Veliki edometar Geotehničkog fakulteta

Slukan, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:986967

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veliki edometar Geotehničkog fakulteta

Slukan, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:986967

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-11-20**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering

Sveučilište u Zagrebu

Geotehnički fakultet

IVAN SLUKAN

VELIKI EDOMETAR GEOTEHNIČKOG FAKULTETA

ZAVRŠNI RAD

Varaždin, 2016.

Sveučilište u Zagrebu

Geotehnički fakultet

IVAN SLUKAN

VELIKI EDOMETAR GEOTEHNIČKOG FAKULTETA

ZAVRŠNI RAD

Kandidat:
Ivan Slukan

Mentor:
doc. dr. sc. Igor Petrović

Varaždin, 2016.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

VELIKI EDOMETAR GEOTEHNIČKOG FAKULTETA

Rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc.dr.sc. Igora Petrovića.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije korišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu,

Ivan Slukan

Ivan Slukan

Sažetak:

Ivan Slukan, Veliki edometar Geotehničkog fakulteta

Edometarskim pokusom utvrđuju se parametri koji služe za procjenu slijeganja tla. U edometarskom pokusu simulira se jednodimenzionalna stišljivost tla, a uređaj koji se koristi u edometarskom pokusu nazivamo edometrom. Edometarski pokus daje podatke za proračun volumenskog, trenutnog i ukupnog slijeganja, te krivulju vremenskog toka slijeganja kao vrlo važan podatak u proračunu konsolidacijskog slijeganja.

Veliki edometar Geotehničkog fakulteta je jedinstven uređaj koji su projektirali djelatnici Geotehničkog fakulteta. Na njemu je za potrebe ovog rada provedeno ispitivanje stišljivosti na uzorku kvarcnog pijeska. Temeljem rezultata istraživanja utvrđeno je da je velikim edometrom moguće dobiti edometarske module koji su usporedivi s prosječnim vrijednostima edometarskog modula za pijesak objavljenima u relevantnoj znanstvenoj literaturi.

Ključne riječi: stišljivost, slijeganje, konsolidacija, edometar

Sadržaj

1. Uvod - slijeganje tla 1

2. Edometarski pokus 2

3. Veliki edometar Geotehničkog fakulteta 6

3.1. Područje primjene 7

3.2. Mjesto ugradnje 7

3.3. Dimenzije 7

3.4. Tlačni cilindar i gumena membrana 7

3.5. Kalibracija edometra 9

3.6. Upravljačka elektronika, digitalno mjerilo pomaka i digitalno mjerilo pritiska 11

4. Ispitivanje uzorka u Velikom edometru 12

4.1. Priprema uzorka i edometra za ispitivanje 12

4.2. Postupak ispitivanja i analiza rezultata 14

5. Zaključak 17

6. Popis literature 18

7. Popis slika 19

8. Popis tablica 20

1. Uvod - slijeganje tla

Slijeganje je vertikalni pomak površine tla, koji nastaje pod djelovanjem opterećenja.

Procjena slijeganja je često otežana zbog nehomogenosti tla, složenih odnosa naprezanja i deformacija te zbog teškog određivanja reprezentativnih parametara deformabilnosti tla. To je proces kod kojeg uslijed promjene naprezanja dolazi do premještanja čestica tla i smanjenja volumena pora u tlu na račun istjecanja vode iz tla. [1] [2]

U krupnozrnatom tlu, gdje su veliki koeficijenti vodopropusnosti, brzina istjecanja vode iz pora prati brzinu porasta opterećenja, pa u ovim vrstama tla nema vremenskog zaostajanja smanjenja pornog tlaka za porastom opterećenja. Taj se proces u nekoherentnim tlima događa gotovo trenutno.

Kada se slijeganje odvija u nekom vremenskom razdoblju, zbog sporog istjecanja vode, odnosno male vodopropusnosti tla, ta se pojava naziva proces konsolidacije.

Ukupno slijeganje (s_u) može se rastaviti na: trenutno (s_t), primarno konsolidacijsko (s_k) i sekundarno konsolidacijsko (s_s), što je prikazano u izrazu 1.:

$$s_u = s_t + s_k + s_s \qquad \text{(izraz 1.)}$$

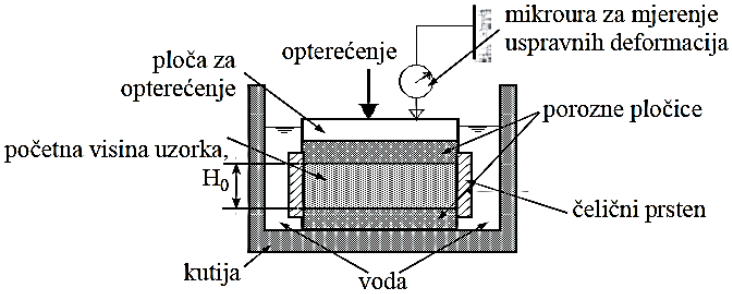
Trenutno slijeganje nastupa neposredno nakon promjene opterećenja. Kod krupnozrnatih tala je to i najizraženija komponenta slijeganja. Kod slabopropusnih, potpuno zasićenih tala (zbog nemogućnosti brzog istjecanja vode iz pora) izazvano je samo promjenom oblika tla, a bez promjene volumena. Takvo stanje, u kojem ne dolazi do istjecanja vode, odnosno promjene volumena, nazivamo nedreniranim stanjem.

