

Alenka ROBAS

mag., univ.dipl.inž.grad., Univerza v Ljubljani, FGG, Katedra za mehaniko tal z laboratorijem

Janko LOGAR

doc.dr., univ.dipl.inž.grad., Univerza v Ljubljani, FGG, Katedra za mehaniko tal z laboratorijem

NAPOVED NOSILNOSTI OSNO OBREMENJENIH NAVPIČNIH PILOTOV NA OSNOVI PRESIOMETRSKIH MERITEV

POVZETEK: Od leta 2000 v Sloveniji izvajamo presiometriške meritve v tleh z Ménardovim presiometrom in s tem pridobivamo podatke o trdnosti in togosti tal neposredno na terenu v raziskovalnih vrtinah. Velika večina, preko 900 izvedenih meritev, je bila narejena za potrebe gradnje konkretnih objektov, katerih dopustne nosilnosti so bile izračunane z globalnim faktorjem varnosti po francoskem standardu. Med njimi je bila večina objektov temeljena globoko na uvrtnih pilotih. Zato smo v tem članku želeli predvsem preveriti razliko med nosilnostjo osno obremenjenih navpičnih pilotov po dosedanji praksi in po Evrokodu 7, ki je z letom 2008 stopil v veljavo. Poleg tega smo želeli določiti modelni faktor za alternativno metodo računa nosilnosti pilotov, podan v Nacionalnem dodatku k Evrokodu 7. Za konec smo preučili tudi vpliv števila izvedenih sondiranj na izračun nosilnosti.

PREDICTION OF BEARING CAPACITY OF AXIALLY LOADED VERTICAL PILES ON THE BASIS OF PRESSUREMETER TESTS

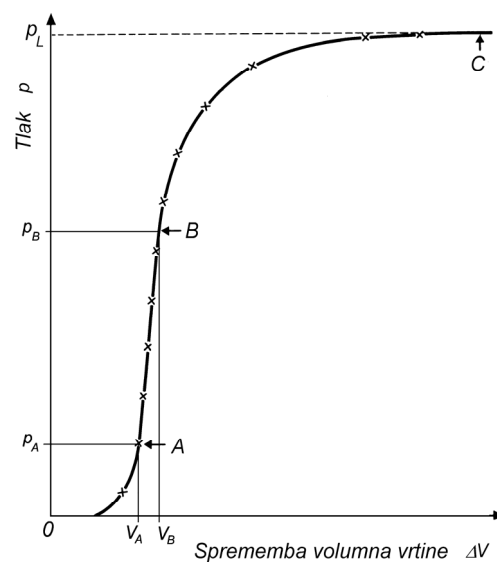
SUMMARY: In Slovenia, Ménard pressuremeter tests are used for the in-situ assessment of strength and stiffness of soils since 2000. Most of 900 tests were made for the design of foundation of different civil engineering structures. The bearing capacity of shallow or deep foundations were calculated according to French standards using global safety factor approach. Most of structures are founded on bored piles. In the present study all these data are used for the analysis of the bearing capacity of bored piles according to Eurocode 7-1 using partial safety factors approach in comparison with previous professional practice. Moreover, the model factor is proposed, which has to be used together with so called alternative procedure for the calculation of bearing capacity of piles. Finally, the influence of number of tests onto the calculated design bearing capacity is analysed.

UVOD

V zadnjih letih je z intenzivnim projektiranjem in izgradnjo avtocest v Sloveniji prišlo do vpeljave novih terenskih preiskav. Razlogov za to je več: hitrejše vrednotenje testov in podajanje rezultatov, neposredne (polempirične) metode za določitev nosilnosti in posedkov, postopki izvedbe, vrednotenja, poročanja in računskih analiz temeljev so standardizirani, dobra korelacija rezultatov preiskav z merjenim obnašanjem temeljev ter nenazadnje tudi velika zasedenost geomehanskih laboratorijev. Ena takšnih terenskih oprem je tudi presiometer. Metoda je primerna za vse vrste tal, torej je nenadomestljiva predvsem v heterogenih tleh, poleg tega pa na meritev vpliva razmeroma velika masa zemljine okrog sonde. Meritev je hitra, rezultati pa so znani takoj po dokončanju testov v posamezni vrtini.

Ideja presiometrijskega preizkusa je razširitev cilindrične sonde v vrtini, ki s pomočjo tekočine oz. plina izvaja hidravlični pritisk na stene vrtine preko raztegljive gumijaste membrane. S tem omogoča neposredno meritev odnosa med napetostmi in deformacijami v vrtini pri obremenitvi in razbremenitvi. Najpomembnejše pri presiometru je, da je sonda dolga v primerjavi s premerom in da se meritve opravljajo v sredini (merilne) sonde. Tako je interpretacija meritev razmeroma preprosta, saj temelji na predpostavki ravninskega deformacijskega stanja v ravnini pravokotno na sondo skozi njeno sredino.

