

Implementataion of the modern technologies in order to control the drilling an blasting works

Miljan Gomilanović, Stefan Milanović, Nikola Stanić, Aleksandar Doderović, Nikola Simić



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Implementataion of the modern technologies in order to control the drilling an blasting works | Miljan Gomilanović, Stefan Milanović, Nikola Stanić, Aleksandar Doderović, Nikola Simić | Copper | 2018 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007871>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs

UDK: 622.271 (045)=163.41

ORIGINALAN NAUČNI RAD

Oblast: Rudarstvo

**IMPLEMENTACIJA SAVREMENIH TEHNOLOGIJA U CILJU
KONTROLE RADOVA NA BUŠENJU I MINIRANJU**

**IMPLEMENTATION OF THE MODERN TECHNOLOGIES IN ORDER
TO CONTROL THE DRILLING AND BLASTING WORKS**

Miljan Gomilanović¹, Stefan Milanović², Nikola Stanić¹,
Aleksandar Doderović¹, Nikola Simić²

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni Bulevar 35, 19210 Bor,
e-mail: miljan.gomilanovic@irmbor.co.rs

²Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Đušina 7, 11000 Beograd

Izvod

U ovom radu prikazane su mogućnosti primene savremenih tehnologija u oblasti bušenja i miniranja pri površinskoj eksploataciji ležišta mineralnih sirovina, problemi koji se javljaju prilikom izvođenja radova, kao i moguća rešenja i prednosti primene ovih tehnologija.

Ključne reči: bušenje, miniranje, dron

Abstract

This paper presents the possibilities of applying the modern technologies in the field of drilling and blasting at the open pit exploitation the deposits of mineral resources, problems that occur during the work implementation, as well as possible solutions and advantages the application of these technologies.

Keywords: drilling, blasting, drone

1. UVOD

Bušenje minskih bušotina je postupak izrade cilindričnih šupljina u steni i mineralnoj sirovini, u koje se stavlja određena količina eksploziva radi miniranja. Bušenje se izvodi i u druge svrhe, kao što je istraživanje ležišta, bušenje za vodosnabdevanje, bušenje na naftu, i dr.

Prilikom bušenja minskih bušotina i određivanja geometrije minskog polja, potrebno je posvetiti pažnju, kako miniranjem ne bi došlo do nekih neželjenih efekata, kao npr. razletanja stenskog materijala, negativnog seizmičkog dejstva, i dr. U tu svrhu pre samog izvođenja radova na bušenju poželjno je raspolagati sa detaljnim stanjem dela terena na kome se izvodi miniranje, tj. imati dovoljan broj i pouzdane podatke o karakteristikama radne sredine strukturane u bazu

podataka, na osnovu koje se mogu optimizovati parametri bušenja i miniranja na nekoj lokaciji.

Veliku ekspanziju tehnologije prati i rudarstvo. Kao rešenje za brojne probleme, u svetu se pojavio veliki broj softvera i savremenih tehnologija u cilju dobijanja što preglednijih podataka, koji bi bili od koristi za određivanje geometrije minskog polja, rezultata nakon miniranja, i sl. Softveri razvijeni u ovu svrhu su rasprostranjeni u svetu, i postoji više različitih kompanija koje ih proizvode, ali uglavnom se njihov postupak zasniva na snimcima sa terena, izradi modela i projektovanja minskog polja.

2. SNIMANJE TERENA

Prilikom bušenja i miniranja na površinskim kopovima u cilju što preciznijeg izvođenja radova, potrebno je pripremiti dobru bazu podataka geometrije terena, odnosno snimiti deo terena na kome je predviđeno izvođenje radova. Nakon toga, uz pomoć softvera potrebno je izraditi digitalni model terena (*DEM-digital elevation model*), koji se koristi pri projektovanju minskog polja. Pojam *Digital Elevation Model (DEM)* podrazumeva podatke o terenu u obliku matrice visina terena. Ona se često naziva gridnom (rešetkastom) strukturom podataka. Osnovni delovi mreže (ćelije) su obično u obliku kvadrata čija temena predstavljaju visinske tačke, a stranice su paralelne sa osama koordinatnog sistema.

Snimanje terena može se vršiti uz pomoć bespilotnih letelica (*dronova*) koje imaju mogućnost snimanja terena kamerom visoke rezolucije ugrađenoj na letelici. Ova vrsta snimanja predstavlja jedan vid prikupljanja podataka preko fotografija zabeleženih iz vazduha (fotogrametrijsko snimanje), odnosno aerofotogrametrijsko snimanje uz pomoć bespilotne letelice. Bespilotne letelice ili popularno zvani dronovi su kao i većina modernih tehnologija prvo razvijeni i korišćeni u vojne svrhe. Poslednjih godina, dronovi postaju vrlo popularni kao sredstvo za zabavu i profesionalno snimanje iz vazduha i fotografiju, slika 1.

Industrija bespilotnih letelica (*dronova*) nastavlja da raste. Predviđanja kažu da će upotreba ovih letelica porasti čak četiri puta u narednih pet godina.

Fotogrametrija je tehnologija za prikupljanje pouzdanih 3D informacija o fizičkim objektima i okruženju kroz proces snimanja, merenja i interpretacije fotografskih slika, odnosno fotogrametrija je nauka o korišćenju 2D fotografija za tačna merenja u 3D prostoru. Cilj fotogrametrije je verna rekonstrukcija snimljenog 3D prostora. Od fotografija se, bez kontakta sa objektom (ili površinom) koji se meri, i sa unapred poznatom tačnošću, dobijaju stvarne koordinate tačaka na snimljenim objektima, karte i planovi, ortorektifikovane fotografije, digitalni modeli terena, digitalni 3D modeli objekata. Najčešće se primenjuje zbog uštede materijala i vremena, dobijanja više informacija o objektu, mogućnosti merenja nepristupačnih i/ili pokretnih objekata, objekata nepravilnog ili promenljivog oblika, i sl.

