Utjecaj vrste eksploziva na nastala kuglasta proširenja prilikom miniranja u glinenome tlu

Juras, Mihaela

Master's thesis / Diplomski rad

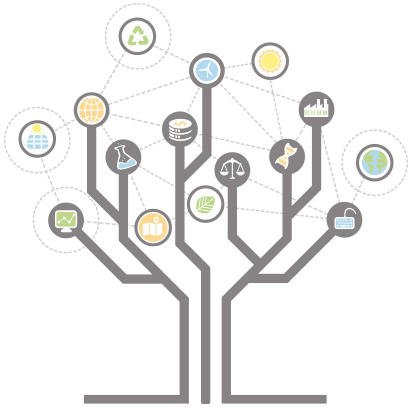
2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:174942

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Mihaela Juras

UTJECAJ VRSTE EKSPLOZIVA NA NASTALA KUGLASTA PROŠIRENJA PRILIKOM MINIRANJA U GLINENOME TLU

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

UTJECAJ VRSTE EKSPLOZIVA NA NASTALA KUGLASTA PROŠIRENJA PRILIKOM MINIRANJA U GLINENOME TLU

KANDIDAT:

Mihaela Juras

MENTOR:

Prof. dr. sc. Josip Mesec

NEPOSREDNI VODITELJ

Dr. sc. Denis Težak, dipl. ing. geot.

VARAŽDIN, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnica: MIHAELA JURAS

Matični broj: 206 - 2017./2018.

Smjer: GEOINŽENJERSTVO OKOLIŠA

NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

UTJECAJ VRSTE EKSPLOZIVA NA NASTALA KUGLASTA PROŠIRENJA PRILIKOM MINIRANJA U GLINENOME TLU

Rad treba sadržati:
1. Uvod
2. Tlo
3. Eksplozivi
4. Kotlovska miniranja
5. Terenska geotehnička istraživanja
6. Laboratorijska ispitivanja uzoraka
7. Pokusna miniranja i određivanje efektivnog raspona masa dviju vrsta eksploziva kojima se dobiva kuglasto proširenje
8. Metoda mjerenja volumena nastalih kuglastih proširenja
9. Analiza i interpretacija dobivenih podataka
10. Obrada volumena nastalog kuglastog proširenja nakon aktiviranja eksplozivnog punjenja
11. Zaključak

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 19.03.2019. Rok predaje: 04.07.2019.

Mentor:	Neposredni voditelj:	Predsjednik Odbora za nastavu:
Prof.dr.sc. Josip Mesec	Dr.sc. Denis Težak	Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

REPUBLIKA HRVATSKA - SVEUČILIŠTE U ZAGREBU - GEOTEHNIČKI FAKULTET - VARAŽDIN

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

UTJECAJ VRSTE EKSPLOZIVA NA NASTALA KUGLASTA PROŠIRENJA PRILIKOM MINIRANJA U GLINENOME TLU

(naslov diplomskog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **Prof.dr.sc.Josipa Meseca.**

Izjavljujem da nijedan dio ovog diplomskog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Također izjavljujem da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 03. srpnja 2019. godine

Mihaela Juras

(ime i prezime)

Mihaela Juras

(vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Ime i prezime autora: Mihaela Juras

Naslov teme: Utjecaj vrste eksploziva na nastala kuglasta proširenja prilikom miniranja u glinenome tlu

U ovom diplomskom radu opisana su kuglasta proširenja u glinenom tlu koja je moguće postići djelovanjem koncentriranih eksplozivnih punjenja, odnosno primjenom metode zbijanja koherentnih tla miniranjem. Tijekom detonacije koncentriranog eksplozivnog punjenja, generira se udarni val koji je podržan ekspanzijom produkata eksplozije te se u tlu stvara intenzivan porni predtlak i oscilacije u okolini eksplozivnog punjenja. Detonacija razara prirodnu strukturu glinenog tla, nastaje šupljina te se povećava zbijenost miniranog tla uz smanjenje obujamske mase. Generirano kuglasto proširenje značajno stlačuje okolno glineno tlo te se njegova gustoća povećava.

Primjenom terenskih i laboratorijskih metoda moguće je odrediti volumen proširenja i svojstva zbijenog glinenog tla. Veličine kuglastih šupljina određene su sustavom dubinska kamera i laser, prilikom koje dobivamo potrebne podatke za određivanje oblika i volumena proširenja prilikom miniranja. Također, koristio se sustav opažanja, mjerenja i računanja oblika i zapremnine nastalog proširenja. Sustav uključuje instrumentalni i programski dio, gdje je korištena aplikacija koja uz izračun koordinata bušotina omogućuje i detaljnu grafičku interpretaciju proširenja u 2D i 3D prikazu.

U ovom diplomskom radu opisane su određene vrste i količine eksplozivnog punjenja kojim se postižu kuglasta proširenja, te su određeni i izračunati volumeni nastalih kuglastih proširenja u glinenom tlu.

Ključne riječi: *glineno tlo, eksplozivno punjenje, kuglasto proširenje.*

Sadržaj

1. UVOD 1

2. TLO 2

2.1. STRUKTURNE ZNAČAJKE TLA 3

2.2. GEOTEHNIČKE ZNAČAJKE TLA 4

2.3. GLINENO TLO 7

2.4. MINERALI GLINE 9

3. EKSPLOZIVI 10

3.1. EKSPLOZIVNI PROCESI 11

3.2. MINERSKO TEHNIČKE ZNAČAJKE EKSPLOZIVA 12

3.2.1. Brzina detonacije 13

3.2.2. Brizantnost eksploziva 13

3.2.3. Radna sposobnost eksploziva 14

3.2.4. Volumen plinova i specifični tlak eksplozije 16

3.2.5. Tlak detonacije 16

3.2.6. Gustoća eksploziva 17

3.3. AMONIJ NITRATNO PRAŠKASTI EKSPLOZIVI - PERMONEX V19 17

3.4. ANFO EKSPLOZIV - PAKAEX 19

4. KOTLOVSKA MINIRANJA 20

4.1. DJELOVANJE EKSPLOZIJE U KOHERENTNIM TLIMA 21

5. TERENSKA GEOTEHNIČKA ISTRAŽIVANJA 22

5.1. ISTRAŽNO BUŠENJE 24

5.1.1. ROTACIJSKO BUŠENJE S JEZGROVANJEM 24

5.1.2. OBRADA GEOFIZIČKI REZULTATA MJERENJA 26

5.1.2.1. Seizmička terenska ispitivanja u 2014. godini 26

5.1.2.2. Seizmička terenska ispitivanja u 2015. godini 27

5.1.2.3. Seizmička terenska ispitivanja u 2016. godini 28
6. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA UZORAKA 29
7. POKUSNA MINIRANJA I ODREĐIVANJE EFEKTIVNOG RASPONA MASA DVIJU VRSTA EKSPLOZIVA KOJIMA SE DOBIVA KUGLASTO PROŠIRENJE 31
8. METODA MJERENJA VOLUMENA NASTALIH KUGLASTIH PROŠIRENJA 36
9. ANALIZA I INTERPRETACIJA DOBIVENIH PODATAKA 38
10. OBRADA VOLUMENA NASTALOG KUGLASTOG PROŠIRENJA NAKON AKTIVIRANJA EKSPLOZIVNOG PUNJENJA 40
10.1. ANALIZA DOBIVENIH PODATAKA 45
11. ZAKLJUČAK 46
12. LITERATURA 47
Popis slika 49
Popis tablica 52

1. UVOD

Ovim diplomskim radom prikazan je utjecaj vrste eksploziva na nastala kuglasta proširenja prilikom miniranja u glinenome tlu. Značajni dio terenskih geotehničkih istraživanja proveden je tijekom 2015. godine na gliništu Cukavec II. Glinište se nalazi u bližoj okolici grada Varaždina, a terenska i laboratorijska istraživanja izvođena su i tijekom 2014., 2015. i 2016. godine. Kod provođenja istraživanja korišteni su instrumenti kojima su se opažali terenski podaci, izvodila terenska i laboratorijska istraživanja (Strelec S. et al., 2014), te programska podrška kojom su se analizirali i interpretirali rezultati istraživanja (Težak D., 2018).

Proširenja izvedena otpucavanjem kotlovskih punjenja bila su različita po obliku i veličini. Kod homogenih glinenih tla u osnovi se formira proširenje u obliku kugle (Araya K. et al., 1993). Kuglasta proširenja minskih bušotina nastale su detonacijom amonijsko nitratno praškastog eksploziva Permonex V19 i ANFO eksploziva komercijalnog naziva Pakaex. Brzina detonacije je u minersko tehničkom smislu svojstvo na osnovi kojega se preliminarno može odrediti uspješnost djelovanja detonacije eksploziva u različitim sredinama, a tako i u glinovitom koherentnom tlu (Težak D., 2018).

Prilikom istraživanja od posebne važnosti bilo je određivanje oblika i volumena proširenja nastalih na određenoj dubini glinenog tla nakon otpucavanja eksplozivnog punjenja koji je smješten u cilindričnoj bušotini promjera najmanje 131 mm. U tu svrhu koristio se razvijen sustav opažanja, mjerenja i računanja oblika volumena nastalog proširenja. Taj sustav predstavlja integraciju RTK GNSS metode, primjenom online transformacijskih parametara putem CROPOS-a (NN 110/2004, 114/2004; Pribičević B. & Medak D. 2003; Marjanović M., 2010), dubinske kamere, Heavy Duty GeoVision Borehole Camera (http://www.geovision.org/) i lasera, EDS-C (https://dimetix.com/en/?product=eds-c).

Također, korištena je i aplikacija "Bušotine" koja izračunava koordinate minske bušotine na temelju poznatih E i N koordinata (dobivenih GPS-uređajem) i visine H (u konkretnom slučaju dubine bušotina) dobivene upotrebom dubinske kamere i lasera. Za izračun nastalog proširenja i njezinog volumena na određenoj dubini korištena je

aplikacija koja uz izračun koordinata daje i detaljnu grafičku interpretaciju u 2D i 3D prikazu (Težak D. et al., 2018).

2. TLO

Tlo je rastresiti površinski sloj Zemljine kore. Vrlo složena prirodna mješavina, sastavljena od krute, tekuće i plinovite faze. Sastavljeno je od čvrstih čestica koje čine skelet tla, zraka i vode u porama između čvrstih čestica. Razvio se kroz procese trošenja koje pokreću biološki, klimatski, geološki i topografski utjecaji. Prilikom djelovanja vode (smrzavanje, otapanje, prenošenje), temperaturnih promjena, vjetra, bilja i ljudske djelatnosti stijena se razgrađuje mehaničkom razgradnjom u sitnije elemente, rastapa se ili dolazi do kemijske razgradnje pri čemu dolazi do promjena u kristalima tla. Uslijed procesa usitnjeni ili rastopljeni materijal ostaje na mjestu ili se transportira na druge dijelove površine. Preneseni materijal se taloži na način uvjetovan temperaturom, slanoćom vode, brzinom strujanja vode ili zraka, granulometrijskim sastavom i drugim uvjetima na mjestu taloženja.

Radi lakšeg i jednostavnijeg sporazumijevanja, proučavanja i usporedbe dobivenih rezultata iz različitih laboratorija uvodi se klasifikacija tla. Klasifikacija tla je skup procedura pomoću kojih se velik broj različitih vrsta tla koja se nalaze u prirodi razvrstava u grupe sličnih mehaničkih karakteristika i ponašanja pod djelovanjem opterećenja. Klasifikacija omogućava da se ocijeni o kakvom se materijalu radi i u kojem rasponu se može očekivati da će se njegove mehaničke karakteristike kretati. Klasifikacija se vrši na temelju granulometrijskog sastava, prema veličini zrna, širini raspodjele odnosno zastupljenosti pojedinih frakcija (Kovačević M. S. & Jurić-Kaćunić D., 2014).

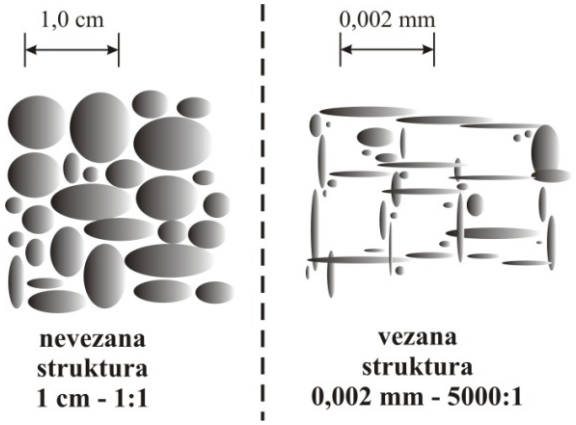
Osnovna podjela tla na osnovi veličine zrna (Zlatović S., 2006):

- **nekoherentna ili krupnozrnata tla**, sadrže preko 50% zrna (čestica) većih od 0,060 mm, (čestice se uglavnom vide golim okom). To su sipka tla, kod kojih je kohezija između čvrstih čestica zanemariva. U nekoherentna tla pripadaju pijesci i šljunci,
- **koherentna ili sitnozrnata tla**, sadrže preko 50% zrna (čestica) manjih od 0,060 mm, (čestice se ne vide golim okom). To su tla kod kojih je kohezija

između čvrstih čestica bitna, i zbog velike specifične površine čvrstih čestica i zbog postojanja električnih sila koje vežu vodu. U koherentna tla pripadaju prahovi i gline.

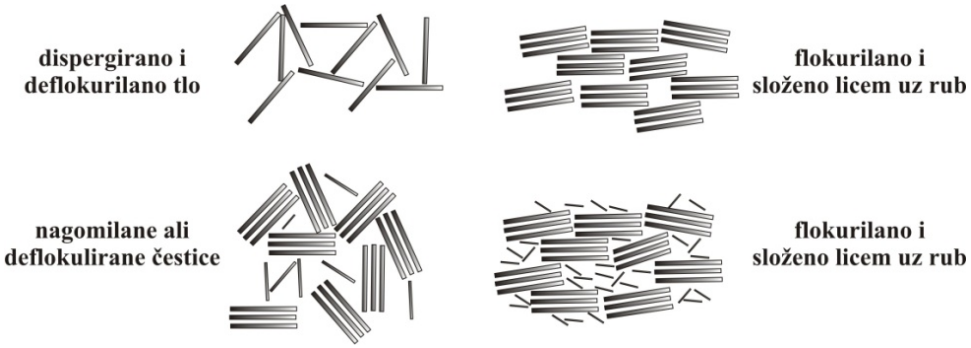
2.1. STRUKTURNE ZNAČAJKE TLA

U osnovi razlikujemo dvije elementarne strukture tla, nevezana i vezana kako je to prikazano slikom 2.1.



Slika 2.1 Struktura tla (Težak D., 2018).

Struktura tla je raspored čvrstih čestica u tlu. Strukture koherentnih i nekoherentnih materijala tla međusobno se bitno razlikuju. Kod nekoherentnog tla najviše gravitacija utječe na formiranje strukture. Kod koherentnih tala utječe gravitacija i molekularne sile. Struktura tla odnosi se na raspodjelu čvrstih čestica i grupa čvrstih čestica, kao i pora između njih, veličine i orijentacije te sile između čvrstih čestica, slika 2.2 (Strelec S. & Štuhec D., 2011).



Slika 2.2 Shematski prikaz strukture sitnozrnatih materijala (Težak D., 2018).

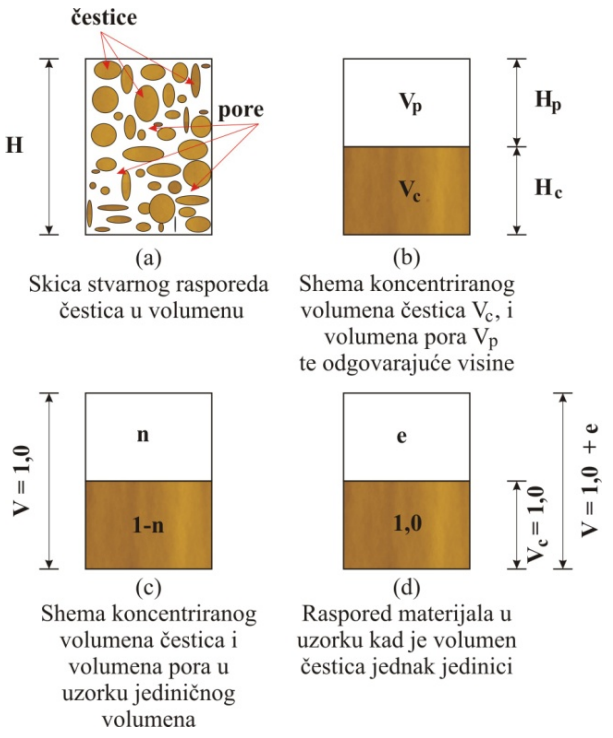
2.2. GEOTEHNIČKE ZNAČAJKE TLA

Osnovne geotehničke značajke o kojima ovisi i veličina, odnosno volumen proširenja nastao kotlovskim miniranjima u mekanim stijenama su obujamska masa, poroznost, vlaga, kut unutarnjeg trenja i kohezija.

