

GENERALNO POROČILO ZA 3. GLAVNO TEMO: PROBLEMATIKA GLOBOKEGA TEMELJENJA OBJEKTOV

GEZA VOGRINČIČ, doc. dr., Oddelek za matematiko in mehaniko, FNT

POVZETEK: V 3. glavno temo, ki obravnava problematiko globokega temeljenja objektov so bili uvrščeni trije referati: Uporaba metode jet-grouting na slabo nosilnih tleh avtorja Marka Fašaleka, Temeljenje mostu čez reko Ljubljanico na Prulah avtorjev Ivana Lesjaka in Gorazda Strniša in Ekspertni sistem za globoko temeljenje z zabitimi koli avtorjev Gorazda Strniša in Ivana Lesjaka. Prvi od navedenih referatov, prikazuje izvedbo "jet-grout" slopov in rezultate izvršenih obremenilnih tlačnih preizkušanj, druga dva pa obravnavata temeljenje na zabatih kolih.

SUMMARY: For the third main session, dealing with the deep foundations, three papers were selected: Marko Fašalek, Use of the jet grouting method to strengthen weak ground; Ivan Lesjak and Gorazd Strniša, Foundation of bridge across Ljubljana river; Gorazd Strniša and Ivan Lesjak, Expert system for deep foundation with driven piles. The first paper presents the results of two loading tests carried out on piles created by the jet grouting in weak soil, the others concern foundations on driven piles.

MARKO FAŠALEK: UPORABA METODE JET-GROUTING NA SLABO NOSILNIH TLEH

Avtor iz Zavoda za raziskavo materialov in konstrukcij Ljubljana -Inštitut za geotehniko in ceste, v svojem referatu prikazuje rezultate dveh tlačnih obremenilnih preizkušanj na slopih, izdelanih po metodi "jet-grouting". Metoda injektiranja injekcijske mase pod visokimi tlaki v temeljna tla z namenom poboljšati nosilnost tal, je v svetu poznana že dalj časa. Pri nas se je začel ta postopek pogosteje uporabljati po letu 1988, ko je Zavod za raziskavo materialov in konstrukcij Ljubljana nabavil stroj za enofazni sistem "jet-grouting". V začetku se je uporabljal predvsem v prodnatih zemljinah nato pa, s postopnim pridobivanjem izkušenj, tudi v koherentnih malo nosilnih tleh.

Z injektiranjem posebne injekcijske mase se ustvarijo v tleh t.i. "jet-grouting" slopi, preko katerih se lahko prenese obtežba objekta v nosilnejše, globlje ležeče plasti ali pa se obtežba prenese v okolno zemljino preko trenja ob slopih. Pri računski oceni nosilnosti tako izdelanih slopov - lahko bi jih imenovali tudi neke vrste koli - je neznank glede oblike in kvalitete še več, kot pri klasičnem globokem temeljenju z uvrtnimi ali zabitimi koli. Premer slopa, ki bi ga bilo treba v oceni nosilnosti upoštevati, homogenost slopa, tlačna trdnost, spremembe v kvaliteti tal v neposredni bližini slopa in v tej zvezi težavna izbira realnih geomehanskih lastnosti tal, so gotovo najvidnejše, za izračun nosilnosti težko

določljive vrednosti.

S tega vidika ima referat Fašaleka velik pomen, saj bogati za realno oceno nosilnosti nujno potreben, ustrezen fond podatkov, pridobljen s terenskimi preiskavami na izvršenih "jet-grouting" slopih.

