

PREGLED METODA ZA PRORAČUN UKUPNOG SLEGANJA
I ODREĐJIVANJE DISTORZIONOG SLEGANJA NEKOHERENTNOG TLA

Miroljub Samardaković

U radu se ukazuje na ustanovljene razlike između računskih i izmerenih sleganja tla pod statičkim opterećenjem i napotrebom bližeg sagledavanja pojedinih uticaja kao i komponenti ukupnog sleganja. Daje se pregled metoda za proračun ukupnog sleganja, sa osvrtom na njihove mogućnosti za rešavanje problema u pojedinim materijalima. Obrazlaže se potreba većeg obima ispitivanja nekoherentnog tla, za koje se predlaže proračun distorzionog sleganja po metodi "2B-0,6 raspodele" Schmertmann-a (1970), daje korelacija Young-ovog modula i rezultata opita penetracije i primer proračuna.

1. U V O D

U našoj savremenoj geotehničkoj praksi problemi računskog određivanja veličine i brzine sleganja rešavaju se, u najvećem broju slučajeva, samo za koherentne slojeve i to na osnovu opita jednoaksijalnog (vertikalnog) deformisanja neporemećenog uzorka tla u edometru, uz uprošćenja po kojima je veza između tenzora napona i tenzora deformacija (odnosno tenzora njihovih priraštaja) linearna u celokupnom intervalu priraštaja vertikalnih napona u sloju i po kojima se sloj drenira samo u vertikalnom pravcu. Za slojeve od nekoherentnog materijala, bez obzira na njegov granulometrijski sastav i stanje (pre svega zbijenosti i zasićenosti) i uslove dreniranja pri pojavi pornih natpritisaka usled opterećenja od objekta, obično se pretpostavlja da se sležu malo i samo u toku gradjenja, pa se veličina i vreme sleganja zanemaruju.

Ovakvim pristupom - uslovljenim najčešće skromnom laboratorijskom i terenskom opremom i krakim rokom za istražne radove i geomehnička ispitivanja, kao i rutinerskim (ne)~zalaženjem u suštinu problema od kojih je u tlu svaki originalan i uvek nov

u radu jednog istraživača - dobijaju se samo približni stepeni konsolidacije za pojedine intervale vremena i približna veličina ukupnog sleganja pōmatranog objekta.

Uz to, stvarne veličine sleganja najčešće se ne mere, osim kod dodje do štetnih deformacija objekta (kada je za merenja obično kasno), tako da je odnos sračunatih i stvarnih sleganja teško oceniti.

1.1. Računska i izmerena ukupna sleganja

Sažimajući podatke koje iznose Széchy i Varga (1978) za 105 nezavisnih parova sračunatih i izmerenih sleganja na dunavskom lesu, zaključujemo da je samo u 6% slučajeva računsko sleganje manje od izmerenog, dok je u oko 60% slučajeva računsko sleganje bilo 2-5 puta veće od izmerenog. Smatra se da su ovakva odstupanja posledica primenjenih metoda proračuna i slabo procenjivanih pokazatelja deformabilnosti tla kao i manjeg sleganja dubljih slojeva, manjeg uticaja površine opterećenja i povoljnog uticaja susednih gradjevina. Isti autori navode i rezultate koje daje Leussink (1954),

za tādā primenjivane metode ispitivanja i proračuna - koje su i danas i kod nas aktuelne. Prema njima, za koherentno tlo sračunata i izmerena sleganja se u glavnom podudaraju ali za zrnaste materijale sračunata sleganja su redovno veća (i do 4 puta) od izmerenih a u proseku 1,5 puta.

Ma da je moguće sistematizovati mnogobrojne, dosta istraživane faktore koji utiču na ovakva odstupanja, neke pouzdane empirijske korekzione faktore nije moguće uvesti u proračun. Do pouzdanih odgovora moglo bi se doći pre svega kroz iskustvo sa izvedenim objektima. Tako je npr. Yegorov i dr. (1974) na osnovu izmerenog sleganja slojeva ispod dimnjaka visokog 250 m, fundiranog na krutoj kružnoj ploči prečnika 41 m, izračunao module stišljivosti u slojevima dva puta veće od onih dobijenih u laboratoriji i opitima in situ sa modelima. Debljina aktivne zone bila je manja od prečnika temeljne ploče.

Zbog toga je nužna potreba da pristup proračunu sleganja bude što kreativniji i da se pažljivo odabiraju metode za proračun napona u tlu, za određivanje potrebnih pokazatelja deformabilnosti tla i za proračun veličine i brzine sleganja. Zbog

provere i usavršavanja primljenih metoda i njihovog boljeg odabiranja, potrebno je da se češće i sistematičnije osmatra sleganje, pomeranje i naginjanje objekata, uz registrovanje podataka o konstrukciji, opterećenju i kontaktnim pritiscima, njihovim promenama kroz vreme i ponašanju objekta i o drugim mogućim uticajima.

