



PREGLED METODA SLIJEGANJA PLITKIH TEMELJA NA ZRNASTIM TLIMA

Ivana Lukić, dipl.ing.građ.
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

Sažetak: Glavni cilj ovog rada je pregled trenutnog stanja razvoja za predviđanje slijeganja plitkih temelja na zrnastim tlima. Kritički su razmotrene klasične metode predviđanja slijeganja. Sadašnje metode predviđanja slijeganja općenito precjenjuju slijeganja i podcjenjuju dopuštene tlakove, što čini projekte temelja vrlo konzervativnima. Prikazuju se neki posljednji napredci, uključujući dvije determinističke metode i probabilistički pristup, pošto imaju značajan potencijal za poboljšanje trenutnog stanja razvoja.

Ključne riječi: Plitki temelji, zrnata tla, slijeganja

AN OVERVIEW OF METHODS OF SETTLEMENT OF SHALLOW FOUNDATIONS ON GRANULAR SOILS

Abstract: The main objective of this paper is to review the current state-of-the-art for predicting settlements of shallow foundations in granular soils. The traditional settlement prediction methods are critically reviewed. Present settlement prediction methods generally overestimate the settlements and underestimate the allowable pressures, making the foundation designs very conservative. Some recent developments, including two deterministic methods and a probabilistic approach, are showed as they have significant potential to improve the current state-of-the-art.

Keywords: Shallow foundations, granular soils, settlements



1. UVOD

Plitki temelji se obično projektiraju tako da zadovolje kriterije nosivosti i slijeganja. Kriterijem nosivosti je predviđeno da postoji odgovarajuća sigurnost protiv propadanja nosivosti ispod temelja, i faktor sigurnosti u iznosu od tri je općenito korišten na izračunatoj graničnoj nosivosti. Kriterijem slijeganja se treba osigurati da slijeganje bude unutar dopuštenih granica. Općenito se vjeruje da je kriterij slijeganja više presudan od kriterija nosivosti u projektiranju plitkih temelja, osobito za širine temelja veće od 1,5 m, što je često slučaj. Ograničavanjem ukupnih slijeganja ograničavaju se diferencijalno slijeganje i bilo kakve kasnije opasnosti. Općenito su slijeganja plitkih temelja kao što su temelji samci ili trakasti temelji ograničena na 25 mm Terzaghi i dr. (1996).

Douglas (1986) je opisao postojanje više od 40 različitih metoda za procjenjivanje slijeganja u zrnatim tlima. U svim ovim metodama se prepoznaje da su tri najvažnije varijable koje utječu na slijeganje u zrnatim tlima primijenjeni tlak, krutost tla i širina temelja. Do krutosti tla se često količinski dolazi neizravno preko penetracijske otpornosti kao što je broj udaraca standardnog penetracijskog pokusa ili otpornost vrha iz pokusa penetracije konusom. Ovaj rad ima za cilj prikazati trenutno stanje razvoja za izračunavanje slijeganja plitkih temelja na zrnatim tlima.

2. TRENUTNO STANJE RAZVOJA

Najpoznatije metode za predviđanja slijeganja o kojima se obično raspravlja su metode koje su predložili Terzaghi i Peck (1948), Schmertmann (1970), Schmertmann i dr. (1978) i Burland i Burbidge (1985). Metode Meyerhofa (1956) i Pecka i Bazaraae (1969) su slične onoj koju su predložili Terzaghi i Peck (1948). Dvije od najnovijih metoda su prema Berardiju i Lancellotti (1991) i Mayneu i Poulosu (1999). Sivakugan i Johnson (2004) su predložili probabilistički pristup kvantificiranjem nesigurnosti vezanih za metode predviđanja slijeganja.

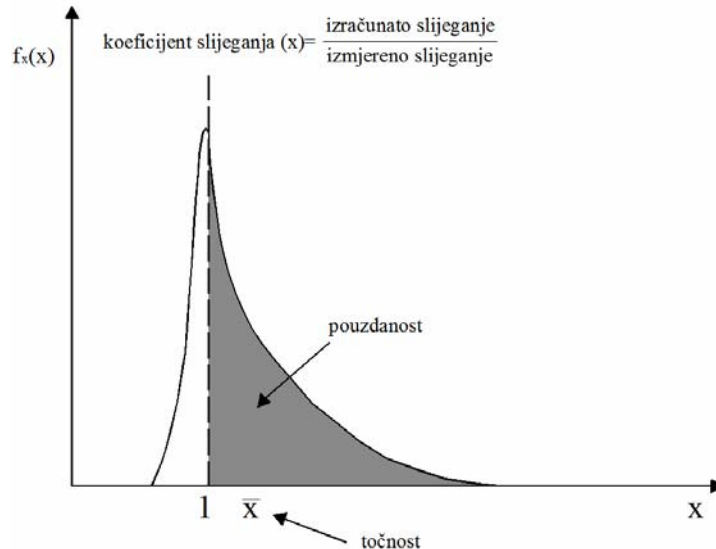
Izračunata i izmjerena slijeganja temelja u punoj veličini usporedili su Jeyapalan i Boehm (1986), Papadopoulos (1992) i Sivakugan i dr. (1998). Jasna i glasna poruka je da su predviđanja najčešće znatno veća od izmjerenih vrijednosti. Na temelju 79 povijesti slučajeva plitkih temelja, Sivakugan i dr. (1998) su pokazali da se metodom Terzaghija i Pecka (1948) slijeganje precjenjuje za 218% a metodom Schmertmanna (1970) za 339%.

