

**STRUČNI ČLANAK:
PROSTORNE DRVENE KONSTRUKCIJE**

Autor: Ivan Volarić, struč. spec. ing. aedif.

Zagreb, Siječanj 2017.

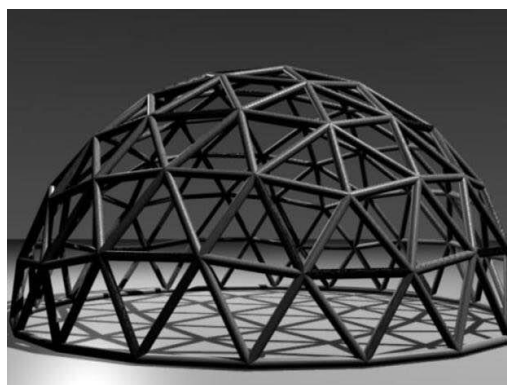


PROSTORNE DRVENE KONSTRUKCIJE

Svaki objekt nalazi se u prostoru, a na njega djeluju vanjska djelovanja, kao što su vlastita težina, snijeg, vjetar i seizmičke sile. Konstrukcija objekta mora biti prostorno tako projektirana, da može preuzeti vanjska djelovanja i predati ih u čvrste točke na koje se oslanja konstrukcija objekta, a prema tome svaki objekt je zapravo prostorna konstrukcija. Preuzimanje i predaja vanjskih djelovanja može se u nekim slučajevima pojednostaviti, pa tako sačiniti ravninske konstrukcije, koje svaka za sebe preuzima pojedine komponente vanjskog djelovanja.



Slika 1 Ravninska konstrukcija



Slika 2 Prostorna konstrukcija

Kod objekta gdje je konstrukcija izvedena iz okvirnih nosača i lukova, uobičajeno je da te konstrukcije preuzimaju vanjska djelovanja koja djeluju u njihovoj ravnini, a djelovanja koja djeluju okomito na tu ravninu preuzimaju spregovi za prostornu stabilizaciju.

Međutim, postoji čitav niz konstrukcija, kod kojih svi elementi ravnopravno sudjeluju u prijenosu vanjskih djelovanja do čvrstih točaka. Kod takovih konstrukcija nije moguće rastaviti vanjsko djelovanje na pojedine elemente. Takove konstrukcije nazivamo prostornim konstrukcijama, koje su statički više puta neodređene. To su hiperbolni paraboloidi, ljuske, kupole, mrežaste konstrukcije, prostorne rešetke, itd.

Hiperbolni paraboloid

Hiperbolni paraboloid je prostorna konstrukcija kod koje tlocrtna projekcija može biti kvadrat, pravokutnik, romb ili romboid. Konstrukcija hiperbolnog paraboloida dobiva se tako da se dvije nasuprotne točke (vrhovi dijagonale) podignu na istu, ili različitu visinu (visoke točke), a vrhovi suprotnih dijagonala ostaju na istoj visini ili se jedna od tih točaka podigne (niske točke).

Rubni elementi hiperbolnog paraboloida tvore spojnice niske i visoke točke (u tlocrtnoj projekciji stranice kvadrata, pravokutnika, romba ili romboida). Membranu hiperbolnog paraboloida dobivamo tako da pravcima spajamo nasuprotne točke na rubnim elementima.



Slika 3 Hiperbolni paraboloid u Gani

Gledajući hiperbolni paraboloid iz različitih položaja pogled na njega je u svakoj točki drugačiji, što ga čini vrlo interesantnim i ostavlja estetski efektan dojam. Statički proračun hiperbolnog paraboloida vrlo je zahtjevan, a poseban problem predstavlja opterećenje vjetera koje još do danas nije u potpunosti razjašnjeno. Na fotografijama u nastavku nalazi se crkva svetog Alojzija katoličke biskupije Trenton, gdje je krovna konstrukcija izvedena u obliku hiperbolnog paraboloida.



