

# UPORABA METODE JET GROUTING NA SLABO NOSILNIH TLEH USE OF THE JET GROUTING METHOD TO STRENGTHEN WEAK GROUND

MARKO FAŠALEK, dipl.ing.gradb., ZRMK-Inštitut za geotehniko in ceste

**POVZETEK:** V referatu so prikazani rezultati dveh obremenilnih preizkušenj "jet grouting" slopov na slabo nosilnih tleh. Prikazani so tudi rezultati meritev posedanja hiše v Stari Ljubljani, katere temelji so bili sanirani s slopi "jet grouting".

**SUMMARY:** In the paper the results are presented of two loading tests carried out on piles created by the jet grouting method in weak soil. Also presented are the results of measurements of the settlement of a house in the old part of the city of Ljubljana, which had been strengthened by the construction of jet grouting piles.

## UVOD

Metoda injektiranja pod visokimi tlaki "jet grouting" je novejša metoda in se je pokazala kot zelo uporabna v številnih gradbeno geotehničnih delih. Leta 1988 je ZRMK Inštitut za geotehniko in ceste nabavil stroj za enofazni sistem "jet grouting" in ga doslej uporabil pri številnih zahtevnih gradbenih delih.

V začetni fazi smo uporabljali to metodo predvsem v prodnatih zemljinah. Nadaljna praksa pri izvajanju geotehničnih del je pokazala potrebo po uvajanju metode "jet grouting" tudi v glinastih slabo nosilnih tleh.

Z "jet grouting" slopi lahko prenesemo obtežbo objekta na globlje, bolj nosilne plasti ali pa posedke objekta zmanjšamo s trenjskimi slopi. Poleg tega pa se zemljina okrog slopov še zgosti.

Pri klasičnem globokem temeljenju (uvrtani ali zabiti koli) je znana kvaliteta in oblika teh kolov in je problem določiti samo njihovo realno nosilnost s pomočjo ustreznih geomehanskih izračunov.

Pri globokem temeljenju s slopi "jet grouting" je neznank precej več: premer kola, homogenost, tlačna trdnost injektirane zemljine, geomehanska nosilnost. Kvaliteta tal se v okolici slopa običajno izboljša tako, da je otežena tudi izbira realnih geomehanskih lastnosti za izračune nosilnosti slopa. Vse to kaže, da je v tem primeru nujno pridobiti ustrezen fond podatkov z laboratorijskimi in terenskimi preiskavami. Na osnovi tako pridobljenih izkušenj ter z ustreznimi predhodnimi preiskavami in geomehanskimi izračuni je možno najti racionalno rešitev temeljenja s slopi "jet grouting" na slabo nosilnih tleh.

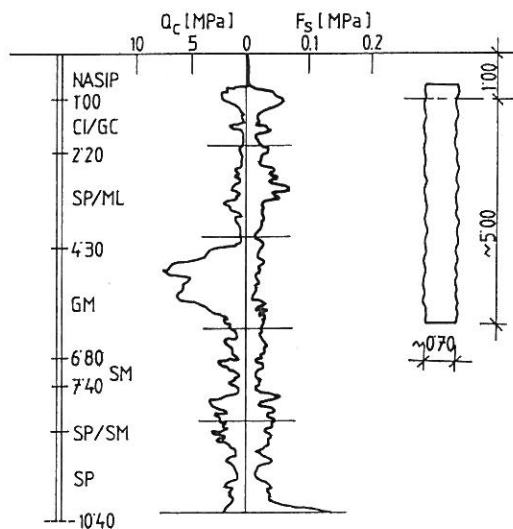
ZRMK Inštitut za geotehniko in ceste je v preteklih nekaj letih izvršil številne laboratorijske in terenske preiskave za ugotavljanje uporabnosti metode "jet grouting" na slabo nosilnih tleh.

