

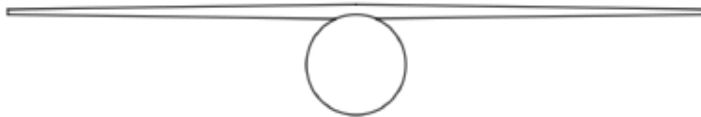
Zanimiva knjiga o mehaniki in nekaj spominov na profesorja Kuhlja

Knjiga **J. E. Gordon, Structures or Why things don't fall down** [1] je bila prvič izdana leta 1978 v Londonu, zadnjič ponatisnjena leta 2003, a je še vedno aktualna. Je tudi cenovno dostopna. Prevedena je bila v številne jezike. V njej je na razumljiv in večkrat humoren način prikazanih ogromno zanimivih dejstev o razvoju in uporabi mehanike. Njen avtor James Edward Gordon (1913–1998) je bil eden od pionirjev znanosti o mehaniki materialov. Na Univerzi v Glasgowu je diplomiral s področja ladjedelništva in bil sprva zaposlen kot ladijski konstruktor. Med drugo svetovno vojno je delal na področju letalstva, kjer je pomagal razvijati kompozitne materiale. Od leta 1968 je bil profesor na Univerzi v Readingu.

Ob branju sem se spomnil na svoja študijska leta. Kot slušatelj *Tehnične matematike* sem v letih 1969–71 imel dva obširna celoletna predmeta: *Mehaniko* in *Višjo tehnično mehaniko*. Predaval je akademik Anton Kuhelj (1902–1980); vaje je imel prijazni Peter Vencelj (1939–2017). Že v osnovni šoli sem bral Kuhljevi poljudno napisani knjigi *Tehnika v vsakdanjem življenju I in II*, ki sta izšli pri Mohorjevi družbi 1960 in 1962. Deli sta bili zanimivi, razumljivi in lepo napisani.

V drugem letu mojega študija je profesor Kuhelj dvakrat na teden matematikom in fizikom predaval *Mehaniko*. Ni si vzel odmora med šolskima urama, kar je bilo večkrat preveč zanj, naporno pa je bilo tudi za nas, še posebej pozimi v (s pečjo na premog) slabo ogrevanih prostorih na Stari tehniki na Aškerčevi (zdaj so tam prostori Fakultete za farmacijo). Po predavanjih (ki so se večkrat zavlekla) smo hiteli na Jadransko. Ko je nekoč zaradi zavlačevanja spet grozilo, da bomo zamudili naslednja predavanja, so študenti fizike začeli godrnjati. Profesor Kuhelj se je močno razjezil. Ko smo pa naslednjič prišli na predavanja, je bil prostor prijetno ogret in profesor je spravljivo dejal, da zaradi mraza res ne bi bilo treba delati takega cirkusa.

Kontrast s Fiziko I, pri kateri nas je prejšnje leto profesor Janez Strnad odlično usposobil, da s preprosto matematiko izračunamo ali ocenimo marsikaj, je bil velik. Izpeljave formul pri profesorju Kuhlju so bile dolge in



Slika 1. Zgrešen prototip letala.

zapletene, še posebej, ker nismo uporabljali vektorjev. Res pa smo znali potem izračunati stvari, ki so bile zunaj dosega Fizike I: upogib grede, torzijo nosilca in še veliko drugega.

Posebnost so bili Kuhljevi izpiti. Delali smo jih matematiki in fiziki skupaj s strojniki. Kuhelj je imel pred sabo naenkrat kar več kandidatov: če eden ni znal odgovora, se je profesor obrnil na drugega. Sam nikoli nisem kot učitelj poskušal kaj podobnega: tudi če si beležiš vse sproti, je težko narediti na koncu bilanco za vsakega posameznika.

Ker smo imeli celoletne predmete, sem prišel na idejo, da bi Višjo tehnično mehaniko delal predčasno, aprila, in tako malo zmanjšal pritisk izpitov v juniju. Krasne zapiske mi je posodil kar asistent Peter Vencelj. Profesor Kuhelj razumljivo nad mojo odločitvijo ni bil zadovoljen in je dejal: »Dosti si drznete, kolega Legiša.« Našel je šibko točko v mojem znanju in mi dal 8 ali 9, kar je bila še zmeraj lepa ocena. Gledano nazaj, nisem ravnal prav. Predavanja (če niso ravno katastrofalna) so najcenejši način usvajanja snovi. Večkrat ko si v stiku s snovjo, bolje se ti vtisne v spomin. V svojo obrambo naj rečem, da nisem izpustil praktično nobenega matematičnega predavanja (razen, kadar sem bil bolan).

