

Branko PROKOP
mag., dipl.gradb.inž., Gradbeni inštitut ZRMK, Ljubljana

UPORABA JET-GROUTING TEHNOLOGIJE PRI IZVEDBI MASIVNE PODPORNE KONSTRUKCIJE

POVZETEK: V praksi se stabilizirana zemljina po postopku JET GROUTING pogosto upošteva samo kot kompozit zemljina-injekcijska masa z izboljšanimi mehansko fizikalnimi karakteristikami.

Z ustrezno razporeditvijo injekcijskih vrtin, armiranjem jeder pilotov, nastalih z injektiranjem, in njihovim povezovanjem lahko ustvarimo v zemljini močne podporne konstrukcije.

THE USE OF JET-GROUTING IN THE CONSTRUCTION OF A RETAINING WALL

SUMMARY: Jet grouting is most frequently used to stabilize ground so that it becomes a composite mixture of soil and grout, with improved mechanical-physical properties.

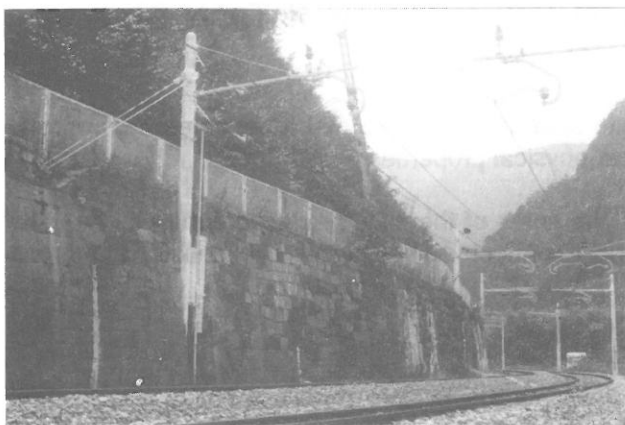
If, however, the bore-holes are suitably arranged, the cores of the piles produced during jet grouting are reinforced, and the piles are suitably structurally connected, it is possible to construct a strong retaining wall in the ground.

SPLOŠNO

Na odseku od km 511,170 - 511,330, med Rimskimi Toplicami in Laškim poteka železniška proga Zidani Most - Šentilj delno v nasipu večinoma pa v mešanem profilu. Nasip je prislonjen k vznožju srednje strmega do zelo strmega pobočja. Na pobočni strani je bila zaledna brežina varovana s kamnitim zidom višine 4,0 - 4,5 m.

Zid je bil zidan iz trdnega, zdravega, gosto zloženega kamna v apneni malti. Poškodbe na zidu so bile vidne v obliki manjših in večjih razpok, izrivanja posameznih kamnitih blokov in trebušenja zidu, tako da je ta že pritiskal na drogove elektrovodne vozne mreže (sliki 1 in 2).

Nad progo, tik za zidom, poteka lokalna cesta Rimske Toplice - Laško. Cesta je makadamska in je bila brez odprtih kanalet ali zaprtih drenaž za odvod površinske vode. Na pobočni strani je cesta varovana z nizkim, približno 1,5 m visokim zidom.



Slika 1. Pogled na star kamnit zid.



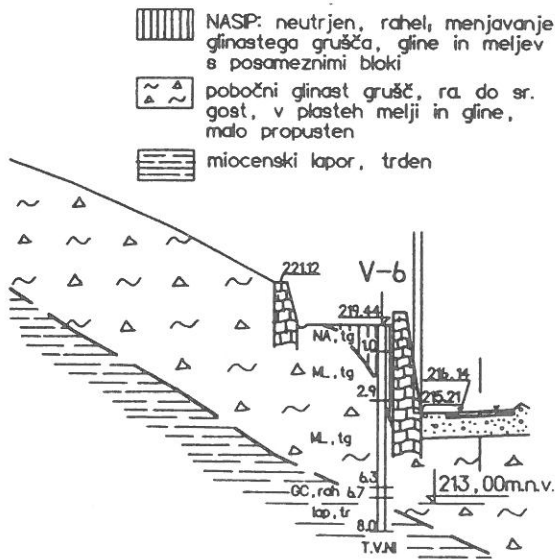
Slika 2. Večja razpoka v kamnitem zidu.

