

## Ali je kaj trden most? Kakor skala, kamen, kost!

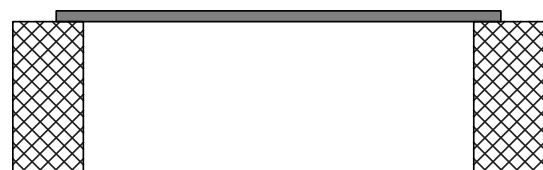
### Gradnja mostov



Človek je pri svojih potovanjih hitro prišel do spoznanja, da je nekatere naravne ovire, kot so reke, kanjone in doline najlažje premagati s strukturo, ki jo danes poznamo pod imenom most. To niso prav nič nove pogruntavščine, saj so arheologi odkrili ostanke mostov, ki so danes stari več kot 6000 let! Če so sprva ljudje za gradnjo mostov uporabljali predvsem naravne materiale, kot sta kamen in les, se danes večinoma uporablja beton z armirano železno konstrukcijo ali povsem železno strukturo, ki omogoča gradnjo ne samo zelo robustnih ampak tudi po izgledu precej impresivnih konstrukcij!

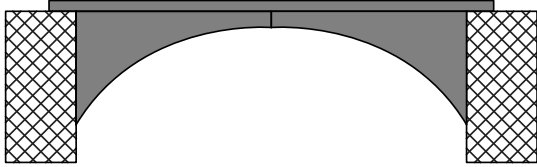
Mostovi so lahko različnih dolžin in merijo nekaj metrov, do več kilometrov ter so od tal odmaknjeni za višino človeka ali pa zelo visoke stolpnice. Načinov njihove gradnje je veliko, izbira pa je odvisna od namena uporabe. Če bodo po njih hodili zgolj pešci, so lahko zgrajeni iz enega samega loka na precej veliki razdalji. Povsem drugačno gradnjo zahtevajo železniški mostovi, ki morajo zdržati obremenitev več 100 ton, brez da bi pri tem prišlo do dolgotrajnih poškodb konstrukcije.

Najenostavnejši izmed vseh je povsem raven (gredni) most, ki je zgolj na obeh koncih podprt s stebrom ali pa celo zgolj vkopan v zemljo. Te preproste strukture so silno priročne za izdelavo, saj zgolj uporaba drevesnih hlodov omogoča gradnjo hitrih in cenениh mostov. Žal težko prenašajo težja bremena, predvsem na sredini, zato njihova dolžina brez sredinske



Slika 1: Primer ravnega mostu

podpore redko presega 75m, saj upogibne napetosti naraščajo s kvadratom dolžine (dolžina × dolžina). Najdaljši gredni most se nahaja na jezeru Pontchartrain v ZDA in meri kar 38.35 km z vmesnimi ravnimi odseki dolžine 17 m.

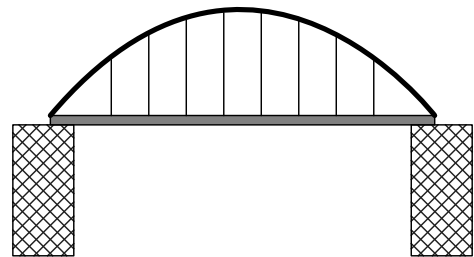


Slika 2: Primer obokanega mostu

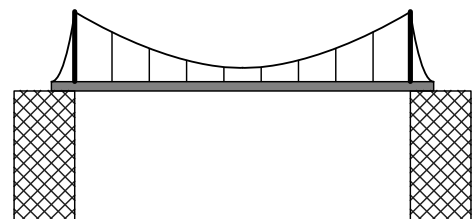
Obokan in/ali ločni most je nadgradnja grednega mostu, s čelnimi zidovi na vsakem koncu, oblikovani kot ukrivljen lok. Izkoriščajo prenos teže mostu in njegove obremenitve tudi v vodoravni smeri, kjer pritisk zadržita obojestransko čelna zidova. Takšna izvedba

mostu je silno privlačna za betonsko, opečnato ali celo kamnito izvedbo in lahko zdrži velike obremenitve. Najdaljši kamniti železniški most in sploh drugi najdaljši kamniti most na svetu se nahaja v Sloveniji in prečka reko Sočo v Solkanu ter v dolžino meri impresivnih 220 m!

