

Jezik/Language: *Hrvatski/Croatian***PROVJERA HIPOTEZE O HOMOGENOSTI GEOTEHNIČKIH SREDINA
NA LOKACIJI «ČAĐARE» U KUTINI****VERIFICATION OF THE HYPOTHESIS REGARDING THE
HOMOGENEITY OF GEOTECHNICAL MEDIUMS AT THE “SOOT
FACTORY / ČAĐARA” LOCATION IN KUTINA**VLADIMIR JURAK¹, SLAVKA PFAFF¹, KREŠIMIR HORVAT², NADA KRKLEC³¹Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR 10000 Zagreb, Hrvatska²Radauševa 1, HR 10000 Zagreb, Hrvatska³INA, Industrija nafte d.d. SD Naftaplina, Šubićeva 29, HR 10000 Zagreb, Hrvatska**Ključne riječi:** inženjersko tlo, poluprostor, geotehnička sredina, inženjerskogeološki model, homogenost, statističke metode**Key words:** engineering soil, halfspace, geotechnical medium, engineering geological model, homogeneity, statistical methods**Sažetak**

Iz geotehničkih istraživanja za izgradnju dva industrijska objekta blizu Kutine (Tvornica umjetnih gnojiva II i Čađara II) proizašlo je, za naše prilike, mnoštvo podataka – pokazatelja svojstava inženjerskog tla.

Radi upoznavanja stanja geniteta u poluprostoru ispod objekata pristupilo se provjeri hipoteze o homogenosti a priori usvojenih geotehničkih sredina i o njihovoj geotehničkoj sličnosti. Dvije razmatrane sredine su u superpozicijskom odnosu, litološki su slične, ali genetski različite. Prikazane su inženjerskogeološkim modelom dubinskog dosega 40 m.

Nakon osnovne statističke obrade podataka za identifikacijske, fizičke i mehaničke parametre i uporabe nekoliko statističkih testova mogla se, na osnovi statističkih zaključaka, donijeti inženjerska prosudba. Došlo se do spoznaje da su dvije geotehničke sredine svaka za sebe u statističkom smislu uglavnom homogene, odnosno inženjerski «kvazihomogene». Međusobna usporedba sredina pokazala je da ne postoji statistički bitna razlika između njih po određenim geotehničkim parametrima. Dakle, prihvatljivo je objedinjavanje superpozicijski smještenih sredina u fizički jedinstven poluprostor ispod objekata.

Abstract

A great deal of data which determine the characteristics of engineering soils was collected in the course of geotechnical explorations conducted for the purpose of building two industrial objects near Kutina (Tvornica umjetnih gnojiva / Artificial fertilizer factory II and Soot Factory II/ Čađara II).

Wishing to familiarize ourselves with the condition of homogeneity/heterogeneity underneath the object, we decided to check the hypothesis regarding the homogeneity of the a priori acquired geotechnical mediums and their geotechnical similarity. The relationship of the two mediums under observation is superpositional, they are lithologically similar but genetically different. They are represented through an engineering geological model reaching the depth of forty meters.

Following the basic statistical data analysis for identification, geotechnical parameters and the use of several statistical tests, we were able to reach an engineering judgment on the basis of statistical conclusions. We realized that, from a statistical point of view, both geotechnical mediums are mostly homogenous or, speaking from the engineering point of view, “quasi-homogenous”. The comparison of these two mediums showed that there is no statistically significant difference according to certain geotechnical parameters of geotechnical parameters. It follows, therefore, that the unification of the superpositioned mediums in a physically united halfspace located under the object is acceptable.

UVOD

Geotehnička svojstva inženjerskih tala ovise o njihovoj genezi, dakle o geološkim procesima koji su se mijenjali u prostoru i vremenu, tako da je njihovo istraživanje vrlo složeno. Zbog brojnih utjecaja koje nije moguće cjelovito istražiti, a koji su gotovo uvijek pod utjecajem slučajnosti, može se smatrati da su i rezultirajuća svojstva nekog tla rezultat slučajnosti. To nameće upotrebu slučajne varijable

kao modela za njihovu analizu, što znači primjenu statističkih metoda.

Geološki podaci koji su skupljeni, sređeni i obrađeni statističkim postupcima omogućuju potpuniju i objektivniju osnovu za geološku interpretaciju, klasifikaciju ili rješavanje problema predviđanja, nego što to omogućuje individualno iskustvo i znanje u primjeni tradicionalnih geoloških metoda istraživanja. Premda se već upozoravalo na nedovoljno korištenje statističkih metoda u inže-

njerskoj geologiji i geotehničkom inženjerstvu (Horvat & Škoro, 1982; Einstein & Baecher, 1982; 1983) ima autora koji su ukazivali na slučajeve u kojima se upravo takvim pristupom mogu nadopuniti istraživanja i tako doći do valjanih zaključaka (Agterberg, 1974; Dementjev, 1980). Dok Horvat & Škacan (1984) i Horvat (1989) daju prikaz konkretnog rješavanja problema iz geotehničkog inženjerstva primjenom određenih statističkih postupaka, još uvijek ima autora koji ukazuju na rijetku, a katkad i pogrešnu, primjenu statističkih metoda u građevinarstvu, s posebnim osvrtom na svojstva tla (Medanić & Čulo, 2005). A upravo mehanika tla, odnosno geotehničko inženjerstvo, pruža velike mogućnosti za primjenu teorije vjerojatnosti i matematičke statistike zbog većeg broja numeričkih podataka (fizička i mehanička svojstva tla) kojima se raspolaže tijekom rada. Uostalom, svojim naslovom to potvrđuje knjiga Beachera i Christiana (2003).

Pregledom povijesti struke nalazi se da je još Terzaghi (1940) nagovijestio uporabu statističkih metoda u mehanici tla navodeći da se svakom sloju tla pridružuje skup karakteristika izvedenih iz rezultata ispitivanja pomoću osrednjavanja. Nedugo zatim, Terzaghi & Peck (1948) pišu kako rezultati prethodnih istraživanja terena (rekognosciranja) dovode do pretpostavki koje, pak, čine osnovu za projektiranje. U inženjerskom prosuđivanju nepohodne su, tada, interpolacije i korelacije temeljene na statističkim odnosima. Autori misle da zbog toga dolazi do stanovitih razlika između pretpostavki i stvarnosti, pa čak i do neizbježnih odstupanja.

Usljedile su i međunarodne konferencije o primjeni vjerojatnosti i statistike u građevinarstvu, uključivši i tlo, od kojih je prva održana 1971. u Hong Kongu (Lumb, ed., 1972).

U priručničkoj literaturi, primjerice Čurinov (ed., 1981), nalazimo gradivo o osnovnoj statističkoj obradi kvantitativnih inženjerskogeoloških informacija, uz uvjet da podaci pripadaju istovrsnom geološkom tijelu i zadovoljavaju zahtjeve o slučajnosti i nezavisnosti o prostornim koordinatama.

U opetovano najavljivanim normama - posljednjoj verziji Eurocoda 7: Geotehničko projektiranje, Dio 1: Opća pravila (Anon., 2004) sadržana je preporuka da se pri izboru karakterističnih vrijednosti svojstava tla mogu koristiti statističke metode.

Vrijednosti geotehničkih parametara moraju biti odabrane za određeni stupanj projektiranja. One koje će se koristiti, temelje se na rezultatima terenskih i laboratorijskih ispitivanja uzimajući u obzir, kada god je to moguće, i prethodne podatke sa susjednih lokacija. Radi toga je potrebno provesti složene istraživačke radove koji omogućuju upoznavanje rasprostiranja pojedinih litoloških članova koji pripadaju istoj geološkoj formaciji. Rezultati istraživačkih radova sa susjednih lokacija mogu poslužiti kao prva informacija o geološkoj građi nekog užeg područja, a mogu biti i glavni izvor podataka za procjenu traženih svojstava tla.

Najčešće se postavlja pitanje pripadaju li uzorci

promatranih geotehničkih sredina zajedničkom makro osnovnom skupu, odnosno, mogu li se predmetne sredine prihvatiti kao jedinstvena geološka tijela s neprekinutom bočnom rasprostranjenošću u razmatranom poluprostoru i sa sličnim geotehničkim svojstvima. Korištenjem standardnih statističkih metoda, kojima se na promatranim lokacijama procjenjuju projektna svojstva tla, moguće je provesti i testiranje geotehničke sličnosti lokacija. Na taj se način može na području istovrsne geološke formacije smanjiti opseg daljnjih istraživačkih radova, te možebitno posvetiti više pažnje svojstvima tla koja u prethodnim ispitivanjima nisu bila podrobnije istražena, ili se, pak, mogu uporabiti neke nestandardne metode istraživanja.

U okviru članka prikazat će se praktični primjer ispitivanja geotehničke sličnosti dviju geotehničkih sredina s dvije lokacije koje se nalaze u blizini grada Kutine, smještene između priobalja Moslavačke gore i Lonjskoga polja s rijekom Lonjom kao recipijentom (Krklec, 1992).

