

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku

Andrej Kovačević

Toni Pavličić

**PRAĆENJE I PLANIRANJE RAZVOJA RUDARSKIH RADOVA
KORIŠTENJEM MODERNIH MODELA TERENA**

Zagreb, 2020.

Rad je izrađen na Zavodu za rudarstvo i geotehniku, Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom dr. sc. Branimira Farkaša te je predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2019./2020.

Zagreb, 2020.

Popis korištenih oznaka

m n.v. – metara nadmorske visine

Mpx – megapiksel

px – piksel

Popis kratica

DMR - digitalni model reljefa

GPS – globalni položajni sustav

HTRS96/TM - Hrvatski Terestrički Referentni Sustav za epohu 1995.55 poprečne Mercatorove (Gauss-Krügerove) projekcije

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Cilj istraživanja	2
3. Kratki pregled dosadašnjih istraživanja	3
4. Geografske i geološke značajke ležišta.....	4
4.1. Geografske značajke ležišta.....	4
4.2. Geološke i tektonske značajke ležišta	5
5. Metode istraživanja	6
5.1. Prikaz ulaznih podataka.....	7
5.2. Klasičan 3D model terena.....	10
5.2.1. Opis postupka izrade klasičnog 3D modela terena	11
5.2.2. Prikaz klasičnog 3D modela terena	14
5.3. Fotogrametrijski model terena	15
5.3.1. Opis postupaka izrade fotogrametrijskog modela terena	15
5.3.2. Prikaz fotogrametrijskog modela terena	18
5.4. Analiza razvoja rudarskih radova	19
5.4.1. Analiza razvoja rudarskih radova korištenjem klasičnog modela terena	21
5.4.2. Analiza razvoja rudarskih radova korištenjem fotogrametrijskog modela terena	24
6. Diskusija	28
7. Zaključak.....	32
8. Zahvala:.....	33
9. Popis literature	34
10. Sažetak	37
11. Abstract	38

POPIS SLIKA

Slika 1 - Ortofoto snimak eksploatacijskog polja „Očura II“	4
Slika 2 - Radno okruženje softvera Bentley OpenRoads Designer CONNECT Edition	6
Slika 3 - Radno okruženje softvera Bentley ContextCapture.....	7
Slika 4 – Sistematizirani podaci geodetske situacijske karte	8
Slika 5 – Sistematizirani podaci prve faze razvoja rudarskih radova.....	9
Slika 6 – Fotogrametrijska fotografija terena.....	10
Slika 7 – Kontrolna točka na terenu	10
Slika 8 – Postavke (<i>Properties</i>) elemenata - pojedine točke.....	12
Slika 9 – Prikaz referentnih točaka (crveno) sa pridruženim koordinatama	12
Slika 10 – Referentne točke pozicionirane u trodimenzionalan prostoru	13
Slika 11 – Žični 3D model ležišta	13
Slika 12 – Prikaz trianguliranog modela reljefa terena	14
Slika 13 – Prikaz renderiranog trianguliranog modela reljefa terena.....	14
Slika 14 – Učitavanje fotografija u mapu „Block_1“.....	17
Slika 15 – Rezultat aerotriangulacije	18
Slika 16 – Prostor označen za rekonstrukciju (žuto).....	19
Slika 17 – Završni 3D fotogrametrijski model reljefa terena „Očura II“	19
Slika 18 – Trodimenzionalni prikaz prve faze razvoja rudarskih radova (zelena boja) i okolnog terena (siva boja).....	21
Slika 19 – Prikaz alata za izračun volumena.....	22
Slika 20 - Prikaz preklapanja geodetske situacije i prve faze eksploatacije	23
Slika 21 – Vegetacija oko površinskog kopa (zračni snimak – lijevo, fotogrametrijski modeli - desno)	24
Slika 22 – Alat za izdvajanje površine terena iz fotogrametrijskog modela.....	25
Slika 23 – Izdvojena površina terena bez vegetacije s prikazom kontrolnih točaka i triangulirane površine terena.....	26
Slika 24 – Prikaz preklapanja fotogrametrijske situacije i prve faze eksploatacije	27
Slika 25 – Detalj triangulirane površine terena oba modela s izdvojenim dijelom analize dužina stranica.....	30

POPIS TABLICA

Tablica 1 – Proračun volumena mineralne sirovine za klasični modela terena	22
Tablica 2 – Proračun volumena mineralne sirovine za fotogrametrijski model terena.....	26
Tablica 3 – Vrijeme prikupljanja i izrade trodimenzionalnih modela	29
Tablica 4 – Rezultati analize dužine stranica trianguliranih modela.....	31

1. UVOD

Rudarstvo u Republici Hrvatskoj često se susreće s brojnom problematikom koja se javlja ne samo tijekom izrade projektnih rješenja, već i prilikom praćenja izvođenja rudarskih radova na samom terenu.

Inženjeri rudarstva na površinskom kopovima vrlo često nemaju mogućnost preciznog određivanja položaja rudarskih radova na terenu te samim time i adekvatnog načina praćenja situacije. Zbog toga se nerijetko javljaju velika odstupanja stanja na terenu u odnosu na projektirano stanje. Primjerice, nije moguće pratiti faze razvoja površinskog kopa definirane rudarskom dokumentacijom, pa je moguća posljedica toga izlazak izvan utvrđenih granica eksploatacijskog polja i slično.

Klasično modeliranje terena izradom situacijske karte, kojom je moguće pratiti stanje na terenu, iziskuje dosta vremena od samog prikupljanja podataka, pa do njihove obrade. Uz navedenu dugotrajnost cijelog postupka javlja se i još jedna mana, a to je način prikaza gotove situacijske karte. Najčešće se situacijske karte prikazuju isključivo dvodimenzionalno.

Novim načinima prikupljanja podataka te razvojem tehnologije moguće je izraditi modele terena čije je prikupljanje podataka te njihova obrada brža u odnosu na klasično modeliranje terena. Primjer takvog modela je model izrađen na temelju digitalne fotogrametrije. Prednost ovakvih modela je, ne samo u brzini prikupljanja i obrade podataka, nego i u prikazu. Modeli su prikazani trodimenzionalno, pa samim time i pregledniji.

U ovom radu, na primjeru eksploatacijskog polja „Očura II“, uspoređena su dva trodimenzionalna modela terena, klasična metoda izrade situacijske karte i fotogrametrijski model, te su analizirane mogućnosti praćenja razvoja rudarskih radova navedenim metodama.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja je izrada trodimenzionalnog modela površine terena ležišta tehničko-gradevnog kamena. Model terena izrađivat će se korištenjem najmodernijih softverskih rješenja uz upotrebu bespilotne letjelice (eng. *Unman Arial Vehicle - UAV*) te klasičnim metodama izrade modela terena. Trodimenzionalni modeli površine terena biti će izrađeni kao:

- klasični model terena korištenjem geodetske situacijske karte te korištenjem satelitskih snimaka Državne geodetske uprave te
- moderan fotogrametrijski model terena korištenjem bespilotne letjelice.

Trodimenzijski modeli površine terena omogućit će uvid u trenutno stanje rudarskih radova. Komparativnom analizom klasičnog i fotogrametrijskog modela ležišta s 3D fazama razvoja rudarskih radova dobit će se uvid u izvedene rudarske radove u odnosu na faze razvoja rudarskih radova definirane u provjerenoj rudarskoj dokumentaciji. Isto tako trodimenzionalni modeli s pripadajućom teksturom odnosno snimkom terena omogućit će determinaciju zona ležišta s eventualnim primjesama jalovine te zona s tektonski neporemećenom stijenskom masom.

3. KRATKI PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Primjena trodimenzionalnih modela neizostavna je u području tehničkih i prirodnih znanosti, ponajviše zbog preglednosti koju daje u sagledavanju nekog problema.

Za kreiranje trodimenzionalnih modela koriste se posebni softveri. Zhao et al. (2011) koriste softver AutoCAD za 3D modeliranje otvorenog kopa. Zhou, S. & Xu, J. (2009) za trodimenzionalno modeliranje terena koriste čak dva softvera, ArcGIS i Creator. Korištenjem različitih specijaliziranih softvera u rudarstvu moguće je na temelju prikupljenih podataka o određenoj lokaciji izraditi ne samo 3D modele površine terena, već i 3D modele površine rudnika, rudnih tijela (Liu et al; 2010) ili rasjeda (Luo et al; 2007). Fallara, Legault i Rabeau (2006) predstavljaju korištenje geoloških trodimenzionalnih modela i karti koji se koriste u svrhu istraživanja mineralne sirovine na primjeru dvaju rudnika u Quebecu, Kanada.

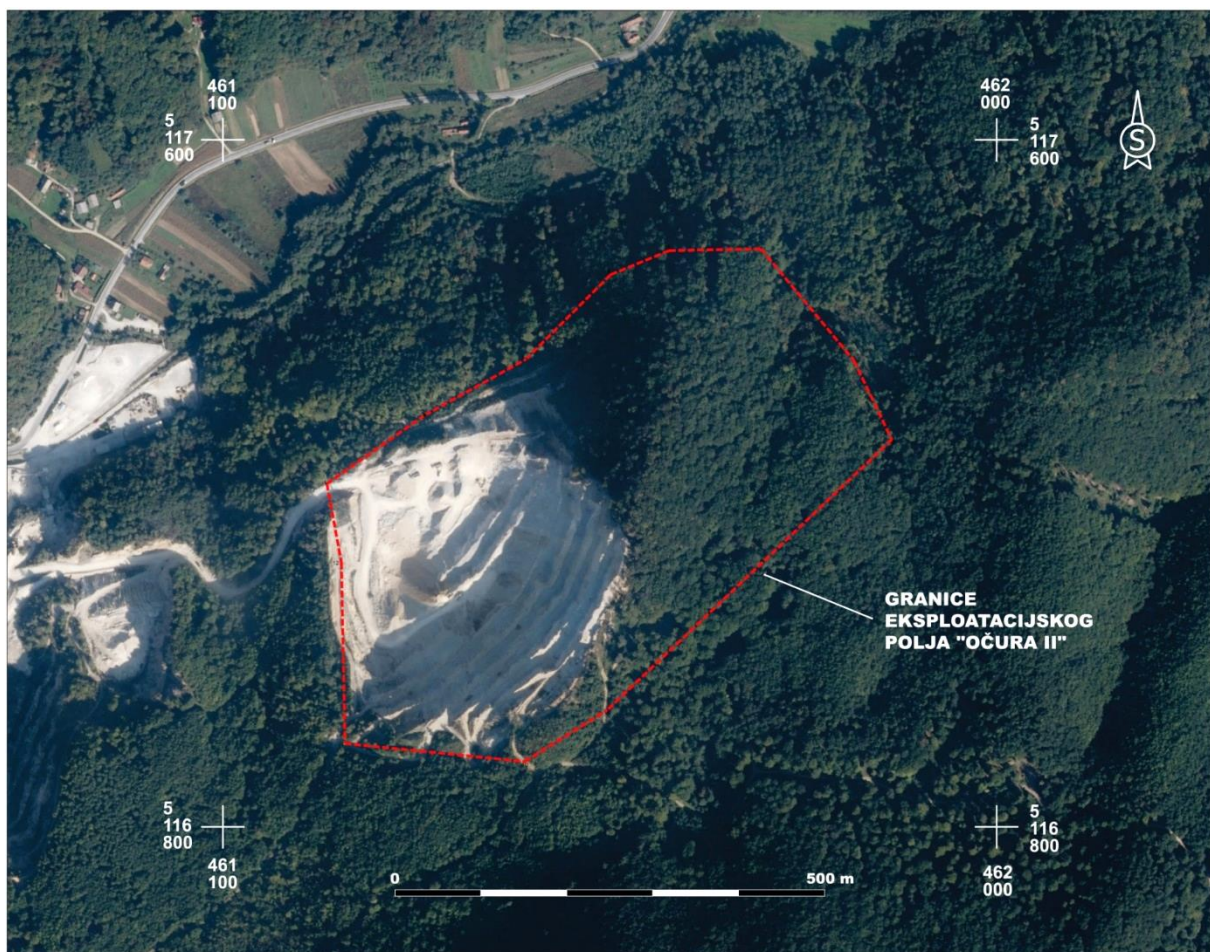
Fotogrametrijska metoda prikupljanja podataka također nalazi široko područje primjene. U rudarstvu ova metoda primjenjuje se kako za prikupljanje podataka u površinskoj eksploataciji (Levytsky et al., 2018), tako i u podzemnoj eksploataciji (Benton et al., 2016; Slaker et al., 2017), pa čak i za određivanje uvjeta prelaska iz površinske u podzemnu eksploataciju (Zhang et al., 2017). Fotogrametrija također pruža fleksibilnost prilikom različitih istraživanja. Kršák et. al., (2016) uz bespilotnu letjelicu koriste i digitalni fotoaparat prilikom snimanja površinskog kopa Jastraba, Slovačka. Fotogrametrijska metoda predstavlja vrlo siguran načina prikupljanja podataka s obzirom na to da operater ne mora ulaziti u opasno područje odnosno ne ugrožava se ljudska sigurnosti te je iz navedenog razloga primjenjiva za kartiranje napuštenih rudarskih vrlo opasnih područja (Suh, J. & Choi, Y., 2017).