Prvo prikazana obremenilna preizkušnja je bila izvršena na "jet-grouting" slopu dolžine 5 m, ki je bil izdelan na obrobju Ljubljanskega barja. Za sestavo tal tega območja so značilne menjajoče se plasti drobnih peskov, meljev, meljastih glin pa tudi vmesnih tanjših plasti rahlega proda. Po prikazanih podatkih konusne statične penetracije, je bila vrednost trenjskega odpora na obodu (F_s) v vrhnjih do globine 6 m segajočih plasti povprečno 0.023 MPa in odpora na konici (Q_c) okrog 1.4 MPa, razen v prodnati zemljini pod globino 4.30 m, kjer je dosegel Q_c vrednost do okrog 7 MPa. Z odkopom vrhnjega dela slopa je bil ugotovljen premer okrog 70 cm. Preizkusno postopno obremenjevanje v osmih bremenskih stopnjah s prirastkom 125 kN je potekalo hitro, saj je bila celotna preiskava vključno z razbremenitvijo končana že v 18 urah. Pri največji doseženi testni obtežbi 1000 kN je bil izmerjen vertikalni pomik glave slopa 3.6 cm in preostala trajna deformacija tal pod nogo slopa po razbremenitvi ob koncu preiskave 2.6 cm. Avtor zaključuje na osnovi prikazanega trojnega diagrama sovisnosti med osno silo na glavi slopa, vertikalnim pomikom in časom obremenjevanja, da porušitev pri vrednosti obtežbe 1000

kN še ni bila dosežena. Ugotovljeno visoko nosilnost slopa upravičeno pripisuje prodnati plasti, v katero je segal spodnji del slopa. Umestna bi bila pripomba, da bi bil, glede na prikazane časovne sovisnice vertikalnih pomikov glave slopa, ki izkazujejo ob prehodih na nove bremenske stopnje, še vedno relativno velike gradiente hitrosti pogrezanja slopa, končni trajni pogrezek ob dolgotrajnejši preiskavi gotovo mnogo večji.

V nadaljevanju referata so prikazani rezultati obremenilne preizkušnje "jet-grouting" slopa dolžine 7.5 m, ki prenaša obtežbo s trenjem po obodu v tipično barjanska tla. Na izbrani lokaciji ob križišču Peruzzijske ceste in južne obvoznice Ljubljane je povprečna nedrenirana strižna trdnost, ugotovljena s krilno sondo, okrog 14 kPa (vrhunska vrednost) oziroma 7 kPa (rezidualna vrednost). Izkopan vrhnji del slopa v polžarici je dokaj nepravilne valjaste oblike in ima premer okrog 90 cm. Kot ugotavlja avtor je bilo stopnjevanje obtežbe med obremenilno preizkušnjo razmeroma hitro, sam bi rekel, da glede na malo propustna tipično barjanska tla, žal prehitro, saj je bila celotna preiskava zaključena že v dobrih 11 urah. Tlačna osna sila na glavo slopa se je večala v stopnjah po 30 kN vsako uro, vse do vrednosti 330 kN. Vrednost vertikalnega pomika glave slopa ob koncu obremenjevanja z največjo obtežbo je dosegla skoraj 7 cm in se po popolni razbremenitvi kola skorajda ni zmanjšala. Do porušitve tal ob slopu je, sodeč po prikazanem diagramu, prišlo pri povečanju obtežbe od 270 kN na 300 kN. Pri trditvi avtorja, da je nosilnost tega preiskovanega trenjskega "jet-grouting" slopa, v primerjavi z nosilnostjo pred leti preiskovanega lesenega trenjskega kola ϕ 22 cm približno 6-krat večja, je treba seveda upoštevati, da je tudi celotna trenjska površina tega slopa, glede na obodno površino vzporednega lesenega kola tudi vsaj za 4.4-krat večja.

Zanimivi so rezultati meritev posedanja hiše ob Ljubljani v Stari Ljubljani, katere temelji v glinastih tleh so bili zaradi neenakomernega posedanja sanirani tako, da so bili podprti s poševnimi trenjskimi "jet-grouting" slopi, dolžine 7.0 m. Meritve kažejo, da je prišlo med sanacijskimi deli do občutnih dodatnih posedkov stavbe (za okrog 14 mm). Po sanaciji se je posedanje nadaljevalo s konstantno hitrostjo skoraj še 3 leta, potem pa se je vendarle umirilo.

