

MATO G. ULJAREVIĆ

MEHANIKA TLA

od teorije do prakse

AGM knjiga

Beograd, 2019

MEHANIKA TLA, od teorije do prakse

Prof. dr Mato Uljarević, dipl. ing. građ.

Recenzenti:

Prof. dr Zvonko Tomanović, dipl. ing. građ.

Prof. dr Sabid Zekan, dipl. ing. građ.

Izdavač:

AGM knjiga doo Beograd-Zemun

Tel. +381 11 2618 554; +381 65 8470 725

www.agmknjiga.co.rs; email: agmknjiga@gmail.com

Za izdavača:

Slavica Sarić Ahmić, direktor i glavni urednik

Lektor:

Jovanka Borić, profesor

Tehnička obrada i dizajn:

Marko Kačar, dipl. ing. građ.

Tiraž: **300**

Štampa: **Donat graf, Beograd**

ISBN: **978-86-6048-001-1**

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

624.131(075.8)

УЉАРЕВИЋ, Мато, 1961-

Mehanika tla : od teorije do prakse / Mato Uljarević. - Beograd : AGM knjiga, 2019 (Beograd : Donat graf). - 840 str. : ilustr. ; 25 cm

Tiraž 300. - Bibliografija: str. 826-840. - Registar.

ISBN 978-86-6048-001-1

a) Механика тла

COBISS.SR-ID 272968972

SVA PRAVA ZADRŽAVA AUTOR I IZDAVAČ. Nijedan deo knjige ne sme se reprodukovati, fotokopirati ili prenositi u bilo kojoj formi: elektronski, mehanički, fotografski ili na drugi način, bez prethodne pismene saglasnosti autora i izdavača.

PREDGOVOR

Ova knjiga, prvenstveno je namjenjena studentima tehničkih fakulteta na kojima se izučava geotehnička problematika. Knjiga je nastala sa ciljem da na logičan način objasni problematiku od teoretskih principa do prakse. Obimom je sveobuhvatna u zadovoljavanju zahtjeva studenata na dodiplomskim studijama. U knjizi se nalazi 12 poglavlja.

Prvo poglavlje opisuje istorijsku pozadinu, dok drugo opisuje procese nastajanja tla, sa mineraloškim sastavom. U trećem poglavlju opisuju se faze u tlu sa međuzavisnostima, indeksni pokazatelji tla, kao i klasifikacija tla. Četvrto i peto poglavlje opisuju problematiku vezanu za postojanje vode u tlu i njenim uticajem na naponska stanja tla. Povećanje napona u masi tla uslijed opterećenja nanešenih na površini opisano je u šestom poglavlju, sa metodama njihovog određivanja. Deformacione karakteristike tla, načini njihovog određivanja, sa postupcima proračuna slijeganja tla, obrađeno je u poglavlju sedam. Osmo poglavlje opisuje čvrstoću tla, kao i postupke određivanja parametara smičuće čvrstoće tla. Prvih osam poglavlja obezbjeđuje neophodne alate za računanje kompresibilnosti i karakterističnih čvrstoća tla. Deveto poglavlje bavi se metodama za dobijanje uzoraka tla na terenu, za laboratorijska ispitivanja, kao i određivanjem parametara tla direktno korišćenjem terenskih testova. Problematika uticaja pritiska tla na potporne konstrukcije opisana je u desetom poglavlju. Jedanaesto poglavlje opisuje metode definisanja nosivosti tla u različitim uslovima. Stabilnost kosina bilo prirodnih ili onih formiranih ljudskom djelatnošću, opisuje dvanaesto poglavlje.

Poglavlja u ovoj knjizi uređena su na logičan način za razvoj predmetne materije. Svako poglavlje započinje uvodom na datu temu, razvija teoriju i objašnjava njegovu primjenu u praktičnim problemima. U poglavljljima je dovoljan broj primjera, kako bi se pomoglo studentima u shvatanju značaja teorija. Poglavlja su ažurirana prema inženjerskim standardima. Informacije date u knjizi su sveobuhvatne, racionalne i relevantne prema zahtjevima dodiplomskog studija. Knjiga će svakako poslužiti kao osnovni kurs diplomiranim studentima, a biće korisna kao referentna knjiga projektantima i izvođačima radova iz oblasti geotehničkog inženjerstva. Zahvaljujem se recenzentima prof. dr Zvonku Tomanoviću i prof. dr Sabidu Zekanu na uloženom trudu i datim sugestijama.

Autor

SADRŽAJ

1. UVOD U MEHANIKU TLA	21
2. POSTANAK TLA	28
2.1. KLASIFIKACIJA STIJENA.....	28
2.1.1. Magmatske ili eruptivne stijene.....	29
2.1.2. Sedimentne stijene	29
2.1.3. Metamorfne stijene	34
2.1.4. Minerali stijena	35
2.2. FORMIRANJE TLA	36
2.2.1. Mehanički faktori.....	36
2.2.2. Hemijski faktori	37
2.3. OPŠTI TIPOVI TLA	37
2.3.1. Rezidualna i transportovana tla	37
2.3.2. Organska i neorganska tla.....	38
2.3.3. Nazivi nekih tala koji se obično koriste u praksi.....	38
2.4. VELIČINA I OBLIK ČESTICA TLA	39
2.4.1. Specifična površina.....	40
2.5. SASTAV GLINENIH MINERALA	41
2.6. STRUKTURA GLINENIH MINERALA.....	42
2.6.1. Formiranje minerala.....	43
2.6.2. Kaolinit mineral	43
2.6.3. Halosit mineral.....	44
2.6.4. Montmorilonit mineral.....	45
2.6.5. Ilit mineral	45
2.7. ODNOSI “ČESTICE GLINE – VODA”.....	46
2.7.1. Adsorbovana voda	47
2.7.2. Base Exchange.....	49
2.8. STRUKTURA TLA	50

3. ODNOSI FAZA U TLU, INDEKSNI POKAZATELJI SVOJSTAVA I KLASIFIKACIJA	52
3.1. ODNOSI FAZA U TLU	52
3.1.1. Odnos mase prema zapremini tla.....	52
3.1.2. Zapreminska težina tla	52
3.2. ODNOS MASA – ZAPREMINA	53
3.2.1. Zapreminski pokazatelji.....	53
3.2.2. Odnosi sa masenim veličinama	54
3.2.3. Međusobni odnosi različitih parametara.....	55
3.2.4. Odnos između gustine ρ i drugih parametara.....	56
3.2.5. Relativna gustina (Relative Density)	57
3.3. ODNOS TEŽINA – ZAPREMINA	58
3.4. INDEKSNI POKAZATELJI TLA	69
3.5. OBLIK I VELIČINA ČESTICA	69
3.6. METODA (ANALIZA) PROSIJAVANJA.....	70
3.7. METODA HIDROMETRA	73
3.7.1. Stokesov zakon	73
3.7.2. Pretpostavke Stokesovog zakona i njegova primjenljivost	76
3.7.3. Analiza hidrometra	76
3.7.4. Određivanje procenta sitnijih čestica (procenta prolaza kroz sito).....	79
3.7.5. Procentat prolaza (procentat finijih čestica)	81
3.7.6. Procedura testiranja	82
3.8. GRANULOMETRIJSKE KRIVE.....	82
3.9. RELATIVNA GUSTINA NEKOHEZIVNOG TLA	85
3.10. KONZISTENCIJA GLINENOG TLA.....	86
3.10.1. Atterbergove granice	86
3.11. ODREĐIVANJE ATTERBERGOVIH GRANICA	89
3.11.1. Granica tečenja w_1	89

3.11.2. Granica tečenja definisana om jedne tačke.....	91
3.11.3. Granica tečenja određena upotrebom padajućeg konusnog penetrometra	91
3.11.4. Granica plastičnosti w_p	92
3.11.5. Granica skupljanja w_s	92
3.12. DISKUSIJA O GRANICAMA I POKAZATELJI	94
3.12.1. Indeks plastičnosti I_p	96
3.12.2. Indeks žilavosti I_t	96
3.12.3. Indeks tečenja I_l	97
3.12.4. Indeks konzistencije I_c	98
3.12.5. Efekat sušenja na plastičnost	98
3.12.6. Skupljanje i bubrenje tla S_r	98
3.12.7. Koeficijent skupljanja S_R	99
3.12.8. Zapreminsko skupljanje S_v	100
3.12.9. Aktivnost glina.....	100
3.12.10. Konzistencija tla definisana na osnovu jednoaksijalne čvrstoće	101
3.12.11. Tiksotropija.....	102
3.13. PLASTIČNOST	103
3.14. OPŠTA RAZMATRANJA ZA KLASIFIKACIJE TLA	115
3.14.1. Terenska identifikacija tla.....	116
3.14.2. Klasifikacija tla.....	118
3.14.3. AASHTO klasifikacioni sistem tla	119
3.14.4. Jedinstveni klasifikacioni sistem tla (USCS) (Unified Soil Classification System)	121
3.15. KLASIFIKACIJA TLA VEZANO ZA POJAVU LEDA.....	126
4. VODA U TLU	127
4.1. PROPUSNOST TLA.....	127
4.1.1. Hidraulički gradijent.....	127

4.1.2. Laminarni i turbulentni protok.....	128
4.2. DARCYJEV ZAKON	130
4.3. BRZINE TOKA I PROCJEĐIVANJA	131
4.4. METODE ODREĐIVANJA HIDRAULIČKE PROVODLJIVOSTI TLA	132
4.5. TEST VODOPROPUSNOSTI SA KONSTANTNIM PRITISKOM.....	133
4.6. TEST VODOPROPUSNOSTI SA PADAJUĆIM PRITISKOM	134
4.7. DIREKTNO ODREĐIVANJE VODOPROPUSNOSTI TLA NA TERENU TESTOM PUMPANJA.....	140
4.7.1. Jednačina za k u slučajevima neograničenog vodonosnika (akvafera)	141
4.7.2. Jednačina za k u slučaju ograničenog vodonosnika (akvafera)	143
4.8. BUŠOTINSKI TESTOVI VODOPROPUSNOSTI	145
4.8.1. Metoda padajućeg nivoa vode (uzrokovanog tokom preko dna bušotine)	145
4.8.2. Metoda rastućeg nivoa vode (uzrokovanog tokom preko dna bušotine)	145
4.9. PRIBLIŽNE VRIJEDNOSTI HIDRAULIČKE PROVODLJIVOSTI TLA	146
4.10. HIDRAULIČKA PROVODLJIVOST USLOJENOG TLA	147
4.10.1. Proticaj u horizontalnom pravcu	147
4.10.2. Proticaj u vertikalnom pravcu.....	148
4.11. EMPIRIJSKE KORELACIJE ZA HIDRAULIČKU PROVODLJIVOST	149
4.11.1. Granularna tla	149
4.11.2. Hidraulička provodljivost kao funkcija koeficijenta pora za granularna tla	149
4.11.3. Najbolja vrijednost x za grubozrnasto tlo.....	151
4.11.4. Sitnozrnasta tla.....	151
4.12. HIDRAULIČKA PROVODLJIVOST STIJENA (METODA LUGEONA ili PAKER METODA).....	160