Slika 4 Pročelje crkve sv. Alojzija, SAD



Slika 5 Krovna konstrukcija crkve sv. Alojzija, SAD



Mrežaste konstrukcije

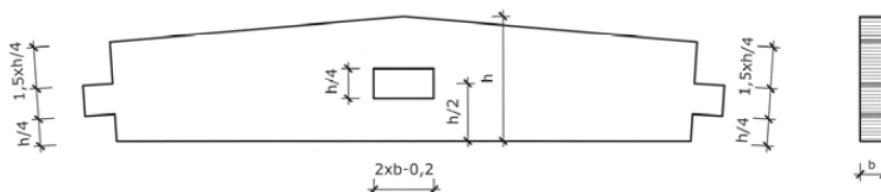
Mrežaste konstrukcije sastoje se od mreže koju tvore letve položene jedna na drugu u pravilu pod kutom od 90° , a u čvorovima su međusobno povezane u jednu cjelinu mehaničkim spajalima. Kut između letava može biti i različit od 90° . Osni razmak letava je u oba smjera jednak. Tlocrtna površina koja se može prekriti tako oblikovanom mrežom može biti bilo kojeg oblika. Na manjim rasponima mreža može biti jednodijelna, dok se na većim rasponima izvodi dvodijelna mreža.



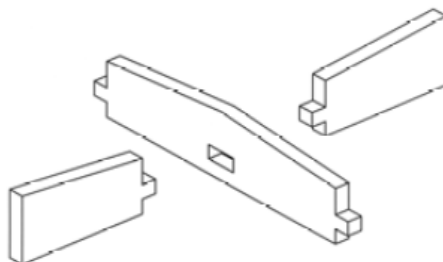
Slika 6 Mrežasta konstrukcija Centar Pompidou, Francuska

Prostorne mrežaste konstrukcije svoju primjenu nalaze i kod obiteljskih kuća te objekata manjih raspona. Kod analize konstrukcija toga tipa pozornost treba obratiti na sistem Peseljnikov i sistem Zollinger.

Mrežasti svod tipa Peseljnikov je prostorna konstrukcija, koju tvore kosince istih dimenzija i oblika, što im daje veliku prednost za industrijsku proizvodnju. Kosnice tipa Peseljnikov imaju skošen gornji pojas, u sredini elementa se izrađuje utor, a na vrhovima se izvodi tzv. čep. Suvremeni CNC strojevi sa lakoćom izvode ove tesarske detalje, te je proizvodnja ovakvih elementa izuzetno brza i jeftina. Prilikom projektiranja elementa treba obratiti pozornost na minimalne razmake otvora od rubova, kako se ne bi izradili čepovi i utori prevelikih dimenzija te tako previše oslabili elementi.

