

Mehanika I - Statika

prof. dr. sc. Heinrich Werner

Knjiga *Mehanika I - Statika*, autora dr. sc. Heinricha Wenera, dipl. ing. građ., redovitoga profesora Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, objavljena je u nizu *Manualia universitatis studiorum Zagrabienensis* sredinom 2007. godine. Izdavač je Hrvatski savez građevinskih inženjera. Recenzenti su bili dr. sc. Josip Dvornik, redoviti profesor na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, dr. sc. Nenad Bičanić, Regius Professor of Civil Engineering na Sveučilištu u Glasgowu, i dr. sc. Krešimir Fresl, docent na Građevinskom fakultetu u Zagrebu.



Riječ je o udžbeniku za predmet *Mehanika I* koji se predaje u II. semestru studija na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu s fondom od 30 sati predavanja i 30 sati vježbi.

„Klasična Newtonova mehanika je“, riječima recenzenta profesora Josipa Dvornika, „prihvaćeni i za potrebe građevinarstva začuđujuće dobar model stvarnosti. Iako svi ljudi imaju iskustva s mehanikom koja stječu već od djetinjstva igranjem i pokusima (održavanje ravnoteže vlastitoga

tijela, baratanje polugom, kolotutom, škarama, kliještim i drugim alatom, slaganje kocaka, drva i drugog materijala itd.), za mnoge je studente formalna klasična mehanika jedan od najtežih predmeta na građevinskim fakultetima zbog potrebne apstrakcije i gotovo matematičkog načina razmišljanja. Velikom je broju slušača posebno teško povezati iskustvo i intuiciju s formalnom teorijom iznesenom na način na koji se ona do sada najčešće predavala“. U udžbeniku prof. Wenera statika se, doduše, izlaže ponajprije kao deduktivna znanost bliska matematici (nove se spoznaje izvode iz razmjerno maloga broja prihvaćenih zakona, koji imaju ulogu aksioma), ali se stalno naglašavaju iskustveni izvori pojmova i zakona mehanike, veze između „stvarnosti“ i matematičkih idealizacija i modela te mogućnost i potreba eksperimentalne realizacije i provjere izvedenih spoznaja i postupaka. Prema ocjeni prof. Dvornika, „autor je dao izvorne, vrlo slikovite interpretacije gotovo svih novih pojmova i pojava koje se pojavljuju tijekom izlaganja. Time je zainteresiranom studentu bitno olakšao spomenuto povezivanje apstraktnog i konkretnog te uz stjecanje formalnih znanja i poboljšanje inženjerskoga zaključivanja. [...]. Spomenuto je povezivanje posebno važno za buduće inženjere-konstruktere jer omogućava da se vizualno doživi rezultat proračuna i ostvari „inženjersko zaključivanje“.

Opsežno i - za studente koji se s njim po prvi put susreću - svakako složeno gradivo izloženo je jasno, sustavno i pregledno, te je udžbenik metodički potpuno prilagođen sadržaju predmeta kojem je namijenjen. Knjiga pokriva cjelokupno gradivo predmeta, ali sadrži i dijelove za „studente koji žele znati više“. Takav je sveobuhvatni udžbenik, obogaćen dodatnim sadržajima, uz one „propisane“, posebno važan u sklopu novoga,

