

POBOLJŠANJE GLINENIH TALA KORIŠTENJEM EKSPLOZIVA

THE USE OF EXPLOSIVES FOR IMPROVEMENT OF CLAY SOILS

Josip Mesec¹, Denis Težak^{1*}, Mario Grubešić¹

¹ Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Zavod za geotehniku, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, HRVATSKA

*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: dtezak@gmail.com

Sažetak: Metoda poboljšanja glinenih tala korištenjem eksploziva slabo je istražena obzirom na koristi koje pri tom njenom primjenom mogu nastati. Zbijanje koherentnih tala eksplozivnim nabojem u praksi može imati korisne gospodarske učinke. Primjer izravne koristi je stabilizacija glinenih pokosa različitim graditeljskih namjena sidrenjem.

Detonacijom eksplozivnog punjenja oslobođena energija stvara snažni porni predtlak i intenzivne oscilacije. Pri tomu se razara prirodna struktura tla, nastaje šupljina u glinenom tlu, povećava se zbijenost miniranog tla uz smanjenje obujamske mase. Nakon oblikovanja šupljine u tlu eksplozivom u istu se ugradi čelično sidro i ispuni injektiranim betonom.

Poboljšanje svojstava primarnog glinenog koherentnog tla moguće je utvrditi terenskim i laboratorijskim istraživanjima. Prethodnim terenskim geofizičkim istraživanjima uz primjenu geoelektrične i seizmičke metode dobivaju se početni korisni podaci o sastavu slojeva po dubini promatranog profila.

Istražne bušotine služe za smještaj eksplozivnog punjenja, odnosno konstrukciju projektiranih mina, čijim se aktiviranjem ostvaruje kuglasta šupljina u tlu. Veličina kuglaste šupljine utvrđuje se dubinskom bušotinskom kamerom. Istraživanjima se namjerava utvrditi najpovoljnija vrsta eksploziva te geometrijske veličine miniranja kojima se postižu najbolji učinci u smislu veličine kuglaste šupljine i njezina okolna zona poboljšanja.

Ključne riječi: glineno tlo, poboljšanje, eksplozivi, kuglasta šupljina, sidrenje

Abstract: The method of improving clay soils using explosives is poorly explored considering potential benefits that can arise from its use. The compaction of cohesive soils with explosive charge may in practice have beneficial economic effects. An example of direct benefit is the stabilization of clay slopes in various construction purposes though anchoring.

With detonation of explosive charge, the released energy creates a strong pore excess pressure and intense vibrations. In doing so, the natural structure of the soil is being destroyed resulting with cavities in the clay soil. Also the soil compaction is increased with reduction of mass per volume. After the formation of the cavities in the soil with explosives, the cavities are incorporated with a steel anchor and filled with injected concrete.

The improvement of primary clay coherent soil can be determined by field and laboratory research. Preliminary field geophysical research with the use of geophysical and seismic methods will result in initial useful data on the composition of the layers of observed depth profiles.

Drill holes are used for placement of the explosive charge, and the construction of projected mines, whose activation creates spherical cavities in the soil. The size of the spherical cavity is determined by deep borehole camera. The surveys are intended to determine the optimum type of explosive and geometrical blasting sizes that achieve optimal results in terms of the size of the spherical cavity and its surrounding improvement area.

Keywords: clay soil, improvement, spherical cavity, anchoring

Received: 27.10.2015 / Accepted: 22.11.2015

Published online: 14.12.2015

Prethodno priopćenje / Preliminary communication

1. UVOD

Koncem osamdesetih godina prošlog stoljeća u okviru prijavljenog patenta "Postupak sidrenja u mekom tlu" provedena su određena istraživanja u kojima je sudjelovalo 9 znanstvenika sa Sveučilišta u Zagrebu (Hudec *et al.* 1989). Svrha istraživanja je bila utvrditi mogućnosti primjene proširenja sidara i zatega i na objekte koji se izgrađuju u mekom tlu. Težište istraživanja bilo je usmjereno na utvrđivanje nosivosti ugrađenih sidara. Pri istraživanjima su korištene kombinacije ugradnje sidara u strojno iskopane šupljine, i one koje su nastale detonacijom eksplozivnog naboja (Frgić *et al.* 1988). Radi toga je tada primjena eksploziva u tlu slabije istražena, te je na taj način ostao veliki istraživački potencijal, koji se

primjenom modernih tehnika, tehnologija i računalnih programa može značajno unaprijediti.