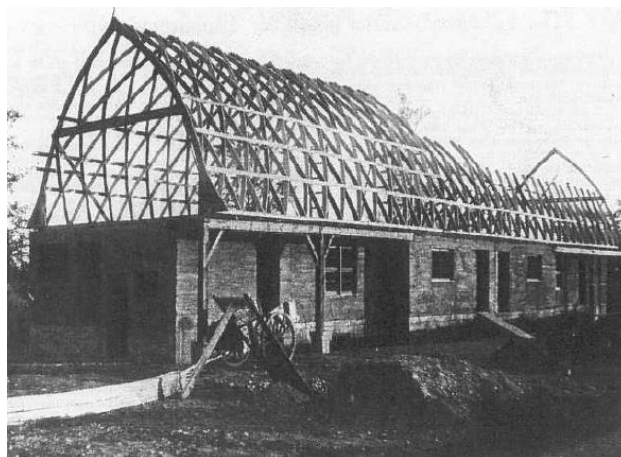


Slika 7 Izgled kosnice tipa Peseljnikov



Slika 8 Spoj kosnica tipa Peseljnikov

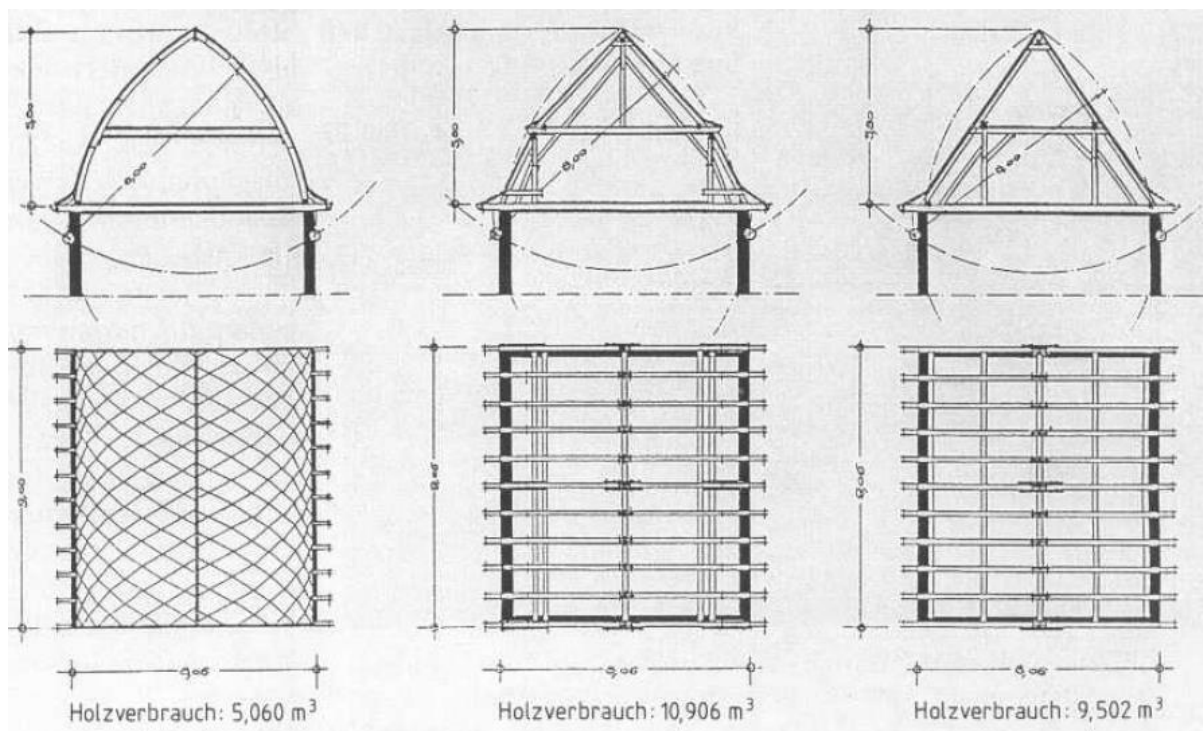
Freidrich Zollinger rođen 1880. godine u Wiesbaden-u autor je Zollinger sistema gradnje. Prvi puta se objekt za Zollinger lamelama izbodi 1922. godine u Merseburg-u. Zollinger u poslije ratno doba razrađuje sistem gradnje od kratkih lamela, kako bi cijenu koštanja krovne konstrukcije znatno smanjio, te ubrzao izgradnju. Sistem karakterizira čvorni spoj u kojem se spajaju tri elementa, jedan prolazi kontinuirano dok ostala dva u tom čvoru završavaju. Kako bi se osigurala stabilnost elementi se učvršćuju vijkom.



Slika 9 Objekt izveden Zollinger sistemom u Merseburg-u 1922 godine



Krovne konstrukcije sistema Zollinger izvode se bez stupova i greda u stambenom prostoru, te na taj način omogućavaju potpuno iskorištenje stambenog potkrovlja. Analizirajući sisteme krovišta mansardnog tipa, krovište Zollinger i krovište sa dvostrukom stolicom, dolazi se do zaključka da Zollinger sistem osigurava značajne uštede materijala. Sva tri tipa objekta iste su tlocrtna površine, utrošak za mansardno krovište je $10,906 \text{ m}^3$ drveta, za krovište sa dvostrukom stolicom iznosi $9,502 \text{ m}^3$, dok za Zollinger sistem iznosi $5,060 \text{ m}^3$. Iz navedenih podataka vidljivo je da je ušteda ukoliko se koristi Zollinger prostorna konstrukcija 40%-50%, u odnosu na druge tipove krovišta.



