

Alenka ROBAS

dipl.gradb.inž., Univerza v Ljubljani, FGG, Katedra za mehaniko tal z laboratorijem

MOŽNOSTI UPORABE PRESIOMETRA V GEOTEHNIKI

POVZETEK: Presiometrska preiskava je terenska preiskava, ki je močno razširjena v Franciji, v zadnjem desetletju pa se je uveljavila širom po svetu in tudi pri nas. Uporablja se za določitev karakteristik zemljin, ki so potrebne pri dimenzioniranju različno temeljenih objektov ter različnih tipov podpornih konstrukcij. Članek podaja prikaz analitičnih postopkov določitve nosilnosti in posedkov pri plitvo temeljenih objektih ter vertikalno obremenjenih pilotih. Po prikazanih postopkih je pripravljena programska oprema za analizo plitvega in globokega temeljenja na osnovi presiometrskih rezultatov.

THE USE OF PRESSUREMETER IN GEOTECHNICAL ENGINEERING

SUMMARY: Pressuremeter test is an in-situ soil test which is frequently used in France. In last decade it gained acceptance throughout the world including Slovenia. It is used to determine the soil properties that are important for the design of foundations and retaining structures. This paper presents the analytical procedure for the calculation of bearing capacity and settlements of shallow foundations and axially loaded vertical piles. The computer programs for the analysis of shallow and deep foundations are prepared according to presented analytical solutions.

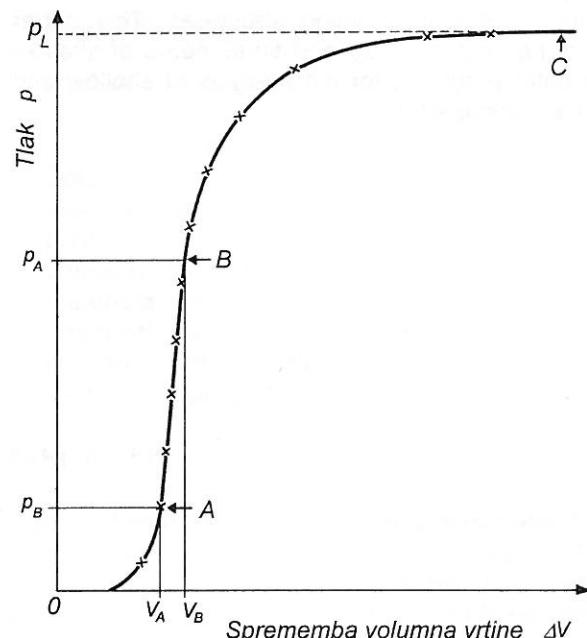
UVOD

Oblikovanje in konstruiranje temeljev zahteva podrobno poznavanje obnašanja zemljin in hribin na določenem področju. Laboratorijski testi, izdelani na velikem številu vzorcev, lahko le približno podajo pogoje temeljenja in nosilnost terena. Vzrok temu so največkrat težave pri jemanju intaktnih vzorcev. Nikoli ne vemo, ali so ti vzorci res reprezentativni in kako so bili vgrajeni v aparate. Zaradi tega imajo v praksi raziskave na terenu (in situ) nekatere prednosti.

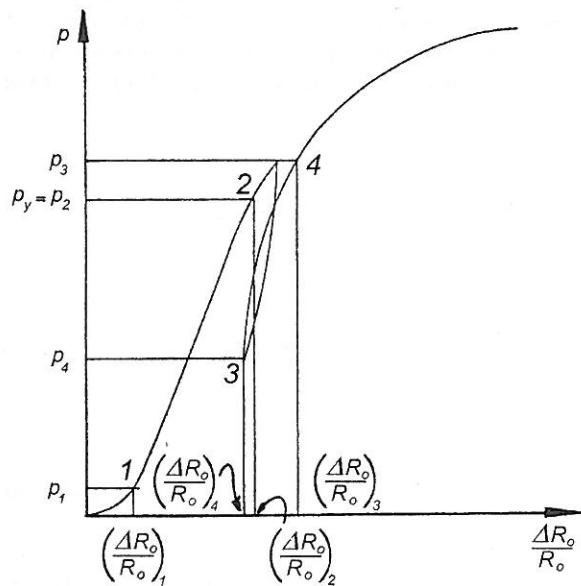
Ta prispevek opisuje terensko preiskavo, ki je zlasti v Franciji standardna osnova za vsak projekt temeljenja. V zadnjem času se je metoda razširila po vsem svetu in tudi pri nas že obstaja oprema za izvedbo preiskav.

