

RAČUNALNIŠKO VODENE GEOTEHNIČNE PREISKAVE

COMPUTER GUIDED GEOTECHNICAL INVESTIGATION

BOJAN ŽLENDER, dr., Tehniška fakulteta Univerze v Mariboru,
LUDVIK TRAUNER, prof. dr., Tehniška fakulteta Univerze v Mariboru,
STANISLAV ŠKRABL, doc. dr., Tehniška fakulteta Univerze v Mariboru.

POVZETEK: *Prispevek podaja kratek pregled dosedanjega raziskovalnega dela in predloge za izvedbo konvencionalnih in hitrih računalniško vodenih geotehničnih preiskav. Laboratorijska oprema z aparati, merilni senzorji z merilno opremo ter računalniška strojna in programska oprema tvorijo celoto, imenovano merilni modus. Merilni modus omogoča preiskave, ki tečejo avtomatsko, po vnaprej izbranih in predpisanih poteh, s sprotno interpretacijo rezultatov. Na podlagi mnogih testnih primerov so podani predlogi za izvajanje računalniško vodenih geotehničnih preiskav. Praktična uporabnost merilnega modusa je preizkušena z laboratorijskimi in terenskimi preiskavami.*

SUMMARY: *The paper presents a brief report of our research work and suggestions for performing conventional and quick computer aided laboratory tests of soils. The measuring system consists of the laboratory apparatus, measuring equipment, hardware and software. The process controlled investigation runs automatically according to the in advance selected programmed procedures, thus enabling an immediate interpretation of results. On the basis of numerous test examples some suggestions for process controlled tests of soils are given. Practical applications of the measuring modus with the proposed test procedures were carried out and tested in the laboratory and on in-situ bearing capacity investigations.*

UVOD

Pri opisu reoloških lastnosti zemljin naletimo na vrsto omejitev in problemov, ki zmanjšujejo kvaliteto rezultatov - od izbire primerne teorije, izvedbe testnih postopkov itd., vse do uporabe ugotovljenih reoloških parametrov zemljin v kasnejših geotehničnih analizah. Zaradi mnogih posameznih problemov in omejitev postajajo rezultati preiskav relativni, pogosto močno odstopajo in so tako težko eksaktno uporabljivi v nadaljnjih analizah. Zaradi same narave tal sicer ne moremo dobiti povsem eksaktnih rezultatov preiskav, lahko pa s posameznimi izboljšavami dvignemo kvaliteto izvedbe preiskav in zmanjšamo napake in odstopanja rezultatov. Izboljšave je smotrno iskati na teoretičnem, tehničnem, eksperimentalnem in numeričnem področju ter z vpeljavo statističnih metod in postopkov verjetnostnih računov. V laboratoriju za mehaniko tal na Tehniški fakulteti v Mariboru (LMT-TF) smo zastavili večletno raziskovalno delo, ki je imelo dva osnovna cilja. V geotehnične preiskave smo želeli vpeljati prednosti, ki jih nudijo računalništvo in sodobne merilne tehnike in tako doseči čim kvalitetnejšo izvedbo konvencionalnih preiskav, hkrati pa smo želeli tudi razviti teoretično podlago in eksperimentalne postopke, ki bi omogočili vpeljavo novih testnih postopkov, pri čemer smo še posebej izpostavili pomen hitrih laboratorijskih testov.

Reološke lastnosti zemljin lahko obrevnavamo na treh nivojih: mikro-, makro- in meganivoju.

Na mikronivoju obravnavamo zemljino kot trifazni material z interaktivnim odnosom posameznih delcev. Na tem nivoju podamo vse mikromehanske, kemijske mineraloške in fizikalne lastnosti zemljine.

Makronivo obravnava zemljino kot kontinuum, ki zadovoljuje osnovne principe mehanike in je skladen s konstitutivnimi zakoni kontinuirnih snovi. Opis lastnosti zemljine podamo po izbrani konstitutivni teoriji (elastični, hiperelastični, plastični, viskoelastični itd...). Konstitutivne odnose formuliramo na podlagi več različnih preprostih testov, s katerimi ugotovljamo posamezne lastnosti zemljine (enoosni, edometriški, triaksialni, strižni test itd...).

Meganivo obravnava celotno strukturo tal v interakciji z objekti in okolico. Opis tal podamo z makrokonstitutivnimi enačbami, ki jih v preiskavah tal uporabimo pri izvedbi terenskih preizkusov in eksperimentalnih analiz.

Prispevek podaja predvsem opis izvedbe preiskav; teoretična podlaga, ki je za to potrebna, pa je podrobno opisana v podanih referencah.

