

SVEUČILIŠNI UDŽBENIK MEHANIKA STIJENA

# Teorijska i primijenjena znanost o mehaničkome ponašanju stijena

**Sveučilišni udžbenik, knjiga Mehanika stijena, pisan je za širi krug korisnika koji uključuje studente i praktičare, ali i istraživače koji u njoj mogu naći korisne informacije o teorijskoj i primijenjenoj znanosti o mehaničkome ponašanju stijena**

*Naslov: Mehanika stijena. Izdavač: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet. Urednica: doc. dr. sc. Lovorka Librić. Recenzenti: prof. dr. sc. Danijela Jurić Kačunić, prof. dr. sc. Željko Arbanas, prof. dr. sc. Ivan Sondi. Lektorica: Zvezdana Balić, mag. educ. philol. croat. Crteži, prijelom i dizajn: Gordana Ivoš, mag. ing. aedif. Tisak: Tiskara Zelina d.d. Format: B5, tvrdi uvez, kunstdruck, 479 str. Naklada: 500 primjeraka. Zagreb, 2021.*

Nastava iz mehanike stijena dugo je zanemarivana na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Predmet Mehanika stijena nije postojao sve do 1999., kada je na diplomskome studiju uveden smjer Geotehnika. Na preddiplomskome studiju uveden je tek 2011. "Mehanika stijena" prvi je sveučilišni udžbenik iz mehanike stijena nastao kao rezultat izvođenja nastave od uvođenja predmeta u nastavni proces. Namijenjen je ponajprije studentima Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i obuhvaća sve nastavne cjeline koje se obrađuju u sklopu predmeta Mehanika stijena. Knjiga sadržava četrnaest poglavlja, popis literature i kazalo pojmova.

Mehanika stijena jest teorijska i primijenjena znanost o mehaničkome ponašanju stijena koja proučava stanje naprezanja i deformacija u stijenskoj masi izazvano djelovanjem sila iz njezine neposredne fizičke okoline. Knjiga "Mehanika stijena" podijeljena je u 14 poglavlja: "Uvod u mehaniku stijena", "Stijene u Hrvatskoj", "Naprezanja u stijenskoj masi", "Inženjerska svojstva intaktne stijene", "Opis i čvrstoća diskontinuiteta", "Teorija blokova",

"Klasifikacije stijenske mase", "Krutost stijenske mase", "Krutost karbonatnih stijena u kršu", "Zaštita od odrona stijene", i "Tunelogradnja". Na kraju su knjige popis literature i kazalo pojmova.

U uvodnom je poglavlju prikazano područje primjene mehanike stijena u rješavanju velikoga broja inženjerskih problema. Uvedeni su i opisani osnovni pojmovi koji su neophodni za razumijevanje stijenskoga inženjerstva kao što su "stijena", "diskontinuiteti", "intaktna stijena" i "stijenska masa". Opisana su osnovna fizičko-strukturna svojstva stijenske mase koja najviše utječu na njezino ponašanje pod opterećenjem: razlomljenost, heterogenost i anizotropija. Na kraju poglavlja prikazana je identifikacija stijena koja se zasniva na određivanju genetske grupe, strukture, veličine zrna, mineralnoga sastava i poroziteta.

Krš zauzima više od polovine površine Hrvatske ili više od 70 posto ako se uzme u obzir i hrvatsko jadransko podmorje u kojemu prevladavaju karbonatne stijene podložne okršavanju. U drugom je poglavlju prikazana zastupljenost stijena u Hrvatskoj, među kojima dominiraju krške sedimentne stijene. Krš je rezultat prirodnih procesa na kori Zemlje i u njoj, uzrokovan otapanjem i ispiranjem vapnenca, dolomita, gipsa, halita i drugih topivih stijena. Opisani su pojedini hidrogeološki krški oblici su kao što su ponornice, ponori, izvori, estavele i vrulje. Prikazani su najrašireniji površinski krški oblici kao što su škrape, kamenice, ponikve, uvale, polja, zaravni te humci. Na kraju poglavlja opisani su i brojni podze-

mni oblici koji nastaju tijekom poniranja vode i njezina korozivnog utjecaja u dubini: jame, špilje i kaverne, koji se još nazivaju i speleološkim objektima.