Primarno konsolidacijsko slijeganje je posljedica promjene oblika i volumena uslijed istjecanja viška vode iz pora, u kojoj opada porni tlak te rastu efektivna naprezanja. Taj je proces izuzetno spor kod zasićenih slabopropusnih tala (glina, prah te pijesak ili šljunak sa velikim udjelom gline). Proces prilikom kojeg dolazi do istjecanja vode, odnosno promjene volumena nazivamo dreniranim stanjem.

Sekundarno konsolidacijsko slijeganje izazvano je puzanjem tla (deformacijom pri konstatnom opterećenju), a izraženo je kod koherentnih tala. [3]

2. Edometarski pokus

Edometar (Slika 1) je uređaj u kojem se ispituje stišljivost tla u uvjetima promjene samo jedne od šest komponenti deformacije. Sve ostale komponente, barem teoretski, ostaju nepromijenjene. Stoga se u edometru simulira jednodimenzionalna stišljivost tla.



Slika 1. Edometar

Stanje naprezanja u uzorku je troosno, ali se horizontalna naprezanja običnim edometrom ne mogu mjeriti. Za neka ispitivanja postoje posebni edometri koji pružaju tu mogućnost. Horizontalna naprezanja su u svim smjerovima jednaka.

Stanje deformacija u uzorku je jednoosno zbog spriječenog bočnog širenja. Stoga se ovaj uređaj i pokus koji on omogućava, izvodi vrlo često. Ne samo što je vrlo jednostavan, već i prilično dobro opisuje terenske uvjete stanja deformacija pod utjecajem promjene naprezanja u vertikalnom smjeru.

Tijekom edometarskog pokusa mijenja se opterećenje uzorka, a prati se njegova vertikalna deformacija u vremenu, pod utjecajem svakog pojedinog stupnja opterećenja.

Prema ASTM standardu D 2435-03, uzorak tla se opterećuje postupno tako da je svaki inkrement opterećenja jednak prethodnom ukupnom opterećenju uzorka, dok je pri rasterećivanju svaki inkrement jednak polovici prethodnog opterećenja.

Za svaki inkrement opterećenja izmjeri se veličina ukupne deformacije ΔH i izračuna relativna deformacija ε (izraz 2):

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \qquad \text{(izraz 2.)}$$

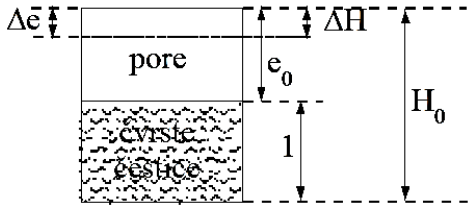
gdje je H_0 početna visina uzorka.

Iz definicije koeficijenta pora e i činjenice da se deformacija događa jedino na račun promjene zapremnine pora, može se izračunati i pripadna promjena koeficijenta pora Δe (izraz 3.):

$$\Delta e = (1+e_0) \cdot \varepsilon \qquad \text{(izraz 3.)}$$

gdje je e_0 početni koeficijent pora uzorka, a ε relativna deformacija uzorka.

Edometarski pokus zasniva se na Hook-ovom zakonu linearno elastičnog štapa s jedne strane i edometarskog modela tla s druge strane (Slika 2)



Slika 2. Edometarski model tla

Pretpostavka je da su bočni pritisci takvi da sprečavaju bočnu deformaciju, što je samo gruba aproksimacija. Pri tom je izraz za dio slijeganja (Δs) debljine Δz (izraz 4.):

$$\Delta s = \frac{\Delta\sigma_v}{M_v} * \Delta z \qquad \text{(izraz 4.)}$$

gdje je $\Delta\sigma_v$ promjena vertikalnog opterećenja, a M_v edometarski modul.

Ukupna deformacija je tada (izraz 5.):

$$s = \sum_i \Delta s_i \qquad \text{(izraz 5.)}$$

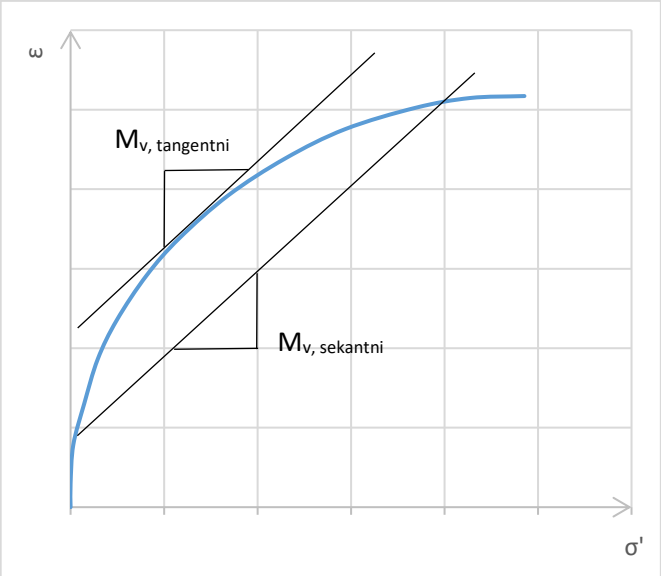
gdje je s ukupno slijeganje.

