

Broj projekta: UIP-2017-05-5157

Voditelj projekta: izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

Ustanova ugovaratelj/matična ustanova: Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Cilj: O3

Rezultat: D3.3

Izvještaj o probnim mjerenjima

1. Nabava probnog uzorka

Za potrebe probnih mjerenja i uhadavanja u cijeli proces izabran je univerzalni supstrat budući da svojim izgledom i konzistencijom odgovara uzorku sitne frakcije otpada na kojem će se izvoditi stvarna ispitivanja.

Nakon što je uzorak zemlje dopremljen u Laboratorij za inženjerstvo okoliša na Geotehničkom fakultetu (slika 1), započeta su inicijalna ispitivanja i probna mjerenja:

- određivanje vlažnosti,
- određivanje udjela organske
- određivanje specifične gustoće uzorka
- probno mjerenje u triaksijlanom uređaju
- probno mjerenje u edometarskom uređaju



Slika 1. Univerzalni supstrat korišten za probne uzorke

Određivanje vlažnosti probnog uzorka

Vlažnost probnog uzorka zemlje određena je prema standardu ASTM D2974. Prema standardu ASTM D2974 propisano je da se uzorak zemlje suši na 105 °C, no s obzirom da postoji mogućnost gubitka određenog postotka mase organske tvari, uzorak se sušio u sušioniku na 60 °C minimalno 16 sati ili do trenutka kada više nema promjena u masi (Slika 2).



Slika 2. Sušenje uzorka u sušioniku na 60 °C

Na početku se izmjeri i zabilježi masa posude u kojoj će se vršiti sušenje m_p . Nakon toga se uzme određeni dio uzorka i izvaži i zabilježi masa posude s uzorkom m_{p+u} (Slika 3.).



Slika 3. Probni uzorak zemlje spreman za sušenje u sušioniku

Masa vlažnog uzorka odredi se oduzimanjem mase uzorka i posude od mase posude. Nakon sušenja, ponovo se mjeri masa posude i suhog uzorka m_{p+su} . Razlika između mase suhog m_s i početnog/vlažnog uzorka m_w čini masu vode. Izračunata masa vode, podijeli se s masom uzorka prije sušenja m_w i množi sa 100 kako bi dobili postotak vlažnosti uzorka (Jednadžba (i)).

$$w = \frac{m_w - m_s}{m_w} \times 100 [\%] \quad (i)$$

gdje je:

w - postotak vlažnosti uzorka

m_w - masa vlažnog uzorka

m_s - masa suhog uzorka

Određivanje udjela organske tvari u probnom uzorku

Organska tvar određena je prema ASTM D2974 standardu. Nakon što se uzorak zemlje osušio na 60 °C, uzet je reprezentativni uzorak za određivanje sadržaja organske tvari (Slika 4). Prema ASTM D2974 standardu, organska tvar se određuje u peći za žarenje na 440 °C tako dugo dok sva organska tvar ne izgori, tj. više nema promjena u masi uzorka (Slika 5).



Slika 4. Reprezentativni uzorci zemlje za određivanje organske tvari



Slika 5. Peć za žarenje s uzorcima

Na početku se odredi masa posude pomoću laboratorijske vage točnosti $\pm 0,01$ g (Slika 6). Reprezentativni uzorak zemlje se izvaže zajedno s masom posude. Nakon paljenja na 440 °C, izvaže se masa posude s ostatkom uzorka. Razlika između početne mase i mase nakon paljenja određuje masu izgorene tvari. Masa izgorene tvari računa se prema jednadžbi (ii).

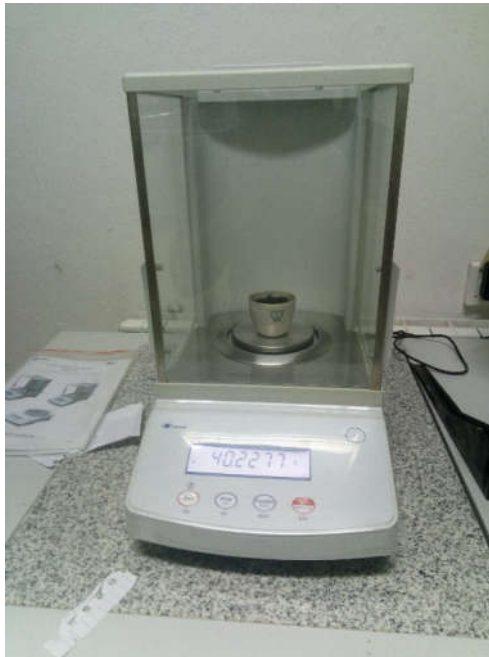
$$O = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 [\%] \quad (\text{ii})$$

gdje je:

O – postotak organske tvari u uzorku

m_0 – masa uzorka prije paljenja u peći

m_1 – masa uzorka nakon paljenja u peći



Slika 6. Laboratorijska vaga točnosti $\pm 0,01$ g

Specifična gustoća uzorka

Specifična gustoća uzorka određena je u geotehničkom laboratoriju prema BS 1377-2: 1990.

