



## НАЗЕМНО ЛАЗЕРНО СКАНИРАНЕ И ВЪЗДУШНА ФОТОГРАМЕТРИЯ В РУДНИК “АСАРЕЛ”

инж.Николай Панчовски  
e-mail: nikolaipanchovski@asarel.com

### 1. Увод

Рудник Асарел е медно-порфирно находище. Намира се на 11 км, северозападно от град Панагюрище. С цел постигане на дългосрочната стратегия за достигане на максималния контур за изземване на находище „Асарел“ и находище „Запад“, са нужни мероприятия за модерни и иновативни методи за наземно лазерно сканиране, и въздушна фотограметрия с цел изготвяне на схеми, ситуации и 3D модели на рудното тяло.

Скалите, изграждащи находището, са повсеместно и хидротермално променени, установени са 40 разломни структури, има обособени разтрошени зони. Плановете за развитие на рудник „Асарел“ са свързани с неговото нарастване в дълбочина, което изисква непрекъснао обновяване на 3D модела на рудника. (Фигура 1).



Фигура 1: Общ поглед на рудник “Асарел”

Настоящата статия има за цел да запознае аудиторията с принципа на работа в рудник “Асарел” и методиката на лазерно сканиране и фотограметрия. Крайната цел е постигане на класифициран плътен облак от точки, точен 3D модел на рудника, изчисляване на извозената минна маса, обновяване на междинната и месечна линия на рудника посредством структурни линии, необходими за минното планиране. 3D моделът от структурни линии служи и за подложка при редица софтуери, подпомагащи рудничните процеси, също така за периодичен мониторинг върху свлачищни и разломни зони. Използваните методи са наземно лазерно сканиране с апаратура „Riegel VZ-6000“ и въздушна фотограметрия, която се извършва с дрон „DJI Enterprise Matrice 350 RTK“. Тези дейности спомагат за пълното и точно изготвяне на 3D модела на рудничния котлован и прилежащите територии. Звено „Маркшайдерство“ актуализира модела на рудник “ Асарел “ четири пъти месечно, всяка седмица и това спомага за стриктното спазване на ежедневните графици и недопускане на отклонения на технологичния регламент в шихтата. Звено Маркшайдерство спомага за всекидневната работа на всички звена в отдел „Минно Инженерство“ - „Геология“ , „Минно планиране“ и звено „Устойчивост на откосите“ за безпроблемна работа и постигане на общите цели, свързани с правилното и безопасно изземване на полезното изкопаемо.



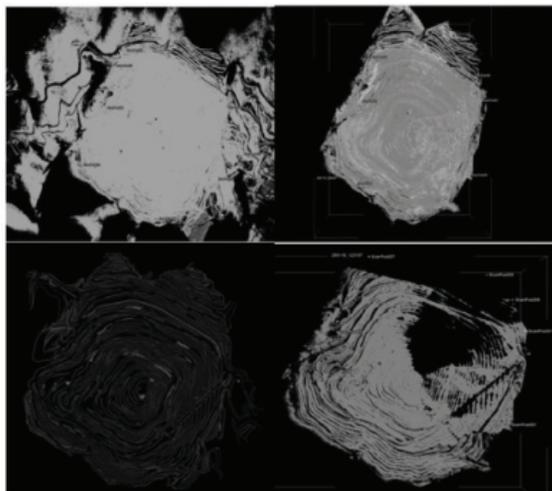
## 2. Сканираща система RIEGEL VZ 6000



Фигура 2.1: Снимка на наземна сканираща система RIEGEL VZ 6000 в рудник „Асарел”

### 2.1 Обща характеристика на сканиращата система

Сканирането на рудника се осъществява от няколко различни на брой скан позиции, разположени по периферията на рудника. Те са съобразени с местоположението на добива за определения период от време, като всяка една скан позиция трябва да е избрана така, че да се презастъпва с предходната. Всяка позиция, според направените настройки за сканиране, е съобразена с разстоянието от скенера до забоя, дали има работници наблизо, също и с големината на сканирания участък. В зависимост от разположението на скан позицията се задава обseg на сканирания участък в дъгови градуси, също така се задават вертикален обхват от 60° и 120° и, хоризонтален обхват, така необходимата резолюция и скорост на сканиране. Върху сканиращата система има фабричен адаптер за GNSS приемник, който в реално време прецизно отчита координатите на всяка отделна скан позиция с цел геореферирание на облака от точки (Фиг.2.1). Времето, необходимо за сканиране на целия рудник, е около 5 часа, като в него е включено и придвижването от точка до точка, което в руднични условия отнема време.