Tlo je nakupina zrnaca različite veličine i oblika poredanih gušće ili rahlije tako da je samo dio ukupnog volumena ispunjen čvrstom tvari. Prostor između čestica su pore ili šupljine. Tlo je porozna materija. Pore mogu biti ispunjene zrakom, vodom ili zrakom i vodom. U prvom je slučaju tlo zasićeno, u drugome suho, a u trećemu vlažno, ali djelomično zasićeno. Svojstva materijala ovise o rasporedu pora, o njihovu odnosu prema ukupnom volumenu i o količini vode u njima, slika 2.3.

Pokazatelji koji izražavaju stanje materijala su:

- relativna poroznost, n [%],
- koeficijent pora, e,
- vlaga, w_s [%],
- stupanj zasićenosti, S_r [%],
- obujamska masa vlažnog, suhog i uronjenog tla, ρ [g/cm^3], ρ_d [g/cm^3], ρ' [g/cm^3].



Slika 2.3 Shema rasporeda materijala u uzorku tla (Težak D., 2018).

Obujamska masa

Obujamska masa, ρ je prema fizikalnoj definiciji jednaka umnošku gustoće (ρ) i ubrzanja sile teže (g), a izražava se u kN/m^3 (Strelec S. & Štuhec D., 2011):

$$\gamma = \rho \cdot g \text{ [kg/m}^3\text{]} \tag{1}$$

gdje je:

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ [kg/m}^3\text{] i} \qquad g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} \tag{2}$$

Gustoća svake pojedine komponente tla odredi se dijeljenjem mase određene komponente s njegovim volumenom, dok se gustoća suhog uzorka dobiva iz omjera mase čvrstih čestica tla prema ukupnom volumenu uzorka tla. Množeći te gustoće s dobiva se zapreminska težina za svaku željenu komponentu u uzorku tla. Uzimajući u obzir ove činjenice, kao i to da se u geotehničkoj praksi obujamska težina dovodi u usku vezu s relativnim porozitetom, koeficijentom pora, vlažnošću i stupnjem zasićenosti. obujamska masa vlažnog ρ , suhog ρ_d i uronjenog tla ρ' (Strelec S. & Štuhec D., 2011).

Poroznost

Relativna poroznost, n je odnos između volumena pora (V_p) i volumena uzorka tla (V) (Strelec S. & Štuhec D., 2011).

$$n = \frac{V_p}{V} \tag{3}$$

Vlaga

Vlažnost tla, w je omjer težine vode u tlu u odnosu na težinu čvrstih čestica, u promatranom volumenu. Vlažnost tla je promjenjiva i pri stalnom volumenu, što ovisi o stupnju zasićenosti tla vodom. U slučaju potpuno zasićenog tla, vlažnost se može mijenjati samo u koliko dođe do promjene volumena,a da tlo pri tome ostane potpuno zasićeno (Roje-Bonacci T., 1994).

Kohezija

Kohezija, c je svojstvo sitnozrnatih koherentnih tala. Kohezija nastaje utjecajem elektrokemijskih sila među česticama. Što su čestice sitnije i ima više dodirnih ploha, to su te sile jače. Kako se smanjuje veličina čestica tla, tako se povećava njihov broj u jedinici volumena pri inače jednakom koeficijentu pora, e. Na dodirnim točkama među česticama djeluju električne i Van der Waalsove sile. Njihov je intenzitet veći što je manji razmak među česticama, a ukupni im je utjecaj u jedinici volumena to veći što u njemu ima više čestica i više točaka međusobnih dodira. Dakle, što su čestice manje, bit će dominantnije i djelovanje Van der Waalsovih i električnih sila s obzirom na gravitacijske sile česticama (Strelec S. & Štuhec D., 2011).

Van der Waalsove i električne sile rezultat su privlačenja između molekula susjednih čestica, kationa apsorbiranih u vodi oko jedne čestice i iona apsorbiranih u vodi oko susjednih čestica. Te sile, ovise i o elektrokemijskim svojstvima vode u porama, i mijenjaju se s njenim sastavom. Svojstva vode adsorbirane oko svake čestice zavise još i od veličine čestica, temperature, te količini i vrsti u njoj rastopljenih minerala (Strelec S. & Štuhec D., 2011).

Čimbenici o kojima ovisi kohezija sitnozrnatih materijala su:

- veličina čestica i njihov mineraloški sastav, što karakterizira granulometrijski sastav granice konzistencije;
- razmak između susjednih čestica, što karakterizira koeficijent pora;
- elektrokemijski sastav porne vode.

Kohezija, c nije konstanta materijala već ovisi o više faktora. Prvenstveno ovisi o vlažnosti. Pri različitim vlažnostima minerali glina se nalaze na različitim udaljenostima, a što utječe na jakost elektrokemijskih sila. Elektrokemijske sile djeluju i na relativno većim udaljenostima među česticama. One na taj način drže na okupu i relativno udaljene čestice. Elektrokemijske sile mogu se potpuno odstraniti ako se koherentno tlo rastopi u vodi. Promjena vlažnosti, a time i veličine kohezije očituje se u konzistentnim stanjima koherentnih materijala (Strelec S. & Štuhec D., 2011).

Kut unutarnjeg trenja

Kut unutrašnjeg trenja φ, odražava otpore pomicanju među česticama tla, koji nastaju zbog uklještenja, rotacije ili klizanja na kontaktima.

2.3. GLINENO TLO

Tijekom nastanka tla, razni su geološki čimbenici uzrokovali postajanje čestica različitih veličina i oblika. Glinu čini skup čestica čija je veličina manja od 0,002mm, bez obzira na njihov mineraloški sastav o kome bitno ovise svojstva glinenog tla. Oblik čestica, veličina i tvrdoća utječu na svojstva glinenog tla. Između molekula vode i površine čvrstih čestica djeluju molekularne sile. Zbog toga oko zrna tla nastaju opne vezane vode većeg viskoziteta koje sprečavaju izravan dodir među zrnima. Uz jednak porozitet vezat će se znatno veći broj molekula vode po jedinici volumena, na zrna vrlo sitnozrnatih materijala ljuskastog ili lističastog oblika. Takav oblik čestica daje glinenom tlu njegova tipična svojstva kao što su plastičnost, žilavost i znatna sposobnost deformacije. Svojstvo plastičnosti glinenog tla ovisi, ne samo o vrsti i obliku materijala sitnih čestica tla (Pranjić J., 1991).

Prema sadržaju vode glina se pojavljuje u različitim konzistentnim stanjima: žitko, lako gnječivo, teško gnječivo, polučvrsto i čvrsto. Nestabilnost konzistentnih stanja, u

ovisnosti o sadržaju vode, jest veliki nedostatak glinovitih materijala u pogledu temeljenja. Čvrstoća zrna tla je obično tako velika, da se naponi nastali među njima zbog određenog opterećenja prenose bez sloma pojedinih zrna. Deformacija opterećenog tla nastaje pretežito zbog klizanja među zrnima dok se postigne novo ravnotežno stanje, s manjim volumenom pora. Promjena volumena zbog izmijenjena opterećenja ovisi i o mehaničkim svojstvima zrna. Zbijena zrna međusobno se slažu u kompaktnu cjelinu. Ona se vrlo malo deformiraju pa se i struktura malo mijenja pod opterećenjem. Veoma sitne pločaste čestice glinovitih materijala slažu se u rahliji poredak. Između čestica nalazi se prostor koji ispunjavaju pore. Pore mogu biti ispunjenje vodom, zrakom ili vodom i zrakom. Ako su pore ispunjene samo vodom radi se o potpuno zasićenom tlo. Tlo je suho ako su pore ispunjene samo zrakom. Kad je tlo ispunjeno s manje ili više vode, može biti vlažno do djelomično zasićeno (Pranjić J., 1991).

Materijal koji se naziva glinenim materijalom obično sadrži najviše 20-30 % koloida, dok je ostatak najčešće prah i sitan pijesak. Ako je u glinovitom tlu sadržaj koloidnih čestica veći od 20-30 %, onda takvu glinu nazivamo masnom glinom ili glinom visoke plastičnosti. Ako je taj sadržaj manji od 20%, onda je to mršava glina ili glina srednje plastičnosti. Primjese praha ili pijeska čine glinu manje plastičnom (Pranjić J., 1991).

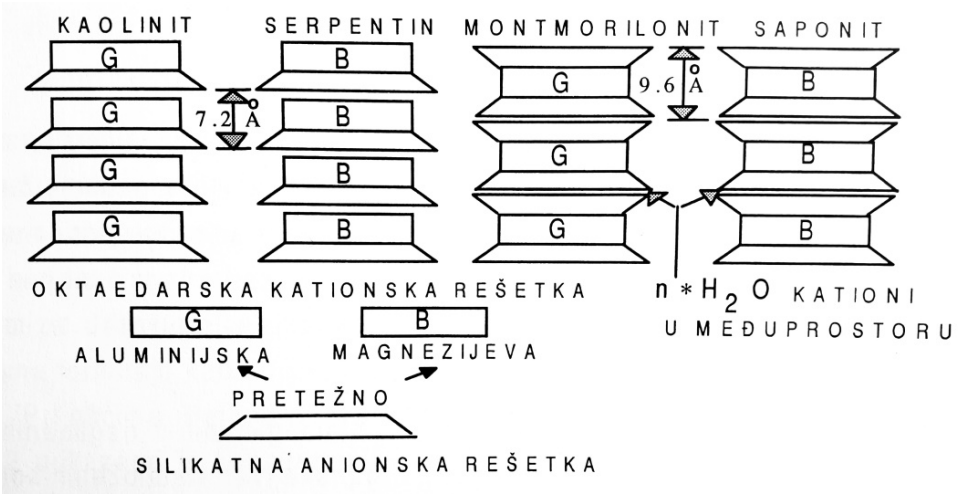
Unutarnje veze između čestica ostvaruju se preko opne vode i uvjetuju vezanost, plastičnost i ljepljivost glinenih tla. Ljepljivost glinenih tla je svojstvo da se lijepe za druga tijela. Brojčanu karakteristiku ljepljivosti predstavlja sila koje je potrebna da se glina odlijepi od površine, obično betona, drveta ili metala. Ljepljivost se pojavljuje pri određenoj vlažnosti, tj. pri vlažnosti početne ljepljivosti. S povećanjem vlažnosti ljepljivost u početku raste, a zatim naglo opada. Vlažnost pri kojoj tlo ima najveću ljepljivost naziva se vlažnost maksimalne ljepljivosti. Ljepljivost kao i plastičnost glinenih tala, ovisi i o granulometrijskom sastavu, svojstvu površine za koju se lijepi materijal i od mineraloškog sastava tla. Prema tome, mehanička i tehnička svojstva glina ovise najčešće o sadržaju vode u tlu (Pranjić J., 1991).

Kod sušenja se glina steže i dobiva pukotine, kod kvašenja se opet djelomično rasteže (bubri). Raste li sadržaj vode u tlu, to će tlo svoj volumen povećati i bubriti. Volumen koherentnog tla može varirati od maksimalno, na granici zasićenosti, do minimalno na granici stezanja. Ova nestabilnost volumena spada među najopasnija

svojstva glinenih materijala. Što su slojevi gline na većoj dubini, sadržaj vode je obično manji pa je glina djelomično suha i tvrda, a na manjim dubinama je većinom vlažna i plastična (Pranjić J., 1991).

2.4. MINERALI GLINE

Mineral gline sastoji se od silikatne anionske jedinice u obliku tetraedara i aluminijske ili magnezijske kationske jedinice u obliku oktaedara. Kationski oktadear može biti i nekog drugog sastava. Osobine gline ovise o tom kationskom dodatku i o obliku kristalne rešetke koju tvori određeni mineral. Kationski dodaci sadrže: NH, H, K, Fe, Al, Mg, Ba, Ca, Na, Li. Na slici 2.4 shematski je prikazano nekoliko takvih kristalnih sklopova (Roje-Bonacci T., 1994).



Slika 2.4 Minerali glina (Roje-Bonacci T., 1994).

Pomoću elektronskog mikroskopa mogu se vidjeti čestice gline. Njihov je oblik štapičast, pločast i/ili lističav.

Minerali glina vezani su međusobno elektrokemijskim silama. Jakost sila uvjetovana je specifičnom površinom i razmakom među česticama. Ove sile djeluju i na uvjetno rečeno velikim razmacima unutar koji se može smjestiti znatna količina iona vode. Elektrokemijske sile drže čestice na okupu i daju im sposobnost kohezije (Roje-Bonacci T., 1994).

3. EKSPLOZIVI

Eksplozivi su stabilni kemijski spojevi ili smjese koje imaju sposobnost da pod utjecajem vanjskog energetskog impulsa detoniraju, odnosno kemijski se razlažu u vrlo kratkom vremenskom periodu oslobađajući znatnu količinu plinova i topline (Krsnik J., 1989). Razvijaju se visoki pritisci koji će svojim naglim širenjem osvajati novi prostor. Ako je prostor dobro zatvoren, širenje plinova izaziva razaranje. Eksplozija razara stijenu uslijed naglo nastalog visokog pritiska i odbacuje ju u smjeru najmanjeg otpora, odnosno prema slobodnoj površini.

Za dovođenje eksploziva do detonacije potreban je početni impuls, tj. potrebno mu je dovesti određenu količinu energije u obliku toplotnog i mehaničkog impulsa, te udarnog vala. Inicirajuća sposobnost inicirajućeg eksploziva ocjenjuje se prema minimalnoj količini eksploziva potrebnoj da inicira dotični brizantni eksploziv.

Rudarski (gospodarski, civilni, privredni) eksplozivi su energetski materijali koji eksplozivnom pretvorbom mijenjaju potencijalnu kemijsku energiju u kinetičku energiju udarnih valova i energiju ekspanzije plinovitih produkata kemijske reakcije. Djelovanjem udarnih valova i ekspandirajućih plinova one se u obliku mehaničkog rada troše na drobljenje, pomicanje i odlamanje stjenske mase (Škrlec V., 2015).

Gospodarski eksplozivi detoniraju neidealno, s nižim vrijednostima pojedinih parametara detonacijskog procesa kao što su tlak i brzina te s duljim trajanjem kemijskih reakcija i oslobađanja topline, i nakon početka ekspanzije plinovitih produkata.

Prema Zakonu o eksplozivnim tvarima i oružju 70/17 17 eksplozivnim tvarima u civilnom području upotrebe se smatraju, (NN 70/17):

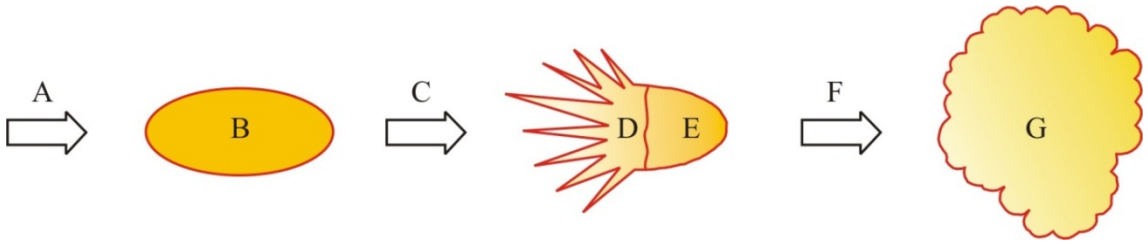
- gospodarski eksplozivi,
- sredstva za iniciranje eksplozivnih tvari,
- pirotehnička sredstva,
- streljivo,
- baruti,
- proizvodi punjeni eksplozivnim tvarima, i

- sirovine eksplozivnih svojstava koje služe za proizvodnju eksplozivnih tvari.

3.1. EKSPLOZIVNI PROCESI

Pojam eksplozija dolazi od latinske riječi *explodere* što znači raspasti se. Definiciju pojma eksplozija ponudilo je više autora. Prema Baumu i suradnicima eksplozija se u općem smislu definira kao proces vrlo brze fizičke ili kemijske pretvorbe sustava uz prijelaz njegove potencijalne energije u mehanički rad. Prema Derminu eksplozija se definira kao proces brzog oslobađanja velike količine energije u ograničenom volumenu. Prema Johanssonu i Perssonu eksplozija se definira kao nagla ekspanzija tvari do volumena mnogo većeg od njena početnog volumena. Može se reći da je eksplozija egzotermna, vrlo brza pretvorba početne tvari ili sustava uz ekspanziju nastalih plinovitih produkata (Sućeska M., 2001).

Eksplozivna pretvorba odvija se u vremenu 10^{-5} s, a shematski prikaz eksplozije dan je na slici 3.1.

