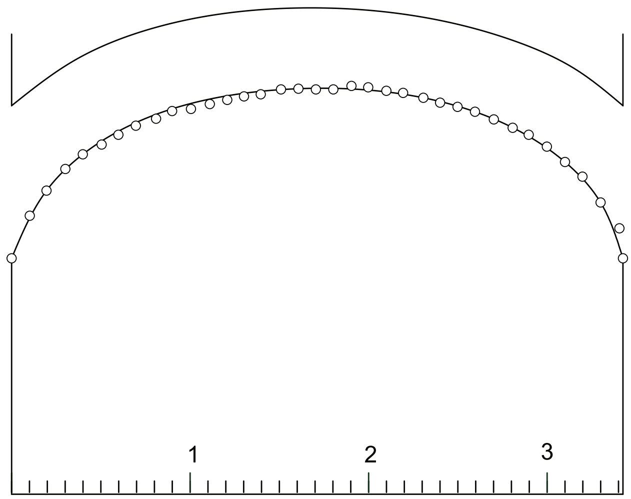
Obok

Andrej Likar

Pri prenovi hiše, zgrajene še v 19. stoletju (leta 1887), so odkrili zanimiv obok (glej sliko 1).

SLIKA 1.
Odkrit obok v stari hiši po zrušitvi zidov in preklad, ki so ga zakrivali.



SLIKA 2.
Obok, odkrit pri prenovi hiše, zgrajene v 19. stoletju.

Meritve njegovega profila so pokazale, da je zgrajen v obliki elipse (glej sliko 2).

Pred več kot stoletjem zidarji podeželskih hiš še niso poznali železobetonskih nosilcev, gradili so z opeko in apneno malto. Zidani stropi zato niso bili ravni, temveč grajeni z opeko v obliki kupol. Te so najpogosteje pokrivale vlažne kletne prostore. Strope v suhih bivalnih prostorih so izdelali z lesenimi nosilci, ki so jih nalegli na zidove. Nanje so nato nabili deske. Take strope vidimo še danes v obnovljenih starih gradovih, pa tudi v večjih prenovljenih hišah starejšega datuma.

Kljub temu tu in tam še naletimo na obokane strope v bivalnih prostorih. Danes se jih razveselimo in jih obnovimo tako, da se vidi način njihove gradnje.

Oboki in kupole so bili nekdaj osnovni gradbeni elementi. V stari Grčiji so v večjih zgradbah namesto obokov uporabljali kamnite preklade. Te so morale biti zelo kratke, zato so njihove stavbe prepredene s stebri. Kamnita preklada brez železne ojačitve prenese le majhne natezne napetosti, ki se pojavijo na spodnji strani. V srednjem veku so cerkve in katedrale zidali izključno z oboki in kupolami, ki so jih podpirali močni stebri na večjih razdaljah. V idrijskem gradu je vrsta lepo okrašenih eliptičnih obokov (glej sliko 3).

Naredimo leseni krožni obok in ga skušajmo postaviti! Sestavili smo ga na opori, potem pa smo oporo umaknili (glej sliko 4). Obok stoji stabilno, če poskrbimo, da spodnja dela ne zdrsneta. Natančen pogled je razkril, da se je obok čisto malo sesedel. Ohrabreni s tem uspehom smo izdelali nekoliko vit-

SLIKA 3.
Lepo okrašeni oboki v notranjosti idrijskega gradu (foto: Marko Razpet).

kejši obok in ga spet postavili, najprej na opori, nato pa smo oporo odstranili tako, da smo obok previdno dvignili.

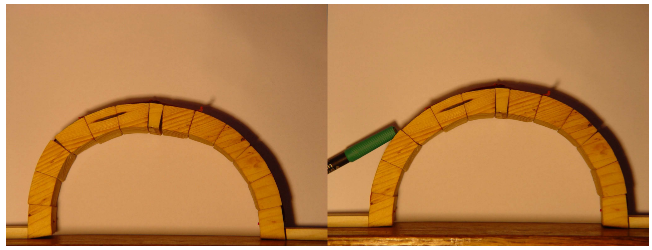
SLIKA 4.
Lesen model krožnega oboka z debelino 3 cm, podprtega po vsej dolžini, in potem, ko smo mu podporo izmaknili.

In, glej no glej, obok se je pri še tako previdnem ravnanju vedno podrl. Opasati smo ga morali z gumico, da smo ga lahko sploh postavili (slika 5) in še takrat je bil močno nesimetrično zverižen.

Nekoliko smo ga popravili tako, da smo nanj prislonili flomaster (glej sliko 5).

Krožni obok torej potrebuje oporo, če je dovolj vitek. Preseneča, da je le nekoliko vitkejši obok povsem izgubil stabilnost. Čas je torej za kakšen račun, ki bi bolje pojasnil razmere.