4.12.1. Opis postupaka.....	160
4.13. PROCJEĐIVANJE (FILTRACIJA).....	162
4.14. LAPLACEOVE JEDNAČINE.....	163
4.14.1. Anizotropna tla	165
4.15. KONSTRUKCIJA MREŽE TOKA	166
4.15.1. Svojstva mreže toka.....	166
4.15.2. Granični uslovi.....	166
4.15.3. Konstruisanje mreže toka	167
4.15.4. Grafička metoda.....	169
4.16. ODREĐIVANJE KOLIČINE PROCJEĐIVANJA	171
4.16.1. Mreža toka u anizotropnom tlu.....	172
4.17. PRITISAK FILTRACIJE	173
4.18. UZGONSKI PRITISAK.....	174
4.19. FILTRACIJA KROZ HOMOGENU NASUTU BRANU	180
4.20. MREŽA TOKA SAČINJENA OD KONJUGOVANIH I KONFOKALNIH PARABOLA	181
4.20.1. Gubitak procjeđivanjem kroz branu	183
4.21. PROCJEĐIVANJE KROZ HOMOGENE I IZOTROPNE NASUTE BRANE	184
4.21.1. Tipovi ulaznih i izlaznih linija toka.....	184
4.21.2. Postupak lociranja linije procjeđivanja.....	185
4.21.3. Analitička rješenja za određivanje a i q	187
4.22. KLJUČANJE TLA	187
4.22.1. Faktor sigurnosti protiv ključanja tla.....	188
4.22.2. Filterska pravila za kontrolu ključanja tla	189
5. EFEKTIVNI NAPONI I PORN I PRITISCI.....	196
5.1. NAPONI U USLOVIMA KADA NEMA TEČENJA KROZ ZASIĆENO TLO	198

5.2. NAPONI U USLOVIMA TEČENJA OD VRHA PREMA DNU KROZ ZASIĆENO TLO	199
5.3. NAPONI U USLOVIMA TEČENJA OD DNA PREMA VRHU KROZ ZASIĆENO TLO	201
5.4. EFEKTIVNI NAPONI UZROKOVANI KAPILARNIM PODIZANJEM VODE U TLU	203
5.4.1. Podizanje vode u kapilarnoj cijevi.....	204
5.4.2. Površinsko zatezanje.....	205
5.4.3. Pritisaci u vodi ispod meniska.....	206
5.4.4. Kapilarno podizanje vode u tlu.....	208
5.4.5. Kapilarni sifon	209
5.4.6. Kapilarni pritisak u tlu	209
5.4.7. Naponska stanja u tlu uzrokovana površinskim zatežućim silama.....	210
6. RASPODJELA NAPONA U TLU OD OPTEREĆENJA NA POVRŠINI TERENA.....	231
6.1. BOUSSINESQUOVA FORMULA ZA KONCENTRIČNO OPTEREĆENJE.....	232
6.2. WESTERGAARDOVA FORMULA ZA KONCENTRIČNO OPTEREĆENJE.....	233
6.3. LINIJSKO OPTEREĆENJE NA POVRŠINI.....	239
6.4. TRAKASTO OPTEREĆENJE NA POVRŠINI	240
6.5. NAPONI ISPOD UGLA PRAVOUGAONOG TEMELJA.....	243
6.5.1. Slučaj 1: Tačka je unutar opterećene površine	245
6.5.2. Slučaj 2: Tačka je van opterećene površine.....	246
6.6. NAPON ISPOD RAVNOMJERNO OPTEREĆENOG KRUŽNOG TEMELJA	249
6.6.1. Napon duž simetralne ose.....	249
6.7. VERTIKALNI NAPONI ISPOD OPTEREĆENE POVRŠINE NEPRAVILNOG OBLIKA	253
6.7.1. Newmarkovi dijagrami uticaja	253

6.8. OPTEREĆENJE NASIPIMA.....	258
6.8.1. Linearno povećavanje vertikalnog opterećenja	258
6.8.2. Vertikalni naponi pod opterećenjem od nasipa	260
6.9. PRIBLIŽNE METODE ZA RAČUNANJE VERTIKALNOG NAPONA σ_z	264
6.9.1. Metoda tačkastog opterećenja.....	264
6.9.2. Metoda 2:1	265
6.10. IZOBARE PRITISKA.....	266
6.10.1. Dubina od značaja.....	267
6.10.2. Izobare pritiska za temelje	268
7. KOMPRESIBILNOST, KONSOLIDACIJA, SLIJEGANJE.....	272
7.1. KONSOLIDACIJA	274
7.1.1. Proces konsolidacije	275
7.1.2. Jednodimenzionalna konsolidacija	276
7.2. KONSOLIDOMETAR.....	278
7.3. STANDARDNI TEST JEDNODIMENZIONALNE KONSOLIDACIJE	280
7.4. KRIVE: KOEFICIJENT PORA-PRITISAK	281
7.4.1. Metoda promjene koeficijenta pora	282
7.4.2. Krive „koeficijent pora-pritisak” za pijesak	284
7.4.3. Krive „koeficijent pora-pritisak” za glinu	284
7.4.4. Normalno konsolidovana i prekonsolidovana glina	285
7.5. ODREĐIVANJE PRITISKA PREKONSOLIDACIJE.....	286
7.5.1. Terenska metoda.....	287
7.5.2. Grafički postupak.....	287
7.6. PRIRODNE KRIVE “e – log p” ZA NORMALNO KONSOLIDOVANE I PREKONSOLIDOVANE GLINE, MALE DO SREDNJE OSJETLJIVOSTI	288
7.6.1. Gline visoke osjetljivosti	288
7.7. RAČUNANJE KONSOLIDACIONOG SLIJEGANJA	289

7.7.1. Jednačine slijeganja za normalno konsolidovane gline	289
7.7.2. Računanje slijeganja korištenjem parametara “e – log p” krivih	291
7.7.3. Računanje slijeganja korištenjem parametara “e-p” krivih	291
7.7.4. Računanje slijeganja korištenjem parametara “e-log p” krive za prekonsolidovana glinena tla	292
7.7.5. Računanje slijeganja ako je: $p_0 + \Delta p \leq p_c$ [slika 7.9b].....	293
7.7.6. Računanje slijeganja ako je: $p_0 < p_c < p_0 + \Delta p$	293
7.7.7. Empirijski izrazi za Indeks kompresije “Cc”.....	294
7.8. SLIJEGANJE KOJE PRIPADA SEKUNDARNOJ KOMPRESIJI	295
7.9. TERZAGHIJEVA TEORIJA JEDNODIMENZIONALNE KONSOLIDACIJE.....	308
7.9.1. Diferencijalna jednačina za jednodimenzionalni tok.....	309
7.9.2. Matematičko rješenje jednačine jednodimenzionalne konsolidacije...	312
7.9.3. Uticaj graničnih uslova na konsolidaciju.....	317
7.10. DEFINISANJE KOEFICIJENTA KONSOLIDACIJE.....	317
7.10.1. Metoda logaritamskog prikazivanja vremena (Casagrande)	317
7.10.2. Metoda kvadratnog korijena u prikazivanju vremena (Taylor).....	319
7.11. VELIČINA SLIJEGANJA OD KONSOLIDACIJE	320
7.11.1. Korekcija krive slijegnja pri postepenom nanošenju opterećenja	321
7.12. PROBLEM DVO- I TRODIMENZIONALNE KONSOLIDACIJE	330
7.13. SLIJEGANJE POVRŠINE ELASTIČNOG POLUPROSTORA	338
7.14. KOMPONENTE SLIJEGANJA REALNOG TLA	341
7.14.1. Metoda Skempton i Bjeruma	348
7.14.2. Slijeganje temelja na pijesku	352
7.14.3. Sekundarna kompresija.....	360
7.14.4. Dozvoljena slijeganja.....	361
7.15. MODELI TLA.....	363
7.15.1. Veza naprezanja i deformacije.....	364

7.15.2. Modeli tla pri statičkim uslovima ispitivanja	364
7.15.3. Elastični modeli	366
7.15.4. Koncept teorije plastičnosti	370
7.15.5. Elasto-plastični modeli	373
8. SMIČUĆA ČVRSTOĆA TLA	380
8.1. OSNOVNI KONCEPT SMIČUĆE OTPORNOSTI I SMIČUĆE ČVRSTOĆE	380
8.2. JEDNAČINA COULOMBA.....	381
8.3. METODE ODREĐIVANJA PARAMETARA SMIČUĆE ČVRSTOĆE.	383
8.3.1. Smičući parametri tla na terenu	383
8.4. OPREMA ZA TEST SMICANJA	384
8.4.1. Test direktnog smicanja	384
8.4.2. Postupak za određivanje smičuće čvrstoće tla.....	385
8.4.3. Test triaksijalne kompresije.....	386
8.4.4. Prednosti i nedostaci direktnih i troosnih testova	386
8.4.5. Prednosti testova direktnog smicanja	387
8.5. NAPONSKO STANJE TAČKE TLA.....	389
8.5.1. Dvodimenzionalan prikaz postojećih glavnih ravni	390
8.6. STANJE NAPONA U TLU TOKOM TESTA TRIAKSIJALNE KOMPRESIJE.....	392
8.7. ODNOS IZMEĐU GLAVNIH NAPONA I KOHEZIJE C	393
8.8. MOHROV KRUG NAPONA	395
8.9. MOHROV KRUG NAPONA KADA JE PRIZMATIČAN ELEMENAT PODVRGNET NORMALNIM I SMIČUĆIM NAPONIMA	396
8.9.1. Određivanje normalnih i smičućih naprezanja na ravni AA [Sl. 8.8a]	397
8.9.2. Ravnine maksimalnih i minimalnih glavnih napona (glavne ravnine)	397
8.10. MOHROV KRUG NAPONA ZA CILINDRIČNI UZORAK U TESTU TRIAKSIJALNE KOMPRESIJE.....	398
8.11. MOHR-COULOMBOVA TEORIJA LOMA	400

8.12. MOHROV DIJAGRAM ZA TEST TRIAKSIJALNE KOMPRESIJE PRI LOMU	402
8.13. MOHROV DIJAGRAM ZA TEST DIREKTOG SMICANJA PRI LOMU	404
8.14. ČVRSTOĆA TLA ZA EFEKTIVNE NAPONE	409
8.15. JEDNAČINE SMIČUĆE ČVRSTOĆE U FUNKCIJI EFEKTIVNIH GLAVNIH NAPONA	410
8.16. KONTROLISANI NAPONI I KONTROLISANE DEFORMACIJE U TESTOVIMA.....	411
8.17. TIPOVI LABORATORIJSKIH TESTOVA	412
8.17.1. Oprema za smicanje za različite vrste ispitivanja.....	414
8.18. TEST SMIČUĆE ČVRSTOĆE NA PIJESKU	415
8.18.1. Test direktnog smicanja	415
8.18.2. Test triaksijalne kompresije.....	418
8.18.3. Drenirani ili spori testovi	419
8.19. NEKONSOLIDOVANO-NEDRENIRANI TEST.....	425
8.19.1. Zasićena glina	425
8.19.2. Efektivni naponi.....	425
8.19.3. Djelimično zasićena glina.....	426
8.19.4. Čvrstoća tla za efektivne napone	427
8.20. TEST JEDNOAKSIJALNE KOMPRESIJE.....	428
8.21. KONSOLIDOVANO-NEDRENIRANI TEST NA ZASIĆENOJ GLINI.....	439
8.21.1. Normalno konsolidovana glina.....	439
8.21.2. Prekonsolidovana glina.....	441
8.22. TEST KONSOLIDOVANO-DRENIRANE SMIČUĆE ČVRSTOĆE ...	441
8.23. PARAMETRI PORNOG PRITISKA PRI NEDRENIRANOM OPTEREĆENJU	443
8.23.1. Parametri pornog pritiska u uslovima triaksijalnih ispitivanja.....	444
8.24. SMIČUĆI TEST KRILNOM SONDOM.....	446