Radi boljeg sagledavanja mogućeg i adekvatnog prilaza u odredjivanju veličine sleganja u praksi, u narednom poglavlju ovog rada daje se moguća sistematizacija metoda za proračun sleganja i to za tzv. plitke temelje sa statičkim opterećenjem, s obzirom da je za ovaj problem tačnost metoda najveća. Uz pregled metoda daju se i naznake opštih karakteristika pojedinih grupa metoda a detalji vezani za primenu većine od njih mogu se naći i u literaturi na našem jeziku.

1.2. O komponentama ukupnog sleganja

Kako je ukupno sleganje zbir nekoliko komponenti od kojih svaku karakterišu različita stanja efektivnih napona i deformacija i uticaj vremena, i kako te komponente različito učestvuju u veličini ukupnog sleganja za pojedine osnovne grupe i stanja tla, u praksi se obično preovladjujuće komponente sleganja izjednačavaju sa ukupnim sleganjem a ostale zanemaruju. Tako se za koherentno tlo ukupno sleganje najčešće izjednačuje sa komponentom koja je posledica konsolidacije. U slabije zbijenom pesku i šljunku (u kojima je u zbijenom i zasićenom stanju takodje uočavana konsolidacija), kao jako propusnim materijalom, ukupno sleganje se najčešće izjednačava sa početnim - ostvarenim praktično u periodu gradjenja - i računa kao posledica elastične deformacije tla. Pri tome se zbog male stišljivosti materijala zanemaruje promena zapremine pa se ukupno sleganje računa kao distorziono (devijatorsko).

Distorziono sleganje tla (usled promene oblika bez promene zapremine) može se sračunati kao i ukupno elastično sleganje po postojećim rešenjima za sloj ograničene ili neograničene debljine (poluprostor), na osnovu zakona teorije elastičnosti u kojima figurišu elastične konstante (E i ν), s tim da se one odrede kao za nestišljiv materijal.

Zbog različitih prilaza (i još različitijih rezultata)

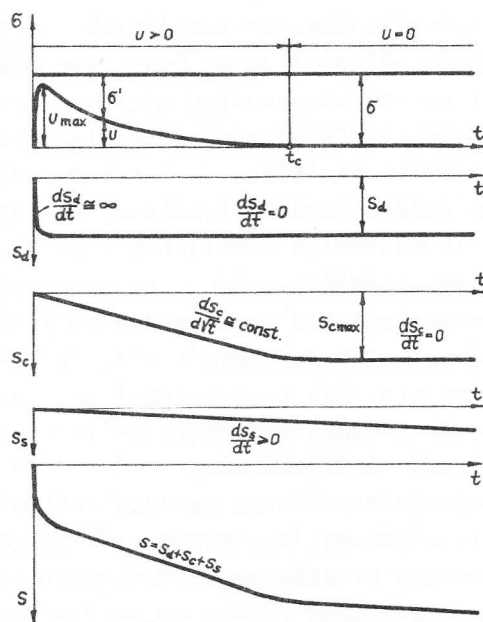
u proračunu početnog distorzionog sleganja, u trećem poglavlju ovog rada opisuje se i predlaže takozvana metoda "2B-0,6 raspodele" prema Schmertmann-u(1970), za proračun ovog obično preovladjujućeg dela ukupnog sleganja u slabije zbijenom nekohere-ntnom tlu, u kome zakoni teorije elastičnosti ne mogu da važe.

Prethodno, podsetimo se da je na sadašnjem nivou saznanja ukupno sleganje (s) zasićenog tla pod statičkim opterećenjem - uz pretpostavku da je vreme njegovog nanošenja (u glavnom vreme gradjenja)zanemarljivo malo u odnosu na vreme njegovog delovanja (vreme eksploatacije) - jednako zbiru distorzionog (s_d), konsolidacionog s_c i tzv.sekundarnog konsolidacionog (s_s) sleganja,tako da je

$$s = s_d + s_c + s_s$$

Ovde treba dodati da u nezasićenom tlu postoji i komponenta zbog smanjenja pora ispunjenih vazduhom i da se u fazi konsolidacije, zbog porasta efektivnih napona, javljaju dodatne distorzione deformacije.

Razvoj pojedinih komponenti i ukupnog sleganja pod dejstvom napona (σ) u toku vremena (t), kao i razvoj efektivnog



S1.1

napona (σ') i pornog nadpritiska (u), kvalitativno su prikazani* na Sl.1.

Ako se početno disporziono sleganja obavlja za tako kratko vreme kako je prikazano (praktično u vreme gradjenja), a osmatranje sleganja obično počinje po završetku objekata, onda je i to jedan od uzroka za tako velike, napred navedene, razlike u veličinama računskih i izmerenih sleganja.

Jedna od uzgrednih napomena uz Sl.1 može se odnositi i na stabilnost objekta: u fazi disporzionog i na početku konsolidacionog sleganja, porni nadpritisak bitno smanjuje unutrašnje trenje u tlu pa treba imati u vidu da je tada faktor sigurnosti u pogledu loma tla minimalan, po gotovu što su pri još uvek malim pomeranjima efekti mobilizacije čvrstoće tla manji nego kasnije.