Ideja presiometrskega preizkusa je razširitev cilindrične sonde v vrtini, ki s pomočjo tekočine oz. plina izvaja hidravlični pritisk na stene vrtine preko raztegljive membrane. Zaradi upoštevanja neskončne dolžine sonde, v okolni zemljini lahko predpostavimo ravninsko deformacijsko stanje.

Preiskava poteka v več korakih. Po končani kalibraciji opreme in pravilno izdelani vrtini se presiometer vstavi v prej izvrtno vrtino in na določeni globini se izvede preiskava, katere potek je točno določen. Zadnji del preiskave je korekcija surovih rezultatov, glede na predhodne rezultate kalibracije in ovrednotenje rezultatov. Po končani korekciji zrišemo presiometrsko krivuljo (slika 1) in glede na njeni obliko ocenimo, ali so rezultati uporabni ali ne. V kolikor je oblika krivulje ustrezna, določimo presiometrske parametre, potrebne za nadaljnjo računsko obdelavo.



Slika 1. Pravilna oblika presiometrske krivulje



Slika 2. Obremenilno - razbremenilna zanka med potekom presiometrskega testa

IZVREDNOTENJE REZULTATOV PRESIOMETRSKEGA TESTA

Iz rezultatov presiometrskega testa lahko iz oblike krivulje določimo vrednosti presiometrskega modula prve obremenitve E_0 in mejni tlak p_L . Če iščemo še druge parametre zemljine, npr. presiometrski modul ponovne obremenitve E_R , moramo izvesti dodatne posebne teste, kot so ciklično obremenjevanje (slika 2), lezenje, relaksacija, ...

Mejni tlak p_L , tlak na meji elastičnosti p_y in učinkoviti mejni tlak p_L^*

Mejni tlak p_L odčitamo iz presiometrske krivulje na mestu porušitve obodne zemljine, oziroma na mestu dvojnega volumna sonde. Na sliki 1 je to točka C.

Tlak na meji elastičnosti p_y odčitamo na koncu linearne dela presiometrske krivulje (slika 1, tč. B).

Učinkovit mejni tlak p_L^* , pa izračunamo po enačbi:

$$p_L^* = p_L - u_0, \quad (1)$$

kjer u_0 predstavlja hidrostatski porni tlak v globini sonde.

Presiometrski modul prve obremenitve E_0 in presiometrski modul ponovne obremenitve E_R

Oba izračunamo iz naklona linearne dela presiometrske krivulje. Enačbi sta podobni, zato bomo zapisali le enačbo presiometrskega modula prve obremenitve E_0 . Na sliki 2 je to del med točkama 2 in 1 (oz. med točkama 3 in 4 za določitev presiometrskega modula ponovne obremenitve E_R):

$$E_0 = (1 + \nu) \cdot (p_2 - p_1) \cdot \frac{\left(1 + \left(\frac{\Delta R_0}{R_0}\right)_2\right)^2 + \left(1 + \left(\frac{\Delta R_0}{R_0}\right)_1\right)^2}{\left(1 + \left(\frac{\Delta R_0}{R_0}\right)_2\right)^2 - \left(1 + \left(\frac{\Delta R_0}{R_0}\right)_1\right)^2}, \quad (2)$$

pri čemer je potrebno predpostaviti Poissonovo število $\nu=0.3$.

Presiometrski modul E_0 lahko določimo tudi iz zveze:

$$G = \frac{E_0}{2(1 + \nu)}, \quad (3)$$

kjer je G strižni modul. Izračun strižnega modula je enostaven, poleg tega pa ne potrebujemo Poissonovega štivila. Določimo ga iz naklona linearno-elastičnega dela presiometrske krivulje z enačbo:

$$G = V_C \frac{\Delta p}{\Delta V_C}, \quad (4)$$

kjer je: V_C ... volumen vrtine;

p ... tlak v vrtini in

ΔV_C ... volumen prikazan na sliki 1 ($\Delta V_C = V_A - V_B$).

