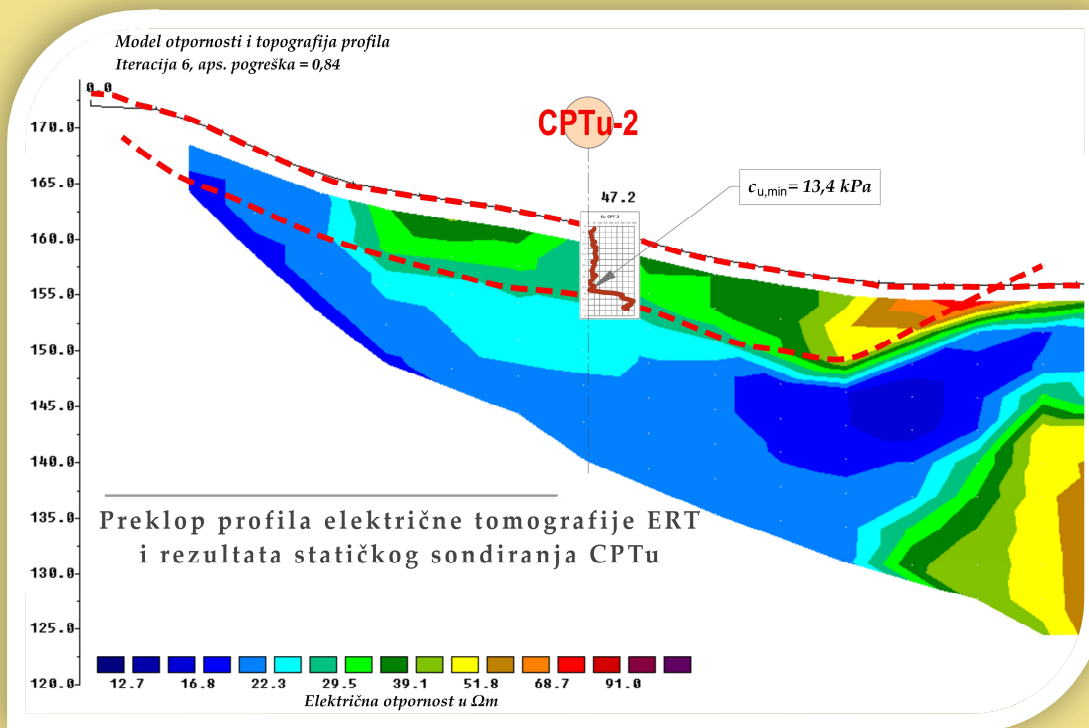


Stjepan Strelec | Jasmin Jug | Kristijan Grabar



GEOTEHNIČKA I GEOFIZIČKA TERENSKA ISTRAŽIVANJA



VARAŽDIN, 2024.

Prof. dr. sc. Stjepan Strelec, dipl. ing.
Doc. dr. sc. Jasmin Jug, mag. ing. geoling.
Kristijan Grabar, dipl. ing. geot.

GEOTEHNIČKA I GEOFIZIČKA TERENSKA ISTRAŽIVANJA



Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet
Varaždin, 2024.

Nakladnik:

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

Za nakladnika:

dekan izv. prof. dr. sc. Hrvoje Meaški, dipl. ing. geol.

Recenzenti:

Prof. dr. sc. Meho-Saša Kovačević, dipl. ing. građ.

Prof. dr. sc. Sanja Kapelj, dipl. ing. geol.

Prof. dr. sc. Krešo Ivandić, dipl. ing. građ.

Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Meaški, dipl. ing. geol.

Odlukom Senata Sveučilišta u Zagrebu

(KLASA: 032-01/22-02/42, URBROJ: 251-25-07-01/2-23-11)

Od 19. prosinca 2023. godine odobrava se udžbenik pod naslovom

GEOTEHNIČKA I GEOFIZIČKA TEREJSKA ISTRAŽIVANJA

autora prof. dr. sc. Stjepana Streleca, doc. dr. sc. Jasmina Juga i

Kristijana Grabara, dipl. ing. geot. te korištenje naziva **sveučilišni udžbenik**

(Manualia Universitatis studiorum Zagrabiensis).