„bolonjskog“ nastavnog programa u kojem su na zagrebačkom Građevinskom fakultetu satnica i sadržaj elementarne mehanike apsurdno smanjeni. Naime, statika, kao znanost o općim zakonima ravnoteže tijela pod djelovanjem sila, temeljni je teorijski predmet studija građevinarstva. Profesor Nenad Bičanić u svojoj recenziji knjige navodi: „Nedavna studija Institute of Structural Engineers (IStructE) u Velikoj Britaniji skrenula je pozornost na neke bitne nedostatke u vještinama i znanjima u novije vrijeme diplomiranih građevinskih inženjera, od kojih su kao najvažniji navedeni nedostatak prostornog zora i ograničena mogućnost apstrakcije, kao bitnih elemenata za napredak konstruktorstva i uspješnije suradnje s arhitektima u projektiranju nestandardnih konstrukcija. Rezultati studije upozoravaju da preveliko smanjenje opsega temeljnih predmeta mehanike i deskriptivne geometrije u nastavnim programima u studiju građevinarstva (koja se u Velikoj Britaniji postupno događa zadnjih dvadesetak godina) ima za posljedicu nedostatak kadra koji bi bio u stanju bolje iskoristiti nedvojbene napredak u tehnologiji proračuna konstrukcija. Kao rezultat, primjećuje se polagana promjena nastavnih planova, koji ponovno ohrabruju rigorozni tretman vitalnih, fundamentalnih principa mehanike.“

U elementarnoj statici studenti upoznaju osnovne pojmove (sila, moment, ravnoteža, rad, energija) i postupke (uravnoteženje, virtualni rad, minimizacija energije) na kojima se temelje sve metode proračuna konstrukcija, neovisno o tome provode li se „ručno“ ili na računalu. Stoga je dobro poznavanje statike neophodan preduvjet za praćenje niza drugih predmeta, kako onih manje ili više teorijskih (Građevna statika, Dinamika i stabilnost konstrukcija, Teorija elastičnosti i plastičnosti, Plošni

nosači, Mehanika tekućina), tako i onih stručno-praktičnih (Betonske konstrukcije, Zidane konstrukcije, Metalne konstrukcije, Drvene konstrukcije, ...). Štoviše, razumijevanje odnosa „stvarnosti“ i proračunskih modela nužno je za kritičku i odgovornu primjenu suvremenih komercijalnih kompjutorskih programa u proračunu konstrukcija. Prof. Dvornik kaže: „Nažalost, neki inženjeri, pa čak i sveučilišni profesori sve više u praksi i u nastavi neopravdano zanemaruju potrebu za razumijevanjem mehanike i nekritički se pozdaju na „znanje“ koje imaju računalni programi, a to može biti vrlo opasno“. Slično mišljenje iznosi i prof. Bićanić: „Činjenicu da se danas ‚sve može proračunati‘ ne treba interpretirati kao recept za projektiranje i konstruiranje bez razumijevanja ponašanja konstrukcija i poznavanja načina kako konstrukcijski elementi prenose sile - tu razumijevanje i poznavanje statike predstavlja bitan preduvjet, jer konačni proračun konstrukcije može i mora biti samo provjera zamišljene konstruktorske koncepcije“.

U udžbeniku je posebna pozornost posvećena prostornim zadacima, dok su ravninski modeli uvedeni kao pojednostavljenja nužna za zorniji prikaz i olakšavanje proračuna. Mišljenje je profesora Bićanića da se „takav pristup čini vrijednijim od uobičajenog pristupa koji vodi od posebnoga prema općem (često se koristi dubiozni argument da je to jednostavnije), a koji najčešće ima za posljedicu da mnogi građevinski inženjeri ne razmišljaju - ili uopće ne mogu razmišljati – prostorno“.

Knjiga ima 476 stranica, a podijeljena je u 19 poglavlja te predgovor, podroban sadržaj, popis literature i kazalo pojmova. Sadrži 419 crteža koje su izradili autor i njegov suradnik Filip Šestak.

U uvodnom poglavlju navedena je uobičajena podjela mehanike i opisane su vrste zadataka koje se u okvirima statike, kinematike i dinamike rješavaju, a objašnjena je i uloga me-

hanike u analizi sigurnosti nosivih konstrukcija.

U poglavlju *Osnovni pojmovi mehanike* uvedeni su i razrađeni pojmovi gibanja, sile i ravnoteže.

Budući da se sile prikazuju vektorima, poglavlje *Osnovno o vektorima* sažeti je pregled osnovnih operacija vektorske algebre te grafičkih i analitičkih postupaka s vektorima.