Kao što je i prethodno spomenuto, fotogrametrija i korištenje bespilotne letjelice primjenjivi su u raznim područjima, pa tako Li et al. (2015) koristili su fotogrametrijsku metodu za mjerenje ukupne i lokalizirane promjene volumena na nezasićenim tlima tijekom troosnog ispitivanja. Fraser et al., (2016) snimanjem vegetacije tundre na području Tuktoyaktuka, Kanada, bespilotnim letjelicama prikupljali su podatke o isplativost fotogrametrije u dokumentiranju većeg područja vegetacije s ciljem praćenja promjena. Lozano, J. & Alonso, G. (2016) koristili su bespilotne letjelice za istraživanje i dokumentiranje starih rimskih rudnika zlata na području sjeverozapadne Španjolske. Šimek et. al. (2018.) pomoću fotogrametrije ispitali su visinsku točnost službenog digitalnog modela reljefa (DMR) Republike Hrvatske.

4. GEOGRAFSKE I GEOLOŠKE ZNAČAJKE LEŽIŠTA

4.1. Geografske značajke ležišta

Eksploatacijsko polje “Očura II” smješteno je na sjeverozapadnim padinama Ivanščice, između doline potoka Očura i vrha Veliko Kalce (727 m). Eksploatacijskim poljem morfološki dominira vrh brijega na koti 539 m, odakle se teren strmo spušta prema zapadu (granici eksploatacijskog polja), sjeveru (dolini potoka Očura) te istočnoj granici područja istraživanja. Površina terena obrasla je bjelogoričnim grmljem te šumom bukve, graba i hrasta (Slika 1).



Izvor: Državna Geodetska Uprava (2020)

Slika 1 - Ortofoto snimak eksploatacijskog polja „Očura II“

4.2. Geološke i tektonske značajke ležišta

Stijensku masu unutar eksploatacijskog polja "Očura II" čini uglavnom dolomit anizičke starosti (1T_2), svjetlosive boje te guste i homogene teksture. Mineraloško - petrografskim analizama determiniran je kao kasnodijagenetski srednje do krupnozrni dolomit, nastao dolomitizacijom algalnog vapnenca i kao dolomitna breča.

Uz južnu granicu eksploatacijskog polja "Očura II", svjetlosivi dolomit je u rasjednom kontaktu s naslagama ladinika, a nešto istočnije i s klastitima donjeg trijasa. Neposredno uz sjeveroistočnu i istočnu granicu eksploatacijskog polja, svjetlosivi dolomit je također u rasjednom kontaktu s naslagama donjeg trijasa. Sjeverni i sjever - sjeveroistočni dio eksploatacijskog polja izgrađuju klastične naslage donjeg miocena (M_1) u kojima su zastupljeni pješčenjaci, konglomerati, šljunci i gline. Svjetlosivi dolomit je tu u rasjednom kontaktu s klastitima miocena.

Prosječna debljina humusa iznosi oko 0,7 m. Na strmim padinama eksploatacijskog polja dolomit se nalazi na samoj površini i tu izostaje površinska jalovina, a odlikuje se u većini slučajeva masivnom i homogenom teksturom, gotovo bez izražene slojevitosti ili je ona maskirana prisutnim diskontinuitetima. Tamo gdje su slojevi izraženi, većinom su nagnuti prema jugu do jugozapadu pod kutom 40° do 45° .

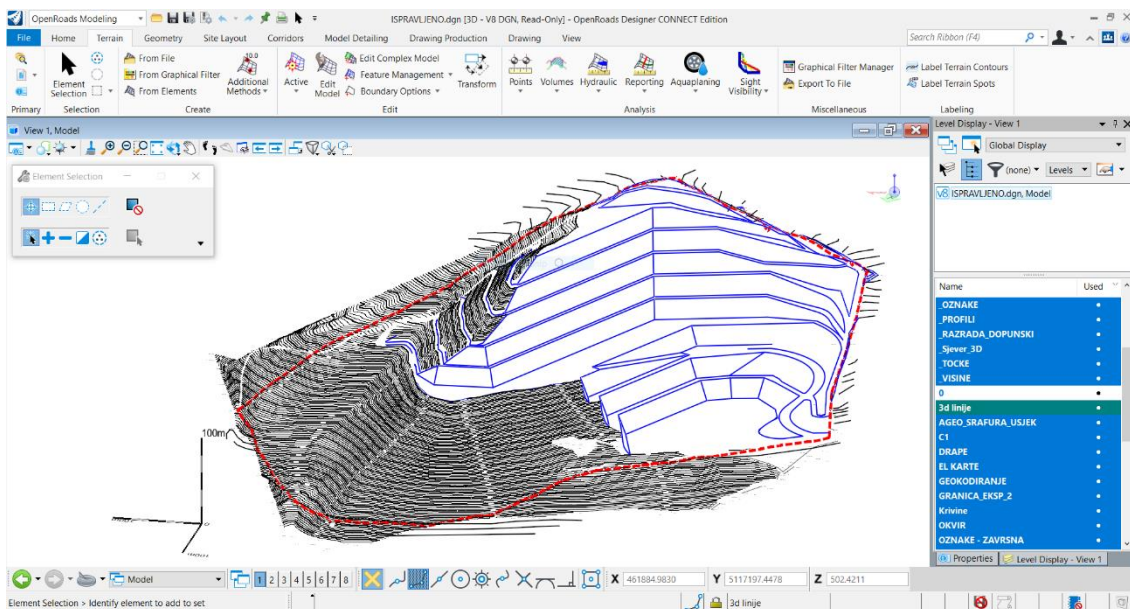
Provedenim istražnim radovima i opažanjima na terenu utvrđeno je da prisustvo rasjeda, s uglavnom vertikalnim paraklazama, nema većeg utjecaja na promjenu ležišnih uvjeta unutar eksploatacijskog polja gdje su obračunate rezerve tehničko - građevnog kamena.

Stijenska masa dolomita ispresijecana je subvertikalnim rasjedima na homogenije blokove dimenzija do nekoliko stotina metara. Unutar homogenijih blokova dolomita utvrđeno je nekoliko pukotinskih sustava različite orijentacije. Pukotine su najčešće pod kutom 50° do 60° u pravcu zapada, rjeđe istoka i jugozapada.

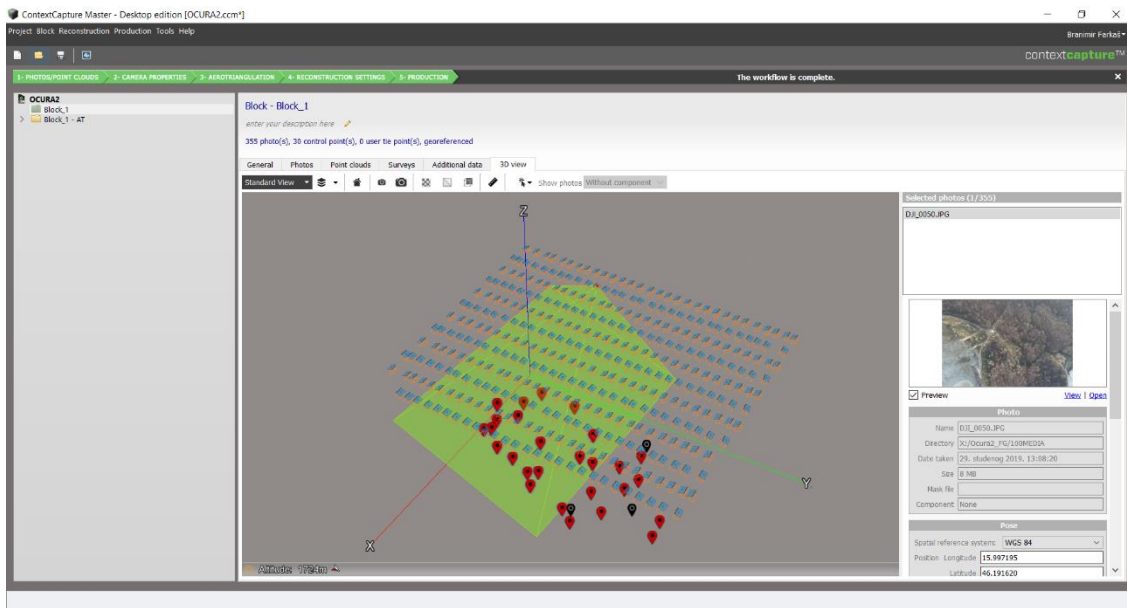
U sjevernom dijelu eksploatacijskog polja stijenska masa svjetlosivih anizičkih dolomita u navlačnom je kontaktu s donjomiocenskim sedimentima. Neposredno uz istočnu granicu eksploatacijskog polja, dolomiti anizika u rasjednom su kontaktu s klastitima donjeg trijasa, a u južnom dijelu dolomit je u rasjednom kontaktu s klastitima ladinika.

5. METODE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je usmjereno k izradi trodimenzionalnog modela površine terena ležišta temeljem prikupljenih podataka s lokacije eksploatacijskog polja „Očura II“. Dostupni podaci očituju se u obliku geodetske situacijske karte i ortofoto snimka terena, a dodatno će biti prikupljeni podaci fotogrametrijskom metodom. Trodimenzionalni modeli terena bit će izrađeni na dva načina. Prvi način je obrada geodetske snimke terena korištenjem softvera Bentley OpenRoads Designer CONNECT Edition (Slika 2), a drugi je obrada aerofotografija pomoću softvera Bentley ContextCapture (Slika 3). Nakon prikupljanja podataka isti su sistematizirani, zbog lakše obrade, ovisno o metodi izrade terena.



Slika 2 - Radno okruženje softvera Bentley OpenRoads Designer CONNECT Edition



Slika 3 - Radno okruženje softvera Bentley ContextCapture

Dodatno će biti izrađen i trodimenzionalan model prve faze eksploatacije mineralne sirovine kao referentni model za usporedbu.

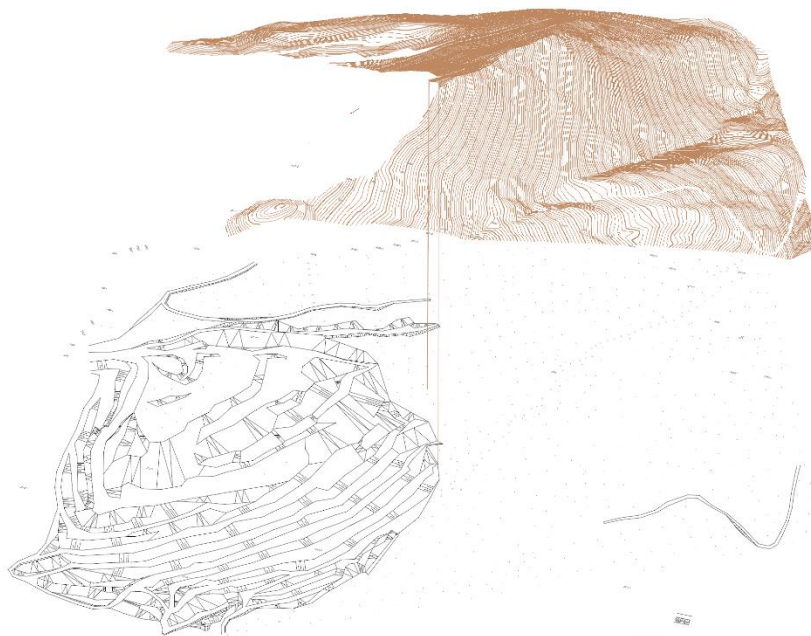
5.1. Prikaz ulaznih podataka

U ovom radu korišteni su sljedeći podaci za izradu trodimenzionalnih modela terena:

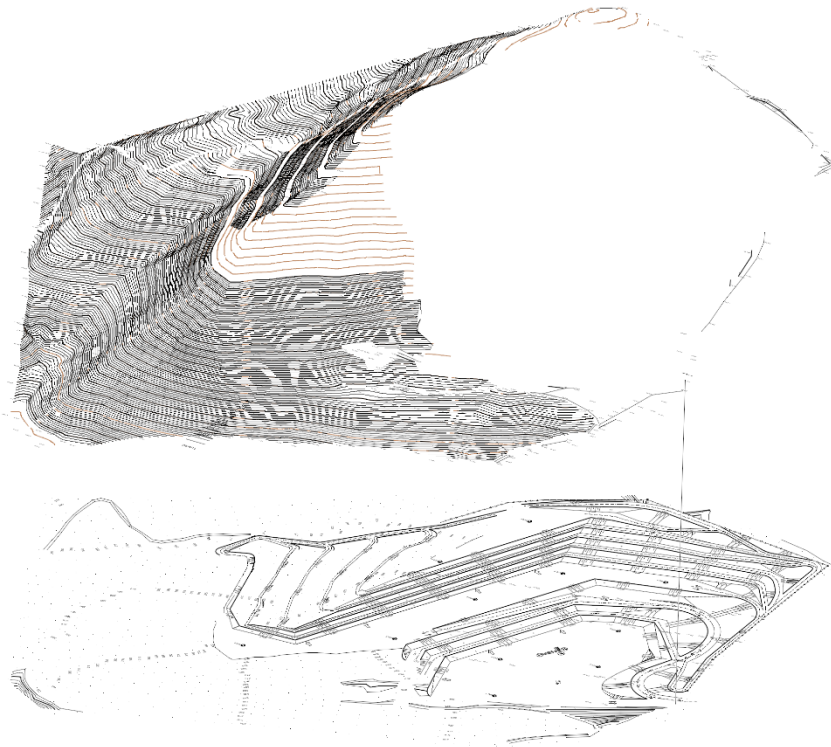
- Geodetska situacija terena (Šoštar, 2019),
- Dopunski rudarski projekt eksploatacije tehničko - građevnog kamena na eksploatacijskom polju "Očura II" (Pranjić, 2018),
- Fotogrametrijski podaci ležišta.