Uspješnost svih inženjerskih zahvata u stijenskoj masi ovisi o stupnju poznavanja promjene stanja naprezanja u bilo kojoj točki. U trećemu poglavlju prikazano je stanje naprezanja u stijenskoj masi. Stijenska masa nalazi se u nekome početnom stanju naprezanja prije izvedbe bilo kakvih inženjerskih zahvata. Ta su naprezanja nastala kao rezultat težine naslaga stijene, strukture stijenske mase, erozije, tektonskih aktivnosti u Zemljinoj kori i općenito povijesti stanja naprezanja u stijenskoj masi.

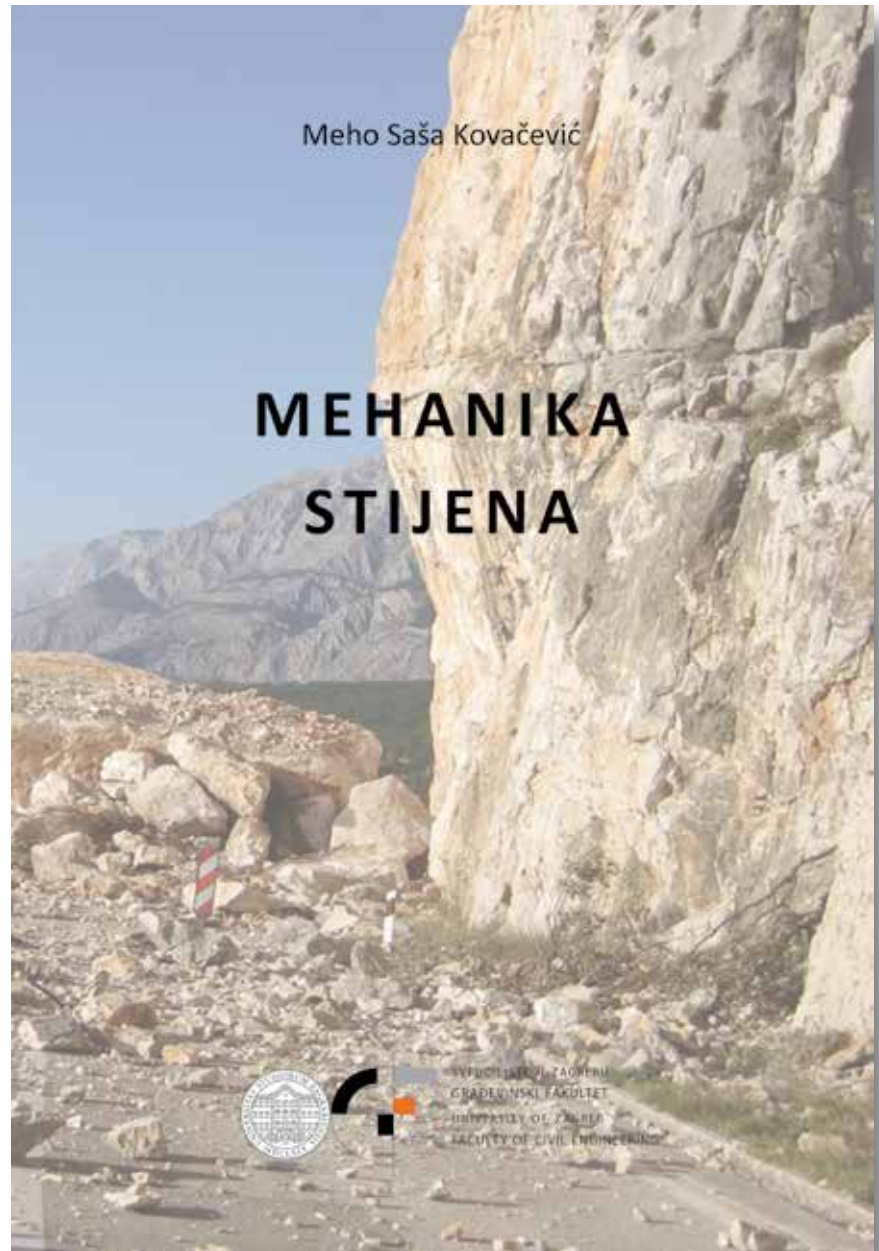
Izgradnjom građevina na površini, npr. mostova, ili izvedbom podzemnih iskopa, npr. tunela, dolazi do promjene početnoga ili primarnoga stanja naprezanja ili, preciznije, do preraspodjele naprezanja u okolini zahvata. Novonastalo stanje naprezanja naziva se dodatnim ili sekundarnim stanjem naprezanja.