GEOLOŠKA GRAĐA ŠIREG PODRUČJA I INŽENJERSKOGEOLOŠKI MODEL TLA

Za potrebe temeljenja objekta Čadare na lokaciji neposredno uz već izgrađenu Tvornicu umjetnih gnojiva u Kutini izrađen je elaborat za izbor sinteznog modela tla (Horvat, 1987). Budući da su za izgradnju Tvornice umjetnih gnojiva izvedeni opsežni geomehanički i geofizički istraživački radovi, u elaboratu su statističkim metodama uspoređeni geomehanički parametri s te lokacije s onima na lokaciji Čadare, gdje su određeni u skromnijem opsegu. Utvrđeno je da nema bitnih razlika u svojstvima izraženim geomehaničkim parametrima i da je opravdano prihvatiti da obje lokacije pripadaju istoj geotehničkoj sredini. Radi toga su u daljnjoj obradi podaci s tih dviju lokacija objedinjeni.

GEOLOŠKA GRAĐA

Na širem području razmatranih lokacija izdvojeni su stratigrafski članovi kako to prikazuje slika 1. Za prikaz geološke građe korištena je OGK, list "Kutina" i odgovarajući tumač (pripremljeni za tisak), zahvaljujući J. Crnku, autoru lista i prvom autoru tumača.

Osnovno geološko obilježje šireg područja Kutine jest razvoj najmlađih neogenskih naslaga i bogato zastupljene kvartarne naslage u više paragenetskih nizova, odnosno facijesa. Tumačenje geološke građe valja započeti s tvorinama koje nisu zastupljene na geološkoj karti, ali se nalaze u podini svih prikazanih. To su sedimenti srednjeg i gornjeg pliocena (Pl_{2,3}) koji su u literaturi poznati kao Paludinske naslage. U sastavu dominiraju sitno do krupnozrnasti pijesci, uglavnom tinjčasti, često s proslojci- ma i lećama šljunaka. Unutar pijesaka dolaze i metarski proslojci siltova ili glina. Teksturno obilježje tih naslaga jest masivnost, s vrlo rijetko izraženim slojnim plohami (mehanički diskontinuiteti), ali se raslojavanje iskazuje

preko naglih promjena granulometrijskog sastava, gradacijske slojevitosti, promjene boje sedimenata i posebno laminacija (mm-cm) u pijescima i siltovima.

Najstariji član u obuhvatu geološke karte čine sedimenti gornjeg pliocena (PI_3^1) poznati kao srednji Paludinski slojevi. U njihovu sastavu prevladavaju srednjo do krupnozrnasti pijesci (često šljunkoviti) i prah (često laminaran), dok su gline znatno rjeđe zastupljene. Nalazi fosila karakteristični za ovaj nivo su relativno česti. Gornji Paludinski slojevi (PI_3^2) zastupljeni su pijeskom, prahom i šljunkom, te u znatnijoj količini i glinom i ugljenom. Nalazi makrofaune su česti. Granica prema kvartarnim naslagama je normalna, dok je između gornjih i srednjih Paludinskih slojeva utvrđena tektonsko-erozijska granica ili rasjedni kontakt.

Najveći dio površine terena zauzimaju kvartarne naslage. Prema starosti su kartirani pleistocen i holocen, a unutar tih članova izdvajane su naslage prema genetskim tipovima. Od pleistocenskih naslaga ovdje su zastupljene naslage kopnenog prapora ($I-Q_1$). Prema opisu njegovih litoloških svojstava ne radi se o jedinstvenom kompleksu naslaga nastalih napuhavanjem čestica na suha područja već o izmjeni kopnenih (prah), barskih (zaglinjeni prah i plastične gline) i aluvijalnih naslaga (muljevi i šljunci). Ove naslage pretežno izgrađuju žutosmeđi, zelenkastosivi i zelenkastosmeđi, uglavnom dosta zaglinjeni, rjeđe pješkoviti, siltovi. Mjestimično prelaze u pjeskovite, prašaste pa čak i čiste gline istih boja. Unutar tih sedimenata česte su limonitične konkrecije.

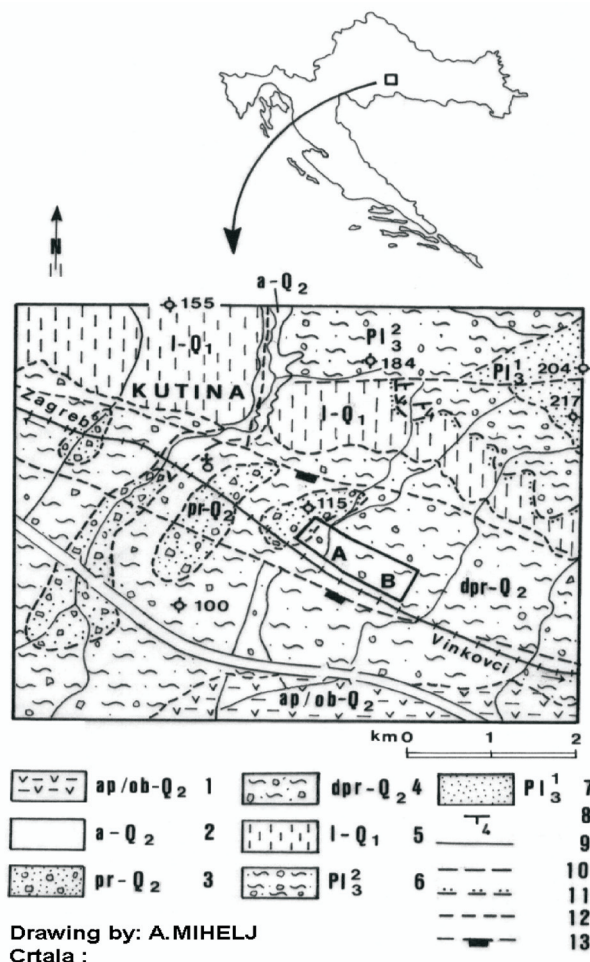
U sklopu holocenskih naslaga izdvojeni su sedimenti više paragenetskih nizova, odnosno facijesa: deluvijalno-proluvijalni, proluvijalni i aluvijalni, organogeno-barski te sedimenti poplava.

Deluvijalno-proluvijalni sedimenti ($dpr-Q_2$) su produkti bujičnih tokova i površinskog spiranja s pribrežja, izgrađeni od nevezanih i slabo vezanih sedimenata podložnih trošenju. Zbog toga se ovi sedimenti odlikuju kao tičnom unutrašnjom građom. Pretežni dio tih naslaga čine zaglinjeni pijesci, prah te ilovine, a mjestimično dolaze leće glinovito-pjeskovitih šljunaka i kvarcnih pijesaka.

Proluvijalni sedimenti ($pr-Q_2$) formirani su naplavljanjem materijala iz starijeg pliocena, miocena i kristalina pribrežja Moslavačke gore u zoni deluvijalno-proluvijalnih naslaga. Taj materijal je transportiran rječicama i potocima u vrijeme velikih voda te odlagan u obliku tipičnih naplavinjskih lepeza. Unutar pijesaka i ilovina javljaju se leće sitno do krupnozrnastih šljunaka podrijetlom od različitih vrsta stijena. Sedimentno-petrografski sastav se mijenja od lepeze do lepeze, ovisno o sastavu matične stijene iz koje transportirani materijal potječe.

Aluvijalni sedimenti ($a-Q_2$) izdvojeni su u dolini recentnih tokova koji dotječu s Moslavačke gore (rijeka Kutina). U osnovi, te sedimente čine šljunci, pijesci, prah i ilovine, a njihov granulometrijski i litološki sastav ovisi o litološkoj građi sliva. Mineralni sastav je zbog toga vrlo neujednačen. Aluvijalni nanos Kutine sadrži fragmente ili

valutice gotovo svih varijeteta metamorfita s Moslavačke gore, miocenskih vapnenaca i pješčenjaka te pliocenskih pješčenjaka i fragmenata fosila.



Tumač oznaka: 1 - organogeno-barski i sedimenti poplava; 2 - aluvij recentnih tokova; 3 - proluvijalni nanos; 4 - deluvijalno-proluvijalni nanos; 5 - kopneni prapor; 6 - gornji Paludinski slojevi; 7 - srednji Paludinski slojevi; 8 - položaj sloja; 9 - normalna geološka granica; 10 - pokrivena ili približno locirana normalna granica; 11 - erozijska ili tektonsko-erozijska granica, pokrivena ili približno locirana; 12 - rasjed, pokriven ili približno lociran; 13 - relativno spuštenu blok.

Slika 1. Geološka karta šire okolice lokacija Tvornice umjetnih gnojiva (A) i Čadare (B).