2.1. Točnost i pouzdanost različitih metoda

Tan i Duncan (1991) su definirali dva parametra za uspoređivanje metoda predviđanja slijeganja: točnost i pouzdanost. Točnost je koliko blizu izmjerenim vrijednostima su predviđanja putem neke konkretne metode, a definira se kao prosječna vrijednost omjera izračunatih i izmjerenih slijeganja. Pouzdanost je vjerojatnost da će stvarna slijeganja biti manja od onih izračunatih preko neke osobite metode. To je mjera konzervativnosti neke metode predviđanja slijeganja. Probabilistički prikaz ova dva termina, točnost i pouzdanost, je prikazan na slici 1. Ovdje se koeficijent slijeganja x definira kao omjer izračunatih i izmjerenih slijeganja. Dobra metoda bi trebala imati točnost bližu jedan i pouzdanost bližu 100%. Tan i Duncan (1991) su pronašli da općenito postoji kompromis između točnosti i pouzdanosti među svim metodama. Čini se da metode Terzaghija i Pecka (1948) i Schmertmanna (1970) imaju veliku pouzdanost i lošu točnost, što odražava njihovu



konzervativnost. S druge strane, metode Burlanda i Burbidgea (1985) i Berardija i Lancellotte (1991) imaju dobru točnost, s vrijednostima blizu jedinice, ali lošu pouzdanost.



Slika 1. Točnost i pouzdanost u predviđanjima slijeganja

3. KLASIČNE METODE PREDVIĐANJA SLIJEGANJA

3.1. Terzaghijeva i Peckova (1948) i vezane metode

Terzaghi i Peck (1948) su predložili prvu racionalnu metodu za procjenjivanje slijeganja kvadratnog temelja na zrnatim tlima. Oni su izveli pokuse opterećivanja ploče korištenjem kvadratne ploče od 300 mm na pijescima sa $N_{60}=10,30$, odnosno 50, a dijagrami tlaka - slijeganja su prikazani na slici 2. Ovdje je N_{60} broj udaraca iz standardnog penetracijskog pokusa, koji nije korigiran za efektivno vertikalno naprezanje. Oni su doveli u vezu slijeganje kvadratnog temelja širokog B metara sa slijeganjem ploče od 300 mm putem sljedećeg izraza

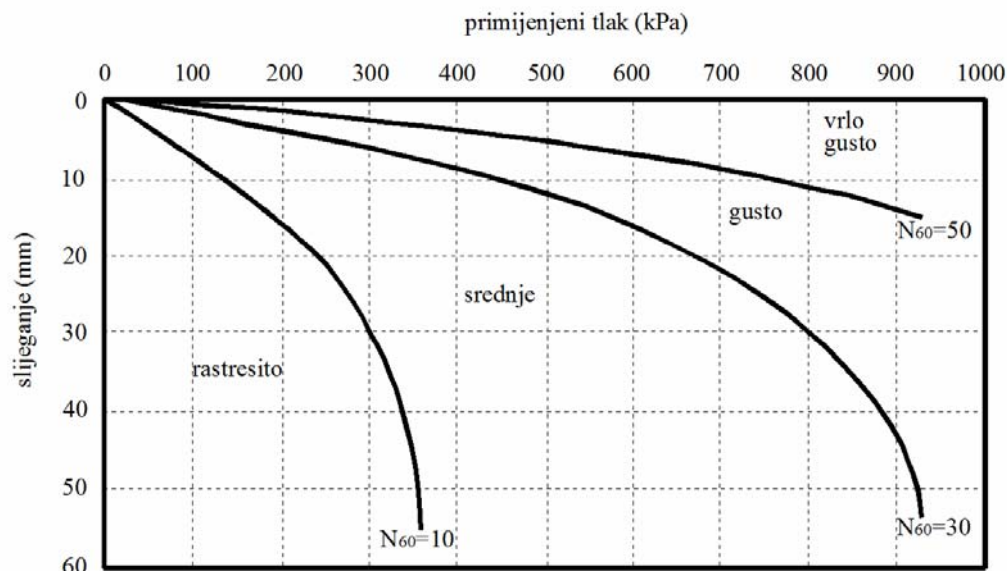
$$S_{\text{temelja}} = S_{\text{ploče}} \left(\frac{2B}{B+0.3} \right)^2 \left(1 - \frac{D_f}{4B} \right) \quad (1)$$

Posljednji član u jednadžbi 1 predstavlja dubinu ukopavanja. Prisutnost razine podzemne vode u blizini temelja se odražava u broju udaraca i stoga se ne zahtijeva posebna korekcija za razinu podzemne vode. Ipak, porast razine podzemne vode pri uporabi može smanjiti krutost i dovesti do dodatnih slijeganja. Meyerhof (1965) je primijetio konzervativnost u njegovoj prethodnoj metodi (Meyerhof 1956) i dao je modificirani izraz za slijeganje

$$S_{\text{temelja}} (mm) = \frac{1.33q (kPa)}{N_{60}} \quad \text{za } B \leq 1.22m \quad (2)$$



$$s_{temelja} (mm) = \frac{0.53q (kPa)}{N_{60}} \left(\frac{2B}{B+0.3} \right)^2 \quad \text{za } B > 1.22m \quad (3)$$