Za kakovosten rezultat meritve, je zelo pomembno pravilno vstavljanje sonde in seveda pravilno izbrana tehnologija vrtanja. Le-ta mora zagotoviti, da je premer vrtine v mejah 3% do 20% premera presiometrijske sonde ter povzroči kar najmanjše poškodbe na stenah vrtine in v okolni zemljini. Neposreden rezultat meritve na neki globini je krivulja, ki prikazuje odnos med napetostjo in deformacijo (Slika 1). Iz izmerjene krivulje je mogoče definirati t.i. presiometrijska modula pri obremenitvi in razbremenitvi, ki nosita informacijo o deformabilnosti zemljine, kot tudi mejni tlak, ki predstavlja podatek o trdnosti tal, na globini meritve. Zaradi kompleksnega napetostnega stanja v okolici sonde, izmerjeni presiometrijski modul ni kar enak elastičnemu modulu, pa tudi izmerjeni mejni tlak ne omogoča izračuna trdnostnih parametrov zemljine. So pa razvite neposredne metode, ki na osnovi profila presiometrijskih modulov in mejnega tlaka z globino, omogočajo račun nosilnosti in posedkov plitvih temeljev in pilotov v vseh vrstah tal.



Slika 1. Značilna oblika presiometrijske krivulje

Natančnejši opis opreme, potek preiskave, iz vrednotenja osnovnih rezultatov in postopek določitve nosilnosti navpično obremenjenih pilotov po dosedanji praksi lahko najdemo n.pr. v Robas, 1999 in Logar, Robas, Kuder, Gaberc, 2001. Zato v nadaljevanju opisujemo postopek določitve nosilnosti navpično obremenjenih pilotov po Evrokodu ter primerjava z dosedanjo prakso.

POSTOPEK DOLOČITVE NOSILNOSTI NAVPIČNO OBREMENJENIH PILOTOV PO EVROKODU

V zadnjih letih so bili postopki vrednotenja rezultatov presiometriških preiskav, vključeni v standard Evrokod 7. Ta prinaša nekaj sprememb, saj omogoča uporabo metod, preverjenih s statičnimi obremenilnimi preizkušnjami, uvede koncept delnih faktorjev in dodatno preko korelacijskih koeficientov upošteva zanesljivost podatkov glede na število izvedenih testov.

Računski postopki za izračun nosilnosti navpično obremenjenih pilotov so enaki izračunom z globalnim faktorjem varnosti, po francoskem standardu (Robas; 1999, Logar, Robas, Kuder, Gaberc; 2001). Razlika se pojavi pri izbiri vhodnih podatkov, t.j. karakterističnih vrednosti parametrov in sicer; mejnega tlaka p_L , modula prve E_0 in modula ponovne E_R obremenitve. V Evrokodu je podana definicija karakterističnih vrednosti geotehničnih parametrov, katerih izbira temelji na dobljenih vrednostih, ki so rezultat terenskih preiskav, dopoljenih z uveljavljenimi izkušnjami.

Karakteristična vrednost geotehničnega parametra izbrana kot varna ocena vrednosti

Karakteristično vrednost geotehničnega parametra moramo izbrati kot varno oceno vrednosti (SIST EN 1997-1, 2.4.5.2.1-2), ki vpliva na pojav mejnega stanja. Pomemben je vsak del tega stavka:

- *izbira* - poudarja pomembnost inženirske presoje,
- *varna ocena* - poudarja, da je pri oceni potrebna konzervativnost,
- *mejno stanje* - izbrana vrednost je v povezavi z mejnim stanjem, ki ga preverjamo.

Brez dvoma, večje kot je število izvedenih preiskav ter količina koristnih informacij na dani lokaciji, boljše določitev karakteristične vrednosti lahko pričakujemo.

Karakteristična vrednost geotehničnega parametra določena z uporabo statističnih metod

Karakteristično vrednost geotehničnega parametra lahko določimo tudi z uporabo statističnih metod (SIST EN 1997-1, 2.4.5.2.10 in 11), ki so uporabne le v primeru, da imamo na voljo zadostno število rezultatov preiskav (Frank et al., 2004). Nato karakteristično vrednost določimo tako, da je računaska verjetnost, da je vrednost, ki bistveno vpliva na obravnavano mejno stanje, še slabša, manjša od 5%.

Projektiranje temeljev na pilotih na podlagi rezultatov terenskih preiskav

Vpeljan je nov koncept uporabe korelacijskih faktorjev ξ (glede na običajno projektiranje pilotov), za določitev karakterističnih vrednosti tlačnih in nateznih odporov pilotov iz rezultatov terenskih preiskav, ki je odvisen predvsem od števila izvedenih terenskih preiskav.

Pri projektiranju temeljev na pilotih na podlagi rezultatov terenskih preiskav (SIST EN 1997-1, 7.6.2.3), uporabimo sledečo enačbo (pri natezni odpornosti $R_k = R_s$ saj je $R_b = 0$):

$$R_k = R_{b,k} + R_{s,k} = (R_{b,cal} + R_{s,cal}) / \xi = R_{cal} / \xi = \text{Min}\{R_{cal,mean} / \xi_3; R_{cal,min} / \xi_4\}, \quad (1)$$

kjer sta ξ_3 in ξ_4 korelacijska faktorja odvisna od števila profilov terenskih meritev n in veljata za srednjo vrednost oziroma najmanjšo vrednost izmed vrednosti R_{cal} , podana tabelarično in so R_{cal} izračunane vrednosti odporov iz rezultatov terenskih meritev.