Legend: 1 - organogenic swamp and flood-plain sediments; 2 - alluvium of the recent flows; 3 - proluvial deposits; 4 - colluvial-proluvial deposits; 5 - terrestrial loess; 6 - upper Paludine layers; 7 - middle Paludine layers; 8 - strike and dip of bed; 9 - normal geologic boundary; 10 - covered or approximately located normal boundary; 11 - erosional or tectonic-erosional discordance, covered or approximately located; 12 - fault, covered or approximately located; 13 - downthrown block.

Figure 1. Geologic map of the wider environment of the Factory of artificial fertilizers (A) and Soot factory/Čadara (B).

Organogeno-barski sedimenti i talozi opetovanih poplava na priloženoj su karti objedinjeni u jedan član (ap/ob-Q₂). Radi se o «miješanom» sedimentu, jer uz autogeni barski proces taloženja traje i donos materijala poplavnim vodama.

Na predmetnoj lokaciji pretpostavlja se stalna akumulacija najmlađih neogenskih i kvartarnih naslaga klastičnog sastava i stvaranje akumulacijske ravnice. U takvim okolnostima logično je očekivati i stanovitu promjenu vrijednosti parametara s dubinom, najčešće blago pozitivnog trenda. No, u upoznavanje fizičkoga stanja poluprostora krenulo se s osnovnom pretpostavkom o homogenosti medija, u kojemu polazište za raščlambu ne bi bila litologija nego geneza sedimentnih tijela.

INŽENJERSKOGEOLOŠKI MODEL TLA

Inženjerskogeološka obrada šireg područja provedena je pregledom i sređivanjem već postojeće geotehničke dokumentacije o istraživačkim radovima izvedenim za pojedine objekte u okviru tehnološkog kompleksa Tvornice umjetnih gnojiva (A), te rekognosciranjem terena, pregledom sondažnih jama i determinacijom jezgri bušotina s lokacije Čađare (B). Dakle, obradom rezultata ranijih i novoprovedenih istraživanja dokazano je da se na mikrolokacijama promatranog područja mogu izdvojiti tri inženjerskogeološke skupine naslaga, sve u kategoriji inženjerskog tla.

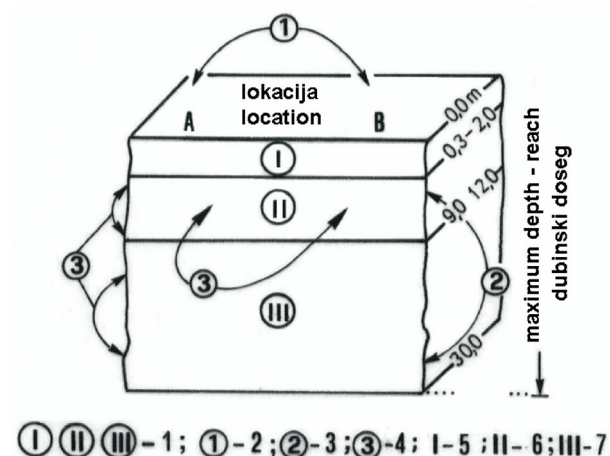
Za izradu inženjerskogeološkog modela usvojeno je načelo koje i inače vrijedi, tj. da se prirodni objekt zamijeni shematiziranim modelom zanemarujući nevažne pojedinosti, a zadržavši samo one crte realnog objekta važne za rješavanje postavljenog zadatka, a to je upoznavanje temeljnog tla.

Budući da se svaka skupina naslaga odlikuje sebi svojstvenim geotehničkim značajkama, one su u inženjerskogeološkom modelu tla (sl. 2) usvojene kao apriorne geotehničke sredine. Jednako tako, svaka se izdvojena sredina može shvatiti kao fizičko polje određenog geotehničkog parametra, a poglavito u fizičko-mehaničkom pogledu.

Prvu inženjerskogeološku skupinu čine nasip, potočni nanos i deluvijalno-proluvijalni nanos. Nasip je zastupljen humusom, odlomcima kamena, cigle, betona i šljunka tj. ranije iskopanim i deponiranim materijalom. Potočni nanos čini prašasti pijesak i prah s organskim materijalom. Dok je nasip prisutan na cijeloj površini nove Čađare, potočni nanos se pojavljuje samo mjestimice u starim koritima. Po postanku je najmlađi i vrlo slabo zbijen te ne predstavlja tlo pogodno za izgradnju. Prosječna debljina tih naslaga je oko 1,5 m.

Drugu inženjerskogeološku skupinu naslaga čini močvarni prapor pleistocensko-holocenske starosti koji se nalazi u podini nasipa, a samo mjestimično i potočnog nanosa. Naslage močvarnog prapora nastale su u plitkoj vodenoj sredini, tj. močvari, izmjeničnim odlaganjem eol-

skog i močvarnog taloga, te su one na mikrolokaciji Čađare ekvivalent kopnenom praporu na pribrežju Moslavačke gore. U sastavu prevladava glina srednje plastičnosti (prema AC klasifikaciji) unutar koje su prisutni proslojci prašastog pijeska i pjeskovitog praha. Budući da su te gline slabo do dobro konsolidirane, neujednačenih su svojstava. Proslojci pjeskovitog materijala ritmički se izmjenjuju sa slojevima gline, a mjestimično izostaju. Uglavnom, stalno su prisutni u bazi tih naslaga na dubini 9-12 m te naznačuju granicu prema dublje položenim naslagama pliocena. Ukupna debljina naslaga močvarnog prapora iznosi 8 – 10,5 m. Na slici 2 označene su kao sredina II.



Tumač oznaka: 1 – apriorne geotehničke sredine; 2 – prethodna usporedba geotehničke sličnosti dviju lokacija (TUG II i ČAD II) (Horvat, 1987); 3 – usporedba dviju geotehničkih sredina; 4 – testiranje homogenosti geotehničkih sredina; 5 – nasip i potočni nanos; 6 – močvarni prapor; 7 – Paludinske naslage.

Slika 2. Inženjerskogeološki model poluprostora na promatranom području.

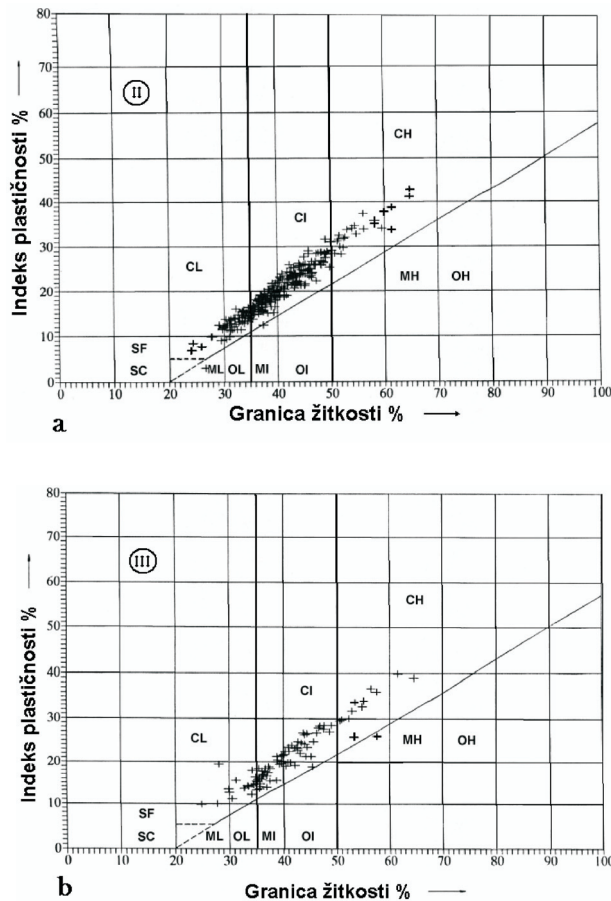
Legend: 1 – a priori geotechnical mediums; 2 – previous comparison of geotechnical similarities of the two locations (TUG II and ČAD II) (Horvat, 1987); 3 – comparison of two geotechnical mediums; 4 – testing of homogeneity of geotechnical mediums; 5 – embankment and flow deposit; 6 – swamp loess; 7 – Paludine deposits.

Figure 2 Engineering geological model of halfspace in the observed area.

U podini močvarnog prapora slijedi treća inženjerskogeološka skupina naslaga srednjeg i gornjeg pliocena, tzv. Paludinske naslage, u kojima je, prema slici 4, završilo 25-30% bušotina. Unutar tih naslaga također prevladava glina, a samo lokalno su prisutni tanji proslojci prašastog i čistog pijeska. Na slici 2 označene su kao sredina III.

Gline iz sredina II i III razlikuju se s obzirom na genezu i stupanj konsolidacije. Naslage sredine III dosegle su viši stupanj konsolidacije, te su podobne za preuzimanje većih opterećenja, odnosno odlikuju se ujednačenijim geotehničkim značajkama.