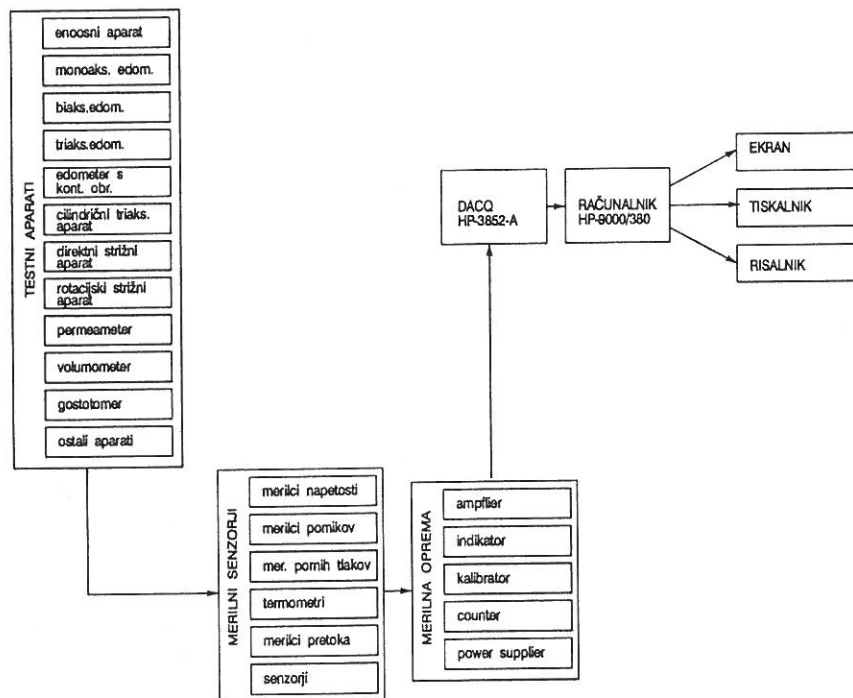
LABORATORIJSKA OPREMA

Laboratorijski aparati skupaj z merilno opremo ter računalniško strojno in programsko opremo tvorijo celoto, imenovano merilni modus. Merilni modus je zasnovan tako, da omogoča poljubne konvencionalne in nekonvencionalne računalniško vodene preiskave

zemljin. Izvajamo lahko preiskave za določanje fizikalnih lastnosti zemljin ter vrsto preiskav, kot so enoosne preiskave stisljivosti zemljin, direktne in rotacijske strižne preiskave, enoosne, dvoosne in triosne edometriške preiskave stisljivosti ter cilindrične triaksialne preiskave. Ob primerni merilni opremi je merilni modus uporaben tudi za meritve, analize in interpretacijo rezultatov terenskih preiskav in eksperimentalnih preizkusov.

Laboratorijski aparati

Laboratorijski aparati so zasnovani tako, da lahko na njih izvajamo preproste teste za ugotavljanje posamičnih fizikalnih in mehanskih lastnosti zemljin. Aparati so opremljeni z merilno opremo, prav tako pa jih je mogoče preko merilnega modusa povezati v celoto testov, iz katere podamo reološki opis preiskovane zemljine.



Slika 1: Shema merilnega modusa

Enoosni aparat

Na enoosnem aparatu ugotavljamo trdnost prostih vzorcev zemljine tako, da vzorec preko mehanizma obremenjujemo na kontaktnih ploskvah ter s tem vzopstavljamo enoosne obremenitvene in triosne deformacijske pogoje. Obremenitev vzorca izvajamo kontinuirno ali inkrementalno s kontroliranim dvigom napetosti ali deformacij. Med preiskavo merimo kontaktno napetost in osno deformacijo vzorca.

Direktni strižni aparat

Direktni strižni aparat je standardne izvedbe. Vzorec zemljine vgradimo v dvodelni jekleni oklep. Relativni pomik med gornjim in spodnjim delom oklepa povzroča strižno obremenitev vgrajenega vzorca zemljine. Ob preizkusu merimo triosno napetostno stanje, porne tlake in strižni pomik oklepa.

Rotacijski strižni aparat

Rotacijski strižni aparat deluje na enakem principu kot direktni, vendar v rotacijski smeri. Zaradi ukrivljenosti vzorca moramo upoštevati napetostne razlike, ki se ustvarijo med zunanjim in notranjim robom vzorca. Za razliko od direktnega rotacijski strižni aparat omogoča med preiskavo nespremenjene dimenzije in obliko strižne ravnine, kar je še posebej pomembno pri analizah velikih deformacij. Med preiskavo merimo osno obremenitev vzorca in bočni pomik (zasuk) oklepa.

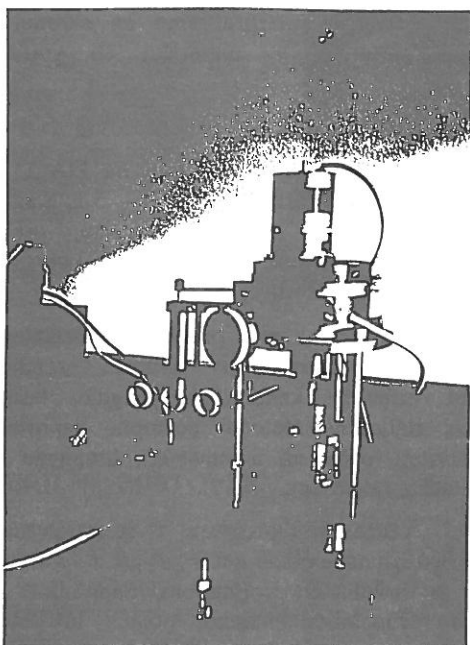
Edometriški aparati stisljivosti

Preiskave stisljivosti zemljin praviloma izvajamo na konvencionalnih edometrih, ki delujejo na osnovi inkrementalnega obremenjevanja z utežmi. Po znanem postopku, pri vsaki spremembi napetostnega stanja,

časovno zasledujemo konsolidiranje vzorca. Tako dobimo konsolidacijsko krivuljo, izraženo kot funkcijo deformacije vzorca in časa, za vsako spremembo obremenitev vzorca.

