

Primljeno / Received: 01.10.2024.
Ispravljeno / Corrected 03.11.2024.
Prihvaćeno / Accepted: 04.12.2024.

UDK 528.715:528.42:622.271.2
Pregledni naučni rad / Review article
DOI: <https://doi.org/10.58817/2233-1786.2024.58.55.108>

KOMPARACIJA METODA PRORAČUNA ZAPREMINE MINERALNE SIROVINE PRI POVRŠINSKOJ EKSPLOATACIJI

COMPARISON OF METHODS FOR CALCULATING VOLUMES OF MINERAL RAW MATERIALS DURING SURFACE EXPLOITATION

Amela Kešetović, Amar Isaković, Jasmin Čatić

SAŽETAK

Cilj ovog rada je upoređivanje dvije geodetske metode - GNSS i aerofotogrametrija u kontekstu proračuna zapremine mineralnih sirovina na površinskim kopovima. Analizirane su prednosti i slabosti obje metode, kao i njihov uticaj na preciznost, efikasnost i troškove. Rezultati su pokazali da GNSS metoda pruža visoku preciznost na jednostavnijim i ravnim terenima, ali pokazuje slabosti na složenijim zbog aproksimacije stvarne površine terena koristeći prelomne tačke snimljene GNSS metodom. Aerofotogrametrijska metoda omogućava brzo i efikasno prikupljanje podataka sa terena, te pruža detaljan 3D model, a posebno je korisna na teško dostupnim ili opasnim područjima. Pored toga, znatno utiče na uštedu vremena prilikom prikupljanja podataka ali i na uštedu geodetskih stručnjaka. Također, u radu je izvršeno poređenje metoda proračuna zapremine, jer je tehnološkim razvojem omogućeno mnogim softverima da 3D model predmetnog prostora promatraju kao cjelinu, a ne kao segmente: profile, prizme i sl.

Ključne riječi: GNSS, UAV, proračun zapremine, aerofotogrametrija, površinski kopovi

ABSTRACT

The aim of this paper is to compare two geodetic methods - GNSS and aerial photogrammetry in the context of calculating the volumes of mineral resources in open-pit mines. The advantages and weaknesses of both methods are analyzed, as well as their impact on accuracy, efficiency, and costs. The results show that the GNSS method provides high accuracy on simpler and flatter terrains but demonstrates weaknesses on more complex terrains due to the approximation of the actual surface using breakpoints obtained by the GNSS method. The aerial photogrammetry method enables fast and efficient data collection and provides a detailed 3D model, making it particularly useful in hard-to-access or hazardous areas. Additionally, it significantly saves time during data collection and reduces the demand for geodetic professionals. The paper also compares volume calculation methods, emphasizing how technological advancements allow many software solutions to treat the 3D model of the subject area as a whole rather than as segments such as profiles, prisms, etc.

Keywords: GNSS, UAV, volume calculation photogrammetry, quarry

1 UVOD

Geodezija pronalazi svoju primjenu u mnogim granama industrije, pa tako i u rudarstvu, gdje ima veoma važnu ulogu i u površinskim i u podzemnim kopovima. Geodetski radovi su neophodni u svim fazama eksploatacije kamenoloma, izradu geoloških karata u saradnji s geolozima, iskolčenje istražnih i eksploatacijskih polja, rješavanje imovinsko-pravnih pitanja, izradu rudarskih, putnih i građevinskih projekata, održavanje objekata, te različite zadatke tokom sanacije kamenoloma u ekološki prihvatljivom stanju (Zrinjski i dr., 2018).

Geodetski radovi u rudarstvu omogućavaju precizno snimanje i kartiranje terena, praćenje promjena, a sve zbog pravilnog vođenja geodetsko-rudarskih radova, te preciznog obračuna iskopanih ili nasutih masa u granicama eksploatacionog polja površinskog kopa.

Da bi dobili zapreminu nekog tijela, potrebno je to tijelo definisati u prostoru. Kako bi tijelo definisali u prostoru, potrebno je prikupiti odgovarajuće podatke. Postoji više metoda prikupljanja podataka, a u ovom radu su korištene dvije metode, GNSS i aerofotogrametrijska metoda korištenjem bespilotne letjelice.

Od davnina se koristi klasični način prikupljanje podataka, odnosno terestrička mjerenja korištenjem geodetskog instrumentarija. Razvojem satelitskih metoda (GNSS) omogućeno je brzo prikupljanje veće količine podataka, međutim, daljim razvojem tehnologije počinje primjena bespilotnih letjelica, gdje je za veoma kratak vremenski period moguće dobiti ogromne količine podataka za predmetni obuhvat. Dakle, zadnjih godina sve više je u primjeni klasična aerofotogrametrijska metoda potpomognuta tehnologijom bespilotnih letjelica (UAV aerofotogrametrijska metoda), a radi brojnih prednosti koje donosi (Mulahusić i dr., 2020).