2. PREGLED METODA ZA PRORAČUN UKUPNOG SLEGANJA

S obzirom na veliki broj faktora koji utiču na sleganje i rezultate laboratorijskih i terenskih ispitivanja na kojima se određivanje sleganja zasniva, u onštaj upotrebi ostaje relativno mali broj metoda za proračun ukupnog sleganja pod statičkim opterećenjem međusobno manje ili više ekvivalentnih.

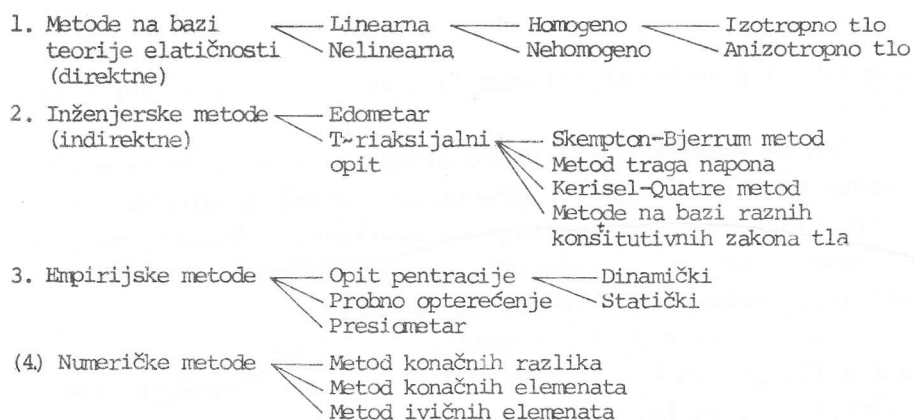
Ove metode mogu se svrstati u četiri kvalitativno različite grupe, prema šemi na Sl.2.

Pored navedenih, postoji i grupa uprošćenih metoda sa približnim rešenjima. Njihova primena je sve redja jer relativno neznatna uprošćenja proračuna dovode do znatne nepouzdatosti rezultata.

2.1. Metode na bazi teorije elastičnosti

Metode ove grupe daju matematički egzaktna rešenja do teorije elastičnosti, koja zadovoljavaju zadate uslove ravnoteže, konstitutivne jednačine materijala i granične uslove. Rešenja

* Na slici je prikazan tok sekundarne konsolidacije istovremeno sa primarnom, što je, po nekim autorima, još uvek diskutabilno. Takođe, nema sumnje da bi sleganje trebalo posmatrati i računati kao jedinstven vremenski proces ali manje tačan proračun komponenti sleganja ponaosob jeste matematički mnogo jednostavniji za praksu.



Sl.2

postoje za kombinacije svojstva materijala kako je dato na šemi, odakle se vidi domet ovih metoda za realno tlo.

U proračunavanju napona u tlu, primena linearne elastične analize daje rezultate koji se dobro slažu sa eksperimentalnim rezultatima u laboratoriji i na terenu, uz uslov da granični uslovi analitičkog modela apriksimiraju granične uslove in situ.

Medjutim, u proračunu pomeranja mogućnost primene teorije elastičnosti mnogo više zavisi od nelinearnosti i nehomogenosti materijala. Tako zakoni teorije elastičnosti mogu da važe u materijalu čije su osobine bliže idealnim, na primer u koherentnom tlu, zasićenom ili blizu zasićenja, pri umerenom priraštaju napona, kada elastični parametri mogu da se smatraju konstantnim. Ovo po gotovu važi za početno discorziono sleganje, bez obzira na uslove dreniranja, jer se ono odvija u vremenu u toku koga su, zbog male propusnosti, efekti dreniranja zanemarljivi.

U nekoherentnom tlu, gde se uslovi (sastav i naponska stanja) u masi tla menjaju - modul elastičnosti zavisi od položaja zone a priraštaj napona pri opterećenju različit je u masi (zbog heterogenosti i brzog opadanja porednih pritisaka usled velike vodopropusnosti) - za neki ekvivalentni modul ne može se usvojiti konstantna vrednost. Za ovo tlo primena linearne teorije elastičnosti sa pretpostavkom homogenosti nije adekvatna. Bolja rešenja daju numeričke metode, kao metodakonačnih elemenata, pri čemu se ekvivalentni elastični parametri odredjuju na bazi nivoa napona u tački mase tla.

Zbog nemogućnosti da uzmu u obzir i vreme delovanja opterećenja, rešenja po teoriji elastičnosti imaju glavnu primenu u proračunu početnih distorzionih sleganja u koherentnom tlu, mada distorziono sleganje generalno nije elastično.