Nekaj teh podatkov in izkušenj je opisanih v nadaljnjem besedilu

## OBREMENILNA PREIZKUŠNJA "JET GROUTING" SLOPA NA PREHODNEM OBMOČJU V LJUBLJANSKO BARJE

Za prehodno območje v Ljubljansko Barje so značilne menjajoče se plasti drobnih peskov, meljev, meljastih glin

in tudi tanjših plasti rahlega proda. Na sliki 1 je prikazana tipična sestava tal na tem območju z diagramom statične penetracije.



Slika 1: Sestava tal na obrobju Barja

V tem terenu smo izdelali "jet grouting" slop dolžine 5,00 m. Premer slopa je znašal okrog 0,70 m pri vrhnjem odkopanem delu slopa. Slop smo zainjektirali z injekcijsko maso iz cementne suspenzije s posebnim dodatkom BEPET. S tem smo dosegli manjšo prostorninsko težo stabilizirane zemljine. Rezultati raziskav injekcijske mase BEPET so prikazani v člankih (Battellino, Petkovšek 1991) in (Battellino, Kobetič 1992). Na sliki 2 je prikazan slop med poskusnim obremenjevanjem.

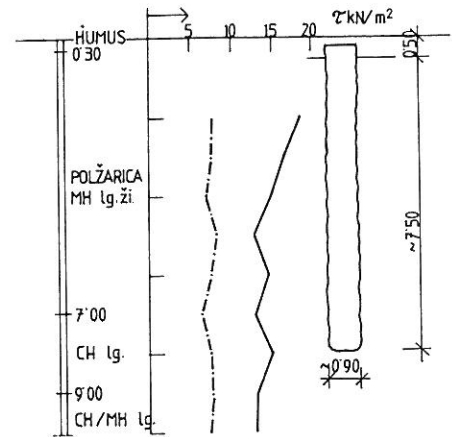


Slika 2: Slop med poiskusnim obremenjevanjem

Poiskusno obremenitev smo izvajali po postopku opisanem v predlogu mednarodnega standarda ISSMFE. Odločili smo se za razmeroma hiter potek obremenjevanja slopa tako, da je bila preiskava končana v enem delovnem dnevu. Rezultati te preiskave so prikazani na sliki 3. Iz diagrama na sliki 3 je vidno, da pri osni sili 1000 kN na slop še ni bila dosežena porušitev. Tako nosilnost smo dosegli zaradi prodnate plasti na globini 4,30 m do 6,30 m z izrazito večjim odporom prodiranja konice (Qc) statičnega penetrometra. Preiskavo smo prekinili pri obtežbi 1000 kN zaradi omejene zmogljivosti hidravličnega bata.