GEOLOŠKO-GEOMEHANSKE RAZMERE

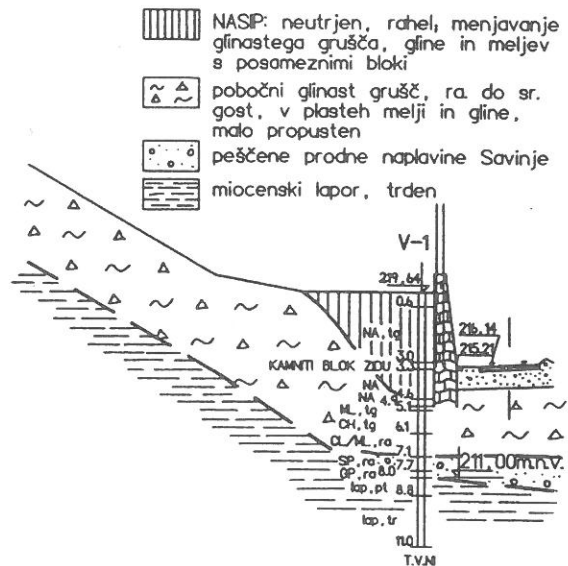
Na ožjem raziskanem območju je geološka zgradba terena naslednja:

- Trdno podlago gradi na celotnem območju siv miocenski lapor, trden, nejasno plastovit, s prehodi v meljevec. Trdna laporna podlaga pada strmo v smeri proti strugi Savinje. Nagib pobočja nad cesto je približno enak naklonu trdne laporne podloge. Trdna podlaga se na mestu opornega zidu ne pojavlja na enaki globini, temveč sledi konfiguraciji terena. V osrednjem delu z zidom varovanega pobočja (med km 511,210 - 511,290) se podlaga dvigne na koto 214 - 215,5 m n.v., v začetnem in končnem delu zidu pa se poglobi na koto 213 oz. 211 m n.v. (sliki 3 in 4).
- Na trdni laporni podlagi ležijo v ravninskem delu pod progo mladi, slabo uležani sedimenti Savinje, ki se v območju km 511,300 - 511,340, to je na koncu zidu v smeri proti Laškem, pojavljajo tudi v neposrednem vplivnem območju zidu.
- Na pobočju je trdna laporna podlaga prekrita z 0,5 m (strmo pobočje v osrednjem delu) do 4,3 m (položno in srednje strmo pobočje na začetnem in končnem delu) debelim pokrovom, ki ga gradijo melji, glinje in glinasto gruščnate preperine laporja v težko gnetni konsistenci oz. srednje gosti sestavi.
- Na cesti je za zidom izveden zasip po celotni dolžini zidu. Materiali v zasipu za zidom so rahli do zelo rahli, neuležani, po sestavi zelo heterogeni, prevladujejo glineno meljne in glinasto gruščnate zemljine.

- Talna voda se v vplivnem območju zidu ne pojavlja. Zaradi širokega zbirnega zaledja, vode v obliki solzajev oz. kot pobočne precedne vode gravitirajo proti Savinji po nekoliko propustnejši preperini nad nepropustno laporno podlago.



Slika 3. Prečni geološki profil P1-začetek zidu



Slika 4. Prečni geološki profil P2-konec zidu.