Posebno zanimive pa so bile zgodbe iz prakse, ki jih je profesor Kuhelj sem in tja vključil v tok predavanj. Prva zgodba zadeva letalstvo. Leta 1949 so ga premestili v Zemun, na Vazduhoplovni inštitut. Pokazali so mu načrt letala, ki je bil videti približno kot na sliki 1. Kuhelj (ki je že v tridesetih letih konstruiral več uspešnih letal) jim je povedal, da je konstrukcija povsem zgrešena. Vsakdo, ki je kdaj uporabljal lomilko, ve, da bodo napetosti ob kratkem stiku dolgega krila s trupom izredno velike. Vendar mu niso verjeli. Izdelali so model, ki je v vetrovniku seveda razpadel.

Kot podpredsednik SAZU (1962–1980) je Kuhelj veliko potoval. V takrat sovjetski Osrednji Aziji je na potresnem območju izvedel za preprost predpis: pri zidanju stavbe mora biti razmik med dvema sosednima oknom

vsaj tolikšen, kot je višina oken. (Predpostavka je, da dimenzije oken niso velike, kar je v ostrem podnebjju tako in tako nujnost.) Ko je Kuhelj to povedal na nekem zborovanju slovenskih arhitektov, bi ga po njegovih besedah skoraj ubili. Ampak za preproste opečne hiše, pa tudi za številne druge stavbe je tak, vsakemu razumljiv predpis še kako smiseln, kot smo deset let po Kuhljevih predavanjih spoznali v neposredni bližini. Pri potresu v Črni gori leta 1979 se je sesulo več hotelov z železobetonskim ogrođjem – ker so le ozki stebri podpirali težke vmesne plošče. Nekdaj visoke zgradbe je potres zreduciral na le nekaj metrov višine. Kot ponesrečena torta skupaj zložene plošče so bile videti grozljivo. (Poišcite recimo na internetu slike pod »Hotel Slavija Budva«.) Na srečo je bil potres zunaj sezone, torej ko so bili hoteli prazni. Modernistična arhitektura teh hotelov je sledila Le Corbusierovemu programu »Pet točk moderne arhitekture« in zgledu več njegovih stavb na stebričkih, kot je recimo Villa Savoye. Statika takih stavb ni problematična. Horizontalni pospeški pa so zanje hitro uničevalni. Ti obmorski hoteli so bili po vsej verjetnosti projektirani pred katastrofalnim potresom v Skopju (1963). Dodaten problem je bil, da so te stavbe bile zgrajene v ustjih potokov ali hudournikov, na naplavinah. Na takem terenu pa se, kot nam je razložil Kuhelj, širijo površinsko t. i. Rayleighovi valovi, ki izgubljajo amplitudo počasneje kot valovi, ki se širijo tudi v globino. Tresenje lahko muljasta tla celo utekočini.

Gordonova knjiga je polna podobnih zgodb. Avtor je bil široko razgledan, z odlično klasično izobrazbo, imel je dar za pripovedovanje in za razlago. Konstrukcijo klasičnih grških templjev s stebri, težkimi vodoravnimi kamnitimi prekladami in težkimi strehami (ki je gotovo navdihnila Le Corbusiera in številne druge arhitekta) imenuje »intelektualna nečednost«. Knjiga pravi, da so te – zelo lepe – zgradbe nastale na podlagi starejših konstrukcij iz materiala s povsem drugačnimi lastnostmi – lesa. Dejansko so od teh stavb po potresih in drugih ujmah večinoma ostali le prafaktorji v obliki delov stebrov. Ti namreč zaradi okrogle oblike niso bili zanimivi kot gradbeni material. Veliko starejše mikenske trikotne preklade nad (redkimi) vratnimi odprtinami pa so bile dobra rešitev.

Knjiga nas pouči o energiji, potrebni za prelom nosilca, o nastanku in širjenju razpok. Izvemo, da je obok težko podreti: prelom na enem mestu ni dovolj, biti morata vsaj dva. Rimski akvadukti z množico obokov so preživeli dve tisočletji, čeprav delujejo gracilno. Loki mostov imajo lahko

kar tri gibljive povezave: eno na sredini in dve tam, kjer je lok naslonjen na breg. To je pomembno zaradi raztezkov ob spreminjanju temperature.

Mostovom je v knjigi posvečeno posebno poglavje. Ameriški železniški viadukti iz lesenega paličja so resnično obstajali – ne le v filmih. Konstrukcija je bila po knjigi taka zaradi pomanjkanja kvalificirane delovne sile in kapitala, boljših plač kot v Angliji, pripravljenosti na velika tveganja in seveda pohlepa. Cenena konstrukcija je pomenila velike dobičke, ko je promet stekel. Lesene viadukte so pozneje enostavno zasuli z gramozom iz vagonov in tako naredili nasipe.