Odlukom ministra znanosti, obrazovanja i sporta RH o namjenskoj višegodišnjem institucijskom financiranju znanstvene djelatnosti na javnim sveučilištima u 2014. godini, a temeljem Ugovora o namjenskom višegodišnjem institucijskom financiranju znanstvene djelatnosti u godinama 2013., 2014. i 2015., iskorištena je mogućnost prijave za kratkoročnu potporu znanstvenom istraživanju primjene eksploziva u koherentnim glinovitim tlima. Nakon provedenog natječajnog postupka potporom su odobrena određena financijska sredstva za specifične troškove znanstveno-istraživačkog rada (troškovi terenskog znanstvenog

rada, laboratorijski troškovi provođenja eksperimenata, nabavku sitne i srednje znanstvene opreme, diseminaciju istraživačkih rezultata publiciranje, odlaske na kongrese i slično), popularizaciju znanosti te mobilnost istraživača. U okviru potpore određen je istraživački tim u kojemu sudjeluje i jedan asistent s Geotehničkog fakulteta tako da se dobiveni rezultati istraživanja planiraju uporabiti i za izradu doktorske disertacije spomenutog asistenta. Kod provođenja pokusa koristi se suvremena tehnika i tehnologija miniranja, instrumenti kojima se opažaju terenski podaci (Strelec *et al.* 2014), izvode terenska i laboratorijska istraživanja, te programska podrška kojom se analiziraju i interpretiraju rezultati istraživanja.

2. OPIS I PLAN PROJEKTA ISTRAŽIVANJA

Projekt istraživanja naziva *Poboljšanje glinenih tla*

korištenjem eksploziva započeo 2014. godine konceptijski obuhvaća:

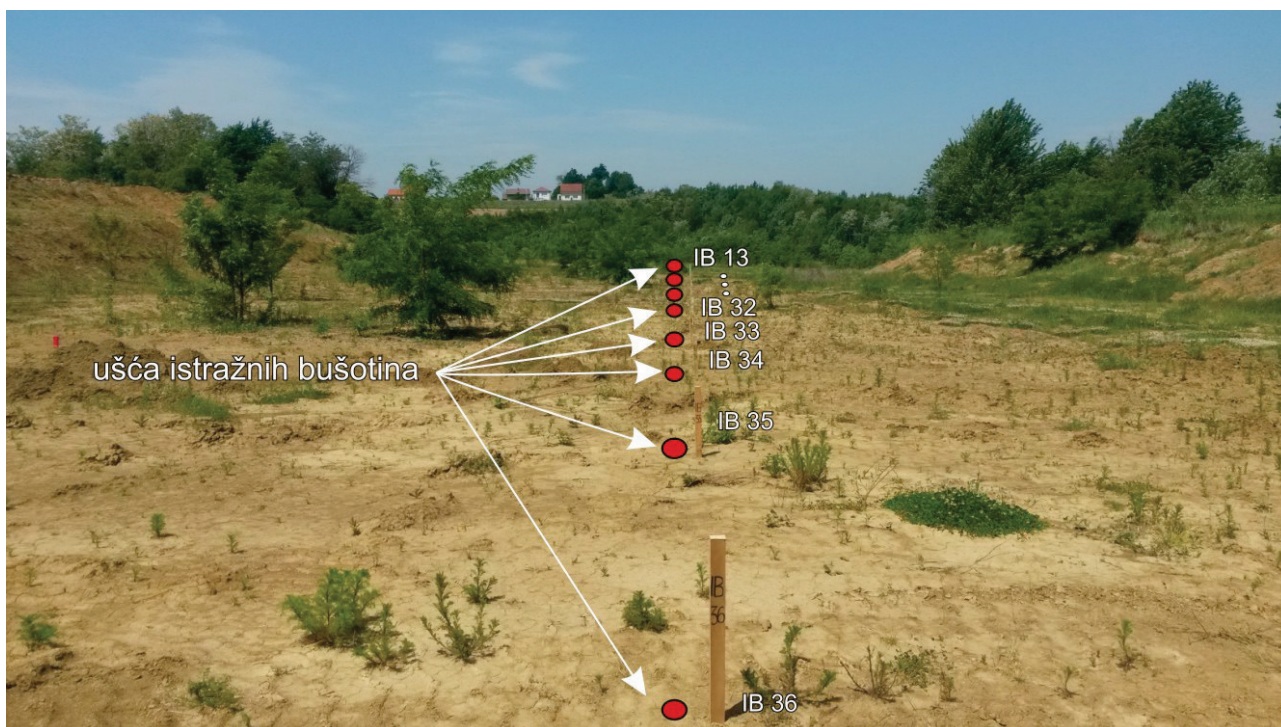
- **terenska geotehnička istraživanja,**
- **laboratorijska ispitivanja uzoraka,**
- **kabinetsku analizu i interpretaciju dobivenih podataka.**

2.1. Terenska geotehnička istraživanja

Značajni dio dosadašnjih terenskih geotehničkih istraživanja proveden je na gliništu Cukavec II, 12.06.2015. i 20.07.2015. godine. Glinište se nalazi u bližjoj okolici grada Varaždina, u općini Gornji Knežinec, slika 1.

Nositelj koncesije za eksploataciju ciglarske gline iz ležišta Cukavec II je trgovačko društvo *Leier-Leitel d.o.o.*

U građi ležišta prevladava kaolinit, kremen, tinjci, feldspat i klorit, a granulometrijski sastav pokazuje da mineralna sirovina sadrži oko 75 % glinovite komponente, dok ostatak čini silt.