Slikanje terena je moguće obavljati iz raznih uglova, ali najčešće se svodi na slikanje terena iz ptičije perspektive, slika 2.



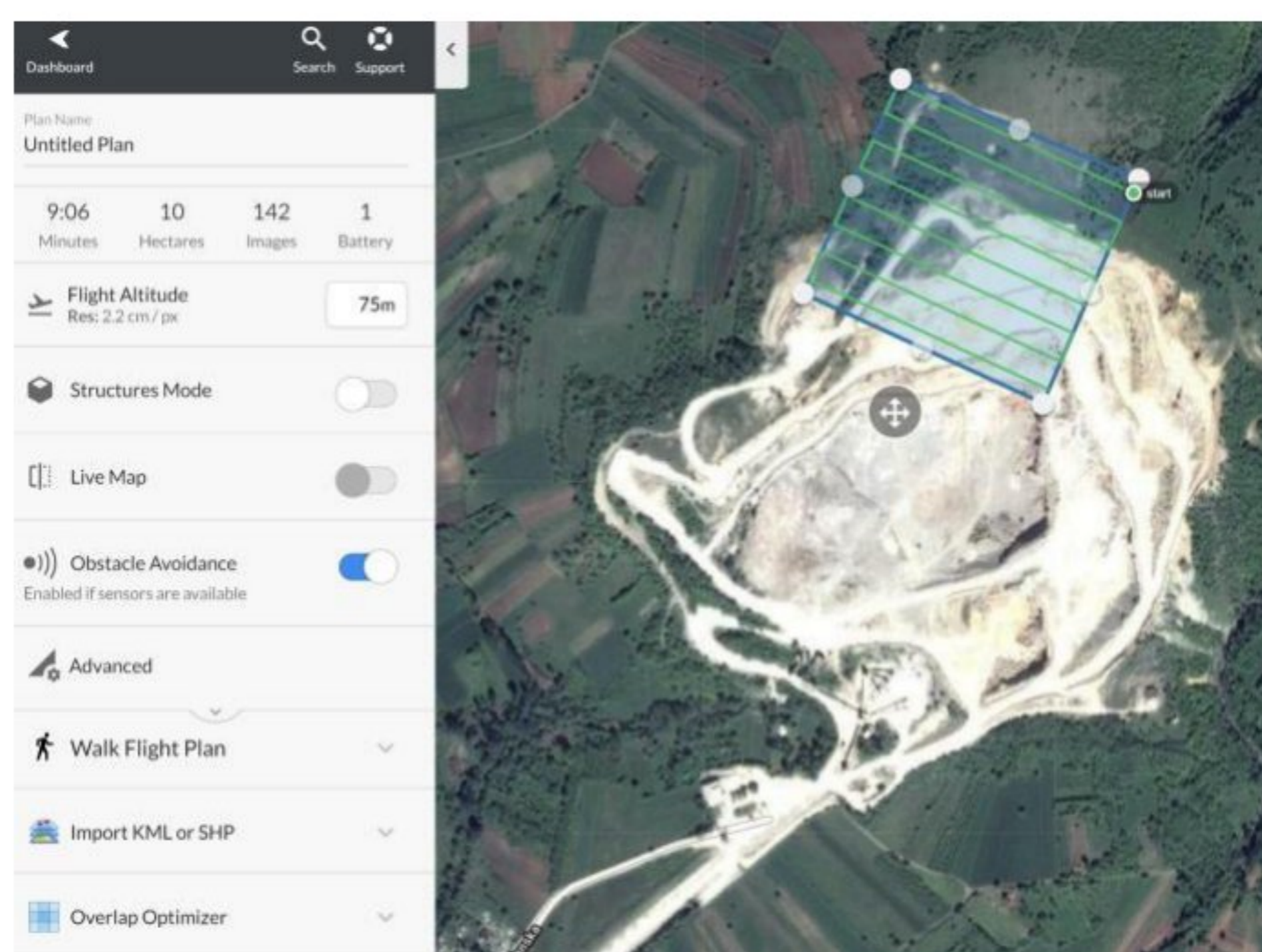
Sl. 1. *Bespilotna letelica firme DJI model PHANTOM 4+ PRO*



Sl. 2. *Bespilotna letelica na površinskom kopu*

Pre samog snimanja, za dobijanje modela terena koji je pozicioniran u prostoru (georeferenciran) sa svojim X, Y, Z koordinatama, potrebno je na terenu zadati markere, a potom iste zabeležiti nekim od savremernih GPS uređaja sa što većom preciznošću. Preuzete koordinate markera kroz dalju obradu u softveru će nam pomoći prilikom izrade modela. Snimanje terena se može vršiti manuelno ili uz pomoć softvera koji nam omogućuje da sami zadajemo putanju letelice i automatsko fotografisanje u odgovarajućem vremenskom intervalu. U ovu svrhu snimanja korišćena je aplikacija Drone Deploy (slika 3) preko koje se obeležava područje na kome se snimanje vrši, odnosno automatski projektuje putanja sa odgovarajućim parametrima prilikom leta (*visina letenja, brzina letenja, fotografisanje, i dr.*). Fotografije zabeležene prilikom leta sa bespilotnom letelicom kasnije se koriste za dobijanje oblaka tačaka i izradu digitalnog modela terena.

Prilikom rada sa letelicom i fotografisanja potrebno je naći optimalnu visinu letenja kako bi kvalitet fotografija bio zadovoljavajući što kasnije dodatno utiče na kvalitet izrade modela.