Določitev mirnega horizontalnega pritiska v zemljini in koeficiente mirnega zemeljskega pritiska k_0

Celotni horizontalni pritisk v zemljini mora biti ocenjen za vsako globino, kjer imamo namen izvesti presiometrski test, pred vrtanjem vrtine oz. pred pričetkom preiskave. Ta pritisk imenujemo tudi mirni horizontalni pritisk in ga izračunamo po enačbi:

$$p_{OH} = (\gamma_z \cdot h - u_0) \cdot k_0 + u_0, \quad (5)$$

kjer so: γ_z ... prostorninska teža zemljine;

u_0 ... hidrostatski porni tlak v globini sonde;

h ... globina od nivoja tal do sredine sonde;

k_0 ... koeficient mirnega zemeljskega pritiska;

lahko pa ga ocenimo iz začetnega dela presiometrske krivulje in sicer je enak tlaku v točki A na sliki 1.

Koeficient mirnega zemeljskega pritiska k_0 , nato izračunamo s pomočjo enačbe :

$$k_0 = \frac{p_{0H} - u_0}{p_{0V} - u_0} \quad (6)$$

kjer predstavlja p_{0V} mirni vertikalni pritisk v zemljini in u_0 hidrostatski porni tlak.

Iz rezultatov presiometrskih meritev zaenkrat še ni mogoče zanesljivo določiti trdnostnih parametrov zemljine.

UPORABNOST REZULTATOV PRESIOMETRA

Iz zgoraj navedenih rezultatov presiometrskega testa lahko določimo nosilnost in posedke plitvih temeljev ter horizontalno in vertikalno obremenjenih pilotov, izračunamo mejno obtežbo in določimo dimenzije veznega dela injektiranih sider, določimo aktivne in pasivne zemeljske pritiske pred in za podpornimi konstrukcijami, kontroliramo zbitost izboljšanih zemljin in kvaliteto izvedbe gruščnatih kolov, dimenzioniramo zgornje ustroje voziščnih konstrukcij, itd. Postopki in teoretične izpeljave za določitev nosilnosti in posedkov pri plitvo temeljenih objektih in vertikalno obremenjenih pilotih so eksperimentalno dokazani. Pri ostalih konstrukcijah, zaradi omejenega števila eksperimentov, teoretične izpeljave zaenkrat še niso povsem zanesljive.

V tem prispevku se bomo zato omejili le na prikaz analitičnih postopkov določitve nosilnosti in posedkov pri plitvo temeljenih objektih. Za vertikalno obremenjene pilote pa bomo le na kratko opisali postopek določitve nosilnosti in posedkov.

Plitvo temeljenje

Pri določitvi dimenzij temeljev predvidenega objekta je potrebno poznati nosilnost temeljnih tal. To je izvedljivo šele, ko so končane terenske presiometrske preiskave iz katerih dobimo vrednosti E_0 in p_L ter poznamo nivo talne vode in sestavo oziroma profil temeljnih tal. Prav tako je potrebno poznati globino temeljev, toleranco posedkov predvidenega objekta, velikost pričakovane obtežbe temeljev zaradi lastne teže in koristne obtežbe, potresne obremenitve, itd.

Enačba nosilnosti temeljev

Obstaja zveza med učinkovitim mejnim tlakom p_{Le}^* , dobljenim s pomočjo presiometrske preiskave in nosilnostjo temelja q_L , ki jo podal Ménard:

$$q_L = k \cdot p_{Le}^* + q_0, \quad (7)$$

ker so: p_{Le}^* ... ekvivalentni učinkoviti mejni tlak na območju 1.5B od globine temeljenja D navzgor in navzdol, kjer je B širina temelja (slika 3);

k ... koeficient nosilnosti, ki ga odčitamo iz grafa (slika 4) in je odvisen od tipa zemljine, ekvivalentne globine temelja H_e (enačba 10) in oblike temelja;

q_0 ... lastna teža zemljine do nivoja temeljenja D; $q_0 = \gamma_z \cdot D$;

Nosilnost temeljnih tal q_L moramo reducirati v primeru delovanja ekscentrične obtežbe, obtežbe, ki deluje pod kotom, in obtežbe na nagnjenem terenu.