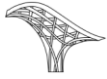
Slika 10 Utrošak materijala za Zollinger, mansardno i krovište sa dvostrukom stolicom



Slika 11 Zollinger krovište Dudenhofen



Slika 12 Zollinger sistem Munchen



Kupole

Kupole su sferični svodovi koji se u pravilu projektiraju nad kružnom tlocrtnom površinom ili nad tlocrtom koji se sastoji od dvije razmaknute polukružne površine u koje je u srednjem dijelu ubačen pravokutnik. U tom slučaju radi se o kombinaciji kupole i svoda.

Odnos strelice kupole i raspona iznosi od $f/L = 1/2 - 1/4$. Kod drvenih kupola ne preporuča se spljoštenost manja od $1/6$. U srednjem dijelu drvene kupole imaju otvor, koji nazivamo svjetlik ili laterna. U tom otvoru projektira se gornji tlačni prsten na koji se priključuju meridijalna rebra. Pokrovi drvenih kupola su najčešće lagani, primjenjuju se bakreni ili pocinčani lim, šindra, trevira, no postoji mogućnost izvedbe i sa staklenim pokrovom. Kod primjene lima i šindre ispod dolazi daščana oplata, a postavlja se prema potrebi toplinska izolacija i podgled.

Osnovnu podjelu kupola možemo napraviti na ravninske te prostorne kupole.

Kod ravninskih kupola rešetkasti ili punostijeni lukovi se postavljaju radijalno po tlocrtu, a u vrhu kupole sastaju se svi u jednoj točki. Takve su konstrukcije stvarno samo po svojem obliku kupole, a ne i po statičkom sistemu, stoga ih proračunavamo kao ravninske lukove. Gornji elementi kupole, oplata i ukrućenja rebara ne sudjeluju u radu čitave konstrukcije kao cjeline. Navedeni elementi služe samo zato da predaju terete na nosive lukove i da ih međusobno povežu zbog osiguranja dovoljne stabilnosti.

Razlika između ravninske i prostorne kupole je u tome što kod prostorne svi elementi bezuvjetno sudjeluju u radu konstrukcije kao cjeline. Prostorne kupole veoma su krute, za njihovu izradu treba relativno malo materijala, a odlikuju se vrlo jednostavnim konstruktivnim detaljima. Prostorne kupole sastoje se od nekoliko slojeva unakrsno položenih dasaka spojenih međusobno. Za svaku vrstu unutarnjih sila predviđen je posebni konstrukcijski element, za koji se smatra da jedini prenosi tu vrst opterećenja.



Slika 13 Kupola brodarskog instituta u Zagrebu

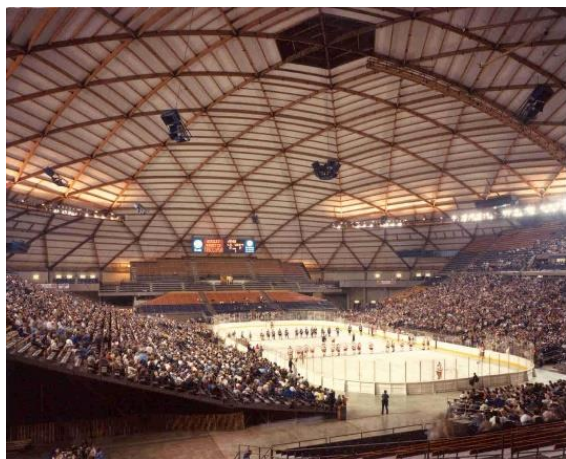


Kupola brodarskog instituta vrlo često nije poznata široj javnosti, a svakako spada u najveća dostignuća graditeljstva svoga vremena. Kupola je izgrađena 1954. godine, a kod ocjenjivanja smjelosti pojedinih ostvarenja uzima se u obzir raspon (L) i strelicu kupole (f), a smjelost se izračunava prema izrazu $sm=L^2/f$.