Kao podloga za izradu trodimenzionalnog modela reljefa terena korištena je geodetska situacija karta, a obrađena je u softveru Bentley OpenRoads Designed CONNECT Edition. Sistematizacijom ulaznih podataka geodetske situacijske karte izdvojeni su relevantni podaci za izradu trodimenzionalnog modela terena. Korišteni su točkasti i linijski podaci otvorenog dijela ležišta, dok su u potpunosti preuzete slojnice terena izvan granica otkopanog prostora. Točkasti i linijski elementi zahtijevaju postavljanje istih u trodimenzionalan prostor s obzirom na to da su im dodijeljene samo dvodimenzionalne X i Y koordinate. Preuzete slojnice definirane su prostornim koordinatama (X, Y, Z) (Slika 4).

U Dopunskom rudarskom projektu eksploatacije tehničko - građevnog kamena na eksploatacijskom polju "Očara II" izrađena je fazna razrada eksploatacije tehničko-građevnog kamena. Kao referentna faza za komparativnu analizu uspješnosti izvođenja rudarskih radova odabrana je prva faza razvoja površinskog kopa. Prva faza obrađena je u softveru Bentley OpenRoads Designed CONNECT Edition. Sistematizacijom podatka prve faze izdvojeni su točkasti i linijski podaci korišteni pri izradi trodimenzionalnog modela razvoja rudarskih radova. Slojnice terena preuzete su u iz geodetske situacije terena dok su linijski i točkasti podaci razvoja rudarskih radova zahtijevali dodatnu obradu postavljanja u trodimenzionalan prostor (Slika 5).



Slika 4 – Sistematizirani podaci geodetske situacijske karte



Slika 5 – Sistematizirani podaci prve faze razvoja rudarskih radova

Fotogrametrijski podaci terena prikupljeni su korištenjem bespilotine letjelice tj. drona. Ukupno je prikupljeno 355 fotografija (Slika 6) te je postavljeno 30 kontrolnih točaka na terenu (Slika 7). Prikupljanje fotogrametrijskih podataka – aerofotografija izvedeno je na visini od 650 m n.v., što je oko 100 metara više u odnosu na najvišu točku promatranog dijela terena. Fotografije su snimane kamerom visoke rezolucije od 20 Mpx te su iste dimenzija 5472 x 3648 px, a kvaliteta im iznosi 24 bita. Sistematizacija fotografija te obrada kontrolnih točaka provedena je u softveru Bentley ContextCapture učitavanjem fotografija u softver te preliminarnom analizom istih, tijekom koje je ustanovljeno da šest fotografija ne sadrži potrebne podatke za obradu te su iste izuzete tijekom izrade fotogrametrijskog modela.



Slika 6 – Fotogrametrijska fotografija terena



Slika 7 – Kontrolna točka na terenu

5.2. Klasičan 3D model terena

Računalni modeli za prikaz ležišta i rudarskih radova primijenjeni u računalnim programima danas se koriste u suvremenim metodama projektiranja. Razvojem računalstva ostvareni su preduvjeti za suvremene metode projektiranja koje su utemeljene na kompleksnim algoritmima ugrađenim u računalne programe (Galić, I. & Farkaš, B., 2011).

Općenito, 3D računalni modeli terena predstavljaju vizualnu formu kojom se prikazuju ležišta i rudarski radovi pomoću računalnog programa. Različiti podaci o terenu, ležištu i slično

pohranjeni su u bazu podataka te se koriste kao ulazni podaci za računalne modele, dok sami modeli nakon računalne obrade predstavljaju izlazne vizualne forme (Galić, I. & Farkaš, B., 2011) . Ulazni podaci smještaju se u prostorni koordinatni sustav pomoću bilo kojeg programa koji koristi 3D koordinatni sustav za integriranje unesenih podataka. Najčešći programi koji se danas koriste su Bentley MicroStation, Surpac, Geopak, Civil3D, Rhinoceros i sl. Navedeni programi omogućuju 3D modeliranje pomoću ulaznih podataka te vizualizaciju različitih tipova ravninskih i prostornih podataka.

Za generiranje površine terena korišten je triangulacijski računalni model koji površinu ili ravninski poligon dijeli u mrežu trokutova formiranih na temelju referentnih točaka iz baze podataka. Triangulacijom se prikazuju površine terena, krovine ili podine sloja, rudnog tijela, površinskog kopa i sl. (Galić, I. & Farkaš, B., 2011) . Osim triangulacijskog, postoje još mrežni, konturni, žični i blok računalni modeli.

Dobiveni 3D modeli mogu se dorađivati u bilo kojem trenutku dodavanjem novih podataka u već postojeću bazu podataka koji su naknadno prikupljeni (rudarskim radovima, bušenjem, miniranjem i sl.). Ova mogućnost je jedna od prednosti, jer 3D modele čini prilagodljivim i neovisnim o ulaznim podacima s početka radova.

5.2.1. Opis postupka izrade klasičnog 3D modela terena

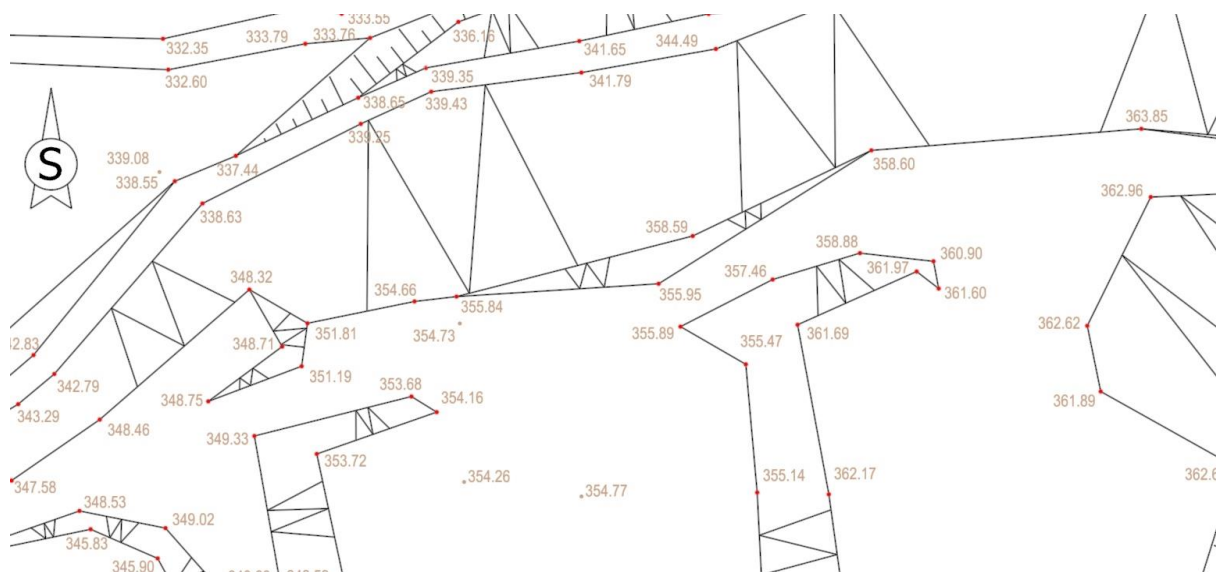
Klasični 3D model terena izrađen je u softveru Bentley OpenRoads Designer CONNECT Edition koji pruža niz mogućnosti kao što su prikaz, modeliranje i dokumentiranje podataka smještenih u 2D ili 3D koordinatnom sustavu. Za izradu klasičnog modela terena korištena je geodetska situacijska karta površinskog kopa "Očura II".

Situacijska karta sadrži sve relevantne ulazne podatke za izradu 3D modela terena kao što su slojnice (glavne i pomoćne), oznake mineralne sirovine i jalovine, referentne točke, spojnice referentnih točaka, kote itd. Svaka referentna točka terena prethodno je pozicionirana dvodimenzionalno, pridružena joj je tekstualno „Z“ koordinata u postavkama (*Properties*) elemenata (Slika 8) te je na taj način smještena u trodimenzionalni prostor. Slojnice terena pozicionirane su u trodimenzionalan prostor na identičan način kao i točkasti elementi. Slika 9 prikazuje referentne točke u dvodimenzionalnom prostoru bez vrijednosti osi „Z“, a Slika 10 prikazuje referentne točke pozicionirane i povezane u trodimenzionalnom prostoru.

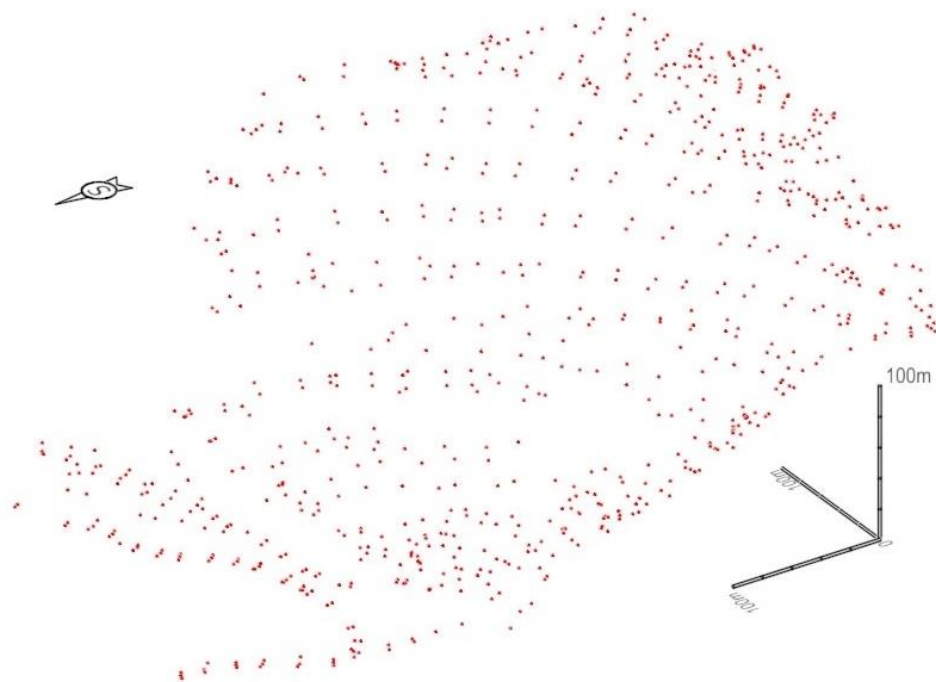
General	
Element Descrip	Circle
Level	3D Točke
Color	■ 3
Line Style	0
Weight	2
Class	Primary
Fill	No Fill
Template	(None)
Transparency	0

Geometry	
Primary Axis	0.15000m
Center	461460.84000m,5117303.51000m
x	461460.84000m
y	5117303.51000m
z	349.57000m
Rotation-X	00°00'00.0"
Rotation-Y	00°00'00.0"
Rotation-Z	00°00'00.0"
Perimeter	0.94248m
Area	0.07069 Sq.m