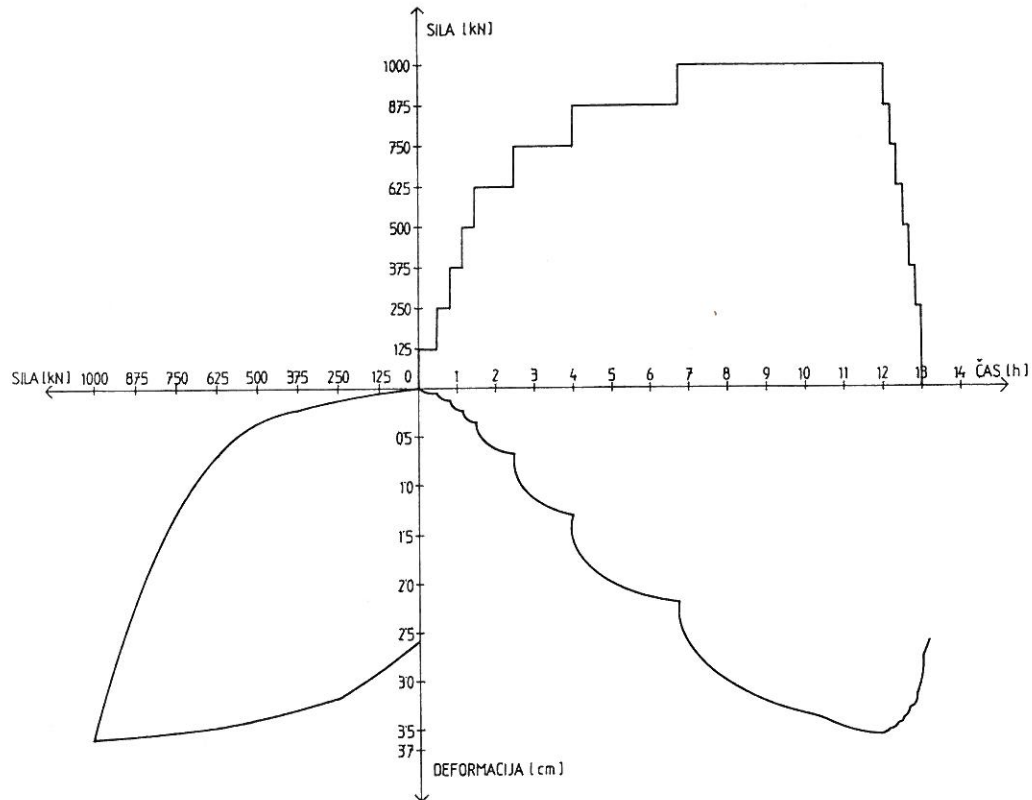
### OBREMENILNA PREIZKUŠNJA TRENJSKEGA "JET GROUTING" SLOPA NA TIPIČNIH BARJANSKIH TLEH

Za preizkus smo izbrali območje križanja Peruzzijske ceste in južne obvoznice v Ljubljani. Tu imamo namreč dokaj obsežen fond geotehničnih podatkov. Na sliki 4 je prikazana tipična sestava tal na tem območju z rezultati merjenja nedrenirane strižne trdnosti s krilno sondo.



Slika 4: Tipična sestava tal na barju

Tu smo izdelali poizkusni slop dolžine 7,50 m. Uporabili smo injekcijsko maso - cementno suspenzijo z

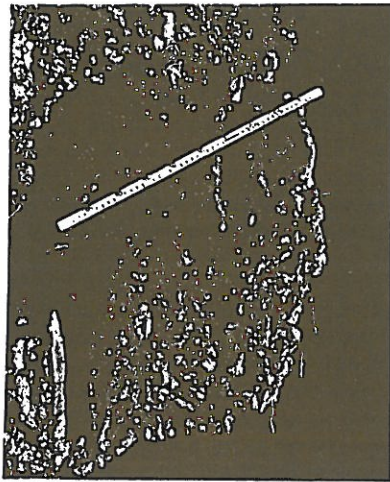


Slika 3: Diagram obremenilne preizkušnje slopa na prehodnem območju na Ljubljanskem barju



dodatkom ALPET. S tem smo zmanjšali prostorninsko težo stabilizirane zemljine do 20 % glede na naravno zemljino. Preiskave injekcijske mase so podrobno opisane v člankih (Battelino, Petkovšek 1991) in (Battelino, Kobetič 1992).

Na sliki 5 je prikazan izgled slopa v polžarici (vrhnji del 1,5 m). Viden je slop premera okrog 0,90 m precej nepravilne valjaste oblike.



Slika 5: Izgled slopa v polžarici

Poiskusno obremenitev tega slopa smo izvajali na enak način kot pri predhodnem slopu. Obtežbo na slop smo nanašali s pomočjo hidravličnega bata v stopnjah po 30 kN.

Na sliki 6 je prikazan potek obremenilne preizkušnje.

Vidno je, da je prišlo pri osni sili 300 kN do porušitve slopa v geomehanskem smislu.

Nosilnost trenskega "jet grouting" slopa dolžine 7,50 m je približno šestkrat večja od nosilnosti lesenega pilota.