Slika 1. Pozicija istražnog poligona na gliništu Cukavec II.

Planom projekta istraživanja zamišljeno je, a terenskim istražnim radovima dosada su mjereni i utvrđeni:

- korisni terenski podaci o slojevima tla po dubini primjenom geofizičkih seizmičkih metoda te in-situ ispitivanja dinamičkih svojstava glinenog tla:
 - MASW (Multi-Channel Analysis of Surface Waves) metoda višekanalne analize površinskih valova kojom je mjerena brzina posmičnih valova v_s radi procjene dinamičkih svojstava tla po dubini profila,
 - refrakcijska seizmika kojom su mjerena vremena prvih nailazaka seizmičkih valova na geofone postavljene u nizu. Prvi nailasci

se odnose na P i S prostorne valove. Pikiranje i korespondencija vremena s odgovarajućim refraktorima predstavlja najosjetljiviji dio interpretacije mjerenja,

- DPH (Dynamic Penetration Heavy) ispitivanjem se odredio otpor tla prodiranju šiljka, odnosno preko empirijskih korelacija određeni su posmična čvrstoća i modul elastičnosti,
- CPT – CONE PENETRATION TEST (statički penetracijski test) izveden je laganim samostojećim CPT sistemom tipa HYSON 100 kN-LW potisne sile 10 kN, radi determinacije različitih svojstava

podpovršinskih slojeva predmetnog glinenog tla, slika 2. Ispitivanje je provedeno utiskivanjem sonde u tlo, pomoću čeličnih šipki promjera 36 mm

konstantnom brzinom od 2 cm/s. Otpor prodiranju šiljka i bočno trenje po plaštu osnovne su veličine koje je moguće mjeriti prilikom prodiranja sonde.

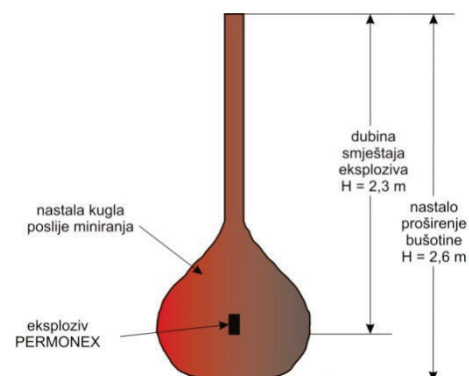
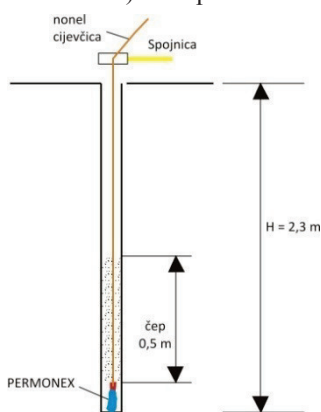


Slika 2. Oprema za izvođenje statičkog penetracijskog testa i primjer izmjere pornog tlaka.

- rasponi masa dviju različitih vrsta eksploziva kojima se ostvaruje kuglasta šupljina u glinovitom koherentnom tlu provođenjem pokusnih miniranja. Utvrđeno je da je kuglaste šupljine za zadani promjer i dubinu minskih rupa moguće ostvariti uporabljanim eksplozivima tipa PERMONEX V19 i PAKAEKS u rasponu od 0,2 do 1,6 kg. Aktiviranjem masa većih od 1,6 kg istražne bušotine potpuno su bile razorene jer je nakon miniranja istih formiran krater (pogotovo se to odnosi na jaču vrstu eksploziva PERMONEKS V19). Eksploziv PERMONEX V19 ima brzinu

detonacije oko 4500 m/s, dok ona kod eksploziva PAKAEKS iznosi oko 2950 m/s. Aktiviranje punjenja izvedeno je NONEL sistemom preko trenutnih električnih detonatora (TED). Prilikom pokusnih miniranja idealnom se pokazala veličina pješčanog čepa od 0,5 metara, granulacije 0/2 mm,

- volumeni kuglastih šupljina dobivene aktiviranjem pojedinih minskih bušotina dubine 2,3 metra promjera 131 mm (slike 3, 4, 5) utvrđene su dubinskom bušotinskom kamerom tipa Heavy Duty GeoVision Borehole Camera kojoj je dodan laserski uređaj EDS-C.