Prva geotehnička sredina je izostavljena iz analize zbog male debljine i velikog udjela deponiranog materijala. Tako su ostale dvije sredine: II i III, a s obzirom da su obje sličnoga litološkog sastava postavlja se pitanje može li se zanemariti genetski faktor i tretirati ih, u inženjerskom smislu, kao jedinstvenu geotehničku sredinu. Radi ilustracije materijalne sličnosti dviju apriornih geotehničkih sredina prilažu se dijagrami plastičnosti (sl. 3).



Tumač oznaka: SF – pijesak s mnogo sitnih čestica; SC – pijesak s malom količinom gline; CL – glina niske plastičnosti; CI – glina srednje plastičnosti; CH – glina visoke plastičnosti; ML – prah niske plastičnosti; MI – prah srednje plastičnosti; MH – prah visoke plastičnosti; OL – organska glina niske plastičnosti; OI – organska glina srednje plastičnosti; OH – organska glina visoke plastičnosti (prema Proširenoj Casagrandeovoj klasifikaciji tla).

Slika 3. Dijagram plastičnosti uzoraka iz sredine II (a) ($N=278$) i III (b) ($N=92$).

Legend: SF – sand with excess of fines; SC – sand with small clay content; CL – clay of low plasticity; CI – clay of medium plasticity; CH – clay of high plasticity; ML – silt of low plasticity; MI – silt of medium plasticity; MH – silt of high plasticity; OL – organic clay of low plasticity; OI – organic clay of medium plasticity; OH – organic clay of high plasticity. (According to the Expanded Casagrande's soil classification.)

Figure 3 Plasticity chart of samples from medium II (a) ($N=278$) and III (b) ($N=92$).

Da bi se dobio odgovor na gornje pitanje treba ispitati sličnosti i razlike geotehničkih svojstava tla. Svojstva razmatrane mase tla karakteriziraju geomehanički parametri koje je moguće analizirati statističkim metodama, ako se raspolaže s dovoljno velikim brojem podataka. To znači da se pojedini parametar analizira kao slučajna varijabla, a podaci predstavljaju uzorak vrijednosti te varijable. Osnovnim statističkim metodama procjenjuju se karakteristike razdiobe promatrane slučajne varijable ili određuje oblik razdiobe. Također, postoje metode za uspoređivanje uzoraka. Svaki uzorak pripada određenoj slučajnoj varijabli pa se određenim metodama može ispitati radi li se o bitno različitim slučajnim varijablama. Ako se ustanovi da je riječ o varijablama čiji se parametri međusobno značajno ne razlikuju, a razdiobe su identične, tada se može zaključiti da su uzorci uzeti iz jedinstvenog osnovnog skupa. Tim metodama analizirani su geomehanički parametri navedenih geotehničkih sredina. Analiza se provodi i s namjerom da rezultati posluže za odabir strukturnog modela poluprostora koji najbolje predočuje realnu sredinu na promatranom području radi izbora mjerodavnih projektnih parametara.

EMPIRIJSKI PODACI I NJIHOVE OSNOVNE KARAKTERISTIKE

Kako je navedeno, jedan od zahtjeva za uspješnu primjenu statističkih metoda u analizi bilo kojeg obilježja jest veliki broj podataka o tom obilježju. U ovom slučaju mogao se koristiti, za naše prilike, izuzetno veliki broj podataka. Vrijednosti geomehaničkih parametara koji karakteriziraju svojstva tla određene su laboratorijskim ispitivanjem materijala na uzorcima iz velikog broja bušotina na promatranom području, tako da su uzorci vrijednosti za pojedini geomehanički parametar uglavnom bili veliki. U statističkoj analizi podataka važna je i reprezentativnost uzorka, pod čime se podrazumijeva da su vrijednosti u uzorku dobivene slučajnim i nezavisnim odabirom. Jasno je da su mjesta uzorkovanja mase, tj. fizičke točke, određene položajem bušotina i odlukom stručnjaka. Premda statističke uzorke čine svi geomehanički uzorci odabrani za laboratorijske postupke, ipak se može pretpostaviti da su uzorci slučajni i reprezentativni.

Laboratorijskim ispitivanjem određene su vrijednosti slijedećih skupina geomehaničkih parametara:

- identifikacijski: w_l – granica žitkosti, w_p – granica plastičnosti, I_p – indeks plastičnosti, I_c – indeks konzistencije;
- fizički: γ_d – suha jedinična težina, γ – vlažna jedinična težina, γ_s – specifična težina, w_0 – prirodna vlažnost; e_0 – početni koeficijent pora;
- mehanički: q_u – jednoosna tlačna čvrstoća, c – kohezija, ϕ – kut unutrašnjeg trenja, M_{k1} , M_{k2} , M_{k4} – moduli stišljivosti za naprezanja 100, 200, odnosno 400 kN/m².

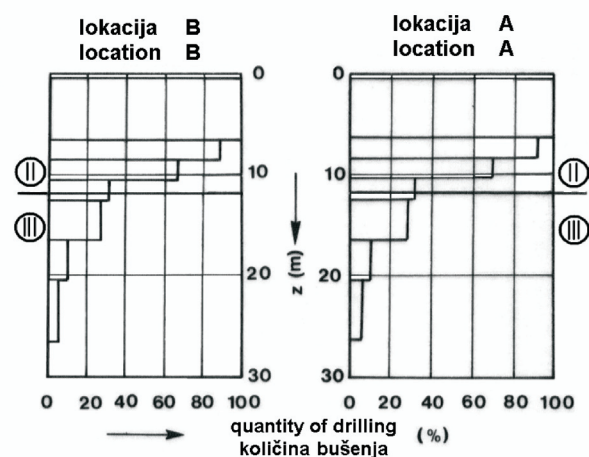
Parametri I_p i I_c su izvedene varijable (funkcije su parametara w_p , w_p i w_0), ali su obrađeni i analizirani kao i svi ostali parametri, tj. kao slučajne varijable.

Prethodna usporedba geotehničke sličnosti dviju lokacija (A i B, usporedba 1 na slici 2) statističkim postupcima pokazala je da nema statistički bitnih razlika između dviju lokacija, pa je opravdano objedinjavanje rezultata s obje lokacije radi postizanja dovoljno velikih statističkih uzoraka i izbora sinteznog modela tla na lokaciji nove Čadare (B) (Horvat, 1987).

Veliki broj podataka o svakom od parametara trebalo je, prije svega, srediti. Budući da je cilj bio istražiti razlike u svojstvima između dviju genetskih i geotehničkih sredina, koje su u superpozicijskom prostornom odnosu, podaci vezani za te sredine razdvojeni su u skladu s usvojenim inženjerskogeološkim modelom.

Treba napomenuti da su uzorci za sredinu II znatno veći, što je razumljivo, budući da je približno 65% bušotina završilo u plićoj sredini (sl. 4). Tako su isti geomehanički parametri određivani na, u prosjeku, tri puta većem broju uzoraka u sredini II u odnosu na sredinu III, a parametri čvrstoće smicanja postoje samo za sredinu II. Dakle, mora se biti svjestan činjenice da količina informacija

opada s dubinom, što je i inače slučaj u geotehničkim istraživanjima.



Slika 4. Raspodjela ukupne količine bušenja u odnosu na dubinu istraživanja.

Figure 4. Distribution of quantity of drilling in relationship to the depth of exploration.

Tablica 1. Osnovne karakteristike parametara iz sredine II i III.

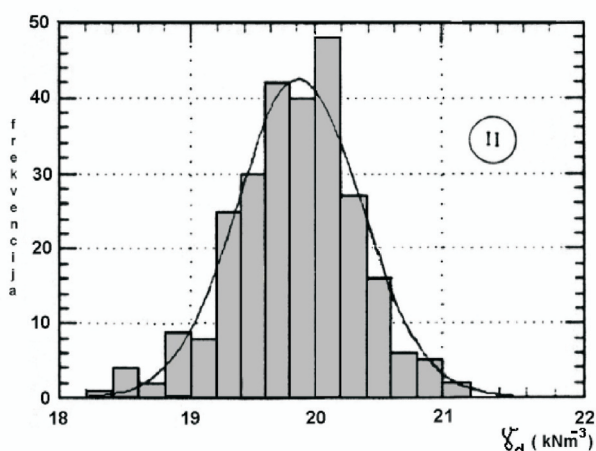
Table 1 Basic characteristics of the parameters for the mediums II and III.