Za dobivanje zapremine bilo kojeg tijela u prostoru potrebne su neke stvarne mjere. Mjere se mogu dobiti iznad opisanim metodama, te predstavljaju osnovu za dalje računanje količina odnosno zapremina. Zapremina nekog tijela definisanog u prostoru može se dobiti na više načina. Najčešće korištena metoda jeste metoda poprečnih profila, međutim razvojem tehnologije, zapremina nekog tijela se može dobiti i korištenjem 3D modela, gdje se model definiše mrežom nepravilnih trouglova. Osim iznad navedenog poređenja aerofotogrametrijske i GNSS metode, u ovom radu je dat pregled i poređenje rezultata zapremina dobijenih na dva načina računanja, dakle metodom poprečnih profila i pomoću mreže nepravilnih trouglova.

Korištenje bespilotne letjelice u rudarskoj industriji dalo je izuzetne rezultate. Mnoge kompanije koje se bave rudarstvom prihvataju korištenje bespilotnih letjelica zbog poboljšane produktivnosti i povećane sigurnosti operacija (Cast, 2022).

Rudarstvo je opasna grana privrede, što objašnjava spremno prihvatanje UAV tehnologije posljednjih godina, pogotovo u regijama Australije i Afrike, a prema istraživanju na više od 200 rudnika. U kombinaciji sa fotogrametrijskim softverom za mjerenje i kartiranje, bespilotne letjelice mogu isporučiti napredne, sveobuhvatne podatke u stvarnom vremenu. Osim znatnog poboljšanja sigurnosti rudarskih operacija, bespilotne letjelice se mogu koristiti za učinkovitije i preciznije prikupljanje podataka, a primjena bespilotnih letjelica može uštedjeti oko 90% troškova po satu (Ball, 2020).

Održavanje odgovarajućih zdravstvenih i sigurnosnih uslova tokom bilo koje vrste rudarskog procesa je od presudne važnosti, budući da su ta radna područja često vrlo osjetljiva na opasne uslove uključujući požar, poplave, odrone i slično.

Dok je nekoliko funkcionalnih rudnika integrisalo mnogo sigurniju opremu i preventivne mjere u svoj svakodnevni rad, rizici od nastanka ovih neželjenih događaja i dalje su glavna briga rudarskih radnika (Cuffari, 2017).

Iako se još uvijek raspravlja o prikladnosti primjene fotogrametrije u otvorenim rudnim kopovima u poređenju sa konvencionalnim metodama mjerenjima, mnogi primjeri i projekti govore o njenim prednostima. Prednosti su prije svega ekonomske, zatim su u smislu uštede vremena za obradu podataka, kao i sa aspekta zadovoljavajuće tačnosti koju je moguće postići. Troškovi kupovine adekvatnog instrumentarija su također cjenovno povoljniji u odnosu na klasičnu geodetsku opremu. U usporedbi sa prošlim vremenima, kada su analogni i analitički fotogrametrijski instrumenti bili veoma skupi, danas su potrebni samo brzi i moćni računari sa odgovarajućim softverom čija je cijena značajno niža posljednjih nekoliko godina (Mulahusić, i dr., 2021).

2 OPĆE KARAKTERISTIKE POVRŠINSKOG KOPA - KAMENOLOMA "GRADINA"

Površinski kop - kamenolom "Gradina" nalazi se jugoistočno od Grada Srebrenika, na udaljenosti od grada cca 9 km. Sa Srebrenikom je povezan magistralnom cestom (M1.8) Tuzla-Orašje. Vrsta materijala koja se eksploatiše na kamenolomu je građevinsko-tehnički kamen krečnjak, a godišnja proizvodnja je oko 160.000 m³ čvrste mase (Geodetski Elaborat, 2023). Dispozicija površinskog kopa - kamenoloma "Gradina" sa širom i užom lokacijom data je na satelitskoj snimci (Slika 1) (Kešetović, 2014).



Slika 1. Satelitski snimak užeg i šireg položaja PK - Kamenoloma "Gradina" (φ: 44° 39' 34", λ: 18° 32' 10", WGS84)

3 METODE I PODACI

Kod skoro svih vrsta tehničkih radova kako u fazi izrade projekta tako i u fazi realizacije projekta, često se javlja potreba za određivanjem kubature nasipa ili iskopa. S obzirom na podatke koji stoje na raspolaganju, kao i potrebnu tačnost, računanje se može obavljati na više različitih načina. Tačnost određivanja kubature, uglavnom zavisi od upotrijebljene metode, te tačnosti ulaznih podataka pomoću kojih će se odrediti oblik mase, čiju zapreminu treba sračunati, i količine mase (KontiĆ, 1984).