Prototip edometra s kontinuirnim obremenjevanjem

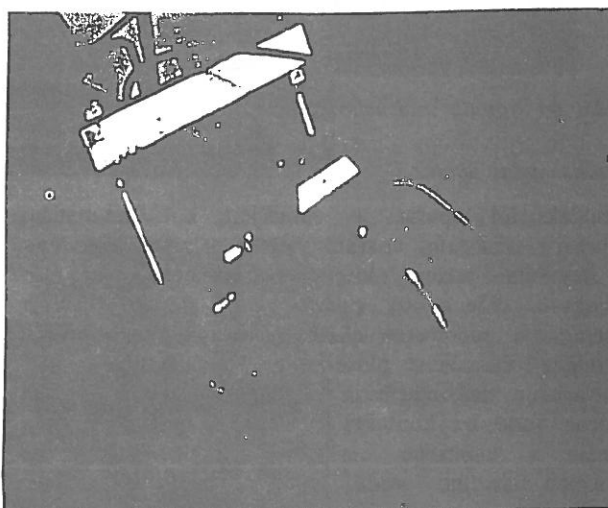
Prototip edometrskega aparata (ki smo ga razvili v LMT na TF med leti 1986-89) je sestavljen iz trinožne nosilne konstrukcije, v katero vstavimo cilindrični jekleni oklep premera 50mm in višine 20 mm. Na podložni in zgornji ploskvi vzorca se nahaja porozni kamen, ki preprečuje izpiranje finih zrn iz vzorca. Na kapilarne cevi lahko pritrdimo merilce pornih tlakov ter zunanje kapilarne cevi, s pomočjo katerih merimo izcejanje vode iz vzorca. Po potrebi lahko dosegamo popolno začetno nasičenost vzorca, ustvarjamo osnovni porni tlak v vzorcu ipd. Na gornji rob vzorca pritiska bat, ki je preko reduktorja povezan s sinhronim izmeničnim elektro-motorjem. Ta z rotacijo preko reduktorja omogoča pomik bata gor ali dol in tako povzroča obremenitve na gornjo ploskev vgrajenega vzorca zemljine. Na elektromotor sta vgrajeni sklopki, s katerima lahko izbiramo med ročnim in strojno vodenim preklapljanjem elektro motorja. Elektromotor je s kablom povezan na merilni sistem (DACQ), preko katerega dobiva komande za preklop oz. pogon določenega števila vrtljajev. Stikalo za ročno vodenje služi za pomik bata pri vgrajevanju, oz. pri odvzemanju vzorca zemljine iz aparata po končani preiskavi.



Slika 2: Prototip edometra s kontinuirnim obremenjevanjem

Prototip biaksialnega edometra

Biaksialni edometer (izdelan v LMT na TF v letu 1991) je zasnovan kot monoaksialni edometri, vendar opremljen z merilci bočnih napetosti. To nam omogoča hkraten vpogled v triosno napetostno stanje med konsolidacijskim procesom in direktni izračun elastičnih modulov (K in G). Merilci pornih tlakov na več nivojih nam omogočajo zasledovanje funkcije disipacije pornih tlakov ob konsolidaciji. Vodotesna izvedba aparata nam omogoča tudi nedrenirane preiskave stisljivosti (za ugotavljanje stisljivosti nezasičenih zemljin), preiskave propustnosti zemljin in preiskave vpliva gradientov pornih tlakov na konsolidacijski proces. Aparat je zasnovan tako, da lahko izvajamo klasične preiskave z inkrementalnimi dvigi obremenitev ali pa preiskave s kontinuirnim obremenjevanjem vzorca.



Slika 3: Prototip biaksialnega edometra

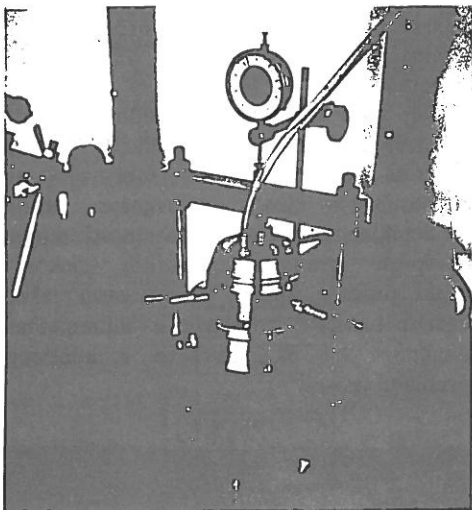
Prototip triaksialnega edometra

Triaksialni edometer je zamišljen enako kot biaksialni, s to razliko, da se zemljina vgradi v oklep kvadrirne oblike. Tako lahko izrazimo triosno napetostno-deformacijsko stanje vzorca skozi celotno preiskavo stisljivosti. Ob upoštevanju konstitutivnih odnosov za elastične materiale in primerne tehnike izvedbe preizkusa lahko tako direktno izrazimo anizotropne lastnosti zemljine.