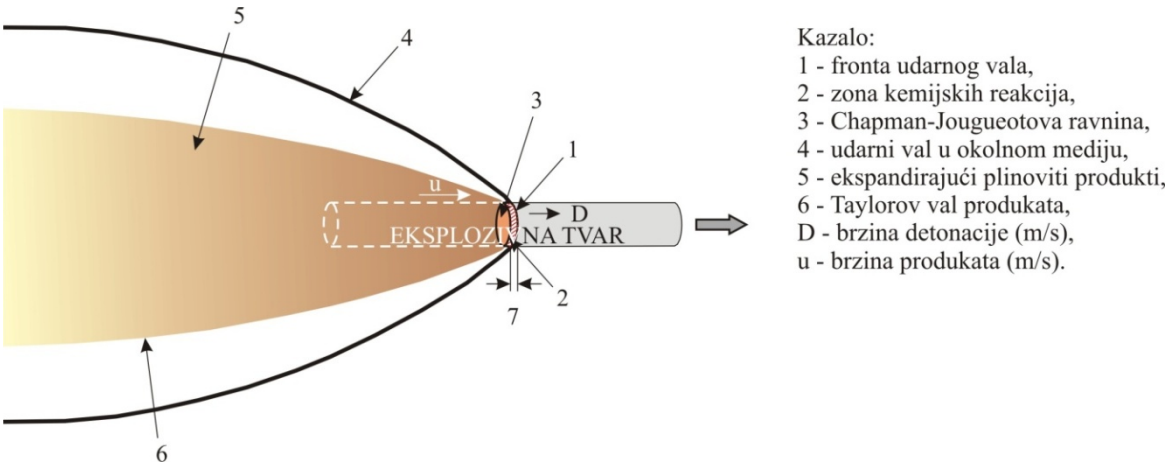


Kazalo:
A - inicijalni impuls (udar, plamen, toplina, trenje),
B - neporemećena eksplozivna tvar ($T \approx 20^{\circ}C, v \approx 0,2-1,5\,dm^3/kg, p \approx 1bar$),
C - kemijski proces pretvorbe,
D - plinoviti produkti,
E - neporemećena eksplozivna tvar,
F - ekspanzija plinovitih produkata,
G - plinoviti produkti u ekspanziji ($T \approx 2000-5000^{\circ}K, v \approx 1000\,kg/dm^3, p \approx 10^5 bar, Q \approx 3,5-7,5\,kJ/g$).

Slika 3.1 Eksplozija (Sućeska M., 2001; Dobrilović M., 2008)

Prema karakteristikama eksplozivne tvari i potrebnoj inicijalnoj energiji, pojedine eksplozivne tvari ne mogu iz sagorijevanja razviti detonaciju ni u kojim uvjetima. Za razvijanje stabilne detonacije potrebno im je dovesti energiju u obliku inicijalnog impulsa odgovarajućeg iznosa. Detonacija ima nekoliko karakteristika koji se razlikuju od sagorijevanja eksplozivne tvari i ostalih eksplozija. Detonacija je redovito nadzvučni proces u odnosu na brzinu zvuka u eksplozivnoj tvari. Proces detonacija se širi udarnim

valom, vruće točke nastaju kao rezultat djelovanja udarnog vala koji postaju centri za daljnje širenje reakcije. Zbog visokih tlakova reda nekoliko stotina kilobara materijal ne reagira kao cjelina, već u malim segmentima. Ispred fronte kemijskih reakcija nalazi se fronta udarnog vala, zona visoko stlačenog eksplozivnog materijala pripremljenog za reakciju. Budući da su pod visokim tlakom, prilikom ekspanzije oslobađaju energiju i prate frontu udarnog vala koji se širi i kroz eksplozivnu tvar i kroz okolinu, zrak ili stijenu, ovisno o tome u kojem se mediju detonacija zbiva (Sućeska M., 2001; Dobrilović M., 2008). Slika 3.2 prikazuje profil tlak-udaljenost od frotne udarnog vala.



Slika 3.2 Detonacijski proces u patroni eksploziva (Ester Z., 2005; Dobrilović M., 2008)

3.2. MINERSKO TEHNIČKE ZNAČAJKE EKSPLOZIVA

Ukupna učinkovitost i primjena eksploziva u određenoj sredini ovisi o tome kolika se energija oslobađa prilikom detonacije eksplozivnog punjenja i koliki mehanički rad ta energija i produkti reakcije ostvaruju na okolni materijal. Minersko-tehničke značajke opisuju navedenu sposobnost pojedinih gospodarskih eksploziva. Minersko tehničke značajke eksploziva moraju biti u skladu s fizikalno – mehaničkim svojstvima tla koje se minira (Škrlec V., 2015).

Minersko-tehničke značajke eksploziva su (Olofsson S.O., 1988):

- brzina detonacije,
- brizantnost eksploziva,
- radna sposobnost eksploziva,

- volumen plinova i specifični tlak eksplozije,
- tlak detonacije,
- kritična masa i promjer eksploziva,
- gustoća eksploziva,
- temperatura eksplozije,
- bilanca kisika,
- osjetljivost na udar,
- prijenos detonacije,
- vodootpornost.

Pojedine minersko-tehničke značajke eksploziva imaju presudan utjecaj prilikom izvođenja kotlovskih miniranja. To su: brzina detonacije, brizantnost i radna sposobnost eksploziva, volumen i specifični tlak eksplozije, te tlak detonacije i gustoća eksploziva. U nastavku ovog rada detaljnije ćemo obraditi navedene značajke.

3.2.1. Brzina detonacije

Brzina detonacije je brzina napredovanja detonacijskog udarnog vala od mjesta nastanka (iniciranja). Na brzinu detonacije utječu gustoća i promjer patrone eksploziva, vlaga i način iniciranja detonacije. Brzina detonacije za pojedinu eksplozivnu tvar ne ovisi o vanjskim čimbenicima (tlak temperatura, itd.). Brzina detonacije je jedna od važnijih karakteristika eksploziva, a prema njenom iznosu može se ocijeniti adekvatnost eksploziva za pojedinu upotrebu. O brzini detonacije ovisi i razorna snaga, odnosno brizantnost eksploziva (Škrlec V., 2015).

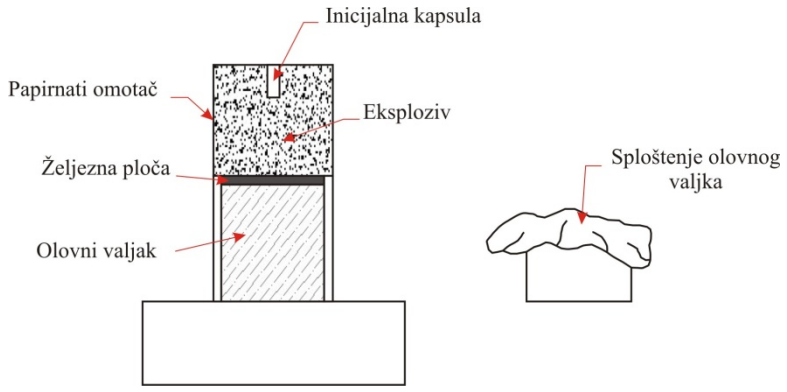
Brzina detonacije eksploziva ovisi o:

- kemijskom sastavu eksplozivne tvari,
- gustoći i promjeru punjenja,
- snazi i brzini inicijalnog impulsa dovedenog eksplozivnoj tvari.

3.2.2. Brizantnost eksploziva

Razorna snaga odnosno brizantnost eksploziva ovisi o brzini detonacije. Metode za određivanje brizantnosti, uzimaju generalno u obzir impuls tlaka na granici eksploziv-sredina kao mjeru intenziteta djelovanja eksploziva. Brizantnost je općenito definirana

kao razorna sposobnost eksploziva koja je rezultat dinamičkog udara produkata detonacije na okolnu sredinu. U minskoj bušotini, udarno djelovanje produkata detonacije primarno drobi stijenu u zoni širine nekoliko radijusa minske bušotine. Nakon smanjenja tlaka udarnog vala ispod tlačne čvrstoće stijene, on prelazi u elastični val koji napreduje dalje u sredinu. Princip Hessove probe je prikazan na slici 3.3 (Škrlec V., 2015).



Slika 3.3 Princip Hessove probe (Krsnik J., 1989)

3.2.3. Radna sposobnost eksploziva

Radna sposobnost eksploziva je definirana slijedećim parametrima: količinom plinova formiranih reakcijom, oslobođenom toplinom te brzinom detonacije. Utjecaj pojedinog parametra na rad obavljen nad okolinom ovisi o uvjetima u kojima se proces eksplozije odvija (Sućeska 1995). Obavljanje mehaničkog rada nad stijenom uzrokovano je i udarnim djelovanjem na stijenu prenesenog udarnog vala i djelovanjem ekspandirajućih produkata detonacije.

Radna sposobnost eksploziva smanjene gustoće određuje se:

- metodom otiska na čeličnoj ploči,
- ispitivanjem s dvostrukim cijevima
- mjerenjem radne sposobnosti eksploziva modificiranim Trauzlovim testom.

Radna sposobnost eksploziva smanjene gustoće određuje se:

- metodom određivanja volumena kratera i
- ljevkastim pokusima.

Za eksperimentalno određivanje brizantnosti i radne sposobnosti eksploziva, osmišljeno je više različitih metoda. Kod svih metoda rezultati su izraženi kao relativno određene vrijednosti u odnosu na referentni eksploziv ili kao usporedba učinka više različitih eksploziva.

Metode za određivanje brizantnosti i radne sposobnosti eksploziva su (Škrlec V., 2015):

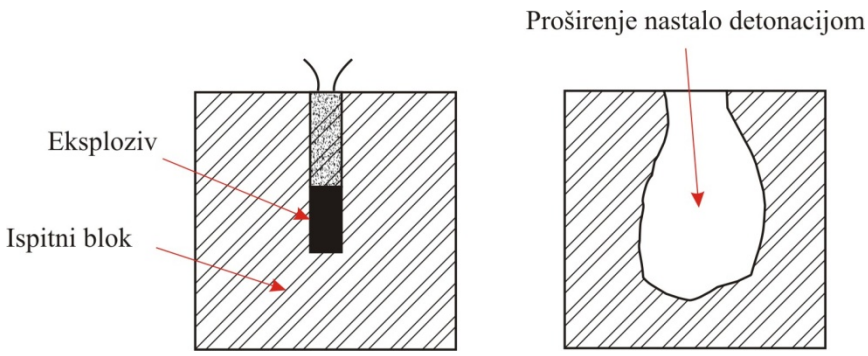
- mjerenje radne sposobnosti eksploziva olovnim cilindrom - Trauzl,
- relativna radna sposobnost određena pomoću balističkog njihala,
- određivanje brizantnosti eksploziva deformacijom cilindra (po Hessu),
- određivanje brizantnosti eksploziva deformacijom cilindra (po Kastu),
- određivanje brizantnosti eksploziva metodom otiska na čeličnoj ploči,
- određivanje brizantnosti eksploziva širenjem bakrenog cilindra,
- podvodni detonacijski pokus,
- ispitivanje s dvostrukim cijevima,
- linearno povećanje izbojnice,
- određivanje volumena kratera,
- ljevkasti pokusi, itd.

Brizantnost i radna sposobnost eksploziva smanjene gustoće određene su:

- mjerenjem radne sposobnosti eksploziva modificiranim Trauzlovim testom,
- ispitivanjem s dvostrukim cijevima.

Radna sposobnost eksploziva određuje se pomoću Trauzlove probe u olovnom cilindru promjera 200 mm i visine 200 mm, u sredini kojeg se nalazi bušotina promjera 25 mm, dubine 125 mm.

Na dnu bušotine otpucava se 10 g eksploziva za ispitivanje zajedno s trenutnim električnim detonatorom. Ostatak bušotine ispuni se sitnim suhim pijeskom. Detonacijom eksploziva bušotina se proširi. Iznos volumena proširenja je mjera radne sposobnosti eksploziva. Uspoređivanjem rezultata mjerenja različitih eksploziva može se postaviti relativni odnos radnih sposobnosti kao mjera oslobođene snage prilikom detonacije u jednakim uvjetima. Princip Trauzlove probe je prikazan na slici 3.4.



Slika 3.4 Trauzlova proba (Krsnik J., 1989)

3.2.4. Volumen plinova i specifični tlak eksplozije

Pri detonaciji eksploziva razvijaju se plinovi čija količina ovisi o vrsti eksploziva. Volumen plinova koji nastaje pri detonaciji 1 kg eksploziva izražava se u dm^3, a mjeri se kod temperature od T = 0 °C, T = 298,15 K i tlaka od 1 bara. Najveći tlak koji nastaje pri detonaciji 1 kg eksploziva u zatvorenom prostoru volumena 1 dm^3 naziva se specifični tlak i izražava se u barima. Specifični tlak može se izračunati na osnovi volumena plinova i temperature eksplozije (Škrlec V., 2015).

Tlak nastalih plinova ovisi o količini razvijenih plinova, temperaturi eksplozije i volumena u kojem je izvedena eksplozija.

3.2.5. Tlak detonacije

Tlakom detonacije smatra se onaj tlak koji se nalazi odmah iza fronte udarnog vala i prethodi tlaku nastalom ekspanzijom plinovitih produkata detonacije (Škrlec V., 2015). Budući da je eksplozivni materijal pod visokim tlakom, prilikom ekspanzije oslobađaju energiju i prate frontu udarnog vala koji napreduje i kroz eksplozivnu tvar i kroz okolinu.

Tlak detonacije je moguće mjeriti osjetilima s vrlo brzim odzivom kao što su elektrootporna osjetila i piezo osjetila, ili posrednim metodama mjerenjem tlaka udara metalnih ploča pokretanih detonacijskim valom, zatim mjerenjem brzine udarnih valova u pojedinim sredinama izazvanih detonacijskim valom, pokusima u vodi itd (Škrlec V., 2015).

3.2.6. Gustoća eksploziva

Gustoća je fizikalno svojstvo same eksplozivne tvari i predstavlja odnos mase eksplozivne tvari i njenog volumena. Smanjenjem gustoće eksplozivne tvari smanjuje se brzina detonacije i tlak detonacijskog udarnog vala. Gustoća komercijalnih eksploziva se kreće u granicama od 0,80 g/cm^3 do 1,60 g/cm^3 (Krsnik J., 1989).

Za određivanje gustoće eksploziva smanjene gustoće se primjenjuje postupak određivanja gustoće tečnih eksploziva. Tečnim eksplozivima se smatraju oni eksplozivi koji se nalaze u obliku čvrstih zrnaca, u tekućem ili u obliku paste, odnosno u obliku koji omogućuje pretakanje homogene neprekinute mase između posuda bez prisile (HRN EN 13631-13, 2003).

3.3. AMONIJ NITRATNO PRAŠKASTI EKSPLOZIVI - PERMONEX V19

Amonijsko nitratno praškasti eksplozivi su izrađeni na osnovi amonijskog nitrata i trotila ili nitroglicerina kao senzibilizatora uz dodatak organskih gorivih tvari i sredstava za zaštitu od vlage i stvrdnjavanja.

Za potrebe istraživanja korišten je Permonex V19, slika 3.3. Permonex V19 je patronirani amonij-nitratno praškasti eksploziv. Teoretske značajke Permonexa V19 prema specifikaciji proizvođača prikazane su u tablici 3.1, a rezultati ispitivanja provedeni u Laboratoriju za eksplozivne tvari na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu sukladno zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007 (Ester Z., 2005) prikazani su u tablici 3.2.



Slika 3.5 Permonex V19

Tablica 3.1 Teoretske značajke eksploziva Permonex V19 prema specifikaciji proizvođača

PERMONEX V19	
Gustoća eksploziva	0,95 [g/cm^3]
Brzina detonacije	4500 [m/s]
Toplina eksplozije	4,36 [MJ/kg]
Obujam plinova, V	900 [l/kg]
Prijenos detonacije	maksimalno do 5cm
Vodootpornost	mala u patroni
Iniciranje	rudarska kapica br.8

Tablica 3.2 Rezultati ispitivanja amonijnitratno praškastog eksploziva -Permonex V19

PERMONEX V19				
Datum ispitivanja	**Gustoća eksploziva** ρ	**Prijenos detonacije** D	**Promjer patrone** Φ	**Srednja brzina detonacije** v
	[g/cm^3]	**[cm]**	**[mm]**	**[m/s]**
18.11.2000.	-	4	28	3475
11.06.2001.	1,129	4	28	3279
30.07.2002.	1,129	3	28	3781
23.12.2004.	1,129	4	60	4182
11.04.2006.	1,126	3	70	4322
30.04.2007.	1,129	3	60	4038
14.05.2008.	1,082	4	70	4151
30.03.2009.	1,088	4	70	4476
24.06.2009.	1,086	5	70	4839
07.07.2010.	1,050	6	60	4291
07.07.2010.	1,043	6	60	4295
30.06.2011.	-	5	60	4286
08.08.2011.	-	6	60	4222

3.4. ANFO EKSPLOZIV - PAKAEX

ANFO eksplozivi sastoje se od granuliranog amonijevog nitrata s dodatkom mineralnih ulja. Nisu vodootporni. Prijenos detonacije kod ANFO eksploziva se ostvaruje kontaktom.

Za potrebe istraživanja ispitan je eksploziv Pakaex, slika 3.4. Teoretske značajke Pakaex-a prema specifikaciji proizvođača prikazane su u tablici 3.3. Tablica 3.4. prikazuje rezultate ispitivanja provedenih u Laboratoriju za eksplozivne tvari na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu sukladno zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007 (Ester Z., 2005).