Preglednica 1. Korelacijski faktorji ξ za izračun karakteristične vrednosti na podlagi n rezultatov terenskih preiskav (SIST EN 1997-1)

n	1	2	3	4	5	7	10
ξ_3	1,4	1,35	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25
ξ_4	1,4	1,27	1,23	1,20	1,15	1,12	1,08

POSTOPEK DOLOČITVE NOSILNOSTI NAVPIČNO OBREMENJENIH PILOTOV PO EVROKODU V PRIMERJAVI Z DOSEDANJO PRAKSO

Ob uveljavitvi Evrokoda 7, katerega uporaba je z letošnjim letom v Sloveniji obvezna, smo želeli preveriti, kako na račun nosilnosti globoko temeljenih objektov vplivajo novi predpisi. Zato smo račun

nosilnosti po dosedanji praksi primerjali z novostmi, ki jih prinaša Evrokod 7-1. Primerjali smo torej izračune nosilnosti po različnih projektnih pristopih Evrokoda 7-1 (PP1 in PP2) z izračunom, ki upošteva globalne varnostne faktorje, na dejanskih primerih. Izbrali smo lokacije, kjer je bilo število sondiranj večje ali vsaj enako 2. Tu sondiranje pomeni vrtino, v kateri so bile izvedene vsaj po ena presiometriška preiskava v vsakem karakterističnem sloju. Torej na lokacijah, kjer je bilo presiometriških podatkov za projektiranje objektov, temeljenih na pilotih, vsaj za silo dovolj.

Lokacije

V celoti smo obravnavali rezultate presiometriških meritev na 7 različnih lokacijah, kjer je bila predvidena izgradnja 15 objektov. Zaradi obsežnosti izračunov, bomo v tem prispevku podali le vrednosti varnostnih faktorjev, upoštevanih pri izračunu nosilnosti, po vseh, v nadaljevanju predstavljenih postopkih.

Predstavitev postopkov

Po uspešno izvedenih presiometriških preiskavah, zberemo vse rezultate le-teh ter določimo karakteristične sloje (glede na geološko sestavo) in karakteristične vrednosti parametrov na dani lokaciji. Nato izračunamo nosilnosti po različnih projektnih pristopih Evrokoda 7-1 (PP1 in PP2) ter z upoštevanjem globalnih varnostnih faktorjev po dosedanji praksi. Sledi primerjava rezultatov nosilnosti pilotov, dobljenih po štirih različnih postopkih:

- 1) po Evrokodu 7-1 (SIST EN 1997-1, 7.6.2.3), mejna tlačna odpornost, določena iz rezultatov terenskih preiskav:
 - a) točka 7.6.2.3(5) - osnovna metoda (Slika 2),
 - b) točka 7.6.2.3(7) - alternativna metoda (Slika 3), s karakteristično vrednostjo, določeno po statistični definiciji (SIST EN 1997-1, 2.4.5.2(10 in 11)),
 - c) točka 7.6.2.3(7) - alternativna metoda, s karakteristično vrednostjo, določeno kot previdno oceno (SIST EN 1997-1, 2.4.5.2(10 in 11)),
- 2) po dosedanji praksi, z upoštevanjem globalnih varnostnih faktorjev.

Izračuni nosilnosti vertikalno obremenjenih pilotov z različnimi vrednostmi vhodnih parametrov in po različnih postopkih so v grobem slikovno prikazani na spodnjih slikah (Sliki 2 in 3) ter opisani v nadaljevanju:

1a) Račun po Evrokodu 7-1 - osnovna metoda (Slika 2)

Najprej za vsako posamezno vrtino izračunamo vrednost nosilnosti konice $R_{b,cal}$ (Q_p), vrednost trenjske nosilnosti plašča pilota $R_{s,cal}$ (Q_s) in vrednost celotne tlačne nosilnosti iz rezultatov terenskih meritev $R_{c,cal} = R_{b,cal} + R_{s,cal}$. Nato z upoštevanjem korelacijskih faktorjev ξ (Preglednica 1), izračunamo karakteristično vrednost - $R_{c,k}$, ki jo v nadaljevanju uporabimo za izračun $R_{c,d}$ ($R_{c,d}$ - projektna vrednost tlačne nosilnosti pilota pri mejnem stanju nosilnosti) po postopkih projektnega pristopa 1 in 2.

1b) Račun po Evrokodu 7-1 - alternativna metoda s karakteristično vrednostjo, določeno po statistični definiciji (Slika 3)