Za koherentne materijale najčešće se koristi sljedeći izraz (izraz 6.):

$$\Delta s = \frac{\Delta e}{1+e_0} * \Delta z \qquad \text{(izraz 6.)}$$

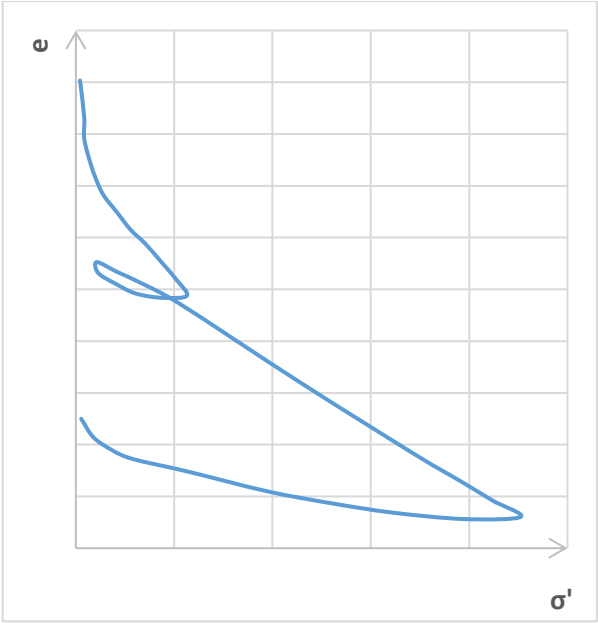
pri čemu je $\Delta z = \Delta H$, odnosno visina sloja za koji se računa slijeganje.

Važno je odrediti razinu primarnih i dodatnih naprezanja za određenu dubinu z i za te vrijednosti iz edometarskog dijagrama odrediti edometarski modul M_v. Kako se s dubinom geostatsko naprezanje povećava, a dodatna naprezanja smanjuju to se vrijednosti deformacijskih svojstava dobivenih pomoću edometarskog dijagrama za odabranu razinu naprezanja kreću oko neke vrlo malo promjenjive vrijednosti. Neki laboratoriji prakticiraju na edometarskom dijagramu ucrtavati izračunate vrijednosti edometarskog modula M_v, sekantni ili tangentni (Slika 3), koji se računaju za pojedine odsječke naprezanja.



Slika 3. Jednostavno objašnjenje tangentnog i sekantnog edometarskog modula

Rezultati pokusa prikazuju se u edometarskom dijagramu (Slika 4), a ovisnost koeficijenta pora o opterećenju prikazuje se edometarskom krivuljom. Sa Slike 4 jasno je vidljivo da se deformacijska svojstva tla mijenjaju ovisno o opterećenju.



Slika 4. Edometarski dijagram

Edometarski modul (M_v) je za određeni supanj opterećenja jednak (izraz 7.):

$$M_v = \frac{\Delta\sigma'_v}{\varepsilon} \qquad \text{(izraz 7.)}$$

Ako usvojimo prethodni izraz, uvažavajući da se u edometru zbiva volumenska deformacija i da prilikom deformacije do smanjenja visine uzorka uz stalnu površinu F, dolazi na račun smanjenja isključivo volumena pora, tada vrijedi sljedeće (izraz 8.):

$$\varepsilon = \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{(H_0 - H_1)*F}{H_0*F} = \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0} \qquad \text{(izraz 8.)}$$

Edometarski modul može se zapisati i pomoću koeficijenta pora (izraz 9.):

$$M_v = \frac{\Delta\sigma'_v}{\Delta e}\,(1 + e_0) \qquad \text{(izraz 9.)}$$

Recipročna vrijednost edometarskog modula za odabrani odsječak naprezanja naziva se koeficijent volumenske stišljivosti (modul promjene volumena) i jednak je (izraz 10.):

$$m_v = \frac{\Delta e}{\Delta\sigma'_v(1+e_0)} \qquad \text{(izraz 10.)}$$

Pomoću modula promjene volumena može se izravno proračunavati slijeganje s za promatrani odsječak (izraz 11.):

$$s = \Delta\sigma'_v * m_v * H \qquad \text{(izraz 11.)}$$

gdje je H visina odabranog odsječka za koji se vrši proračun. [1]

3. Veliki edometar Geotehničkog fakulteta

Na Geotehničkom fakultetu razvijen je tzv. „veliki“ edometar [5]. Radi se zapravo o uređaju koji je pogodan za ispitivanje stišljivosti zrnatih materijala na velikim uzorcima. Promjer uzorka u „velikom“ edometru iznosi 500 mm, a visina 200 mm. Dimenzije uzorka čine ovaj uređaj pogodnim i za ispitivanje stišljivosti otpada.

U „velikom“ edometru (Slika 5) vanjsko opterećenje nanosi se na uzorak pomoću hidrauličkog agregata. Prijenos sile na uzorak ostvaruje se od metalnog prstena u koji se ugrađuje uzorak. Granice uzorka mogu biti jednostruko ili dvostruko drenirane.

Slika 5. Veliki edometar Geotehničkog fakulteta

3.1. Područje primjene

Veliki edometar primjenjuje se u laboratorijskim uvjetima pri sljedećim nazivnim veličinama:

- dimenzije uzorka: promjer (*d*) = 50 cm; visina (*h*) = 20 cm
- raspon opterećenja na uzorak: 0 - 1800 kN/m^2 nominalno
- mjerni raspon mjerila pomaka: 0 - 7 cm nominalno
- nosivost dizalice: 300 kg nominalno
- mrežni napon (za hidraulički agregat): 220 V

3.2. Mjesto ugradnje

Veliki edometar predviđen je za laboratorijsku uporabu pod normalnim laboratorijskim uvjetima:

- kontrolirana temperatura okoline od 20°C $\pm$ 2^0
- kontrola vlage od 30 - 70 % RH
- kontrola pritiska – atmosferski
- zanemarivo seizmičko djelovanje

3.3. Dimenzije

S obzirom na raspoloživi prostor, maksimalna duljina velikog edometra iznosi cca 3,8 m, a širina cca 1,0 m, uključujući i radni stol s dizalicom.