U poglavlju *Ravnoteža tijela pri koncentriranim djelovanjima* uvedeni su pojmovi momenta sile na točku, sprema sile, koncentriranog momenta i momenta oko osi te su potom iskazani vektorski i skalarni uvjeti ravnoteže tijela u prostoru.

Kontrola ravnoteže, uravnoteženja, statička ekvivalencija i rezultirajuće djelovanje, uz dinamički vijak kao posebni oblik rezultirajućega djelovanja, obrađeni su u poglavlju *Uvodno o postupcima statike*.

Sljedeća su tri poglavlja posvećena posebnim slučajevima: statički materijalne točke u prostoru, statički tijela za djelovanja u ravnini i statički tijela pri djelovanju sila na paralelnim pravcima i odgovarajućih koncentriranih momenata, a uveden je i pojam težišta kao specijalnoga slučaja centra sile na paralelnim pravcima.

U devetom su poglavlju analizirani uvjeti rješivosti zadatka određivanja uravnotežujućih ili statički ekvivalentnih koncentriranih djelovanja za opći slučaj tijela u prostoru.

U poglavlju *Distribuirane sile i momenti* pokazano je kako se rezultante distribuiranih linijskih, plošnih i volumenskih sila i pravci na kojima te rezultante djeluju izražavaju s pomoću određenih integrala po krivulji, plohi ili volumenu. U drugom su dijelu poglavlja obrađene kontaktne sile i trenje.

Poglavlje *Veze u mehaničkim sustavima* je, prema riječima recenzenta prof. Nenada Bićanića „neobičajen, vrlo zanimljiv tretman veza konstruktivnih elemenata“.

U sljedeća četiri poglavlja - *Sustavi tijela u krutom agregatnom stanju*, *Ravninski spojeni sustavi*, *Osnovno*

o ravninskim određenim spojenim sustavima i *Prostorni spojeni sustavi* - uvedeni su pojam spojenih sustava i njihova podjela na statički određene, statički neodređene i dvije vrste mehanizama. Detaljnije su obrađeni elementarni i ulančani ravninski statički određeni sustavi, a za prostorne je sustave dano nekoliko jednostavnijih primjera.

U poglavlju *Statika štapnog elementa* štapna je statika prikazana kao približni postupak mehanike kontinuuma u kojem se statičkom redukcijom prostornih djelovanja na os štapa i uvođenjem unutarnjih sila štapa parcijalne diferencijalne jednadžbe prevode u obične diferencijalne jednadžbe. Definiran je pojam statičkoga rješenja štapa. Za ravninske su štapove detaljno obrađeni dijagrami unutarnjih sila.

U sljedećem je poglavlju opisana primjena diferencijalnih odnosa i integralne formulacije uvjeta ravnoteže u rješavanju spojenih štapnih sustava u ravnini.

U poglavlju *Ravnoteža mehanizama* opisani su problemi određivanja opterećenja za zadani položaj mehanizma i određivanja položaja za poznati oblik vanjskih djelovanja. Osim mehanizama s konačnim brojem stupnjeva slobode obrađeno je i idealno uže.

I napokon, u posljednjem su poglavlju definirani mehanički rad i potencijalna energija. U nizu je primjera prikazano određivanje sila i momenata primjenom principa virtualnoga rada i principa minimuma potencijalne energije.

U cjelokupnom je izlaganju ostvarena ravnoteža između „klasičnoga“ grafičkog prikaza, koji za prostorne zadatke uključuje i elemente nacrtno geometrije, i „suvremenijega“ pristupa utemeljena na vektorskoj algebri; mnogi su primjeri usporedbe radi riješeni na oba načina. Uz to, u nekim je primjerima dodirnuo i pitanje stabilnosti numeričkih proračuna kako bi se studenti što ranije upoznali s tim važnim problemom analize konstrukcija s pomoću računalnih programa.

K. Fresl