. Tokom 2018. godine

pijaca je pokrivena kako bi se unapredile njene estetske i funkcionalne karakteristike. Pokrivač je projektovan u sistemu membranskih konstrukcija kao modularan. Konstrukcija je prikazana na slici 4.

Bilo je potrebno pokriti dve odvojene celine pijace. Prva celina je dimenzija 48,4x41,9 m, a druga 12,1x41,9 m. Pokrivanje ovih površina izvedeno je modulima dimenzija 12x12 m. Ukupna pokrivena površina je približno 2400 m². Oslonačka konstrukcija je čelična, a pokrivač je poliester/PVC membranski materijal.



Slika 4 – Pokrivač pijace Zvezdara

Osnovna forma pokrivača je inverzni konus. Međutim, konus je u modulu podeljen na četiri dela, na taj način omogućivši da se u konstrukciji koriste i polovina ili četvrtina modula. Između delova konusa nalazi se po jedna jednostruko zakrivljena površina pokrivena membranom, koja služi za njihovo povezivanje. Četvrtina konusa formira se

povezivanjem četiri temena, od kojih su tri u horizontalnoj ravni na visini od 6 m, a jedno je niže. Ivični oslonci su kruti i dva su horizontalna i prava, a dva lučna u vertikalnoj ravni. Šema sečenja membrane je radijalna, iako nisu primenjeni celi konusi.

Glavni oslonci su čelični stubovi izvedeni tako da minimalno ograničavaju funkcionalnost pokrivenog

prostora. Oni su rešetkasti, sa četiri pojasa u kvadratnom rasporedu. Poprečnog preseka su 1x1 m, a visine 8 m. Sa vrha stuba spuštaju se zatege do tri temena četvrtine konusa, a četvrto, niže teme se nalazi na samom stubu.

Prostorni raspored modula je takav da je manja površina pijace pokrivena sa tri i po modula. Veća površina ima dva niza sa po pet modula i dodatno sa jedne strane četiri polovine modula, a sa druge tri polovine i jednu četvrtinu modula. Ovakav raspored bio je uslovljen stanjem na lokaciji. Konstrukcija omogućava dovoljnu osvetljenost i provetrenost u skladu sa namenom prostora koji je pokriven. Kako bi se povećala nezavisnost objekta od mreža snabdevanja i povećala njegova održivost, pokrivač je projektovan tako da sakuplja kišnicu kako bi se ona koristila kao tehnička voda za čišćenje objekta.

Pokrivač pijace Zvezdara je primer dobre prakse korišćenja membranskih konstrukcija za pokrivanje javnih objekata. Membranska konstrukcija pruža zaštitu od kiše, snega i direktnog sunčevog zračenja, a istovremeno definiše osvetljen i provetren prostor. Može se očekivati da će u budućnosti biti sve više ovakvih primera u našoj zemlji.

3 ZAKLJUČAK

O ekspanziji membranskih konstrukcija u svetu svedoči i činjenica da se trenutno radi na definisanju Evrokoda o projektovanju membranskih konstrukcija. Njihova najznačajnija primena je pokrivanje sportskih objekata. U Republici Srbiji njihova primena počela je tek u poslednje dve decenije.

Membrane se kao konstruktivni materijal mogu primenjivati na više načina. Jedan od češće zastupljenih podrazumeva korišćenje membrane kao pokrivača, pri čemu je primarna noseća uloga dodeljena nekom drugom građevinskom materijalu. Među konstrukcijama kod kojih membrana ima noseću ulogu javljaju se i pneumatske konstrukcije. Međutim, nijedan od dva pomenuta tipa nije analiziran u ovom radu. U radu su predstavljene konstrukcije kod kojih je membrana noseći element i stabilizovana je mehaničkim prednaprežanjem. Prikazana su četiri objekta koja su značajna za razvoj primene membranskih konstrukcija u Srbiji. U radu su date neke njihove tehničke karakteristike i analiza izvedenog konstruktivnog sistema.

Na osnovu analiziranih objekata može se zaključiti da je, bez obzira na kasniji početak primene membranskog konstruktivnog sistema u Srbiji, trenutno stanje graditeljske prakse u ovoj oblasti na

visokom nivou. Izvedeni objekti u Srbiji ne zaostaju po svojim strukturalnim i estetskim vrednostima za onim izvedenim u svetu. Međutim, uočava se da za sada još uvek nema objekata velikih raspona pokrivenih membranskim konstrukcijama u Srbiji. Naredni korak u razvoju primene membranskih konstrukcija u Srbiji mogao bi biti pokrivanje tribina nekog stadiona ili većeg auditorijuma. Takođe, može se očekivati i primena konstrukcija sa mogućnošću otvaranja i zatvaranja. Konačno, može se zaključiti da dalji razvoj primene membranskih konstrukcija u Republici Srbiji nije ograničen tehničkim kapacitetima niti znanjem, već finansijskim mogućnostima i još uvek nedovoljnim poznavanjem prednosti ovog konstruktivnog sistema među investitorima.

ZAHVALNOST

Autori izražavaju zahvalnost kompaniji ArTech inženjering d.o.o. iz Beograda na ustupljenim fotografijama i tehničkim detaljima konstrukcija.

LITERATURA

- [1] Forster Brian, Mollaert Marijke: **European Design Guide for Tensile Surface Structures**. *TensiNet*, Brussels, 2004.
- [2] Stranghoner Natalie, Uhlemann Jorg, et al.: **Prospect for European Guidance for the Structural Design of Tensile Membrane Structures**. *European Commission, Joint Research Centre*, Luxembourg, 2016.
- [3] Seidel Michael: **Tensile Surface Structures: A Practical Guide to Cable and Membrane Construction**. *Ernst & Sohn*, Berlin, 2009.
- [4] Zloковиć Đorđe: **Konstruktivni sistemi**. *Arhitektonski fakultet*, Beograd, 1975.
- [5] Dančević Desimir: **Konstruktivni sistemi**. *Centar za informativno izdavačku delatnost*, Niš, 1978.
- [6] Nestorović Miodrag: **Konstruktivni sistemi, principi konstruisanja i oblikovanja**. *Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu*, Beograd, 2007.
- [7] Kostić Dragan: **Konstruktivni sistemi u arhitekturi, knjiga II**. *Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu*, Niš, 2018.
- [8] Milošević Jelena: **Izometrijska analiza u morfogenezi površinskih konstruktivnih sistema**. *Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu*, Beograd, 2015.
- [9] Milošević Vuk: **Aspekt promene geometrije pri dejstvu koncentrisane sile u projektovanju montažnih membranskih konstrukcija**.

Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, Niš, 2018.

- [10] Lipkovski Jana: **Optimalnost primene numeričkih metoda određivanja početne i deformisane geometrije membranskih konstrukcija**, *Univerzitet u Beogradu*, Beograd 2015.
- [11] Milošević Vuk: **Projektovanje membranskih konstrukcija – analiza ugiba pod opterećenjima**. *Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu*, Niš, 2022.
- [12] <http://www.navak.rs/> (2.12.2019.)
- [13] <http://perla.rs/> (3.12.2019.)
- [14] <http://www.airportcitybelgrade.com/> (4.12.2019.)
- [15] Vučur Aleksandar, Filz Günther: **Airport City Belgrade Membrane Structure: design, production and installation process**. *IASS Annual Symposium 2019 – Structural Membranes 2019*, Barcelona, 1-8, 2019.