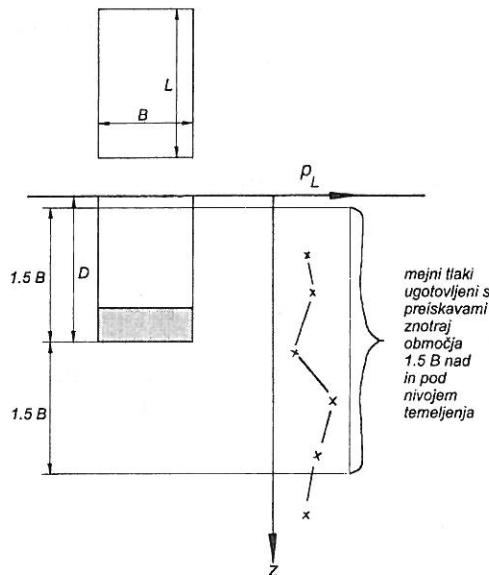
Izračun ekvivalentnega učinkovitega mejnega tlak p_{Le}^*

Ekvivalenten učinkovit mejni tlak izračunamo s pomočjo enačbe:

$$p_{Le}^* = \sqrt[n]{p_{L1}^* \cdot p_{L2}^* \cdots \cdot p_{Ln}^*}, \quad (8)$$

kjer so p_{L1}^* do p_{Ln}^* učinkoviti mejni tlaki ugotovljeni s preiskavami znotraj območja 1.5B nad in pod nivojem temelja D (slika 3). Učinkoviti mejni tlak zapišemo z enačbo:

$$p_{Li}^* = p_{Li} - p_{0Hi}, \quad (9)$$



Slika 3. Prikaz območja za katero izračunamo učinkovit mejni tlak

Izračun ekvivalentne globine temelja H_e

Ekvivalentno globino temelja izračunamo po enačbi:

$$H_e = \frac{1}{p_{Le}} \cdot \sum_0^D p_{Li}^* \cdot \Delta z_i , \quad (10)$$

kjer so: p_{Li}^* ... učinkoviti mejni tlaki presiometrskih testov, izvedenih do globine temeljenja;
 Δz_i ... debeline plasti med izvedenimi presiometrskimi testi.

Če od nivoja terena do globine temeljenja ni nobenega presiometrskega testa, potem je ekvivalentna globina temelja kar enaka globini temeljenja D.

Izračun nosilnosti

Vrednost celotne priporočene obtežbe na temelj zapišemo z enačbo:

$$q_{safe} = \frac{k \cdot p_{Le}^*}{F} + q_0 , \quad (11)$$

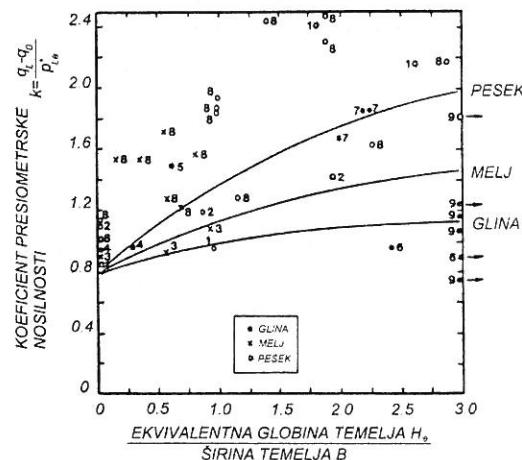
kjer je F faktor varnosti in ponavadi vzamemo vrednost F=3. Obtežbo q_{neto} , ki jo kasneje potrebujemo pri izračunu posedkov, zapišemo z enačbo:

$$q_{neto} = q_{safe} - q_0 . \quad (12)$$

Izračun posedkov

Izračun končnih posedkov temelji na presiometrskem modulu E_0 . Leta 1962 sta Ménard in Rousseau podala empirično enačbo za račun posedkov nehomogene zemljine:

$$s = \frac{2}{9 \cdot E_d} \cdot q \cdot B_0 \cdot \left(\lambda_d \cdot \frac{B}{B_0} \right)^\alpha + \frac{\alpha}{9 \cdot E_c} \cdot q \cdot \lambda_c \cdot B , \quad (13)$$