Smel prikaz začetnega nepričakovanega, neugodnega učinka sanacije je dragocen in skupaj z avtorjevo razlago možnih vzrokov, bogati izkušnje v zvezi z izvajanjem podobnih sanacijskih posegov v glinastih tleh. Pohvaliti je potrebno tudi avtorjevo opozorilo v zaključku referata, glede ekološke problematike, ki spremlja izvajanje injekcijskih del.

IVAN LESJAK, GORAZD STRNIŠA: TEMELJENJE MOSTU ČEZ REKO LJUBLJANICO NA PRULAH

Avtorja, člana Raziskovalne enote GIP GRADIS Ljubljana, sta v svojem v referatu celovito prikazala, kako je potekalo projektiranje najprimernejših kolov za temeljenje novega prulskega mostu in izbiranje ustreznega zabijalnega sistema. Podala sta tudi primerjavo med izračunanimi in z dinamičnimi obremenilnimi testi ugotovljenimi nosilnostmi kolov.

Na začetku prispevka avtorja nanizata osnovne podatke o 62.6 m dolgem armiranobetonskem mostu čez Ljubljano. Že v izhodišču je bila zaradi prevelikih diferencialnih posedkov vmesne in krajnih podpor opuščena možnost plitvega temeljenja obrežnih podpor. Zasnova globokega temeljenja se je nato večkrat spreminjala. Prvotno zamisel, da bi bile vse tri podpore temeljene na uvrtnih kolih sistema Benotto, je zamenjal načrt, po katerem bi krajni podpori bili temeljeni na "jet-grouting" slopih, premera 50 cm, srednja podpora pa na dveh uvrtnih kolih premera 150 cm, katerih nogi bi bili razširjeni z miniranjem na premer okrog 200 cm. Končno je bila obdelana še ideja o temeljenju krajnih podpor mosta na predhodno izdelanih prednapetih armiranobetonskih zabitih kolih z dimenzijami prečnega prereza 35/35 cm (PAB 35). Izvršene so bile dodatne preiskave temeljnih tal s konusnim statičnim penetrometrom (CPT), ki so med drugim ugotovile, da je prišlo pri prvotnem sondažnem vrtanju na levem bregu (vrtina V-1) do napačno določene kote, kjer se pojavlja zgornja nosilna prodno peščena plast.

Sestava temeljnih tal v vrhnjem delu je zelo heterogena in v splošnem malo nosilna. Pod plastmi melja, meljne glinice, peščenega melja in puste glinice se pojavlja okrog 6 m debela plast vrhnjega nosilnega srednje gostega proda med kotama +272.00 in +273.00 m. Avtorja prikažeta računsko oceno dopustne tlačne nosilnosti zabitih kolov po obrazcu Meyerhofa in po izvornem postopku SGRD, osnovanem na številnih primerjavah rezultatov konusnih statičnih penetracij (CPT) in dinamičnih obremenilnih testov.

Prav tako napovedujeta posedanja kolov po računskem postopku, priporočenem v "Manual on Design and Construction of Driven Pile Foundations, ki ga je izdal U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration leta 1986. Razen tega, iz vrednotita končne posedke skupine zabitih kolov krajnih podpor tudi iz rezultatov CPT pri čemer je upoštevan raznos obtežbe v skladu z aktiviranimi odpori posameznih plasti vzdolž kola in konice na globino konice kolov.

Predhodna analiza zabijanja kolov po programu WEAP, osnovanem na valovni enačbi je izkazala hidravlično prosto padno zabijalo JUNTAN HH4 kot primerno za varno zabitje kolov do predvidene kote 270.60 m. Iz v referatu prikazanih rezultatov te analize lahko povzamemo, da so bile predvidene največje tlačne napetosti v kolu med zabijanjem 13.78 MPa in največje natezne napetosti -6.03 MPa, pri višini padca zabijalnega bata 0.35 m. Računsko predviden pogrezek kola na 1 udarec zabijala je bil med 2.5 do 3 mm.