Intaktna stijena razdijeljena različitim tipovima diskontinuiteta formira stijensku masu. Inženjerska svojstva intaktne stijene znatno su veća od svojstava stijenske mase zbog prisutnosti diskontinuiteta. U četvrtome poglavlju detaljno su prikazani najvažniji laboratorijski pokusi kojima se određuju svojstva intaktne stijene. To su pokusi jednoosnoga vlaka, pokus jednoosnoga tlaka, troosni pokusi, pokus točkastoga opterećenja, pokus sklerometrom, ultrazvučni pokusi i pokus određivanja trajnosti.

Prisustvo diskontinuiteta u stijenskoj masi znatno utječe na njezina mehanička svojstva. U odnosu na intaktnu stijenu, razlomljena odnosno diskontinuirana stijenska masa ima manju čvrstoću i krutost te znatno veću propusnost. U prvome dijelu petoga poglavlja prikazan je detaljan opis svojstava diskontinuiteta

koja najviše utječu na ponašanje stijenske mase: orijentacije diskontinuiteta, razmaka diskontinuiteta, neprekinutosti diskontinuiteta, hrapavosti zidova diskontinuiteta, čvrstoće zidova diskontinuiteta, širine diskontinuiteta, ispuna diskontinuiteta, voda u diskontinuitetima, brojeva grupa diskontinuiteta i veličine blokova. U drugome dijelu petoga poglavlja prikazani su najrašireniji kriteriji čvrstoće diskontinuiteta: Mohr-Coulombov, Pattonov i Jeagerov kriterij te Bartono-ov kriterij čvrstoće diskontinuiteta.

Stijenski blokovi nastaju presijecanjem diskontinuiteta u stijenskoj masi. Izvedbom površinskih i podzemnih iskopa u stijenskoj masi za potrebe izgradnje prometnica, građevnih jama, tunela, podzemnih skloništa i sličnoga, na presjecištima ravnina iskopa i postojećih diskontinuiteta stvaraju se novi, potencijalno nestabilni stijenski blokovi. U šestome poglavlju opisana je teorija blokova koju su Goodman i Shi razvili radi određivanja postojanja i prostornoga položaja potencijalno nestabilnih stijenskih blokova. Navedeni su različiti tipovi blokova koji se mogu formirati presijecanjem diskontinuiteta i ravnina iskopa te različiti oblici blokova koji ovise o orijentaciji i razmaku diskontinuiteta. Prikazani su i teoremi teorije blokova te primjena stereografske projekcije u teoriji blokova. Inženjerske klasifikacije stijenske mase imaju vrlo važnu ulogu u mehanici stijena i stijenskome inženjerstvu. Nastale su i razvijale se na temelju znanstvenih spoznaja o ponašanju stijenske mase i iskustava stečenih izvedbom geotehničkih zahvata. Klasifikacija stijenske mase treba uključivati samo najvažnija svojstva stijenske mase, a treba se zasnivati na parametrima koji se mogu mjeriti i odrediti brzim i jeftinim pokusima na terenu te na bodovnome sustavu koji može ocijeniti relativnu važnost pojedinih klasifikacijskih parametara kao i omogućiti izradu preporuka za projektiranje te određivanje parametara krutosti i čvrstoće stijenske mase. U sedmome poglavlju prikazane su najraširenije klasifikacije stijenske mase kao što su Terzaghijeva, Laufferova, RQD, RSR, RMR, Q, RMI i GSI klasifikacija.