Slika 3. Konstrukcija mine

Slika 4. Trenutak aktiviranja mine

Slika 5. Kuglasto proširenje

Iz slike 3. *Konstrukcija mine* je vidljiv smještaj eksplozivnog punjenja u dnu minske bušotine. Takav način miniranja naziva se **kotlovsko miniranje**. Proširenja nastala otpucavanjem kotlovskih mina različita su po obliku i veličini. Kod mekih stijena u osnovi se formira proširenje u obliku kugle. Pri detonaciji

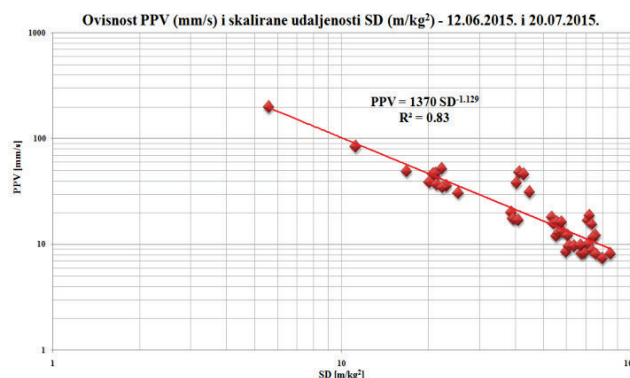
kotlovske mine djeluje visoki tlak plinova eksplozije. Uslijed toga se stijena neposredno u zoni eksplozije počinje gibati, a udaljeniji slojevi komprimirati. Pri tomu, tlačni val radialno istiskuje slojeve tla koji na taj način postaju kompaktniji i čvršći. U neposrednoj zoni eksplozije tlo se potpuno istisne, pri čemu se formira

proširenje u obliku kugle. Slabljenjem kompresijskog vala od centra eksplozije, formiraju se zona zbijanja i zona oscilacija mekane stijene. Zona zbijanja mekane stijene utvrđuje se statičkim penetracijskim testom, primjenom već spomenutog CPT uređaja.

Oscilacije glinovitog koherentnog tla u okolici istražnih profila mjerene su seizmografima opremljenim trokomponentnim geofonima INSTANTEL (MiniMate Plus) koji posjeduju ISO certifikat 9001. Seizmografi InstanTEL mjere brzinu, pomak, pripadajuće frekvencije oscilacija tla i zračni udarni val. Rezultati dosadašnjih opažanja ovisnosti brzina oscilacija PPV (mm/s) o skaliranim udaljenostima SD (m/kg^2) prikazani su dijagramom na slici 6. Izmjerene brzine oscilacija koherentnog glinovitog tla daleko su veći nego kod čvrstih stijena. Ta tvrdnja dokazana je brojnim mjerenjima i usporedbama intenziteta oscilacija u čvrstim i mekim stijenama (Mesec et al. 2009; Mesec et al. 2010).

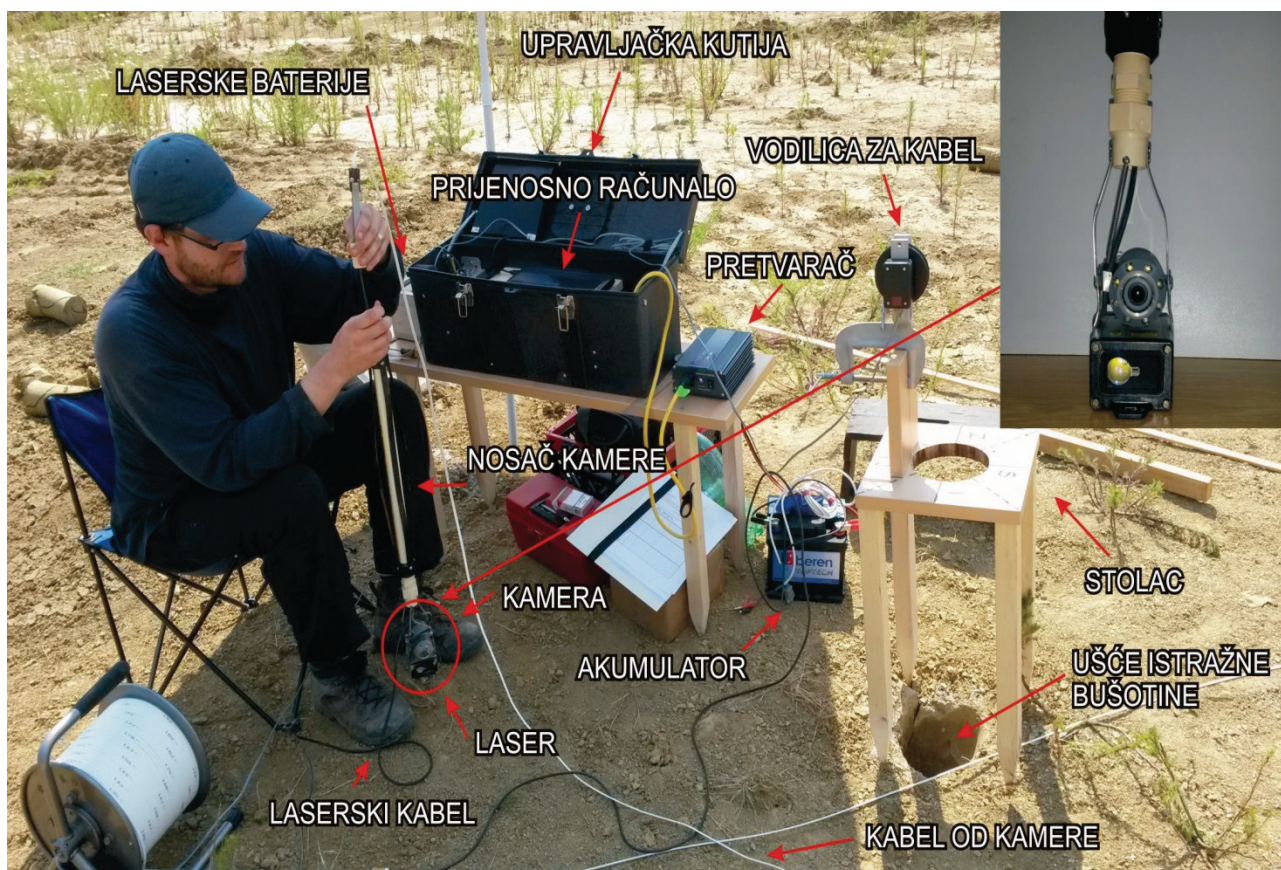
Osnovni razlog je u daleko nižoj sili kohezije c (kPa) koja drži na okupu čestice mekih stijena te je stoga