8.24.1. Opis krilne sonde	446
8.24.2. Određivanje kohezije ili smičuće čvrstoće tla	447
8.25. OSTALE METODE ZA ODREĐIVANJE NEDRENIRANE SMIČUĆE ČVRSTOĆE KOHEZIVNOG TLA.....	450
8.25.1. Torvane uređaj	451
8.25.2. Džepni penetrometar.....	452
8.26. ODNOS IZMEĐU NEDRENIRANE SMIČUĆE ČVRSTOĆE I EFEKTIVNOG NAPONA PREKONSOLIDACIJE	452
8.26.1. Odnos c_u/p' izražen u funkciji koeficijenta prekonsolidacije p'/p_0' .	454
8.27. NELINEARNI KRITERIJUMI LOMA TLA	462
8.27.1. Nelinearna anvelopa hiperboličkog tipa	463
8.27.2. Značenje parametara hiperboličkog kriterija loma	468
8.27.3. Primjeri nelinearnih anvelopa hiperboličnog tipa.....	470
8.28. OPŠTI KOMENTARI.....	475
9. TERENSKA ISTRAŽIVANJA TLA	476
9.1. GEOMEHANIČKA TERENSKA ISTRAŽIVANJA (RAZARAJUĆE METODE).....	476
9.1.1. Sondažne jame i raskopi	478
9.1.2. Istražni bunari i galerije	480
9.1.3. Istražno bušenje	480
9.2. UZORKOVANJE TLA.....	490
9.3. TERENSKI OPITI TOKOM BUŠENJA I NEZAVISNI OD BUŠENJA .	499
9.3.1. Dinamička penetracija, standardni penetracioni opit (SPT).....	500
9.3.2. Statička penetracija bez mjerenja pornog pritiska (CPT) i sa mjerenjem pornog pritiska (CPTU)	510
9.3.3. Presiometar (PMT)	523
9.3.4. Test pljosnatim dilatometrom (DMT)	531
9.3.5. Opit krilnom sondom (FVT).....	533
9.3.6. Opit probnom pločom (PLT)	534

9.3.7. Dinamički testovi (DT).....	541
9.4. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA.....	541
9.4.1. Geoelektrična mjerenja.....	542
9.4.2. Geoseizmička mjerenja.....	544
9.5. PLANIRANJE ISTRAŽIVANJA TLA.....	556
9.5.1. Dubine i broj bušotina	557
9.6. IZVRŠENJE PROGRAMA ISPITIVANJA TLA.....	559
9.6.1. Raspoređivanje osoblja i opreme.....	560
9.6.2. Dnevnici bušenja	560
9.6.3. In situ testovi.....	561
9.6.4. Laboratorijsko ispitivanje	561
9.6.5. Grafikoni i dijagrami	561
9.7. IZVJEŠTAJ	561
10. BOČNI PRITISCI TLA	563
10.1. TEORIJA BOČNOG PRITISKA TLA	565
10.2. BOČNI PRITISCI TLA U USLOVIMA MIROVANJA	566
10.3. RANKINEOVA STANJA PLASTIČNE RAVNOTEŽE ZA NEKOHEZIVNA TLA	570
10.3.1. Mohrovi krugovi napona za aktivna i pasivna stanja ravnoteže u granularnim tlima.....	572
10.3.2. Aktivno stanje napona	573
10.3.3. Pasivno stanje napona.....	573
10.4. PRITISAK NA VERTIKALNI GLATKI ZID, PREMA RANKINEU, OD NEKOHEZIVNOG NASUTOG TLA	574
10.4.1. Površina nasutog tla iza zida je horizontalna – aktivni pritisak tla....	574
10.4.2. Površina nasutog tla iza zida je horizontalna – pasivni pritisak tla ..	575
10.4.3. Odnos između K_p i K_a	575
10.4.4. Aktivni pritisak tla – potopljeno tlo nasipa horizontalne površine....	576

10.4.5. Aktivni pritisak tla – nasip djelimično potopljen sa jediničnim dodatnim opterećenjem.....	577
10.4.6. Nagnuta površina – aktivni pritisak tla.....	578
10.4.7. Nagnuta površina – pasivni pritisak tla (slika 10.12).....	581
10.5. RANKINEOVI AKTIVNI PRITISCI SA KOHEZIVNIM TLOM U NASIPU.....	590
10.5.1. Ukupan aktivni pritisak tla na vertikalnom presjeku.....	592
10.5.2. Efekat nadopterećenja i nivoa vode.....	594
10.6. RANKINEOVI PASIVNI PRITISCI SA KOHEZIVNIM TLOM U NASIPU.....	602
10.7. COULOMBOVA TEORIJA PRITISKA TLA – PIJESKA ZA AKTIVNO STANJE.....	605
10.8. COLUMBOVA TEORIJA PRITISKA TLA ZA PIJESAK U PASIVNOM STANJU.....	609
10.9. AKTIVNI PRITISAK METODOM CULMANNA U NEKOHEZIVNOM TLU.....	611
10.9.1. Bez dodatnog linijskog opterećenja.....	611
10.10. BOČNI PRITISCI PO TEORIJI ELASTIČNOSTI OD DODATNOG OPTEREĆENJA NA POVRŠINI NASIPA.....	614
10.10.1. Bočni pritisak u tački poluprostora uslijed koncentrisanog opterećenja na površini.....	615
10.10.2. Bočni pritisak na krutom zidu zbog koncentrisanog opterećenja na površini.....	616
10.10.3. Bočni pritisak na krutom zidu zbog linijskog opterećenja na površini.....	616
10.10.4. Bočni pritisak na krutom zidu zbog trakastog opterećenja na površini.....	617
10.11. AKTIVNI PRITISAK METODOM PONCELETA U NEKOHEZIVNOM TLU.....	618
10.12. KRIVE POVRŠINE LOMA ZA RAČUNANJE PASIVNOG PRITISKA TLA.....	622

10.12.1. Metoda logaritamske spirale određivanja pasivnog pritiska idealnog tla	623
10.13. KOEFICIJENTI PASIVNIH PRITISAKA TLA PREKO TABELA I GRAFIKA	626
10.13.1. Koncept Coulombove Formule.....	626
10.13.2. Koeficijent pasivnog pritiska tla.....	628
10.14. BOČNI PRITISAK TLA NA POTPORNİ ZID TOKOM ZEMLJOTRESA	630
10.14.1. Uticaj zemljotresa na aktivni pritisak sa granularnim zasipom	630
10.14.2. Efekat zidnog bočnog pomjeranja na projekat potpornih zidova ..	634
10.14.3. Pasivni pritisak tokom zemljotresa.....	635
11. NOSIVOST TLA – PLITKO TEMELJENJE.....	641
11.1. GRANIČNA NOSIVOST TLA	643
11.2. DEFINISANJE NEKIH TERMINA	644
11.3. TIPOVI LOMA U TLU	645
11.4. TEORIJE NOSIVOSTI TLA	647
11.4.1. Terzaghijeva teorija nosivosti tla.....	648
11.4.2. Mehanizam loma	649
11.4.3. Granična nosivost tla za trakaste temelje.....	650
11.4.4. Jednačine nosivosti za kvadratne, kružne i pravougaone temelje	652
11.4.5. Granična nosivost za lokalni smičući lom	652
11.4.6. Granična nosivost q_u u čistim nekohezivnim i kohezivnim tlima pod opštim smičućim lomom.....	653
11.4.7. Neto granična nosivost i faktor sigurnosti	655
11.4.8. Dopušteno opterećenje q_a	656
11.4.9. Skemptonov faktor nosivosti N_c	656
11.5. UTICAJ NIVOA PODZEMNE VODE NA NOSIVOST TLA	657
11.5.1. Metoda 1	658
11.5.2. Metoda 2: Metoda ekvivalentne efektivne jedinične težine	658

11.6. OSNOVNA JEDNAČINA NOSIVOSTI.....	672
11.6.1. Pouzdanost jednačina nosivosti tla	675
11.7. UTICAJ STIŠLJIVOSTI TLA NA NOSIVOST	681
11.8. NOSIVOST TEMELJA OPTEREĆENIH EKSCENTRIČNIM OPTEREĆENJEM	689
11.8.1. Temelj opterećen ekscentričnim vertikalnim opterećenjem	689
11.8.2. Određivanje maksimalnih i minimalnih pritisaka na osnovi temelja pod ekscentričnim opterećenjem	690
11.9. GRANIČNA NOSIVOST TEMELJA NA OSNOVU VELIČINE „N“ IZ SPT	692
11.9.1. Standardni energetski koeficijent R_{es} , primjenljiv na N vrijednost ...	692
11.9.2. Nekohezivna tla	692
11.9.3. Kohezivna tla	693
11.10. CPT METODA U DEFINISANJU GRANIČNE NOSIVOSTI	693
11.10.1. Nekohezivna tla	693
11.10.2. Nosivost tla	693
11.10.3. Nedrenirana smičuća čvrstoća	694
11.11. GRANIČNA NOSIVOST TEMELJA OSLOJENIH SLOJEVITO NA TALOŽENOM TLU	697
11.11.1. Slučaj 1: Čvršći sloj preko slabijeg depozita	698
11.11.2. Slučaj 2: Gornji sloj je zbijen pijesak, a donji sloj je zasićena meka glina ($\phi_2 = 0$)	703
11.11.3. Slučaj 3: Sloj 1 je zbijeni pijesak, a sloj 2 je pijesak u rastresitom stanju ($c_1 = c_2 = 0$)	703
11.11.4. Slučaj 4: Sloj 1 je kruta zasićena glina ($\phi_1 = 0$), a sloj 2 je zasićena mekna glina ($\phi_2 = 0$)	704
11.12. NOSIVOST TEMELJA NA KOSINI	708
11.13. FUNDIRANJE NA STIJENI	712
11.13.1. Nosivost stijena.....	712
11.13.2. Preporuke građevinskih kodova	715

11.14. NOSIVOST PREMA EUROCODE 7 (EC7).....	715
12. STABILNOST KOSINA	725
12.1. UOPŠTENA RAZMATRANJA I PRETPOSTAVKE U ANALIZAMA STABILNOSTI KOSINA	728
12.2. FAKTOR SIGURNOSTI	729
12.3. ANALIZA STABILNOSTI BESKONAČNE KOSINE U PIJESKU	733
12.4. ANALIZA STABILNOSTI BESKONAČNE KOSINE U GLINI	734
12.4.1. Izraz za stabilnost beskonačnog nagiba glina dubine H	735
12.5. METODE ANALIZE STABILNOSTI KOSINE KONAČNE VISINE..	739
12.5.1. Metode analize.....	740
12.6. RAVNA POVRŠINA LOMA	741
12.7. KRUŽNE POVRŠINE LOMA	743
12.8. LOM KOSINE U NEDRENIRANIM USLOVIMA ($\emptyset U= 0$)	745
12.9. METODA KRUGA TRENJA.....	748
12.9.1. Fizički koncept metode.....	748
12.9.2. Aktivirajuće sile.....	749
12.9.3. Rezultujuća kohezivna sila	749
12.9.4. Rezultanta graničnih međugranularnih sila	750
12.9.5. Određivanje faktora sigurnosti u pogledu čvrstoće	752
12.10. TAYLOROV STABILIZACIONI BROJ	757
12.10.1. Faktor sigurnosti u pogledu čvrstoće	758
12.11. ZATEŽUĆE PUKOTINE	762
12.12. ANALIZA STABILNOSTI KOSINA METODOM LAMELA ZA STACIONARNO PROCJEĐIVANJE.....	762
12.12.1. Određivanje pornog pritiska sa procjeđivanjem	763
12.12.2. Metoda analize (grafička metoda)	763
12.12.3. Centri pretpostavljenih krugova koji prolaze kroz “nožicu”	767
12.12.4. Centri za pretpostavljene (probne) krugove ispod “nožice”	768

12.13. POJEDNOSTAVLJENA METODA LAMELA PREMA BISHOPU ...	773
12.14. BISHOP–MORGENSTERNOVA METODA ANALIZE KOSINA.....	777
12.14.1. Proširenje Bishopovih i Morgensternovih dijagrama stabilnosti kosina	778
12.14.2. Metoda određivanja faktora sigurnosti, F_s	778
12.15. MORGENSTERNOVA METODA ANALIZE STABILNOSTI KOSINA NASUTIH BRANA ZA USLOVE NAGLOG SPUŠTANJA NIVOVA VODE U AKUMULACIJI.....	780
12.16. SPENCEROVA METODA ANALIZE STABILNOSTI KOSINA	784
12.17. STABILNOST KOSINA I EUROKOD 7.....	788
12.17.1. Proračunske situacije	789
12.18. METODE STABILIZACIJE KOSINA	790
DODATAK A	797
DODATAK B: SIMBOLI.....	810
DODATAK C: SPISAK POJMOVA	817
LITERATURA.....	826

„Nažalost, zemljište se pravi po prirodi, a ne čovjekom, a proizvodi prirode su uvijek kompleksni. Čim prelazimo sa čelika i betona na zemlju, svemogućnost teorija prestaje da postoji. Prirodno tlo nikada nije ravnomjerno. Njegova svojstva se mijenjaju od tačke do tačke, dok se naše znanje ograničava na onih nekoliko mjesta na kojima su uzorci prikupljeni. U mehanici tla tačnost izračunatih rezultata nikada ne prelazi procjenu grube procjene, a glavna funkcija teorije sastoji se u tome da nas uči šta i kako da posmatramo na terenu“.