Često se desi da inženjeri imaju problem na terenu prilikom određivanja položaja radova, preciznog proračuna količine iskopa ili nasipa neke mineralne sirovine, zapremine deponija i slično. Postoje razne metode određivanja zapremine, a metoda koja se uglavnom najčešće koristi kako bi se dobila zapremina nekog tijela definisanog u trodimenzionalnom prostoru je metoda poprečnih profila Grid Method..., 2012).

Razvoj tehnologije i pristup raznim softverima je omogućio kreiranje digitalnog modela terena, što je uveliko olakšalo proračun zapremine, gdje se model uzima u obzir kao cjelina, a ne dijeli se na segmente kao prilikom proračuna preko poprečnih profila.

Za potrebe izračuna zapremine potrebno je imati podatke nultog i izvedenog stanja. Kada je u pitanju nulto stanje, naručilac projekta je dostavio podatke geodetskog snimanja i izrađeni model terena kao ulazne podatke. Na osnovu toga je definiran obuhvat, te su izvršene pripremne radnje za potrebe računanja zapremine pomoću dvije metode, opisane u poglavljima 3.1. i 3.2.

3.1 Metoda poprečnih profila

Metoda se temelji na postavljanju niza paralelnih presjeka duž predmetnog obuhvata, čija zapremina se želi dobiti. Metoda poprečnih profila se zapravo bazira na računanju površine pojedinih presjeka zasebno, a zatim se računa aritmetička sredina između dva susjedna presjeka da bi se dobila srednja vrijednost površine. Za računanje zapremine, srednja vrijednost površine se pomnoži s udaljenošću između dva presjeka.

$$V_i = \frac{P_i + P_{i+1}}{2} \cdot L [m^3], \quad (1)$$

gdje su:

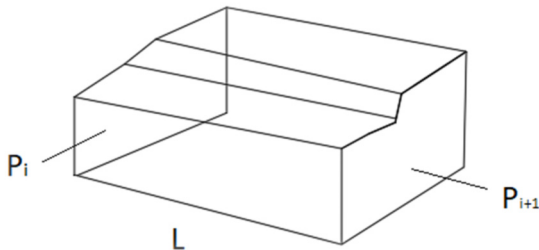
P_i i P_{i+1} – površine dva susjedna paralelna profila [m^2],

L – rastojanje između dva susjedna poprečna profila [m].

Metoda proračuna pomoću poprečnih profila uobičajena je metoda koja se koristi sa dvodimenzionalnom metodom mapiranja. Ovom metodom, poprečni profili postojećeg i predloženog nivoa zemljišta se mjere u redovnim intervalima širom lokacije.

Za svaki poprečni profil se određuje površina usjeka i nasipa, zatim se porede susjedni poprečni profili i usjeci njihovih površina profila i nasipa množe se razmakom između njih. Ovo se radi za svaki susjedni par sekcija, a zatim se ukupna zapremina sabira kako bi se dobila ukupna zapremina usjeka i nasipa za projekat.

Metoda proračuna poprečnih profila je znatno dugotrajnija od automatske metode izračunavanja zapremine, a tačnost metode ovisi o postavljenoj udaljenosti između sekcija. Bliže sekcije daju veću preciznost, ali im je potrebno više vremena za izračunavanje, dok su dalji dijelovi manje precizni, ali im je potrebno manje vremena za izračunavanje (Guide to cut..., 2024).



Slika 2. Princip metode poprečnih profila (Guide to cut..., 2024)

3.2 Određivanje zapremine iz mreže trouglova

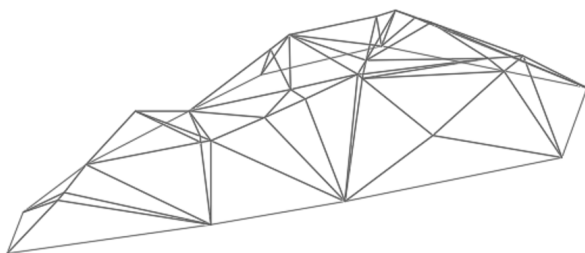
Mreža nepravilnih trouglova (engl. *Triangular Irregular Network* - TIN) koristi se kao digitalno sredstvo za predstavljanje morfologije površine. TIN mreža je oblik vektorskih digitalnih geografskih podataka koja se konstruiše triangulacijom skupa vrhova (tačkaka). Vrhovi su povezani nizom bridova u mrežu trouglova. Postoje različite metode interpolacije za oblikovanje trouglova, kao što je Delaunayeva triangulacija ili sređivanje udaljenosti.

Rezultirajuća triangulacija zadovoljava kriterij Delaunayeva trougla, koji osigurava da niti jedan vrh ne leži unutar bilo koje kružnice opisane oko trougla u mreži. Ako je Delaunayev kriterij zadovoljen posvuda na TIN-u, minimalni unutarnji ugao svih trouglova je maksimalan.

TIN modeli manje su dostupni od rasterskih površinskih modela i obično su skuplji za izradu i obradu. Trošak dobivanja dobrih izvornih podataka može biti visok, a obrada TIN-ova obično je manje učinkovita od obrade rasterskih podataka zbog složene strukture podataka (ESRI Official, 2024).