njihova pripadajuća amplituda oscilacija daleko veća.



Slika 6. Ovisnost brzine oscilacija (PPV, mm/s) o skaliranoj udaljenosti (SD, m/kg^2)

Proširenje u obliku kugle formirano otpucavanjem eksplozivnog punjenja u dnu minske bušotine mjeri se sustavom za opažanje prikazanim na slici 7.



Slika 7. Terensko mjerenje nastalog kuglastog proširenja.

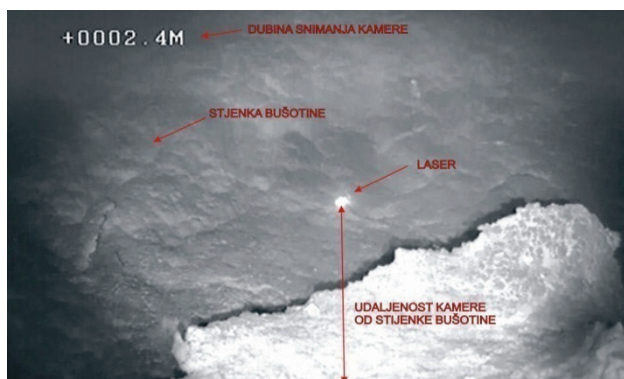
Postupak mjerenja je slijedeći: odgovarajući kabel spaja se na kameru koja se pričvršćuje na nosač. Akumulator od 55 Ah se spaja na pretvarač (inverter) koji je povezan s upravljačkom kutijom, gdje je instaliran software kamere. Spajanjem upravljačke kutije na prijenosno računalo omogućuje se početak mjerenja.

Na kraj kamere pričvrsti se laser EDS-C zajedno sa kablom koji je spojen na dvije 12 V baterije i posebnim konverterom na prijenosno računalo. Kamera i laser se

zajedno sa nosačem kamere i kablom postavljaju u vodilicu za kabel preko kružnog otvora na stolcu, te lagano spuštaju kroz ušće istražne bušotine gdje se snima unutrašnjost bušotine i udaljenost kamere od stijenke bušotine u svakoj sekundi (slika 8).

Koristeći prijenosno računalo, laser i software kamere i lasera na ekranu prijenosnog računala snima se video zapis cijele istražne bušotine zajedno s udaljenostima kamere od stijenke bušotina. Radi utvrđivanja izgleda i

volumena nastalog proširenja napravljen je vlastiti program opisan u *kabinetskoj analizi i interpretaciji dobivenih podataka*.



Slika 8. Snimak nastale šupljine dubinskom kamerom.

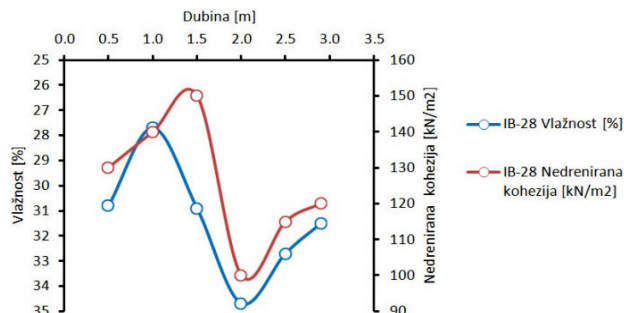
2.2. Laboratorijska ispitivanja uzoraka

Početa geomehnička laboratorijska ispitivanja poremećenih i neporemećenih uzoraka predmetnog glinenog tla izvedena su u akreditiranom laboratoriju Geotehničkog fakulteta prema međunarodnoj normi HRN EN ISO/IEC 17025:2007. Laboratorij ima uspostavljen sustav upravljanja kvalitetom te da je kadrovski i tehnički osposobljen za izvođenje ispitivanja prema određenoj akreditiranoj metodi.