Sl. 3. Primer radnog okruženja u aplikaciji Drone Deploy

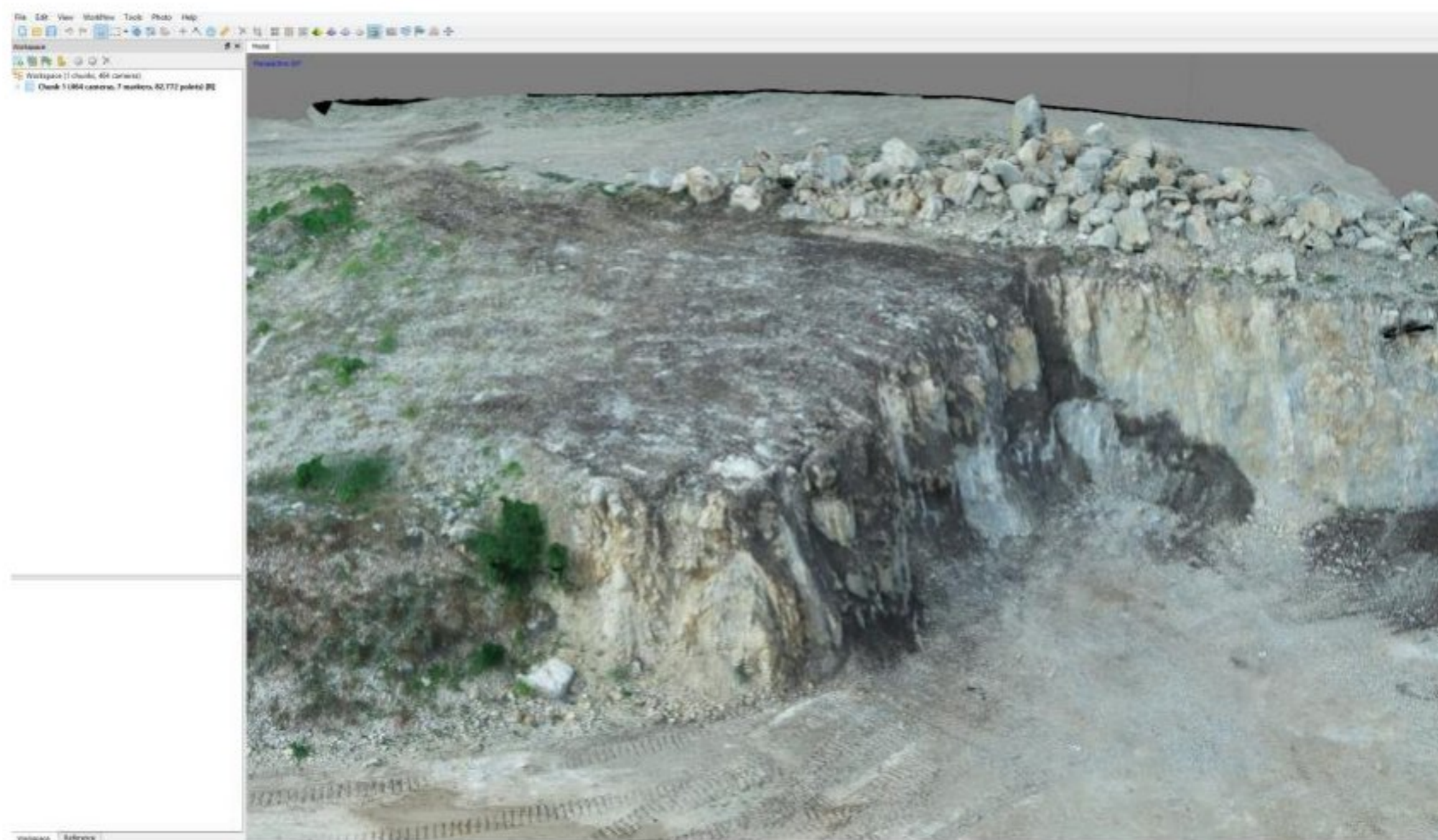
3. OBRADA FOTOGRAFIJA

Za obradu fotografija koristi se Agisoft Photoscan softver. Agisoft je stekao stručnost u algoritmima obrade slike, uz digitalne fotogrametrijske tehnike, koje postavljaju smer za razvoj primenjenih alata.

Implementacija nove tehnologije za različite industrijske i društveno važne zadatke predstavlja način da se podstakne nisko-budžetski metod istraživanja i dokumentacije. Sa Agisoft Photoscan, trenutno visoko konkurentnim fotogrametrijskim softverom na tržištu, prate se trendovi i dalje istražuje rad kako bi se ugradili high-end tehnologije u softver za potrebe korisnike. Odnosno kako bi imali mogućnost primene alata za uspešno rešavanje 3D rekonstrukcije, vizuelizacije, geodetske i kartografske zadatke. Agisoft Photoscan je dizajniran posebno za one koji vrednuju vreme, imaju za cilj tehničku efikasnost i spremni su da prate digitalne tehnologije u svetu neograničenih mogućnosti.

Fotografije se kroz softver obrađuju tako što se sve zabeležene fotografije ubace u softver, potom se automatski ređaju fotografije praveći celokupan prikaz snimanog terena. Nakon toga potrebno je napraviti oblak tačaka, koji daje tačnu informaciju na bilo kom delu snimljenog terena, odnosno poziciju u koordinatnom sistemu. Daljim radom kroz softver, preko oblaka tačaka, moguće je napraviti model terena koji daje realnu predstavu o problemu koji želimo sagledati, konkretno u ovom slučaju kontrola parametara prilikom bušenja stenskog materijala.