Lektura:

Isidora Vujošević, mag. educ.

Grafička priprema:

Anja Bek, mag. ing. amb.

CIP zapis dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne
knjižnice u Zagrebu pod brojem: 001211441.

ISBN: 978-953-8066-14-6

Tisak:

Tiskara Zelina d.d.

Naklada:

500 primjeraka

Izdavanje sveučilišnog udžbenika pomogli su:

Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske
Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet

PREDGOVOR

Posljednjih je godina izrada projektne dokumentacije, elaborata i studija utjecaja na okoliš uvelike dobila na važnosti. U spomenutim se dokumentima geotehničko, geološko i okolišno inženjerstvo sve više kombinira s brigom o okolišu. Mnogi od ovih projekata razmatraju i prisutnost nekog oblika zagađivala u tlu, koje pak može biti u krutom, tekućem ili plinovitom stanju. Navedeno je dovelo do promjena u tehnikama istraživanja i karakterizacije istraženih lokacija s ciljem prilagodbe navedenim ekološkim problemima uzrokovanim onečišćujućim tvarima.

Kada se govori o geotehničkim terenskim istraživanjima, prvo se pomisli na geomehničko istražno bušenje, koje je najdirektnija metoda za prikupljanje informacija o potpovršinskim materijalima na pojedinim lokacijama. Bušenje je vrlo skupo i dugotrajno, a daje jednodimenzionalne informacije, samo ispod mikrolokacije bušenja, tj. ispod točke istraživanja. Točke na istim linijama se potom interpretiraju u profile ili presjeke tla, korištenjem različitih metoda korelacije. Pitanje koje se u takvim situacijama postavlja glasi: „Jesu li tako dobiveni točkasti podaci valjani i pouzdani, pogotovo u područjima složene geološke građe s prisutnošću heterogenih materijala te u krškim trošnim stijenama?“

Tehnike karakterizacije istraženih lokacija koje se najbrže razvijaju za potrebe geotehničkog inženjerstva sve više uključuju geofizičke 2D i 3D metode te *in situ* geotehničke metode, koje su detaljno opisane u ovom udžbeniku. Navedene metode postale su popularne kod rješavanja problema vezanih ne samo za geotehničko inženjerstvo, već i za geoinženjerstvo okoliša, inženjersku geologiju i hidrogeologiju.

Ovaj udžbenik prvenstveno je namijenjen studentima Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu kao pomoć kod praćenja nastave i pripreme za provjere znanja iz kolegija Geotehnička terenska istraživanja. Sadržaj je prilagođen nastavnom planu i programu navedenog kolegija. Također, određena poglavlja obrađuju tematiku iz nastavnog sadržaja kolegija Primijenjena geofizika i Geotehnički praktikum I. Udžbenikom se mogu služiti i studenti svih razina studija drugih sveučilišta, koji se obrazuju iz područja geotehničkog inženjerstva. Koristan može biti istraživačima i praktičarima koji se bave istraživanjem i kategorizacijom tla, stijena i vode. Zatim građevinarima, rudarima, ali i svima koji su na bilo koji način povezani s geotehničkom praksom.

Opseg i vrste geotehničkih istraženih radova određeni su odgovarajućim standardima, posebno normom geotehničkog projektiranja (Eurokod 7). Znatnu pomoć prilikom planiranja i izvođenja istraženih radova pružaju standardi i preporuke za pojedine vrste istraženih radova. Također, dobro je unaprijed poznavati mogućnosti predviđenih metoda istraživanja, pogotovo onih koje imaju izrazito multidisciplinarni karakter.

Uzimajući u obzir sve navedeno i činjenicu da ne postoji odgovarajuća literatura na hrvatskom jeziku koja na jednome mjestu nudi pregled istraženih radova iz područja geotehnike, mehanike stijena, inženjerske geologije i inženjerstva okoliša, potaknula je autore na pripremu ovog udžbenika. Autori su nastojali na jednom mjestu koncizno prikazati ciljeve, značaj i metodologiju geotehničkih i geofizičkih terenskih istraživanja.