Cilindrični triaksialni aparat

Cilindrični triaksialni aparat standardne izvedbe je sestavljen iz celice v kateri je valjasti vzorec zemljine obdan z vododržno membrano. Vzorec obremenimo osno, tako da preko mehanizma ustvarimo pritisk na zgornjo kontaktno ploskev in sferno s hidrostičnim tlakom kapljevine, ki obdaja vzorec. S kombiniranjem sprememb obremenjevanja lahko izvajamo različne

poti preiskav, ki so inkrementalne ali kontinuirne. Med preiskavo merimo osne in bočne napetosti, porne tlake, osne pomike in volumenske deformacije vzorca.



Slika 4: Prototip triaksialnega edometra

Multiaksialni aparat

Multiaksialni aparat je zamišljen kot prizmatični ("pravi") triaksialni aparat. Vzorec zemljine vgradimo v fleksibilen jekleni oklep v obliki kocke. Na petih ploskvah oklepa so pomični bati, preko katerih ustvarjamo napetostne obremenitve na stenah vzorca zemljine. Pomičnost ploskev sten nam omogoča tudi ustvarjanje deformacijskih pogojev na stenah vzorca. Porna voda na kontaktu s steno se preko drenaže izceja v kapilarne cevke. V kapilah merimo količino izcejne vode in/ali porni pritisk ob nedreniranem pogoju na steni. Pri tako zasnovanem aparatu je možno izvajati številne načine testov. Ob pravilni izbiri napetostnih ali deformacijskih pogojev, lahko test poenostavimo do najenostavnejših napetostno deformacijskih odnosov. Aparat je še posebej koristen pri ugotavljanju plastičnih lastnosti zemljine, anizotropije, pogojev popuščenja in loma ter vplivov difuzije pornih tlakov na konsolidacijski proces.

OPOMBA: Aparat še izpopolnjujemo, prav tako tudi teoretično podlago za izvajanje testov, ki podaja upravičenost uporabe aparata. Šele eksperimentalne analize bodo potrdile pričakovano praktično uporabnost aparata.

Merilna oprema

Merilno opremo tvorijo:

- Merilci napetosti, ki so sestavljeni iz merilne sonde, vgrajene v aparat, veznega kabla in ojačevalca s kalibratorjem in indikatorjem napetosti.

- Merilci pornih tlakov, ki jih tvorijo merilne sonde, vgrajene na iztočno cev aparata, kabli in ojačevalec z indikatorjem pornih tlakov.
- Merilci pomikov z merilnim tipalom, mikrometrom za direktno odčitavanje pomikov, kabli in ojačevalcem z indikatorjem pomikov.
- Nekateri merilni senzorji so izviren izdelek, rezultat raziskovalnega dela na TF v Mariboru. Senzorji omogočajo izvedbo izvornih postopkov meritev, ki temeljijo na metodi meritev malih sprememb ne-električnih veličin, s postopki kapacitivno odvisnih kristalov. Testni preizkusi na prototipnih izvedbah merilnih senzorjev, so potrdili široko uporabnost. Tako lahko primerno izdelane senzorje, ki ustrezajo vrsti meritve, uporabimo pri meritvah malih pomikov, rotacij, volumnov, temperature, gostote, poroznosti in vlažnosti malih delcev, napetosti v snovi, malih hitrosti in vibracij.

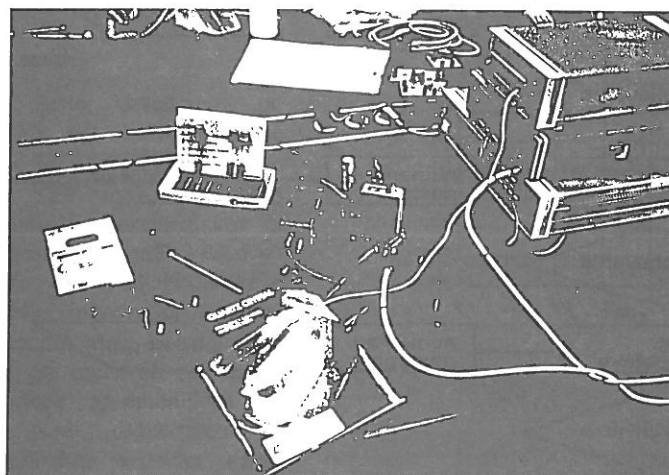
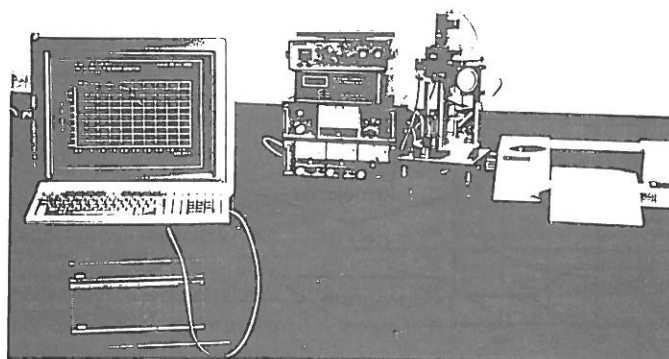
Računalniška oprema