TIN-ovi se obično koriste za visokoprecizno modeliranje manjih područja, u inženjerskim radovima, gdje su korisni jer omogućavaju izračune planimetrijskog područja, površine i zapremine.

Površ terena se predstavlja prostornim trouglovima čija su tjemena tačke prikupljene prilikom geodetskog snimanja terena. Za kreiranje digitalnih modela terena pored tačkaka, mogu se koristiti strukturne linije, izohipse i objekti uz uslov da je definisan njihov položaj u prostoru. Za potrebe određivanja zapremine, u programskim paketima, neophodna su dva digitalna modela terena (nulto i izvedeno stanje). Digitalni modeli terena moraju biti poziciono jedan iznad drugog, pri čemu se jedan usvaja kao baza, a drugi kao novo stanje. Preklapanjem dva digitalna modela terena veoma jednostavno se mogu uočiti i izračunati promjene. Tačnost određivanja zapremine je uslovljena tačnošću kreiranih digitalnih modela (What is triangulated..., 2022).



Slika 3. Ilustracija modela terena kreiranog iz mreže nepravilnih trouglova (ESRI Official, 2024)

3.3 Geodetska osnova

Prije početka radova, potrebno je izvršiti rekognosciranje terena, koje je ključno za uspješno izvršenje projektnog zadatka. Potrebno je prikupiti informacije o postojećoj geodetskoj osnovi na terenu. S tim u vezi, pronađene su tri poligonske tačke (P1, P2 i P3), sa kojih su opažane dodatne tri tačke, koje su služile za orijentaciju modela terena dobijenog aerofotogrametrijskom metodom (D1, D2 i D3). Koordinate pronađenih tačaka se nalaze u Tabeli 1.

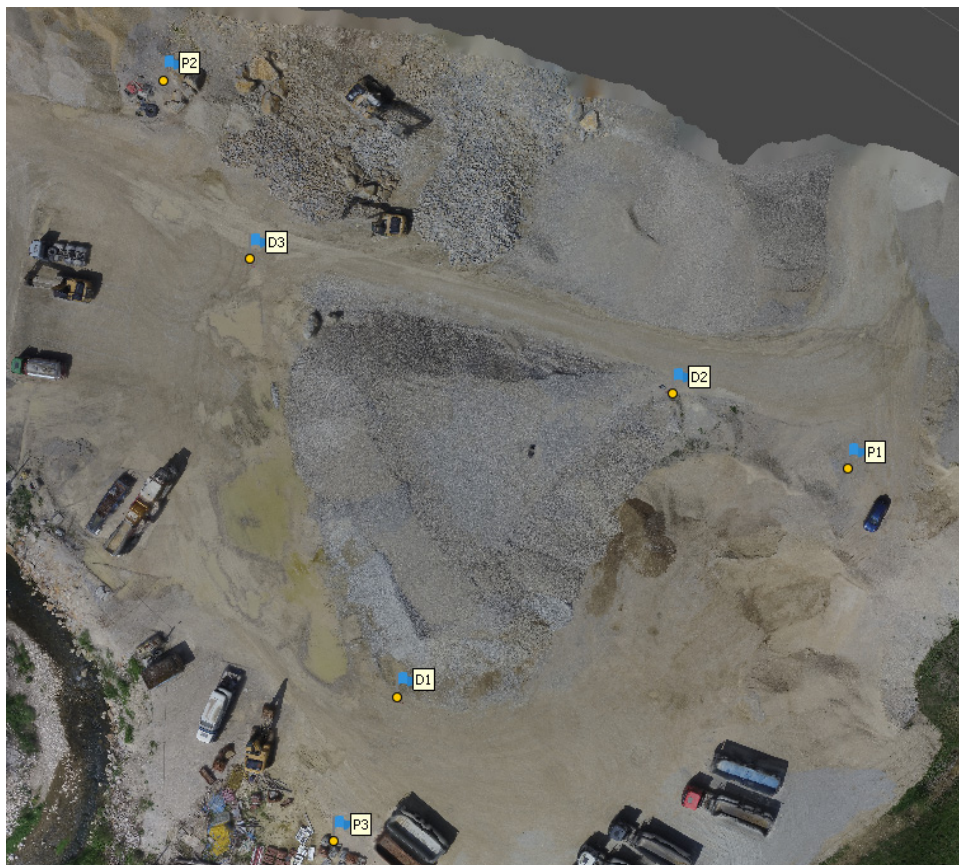
Tabela 1

Koordinate tačaka postojeće poligonske mreže na terenu

ID	y [m]	x [m]	H [m]
P1	6543021,056	4946205,144	259,601
P2	6542931,633	4946255,932	250,103
P3	6542953,927	4946155,833	249,394