U udžbeniku su detaljno obrađene suvremene geotehničke i geofizičke *in situ* metode koje sve većom primjenom i kvalitetom omogućuju značajne pomake u racionalizaciji i kvaliteti geotehničkih i geofizičkih potpovršinskih istraživanja. Uz njihovu sve veću primjenu, tehnike istražnog bušenja i uzorkovanja postaju sekundarne, odnosno koriste se zajedno s navedenim terenskim ispitivanjima u znatno manjem opsegu.

Obrađeni su i prezentirani brojni tipični geotehnički i geofizički parametri za različite geomedije te je prikazana primjena tih podataka, kako u teoriji tako i u praksi. Nadalje, prikazane su brojne interpretacije rezultata istraživanja, korelacije s fizikalno-mehaničkim karakteristikama tla i stijena, a sve je popraćeno s mnogo fotografija, slika, tablica i osnovnih izraza koji pomažu čitatelju u razumijevanju različitih pristupa. Dobivanje rezultata različitim metodama pruža provjeru kvalitete provedenih istraživanja jer često elaborati, studije ili projekti mogu imati različita tumačenja samo zbog primjene neadekvatne metode istraživanja.

U pojedinim dijelovima ovog udžbenika mogu se dobiti različita tumačenja nekih pojmova ili postupaka, na temelju različitih literaturnih izvora i metoda istraživanja. Iako se pokušalo racionalizirati neke od spomenutih nedosljednosti, zaključilo se kako i u postojećim tekstovima i radovima ima mnogo neriješenih pitanja pa ih zato ni ovaj udžbenik ne pokušava izbjeći.

Udžbenik „Geotehnička i geofizička terenska istraživanja“ pruža uvid u metode terenskih istraženih radova za tla i stijene koji se temelje na načelima mehanike tla i stijena. Teorijski (opisni) dijelovi knjige popraćeni su s mnogo autorskih slika i tablica, prikupljenih i izrađenih tijekom brojnih istraživanja na terenu te obrade i interpretacije dobivenih podataka.

Udžbenik je podijeljen na sedam poglavlja. Prvo poglavlje čini uvod u geotehničke terenske istražne radove, čija je svrha izrada inženjersko-geološkog profila koji se obično nalazi u sastavu geotehničkog elaborata. Prikazani su primjeri inženjersko-geoloških profila s interpretacijom, dobiveni terenskim istraživanjima na različitim lokacijama na području Republike Hrvatske. Također, ukratko su opisana osnovna načela i podjela eurokodova s naglaskom na Eurokod 7. Sva ispitivanja i projektiranja u geotehničkoj praksi na području Europske unije moraju biti u skladu s Eurokodom 7.

U drugom poglavlju predstavljaju se vrste istraživanja uz terensku identifikaciju tla i stijena. Terenska identifikacija je od velike važnosti za dobivanje početnog uvida u istraživano područje i određivanje lokacija izvođenja terenskih radova. Treće poglavlje odnosi se na osnove laboratorijskih ispitivanja bez kojih nije moguće kvalitetno i u potpunosti interpretirati podatke dobivene na terenu (određivanje granulometrijskog sastava tla, Atterbergovih granica, stišljivosti, posmične čvrstoće, propusnosti, zbijenosti i dr.). Navedene su klasifikacije tla koje se najviše koriste u Republici Hrvatskoj (USCS i ESCS) i klasifikacije stijena koje su u primjeni u geoinženjerstvu.

