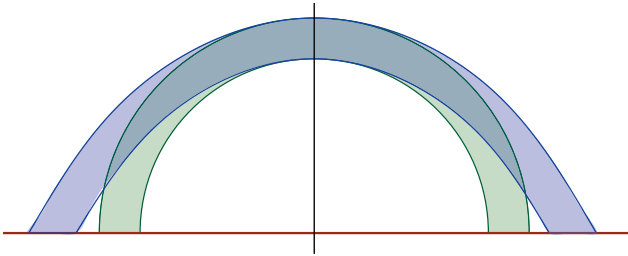


iz $x = 0$ v $x = \Delta x$ ter izračunamo spremembo kota $\Delta\varphi$ in spremembo sile ΔF_0 ter pridemo do novih vrednosti za kot $\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi$ in velikost sile $F_{0z} + \Delta F_0$. Postopek nadaljujemo, dokler ne dobimo celotne krivulje. Enaka, le na glavo obrnjena krivulja, je verižnica, po kateri se umiri napeta viseča veriga, od tod njeno ime.

Na sliki 7 imamo primerjavo obrisov krožnega in brezpodpornega ali idealnega oboka. Po teh krivuljah smo nato izdelali oba oboka. Na sliki 8 je prikazan prost idealni obok, ki se ni podrl in tudi ne povetil.



SLIKA 7.

Načrt, po katerem smo iz deske izrezali krožni (zeleno) in idealni (modro) obok.



SLIKA 8.

Prost idealni obok.

Literatura

- [1] A. Likar, *Veriga in obok*, Presek **18** 1990/1991, 130–133.

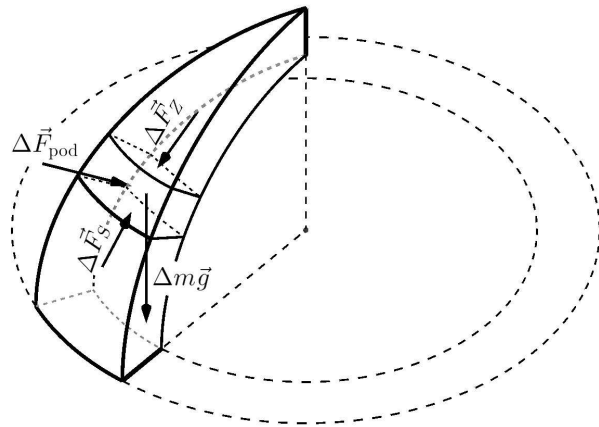
× × ×

Kupola

↓↓↓

ANDREJ LIKAR

→ V prejšnjem prispevku smo govorili o obokih. Med prastare gradbene enote sodijo tudi kupole, ki so jih gradili nad vlažnimi kletmi, kjer bi tramovi trohneli, in nad črnimi kuhinjami, ker so se bali požara. Poleg tega so bile kupole pomemben okras verskih zgradb po celem svetu.



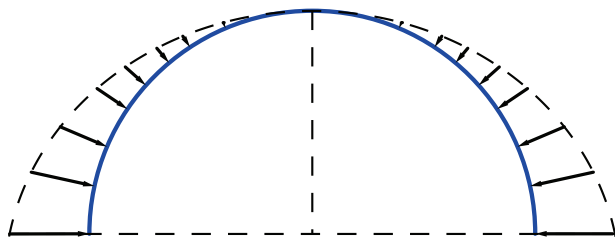
SLIKA 1.

Element kupole in sile nanj.

Kupole so bile različnih oblik. Prevladovala so kroglaste kupole. Pa si oglejmo statiko kroglaste kupole. Na sliki 1 smo prikazali element kupole in ključne sile nanj. Razmere so pri kupoli bolj zapletene kot pri oboku, saj ima vsak element kupole štiri sosede. Podrobni premisleki in ustrezni računi so kljub temu



→ zelo podobni premislekom in računom, ki smo jih predstavili v prispevku o oboku, zato jih tu ne bomo ponavljali. Izkaže se, da moramo lupino kroglaste kupole podpirati s strani, da ne pride do posedanj in posledično do pokanja lupine. Na sliki 2 smo shematično prikazali stranske podporne sile, ki so na vrhu kupole zanemarljive, potem pa se polagoma večajo proti njenemu dnu. To velja pri ustrezno stisnjem vršnem elementu kupole. Različne napetosti na vrhu lupine namreč terjajo različne podporne sile. Pri povsem ohlapni lupini na vrhu, na primer, moramo vso njeno težo premagati z navpično podporo.