Slika 8 – Postavke (*Properties*) elementa - pojedine točke

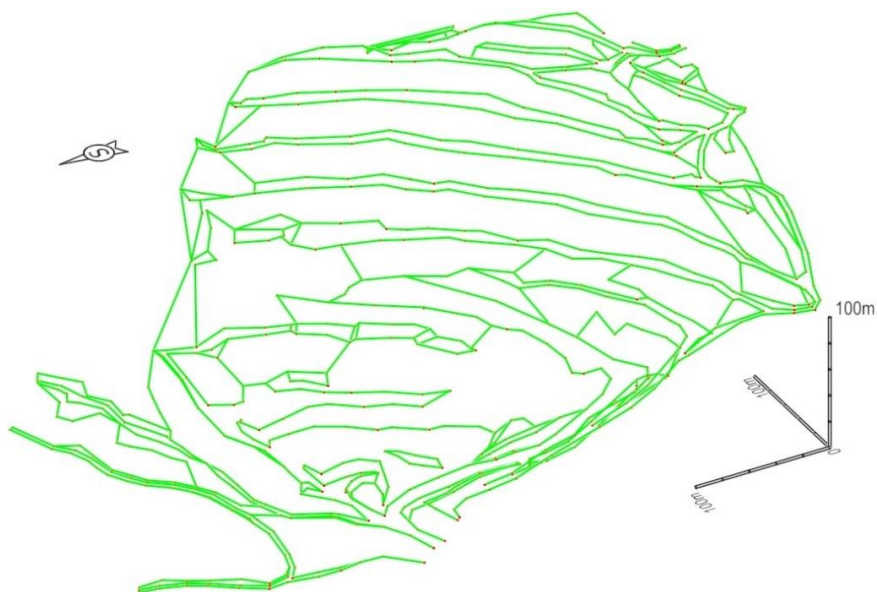


Slika 9 – Prikaz referentnih točaka (crveno) sa pridruženim koordinatama



Slika 10 – Referentne točke pozicionirane u trodimenzionalan prostoru

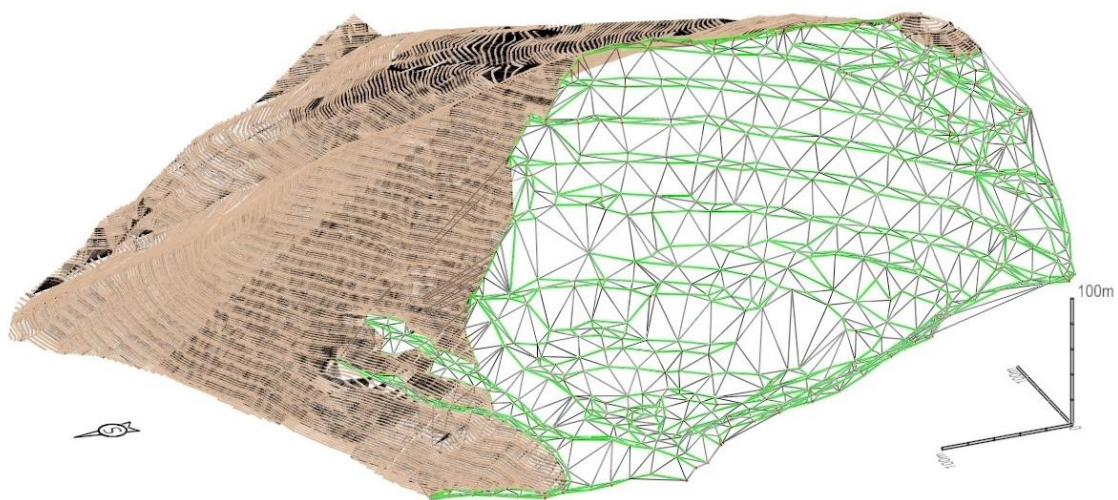
Pozicioniranjem točaka u trodimenzionalni prostor, pomoću naredbe „Place line“, spojene su odgovarajuće referentne točke po uzoru na dobiveni 2D prikaz te je dobiven žični 3D model ležišta (Slika 11). Obrada situacijske karte te izrada 3D modela površine terena trajala je oko 12 sati.



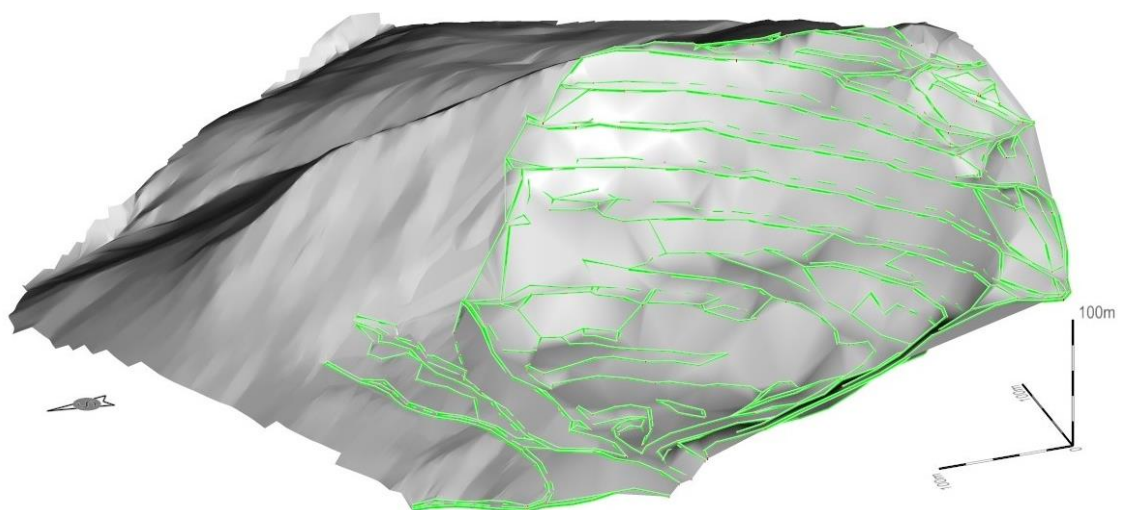
Slika 11 – Žični 3D model ležišta

5.2.2. Prikaz klasičnog 3D modela terena

Završni trodimenzionalan model terena sastoji se od referentnih točaka postavljenih u trodimenzionalni prostor i spojnica tih točaka te tako dobiven model predstavlja realan prikaz trenutnog stanja rudarskih radova. Po završetku izrade žičnog trodimenzionalnog modela rudarskih radova, izrađen je triangulacijski model reljefa terena (Slika 12) postupkom triangulacije u softveru OpenRoads Designer CONNECT Edition. Nakon triangulacije, model je renderiran u svrhu konačnog prikaza 3D modela reljefa terena (Slika 13).



Slika 12 – Prikaz trianguliranog modela reljefa terena



Slika 13 – Prikaz renderiranog trianguliranog modela reljefa terena

Izrađeni model reljefa terena poslužio je u definiranju geometrije rudarskih radova te kao podloga za projektiranje faza razvoja rudarskih radova eksploatacije tehničko – građevnog kamena.

5.3. Fotogrametrijski model terena

Fotogrametrija je znanost, tehnologija i umijeće prikupljanja pouzdanih informacija o fizičkim objektima i okolišu kroz proces snimanja, mjerenja te interpretacije fotografskih snimki i uzoraka (Wolf, 1984). Prema vrsti snimaka dijeli se na analognu (mjerenja korištenjem optičkih i mehaničkih uređaja) i digitalnu fotogrametriju (mjerenja se vrše pomoću računala). Nadalje, fotogrametrija se dijeli prema položaju kamere u prostoru na aerofotogrametriju, terestričku fotogrametriju, orbitalnu fotogrametriju i extra-terestričku fotogrametriju (Biočić, 2014).

Za dokumentiranje terena korištena je digitalna, tj. aerofotogrametrija. Takve snimke nastaju snimanjem iz zraka s posebnim digitalnim kamerama namijenjenim za tu svrhu. Nastale fotografije se pohranjuju u memoriju računala te se obrađuju korištenjem računalnih softvera kako bi se izradio željeni model reljefa terena, objekata i sl. Digitalne kamere omogućuju iznimno veliku fleksibilnost u pohrani i obradi fotografija, dok računala omogućuju brzo i jednostavno izvođenje složenih postupaka obrade i analize prikupljenih podataka (Medić, 2015). Projekt snimanja iz zraka sastoji se od tri faze: planiranja leta i određivanja kontrolnih točaka (pomoću GPS-a), snimanja iz zraka te obrade snimaka u svrhu izrade digitalnog ortofoto plana i digitalnog modela reljefa za potrebe katastra, projektiranja, izrade karata itd. (Biočić, 2014).

5.3.1. Opis postupaka izrade fotogrametrijskog modela terena

Terensko prikupljanje podataka

Za izradu fotogrametrijskog modela potrebno je imati adekvatno snimljene aerofotografije dokumentirane bespilotnom letjelicom, tj. dronom. Postupak terenskog prikupljanja podataka (fotografija) dronom sastoji se od sljedećih koraka:

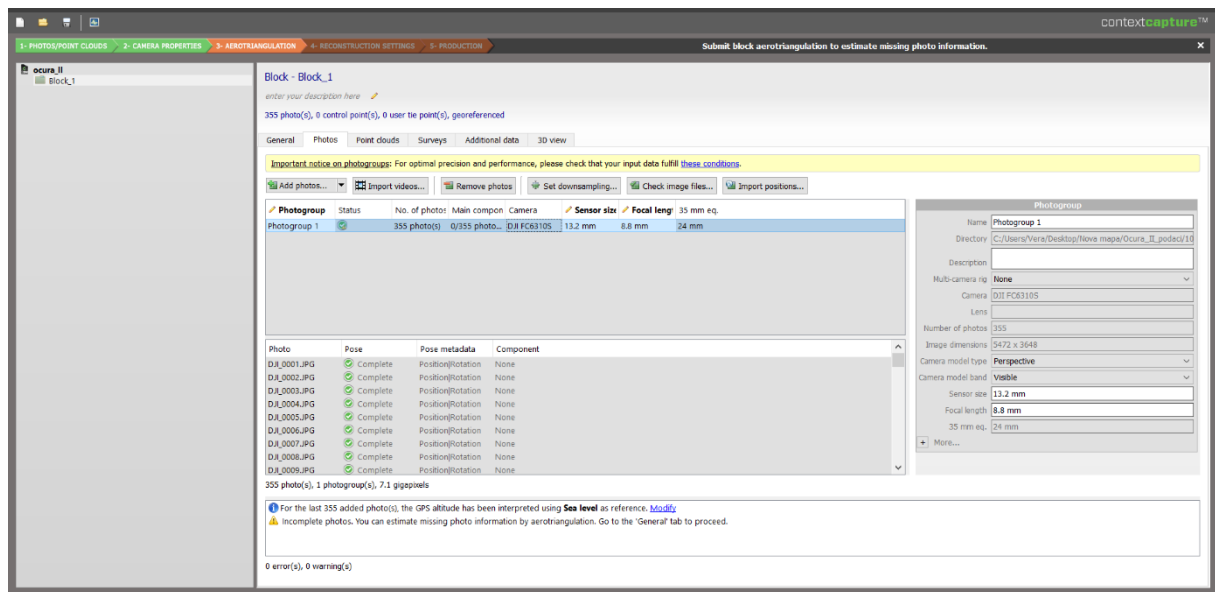
- planiranje misije leta i određivanje dobro vidljivih lokacija terena pomoću dostupnih ortofoto snimaka terena,

- postavljanje kontrolnih točaka na terenu (eng. *Ground Control Point* – GCP) određivanjem dobro vidljivih dijelova terena te iscrtavanjem oznaka na terenu (Slika 7),
- određivanje preciznih prostornih koordinata kontrolnih točaka korištenjem visokopreciznog GPS uređaja Stonex S7G s centimetarskom točnošću ($\pm 3\text{cm}$ u horizontalnom i vertikalnom smjeru),
- prikupljanje odnosno snimanje fotografija terena pomoću drona Phantom 4 Pro V2.0 (1“ CMOS senzor s 20 Mpx kamerom) na točno određenim pozicijama u prostoru korištenjem softvera Pix4Dcapture,
- prebacivanje snimljenih fotografija iz drona u računalo za daljnju obradu.