Međutim, oblak tačaka ne može biti direktno upotrebljen kod većine primena. Uobičajena praksa je da se konvertuje u poligonu mrežu (*mrežu trouglova*). Često se oblak tačaka nepravilno poistovećuje sa poligonom mrežom. Međutim, postoji bitna razlika: poligona mreža je model geometrije površine posmatranog dela, dok je oblak tačaka samo skup tačaka na površini modela. Kao takva, poligona mreža pruža više informacija o konfiguraciji spoljašnje površine modela. Savremenim softverima se mogu praviti digitalni modeli terena preko oblaka tačaka, slika 4. Agisoft Photoscan poseduje tu mogućnost, kao i mogućnost konverzije oblaka tačaka u poligonu mrežu, slika 5.

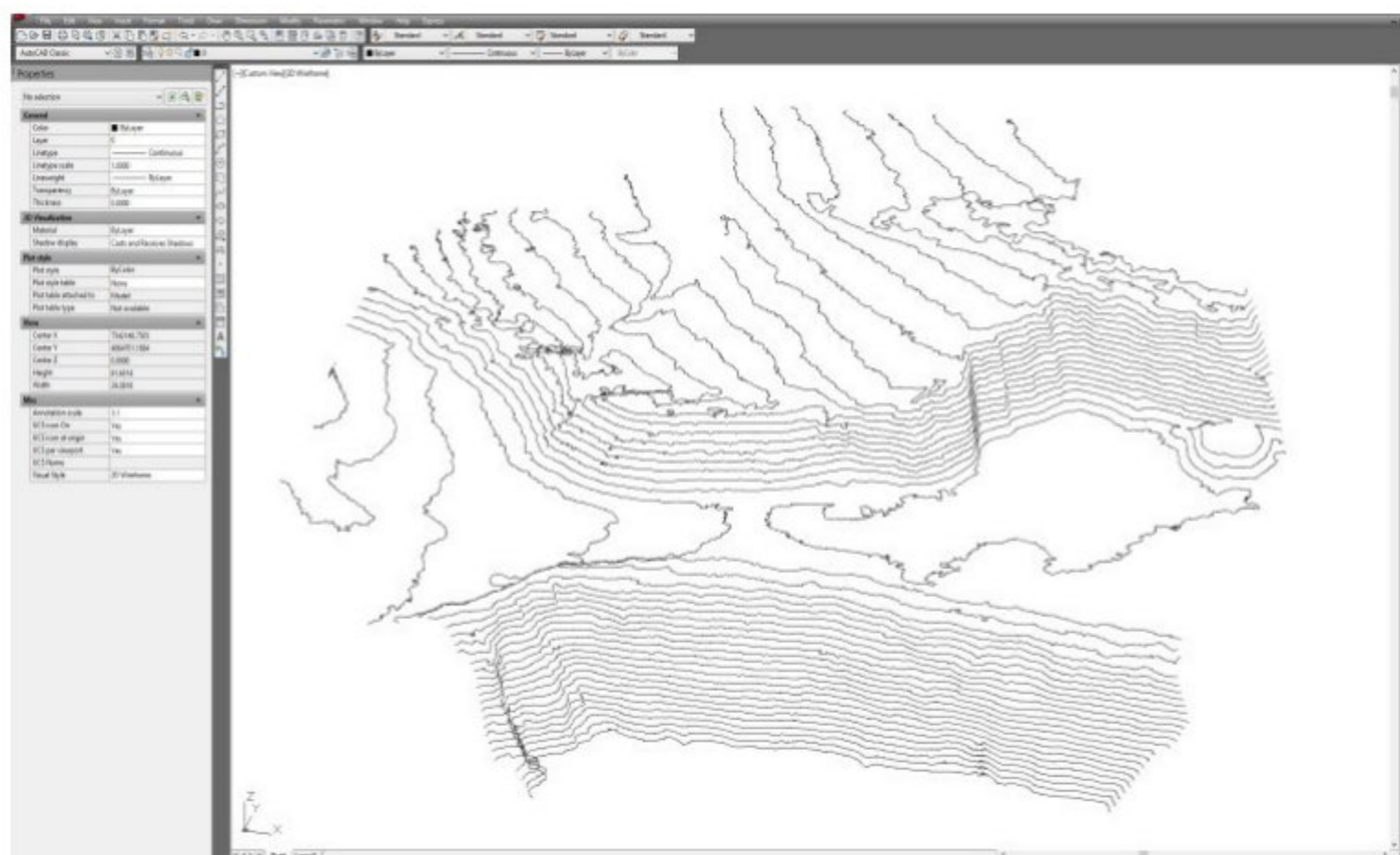


Sl. 4. Digitalni model terena sa preklapljenim ortofoto snimkom



Sl. 5. Konverzija oblaka tačaka u model sa poligonom mrežom

Za analizu parametara bušenja i miniranja na površinskom kopu u našem slučaju potreban nam je model predmetnog terena sa izolinijama. Kroz pomenuti softver možemo automatski eksportovati odgovarajući model sa izolinijama i to u DXF formatu (slika 6), gde se kroz AutoCad mogu dalje vršiti potrebne korekcije.