Karl Von Terzaghi (1883 – 1963)

12.3. ANALIZA STABILNOSTI BESKONAČNE KOSINE U PIJESKU

Kao uvod u analizu kosina, od interesa je problem kosina beskonačnog pružanja. Zamislimo beskonačnu kosinu, kao što je prikazano na slici 12.2, koja zaklapa ugao β sa horizontalom. Tlo je nekohezivno i u potpunosti homogeno. Naponi koji djeluju na bilo kojoj vertikalnoj ravni u tlu su isti kao na bilo kojoj drugoj vertikalnoj ravni. Napon u bilo kojoj tački na ravni EF paralelno sa površinom na dubini z će biti isti kao u svakoj drugoj tački na ovoj ravni. Analizirajmo vertikalnu lamelu materijala $ABCD$ koja ima jediničnu dimenziju normalnu na stranicu. Sile koje deluju na ovoj lameli su: njena težina W , vertikalna reakcija R na bazi lamele i dvije bočne sile P_1 . Pošto je lamela u ravnoteži, težina i reakcija su jednake po veličini i po smjeru. One imaju zajedničku liniju delovanja koja prolazi kroz centar osnove AB . Bočne sile moraju biti jednake i suprotne, i njihova linija djelovanja mora biti paralelna sa nagibom kosine.

Normalni i smičući naponi na ravni AB su:

$$\sigma'_n = \gamma \cdot z \cdot \cos^2 \beta$$

$$\tau = \gamma \cdot z \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta$$

gdje je:

σ'_n – efektivni normalan napon,

γ – efektivna jedinična težina pijeska.

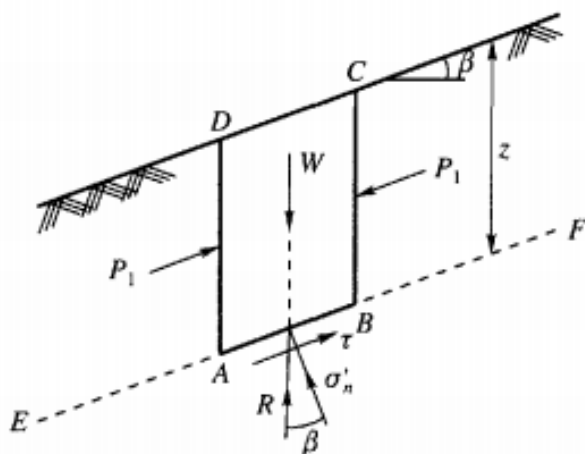
Ako se mobiliše puni otpor na ravni AB , smičuća čvrstoća S tla po zakonu Coulomba je:

$$s = \sigma'_n \cdot \tan \varphi'$$

kada je $\tau = s$, te zamjenjujući s i σ'_n , imamo:

$$\gamma \cdot z \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta = \gamma \cdot z \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \varphi' \quad (12.5)$$

$$\text{ili} \quad \tan \beta = \tan \varphi' \quad (12.5a)$$



Slika 12.2 Analiza stabilnosti beskonačne kosine u pijesku

Jednačina (12.5a) označava da je maksimalna vrijednost ugla β ograničena na φ' da bi kosina bila stabilna. Ovaj uslov važi za nekohezivna tla, bez obzira na to da li je kosina potpuno suva ili potpuno potopljena.

Faktor sigurnosti beskonačnih kosina u pijesku može se napisati kao:

$$F_s = \frac{\tan \varphi'}{\tan \beta} \quad (12.5b)$$

12.4. ANALIZA STABILNOSTI BESKONAČNE KOSINE U GLINI

Vertikalni pritisak σ_v djeluje na ravni AB (slika 12.3), gdje je:

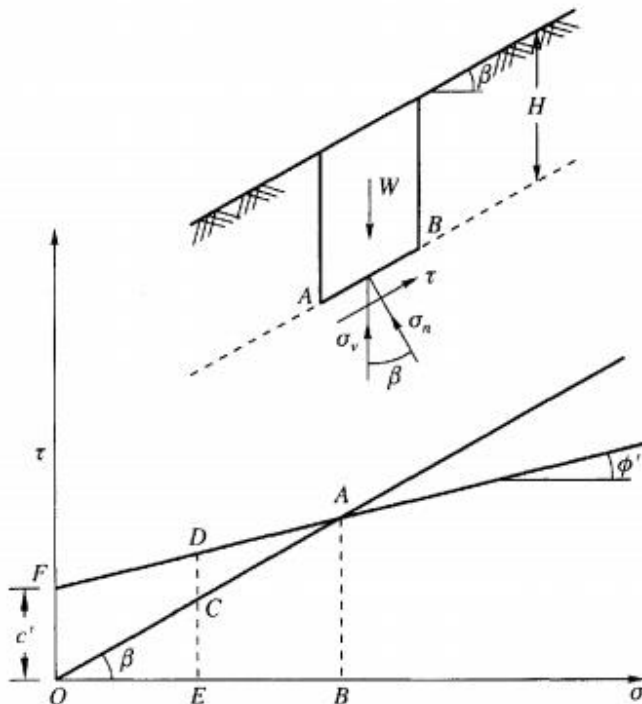
$$\sigma_v = \gamma \cdot z \cdot \cos \beta$$

predstavljen linijom OC na slici 12.3 u dijagramu napona. Normalni napon na ovoj ravni je OE, a smičući napon je EC. Linija OC zaklapa ugao β sa σ -osom. Mohrova anvelopa čvrstoće predstavljena je linijom FA, čija je jednačina:

$$s = c' + \sigma' \cdot \tan \varphi'$$

Prema anvelopi, smičuća čvrstoća je ED, kod koje je normalni napon OE. Kada je ugao β veći od ugla unutrašnjeg trenja φ' , linije OC i ED se sijeku. U ovom slučaju dvije linije se sijeku u A. Kako je smičući napon na ravni manji od smičuće čvrstoće na ravni, nema opasnosti od loma. Slika 12.3 ukazuje na to da na svim dubinama kod kojih je normalni pritisak manji od OB, ne postoji mogućnost loma. Međutim, na određenoj dubini na kojoj je normalni napon OB, smičuća čvrstoća i smičući napon

su jednaki kao što je prikazano dužinom AB ; lom je moguć. Ova dubina pri kojoj su smičući napon i smičuća čvrstoća jednaki, naziva se kritična dubina. Na dubinama većim od ove kritične vrijednosti (slika 12.3), znači da je smičući napon veći od smičuće čvrstoće, ali to nije moguće. Zato se može zaključiti da kosina može biti nagiba od φ' , sve dok je dubina kosine manja od kritične dubine.



Slika 12.3 Analiza stabilnosti beskonačne kosine u glinenom tlu

12.4.1. Izraz za stabilnost beskonačnog nagiba glina dubine H

Jednačina (12.2) daje razvijen smičući napon kao:

$$\tau = c'_m + \sigma' \cdot \tan \varphi'_m \quad (12.6)$$

U uslovima bez procjeđivanja i bez pornog pritiska, komponente napona na ravni pri dubini H i paralelne sa površinom kosine su:

$$\tau = \gamma \cdot H \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta$$

$$\sigma' = \gamma \cdot H \cdot \cos^2 \beta$$

Zamjenjujući ove izraze za napone u jednačini (12.6) i pojednostavljujući slijedi:

$$c'_m = \gamma \cdot H \cdot \cos^2 \beta \cdot (\tan \beta - \tan \varphi'_m)$$

$$\text{ili } N_s = \frac{c'_m}{\gamma \cdot H} = \cos^2 \beta \cdot (\tan \beta - \tan \varphi'_m) \quad (12.7)$$

gdje je H dozvoljena visina, a izraz $c'_m/\gamma H$ je bezdimenzionalna veličina nazvana *stabilizacioni broj* i označava se kao N_s . Ovaj bezdimenzionalni broj je proporcionalan potrebnoj koheziji i obrnuto je proporcionalan visini. Rješenje je upotrebljivo ukoliko nema procjeđivanja. Ako je u jednačini (12.7) faktor sigurnosti u odnosu na trenje jedinične vrijednosti, stabilizacioni broj koji se odnosi na koheziju može se napisati kao:

$$N_s = \frac{c'}{F_c \cdot \gamma \cdot H} = \cos^2 \beta \cdot (\tan \beta - \tan \varphi') \quad (12.8)$$

$$\text{gdje je: } c'_m = \frac{c'}{F_s}$$

Stabilizacioni broj u jednačini (12.8) se može napisati kao:

$$N_s = \frac{c'}{F_c \cdot \gamma \cdot H} = \frac{c'}{\gamma \cdot H_c} \quad (12.9)$$

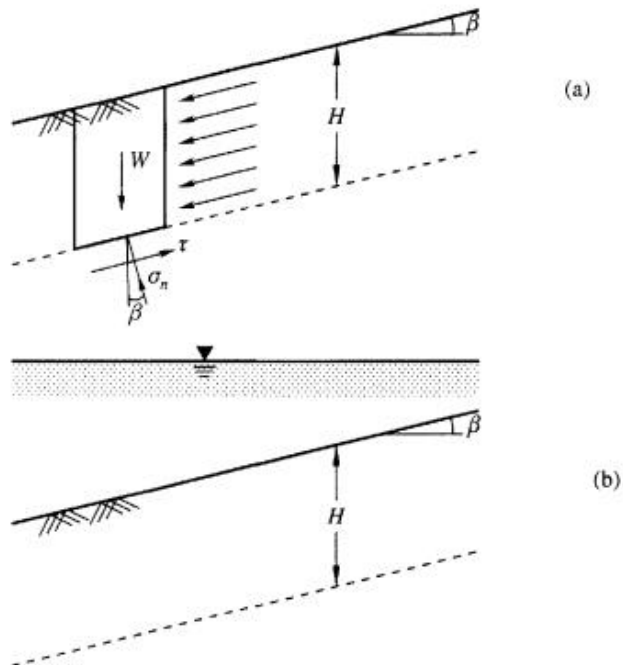
gdje je H_c kritična visina. Iz jednačine (12.9) slijedi:

$$F_c = \frac{H_c}{H} = F_H \quad (12.10)$$

Jednačina (12.10) pokazuje da je faktor sigurnosti u odnosu na koheziju F_c isti kao i faktor sigurnosti u odnosu na visinu F_H . Ako postoji procjeđivanje paralelno sa površinom terena kroz cjelokupnu masu, sa slobodnom površinom vode koja se podudara sa površinom terena, komponente efektivnih napona na ravni paralelno sa površinom kosine, na dubini H , date su (slika 10.4a) kao:

Normalni napon je:

$$\sigma'_n = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot H \cdot \cos^2 \beta = \gamma_b \cdot H \cdot \cos^2 \beta \quad (12.11)$$



Slika 12.4 Analiza beskonačne kosine (a) sa procjeđivanjem kroz cijelu masu i (b) sa potpuno potopljenom kosinom

Smičući napon je:

$$\tau = \gamma_{sat} \cdot H \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta \quad (12.11a)$$

Sada zamjenjujući jednačine (12.11) i (12.11a) u jednačinu:

$$\tau = c'_m + \sigma' \cdot \tan \varphi'_m$$

i pojednostavljujući, dobija se izraz stabilnosti kao:

$$\frac{c'_m}{\gamma_{sat} \cdot H} = \cos^2 \beta \cdot \tan \beta - \frac{\gamma_b}{\gamma_{sat}} \cdot \tan \varphi'_m \quad (12.12)$$

Kao i ranije, ako je faktor sigurnosti u odnosu na trenje jedinične vrijednosti, stabilizacioni broj odgovara koheziji i može se napisati kao:

$$N_s = \frac{c'}{F_c \cdot \gamma_{sat} \cdot H} = \frac{c'}{\gamma_{sat} \cdot H_c} = \cos^2 \beta \cdot \tan \beta - \frac{\gamma_b}{\gamma_{sat}} \cdot \tan \varphi' \quad (12.13)$$

Ako je kosina potpuno potopljena, i ako nema procjeđivanja, kao što je prikazano na slici 12.4b, onda jednačina (12.13) postaje:

$$N_s = \frac{c'}{F_c \cdot \gamma_b \cdot H} = \frac{c'}{\gamma_b \cdot H_c} = \cos^2 \beta \cdot (\tan \beta - \tan \varphi') \quad (12.14)$$

gdje je, γ_b , potopljena jedinična težina tla.