Obrada prikupljenih podataka terena

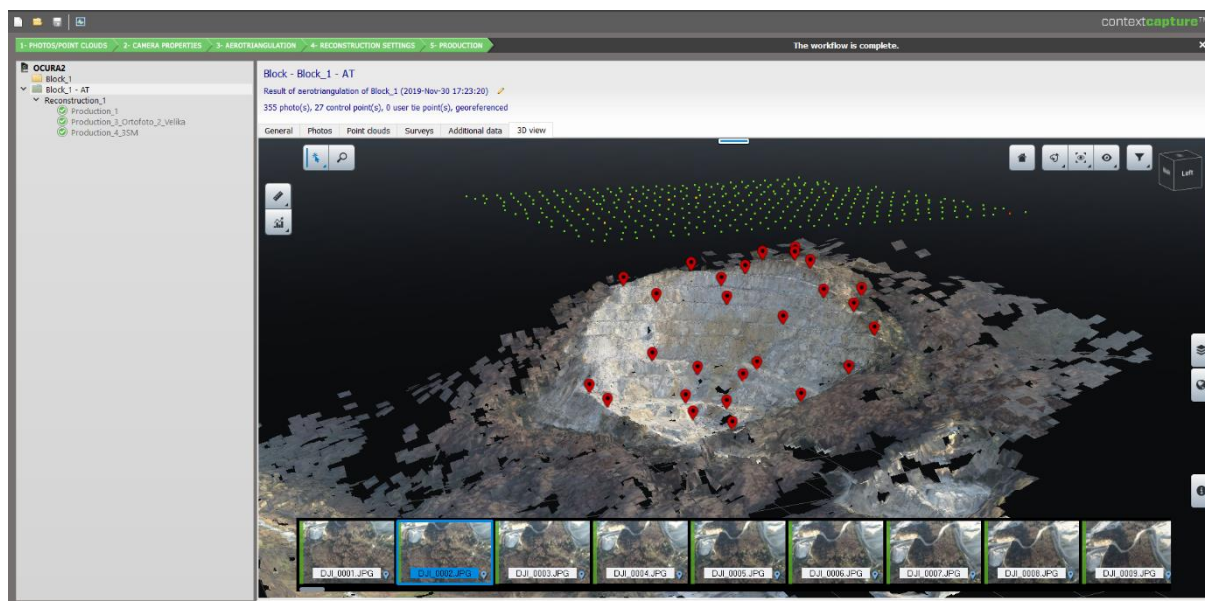
Fotogrametrijski model terena izrađen je u računalnom programu Bentley ContextCapture CONNECT Edition koji omogućava trodimenzionalnu vizualizaciju te rekonstrukciju modela na temelju ulaznih podataka.

Područje površinskog kopa „Očura II“ dokumentirano je s ukupno 355 fotografija koje su snimane na visini od oko 615 m n.v. odnosno između 100 do 250 metara iznad površine terena, što ovisi o poziciji snimanja fotografije. Aerofotografije dobivene prethodnim dokumentiranjem terena učitane su u računalni program Bentley ContextCapture, koji prilikom učitavanja fotografija očitava meta podatke o svakoj snimljenoj fotografiji (prostorne koordinate, vrstu kamere kojom je snimljena, žarišnu duljinu kamere i ostalo) kako bi se fotografije mogle uskladiti i pravilno pozicionirati u prostoru. Na ovaj način izrađena je mapa fotografija pod imenom „Block_1“, koja predstavlja prvi korak izrade fotogrametrijskog modela reljefa terena (Slika 14). Dodatno je potrebno pod sekcijom „Survey“ učitati prostorne koordinate kontrolnih točaka te odrediti fotografije na kojima se one nalaze kako bi se tijekom kreiranja fotogrametrijskog modela isti mogao korigirati u prostoru. Od ukupno 27 postavljenih kontrolnih točaka svaka je pronađena na prosječno 30 snimljenih fotografija.



Slika 14 – Učitavanje fotografija u mapu „Block_1“

Izradom mape fotografija, ostvareni su preduvjeti za aerotriangulaciju, odnosno izradu 3D modela pomoću prostorno pozicioniranih fotografija. Aerotriangulacija terena podrazumijeva pozicioniranje snimljenih fotografija u prostor i formiranje stereoparova te rekonstrukciju trodimenzionalnog reljefa terena temeljem dostupnih podataka iz snimljenih fotografija – stereoparova korištenjem kompleksnih algoritama softvera Bentley ContextCapture. Slika 15 prikazuje rezultat aerotriangulacije površinskog kopa „Očura II“ s dijelom okolnog terena. Crvenom bojom su označene kontrolne točke na površini terena, a zelenom bojom označena je prostorna pozicija snimljenih fotografija.



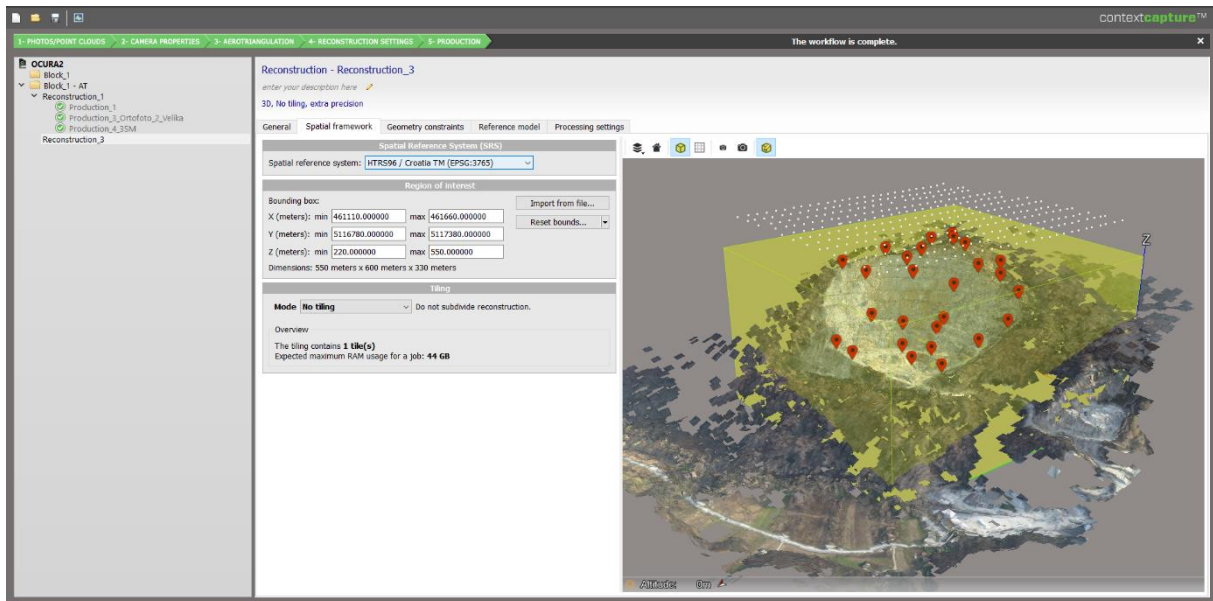
Slika 15 – Rezultat aerotriangulacije

5.3.2. Prikaz fotogrametrijskog modela terena

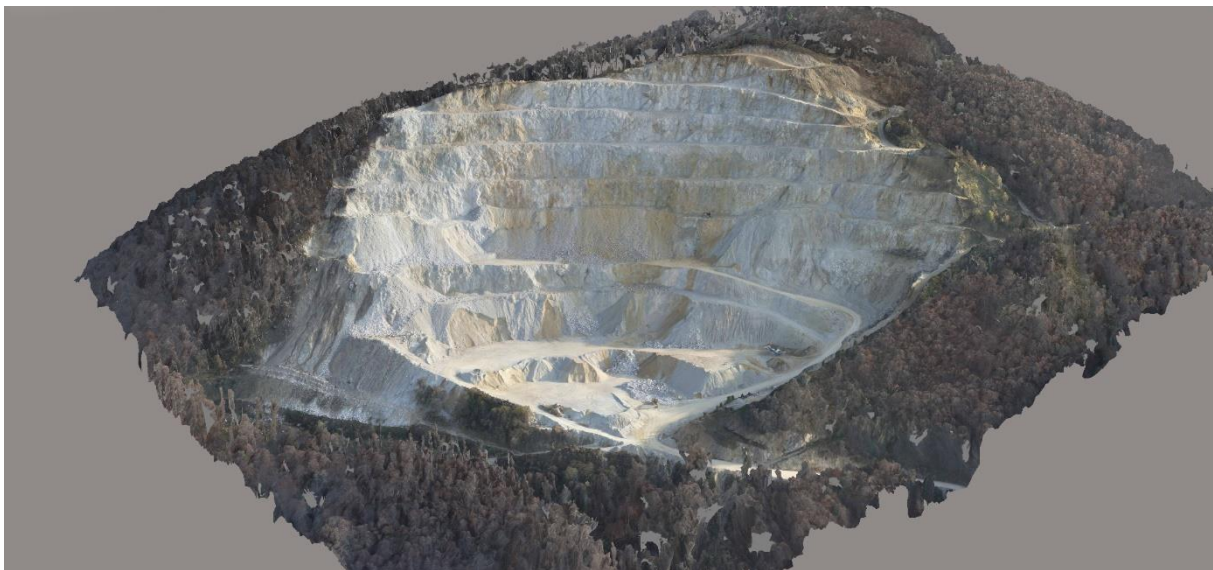
Trodimenzionalni model terena dobiven postupkom aerotriangulacije nije cjelovit tj. pojedini dijelovi modela nisu aerotriangulirani. Sljedeći korak je postupak rekonstrukcije modela reljefa terena tijekom kojega će se rekonstruirati teren tj. prazni dijelovi nastali aerotriangulacijom generirat će se iz dostupnih podataka snimljenih fotografija te aerotriangulacije. Za postupak rekonstrukcije uz ContextCapture Master potrebno je pokrenuti softver ContextCapture Engine.

Za rekonstrukciju terena odabran je samo dio terena oko površinskog kopa bez okolnog područja (Slika 16). Određeno je da će se rekonstruirati model površine 550 x 600 m te visinski od 220 do 550 m n.v., odnosno ukupna visina prostora rekonstrukcije iznosi 330 m. Dodatno je potrebno odabrati službeni koordinatni sustav Republike Hrvatske HTRS96/TM kako bi nakon rekonstrukcije fotogrametrijski model bio pozicioniran ispravno u trodimenzionalan prostor. Fotogrametrijski model terena prikazuje trenutno stanje terena odnosno rudarskih radova te predstavlja realnu podlogu za daljnje projektiranje rudarskih radova.

Slika 17 prikazuje završni prikaz fotogrametrijskog model terena „Očura II“, a za izradu istoga utrošeno je oko 7 sati rada.



Slika 16 – Prostor označen za rekonstrukciju (žuto)



Slika 17 – Završni 3D fotogrametrijski model reljefa terena „Očura II“

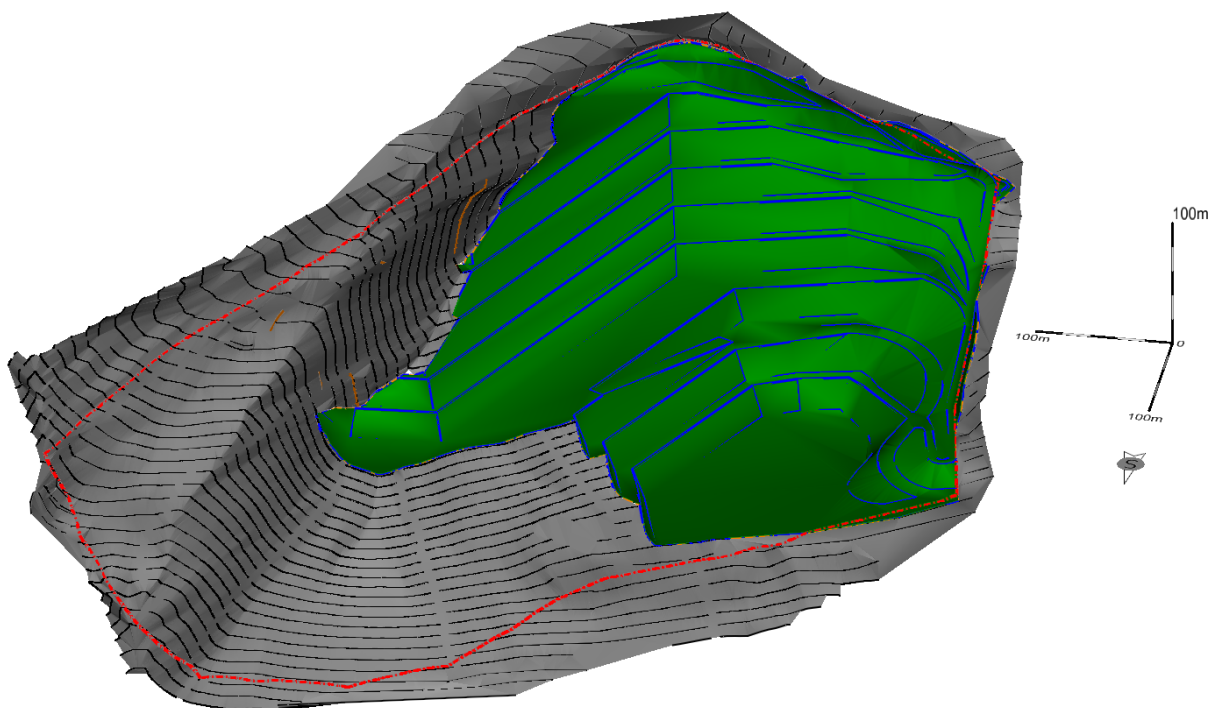
5.4. Analiza razvoja rudarskih radova

Analiza razvoja rudarskih radova temelji se na komparativnoj analizi prve faze razvoja rudarskih radova te usporedbe iste s dva trodimenzionalna reljefa modela terena. Tijekom obje komparativne analize važno je utvrditi da su svi 3D modeli georeferencirani u istom geodetskom koordinatnom sustavu tj. HTRS96/TM kako bi dobivene kalkulacije volumena i

površina bile realne vrijednosti. Isto tako potrebno je uzeti u obzir činjenicu da je fotogrametrijski model izrađen u studenom 2019. godine, dok je situacijska karta snimljena u srpnju 2018. godine. Kako bi se oba modela mogla smatrati relevantnima količina mineralne sirovine koja je otkopana u vremenu od srpnja 2018. do studenog 2019. godine oduzeta je od geodetskog modela terena.

