

S. FLÖGL

OSNOVNA
GRAĐEVNA MEHANIKA

Mr. ~~1971~~ 1.4.70. -

OSNOVNA GRAĐEVNA MEHANIKA

OBRADIO

Ing. STANKO FLÖGL

SVEUČILIŠNI PROFESOR



POLJOPRIVREDNI NAKLADNI ZAVOD

ZAGREB 1947

PREDGOVOR

U ovoj knjizi sabranih deset poglavlja iz područja građevne mehanike nastalo je od mojih predavanja iz toga predmeta, koje je litografijom izdalo Udruženje studenata šumarstva god. 1931. Kako su ta predavanja bila raspačana u kratko vrijeme, bilo je potrebno, da se obnove. Sve veći broj upisanih slušača, a i druge prilike i potrebe, utjecale su tako, da sam odlučio mjesto obnove predavanja u prijašnjem obliku — štampom izdati ovu knjigu. Uz taj udžbenik moći će slušači a da mnogo ne bilježe, sa više pažnje, dakle i sa više koristi, pratiti predavanja, jer će u njemu naći sve ono, što im se predaje. Na ovom predmetu osniva se i daljnji predmet: »Gradnja šumskih prometnih sredstava«, koji se predaje slušačima šumarstva u kasnijim semestrima. Veliki pak dio toga predmeta zaprema osnivanje raznih objekata, a ovo i nije nego na građevne konstrukcije primijenjena građevna mehanika. Kod izrađivanja zadaća iz toga područja ovaj će udžbenik dobro doći ne smo studentima nego i svršenim inženjerima šumarstva, koji se bave šumarsko-građevnom praksom. Uostalom knjiga može poslužiti i svakomu koji želi upoznati osnove građevne mehanike.

Opseg obrađenog gradiva odmjeren je prema vremenu, određenom za taj predmet, po redu predavanja zagrebačkog Poljoprivredno-šumarskog fakulteta. Ipak je tu i tamo širi, te prelazi navedeno vrijeme. Sve veća nestašica na drvu, a i kratkotrajnost toga gradiva, također sili inženjera šumarstva da sve više osniva i gradi objekte iz trajnijeg gradiva kao što su na pr. kamen, beton i armirani beton. Takove pak građevne konstrukcije, pretežno statički neodređene, iziskuju dublje i šire poznavanje građevne mehanike. Ovo, kao i činjenica, da se izvjestan broj inženjera šumarstva bavi i istraživanjima fizikalnih svojstava drva, toga glavnog produkta šumskog gospodarstva, bilo je uzrokom proširenja opsega ove knjige. No to neznatno proširenje nema druge svrhe nego olakšati čitanje neophodno potrebne opsežnije i prema navedenim svrhama specijalne literature.

Da se olakša upotreba, knjiga je štampana dvojakim slogom: krupnijim i sitnijim. Osnovni i najvažniji dio štampan je krupnijim slovima. Poradi toga kod prvog čitanja mogu se izostaviti dijelovi štampani sitnijim slovima (osim tu i tamo sitnije štampano, a potrebno za razumjevanje krupnije štampanog), a tek poslije i prema potrebi uputno je preći na čitanje sitnije štampanih dijelova.

Domaća literatura, koja bi obuhvatila cijeli ovaj predmet, ne postoji. Ukoliko pak postoji bavi se nekim specijalnim područjem ili su

to specijalne radnje naših naučnih radnika na tom polju, objelodanjene često i na stranim jezicima, u stranim stručnim časopisima. Nabranje pak mnogobrojne strane literature građevne mehanike prelazi svrhu ove knjige.

Ne držeći se dosljedno ni jednog autora nastojao sam obraditi gradivo, kako sam iskusio (predavajući ovaj predmet pet i pol godina na zagrebačkom Tehničkom fakultetu, a od god. 1929. do danas na Poljoprivredno-šumarskom fakultetu), da je za razumjevanje i primjenu građevne mehanike u navedenom opsegu najsvrsishodnije.

Kopije mnogobrojnih, olovkom od mene izrađenih crteža i slika, u većem dijelu izradio je ing. Ernest Dobovišek, a u manjem dijelu asistent ing. Ninoslav Lovrić. Posljednji pomagao mi je i kod čitanja korektura. S jezične strane pregledao je rukopis prof. Marko Orešković.