Slika 3.6 Pakaex

Tablica 3.3 Teoretske značajke eksploziva Pakaex-a prema specifikaciji proizvođača

PAKAEX	
Gustoća eksploziva (nasipna)	0,870±0,02 [g/cm^3]
Brzina detonacije	2950±100 [m/s]
Toplina eksplozije	3700±100 [kJ/kg]
Obujam plinova, V	984 [l/kg]
Temperatura eksplozije	2194 [$^{\circ}C$]
Prijenos detonacije	potpunim kontaktom
Vodootpornost	nije vodootporan

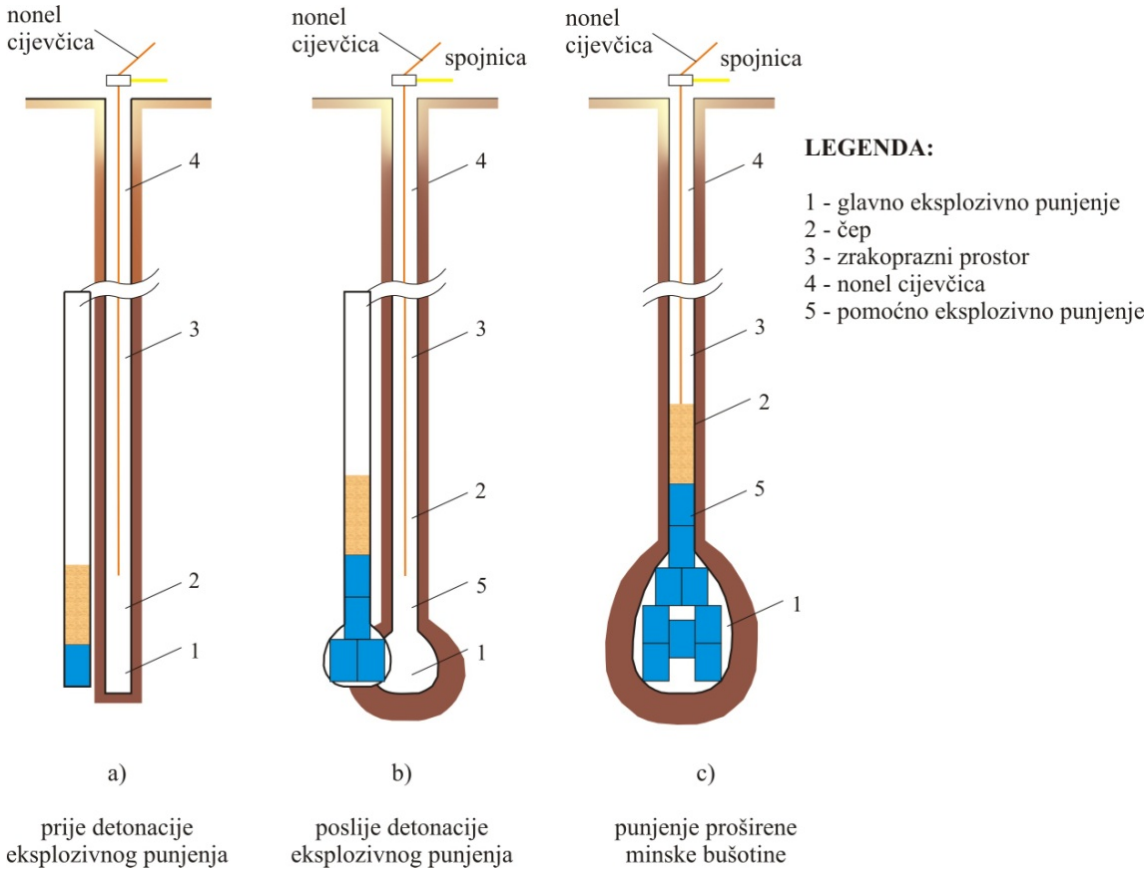
Tablica 3.4 Rezultati ispitivanja ANFO eksploziva - Pakaex

PAKAEX				
Datum ispitivanja	**Gustoća eksploziva** ρ **[g/cm^3]**	**Prijenos detonacije** **D** **[cm]**	**Promjer patrone** Φ **[mm]**	**Srednja brzina detonacije** **v** **[m/s]**
30.11.2006.	0,882	67	40	2944
20.11.2007.	0,888	69	40	5869
14.11.2008.	0,876	69	40	2852
13.11.2009.	0,886	69	20	3691
28.01.2011.	0,873	69	20	3018
20.01.2012.	-	69	20	3201

4. KOTLOVSKA MINIRANJA

Kotlovsko miniranje se primjenjuje u slučaju kada se proračunata masa eksplozivnog naboja ne može smjestiti u minsku bušotinu određenog promjera. U tom se slučaju donji dio bušotine proširuje aktiviranjem manjeg eksplozivnog naboja pri dnu bušotine, čime se proširi dno bušotine na potrebnu veličinu. Prilikom detonacije eksplozivnog punjenja, stijena se pod djelovanjem visokog tlaka plinovitih produkata stlači i dolazi do stvaranja proširenja u obliku kotla (Sućeska M., 2001).

Ovo se proširenje može i ponoviti uz povećanje eksplozivnog punjena sve dok se ne dobije potreban prostor za predviđenu količinu eksploziva. Nakon svakog proširenja potrebno je bušotinu očistiti komprimiranim zrakom ili posebnim priborom koji se vadi odminirani materijal. Tako oblikovani prostor se puni projektiranom količinom eksploziva, kako je prikazano na slici 4.1.



Slika 4.1 Faze kotlovskog miniranja (Krsnik J., 1989)

4.1. DJELOVANJE EKSPLOZIJE U KOHERENTNIM TLIMA

Pri detonaciji eksplozivnog punjenja unutar minske bušotine dolazi do stvaranja visokog tlaka plinova eksplozije koji se nalaze pod visokim tlakom, uslijed čega se stijena (tlo) koja je neposredno uz eksplozivno punjenje počinje kretati, a udaljeniji slojevi počinju se zbijati.

Proširenja nastala otpucavanjem kotlovskih punjenja različita su po obliku i veličini. Kod koherentnih tla u osnovi se formira proširenje u obliku kugle.

Pri detonaciji kotlovske mine dolazi do generiranja udarnog vala i tlaka plinova detonacije u tlu te se stvara snažni porni predtlak i intenzivne oscilacije u okolini eksplozivnog punjenja. Tijekom tog procesa razara se prirodna struktura glinenog tla, nastaje slobodni volumen (šupljina) u neposrednoj blizini eksplozivnog punjenja, a u zoni uz stjenku bušotine odnosno proširenja dolazi do intenzivnog stlačivanja glinenog tla uz povećanje gustoće djeluje visoki tlak plinova eksplozije. Formira se proširenje u

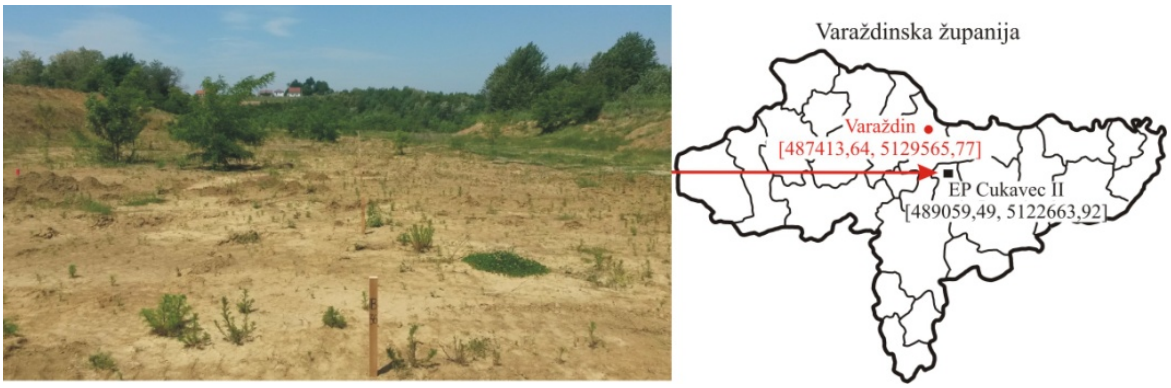
obliku kugle. Slabljenjem kompresijskog vala od centra eksplozije, formiraju se zona zbijanja i zona oscilacija tla. Djelovanje eksplozije u mekanim stijenama prikazano je na slici 4.2.



Slika 4.2 Djelovanje eksplozije u mekim stijenam.

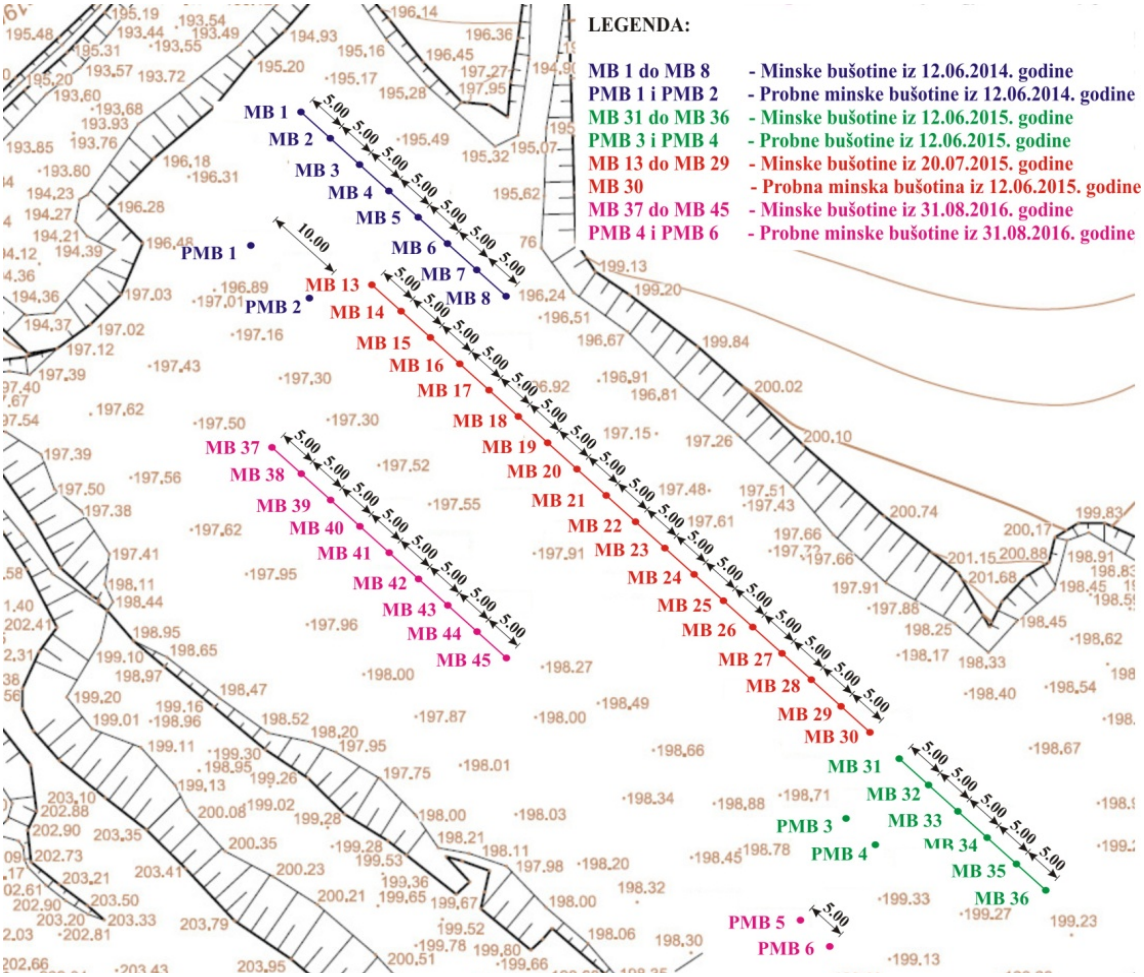
5. TERENSKA GEOTEHNIČKA ISTRAŽIVANJA

Na eksploatacijskom polju Cukavec II u 2014., 2015. i 2016. godini napravljena su geotehnička istraživanja. Glinište se nalazi u bližoj okolici grada Varaždina, u općini Gornji Kneginec slika 5.1. Geotehnička istraživanja obuhvatila su geofizička istraživanja, laboratorijska ispitivanja, pokusna miniranja i određivanje efektivnog raspona masa dvaju vrsta eksploziva, utvrđivanje nastalih kuglastih proširenja nakon aktiviranja eksplozivnog punjenja u koherentnom glinovitom tlu (Težak D., 2018).



Slika 5.1 Lokacija eksploatacijskog polja Cukavec II (Težak D., 2018).

Geodetski profil na terenu je iskolčen GNSS *(eng. Global Navigation Satellite System)* metodom mjerenja, a koordinate istražnih bušotina određene su u novom službenom referentnom koordinatnom sustavu HTRS96 *(Hrvatski terestrički referentni sustav za epohu 1995.55)*, odnosno iste su prikazane u novoj kartografskoj HTRS96/TM projekciji slika 5.2.



Slika 5.2 Eksploatacijsko polje Cukavec II i iskolčene minske bušotine (Težak D., 2018).

5.1. ISTRAŽNO BUŠENJE

Provedena su istražna bušenja minskih bušotina s ciljem dobivanja poremećenih i neporemećenih uzoraka glinenog tla, koji su vađeni iz karakterističnih minskih bušotina na određenim dubinama.

Bušenje je postupak prodiranja bušaćeg pribora u tlo ili stijenu do određene dubine. Dubina bušenja treba dosegnuti zonu tla u kojoj se ne očekuju znatnije promjene naprezanja i pojave deformacija izgradnjom objekta, ako se rade istraživanja za temeljenje objekta. Tijekom postupka bušenja potrebno je registrirati razinu podzemne vode u svim koracima bušenja.

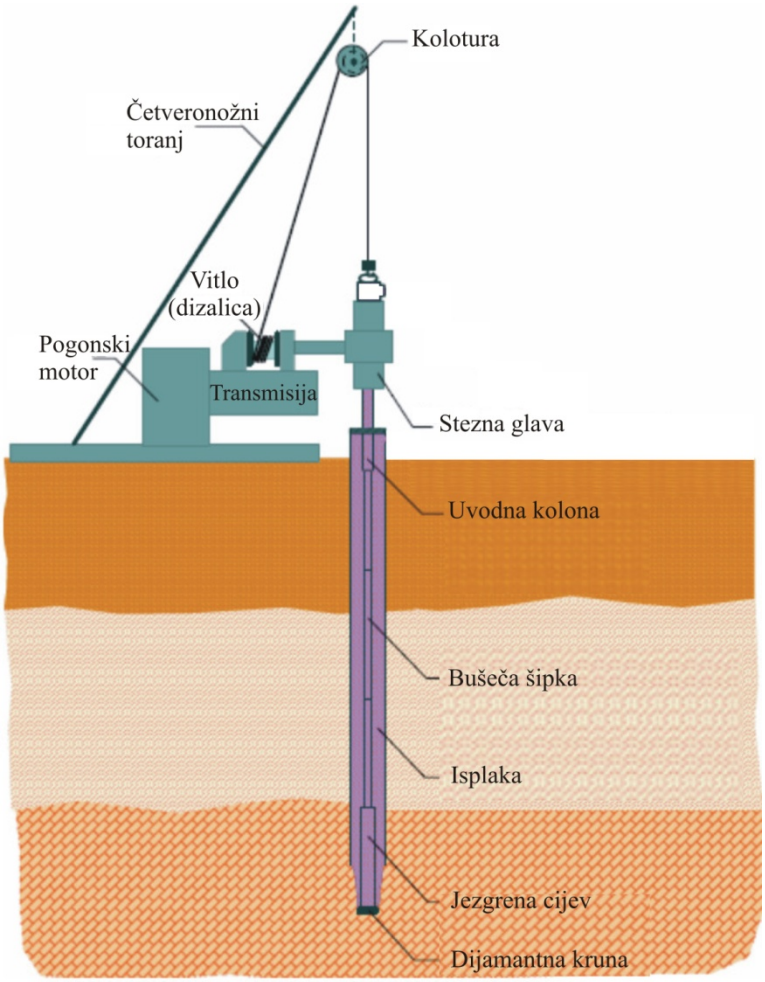
Metode za izvođenje bušotina u tlu i stijeni su:

- ručno bušenje,
- udarno bušenje,
- rotacijsko bušenje:
    - bušenje spiralnim svrdlima,
    - bušenje s jezgrovanjem,
    - bušenje bez jezgrovanja.

5.1.1. ROTACIJSKO BUŠENJE S JEZGROVANJEM

Rotacijsko bušenje s jezgrovanjem je metoda kod koje je bušači alat pričvršćen na niz šupljih bušaćih šipki, strojno rotira i hidraulički utiskuje s površine terena.