Če si nad vozno površino privoščimo dodatne podporne elemente, lahko gredni most nadgradimo v ločni ali viseči most. Prednost takšne oblike je skoraj povsem neoviran prostor pod samim mostom in se ga največkrat uporablja za prečkanje morske ožine, kadar pod mostom pričakujemo tudi ladijski tovorni promet. Takšni mostovi so navadno najbolj očarljivi in pritegnejo našo pozornost, saj se zdi, da visijo na precej tankih vrveh. Najdaljši viseči most se nahaja v Turčiji in v dolžino meri kar 4,6 km, pri čemer je najdaljši viseči odsek mostu dolg kar 2 km!



Slika 3: Primer ločnega mostu



Slika 4: Primer visečega mostu

Cilj našega poskusa je izgradnja obokanega ali grednega mostu, ki bo uspešno nosil večkratnik svoje teže na dani razdalji. Če so se skozi zgodovino ljudje naučili, kako postaviti najbolj trden most s poskušanjem in je velikokrat šlo kaj narobe imamo na srečo danes na voljo dovolj podatkov, da bo naš most dovolj trd že v prvem poskusu. Torej ali je kaj trden most? Kakor skala, kamen, kost!

### Potrebni pripomočki

Za izvedbo naloge potrebujemo:

- Lesene paličice za sladoled dveh različnih dolžin (na primer 55 mm in 110 mm)
- ali špagete Barilla no°7
- Lepilo za vroče lepljenje
- Dva zidaka, primerno težka zaboja ali knjige
- Uteži (knjige, revije, vrč z vodo)
- Tehnica

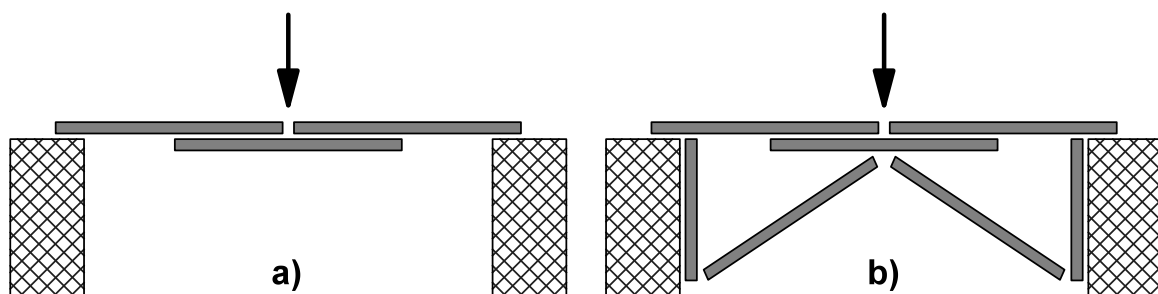
## Opis poteka naloge

Zgraditi most ni pretirano težka stvar. Zgraditi most, ki bo 10-krat daljši od najdaljšega sestavnega dela je že težje. Še težje je zgraditi most, ki bo lahko vzdržal večjo obremenitev, brez, da bi pri tem na njem prišlo do poškodb. Naša naloga je zgraditi točno tak most. Da bo lahko kljub zalo krhkim sestavnim delom nosil težo več kil, ali pa celo nas same, ko bomo stopili nanj.



Slika 5: Sladoledne palčke dveh velikosti, ki jih lahko dobimo v vsake boljše založeni trgovini z ustvarjalnim materialom.