Na ovom mjestu neka mi je dopušteno izreći zahvalu svima navedenima za pruženu pomoć.

U Zagrebu, marta 1947.

S. Flögl

S A D R Ž A J

I. Uvod.

1. Građevna mehanika	1
2. Temeljni pojmovi	4

II. Sile u ravnini.

1. Paralelogram sila	9
2. Razno velike i orijentirane sile u istom hvatištu	12
3. Uvjeti ravnoteže razno velikih i orijentiranih sila u istom hvatištu	14
4. Skalarski ili nutarnji produkt dvaju vektora	14
5. Radnja	16
6. Poučak o radnji	19
7. Moment sile	19
8. Razno velike i orijentirane sile u raznim hvatištima:	21
a) Neposredno sastavljanje	21
b) Sastavljanje s pomoću verižnog poligona	23
9. Poučak o momentima	24
10. Analitičko određivanje rezultante povoljnih sila u istoj ravnini	25
11. Par sila	27
12. Sila i par sila	29
13. Uvjeti ravnoteže povoljnih sila u istoj ravnini	30
14. Primjena	33
15. Usporedne sile	37
16. Rastavljanje sila	38
17. Moment sila i verižni poligon	43
18. Svojstva verižnih poligona	45

III. Težište i momenti površina prvog i drugog stupnja.

1. Središte sila usporednih pravaca	50
2. Težište površina	51
3. Pretvaranje površina iz jednog oblika u drugi oblik i predočavanje s pomoću vektora	57
4. Grafičko određivanje težišta	61
5. Momenti površina drugog stupnja	62
6. Momenti površina drugog stupnja međusobom	64
7. Izračunavanje momenata drugog stupnja	66
8. Grafičko određivanje momenata drugog stupnja	68
9. Osi najvećeg i najmanjeg momenta ustrajnosti	73

IV. Nosači. Opterećenje. Trenje.

1. Nosači	76
2. Opterećenje	80
a) vlastita težina i stalno opterećenje	81
b) od vjetra i snijega	82
c) korisno i prometno opterećenje	86
d) usredotočeno i razdijeljeno posredno i neposredno opterećenje	89
3. Trenje	
a) trenje klizanja	92
b) trenje kotrljanja	96

V. Izvanjske sile i nosači.

1. Izvanjska statička određenost i neodređenost nosača	99
2. Određivanje ležajnih sila statički određenog nosača	105
3. Ležajne sile prostog ravnog nosača	108
4. Ležajne sile konzole	110
5. Ležajne sile ravnog nosača produženih krajeva	112
6. Ležajne sile trozglobnog nosača	115
7. Izvanjska sila, normalna, tangencijalna sila i moment savijanja u povoljnom presjeku nosača	120
8. Normalna sila, tangencijalna sila i moment savijanja u presjecima svedenog nosača	124
9. Prečna sila i moment savijanja prostog nosača uz usredotočeno i jednoliko razdijeljeno opterećenje. Dijagram prečnih sila i dijagram momenata savijanja	126
10. Dijagram prečnih sila i dijagram momenata savijanja prostog nosača uz povoljno razdijeljeno opterećenje	134
11. Dijagram prečnih sila i momenata savijanja konzole	140
12. Dijagram prečnih sila i dijagram momenata ravnog nosača produženih krajeva	144
13. Dijagram prečnih sila i momenata savijanja uz posredno opterećenje	149

VI. Unutarnje sile nosača.

1. Glavna mehanička svojstva zbiljnog čvrstog tijela	153
2. Naprezanja elastičnog čvrstog tijela	155
3. Jednoliko normalno naprezanje	159
4. Promjena oblika zbog normalnog naprezanja	161
5. Dopuštena normalna naprezanja	167
6. Promjena oblika i naprezanja zbog promjene temperature	174
7. Radnja normalne sile i normalnog naprezanja	177
8. Zbirne rastege i kubna rastege	178
9. Jednoliko posmično naprezanje	181
10. Sile i naprezanja u sastavcima drvenih konstrukcija	183
11. Zakovica i zakivak	190
12. Promjena oblika uslijed posmičnog naprezanja	194