Za potrebe snimanja aerofotogrametrijskom metodom, izvršena je stabilizacija tačaka, koje će kasnije služiti za orijentaciju modela. Prilikom određivanja položaja tačaka, vodilo se računa da položaj bude povoljan u odnosu na predmetni depo, međutim uzeta je u obzir činjenica da je radilište aktivno i da postoji velika šansa da se tačke unište tokom snimanja. Tačke su stabilizovane bolcnom dimenzija 5 cm. Potom je izvršeno fotosignalisanje, a tačke su na terenu obilježene u skladu sa Pravilnikom o snimanju detalja (Službene novine Federacije BiH 3/22). Nadalje, izvršena su tahimetrijska mjerenja u mreži korištenjem totalne stanice. Mjerenja su vršena sa svake poznate tačke poligone mreže na svaku dopunsku tačku mreže. Sa svake tačke stajališta (P1, P2, P3), opažane su sve tačke mreže, gdje se za svaku opažanu tačku registruju vrijednosti horizontalnih pravaca, zenitnih uglova i dužina. Mjerenje horizontalnih pravaca je izvršeno girusnom metodom, u dva girusa. Mjerenja su vršena totalnom stanicom Ruide R2 Pro (preciznost uglovnih mjerenja 2", preciznost mjerenja dužina 2 mm; 2 ppm).

Nakon opažanja svih tačaka dopunske mreže, može se pristupiti obradi podataka i izravanju mreže.



Slika 4. Geodetska osnova na terenu

3.3.1 Obrada geodetskih mjerenja i izravnanje mreže

U Trigonometrijskom obrascu broj 1 izračunate su sredine svih opažanih horizontalnih pravaca. Sredine zenitnih uglova dobijene su u Trigonometrijskom obrascu 1V. Sredine svih dužina su izračunate u trigonometrijskom obrascu broj 18D. Definitivne visinske razlike koje se dobiju na osnovu mjerenja, računaju se u trigonometrijskom obrascu 28P, gdje se visinske razlike dobiju preko zenitnog ugla i izmjerene dužine između tačaka. Nakon završenog postupka obrade i kontrole mjerenja u trigonometrijskim obrascima, pristupilo se postupku izravnanja mreže. Pored mjerenih podataka, potrebno je uzeti u obzir i podatke o mjernom instrumentariju i deklarisanim preciznostima.

Izravnanje geodetske mreže je rađeno po metodi najmanjih kvadrata, primjenjujući parametarski model (Frankić, 2010). Pripremljena je prva dizajn matrica A , matrica težina P te vektor nesuglasica L . Nakon toga se pristupilo procesu izjednačenja, ocjene tačnosti i provođenja globalnog i lokalnih statističkih testova, za eliminaciju eventualnih grešaka u mreži. Obzirom da su svi statistički testovi prošli, te da je postupak izravnanja mreže prošao bez problema, u nastavku su prikazane konačne koordinate tačaka i ocjena tačnosti.

Tabela 2

Koordinate dopunske poligone mreže nakon izravnjanja sa ocjenom tačnosti

ID	y [m]	x [m]	H [m]	s_y [m]	s_x [m]	s_H [m]
D1	6542962,264	4946174,854	249,409	0,002	0,001	0,002
D2	6542998,802	4946214,663	256,331	0,001	0,001	0,002
D3	6542942,783	4946232,536	249,348	0,002	0,001	0,003

3.4 Terensko prikupljanje i obrada podataka

Nakon što su izvršene potrebne pripreme geodetske osnove, te po okončanju fotosignalisanja pristupilo se realizaciji aerofotogrametrijskog snimanja. Prije terenskog dijela, u kancelariji je pripremljen plan leta na osnovu obuhvata područja od interesa, a korišteni parametri su prikazani u Tabeli 3. Za realizaciju leta korištena je DJI Phantom 3 Pro bespilotna letjelica.

Tabela 3

Plan leta – parametri

Parametar	Vrijednost
Visina leta	30 m
Ugao kamere	85°
Frontalni preklop	85%
Bočni preklop	85%
Brzina letenja	5 m/s
Vrijeme trajanja leta	21 min