Na dnu šipki pričvršćena je posebna sržna cijev na čijem je dnu šuplja bušača glava s krunom. Kruna je nazubljeni alat, čiji su zubi izrađeni od posebno obrađenog čelika (vidija) ili industrijskih dijamanata koji su otporni na habanje. Kroz bušaće šipke i jezgrenu cijev utiskuje se kod dubokih bušotina voda koja hladi pribor ugrijan od rada, a iznosi strugotine ispod krune kroz bušotinu do površine terena slika 5.3 (Težak D., 2018).



Slika 5.3 Prikaz rotacijskog bušenja s jezgrovanjem (Težak D., 2018).

Uzimanje uzoraka

Prilikom istražnih bušenja vađeni su poremećeni i neporemećeni uzorci gline. Uzorci su vađeni iz karakterističnih minskih bušotina, na određenim dubinama, te su poslani u Geotehnički laboratorij na daljnja ispitivanja. Iz bušotina se neporemećeni uzorci vade posebnim priborom. On se sastoji od noža koji prodire u tlo, dvodijelne cijevi dužine *0,5 m* u koji ulazi uzorak i spojnog dijela između bušaćih šipki i cijevi za uzorak. Ovaj spojni dio posebno je izrađen da bi kroz njega mogla iz cijevi izaći voda i zrak, a da se eventualno može stvoriti vakuum da bi se osiguralo da uzorak ne ispadne prilikom vađenja. Postoje i razni dodaci koji su umetnuti u cijev, odmah iza noža, a koji sprečavaju ispadanje uzorka. Nakon vađenja iz tla uzorak se parafinom štiti od isušivanja, ovija ljepljivom trakom, označi i odmah šalje u laboratorij na čuvanje u vlažnu komoru. Uzorke je potrebno vrlo pažljivo prevoziti naročito ako nisu u

cilindrima ili drvenim sanducima. Nužno je da do ugrađivanja u laboratorijske uređaje stignu zaista neporemećeni (Težak D., 2018).

5.1.2. OBRADA GEOFIZIČKI REZULTATA MJERENJA

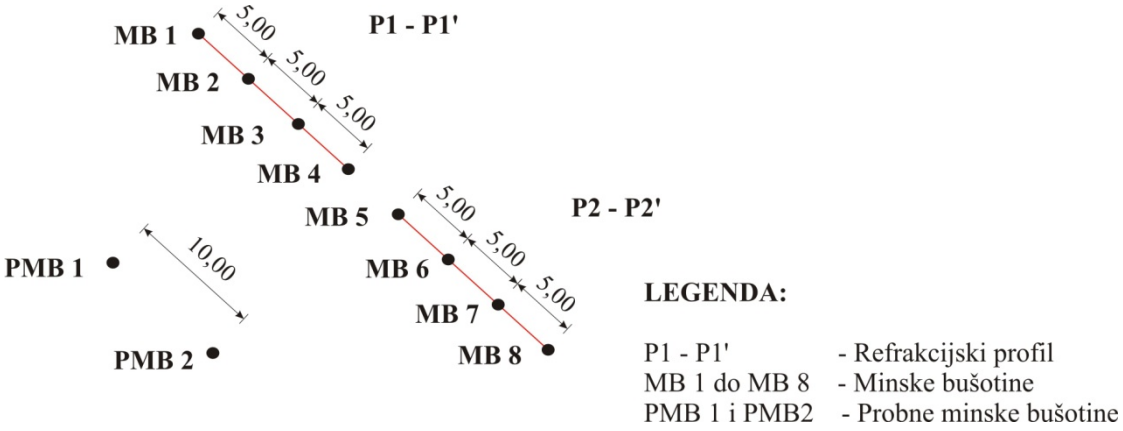
Terenskim radovima mjereni su i utvrđeni terenski podaci o slojevima tla po dubini primjenom geofizičkih seizmičkih metoda te in situ ispitivanja dinamičkih svojstava glinenog tla. Mjerenja su obavljena metodom višekanalne analize površinskih valova (MASW). To je seizmička geofizička metoda čiji rezultati omogućuju procjenu krutosti tla, a ista je izravno povezana s posmičnim modulom, koji je jedan od najvažnijih inženjerskih parametara.

5.1.2.1. Seizmička terenska ispitivanja u 2014. godini

U 2014. godini istraživanje je koncipirano na način da su izvedena 2 refrakcijska profila postavljena na ušćima minskih bušotina MB 1 do MB 8. Minske bušotine ujedno su i predmetno minsko polje. Na minskim bušotinama mjerena su vremena prvih nailazaka seizmičkih valova na geofone postavljene u nizu, odnosno pikiranje i korespondencija vremena, slika 5.4.

Svaki profil je obuhvatio 4 minske bušotine prosječne dubine 2 metra na međusobnom razmaku od 5 metara. U blizini tih profila izvedene su dvije probne minske bušotine PMB 1 i PMB 2 dubine 2 metra. Prvi profil obuhvatio je minske bušotine MB1 do MB4. Minske bušotine napunjene su eksplozivnim punjenjem Pakaex, masama 0,40 kg do 1,00 kg. Drugi profil obuhvatio je minske bušotine MB 5 do MB 8, koje su napunjene eksplozivnim punjenjem Permonex V19, masama 0,40 kg do 1,00 kg.

Refrakcijska seizmika nije se pokazala kao pogodna za predmetno istraživanje, te se stoga 2015. godine uporabila MASW metoda koja kao rezultat daje brzine *S* valova, koji su puno bolji za procjenu dinamičkih svojstava tla (krutosti) (Težak D., 2018).



Slika 5.4 Raspored profila-minskih i probnih bušotina u 2014. godini (Težak D., 2018).

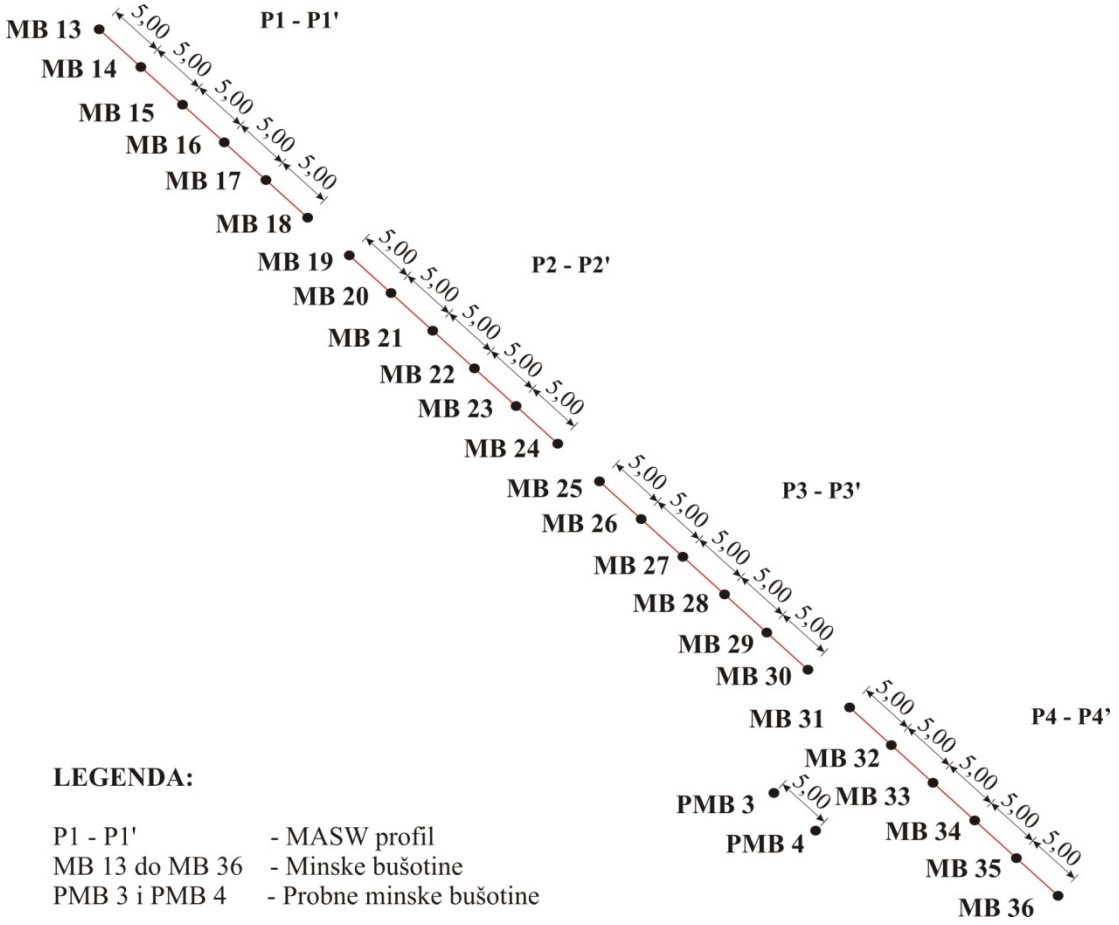
5.1.2.2. Seizmička terenska ispitivanja u 2015. godini

U 2015. godini seizmička istraživanja obuhvatila su minsko polje MB 13 do MB 36. Za procjenu dinamičkih svojstava glinenog tla korištena je MASW metoda, slika 5.5.

Tijekom terenskih seizmičkih istraživanja metodom MASW u 2015. godini bila su izvedena ukupno 4 seizmička profila. Profili su postavljeni u liniji preko ušća minskih bušotina, te je svaki profil obuhvatio 6 minskih bušotina prosječne dubine 2,5 metra, na međusobnom razmaku od 5 metara. U blizini tih profila izvedene su dvije probne minske bušotine PMB 3 i PMB 4 dubine 2,5 metra.

Prvi profil obuhvatio je minske bušotine MB 13 do MB 18. Minske bušotine napunjene su eksplozivnim punjenjem Pakaex, masama od 0,20 kg do 0,80 kg.

Drugi profil obuhvatio je minske bušotine MB 19 do MB 24, koje su napunjene eksplozivnim punjenjem Pakaex i Permonex V19. Minska bušotina MB 19 napunjena je eksplozivnim punjenjem Pakaex, masom 0,80 kg, a minska bušotina MB 20 napunjena je Pakaex-om, masom od 1,00 kg. Minske bušotine MB 21 do MB 24 napunjene su sa Permonex-om V19 od 0,20 kg do 0,80 kg (Težak D., 2018).



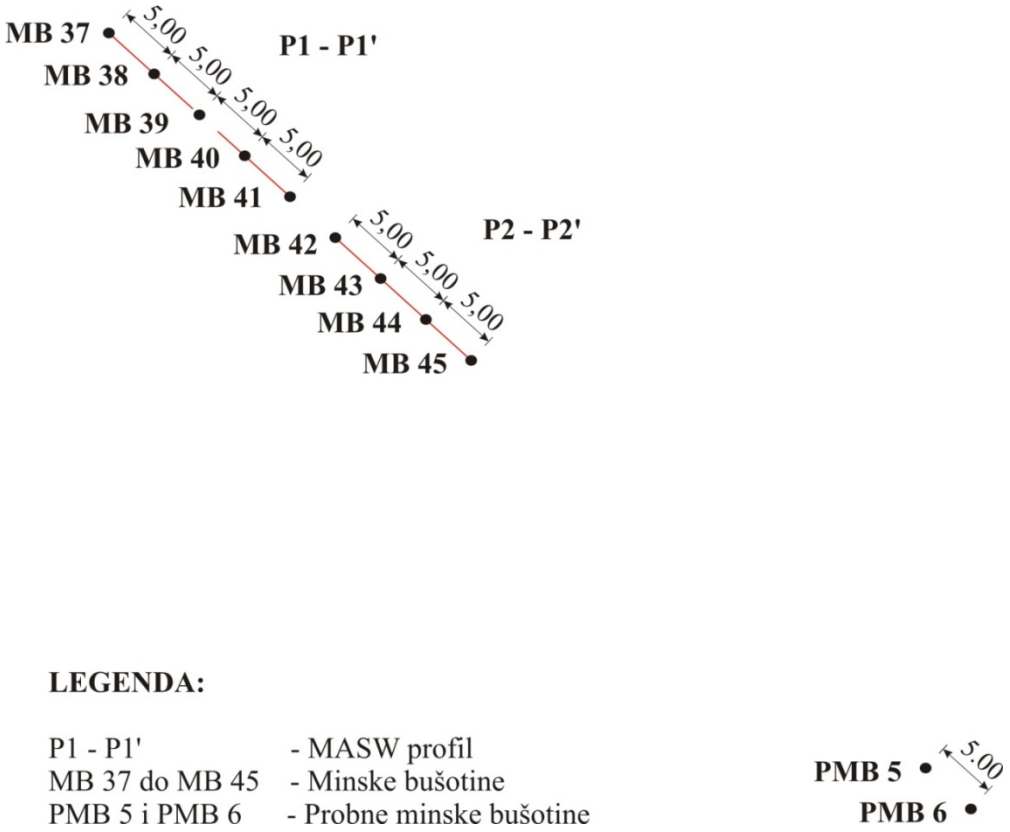
Slika 5.5 Raspored profila-minskih i probnih bušotina u 2015. godini (Težak D., 2018).

5.1.2.3. Seizmička terenska ispitivanja u 2016. godini

Tijekom terenskih seizmičkih istraživanja metodom MASW u 2016. godini bila su izvedena 2 seizmička profila. Profili su postavljeni kroz ušća minskih bušotina, te je svaki profil obuhvatio 5 minskih bušotina prosječne dubine 2,0 metra na međusobnom razmaku od 5 metara. U blizini tih profila aktivirane su dvije probne minske bušotine PMB 5 i PMB 6 dubine 2,0 metra, slika 5.6.

Prvi profil obuhvatio je minske bušotine MB 37 do MB 41. Minske bušotine napunjene su eksplozivnim punjenjem Pakaex, masama 0,20 kg do 1,00 kg.

Drugi profil obuhvaća minske bušotine MB 42 do MB 45, napunjene eksplozivnim punjenjem Permonex V19, masama od 0,20 kg do 0,80 kg (Težak D., 2018).



Slika 5.6 Raspored profila-minskih i probnih bušotina u 2016. godini (Težak D., 2018).

6. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA UZORAKA

Početna geomehanička laboratorijska ispitivanja poremećenih i neporemećenih uzoraka predmetnog glinenog tla izvedena su u akreditiranom laboratoriju na Geotehničkom fakultetu prema međunarodnoj normi HRN EN ISO/IEC 17025:2007.

Nakon izvedenih geodetskih i geofizičkih seizmičkih mjerenja i istraživanja, izvedena su istražna bušenja. Prilikom istražnih bušenja izvađeni su poremećeni i neporemećeni uzorci tla, koji su dostavljeni u laboratorij na daljnju analizu. Utvrđuju se opća i posebna fizikalna svojstva glinenog tla iz ležišta Cukavec II, kao što su vlažnost, vodopropusnost, gustoća, te zbijenost i čvrstoća tla prije i nakon miniranja.

Sva laboratorijska ispitivanja izvedena se prema metodama i postupcima sadržanim u normama iz odgovarajućeg područja ispitivanja. Danas se u RH u geomehaničkim

ispitivanjima tla i stijene najviše koriste europske norme koje su prihvaćene kao nacionalne norme.

Od fizikalnih svojstava tla, u laboratoriju se određuje vlažnost, vlažna i suha obujamska gustoća i gustoća čvrstih čestica tla.

Vlažnost se određuje sušenjem uzorka na temperaturi 105 do 110 °C do stalne mase, ili ukoliko se radi o materijalu koji sadrži organske primjese, na temperaturi 60 do 65 °C, zavisno o normi ispitivanja. Vlažna obujamska gustoća određuje se najčešće mjerenjem dimenzija i vaganjem mase uzoraka tla, dok se suha obujamska gustoća izračunava iz vlažnosti tla.

Gustoća čvrstih čestica tla određuje se pomoću piknometara, najčešće tipa Gay-Lisac, a na prethodno osušenom i usitnjenom materijalu. Za uklanjanje zraka iz vode koristi se metoda kuhanja ili vakumiranja. Obujam usitnjenih čestica tla određuje se pomoću Arhimedovog zakona. Ovom metodom ispitivanja određuje se relativna gustoća čvrstih čestica tla u odnosu na gustoću vode pri referentnoj temperaturi 20 °C.

Iz osnovnih fizikalnih svojstava tla moguće je izračunati i njegova druga svojstva kao što su porozitet, koeficijent pora i stupanj saturacije.

7. POKUSNA MINIRANJA I ODREĐIVANJE EFEKTIVNOG RASPONA MASA DVIJU VRSTA EKSPLOZIVA KOJIMA SE DOBIVA KUGLASTO PROŠIRENJE

Terenskim istražnim radovima u 2014., 2015. i 2016. godini, mjereni su i utvrđeni rasponi masa dviju različitih vrsta eksplozivnog punjenja, kojima se ostvaruje kuglasto proširenje u glinovitom koherentnom tlu tijekom provođenjem pokusnih miniranja, slika 12. Pokusna miniranja izvedena su na ukupno 48 minskih bušotina. Od 48 minskih bušotina, 6 ih je bilo probnih (Težak D., 2018).