3.4. Tlačni cilindar i gumena membrana

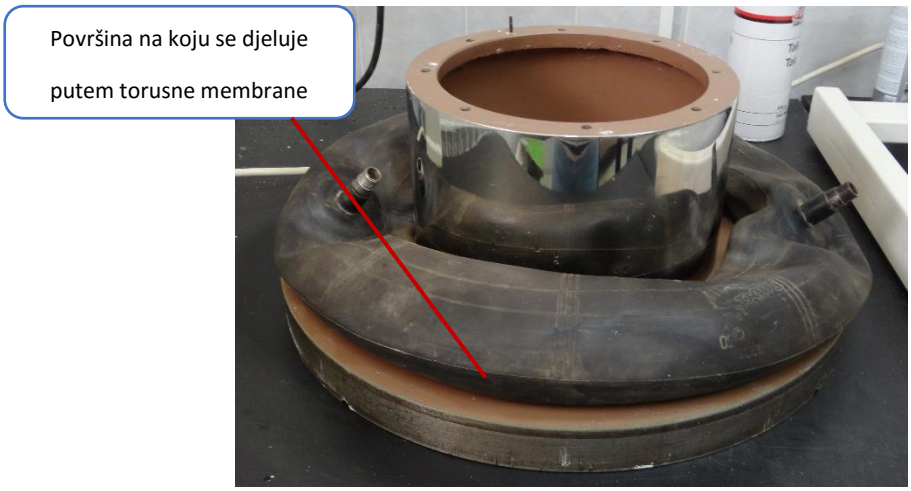
Ovaj uređaj odlikuje i niz originalnih rješenja od kojih su najvažniji tlačni cilindar i gumena membrana kao sastavni dijelovi hidrauličkog dijela sustava za nanošenje i upravljanje pritiskom.

Zbog mogućnosti pucanja gumene membrane tokom pokusa, te neugodnog istjecanja fluida u okolni prostor, u gumenoj se membrani kao fluid koristi voda.

S druge strane, rad hidrauličke pumpe s fluidom poput vode znatno bi reducirao njen životni vijek pa se stoga u hidrauličkoj pumpi kao tlačni fluid koristi ulje.

Tlačni cilindar ujedno služi i kao premosnica između ulja i vode, neutralizira tlačne udare te stvara vakuum prilikom smanjenja pritiska.

Gumena membrana služi za nanošenje sile na uzorak. Za tu se svrhu koristi auto zračnica, na kojoj su izvršene određene preinake, budući da se koristi za rad sa puno većim pritiscima od onih za koje je ona tvornički dimenzionirana. Ventil za zrak je odstranjen i zamijenjen gumenom zakrpom, dok su na dijametralno suprotnim stranama gumene membrane zalijepljeni vulkanizirani čelični ventili dimenzionirani tako da mogu izdržati pritiske do 3000 kN/m^2 (Slika 6).



Slika 6. Gumena membrana

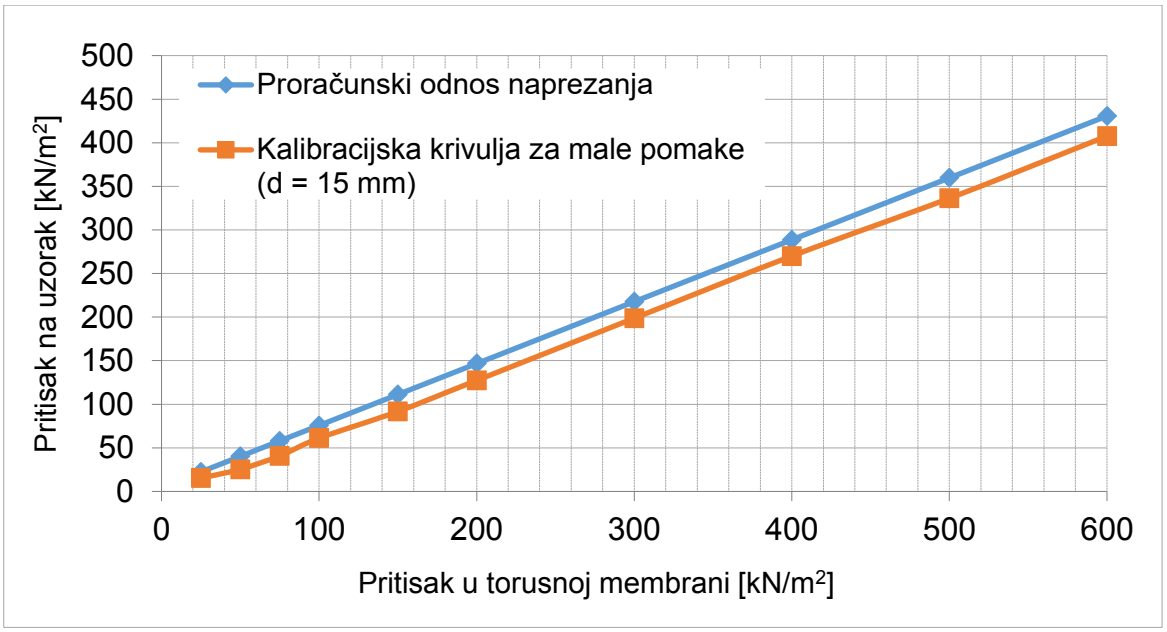
Sa Slike 6 ujedno se može uočiti da je površina na koju se djeluje putem torusne membrane manja od površine koja je u kontaktu s uzorkom. Omjer ovih površina iznosi 1:1,408.