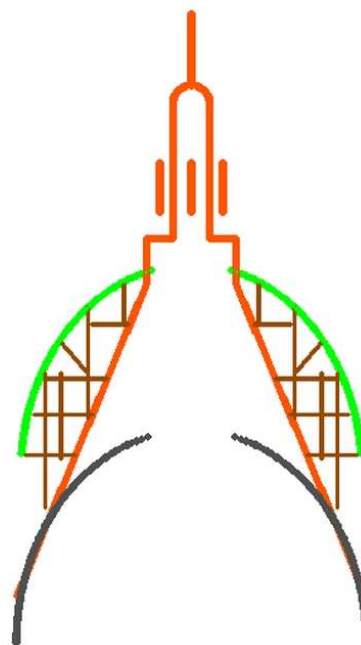


SLIKA 2.

Krogelna kupola terja podporni tlak, ki je na sliki nakazan s puščicami.

Kroglasto kupolo moramo torej podpirati s silami, ki delujejo proti notranjosti kupole. Pri obokih je podobno, a tam si take podpore lahko privoščimo. Pri kupolah, vidnih od zunaj, pa bi take podpore motile. Zato so gradbeniki posegli po različnih rešitvah, največkrat s kombinacijo zidov in lesenih konstrukcij. Omenimo dva zelo znana primera. Cerkev Sv. Pavla v Londonu premore veliko zunanjo kupolo. Podprta je s trami, ki se opirajo na trden zidan stožec. Le-ta nosi tudi težko lanterno na vrhu kupole (glej sliko 3). Pri Taj Mahalu v Agri v Indiji pa je zunanja kupola mavzoleja izrazito krogelna celo s previsom, kjer je podpora zelo pomembna. Kupolo tvori na videz tanka lahna zidana lupina, prerez pa pokaže, da je kupola vse prej kot to. Zunanja kupola je nazidana na masivno valjasto steno, ki pa je obiskovalec ne vidi, saj je notranja kupola bistveno nižja od zunanje (glej sliko 4).

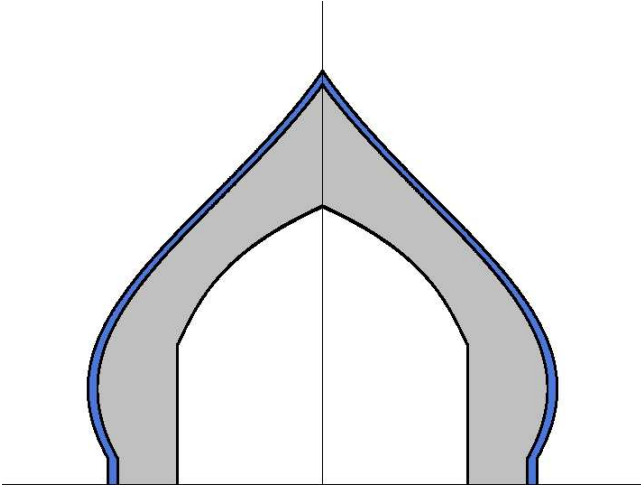
Kroglaste kupole so gotovo očem prijetne. Videli pa smo, da terjajo podporne sile, ki jih ni lahko doseči. Ali obstaja kupola, ki ne terja podpore? Pri tem vprašanju pomislimo na obok v obliki verižnice,



SLIKA 3.