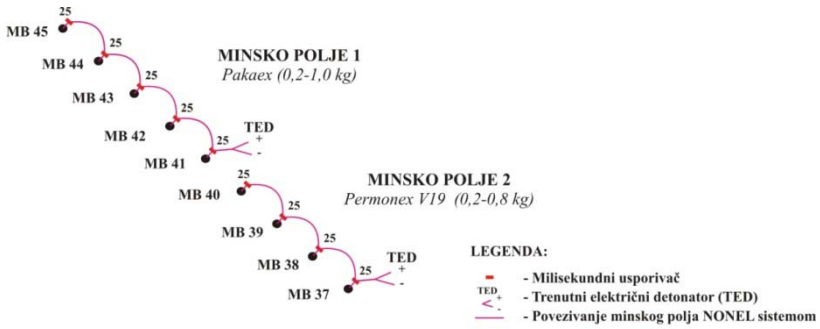
Slika 7.1 Pokusna miniranja na eksploatacijskom polju Cukavec II 2016. godine (Težak D., 2018).

Tijekom kotlvoskog miniranja nastala su proširenja koja su bila različita po obliku i veličini. Kod homogenih glinenih tla formira se proširenje u obliku kugle. Pokusnim miniranjima utvrđeni su efektivni rasponi masa dviju različitih vrsta eksploziva kojima se ostvaruje kuglasto proširenje u glinovitom koherentnom tlu provođenjem pokusnih miniranja. Utvrđeno je da je kuglasto proširenje za zadani promjer minske bušotine od 131 mm i dubinu minskih bušotina od 2,00 - 3,00 m, moguće ostvariti uporabljenim eksplozivima tipa Permonex V19 i Pakaex, slika 7.2, u rasponu od 0,2 do 1,6 kg. Eksploziv Permonex V19 ima deklariranu brzinu detonacije 4500 m/s, dok ona kod eksploziva Pakaex iznosi 2950 m/s. Aktiviranje eksplozivnog punjenja izvedeno je NONEL sistemom preko trenutnih električnih detonatora (TED), slika 7.3. Prilikom

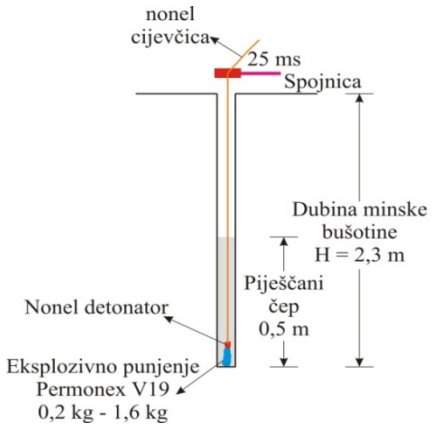
pokusnih miniranja idealnom se pokazala veličina pješčanog čepa od 0,5 metara, granulacije 0/4 mm. Na slici 7.4 prikazana je konstrukcija punjenja minske bušotine. Trenutak aktiviranja eksplozivnog punjenja Permonex V19 prikazan je na slici 7.5. Shematski prikaz nastalog kuglastog proširenja prikazan je na slici 7.6.



Slika 7.2 Eksplozivna punjenja Permonex V19 i Pakaex (Težak D., 2018).



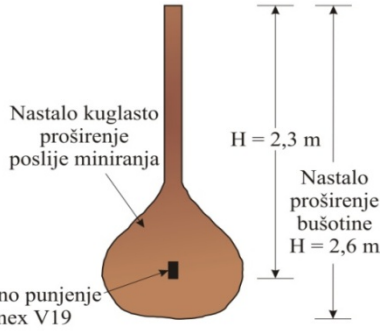
Slika 7.3 Shema minskog polja minskih bušotina iz 2016. godine.



Slika 7.4 Konstrukcija punjenja minske bušotine



Slika 7.5 Trenutak aktiviranja eksplozivnog punjenja



Slika 7.6 Nastalo kuglasto proširenje

Prije izvođenja pokusnih miniranja na eksploatacijskom polju Cukavec II napravljen je detaljan plan izvođenja miniranja, tablica 7.1, 7.2, 7.3 i 7.4. Iz prikazanih tablica vidljivo je da svaka minska bušotina ima određenu vrstu i duljinu minskog čepa. Svaka minska bušotina imala je određenu vrstu i masu eksplozivnog punjenja.

Tablica 7.1 Pokusna miniranja 12. lipnja 2014. godine

Minska bušotina	Promjer minske bušotine D_{MB} [m]	Dubina minske bušotine H_{MB} [m]	Vrsta eksploziva	Masa eksploziva Q [kg]	Duljina čepa $L_Č$ [m]	Vrsta minskog čepa
PMB1	0,131	2,03	Permonex V19	1,25	1,00	pijesak
PMB2	0,131	2,09	Permonex V19	0,50	1,00	pijesak
MB1	0,131	2,01	Pakaex (rinfuza)	1,00	0,5/ 0,5	pijesak/ glina
MB2	0,131	1,98	Pakaex (rinfuza)	0,80	0,5/ 0,5	pijesak/ glina
MB3	0,131	2,07	Pakaex (rinfuza)	0,60	0,5/ 0,5	pijesak/ glina
MB4	0,131	1,94	Pakaex (rinfuza)	0,40	0,5/ 0,5	pijesak/ glina
MB5	0,131	1,98	Permonex V19	0,40	0,5/ 0,5	pijesak/ glina
MB6	0,131	1,94	Permonex V19	0,60	0,5/ 0,5	pijesak/ glina
MB7	0,131	1,94	Permonex V19	0,80	0,5/ 0,5	pijesak/ glina
MB8	0,131	2,02	Permonex V19	1,00	0,5/ 0,5	pijesak/ glina

Tablica 7.2 Pokusna miniranja 12. lipnja 2015. godine

Minska bušotina	Promjer minske bušotine D_{MB} [m]	Dubina minske bušotine H_{MB} [m]	Vrsta eksploziva	Masa eksploziva Q [kg]	Duljina čepa $L_Č$ [m]	Vrsta minskog čepa
PMB3	0,131	3,07	Pakaex (rinfuza)	1,60	1,00	pijesak
PMB4	0,131	2,90	Permonex V19	RAZORENA		
MB31	0,131	3,04	Permonex V19	0,20	0,30	pijesak
MB32	0,131	3,05	Pakaex (rinfuza)	0,40	0,30	pijesak
MB34	0,131	2,87	Pakaex (rinfuza)	0,80	0,50	pijesak
MB35	0,131	2,80	Pakaex (rinfuza)	0,60	0,50	pijesak
MB36	0,131	3,07	Permonex V19	0,40	0,50	pijesak

Tablica 7.3 Pokusna miniranja 20. srpnja 2015. godine

Minska bušotina	Promjer minske bušotine D_{MB} [m]	Dubina minske bušotine H_{MB} [m]	Vrsta eksploziva	Masa eksploziva Q [kg]	Duljina čepa $L_{Č}$ [m]	Vrsta minskog čepa
MB13	0,131	2,44	Pakaex (rinfuza)	0,20	0,50	pijesak
MB14	0,131	2,52	Pakaex (rinfuza)	0,20	0,50	pijesak
MB15	0,131	2,47	Pakaex (rinfuza)	0,40	0,50	pijesak
MB16	0,131	2,53	Pakaex (rinfuza)	0,40	0,50	pijesak
MB17	0,131	2,51	Pakaex (rinfuza)	0,60	0,50	pijesak
MB18	0,131	2,18	Pakaex (rinfuza)	0,80	0,50	pijesak
MB19	0,131	2,20	Pakaex (rinfuza)	0,80	0,50	pijesak
MB20	0,131	2,54	Pakaex (rinfuza)	1,00	0,50	pijesak
MB21	0,131	2,52	Permonex V19	0,40	0,50	pijesak
MB22	0,131	1,90	Permonex V19	0,20	0,50	pijesak
MB23	0,131	2,22	Permonex V19	0,60	0,50	pijesak
MB24	0,131	2,26	Permonex V19	0,80	0,50	pijesak
MB25	0,131	2,31	Permonex V19	0,60	0,50	pijesak
MB26	0,131	2,34	Permonex V19	0,80	0,50	pijesak
MB27	0,131	2,19	Permonex V19	0,40	0,50	pijesak
MB28	0,131	2,18	Permonex V19	0,20	0,50	pijesak
MB29	0,131	2,01	Pakaex (rinfuza)	0,20	0,50	pijesak
MB30	0,131		Permonex V19	RAZORENA		

Tablica 7.4 Pokusna miniranja 31. kolovoza 2016. godine

Minska bušotina	Promjer minske bušotine D_{MB} [m]	Dubina minske bušotine H_{MB} [m]	Vrsta eksploziva	Masa eksploziva Q [kg]	Duljina čepa $L_Č$ [m]	Vrsta minskog čepa
MB37	0,131	2,05	Pakaex (rinfuza)	0,20	0,50	pijesak
MB38	0,131	2,10	Pakaex (rinfuza)	0,40	0,50	pijesak
MB39	0,131	2,10	Pakaex (rinfuza)	0,60	0,50	pijesak
MB40	0,131	2,10	Pakaex (rinfuza)	0,80	0,50	pijesak
MB41	0,131	2,10	Pakaex (rinfuza)	1,00	0,50	pijesak
MB42	0,131	2,10	Permonex V19	0,20	0,50	pijesak
MB43	0,131	2,10	Permonex V19	0,40	0,50	pijesak
MB44	0,131	2,10	Permonex V19	0,60	0,32	pijesak
MB45	0,131	2,10	Permonex V19	0,80	0,50	pijesak
PMB5	0,131	2,10	Permonex V19	0,80	0,50	pijesak
PMB6	0,131	2,10	Permonex V19	0,60	0,50	pijesak

Aktiviranjem masa većih od 1,6 kg minske bušotine potpuno su bile razorene, jer je nakon miniranja formiran krater (odnosi se na jaču vrstu eksploziva Permonex V19), slika 7.7.



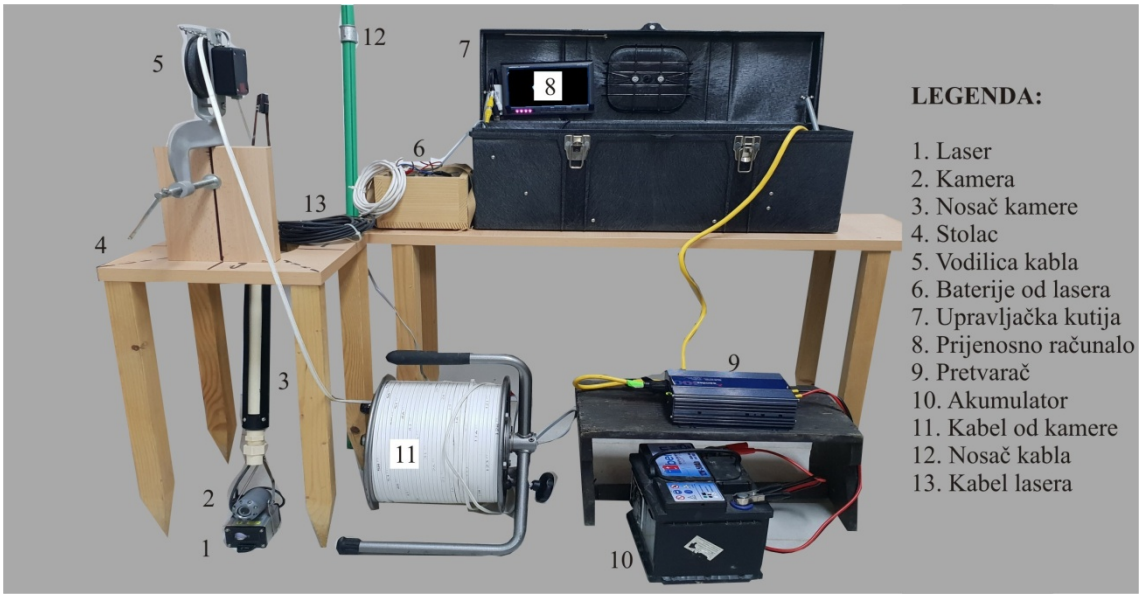
Slika 7.7 Neželjeni lijevak u obliku kratera.

8. METODA MJERENJA VOLUMENA NASTALIH KUGLASTIH PROŠIRENJA

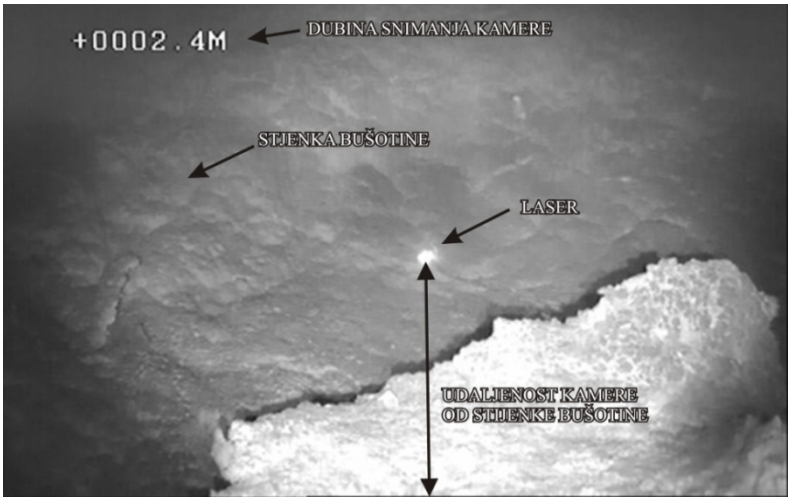
Prilikom istraživanja, najvažnije je bilo odrediti oblik i volumen nastalih kuglastih proširenja, koje su nastale nakon otpucavanja eksplozivnog punjenja, koji je smješten u cilindričnoj bušotini promjera 131 mm (Težak D., 2018).

Sustav se sastoji od dubinske kamere, lasera, upravljačke kutije, prijenosnog računala, akumulatora, pretvarača (invertera), dvije 12 V prijenosne baterije za laser i kablova. Dubinska kamera, spojena sa kablom, pričvršćuje se na nosač dubinske kamere koji se sa kablom spaja na upravljačku kutiju. Laser se uz pomoć nosača pričvršćuje na dno dubinske kamere i zajedno sa kablom spaja na upravljačku kutiju. Posebnim kablom laser se spaja na dvije 12 V baterije koje omogućuju pokretanje lasera, a s posebnim konverterom spaja se na prijenosno računalo. Upravljačka kutija se uz pomoć kabla i preko pretvarača spoji na akumulator od 55 Ah. Na upravljačku kutiju spaja se prijenosno računalo koje sa svojim programom za snimanje i pohranu snimka omogućuje početak samog mjerenja, slika 8.1. Tako spojena dubinska kamera i laser se zajedno sa nosačem kamere i kablom postavljaju u vodilicu za kabel preko kružnog otvora na stolcu i spuštaju u minsku bušotinu. Dubinska kamera okreće se u smjeru kazaljke na satu za 360° na karakterističnim dubinama snimanja u intervalu od 45°. Na taj način dobiva se zatvorena ploha. Budući da je laser pričvršćen na dubinsku kameru, snimaju se udaljenosti dubinske kamere od stijenki minskih bušotina u svakoj sekundi (Težak D., 2018).

Koristeći prijenosno računalo, laser i program kamere i lasera na ekranu prijenosnog računala snima se video zapis cijele minske bušotine zajedno sa udaljenostima kamere od stijenki bušotina, slika 8.2 (Težak D., 2018).



Slika 8.1 Razvijen integrirani sustav dubinska kamera-laser.



Slika 8.2 Snimak nastalog proširenja dubinskom kamerom.

9. ANALIZA I INTERPRETACIJA DOBIVENIH PODATAKA

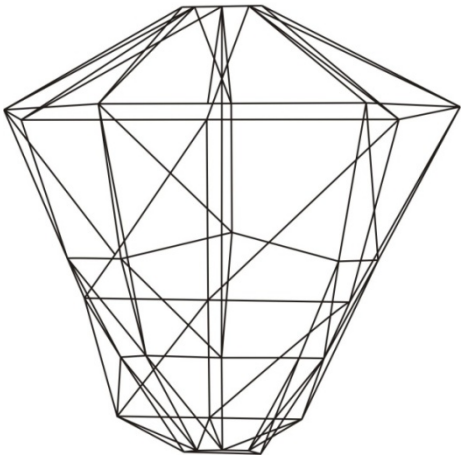
Tijekom provedenih istraživanja postignuti su terenski rezultati kojima su se proširila saznanja o djelovanju eksplozivnog punjenja u glinovitom tlu i spoznaja o mogućnostima korištenja određene vrste eksploziva u geotehničkoj praksi. Naročito se to odnosi na miniranja u mekanim stijenama na različitim dubinama ispod površine tla aktiviranjem određene vrste i mase eksploziva kojima se oblikuju kuglasta proširenja. Provedena terenska istraživanja i inovativnost u obradi terenskih podataka dovela su do dovoljne količine kvalitetnih podataka.