Slika 2. Dijagram tlak - slijeganje za kvadratnu ploču od 300 mm u pijescima sa $N_{60}=10,30$ i 50

Kad se uzme u obzir korekcija za dubinu ukopavanja, jednačbe (2) i (3) bi postale

$$s_{temelja} (mm) = \frac{1.33q (kPa)}{N_{60}} \left(1 - \frac{D_f}{4B} \right) \quad \text{za } B \leq 1.22m \quad (4)$$

$$s_{temelja} (mm) = \frac{0.53q (kPa)}{N_{60}} \left(\frac{2B}{B+0.3} \right)^2 \left(1 - \frac{D_f}{4B} \right) \quad \text{za } B > 1.22m \quad (5)$$

Metode Pecka i Bazaraae (1969) usvajaju jednačbu (3), zamjenjujući N_{60} sa $(N_1)_{60}$ broj udara iz standardnog penetracijskog pokusa korigiran za efektivno vertikalno naprezanje. Tada bi se slijeganje trebalo pomnožiti korekcijom za razinu podzemne vode i korekcijom za dubinu. Na taj način

$$s_{temelja} (mm) = C_w C_D \frac{0.53q (kPa)}{(N_1)_{60}} \left(\frac{2B}{B+0.3} \right)^2 \quad (6)$$

gdje je:

$$C_w = \frac{\sigma_0}{\sigma'_0} \quad \text{na } 0.5B \text{ ispod dna temelja} \quad (7)$$

σ_0 - ukupno efektivno vertikalno naprezanje;

σ'_0 - efektivno vertikalno naprezanje na razini temelja;



$$C_D = 1.0 - 0.4 \left(\frac{\gamma D_f}{q} \right)^{0.5} \quad (8)$$

γ - jedinična težina tla.

Relacije za $(N_1)_{60}$ su:

$$(N_1)_{60} = \frac{4N_{60}}{1 + 0.04\sigma'_0} \quad (\text{za } \sigma'_0 \leq 75 \text{ kN/m}^2) \quad (9)$$

i

$$(N_1)_{60} = \frac{4N_{60}}{3.25 + 0.04 \cdot 1 \sigma'_0} \quad (\text{za } \sigma'_0 > 75 \text{ kN/m}^2) \quad (10)$$

Iako izrazi Meyerhofa (1965) i Pecka i Bazaraae (1969) ukazuju da je slijeganje proporcionalno primijenjenom tlaku, podatci pokusa opterećenja (slika 2) jasno pokazuju da to nije slučaj u rastresitim i srednjim pijescima. Također se može vidjeti da se $s_{\text{temelja}} / s_{\text{ploče}}$ povećava sa B, i uzima maksimum 4 pri vrlo velikom B.

Ove metode su prvobitno razvijene za kvadratne temelje, ali vrijede i za trakaste temelje. Veće slijeganje zbog dublje zone utjecaja je kompenzirano povećanjem krutosti tla zbog situacije ravninske deformacije.

3.2. Schmertmannova (1970 i 1978) metoda

Schmertmann (1970) je predložio poluempirijski izraz, temeljen na analizi elastičnosti i potkrijepljen modelskim ispitivanjima i analizom konačnim elementima, za procjenu slijeganja nekog temelja na zrnatom tlu kao

$$s = q_{net} C_1 C_2 \sum_{z=0}^{z=2B} \left(\frac{I_z}{E} \right) \Delta z \quad (11)$$

C_1 i C_2 su korekcijski faktori za dubinu i puzanje dani izrazima

$$C_1 = 1 - 0.5 \frac{\sigma'_0}{q_{net}} \geq 0.5 \quad (12)$$

$$C_2 = 1 + 0.2 \log \left(\frac{t'}{0.1} \right) \quad (13)$$

gdje je:

σ'_0 - efektivno vertikalno naprezanje na razini temelja;

t' - vrijeme od opterećenja, najmanje 0.1 godina.