Strojno opremo tvori osebni računalnik HP 9000/310, ki predstavlja osnovo, preko katere s procesnim programom izvajamo preiskave zemljin po željeni poti. Osebni računalnik je s HPIB (IEEE-488) povezan na merilni sistem (Data acquisition) HP3852 -A. Na DACQ, ki je sestavljen iz voltmetra HP 44701A, 20-kanalnega multi plekserja in 16-kanalne izhodne karte, priključimo preko pretvornikov merilce, nameščene na aparatih. Izhodna karta nam omogoča povratno komuniciranje sistema z aparatom. Rezultate meritev lahko interpretiramo na ekranu, s printerjem in ploterjem v numerični ali grafični obliki.

Programsko opremo tvorijo:

- Osnovni procesni ukazi so zapisani na DACQ v programskem jeziku HP - BASIC - 5.1 Služijo za komuniciranje v merilnem sistemu, preko katerega mikroročunalnik daje krmilne komande in prejema željene meritve.
- Procesni programi za preiskave fizikalnih, kemijskih in mineraloških lastnosti zemljin. Programi vsebujejo kalibracijske pogoje, testne postopke, statistične metode, postopke napovedi, zapis meritev (ročni ali avtomatski), hranjenje in interpretacijo rezultatov.
- Osnovni procesni programi za izvedbo laboratorijskih napetostno-deformacijskih preiskav zemljin in hribin. S programom, zapisanim na osebem računalniku, podamo pogoje in potek preiskave ter zapis in hranjenje rezultatov. Prav tako izračunavamo željene parametre za preizkusne pogoje, glede na izbrano teoretično podlago.

- Programi za meritve in analizo terenskih napetostno deformacijskih preiskav.
- Programi za izračun parametrov glede na celoto preiskav in programi za statistično obdelavo rezultatov preizkusov.
- Programi za grafično interpretacijo rezultatov meritev, ki so uporabni za časovni prikaz spreminjanja merjenih spremenljivk ter za grafični prikaz sovisnosti med posameznimi spremenljivkami.



Slika 5: Merilni modus

MERILNI POSTOPEK

Merilni postopek je računalniško voden, tako da teče avtomatsko, s potekom, ki je v naprej programiran za vsak tip testa. Osebni računalnik HP 9000/310 je z HPIB (IEEE-488) povezan na Data acquisition HP3852-A. DACQ sestavljen iz voltmetra HP 44701A, 20 kanalnega multiplekserja in 16 kanalne izhodne karte je povezan s pretvorniki merilcev, ki so nameščeni na oz. ob aparatih. Meritve v obliki

električne napetosti (mV) zbira na 20 kanalnem multiplekserju in jih nato pretvorjene v fizikalne količine (kN, m, s) hrani v računalniku. Na podlagi sprotne analize meritev in programiranega poteka preiskave, preko izhodne kartice povratno krmili aparat. To dosežemo z zaganjanjem elektro-motorja v eno ali drugo smer in določenim številom vrtljajev na posamezen inkrement procesa. Preko mehanizma se tako ustvarjajo željene obremenitve vzorca.

UPORABNOST

Za praktično uporabnost merilnega modusa je vpeljan tristopenjski sistem dela.

Na prvi stopnji izvajamo preiskave s hkratno analizo. Gre za teste, ki tečejo avtomatsko po naprej izbranem postopku. Meritve in analiza so avtomatske. Kadar izvajamo teste na aparatih, ki niso priključeni na merilni modus, izvedemo ročni vnos meritev.

Druga stopnja analizira meritve že izvedenih testov in interpretira rezultate. Na tej stopnji so lahko uporabljeni zahtevnejši konstitutivni odnosi.

Tretja stopnja določa in analizira celoto preiskav, pri tem pa se uporabljajo statistične metode in verjetnostni računi.

Konvencionalni testi

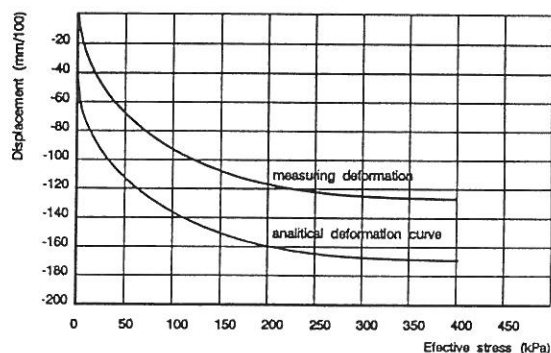
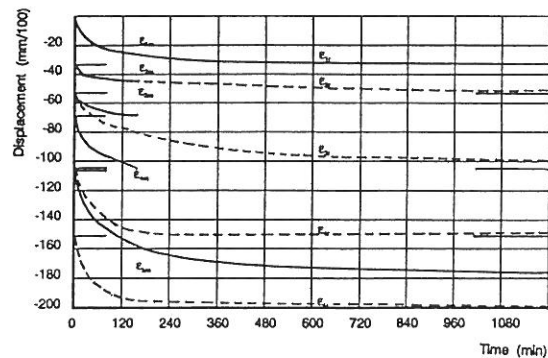
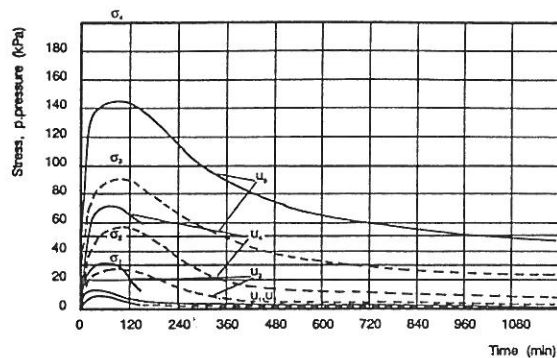
Konvencionalne teste izvedemo po standardnih postopkih, z avtomatskim odčitavanjem meritev ter hkratno analizo in interpretacijo rezultatov. Na Sliki 7 je prikazan primer konvencionalnega edometričnega testa, kjer iz merjenih časovno izraženih deformacij določimo napetostno-deformacijski odnos in modul elastičnosti.