Metode na bazi teorije elastičnosti, na bazi elastičnih konstanti odredjenih posebnim opitima (nezavisno od rešavanja problema), direktno računaju sleganje kao vertikalno pomeranje tačke na površini tla primenjujući formule (tabele, dijagrame) razvijene na jedan od sledeća dva načina:

a) Integracijom vertikalnih pomeranja tačke na površini usled dejstva niza elementarnih koncentrisanih sila (Boussinesq) tako da se dobije uticaj računskog opterećenja (p) na površini, pri čemu nije potreban proračun napona u tlu a rešenje ima opšti oblik tipa

$$s = I p B (1 - \nu^2) / E \quad (1)$$

gde je I faktor čija veličina zavisi od oblika opterećene površine širine B , od položaja tačke čije sleganje se računa, krutosti opterećujućeg tela i debljine elastičnog sloja na krutoj podlozi, koja može biti neograničena.

b) Integracijom vertikalnih dilatacija (ϵ_z) u "stubu" tla ispod tačke čije pomeranje - sleganje tražimo, gde je

$$\epsilon_z = [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] / E \quad (2)$$

pri čemu je neophodno poznavanje napona u svakoj tački vertikale, tako da se u stvari vrši integracija napona u tlu. Time se dobija rešenje u zatvorenom obliku, slično kao rešenje (1), sa kojim je jednako za identične granične uslove. Ako se zanemari horizontalna deformacija tla, što je čest slučaj u praksi, za $\nu = 0$ sleganje će biti

$$s = \int_0^z \epsilon_z dz = (1/E) \int_0^z \sigma_z dz \quad (3)$$

2.2. Inženjerske (indirektne) metode

Ovu grupu čine najšire primenjivane metode kojima se preko teorije elastičnosti računaju naponi u tlu a veze izmedju napona i deformacija izvođe se iz laboratorijskih ispitivanja uzoraka tla. Za razliku od metoda iz prve grupe, ovde se do veličine sleganja dolazi indirektno a s obzirom da se vrše ispitivanja i pri proračunu uvode odredjena racionalna uprošćenja,

metode se mogu nazvati inženjerskim. Raspodela napona smatra se do odredjenog stepena nezavisnom od konstitutivnih zakona i mehaničkih osobina tla a metode uvode nelinearne veze napon-deformacija, zbog čega su računska i stvarna sleganja dosta saglasna. Pri laboratorijskom ispitivanju uzoraka iz sloja čije sleganje se računa, simuliraju se forme i stanja napona i deformacija koji vladaju u sloju. Za proračun sleganja čitaju se deformacije iz opitom dobijenih dijagrama tako da su formule za proračun neodvojive od opita za odredjivanje deformacionih karakteristika tla.

Tako je opit jednoaksijalne kompresije sa sprečenom bočnom deformacijom u edometru pogodan za reprezentovanje deformacija u relativno (s obzirom na opterećenu površinu) tankom stišljivom sloju.

Kako je dejstvo horizontalnih normalnih napona od značaja za deformisanje opterećenog tla, opitima triaksijalne kompresije uzima se u obzir i ovaj uticaj, pored porednog pritiska i dr. Prve tri navedene metode u ovoj grupi, koje su kreirali Skempton i Bjerrum (1957), Lambe (1964) i Kerisel i Quatre (1966) - kako ih navode i Szehy i Varga (1978), nude pre svega postupke opterećivanja uzoraka analogno opterećivanju mase u sloju, pri čemu se moduli deformacija i veze napon-deformacija prilikažavaju realnim. Metode na bazi raznih konstitutivnih zakona tla, koji se sa razvojem merne i računске tehnike intenzivno kreiraju i usavršavaju u poslednjih 15 godina, koriste te zakone za proračun nelinearne veze napon-deformacija a opitima u konvencionalnim i pravim triaksijalnim aparatima odredjuju konstitutivne parametre tla čiji se broj uvećava sa složenošću modela tla. Jedan od prvih najšire primenjenih elasto-plastičnih modela tla je tzv. model kritičnog stanja, čiju je primenu na proračun sleganja preko veze napon-deformacija prvobitno predložio Burland (1969). Ovu metodu komentariše i dalje izvore navodi Feda (1978).

Rešenja dobijena primenom metoda proračuna druge grupe obično daju zajedno neke ili sve komponente ukupnog sleganja.

2.3. Empirijske metode

Prema metodama ove grupe proračun ukupnog sleganja vrši se na osnovu rezultata terenskih opita, primenom empirijskih ili poluempirijskih formula ekstrapolacije rezultata tih opita za realno opterećenje (temelj).

Pokazatelji otpora tla pri penetraciji figurišu direktno u formulama za proračun sleganja ili preko njih dolazimo do pokazatelja deformabilnosti tla, koji su potrebni za proračun sleganja po rešenjima metoda iz druge grupe. Pošto su navedeni opiti in situ prevashodno namenjeni za ispitivanje nekoherentnog tla, metode proračuna sleganja iz treće grupe pogodne su pre svega za ovo tlo.

2.4. Numeričke metode

Ove metode čine numerički postupci koji, uz uvođenje dosta realnih teorijskih ili laboratorijski dobijenih nelinearnih veza napona i deformacija, daju rešenja čija tačnost u matematičkom smislu zavisi od kapaciteta (ovde neophodnih) računara. Zbog te specifičnosti ova grupa klasifikuje se kao posebna iako, u suštini pristupa, ona to nije. Zbog složenog matematičkog aparata u praksi se još retko primenjuju ali su u istraživačkom radu osnovno orudje jer uvođenjem jedinstvenog elastoplastičnog ili složenijeg modela prevazilaze osnovni problem klasične mehanike tla: proračun deformacija po teoriji elastičnosti a proračun stabilnosti po teoriji plastičnosti - za jedan isti materijal.

