

Damir ČORKO

mr.sc., dipl.ing.građ., "CONEX" d.o.o. Zagreb, Kalinovica 3

Božica MARIĆ

mr.sc., dipl.ing.građ., "CONEX" d.o.o. Zagreb, Kalinovica 3

Davorin LOVRENČIĆ

dipl.ing.građ., "CONEX" d.o.o. Zagreb, Kalinovica 3

Ingrid TOMAC

dipl.ing.građ., "CONEX" d.o.o. Zagreb, Kalinovica 3

## **PRIMJENA MLAZNOG INJEKTIRANJA KOD SANACIJE KLIZIŠTA**

**SAŽETAK:** U radu je prikazana primjena mlaznog injektiranja kod sanacije klizišta koje se pojavilo nakon što su započeti radovi iskopa zasjeka za potrebe formiranja platoa hale tvornice prirodne vode u Apatovcu kraj Križevaca. Pokrenuta je masa tla u količini od cca 100 000 m<sup>3</sup>. Podaci o geotehničkim karakteristikama tla (kako onih prethodnih istraživanja, tako i onih naknadno provedenih) nisu ukazivali na stvaran uzrok nastanka klizišta. Klizna ploha dosta detaljno je snimljena bušotinama s ugrađenim inklinometrima. Ukupan horizontalni pomak kliznog tijela u nekoliko tjedana iznosio je preko 4,0 m, a vertikalni pomak u glavi klizišta je bio preko 2,0 m. Kako se nije moglo postići ni privremeno umirenje klizišta, nije se moglo pristupiti ni izvedbi bilo kakove konstrukcije za stabilizaciju klizišta niti nastaviti s građenjem hale.

Na koncu se odlučilo da se klizna ploha presiječe nizom stupova izvedenih mlaznim injektiranjem. Izvođenje stupova bilo je kampadno u smislu da se kretalo od relativno stabilnih dijelova klizišta ka nestabilnijima. Radovi su se paralelno odvijali u zoni nožice klizišta i u njegovoj središnjem dijelu. Vrlo brzo se pokazali pozitivni rezultati. Kako se u pojedinoj kampadi izvelo mlazno injektiranje tako se umirilo tlo i u susjednom dijelu, i rad se mogao nesmetano nastaviti.

## **APPLICATION OF JET GROUTING IN SLIDE REMEDIATION**

**ABSTRACT:** In this paper is shown the application of jet grouting technique in land-sliding remediation, that appeared right after the beginning of excavation works for the natural water plant hall plateau in the site Apatovac near Križevci town. About 100 000 m<sup>3</sup> of soil mass has started to move. Geomechanical data on soil characteristics (neither previous nor subsequent investigations) have not shown the actual cause of the landslide creation. The sliding slope has been investigated in details by drilling wells with built-in inclinometers. Total horizontal shift of the sliding mass during several weeks was more than 4.0 m, and vertical shift in the slide top exceeded 2.0 m. As even temporary arrest of the sliding could not have been achieved, neither the construction of the usual remediation structures nor the water plant building structure could be built on the location of the sliding mass.

Finally, it was decided to intersect the sliding slope by execution of jet grouting columns. The columns were executed in sections, starting from the relatively stable parts of the slide towards more unstable ones. The works proceeded at the same time in the slide bottom zone and in its central part. Positive results have been obtained quite soon. The completion of jet grouting columns in one section resulted in soil stabilization in the neighboring zone and the works followed without interruptions.

## UVOD

Mlazno injektiranje je u Hrvatskoj u stalnoj primjeni nešto više od 10 godina. Pored tvrtke Conex koja jedina kod nas koristi tu tehnologiju, u nekoliko navrata su radove mlaznog injektiranja izvodile i neke strane firme. U dosadašnjoj praksi pokazalo se da se mlazno injektiranje najčešće koristilo u svrhu zaštite iskopa građevinskih jama. Slijedeće po učestalosti je bila primjena mlaznog injektiranja kod temeljenja građevina. Pored nekoliko slučajeva tzv. "underpininga" nije bilo nekih drugih značajnijih primjena. Izuzetak u tom smislu je nedavni primjer korištenja mlaznog injektiranja kod sanacije klizišta.