Slika 4. Priporočene krivulje za določitev koeficiente presiometrske nosilnosti plitvih temeljev

kjer :

- zemljino pod temeljem razdelimo na 16 plasti (slika 5), debeline B/2 oz. R (kjer je B širina temelja oz. R radij temelja) in izračunamo konsolidacijski E_c in distorzijski E_d modul;
- $q=q_{neto}$ in ga izračunamo po enačbi (12);
- B_0 predstavlja referenčno širino (60cm);
- λ_d in λ_c sta faktorja oblike temeljev podana v tabeli 1;
- α je reološki faktor podan v tabeli 2 in je odvisen od vrste zemlbine in od razmerja E_0/p_L .

Izračun E_c in E_d

Teorija elastičnosti kaže, da sferni oz. konsolidacijski deformacijski tenzor ϵ_s hitro upada z globino. Nasprotno pa je distorzijski deformacijski tenzor ϵ_d pomemben tudi pri veliki globini.

Zato za E_c vzamemo modul prve plasti pod temeljem $E_c = E_1$. Modul E_d pa je ekvivalenten modul znotraj 16-ih plasti debeline B/2 pod nivojem temelja. Formula za izračun E_d temelji na predpostavljenem poteku deformacij ϵ_d in je podana z izrazom:

$$\frac{1}{E_d} = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85 \cdot E_2} + \frac{1}{E_{3/4/5}} + \frac{1}{2.5 \cdot E_{6/7/8}} + \frac{1}{2.5 \cdot E_{9/16}} \right), \quad (14)$$

kjer pomeni $E_{p/q}$ povprečje modulov od plasti p do plasti q:

$$\frac{3}{E_{3/4/5}} = \frac{1}{E_3} + \frac{1}{E_4} + \frac{1}{E_5}. \quad (15)$$

Tabela 1: Faktorja oblike temeljev λ_d in λ_c

L/B	1 krog	1 kvadrat	2	3	4	5
λ_d	1	1.12	1.53	1.78	2.14	2.65
λ_c	1	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50

Tabela 2: Ménardov reološki faktor α

Vrsta zemljine	Šota		Gлина		Mej		Pesek		Pesek in prod	
	E/p_L	α	E/p_L	α	E/p_L	α	E/p_L	α	E/p_L	α
Prekonsolidirana	1	1	> 16	1	> 14	2/3	> 12	1/2	> 10	1/3
Normalno konsolidirana	1	1	9 - 16	2/3	8 - 14	1/2	7 - 12	1/3	6 - 10	1/4
Preperela oz. pregnetena	1	1	7 - 9	1/2		1/2		1/3		1/4
Hribina	Zelo razpokana $\alpha=1/3$			Ostalo $\alpha=1/2$			Rahlo razpokana ali zelo preperela $\alpha=2/3$			

Iz opisanega postopka in eksperimentalno preverjenih analitičnih enačb, smo izdelali tudi dva računalniška programa. Izračun nosilnosti in posedkov plitvo temeljenih objektov izvrši program PPT, izračun nosilnosti in posedkov vertikalno obremenjenih pilotov pa program PGT. Rezultate programa PPT, na dejanskih primerih, smo tudi primerjali z izračuni po Brinch – Hansenu. Pri vertikalnih pilotih pa smo program PGT, preverili na računskih primerih v literaturi. V nadaljevanju je na kratko opisan postopek izračuna nosilnosti in posedkov vertikalno obremenjenih pilotov.

Vertikalno obremenjeni piloti

Določitev mejne obtežbe

Mejno obtežbo Q_L , ki jo še lahko prenese vrh pilota, izračunamo z enačbo:

$$Q_L = Q_P + Q_S - W_P , \quad (16)$$

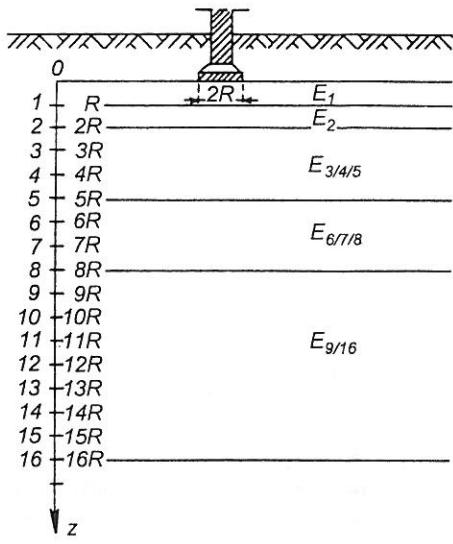
kjer so: Q_P ... nosilnost konice pilota;
 Q_S ... nosilnost plašča pilota;
 W_P ... lastna teža pilota.