Reducirani konvencionalni testi

Reducirane konvencionalne teste izvedemo po napetostnih inkrementih, enako kot konvencionalne teste, le da posamezni inkrement obremenitve vzorca z reduciramo na krajši čas. Za vsak inkrement obremenitev se iz meritev napetosti, pornih tlakov in deformacij avtomatsko izračunava tudi časovna funkcija merjenih spremenljivk. Na podlagi funkcije se lahko poda kvalitetna napoved meritve po končani obremenitvi na nižjem inkrementu, kar se nato po metodi superpozicije upošteva pri meritvah na višjem inkrementu obremenitev. Merjene spremenljivke na vsakem višjem inkrementu torej reduciramo za vrednosti, ki smo jih izračunali kot posledico nižjih inkrementov. To nam omogoča bistveno krajši čas posameznega inkrementa obremenitve.

Hitri test s kontinuirnim obremenjevanjem

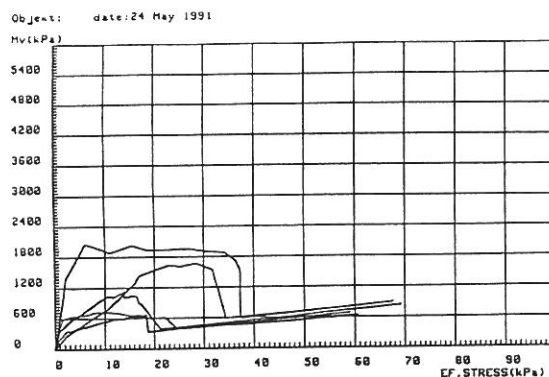
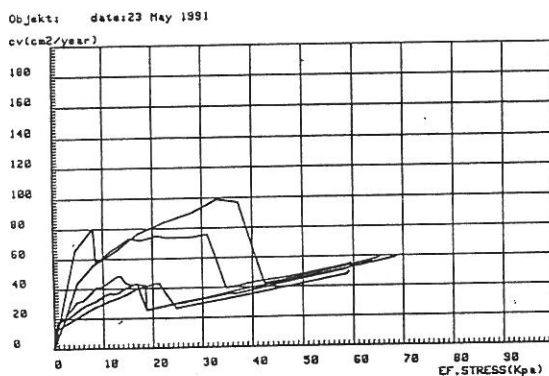
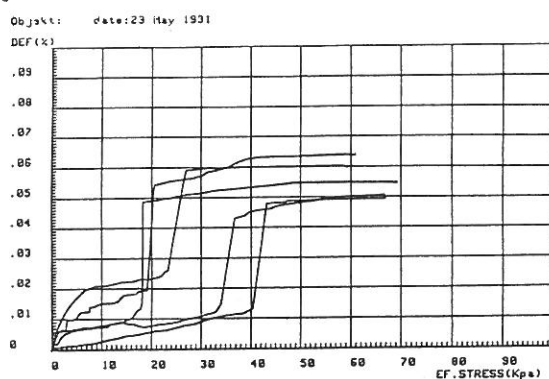
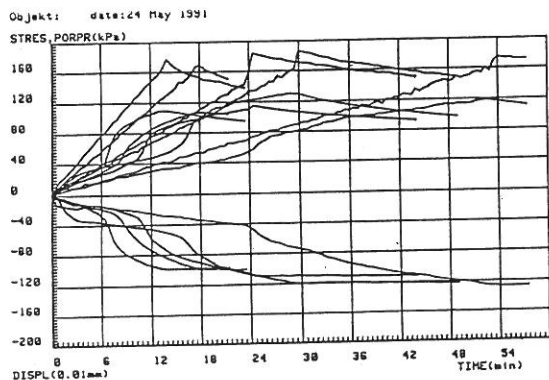
Hitri test s kontinuirnim obremenjevanjem izvedemo na primerno opremljenem aparatu tako, da vzorec obremenjujemo s časovno zvezno spreminjajočo se obtežbo. Test teče avtomatsko po poljubno izbranih poteh sprememb obremenitvenih napetosti, pornih tlakov, deformacij, ali njihovih medsebojnih odnosov. Spremembe podamo v obliki časovne funkcije. Ob primerni teoretični podlagi se iz časovno izraženih meritev spremenljivk določi napetostno-deformacijske odnose in izračuna iskane parametre.