Poglavljja četiri, pet i šest čine glavni dio ovog udžbenika jer su upravo u tim poglavljima detaljno obrađeni terenski istražni radovi. U četvrtom poglavlju obrađene su metode i tehnologije istražnog bušenja, isplaćne crpke, jezgrovanje, uzorkovanje poremećenih i neporemećenih uzoraka i sl. *In situ* geotehnička istraživanja (CPT, DMT, SPT, DPL, DPH, PMT i dr.) kvalitetno su obrađena u petom poglavlju. Geofizička ispitivanja u 2D i 3D prikazu (ERT, RF, MASW, GPR i dr.) opisana su u šestom poglavlju. U navedenim poglavljima detaljno su opisani postupci različitih metoda istraživanja i dani su brojni primjeri rezultata ispitivanja na terenu te njihova interpretacija.

Sedmo poglavlje bavi se *in situ* ispitivanjima propusnosti u tlu. Takva ispitivanja izvode se na terenu (iz bušotina i piezometara), poput općenitih rješenja za procjenu hidrauličke vodljivosti u obliku pokusnog crpljenja (*recovery*, step i konstant test). U ovom se poglavlju obrađuju i tipovi vodonosnika, zdenci, mjerenje propusnosti metodom Lefranc, Lugeon te *slug*-testom i sl. Prije opisa postupaka izvođenja navedenih metoda dane su teorijske osnove vezane za karakteristike vodonosnika i hidrauličku vodljivost (propusnost), potrebne za razumijevanje navedenih terenskih metoda.

Recenzentima prof. dr. sc. Mehi-Saši Kovačeviću, prof. dr. sc. Sanji Kapelj, prof. dr. sc. Kreši Ivandiću i izv. prof. dr. sc. Hrvoju Meaškom, zahvaljujemo na vrijednim primjedbama i sugestijama kojima su pomogli u oblikovanju i obogaćivanju sadržaja ove knjige. Također, veliku zahvalu dugujemo Goranu Jeftiću, dipl. ing. geot., tehničkom voditelju Geotehničkog laboratorija i suradniku u nastavi iz kolegija Geotehnički praktikum I i II, na materijalima i obrascima vezanim za laboratorijska ispitivanja tla. Zasluge za tehničko oblikovanje knjige pripadaju kolegici Anji Bek, mag. ing. amb. Zahvaljujemo brojnim kolegama, prvenstveno prof. dr. sc. Josipu Mesecu i nasl. doc. dr. sc. Kostu Urumoviću, budući da su mnogi dijelovi različitih poglavlja proizašli iz njihovih sugestija, radnih rasprava i bogate terenske prakse.

Posebnu zahvalnost izražavamo i Geotehničkom fakultetu u Varaždinu Sveučilišta u Zagrebu, na kojemu smo uz studentske dane neki od nas proveli i velik dio radnog vijeka i gdje nam je uz podršku dekana dr. sc. Hrvoja Meaškog, izv. prof., omogućeno pisanje i tiskanje ove knjige.

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Eurokodovi; osvrt na Eurokod 7	7
1.1.1. Eurokod 7.....	8
1.2. Literatura.....	14
 2.VRSTE ISTRAŽIVANJA	15
2.1. Prethodna istraživanja	15
2.1.1. Identifikacija krupnozrnatih (nekoherentnih) tla na terenu.....	15
2.1.2. Identifikacija sitnozrnatih (koherentnih) tla na terenu	17
2.1.3. Identifikacija stijena na terenu.....	18
2.1.4. Mali mjerni instrumenti za identifikaciju tla i stijena na terenu	20
2.1.4.1. Džepni penetrometar.....	20
2.1.4.2. Laboratorijska krilna sonda	20
2.1.4.3. Geološki kompas	23
2.1.4.4. Schmidtov čekić	25
2.1.5. Deformabilnost i jednoosna tlačna čvrstoća stijena	28
2.2. Glavna (detaljna) istraživanja.....	32
2.3. Naknadna (kontrolna) istraživanja.....	32
2.4. Literatura.....	33
 3. FIZIKALNO-MEHANIČKA SVOJSTVA TLA I STIJENA.....	34
3.1. Postanak tla i trokomponentni sastav	34
3.2. Maseni i volumni odnosi u tlu	34
3.3. Granulometrijski sastav i Atterbergove granice tla.....	35
3.3.1. Granulometrijski sastav.....	35
3.3.2. Atterbergove granice.....	37
3.4. Klasifikacija tla	38
3.4.1. USCS klasifikacija (engl. <i>Unified Soil Classification System</i>).....	38
3.4.2. ESCS (engl. <i>European Soil Classification System</i>).....	41
3.4.2.1. Klasifikacija krupnozrnatog tla.....	41
3.4.2.2. Klasifikacija sitnozrnatog tla.....	42
3.5. Slijeganje i konsolidacija tla	43
3.5.1. Edometarski pokus i stišljivost tla.....	45
3.6. Posmična čvrstoća tla	48
3.6.1. Kohezija i kut unutrašnjeg trenja.....	49
3.6.2. Ispitivanje posmične čvrstoće tla.....	50
3.6.3. Primjena parametara čvrstoće kod analize stabilnosti kosine	51
3.7. Zbijanje tla.....	53
3.7.1. Proctorov pokus	54
3.8. Klasifikacija stijena.....	56
3.8.1. Svojstva intaktne stijenske mase	56