Primjer 12.3

Potrebno je odrediti faktor sigurnosti beskonačne kosine nagiba 27° . Kosinu čini nekohezivno tlo sa uglom unutrašnjeg trenja $\varphi=32^\circ$.

RJEŠENJE:

$$F_s = \frac{\tan \varphi'}{\tan \beta} = \frac{\tan 32^\circ}{\tan 27^\circ} = \frac{0,625}{0,509} = 1,23$$

Primjer 12.4

Beskonačnu kosinu, nagiba 27° , čini tlo karakteristika:

$c'=32 \text{ kN/m}^2$, $\varphi'=18^\circ$, $e=0,65$ i $G_s = 2,7$.

Potrebno je preispitati kritične visine kosine za slučajeve: (a) kada je tlo suvo, (b) kada se voda procjeđuje paralelno sa površinom kosine i (c) kada je kosina potopljena.

RJEŠENJE:

Za $e = 0,65$ i $G_s = 2,7$ je:

$$\gamma_d = \frac{2,7 \cdot 9,81}{1 + 0,65} = 16,05 \text{ kN/m}^3; \quad \gamma_{sat} = \frac{(2,7 + 0,65) \cdot 9,81}{1 + 0,65} = 19,90 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_b = \gamma_{sat} - \gamma_w = 19,9 - 9,81 = 10,09 \text{ kN/m}^3$$

a) Za suvo tlo, stabilizacioni broj N_s je:

$$N_s = \frac{c'}{\gamma_d \cdot H_c} = \cos^2 \beta \cdot (\tan \beta - \tan \varphi') \quad \text{za } F_\varphi = 1,0$$

$$N_s = \cos^2 27^\circ \cdot (\tan 27^\circ - \tan 18^\circ) = 0,146$$

$$H_c = \frac{c'}{\gamma_d \cdot N_s} = \frac{32}{16,05 \cdot 0,146} = 13,66 \text{ m}$$

b) Za procjeđivanje vode paralelno kosini (jednačina 12.13):

$$N_s = \frac{c'}{\gamma_{sat} \cdot H_c} = \cos^2 27^\circ \cdot \tan 27^\circ - \frac{10,09}{19,90} \cdot \tan 18^\circ = 0,236$$

$$H_c = \frac{c'}{\gamma_d \cdot N_s} = \frac{32}{19,9 \cdot 0,236} = 6,81 \text{ m}$$

c) Za potopljenu kosinu (jednačina 12.14):

$$N_s = \frac{c'}{\gamma_d \cdot H_c} = \cos^2 27^\circ \cdot (\tan 27^\circ - \tan 18^\circ) = 0,146$$

$$H_c = \frac{c'}{\gamma_b \cdot N_s} = \frac{32}{10,09 \cdot 0,146} = 27,72 \text{ m}$$

12.5. METODE ANALIZE STABILNOSTI KOSINE KONAČNE VISINE

Učestaliji su problemi loma kosina po zakrivljenim površinama. Najčešće korišćena metoda u analizi homogenih, izotropnih, konačnih kosina je švedska metoda zasnovana na kružnoj površini loma. Petterson (1955) je prvo primijenio metodu kruga za analizu loma tla povezano sa lomom kamenoloma u Goeteborgu, Švedska. Švedska nacionalna komisija, nakon proučavanja velikog broja lomova, objavila je izvještaj iz 1922. godine koji pokazuje da se linije loma većine ovakvih kosina grubo približavaju obimu kruga. Krug loma može proći iznad, kroz ili ispod "nožice" kosine. Istraživanjem čvrstoće duž luka velikog broja takvih krugova, bilo je moguće locirati krug koji je davao najnižu otpornost na smicanje. Ova opšta metoda je bila široko prihvaćena kao sasvim korektno približno tačno rješenje za određivanje faktora sigurnosti kosina nasipa i temelje. Razvoju metode za analizu stabilnosti kosina doprinos su dali: Fellenius (1947), Terzaghi (1943), Gilboy (1934), Taylor (1937), Bishop (1955) i drugi, sa rezultatom zadovoljavajuće analize stabilnosti kosina, nasipa i temelja, metodom kružnog loma koja ne predstavlja

12.17. STABILNOST KOSINA I EUROKOD 7

Projektovanje građevina sa stabilnim kosinama, slično kao i projektovanje bilo koje druge građevine, provodi se iterativno i postepeno. Pretpostave se osnovne karakteristike konstrukcije, pa tako i kosina, a zatim se procjenjuje kroz koje kritične proračunske situacije će građevina tokom izgradnje i njenog korištenja proći. Za te se proračunske situacije provjerava zadovoljavanje bitnih zahtjeva za građevinu. U dijelu koji se odnosi na nosivost i upotrebljivost, provjerava se da građevina ne dostigne bilo koje od graničnih stanja. Za kosine to su prvenstveno granična stanja nosivosti **GEO**. Ako se pokaže da je neko od graničnih stanja dostignuto ili, s druge strane, da je konstrukcija neracionalna, jer je dostizanje graničnih stanja „daleko“, prilagođava se oblik i karakteristike konstrukcije. Taj se postupak nastavlja dok se ne postigne ekonomična, ali stabilna i upotrebljiva konstrukcija.

Tradicionalno se u geotecnici rizik od dostizanja nekog graničnog stanja ograničavao nekim najmanjim dozvoljenim faktorom sigurnosti (npr. od 1.2 do 1.5). Sistem Eurokodova uveo je pojam parcijalnih koeficijenata. Dostizanje graničnog stanja nosivosti **GEO** u Eurokodu 7 provjerava se izrazom:

$$E_d \leq R_d \quad (12.50)$$

gdje je E_d proračunski učinak djelovanja u posmatranoj tački razmatranog mehanizma sloma konstrukcije za neku projektnu situaciju, a R_d je proračunska otpornost konstrukcije tom djelovanju. U slučaju problema stabilnosti kosina, djelovanje može biti posmično naprezanje, a otpornost posmična čvrstoća tla na mjestu djelovanja posmičnog naprezanja, znači na kliznoj plohi. U tom slučaju se izraz (12.50) može pisati u obliku:

$$\tau_k \cdot \gamma_F \leq \frac{\tau_f}{\gamma_M} \quad (12.51)$$

gdje je τ_k karakteristična vrijednost djelovanja, proračunata na osnovu karakterističnih vrijednosti jedinične težine tla i karakterističnih vrijednosti ostalih djelovanja (sile od pritiska porne vode, površinsko opterećenje itd.), τ_f je posmična čvrstoća tla, a γ_F i γ_M su parcijalni koeficijenti djelovanja i otpornosti materijala. Kako je gotovo u svim slučajevima stabilnosti kosina dominantno djelovanje od vlastite težine tla i djelovanje podzemne vode, a za ta su djelovanja u Eurokodu 7 parcijalni koeficijenti uvijek jednaki 1, to će u sva tri projektna pristupa, koja dozvoljava ova norma, kritična biti kombinacija parcijalnih koeficijenata u kojoj je

$\gamma_F=1$, a za $\gamma_M > 1$ treba uvrstiti odgovarajuće parcijalne koeficijente u odnosu na drenirano ili nedrenirano stanje smicanja. U slučaju dreniranog smicanja će biti:

$$\gamma_M = \gamma_{\phi'} = \gamma_{c'} = 1,25$$

dok će u slučaju nedreniranog smicanja biti:

$$\gamma_M = \gamma_{cu} = 1,40$$

Iz ovog razmatranja slijedi da će pri provjeri dostizanja nekog od graničnih stanja nosivosti pri projektovanju kosina, izraz (12.51) poprimiti oblik:

$$\tau_k \leq \frac{\tau_f}{\gamma_M} \quad (12.52)$$

a može se napisati u slijedećem obliku:

$$\gamma_M \leq \frac{\tau_f}{\tau_k} = F \quad (12.53)$$

gdje je F poznati faktor sigurnosti tradicionalnog pristupa u dokazivanju stabilnosti kosina.

U slučaju da nema vanjskog djelovanja na klizno tijelo (od opterećenja neke zgrade ili slično), Eurokod 7 traži da faktor sigurnosti kritične klizne plohe bude jednak ili veći od parcijalnog koeficijenta za čvrstoću tla, i to: 1.25 za drenirano stanje i 1.40 za nedrenirano stanje.

U slučaju da na klizno tijelo djeluje neko „vanjsko“ trajno ili prolazno opterećenje, kao što je težina neke građevine temeljene na kliznom tijelu, u proračunu faktora sigurnosti to opterećenje treba pomnožiti sa odgovarajućim parcijalnim koeficijentom.

12.17.1. Proračunske situacije

Stabilnost tokom i neposredno nakon izgradnje

Osim na geometriju i moguća opterećenja kosine, na stabilnost kosine tokom izgradnje utiče i relativan odnos brzine izgradnje i vodopropusnosti tla. Ako je vodopropusnost tla mala u odnosu na brzinu izgradnje, što je često slučaj kod glinovitih i prašiniastih tala, mogući su nedrenirani uslovi u tlu tokom ili neposredno nakon izgradnje. Pri tome treba voditi računa da će kod mekih, normalno konsolidovanih ili slabo prekonsolidovanih tala nedrenirana čvrstoća biti manja od drenirane, dok će za kruta, prekonsolidovana tla biti obratno. To znači da će faktor

sigurnosti kod mekih sitnozrnih tala rasti s vremenom, dok će kod krutih sitnozrnih tala opadati u vremenu. U projektantskoj se praksi mogu provjeriti granični slučajevi provođenjem analiza za potpuno drenirane i za idealno nedrenirane uslove.

Stabilnost u dugotrajnim (stacionarnim) uslovima

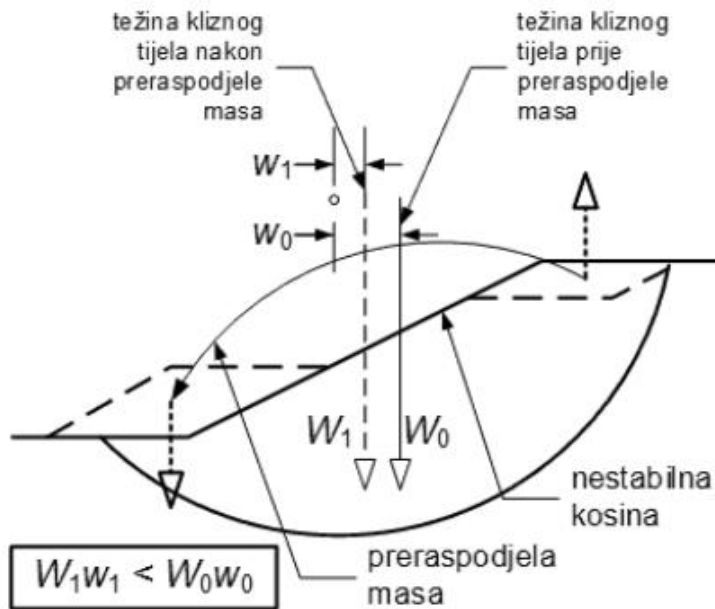
Stabilnost u dugotrajnim stacionarnim uslovima najčešća je proračunska situacija u praksi. Značajan je problem u praksi određivanje najnepovoljnijeg slučaja raspodjele pornih pritisaka od stacionarnog strujanja. Često se kod prirodnih kosina pribjegava ugradnji odgovarajućih piezometara na više tlocrtnih i dubinskih lokacija na kosini, te se provode dugotrajna mjerenja kako bi se utvrdili mogući rasponi i raspodjele pornih pritisaka.