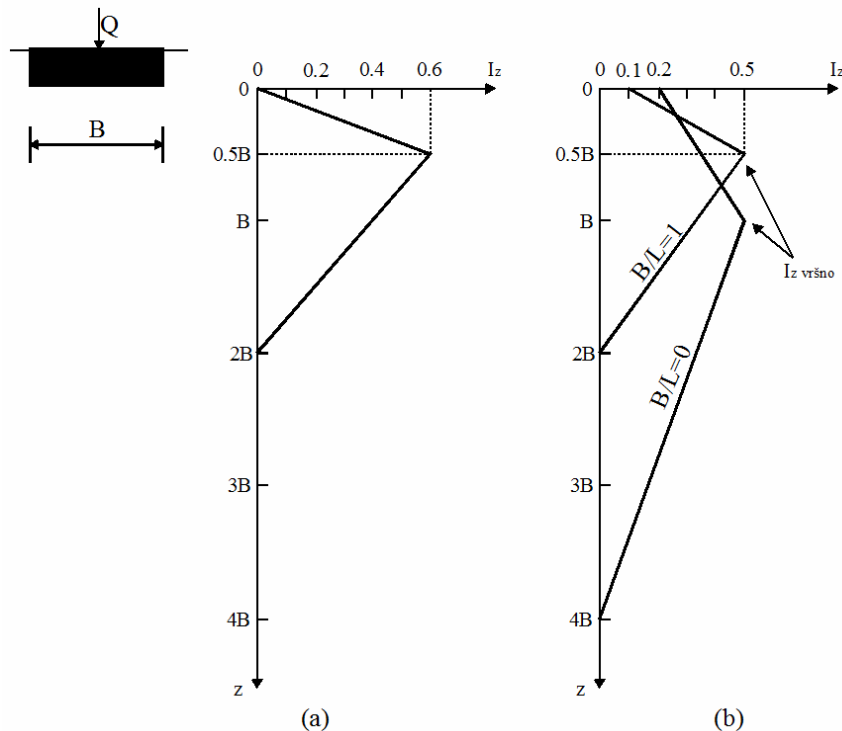
Promjena faktora utjecaja I_z sa dubinom je predstavljena dijagramom „2B-0.6“ prikazanim na slici 3(a).

Modul elastičnosti je procijenjen iz otpornosti konusa statičkog penetracijskog pokusa kao

$$E = 2.5q_c \quad (14)$$

gdje je:

q_c - statična konusna nosivost.



Slika 3. Odnos dubine i faktora utjecaja deformacije: (a) Schmertmann (1970), (b) Schmertmann i dr. (1978)

Schmertmann i dr. (1978) su napravili neke izmjene za gore navedenu metodu, s novim faktorima utjecaja kao što je prikazano na slici 3(b), razdvajajući kvadratne i trakaste temelje. Faktor utjecaja ima vršnu vrijednost na dubini od $0,5 B$ za kvadratni temelj i dubini B za trakasti temelj, a vršne vrijednosti su dane pomoću izraza

$$I_{z, vršno} = 0.5 + 0.1 \sqrt{\frac{q_{net}}{\sigma'_0}} \quad (15)$$

gdje je efektivno vertikalno naprežanje σ'_0 izračunato na dubini gdje dolazi do vršnog faktora deformacije I_z .

Budući da je krutost oko 40% veća za ravninsku deformaciju u usporedbi s osno simetričnim opterećenjem, Schmertmann i dr. predlažu $E=2.5q_c$ za kvadratne temelje i $E=3.5q_c$ za trakaste temelje.

3.2. Metoda Burlanda i Burbidgea (1985)

Burland i Burbidge (1985) su predložili poluempirijsku metodu, koristeći brojeve udaraca N iz standardnog penetracijskog pokusa (SPT), temeljenu na pregledu obimne baze rezultata o slijeganju plitkih temelja za zgrade, rezervoare i nasipe na zrnatim tlima. Oni su primijetili da je dubina utjecaja temelja z_i približno $0,75$ širine temelja $B^{0.7}$ gdje su $B^{0.7}$ i z_i u metrima.



Preporučili su da se mjereni broj udaraca N iz standardnog penetracijskog pokusa, korigira na standardnu učinkovitost od 60% N_{60} poveća za 25% u šljunku i pjeskovitom šljunku

$$N_{60, \text{popravljeno}} = 1.25 N_{60} \quad (16)$$

Za sitne pijeske i prašinate pijeske ispod razine podzemne vode, gdje je $N_{60} > 15$, ubadanje dvostruke cijevi za uzimanje uzoraka može prouzročiti dilataciju pijeska, što dovodi do negativnih pornih tlakova vode i povećanja efektivnih naprezanja, pa su brojevi udaraca precijenjeni. Ovdje bi zato trebalo primijeniti Terzaghijevu korekciju

$$N_{60, \text{popravljeno}} = 15 + 0.5(N_{60} - 15) \quad (17)$$

Stišljivost tla je predstavljena indeksom stišljivosti I_C , definiranim kao

$$I_C = \frac{1.71}{N_{60}^{1.4}} \quad [MPa^{-1}] \quad (18)$$

gdje je:

\bar{N}_{60} - prosječna vrijednost N_{60} unutar dubine utjecaja naprezanja z_I .

Za prekonsolidirana zrnata tla, I_C iz izraza (18) se množi s 1/3.

U određivanju dubine utjecaja naprezanja z_I mogu se pojaviti tri slučaja:

Slučaj I

Ako je N_{60} , ili $N_{60, \text{popravljeno}}$ približno konstantno s dubinom, izračunati z_I iz izraza

$$\frac{z_I}{B_R} = 1.4 \left(\frac{B}{B_R} \right)^{0.75} \quad (19)$$

gdje je:

B_R - referentna širina temelja (0,3 m);

B - širina stvarnog temelja (m).

Slučaj II

Ako se N_{60} , ili $N_{60, \text{popravljeno}}$ povećava s dubinom, koristiti jednadžbu (19) za izračunavanje z_I

Slučaj III

Ako se N_{60} , ili $N_{60, \text{popravljeno}}$ smanjuje s dubinom

$$\begin{aligned} z_I &= 2B \\ z_I &= z_{II} \end{aligned} \quad (20)$$

gdje je:

z_{II} - udaljenost od dna temelja do dna mekog sloja tla.