Фигура 2.1.1: Снимка с местоположението на всички скан позиции необходими за заснемането на рудник „Асарел”

Лазерен скенер Riegel VZ6000, се явява един от най-добрите инструменти от този клас. Основните технически данни, които ни дават представа за очакваните точности при сканиране са следните:



- Размер на лазерното петно: 120mm/1000m
- Точност: 15mm/150m при  $1\sigma$ , в контролирана среда - Точността е степента на съответствие на измерената величина с нейната действителна (истинска) стойност.
- Прецизност: 10mm/150m при  $1\sigma$ , в контролирана среда - Прецизността, наричана още възпроизводимост или повторяемост, е степента, до която по-нататъшни измервания показват същия резултат.
- Обхват на действие: повече от 6000 m
- Ъглова точност: 1.8 arcsec или линейно преместване от 8,7mm /1000 m, респективно 17,4 mm / 2000 m

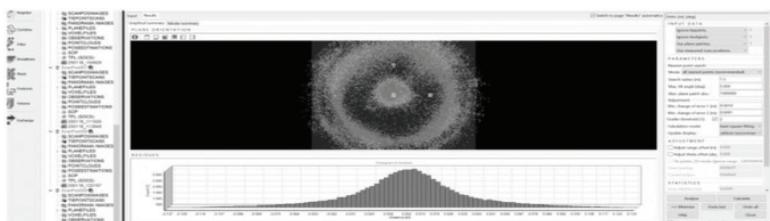
Размерът на лазерното петно, в което става осредняване на резултата няма нужда от пояснения, термините точност и прецизност трябва да бъдат коментирани. Важно е да се отбележи, че описаните стойности са при  $1\sigma$  - това е стандартното отклонение при еднократно измерване, което означава, че влиза в разпределение  $1\sigma$ . Последното не може да се използва за изчисление, тъй като границата на ограничаване в рамките на  $1\sigma$  разпределение е само 68.26%. Ето защо трябва да се избере по-висок коефициент, с който да се умножи средноквадратичния шум. По-голям фактор, който се използва при скенера води до по-добро ограничаване или иначе казано до по-висока точност, която е видна от постигнатата прецизност.

- (a) – Измерванията са прецизни и точни, средно са около центъра и имат малко разсейване.
- (b) – Измерванията са прецизни, но не са точни, далеч са от центъра, но са добре групирани и имат малко разсейване.
- (c) – Измерванията са точни, но не са прецизни, средно са около центъра, но имат голямо разсейване.
- (d) – Измерванията не са нито прецизни, нито точни, далеч са от центъра и са с голямо разсейване.



Фигура 2.1.2: Графично представяне точността на скенера

Първоначално суровите данни се импорират в софтуера, след което се въвеждат прецизно измерените координати от GNSS местоположението на всяка отделна скан позиция. След това се задава командата Direct Georeference и софтуерът автоматично геореферира модела в желаната координатна система, в която са заснети точките от скан позициите. Обработката на данни продължава, като се задава MultiStation Adjustment prepare polydata. Следващата стъпка е MultiStation Adjustment Extract plane patches, след това се преминава към изравняване на средна грешка от цялата обработка с функцията MultiStation Adjustment Start adjustment, чрез нея софтуерът търси сходни точки в зададения радиус на търсене. Задоволителната средна грешка на база опита в “Асарел-Медет” е от 2-3см.при радиус на търсене около 2 метра( фиг. 3.1).

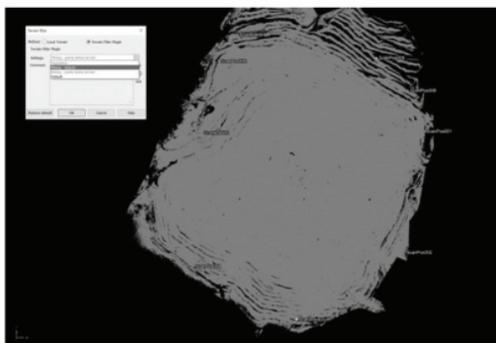


Фигура 2.1.3: Снимка от изравнението на модела



След получена задоволителна средна грешка се преминава към комбиниране на облака от точки с функцията Combine в мрежа през 0,35м, и постигане на гъст облак от точки с над 24000000 точки.

Следващият етап от обработката се изразява в изчистване на 3D модела от изкуствените обекти с цел получаване на чистата гола земна повърхност на рудника, а именно минните машини, тръбопроводи, гумено транспортни ленти, растителност и пр., които са неделима част от рудника и попадат в обсега на сканирането. С функциите за филтриране може да се изчистят – минни обекти, отделни точки, които представляват определен шум и се намират обикновено под и над терена, като капки от дъжд например.