sredina	parametar	N	x_{min}	x_{max}	\bar{x}	σ	V (%)	M_c	M_o
II	w_0 (%)	311	13,5	34,66	24,87	3,28	13,19	24,6	23,2
	γd (kNm ⁻³)	262	13,79	17,6	15,95	0,71	4,45	16	16,3
	γ (kNm ⁻³)	265	18,31	21,12	19,87	0,5	2,52	19,9	19,8
	w_l (%)	276	24,2	61,4	40,49	6,87	16,97	39,8	39,8
	w_p (%)	276	16	25	20,17	1,71	8,48	20,1	20
	I_p (%)	276	2,9	42,9	20,31	6,32	31,12	19,55	15,3
	I_c	254	0,25	1,2	0,75	0,17	22,67	0,77	0,84
	q_u (kNm ⁻²)	181	16	355,7	146,96	67,2	45,73	142	114
	c (kNm ⁻²)	66	1	53	21,6	13,43	62,18	19,5	25
	φ (°)	66	12,64	32,2	24,84	4,71	18,96	25,75	24,3
	e_0	46	0,568	0,921	0,71	0,08	11,27	0,7	0,73
M_{kl} (kNm ⁻²)	132	10280	10280	6115,2	1531,28	25,04	6200	4700	
III	w_0 (%)	110	18,2	32,2	24,49	2,9	11,84	24,3	23,3
	γd (kNm ⁻³)	83	14,5	17,4	16,27	0,71	4,36	16,4	16,6
	γ (kNm ⁻³)	83	18,6	20,9	20,18	0,48	2,38	20,3	20,4
	w_l (%)	91	25	61,7	41,02	7,35	17,92	39,8	39,8
	w_p (%)	90	14,35	27,8	20,1	2,26	11,24	19,8	19,4
	I_p (%)	92	9,85	39,75	21,11	6,64	31,45	19,88	23,4
	I_c	85	0,42	1,7	0,8	0,19	23,75	0,78	0,78
	q_u (kNm ⁻²)	66	48	523	198,12	86,96	43,89	191,9	192
M_{kl} (kNm ⁻²)	30	3220	11988	6964,67	2496,43	35,84	6824,5	6600	

Parametri γ_s , M_{k2} i M_{k4} su ispušteni iz statističke analize, a također i c , φ i e_0 zbog premalog broja podataka o njima u sredini III. Tako je za analizu ostalo 12 parametara iz sredine II i 9 iz sredine III. Za svaki pojedini parametar iz svake od sredina izračunate su osnovne karakteristike i njihov prikaz je u tablici 1. Oznake su, kao što je uobičajeno: N - broj podataka, x_{min} - najmanja vrijednost u uzorku, x_{max} - najveća vrijednost u uzorku, \bar{x} - aritmetička sredina, σ - standardna devijacija, V - koeficijent varijacije, M_e - medijan i M_o - mod.

Iz daljnje obrade ispušteni su oni empirijski podaci koji su izvan područja $\bar{x} \pm 3\sigma$ jer se oni mogu smatrati grubom pogreškom nastalom zbog nepreciznosti u radu (na terenu i u laboratoriju). Gruba pogreška uključuje i rezultate ispitivanja koji se odnose na pojavu netipičnih slojeva tla u lokalnom litološkom stupu (anomalija).

Radi preglednosti i uočavanja osnovnih svojstava vrijednosti u pojedinom uzorku, za svaki parametar je određena i razdioba frekvencija i prikazana histogramom. Histogram, kao grafički prikaz, zorno prikazuje razdiobu frekvencija i daje uvid u nepoznatu razdiobu vjerojatnosti slučajne varijable (geotehničkog parametra) čiji se podaci analiziraju. Svi histogrami su oblikom ukazivali na mogućnost da se radi o podacima koji pripadaju slučajnoj varijabli normalne razdiobe. Za ilustraciju prilaže se histogram frekvencija podataka iz sredine II za suhu jediničnu težinu (γ_d) (sl. 5).



Slika 5. Histogram frekvencija podataka za suhu jediničnu težinu (γ_d) iz sredine II ($N=262$).

Figure 5 Frequency histogram for the dry unit weight (γ_d) from the medium II ($N=262$).

ISPITIVANJE HOMOGENOSTI UNUTAR SVAKE OD GEOTEHNIČKIH SREDINA

Objašnjavajući uzroke varijabilnosti svojstava tla Lumb (1974) u prvi plan stavlja slučajnu prirodu onih procesa koji upravljaju postankom tala. Varijabilnost može

biti manja ili veća zavisno o tomu je li bio prevladavajući utjecaj trajnoga ili prolaznog čimbenika. No, opća je tendencija da su vrijednosti nekoga svojstva sličnije među bližim susjednim točkama unutar razmatranoga obujma tla, nego među razmaknutijim točkama istoga obujma. Ta činjenica naglašava pitanje stanja geniteta, tj. postojanja homogenosti po nekom svojsvu u razmatranom obujmu (Jurak & Magdalenić, 1974).

Dvije promatrane apriorne geotehničke sredine imaju sličan litološki sastav. Prosječno 70% poluprostora dubinskog dosega 30 m izgrađuje srednjeplastična glina (prema AC klasifikaciji) (Horvat, 1987). Uz pretpostavku da su ostali litološki članovi (visokoplastična glina, niskoplastična glina, prašasti pijesak i pjeskoviti prah – dakle, uglavnom sitnozrnaste frakcije) ravnomjerno zastupljeni u razmatranom obujmu tla, svaku je sredinu opravdano smatrati homogenom.

Kako je navedeno, usvojen je model prema kojemu su na promatranom području, imajući u vidu genezu i geotehničke značajke, izdvojene tri inženjerskegeološke skupine naslaga (sl. 2). U analizu su ušle dvije, sličnoga litološkog sastava. Za svaki geotehnički parametar izračunat je, kao jedna od osnovnih karakteristika, koeficijent varijacije u svakoj od sredina (tabl. 1). Općenito, visoka vrijednost koeficijenta varijacije ukazuje na veliko rasipanje vrijednosti slučajne varijable, dakle, smanjenu jednoličnost medija, i obratno. Prema tome, moguće je, prema vrijednosti koeficijenta, ocijeniti homogenost podataka za određeni geotehnički parametar. No, treba uzeti u obzir da realna varijabilnost parametra ne ovisi samo o homogenosti tla već i o metodi rada, a naročito o prirodi samoga parametra. Tako su Kay & Krizek (1972) prikazali slučaj ovisnosti koeficijenta varijacije i aritmetičke sredine za koheziju (c) o tehnici vađenja uzoraka. Dok Wilun & Starzevski (1975) daju općenitu ljestvicu vrijednosti koeficijenta varijacije odgovarajućim stupnjem homogenosti, Horvat (1989) daje iskustvenu ocjenu granica unutar kojih se nalazi koeficijent varijacije za svaki pojedini geotehnički parametar. Prema toj ocjeni, svi parametri, osim Ip i c u sredini II, te Ip i Mk u sredini III, variraju u svojim prirodnim granicama što govori u prilog homogenosti svake od geotehničkih sredina.

Ocjena homogenosti podataka na osnovi koeficijenta varijacije rezultat je vlastite procjene pojedinog autora i, kako je navedeno, zasniva se na nekom, više ili manje, empirijskom pravilu. Kao egzaktna statistička metoda, za ispitivanje ukazuju li vrijednosti geomehaničkih parametara na homogenost svake od te dvije sredine, korištena je metoda analize varijance. Radi toga je izvršena diskretizacija svake geotehničke sredine u tri dubinske zone, što bi odgovaralo diskretno homogenom modelu po Racu (1973), pa su na taj način podaci podijeljeni u tri skupine (grupe). Granice unutar sredine II su na 4 i 8 m, a III na 14.5 i 18.5 m. Tako se, unutar svake sredine, za svaki parametar dobilo po tri podskupine podataka.

Metodom analize varijance ispituje se postoji li razlika u aritmetičkim sredinama između pojedinih grupa unutar podataka. Ukupna varijanca podataka razlaže se na dio koji je posljedica razlika grupnih sredina i dio koji je rezultat varijacije unutar svake od grupa i , kao takav, posljedica slučajnosti. F -testom se provjerava osnovna hipoteza da su ta dva dijela varijance međusobno jednaka. Prihvatanje te hipoteze znači da je odstupanje između grupnih sredina također samo posljedica slučajnosti, dakle, da nema značajnih razlika u aritmetičkim sredinama između grupa.

Da bi se u analizi varijance proveo F -test treba biti zadovoljen uvjet o homogenosti (jednakosti) varijanci svih grupa. Hipoteza o jednakosti varijanci za više uzoraka provodi se jednom varijantom F -testa prema kojoj se, kao test-vrijednost koja ima F -razdiobu, izračuna omjer najveće i najmanje procjene varijance među procjenama varijanci za svaku od grupa. U tablici 2 su za svaki parametar navedene procjene varijance za svaku od tri dubinske zone unutar sredine II, odnosno III, izračunata F -vrijednost, stupnjevi slobode i odgovarajuća vrijednost F_0 . Za danu F -razdiobu svega 5% vrijednosti je veće od F_0 pa se, uz razinu značajnosti od 5%, hipoteza o jednakosti varijanci među grupama prihvaća ako je $F < F_0$.

Tablica 2. F -test o jednakosti varijanci triju grupa podataka unutar svake sredine.