Sl. 6. Model terena sa izolinijama

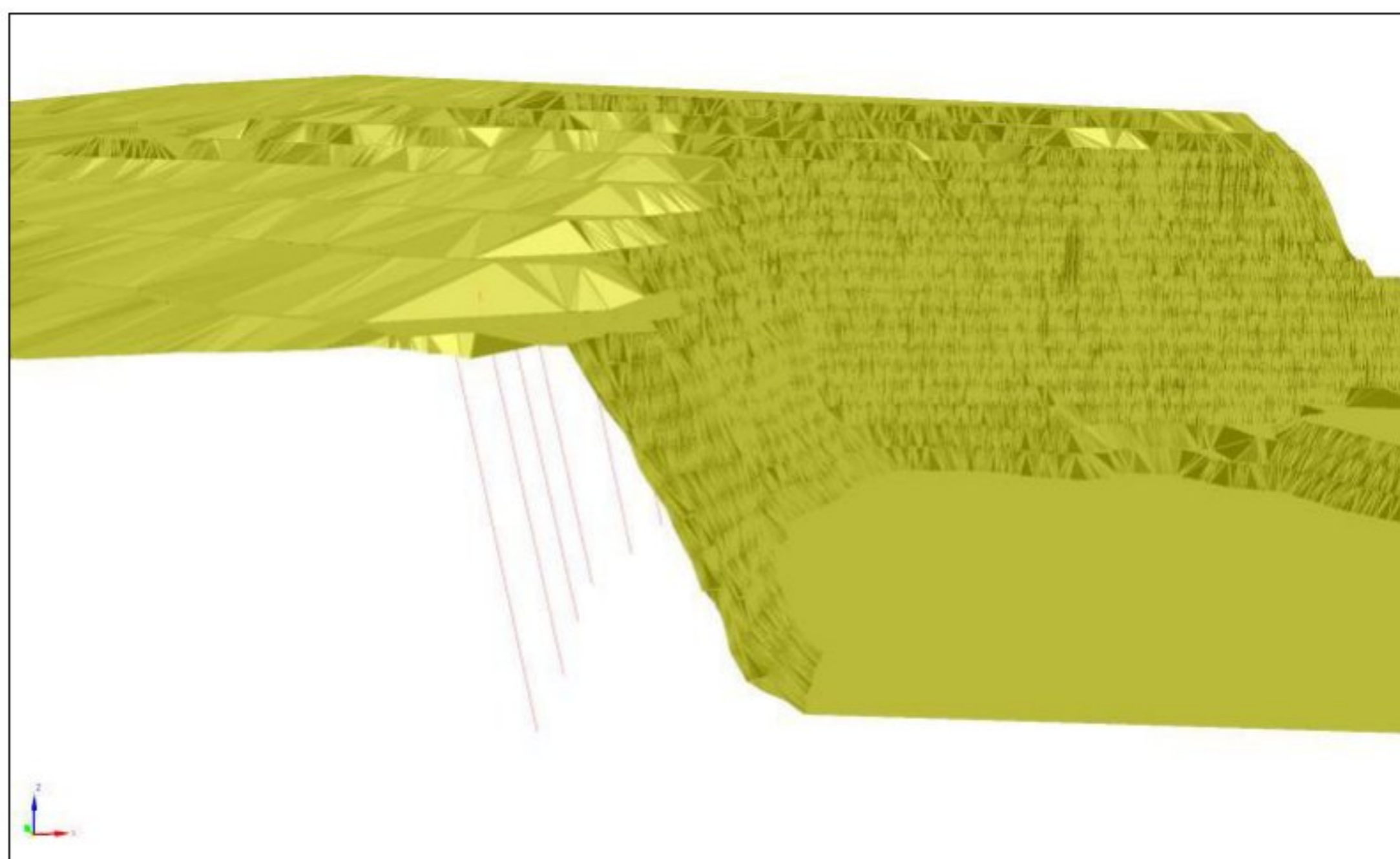
4. PRIMENA SOFTVERA I SAVREMENIH TEHNOLOGIJA

Radovi na bušenju i miniranju zahtevaju veliku pažnju kako ne bi došlo do neželjenih efekata u prvom redu razletanja komada, negativnih seizmičkih efekata, pojave negabarita, i sl. Loši rezultati miniranja nastaju iz više faktora, a najčešće su to:

- neadekvatne specifične potrošnje eksploziva,
- neodgovarajućih parametara rasporeda minskih punjenja,
- neodgovarajuće šeme miniranja,
- neodgovarajućeg načina iniciranja minskih punjenja,
- neodgovarajućeg prečnika minskih bušotina,
- neadekvatnog izbora vrste eksploziva, itd.

Kao posledica ovih faktora, javlja se povećan procenat negabaritnih komada, stvaraju se „pragovi“, tj. neravnine u podu etaže što otežava rad mehanizacije, povećava se izbacivanje stenske mase, kao i broj pukotina iza zadnjeg reda bušotina, zbog toga je jako bitno precizno projektovati minsko polje i imati uvid u što više podataka pre samog bušenja, a kasnije i miniranja. U tu svrhu, dosta mogu pomoći već gore navedeni softveri, snimci uz pomoć bespilotnih letelica, i sl., kako bi dobili što veću bazu podataka i izvršili potrebne korekcije pre radova. Kroz dalji tekst opisano je par pomenutih faktora, koji imaju štetni efekat i moguća rešenja istih.

Prilikom bušenja minskih bušotina, u većini slučajeva, nemamo tačnu predstavu o rastojanju minske bušotine u prvom redu do slobodne površine. Često ukoliko imamo kosinu pod nekim uglom i bušotine se izrađuju paralelno toj kosini (slika 7), potrebno je ispratiti da li na njoj postoji dodatna neravnina koja na nekoj dubini bušenja može povećati tu liniju najmanjeg otpora ili je smanjiti, što izaziva negativan efekat prilikom miniranja. U cilju procene ugla bušenja, može nam pomoći izrada modela kako bi lakše uočili neravnine (slika 8), kao i korišćenje eksportovanih podataka iz pomenutog Agisoft Photoscan softvera, koji nam služe za izradu preseka od bušotina ka čelu etaže.