Za potrebe projekta istraživanja *Poboljšanje glinenih tla korištenjem eksploziva* ciljano se utvrđuju opća i posebna fizikalna svojstva glinenog tla iz ležišta Cukavec II, kao što su vlažnost, vodopropusnost i gustoća, te zbijenost i čvrstoća tla prije i nakon miniranja.

U ovom članku daju se podaci o promjeni važnosti i nedrenirane posmične čvrstoće s dubinom za istražnu

bušotinu IB-28 (slika 9). Promjena vlažnosti, a s njome i nedrenirana posmična čvrstoća imaju izravan utjecaj na efekte miniranja. Naime, pri povećanoj vlažnosti tlačni val eksplozije ima jači utjecaj na nastalo proširenje. Nastavkom istraživanja biti će moguće utvrditi navedenu ovisnost povećane vlažnosti o volumenu nastalog proširenja.

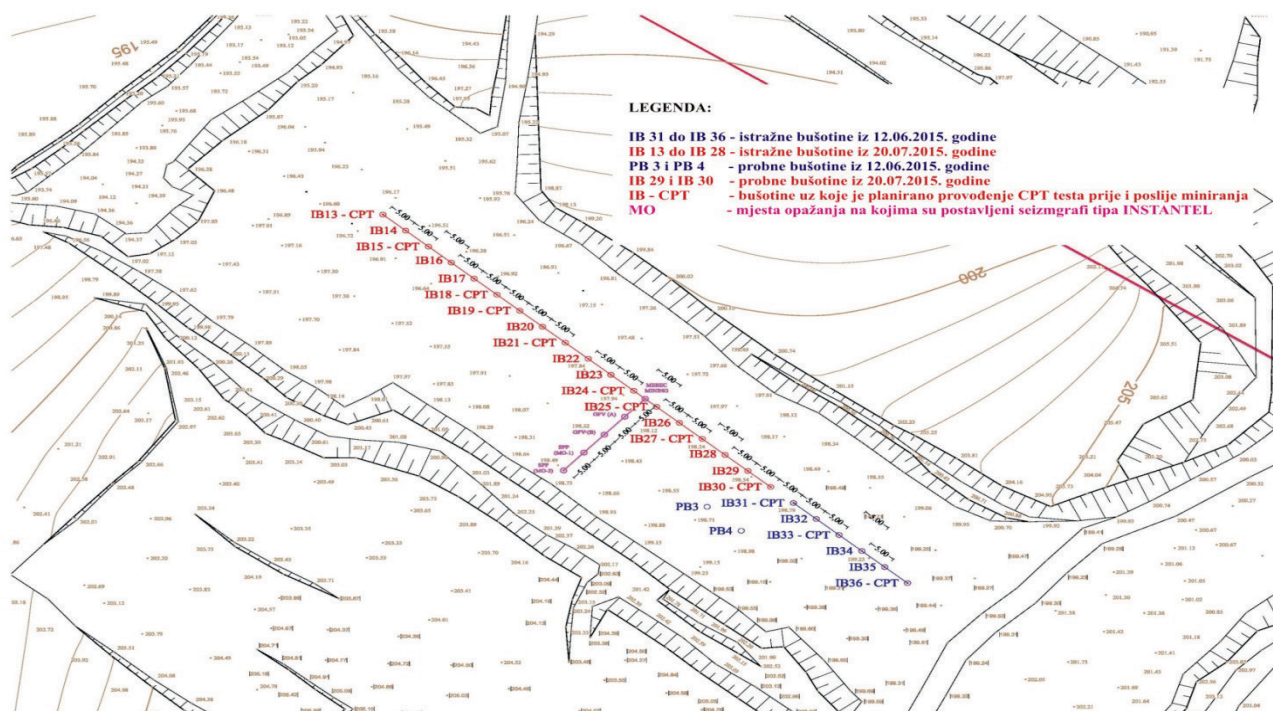


Slika 9. Ovisnost vlažnosti i nedrenirane kohezije (% kN/m^2) o dubini bušotine (m).

2.3. Kabinetska analiza i interpretacija dobivenih podataka

Na osnovi dosadašnjih rezultata terenskih i laboratorijskih istraživanja napravljeno je niz analiza i interpretacija dobivenih rezultata. Radi dobivanja potpunijeg uvida u plan istraživanja slikom 10. se prikazuju geodetski utvrđene pozicije profila istražnih minskih bušotina iz 12.06. 2015. i 20.07.2015. godine.

Geodetski profil na terenu je iskolčen GNSS metodom mjerenja, a koordinate istražnih bušotina određene su u novom službenom referentnom koordinatnom sustavu HTRS96, odnosno iste su prikazane u novoj kartografskoj HTRS96/TM projekciji.



Slika 10. Geodetski utvrđene pozicije profila istražnih minskih bušotina.