Oglejmo si sile, ki delujejo na izbrani del krožnega oboka z radijem R (glej sliko 6). Najprej je tu njegova teža Δmg, potem sili obeh sosednjih delov, zgor-



SLIKA 5.
Z gumico narahlo ovit model oboka se brez dodatne podpore močno povesi, brez gumice pa se vedno podre. Dodatna opora popravi obliko oboka.

njega $\mathbf{F}_z$ in spodnjega $\mathbf{F}_s$ in očitno še sila podpore $\Delta\mathbf{F}_{\text{pod}}$, da je vsota vseh sil na del sploh lahko enaka nič. Privzeli bomo, da delujejo sosednji deli med sabo pravokotno na stične ploskve, sile podpore pa pravokotno na obok.

Pri iskanju ravnotežja opazovanega dela oboka moramo upoštevati, da sta sili $\mathbf{F}_z$ in $\mathbf{F}_s$ nekoliko različni po velikosti in da delujeta v nekoliko različnih smereh. Velikost sile $\mathbf{F}_z$ naj bo tako $F_0+\Delta F_0$, velikost sile $\mathbf{F}_s$ pa F_0. Smer sile $\mathbf{F}_s$ je podana s pravokotnico na krak kota φ, smer sile $\mathbf{F}_z$ pa je pravokotnica na krak kota $\varphi + \Delta\varphi$.

Pri ravnovesju sil v vodoravni smeri dobimo

$$F_0 \cos\varphi - (F_0+\Delta F_0)(\cos\varphi+\Delta\varphi) - \Delta F_{\text{pod}} \sin\varphi = 0.$$

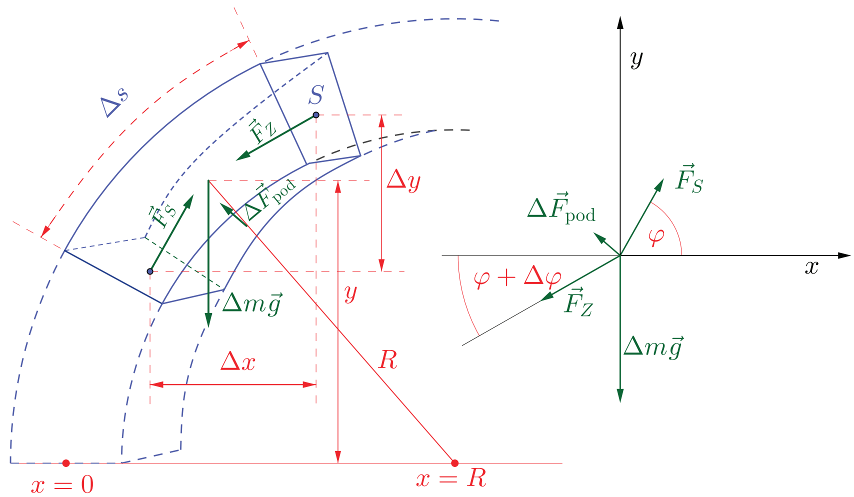
Ravnovesje v navpični smeri da povezavo

$$\begin{aligned} &F_0 \sin\varphi + F_{\text{pod}} \sin\varphi - \\ &\quad - (F_0 + \Delta F_0)(\sin\varphi + \Delta\varphi) - \delta - \Delta mg = 0. \end{aligned}$$

Opazovani del oboka naj ne bo prevelik (čeprav smo ga zaradi preglednosti na skici narisali hudo velikega), da še ujamemo potek sile F_0 vzdolž oboka in potek podporne sile. Količine z Δ pred seboj so zato majhne in privzamemo:

$$\begin{aligned} \sin\Delta\varphi &\approx \Delta\varphi, \\ \cos\Delta\varphi &\approx 1, \\ \Delta F_0 \Delta\varphi &\approx 0, \\ \Delta F_{\text{pod}} \Delta\varphi &\approx 0. \end{aligned}$$

Ravnovesje sil torej narekuje naslednji enačbi za ΔF_0



SLIKA 6.
Del oboka z dolžino Δs in privzete sile, ki delujejo nanj.

in $\Delta F_{\rm pod}$:

$$\Delta F_{\rm pod} = F_0\Delta\varphi + \varrho S g \Delta x,$$
$$\Delta F_0 = -\varrho S g \Delta y.$$

Tu smo z S označili prerez oboka, z ϱ pa njegovo gostoto. Iz zadnje enačbe uvidimo, da mora veljati

$$F_0 = F_{0h} + \varrho S g (R - y).$$

Vodoravna sila na vrhu oboka ima velikost F_{0h}.