13. Dualitet posmičnog naprezanja	195
14. Element nosača u stanju čistog dvoosnog posmičnog neprezanja	198
15. Modul elastičnost i obujma	200
16. Naprezanje savijanja	200
17. Primjena formule naprezanja savijanja	205
18. Moment otpora ili modul presjeka	206
19. Primjeri savijanja	207
20. Nosači i naprezanje savijanja	208
21. Nejednoliko naprezanje smicanja kod savijanja	212
22. Radnja promjene oblika i radnja pomicanja izvanjskih i unutarnjih sila nosača	221
23. Glavna naprezanja	223
24. Armirani betonski nosač opterećen na savijanje	229
25. Osiguranje armiranih betonskih nosača opterećenih na savijanje u smjeru glavnih i posmičnih naprezanja	237
26. Naprezanje savijanja uz koso opterećenje	245
27. Složeno naprezanje zbog djelovanja momenta savijanja i normalne sile	247
28. Jezgra presjeka	250
29. Naprezanja u presjeku, tlačnom izvan težišta, kod nosača iz neotpornog gradiva protiv potezanja	255
30. Uzidana konzola	258
31. Visoki dimnjaci	261
32. Grafičko određivanje naprezanja u tlačnom presjeku izvan težišta	266
33. Naprezanje izvijanja	268
34. Krivost krivulje i izvod Eulerove formule	272
35. Primjena formula izvijanja. Dopusšteno opterećenje i naprezanje izvijanja	275
36. Naprezanje zakretanja ili sukanja	284

VII. Progibi, sapeti i kontinuirani nosači.

1. Progibnica (linija progiba)	287
2. Progibnica konzole stalne krutosti	290
3. Progibnica prostog ravnog nosača stalne krutosti uz simetrično opterećenje	292
4. Progibnica prostog ravnog nosača uz povoljno opterećenje	294
5. Grafostatičko određivanje progibnice	298
6. Potrebna i dovoljna krutost nosača	302
7. Na oba kraja sapeti nosač	305
8. Na jednom kraju sapet, a na drugom prosto poduprt nosač	310
9. Praktička primjena	312
10. Kontinuirani nosač	317
11. Određivanje umišljenih reakcija	318
12. Određivanje zbiljnih reakcija upora, prečne sile i momenata savijanja	320
13. Neprekinuti nosač preko dva polja, stalne krutosti	320
14. Neprekinuti nosač preko tri polja, stalne krutosti	322

15. Kontinuirani nosač nejednolike krutosti	324
16. Kontinuirani nosač s ugrađenim (sapatim) krajevima	325

VIII. Rešetkasti nosači. Poligon štapova.

1. Rešetkasta građa	330
2. Rešetkasti nosač	332
3. Oblici ravnih rešetkastih nosača	335
4. Statičko istraživanje rešetkastih nosača	338
5. Analitička metoda	339
6. Računska metoda po Ritteru	341
7. Metoda po Culmannu	343
8. Metoda po Cremoni	343
9. Rešetkasti nosač usporednih pojasa	346
10. Rešetkasti nosači slomljenih i svedenih pojasa	349
11. Krovni veznici rešetkaste građe	353
12. Rešetkasti stupovi	355
13. Poligon štapova	356
14. Poligon štapova opterećen usporednim silama	359

IX. Izvanjske sile nosača pod pokretnim opterećenjem.

Linije utjecaja.

1. Općenito	364
2. Prečna sila uz pokretno opterećenje	364
3. Moment savijanja uz pokretno opterećenje	371
4. Linija utjecaja	377
5. Linija utjecaja za reakcije uporišta	378
6. Linija utjecaja za prečnu silu	379
7. Linija utjecaja za moment savijanja	381
8. Određivanje najnepovoljnijeg položaja pokretnog opterećenja na nosaču s pomoću linije utjecaja	382
9. Linija utjecaja uz posredno opterećenje	388
10. Složeni drveni nosači	391
11. Složeni nosač od nazubljenih greda	392
12. Smoždeni nosači	396

