

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik **18** (1990/1991)

Številka 3

Strani 130–133

Andrej Likar:

VERIGA IN OBOK

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/18/1036-Likar.pdf>

© 1990 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

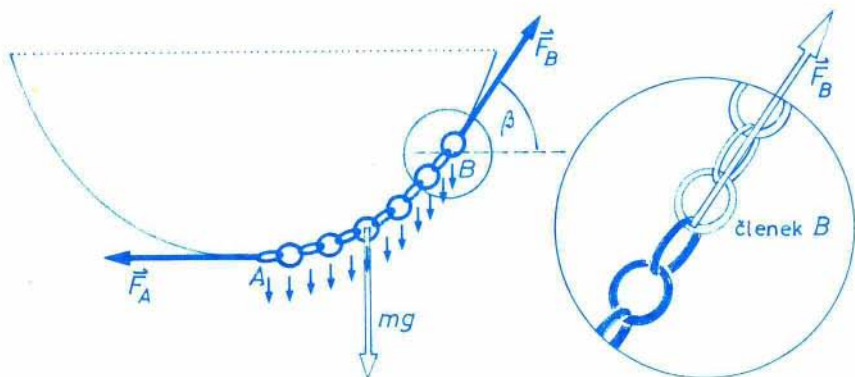
© 2010 DMFA – založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

VERIGA IN OBOK

Veriga je zanimivo telo. Vsa je gibka, prenese le natezne sile. Členki so namreč gibljivi v vse smeri, le pri nategu se oprejo drug na drugega in kljubujejo dokaj veliki sili. Trdnost in gibkost sta ugodni lastnosti, ki uvrščata verigo med nepogrešljiva mehanična orodja.

Veriga, ki jo ohlapno pritrdimo med drevesi, se umiri v značilni legi. Opazujemo kos verige med najnižjim členkom A in členkom B nekje blizu pritrdišča in poiščimo vse sile, ki na ta kos delujejo (slika 1). Najprej je tu



Slika 1. Zunanje sile na kos verige med členkoma A in B .

teža kosa, ki jo sestavljajo teže vseh členkov in deluje navpično navzdol ter je enaka produktu mase vseh členkov v opazovanem delu verige in pospeška prostega pada g :

$$F_g = m g$$

Opazovani del verige je vpet v preostalo verigo. Členek A vleče kos verige v vodoravni smeri, to je v smeri svoje vzdolžne osi, s silo F_A . Členek B vleče v smeri svoje vzdolžne osi s silo F_B . Sili F_A , F_B in težo imenujemo *zunanje sile*, ker jih povzročajo telesa, ki jih ne štejemo k izbranemu kosu verige. Sile med členki opazovanega dela verige pa so *notranje sile*. Opazovani kos verige je *sistem*, vsa preostala telesa pa tvorijo *okolico*. Preostale zunanje sile (na primer vzgon v zraku) pa zanemarimo.

Prvi Newtonov zakon omogoča, da zunanje sile podrobneje opredelimo. Opazovani kos verige miruje, zato mora biti vsota vseh zunanjih sil nanj

enaka nič. To pomeni, da morata biti teža in navpična komponenta sile F_B nasprotno usmerjeni in po velikosti enaki:

$$F_B \sin \beta = mg \quad (1)$$

Podobno velja za vodoravno komponento sile F_B in silo F_A :

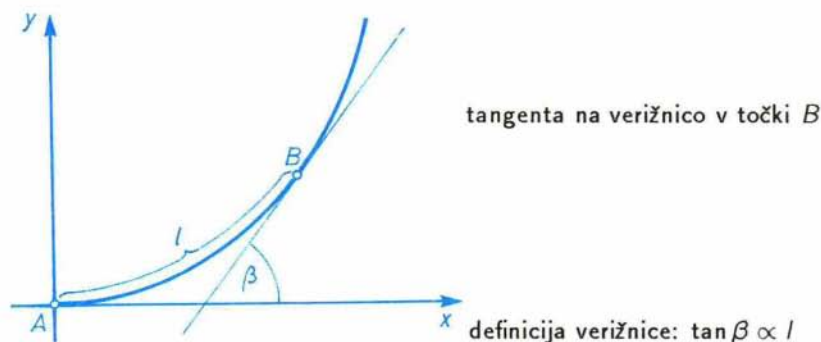
$$F_B \cos \beta = F_A \quad (2)$$

Iz obeh enačb sledi

$$\tan \beta = mg / F_A \quad (3)$$

kar dobimo, če delimo med seboj levi in desni strani enačb (1) in (2) in upoštevamo, da je $\tan \beta = \sin \beta / \cos \beta$.

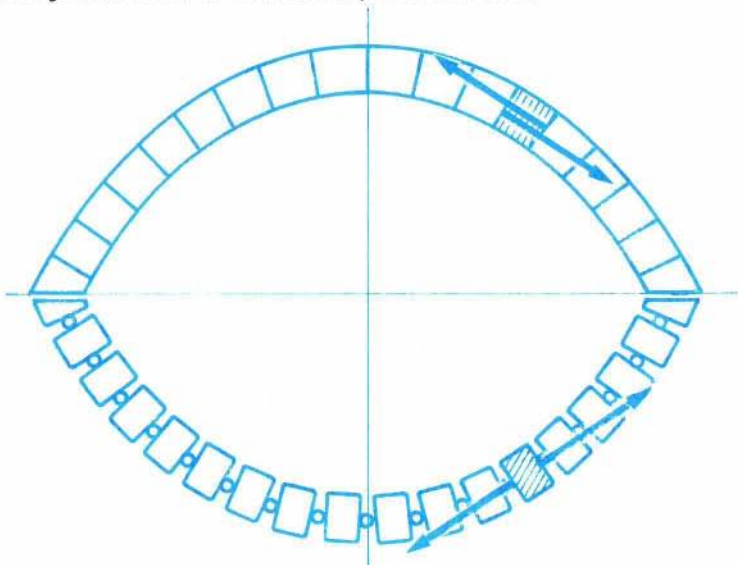
Krivulji, ki se prilega prosto viseči verigi, pravimo *verižnica*. Da pridemo do nje, si moramo misliti zelo tanko homogeno verigo z zelo velikim številom členkov. Kot β je tedaj kot med tangento na verižnico in vodoravnico, izraz homogena pa pomeni, da je masa kosa verige sorazmerna z njegovo dolžino. Vse zapisane enačbe ostanejo pri tem veljavne. Tangens naklonskega kota tangente na verižnico je torej sorazmeren z dolžino l , ki jo štejemo od točke, v kateri je tangenta vodoravna (slika 2).