IZVEDENE ANALIZE

V stabilnostnih analizah in analizah zemeljskih pritiskov smo upoštevali fizikalno mehanske karakteristike temeljnih tal dobljenih iz rezultatov terenskih in laboratorijskih preiskav:

Trdna, predkvartarna skalna podlaga

- vrsta hribine: miocenski lapor,
- prostorninska teža: $\gamma = 23.0 - 24.0 \text{ kN/m}^3$,
- enosna tlačna trdnost: $q = 10.0 \text{ MN/m}^2$,
- modul stisljivosti: praktično nestisljiv,
- modul elastičnosti: $E = 1 \text{ do } 2 \times 10^4 \text{ MN/m}^2$,
- obstojnost: slabo obstojen v odprtih brežinah, prepereva.

Preperel lapor, poltrden - trden

- prostorninska teža: $\gamma = 21.0 - 23.0 \text{ kN/m}^3$,
- enosna tlačna trdnost: $q = 5.0 \text{ MN/m}^2$,
- modul stisljivosti: praktično nestisljiv,
- obstojnost: neobstoje v odprtih brežinah tudi v kratkih časovnih obdobjih.

Preperinski pokrov nad laporno podlago - pobočni glinasti in glineno- gruščnati materiali

- vrsta zemljine: -GC-ML/CL- meljnopesčen in glinast grušč, s plastmi težkognetnega melja in vložki gline,
- prostorninska teža: $\gamma = 19.0 \text{ do } 20.0 \text{ kN/m}^3$,
 $\gamma_d = 15 - 17 \text{ kN/m}^3$,
- strižna trdnost: $\phi = 25^\circ - 27^\circ$; $c = 0.0 \text{ kN/m}^2$,

- modul stisljivosti:

$$M_v = 10 \text{ MN/m}^2$$

Zasip za zidom

- vrste zemljin:

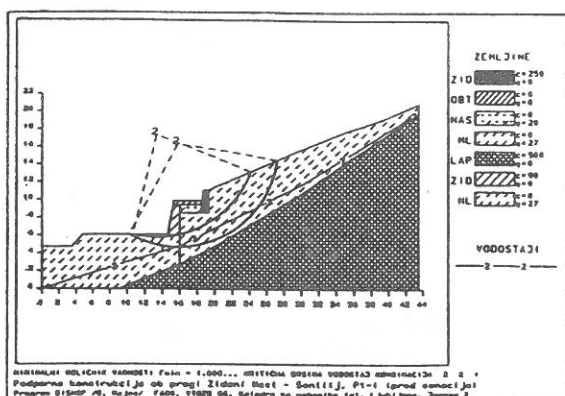
meljne glinice in melji v srednje do težko gnetni konsistenci, glinasti grušč v zelo rahlem do rahlem stanju, porozni, glinasto vezivo vlažno,

- karakteristike zemljin za zidom:

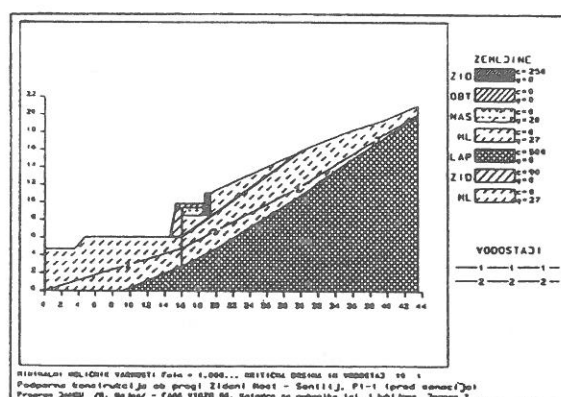
$$\gamma = 17.0 - 18.0 \text{ kN/m}^3,$$

$$\varphi = 18^\circ - 20^\circ ; c=0.0 \text{ kN/m}^2.$$

Preverjena je bila ustreznost izbranih strižnih karakteristik za vrhni preperinski sloj [3]. Izvedene stabilnostne analize po postopkih Bishopa za krožne in Janbuja za poligonalne drsine dokazujejo, da je $\varphi=27^\circ$ ob nični koheziji ustrezna vrednost. Obe analizi dajeta za kritično drsino varnosti $F=1.008$ (sliki 5 in 6), kar ustreza stanju na terenu, saj je zaradi poškodb zidu bilo očitno, da je pobočje bilo v stanju mejnega ravnotežja.