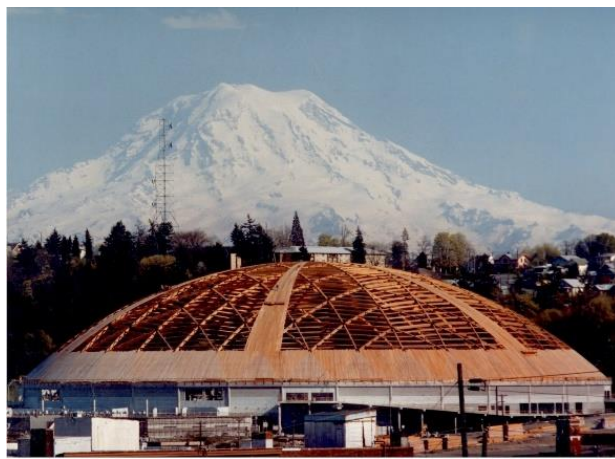
Kupola u Zagrebu raspona je 39 m, spljoštenosti 1:6, te strelice 6.5 m što joj daje koeficijent smjelosti 234. Aluminijska kupola u Londonu 1954. godine imala je jednina na svijetu veći koeficijent smjelosti od kupole u Zagrebu, te nas to upućuje na veliku važnost ovoga objekta.

Uz kupole ravninskog tipa te prostorne kupole, svakako valja spomenuti i geodetske kupole. One se po strukturi značajno razlikuju od prethodno navedenih, a nosivu strukturu čine kratki štapasti elementi koji se međusobno spajaju u čvorovima. Međusobno spojeni elementi čine mrežu koja je najčešće trokutastog oblika. Spajanje u čvorovima vrši se pomoću vijaka te posebno oblikovanih čeličnih elementa prilagođenih geometriji kupole.

Drvena geodetska kupola najvećeg raspona na svijetu izvedena je u Americi. Tacoma Dome raspona je 161,5 metara sa strelicom 48 metara.



Slika 14 Krovna konstrukcija Tacoma Dome, SAD

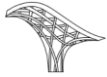


Slika 15 Tacoma Dome prilikom gradnje, SAD

Zaključak

Cilj ovog rada bio je prikazati, da drvene konstrukcije ne završavaju na četiri metra dugom nosaču kojeg će prosječan kupac nabaviti u pilani. Lamelirano drvo pruža inženjeru i arhitektu skoro neograničene mogućnosti, a na raspolaganju mu je materijal izuzetnih estetskih i mehaničkih svojstava.

Programski statički paketi omogućuju projektiranje konstrukcija koje su nekada bile nezamislive, a suvremeni CNC strojevi omogućuju izvedbu sa preciznošću od desetinke milimetra. Prostorne drvene konstrukcije evidentno su zahtjevnije za projektiranje i izvedbu, no sa tim tipom konstrukcija može se dobiti vrlo racionalan sustav sa malim utroškom materijala.



Kada govorimo o prostornim konstrukcijama taj termin se ne odnosi samo na velike raspone, a Zollinger krovšte primjer je prostornog sistema gradnje koji bi bio primjenjiv na obiteljskim kućama, te ostvarivao značajne uštede materijala. Nakon svega navedenog moramo se zapitati zašto drvo kao građevni materijal u Hrvatskoj ne koristimo više. Odgovor je vrlo teško dati, no kako neracionalno živimo, tako očito i neracionalno gradimo.

Literatura

Knjige i skripte:

- [1] Magerle, Miroslav. Drvene konstrukcije, Zagreb, 2008.
- [2] Magerle, Miroslav. Inženjerske građevine, Zagreb, 2011.
- [3] Magerle, Miroslav. Drvene inženjerske konstrukcije, Zagreb, 2011.
- [4] Selimbegović-Sulyok, Marta. Drvene konstrukcije u arhitekturi, Zagreb, 2008.

Internet:

www.archdaily.com