Slika 7: Konvencionalni edometrični test

Hitri test z inkrementalnim obremenjevanjem

Kadar želimo izvajati hitri test na aparatu, ki omogoča samo inkrementalno obremenjevanje vzorca, lahko izvedemo obremenitve vzorca po zelo malih inkrementih izbranih sprememb napetosti, pornih tlakov ali deformacij. Inkrementi si sledijo v hitrih zaporednih korakih, s čimer simuliramo kontinuirne spremembe obremenitev. Ob uporabi primerne teoretične podlage se določi napetostno-deformacijske odnose, iz katerih se izračunajo neznani parametri. Test se je v praksi izkazal kot primeren za izvedbo cilindričnih triaksialnih preiskav, ki so sicer dolgotrajne in zamudne.



Slika 8: Hitri edometriški test s kontinuirnim obremenjevanjem.

DOLOČITEV REOLOŠKIH PARAMETROV

Na podlagi mnogih testnih rešitev podajamo predlog določevanja reoloških parametrov zemljin v naslednjih korakih:

1. korak:

Najprej po standardnih postopkih določimo vse osnovne fizikalne, kemijske, mineraloške in mikro-mehanske lastnosti zemljine.

2. korak:

Na identičnih vzorcih zemljine izvedemo posamezne napetostno-deformacijske teste, v katerih upoštevamo prej ugotovljene fizikalne lastnosti vzorčnih zemljin. Meritve tečejo avtomatsko in se skupaj z izračunanimi spremenljivkami hranijo v računalniškem spominu. Možna je hkratna interpretacija meritev in izračunanih spremenljivk.

3. korak:

Izberemo konstitutivno teorijo in določimo neznane parametre za vsak posamezni test. Ta korak lahko teče hkratno s potekom preiskave, možna pa je tudi kasnejša analiza.

4. korak:

Na tem koraku združimo vse teste v celoto, ki jo analiziramo po izbrani konstitutivni teoriji. Tako dobimo "holistično" rešitev, ki zajema vse testne pogoje hkrati. To je pomemben korak, ki zahteva kompatibilnost testnih postopkov. Neznane parametre določimo z postopki napovedi ob uporabi multi-dimenzionalne Downhill simplex metode

5. korak:

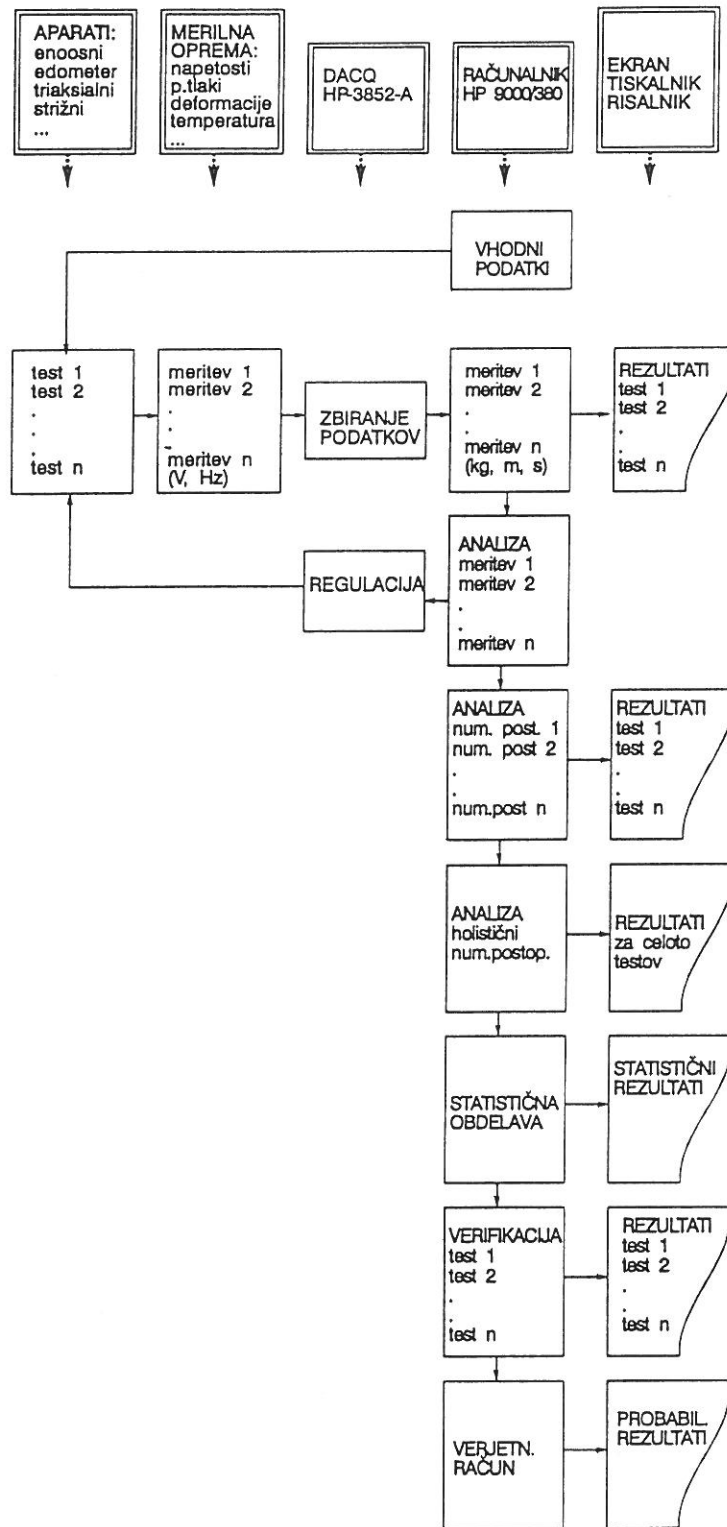
Izvedemo statistično obdelavo rezultatov celote testov in interpretacijo rezultatov.