Table 2 F -test regarding the equality of variances of the three groups of data in each medium.

sredina	parametar	procjena varijance za			F	stupanj slobode za		F_0
		grupu 1	grupu 2	grupu 3		brojnik	nazivnik	
II	w_0	7,03	10,31	12,62	1,79	106	78	1,42
	γ_d	0,41	0,54	0,52	1,32	102	73	1,45
	γ	0,22	0,3	0,22	1,36	103	73	1,45
	w_l	33,66	49,46	58,75	1,75	89	78	1,43
	w_p	1,94	2,93	3,67	1,89	90	78	1,43
	I_p	33,81	38,88	48,07	1,42	89	78	1,43
	I_c	0,03	0,03	0,03	1	99	70	1,45
	q_u	5042,5	3708,6	5027,4	1,36	49	65	1,54
	c	151,8	230,5	190,4	1,25	6	34	2,38
	φ	13,19	28,76	31,65	2,4	6	34	2,38
M_{kl}	1697396	2837892,8	2128276,8	1,67	60	24	1,82	
III	w_0	8,05	7,36	7,62	1,09	42	39	1,7
	γ_d	0,49	0,44	0,27	1,8	30	17	2,15
	γ	0,28	0,19	0,11	2,54	30	17	2,15
	w_l	49,8	51,5	42,3	1,21	31	19	2,07
	w_p	5,8	5,51	3,65	1,58	34	19	2,05
	I_p	42,24	41,4	32,42	1,3	36	19	2,07
	I_c	0,04	0,03	0,05	1,6	17	29	2
	q_u	3953,3	5432	5560	1,4	11	26	2,18
	M_{kl}	5139161	9823560	429012	22,89	11	2	19,4

Tablica 3. Analiza varijance za tri grupe podataka unutar svake sredine.

Table 3. Analysis of variance for the three groups of data in each medium.

sredina	parametar	procjena za varijancu		stupnjevi slobode		F	F ₀
		između grupa	unutar grupa	između grupa	unutar grupa		
II	γ_d	2,16	0,49	2	259	4,4	3,03
	γ	38,85	11,44	2	262	3,4	3,03
	I_p	47,95	35,69	2	270	1,3	3,03
	I_c	0,03	0,03	2	251	1	3,03
	q_u	6348,75	4473,97	2	178	1,4	3,05
	c	324,9	53,83	2	63	6	3,14
	M_{kl}	2416629	1991247,1	2	129	1,21	3,07
III	w_0	62,91	7,48	2	104	8,4	3,09
	γ_d	3,97	0,41	2	77	9,59	3,12
	w_l	72,66	47,6	2	85	1,53	3,1
	w_p	18,59	0,51	2	83	36,3	3,11
	I_p	90,75	38,47	2	86	2,35	3,1
	I_c	0,15	0,04	2	79	3,8	3,11
	q_u	26868,3	4579,9	2	60	5,87	3,15

Kako se vidi iz tablice 2 uvjet homogenosti varijanci zadovoljavaju geomehnički parametri γ_d , γ , I_p , I_c , q_u , c i M_{kl} za sredinu II, te w_0 , γ_d , w_l , w_p , I_p , I_c i q_u za sredinu III. Za te parametre provedena je analiza varijance za tri grupe podataka dobivene diskretizacijom svake sredine na tri zone. U tablici 3 su za svaki parametar navedene vrijednosti koje su potrebne za određivanje test-vrijednosti F u postupku analize varijance, te izračunata test-vrijednost F i F_0 kao gornja granica područja prihvatanja osnovne hipoteze. Vidi se da je $F < F_0$ za parametre I_p , I_c , q_u i M_{kl} za sredinu II, što znači da se po tim parametrima sredina II može u statističkom smislu smatrati homogenom. U slučaju sredine III takvi su tek parametri w_l i I_p , što bi upućivalo na niži stupanj homogenosti sredine III.

IZVEDENE VARIJABLE U FUNKCIJI DUBINE

Izloženim pristupom stječe se prostorna informacija temeljem točkasto raspoređenih podataka/uzoraka u poluprostoru. U inženjerskim razmatranjima obično je zanimljiv raspored podataka u funkciji dubine. Ovdje se to prikazuje za dvije izvedene varijable – indeksne pokazatelje: indeks plastičnosti (I_p) i indeks konzistencije (I_c).

Slikom 6 prikazani su osnovni statistički parametri za indeks plastičnosti raščlanjeni na tri dubinske zone u

svakoj geotehničkoj sredini (II i III) po modelu diskretno homogene sredine (Rac, 1973). Takav je pristup pomogao u određivanju nosivosti pilota bušenih u glini donjeg pleistocena preko njezine nedrenirane posmične čvrstoće (c_u) (Cherubini et al., 2005). Slikovnim prikazom je postignuta vizualizacija ‘statističke strukture’ razmatrane sredine. Iako postoje stanovite vizualno uočljive razlike, rezultati statističkih testova išli su u prilog inženjerskoj prosudbi o statističkoj, a time i fizičkoj, homogenosti poluprostora.

Slikom 7 prikazuje se indeks konzistencije u funkciji dubine kao sintezni profil bez raščlambe na geotehničke sredine. Prikaz je upotpunjen histogramom varijable s krivuljom očekivane normalne razdiobe i stanjima konzistencije. Uočljivo je opadanje količine informacije s dubinom u skladu s tumačenjem na slici 4, te suženje raspona vrijednosti parametra. U pogledu stanja konzistencije, dominantna su dva stanja – lako do teško i teško gnječivo.

USPOREDBA DVIJU GEOTEHNIČKIH SREDINA

Statistička analiza geotehničkih svojstava inženjerskog tla temelji se na analizi svakoga od geomehničkih parametara kao slučajne varijable. Da bi se ispitala sličnosti, odnosno razlike, u vrijednostima geotehničkih parametara u sredini II i III polazi se od pretpostavke da je

određeni parametar u geotehničkoj sredini II jedna, a u III druga slučajna varijabla. Prema tome, govoreći o jednom parametru, analiza se svodi na uspoređivanje osnovnih karakteristika (očekivanja i varijance) dviju slučajnih varijabli na osnovi uzoraka njihovih mjerenja.

(m)	10 15 20 25 30 35 I_p (%)			
	N	R	\bar{X}	V (%)
0				
2	75	24,4		27,39
4				
6	108	31,9		29,64
8				
10	85	33,9		37,07
12				
14	37	29,1		25,25
16				
18	32	26,9		32,69
20				
23	23	28,65		33,59
30				

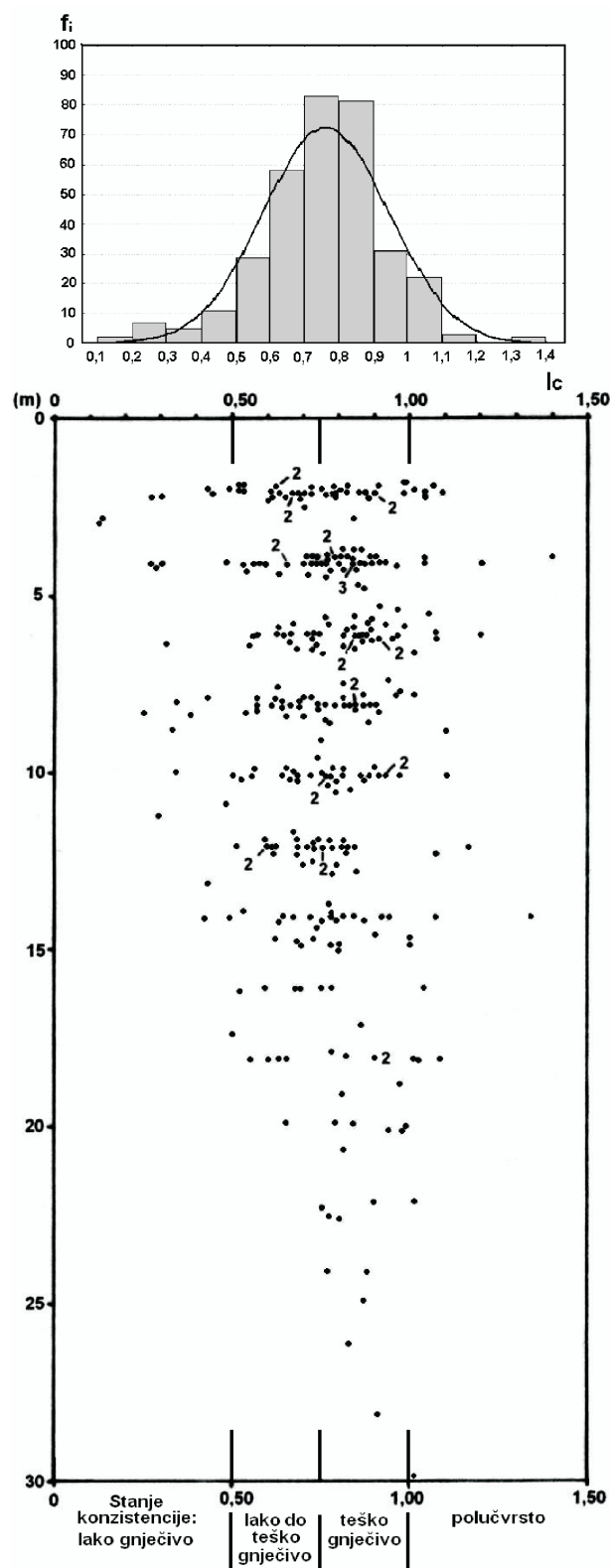
Tumač oznaka: N – veličina uzorka; R – raspon; \bar{X} – aritmetička sredina; σ – standardna devijacija; V – koeficijent varijacije.