Usporedbom projektiranih vrijednosti i terenskih mjerenja dolazimo do zaključka da GNSS *(eng. Global Navigation Satellite System)* podatke možemo koristiti za potrebe određivanja koordinata kotlovskih miniranja. *Heavy Duty Geo Vision Borehole Camera* i *EDS-c* laser je sustav koji predstavlja integraciju sa podatcima GNSS *(eng. Global Navigation Satellite System)* mjerenja. Takav sustav uz pripadajuću aplikaciju predstavlja najnapredniji sustav modeliranja kotlovskih miniranja (Težak D., 2018).

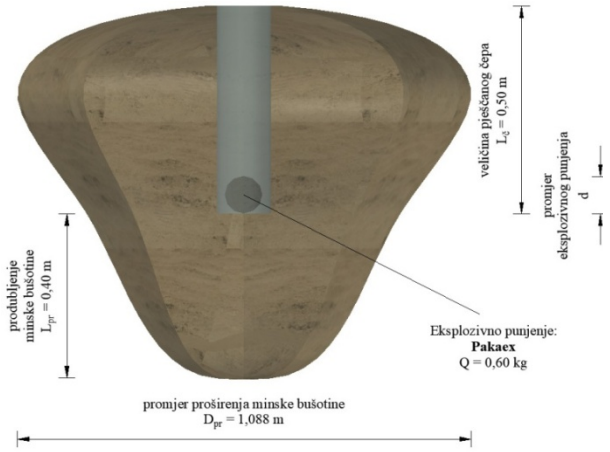
Aplikacija ima sposobnost iscrtavanja 2D i 3D modele nastalog proširenja,te moguće izmjeriti i izračunati volumen nastalog proširenja što će uvelike omogućiti konstruktorima i geotehničarima znatno ekonomičnije projektiranje i izvođenje nadzemnih i podzemnih objekata. Aplikacija daje i mogućnost crtanja cijele minske bušotine, kao i nastalog proširenja u 2D i 3D prikazu.

Slike 9.1. i 9.2. prikazuju minsku bušotinu **MB 39** $\left(E\ 489066{,}97,\ N\ 5122608{,}38,\ H\ 197{,}54\right)$. Eksplozivno punjenje, Pakaex $0{,}60\ kg$, Duljina čepa $0{,}5\ m$ (pijesak). Kuglasto proširenja, *AutoCad Civil 3D* $V_{ACAD} = 384{,}00\ dm^3$, Aplikacija $V_{aplikacija} = 372{,}99\ dm^3$.

Razlika $V_{razlika} = V_{ACAD} - V_{aplikacija} = 11{,}01\ dm^3$ (Težak D., 2018).



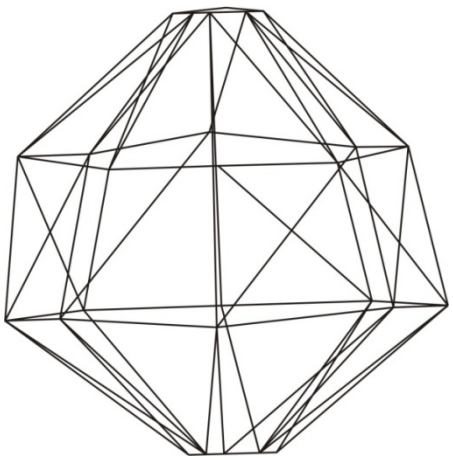
Slika 9.1 Linearni 3D model nastalog proširenja minske bušotine MB 39, aplikacija



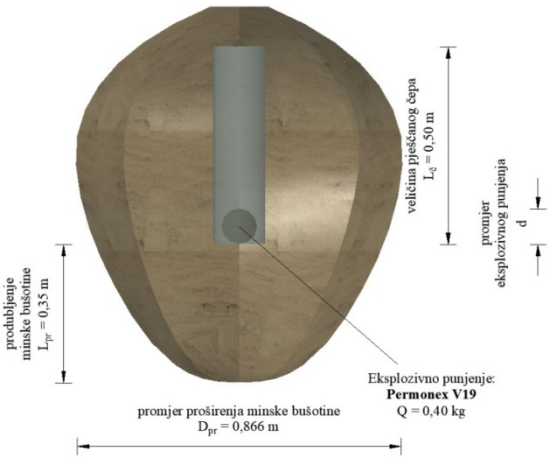
Slika 9.2 3D model nastalog proširenja minske bušotine MB 39, *AutoCad Civil 3D*

Slike 9.3. i 9.4. prikazuju minsku bušotinu **MB 43** $\left(E\ 489081{,}86,\ N\ 5122595{,}05,\ H\ 197{,}80\right)$. Eksplozivno punjenje, Permonex V19 $0{,}40\ kg$, Duljina čepa $0{,}5\ m$ (pijesak). Kuglasto proširenja, *AutoCad Civil 3D* $V_{ACAD} = 290{,}00\ dm^3$, Aplikacija $V_{aplikacija} = 272{,}75\ dm^3$.

Razlika $V_{razlika} = V_{ACAD} - V_{aplikacija} = 17{,}25\ dm^3$. (Težak D., 2018).



Slika 9.3 Linearni 3D model nastalog proširenja minske bušotine MB 43, aplikacija



Slika 9.4 3D model nastalog proširenja minske bušotine MB 43, *AutoCad Civil 3D*

10. OBRADA VOLUMENA NASTALOG KUGLASTOG PROŠIRENJA NAKON AKTIVIRANJA EKSPLOZIVNOG PUNJENJA

Pri utvrđivanju volumena kuglastih proširenja koristila se razvijena aplikacija. Nakon svakog pokusnog miniranja mjerile su se dubine nastalog produbljenja minskih bušotina, koje su u kasnijim mjerenjima provjerene sa dubinskom kamerom (Težak D., 2018).

Ulazni podaci za aplikaciju:

- koordinate minskih bušotina (dobiveni GNSS metodom mjerenja),
- dubine karakterističnih presjeka dobiveni dubinskom kamerom,
- udaljenosti određene uz pomoć lasera EDS-c i
- mase i vrste eksploziva korištene prilikom pokusnih miniranja.

Pokusna miniranja bila su podijeljena u 4 faze:

- jedno u 2014. godini,
- dva u 2015. Godini
- jedno u 2016. godini.

Izmjerene i izračunate vrijednosti, nastalog volumena proširenja, nastalog produbljenja i proširenja minskih bušotina date su u tablicama 10.1, 10.2, 10.3 i 10.4. Za sve navedene minske bušotine promjer je bio 0,131 mm. Dobiveni dijagrami obrade svih podataka nastalih produbljenja, proširenja i volumena zbirno, za eksplozivno punjenje Permonex V19 i Pakaex, za 2014., 2015. i 2016. godinu kada su izvođena pokusna miniranja prikazani su na slikama od 10.1, 10.2 i 10.3 (Težak D., 2018).

Tablica 10.1 Izmjerene i izračunate vrijednosti, nastalog volumena proširenja, nastalog produbljenja i proširenja prilikom pokusnih miniranja u 2014. godini.

Minska bušotina	Dubina minske bušotine		Eksploziv		Čep		Nastalo		Volumen nastalog kuglastog proširenja
	prije miniranja	nakon miniranja	Vrsta	Masa	Duljina	Vrsta	produbljenje	promjer proširenja	
	HMB	HMB nm		Q	LČ		Lpr	Dpr	Vpr
	[m]	[m]		[kg]	[m]		[m]	[m]	[dm^3]
PMB1	2,03	2,43	Permonex V19	1,25	1,00	pijesak	0,400	1,193	872,20
PMB2	2,09	2,27	Permonex V19	0,50	1,00	pijesak	0,180	1,006	371,65
MB1	2,01	2,44	Pakaex (rinfuza)	1,00	0,5/ 0,5	pijesak/ glina	0,430	1,254	751,65
MB2	1,98	2,38	Pakaex (rinfuza)	0,80	0,5/ 0,5	pijesak/ glina	0,400	1,169	574,70
MB3	2,07	2,41	Pakaex (rinfuza)	0,60	0,5/ 0,5	pijesak/ glina	0,340	1,153	507,10
MB4	1,94	2,23	Pakaex (rinfuza)	0,40	0,5/ 0,5	pijesak/ glina	0,260	1,145	461,55
MB5	1,98	2,14	Permonex V19	0,40	0,5/ 0,5	pijesak/ glina	0,160	0,881	307,65
MB6	1,94	2,14	Permonex V19	0,60	0,5/ 0,5	pijesak/ glina	0,200	1,196	396,60
MB7	1,94	2,36	Permonex V19	0,80	0,5/ 0,5	pijesak/ glina	0,420	1,129	656,95
MB8	2,02	2,48	Permonex V19	1,00	0,5/ 0,5	pijesak/ glina	0,460	1,140	835,50

Tablica 10.2 Izmjerene i izračunate vrijednosti, nastalog volumena proširenja, nastalog produbljenja i proširenja prilikom pokusnih miniranja 12. lipnja 2015. godine.

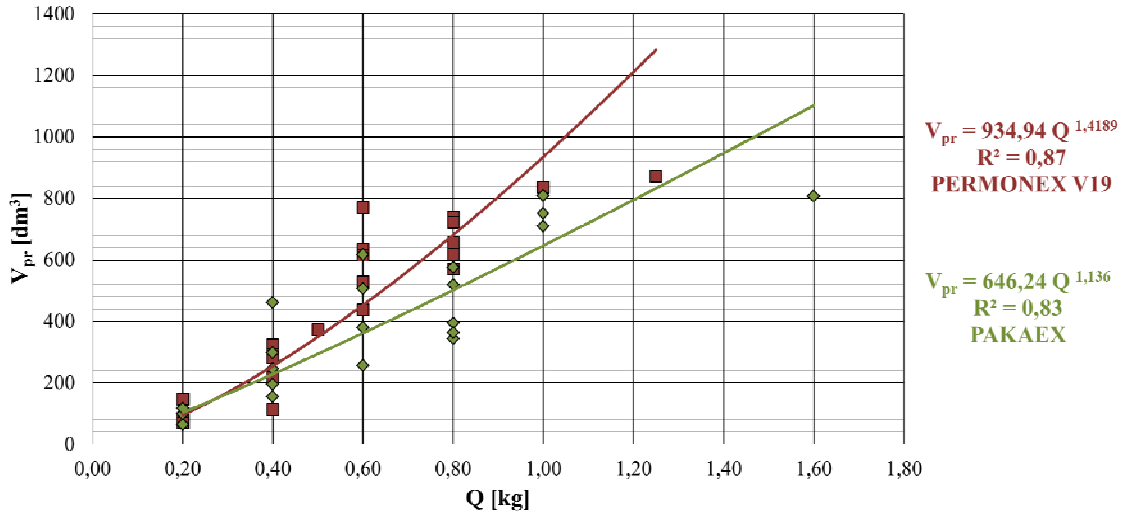
Minska bušotina	Dubina minske bušotine		Eksploziv		Čep		Nastalo		Volumen nastalog kuglastog proširenja
	prije miniranja	nakon miniranja	Vrsta	Masa	Duljina	Vrsta	produbljenje	promjer proširenja	
	H_{MB}	H_{MBnm}		Q	$L_Č$		L_{pr}	D_{pr}	V_{pr}
	[m]	[m]		[kg]	[m]		[m]	[m]	[dm^3]
PMB3	3,07	3,50	Pakaex (rinfuza)	1,60	1,00	pijesak	0,430	1,169	807,00
PMB4	2,90	/	Permonex V19	0,60	1,00	pijesak	/	/	/
PMB4	1,20	/	Permonex V19	0,60	0,5	pijesak	/	/	/
MB31	3,04	3,20	Permonex V19	0,20	0,30	pijesak	0,160	0,584	80,50
MB32	3,05	3,28	Pakaex (rinfuza)	0,40	0,30	pijesak	0,230	0,670	154,50
MB33	3,04	/	Pakaex (rinfuza)	0,60	0,3	pijesak	/	/	/
MB33	1,63	/	Permonex V19	0,40	0,3	pijesak	/	/	/
MB34	2,87	3,10	Pakaex (rinfuza)	0,80	0,50	pijesak	0,230	0,953	371,00
MB35	2,80	3,05	Pakaex (rinfuza)	0,60	0,50	pijesak	0,250	0,783	255,50
MB36	3,07	3,25	Permonex V19	0,40	0,50	pijesak	0,180	0,693	113,50

Tablica 10.3 Izmjerene i izračunate vrijednosti, nastalog volumena proširenja, nastalog produbljenja i proširenja prilikom pokusnih miniranja 20. srpnja 2015. godine.

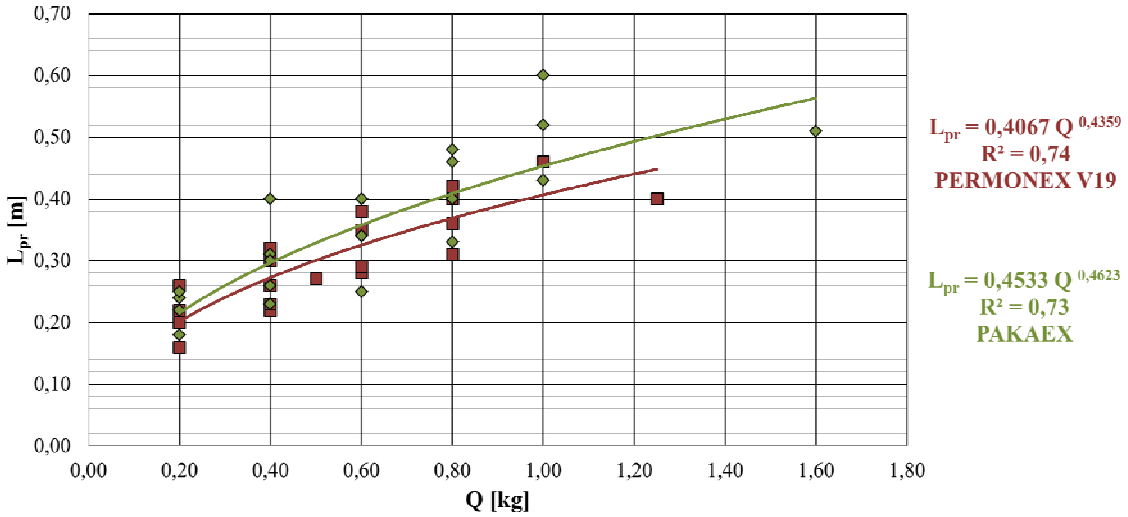
Minska bušotina	Dubina minske bušotine		Eksploziv		Čep		Nastalo		Volumen nastalog kuglastog proširenja
	prije miniranja	nakon miniranja	Vrsta	Masa	Duljina	Vrsta	produbljenje	promjer proširenja	
	H_{MB} [m]	H_{MBnm} [m]		Q [kg]	$L_Č$ [m]		L_{pr} [m]	D_{pr} [m]	V_{pr} [dm^3]
MB13	2,44	2,62	Pakaex (rinfuza)	0,20	0,50	pijesak	0,18	0,5760	100,50
MB14	2,52	2,74	Pakaex (rinfuza)	0,20	0,50	pijesak	0,22	0,5770	64,50
MB15	2,47	2,78	Pakaex (rinfuza)	0,40	0,50	pijesak	0,31	0,6980	244,50
MB16	2,53	2,83	Pakaex (rinfuza)	0,40	0,50	pijesak	0,30	0,7870	194,50
MB17	2,51	2,85	Pakaex (rinfuza)	0,60	0,50	pijesak	0,34	1,0430	616,00
MB18	2,18	2,64	Pakaex (rinfuza)	0,80	0,50	pijesak	0,46	0,8770	344,00
MB19	2,20	2,68	Pakaex (rinfuza)	0,80	0,50	pijesak	0,48	0,8750	362,60
MB20	2,54	3,06	Pakaex (rinfuza)	1,00	0,50	pijesak	0,52	1,1570	710,00
MB21	2,52	2,72	Permonex V19	0,40	0,50	pijesak	0,20	0,9360	292,50
MB22	1,90	2,16	Permonex V19	0,20	0,50	pijesak	0,26	0,5570	82,50
MB23	2,22	2,59	Permonex V19	0,60	0,50	pijesak	0,37	1,1040	527,60
MB24	2,26	2,50	Permonex V19	0,80	0,50	pijesak	0,24	1,1900	594,14
MB25	2,31	2,60	Permonex V19	0,60	0,50	pijesak	0,29	1,0850	633,00
MB26	2,34	2,70	Permonex V19	0,80	0,50	pijesak	0,36	1,1310	569,00
MB27	2,19	2,51	Permonex V19	0,40	0,50	pijesak	0,32	0,5850	216,00
MB28	2,18	2,40	Permonex V19	0,20	0,50	pijesak	0,22	0,5050	70,00
MB29	2,01	2,25	Permonex V19	0,20	0,50	pijesak	0,24	0,6870	98,00
MB30	-	-	Permonex V19	1,60	0,50	pijesak			

Tablica 10.4 Izmjerene i izračunate vrijednosti, nastalog volumena proširenja, nastalog produbljenja i proširenja prilikom pokusnih miniranja u 2016. godini.