Na lesenem trenjskem pilotu dolžine 6,90 m  $\phi$  22 cm smo namreč pred leti dosegli porušitev pri obtežbi 50 kN (Fašalek 1986).

Nanašanje obtežbe na slop je bilo za malo prepustna barjanska tla razmeroma hitro.

#### OPAZOVANJE POSEDANJA NA "JET GROUTING" SLOPIH TEMELJENEGA OBJEKTA

V letu 1989 smo z metodo "jet grouting" sanirali temelje stare stavbe ob Ljubljani, ki se je neenakomerno posedala. Način sanacije je opisan v članku (Battelino, Fašalek 1990). Neenakomerno posedli zidovi so bili podprti s poševnimi trenjskimi "jet grouting" slopi dolžine 7,00 m v cik cak razporedu.

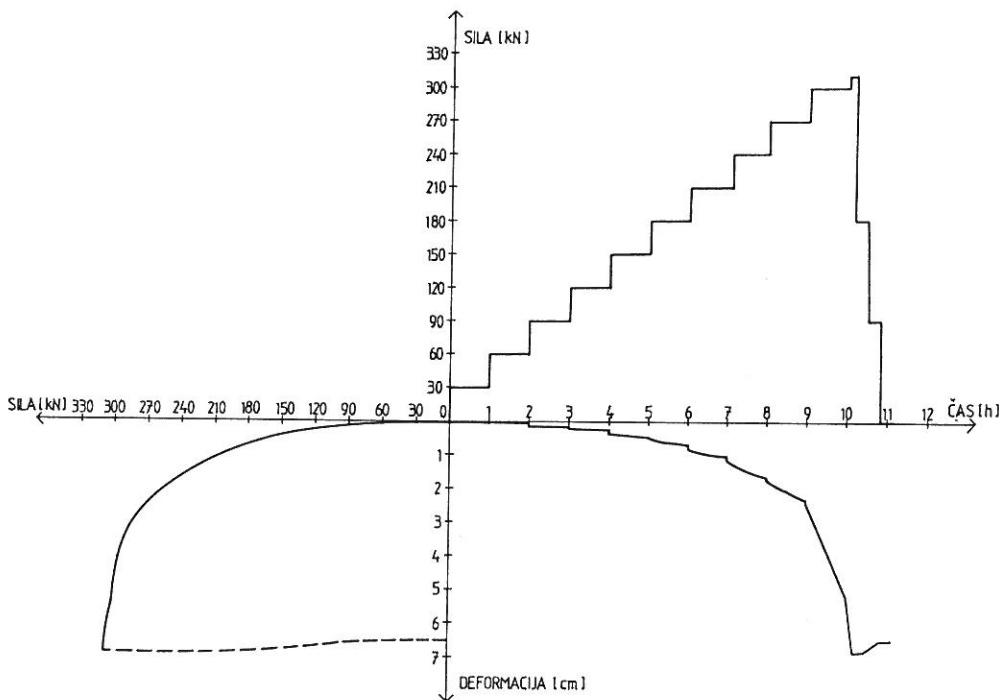
Na sliki 7 so prikazani rezultati meritev posedanja dveh karakterističnih reperjev na fasadni steni proti Ljubljani.

Vidno je, da sta se reperja pred sanacijo posedala s konstantno hitrostjo. Med sanacijo se je objekt občutno dodatno posedel (okrog 14 mm).