Određivanje krutosti stijenske mase kao odnosa naprezanja i deformacija u stijenskoj masi jedna je od najvažnijih zadataka numeričkih analiza u mehanici stijena odnosno u stijenskome inženjerstvu. Modul elastičnosti odnosno modul deformacije stijenske mase neophodan je parametar za svaku numeričku analizu i prognozu deformacija geotehničkih konstrukcija. U osmome poglavlju prikazano je određivanje krutosti stijenske mase laboratorijskim i terenskim ispitivanjima. Analizirana je primjenjivost laboratorijskih i terenskih ispitivanja za određivanje

krutosti stijenske mase. Na kraju poglavlja prikazano je određivanje krutosti uz pomoć klasifikacija stijenske mase.

U Hrvatskoj je u posljednjih 20 godina izveden velik broj složenih inženjerskih zahvata u kršu. Stečena su znatna iskustva u provedbi geotehničkih istražnih radova, projektiranju, izvedbi, nadzoru, geotehničkim mjerenjima i opažanjima te povratnim numeričkim analizama. Ta iskustva omogućila su pouzdanije određivanje krutosti, odnosno modula deformacije karbonatnih stijena u kršu Hrvatske, koje je prikazano u devetome

poglavlju. U prvome dijelu poglavlja prikazani su uloga geotehničkih mjerenja u određivanju krutosti karbonatnih stijena u kršu Hrvatske te primjeri iskustava stečenih izvedbom radova. Detaljno su analizirani parametri koji utječu na krutost karbonatnih stijena u kršu Hrvatske te je prikazan i na primjeru verificiran postupak određivanja modula deformacije karbonatnih stijena u kršu Hrvatske.

Čvrstoća bilo kojeg materijala, pa tako i stijena, definira se kao stanje naprezanja koje dovodi do popuštanja, odnosno do sloma materijala. Čvrstoća stijenske mase može se odrediti matematičkim modeliranjem, laboratorijskim ispitivanjima, terenskim ispitivanjima, povratnim numeričkim analizama i empirijskim putem uz pomoć klasifikacija stijenske mase. Matematički se izražava kriterijem čvrstoće koji povezuje glavna ili normalna i posmična naprezanja pri slomu. U desetom su poglavlju kronološkim slijedom prikazana istraživanja koja su znatnije utjecala na razvoj kriterija čvrstoće u intaktnoj stijeni i stijenskoj masi kao što su Mohr-Coulombov, Griffithov, Fairhurstov, Hobbsov, Bieniawski i Hoekov kriterij čvrstoće intaktne stijene, zatim originalni Hoek-Brownov, Bieniawski-Yudhbirov, Rammamurthyjev, modificirani Hoek-Brownov i opći Hoek-Brownov kriterij čvrstoće stijenske mase.

Temelji su dijelovi građevine preko kojih se cjelokupno opterećenje prenosi u

stijensku masu. Prijenosom opterećenja u pliče ili dublje slojeve stijenske mase u okolici temelja stvaraju se dodatna naprezanja koja uzrokuju deformacije i eventualno slom stijenske mase. U jedanaestome poglavlju prikazana je podjela temelja na plitke i duboke. Analizirana su dodatna naprezanja u stijenskoj masi od opterećenja na površini te slijeganje i nosivost plitkih temelja. Također su analizirana dodatna naprezanja u pilotu zbog opterećenja od gornje konstrukcije te slijeganje i nosivost pilota.