Gumena membrana je najslabiji dio uređaja, iz razloga jer lako puca u kontaktu s čeličnim prstenom ploče za nanošenje opterećenja. Čelični prsten pri većim pomacima, uslijed sile trenja, neravnomjerno razvlači torusnu membranu u vertikalnom smjeru, što dovodi do njezinog pucanja. Zbog toga se membrana omotava HDPE folijom, koja smanjuje silu trenja na kontaktu. Ovako omotana membrana posipana je još i talkom što dodatno smanjuje trenje (Slika 7).

Slika 7. Gumena membrana posipana talkom i omotana HDPE folijom

3.5. Kalibracija edometra

Zbog trenja na kontaktu vodilice ploče, kojom se pritisak nanosi na uzorak, i gornjeg poklopca, kao i zbog trenja na kontaktu gumene torusne membrane presvučene HDPE folijom i čelične vodilice, pritisak na uzorak je manji od teoretske vrijednosti koja se dobije iz omjera površina 1:1,408. Zbog toga je potrebno koristiti kalibracijsku krivulju prikazanu na Slici 8.



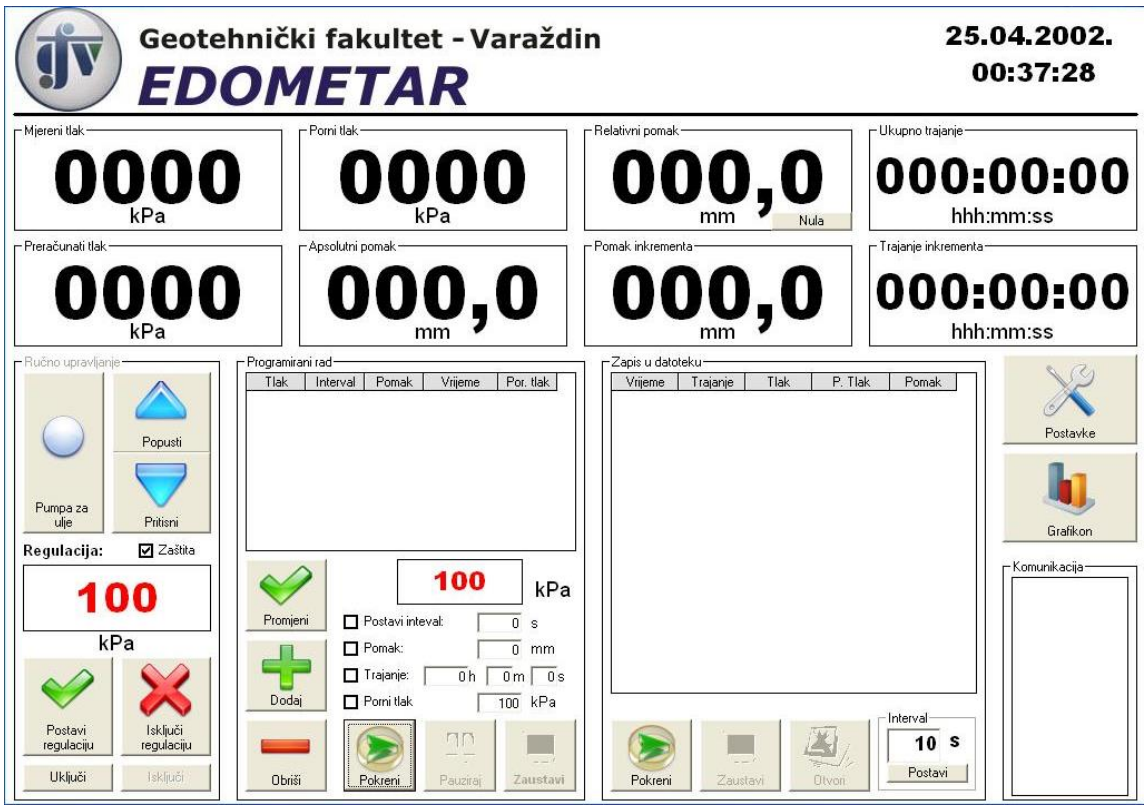
Slika 8. Kalibracijska krivulja za veliki edometar

Kalibracijska jednadžba pravca glasi:

$$\text{pritisak na uzorku} = 0{,}6915 \cdot \text{pritisak na torusnoj membrani} - 8{,}5013$$

3.6. Upravljačka elektronika, digitalno mjerilo pomaka i digitalno mjerilo pritiska

Računalni pogram (Slika 9) kojim se upravlja pokusom napisan je u Visual Basicu.



Slika 9. Upravljački program Velikog edometra

Za mjerenje pomaka i pritiska tijekom pokusa koriste se digitalni uređaji:

- Za pomak: Vishay 115 L, precision linear transducer
- Za pritisak: Turc H6

4. Ispitivanje uzorka u Velikom edometru

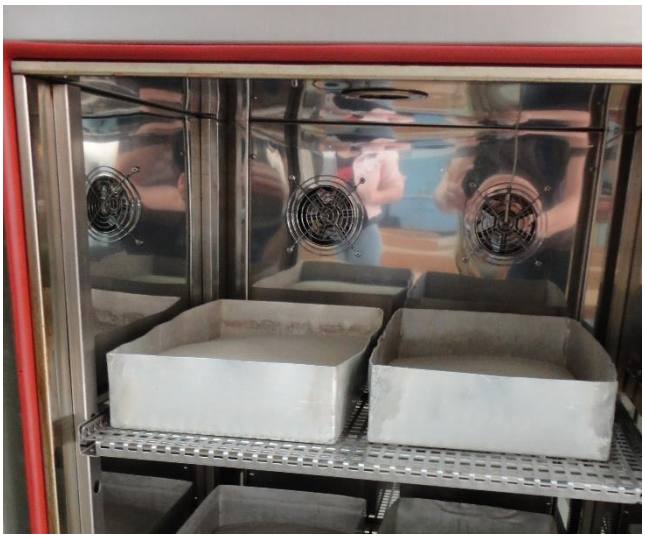
Za ispitivanje je korišten uzorak kvarcnog pijeska sa svojstvima navedenim u Tablici 1:

Tablica 1. Svojstva uzorka pijeska za ispitivanje

Veličina frakcije	D/d	0/1mm
Tipični granulometrijski sastav	Prolaz kroz sito 2,0 mm	100
	Prolaz kroz sito 1,0 mm	100
	Prolaz kroz sito 0,50 mm	97
	Prolaz kroz sito 0,25 mm	47,0
	Prolaz kroz sito 0,125 mm	8,0
	Prolaz kroz sito 0,063 mm	2,2
Gustoća	Stvarna gustoća čestica	ρ_a=2,63 Mg/m^3
	Gustoća čestica u suhom stanju	ρ_{rd}=2,59 Mg/m^3
	Gustoća čestica u zasićenom suhom stanju	ρ_{ssd}=2,60 Mg/m^3
Petrografski opis	Opis	Kvarcni pijesak

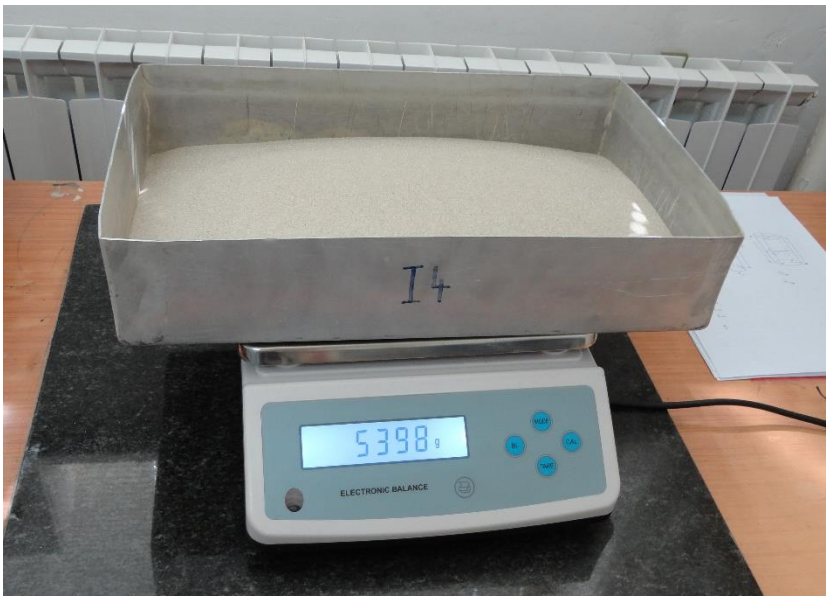
4.1. Priprema uzorka i edometra za ispitivanje

Uzorak je najprije stavljen na sušenje na 24 sata pri 110°C (Slika 10).



Slika 10. Uzorak pijeska stavljen na sušenje

Nakon sušenja, dijelovi uzorka su izvagani (Slika 11) te je utvrđena ukupna masa čvrstih čestica uzorka koja je ugrađena u edometar, m_s = 31 717 g.