U najznačajnije rezultate istraživanja spada svakako određivanje volumena nastalih proširenja prilikom otpucavanja serije minskih bušotina postavljenih na određenom profilu. Kako je već navedeno, u tu svrhu napravljen je vlastiti program. Program je osmišljen na način da izračunava koordinate istražne bušotine na temelju poznatih x i y koordinata (dobivenih GPS-uređajem) i visine h (u konkretnom slučaju dubine bušotina) dobivene upotrebom dubinske kamere (Heavy Duty GeoVision Borehole Camera). Kako bi se mogle izračunati sve koordinate istražne bušotine na određenoj dubini snimanja postavljen je i laser (EDS-C)

pomoću kojeg se dobivaju udaljenosti između dubinske kamere i stijenki istražnih bušotina. Dubinska kamera okreće se u smjeru kazaljke na satu za 360° na karakterističnim dubinama snimanja u intervalu od 45° . Pomoću računalnog programa se dobivaju zatvorene plohe približno kružnog oblika na pojedinim razinama dubine za koje je moguće izračunati površine. Nakon toga program na temelju dobivenih površina i poznatih dubina karakterističnih kružnih ploha izračunava volumen nastalog proširenja u obliku kugle (slika 11). Na kraju program daje i mogućnost crtanja nastalog proširenja u 3D prikazu.

Osnovni podaci

Lokacija:

Vrsta eksploziva:

Količina eksploziva:

Visina:

Y koordinata bušotine - vrh:

Y koordinata bušotine - dno:

Produbljenje poslije miniranja:

Bušotina:

Vrsta čepa:

Debljina čepa:

X koordinata bušotine - vrh:

X koordinata bušotine - dno:

Dubina snimanja:

Visina vrha:

Visina dna:

Detalji izračuna

Strana svijeta	Stupnjevi	Udaljenost 1	Udaljenost 2	Prosjeak	Napomena	Visina	Koordinata Y	Koordinata X	Brisaj
No records found.									

Akcije

Novi izračun, Dodaj red, Predložiak 1, Predložiak 2, Izračunaj, Spremi u bazu podataka, Brisaj, Export rezultata, Izvještaj

Slika bušotine

Pohranjeni izračuni

ID	Lokacija	Bušotina	Vrsta eksploziva	Količina eksploziva	Y koordinata bušotine - vrh	X koordinata bušotine - vrh	Debljina čepa	Dubina snimanja	Visina vrha	Visina dna
415	Turčin-Cukavec II	PB3	Pakaet - 1.6 kg		489127.9800	5122573.5400	1.00	3.4750	198.4300	198.4300
414	Turčin-Cukavec II	PB3	Pakaet - 1.6 kg		489127.9800	5122573.5400	1.00	3.4700	198.4300	198.4300
413	Turčin-Cukavec II	PB3	Pakaet - 1.6 kg		489127.9800	5122573.5400	1.00	3.4000	198.4300	198.4300
412	Turčin-Cukavec II	PB3	Pakaet - 1.6 kg		489127.9800	5122573.5400	1.00	3.1000	198.4300	198.4300
411	Turčin-Cukavec II	PB3	Pakaet - 1.6 kg		489127.9800	5122573.5400	1.00	2.8000	198.4300	198.4300
410	Turčin-Cukavec II	PB3	Pakaet - 1.6 kg		489127.9800	5122573.5400	1.00	2.5000	198.4300	198.4300
409	Turčin-Cukavec II	PB3	Pakaet - 1.6 kg		489127.9800	5122573.5400	1.00	2.3000	198.4300	198.4300
408	Turčin-Cukavec II	PB3	Pakaet - 1.6 kg		489127.9800	5122573.5400	1.00	2.0000	198.4300	198.4300
407	Turčin-Cukavec II	PB3	Pakaet - 1.6 kg		489127.9800	5122573.5400	1.00	1.5000	198.4300	198.4300
406	Turčin-Cukavec II	PB3	Pakaet - 1.6 kg		489127.9800	5122573.5400	1.00	1.0000	198.4300	198.4300
405	Turčin-Cukavec II	PB3	Pakaet - 1.6 kg		489127.9800	5122573.5400	1.00	0.5000	198.4300	198.4300
404	Turčin-Cukavec II	PB3	Pakaet - 1.6 kg		489127.9800	5122573.5400	1.00	0.0000	198.4300	198.4300
403	Turčin-Cukavec II	IB36	Permoneks - 0.4 kg		489160.7000	5122557.6900	0.50	3.1000	199.1300	199.1300
402	Turčin-Cukavec II	IB36	Permoneks - 0.4 kg		489160.7000	5122557.6900	0.50	2.9000	199.1300	199.1300
401	Turčin-Cukavec II	IB36	Permoneks - 0.4 kg		489160.7000	5122557.6900	0.50	2.7000	199.1300	199.1300