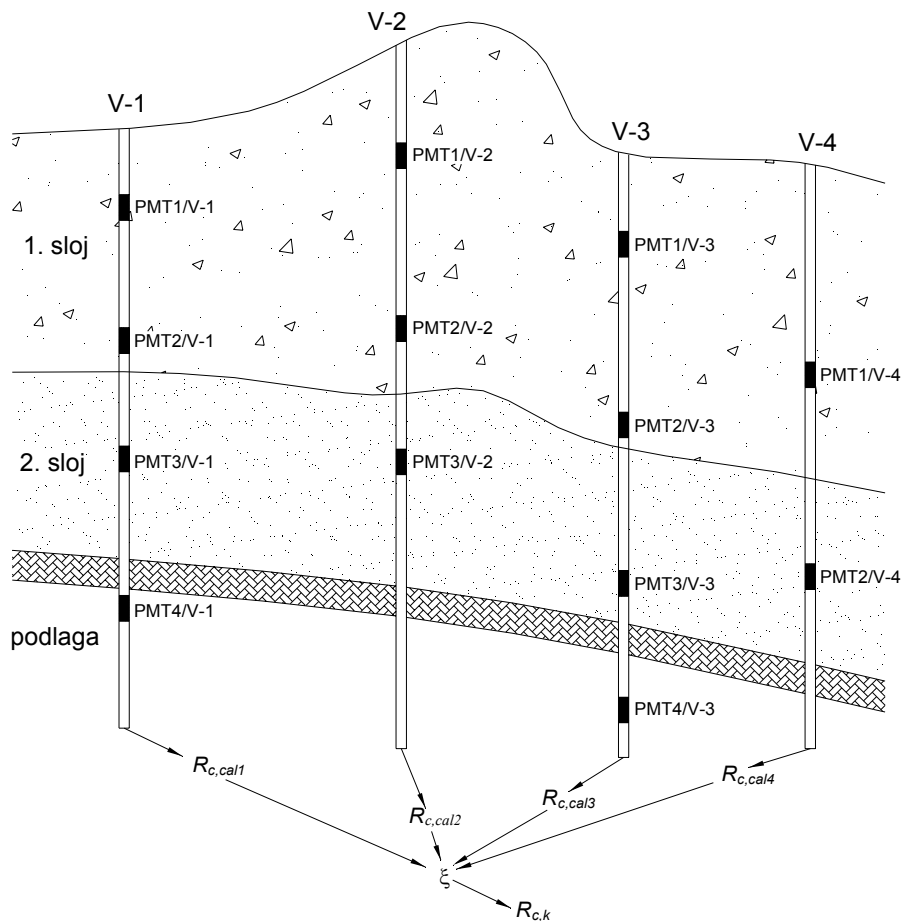
Po določitvi karakterističnih vrednosti parametrov presiometriških testov statistično, za vsak sloj posebej, sledi račun $R_{c,k}$. Vrednost $R_{c,k}$ je enaka vsoti karakteristične vrednosti nosilnosti konice pilota ($R_{b,k}$) in karakteristične vrednosti trenjske nosilnosti plašča pilota ($R_{s,k}$). Nato sledi izračun $R_{c,d}$ po postopkih projektnega pristopa 1 in 2.

1c) Račun po Evrokodu 7-1 - alternativna metoda s karakteristično vrednostjo, določeno kot previdno oceno (Slika 3)

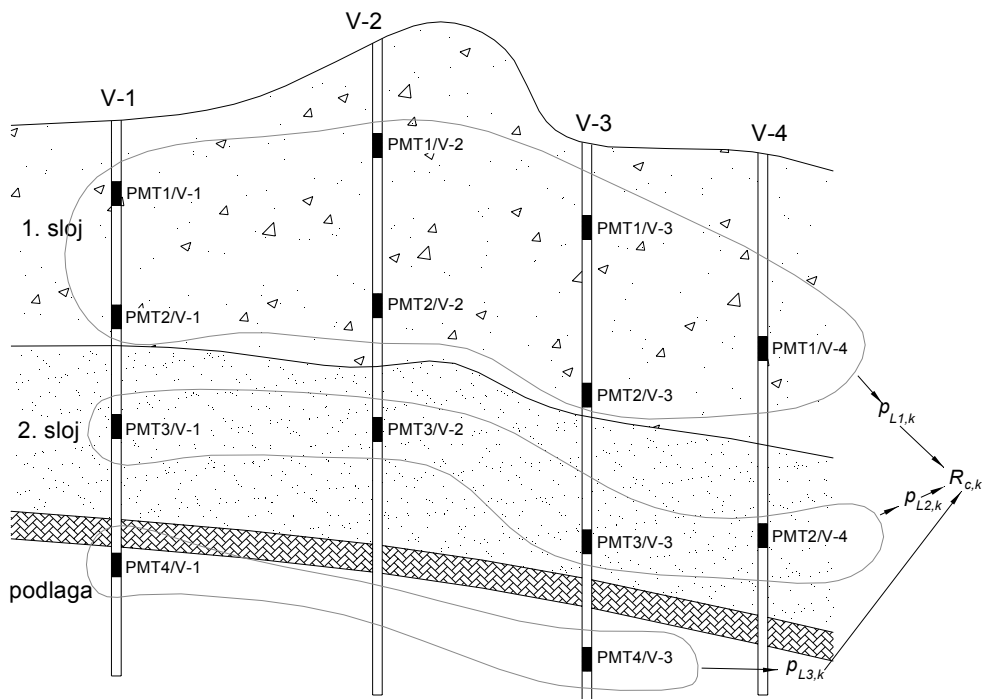
Po določitvi karakterističnih vrednosti parametrov presiometriških testov statistično, z uporabo previdne ocene, t.j. upoštevamo še dodatni kriterij, da karakteristična vrednost ne more biti manjša od najmanjše izmerjene vrednosti, določimo vrednosti $R_{c,d}$ po postopkih, opisanih in prikazanih v prejšnji točki (1b).

2) Račun z upoštevanjem globalnih varnostnih faktorjev - po dosedanji praksi

Po določitvi karakterističnih vrednosti parametrov presiometriških testov - inženirski pristop, izračunamo dopustno nosilnost pilotov $R_{dop} = Q_{SAFE}$.