Pri krožnem oboku sta $\Delta\varphi$ in Δx takole povezana:

$$\frac{\Delta x}{\Delta\varphi} = -R\cos\varphi.$$

Enačba za sile podpore

$$\Delta F_{\rm pod} = F_0\Delta\varphi + \varrho S g \Delta x$$

je pri krožnem loku kar

$$\Delta F_{\rm pod} = (F_0 - \varrho S g R\cos\varphi)\Delta\varphi.$$

Sila podpore je zvezno porazdeljena, saj velja

$$\frac{\Delta R_{\rm pod}}{\Delta s} = -\frac{1}{R}\left(F_{0h} + \varrho S g (R - y) - \varrho R S g \cos\varphi\right)$$

Kot $\Delta\varphi$ raje izrazimo z dolžino loka Δs opazovanega dela oboka

$$\Delta s = -R\Delta\varphi,$$

višino y pa kot $y = R\cos\varphi$.

Če naj podpore na vrhu oboka ne bo, izberemo za F_{0h}:

$$F_{0h} = \varrho S g R$$

ter pridemo do končnega rezultata

$$\frac{\Delta F_{\rm pod}}{\Delta s} = -2\varrho S g (1 - \cos\varphi).$$

Krožni obok torej potrebuje podporne sile od zunanje strani proti notranjosti. Če podpore ni, se obok povesi, ozek do te mere, da se delci na zunanji strani povsem razmaknejo in se obok podre. Gumica obdrži zunanje robove delov oboka na varni razdalji.

Doslej smo govorili o krožnem oboku. Ali obstaja taka oblika oboka, kjer podpornih sil pravokotno na obok ni potrebno zagotoviti? Obok te vrste se ne bi podrl, četudi bi bil ozek. Kako najti tako obliko oboka? V enačbi, ki določa sile podpore, to je

$$\Delta F_{\rm pod} = F_0\Delta\varphi + \varrho S g \Delta x,$$

postavimo $\Delta F_{\rm pod} = 0$ in dobimo

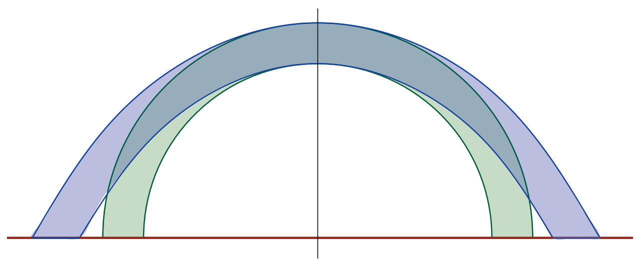
$$F_0\Delta\varphi + \varrho S g \Delta x = 0.$$

Ker velja splošno

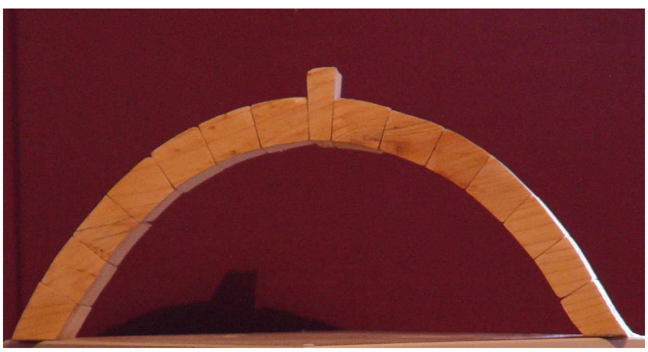
$$\Delta F_0 = -\varrho S g \Delta y,$$

lahko začnemo graditi obliko oboka tako, da si izberemo primerne vrednosti za začetni kot $\varphi = \varphi_0$ pri $x = 0$ in začetno silo $F_0 = F_{0z}$. Nato se premaknemo 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 povesil.



SLIKA 7.
Načrt, po katerem smo iz deske izrezali krožni (zeleno) in idealni (modro) obok.



SLIKA 8.
Prost idealni obok.

Literatura

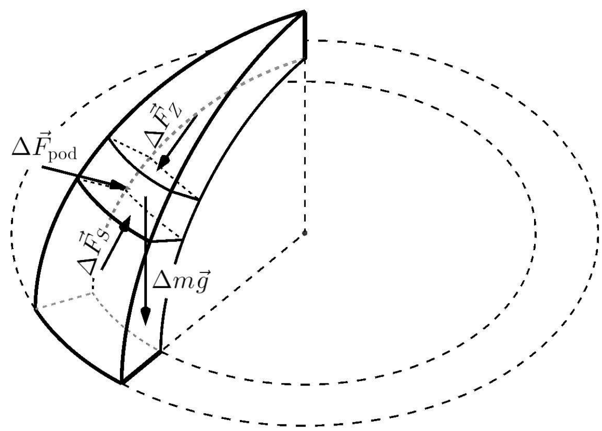
[1] A. Likar, *Veriga in obok*, Presek **18** 1990/1991, 130–133.

× × ×

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. Prevladovale 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