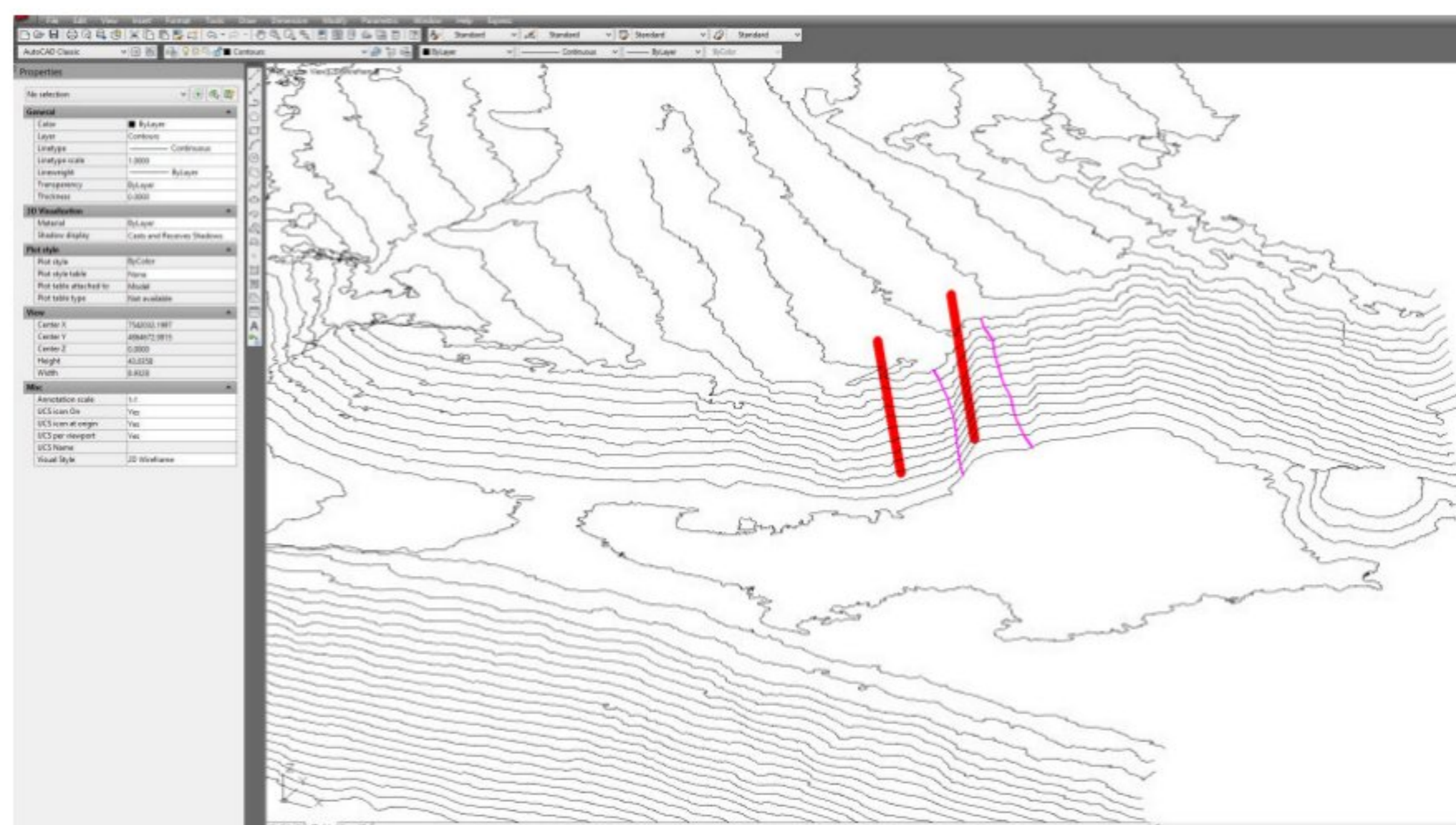


Sl. 7. Model etaže sa kosim minskim bušotinama



Sl. 8. Prikaz neravnina na čelu etaže kroz model sa preklopljenim ortofoto snimkom

Da bi se lakše vršila kontrola, npr. linije najmanjeg otpora, potrebno je na modelu sa izolinijama i naznačenim linijama za profile (slika 9) uraditi presek kako bi se proverio ugao bušotine ka čelu etaže, linija najmanjeg otpora, kao i kasnije uskladiti sa postojećom geometrijom projektovanog minskog polja. Za uporednu analizu, uzete su dve bušotine sa probnog minskog polja, gde su ubačene projektovane bušotine i preko softvera urađena provera linije najmanjeg otpora (slika 10).



Sl. 9. Model sa naznačenim bušotinama i linijama za presek



Sl. 10. Profil bušotina sa vrednostima linije najmanjeg otpora

Provera projektovanog ugla bušenja od 70° izvršena je preko urađenih profila, gde su po celoj dužini bušotine izmerene vrednosti rastojanja od čela etaže, kao što je prikazano na prethodnoj slici. Uglavnom se pri radovima i

projektovanju minskog polja čelo etaže posmatra kao kosa linija. Međutim, u većini slučajeva se nalaze neravnine, koje dodatno povećavaju to rastojanje od slobodne površine ili se ono smanjuje. Kod oba slučaja mogu se javiti neželjeni efekti kao što su npr. razletanje komada stenskog materijala i povećanje seizmičkog dejstva pri miniranju. Kako bi se izbegao negativan uticaj pre samog izvođenja radova na bušenju i miniranju, jako je bitno imati preglednu situaciju, koja nam omogućava lakše projektovanje minskog polja. Savremene tehnologije i softveri nam omogućavaju da imamo realniju sliku o problemu sa terena, kao što se može videti kroz ovaj rad.