3.8.2. Geološka klasifikacija stijena	57
3.8.2.1. Magmatske stijene	57
3.8.2.2. Sedimentne stijene	58
3.8.2.3. Metamorfne stijene	60
3.8.3. RQD klasifikacija	60
3.8.4. RMR klasifikacija	61
3.8.5. Q klasifikacija	62
3.8.6. GSI sustav klasifikacije	63
3.9. Literatura	64
4. ISTRAŽNO BUŠENJE I ISTRAŽNE JAME	65
4.1. Bušenje	65
4.1.1. Ručno bušenje	68
4.1.2. Udarno bušenje	69
4.1.2.1. Udarno bušenje klapnicom	70
4.1.2.2. <i>Sludger</i> postupak	70
4.1.3. Rotacijsko bušenje	71
4.1.3.1. Bušenje spiralnim svrdlima	71
4.1.3.2. Bušenje s ispiranjem	72
4.1.3.3. Rotacijsko bušenje s jezgrovanjem	76
4.1.3.4. Bušenje bez jezgrovanja	79
4.2. Uzorkovanje	80
4.2.1. Kategorije uzorkovanja	80
4.2.2. Metode uzorkovanja	81
4.2.2.1. Uzimanje uzoraka iz istražnih jama	81
4.2.2.2. Uzorkovanje rotacijskim bušenjem s jezgrovanjem – suho i mokro	82
4.2.2.3. Uzorkovanje upotrebom uzorkivača	85
4.2.3. Analiza procesa uzorkovanja	87
4.2.4. Rukovanje, odlaganje, pohrana i prijevoz uzoraka	89
4.2.4.1. Materijali za očuvanje i spremnici za uzorke	89
4.2.5. Rukovanje uzorcima	90
4.2.6. Označavanje uzoraka	90
4.2.7. Prijevoz uzoraka	90
4.2.8. Odlaganje i pohrana uzoraka	92
4.3. Literatura	95
5. IN SITU ISPITIVANJA TLA	96
5.1. Statički konusni penetrometar – CPTu	96
5.1.1. Oprema za izvođenje pokusa	98
5.1.2. Mjerni parametri pri prodiranju CPT konusa	99
5.1.2.1. Otpor tla na vrhu šiljka	100
5.1.2.2. Trenje po plaštu	101
5.1.2.3. Pomi tlak pri prodiranju sonde	102