Vrednosti Q_P in Q_S sta podani z enačbama:

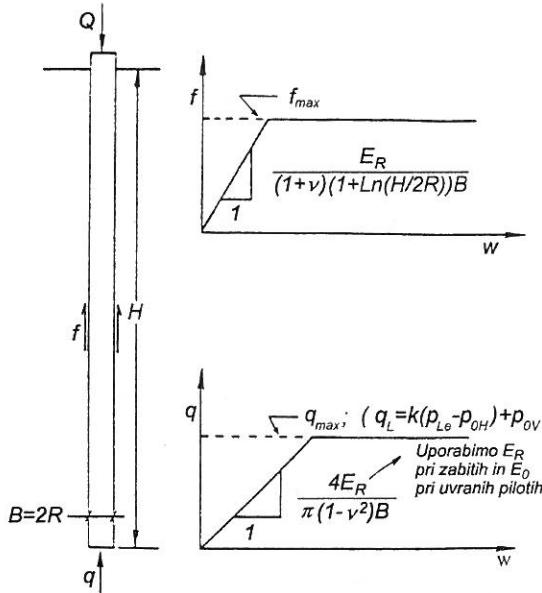
$$Q_P = q_L \cdot A_P \text{ in } Q_S = f_L \cdot A_S , \quad (17)$$

kjer so: q_L ... mejni tlak na konici pilota;
 f_L ... mejno trenje plašča pilota;
 A_P ... površina konice pilota;
 A_S ... površina plašča pilota.

Pristop za določitev mejne nosilnosti oziroma tlaka q_L na konici pilota s pomočjo znanih rezultatov presiometrskega preizkusa, je zelo podoben pristopu za določitev nosilnosti plitvo temeljenih objektov.



Slika 5. Razdelitev zemljine pod nivojem temelja v 16 plasti



Slika 6. Funkcija prenosa obtežbe, ki temelji napresiometrskih rezultatih

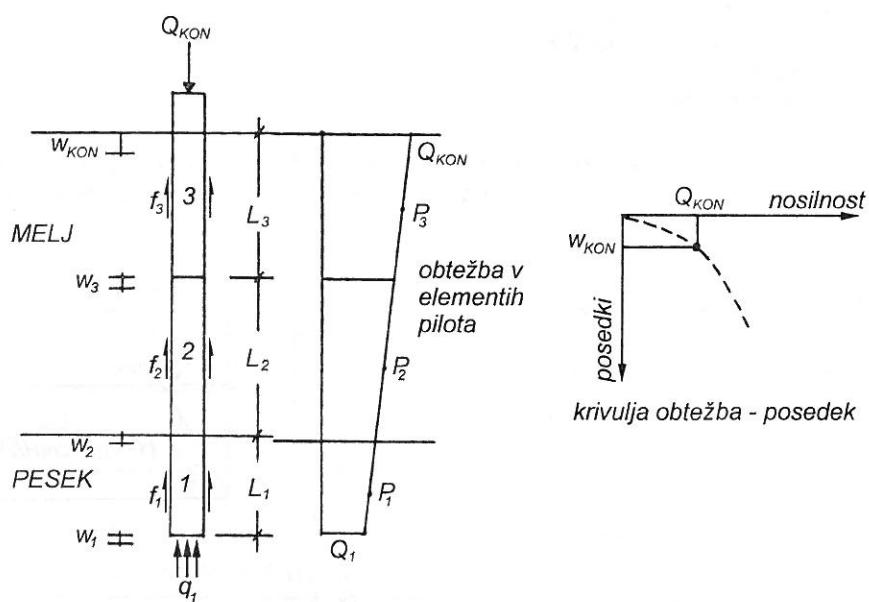
Izračun posedkov

Posedeck vertikalno obremenjenega pilota izräčunamo z uporabo funkcij prenosa obtežbe, ki jih določimo iz rezultatov presiometrskega testa.