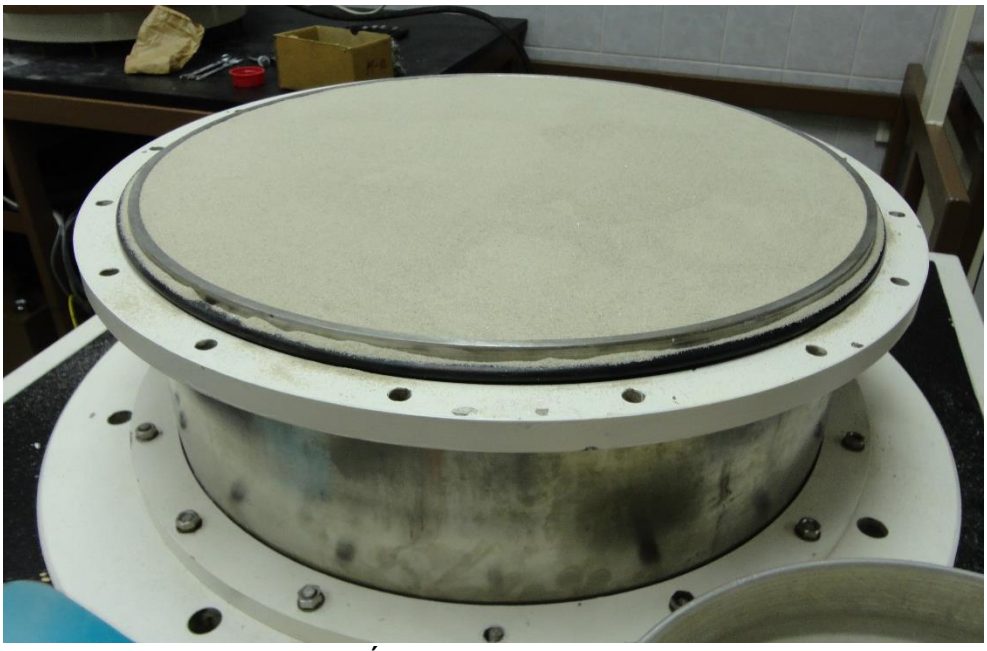


Slika 11. Vaganje dijelova uzorka

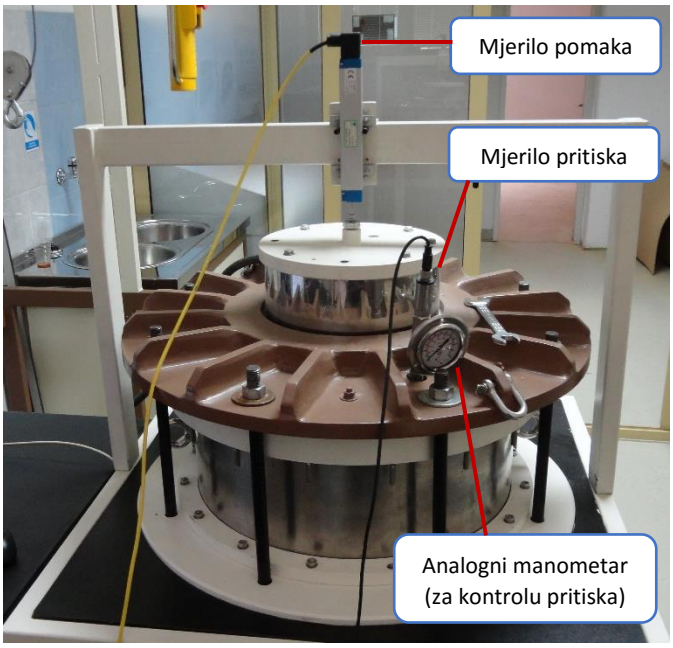
S ciljem sprečavanja pucanja gumene membrane, u ćeliju su ugrađene krute metalne ploče (Slika 12), čime je visina uzorka smanjena te iznosi 119,04 mm. Izmjereni volumen ćelije iznosi V = 23 272,21 cm^3.

Slika 12. Ćelija edometra sa umetnutim metalnim pločama

Uzorak je potom ugrađen u ćeliju (Slika 13), stavljen je gornji poklopac (sa gumenom membranom za nanošenje opterećenja), te su na njega montirani mjerilo tlaka i mjerilo pomaka (Slika 14).



Slika 13. Ćelija s ugrađenim uzorkom



Slika 14. U potpunosti sastavljena ćelija edometra, spremna za ispitivanje

4.2. Postupak ispitivanja i analiza rezultata

Pritisak ploče iznosti 4,7 kPa, stoga je opterećenje na početku dodatno povećano za 5,3 kPa tako da je prvi inkrement opterećenja iznosio 10 kPa. Daljnji inkrementi opterećenja, te dobiveni pomaci prikazani su u Tablici 2.

Tablica 2. Inkrementi opterećenja i rezultati edometarskog pokusa

Datum	Vrijeme	Pritisak u torusnoj membrani [kPa]	Pritisak na uzorak [kPa]	Relativni pomak [mm]
17.05.2016.	10:00	20	10 (5,3+4,7)	0,2
	14:00	99	60	0,6
	21:40	171	110	0,8
	21:44	171	110	0,9
18.5.2016	9:40	171	110	0,9
	9:44	316	210	1,2
	9:55	316	210	1,4
	15:40	316	210	1,5
19.05.2016.	9:30	316	210	1,5
	9:45	605	410	2,3
	14:00	605	410	2,4
	14:00	316	210	2,4
	18:40	316	210	2,4
	18:45	171	110	2,3
20.05.2016.	8:30	171	110	2,3
	10:10	99	60	2,2
	22:40	99	60	2,2
	22:45	20	10	2
21.05.2016.	19:20	20	10	2
22.05.2016.	10:40	20	10	2
	19:35	20	10	2
23.05.2016.	9:15	20	10	2

Iz prethodno dobivenih vrijednosti,izračunato je da suha gustoća uzorka ρ_d iznosi (izraz 12.):

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{31\,717\ \mathrm{g}}{23\,727\,21\ \mathrm{cm}^3} = 1{,}36\ \mathrm{g/cm}^3 \qquad \text{(izraz 12.)}$$

Početni koeficijent pora e_0 iznosi (izraz 13.):

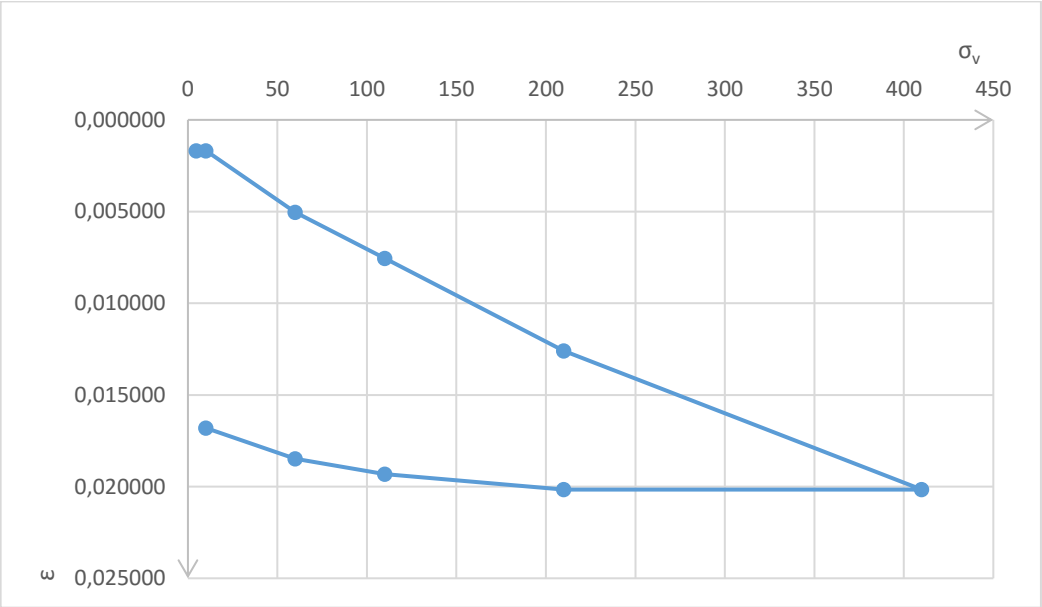
$$e_0 = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2{,}59\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}}{1{,}36\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}} - 1 = 0{,}9 \qquad \text{(izraz 13.)}$$