OSNOVNI PODACI O ISTRAŽNOJ BUŠOTINI I LOKACIJI SNIMANJA DUBINSKOM KAMEROM

DETALJI IZRAČUNA KOORDINATA

MOGUĆNOSTI RAČUNANJA, SPREMANJE I ISPIS PODATAKA

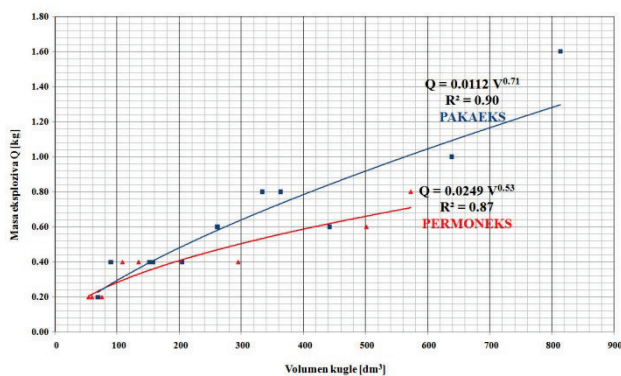
LASERSKI SNIMAK NASTALOG PROŠIRENJA

SPREMLJENI PODACI

Slika 11. Sučelje programa za crtanje i izračun volumena nastalog proširenja.

Na osnovi dosadašnjih istraživanja dobiveni su podaci volumena nastalog proširenja u ovisnosti o uporabljenj vrsti eksploziva. Iz dijagrama na slici 12. je vidljivo da je brizantnijim eksplozivima (u promatranom istraživanju to je eksploziv PERMONEKS V19) moguće

postići kuglasta proširenja većeg volumena. Ipak, pri određenim relativno malim dubinama bušotina, prevelika količina eksploziva razara okolno glinovito tlo te nakon miniranja nastaje neželjeni lijevak u obliku kratera (slika 13).



Slika 12. Dijagram ovisnosti volumena kugle, V (dm³) o masi, Q (kg) pojedine vrste eksploziva.



Slika 13. Nastali krater uslijed prevelike mase eksploziva i vlažnosti istražne bušotine.

3. ZAKLJUČAK

Projektom istraživanja naziva *Poboljšanje glinenih tala korištenjem eksploziva* koji je započeo 2014. godine, dosada su dobiveni ohrabrujući terenski, laboratorijski i kabinetski rezultati. Radi toga, postoje dobri razlozi da se istraživanja nastave kako bi se proširila saznanja i spoznaje o mogućnostima korištenja eksploziva u geotehničkoj praksi. To se naročito odnosi na kotlovsku miniranja u mekanim stijenkama kojima se na različitim dubinama ispod površine tla aktiviranjem određene vrste i mase eksploziva oblikuju kuglaste ili drugih oblika slične šupljine. Te šupljine najčešće se koriste za ugradnju konstruktivnih elemenata za sidrenje temeljnih i potpornih zidova, te za sidrenje podzemnih prostorija u manje čvrstim i mekanim stijenkama.

Postupkom sidrenja u mekanim stijenkama zatega se usidruje primjerice u kuglastu sidrenu šupljinu ispunjenu povoljnom veznom smjesom: betonom, cementnim mortom, cementnom injekcijskom smjesom ili plastičnom masom. Spomenutim postupkom se konstruktorima i geotehničarima omogućava znatno ekonomičnije projektiranje i izvođenje nadzemnih i podzemnih objekata. Primjena sidara u mekanim stijenkama pojeftinjuje izgradnju potpornih zidova uz objekte i prometnice, temelje visokih tornjeva i dimnjaka. Osim toga, pojeftinjuje se i povećava sigurnost izvođenja primarne podgrade u najtežim uvjetima izgradnje podzemnih prostorija.

4. LITERATURA

Hudec, M., Krsnik, J., Abramović, V., Frgić, L., Krajcer, M., Gotić, I., Meštrić, M., Mesec, J., Fingerhut, L. (1989): Supporting with anchors in soft rock and soil, Proceedings of the international Congress on Progress and Innovation in Tunnelling, Toronto, Canada, pp 111-117.

Frgić, L., Hudec, M., Krsnik, J., Krajcer, M., Mesec, J. (1988): Podgrađivanje podzemnih prostorija sidrenjem u tlu, Predhodno priopćenje, Simpozij o tunelima, Brijuni, pp 293-298

Mesec, J., Kovač, I., Soldo, B. (2010): Estimation particle velocity on the basis of the blast event measurements at the different rock units. Journal: Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Vol. 30, pp. 1004-1009.

Mesec, J., Vrkljan, D., Ester, Z. (2009): Allowed quantity of explosive charge depending on the distance from the blast. Journal: Geotechnical and Geological Engineering. Vol. 3, pp 431-438.

Strelec, S., Grabar, K., Gazdek, M., Špiranec, M., Stanko, D., Jug, J (2014): Geofizičko-geotehničko istraživanje odlagališta otpada, Stručni rad, Inženjerstvo okoliša, Vol.1/No.2, pp 103- 112