Naglo sniženje podzemne vode

Ova proračunska situacija javlja se često pri projektovanju nasutih brana, kao i raznih otvorenih kanala. Upravljanje tim građevinama ponekad zahtijeva naglo sniženje vode u akumulaciji ili u kanalu, što izaziva vrlo nepovoljno opterećenje nasute građevine ili kosine kanala. Obično su najnepovoljniji uslovi neposredno nakon naglog sniženja vode u kanalu ili jezeru akumulacije, pa se oni i najčešće ispituju na stabilnost.

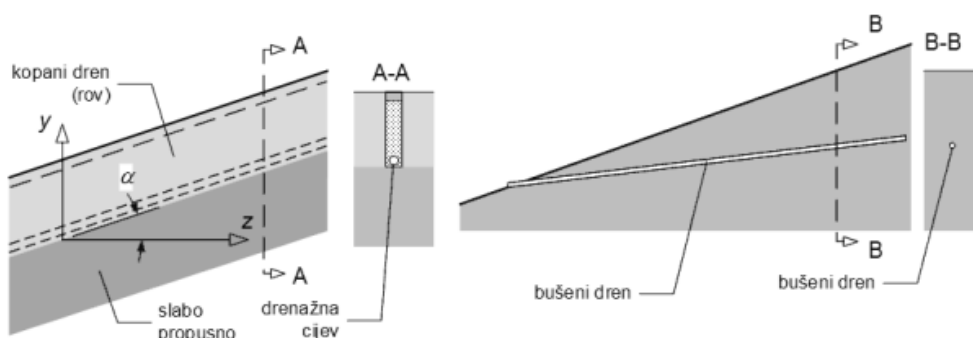
12.18. METODE STABILIZACIJE KOSINA

Prije primjene neke od mjera stabilizacije kosine, prvenstveno je potrebno odrediti uzroke nestabilnosti ili klizanja. Za utvrđivanje tih uzroka potrebno je provesti odgovarajuće geotehničke istražne radove. Vrlo je važno odrediti raspodjelu pornih pritisaka u podzemnoj vodi. U tu svrhu mogu poslužiti različiti instrumenti koji omogućuju dugotrajna opažanja i mjerenja. Kad su utvrđeni uzroci, mehanizam klizanja i potrebni parametri za analize stabilnosti, može se pristupiti izboru optimalne metode stabilizacije. Među tim metodama najčešće se koristi preraspodjela masa, površinsko i dubinsko dreniranje, te izrada neke od mnogobrojnih mogućih potpornih konstrukcija. Preraspodjelom masa, uklanjanjem tla s vrha kliznog tijela i nasipavanjem u nožici, kod rotacionog se klizanja smanjuje moment težine kliznog tijela s obzirom na središte rotacije (slika 12.31) i time se povećava faktor sigurnosti.



Slika 12.31 Preraspodjela masa pri stabilizaciji rotacionog klizanja

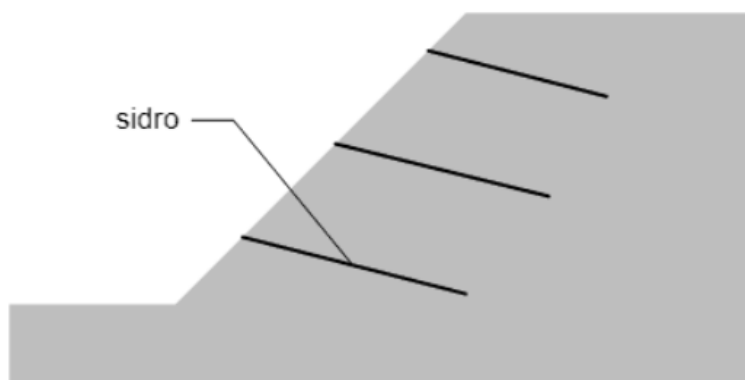
Jedan od najčešćih uroka klizanja je utjecaj podzemne vode, koja smanjuje normalna efektivna naprezanja, a time i čvrstoću tla. Mjere koje smanjuju porni pritisak u kosini u zoni klizne plohe su među najčešćim i najekonomičnijim mjerama sanacije. Među te mjere spadaju površinsko dreniranje i uređenje kosina, te kopani i bušeni drenovi (slika 12.32). Cilj svakog dreniranja je smanjenje pornih pritisaka u zoni kritične klizne plohe.



Slika 12.32 Kopani dren (drenažni rov)(lijevo), bušeni cjevasti dren (desno)

Potporne konstrukcije takođe mogu poslužiti stabilizaciji klizanja. Tim se konstrukcijama kliznom tijelu nameće dodatna, uglavnom horizontalna sila koja

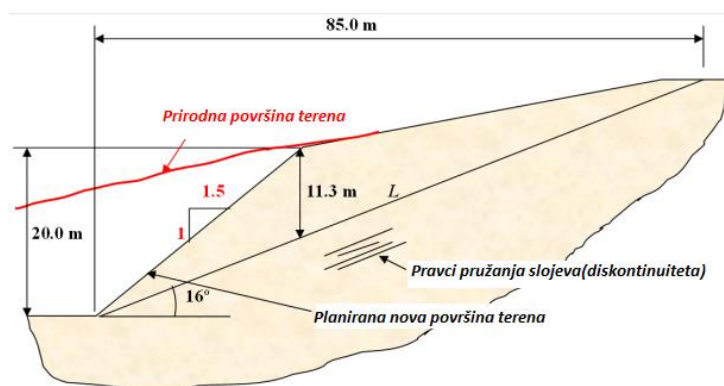
povećava faktor sigurnosti. Ojačanje kosine geotehničkim sidrima, koja takođe spadaju u potporne konstrukcije, prikazano je na slici 12.33.



Slika 12.33 Primjer sidrene potporne konstrukcije

Primjer 12.16

Zasjek je izveden u slojevitoj stijenskoj masi pod nagibom 1,5 (horizontalno): 1 (vertikalno), prema skici. Slojevi (diskontinuiteti) u stijenskoj masi su pod uglom od 16° . Ako se zahtijeva faktor sigurnosti duž klizne ravni veći ili jednak vrijednosti od 1,8, ispitati da li je zasjek stabilan. Jedinčna težina stijenske mase je 22.5 kN/m^3 , a parametri smičuće čvrstoće duž diskontinuiteta su: $c=25 \text{ kPa}$ i $\varphi=28^\circ$.



RJEŠENJE:

Težina stijene (trouglasti presjek) iznad potencijalne klizne površine, po jedinici širine je:

$$W = \frac{1}{2} \cdot 85 \cdot 11,3 \cdot 22,5 = 10805,62 \text{ kN/m'}$$

Dužina L klizne ravni je:

$$L = \frac{85,0}{\cos 16^\circ} = 88,4 \text{ m}$$

Faktor sigurnosti je:

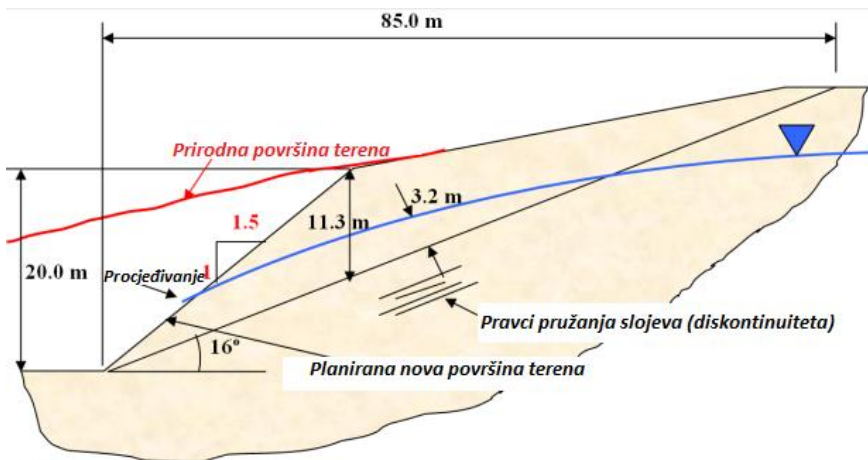
$$F_s = \frac{\text{silna otpora}}{\text{silna pomjeranja}} = \frac{c \cdot L + W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \varphi}{W \cdot \sin \alpha}$$

$$F_s = \frac{25 \cdot 88,4 + 10805,62 \cdot \cos 16^\circ \cdot \tan 28^\circ}{10805,62 \cdot \sin 16^\circ} = 2,75$$

Faktor sigurnosti je znatno veći od zahtijevanog (1,80), pa je prema tome iskop stabilan.

Primjer 12.17

Poredeći sa slučajem iz prethodnog zadatka, šta će se desiti sa faktorom sigurnosti ukoliko se nivo podzemne vode podigne prema skici? Jedinična težina stijenske mase je $22,5 \text{ kN/m}^3$, a parametri smičuće čvrstoće duž diskontinuiteta su: $c'=18 \text{ kPa}$ i $\varphi'=22^\circ$.



Poglavlje 12

RJEŠENJE:

Težina stijene iznad potencijalne klizne površine, po jedinici širine, jeste:

$$W = 10805,62 \text{ kN/m'}$$

Porni pritisak vode bazira se procjenom na dužini L, pri dubini vode z_w iznad potencijalne klizne ravni vrijednosti od 0 do 3,2 m.

$$u = \gamma_w \cdot z_w = 9,81 \cdot 3,2 = 31,40 \text{ kN/m}^2$$

Faktor sigurnosti je:

$$F_s = \frac{\text{sil}a \text{ otpora}}{\text{sil}a \text{ pokreta}} = \frac{c' \cdot L + [W \cdot \cos \alpha - u] \cdot \tan \varphi'}{W \cdot \sin \alpha}$$
$$F_s = \frac{18 \cdot 88,4 + [10805,62 \cdot \cos 16^\circ - 31,4] \cdot \tan 22^\circ}{10805,62 \cdot \sin 16^\circ} = 1,75$$

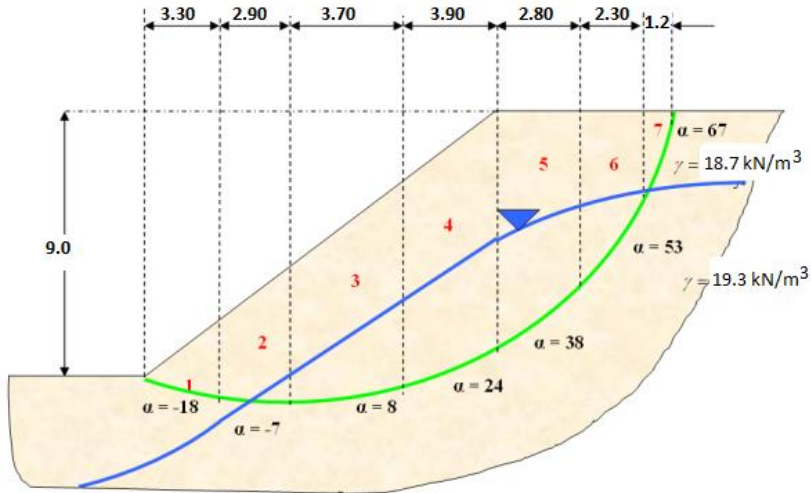
Faktor sigurnosti je manji od zahtijevanog (2,0) i od faktora sigurnosti dobijenog u prethodnom zadatku (2,75).