5.1.2.4. Ispitne klase CPT sondiranja	103
5.1.2.5. Korekcija otpora tankog sloja	104
5.1.2.6. Klasifikacija tla	105
5.1.3. Interpretacija rezultata statičkog testa.....	109
5.1.3.1. Određivanje karakteristične vrijednosti geotehničkih parametara	109
5.1.3.2. Proračunske vrijednosti geotehničkih parametara	111
5.1.3.3. Određivanje zapreminske težine.....	111
5.1.3.4. Određivanje brzine širenja posmičnih valova iz CPT pokusa.....	112
5.1.3.5. Postotak sitnih čestica (FC)	113
5.1.3.6. Određivanje nedrenirane posmične čvrstoće.....	113
5.1.3.7. Određivanje edometarskog modula tla.....	113
5.1.3.8. Ispitivanje smanjenja tlaka porne vode (pokus disipacije).....	114
5.1.3.9. Određivanje relativne zbijenosti krupnozrnatog tla.....	116
5.1.3.10. Određivanje efektivnog kuta trenja i dreniranog Youngovog modula iz qc	116
5.1.3.11. Određivanje likvefakcijskog potencijala tla.....	116
5.1.4. Izravne metode određivanja nosivosti i slijeganja	118
5.1.4.1. Analiza nosivosti pilota LCPC	119
5.1.5. Metodologija obrade i prezentacija CPTu podataka.....	121
5.1.5.1. Izrada litološkog modela	122
5.1.6. Vrste i primjena CPT sondi	124
5.2. Ispitivanje plosnatim dilatometrom – DMT	129
5.2.1. Oprema za ispitivanje	130
5.2.2. Postupak ispitivanja	132
5.2.3. Mjerni parametri	135
5.2.3.1. Klasifikacija tla	136
5.2.3.2. Koeficijent bočnog mirnog tlaka tla	136
5.2.3.3. Koeficijent prekonsolidacije.....	137
5.2.3.4. Određivanje nedrenirane posmične čvrstoće.....	137
5.2.3.5. Modul stišljivosti	137
5.2.3.6. Disipacijski pokus.....	138
5.2.3.7. Indeks horizontalnog naprezanja kao indikator klizanja tla	139
5.2.3.8. Određivanje otpora cikličnom naprezanju CRR	140
5.2.4. Seizmički dilatometar SDMT	141
5.2.5. Prikaz rezultata DMT ispitivanja.....	141
5.3. Standardni penetracijski pokus (SPT).....	142
5.3.1. Oprema za ispitivanje	143
5.3.2. Postupak izvođenja SPT ispitivanja	145
5.3.3. Interpretacija rezultata standardnog penetracijskog pokusa	146
5.3.4. Korekcije SPT ispitivanja.....	147
5.3.4.1. Korekcija za omjer prijenosa energije udarnog sklopa.....	147
5.3.4.2. Korekcija za duljinu niza šipki	148
5.3.4.3. Korekcija zbog vertikalnog naprezanja od nadsloja tla	149
5.3.4.4. Korekcija za promjer bušotine	150