Klizište se pojavilo nakon što su započeti radovi iskopa zasjeka za potrebe formiranja platoa hale tvornice prirodne vode u Apatovcu kraj Križevaca. Pokrenuta je masa tla u količini od cca 100 000 m<sup>3</sup>. Ukupan horizontalni pomak kliznog tijela u nekoliko tjedana iznosio je preko 4.0 m, a vertikalni pomak u glavi klizišta je bio preko 2.0 m.

Premještanjem tla (rasterećenje gornjeg dijela i opterećenje nožice klizišta), te izvedbom bušenih drenova pokušalo se bar privremeno stabilizirati klizište kako bi se moglo pristupiti izvedbi neke konstrukcije koja bi omogućila izgradnju predviđene hale. Doduše smanjena je brzina klizanja, ali je ono promijenilo smjer za cca 45° u odnosu na prvobitni.

Sama hala tlocrtno je oblika slova "L", a projektirana je tako da je jedan krak temeljen na nivou podignutom za 10 m u odnosu na ostali dio hale. Na toj denivelaciji trebao se izgraditi vertikalni (potporni) zid visine 10 m. Pozicija tog zida bila je unutar klizišta pa je to dodatno otežalo situaciju.

## OSNOVNI PODACI O TLU

Istražni radovi pokazali su da u zoni izvedbe pokosa možemo očekivati slijedeće slojeve tla.

1. Površinski sloj debljine 2,0 do 3,0 m - pjeskovite teškognječive gline - pokrovni materijal
2. Slijedi sloj debljine 3,0 do 15,0 m - glina s utruscima teškognječivog konzistentnog stanja
3. Stijena podloge - tufični prah dobro zbijen

Ostali nabušeni slojevi bili su mjerodavni za temeljenje hale. Izuzetak je bio sloj dijabaza koji se mogao očekivati na perifernom dijelu zasjeka.

Podzemna voda registrirana je samo sporadično (nešto kao leće tla s vodom), a smatralo se da bi se ona mogla pojaviti na kontaktu stijena tlo.

## OPIS KLIZIŠTA

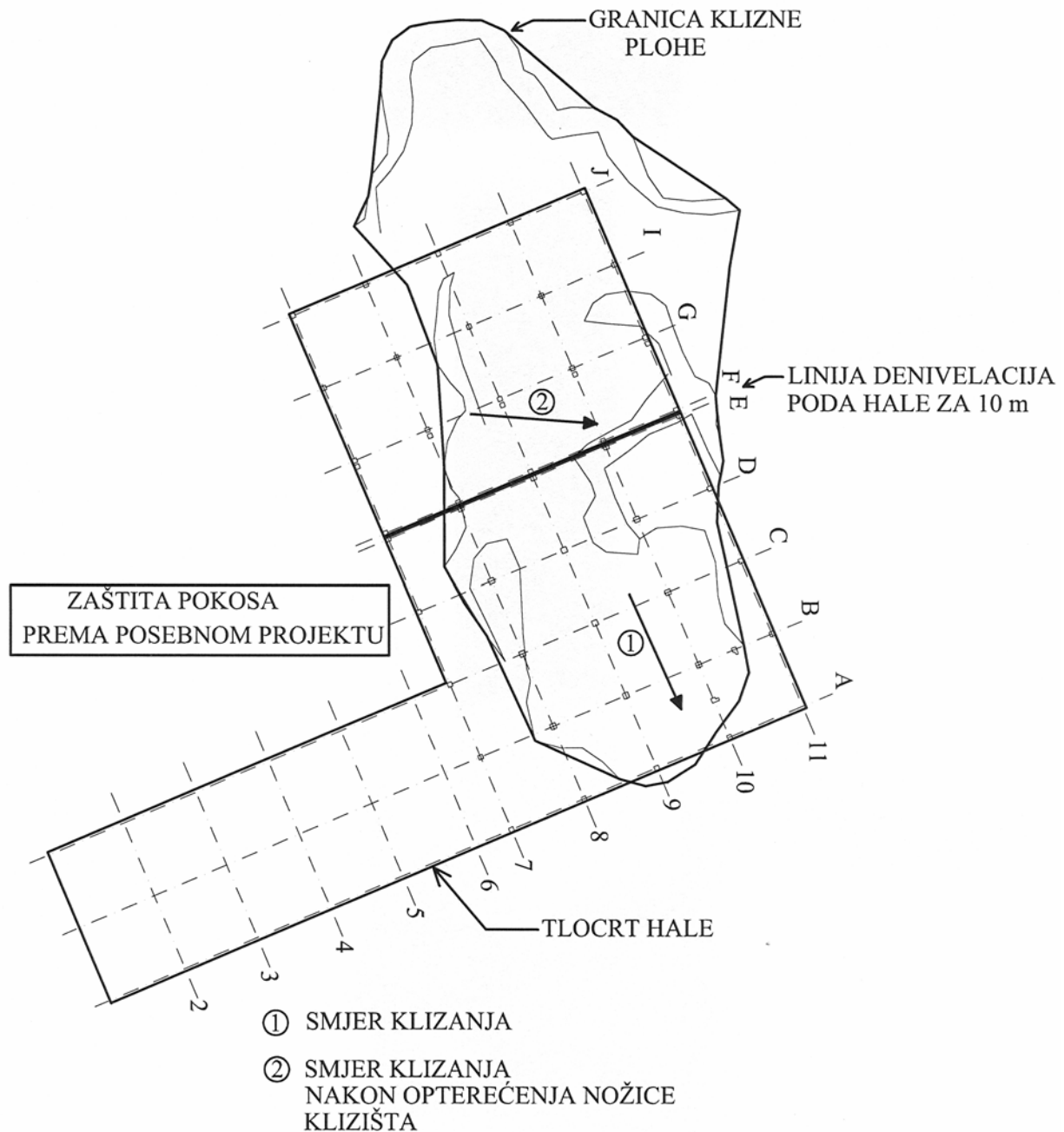
Na Slici 1. prikazan je tlocrt hale s ucrtanim klizištem, dok je na Slici 2. ucrtan presjek terena u vrijeme pojave klizanja s ucrtanom kliznom plohom. Geometrija klizišta (kao i pomaci) je bila geodetski snimana redovito svakog dana, tako da se točno moglo pratiti što se događa. Položaj klizne plohe detaljno je utvrđen inklinometarskim bušotinama. Ovo su bili dragocjeni podaci za konačno rješenje problema.