Izračunate relativne deformacije, promjene koeficijenta pora, te edometarski moduli po Δe i Δh ispitivanog uzorka prikazani su u Tablici 3. U izračunu su korišteni izrazi 3., 8. i 9.

Tablica 3. Izračunate relativne deformacije, promjene koeficijenta pora, te moduli stišljivosti po Δe i Δh ispitivanog uzorka

σ_v [kPa]	$\Delta\sigma_v$ [kPa]	Δh [mm]	ε	e	Δe	Mv po Δe [Mpa]	Mv po Δh [Mpa]
OPTEREĆIVANJE				0,9			
0-10	10	0,2	0,001680	0,896808	0,00319	5,95	5,95
10-60	50	0,6	0,005040	0,890423	0,00958	9,92	9,92
60-110	50	0,9	0,007560	0,885635	0,01436	6,61	6,61
110-210	100	1,5	0,012601	0,876058	0,02394	7,94	7,94
210-410	200	2,4	0,020161	0,861694	0,03831	9,92	9,92
RASTEREĆIVANJE							
410-210	200	2,4	0,020161	0,861694	0,03831	9,92	9,92
210-110	100	2,3	0,019321	0,863290	0,03671	5,18	5,18
110-60	50	2,2	0,018481	0,864886	0,03511	2,71	2,71
60-10	50	2	0,016801	0,868078	0,03192	2,98	2,98

Promjena relativne deformacije ε u zavisnosti od vertikalnog naprezanja σ_v prikazana je na Slici 15:



Slika 15. Promjena deformacije ε u zavisnosti od vertikalnog naprezanja σ_v

U Tablici 4 vidljivo je da su vrijednosti edometarskih modula dobivene u pokusu bliske onima iz znanstvene literature.

Tablica 4. Prosječne vrijednosti edometarskog modula za pijesak iz znanstvene literature: [7]

σ_v [kPa]	Mv [Mpa]
62-100	5,24
200-510	12,29

5. Zaključak

Stišljivost i procjena slijeganja tla su jedni od najvažnijih parametara koji se koriste pri projektiranju temelja i gradnji raznih objekata. Ti se parametri ispituju edometrima u koje se ugrađuju manji uzorci tla. Veliki edometar Geotehničkog fakulteta koristi se za procjenu slijeganja na velikim uzorcima, što je potrebno kod procjene heterogenih uzoraka poput otpada.

Uređaj se kod ispitivanja uzorka pijeska pokazao operativnim i funkcionalnim, iako je za njegov daljnji i komercijalniji rad potrebno uvesti neka poboljšanja i preinake, poput mjerila tlaka u samoj ćeliji, pri čemu bi ispitivanja bila preciznija, ispravljanja bugova u upravljačkom programu i dr.

6. Popis literature

[1] Roje-Bonacci, T. *Mehanika tla*. 3. izd. Split: Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet; 2007.

[2] Strelec S., Štuhec D. *Geotehnički laboratorij i primjena u inženjerskoj praksi*. Varaždin; 2011.

[3] Kvasnička P., Domitrović, D. *Mehanika tla*. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet; 2007.

[4] http://nastava.tvz.hr/zlatovic/knjiga/7.pdf [05.05.2016.]

[5] http://hrcak.srce.hr/file/96336 [07.06.2016.]

[6] http://hrcak.srce.hr/file/99606 [07.06.2016.]

[7] Lambe T.W., Whitman R. V. *Soil Mehanics.* Massachusetts Institute of Technology; 1969.

7. Popis slika

Slika 1. Edometar

Slika 2. Edometarski model tla

Slika 3. Jednostavno objašnjenje tangentnog i sekantnog modula

Slika 4. Edometarski dijagram

Slika 5. Veliki edometar Geotehničkog fakulteta

Slika 6. Gumena membrana

Slika 7. Gumena membrana posipana talkom i omotana HDPE folijom

Slika 8. Kalibracijska krivulja za veliki edometar

Slika 9. Upravljački program Velikog edometra

Slika 10. Uzorak pijeska stavljen na sušenje

Slika 11. Vaganje dijelova uzorka

Slika 12. Ćelija edometra sa umetnutim metalnim pločama

Slika 13. Ćelija s ugrađenim uzorkom

Slika 14. U potpunosti sastavljena ćelija edometra, spremna za ispitivanje

Slika 15. Promjena deformacije ε u zavisnosti od vertikalnog naprezanja σ_v

8. Popis tablica

Tablica 1. Svojstva uzorka pijeska za ispitivanje

Tablica 2. Inkrementi opterećenja i rezultati edometarskog pokusa

Tablica 3. Izračunate relativne deformacije, promjene koeficijenta pora, te moduli stišljivosti po Δe i Δh ispitivanog uzorka

Tablica 4. Prosječne vrijednosti edometarskog modula za pijesak iz znanstvene literature