Slika 5. Kritična krožna drsina po Bishopu.



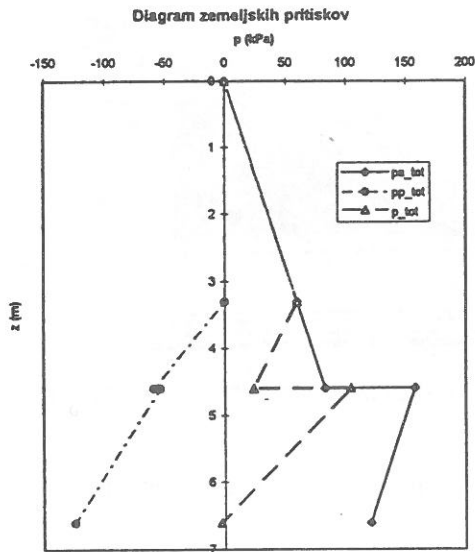
Slika 6. Kritična poligonalna drsina po Janbujju.

Za statično presojo podporne konstrukcije je bilo potrebno najprej določiti silo zemeljskih pritiskov nanj. Ker je bil v konkretnem primeru naklon pobočja ($\beta=22^\circ$) večji od mobiliziranega strižnega kota zemljine ($\varphi_m=21.4^\circ$) pri varnosti $F=1.3$, so bili zemeljski pritiski izračunani po metodi ekstrema [4]. Izračun je bil opravljen s pomočjo računalniškega programa ZEMPRI [5].

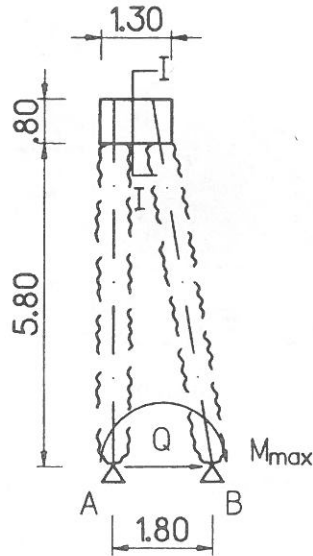
Izbrana podporna konstrukcija, zgrajena iz armiranih JET GROUTING pilotov, povezanih z močno AB vezjo in AB oblogo, je bila dimenzionirana na aktivne zemeljske pritiske izračunane s strižnim kotom $\varphi=27^\circ$ pri varnosti $F=1.3$ in na pasivne zemeljske pritiske izračunane s strižnim kotom $\varphi=30^\circ$ pri varnosti $F=1.5$ (slika 7).

Na privzetem statičnem modelu (slika 8) so bile potrebne sile vpetja in vse notranje količine izračunane z računalniškim programom OKVIR. Zaradi velikega konzolnega momenta ($M_{max}=718.9 \text{ kNm/m}$) smo morali tlorisno zamaknjene pilote v treh vrstah (slika 9) prečno razporediti pahljačasto (slika 10) tako, da notranja vertikalna vrsta pilotov oklepa z zunanjo kot 10° . Seveda pa je bilo potrebno za privzeti statični model, prikazan na sliki 9, ustrezno dimenzionirati podporo A in armirano betonsko pilotno vez. Pri sidranju natezne podpore A smo upoštevali poleg enačbe trenja po plašču tudi enačbo učinkovite sidrne dolžine armature. Piloti srednje vrste (pod kotom 85°) v tem izračunu niso upoštevani in predstavljajo kot polnilo med notranjimi in zunanji piloti dodatno varnost. Pri tlačni podpori B je bilo potrebno izkazati, da so tlačne napetosti nižje od