Površina klizišta iznosila je cca. 3500 m<sup>2</sup>, jajastog oblika, a na najdubljem dijelu klizna ploha je bila 10 m ispod nivoa terena. Pokazalo se da je klizište oblika jajeta bilo s bokova omeđeno čvršćim slojevima tla (stijena i tufični slojevi), a na dijelu gdje se masa izdizala od okolnog terena moglo se zaključiti da se klizanje javlja po jednom vrlo tankom glinovitom sloju dosta vlažnom koji se tako tanak istražnim bušenjem nije mogao utvrditi. Zapravo je taj sloj konstatiran samo djelomice tako da se samo naslućuje da je on uzrok klizanja.

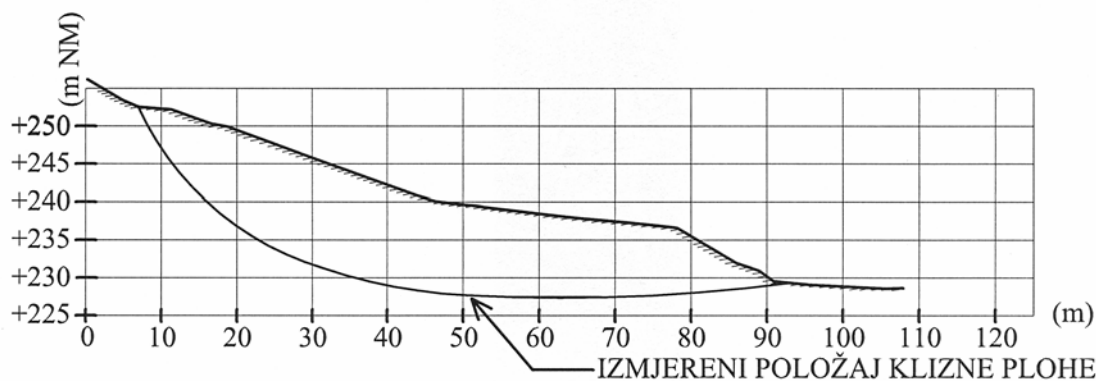
U prvom momentu se klizište pokušalo stabilizirati prebacivanjem materijala tla s gornjeg u donji dio klizišta. Pokazalo se da je to neefikasno, jer su se počele pojavljivati nove klizne plohe koje su se isklinjavale u zoni prije nasutog materijala u nožici. Nakon što je i ta nova nožica otežana

nasipavanjem, klizanje je promijenilo smjer i novi pomaci su bili zakrenuti i za više od  $45^\circ$  u odnosu na prvobitni smjer. Ovalni oblik terena pogodovao je u tom smislu.