Koristiti izraz koji daje manju vrijednost.

Burland i Burbidge (1985) sugerirali su da se slijeganje može izračunati iz

$$s = q_{net} I_c z_I \quad (21)$$



gdje je:

q_{net} - primijenjeno opterećenje na razini osnovice temelja.

U normalno konsolidiranim zrnatim tlima, jednadžba (21) postaje

$$s = q_{net} \frac{1.71}{N_{60}^{1.4}} B^{0.7} \quad (22)$$

U prekonsolidiranim zrnatim tlima, jednadžba (21) postaje

$$s = \frac{1}{3} q_{net} \frac{1.71}{N_{60}^{1.4}} B^{0.7} \quad \text{ako je } q \leq \sigma'_p \quad (23)$$

$$s = \left(q_{net} - \frac{2}{3} \sigma'_p \right) \frac{1.71}{N_{60}^{1.4}} B^{0.7} \quad \text{ako je } q \geq \sigma'_p \quad (24)$$

gdje je:

q - devijatorsko naprezanje;

σ'_p - naprezanje prekonsolidacije.

Slijeganje procijenjeno na gornji način vrijedi za kvadratne temelje. Za pravokutne ili trakaste temelje, slijeganje se mora pomnožiti faktorom korekcije za oblik f_p

$$f_p = \left(\frac{1.25 \frac{L}{B}}{0.25 + \frac{L}{B}} \right)^2 \quad (25)$$

gdje je:

L - dužina temelja;

B - širina temelja.

U navedenim izrazima za slijeganje podrazumijeva se da postoji zrnato tlo najmanje do dubine utjecaja z_I . Ako je debljina zrnatog sloja ispod temelja manja od dubine utjecaja, slijeganje se mora pomnožiti faktorom redukcije f_I

$$f_I = \frac{H_s}{z_I} \left(2 - \frac{H_s}{z_I} \right) \quad (26)$$

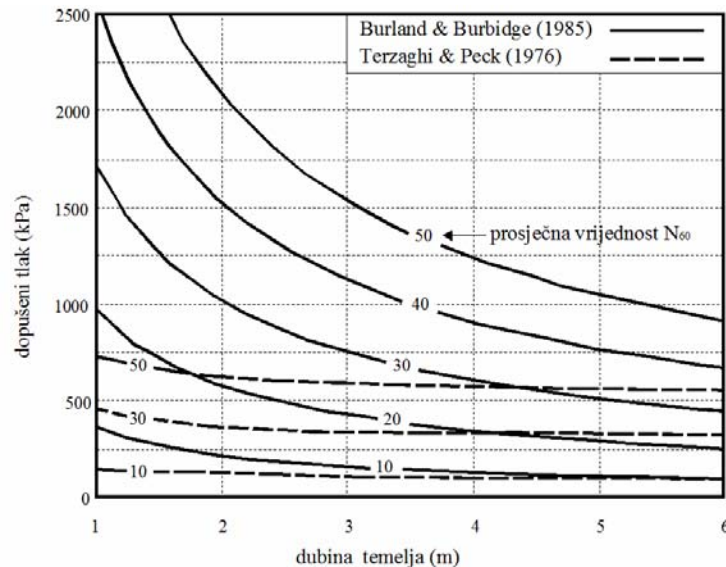
gdje je:

H_s - debljina zrnatog sloja.

Dopuštene vrijednosti nosivosti, na temelju ograničavanja slijeganja na 25 mm, procijenjene metodama Burlanda i Burbidgea (1985) i Terzaghija i Pecka (1967) su prikazane na slici 4. Dijagram Burlanda i Burbidgea (1985) je razvijen za kvadratni temelj na normalno konsolidiranim pijescima, bez razmatranja slijeganja ovisnog o vremenu. Ako je pijesak prekonsolidiran s predkonsolidacijskim tlakom σ'_p i $q < \sigma'_p$ dopušteni tlak sa slike 4 bi se trebao pomnožiti sa 3. Ako je pijesak prekonsolidiran i $q > \sigma'_p$ dodati $0,67\sigma'_p$ na vrijednost dobivenu sa slike 4. Za bilo koju drugu vrijednost ograničavanja slijeganja, dopušteni tlak sa slike 4 se mora proporcionalno prilagoditi. Na slici 4 može se vidjeti da metoda Burlanda i Burbidgea (1985) daje znatno manja slijeganja i veće dopuštene tlakove u usporedbi s metodom



Terzaghija i Pecka (1967) koja ima veliku pouzdanost, ali slabu točnost, što pokazuje da su procjene konzervativne. S druge strane, metoda Burlanda i Burbidgea (1985) ima dobru točnost, ali lošu pouzdanost, što pokazuje da su procjene realnije i manje konzervativne.



Slika 4. Dopušteni tlak za temelje na pijesku s maksimalnim slijeganjem 25 mm

4. NOVIJI RAZVOJI U METODAMA PREDVIĐANJA SLIJEGANJA

Dvije novije metode za koje se čini da daju bolja predviđanja slijeganja su one koje su predložili Berardi i Lancellotta (1991) i Mayne i Poulos (1999). Ispod se ukratko razmatraju ove dvije metode. Probabilistički pristup Sivakugana i Johnsona (2004) je učinkovit način za kvantificiranje rizika vezanog uz metode predviđanja slijeganja.