6. korak:

"Holistično" rešitev verificiramo glede na relacije posameznega testa. Rezultate posameznih testov, ki so protislovni ali preveč odstopajo od "holistične" rešitve, izločimo in ponovimo četrti korak.

7. korak:

Možna je uporaba verjetnostnega računa in zapis rezultatov v obliki, ki omogoča nadaljno analizo geotehničnega problema.



Slika 9: Delovna shema

ZAKLJUČKI

V dosedanjem raziskovalnem delu smo razvili izvirne testne postopke za izvajanje računalniško vodenih geotehničnih preiskav. Izpopolnili in razvili smo teoretične rešitve in numerične postopke, ki omogočajo ob konvencionalnih preiskavah tudi izvedbo hitrih testov. Za njihovo izvedbo smo uporabili konvencionalno opremo, prav tako pa smo razvili tudi prototipne aparate in merilno opremo. Aparati, opremljeni z merilno opremo ter povezani z računalniško strojno in programsko opremo, tvorijo merilni modus. Merilni modus omogoča računalniško vodenje preiskav, ki tečejo avtomatsko po vnaprej izbranih poteh. Zasnovan je tako, da ga je možno ob primerni opremi uporabiti za laboratorijske in terenske preiskave.

Praktična uporaba merilnega modusa in predlaganih postopkov izvedbe računalniško vodenih preiskav je pokazala nekaj bistvenih prednosti.

Izvedba testov je enostavna in kvalitetna. Testni postopek teče avtomatsko s hkratno izvedbo meritev in analizo rezultatov.

Ob primerni teoretični podlagi in opremi je možno izvajati hitre teste. Tako je čas preiskave bistveno skrajšan, kar nam omogoča, da lahko v kratkem času izvedemo veliko število preiskav.

Možna je izvedba več konvencionalnih in hitrih testov hkrati. Teoretična podlaga za izvedbo preiskav in kompatibilnost izvedenih testov omogoča kasnejšo analizo celote testov.

Uporaba statističnih metod in verjetnostnega računa omogoča kvalitetnejše rezultate.

LITERATURA

- Trauner, L. s sod. (1986-1989). *Edometer s kontinuirnim obremenjevanjem I. do IV.*, Raziskovalna naloga za PORS, Tehniška fakulteta Univerze v Mariboru, Slovenija.
- Žlender, B. (1989). *Procesno vodena edometerska preiskava*, Magistrsko delo, Tehniška fakulteta Univerze v Mariboru, Slovenija.
- Trauner, L., Žlender, B. (1990). *Procesno vodene edometerske preiskave*, 5. seminar Računalnik v gradbenem inženirstvu, Ljubljana, Slovenija.
- Trauner, L., Žlender, B. (1990). *Procesno vodene edometerske preiskave*, Gradbeni vestnik, Ljubljana, Slovenija.
- Trauner, L., Žlender, B., Škrabl, S. (1991). *Proces guided oedometer tests*, X. European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering Florence, Italy.
- Žlender, B., Trauner, L. (1992). *Procesno vodene laboratorijske preiskave*, 5. seminar Računalnik v gradbenem inženirstvu, Ljubljana, Slovenija, str.158-165.
- Žlender, B., Trauner, L. and Škrabl, S. (1992). *Holistic determination of soil permeability*, Pannonian Applied Mathematical and Mechanical Meetings, Balatonfured, Hungary, str.195-206.
- Žlender, B. (1993). *Določanje reoloških parametrov zemljin s hitrimi laboratorijskimi testi*, Doktorska disertacija, Tehniška fakulteta Univerze v Mariboru, Slovenija.
- Žlender, B., Trauner, L., Lipnik, G. (1993). *Computer Aided Determination of Time Dependent Soil Compressibility*, International conference - Design to manufacture in modern industry, Bled, Slovenija, str.563-570.
- Žlender, B., Lipnik, G. (1993). *Computer Guided Laboratory Test*, International conference - Design to manufacture in modern industry, Bled, Slovenija, str.601-608.
- Žlender, B., Trauner, L., Škrabl, S. (1993). *Quick determination of physical properties of soil*, Pannonian Applied Mathematical and Mechanical Meetings, Balatonfured, Hungary, 1993, 12 str.