Izdelati je potrebno celotno funkcijo prenosa obtežbe za vrh pilota, če poznamo krivulji $q - w$ in $f - w$ (slika 6). Krivulja $q - w$ opisuje odnos med obtežbo in pomikom na konici pilota, kjer q predstavlja povprečni tlak v konici zaradi pomika w konice pilota. Krivulja $f - w$ pa predstavlja

prenos obtežbe vzdolž plašča pilota, kjer je f trenje med pilotom in zemljino zaradi pomika w plašča pilota. Sledi določitev posedka vrha kola (slika7) kjer:

- Pilot razdelimo po globini na smiseln število segmentov in za vsak segment določimo funkcijo prenosa obtežbe.
- Predpostavimo premik konice pilota w_1 , nato izračunamo tlak na konici pilota q_1 in obtežbo konice pilota Q_1 ter trenje vzdolž 1. segmenta pilota f_1 .
- Izračunamo mejno obtežbo 1. segmenta P_1 , skrček tega segmenta δ_1 in od tod posedeck 1. segmenta w_1 .
- Določimo trenje vzdolž 2. segmenta pilota f_2 .
- Postopek ponovimo za vse elemente n pilotu in tako dobimo končni posedeck pilotu w_{KON} ter silo na vrhu pilotu Q_{KON} , kar nam poda točko na predpostavljeni krivulji obtežba – posedeck.
- Postopek ponovimo za različne predpostavljenne vrednosti pogrezka konice pilota in tako dobimo končno obliko krivulje obtežba – posedeck.
- Za predhodno izračunano vrednost delovne obtežbe, na krivulji odčitamo vrednost posedka pilotu pri tej obtežbi, ali pri drugi projektirani obtežbi.



Slika 7. Razdelitev pilota na elemente in prikaz krivulje obtežba - posedeck

Določitev posedka pilota w in mejne obtežbe Q_0 je iz znanih rezultatov presiometrske preiskave (globina preiskave z , mejni tlak p_L , presiometrski modul prve obremenitve E_0 ter presiometrski modul ponovne obremenitve E_R) zelo enostavna, pri čemer je potrebno poznati še naslednje parametre:

- podatki o pilotu (širina b , dolžina l , debelina stene v primeru, da je pilot votel t , dolžina pilotu H ter globina vpetja v nosilni sloj D);
- karakteristike temeljnih tal (debelina posameznega sloja, prostorninska teža γ_z , globina podtalnice h_w , tip zemljine ob nogi pilota: CS (glina/melj), S (pesek), G (gramoz), CH (kreda), ML (marmor / apnenec) ali FR (razpokana oz. preperela hribina) ter mirni zemeljski pritisk ob nogi pilota k_0);
- podatke o vrsti pilota, ki jo izberemo iz tabele podane v literaturi (pomik: 0 stoječi, 1 viseči, konica: 0 prazna, 1 polna, oblika: 0 krog, 1 kvadrat, 2 pravokotnik, prostorninska teža γ_p , elastičen modul E_p ter Poissonov količnik v_p).

ZAKLJUČEK

Možnost uporabe presiometrske preiskave v geotehniki se veča s širjenjem uporabe te opreme po svetu. Kot vsaka preiskava ima tudi presiometrska svoje prednosti in slabosti.

Prednosti:

- Prva in glavna prednost presiometra, ki se vstavi v že vnaprej pripravljeno vrtino, je da se test lahko izvaja v večini zemljin in hribin.
- Druga prednost presiometra, ki se vstavi v že vnaprej pripravljeno vrtino, je, da ta preiskava predstavlja obremenilni test na terenu (in situ). Obremenilni test na terenu pa lahko izvajamo z velikim številom različnih obtežnih primerov: obremenilno-razbremenilni, dolgotrajno in kratkotrajno obremenjevanje, itd.
- Tretja prednost je enostavna geometrija obremenitvenega procesa, kar omogoča transformacijo presiometrske krivulje v napetostno-deformacijsko krivuljo. Iz te krivulje pa lahko dobimo mnogo pomembnih karakteristik zemljine.
- Četrta prednost je dokaj poceni oprema za izvajanje presiometrskih preiskusov in do neke mere lahko kvaliteto izvedenega testa ocenimo glede na obliko krivulje.
- Bistvena prednost pred ostalimi preiskavami pa je tudi v tem, da presiometrski preizkus traja le od 7 do 14 minut. Tudi z obdelavo rezultatov je malo dela, saj zrišemo presiometrsko krivuljo in iz nje lahko takoj odčitamo karakteristike, ki jih nato uporabimo za nadaljnje izračune.

Slabosti:

- Slaba stran presiometrskega preizkusa je vpliv kvalitete izvedene vrtine na rezultate.
- Dimenzijs sonde je več, kar je vzrok za razliko pri interpretaciji oziroma primerjavi rezultatov testov izvedenih z različno velikimi sondami. Zato presiometrsko krivuljo rišemo kot odnos med tlakom p in razmerjem $\Delta R_o/R_o$.
- V naravi obstajajo zemljine, v katerih je izvajanje testa težavno. Na težave naletimo pri: mehki glini (nedrenirana stržna trdnost ≤ 24 kPa), mivki pod nivojem talne vode (SPT število udarcev ≤ 10 udarcev /300 mm), zrnatih gramoznih zemljinah z velikimi zrni (max velikost zrm > 63.5 mm).
- Kot pri mnogih drugih preiskavah na terenu tudi pri presiometru ne moremo kontrolirati dreniranja vode med preiskavo. Tudi pornih tlakov ponavadi ne moremo izmeriti.
- Za analizo stabilnosti brežin uporaba presiometra ni primerna.

V Sloveniji se presiometer uporablja že več let, vendar pa se iz rezultatov preiskave določa le elastični modul zemljine v mehkih do trdnih hribinah. To je posledica razpoložljive opreme, ki je primerna predvsem za raziskavo hribin, in pomanjkanja poznavanja možnosti, ki jih presiometrska preiskava ponuja.

S programoma PGT in PPT za račun nosilnosti in posedkov temeljnih tal pri globoko in plitvo temeljenih objektih, smo usvojili metode za načrtovanje plitvega in globokega temeljenja na osnovi rezultatov presiometerskih testov.

Naslednji korak je preskus programov in meritve realnega temeljenja v naravi, za kar tudi že potekajo priprave. S pomočjo metode in uporabnosti rezultatov pričakujemo, da bi presiometrska preiskava počasi prodrla v geotehnično prakso.

LITERATURA

- (1) Baguelin, F. (August 1973). Mesure du Coefficient de Consolidation a l'Aide du Pressiomètre Autoforeur, discussion, 8th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg, Vol. 4.2, Moscow.
- (2) Baguelin, F., Jézéquel, J. F., Shields, D. H. (1978). The pressuremeter and foundation engineering, First edition, Trans Tech Publications, Clausthal.
- (3) Briaud, J. L. (1992). The pressuremeter, A.A. Balkema, Rotterdam.
- (4) Briaud, J. L. & Tucker, L. M. (September 1988). Measured and Predicted Axial Responses of 98 Piles, ASCE, Journal of Geotechnical Engineering.
- (5) Clarke, B. G. (1995). Pressuremeter in geotechnical design, First edition, Chapman & Hall, Glasgow.
- (6) Eurocode 7: Geotechnical design - part 3: design assisted by field testing, CEN/TC 250 final draft pr ENV 1997-3, (1997).
- (7) Hughes, J. M. O., Wroth, G. P. & Windle, D. (1977). Pressuremeter Tests in Sand, Geotechnique, Vol. 27, No. 4.

- (8) Randolph, M. F., Carter, J. P. & Wroth, C. P. (december 1979). Driven Piles in Clay - The Effects of Installation and Subsequent Consolidation, *Geotechnique*, Vol. 29, No. 4.
- (9) Robas, A. (1999). Geotehnično projektiranje na osnovi presiometrskih meritev, Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- (10) Terzaghi, K. & Peck, R. B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons, New York, p. 55.