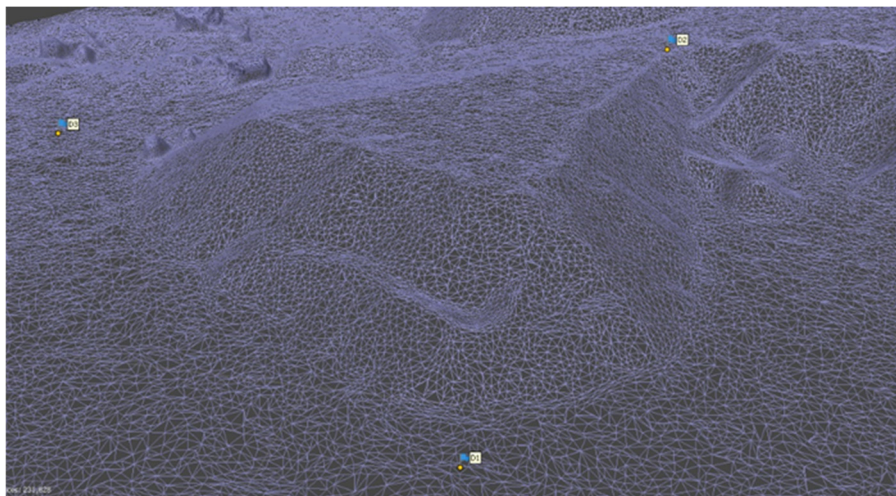
Ukupan broj napravljenih fotografija iz zraka je 120. Nakon vizualnog pregleda svih fotografija, te eventualne eliminacije fotografija lošije kvalitete, pristupljeno je obradi podataka u softveru. Korišteni softver je Agisoft Metashape Pro, a postupak obrade snimljenih podataka je pratio sljedeće korake:

- 1) Uvoz i pregled kvalitete fotografija,
- 2) Spajanje fotografija na osnovu zajedničkih tačaka na više preklapljenih fotografija,
- 3) Georeferenciranje modela na osnovu tačaka geodetske osnove,
- 4) Izrada oblaka tačaka koji daje realističan prikaz snimljenog područja (više desetina miliona tačaka),
- 5) Izrada digitalnog modela terena (Slika 5).

Izračunati digitalni model terena je potom eksportovan iz softvera, a za potrebe upoređivanja sa nultim stanjem, odnosno ranije dostupnim modelom terena predmetnog obuhvata.

S druge strane, rađeno je dodatno snimanje terena koristeći GNSS tehnologiju. Snimanje je vršeno koristeći GNSS prijemnik Trimble R8 model 3, a korištena je mrežna RTK metoda. Mrežna RTK metoda funkcioniše tako što rover dobija korekcije putem mreže permanentnih stanica FBiHPOS, korištenjem visokoprecizne usluge pozicioniranja u realnom vremenu, kojom je zagarantovana tačnost u realnom vremenu 2 cm. Jedna od bitnih pripremnih radnji kada se koristi RTK metoda jeste postupak lokalizacije u skladu sa Pravilnikom o primjeni satelitskih mjerenja u geodeziji (2012), prilikom čega je izrađen i zapisnik položajne i visinske lokalizacije. Nakon toga, pristupilo se terenskom snimanju oboda i svih prijelomnih tačaka nasutih masa na

području od interesa, u svrhu dobivanja pozicija tačaka koje će vjerno predstavljati konture nasutih masa, a ukupno je snimljeno 25 tačaka.



Slika 5. Digitalni model terena predstavljen mrežom nepravilnih trouglova

Za potrebe računanja zapremina koristeći metodu poprečnih profila i mrežu nepravilnih trouglova, te na osnovu dvije metode snimanja terena, korišten je programski paket AutoCAD Civil 3D. Kako je već rečeno u tekstu iznad, računanje zapremine je vršeno na način da se dobiveni modeli upoređuju (preklapaju) sa nultim stanjem, odnosno modelom, te se računaju razlike.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Zapremine depoa za model dobiven aerofotogrametrijskom metodom izračunate su i prikazane u Tabeli 4.

Tabela 4

Zapremine depoa za model dobiven aerofotogrametrijskom metodom

Metoda	Količina [m ³]
Mreža nepravilnih trouglova – TIN	6760,68
Metoda poprečnih profila	6758,94

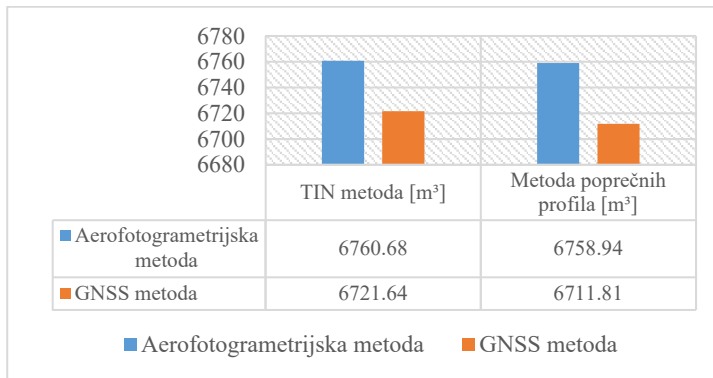
Nadalje, za potrebe računanja zapremina na osnovu mjerenja GNSS metodom, pripremljeni su podaci, te je u Tabeli 5 prikazan rezultat za dvije korištene metode računanja zapremine.

Tabela 5

Zapremine depoa za model dobiven GNSS metodom

Metoda (GNSS)	Količina [m ³]
Mreža nepravilnih trouglova – TIN	6721,64
Metoda poprečnih profila	6711,81

Kako je i očekivano, pojavile su se određene razlike u količinama u odnosu na korištenu metodu mjerenja, ali i način računanja, a sumarni prikaz se može vidjeti na Slici 6.