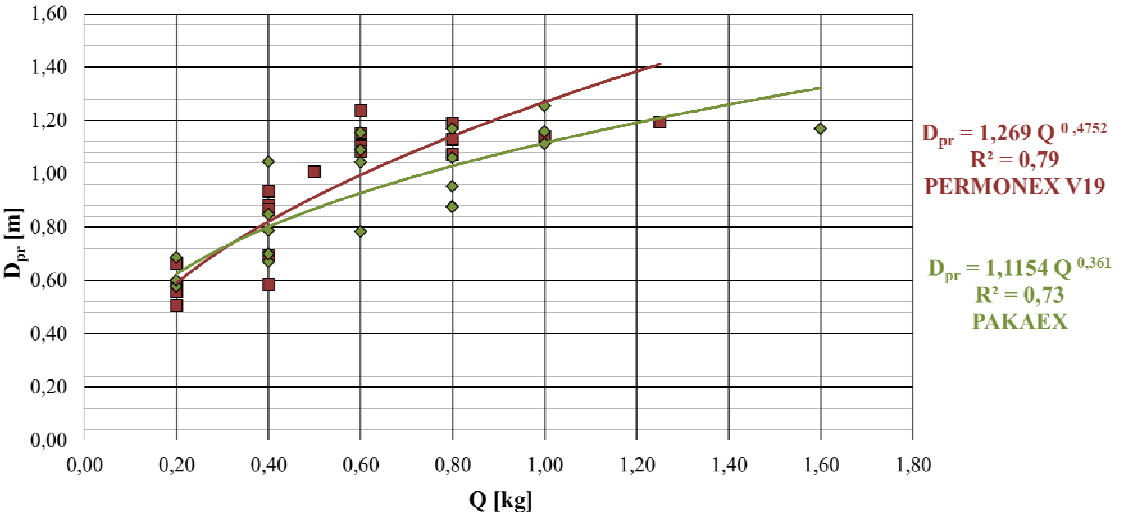
Minska bušotina	Dubina minske bušotine		Eksploziv		Čep		Nastalo		Volumen nastalog kuglastog proširenja
	prije miniranja	nakon miniranja	Vrsta	Masa	Duljina	Vrsta	produbljenje	promjer proširenja	
	H_{MB} [m]	H_{MBnm} [m]		Q [kg]	$L_Č$ [m]		L_{pr} [m]	D_{pr} [m]	V_{pr} [dm^3]
MB37	2,05	2,30	Pakaex (rinfuza)	0,20	0,50	pijesak	0,25	0,6010	117,50
MB38	2,10	2,50	Pakaex (rinfuza)	0,40	0,50	pijesak	0,40	0,8480	298,00
MB39	2,10	2,50	Pakaex (rinfuza)	0,60	0,50	pijesak	0,40	1,0880	378,50
MB40	2,10	2,50	Pakaex (rinfuza)	0,80	0,50	pijesak	0,40	1,0600	519,00
MB41	2,10	2,70	Pakaex (rinfuza)	1,00	0,50	pijesak	0,60	1,1110	809,50
MB42	2,10	2,30	Permonex V19	0,20	0,50	pijesak	0,20	0,6620	148,00
MB43	2,10	2,45	Permonex V19	0,40	0,50	pijesak	0,35	0,8660	281,50
MB44	2,10	2,55	Permonex V19	0,60	0,32	pijesak	0,45	1,2380	769,50
MB45	2,10	2,50	Permonex V19	0,80	0,50	pijesak	0,40	1,0700	740,50
PMB5	2,10	2,52	Permonex V19	0,80	0,50	pijesak	0,42	1,0710	722,70
PMB6	2,10	2,45	Permonex V19	0,60	0,50	pijesak	0,35	1,1520	615,05



Slika 10.1 Dijagram ovisnosti nastalog volumena proširenja V_{pr} [dm^3] o masi eksplozivnog punjenja Q [kg], Permonex V19 i Pakaex, za 2014., 2015. i 2016. godinu.



Slika 10.2 Dijagram ovisnosti nastalog produbljenja L_{pr} [m] o masi eksplozivnog punjenja Q [kg], Permonex V19 i Pakaex, za 2014., 2015. i 2016. godinu.



Slika 10.3 Dijagram ovisnosti promjera proširenja D_{pr} [m] o masi eksplozivnog punjenja Q [kg], Permonex V19 i Pakaex, za 2014., 2015. i 2016. godinu.

10.1. ANALIZA DOBIVENIH PODATAKA

Dijagrami ovisnosti prikazani na slikama 10.1 i 10.3 jasno pokazuju da su nastali volumen, V_{pr} [dm^3] i promjer, D_{pr} [m] proširenja pri istoj masi eksplozivnog punjenja Q [kg], veći nakon aktiviranja Permonex V19 nego kod Pakaex eksploziva. S druge strane nastalo produbljenje, L_{pr} [m] pri istoj masi eksplozivnog punjenja Q [kg], veće je kod Pakaex nego kod Permonex V19 eksploziva, dijagram na slici 10.2.

Iz gore navedenog se zaključuje da pojedine minersko-tehničke značajke imaju presudan utjecaj na dobivene rezultate kada se izvode kotlovska miniranja. To su brzina detonacije, brizantnost i radna sposobnost eksploziva, volumen i specifični tlak eksplozije, te tlak detonacije i gustoća eksploziva.

U ovom radu je prikazano da je detonacijom jednake mase Permonex-a V19 dobiven veći volumen i promjer proširenja nego detonacijom Pakaex-a. To upućuje na zaključak da eksplozivi koji generiraju veći volumen plinova i imaju veće tlakove detonacije daju i veće volumene proširenja. Naime, veličina tlaka detonacije, odnosno tlak na stijenku bušotine koji je vezan s brzinom detonacije (generalno s njezinim kvadratom), povećava zbijanje tla, te daje veći volumen proširenja. Isto tako i rad ekspanzije plinova uz udarno djelovanje daju ukupni učinak na proširenje.

11. ZAKLJUČAK

Cilj diplomskog rada bio je proširiti saznanja i spoznaje o mogućnostima korištenja eksploziva u geotehničkoj praksi. To se odnosi na kotlovska miniranja u glinenim tlima kojima se na različitim dubinama ispod površine tla aktiviranjem određene vrste i mase eksploziva oblikuju kuglaste ili drugih oblika.

Terenskim istražnim radovima provedenim na eksploatacijskom polju Cukavec II u 2014., 2015. i 2016. godini, mjereni su i utvrđeni rasponi masa dviju različitih vrsta eksplozivnog punjenja, kojima se ostvaruju kuglasta proširenja u glinovitom koherentnom tlu provođenjem pokusnih miniranja. Nastala su različita proširenja po obliku i veličini ali osnovno formirana u obliku kugle. Na istražnom lokalitetu izvedena su i terenska geofizička istraživanja kojima se utvrdio podatak o općim i mehaničkim svojstvima prirodnih slojeva tla pod dubini, te određivanje promjena dinamičkih svojstava tla uzrokovanih aktiviranjem eksplozivnih punjenja različitih vrsta i masa.

Utvrđeno je da su kuglasta proširenja za zadani promjer minske bušotine od 131 mm i dubinu minskih bušotina od 2,00-3,00 m, moguće ostvariti uporabljenim eksplozivima tipa Permonex V19 i Pakaex, u rasponu od 0,2 do 1,6 kg. Prilikom pokusnih miniranja korišten je pješčani čep veličine od 0,5 metara, granulacije 0/4 mm.

U radu je prikazano da je detonacijom jednake mase Permonex-a V19 dobiven veći volumen i promjer proširenja nego detonacijom Pakaex-a. To dovodi do zaključka da eksplozivi koji generiraju veći volumen plinova i imaju veće tlakove detonacije daju i veće volumene proširenja. Naime, veličina tlaka detonacije, odnosno tlak na stjenku bušotine koji je vezan s brzinom detonacije, povećava zbijanje tla, te daje veći volumen proširenja. Isto tako i rad ekspanzije plinova uz udarno djelovanje daju ukupni učinak na proširenje.

Napravljena istraživanja mogu se primijeniti u geotehničkoj praksi za stabilizaciju kosina, podzemnih građevina, ugradnju konstruktivnih elemenata za sidrenje temeljnih i potpornih zidova, stabilizaciju različitih gospodarskih objekata kao npr. dalekovodnih stupova, tunela i slično.

12. LITERATURA

1. Araya K., Gao R., Tsunematsu S., Ochi K. (1993): LooseningofDenseClaySoilsbyLinearBlasting, JournalofAgriculturalEngineeringResearch, Volume 54, Issue 2, Pages 113-126.
2. Dobrilović M. (2008.): Raspoloživa energija tlačnog udarnog vala udarne cjevčice i njezina primjena u iniciranju elektroničkog detonatora, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
3. Ester Z. (2005): Miniranje I - Eksplozivne tvari, svojstva i metode ispitivanja, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilišni udžbenik, Zagreb.
4. HRN EN 13631-13:2003: Eksplozivi za civilnu uporabu. Jaki eksplozivi. 14. dio: Određivanje gustoće (EN 13631-13:2003)
5. Kavur B. (2015): Geotehnički praktikum I, Klasifikacija tla, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin
6. Kovačević M. S., Jurić-Kaćunić D. (2014): Europska klasifikacija tla za inženjerske potrebe, Građevinar 9/2014, 801-810.
7. Krsnik J. (1989): Miniranje, Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Institut za rudarstvo, geotehniku i naftu, Sveučilišni udžbenik, Zagreb.
8. Kvasnička P., Domitrović D. (2007): Mehanika tla, Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Interna skripta, Zagreb.
9. Marjanović M. (2010): CROPOS - hrvatski pozicijski sustav, Ekscentar, stručni časopis Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, br.12, stranice 28-34.
10. Medak D., Pribičević B., Rumiha D., Kordić B. (2007): Uloga mreže permanentnih GPS-postaja Republike Slovenije pri iskolčenju magistralnog plinovoda Pula-Karlovac, Simpozij o inženjerskoj geodeziji, SIG2007, stranice 269 - 279.
11. Mesec J., Težak D., Grubešić M. (2015): Poboljšanje glinenih tala korištenjem eksploziva, članak znanstveni, Inženjerstvo okoliša. 2, 95-101.

12. Mihalić S (2007): Osnove inženjerske geologije, Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
13. Narodne novine (110/2004, 114/2004): Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, Službeni list Republike Hrvatske, Zagreb.
14. Narodne novine (70/2017): Zakon o eksplozivnim tvarima te proizvodnji i prometu oružja, Službeni list Republike Hrvatske, Zagreb.
15. OlofssonS.O. (1988): Applied ExplosivesTechnology for ConstructionandMining, Ärla: Applex.
16. Pranjić J. (1991): Mogućnost primjene privrednih sidara u glinama, Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Magistarski rad, Zagreb.
17. Roje-Bonacci T. (1994): Mehanika tla, Sveučilište u Splitu Građevinski fakultet, Sveučilišni udžbenik, Split.
18. Strelec S., Štuhec D. (2011): Geotehnički laboratorij i primjena u inženjerskoj praksi, Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet, Interna skripta, Varaždin.
19. 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.
20. Sućeska M. (2001): Eksplozije i eksplozivi - njihova mirnodopska primjena, Brodarski institut, 305 str., Zagreb.
21. Škrlec V. (2015): Analiza primjenjivosti eksploziva smanjene gustoće za gospodarska miniranja, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
22. Težak D. (2018): Utjecaj značajki miniranja na kotlovsko proširenje u glinenome tlu, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
23. Zlatović S. (2006): Mehanika tla, Geotehnika, Uvod u mehaniku tla, Udžbenik Tehničkog veleučilišta u Zagrebu, ISBN 953-7048-02-0.

INTERNET STRANICE

24. https://dimetix.com/en/?product=eds-c, učitano 23.10.2017.
25. http://www.geovision.org/, učitano 23.10.2017.

Popis slika

Slika 2.1 Struktura tla (Težak D., 2018). 3

Slika 2.2 Shematski prikaz strukture sitnozrnatih materijala (Težak D., 2018). 3

Slika 2.3 Shema rasporeda materijala u uzorku tla (Težak D., 2018)..... 5

Slika 2.4 Minerali glina (Roje-Bonacci T., 1994)..... 9

Slika 3.1 Eksplozija (Sućeska M., 2001; Dobrilović M., 2008) 11

Slika 3.2 Detonacijski proces u patroni eksploziva (Ester Z., 2005; Dobrilović M., 2008) 12

Slika 3.3 Princip Hessove probe (Krsnik J., 1989) 14

Slika 3.4 Trauzlova proba (Krsnik J., 1989) 16

Slika 3.3 Permonex V19 17

Slika 3.4 Pakaex 19

Slika 3.4 Faze kotlovskog miniranja (Krsnik J., 1989)..... 21

Slika 4.2 Djelovanje eksplozije u mekim stijenama (Težak D., 2018). 22

Slika 5.1 Lokacija eksploatacijskog polja Cukavec II (Težak D., 2018). 22

Slika 5.2 Eksploatacijsko polje Cukavec II i iskolčene minske bušotine (Težak D., 2018). 23

Slika 5.3 Prikaz rotacijskog bušenja s jezgrovanjem (Težak D., 2018)..... 25

Slika 5.4 Raspored profila-minskih i probnih bušotina u 2014. godini (Težak D., 2018). 27

Slika 5.5 Raspored profila-minskih i probnih bušotina u 2015. godini (Težak D., 2018). 28

Slika 5.6 Raspored profila-minskih i probnih bušotina u 2016. godini (Težak D., 2018). 29

Slika 7.1 Pokusna miniranja na eksploatacijskom polju Cukavec II 2016. godine (Težak D., 2018). 31

Slika 7.2 Eksplozivna punjenja Permonex V19 i Pakaex (Težak D., 2018). 32

Slika 7.3 Shema minskog polja minskih bušotina iz 2016. godine..... 32

Slika 7.4 Konstrukcija punjenja minske bušotine 32

Slika 7.5 Trenutak aktiviranja eksplozivnog punjenja 32

Slika 7.6 Nastalo kuglasto proširenje..... 32

Slika 7.7 Neželjeni lijevak u obliku kratera. 35

Slika 8.1 Razvijen integrirani sustav dubinska kamera-laser..... 37

Slika 8.2 Snimak nastalog proširenja dubinskom kamerom. 37

Slika 9.1 Linearni 3D model nastalog proširenja minske bušotine MB 39, aplikacija 39

Slika 9.2 3D model nastalog proširenja minske bušotine MB 39, *AutoCad Civil 3D*..... 39

Slika 9.3 Linearni 3D model nastalog proširenja minske bušotine MB 43, aplikacija 39

Slika 9.4 3D model nastalog proširenja minske bušotine MB 43, *AutoCad Civil 3D*..... 39

Slika 10.1 Dijagram ovisnosti nastalog volumena proširenja V_{pr} [dm^3] o masi eksplozivnog punjenja Q [kg], Permonex V19 i Pakaex, za 2014., 2015. i 2016. godinu. 43

Slika 10.2 Dijagram ovisnosti nastalog produbljenja L_{pr} [m] o masi eksplozivnog punjenja Q [kg], Permonex V19 i Pakaex, za 2014., 2015. i 2016. godinu. 44

Slika 10.3 Dijagram ovisnosti promjera proširenja D_{pr} [m] o masi eksplozivnog punjenja Q [kg], Permonex V19 i Pakaex, za 2014., 2015. i 2016. godinu. 44

Popis tablica

Tablica 3.1 Teoretske značajke eksploziva Permonex V19 prema specifikaciji proizvođača 18

Tablica 3.2 Rezultati ispitivanja amonijnitratno praškastog eksploziva -Permonex V19 18

Tablica 3.3 Teoretske značajke eksploziva Pakaex-a prema specifikaciji proizvođača 19

Tablica 3.4 Rezultati ispitivanja ANFO eksploziva - Pakaex 20

Tablica 7.1 Pokusna miniranja 12. lipnja 2014. godine 33

Tablica 7.2 Pokusna miniranja 12. lipnja 2015. godine 33

Tablica 7.3 Pokusna miniranja 20. srpnja 2015. godine 34

Tablica 7.4 Pokusna miniranja 31. kolovoza 2016. godine 35

Tablica 10.1 Izmjerene i izračunate vrijednosti, nastalog volumena proširenja, nastalog produbljenja i proširenja prilikom pokusnih miniranja u 2014. godini. 41

Tablica 10.2 Izmjerene i izračunate vrijednosti, nastalog volumena proširenja, nastalog produbljenja i proširenja prilikom pokusnih miniranja 12. lipnja 2015. godine. 41

Tablica 10.3 Izmjerene i izračunate vrijednosti, nastalog volumena proširenja, nastalog produbljenja i proširenja prilikom pokusnih miniranja 20. srpnja 2015. godine. 42

Tablica 10.4 Izmjerene i izračunate vrijednosti, nastalog volumena proširenja, nastalog produbljenja i proširenja prilikom pokusnih miniranja u 2016. godini. 43