X. Tlak vode i pritisak tla.

1. Hidrostatički tlak	403
2. Pritisak i otpor tla	407
3. Određivanje najvećeg pritiska i najmanjeg otpora tla po Culmannu	411
4. Određivanje najvećeg pritiska i najmanjeg otpora tla po Ponceletu	415
5. Rebhannov poučak	417
6. Pritisak tla na potporne zidove	419

Ispravci	429
--------------------	-----

I. UVOD

1. *Građevna mehanika*. Samo poznavanje građevnih konstrukcija i građevnih pravila uvijek nije dovoljno za uspješno izvršavanje građevne prakse. Stručno i ekonomično iskoristiti te konstrukcije i suvereno primijeniti ta pravila *uvijek* moći ćemo samo u slučaju, ako smo i u stanju praktički dovoljno točno prosuditi i procijeniti mjerodavne *izvanjske utjecaje*, a pod djelovanjem ovih i *nutarnja zbivanja* u samoj građevnoj konstrukciji, u njezinom kojem dijelu, na svakom mjestu. Jer poznavanje pravila i konstrukcija još ne znači znati i odgovoriti na pitanja kao što su: da li je konkretna građevna konstrukcija ili njezin koji dio dovoljno *siguran* i *čvrst* s obzirom na opterećenje, kojemu će biti izvrnut, a ujedno i *ekonomičan* s obzirom na količinu utrošene grade?

Radi li se na pr. o kakovoj brvi, lako ćemo joj odrediti dužinu prema širini jarka te odmjeriti za prelaženje potrebnu i dovoljnu širinu. No ne ćemo joj tako lako i točno pogoditi upravo potrebnu i dovoljnu visinu (debljinu) bez poznavanja svojstava grade i ponašanja brvi pod opterećenjem. Isto tako, kad želimo poduprijeti nasječeno tlo i podižemo zid, nastojimo graditi štedljivo: da mu damo protege ni veće ni manje, nego što je za svrhu upravo potrebno i dovoljno. Odaberemo li te protege samo prema građevnim pravilima ili prema iskustvu, udovoljili smo tome nastojanju samo utoliko, ukoliko ta pravila, to iskustvo jednakim obzirom obuhvataju *sve* slučajeve prakse. A to je jedva moguće. Stojimo li pak na pr. pred kakovim okrajkom grede, koji strši iz zida (*konzola*), pa se zapitamo, koliko je najveće opterećenje, koje još može snositi bez štete, u tim pravilima ne nalazimo siguran odgovor uopće.

Balvan, greda, gredica, štap, šipka okrajak, stup, ploča, stijena i sl., razne grade (tvari, tvoriva, gradiva, kao što je: drvo, lijevano željezo i čelik, umjetni i naravni kamen, zid, beton, armirani beton i sl.) najjednostavniji su oblici građevnih elemenata. Nazivamo ih *jednostavnim nosačima*, jer mogu podnijeti osim *vlastite težine*, u određenim prilikama i granicama i drugo kakovo, t. zv. *strano opterećenje*. Teže je udovoljiti navedenom nastojanju ili odgovoriti na navedena slična pitanja u slučajevima, u kojima predviđeno strano opterećenje presiže nosivost jednostavnih nosača u praktički još upotrebljivim dimenzijama. U takovim slučajevima upotrebljavamo naime veće građevne konstrukcije, sastavljene od više elemenata, nosača jednostavnih oblika, složene već prema svrsi i potrebi na razne načine, u razne oblike, ali uvijek i tako, da se pod vlastitim i stranim opterećenjem ponašaju kao krute cjeline, poput jednostavnih nosača. Za razliku otuda im i ime *sastavljeni* ili *složeni nosači* (na pr. glavni nosači većih mostova, glavni vezovi krovništva i t. d.).

Na sigurnost i nosivost nosača svakako će utjecati mjesto, u kojemu je, i način, na koji je *poduprt* nosač pod konkretnim opterećenjem; isto tako gradivo, nosivost i oblik *ležaja*, na kojemu počiva, ili u koji je nosač učvršćen. Nadalje kako ni opterećenje uvijek ne potječe od sile teže, niti je uvijek vertikalno, to nije ni utjecaj opterećenja na nosač uvijek jednostavan, ni bez