Rešenja sa dijagramima i tabelama za proračun napona i pomeranja u elastičnom (izotropnom i anizotropnom) poluprostoru i sloju na krutoj podlozi najkompletnije su dali u monografijama Milović (1974), kao i Poulos i Davis (1974).

3. PRORAČUN DISTORZIONOG SLEGANJA NEKOHERENTNOG TLA

U tački 2.1. naglašena je pogodnost metode na bazi teorije elastičnosti, tipa jednačine (1), za proračun distorzionog sleganja koherentnog tla. Ona se u tom obliku i primenjuje, s tim da se pokazatelji elastičnosti odrede određenim laboratorijskim postupkom (Stojadinović, 1974 ili Šuklje, 1979), uz us-

lov nestišljivosti tla ($\nu=0,5$).

Za nekoherentno tlo su, kako je rečeno, pogodnije numeričke metode ali one su još uvek relativno nepraktične za široku upotrebu. S obzirom da za proračun sleganja zbog distorzije i stišljivosti nekoherentnog tla nema racionalnih metoda, primenjuju se različite empirijske i poluempirijske, najčešće na bazi korelacije između rezultata opita penetracije, probnog opterećenja i osmotrenih stvarnih sleganja temelja. Kako su, međutim, pretpostavljena sleganja bila 2-8 puta veća od stvarnih, u proračun se uvode razne korekcije itd.

U toj situaciji, postupak koji je predložio Schmertmann (1970), koga ćemo nazvati metodom "2B-0,6 raspodele", dobija široku primenu jer kako navodi Perloff (1975), daje rezultate koji odgovaraju deformacijama merenim u nekoherentnom tlu, uz vrlo racionalan pristup problemu sleganja.

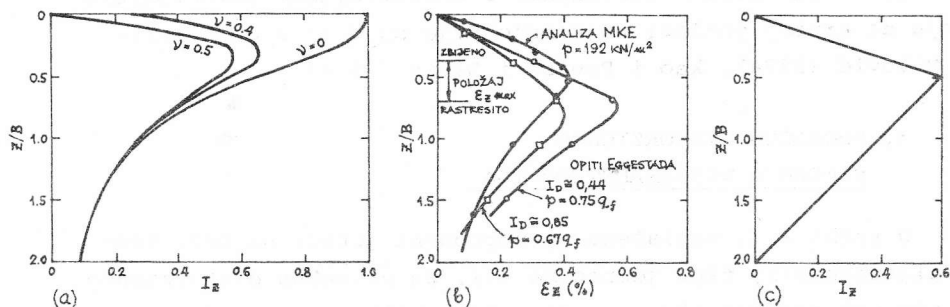
3.1. Metod "2B-0,6 raspodele"

Pod dejstvom jednakopodeljenog opterećenja (p) na delu površine linearno elastičnog poluprostora od materijala čiji je Young-ov modul E , vertikalna dilatacija u posmatranoj tački može se opisati kao

$$\varepsilon_z = I_z p / E \quad (4)$$

gde je I_z faktor koji zavisi od Poisson-ovog koeficijenta i položaja date tačke.

Raspodela ovog faktora, sračunata za kružno opterećenu površinu, data je na Sl.3a.



Sl.3

Na Sl.3b je ilustracija tipičnih rezultata dobijenih merenjem sleganja peska pri modelskim ispitivanjima (Eggestad, 1963) - linije 1 i 2, kao i analize deformacija metodom konačnih elemenata (MKE) za nelinearan materijal čije su pretpostavljene karakteristike slične pesku (Schmertmann, 1970) - linija 3.

Kako se vidi, sličnost oblika krivih raspodele vertikalne dilatacije u elastičnoj i realnoj sredini (pesku) je evidentan, s tim što je u pesku najveća dilatacija na dubini oko 0,5B a prema teoriji elastičnosti najveći faktor raspodele $I_z = 0,6$. Dilatacija praktično prestaje na dubini 2B, pa se ona može usvojiti za dubinu aktivne zone.

Na bazi ovih zapažanja Schmertmann (1970) krivu stvarne raspodele aproksimira sa dve prave i predlaže da se u praksi faktor raspodele (I_z) vertikalne dilatacije za nekohorentno tlo usvaja vrlo jednostavno - sa Sl.3c, po tzv. "2B-0,6 raspodeli".

Prema rezultatima drugih istraživača koje navodi Feda (1978), na bazi triaksijalnog ispitivanja prekonsolidovanog brdskog peska metodom traga napona (D'Appolonia i dr., 1968) ili kasnije saopštenih rezultata modelskog ispitivanja u pesku i proračuna metodom konačnih razlika (Kryzhanovski i dr., 1975), pretpostavka 2B-0,6 raspodele se potvrđuje na sličan način.