Zunanji oporniki gotških katedral imajo večkrat na vrhu težke kipe: ti niso samo okras: prispevajo k stabilizaciji stavbe. Gotske katedrale so čudež tehnike (in lepote), a tudi izredno drage.

V knjigi je tudi veliko informacij o lokih, katapultih, bioloških materialih ... Knjiga pravi, da narava ne mara torzije. Varnostne smučarske vezi so bile konstruirane najprej za to, da preprečijo večjo torzijsko obremenitev nog zaradi dolge ročice smuči.

Eksplodije parnih kotlov so spodbudile analizo napetosti v takih posodah, pa tudi v krvnih žilah, krilih jadrnic, prhutih netopirjev itd. V potniški kabini letala na velikih višinah vzdržujemo precej večji tlak, kot je v okolici. Ob pristanku pa se zunanji in notranji tlak izenačita. Ciklično obremenjevanje utruja material in povzroča nastanek mikrorazpok in njihovo širjenje, kar na koncu privede do loma. Utrujenost materiala je v letih 1953 in 1954 privedla do več letalskih katastrof.

Tudi rezanje pravokotnih lukenj v ladijskih konstrukcijah je privedlo do prelomov in potopitev. Napetosti v vogalih teh lukenj so namreč lahko izredno visoke in iz njih se širijo razpoke. Tudi krpanje lukenj je večkrat problematično: če je recimo krpa manj raztegljiva od okolice, bo na meji znova prišlo do trganja. Nesrečam je sicer posvečeno posebno poglavje.

Daljši nosilci, obremenjeni na stisk med obema koncema, bodo večinoma odpovedali zaradi upogiba. Kritično obremenitev je prvi izračunal Leonhard Euler, po knjigi z uporabo variacijskega računa.

Tradicionalna kitajska jadra z raztegljivo konstrukcijo so se ob hudem vetru avtomatično skrčila, obenem pa so se posamezni segmenti izbočili. Vse skupaj je bilo iz enostavnih naravnih materialov, a vseeno dovolj zanesljivo. Avtor, sam navdušen jadralec, je bil skeptičen do novih, lahkih in močnih, a slabo raztegljivih materialov za jadra. Pred desetletji je hudo

neurje povzročilo pravi pokol med udeleženci britanske regate. Vzrok so bila poleg že pravkar omenjenega lahka krmila iz ogljikovih vlaken, ki so se polomila. Kovinska krmila bi se v takih razmerah verjetno le upognila.

Med drugo svetovno vojno je avtorja obiskal lastnik cirkusa George May. Pokazal mu je, kako lahko iz skladovnice papirjev, zlepljenih v trakovih, z zamikom od kosa do kosa, ustvarimo satovje. Avtor pravi, da bi inženirji izumitelja najraje objeli. Inovacijo so takoj uporabili v letalstvu.

Nemogoče je na kratko predstaviti vso bogato vsebino Gordonove knjige. Tudi tehnično razgledan bralec bo v njej našel veliko zanimivega. Nekateri deli so tudi danes zelo aktualni. Imamo recimo tabelo s količinami energije, potrebnimi za izdelavo tone najbolj uporabljanih materialov.

V knjigi imamo tudi poglavje o filozofiji struktur. Avtor razloži, zakaj lahke strukture z najmanj truda naredimo z mnogo vrvmi in s kar se da malo na stisk obremenjenimi nosilci. Primer je recimo klasični šotor. Moderni šotori pa uporabljajo še boljšo rešitev z dvema ali več povezanimi lahkimi oboki. Prav tako se avtor pritožuje nad pomanjkanjem estetike v gradnji, čeprav inženirje že dovolj obremenjuje odgovornost za varnost in brezhibno delovanje njihovih izdelkov.

Ko običajni tekstil iz slabo raztegljivih nitk vlečemo v smeri nitk, bodo raztegi in deformacije minimalni. Če mokro brisačo obesite za vogal, pa se bo deformirala, ker nitke v tekstilu zdrsnejo druga ob drugi: iz pravokotne mreže nitk nastane paralelogramska. Blago se bo podaljšalo v navpični smeri in skrčilo v vodoravni. Knjiga pripoveduje, kako je v času, ko so korzeti prišli iz mode, modna kreatorka Madeleine Vionnet v Parizu začela rezati blago pod kotom 45° glede na potek niti. Tako je dosegla, da se je večerna obleka na osebi avtomatično podaljšala v navpični smeri in skrčila v prečni.

Na koncu knjige je dodatek s formulami. V delu je veliko risb in nekaj fotografij, ki so zanimive, a ne ravno kakovostne.

LITERATURA

- [1] J. E. Gordon, *Structures or Why things don't fall down*, Da Capo Press, Cambridge 2003, 395 str.

Peter Legiša