Slika 6. Osnovni statistički parametri indeksa plastičnosti (I_p) po dubini.

Legend: N - sample size; R - range; \bar{X} - mean; σ - standard deviation; V - coefficient of variation.

Figure 6 Basic statistical parameters of the plasticity index (I_p) per depth.

Hipoteza da dvije slučajne varijable imaju međusobno jednaka očekivanja ispituje se t -testom, a da su im međusobno jednake varijance F -testom. Pretpostavka za provođenje oba testa jest da se radi o slučajnim varijablama koje imaju normalnu razdiobu, a za provođenje t -testa dodatna je pretpostavka da slučajne varijable imaju jednake varijance. Prema tome, u postupku uspoređivanja dviju slučajnih varijabli treba, kao prvo, ustanoviti da slučajne varijable imaju normalnu razdiobu, a zatim provesti F -test za hipotezu da su im varijance međusobno jednake. Ako je ta hipoteza prihvaćena može se provesti t -test za hipotezu o jednakosti očekivanja. U slučaju da je rezultat t -testa prihvaćanje hipoteze, cijelim je postupkom potvrđeno da te dvije slučajne varijable imaju međusobno identične normalne razdiobe. To u konkretnom slučaju znači da za promatrani geotehnički parametar nema razlike u tome iz koje je sredine uzet uzorak, tj. da se s obzirom na taj parametar radi o tlu podjednakih svojstava.

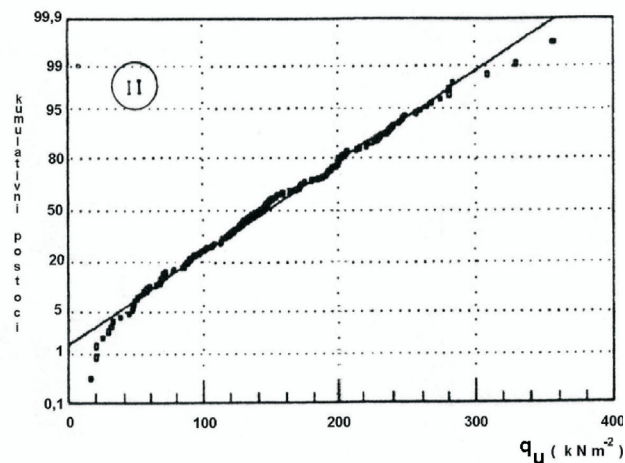


Slika 7. Indeks konzistencije (I_c) u funkciji dubine i histogram frekvencija s krivuljom očekivane normalne razdiobe za vrijednosti te varijable iz obje geotehničke sredine ($N=334$).

Figure 7 Consistency index (I_c) versus depth and frequency histogram with the expected normal distribution for the data from both geotechnical mediums ($N=334$).

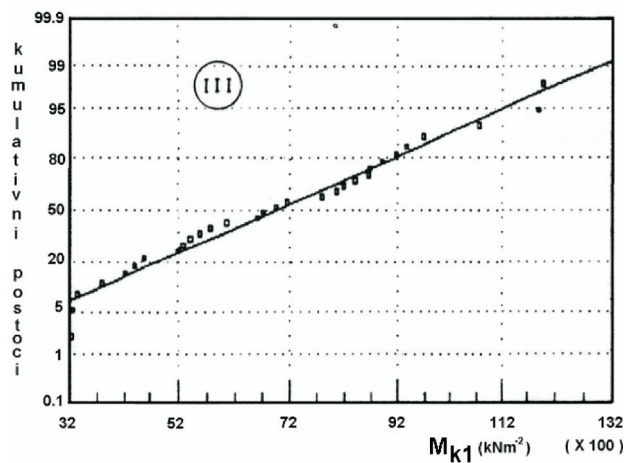
Na osnovi dosadašnjeg iskustva (Lumb,1966, Wilun & Starzewski,1975), gotovo svi geomehanički parametri mogu se smatrati slučajnom varijablom normalne razdiobe.

U ovoj analizi, tu pretpostavku potvrdili su, kako je navedeno, i histogrami frekvencija svakog od parametara, od kojih je prikazan jedan (sl. 5). Osim toga, svaki skup podataka prikazan je i na tzv. normalnom papiru vjerojatnosti. To je prikaz empirijske funkcije razdiobe u koordinatnom sustavu u kojem su ljestvice na koordinatnim osima prilagođene tako da se graf empirijske funkcije razdiobe, u slučaju da podaci pripadaju normalnoj razdiobi, ne razlikuje mnogo od pravca. I takav prikaz je, za gotovo svaki parametar, pokazao da on ima normalnu razdiobu. Za ilustraciju dana su dva od tih prikaza (sl. 8 i 9).



Slika 8. Normalni papir vjerojatnosti podataka za jednoosnu tlačnu čvrstoću (q_u) iz sredine II ($N=181$).

Figure 8 Normal-probability paper of data for the compressive strength (q_u) in medium II ($N=181$).



Slika 9. Normalni papir vjerojatnosti podataka za modul stišljivosti (M_{k1}) iz sredine III ($N=30$).

Figure 9 Normal-probability paper of data for the constrained modulus (M_{k1}) in the medium III ($N=30$).

Ipak, histogram frekvencija i papir vjerojatnosti omogućuju samo vizualnu ocjenu o obliku razdiobe neke slučajne varijable. Za razliku od toga, statistički test za ispitivanje hipoteze o podudaranju neke empirijske i teoretske razdiobe omogućava prihvaćanje ili odbacivanje te hipoteze na osnovi brojčanog pokazatelja uz određenu pouzdanost.

Za ispitivanje hipoteze da slučajna varijabla ima normalnu (ili neku drugu teoretsku razdiobu) najčešće se koristi hikvadrat-test. U ovom slučaju, primjenom toga testa hipoteza o normalnoj razdiobi je potvrđena za sve parametre bilo da je uzorak iz sredine II ili III.

Ista hipoteza ispitana je i testom Kolmogorov-Smirnova koji je, za razliku od hikvadrat-testa, namijenjen upravo za kontinuirane razdiobe. Osim toga, glavni nedostatak hikvadrat-testa je što se provodi s podacima grupiranim u razdiobu frekvencija, a grupiranje podataka je u velikoj mjeri proizvoljno. Naime, mijenjanjem broja razreda mijenjaju se i frekvencije, što znači i sam oblik razdiobe. Test Kolmogorov-Smirnova ne traži grupiranje podataka, a glavni zahtjev za primjenu jest da se raspolaze s vrlo velikim uzorkom, što je u ovom slučaju ispunjeno za gotovo sve parametre. I taj je test potvrdio da svi parametri imaju normalnu razdiobu. U tablici 4 je za svaki parametar naveden broj podataka, izračunata test-vrijednost χ^2 , stupanj slobode k , te razina značajnosti (vjerojatnost pogreške prve vrste) za hikvadrat test, označena $p_k(\chi^2)$ i razina značajnosti za test Kolmogorov-Smirnova, označena $p(K-S)$. Kako je uobičajeno da se hipoteza prihvaća kad je razina značajnosti veća već od 5%, vidi se da se za sve parametre hipoteza o normalnoj razdiobi, prema oba testa, može prihvatiti, a za većinu njih i s visokom razinom pouzdanosti.

Budući da svi parametri imaju normalnu razdiobu, mogao se za svaki parametar provesti F -test za hipotezu da je varijanca tog parametra u sredini II jednaka onoj u sredini III. Provedenim F -testom utvrđeno je da se hipoteza o jednakosti varijanci u sredini II i III, kao preduvjet za provedbu t -testa, može prihvatiti samo za parametre w_{σ} , γ_{σ} , γ , w_p , I_p i I_c . Nakon toga, za te je parametre proveden t -test i rezultat je da se hipoteza o jednakom očekivanju u sredini II i III može prihvatiti za parametre w_{σ} , w_p , I_p i I_c (Krklec, 1992).

Prema provedenom postupku može se zaključiti da nema statistički značajne razlike u sredini II i III s obzirom na parametre w_{σ} , w_p , I_p i I_c , ali postoji u jediničnim težinama (γ_{σ} , γ), što je objašnjivo razlikom u sastavu, odnosno poroznosti, a ona pak proizlazi iz geneze naslaga, odnosno stupnja konsolidiranosti.