Slika 6. Sumarni prikaz rezultata

Što je više tačaka na raspolaganju prilikom računanja zapremine nekog tijela to će se model približavati stvarnom obliku samog tijela. Mjerenjem GNSS metodom su u ovom slučaju aproksimirane ivice tijela, jer se na terenu snimaju prelomne tačke, koje približno definišu tijelo i na osnovu kojih se kreira model. S druge strane, aerofotogrametrijska metoda daje mnogostruko više tačaka, te se samim time oblik tijela može dosta bolje modelirati. Iz naprijed navedenog u suštini i proizilaze razlike u dobivenim rezultatima, kada je u pitanju poređenje GNSS i aerofotogrametrijske metode.

Kada se računa zapremina pomoću mreže nepravilnih trouglova, softver na osnovu tačaka kreira model, te na osnovu modela nultog i izvedenog stanja izračunava zapreminu. Međutim, za računanje zapremine korištenjem poprečnih profila, tijelo je potrebno podijeliti na segmente, gdje se krivulja aproksimira na duž. Slično kao rješavanje integrala, tijelo se podijeli na segmente te se potom sumira svaki segment za konačni rezultat. Što je manji razmak između profila, zapremina preko poprečnih profila će težiti zapremini dobivenoj preko mreže nepravilnih trouglova.

Računanje zapremine metodom poprečnih profila u ovom radu rađeno je koristeći rastojanje od 5 metara između profila. Da se razmak između poprečnih profila smanjivao, tj. kada bi se rastojanje između profila smanjilo na recimo 1 m, zapremina dobivena metodom poprečnih profila bi se približavala iznosu dobivenom metodom računanja zapremine preko mreže nepravilnih trouglova.

U ovom radu zapremina dobivena preko mreže nepravilnih trouglova se razlikuje i veća je, ali to ne znači da će zapremina preko profila uvijek biti manja. Ukoliko je ploha konveksna to znači manje mase, a ukoliko je konkavna bit će veće mase.

Mjerenja dobivena aerofotogrametrijskom metodom, daju više tačaka i samim time realističnije definišu samo tijelo. Zapremina dobivena preko mreže nepravilnih trouglova, daje realističnije rezultate, zato što nema aproksimacije krivulje na duž, kao kod metode poprečnih profila.

5 ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja je da se uporede dvije geodetske metode, GNSS i UAV aerofotogrametrijska metoda, u kontekstu proračuna zapremine mineralnih sirovina na površinskim kopovima. Rezultati istraživanja pokazali su da obje metode imaju svoje prednosti i nedostatke, te da njihova efikasnost zavisi od specifičnih uslova terena, raspoloživih resursa i ciljeva istraživanja.

GNSS metoda pokazala se kao vrlo pouzdana i precizna na jednostavnijim i ravnim terenima. Ova metoda omogućava precizno određivanje koordinata pojedinačnih tačaka s visokim stepenom tačnosti, što je ključno za geodetska mjerenja na manje složenim terenima. Međutim, na složenijim terenima, GNSS metoda pokazuje određene slabosti, jer ne može u potpunosti uzeti u obzir sve promjene u obliku terena između pojedinačnih tačaka mjerenja. Također, GNSS metoda zahtijeva više vremena za prikupljanje podataka, jer uključuje mjerenje svake tačke pojedinačno, što može biti zahtjevno na velikim površinama.

S druge strane, UAV aerofotogrametrijska metoda pokazala se kao efikasnija na složenim terenima s velikim visinskim razlikama. Ova metoda omogućava brzo prikupljanje podataka cijele površine terena, a generisani 3D modeli pružaju detaljan pregled stanja terena. UAV metoda je posebno korisna na terenima koji su teško dostupni ili opasni za rad, jer omogućava prikupljanje podataka bez fizičkog prisustva na terenu. Iako UAV metoda zahtijeva složeniju opremu i softvere za obradu podataka, ona pruža vrlo precizne rezultate i značajno skraćuje vrijeme prikupljanja podataka, a naročito koristeći savremenu tehnologiju gdje su bespilotne letjelice opremljene i preciznim GNSS prijemnicima koji omogućavaju pozicioniranje u realnom vremenu tačnosti par centimetara.

Analizom troškova, utvrđeno je da je GNSS metoda povoljnija u smislu inicijalnih troškova, jer zahtijeva manji broj uređaja i manje resursa za obradu podataka. Međutim, UAV metoda, iako skuplja, nudi brže rezultate i veći stepen preciznosti na složenim terenima, što može smanjiti ukupne troškove u dugoročnom periodu. Stoga, izbor metode zavisi od specifičnih potreba projekta i prirode terena na kojem se istraživanje provodi.