Prva faza razvoja rudarskih radova izrađena je temeljem preuzetih podataka iz Dopunskog rudarskog projekta (Pranjić, 2018) te je ista obrađena tj. precrtana i postavljena na ispravnu poziciju u 3D prostoru (Slika 18). Postupak izrade trodimenzionalnog završnog stanja prve faze razvoja rudarskih radova identičan je već ranije opisnom postupku izrade trodimenzionalnog modela situacije. Nakon modeliranja prve faze razvoja rudarskih radova dodatno je doraden okolni teren kako bi se dobila jasna predodžba uklapanja rudarskih radova u okolni teren. Prva faza razvoja rudarskih radova prikazana je zelenom bojom, a okolni teren sivom bojom (Slika 18). U daljnjoj analizi koristit će se samo trodimenzionalni model prve faze razvoja rudarskih radova bez okolnog terena kako bi se analiza ograničila isključivo na prvu fazu razvoja rudarskih radova.

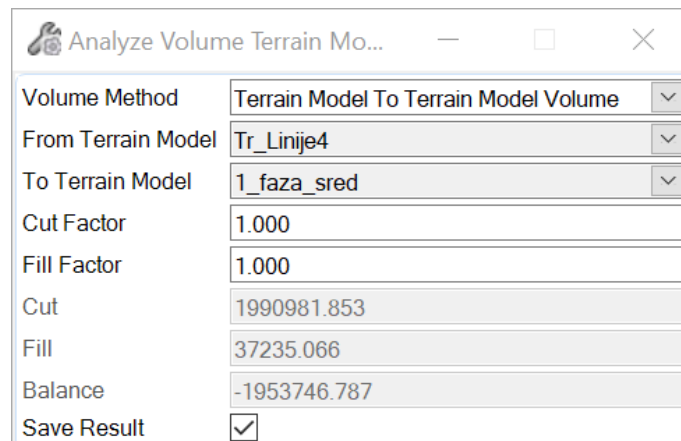
Površina koju zahvaćaju rudarski radovi prve faze razvoja iznosi 13,139 ha, a isti se sastoje od 9 visinskih etaža od 20 metara te s pripadajućim etažnim ravninama širine 5, 8 i više metara. Ukupna visinska razlika između osnovnog platoa na +340 m n.v. do najvišeg dijela površinskog kopa na +520 m n.v. iznosi 220 metara. Presipna etaža projektirana je na +400 m n.v. za prihvatanje miniranog materijala te ista dijeli površinski kop na dva visinska dijela.



Slika 18 – Trodimenzionalni prikaz prve faze razvoja rudarskih radova (zelena boja) i okolnog terena (siva boja)

5.4.1. Analiza razvoja rudarskih radova korištenjem klasičnog modela terena

Komparativna analiza razvoja rudarskih radova usporedbom klasičnog geodetskog modela reljefa terena i projektiranog stanja napravljena je kako bi se dobila ukupna količina mineralne sirovine koju je moguće eksploatirati. Za potrebe izračuna volumena mineralne sirovine korištena je napredna opcija proračuna volumena kompleksnim algoritmima izračuna volumena između dvije triangulirane površine (Slika 19). Izmjerena je površina između 3D modela rudarskih radova i površine reljefa terena trenutnog stanja odnosno situacije.



Slika 19 – Prikaz alata za izračun volumena

Tablica 1 prikazuje količinu materijala koju je moguće eksploatirati između prve faze razvoja rudarskih radova i situacije dobivene od geodetskih točaka.

Tablica 1 – Proračun volumena mineralne sirovine za klasični modela terena

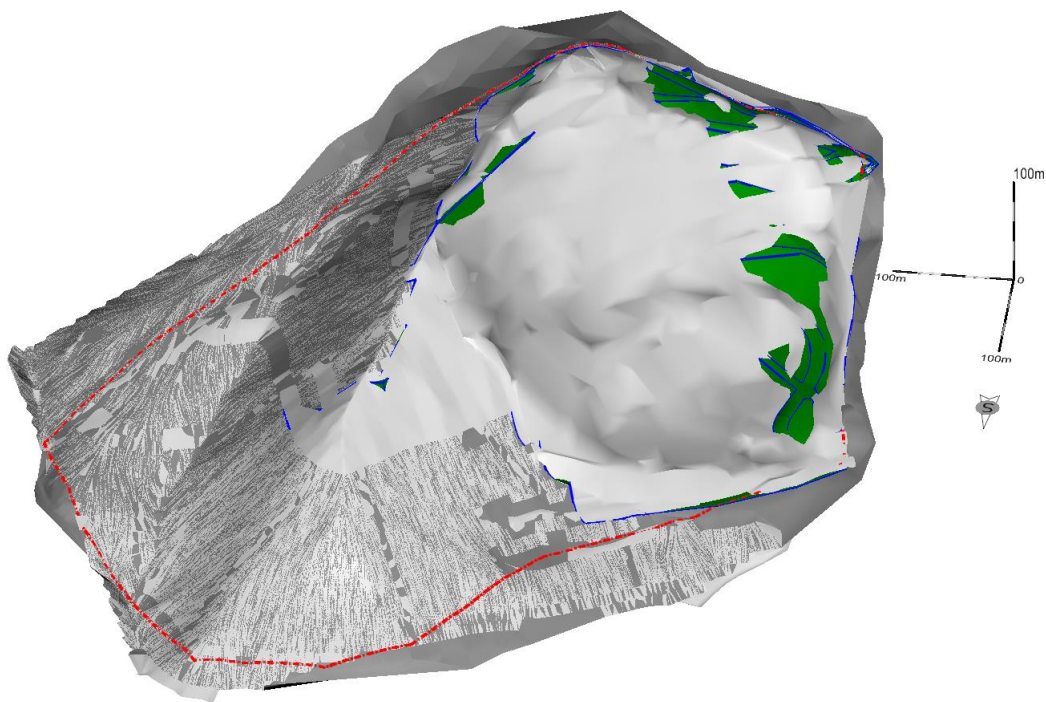
Vrsta izračuna	Izračunati volumen	Mjerna jedinica
Eksploatacija („ <i>Cut</i> “)	1 995 462	m ³
Nasipavanje („ <i>Fill</i> “)	37 274	m ³
Neto („ <i>Balance</i> “)	1 958 188	m ³

Volumen koji se može eksploatirati („*Cut*“) iznosi ukupno 1 995 462 m³ te isti predstavlja iznos volumena mineralne sirovine koji se može eksploatirati iz ležišta u prvoj fazi eksploatacije. Volumen za nasipavanje („*Fill*“) iznosi 37 274 m³ te predstavlja volumen između prve faze eksploatacije mineralne sirovine i reljefa modela terena odnosno situacije koji je potrebno nasipati kako bi se trenutna situacija mogla uskladiti s projektiranom prvom fazom eksploatacije. Razlog tome je najvjerojatnije u neusklađenosti izvedenih rudarskih radova s projektiranom prvom fazom razvoja rudarskih radova. Neto volumen („*Balance*“) predstavlja stvarnu količinu stijenske mase koju je moguće otkopati nakon što se dio terena nasipa eksploatiranim materijalom kako bi se dobila završna forma prve faze eksploatacije te iznosi 1 958 188 m³.

Kako je ranije navedeno potrebno je ukupni volumen stijenske mase koji se može eksploatirati od geodetske situacije do prve faze razvoja rudarskih radova umanjiti za otkopani volumen

stijenske mase, kako bi se dobile realne količine volumena stijenske mase koje je moguće otkopati s obzirom na vremenski odmak snimanja dva modela terena. Ukupni volumen umanjuje se za 352 148 m³ stijenske mase koja je otkopana u periodu od srpnja 2018. do studenog 2019. godine (podatak je dobiven od koncesionara) te se tako dolazi do izjednačavanja vrijednosti preostale količine mineralne sirovine između modela. Sukladno iznesenom moguće je otkopati 1 606 040 m³ tehničko-građevnog kamena.

Slika 20 prikazuje preklapanje trodimenzionalnog modela geodetske situacije terena i prve faze razvoja rudarskih radova. Svijetli i tamniji sivi trokutići preklapaju se u potpunosti na svim dijelovima koji se ne eksploatiraju u prvoj fazi te imamo naglu izmjenju istih. Dio koji se eksploatira je prikazan svijetlom sivom bojom dok je dio prve faze eksploatacije prikazan zelenom bojom što ujedno predstavlja i dio koji je potrebno nasipati.



Slika 20 - Prikaz preklapanja geodetske situacije i prve faze eksploatacije

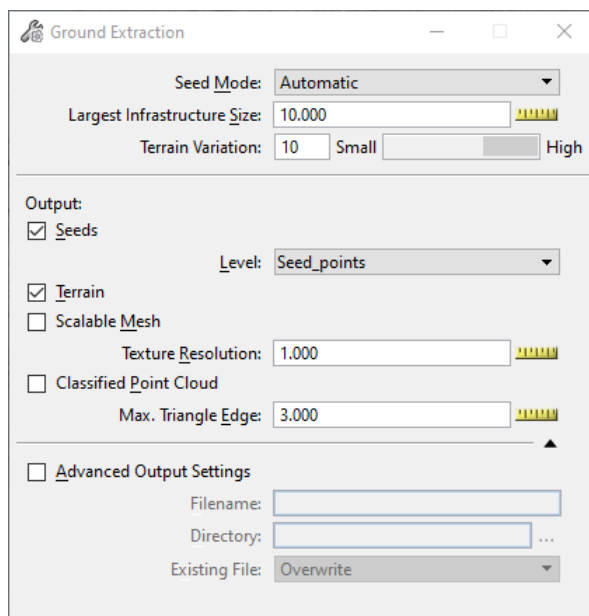
5.4.2. Analiza razvoja rudarskih radova korištenjem fotogrametrijskog modela terena

Kako bi se mogla provesti komparativna analiza razvoja rudarskih radova korištenjem fotogrametrijskog modela potrebno je prvo isti učitati kao podlogu u radni prostor softvera OpenRoads Designer te iz istoga izdvojiti podatke koji predstavljaju površinu terena. Prilikom prikupljanja podataka za fotogrametrijski model snimane su fotografije površine terena te je na istima snimljena i šuma koja se nalazi na dijelu površinskog kopa (Slika 21).



Slika 21 – Vegetacija oko površinskog kopa (zračni snimak – lijevo, fotogrametrijski modeli - desno)

Izoliranjem površine terena uklonit će se vegetacija koja bi tijekom analize volumena predstavljala volumen stijenske mase te tako uzrokovala pogrešne rezultate. Površina terena izdvaja se korištenjem napredne naredbe „*Ground Extraction*“ koja omogućava uz automatsko izdvajanje površine terena i mogućnost modificiranja automatski izdvojenih točaka terena kako bi se dijelovi terena koje softver nije dobro izdvojio dodatno prilagodili stvarnom stanju na terenu.



Slika 22 – Alat za izdvajanje površine terena iz fotogrametrijskog modela

Nakon automatskog izdvajanja površine terena potrebno je dijelove koje je softver prepoznao kao površinu terena, a ustvari predstavlja vegetaciju, dodatno manualno obraditi te na taj način izdvojiti samo površinu terena (Slika 23). Udaljenost između kontrolnih točaka (Slika 23 - crvene točke) površine terena iznosi 10 metra, a maksimalna udaljenosti između točaka triangulacije odnosno dužina stranice trokuta triangulacije iznosi 3 metra, što za posljedicu ima visoku točnost i preklapanje fotogrametrijskog modela i trianguliranog modela površine terena.