Početno distorziono sleganje se može sračunati kao

$$S_d = \int_{z=0}^{\infty} \epsilon_z dz \approx p \int_0^{2B} \frac{I_z}{E} dz \quad (4)$$

Daljom aproksimacijom dobija se, za neto opterećenje p_0 na površini ispod koje je (do dubine 2B) n približno homogenih slojeva,

$$S_d = C_1 C_2 p_0 \sum_{i=1}^n \left(\frac{I_z}{E} \right)_i \Delta z_i \quad (5)$$

gde su I_z i E faktor sa Sl.3c i Yong-ov modul u sredini sloja „i“ čija je debljina z_i a C_1 i C_2 korekcionni faktori.

Faktor C_1 uvodi se zbog korekcije vrednosti najveće dilatacije ϵ_z s obzirom na veličinu relativnog priraštaja napona u tlu:

$$C_1 = 1 - 0,5q'/p_0 \geq 0,5 \quad (6)$$

gde je q' efektivni početni (obično geološki) napon u tlu na koti fundiranja.

Uvodjenjem faktora C_2 , kojim se obuhvata uticaj vremena dejstva opterećenja, može se smatrati da se umesto početnog devijatorskog sleganja (o kome je do sada bilo reči) dobija približna veličina ukupnog devijatorskog sleganja. Za ovo nema teorijskog opravdanja, bar za nekoherentno tlo, ali u slučajevima koje obradjuje Schmertmann opravdanost uvođenja ovog faktora je potvrđjena. On se računa kao

$$C_2 = 1 + 0,2(1 + \log t) \quad (7)$$

gde je t vreme (u godinama) posle gradjenja, za koje se sleganje računa.

Iako je rešenje izvedeno za osnosimetrični problem, ne uvodi se korekcija zbog uticaja oblika stope jer se smatra da povećani naponi u tlu ispod pravougaone stope povećavaju ugao unutrašnjeg trenja tj. smanjuju deformabilnost tla, tako da vertikalne dilatacije ostaju približno jednake.

Prema rezultatima modelskih ispitivanja, za slučaj da je kruta podloga pliše od 2B, dijagram 2B-0,6 raspodele treba skratiti do te dubine.

3.2. Odredjivanje ekvivalentnog Young-ovog modula tla

Za primenu metode 2B-0,6 raspodele potrebno je odrediti krutost materijala u svakom stvarnom ili računskom sloju, izraženu prosečnim ekvivalentnim Young-ovim modulom elastičnosti.

Na osnovu iskustva u toku četiri decenije ocenjeno je da za normalno i malo prekonsolidovano nekoherentno tla može da važi korelacija

$$E = 2q_c \quad (8)$$

gde je q_c otpor (nosivost) tla pri statičkoj penetraciji hlađnim penetrometrom, što predlaže i Schmertmann (1970) u saglasnosti sa rezultatima drugih istraživača. Kako je uticaj prekonsolidacije veći na zbijenost - krutost nego na nosivost (čvrstoću) nekoherentnog tla, za prekonsolidovan materijal korelacija (8) daje modul manji od "realnog".

Nosivost pri statičkoj penetraciji je pouzdanija od rezultata standardne dinamičke penetracije, koji iskazuju dinamičku nosivost i na koje

utiču eksperimentalne teškoće i netačnosti. Međutim, dinamička pentracija može se izvesti i na mestima gde statička ne može. Zbog toga se u Tabeli 1. predlaže korelacija između rezultata statičke penetracije holandskim penetrometrom (q_c u kN/m^2) i standardne dinamičke pentracije (N).

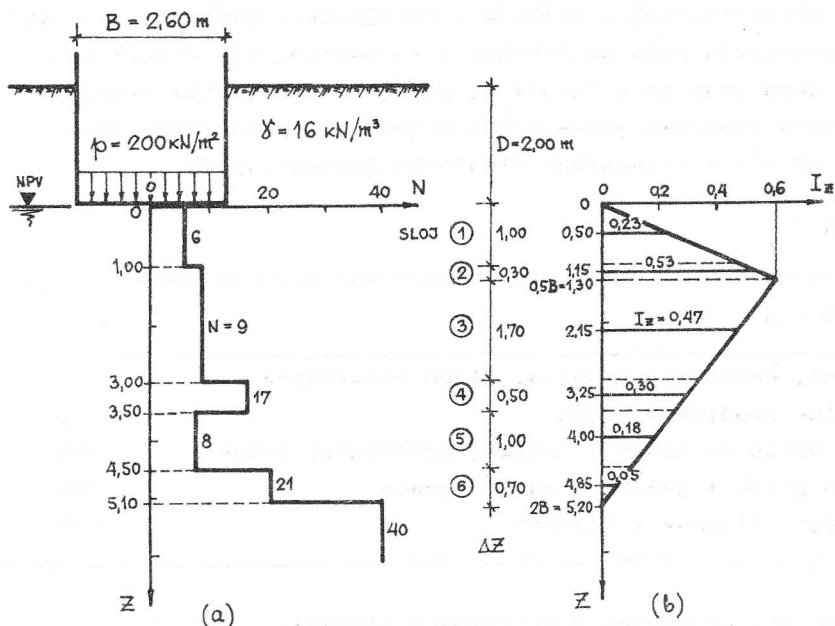
Tabela 1

Vrsta tla	q_c/N
Prašina, peskovita prašina, slabo koherentna mešavina prašine i peska	200
Čist, sitan do srednji pesak i prašinovit pesak	350
Krupan pesak i pesak sa malo šljunka	500
Peskoviti šljunak i šljunak	600