Izvedba bušenih drenova u zoni skoka građevine nije se pokazala efikasnom. Smo na jednom od njih se pojavila neke značajnija količina vode, a još nekoliko njih vlažilo. Klizanje ni njihovom izvedbom nije bilo zaustavljeno.



**Slika 1.** Tlocrt hale s označenim klizištem



Slika 2. Presjek kroz klizište.

Obzirom na poznatu kliznu plohu bilo je moguće tzv. povratnom analizom utvrditi parametre otpora smicanja tla kod kojih je uopće i moguća pojava klizanja (barem u smislu računskih analiza). Obzirom da se radilo o koherentnom tlu nije se račun mogao napraviti jednoznačno. Varirale su se vrijednosti kuta unutarnjeg trenja i kohezije dok se nisu dobili faktori sigurnosti veličine cca 1,0. Pokazalo se da su tako određeni računski parametri smicanja daleko manji od onih određenih prethodnim geomehaničkom istražnim radovima, i to znatno manji. U Tablici 1. dan je prikaz variranja parametara otpora smicanja tla, te vezano za to i faktor sigurnosti klizne plohe.

Tablica 1. Prikaz varijacije parametara otpora smicanja tla i pripadajućih faktora sigurnosti klizne plohe

C=30 kN/m <sup>2</sup>		C=25 kN/m <sup>2</sup>		C=20 kN/m <sup>2</sup>		C=15 kN/m <sup>2</sup>		C=10 kN/m <sup>2</sup>		C=5 kN/m <sup>2</sup>	
φ=24°	F <sub>s</sub> =1,808	φ=24°	F <sub>s</sub> =1,653	φ=24°	F <sub>s</sub> =1,497	φ=24°	F <sub>s</sub> =1,337	φ=24°	F <sub>s</sub> =1,160	φ=24°	F <sub>s</sub> =0,991
φ=22°	F <sub>s</sub> =1,727	φ=22°	F <sub>s</sub> =1,572	φ=22°	F <sub>s</sub> =1,416	φ=22°	F <sub>s</sub> =1,258	φ=22°	F <sub>s</sub> =1,082		
φ=20°	F <sub>s</sub> =1,647	φ=20°	F <sub>s</sub> =1,493	φ=20°	F <sub>s</sub> =1,338	φ=20°	F <sub>s</sub> =1,181	φ=20°	F <sub>s</sub> =1,006		
φ=18°	F <sub>s</sub> =1,569	φ=18°	F <sub>s</sub> =1,416	φ=18°	F <sub>s</sub> =1,261	φ=18°	F <sub>s</sub> =1,105	φ=18°	F <sub>s</sub> =0,931		
φ=16°	F <sub>s</sub> =1,487	φ=16°	F <sub>s</sub> =1,339	φ=16°	F <sub>s</sub> =1,186	φ=16°	F <sub>s</sub> =1,031				

Proračuni vezani za stabilnost rađeni su za pretpostavku cilindričnih kliznih ploha. Činjenično stanje dobro je odgovaralo toj pretpostavci.