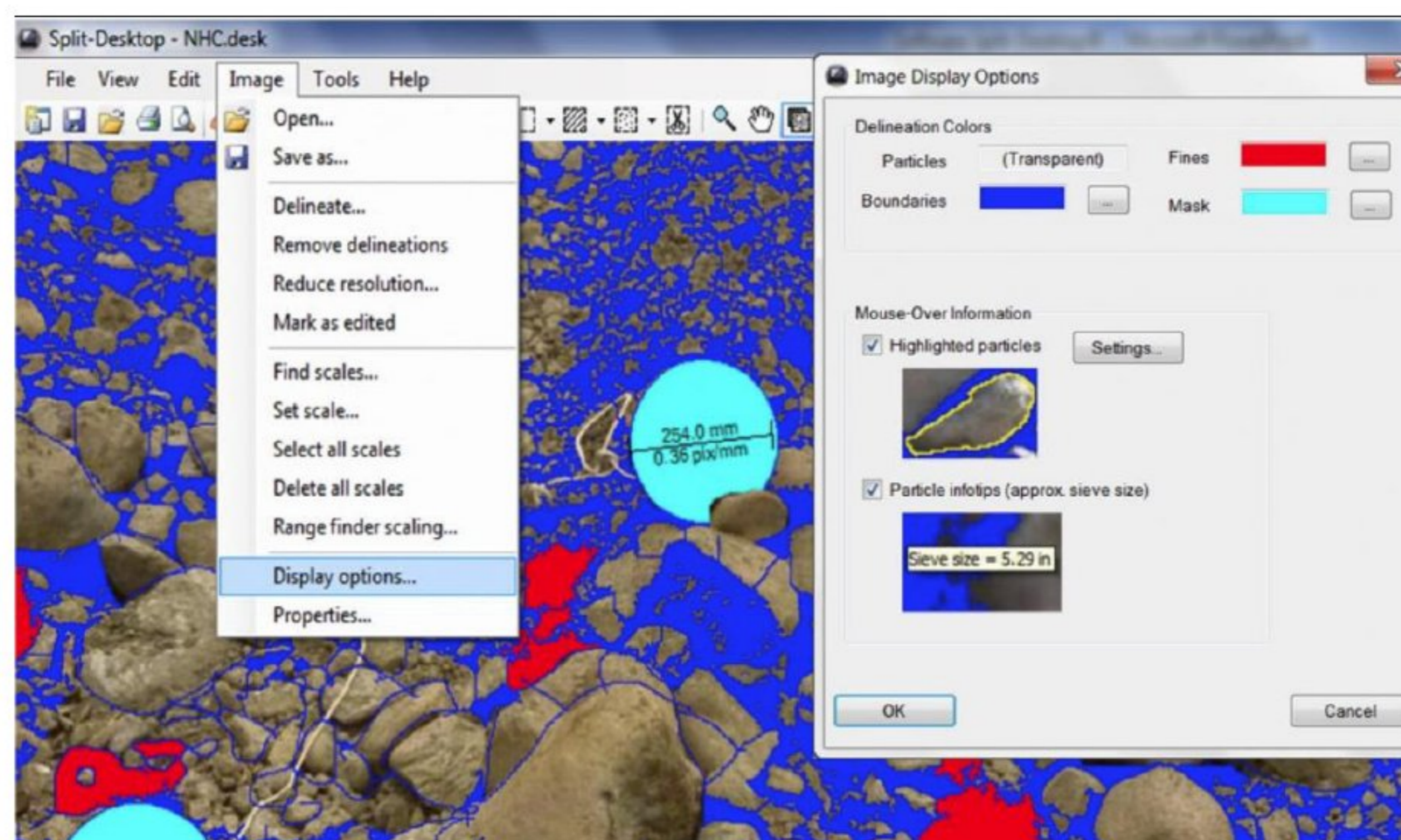
Na osnovu analize, može se zaključiti da je linija najmanjeg otpora uglavnom veća od projektovane, koja iznosi 3 m, pa je potrebno u ovom slučaju izvršiti korekciju ugla bušenja ili poziciju bušotine pomeriti bliže slobodnoj površini. To se jednostavno uz pomoć softvera može odraditi, i podatke na kojima su izvršene korekcije preneti na teren gde se može pristupiti bušenju.

Primena ovih tehnologija uglavnom pomaže kako bi se uštedelo vreme i izbegle same greške na terenu, kao i da se dobije što preciznije projektovano minsko polje sa odgovarajućom geometrijom. Pored provere linije najmanjeg otpora, može se pratiti i ugao bušenja, rastojanje između redova bušotina i bušotina u redu. Greške prilikom bušenja se smanjuju i raspolaže se sa preciznijim podacima prilikom izrade šeme i pozicije minskog polja, što dodatno utiče na rezultat miniranja stenske mase.

5. DODATNE PRIMENE SAVREMENIH TEHNOLOGIJA

Korišćenjem savremenih tehnologija znatno se unapređuje izvođenje radova, raspolaže se preciznijim podacima za obradu, čime se dobija na uštedi vremena prilikom obavljanja raznih operacija na terenu. Pored navedenih mogućnosti za korekcije prilikom bušenja i miniranja stenskog materijala, savremene tehnologije odnosno primena bespilotnih letelica može se koristiti još i za procenu stanja nakon miniranja.