5.3.4.5. Korekcija zbog podzemne vode u pijescima.....	150
5.3.4.6. Korekcija za upotrebu šiljka	150
5.3.5. Rezultati ispitivanja.....	150
5.3.5.1. Izvještavanje o rezultatima	150
5.3.5.2. Određivanje stupnja zbijenosti	151
5.3.5.3. Određivanje čvrstoće sitnozrnog tla iz N broja.....	153
5.3.5.4. Određivanje deformacijskih svojstava tla iz N broja.....	154
5.3.5.5. Određivanje dopuštenog naprezanja na tlo	155
5.3.5.6. Određivanje kuta unutrašnjeg trenja u pijescima	156
5.3.5.7. Određivanje brzine posmičnih valova iz SPT pokusa	156
5.3.5.8. Napomene uz interpretaciju rezultata standardne penetracije	156
5.4. Ispitivanje dinamičkim prodiranjem (DP).....	157
5.4.1. Oprema za ispitivanje	158
5.4.2. Postupak izvođenja DP ispitivanja	158
5.4.3. Interpretacija rezultata dinamičke penetracije.....	160
5.4.4. Korekcije kod DP ispitivanja	160
5.4.5. Određivanje dinamičkog otpora prodiranju šiljka	161
5.4.5.1. Korelacija dinamičkog otpora prodiranja R_d sa standardnom penetracijom SPT	164
5.4.5.2. Nedrenirana posmična čvrstoća iz dinamičkog ispitivanja	164
5.4.5.3. Indeks zbijenosti	164
5.4.5.4. Korelacija dinamičkog otpora prodiranja R_d sa statičkim konusnim penetrometrom	164
5.4.6. Prikaz rezultata DP ispitivanja	164
5.4.6.1. Napomene uz upotrebu dinamičke penetracije.....	165
5.5. Dinamičko penetracijsko ispitivanje u bušotini.....	165
5.5.1. Oprema za ispitivanje	166
5.5.2. Korekcije.....	166
5.5.3. Interpretacija rezultata bušotinske dinamičke penetracije.....	166
5.6. Presiometarsko ispitivanje (PMT)	166
5.6.1. Priprema bušotine.....	167
5.6.2. Presiometarsko ispitivanje Ménardovim postupkom (MPMT)	167
5.6.3. Ostale vrste presiometra.....	171
5.6.4. Kontrola kvalitete rezultata presiometarskog ispitivanja	172
5.7. Ispitivanje terenskom krilnom sondom (FVT).....	172
5.7.1. Oprema za ispitivanje	173
5.7.2. Postupak ispitivanja	175
5.7.3. Ispitne konfiguracije	176
5.7.4. Mjerni parametri.....	176
5.7.5. Proračuni i korelacije	177
5.7.6. Korekcije.....	178
5.7.7. Rezultati ispitivanja i interpretacija.....	179
5.8. Probno opterećenje	180
5.8.1. Ispitivanje metodom kružne ploče (statički modul deformacije)	180
5.8.1.1. Određivanje modula stižljivosti (prema HRN U.B1.046)	181

5.8.1.2. Modul stišljivosti (prema DIN 18134)	185
5.8.1.3. Statički modul deformacije	185
5.8.2. Ispitivanje metodom kružne ploče	186
5.8.2.1. Dinamički modul deformacije	188
5.8.3. Mjerenja kružnom pločom (zapisnik).....	188
5.8.4. Modul reakcije tla	189
5.8.5. Korelacija podataka između dinamičke i statičke ploče	190
5.8.5.1. Međunarodne korelacijske formule	191
5.9. Ispitivanje gustoće i obujamske težine na terenu.....	192
5.9.1. Metoda s cilindrom poznatog obujma	192
5.9.2. Metoda pomoću kalibriranog pijeska.....	192
5.9.3. Metoda potapanja uzorka u vodu.....	193
5.9.4. Metoda potapanja uzorka u živu	194
5.9.5. Metoda pomoću gumene membrane	194
5.9.6. Metoda pomoću vode ili ulja u plastičnom omotu.....	195
5.10. Literatura.....	196
6. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA.....	200
6.1. Geoelektrične metode	202
6.1.1. Elektrodni mjerni rasporedi	204
6.1.2. Geoelektrično sondiranje	206
6.1.3. Geoelektrično profiliranje	208
6.1.4. Geoelektrična tomografija	208
6.1.4.1. Primjeri praktične primjene geoelektrične tomografije.....	209
6.1.5. Ostale geoelektrične metode	215
6.1.6. Utjecaj vode na otpornost tla i stijena	215
6.2. Elektromagnetske metode	216
6.3. Seizmičke metode.....	216
6.3.1. Vrste seizmičkih valova.....	216
6.3.2. Seizmička refrakcija	217
6.3.3. Posmični valovi u istraživanju geomedija.....	227
6.3.4. Površinski valovi kao baza za SASW i MASW metode istraživanja	230
6.3.4.1. SASW metoda	230
6.3.4.2. MASW metoda.....	231
6.3.4.3. Disperzijska analiza	234
6.3.4.4. Primjeri rezultata mjerenja SASW i MASW metodom u kombinaciji s drugim geofizičkim metodama	235
6.3.5. Seizmičke metode mjerenja u bušotinama.....	239
6.3.6. Određivanje dinamičkih konstanti na temelju seizmičkih istraživanja.....	241
6.3.7. Određivanje stišljivosti i deformacijskih parametara iz brzine posmičnih valova.....	242
6.4. Georadar (GPR – Ground Penetrating Radar).....	245
6.4.1. Dijelovi georadara i princip mjerenja	246
6.4.2. Postupak mjerenja i prikaz rezultata	247
6.4.3. Svojstva i interpretacija	249