Specifična gustoća određena je pomoću piknometra poznatog volumena. Uzorak zemlje se prethodno mora dobro usitniti pomoću tarionika i keramičkog tučka. Izmjerena je masa piknometra laboratorijskom vagom s točnošću $\pm 0,01$ g. Nakon toga stavljeno je otprilike 30 g zemlje u piknometar i ponovo je izvagana masa piknometra s uzorkom. U piknometar je zatim dodano deaerirane i destilirane vode do otprilike polovice visine. Istovremeno je pripremljeno tri uzorka kako bi mogli izračunati srednju vrijednost (Slika 7)



Slika 7. Pripremljeni uzorci u piknometrima

Piknometri su zatim stavljeni u pješčanu kupelj na temperaturu od $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ kako bi uklonili sav zrak iz uzorka. Nakon pješčane kupelji, u piknometar je dodano deaerirane vode do vrha, stavljen je čep i izvagana je masa piknometra punog vode i uzorka. Na kraju se izmjerila i temperatura vode. Na temelju izmjerenih vrijednosti izračunata je srednja vrijednost specifične gustoće uzorka zemlje od $1,94\text{ g/cm}^3$.

Probna mjerenja u triaksijalnom uređaju

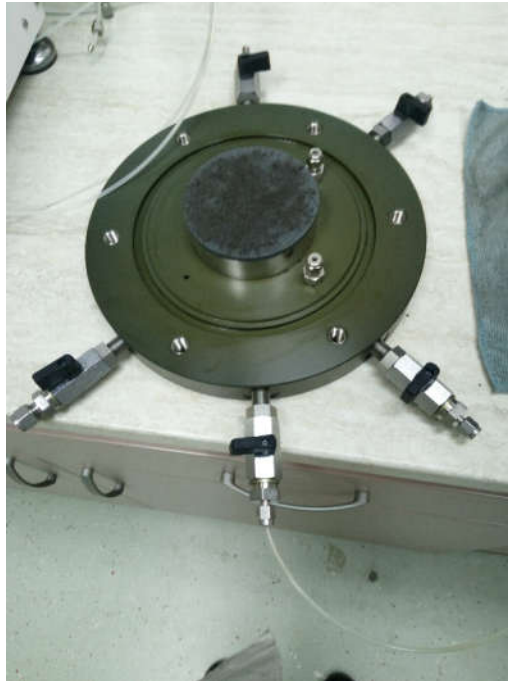
Kako bi se ugradio uzorak u uređaj za triaksijalno ispitivanje, uzorak je morao biti što zasićeniji. Stoga je prije same ugradnje uzorku dodana voda, te je potom dobro izmješšan priručnim alatom i ostavljen minimalno 24 sata kako bi se voda što ravnomjernije rasporedila po uzorku.

Probni uzorak ugrađen je u uređaj za triaksijalno ispitivanje na način da se membrana stavila unutar valjkastog metalnog cilindra koji na sebi ima otvor kako bi se mogao izvući sav zrak između membrane i stijenke metalnog prstena pomoću gumene cijevi i ručne pumpe (Slika 8).



Slika 8. Valjkasti metalni cilindar i gumena membrana za ugradnju uzorka

Na bazu/dno triaksijalnog uređaja (Slika 9), nakon što se stavila gumena membrana, stavlja se gumena brtva koja služi za dodatnu zaštitu, kako voda iz ćelije ne bi dospjela u uzorak te se na taj način omogućava neovisno upravljanje pornim pritiscima u samom uzorku te upravljanje ćelijskim pritiskom. Ispod i iznad uzorka stavljaju se porozne pločice koje služe za provođenje vode u ili iz uzorka. Pripremljeni i zasićeni uzorak zemlje, lopaticom se stavlja u gumenu membranu koja prianja na stijenke valjkastog metalnog cilindra. Visina i promjer uzorka bili su 10 cm.



Slika 9. Dno triaksijalnog uređaja i porozna pločica

Uzorak pripremljen na prethodno opisan način, stavlja se na okvir/prešu i na njega se stavlja ćelija. Ćelija se potom puni deaeriranom i destiliranom vodom (Slika 10) koja služi za nanošenje ćelijskog pritiska. Pritiskom u uzorku i u ćeliji upravlja se pomoću tlačnih pumpa putem računala.

Nakon što je uzorak pripremljen, pristupa se računalnom upravljanju cijelog procesa pomoću programskog paketa GDSLAB. To je program koji služi za računalno upravljanje ispitivanjima u triaksijalnom uređaju, a dijelovi testnog sustava definiraju se pomoću *.ini datoteka. Inicijalne datoteke su niz zapisanih podataka o svim uređajima koji su povezani s računalom.



Slika 10. Sastavljena ćelija i uzorak na okviru/preši

Po ugradnji uzorka započelo je provođenje probnog triaksijalnog pokusa. Sam pokus provodi se u tri faze:

- zasićivanje,
- konsolidacija
- smicanje.