4.1. Metoda Berardija i Lancellotte (1991)

Berardi i Lancellotta (1991) su predložili metodu za procjenu elastičnog slijeganja koja uzima u obzir promjenu modula elastičnosti tla sa razinom deformacije. Ovu metodu su opisali i Berardi i dr. (1991). Prema ovom izrazu

$$s = I_s \frac{q_{net} B}{E} \quad (27)$$

gdje je

I_s - faktor utjecaja za kruti temelj Tsytovich (1951);

E - modul elastičnosti tla.

Promjena I_s Tsytovich (1951) sa Poissonovim koeficijentom $\nu=0,15$ je dana u tablici 1.



Dubina utjecaja, z_1				
B				
L/B	0.5	1.0	1.5	2.0
1	0,35	0,56	0,63	0,69
2	0,39	0,65	0,76	0,88
3	0,4	0,67	0,81	0,96
5	0,41	0,68	0,84	0,89
10	0,42	0,71	0,89	1,06

Tablica 1. Promjena I_s

Modul elastičnosti E u jednadžbi (27) se može odrediti kao

$$E = K_E p_a \left(\frac{\sigma'_0 + 0.5 \Delta \sigma'}{p_a} \right)^{0.5} \quad (28)$$

gdje je

p_a - atmosferski tlak;

σ'_0 i $\Delta \sigma'$ - efektivno efektivno vertikalno naprezanje i neto povećanje efektivnog naprezanja usljed opterećivanja temelja, na dubini $B/2$ ispod temelja;

K_E - bezdimenzionalni koeficijent.

Nakon ponovne analize ponašanja 130 građevina na pijesku pretežno od silicijevog dioksida kao što su opisali Burland i Burbidge (1986), Berardi i Lancellotta (1991) su dobili promjenu K_E s relativnom gustoćom D_r pri $s/B = 0.1\%$ i K_E pri promjenjivim razinama deformacije. Da bi se procijenilo elastično slijeganje temelja predložen je iterativni postupak koji se može opisati na sljedeći način:

Slučaj I Odrediti promjenu broja udara iz standardnog penetracijskog pokusa N_{60} unutar zone utjecaja.

Slučaj II Odrediti korigirani broj udara $(N_1)_{60}$

$$(N_1)_{60} = N_{60} \left(\frac{2}{1 + \sigma'_0} \right) \quad (29)$$

Slučaj III Odrediti prosječni korigirani broj udara iz standardnog penetracijskog pokusa $(\bar{N}_1)_{60}$ i otuda prosječnu relativnu gustoću

$$D_r = \left(\frac{\bar{N}_1}{60} \right)^{0.5} \quad (30)$$

4.2. Metoda Maynea i Poulosa (1999)

Mayne i Poulos (1999) razvili su novu metodu koja daje bolje procjene slijeganja temelja. Dali su izraz za elastično slijeganje temelja koristeći faktore utjecaja pomaka izvedene iz teorije elastičnog kontinuuma. Pretpostavlja se da se krutost tla povećava linearno s



dubinom Gibson (1967) od vrijednosti modula elastičnosti E na razini temelja. Prema ovoj teoriji (slika 5)

$$s = \frac{q_{net} B' I_h I_F I_E}{E} \quad (31)$$

$$B' = \left(\frac{4BL}{\pi} \right)^{0.5} \quad (32)$$

gdje je:

B' - ekvivalentni promjer pravokutnog temelja;

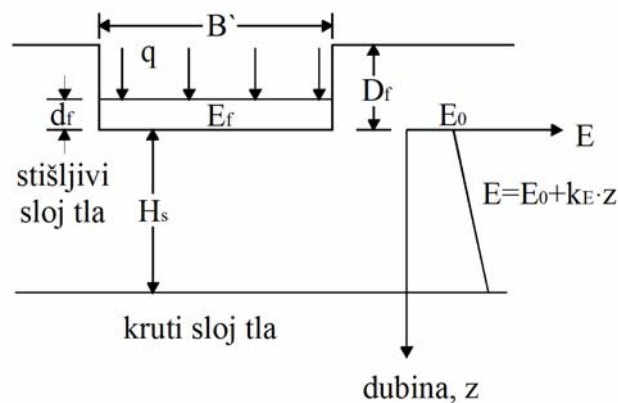
ν - Poissonov koeficijent tla;

I_h - faktor utjecaja pomaka;

I_E - faktor koeficijenta slijeganja;

I_F - faktor koeficijenta krutosti;

E - vrijednost modula elastičnosti karakterističnog sloja u tlu.