Ukupno vrijeme izoliranja površine terena iz fotogrametrijskog modela trajalo je 1 sat s time da je dvije trećine tog vremena računalo naprednim algoritmima obrađivalo/izoliralo površinu terena.



Slika 23 – Izdvojena površina terena bez vegetacije s prikazom kontrolnih točaka i triangulirane površine terena

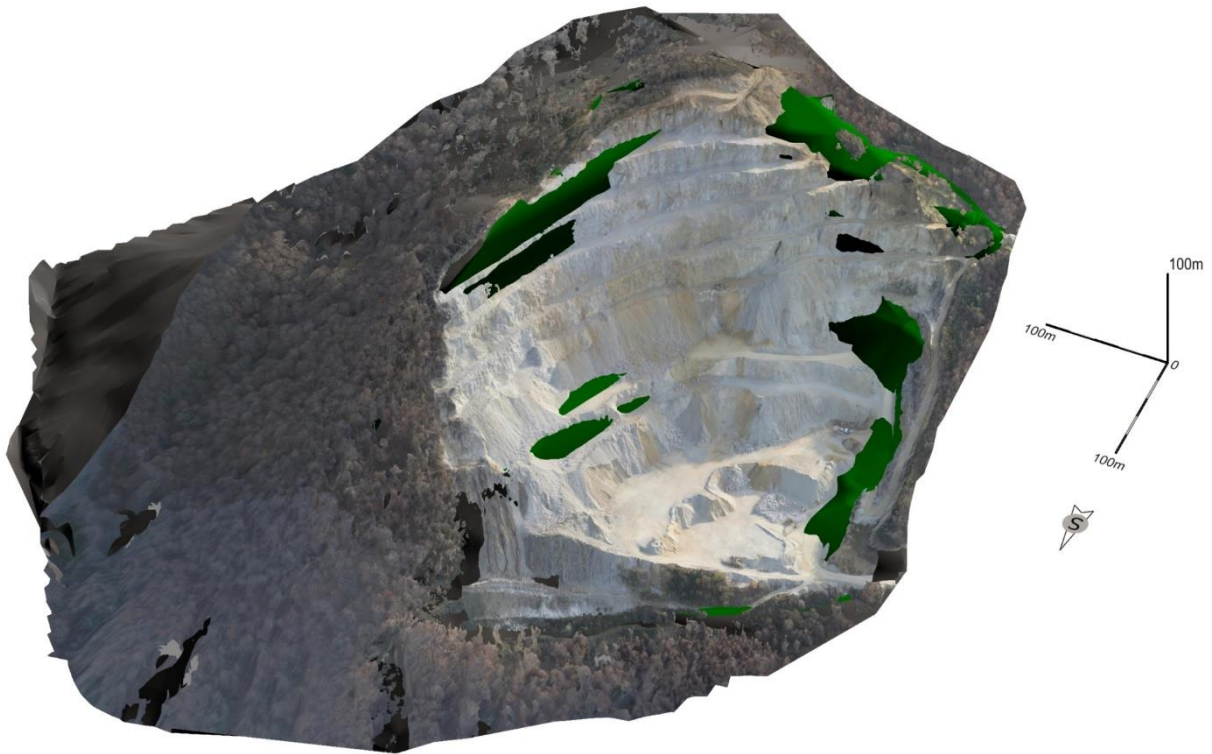
Sukladno već ranije opisanom postupku komparativne analize površina terena moguće je izračunati preostalu količinu mineralne sirovine koju je moguće eksploatirati. Napravljena je komparativna analiza trianguliranog modela terena dobivenog iz fotogrametrijskog modela terena i prve faze razvoja rudarskih radova. Tablica 2 prikazuje rezultate proračuna volumena stijenske mase.

Tablica 2 – Proračun volumena mineralne sirovine za fotogrametrijski model terena

Vrsta izračuna	Izračunati volumen	Mjerna jedinica
Eksploatacija („Cut“)	1 617 332	m ³
Nasipavanje („Fill“)	58 552	m ³
Neto („Balance“)	1 558 780	m ³

Rezultati komparativne analize ukazuju da je moguće ukupno otkopati 1 617 332 m³ mineralne sirovine no kako uvijek dolazi do određenog odstupanja prilikom izvođenja rudarskih radova eksploatacije tako je potrebno dio terena nasipati u ukupnom iznosu od 58 552 m³. Razlika oba volumena (neto) u iznosu od 1 558 780 m³ predstavlja stvarnu količinu stijenske mase koju je moguće eksploatirati uz poštivanje završne forma prve faze razvoja rudarskih radova.

Slika 25 prikazuje preklapanje trodimenzionalnog fotogrametrijskog modela i prve faze eksploatacije. Zeleni dijelovi predstavljaju dijelove prve faze razvoja rudarskih radova koje je potrebno nasipati, dok se svi ostali dijelovi prve faze ne vide s obzirom na to da su ispod terena.



Slika 24 – Prikaz preklapanja fotogrametrijske situacije i prve faze eksploatacije

6. DISKUSIJA

Cilj istraživanja ovog rada je ustanoviti koja je metoda (fotogrametrijska ili klasična geodetska) prikupljanja podataka o površini terena brža i detaljnija za primjenu u rudarstvu (praćenje razvoja rudarskih radova). Kako bi se obje metode mogle uspoređivati odabrana je ista lokacija za izradu modela terena. Za obradu podataka korišteni su dostupni softveri Bentley OpenRoads Designer CONNECT Edition te Bentley ContextCapture te je time postignuta kompatibilnost podataka.

Prvi korak bio je sistematiziranje svih ulaznih podataka za izradu geodetskog i fotogrametrijskog modela terena. Tijekom sistematizacije izdvojeni su relevantni podaci korišteni pri izradi trodimenzionalnog geodetskog modela terena poput geodetskih točaka, linija etaža, slojnica i sl. Za fotogrametrijski model terena sistematizirani su fotografske snimke terena, slike kontrolnih točaka te njihove koordinate.

Za usporedbu dvaju modela terena izrađen je referentni trodimenzionalan model završnog stanja rudarskih radova. Ulazni podaci za izradu prve faze razvoja rudarskih radova preuzeti su iz Dopunskog rudarskog projekta, a postupak izrade modela sastojao se od podizanja dvodimenzionalnih podataka u trodimenzionalan prostor te triangulacije istih, kako bi se dobila ploha terena koju je kasnije moguće koristiti prilikom komparativne analize volumena.

Tijekom izrade klasičnog geodetskog modela terena pojavio se problem s podacima situacijske karte. Svi dijelovi nisu bili pozicionirani u trodimenzionalnom prostoru te je bilo potrebno sve podatke trodimenzionalno pozicionirati. Obrada podataka provedena je u softveru OpenRoads Designer.

Izrada fotogrametrijskog modela terena provedena je u softveru ContextCapture te su svi podaci o površini terena tj. fotografije prvo učitane u softver. S obzirom na to da korišteni uređaj za prikupljanje podataka (dron) nije imao dovoljnu točnost prostornog pozicioniranja na terenu je izmjereno 30 kontrolnih točaka pomoću GPS-a, koje su korištene kao referentne točke pri izradi fotogrametrijskog modela. Izrađeni fotogrametrijski model bilo je potrebno konvertirati u triangulirani model terena koji softver OpenRoads Designer može koristiti kao površinu za izračun volumena. Tijekom izrade javila se pogreška prilikom izoliranja kontrolnih točaka terena te je bilo potrebno manualno dodati točke na dijelovima koje algoritam softvera nije dobro obradio.

Usporedba vremena potrebnog za izradu modela napravljena je mjerenjem vremena kojeg je bilo potrebno uložiti u izradu pojedinog modela. Vrijeme se dijeli na dva osnovna vremena i to na prikupljanje podataka i na obradu podataka. Tablica 3 daje sumarni prikaz utrošenog vremena pri izradi pojedinog modela.

Tablica 3 – Vrijeme prikupljanja i izrade trodimenzionalnih modela

Model	Radna operacija	Utrošeno vrijeme, h	Ukupno utrošeno vrijeme, h
Geodetski model	Prikupljanje podataka	15*	27
	Obrada podataka	12	
Fotogrametrijski model	Prikupljanje podataka	5	13
	Obrada podataka	7 + 1	

*podaci dobiveni od koncesionara

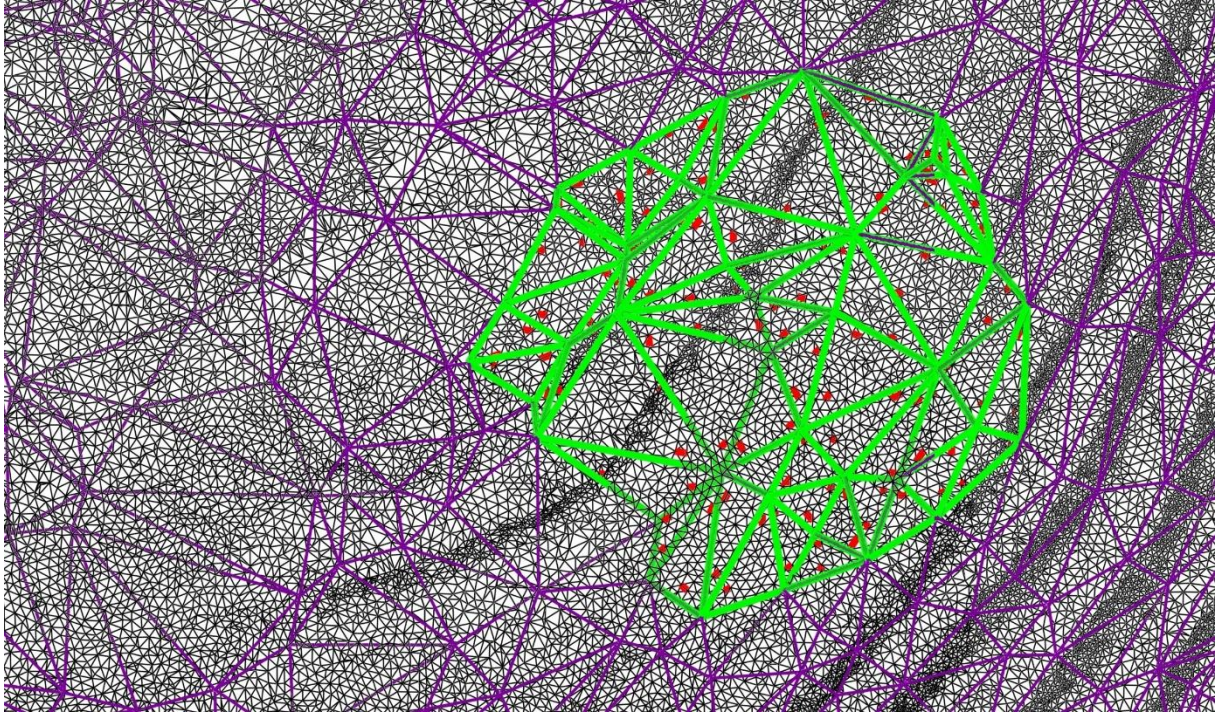
Vrijeme za izradu referentnog modela prve faze razvoja rudarskih radova ne uzima se u obzir.

Ukupno utrošeno vrijeme za izradu geodetskog modela iznosi 27 sati te uključuje terensko prikupljanje podataka i obradu istih na računalu. Ukupno vrijeme izrade fotogrametrijskog modela trajalo je 13 sati te uključuje terensko prikupljanje podataka i obradu podataka na računalu.

Analiza ukupnog volumena kojeg je moguće eksploatirati napravljena je na oba trodimenzionalna modela. Utvrđeno je da je moguće ukupno otkopati 1 606 040 m³ tehničko-građevnog kamena ukoliko se razmatra klasični geodetski model i prva faza razvoja rudarskih radova, a da je moguće otkopati 1 558 780 m³ stijenske mase ukoliko se razmatra fotogrametrijski model u odnosu na prvu fazu razvoja rudarskih radova. Razlika ukupnih količina tehničko-građevnog kamena koje je moguće otkopati iznosi 47 260 m³ odnosno približno 3% ukupnih rezervi. Razlika u rezervama proizlazi iz detaljnijeg prikupljanja podataka o površini terena te predstavlja količine mineralne sirovine na koje koncesionar ne može računati, a iste su prikazane prilikom proračuna rezervi.

Analiza trianguliranih trodimenzionalnih modela pokazuje da je količina podataka koji su prikupljeni klasičnim geodetskim snimanjem površine terena značajno manji u odnosu na

količinu podataka o površini terena prikupljenih upotrebom fotogrametrijske metode (Slika 25 - crni trokutovi prikazuju fotogrametrijski model, a ljubičasti trokutovi geodetski model).