Slika 2. Pri verižnici je tangens naklonskega kota tangente v poljubni točki B sorazmeren z dolžino krivulje med točko A, v kateri je tangenta vodoravna, in izbrano točko B.

Naredimo verigo, katere členki so kamniti in povezani med seboj s kaveljčki, ki so skriti v vdolbinicah sredi kamnov (slika 3). Sosednja kamna sta tako oblikovana, da se z ravnima vzporednima ploskvama skoraj dotikata. Izbran kamen vlečeta sosedja s silama, ki sta pravokotni na ravni ploskvi kamna. Postavimo zdaj to "verigo" na glavo, pa dobimo kamnit obok. Kamni

se dotikajo drug drugega, izbrani kamen sedaj sosednja dva stiskata s prav tako velikima silama, kot sta ga prej vlekla vsaksebi. Obok v obliki pokončne verižnice je zato trden in se ne zruši pod lastno težo.



Slika 3. V oboku v obliki pokončne verižnice so kamni le stisnjeni, obok je trden in ne poka.

Do tega pomembnega spoznanja je prvi prišel Anglež Robert Hooke, znan po zakonu o raztezanju prožnih teles. Skupaj z arhitektom Christopherjem Wrenom je pomagal graditi London po znanem velikem požaru v sedemnajstem stoletju. Mnogi poznavalci arhitekture so prepričani, da je Wren uspešno uporabil misel o obrnjeni verigi pri načrtovanju velikih stavb, na primer cerkve sv. Pavla v Londonu.

Misel o obrnjeni verigi je vredno uporabiti tudi pri gradnji kupol z zidaki. Gradbeni elementi so v kupoli le stisnjeni, če je kupola v navpičnem prerezu podobna pokončni verižnici. Kupole drugačnih oblik rade pokajo. Tega

¹ Prokopij iz Cezareje, *Pod Justinijanovim žezlom*, Cankarjeva založba, Ljubljana, 1961

² Slopi: verjetno provizorični gradbeni deli, ki so jih po dokončanju oboka odstranili.

³ Antemij, Izidor sta bila vodilna arhitekta svojega časa in vodji del pri gradnji Hagie Sophie.

verjetno ni poznal Michelangelo pri gradnji cerkve sv. Petra v Rimu. Z vzdrževanjem njegove kupole imajo Italijani danes precej sitnosti. Kupolo so na spodnjem koncu, kjer najbolj poka, opasali z vrsto jeklenih obročev, ki delno preprečujejo nadaljnje poškodbe. Vprašanje pa je, če bi bila "pravilna" kupola prav tako lepa, kot je Michelangelova.

Danes gradijo kupole iz železobetona ali podobnih materialov. Kupole so tanke in lahke, lupina pa tako trdna, da brez težav prenese tudi velike upogibne obremenitve.

Zgodovinar Prokopij iz Cezareje¹ takole hvali cesarja Justiniana ob gradnji Hrama Svete Modrosti (Hagie Sophie v Carigradu) v šestem stoletju našega štetja:

"Cesar je sodeloval pri gradnji ne samo z denarjem ampak tudi z naporom miselnim delom in z vsemi silami svoje bogate duševnosti, kot bom razložil v nadaljevanju. Eden od obokov, ... - arhitekti jih imenujejo tudi 'rebra' (loroi), je bil že na obeh straneh sezidan, le na sredini še ni bil dovršen, ampak je čakal zaključne obdelave. Slopi (pessoí) ², na katerih je temeljila celotna konstrukcija, niso mogli več vzdržati gmote, ki je pritiskala nanje, nenadoma so se v njih pojavile razpoke in zdelo se je, da se bodo vsak čas sesuli. Antemij, Izidor ³ in njuni sodelavci so se ob tem prestrašili; ker si s svojo tehniko niso vedeli pomagati, so vso zadevo sporočili cesarju. In cesar je brž velel obok do kraja dovršiti. Pod čigavim vplivom je to storil, ne vem - mislim pa, da pod božjim navdihnjenjem, saj sam ni bil izvedenec v gradbeni stroki. '*Ko bo obok počival sam na sebi*', je dejal '*ne bo več pogrešal opore od spodaj*.' In če ne bi bilo prič, ki lahko potrdijo resničnost te zgodbe, bi me gotovo imeli za prilizovalca, ki mu ni mogoče verjeti. Ker pa živi še mnogo ljudi, ki so na lastne oči videli, kaj se je zgodilo, lahko brez oklevanja zgodbo pripovedujem do kraja. Arhitekti so izpolnili cesarjev ukaz: svod se je brez nevarnosti lepo usločil in praksa je potrdila pravilnost cesarjeve zamisli. Tako je bil ta svod dovršen."

Andrej Likar