Slika 2. Prikaz postopka računa po Evrokodu 7-1 - osnovna metoda



Slika 3. Prikaz postopka računa po Evrokodu 7-1 - alternativna metoda s karakteristično vrednostjo po statistični definiciji

Da pa lahko med seboj primerjamo rezultate po Evrokodu 7-1 (projektne nosilnosti) z dopustnimi obtežbami po postopku 2, moramo dobljene vrednosti $R_{c,d}$ po postopku 1 (a, b in c), reducirati še z obtežbenim faktorjem F_{obt} , kjer smo predpostavili, da F_{obt} predstavlja 67% stalne (γ_G) in 33% spremenljive (γ_Q) obtežbe, torej je $F_{obt} = 0,67 \cdot 1,35 + 0,33 \cdot 1,5 \approx 1,4$ za projektni pristop 1;1 in projektni pristop 2 (A1) ter $F_{obt} = 0,67 \cdot 1,0 + 0,33 \cdot 1,35 \approx 1,11$ za projektni pristop 1;2 (A2). Tako dobimo po Evrokodu 7-1 vrednost tlačne nosilnosti pilotov $R_{dop} = R_{c,d} / F_{obt}$, primerljivo z dopustno obtežbo po principu globalne varnosti.

Predstavitev rezultatov

V preglednici 2 so za vse obravnavane objekte zbrane in prikazane vrednosti varnostnih faktorjev (R_k/R_{dop}), upoštevanih pri izračunu nosilnosti po osnovni metodi (1a), alternativni metodi po statistični

Preglednica 2. Varnostni faktorji F vseh štirih postopkov računa nosilnosti ($R_{c,k}/R_{c,dop}$)

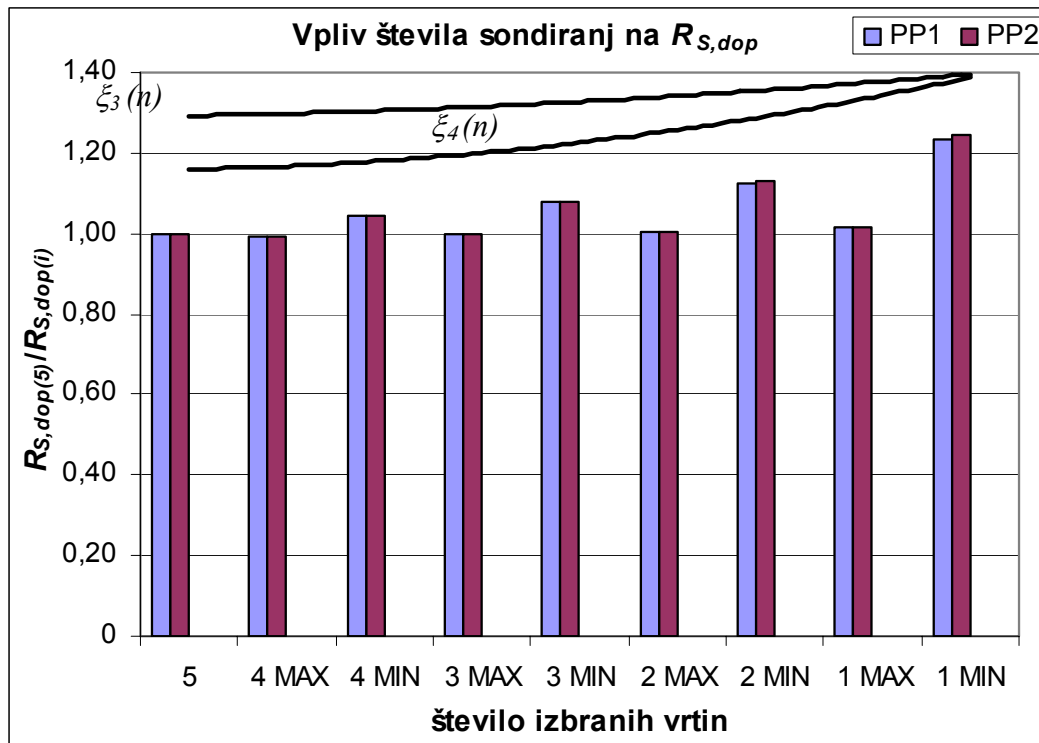
Lokacija in objekt		Postopki računa					Faktor med		Št. vrtn
		PP	1a	1b	1c	2	1a/1b	1a/1c	
MB - Lenart, I. etapa, razcep Dragučova	viadukt 6-1	PP1	2,302	1,773	1,765	2,8	1,298	1,304	5
		PP2	2,071	1,597	1,595	2,8	1,297	1,298	
	viadukt 6-2	PP1	2,385	1,782	1,764	2,8	1,338	1,351	3
		PP2	2,185	1,603	1,600	2,8	1,363	1,365	
Cogetinci - Vučja vas, viadukt 6-3	levi del	PP1	2,201	1,675	1,672	2,8	1,314	1,316	2
		PP2	2,078	1,607	1,604	2,8	1,293	1,296	
	desni del	PP1	2,352	1,733	1,723	2,8	1,357	1,365	3
		PP2	2,237	1,646	1,639	2,8	1,359	1,365	
MB - Lenart, II. etapa, Pernica	nadvoz 4-2	PP1	2,342	1,792	1,787	2,8	1,307	1,311	4
		PP2	2,112	1,604	1,601	2,8	1,316	1,319	
	nadvoz 4-3	PP1	2,365	1,773	1,769	2,8	1,334	1,337	4
		PP2	2,155	1,619	1,604	2,8	1,331	1,343	
Maribor - Lenart, I. etapa, nadvoz 4-1		PP1	2,140	1,772	1,772	2,8	1,360	1,360	2
		PP2	2,153	1,581	1,581	2,8	1,362	1,362	
Lešnica - Kronovo	viadukt 6-1	PP1	2,312	1,803	1,793	2,8	1,283	1,290	2
		PP2	2,088	1,623	1,621	2,8	1,287	1,288	
	nadvoz 4-2	PP1	2,411	1,767	1,764	2,8	1,365	1,367	2
		PP2	2,192	1,602	1,601	2,8	1,368	1,369	
Lenart – sp. Senarska	podvoz 3-20	PP1	2,395	1,762	1,763	2,8	1,360	1,359	2
		PP2	2,149	1,615	1,581	2,8	1,331	1,359	
	nadvoz 4-5	PP1	2,398	1,786	1,778	2,8	1,342	1,348	3
		PP2	2,180	1,627	1,613	2,8	1,340	1,352	
Sp. Senarska - Cogetinci,	nadvoz 4-1	PP1	2,282	1,782	1,775	2,8	1,280	1,285	2
		PP2	2,040	1,620	1,591	2,8	1,259	1,282	
	nadvoz 4-3	PP1	2,252	1,738	1,743	2,8	1,296	1,292	2
		PP2	2,040	1,602	1,593	2,8	1,273	1,281	
	nadvoz 4-4	PP1	2,238	1,771	1,747	2,8	1,264	1,281	2
		PP2	2,043	1,604	1,593	2,8	1,274	1,282	
	nadvoz 4-6	PP1	2,454	1,811	1,809	2,8	1,355	1,357	2
		PP2	2,201	1,615	1,615	2,8	1,369	1,369	
	most 5-1	PP1	2,350	1,696	1,715	2,8	1,353	1,370	2
		PP2	2,163	1,599	1,582	2,8	1,264	1,368	
Povprečne vrednosti faktorjev varnosti F		PP1	2,34	1,76	1,76	2,8	1,33	1,33	2,63
		PP2	2,13	1,61	1,60		1,32	1,33	