Slika 5. Temelj na stišljivom sloju

Faktor utjecaja pomaka (slika 6) dan je izrazom

za savitljivi temelj

$$I_G = \frac{1}{1 + 0.6 \left(\frac{E_0}{k_E z} \right)^{0.8}} \quad (33)$$

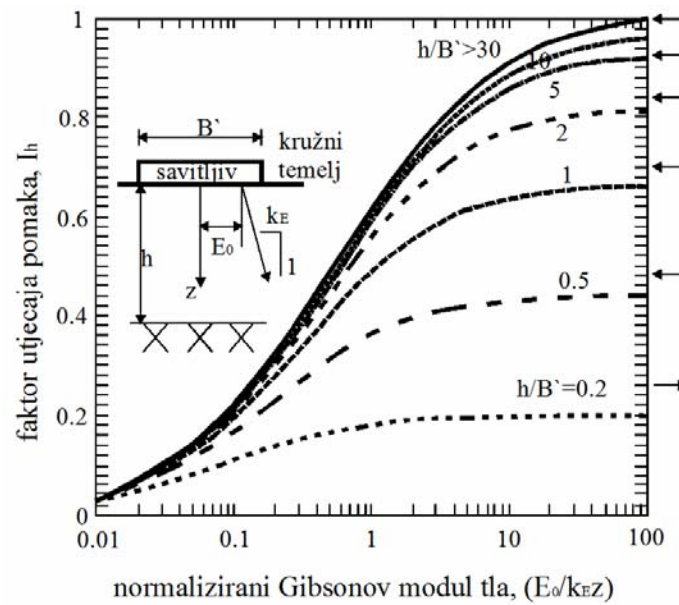
za kruti temelj

$$I_G = \frac{1}{1.27 + 0.75 \left(\frac{E_0}{k_E z} \right)^{0.8}} \quad (34)$$

gdje je:

E_0 - početni modul;

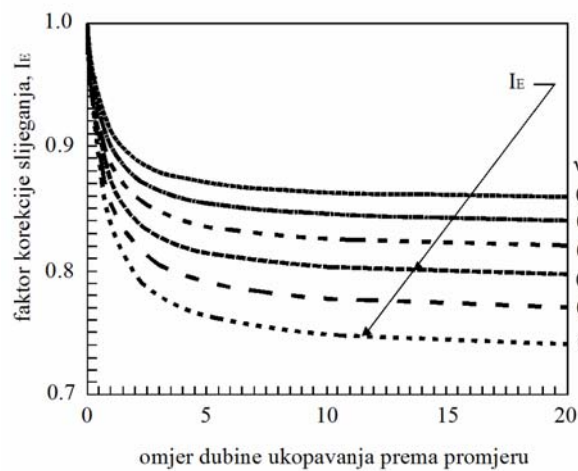
k_E - povećanje krutosti tla po jedinici dubine.



Slika 6. Faktori utjecaja za savitljive temelje na Gibsonovom modulu tla

Faktor koeficijenta slijeganja (slika 7) dan je izrazom

$$I_E = 1 - \frac{1}{3.5 \exp(1.22\nu - 0.4) \left[\left(\frac{B'}{D_f} \right) + 1.6 \right]} \quad (35)$$



Slika 7. Faktor korekcije slijeganja za ukopane plitke temelje

Faktor koeficijenta krutosti (slika 8) dan je izrazom

$$I_F = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10K_F} \quad (36)$$

$$K_F = \left(\frac{E_f}{E_s} \right) \left(\frac{d_f}{B/2} \right)^3 \quad (37)$$

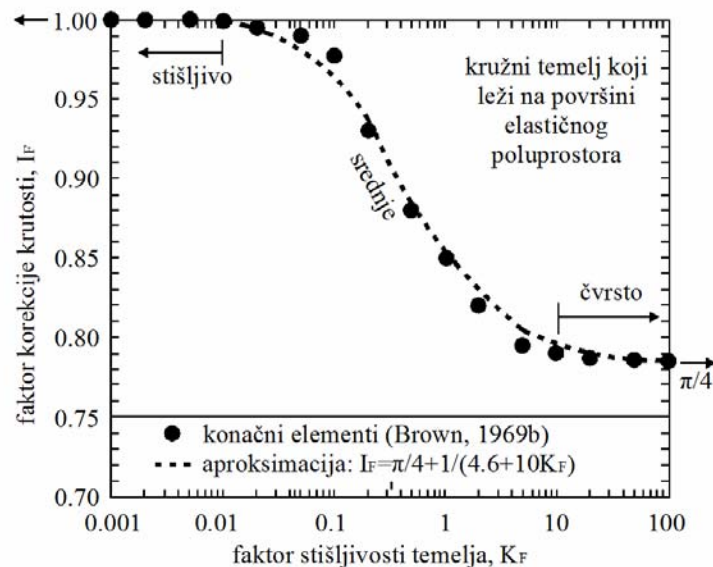
gdje je:

K_F - faktor stišljivosti temelja;

E_f - modul elastičnosti materijala temelja;

E_s - modul elastičnosti tla ispod osnove temelja na dubini polumjera temelja;

d_f - debljina temelja.