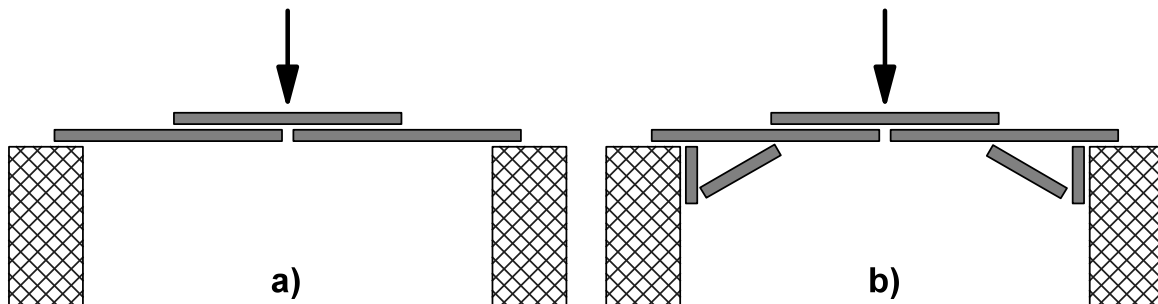
Kot material za gradnjo uporabimo lesene sladoledne palčke, ki jih lahko kupimo v vsaki boljše založeni trgovini. Surov les se dobro lepi z belim lepilom na vodni osnovi, a ta svojo končno trdnost doseže šele po enem dnevu, s tem pa bo čas gradnje znatno daljši. Poleg tega se učinkovitost lepljenja zmanjšuje s stično površino, kar onemogoča združevanje palčk pod večjim kotom. Veliko lažje in hitrejše je lepljenje z vročim lepilom. Bolj kot bo lepilo tekoče, bolj se bo vpilo v les in trdnejši bo naš spoj, a težje bo rokovanje z lepilom in večje bodo možnosti za opeklino, zato z njim ravnajmo previdno.



Slika 6: Gradnja malih testnih mostov a) z ravnimi odseki in b) s podporo

Pred pričetkom gradnje mostu, je smiselno preveriti vzdržljivost različnih tipov konstrukcije in načine združevanja sestavnih delov v celoto. Iz palčk zgradimo strukturo dveh mostov, ki ju prikazuje Slika 6. Palčke med seboj lepimo z vročim lepilom po čim širši površini, da bo spoj dovolj trden. Palčke, ki so nameščene postrani pritrđimo z večjo količino lepila, ki naj zalije palčko z vseh strani. Nato most postavimo ob oporni zdi z obeh strani. Zid je lahko opeka,

plastična škatla ali rob dveh miz. Nato s prstom pritisnemo točno na sredino tako zgrajenega mostu in preverimo, kateri se vda kasneje.



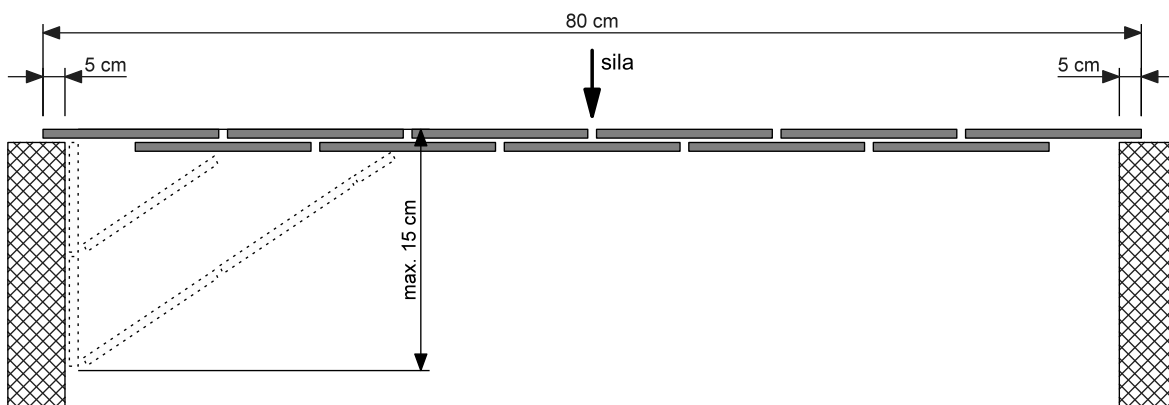
Slika 7: Preizkus obrnjene vozne konstrukcije mostu

Poskus ponovimo še s strukturo, ki jo prikazuje Slika 7. Pri tem vozno površino tokrat obrnemo, podporni lok pa precej skrajšamo. Zopet točno na sredino mostu položimo naš prst in nanj pritisnemo tako močno, da se najprej upogne nato pa zlomi vsaj en njegov sestavni del.