Za preveritev napovedane nosilnosti, integritete prečnega prereza kola, ustreznosti zabijalnega sistema in potrditev zabijalnih kriterijev sta bili izvedeni dinamični obremenilni preizkušnji dveh kolov z uporabo analizatorja zabijanja (PDA). V referatu je podrobno predstavljeno vedenje enega vodilnega kola med zabijanjem in rezultati izvršene dinamične obremenilne preizkušnje na tem kolu. Zanimiv je rezultat CAPWAP analize, ki kaže na to, da se je pri ponovnem zabijanju istega kola že po preteku dveh ur od prvotnega zabijanja mejna nosilnost povečala za približno 8 %.

V zaključnem delu referata dajeta avtorja koristno primerjavo med izračunanimi in na osnovi meritev določenimi nosilnostmi preizkusnih kolov. Ujemanje celotne mejne nosilnosti je zelo dobro, primerjava deleža prenosa obtežbe po plašču in konici kola pa kaže določene razlike. Varnostni količnik med mejno nosilnostjo kola in projektirano največjo tlačno silo na kol je v vseh vzporedjenih primerih večji od 2. Velika pa so razhajanja pri vzporeditvi nedreniranih strižnih trdnosti, ugotovljenih s krilno sondo, nedreniranih strižnih trdnosti določenih iz preiskav s konusnim statičnim penetrometrom in strižnih trdnosti, ki izhajajo iz valovne analize po programu CAPWAP. Disperzija na različne načine ugotovljenih vrednosti nedreniranih strižnih trdnosti je velika, zato bi bilo razjasnjevanju tega dejstva vredno v prihodnje posvetiti več pozornosti.

Žal se tudi v primeru tega objekta dogaja, kot sta z grenkobo omenila avtorja, da se po izgradnji mostu, čeprav so bili vgrajeni reperji, iz neznanih vzrokov ne izvajajo meritve posedanja in tako ne bo možno pridobiti dragocene vzporeditve med računsko napovedanimi in izmerjenimi vrednostmi posedkov podpor.

GORAZD STRNIŠA, IVAN LESJAK: EKSPERTNI SISTEM ZA GLOBOKO TEMELJENJE Z ZABITIMI KOLI

Avtorja, raziskovalca v GIP GRADIS Ljubljana sta v svojem drugem prispevku prikazala celovit pristop pri načrtovanju temeljenja objektov na zabitih kolih, izva-

janju in kontroli kvalitete izvršenega pilotiranja.

Varno temeljenje na kolih zahteva, kar se da zanesljivo določitev dopustne nosilnosti posameznega kola in skupine kolov, določitev ustreznih za konstrukcijo še sprejemljivih posedkov in uporabo optimalne tehnologije za izvedbo projektiranega pilotiranja. Ta cilj bo dosežen, če razpolagamo s potrebnimi rezultati geotehničnih preiskav temeljnih tal, primerno teorijo in računskim postopkom za določitev iskanih vrednosti, primerno opremo za vstavitev kolov v tla in z ustreznim načinom preverjanja z analitičnimi postopki dobljenih vrednosti na samem gradbišču.