definiciji (1b), alternativni metodi kot previdna ocena (1c) in po dosednji praksi (2). Prve tri metode predstavljajo izračune po Evrokodu 7-1, četrta pa izračune po do sedaj veljavnih francoskih predpisih. Poudariti velja, da je pri računu po alternativnem postopku, uporaba parcialnih faktorjev (γ_b , γ_s in γ_i), podanih v Evrokodu 7-1 za račun nosilnosti pilotov, mišljena v povezavi s korelacijskimi faktorji ξ . Na dnu preglednice so podane povprečne vrednosti varnostnih faktorjev, od koder hitro lahko ugotovimo, da je pri alternativnem postopku potrebna vpeljava dodatnega faktorja varnosti, ki se lahko določi z Nacionalnim dodatkom in sicer je priporočena vrednost večja od 1,0 (Frank 1,3). Ta modelni faktor naj bi zajel variabilnost parametrov tal, obsežnost zemljine sodelujoče v obravnavanem mehanizmu porušitve, spremembe tekom vgradnje pilotov in togost konstrukcije.

VPLIV ŠTEVILA SONDIRANJ NA IZRAČUN NOSILNOSTI

Med računanjem nosilnosti pilotov, smo naleteli tudi na vprašanje kako na rezultate vpliva število sondiranja z izvedenimi presiometrijskimi testi. Da bi dobili odgovor na to vprašanje, smo izbrali dve lokaciji z večjim številom vrtin. Za vsako od lokacij so bili podatki o podlagi in njeni globini zelo podobni v vseh vrtinah. Tako so tudi izračuni pokazali, da so nosilnosti po konici praktično enake. Zato smo med seboj primerjali le nosilnosti po plašču, ki smo jo izračunali po osnovni metodi Evrokoda (1a).

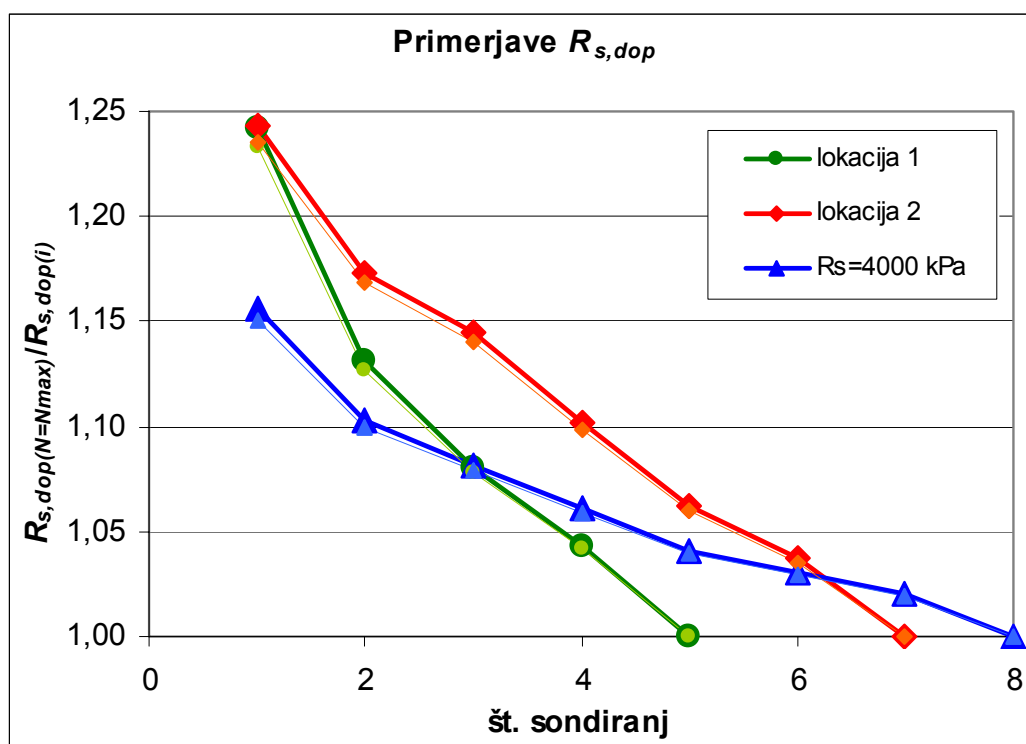
Iz izkušenj vemo, da dobimo bolj zanesljiv izračun nosilnosti, kadar imamo na razpolago veliko količino presiometrijskih rezultatov, pri predpostavki, da se geologija vzdolž objekta ne spreminja bistveno. V prikazanem primeru je bilo dejansko izvedenih 5 vrtin. Da bi dobili podatek o vplivu števila sondiranja na rezultate izračuna dopustne nosilnosti plašča pilotov, smo izdelali serijo izračunov. In sicer smo izračunali dopustno trenjsko nosilnost plašča pilota ($R_{s,dop}$) iz rezultatov trenjske nosilnosti plašča pilota ($R_{s,cal}$) za vseh 5 vrtin, za 4 vrtine v katerih smo dobili najvišje vrednosti (4 MAX), za 3 vrtine z najvišjimi vrednostmi (3 MAX), za 2 vrtini z najvišjima vrednostima (2 MAX) ter za vrtino v kateri smo dobili najvišjo vrednost (1 MAX). Enako smo ponovili tudi za najnižje vrednosti (4 MIN, 3 MIN, 2 MIN in 1 MIN).