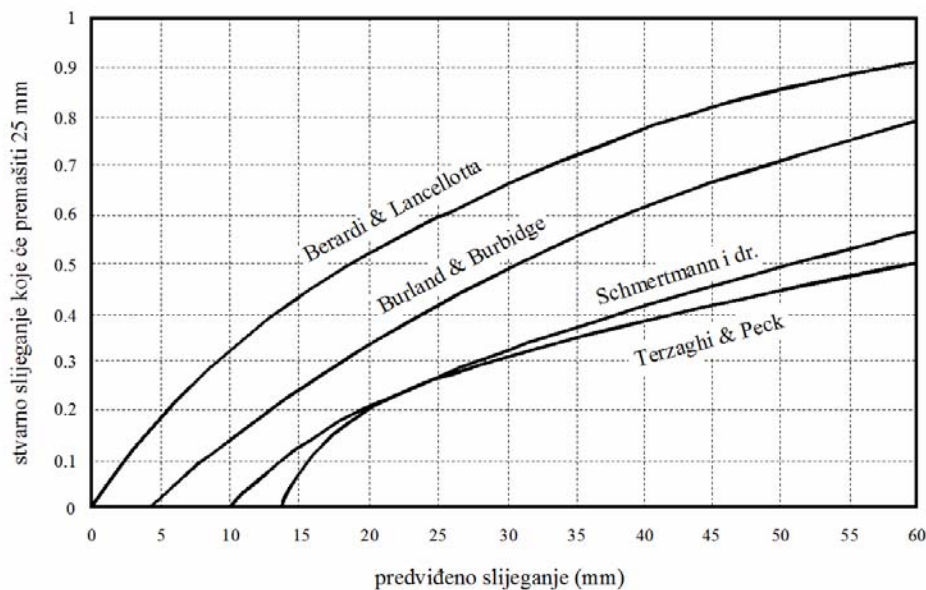


Slika 8. Utjecaj krutosti temelja na slijeganje središnje točke

4.3. Probabilistički pristup Sivakugana i Johnsona (2004)

Uzimajući u obzir različite stupnjeve raspršivanja povezane s metodama predviđanja slijeganja, probabilistički pristup je prikladniji od klasičnih determinističkih metoda. Veličina slijeganja može imati različito značenje ovisno o tome koja metoda je korištena za izračunavanje. Sivakugan i Johnson (2004) su razvili probabilistički okvir, temeljen na podacima o slijeganju u literaturi, za kvantificiranje rizika vezanog uz metode predviđanja slijeganja. Oni su predložili probabilističke projektne dijagrame za četiri različite metode predviđanja slijeganja, kojima se projektantu omogućava da količinski odredi vjerojatnost da će stvarno slijeganje premašiti određenu graničnu vrijednost. Projektni dijagram za graničnu vrijednost slijeganja od 25 mm je prikazan na slici 9.

Na slici 9 može se vidjeti da kad slijeganje procijenjeno metodom Terzaghija i Pecka ili Schmertmanna i dr. iznosi 25 mm, postoji vjerojatnost od samo 26% da će stvarno slijeganje premašiti 25 mm, što pokazuje njihovu konzervativnost. Metoda Burlanda i Burbidgea predstavlja jasno poboljšanje za kvalitetu predviđanja, a metodom Berardija i Lancellotte ona se poboljšava čak i dalje.



Slika 9. Probabilistički projektni dijagram

5. ZAKLJUČAK

Razmotreno je trenutno stanje razvoja za predviđanja slijeganja plitkih temelja u zrnastim tlima. Razmotrene su klasične metode predviđanja slijeganja, uključujući Terzaghijevu i Peckovu (1948), Schmertmannovu (1970) i Burlandovu i Burbidgeovu (1985). Čini se da najnovije metode koje su predložili Berardi i Lancellotta (1991) i Mayne i Poulos (1999) daju bolja i realnija predviđanja slijeganja. Probabilistički projektni dijagram koji su predstavili Sivakugan i Johnson (2004) se može koristiti za procjenu vjerojatnosti da će stvarno slijeganje premašiti 25mm na terenu, na temelju slijeganja procijenjenih klasičnim metodama.

Jedan od glavnih faktora koji doprinosi nesigurnosti u predviđanjima slijeganja je naša nemogućnost da točno količinski odredimo krutost tla. Krutost tla, mjerena modulom elastičnosti, se najčešće kvantificira neizravno preko otpornosti penetracije iz standardnog penetracijskog pokusa ili pokusa penetracije konusom.



LITERATURA

1. Braja M. Das: Geotechnical Engineering Handbook: J.Ross Publishing Inc. Florida USA 2011 ISBN 978-1-932159-83-7
2. Berardi, R., Jamiolkowski, M., and Lancellotta, R. (1991). "Settlement of shallow foundations in sand: selection of stiffness of the basis of penetration resistance." Geotechnical Engineering Congress, Geotech. Special Pub. 27, ASCE, 185-200.
3. Burland, J.B., and Burbidge, M.C. (1985). "Settlement of foundations on sand and gravel." Proc., Institution of Civil Engineers, 78(1), 1325-1381, 1985.
4. Kulhawy, F.H., and Mayne, P.W. (1990). Manual on estimating soil properties for foundation design, Final Report (EL- 6800) submitted to Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, California.
5. Mayne, P.W., and Poulos, H.G. (1999). "Approximate displacement influence factors for elastic shallow foundations." J. Geotech. and Geoenviron. Eng., ASCE, 125(6), 453-460.
6. Sivakugan, N., and Johnson, K. (2004). "Settlement predictions in granular soils: a probabilistic approach." Geotechnique, 54(7), 499-502.