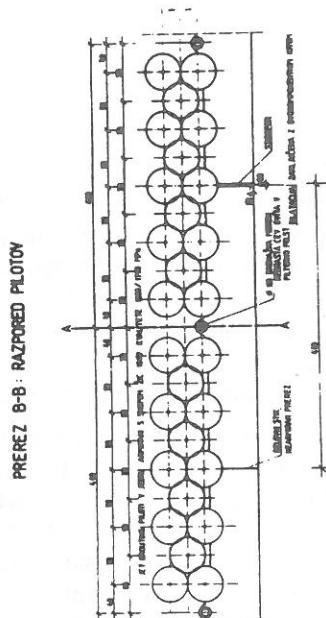
dopustnih napetosti za lapor in od zahtevane tlačne trdnosti kompozita injekcijska masa-zemljina ($\sigma_{tla} \geq 10 \text{MPa}$).



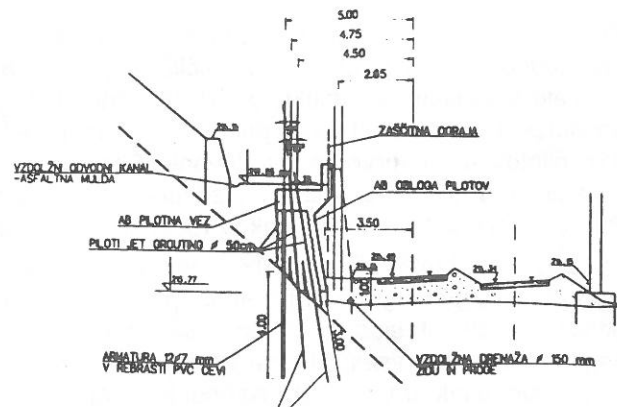
Slika 7. Diagram zemeljskih pritiskov.



Slika 8. Statični model.



Slika 9. Tlorisni razpored pilotov.



Slika 10. Karakteristični prerez podporne konstrukcije.

Na koncu je bila preverjena še stabilnost saniranega stanja (sliki 11 in 12).

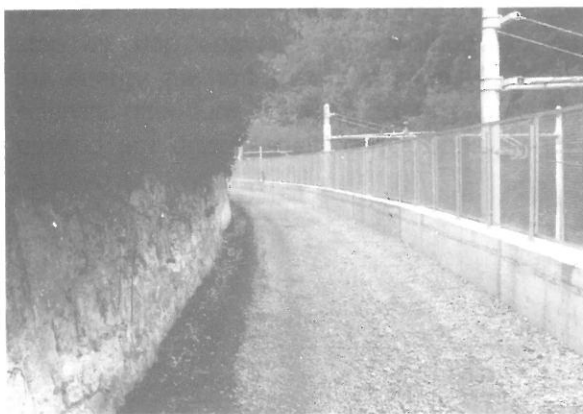
Za izbrano gostoto pilotov premera 50cm (3kom/1.0m) je izkazana varnost globokih drsin $F \geq 1.3$ šele pri vrednosti strižne trdnosti kompozita $\tau_{komp} = 180 \text{kPa}$. Z enosnimi tlačnimi preiskavami valjastih

- Pred betonažo gred in obloge se je glave pilotov odsekalo in površino zunanjih odkopanih pilotov dobro očistilo od slabo zainjektirane zemljine, da se je zagotovil potreben sprjem in debelina armiranobetonske obloge (sliki 13 in 14).

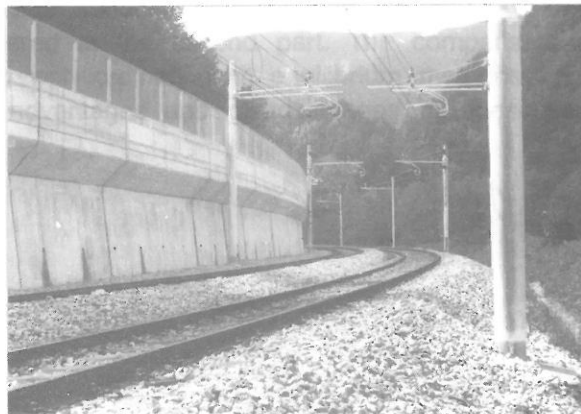


Sliki 13 in 14. Rušenje starega zidu in čiščenje površine pilotov.