Potpuno zasićivanje uzorka provedeno je pomoću tlačnih pumpi koje su cijevima spojene na uzorak i na ćeliju. U uzorak je tlačena deaerirana i destilirana voda različitim pritiscima (60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480 i 500 kPa) svaki kroz period od 60 minuta. Istovremeno je održavan i ćelijski pritisak u istim inkrementima kao i u uzorku kako bi efektivna naprezanja u uzorku i ćeliji bili jednaki.

Kako bi se provjerilo da je uzorak potpuno zasićen, proveden je B-check test. B-check je jedan od Skemptonovih parametara koji se računa na temelju mjerenja razlike purnog tlaka u uzorku i zadanog ćelijskog pritiska. Drugim riječima, ukoliko se ćelijski pritisak poveća za $\Delta\sigma_3 = 100$ kPa, razlika purnog pritiska (pritiska u uzorku) bi trebala porasti za jednak iznos, odnosno, njihov kvocijent nebi smio biti manji od 0,95.

Nakon uspješno provedenog B-check testa, krenula je konsolidacija uzorka. Ćelijski pritisak pri kojem se uzorak konsolidirao bio je 550 kPa. Faza konsolidacije uzorka trajala je 24 sata. Nakon konsolidacije uzorka, krenula je faza smicanja. Pri tome je odabran CU pokus kod kojeg se, nakon što se uzorak konsolidira, u fazi smicanja ne dozvoljava da voda izlazi iz uzorka (Slika 11).

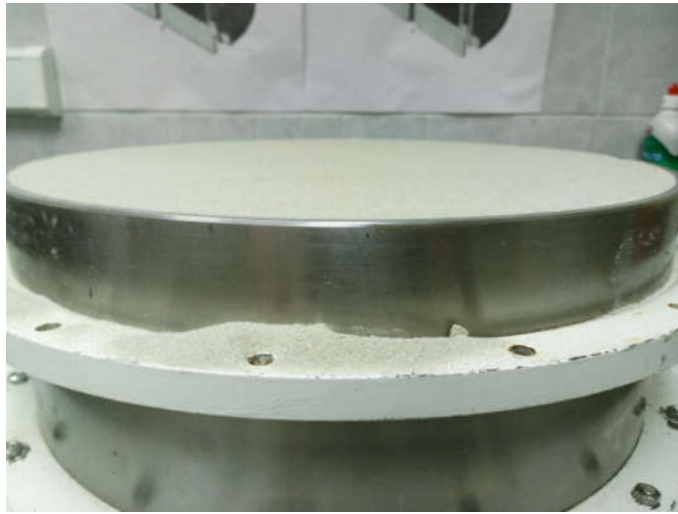


Slika 11. Treća faza triaksijalnog ispitivanja, smicanje uzorka zemlje

Kao rezultat pokusa dobivaju se parametri drenirane i nedrenirane čvrstoće ispitivanog uzorka.

Probna mjerenja u velikom edometru

Provedeno je ispitivanje početnog položaja gornje i potisne ploče velikog edometra kako bi se moglo odrediti inicijalno slijeganje uzorka uzrokovano vlastitom težinom potisne ploče. Čelija velikog edometra (promjera 50 cm) napunjena je do vrha relativno krutim uzorkom (pijeskom, Slika 12), kako bi bili sigurni da se potisna ploča nalazi u ravnini s vrhom prstena (Slika 13).



Slika 12. Čelija edometra napunjena do vrha pijeskom



Slika 13. Potisna ploča na vrhu prstena edometra

Nakon toga, provedeno je niz mjerenja udaljenosti od gornje ploče do vrha potisne ploče (Slika 14) i izračunata je srednja vrijednost svih mjerenja. Dobivena srednja vrijednost visine je 103 mm.



Slika 14. Mjerenje visine od gornje ploče do potisne ploče

Za potrebe probnih ispitivanja u ćeliju velikog edometra ugrađen je probni uzorak specifične gustoće $1,94 \text{ g/cm}^3$. Ugradnja je provođena u više slojeva do konačnog poravnanja s vrhom prstena uzorka (Slika 15). Prethodno se uzorku dodala voda, potom se promiješao priručnim alatom i ostavio 24 sata kako bi se voda što ravnomjernije rasporedila po uzorku. Uzorak se u edometarsku ćeliju nasipavao se iz velike PVC posude. Priručnim alatom, uzorak je razgrnut i zbijan vlastitom težinom tijela.



Slika 15. Ugrađen probni uzorak u ćeliju edometra

Nakon ugradnje uzorka u edometar, započeto je ispitivanje stišljivosti. Samim pokusom upravlja se pomoću računalnog programa vlastite proizvodnje. Postupno su nanošeni inkrementi opterećenja na uzorak od 25, 50, 100, 200 i 400 kPa u fazi opterećenja kao i u fazi rasterećenja

uzorka. Svaki inkrement trajao je 24 sata. Na Slici 16 prikazan je uzorak nakon ispitivanja u edometarskoj ćeliji.



Slika 16. Uzorak nakon konsolidacije

Kao rezultat pokusa dobivaju se parametri stišljivosti ispitivanog uzorka.

U Varaždinu,

15. siječnja 2019.

Voditelj projekta:

Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