Posamezne potrebne aktivnosti se v različnih fazah projektiranja in izvedbe globokega temeljenja na kolih medsebojno prepletajo, dopolnjujejo in lahko celo izhajajo ena iz druge. Medsebojno prilagojene natančno definirane postopke, povezane v določenem sosledju v celoto, lahko poimenujemo ekspertni sistem. Tak, v referatu na kratko prikazan ekspertni sistem, obravnava temeljenje na zabitih kolih. Kot je to običajno, tudi ta sistem bazira na vrsti že zbranih izkustvenih podatkov in analizah že izvedenih projektov. Zasnovan je tako, da ga je mogoče nenehno vsklajevati in dopolnjevati z novimi spoznanji in razvojem tehnologije. Izhaja iz geotehničnih podatkov tal, ki se pridobijo s konusno statično penetracijo. Na osnovi teh se z računalniškim programom PDP, katerega osnovna izhodišča v referatu niso pojasnjena, izvednoti mejna nosilnost kola, ki dosega določeno globino in pričakovan posedek kola. Preliminarni kriteriji zabijanja kolov, vključno z izbiro najustrežnejšega zabijala oziroma zabijalnega sistema se določijo na osnovi računalniške analize z valovno enačbo po programu WEAP. S preizkusnim zabijanjem izbranega vodilnega kola ob uporabi sodobne merilne opreme, ki vključuje tudi "analizator zabijanja" t.i. PDA (Pile Driving Analyser) se zabijalni kriteriji dokončno natančno definirajo. V PDA vgrajeni računalniški program omogoča približno oceno trenutne statične nosilnosti kola takoj med samim zabijanjem, kasnejša obsežna računalniška analiza s programom CAPWAP pa izvednoti na osnovi zapisa izmerjenih časovnih sovisnic osne sile in hitrosti pri vrhu kola zaradi enega udarca zabijala niz pomembnih kontrolnih vrednosti o vedenju kola med zabijanjem, doseženi mejni nosilnosti in pričakovanem posedanju statično obremenjenega kola.

Avtorja na osnovi dosedanjega dela s prikazanim sistemom v zaključkih povdarjata, da sistem omogoča: "-najmanjši možni obseg raziskav za čim večji učinek, -hitro izvedbo projektantskega in kontrolnega dela, vključno s preverjanjem več različnih variant temeljenja na zabitih kolih, -minimalni negativni vpliv človeške-

ga faktorja, - realno oceno varnosti in s tem potrebno ekonomičnost izvedbe in možnost korekcij prvotnih izhodišč s povratnimi informacijami".

Uspešno uporabnost ekspertnega sistema za določeno tehnologijo dela sta avtorja pokazala na konkretnem primeru projektiranja in izvedbi globokega temeljenja poslovnega objekta v Ljubljani na zabitih prednapetih armiranobetonskih kolih, dolžine okrog 15 m in z dimenzijo prečnega prereza 35/35 cm.

ZAKLJUČEK

Za tri referate, ki so bili vključeni v 3. glavno temo, je glede na heterogenost obravnavane problematike težko podati skupni zaključek. Vsi trije pa vendarle kažejo na nujnost in koristnost povezave med sistematičnim "teoretičnim" pristopom v fazi projektiranja globokega temeljenja na kolih in izvajanju kasnejših ustreznih meritev na izvedenih kolih.

V to temo se uvršča, glede na problematiko, ki jo obravnava tudi referat, ki je prispel žal prepozno za tiskanje, hrvaških kolegov Čorka in Lovrenčiča z naslovom: Prikaz zaščite gradjevinke jame pilotima malog promjera. Predlagal bi, da v primeru prisotnosti, avtorjema jutri

omogočimo kratko predstavitev prispevka, referat pa natisnemo v drugi knjigi publikacije tega posvetovanja.

Ob koncu bi želel poudariti, da mnogi prispeli referati, pri tem ne mislim samo na referate v tej 3. glavni temi, kažejo na zelo neenotno in celo napačno rabo posameznih strokovnih izrazov. Hiter razvoj naše stroke in novih tehnologij terja uvajanje novih ustreznih terminov v slovenščini. Zato bi bilo glede terminologije za vsako posamezno področje geotehnike nujno potrebno usklajevanje in skupni dogovor, kot je to že predlagal mag. Logar.

LITERATURA

- Fašalek, M. (1993). Uporaba metode jet grouting na slabo nosilnih tleh, Razprave 1. posvetovanja slovenskih geoteknikov, 1 knjiga, Bled, 63-66.
- Lesjak, I., Strniša, G. (1993). Temeljenje mostu čez reko Ljubljanico na Prulah, Razprave 1. posvetovanja slovenskih geoteknikov, 1. knjiga, Bled, 67-74.
- Strniša, G., Lesjak, I. (1993). Ekspertni sistem za globoko temeljenje z zabitimi koli, Razprave 1. posvetovanja slovenskih geoteknikov, 1 knjiga, Bled, 75-80.