Iz prethodnog se da zaključiti da aerofotogrametrijska metoda ima prednosti u odnosu na GNSS metodu. Omogućuje prikupljanje detaljnih informacija o predmetnom obuhvatu u visokoj rezoluciji, te svim drugim detaljima, koji nisu uočljivi prilikom korištenja nekih drugih metoda. Pored većeg broja podataka koji se prikupe u kraćem vremenskom intervalu, korištenjem ove metode evidentno je smanjenje troškova. Uštede se postižu brzim prikupljanjem podataka, smanjenjem potrebe za terenskim istraživanjem, a samim time je potreban manji broj ljudskih resursa. Ova metoda pogotovo ima prednost u odnosu na GNSS metodu prilikom snimanja kamenoloma i sličnih aktivnih radilišta i iz sigurnosnih razloga, jer pri geodetskom snimanju istih moguće su opasnosti kao što su odroni, urušavanje terena i slično.

LITERATURA

- Ball, M. (2020). Drones for Mining: Use Cases, Benefits and Trends. Dostupno na: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2020/11/drones-for-mining-use-cases-benefits-and-trends/>. Pristupljeno 28.8.2024.
- Cast, N. (2022). What is the role of drone technology in mining industry? Dostupno na: <https://www.remoteflyer.com/what-is-the-role-of-drone-technology-in-mining-industry/>. Pristupljeno 15.8.2024.
- Cuffari, B. (2017). Drones in Mining. Dostupno na: <https://www.azomining.com/Article.aspx?ArticleID=1376>. Pristupljeno 16.8.2024.
- ESRI Official (2024). Dostupno na: <https://www.esri.com/>. Pristupljeno 17.8.2024.
- Federalna uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove (2012). Pravilnik o primjeni satelitskih mjerenja u geodeziji. *Službene novine Federacije Bosne i Hercegovine*, 18/12, 29.02.2012.
- Federalna uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove (2022). Pravilnik o snimanju detalja. *Službene novine Federacije BiH*, 3/22.
- Frankić, K. (2010). *Metoda najmanjih kvadrata u geodeziji*. Skripta. Sarajevo: Građevinski fakultet u Sarajevu.
- Grid Method Earthwork Calculation (2012). Dostupno na: <https://www.scribd.com/doc/209110370/Grid-Method-Earthwork-Calculation>. Pristupljeno 16.8.2024.
- Guide to cut and fill maps (2024). Dostupno na: <https://www.takeoffpros.com/blog/guide-to-cut-and-fill-maps/>. Pristupljeno 17.7.2024.
- Janković, M. (1968). *Inženjerska geodezija*. Zagreb: Tehnička knjiga.
- Kontić, S. (1984). *Geodezija*. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva.
- Rudarsko projektovanje d.o.o. Tuzla (2023). *Geodetski elaborat obračunatih otkopanih čvrstih masa na površinskom kopu „Gradina“ za period 01.01.2023.-31.12.2023., obračunato dana 31.12.2023. godine*.
- Mulahusić, A., Tuno, N., Topoljak, J., Čengić, F., Kurtović, S.Y. (2020). Collecting geospatial data using unmanned aerial photogrammetric system. U Avdaković, S., Mujčić, A., Mujezinović, A., Uzunović, T., Volić, I. (ur.). *IAT2019. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 83, (str. 563-575). Cham: Springer. DOI: doi.org/10.1007/978-3-030-24986-1_45
- Mulahusić, A., Ambrožić, T., Topoljak, J., Tuno, N. (2021). *Inženjerska geodezija u rudarstvu*. Sarajevo i Ljubljana: Građevinski fakultet u Sarajevu i Fakultet za građevinarstvo i geodeziju Ljubljana.
- Zrinjski, M. Barković, Đ. Baričević, S. Knezevic, M. (2018). Geodetic Works in Exploitation Fields in the Wider City Area of Orahovica, Croatia. *Zbornik radova Građevinskog fakulteta*, 34, 643-653. DOI: [10.14415/konferencijaGFS2018.063](https://doi.org/10.14415/konferencijaGFS2018.063).

Zuhdija, K. (2014). *Dopunski rudarski projekat eksploatacije kamena krečnjaka na PK „Gradina“*.

What is Triangulated Irregular Network (TIN) (2022). Dostupno na: <https://civilstuff.com/what-is-triangulated-irregular-network-tin/> Pristupljeno 19.7.2024.

Autor(i):

Amela Kešetović mr.dipl.inž.geod.

Rudarsko projektovanje d.o.o.

Rudarska 61, 75000 Tuzla, Bosna i Hercegovina

amelak.rp@gmail.com

Amar Isaković mr.dipl.inž.geod.*

ENCOS d.o.o.

Put života b.b., 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

amar.isakovic@encos.ba

Jasmin Ćatić mr.dipl.inž.geod.

Federalna uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove

Hamdije Kreševljakovića 96, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

jasmin.catic@fgu.com.ba

**Corresponding author / autor za korespodenciju*