## PRIKAZ RJEŠENJA SANACIJE PRIMJENOM MLAZNOG INJEKTIRANJA

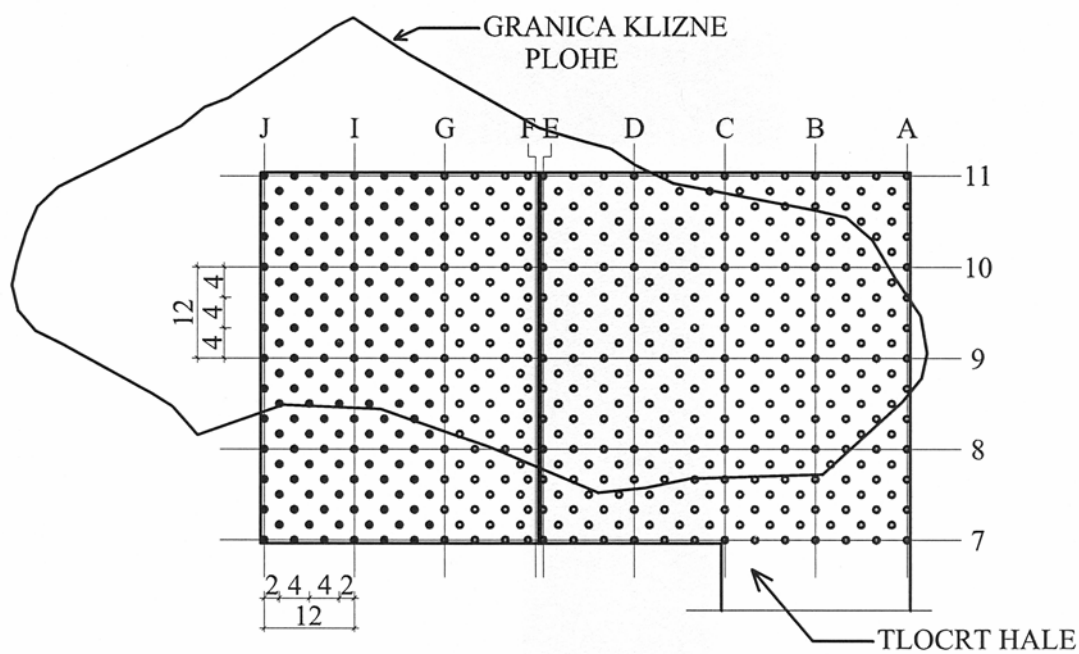
Nakon neuspjelog smirivanja (pa i privremenog) klizanja tla nekim od uobičajenijih načina, investitor je prihvatio rješenje sa primjenom mlaznog injektiranja. Zamisao je bila da se izvede niz mlaznoinjektiranih stupova tla koji bi presijecali kliznu plohu. Povećana čvrstoća tla na mjestima tih stupnjaka podigla bi faktor stabilnosti na zadovoljavajući nivo. Mlaznoinjektirani stupovi tla su tlocrtno pozicionirani u određenom šahovskom rasporedu.

Naravno i tu je postojao problem izvedbe mlaznog injektiranja dok je masa tla u pokretu. Rješenje je bilo da se stupovi izvode u tlocrtnim kampadama u smislu da se s izvedbom kretalo od relativno stabilnih dijelova klizišta (bočnih dijelova) ka nestabilnijim. Radovi su se paralelno odvijali u zoni nožice klizišta i u njegovoj središnjem dijelu. Tlo u tom središnjem dijelu klizišta je konačno trebao biti podignuto za 10,0 m - predviđena denivelacija poda prizemlja hale, ali zbog rasterećenja klizišta (ranije spomenutog pokušaja umirenja) bilo je privremeno otkopano i pokos gornje plohe terena bio je ublažen.

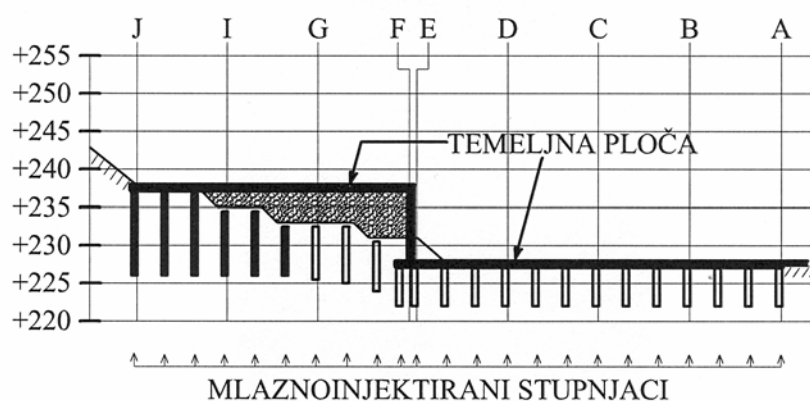
Ovakav rad vrlo brzo je pokazao pozitivni rezultat. Kako se u pojedinoj kampadi izvelo mlazno injektiranje tako se umirilo tlo i u susjednom dijelu, i rad se mogao nesmetano nastaviti po cijeloj površini klizišta.