Tablica 4. Rezultati hikvadrat i Kolmogorov-Smirnov testa.

Table 4. The results of the chi-square and Kolmogorov – Smirnov test.

sredina	parametar	N	χ^2	k	$p_k(\chi^2)(\%)$	$p(K-S)(\%)$
II	w_0	311	4,92	9	84,12	50,23
	γ_d	262	14,2	10	16,4	99,93
	γ	265	10,67	8	22,11	9,06
	w_l	276	14,53	12	26,82	99,9
	w_p	276	12,61	9	18,12	28,46
	I_p	276	17,88	11	8,45	15,38
	I_c	255	20,49	12	5,84	6,85
	q_u	181	12,22	12	42,85	99,92
	c	66	9,75	7	20,3	51,23
	φ	66	12,73	7	7,88	43,7
	e_0	46	7,62	4	10,66	35,21
	M_{kl}	132	7,06	8	53,01	99,99
III	w_0	110	7,96	9	53,78	99,99
	γ_d	83	3,78	7	80,5	42,05
	γ	83	2,34	3	50,55	16,83
	w_l	92	11,5	7	11,82	42,48
	w_p	92	10,94	7	14,14	13,53
	I_p	92	12,72	8	12,2	99,86
	I_c	85	5,29	4	25,87	99,89
	q_u	66	4,93	5	42,47	99,87
	M_{kl}	30	1,12	2	57,02	100

INŽENJERSKA PROSUDBA (ZAKLJUČAK)

Einstein i Beacher (1982) pišu da je neizvjesnost o geološkim okolnostima i geotehničkim parametrima možda najznačajnija razlikovna značajka inženjerske geologije u usporedbi s ostalim inženjerskim poljima. Kako ta neizvjesnost prožima inženjersku geologiju s jedne strane, a inženjerska prosudba i subjektivne procjene imaju važnu ulogu s druge strane, logično je potražiti pomoć u metodama vjerojatnosti i statistike radi što objektivnije inženjerske prosudbe o tematici koja se obrađuje. Upravo prikazani slučaj može poslužiti kao primjer kako uporaba statističkih metoda može pomoći pri inženjerskom dlučivanju, posebice kada se mora uravnotežiti rizik i pouzdanost (Beacher & Christian, 2003).

Premda Horvat (1989) navodi «..., može se statistički obrađivati samo istovrsne dijelove promatrane formacije tla koji imaju istu genezu», ovdje se pokušalo, prvo statistički, a zatim inženjerski, uspoređivati upravo sredine različite geneze – apriorno postavljene geotehničke sredine

II i III u superpozicijskom odnosu. Tako su uporabljeni statistički testovi za ispitivanje homogenosti pojedinih fizičkih polja po određenim geotehničkim parametrima. Po tim istim parametrima uspoređivane su i dvije, materijalno slične, a genetski različite sredine.

Kao rezultat, može se prihvatiti da su, zavisno o prirodi pojedine varijable (geotehničkog parametra), geotehničke sredine, svaka za sebe, uglavnom statistički homogena polja, odnosno inženjerski «kvazihomogena». Međusobna usporedba pokazala je, pak, da ne postoji statistički bitna razlika između njih po identifikacijskim parametrima i po jednom fizičkom. Inženjerska odluka bila bi, dakle, da je u fizičkom smislu prihvatljivo objedinjavanje dviju superpozicijskih sredina u jedinstveni poluprostor ispod objekata A i B, što bi za projektanta trebala biti korisna informacija o temeljnom tlu.

Obogaćivanje spoznaje istraživanjem korelacijskih odnosa pojedinih varijabli i možebitne zavisnosti njihovih vrijednosti o dubini nastavit će se, nadamo se, idućim radom.

ZAHVALA

Zahvaljujemo gosp. Josipu Crnku, dipl. ing. geol. na mogućnosti korištenja neobjavljenog lista OGK - list „Kutina“ i pripadajućeg mu tumača.

Received: 15.07.2006.

Accepted: 30.09.2006.

LITERATURA

- Agterberg, F.P. (1974): Geomathematics. Mathematical Background and Geo-Science Applications. Elsevier, 596 pp, Amsterdam, London, New York.
- Anon. (2004): BS EN 1997-1 Eurocode 7 Geotechnical Design, Part 1 General Rules, CEN/TC 250/SC7.
- Beacher, G.B. & Christian, J.T. (2003): Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. John Wiley & Sons Ltd, 618 pp.
- Cherubini, C., Giasi, C.I. & Lupo, M. (2005): Interpretation of load tests on bored piles in the city of Matera. Geotechnical and Geological Engineering, 23, 349-364. Springer.
- Crnko, J.: OGK, list «Kutina». 1:100 000. Pripremljeno za tisak.
- Crnko, J. & Vragović, M.: Tumač za list «Kutina», OGK, 1:100 000. Pripremljeno za tisak.
- Čurinov, M.V. (ed.) (1981): Spravočnik po inženjerskoj geologiji (treće prerađeno i dopunjeno izdanje). Nedra, 325 pp, Moskva.
- Dementjev, L.F. (1980): Statističke metode obrade i analize geoloških podataka kod razrade ležišta. Prijevod s ruskog, 190 str., INA-Naftaplin, Zagreb.
- Einstein, H.H. & Baecher, G.B. (1982): Probabilistic and Statistical Methods in Engineering Geology I. Problem Statement and Introduction to Solution. Rock Mechanics, Suppl. 12, 47-61. Springer-Verlag, Wien, New York.
- Einstein, H.H. & Baecher, G.B. (1983): Probabilistic and Statistical Methods in Engineering Geology. Specific Methods and Examples. Part 1: Exploration. Rock Mechanics and Rock Engineering, 16, 39-72. Springer-Verlag.
- Horvat K. (1987): Izbor sintetskog modela tla – INA Petrokemija Kutina, Čadara II. Arhiv Instituta «Geoexpert», Zagreb.
- Horvat K. (1989): Izbor projektnih geomehaničkih parametara. Saopćenja 1. Savj. Društva za mehaniku tla i temeljenje Hrvatske, Opatija, 27-35. Zagreb.
- Horvat, K. & Škacan, B. (1984): Statistička procjena fizičko-mehaničkih karakteristika tla. Saopštenja Drugog Sav. Društva za mehaniku tla i fundiranje SR Srbije, D. Milanovac, 57-70.
- Horvat K. & Škoro, B. (1982): Izbor geomehaničkih parametara pomoću metoda matematičke statistike. XV Sav. i skupština JDMTF, Ohrid, 1981, 113-119. Skopje.
- Jurak, V. & Magdalenčić, A. (1974): Ispitivanje homogenosti pregradnog profila brane s obzirom na vodopropusnost metodama neparametarskog testiranja. Geol. vjesnik, 27, 299-308, Zagreb.
- Kay, J.K. & Krizek, R.J. (1992): Estimation on the Mean for Soil Properties. In: Lumb, P. (ed.): Statistics and Probability in Civil Engineering. Proc. of the First Int. Conf. on Application of Statistics and Probability to Soil and Structural Engineering, Hong Kong, Sept. 1971, 279-286. Hong Kong University Press.
- Krklec N.: (1992): Provjera hipoteze o homogenosti građevinskog tla na lokaciji «Čadare» u Kutini. Diplomski rad, 53 str., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Lumb, P. (1966): The Variability of Natural Soils. Canadian Geotechnical Journal, Vol. III, No 2, 74-97. Printed in Canada
- Lumb, P. (1974): Application of Statistics in Soil Mechanics. Chapter 3 in: Lee, I.K. (ed.) Soil Mechanics – New Horizons, 44-111. Newnes-Butterworths, London.
- Lumb, P. (ed.) (1972): Statistics and Probability in Civil Engineering. Proc. of the First Int. Conf. on Application of Statistics and Probability to Soil and Structural Engineering, Hong Kong, Sept., 1971. Hong Kong University Press.
- Medanić, B. & Čulo, K. (2005): Primjena statističkih metoda u građevinarstvu. Građevinar, 57, 11, 889-894. Zagreb.
- Rac, M.V. (1973): Strukturne modeli v inženjerskoj geologiji. Nedra, 214 pp, Moskva.
- Terzaghi, K. (1940): Sampling, Testing and Averagings. Purdue Conf. on Soil Mechanics and its Applications, 151-160. Purdue University, Lafayette, Indiana.
- Terzaghi, K. & Peck, R.B. (1948): Soil Mechanics in Engineering Practice. Wiley and Sons, 566 pp, New York.
- Wilun, Z. & Starzevsky, K. (1975): Soil Mechanics in Foundation Engineering. Second Edition, Vol. I Properties of Soils and Site Investigations. Surrey University Press in association with International Text book Company Limited, 252 pp, London.