3.3. Primer proračuna distorzionog sleganja nekoherentnog tla

Primer se daje za kruti temelj stuba - platna, sa pravougaonom stopom na koti nivoa podzemne vode, u rastresitom do srednje zbijenom pesku veće debljine, kao na Sl.4. Računsko opterećenje tla od objekta je $p = 200 \text{ kN/m}^2$ a dimenzije stope su $B = 2,60 \text{ m}$ i $L = 23,00 \text{ m}$. Zapreminska težina tla (sila kojom jedinica zapremine tla deluje u smeru dejstva gravitacije) iznad NPV je 16 kN/m^3 . Standardnim dinamičkim penetracionim ispitivanjem tla dobijeni su rezultati dati na dijagramu na Sl.4a.

Biće sračunato sleganje tla za koje se očekuje da će biti ostvareno za pet godina posle gradjenja.



S1.4

a) Po metodi 2B-0,6 raspodele nacрта se dijagram raspodele faktora I_z (S1.4b). Na osnovu njega i dijagrama penetracije, aktivan sloj debljine $2B$ podeli se u računске slojeve (tako da u svakome bude pokazatelj penetracije konstantan a priraštaj I_z linearan) i odrede se debljine tih slojeva (Δz).

b) Za svaki sloj odredi se, pomoću Tabele 1. i korelacije (8), Young-ov mod E i u sredini sloja, pomoću S1.4b, faktor raspodele I_z . Odredjene veličine sistematizovane su u Tabeli 2. a radi preglednosti nanete su i na S1.4b.

c) Za svaki sloj sračuna se $(I_z/E)\Delta z$ i suma ovih veličina za sve računске slojeve.

Za temeljno tlo kao u zadatku (srednji pesak), iz Tabele 1 određeno je $q_c/N = 400$ pa je

$$E = 2q_c = 800N \quad (\text{kN/m}^2)$$

Tabela 2.

Sloj	Δz (m)	N	E (kN/m ²)	I_z	$(I_z/E) \Delta z \cdot 10^4$
1	1,00	6	4800	0,23	0,479
2	0,30	9	7200	0,53	0,221
3	1,70	9	7200	0,47	1,110
4	0,50	17	13600	0,30	0,110
5	1,00	8	6400	0,18	0,281
6	0,70	21	16800	0,05	0,021
Σ	5,20				2,222

d) Dalji tok proračuna je takodje jednostavan, po jednačinama (5)-(7).

$$q' = \gamma D = 16 \cdot 2,00 = 32 \text{ kN/m}^2$$

$$p_o = p - q' = 200 - 32 = 168 \text{ kN/m}^2$$

$$C_1 = 1 - 0,5 q'/p_o = 1 - 0,5 \cdot 32/168 = 0,90$$

$$C_2 = 1 + 0,2(1 + \log t) = 1 + 0,2(1 + \log 5) = 1,34$$

$$S_d = C_1 C_2 p_o \Sigma (I_z/E)_i \Delta z_i = 0,90 \cdot 1,34 \cdot 168 \cdot 2,222 \cdot 10^{-4} = 0,04 \text{ m.}$$

4. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Utvrđene znatne i česte razlike između računskih i izmerenih sleganja pod dejstvom statičkog opterećenja ukazuju da je problem odredjivanja veličine i brzine sleganja još nedovoljno istražen a da se postignuti naučni i stručni rezultati još nedovoljno ili neadekvatno primenjuju i u uslovima u kojima bi problem mogao biti dovoljno tačno rešen.

U postojećim uslovima, u praksi bi sigurno bili postignuti bolji rezultati pre svega sadržajnim i kompetentnijim izvođenjem programiranih terenskih istražnih radova i laboratorijskih ispitivanja i, takodje programiranim, osmatranjem većeg broja objekata nego što je sada slučaj — što iziskuje vrlo mala dodatna sredstva. Pored toga, primena pojedinih metoda proračuna i ispitivanja podrazumeva poznavanje osnovnih pretpostavki koje se (zbog racionalnog rešavanja teorijski i praktično složenog problema sleganja) za svaku metodu neizbe-

žno uvode, što u praksi nije uvek slučaj.

Poznavanje pojedinih komponenti sleganja, njihovog toka i učešća u ukupnom sleganju u odredjenim materijalima i uslovima, u praktičnim proračunima se gotovo ne primećuje.

Može se zaključiti da je za proračun sleganja koherentnog tla u praksi adekvatna primena inženjerskih (indirektnih) metoda, s tim da rešenja na bazi opita u edometru (pogodna za relativno tanke stišljive slojeve) mnogo brže i masovnije treba zamenjivati onima koji se baziraju na odgovarajućim opitima triaksijalne kompresije. Relativno značajna društvena sredstva koja se ulažu u istražne radove i sve veći zahtevi za pojedine objekte dovoljna su baza za primenu ne više novih saznanja u ovoj oblasti.