Slika 4. Primerjava $R_{s,dop(5)}/R_{s,dop(i)}$ s korelacijskim faktorjem ξ za različno število in vrednost sondiranja po PP1 in PP2

Za primerjavo z vrednostmi ξ (Slika 4), smo vrednosti dobljene pri največjem številu sondiranj ($R_{s,dop(5)}$ - saj je ta najbolj zanesljiva) delili z vrednostmi dobljenimi pri manjšem številu sondiranj $R_{s,dop(i)}$. Za izračun po pristopu PP1 in PP2, pri enakem številu in vrednosti sondiranj, odstopanj praktično ni. Vidimo, da nosilnost narašča pri večjem številu vrtin, kar pomeni, da bi bilo na predstavljenem objektu smiselno izdelati več vrtin s presiometriškimi meritvami, v primeru, da želimo cenejše temeljenje na pilotih. Hkrati se moramo pri tem zavedati, da zagotavljamo nižji nivo globalne varnosti.

Za obe izbrani lokaciji, kjer smo računali z dejansko izmerjenimi karakteristikami, smo ugotovili izjemno ujemanje vpliva števila sondiranj na izračun dopustne nosilnosti. Najbolje so te primerjave prikazane na sliki 5, kjer imamo za vsako lokacijo zrisani dve liniji (zelene in rdeče barve). Debelejša predstavlja rezultate dobljene po projektnem pristopu PP2, tanjša pa po PP1. Do največjega odstopanja glede na $R_{s,dop}$ ($N=N_{max}$), izračunanega pri upoštevanju vseh sondiranj na posamezni lokaciji, pride pri upoštevanju najnižjih vrednostih $R_{s,dop}$ ($N=N_{min}$) in sicer v primeru, ko imamo eno samo vrtino, torej en sam rezultat izračuna nosilnosti (plašča) vertikalno obremenjenega pilota. To odstopanje je 23%. Pri tem nas je zanimalo tudi začetno odstopanje med vrednostmi trenjske nosilnosti plašča pilota (R_s), izračunane iz dejanskih rezultatov presiometriških testov na izmerjenih globinah, na lokaciji vsake posamezne vrtnice. Tako smo dobili, na lokaciji 1, kjer smo imeli na voljo 5 vrtin, 17% odstopanje med najnižjo in najvišjo vrednostjo R_s . Na lokaciji 2, kjer smo imeli na razpolago podatke iz 7 vrtin, pa je odstopanje enako 22%.



Slika 5. Vpliv števila sondiranj na vrednost $R_{s,dop}$ po PP1 in PP2 projektnem pristopu

Na sliki 5 je podana še ena linija (modre barve), ki nekoliko odstopa od predhodno omenjenih linij. Le-ta predstavlja izračune za izmišljene vrednosti ($R_s = 4000$ kPa), kjer odstopanj med najnižjo in najvišjo vrednostjo R_s ni. Ta linija tako predstavlja direkten vpliv korelacijskega faktorja ξ na dopustno nosilnost plašča pilota v odvisnosti od števila izvedenih sondiranj.

Glede na vse ugotovitve lahko zaključimo, da bo izračunana vrednost dopustne nosilnosti plašča pilota ($R_{s,dop}$), višja pri večjem številu izvedenih sondiranj. Poleg tega bo pri večjem številu sondiranj tudi zanesljivost rezultatov večja, saj bomo lažje in točneje določili posamezne sloje ter izločili ali

ponovili teste s sumljivimi rezultati. Torej je smotrno izdelati več vrtin s presiometriškimi meritvami, ker bomo tako prihranili pri temeljenju.