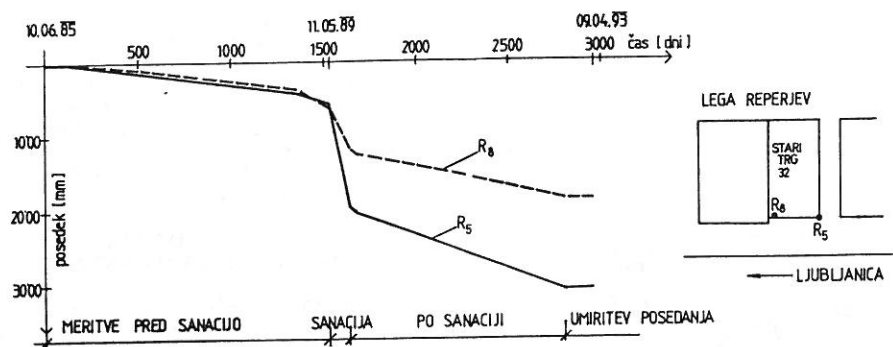
Ti dodatni posedki med sanacijo z "jet grouting-om" v glinastih tleh so pogost pojav, ki je znan tudi iz tujih izkušenj. Po sanaciji je sledilo razmeroma dolgo posedanje s konstantno hitrostjo, ki se je po slabih treh letih končno umirilo. To posedanje po sanaciji nas je nekoliko presenetilo.

Možna je sledeča razlaga tega pojava:

Pod trenjskimi "jet grouting" slopi je ostalo še cca 7,00 m stisljivih tal. Obtežbo od zidov smo prenesli v še vedno stisljiva tla. Poleg tega je potrebno upoštevati še prostorninsko težo slopov, ki je v tem primeru večja od prostorninske teže okolne zemljine. Vse to je prispevalo k tem dodatnim posedkom. V tem primeru bi bilo bolje uporabiti injekcijsko maso z dodatkom za zmanjšanje prostorninske teže ali pa slope podaljšati do nestisljivih tal.



Slika 6: Diagram obremenilne preizkušnje trenjskega slopa na tipičnih barjanskih tleh



Slika 7: Diagram posedanja objekta Stari trg 32, v Ljubljani.

Zaradi več razlogov (denacionalizacija i.t.d.) ta objekt še ni v celoti saniran tako, da posedanje po sanaciji temeljev ne bo povzročilo dodatnih sanacijskih stroškov.

#### ZAKLJUČEK

- Metodo "jet grouting" je možno uspešno uporabiti za temeljenje in sanacijo temeljenja objektov na slabo nosilnih tleh.
- Pri sanacijskih delih s to metodo je potrebno zelo pozorno proučiti stranske učinke med sanacijo, dodatno posedanje in vpliv le tega na objekt. Zelo pomembna je izbira ustrezne globine temeljenja stopenj.
- Zelo spodbudni so rezultati obremenilne preizkušnje trenjskega stropa na tipičnih barjanskih tleh. Te preiskave bi bilo potrebno dopolniti še z bolj dolgotrajnimi obremenilnimi preizkušnjami.
- Pri trenjskih stropih je ugodna uporaba dodatkov v injekcijski masi, ki zmanjšujejo prostorninsko težo stabilizirane zemljine stropa.
- Med injektiranjem pride v malo propustnih glinastih tleh do prelivanja injekcijske mase iz vrtine. Ta izguba mase znaša 10 - 15 % in lahko slabo vpliva na okolico, če ni ustrezno urejeno gradbišče.
- Pomembno je sistematično zbiranje vseh terenskih in laboratorijskih podatkov. Le z dobrim fondom podatkov, praktičnimi terenskimi izkušnjami in ustreznimi geotehničnimi izračuni je možno najti optimalno rešitev temeljenja z metodo "jet grouting"

#### LITERATURA

- D.Battelino, M.Fašalek (1990) Možnost uporabe metode "jet grouting" v gradbeništvu Gradbeni Vestnik 12/1990
- D.Battelino, A.Petkovšek, F.Vidic, V.Štrucl (1991) Leichte Pfähle 6. Christian Veder Koloqium Graz, April 1991
- D.Battelino, A.Petkovšek, L.Kobetič (1992) Bodenstabilisierung durch leichte Materialien Geotechnis 15 1992 Deutschen Gesellschaft für Erd und Grundbau
- M.Fašalek (1986) Temeljenje na slabo nosilnih tleh. Raziskovalna naloga št. 06-2685-227-86, ZRMK 1986.