6.4.4. Praktični primjeri primjene georadara	255
6.5. Mjerenje brzine oscilacija tla izazvanih miniranjem	259
6.5.1. Seizmički valovi kod miniranja i njihova svojstva	259
6.5.2. Kriteriji za ocjenu seizmičke opasnosti pri miniranju	262
6.5.3. Određivanje koeficijenata K i n	268
6.5.4. Mjerenje brzine oscilacija tla	269
6.5.5. Određivanje radijusa ugrožene zone pri miniranju	274
6.5.6. Mjerenje udaljenosti od mjesta opažanja do mjesta miniranja	277
6.5.7. Mjerenje seizmičkih efekata miniranja na lokaciji kamenoloma „Špica“ u mjestu Ljubešćica	277
6.5.8. Mjerenje seizmičkih efekata miniranja na lokaciji gradilišta nove zgrade bolnice u Rijeci (KBC)	281
6.5.9. Interpretacija rezultata mjerenja seizmičkih efekata prema švicarskom standardu	284
6.6. Zračni udar	287
6.6.1. Psihofizička reakcija	290
6.6.2. Priroda oštećenja objekata izazvanih miniranjem	290
6.6.3. Poznate metode i tehnike reduciranja vibracija tla	291
6.7. Literatura	292
7. ISTRAŽIVANJE PODZEMNE VODE	294
7.1. Hidrološki ciklus	295
7.1.1. Tipovi vodonosnika	297
7.1.1.1. Otvoreni vodonosnici	297
7.1.1.2. Poluotvoreni vodonosnici	297
7.1.1.3. Poluzatvoreni vodonosnici	297
7.1.1.4. Zatvoreni vodonosnici	298
7.1.2. Fizikalni parametri vodonosnika	299
7.1.2.1. Poroznost tla i stijena	300
7.1.2.2. Hidraulička vodljivost	302
7.2. Zdenci	304
7.3. Mjerenje razine podzemne vode	307
7.4. Mjerenje hidrauličke vodljivosti	309
7.4.1. Metoda Lefranc	312
7.4.1.1. Izvedba i brtvljenje etaže bušotine iznad podzemne vode	312
7.4.1.2. Izvedba i brtvljenje etaže bušotine ispod razine podzemne vode	313
7.4.1.3. Provedba pokusa u bušotini bez podzemne vode	313
7.4.1.4. Provedba pokusa u bušotini s podzemnom vodom	313
7.4.1.5. Obrazac za upisivanje rezultata ispitivanja hidrauličke vodljivosti (propusnosti)	314
7.4.2. Metoda Lugeon	316
7.4.2.1. Postavljanje pakera i kontrola pribora	316
7.4.2.2. Postupak mjerenja hidrauličke vodljivosti	318
7.5. Provođenje pokusnog crpljenja	318
7.5.1. Osnovne pretpostavke kod pokusnog crpljenja	325
7.5.1.1. Primjer pokusnog crpljenja zdenca za sustav dizalice topline voda – voda (LPT – Prelog)	325
7.5.1.2. Kratak opis korištenih senzora	334

7.5.2. <i>Slug</i> -test.....	335
7.5.2.1. <i>Slug</i> -test metodom Hvorsleva u tlu niske hidrauličke vodljivosti	336
7.5.2.2. Ispitivanja <i>slug</i> -testom u tlu visoke hidrauličke vodljivosti na primjeru crpilišta u Varaždinu	338
7.5.2.3. Princip primjene Buttlera i Garnett metode	339
7.5.2.4. Općeniti pregled postupka analize	341
7.5.2.5. Aplikacija proračuna u MS Excelu.....	342
7.6. Literatura.....	347