Ker sile na most ne moremo točno izmeriti lahko s poskusom zgolj ocenimo razliko. A brez skrbi, ta bo precej očitna!

Sedaj smo opremljeni z znanjem, ki nam bo omogočal gradnjo trdnega mostu. Za izziv si postavimo dovolj zahtevno nalogo. Naš most mora biti dolg vsaj 80 cm, širok največ 10 cm, podprt pa je lahko zgolj na obeh straneh in še to le 5 cm od posameznega konca. Most mora biti po vrhu povsem raven, da ga bomo lahko obtežili ali nanj celo stopili, torej si visečega ali ločnega mostu ne moremo privoščiti. Najbolj vzdržljiva bo v našem primeru obokana gradnja, pri čimer naj oboka v globino segata največ 15 cm, a se seveda lahko dotikata podpornega zidu. Most bomo obtežili točno na sredini, torej v najmanj ugodnem slučaju. Slika 8 prikazuje vse zahteve, ki se jih moramo držati pri gradnji, pri ostalih stvareh pa imamo proste roke.

Tokrat nam ni potrebno skrbeti glede omejitev gradbenega materiala. Uporabimo ga toliko, kot ga imamo na voljo ali se nam zdi smiselno. Most bi brez težav morili sestaviti iz 70 daljših (npr. 110×11 mm) in 150 krajših (npr. 55×6 mm) palčk.



Slika 8: Pravila gradnje mostu

Ko je most zgrajen se lotimo preizkusa nosilnosti. Most vrnemo med dva dovolj težka zidaka, zaboja ali mizi. Lahko si pomagamo tudi s težkimi knjigami. Pazimo da se nosilna zidova med

seboj ne razmikata, saj pri obokanem mostu to pomeni znatno poslabšanje nosilnosti. Po potrebi ju dodatno obtežimo, ali pa se nanj naslonimo z lastno težo in ju tako držimo pri miru. Točno na sredini most začnemo obteževati, najbolje s knjigami ali drugimi priročnimi utežmi. Vsako utež predhodno stehtamo (na kuhinjski ali osebni tehtnici) in si zabeležimo njeno težo. Ko se most začne nevarno upogibati zmanjšamo korak teže, s katero ga bremenimo. Ko se most poruši si zabeležimo zadnjo težo, ki jo je še lahko prenesel.



*Slika 9: Primer izdelanega mostu, obteženega in podprtega s knjigami*

Most nato poskusimo popraviti in postopek določanja nosilnosti ponovimo še vsaj 2×. Opazujemo, kaj se tokrat dogaja s konstrukcijo in kako to vpliva na končno nosilnost.

V kolikor je most popustil zgolj zaradi slabega spoja lepila, bo končna obremenitev v drugem poskusu približno enaka, če se je zlomila paličica, pa bo nosilnost sedaj znatno manjša!

### Nasveti

- Če ne želimo kupovati lesenih (sladolednih) palčk za izdelavo mostu, lahko le te zamenjamo tudi s srednje debelimi špageti (npr. Barilla no°7)
- Če za gradnjo uporabljamo špagete, jih moramo nameščati po več vzporedno, saj je posamezen špaget prekrhek. Za pomoč pri nameščanju jih v skupek povežemo z gumijastimi elastikami.
- Za hitrejše sušenje vročega lepila si pomagamo z ventilatorjem.
- Utež lahko izdelamo tudi s polnjenjem posode za vodo, kjer vsak liter vode pomeni dodaten kg obremenitve.

### Dodatno

Nalogo lahko izvedemo tudi v obliki tekmovanja med skupinami.

Omejiti se je potrebno z gradbenim materialom. V primeru lesenih palčk lahko posamezna skupina uporabi 70 daljših (npr. 110×11 mm) in 150 krajših (npr. 55×6 mm) palčk ter štiri palice lepila za vroče lepljenje. Če se most gradi iz špagetov lahko posamezna skupina uporabi največ dva zavoja špagetov in 4 palice lepila za vroče lepljenje, ter 40 elastik.