Cerkev Sv. Pavla v Londonu ima s trami (rjavo) podprto zunanjo kupolo (zeleno), težko lanterno na vrhu pa nosi stožčast zid (oranžno).

ki ne potrebuje podpore. Tudi pri kupoli hitro najdemo obliko, pri kateri podpore ne potrebujemo. To sicer ni katenoid (verigoid), kot bi prvi hip pomislili, a je nekaj podobnega. Imenujmo ga kupoloid. Tako ploskev tvori vpeta verižina, torej »tkanina« iz kovinskih obročkov, ki so jo nekdanj nosili vitezi za zaščito pred puščicami. Na sliki 5 in sliki 6 smo posneli obliko dveh prosto visečih verižin in ju obrnili na glavo, da smo dobili kupoloid. Obliko smo sproti izračunavali in risali ob rob verižine. Ujemanje je kar dobro glede na grobost tkanine. Pri verižini, ki smo jo naredili iz kosov okrasne verige (glej sliko 7), smo upoštevali, da ni povsem homogena, na robovih je manj masivna kot proti sredini. Tako kot verižina pri visenju ne potrebuje stranske podpore, tako je tudi ne potrebuje kupola v obliki kupoloida. Zanimivo je, da Inuiti gradijo svoje igluje v obliki, ki je zelo podobna kupoloidu.



SLIKA 4.

Velika zunanja kupola Taj Mahala ima izredno lepo obliko. Posnemala naj bi še ne odprt tulipan. Prerez razkrije, da so graditelji poskrbeli za bočne sile z masivnim valjastim zidom (sivo), na katerega so nazidali zunanje plošče.

Nazadnje si oglejmo dve cerkveni kupoli in pogledimo, kako sta grajeni: ali v obliki oble ali kupoloida. Prva je znamenita kupola cerkve Sv. Petra v Rimu. Na sliki 8 smo ji očrtali oblo in kupoloid. Vidimo, da je ta kupola nekje med obema tema ploskvama. Kupola ljubljanske stolnice na sliki 9 pa je bliže kupoloidu kot obli.

Literatura

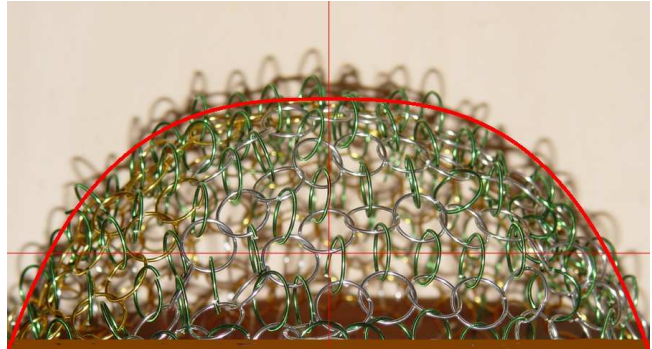
[1] A. Likar, *Obok*, Presek 47, 4, 2019/2020, 10–13.

www.presek.si

www.dmfa-zaloznistvo.si

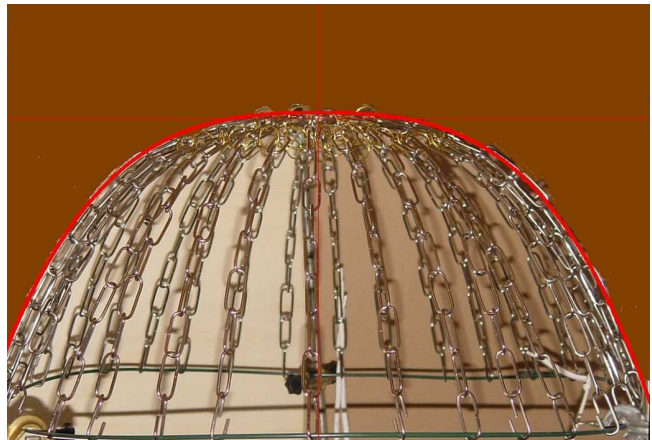
www.obzornik.si

www.dmfa.si



SLIKA 5.

Prosto viseča, na obeh koncih pritrjena veriga se umiri v značilni legi, ki jo opišemo s posebno krivuljo – verižnico. Krožno vpeta verižina se umiri v značilni ploskvi, ki ji rečemo kupoloid (rdeča črta).



SLIKA 6.

Verižina, narejena iz kosov okrasne verige, ni povsem homogena, kar smo upoštevali v računu.