Z vertikalnimi drenažnimi raudril cevmi $\phi 100\text{mm}$ in barbakanami $\phi 110\text{mm}$ (izdelanimi simetrično glede na delovne stike, v enaki višini kot so iztoki vertikalnih drenaž) je zagotovljeno vertikalno dreniranje zaledne vode v vzdolžno vkopano drenažo (raudril cev $\phi 150\text{mm}$) med pilotno steno in desnim tirom (slika 10), površinske vode pa se s ceste oddvaja po asfaltni muldi (slika 15) z minimalnim padcem proti Rimskim Toplicam skozi cevni propust $\phi 400\text{mm}$ na koncu stene in naprej po betonskih kanaletah v obstoječi železniški jarek. Zaradi možnosti izrabe vkopane vzdolžne drenaže ob progi smo poenostavili celotno odvodnjavanje, seveda pod pogojem, da se s tem ni zmanjšala njegova učinkovitost.



Slika 15. Pogled na krono novega zidu s ceste.



Slika 16. Pogled na novi zid s proge.

- Po zabetoniranju vseh kampak zidu se je na betonski kroni zidu montiralo novo zaščitno kovinsko ograjo zaradi bližine visoko napetostnega elektrovođa desnega tira.
- Vozna površina ceste s prečnim nagibom k notranjemu robu je izdelana v makadamski izvedbi (slika 15) na skomprimiranem zasipu, površina tampona pa je zaklinjena z materialom zrnivosti 0/8mm.

- Desni tir je bil na koncu v celoti obnoviti vključno z gramozno gredo (slika 16).

ZAKLJUČEK

Namen opisa projektirane in izvedene sanacije podporne konstrukcije, pri kateri se je star, dotrajan in močno deformiran kamnit zid zamenjalo z novo podporno konstrukcijo, zgrajeno iz armiranih JET GROUTING pilotov, povezanih z močno AB vezjo in AB oblogo, je prikazati dodatno možnost uporabe in obravnave injektiranih zemljin po postopku JET GROUTING, to je, da z injektiranjem pod visokimi pritiski ustvarjeni kompozit zemljina-injekcijska masa lahko v določenih primerih obravnavamo tudi kot sestavni konstruktivni element trajnih AB podpornih konstrukcij. To je zelo pomembno, saj JET GROUTING tehnologija lahko v primeru, kot je opisani, ponuja za investitorja edino sprejemljivo rešitev, v številnih primerih pa kot alternativna varianta drugim tehnologijam predstavlja cenejšo in okolju bolj prijazno rešitev.

VIRI IN LITERATURA

- (1) Prokop, B. (1994). PROJEKT: Sanacija podpornega zidu proge Zidani Most - Šentilj v km 511+200/400. ZRMK Ljubljana, Ljubljana.
- (2) Petkovšek, A. (1992). POROČILO o preiskavi tal za opornim zidom na progi Zidani Most - Šentilj v km 511+170/330. ZRMK Ljubljana, Ljubljana.
- (3) Majes, B., Logar, J. (1994). POROČIL o pregledu projekta: Sanacija podpornega zidu proge Zidani Most - Šentilj v km 511+200/400. FGG Univerze v Ljubljani, Ljubljana.
- (4) Majes, B., Logar, J. (1994). Potrebne terenske, laboratorijske in numerične raziskave za uspešne, varne in ekonomične sanacije plazov. Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, Idrija, Zbornik posvetovanja, str.119-128.
- (5) PULKO, B., MAJES, B., LOGAR, J. (1992). Numerični račun velikosti in razporeditve zemeljskih pritiskov v večslojnih tleh. Zbornik 6. seminarja Računalnik v gradbenem inženirstvu, 120-127, Ljubljana.