Slika 25 – Detalj triangulirane površine terena oba modela s izdvojenim dijelom analize dužina stranica

Kako bi se ustanovila udaljenost između točaka trianguliranih modela terena izdvojen je dio terena na dijelu koji se eksploatira. Iscrtane su linije trokuta geodetskog modela (Slika 25 - zelene linije) te je isti postupak ponovljen za fotogrametrijski model iscrtavanjem linija trokuta (Slika 25 – crvene linije) s time da je iscrtavanje napravljeno na nasumično izdvojenim stranicama trokuta kako bi se dobio približno isti broj podataka uzorkovanja. Tablica 4 prikazuje rezultate analize dužina stranica geodetskog i fotogrametrijskog modela terena.

Tablica 4 – Rezultati analize dužine stranica trianguliranih modela

Model	Geodetski	Fotogrametrijski	Odnos
Količina uzoraka dužine stranice trokuta	103	121	-
Maksimalna dužina stranice	40,840 m	3,267 m	12,5
Minimalna dužina stranice	3,446 m	0,182 m	18,9
Srednja (prosječna) vrijednost dužine stranice trokuta	22,31 m	1,98 m	11,3

Ukupno su izdvojene 103 dužine stranica iz geodetskog modela, dok je za fotogrametrijski model izdvojena 121 dužina stranica trokuta. Prosječna dužina stranice trokuta geodetskog modela iznosi 22,31 metar, što je više od 11 puta veće u odnosu na fotogrametrijski model terena kod kojega srednja dužina stranice trokuta iznosi 1,98 metara. Maksimalna dužina stranice trokuta geodetskog modela iznosi 40,84 metara, što je gotovo 13 puta veće od dužine stranice trokuta fotogrametrijskog modela. Minimalna dužina stranice trokuta geodetskog modela u iznosu od 3,446 m za je približno 19 puta veća od minimalne dužine stranice fotogrametrijskog modela koja iznosi 0,182 metara.

7. ZAKLJUČAK

Istraživanje je provedeno na istom ležištu te je ustanovljeno da je fotogrametrijski model površine terena detaljniji na svim promatranim dijelovima terena, što za posljedicu ima veću točnost prilikom izračuna rezervi preostale mineralne sirovine u ležištu. Također, prilikom praćenja rudarskih radova često je potrebno točno utvrditi što je jalovina, a što predstavlja mineralnu sirovinu te je tako prednost fotogrametrijskih modela i više nego očita, jer se jasno mogu vidjeti svi dijelovi površinskog kopa.

Vrijeme utrošeno na izradu fotogrametrijskog modela približno je 50% manje u odnosu na vrijeme potrebno na izradu klasičnog geodetskog modela terena. Velika ušteda vremena sama je po sebi prednost, ali i prikupljanje podataka za fotogrametrijski model omogućava znatno manje vrijeme zadržavanja osoba na površinskom kopu odnosno u dijelu izvođenja rudarskih radova čime se smanjuje mogućnost ozljede.

Geodetski model omogućava jednostavniju nadopunu promjena, no one moraju biti jasno vidljive na terenu. S druge strane, promjene forme površine terena mogu se jednostavno snimiti fotogrametrijskom metodom prikupljanja podataka s obzirom na to da se u relativno kratkom vremenu prikupljaju velike količine podataka.

Komparativnom analizom preostalog volumena stijenske mase između fotogrametrijskog i geodetskog modela ustanovljena je razlika volumena preostalih količina mineralne sirovine u iznosu od 47 260 m³, zbog korištenja detaljnijeg modela površine terena.

Fotogrametrijski modeli mogu se izrađivati svakodnevno ukoliko to zahtijevaju potrebe eksploatacije te se time postiže detaljan, precizan, brz i ekonomičan način praćenja rudarskih radova.

8. ZAHVALA:

Zahvaljujemo se našem mentoru dr. sc. Branimiru Farkašu na pruženoj prilici, te kako je svojom pomoći, podrškom, strpljenjem i kritikama uvelike pridonio da ovaj rad bude što kvalitetniji.

9. POPIS LITERATURE

1. Benton, D.; Iverson, S.; Martin, L.; Johnson, J. & Raffaldi, M. (2016): Volumetric measurement of rock movement using photogrammetry, National Institute for Occupational Safety and Health, 123-130. URL:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2095268615002013>
2. Biočić, M. (2014): Prikupljanje podataka novim i pristupačnim metodama izmjere korištenjem letjelica, diplomski rad
3. Državna Geodetska Uprava (2020): Ortofoto snimak eksploatacijskog polja „Očura II“ i okolnog terena, <https://geoportal.dgu.hr/>, pristup:13.3.2020.
4. Fallara, F.; Legault, M. & Rabeau, O. (2006): 3-D Integrated Geological Modeling in the Abitibi Subprovince (Québec, Canada): Techniques and Applications, *Exploration and Mining Geology* (2006) 15 (1-2): 27–43. URL:
<https://pubs.geoscienceworld.org/cim/emg/article-abstract/15/1-2/27/137994>
5. Fraser, R.; Olthof, I.; Lantz, T. & Schmitt, C. (2016): UAV photogrammetry for mapping vegetation in the low-Arctic, Canada Centre for Mapping and Earth Observation, Natural Resources Canada, Ottawa; School of Environmental Studies, University of Victoria. URL: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/full/10.1139/AS-2016-0008#.Xrh05MCxVPZ>
6. Galić, I. & Farkaš, B. (2011): Primijenjeni računalni programi. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za rudarstvo i geotehniku, interna skripta
7. Kršák, B.; Blišťan, P.; Pauliková, A.; Puškárová, P.; Kovanič, L.; Palková, J.; Zelizňaková, V. (2019): Use of low-cost UAV photogrammetry to analyze the accuracy of a digital elevation model in a case study, Faculty BERG, TU Košice, Institute of Geodesy, Cartography and GIS; The Slovak University of Technology, Faculty of Materials Science and Technology in Trnava; University of Economics in Bratislava, Institute for Economics and Management. 276-287. URL:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224116301749>
8. Levytsky, V.; Sobolevskiy, R. & Korobiichuk, V. (2018): The optimization of technological mining parameters in quarry for dimension stone blocks quality improvement based on photogrammetric techniques of measurement, Faculty of Mining and Ecology, Zhytomyr State Technological Univ., 83-89. URL:
https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=286317

9. Li, L.; Zhang, X.; Chen, G. & Lytton, R. (2015): Measuring unsaturated soil deformations during triaxial testing using a photogrammetry-based method, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alaska; Department of Mining and Geological Engineering, University of Alaska; Zachry Department of Civil Engineering, Texas A&M Univ. URL: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/cgj-2015-0038#.Xrh02MCxVPZ>
10. Liu, G.; Bai, R.; Cao, L. & Zhao, H. (2010): Establishment and Application of Surface Mine 3D Geological Model base on Multi DEM, School of Resources and Environment Engineering, Liaoning Technical Univ. URL: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-MKSJ201009030.htm
11. Lozano, J. & Alonso, G. (2016): Improving archaeological prospection using localized UAVs assisted photogrammetry: An example from the Roman Gold District of the Eria River Valley (NW Spain), Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad de Salamanca; Geology and Geography Department, Tomsk State Univ. 509-520. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352409X16300074>
12. Luo, Z.; Xiao-ming, L.; Jia-hong, S.; Ya-bin, W. & Wang-ping, L. (2007): Deposit 3D modeling and application, J Cent. South Univ. Technol. 14, 225–229. URL: <https://doi.org/10.1007/s11771-007-0045-9>
13. Medić, T. (2015): Izmjera nepritupačnih područja pomoću bespilotnih letjelica, diplomski rad
14. Pranjić, J. (2018): Dopunski rudarski projekt eksploatacije tehničko - građevnog kamena na eksploatacijskom polju "Očara II" - prva dopuna, SPP d.o.o.
15. Slaker, B.; Westman, E.; Ellenberger, J. & Murphy, M. (2017): Determination of volumetric changes at an underground stone mine: a photogrammetry case study, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg; Office of Mine Safety and Health Research, NIOSH, Pittsburgh, 149-154. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2095268615002049>
16. Suh, J. & Choi, Y. (2017): Mapping hazardous mining-induced sinkhole subsidence using unmanned aerial vehicle (drone) photogrammetry, Environmental Earth Sciences, 144. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-017-6458-3>
17. Šimek, K.; Medak, D. & Medved, I. (2018): Analiza visinske točnosti službenoga vektorskoga digitalnoga modela reljefa Republike Hrvatske dobivenog fotogrametrijskom restitucijom, Geodetski list, 217-230. URL: <https://www.bib.irb.hr/970028>

18. Šoštar, D. (2019): Geodetski situacijski nacrt za eksploatacijsko polje "Očura II", Geoizmjera d.o.o., 13.08.2019.
19. Wolf, P. (1984.): Elements of Photogrammetry McGraw-Hill Education, Sjedinjene Američke Države
20. Zhang, D.; Zhang, Y.; Cheng, T.; Meng, Y.; Fang, K.; Garg, An. & Garg, Ak. (2017): Measurement of displacement for open pit to underground mining transition using digital photogrammetry, School of Civil Engineering, Hubei Polytechnic Univ.; Department of Civil and Earth Resources Engineering, Kyoto Univ.; Department of Civil and Environmental Engineering, Shantou Univ.; Department of Mechatronics Engineering, Shantou Univ. 187-199. URL:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026322411730372X>
21. Zhao, H.; Bai, R. & Liu, G. (2011): 3D Modeling of Open Pit Based on AutoCAD and Application, Liaoning Technical Univ., 258-265. URL:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878522011000932>
22. Zhou, S. & Xu, J. (2009): 3D Terrain Modeling Based on ArcGIS and Creator , Navigation Institute, Jimei Uni. URL: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTTotal-JMXZ200903012.htm

10. SAŽETAK

Praćenje i planiranje razvoja rudarskih radova korištenjem modernih modela terena

Andrej Kovačević, Toni Pavličić

Inženjeri rudarstva često se susreću s brojnom problematikom tijekom izrade projektnih rješenja kao i praćenja izvođenja rudarskih radova na terenu te se zbog toga često javljaju velika odstupanja na terenu u odnosu na projektirano stanje. Uspoređena su dva trodimenzionalna modela terena, klasični geodetski i fotogrametrijski model reljefa terena. Cilj ovoga rada je usporednom analizom utvrditi koja je metoda prikupljanja podataka o površini terena brža i detaljnija, a time i svestranija u rudarstvu. Kako bismo mogli napraviti komparativnu analizu dviju metoda prikupljanja i izrade reljefa terena, odabrana je i obrađena ista lokacija tj. područje površinskog kopa „Očura II“. Prva metoda izrade modela terena je klasična geodetska metoda izrade snimka terena uz korištenje softvera Bentley OpenRoads Designer CONNECT Edition, a druga metoda uz upotrebu bespilotne letjelice i obradom prikupljenih fotogrametrijskih podataka terena uz korištenjem softvera Bentley ContextCapture CONNECT Edition. Analizom ovih dviju metoda ustanovljeno je da je fotogrametrijski model površine terena detaljniji i brži te nam omogućuje u relativnom kratkom vremenu prikupljanje velike količine podataka te ima svestraniju upotrebu u rudarstvu poglavito na operativnoj razini te prilikom izrade kratkoročnih planova.

Ključne riječi: rudarstvo, fotogrametrija, 3D model, Očura II

11. ABSTRACT

Monitoring and planning of the mining works development using modern terrain models

Andrej Kovačević, Toni Pavličić

Mining engineers often encounter several problems during the development of design solutions as well as monitoring the execution of mining works in the field, and therefore there are often large deviations in the field in relation to the designed condition. Two three-dimensional terrain models were compared, the classical geodetic and photogrammetric terrain relief model. The aim of this paper is to determine by a comparative analysis which method of collecting data on the surface of the terrain is faster and more detailed, and thus more versatile in mining. To be able to make a comparative analysis of two methods of collecting and making terrain relief, the same location was selected and processed, the area of the surface mine "Očura II". The first method of terrain modelling is the classical geodetic method of making a terrain survey using Bentley OpenRoads Designer CONNECT Edition software, and the second method is using a drone and processing of the collected photogrammetric terrain data using Bentley ContextCapture CONNECT Edition software. The analysis of these two methods showed that the photogrammetric model of the terrain surface is more detailed and faster and allows us to collect large amounts of data in a relatively short time and has a more versatile use in mining, especially at the operational level and short-term plans.

Key Words: Mining Engineering, Photogrammetry, 3D Model, Očura II