Analiza i osiguranje stabilnosti prirodnih i umjetnih kosina u stijenskoj masi vrlo je složen zadatak u području stijenskoga inženjerstva zbog velikoga broja mogućih oblika sloma i složenoga ponašanja stijenske mase na koje najviše utječu prisustvo, orijentacija i svojstva diskontinuiteta. U dvanaestome poglavlju analizirani su uzroci pojave nestabilnosti kosina u stijenskoj masi te opisani oblici sloma kao što su ravni slom, klinasti slom, rotacijski slom i slom prevrtanjem. Prikazane su najčešće metode analize stabilnosti kosina u stijenskoj masi kao što su empirijske metode, fizički modeli, metode granične ravnoteže, numeričke metode i probabilističke metode. Na kraju poglavlja opisane su mjere stabiliziranja kosina u stijenskoj masi.

Odroni su poseban oblik nestabilnosti kosina u stijenskoj masi koji se pojavljuje u situacijama kada se jedan stijenski

blok ili grupa stijenskih blokova odvoji od kosine te se slobodnim padom, odskakivanjem, klizanjem ili kotrljanjem spušta niz kosinu. U trinaestome poglavlju opisani su uzroci pojave odrona. Provedena je analiza gibanja odronjenih blokova stijenske mase. Prikazani su klasifikacija odrona te upravljanje rizicima kod osiguranja stabilnosti stijenskih odrona. Na kraju poglavlja prikazane su mjere zaštite od odrona.

Tuneli su podzemni prostori za prolazak ili transport ljudi i materijala, izvedeni ljudskom djelatnošću, malih dimenzija poprečnoga presjeka u odnosu na dužinu, s niveletom koja ne odstupa znatnije od horizontale. Četrnaesto, zadnje poglavlje knjige bavi se tunelogradnjom. Opisane su klasične metode iskopa tunela. Prikazane su Nova austrijska tunelska metoda (NATM), Norveška metoda tunelogradnje (NMT) i Metodologija integriranog geotehničkog projektiranja tunela (MIGPT). Opisani su elementi primarnoga podgradnog sustava te sekundarna obloga tunela. Na kraju poglavlja prikazane su tehnologije izvedbe tunela u stijenskoj masi.

Iako je ponajprije namijenjen studentima, udžbenik "Mehanika stijena" može poslužiti i građevinskim inženjerima koji se u svojoj praksi susreću s problemima vezanima uz mehaniku stijena.

Prof. dr. sc. Meho Saša Kovačević

## Mehanika stijena

"Mehanika stijena" prvi je sveučilišni udžbenik iz mehanike stijena nastao kao rezultat izvođenja nastave od uvođenja predmeta u nastavni proces. Namijenjen je ponajprije studentima Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i obuhvaća sve nastavne cjeline koje se obrađuju u sklopu predmeta Mehanika stijena. Knjiga sadržava četrnaest poglavlja, popis literature i kazalo pojmova.

Mehanika stijena jest teorijska i primijenjena znanost o mehaničkome ponašanju stijena koja proučava stanje naprezanja i deformacija u stijenskoj masi izazvano djelovanjem sila iz njezine neposredne fizičke okoline. Knjiga "Mehanika stijena" podijeljena je u 14 poglavlja: "Uvod u mehaniku stijena", "Stijene u Hrvatskoj", "Naprezanja u stijenskoj masi", "Inženjerska svojstva intaktne stijene", "Opis i čvrstoća diskontinuiteta", "Teorija blokova", "Klasifikacije stijenske mase", "Krutost stijenske mase", "Krutost karbonatnih stijena u kršu", "Zaštita od odrona stijene", i "Tunelogradnja". Na kraju su knjige popis literature i kazalo pojmova.

**Narudžba knjige: <http://www.casopis-gradjevinar.hr/izdavastvo/>**

**Cijena knjige 252,00 kn (PDV uključen), 25 % popust za studente (cijena 189,00 kn)**