Nakon miniranja, može se izvršiti slikanje iz vazduha uz pomoć letelice, kako bi dobili pregledne fotografije odminirane mase, a te fotografije mogu se koristiti za procenu veličine odminiranog stenskog materijala (*granulacije*). Sa fotografija lako se može videti da li postoje negabaritni komadi koji se moraju dodatno usitniti, naravno uz pomoć odgovarajućeg softvera. Softver koji se koristi u ovu svrhu je Split Desktop (slika 11), koji ima mogućnost merenja veličine komada stene, na osnovu postavljenih markera kružnog oblika poznatih dimenzija.



Sl. 11. Radno okruženje u softveru Split Desktop

6. ZAKLJUČAK

Upotreba savremenih softvera i tehnologija je sve veća kako u svetskom, tako i na domaćem tržištu. Njihova primena znatno olakšava posao, skraćuje potrebno vreme za obavljanje pripreme i planova izvođenja radova, izrade izveštaja, elaborate i projektnih dokumentacija, ali takođe primenom pri samom radu na terenu i u procesu proizvodnje donosi velike prednosti.

Korišćenjem softvera i njihovom kombinacijom u cilju pronalaženja optimalnih parametara bušenja, od kojih zavisi kasnije miniranje, došlo se do potrebe za korekcijom ugla bušenja, promene pozicija bušotina u prvom redu zbog povećane linije najmanjeg otpora, ali i geometrije celog polja čime se smanjuju neželjeni efekti i postižu bolji rezultati miniranja.

Prednosti korišćenja jesu mogućnosti izrade precizne dokumentacije za izvođenje bušačko-minerskih radova i korigovanja podataka preko računara, koji se kasnije u konačnom obliku mogu upotrebiti na terenu.

Dronovi mogu leteti i prikupljati podatke sigurno i brzo preko udaljenih područja kojima je inače teško pristupiti. Ovi podaci (npr. slike, video zapisi, oblaci tačaka) mogu se zatim poslati korisnicima u realnom vremenu za analizu i nadzor.

Kada se koriste bespilotne letelice velikog dometa, mogu se obaviti velika terenska istraživanja na površini od nekoliko kilometara. Prikupljanje podataka, koje obično traje nedeljama može se značajno smanjiti, čime se povećava produktivnost, posebno u udaljenim i nepristupačnim područjima. Pored toga, prikupljanje podataka iz vazduha izbegava vreme koje je potrebno za kretanje

po kopu, koje se zahtevaju pomoću metoda geodetskog merenja. Upotreba kamera visoke rezolucije na bespilotnim letelicama omogućava da se 3D karte visoke rezolucije, na primer, mapiranje kamenoloma i odlagališta stvore mnogo brže i efikasnije nego ranije, poboljšavajući analizu i donošenje odluka.

Zaposleni u rudarstvu se stoga mogu fokusirati na ključne zadatke. Ovo važi i za bilo koje automatizovane funkcije za prikupljanje i analizu podataka, koje vrši softver za dronove. Bezbednost je važno pitanje za rudnike, bespilotne letelice velikog dometa smanjuju rizike radnika na licu mesta smanjujući vreme, koje osoblje treba da provede na licu mesta.

Najveći deo troškova bespilotnih letelica leži u kupovini ili iznajmljivanju dronova. Međutim, kao rezultat toga, manje radnih sati, činjenica da više ne postoji potreba za kupovinom zračnih snimaka od spoljnih izvora, tačnih podataka, operacija dugog dometa i velikih skupova podataka, sve to pomaže da se smanje troškovi.

Ukratko, sa prednostima kao što su smanjenje troškova, povećanje efikasnosti i izuzetne mogućnosti za prikupljanje podataka na daljinu, dronovi su odličan alat za rudarstvo na otvorenom na površinskim kopovima.

Kroz ovaj rad prikazane su mogućnosti primene savremenih tehnologija u oblasti bušenja i miniranja pri površinskoj eksploataciji ležišta mineralnih sirovina, problemi koji se javljaju prilikom izvođenja radova, moguća rešenja i prednosti primene ovih tehnologija. Rešenje, koje je dato, obrađeno je na konkretnom primeru sa terena i podataka zabeleženih na samoj lokaciji. Primenom savremenih tehnologija na ovom konkretnom slučaju ustanovili smo da se može otkloniti veliki broj problema, koji se javljaju pre izvođenja radova na terenu.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je rezultat projekata TR34005 pod nazivom: „Razvoj naprednih materijala i tehnologija za multifunkcionalnu primenu zasnovanih na ekološkom znanju“ i TR37001 pod nazivom: „Uticaj rudarskog otpada iz RTB Bor na zagađenje okolnih vodotokova sa predlogom mera i postupaka za smanjenje štetnog dejstva na životnu okolinu“, koji su finansirani od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] N. Purčić, Bušenje i miniranje, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1991.
- [2] L. Kričak, Seizmika miniranja, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2006.
- [3] M. Savić, Miniranje na površinskim kopovima, Institut za bakar, Bor, 2000.

-
- [4] D. Vasić, Model geodetskog premera savremenim akvizicionim tehnologijama, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2017.
 - [5] D. Jovanović, Model objektno orijentisane klasifikacije u identifikaciji geoprostornih objekata, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2015.
 - [6] Split engineering, Products, Split-Desktop software,
<https://www.spliteng.com/products/split-desktop-software/>
 - [7] Agisoft Photoscan, <http://www.agisoft.com/>
 - [8] DJI, Consumer, Phantom series, Phantom 4 Pro,
<https://www.dji.com/phantom-4-pro?site=brandsite&from=nav>
 - [9] http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/lekcija_14_1389177936484.pdf
 - [10] http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/lekcija_7_1398282478090.pdf
 - [11] <http://polj.uns.ac.rs/~geodezija/pa/10%20Predavanje.pdf>
 - [12] http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/geoinfleksija10_1401901835604.pdf
 - [13] Drone Deploy, <https://www.dronedeploy.com/>