Zaključak:

Podizanjem nivoa podzemne vode, smanjuje se stabilnost kosine.

Primjer 12.18

Kosina nagiba 1,5 (H):1 (V), visine 9,0 m biće konstruisana prema skici. Tlo u kosini je homogeno slijedećih karakteristika: Efektivna kohezija je $19,2 \text{ kN/m}^2$, efektivni ugao unutrašnjeg trenja je 29° , jedinična težina iznad nivoa podzemne vode je $18,70 \text{ kN/m}^3$, a $19,30 \text{ kN/m}^3$ ispod nivoa podzemne vode. Odrediti faktor sigurnosti za pretpostavljenu kliznu površinu, koristeći metodu lamela.



RJEŠENJE:

Težine lamela po jedinici širine su:

$$W_1 = 3,30 \cdot \frac{3,10}{2} \cdot 18,70 = 95,65 \text{ kN/m'}$$

$$W_2 = 2,90 \cdot \frac{3,10 + 3,80}{2} \cdot 18,70 + 2,90 \cdot \frac{1,60}{2} \cdot 19,30 = 231,87 \text{ kN/m'}$$

$$W_3 = 3,70 \cdot \frac{3,80 + 4,45}{2} \cdot 18,70 + 3,70 \cdot \frac{1,60 + 3,05}{2} \cdot 19,30 = 451,44 \text{ kN/m'}$$

$$W_4 = 3,90 \cdot \frac{4,20 + 4,10}{2} \cdot 18,70 + 3,90 \cdot \frac{3,30 + 3,80}{2} \cdot 19,30 = 569,87 \text{ kN/m'}$$

$$W_5 = 2,80 \cdot \frac{5,10 + 3,90}{2} \cdot 18,70 + 2,80 \cdot \frac{3,30 + 2,20}{2} \cdot 19,30 = 384,23 \text{ kN/m'}$$

$$W_6 = 2,30 \cdot \frac{3,90 + 3,00}{2} \cdot 18,70 + 2,30 \cdot \frac{2,20}{2} \cdot 19,30 = 197,21 \text{ kN/m'}$$

$$W_7 = 1,20 \cdot \frac{3,00}{2} \cdot 18,70 = 33,66 \text{ kN/m'}$$

Prosječan porni pritisak na bazi svake lamele je:

$$u_1 = 0$$

$$u_2 = \frac{1,60}{2} \cdot 9,81 = 7,85 \text{ kN/m}^2$$

$$u_3 = \frac{1,60 + 3,05}{2} \cdot 9,81 = 22,81 \text{ kN/m}^2$$

$$u_4 = \frac{3,05 + 3,30}{2} \cdot 9,81 = 31,15 \text{ kN/m}^2$$

$$u_5 = \frac{3,30 + 2,20}{2} \cdot 9,81 = 26,98 \text{ kN/m}^2$$

$$u_6 = \frac{2,20}{2} \cdot 9,81 = 10,80 \text{ kN/m}^2$$

$$u_7 = 0$$

Lamela	W [kN/m']	α [°]	c' [kN/m ²]	ϕ' [°]	u [kN/m ²]	L [m]	$c' \cdot L$ + $[W \cdot \cos \alpha$ - $uL]$ $\cdot \tan \phi'$	W $\cdot \sin \alpha$
1	96,65	-18	19,20	29	0	3,47	116,66	-29,56
2	231,87	-7	19,20	29	7,85	2,90	169,83	-28,26
3	451,44	8	19,20	29	22,81	3,72	271,10	62,83
4	569,87	24	19,20	29	31,15	4,24	301,40	231,80
5	384,23	38	19,20	29	26,98	3,60	193,50	236,50
6	197,21	53	19,20	29	10,80	3,84	125,30	157,50
7	33,66	67	19,20	29	0	3,10	66,80	31,00
							$\Sigma = 1244,$	661,81

$$F_s = \frac{c' \cdot L + [W \cdot \cos \alpha - u \cdot l] \cdot \tan \phi'}{W \cdot \sin \alpha} = \frac{1244,59}{661,81} = 1,88$$

- Marsland, A. (1971). "Large *in situ* tests to measure the properties of stiff fissure clay," *Proc. 1st Australian Conf. on Geomech*, Melbourne, 1.
- McDonald, D.H., and Skempton, A.W. (eds) (1955). "A Survey of Comparison between calculated and observed settlements of structures on clay," *Conf. on Correlation of Calculated and Observed Stresses and Displacements*, Institution of Civil Engineers, London.
- Menard, L. (1957). An Apparatus for Measuring the Strength of Soils in Place, M.Sc. Thesis, Univ. Illinois, Urbana, U.S.A.
- Menard, L. (1976). "Interpretation and Application of pressuremeter Test Results to Foundation Design, Soils" *Soils*, No. 26.
- Mesri, G. (1973). "Coefficient of Secondary Compression," *J. Soil Mech. Found. D/v.*, ASCE, Vol. 99, SMI.
- Mesri, G., and Godlewski, P.M. (1977). "Time and stress-compressibility interrelationship," *J. Geotech. Eng.*, ASCE, 103, No. 5.
- Mesri, G., and Choi, Y.K. (1985). "Settlement analysis of embankments on soft clays," *J. Geotech. Eng.*, ASCE, III, No. 4.
- Mesri, G., and Choi, Y.K. (1985b). "The Uniqueness of the End-of-Primary (EOP) Void ratio effective Stress relationship," *Proc. 11 th Int. Conf. on Soil Mech. and Found Engg.*, SanFrancisco, No. 2.
- Mesri, G., and Feng, T.W. (1986). "Stress-strain-strain rate relation for the compressibility of sensitive natural clays," Discussion. *Geotech.*, 36, No. 2.
- Mesri, G., Feng, T.W., AH, S., and Hayat, T.M. (1994). "Permeability Characteristics of Soft Clays," *Proc. 13th Int. Conf. On Soil Mech and Found. Eng.*, New Delhi.
- Meyerhof, G.G. (1951). "The Ultimate Bearing Capacity of Foundation," *Geotechnique*, Vol. 2, No. 4.
- Meyerhof, G.G. (1953). "The Bearing Capacity of Foundations Under Eccentric and Inclined Loads," *3rd ICSMFE*, Vol. 1.
- Meyerhof, G.G. (1956). "Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils," *JSMFD*, ASCE, Vo. 82, SMI.
- Meyerhof, G.G. (1957). "Discussions on Sand Density by Spoon Penetration," *4th ICSMFE*, Vol. 3.
- Meyerhof, G.G. (1957). "The Ultimate Bearing Capacity of Foundations on Slopes," *4th ICSMFC*, Vol. 1, London.
- Meyerhof, G.G. (1959). "Compaction of Sands and Bearing Capacity of Piles," *JSMFD*, ASCE, Vol. 85, SM6.
- Meyerhof, G.G. (1963). *Some Recent Research on Bearing Capacity of Foundation*, CGJ Ottawa, Vol. 1.

- Meyerhof, G.G. (1974). "Ultimate Bearing Capacity of Footings on Sand Layer Overlying Clay," *Canadian Geotech. J.*, Vol. II, No. 2.
- Meyerhof, G.G. (1975). "Penetration Testing Outside Europe," General Report, *Proc. of the European Symp. on Penetration Testing*, Vol. 2, Stockholm.
- Meyerhof, G.G. (1976). "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations," *JGED*, ASCE, Vol. 102, GT 3.
- Meyerhof, G.G., and Hanna, A.M. (1978). "Ultimate Bearing Capacity of Foundations on Layered Soil Under Inclined Load," *Canadian Geotech. J.*, Vol. 15, No. 4.
- Michalowski R.L.(1997). "An estimate of the influence of soil weight on bearing capacity using limit analysis, Soil and Foundations", *Japance Geotechnical Society*, Vol.37, No.4, 57-64
- Mindlin, R.D. (1936). "Forces at a point in the Interior of a Semi-Infinite Solid," *Physics*, Vol. 7.
- Mohr, O. (1900). Die Elastizitätsgrenze Und Bruch eines Materials (The elastic limit and the failure of a Material), *Zeitschrift Veneins Deuesche Ingenieure*, Vol. 44.
- Mononobe, N. (1929). "On the Determination of Earth Pressures During Earthquakes" *Proceedings World Engineering Conference*, Vol. 9.
- Morgenstern, N.R. (1963). "Stability Charts for Earth slopes During Rapid Drawdown," *Geotechnique*, Vol. 13, No. 2.
- Morrison, C.S., and Reese L.C. (1986). "A Lateral load test of a full scale pile group in sand." Geotechnical Engineering center, Bureau of Engineering Research, University of Texas, Austin.
- Morrison, E.E. Jr., and Ebeling, R.M. (1995). "Limit Equilibrium Computation of Dynamic Passive Earth Pressure," *Canadian Geotech. J.*, Vol. 32, No. 3
- Murphy, V.A. (1960). "The effect of ground water characteristics on the sismic design of structures," *Proce. 2nd World Conf. on Earthquake Engineering*, Tokyo, Japan.
- Murthy V.N.S.,(2002), "Geotechnical engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering", Marcel Dekker ,Inc., New York
- Muskat, M. (1946). *The Flow of homogeneous fluids through porous media*, McGraw Hill Co.
- Nagaraj, T.S., and Murthy, B.R.S. (1985). "Prediction of the Preconsolidation Pressure and Recompression Index of Soils," *Geotech. Testing Journal*, Vol. 8. No. 4.

- Nelson, J.D., Miller, D.J. (1992). *Expansive Soils: Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Newmark, N.M. (1942). "Influence Charts for Computation of Stresses in Elastic Soils," Univ. of Illinois Expt. Sin., *Bulletin* No. 338.
- Nonveiller E.,(1990)"Mehanika tla i temeljenje, III izdanje", Školska knjiga, Zagreb
- Norris, G.M., and Holtz, R.D. (1981). "Cone penetration Testing and Experience," *Proc. ASCE National Convention*, St. Louis, Missouri, Published by ASCE, NY.
- O' Connor, M.J., and Mitchell, R.J. (1977). "An Extension of the Bishop and Morgenstern Slope Stability Charts," *Canadian Geotech. J.* Vol. 14.
- Okabe, S. (1926). "General Theory of Earth Pressures," *J. of the Jap. Soc. of Civil Engineers*, Tokyo, Vol. 12, No. 1.
- Osterberg, J.O. (1952). "New Piston Type Soil Sampler," *Eng. News. Rec.*, 148.
- Osterberg, J.O. (1957). "Influence Values for Vertical Stresses in Semi-Infinite Mass due to Embankment Loading," *Proc. Fourth Int. Conf. Conf. SM and FE*, Vol. 1.
- Peck, R.B., and Byrant, KG. (1953). "The Bearing Capacity Failure of the Transcona Elevator," *Geotechnique*, Vol. 3, No. 5.
- Peck, R.B., Hanson, W.E., and Thornburn, T.H., (1974). *Foundation Engineering*, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Perloff, W.H., and Baron, W. (1976). *Soil Mechanics, Principles and Applications*, John Wiley & Sons, New York.
- Petterson, K.E. (1955). "The Early History of Circular Sliding Surfaces," *Geotechnique*. The Institution of Engineers, London, Vol. 5.
- Poncelet, J.V. (1840). "Memoire sur la stabilite des reretments et de leurs fondation," Note additionelle sur les relations analytiques qui lient entre elles la pousse et la butee de la terre. Memorial de l'officier du genie, Paris, Vol. 13.
- Poulos, H.G. (1974). *Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics*, John Wiley & Sons, New York.
- Prakash, S., and Saran, S. (1966). "Static and Dynamic Earth Pressure Behind Retaining Walls," *Proc. 3rd Symp. on Earthquake Engineering*, Roorke, India, Vol. 1.
- Prandtl, L. (1921). "Uber die Eindringungsflstigkeit plastischer Baustoffe und die Festigkeit von Schneiden," *Zeit. angew. Math.*, 1, No. 1.
- Proctor, R.R. (1933). "Four Articles on the Design and Construction of Rolled Earth-Dams," *Eng. News Record*, Vol. 3.
- Rankine, W.J.M. (1857). "On the Stability of Loose Earth Dams," *Phil. Trans. Royal Soc.*, Vol. 147, London.