Najbolje je, da so v skupini 3. tekmovalci. Povprečen čas za gradnjo mostu bo znašal 2h30. Če želimo tekmovanje pohitriti, lahko dolžino mostu skrajšamo za 20 cm. Če ga želimo podaljšati, ga povečamo na 1 m, vendar je potrebno število sestavnih delov povečati na 100 daljših ter 200 krajših palčk in 5 palic lepila, oziroma tri zavoje špagetov in 5 palic lepila na skupino.

Katera skupina bo torej zgradila najtrdnjši most?

**Lepilo za vroče lepljenje lahko povzroči hude opekline! Ravnajmo previdno.**

## Vprašanja za razmislek

- Kaj odpove prej, lepljen spoj ali palčka/špaget?
- Zakaj gredni most ni primeren za gradnjo iz naravnega kamna?
- Vročje lepilo je precej prožno, kako bi se pod obremenitvijo porušil most, če bi namesto vročega lepila uporabili belo lepilo za les, ki je precej bolj togo?
- Kaj bi lahko spremenili pri zasnovi mostu iz naloge, da bi ta zdržal še večjo težo, če dolžine in širine mostu ne moremo spreminjati?
- Zakaj pri preprostem oboku, kot ga prikazuje Slika 6 (b), most vzdrži bistveno večjo silo na sredino, kot v primeru grednega mostu Slika 6 (a)?

## Ponte Morandi

Most Morandi je bil cestni viadukt v Italiji zgrajen leta 1967 in poimenovan po njegovem arhitektu in inženirju Riccardu Morandiju. V dolžino je meril 1200 m, najdaljši viseči del pa je znašal 210 m.

Zasnova mostu že od samega začetka ni bila pretirano posrečena, saj je vsebovala hibridno gradnjo betona in jekla, ter posebne pred-izdelane betonske sklope z jeklenicami. Že ob odprtju se je pokazalo, da se most krivi v vse tri smeri, s čimer vozna površina postaja neravna, na določenih mestih pa celo valovita. Trajalo je več kot 10 let, da so most uspeli sanirati do te mere, da je bila vozna površina zopet trajno ravna.

A tu se zgodba o mostu pravzaprav šele začne. Na prelomu tisočletja se je pokazala še ena težava. Jeklenice, ki so nosile najdaljše dele mostu so začele rjaveti, nekatere celo do te mere, da so izgubile kar polovico svoje prvotne nosilnosti. Nekaj jeklenic so nadomestili z novimi, a večino njihovih nosilnih stebrov sploh niso redno pregledovali.

Koncesionarji, ki so jih italijanske avtoceste najele za vzdrževanje svoje infrastrukture, niso posvečali posebne pozornosti staranju celotne konstrukcije mostu. Leta 2017 je zaupno poročilo tamkajšnje univerze opozorilo na večje razpoke, ki so se pojavile na enem izmed stebrov in bi lahko vodile do zrušitve mostu. Ta je sedaj prenašal kar 4× več prometa kot ob odprtju, s čimer se je le še hitreje obrabljal. Kljub ocenjeni zmanjšani nosilnosti, se za omejitev tovornega prometa niso odločili. Avtocestno podjetje je leto kasneje objavilo javni razpis za odpravo napak in nadgradnjo 51 let starega mostu, ki je imel prvotno življenjsko dobo ocenjeno na 50 let.

Delavci so že začeli s pripravljalnimi deli, a obnove most ni nikoli dočakal. 14 avgusta 2018 ob 11:36 se je med močnim nalivom zrušil razpon okoli stebra številka 9, vozišče pa je skupaj z vozili padlo v reko Polcevera. 43 ljudi je umrlo, še 16 je bilo ranjenih. Nesreča je dvignila ogromno prahu in sprožila pomisleke o italijanski infrastrukturi in varnosti mostov po Evropi.

Obnova ni nikoli ponovno stekla. Naslednje leto so preostanek mostu v celoti porušili. Nadomestil ga je nov most Saint George, ki je bil odprt avgusta 2020.

Ali je kaj trden most? Kakor palčka, špageti, kost.