ZAKLJUČEK

V prispevku so predstavljene spremembe uvedene z Evrokodom, ki smo jih primerjali z dosedanjimi izkušnjami. Ugotovili smo, da z izračuni nosilnosti po dosednji praksi, z globalnim varnostnim faktorjem 2,8 (AFNOR, 1992), dobimo v primerjavi z Evrokodi 7 bolj konzervativne rezultate, kar pomeni, da s predlaganimi delnimi, korelacijskimi in modelnimi faktorji iz Evrokoda 7 dobimo cenejše temeljenje na pilotih, a s tem tudi zagotavljamo nižji nivo globalne varnosti kot do sedaj. Prav tako bi modelni faktor, potreben pri alternativnem postopku (1b in 1c), po naših ugotovitvah v Sloveniji moral biti enak 1,32, kar se dobro ujema z vrednostjo (1,30), določeno v Nacionalnem dodatku k Evrokodu 7 in je povzeta po predlogu Franka (Frank, 2004), a je smiselno, če je izvedenih več vrtin. Pri eni vrtini mora biti ta faktor 1,4 ali pa se alternativna metoda ne sme uporabljati.

Pri raziskovanju vpliva števila sondiranj smo ugotovili, da je ocena nosilnost pri večjem številu sondiranj višja in je tudi zanesljivost rezultatov večja. Tako je smotrno izdelati več vrtin s presiometriškimi meritvami, ker s tem prihranimo pri stroških temeljenja.

Na podlagi vsega ugotovljenega upamo, da bodo vse predstavljene ugotovitve doprinesle k tehtnejši pripravi programov (presiometriških) preiskav ter da bo projektiranje temeljenja po novih predpisih lažje.

LITERATURA

- (1) Baguelin, F., Jézéquel, J. F., Shields, D. H. (1978). The pressuremeter and foundation engineering. First edition. Clausthal, Trans Tech Publications: 617 str.
- (2) Briaud, J. L. (1992). The pressuremeter. Rotterdam, A.A. Balkema: 322 str.
- (3) Briaud, J. L., Tucker, L. M. (1988). Measured and Predicted Axial Responses of 98 Piles. ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 114, No. 9: str. 984-1001.
- (4) Clarke, B. G. (1995). Pressuremeter in geotechnical design. First edition. Glasgow, Chapman & Hall: 364 str.
- (5) Evrokod 7: Geotehnično projektiranje - Del 1: Splošna pravila (2004). SIST EN 1997-1: 167 str.
- (6) Eurocode 7: Ground investigation and testing - part 2 (2005). CEN/TC 250 4th draft pr ENV 1997-2: 158 str.
- (7) Eurocode 7: Geotechnical design - part 3: design assisted by field testing, (1997). CEN/TC 250 final draft pr ENV 1997-3: 152 str.
- (8) Frank R., Baudiuin C., Driscoll R., Kavvas M., Krebs Ovesen N., Orr T., and Schuppener B. (2004). Designers Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design - General rules. First edition. London, Tomas Telford Ltd: 216 str.
- (9) Gambin M. P. (1995). Reasons for the success of Ménard pressuremeter. Symp.on Pressuremeters (ISP5). Sherbrooke, Canada.
- (10) Gambin M. P., Rousseau J. (1988). The Ménard pressuremeter: interpretation and application of pressuremeter test results to foundation design. Apegeo, France.
- (11) Hughes, J. M. O., Wroth, G. P., Windle, D. (1977). Pressuremeter Tests in Sand. Géotechnique, Vol. 27, No. 4: str. 455-477.
- (12) Kuder, S. (2000). Razvoj in uporaba programskega orodja za obdelavo rezultatov presiometriških meritev. Diplomsko delo. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 80 str.
- (13) Logar, J., Kuder, S., Robas, A., Majes, B. (2002). Uvajanje presiometriških raziskav v projektiranje in kontrolo kvalitete pri cestogradnji. Raziskovalna naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 171 str.
- (14) Ménard pressuremeter (G type). (1998). Apageo Segelm - Operating instructions: 35 str.
- (15) Norme Française P 11-212, 8.5 Essais de contrôle. (1992). AFNOR : 72 str.
- (16) pr EN ISO 22476-3:2002. Geotechnical Engineering - Field testing - Part 3: Standard Penetration Test.

- (17) pr EN ISO 22476-5:2005. Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 5: Self boring pressuremeter test.
- (18) pr EN ISO 22476-8:2005. Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 8: Full displacement pressuremeter test.
- (19) Robas, A. (1999). Geotehnično projektiranje na osnovi presiometriških meritev. Ljubljana. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 122 str.
- (20) Robas, A. (1999). Možnosti uporabe presiometra v geotehnikih. Razprave tretjega posvetovanja slovenskih geotehnikov, Portorož. str.19-28.
- (21) Logar, J., Robas, A., Kuder, S., Gaberc, A. M.(2001). Uporaba rezultatov presiometra pri geotehničnem projektiranju. Geotehnika pri gradnji prometnic, Gornja Radgona. Str. 55-64.
- (22) Robas, A., Gaberc, A. M., Kuder, S. (2005). Report on the use of pressuremeter tests in Slovenia. Pariz. Symposium International ISP5/PRESSIO 2005, Francija
- (23) Robas, A. (2007). Uporaba presiometriških meritev za napoved nosilnosti vertikalno obremenjenih pilotov. Ljubljana. Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 204 str.
- (24) Training on the pressuremeter test principle. Version 2/97.1997. Apageo Segelm - Electronic Department: 12 str.
- (25) Turk, G 2007. Verjetnostni račun in statistika. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 226 str.