- Reese, L.C., Cox, W.R., and Koop, F.D. (1974). "Analysis of Laterally Loaded Piles in Sand," *Proc. 6th Offshore Tech. Conf.* Houston, Texas.
- Reese, L.C., and O'Neill, M.W. (1988). "Field Load Tests of Drilled Shafts," *Proc., International Seminar on Deep Foundations and Auger Piles*, Van Impe (ed.), Balkema, Rotterdam
- Rendulic, L. (1935). "Der Hydrodynamische spannungsausgleich in zentral entwässerten Tonzylindern," *Wasserwirtsch. u. Technik*, Vol. 2.
- Reynolds, O. (1883). "An Experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be Direct or Sinuous and the Law of Resistance in Parallel Channel," *Trans. Royal Soc.* Vol. 174, London.
- Richards, R., and Elms, D.G. (1979). "Seismic Behavior of Gravity Retaining Walls," *Jou. of the Geotech. Eng. Div., ASCE*, Vol. 105, No. GT4.
- Robertson, P.K., and Campanella, R.G. (1983a). "Interpretation of Cone Penetration Tests," Part ISand, *CBJ*, Ottawa, Vol. 20, No. 4.
- Robertson, P.K., and Campanella, R.G. (1983b). "SPT-CPT Correlations," *JGED*, ASCE, Vol. 109.
- Roje-Bonaci T.,(2017).”Mehanika tla,četvrto izdanje” Sveučilište u Splitu, Split
- Rowe, P.W. (1969) "The relation between the strength of sands in triaxial compression, plane strain and direct shear", *Geotechnique* 19, No.1, 75-86
- Rowe, P.W. (1969).”Theoretical meaning and observed values of deformation parameters for soil, Stress-strain behavior of soils”, Roscoe memorial symposium,143-194
- Sanglerat, G. (1972). *The Penetrometer and Soil Exploration*, Elsevier Publishing Co., Amsterdam.
- Santamarina J.C. (1997).” Cohesive soil:A dangerous oxymoron. *EJGE Magazine*
- Saran, S., and Prakash, S. (1968). "Dimensionless parameters for Static and Dynamic Earth Pressure for Retaining Walls," *Indian Geotechnical Journal*, Vol. 7, No. 3.
- Schmertmann, J.H. (1955). "The Undisturbed Consolidation Behavior of Clay," *Trans. ASCE*, No. 120.
- Schmertmann, J.H. (1970). "Static Cone to Compute Static Settlement Over Sand," *JSMFD*, ASCE, Vol. 96, SM 3.
- Schmertmann, J.H. (1978). *Guidelines for Cone Penetration Test: Performance and Design*. U.S. Dept. of Transportation, Washington, D.C.
- Schmertmann, J.H. (1986). "Suggested Method for Performing the Flat Dilatometer Test," *Geotech. Testing Journal*, ASTM, Vol. 9, No. 2.

- Schmertmann, J.M. (1975). "Measurement of *in situ* shear strength," *Proc. ASCE Specially Conf. on In Situ Measurement of Soil Properties*, Raleigh, 2.
- Schofield A.N. and Wroth C.P., (1968). "Critical state soil mechanics," McGraw-Hill Book Co., London
- Scott, R.F. (1963). *Principles of Soil Mechanics*, Addison-Wesely Publishing Co., Inc. London.
- Seed, H.B., Woodward, R.J., and Lundgren, R. (1962). "Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays," *Journal ASCE, SMFD*, Vol. 88, No. SM 3.
- Selimović M., (2000). "Mehanika tla i temeljenje", Univerzitet "Džemal Bijedić", Mostar
- Sichardt, W. (1930). "Grundwasserabsenkung bei Fundierarbeiten," Berlin, Julius Springer.
- Simons, N.E. (1960). "Comprehensive Investigation of the Shear Strength of an Undisturbed Drammen Clay," *Proc. Res. Conf. Shear Strength Cohesive Soils*, ASCE.
- Simons, N.E., and Som, N.N. (1970). Settlement of Structures on Clay with Particular emphasis on London Clay Industry Research Institute, Assoc. Report 22.
- Skempton, A.W. (1944). "Notes on the compressibilities of clays," *Q.J. Geological Soc*, London, C (C: Parts 1 & 2).
- Skempton, A.W. (1951), "The Bearing Capacity of Clays," *Proc. Building Research Congress*, Vol. 1, London.
- Skempton, A.W. (1953). "The Colloidal Activity of Clays," *Proceedings, 3rd Int. Conf. SM and FE*, London, Vol. 1.
- Skempton, A.W. (1954), "The Pore Pressure Coefficients A and B," *Geotechnique*, Vol. 4.
- Skempton, A.W. (1957), "The planning and design of the new Hongkong airport Discussion," *Proc. Int. of Civil Engineers* (London), Vol. 7.
- Skempton, A.W., and Northey, R.D. (1952). "The Sensitivity of Clays," *Geotechnique*, Vol. HI.
- Skempton, A.W., and Northey, R.D. (1954), "Sensitivity of Clays," *Geotechnique*, Vol. 3, London.
- Skempton, A.W., and Bjerrum, L. (1957). "A Contribution to the Settlement Analysis of Foundations on Clay," *Geotechnique* 7, London.
- Smith, R.E., and Wahls, H.E. (1969). "Consolidation under Constant Rate of Strain" *J. Soil Mech. Found. Div.*, ASCE, Vol. 95, SM2.

- Spangler, M.G. (1938). "Horizontal Pressures on Retaining Walls due to Concentrated Surface Loads," IOWA State University Engineering Experiment Station, *Bulletin*, No. 140.
- Spencer, E. (1967). "A Method of Analysis of the Stability of Embankments, Assuming Parallel Inter-slice Forces," *Geotechnique*, Vol. 17, No. 1.
- Srbulov M.,(2008).”Geotechnical earthquake engineering, Simplified Analyses with Case Studies and Examples, Springer.
- Stark D.T. and EidT.Hisham (1994).” Drained residual strength of cohesive soils. ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol.120, No.5, 856-871
- Stark D.T. and Hussain M. (2012).” Empirical Crrelations: Drained shear strength parameters for Slope Stability Analilyses”, J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol.139, No.6,ASCE,853-588
- Steinbrenner, W. (1934). "Tafeln zur Setzungsberechnung," Vol. 1., No. 4, Schriftenreihe der strasse 1, Strasse.
- Stokes, G.G. (1856). "On the effect of the Internal Friction of Fluids on the Motion of Pendulum" Trans. Cambridge Philosophical Society, Vol. 9, Part 2.
- Tavenas, F. and Leroueil, S. (1987). "Laboratory and Stress-strain-time behaviour of soft clays," *Proc. Int. Symp on Geotech. Eng. of soft soils*, Mexico City, 2.
- Taylor, D.W. (1937). "Stability of Earth Slopes," *J. of Boston Soc. of Civil Engineers*, Vol. 24.
- Taylor, D.W. (1948). *Fundamentals of Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, New York.
- Terzaghi, K. (1925). "Erdbaumechanik." Franz, Deuticke, Vienna.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*, Wiley & Sons, New York.
- Terzaghi, K. (1951). "The Influence of Modern Soil Studies on the Design and Construction of Foundations" Bldg. Research Congr., London, 1951, Div. 1, Part III.
- Terzaghi, K. (1955). "Evaluation of the Co-efficient of Sub-grade Reaction," *Geotechnique*, Institute of Engineers, Vol. 5, No. 4, London.
- Terzaghi, K., and Peck, R.B. (1948). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, Wiley, New York.
- Terzaghi, K., and Peck, R.B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, N.Y.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., and Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, Inc., Third Edition, New York.
- Timoshenko, S.P., and Goodier, J.N. (1970). *Theory of Elasticity*, Third Ed., McGraw Hill, New York.

- Tišljar, J.,(1987). "Petrologija sedimentnih stijena", Rudarsko geološko naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 242 stranice.
- Tišljar, J.,(1994.) "Sedimentne stijene", Školska knjiga, Zagreb, 422 stranice
- Tišljar, J., (2001.) "Sedimentologija karbonata i evaporita", Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 375 stranica.
- Tschebotarioff, G.P. (1958). *Soil Mechanics Foundation and Earth Structures*, McGraw Hill, New York.
- Tsytoich, N. (1986). *Soil Mechanics*, Mir Publishers, Moscow.
- Uljarević M., Lj. Palikuća LJ., Biorac D.,(2017)."Realibility of Defined Geotechnical Parameters in Implementation of Geotechnical Design" ,11-th INTERNATIONAL TUNNELLING AND UNDERGROUND STRUCTURES CONFERENCE, Ljubljana, 41-47
- Uljarević M., Palikuća LJ., Biorac D.,(2018). "Pouzdanost rezultata proračuna u funkciji odabranog modela tla" ,12-ta Međunarodna konferencija "SAVREMENA TEORIJA I PRAKSA U GRADITELJSTVU", Banja Luka, 585-601.
- Uljarević M., Uljarević D. (2015). "Pouzdanost rezultata analize stabilnosti kosina" iNDIS, Novi Sad
- U.S. Army Engineer Water Ways Experiments Station. (1957). The Unified Soil Classification system Technical memo No.3-357, Corps of Engineers, Vicksburg, U.S.A.
- U.S. Corps of Engineers. (1953). Technical Memo 3-360, Filter Experiments and Design Criteria, U.S Waterways Experimental Station, Vicksburg, Miss.
- U.S. Department of the Navy. (1971). "Design Manual - Soil Machanics, Foundations, and Earth Structures," NAVF AC DM-7, Washington, D.C.
- Van Der Merwe, D.H. (1964). "The Prediction of Heave from the Plasticity Index and Percentage clay Fraction of Soils," *Civil Engineer in South Africa*, Vol. 6, No. 6.
- Verbrugge, J.C. (1981). "Evaluation du Tassement des Pieure a Partir de l' Essai de Penetration Statique," *Revue Francaise de Geotechnique*, No. 15.
- Vesic, A.S. (1961). "Bending of Beam Resting on Isotropic Elastic Solid," *Jou. Eng. Mechs. Div.*, ASCE, Vol. 87, No. EM2.
- Vesic, A.S. (1969). "Effect of Scale and Compressibility on Bearing Capacity of Surface Foundations," *Discussions, Proceedings, 7th Int. Conf. SM and FE*. Mexico City, Volume III.

- Vesić, A.S. (1972). "Expansion of cavities in Infinite Soil Mass," *J.S.M.F.D.*, ASCE, Vol. 98.
- Vesić, A.S. (1973). "Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations," *JSMFD*, ASCE, Vol. 99, SMI.
- Vesić, A.S. (1975). "*Bearing Capacity of Shallow Foundations*," Foundation Engineering Hand Book, *Van Nostrand Reinhold Book Co., N.Y.*
- Vijayvergiya, V.N., and Ghazzaly, O.I. (1973). "*Prediction of Swelling Potential of Natural Clays*," Third International Research and Engineering Conference on Expansive Clays.
- Westergaard, H.M. (1917). "The Resistance of a group of Piles," *J. Western Society of Engineers*, Vol. 22.
- Westergaard, H.M. (1926). Stresses in Concrete Pavement Computed by Theoretical Analysis Public Road, Vol. 7, No. 12, Washington.
- Winterkorn, H.F., and Hsai-Yang Fang. (1975). *Foundation Engineering Hand Book*, Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Šestanović, S., (1986). "Osnove inženjerske geologije, primjena u graditeljstvu", Geing, 159 stranica.