Za nekoherentno tlo, u kome je zapažena (čak) i sekundarna konsolidacija (Nonveiller, 1979), praksa da se obično samo registruje debljina sloja i granulometrijski sastav mora da se zameni obavezom vršenja proračuna sleganja. U ovom slučaju odgovaraju poluempirijske metode, po kojima se pre svega opitima pentracije odredjuju pokazatelji mehaničkih osobina tla a sleganja računaju po metodama teorije elastičnosti ili inženjerskim. U slabije zbijenom materijalu, u kome preovladava distorziona komponenta sleganja, ona se može vrlo racionalno i dovoljno tačno sračunati izloženom metodom „2B-0,6 raspodele“ Schmertmann-a (1970). Ovom metodom dobija se sleganje tla ispod težišta temeljne stope. Upoređujući ovakvo rešenje, dobijeno za računski primer iz tačke 3.3, sa rešenjem koje se dobija često primenjivanim proračunom po teoriji elastičnosti (j-na (1)) za $\nu = 0,5$ i $\nu = 0,3$, uz modul $E = 7000 \text{ kN/m}^2$, može se zaključiti da j-na (1) daje 3-4 puta veće sleganje, što je nereально s obzirom na vršena osmatranja sleganja.

L I T E R A T U R A

BURLAND, J.B. (1969): *Deformation of soft clay beneath loaded areas*, Proc. 7 th ICSMFE, Mexico, 1, pp. 55-63.

D'APPOLONIA, D.J., D'APPOLONIA, E.E., BRISSETE, R.F. (1968): *Settlement of spread footings on sand*, Proc. ASCE, New York, SM 3, p. 754-761.

EGGESTAD, A. (1963): *Deformation measurements below a model footing on the surface of dry sand*, Proc. 3rd ECSMFE, Wiesbaden, 1, pp. 233-239.

- FEDA, J. (1978): *Stress in subsoil and methods of final settlement calculation*, Elsevier, Amsterdam.
- KERISEL, J., QUATRE, M. (1966): *Tassements sous les fondations, Méthode de prévision à partir de l'appareil triaxial*, Annales des Ponts et Chaussées, Paris, No 3.
- KRIŽANOVSKII, A.L., ČEVIKIN, A.S., KULIKOV, O.V. (1975): *Efikasnost proračuna temeljnog tla sa nelinearnim deformacionim svojstvima (na ruskom)*, Osn., fund. i meh. gruntov, Moskva, 5, str. 37-40.
- LAMBE, T.W. (1964): *Methods of estimating settlement*, Proc. ASCE, New York, SM 5, p.43.
- LEUSSINK, H. (1954): *Die Genauigkeit von Setzungsberechnungen*, Vortrage der Baugrundtagung 1953 in Hannover, W. Ernst, Berlin.
- MILOVIĆ, D. (1974): *Analiza napona i deformacija u mehanici tla*, Institut za gradjevinarstvo SAP Vojvodine, Subotica.
- NONVEILLER, E. (1979): *Mehanika tla i temeljenje gradjevina*, Školska knjiga, Zagreb.
- PERLOFF, W.H. (1975): *Pressure distribution and settlement*, Chap.4 in *Foundation Engineering Handbook* (editors Winterkorn, H.F. and Fang, H.-Y.), Van Nostrand Reinhold, New York, pp.155-157.
- POULOS, H.G., DAVIS, E.H. (1974): *Elastic solutions for soil and rock mechanics*, John Wiley, New York.
- SCHMERTMANN, J.H. (1970): *Static sone to compute static settlment over sand*, Proc. ASCE, New York, SM3.
- SKEMPTON, A.W., BJERRUM, L. (1957): *A contribution to the settlement analysis of foundations on clay*, Geotechnique, London, p.168.
- STOJADINOVIĆ, P. (1974): *Mehanika tla, III deo*, Gradjevinski fakultet, Beograd.
- SZÉCHY, K., VARGA, L. (1978): *Foundation engineering*, Akadémiai Kiado, Budapest.
- ŠUKLJE, L. (1979): *Objašnjenje pravilnika o tehničkim normativima za projektovanje i izvodjenje radova kod temeljenja gradjevinskih objekata*, Izgradnja, Beograd.
- YEGOROV, K.E., KITAYKINA, O.V., CHERVYAKOV, A.N. (1974): *Investigation of layer-by-layer deformation on soils*, Proc. 4th Danube-European Conf. SMFE, Bled, 1, p.161.

THE REVIEW OF SETTLEMENT COMPUTATION
METHODS AND DISTORTION SETTLEMENT CALCU-
LATION OF COHESIONLESS MASES

A B S T R A C T

Some of differences between settlements calculated and measured due to the approximately static loads and necessity to make the acquaintance of particular components of settlement nearly are emphasized in the paper. Settlement computation methods are classified and some of their possibilities for settlement problem solutions in different materials are presented. The necessity to make a larger extent of cohesionless soil exploration and settlement calculation are explained. For the same material, one proposed the use of "2B-0,6 distribution" method (Schmertmann, 1970) for distortion settlement computation. The correlation between Young's modulus and penetration resistance in the case of cohesionless materials and a calculation example are presented.