Zona ojačanja klizišta mlaznim injektiranjem poklopila se sa površinom hale u tom dijelu gdje je prema osnovnom rješenju bilo predviđeno stupove hale temeljiti na armiranobetonskim pilotima velikog promjera. Kako bi se dosta skup zahvat izvedbe mlaznog injektiranja racionalizirao to su mlazno injektirani stupnjaci bili prilagođeni i ojačanju tla u funkciji temeljenja buduće tvorničke hale. U konačnosti otpali su piloti.

Na Slici 3. prikazan je tlocrt mlazno injektiranih stupova, a na Slici 4. karakterističan presjek.



**Slika 3.** Tlocrtna dispozicija mlazno injektiranih stupova tla



**Slika 4.** Karakteristični presjek kroz sanirano klizište ujedno ojačano za potrebe temeljenja.

Ukupno je bio izveden 551 mlazno injektirani stup. U zoni dijela hale s podignutim nivoom poda bilo je zamišljeno da se prvo izvede donji dio stupova - dio koji će stabilizirao pokos, a da se nakon nasipanja tog dijela (na predviđenu kotu) izvede i nastavak mlaznih stupova kako bi se osiguralo odgovarajuće uvjete za temeljenje. Obzirom na veliku količinu (metražu) mlaznih stupova i u tom dijelu, investitor se tijekom izvedbe odlučio da ovaj naknadni nasip izvede od dobro zbijenog šljunkovitog materijala te tako uštedi određena sredstva.

U konačnosti je dio hale koji je niže smješten tako projektiran, da se on pojavljuje kao potporna konstrukcija za povišeno smješten dio hale, što garantira dodatnu sigurnost cijele konstrukcije i tijekom duljeg vremena.

Radovi su uspješno privedeni kraju i cijela hala se nesmetano nastavila graditi.

## ZAKLJUČAK

U prethodnom prikazu naglasak je stavljen na mlazno injektiranje u funkciji stabilizacije klizišta. Pored ovog zahvata za samo osiguranje pokosa zasjeka terena visine i preko 40.0 m, predviđen je i niz drugih konstrukcija (pokosi s bermama, bušeni drenovi, mreže za zatravljenje, niži i viši potporni zidovi dijelom osigurani i prednapregnutim geotehničkim sidrima, te čavljanjem tla u zoni gdje granice parcele nisu dozvoljavale dovoljno blagi nagib iskopa, sustava prihvata i odvodnje voda - oborinskih i podzemnih i dr.). Ovakav cjeloviti prikaz rješenja premašio bi predviđeni opseg članka a i bio bi van konteksta osnovne teme. Naravno nisu se mogli prezentirati ni svi detalji vezani uz primjenu mlaznog injektiranja, već samo osnovni principi, ali vjerujemo da je i takav šturi prikaz dovoljno ilustrativan.

## LITERATURA

- (1) Čorko, D., Kovačić, D., Lovrenčić, D., Marić, B. (1997). MLAZNO INJEKTIRANJE - Prikaz tehnologije i primjene mlaznog injektiranja; *Izdanje CONEX Zagreb*
- (2) Čorko, D., Idejno rješenje stabilizacije klizišta i ojačanja temeljnog tla u zoni dilatacija hale II i III (2003); *Projektna dokumentacija u arhivi CONEX Zagreb*
- (3) Čorko, D., TVORNICA VODE U APATOVČU, Dodatni geomehantički istražni radovi (2003); *Projektna dokumentacija u arhivi CONEX Zagreb*
- (4) Čorko, D., TVORNICA VODE U APATOVČU - PROJEKT POKOSA ZASJEKA, KNJIGA I - GLAVNI I IZVEDBENI PROJEKT ZEMLJANIH RADOVA I DRENAŽNIH BUŠOTINA (2003); *Projektna dokumentacija u arhivi CONEX Zagreb*
- (5) Geotehnički Studio, d.o.o., Projekt broj: 1635/03/GSArh. br. 1-2001/15, Građevina: Tvornica kalničke mineralne vode, GEOMEHANIČKI IZVJEŠTAJ, Zagreb, lipanj 2003., *Projektna dokumentacija u arhivi Geotehničkog Studia, Zagreb*