Фигура 2.1.4: Снимка на функцията за изчистване на модела

### 3.Краен продукт след обработка

#### 1.Постигане на плътен и точен модел на рудника DEM



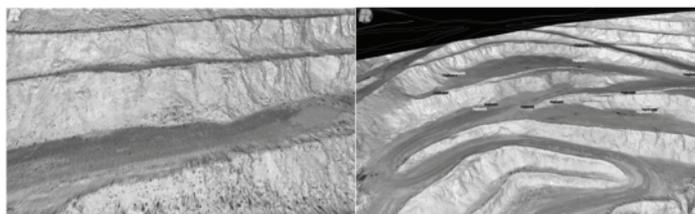
Фигура 3.1: Снимка на модела DEM

#### 2.Обновяване 3D модела на рудника посредством структурни линии



Фигура 3.2: Снимка на модела със структурни линии

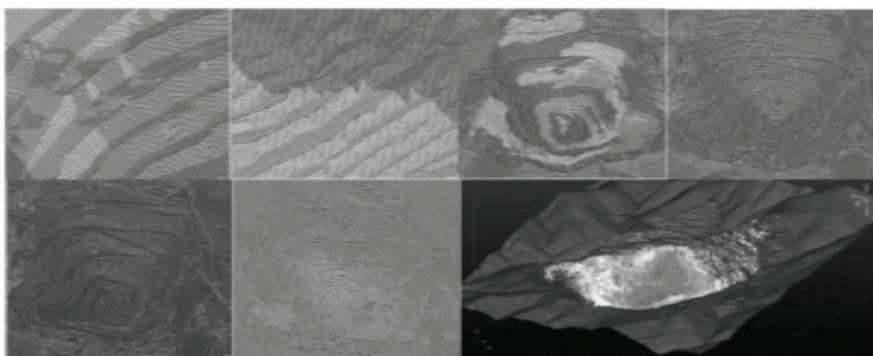
В зоната на триангулиран участък е промяната на модела вследствие водене на минни работи, изчертават се структурни линии по горния, долния ръб на изработката съответно и нива по бермата.



Фигура 3.3: Снимка на триангулирана зона от модела и изчертани структурни линии

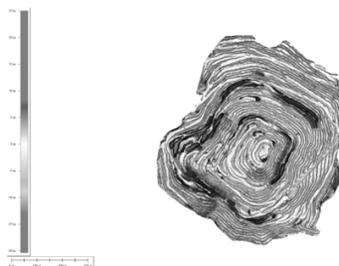
Заснетите модели и картираните структурни линии са основа за всички проекти за развитие и погасяване на запасите от полезни изкопаеми в р-к “Асарел”.

1. За краткосрочни - месечни и седмични проекти - С помощта на структурните линии се построява текуща повърхнина, с която се определят издетите и съответно – оставащите, налични запаси в рудника чрез блоковия геоложки модел. С оставащите запаси се проектират и изчисляват прецизно бъдещите проекти за сондиране, взривяване и последващо изземване (червени полигони).
2. За средносрочни – тримесечни и годишни проекти. Чрез структурните линии се построява повърхнина, която е базова за проектирането. След проектирането на бъдещите, структурни забойни линии за съответния период, отново се построява повърхнина (проектна). След това се определя обемът между базовата и проектната повърхнина. От тези обеми се конструират множество от затворени, обемни повърхнини и вътре в тях чрез блоковия геоложки модел се определя точно количеството и видът на минната маса, която следва да се из земе за съответния период. Процесът с изчертаването на проектни структурни линии и повърхнини се повтаря, докато изчислените количества и вид на минна маса удовлетворят предварително определените планове.
3. За дългосрочните проекти – текущите структурни линии и съответно – повърхнина се явяват изходни за всички проекти – от такива за няколко години до всички варианти за бъдещ краен контур на рудника. За тези проекти изходната повърхнина се създава в Studio OP, но се използва и в модула за дългосрочни проекти – Studio NPVS.



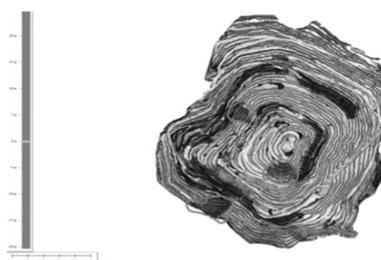
Фигура 3.4: Снимка на моделите и проектите на база структурни линии

3. Изчисляване на извозеното количество минна маса. Сравняват се двата DTM модела за отчетния период и се отчита извозеното количество минна маса.



Фигура 3.5: Снимка на трианголирана зона от модела и изчертани структурни линии

#### 4. Следене на деформационни свлачищни зони за определен период



Фигура 3.6: Снимка на мониторинг върху свлачищни зони

#### 4. Въздушна фотограметрия с DJI Matrice 350 RTK

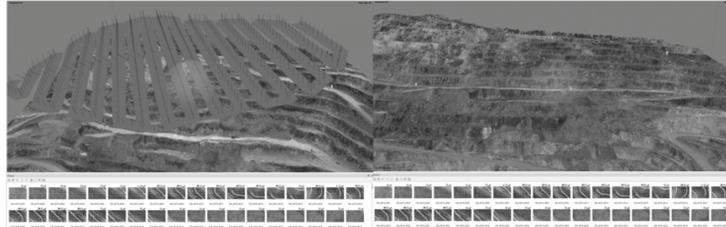


Фигура 4.1: Въздушна фотограметрия в рудник "Асарел" с дрон DJI Matrice 350.

За целта се прави летателен план на областта или на целия рудник. Проверяват се контролните точки, за да гарантираме максимална точност на модела. В зависимост от това как сме избрали да облитаме рудника, дали само определена зона или целия рудник, съставяме освен план за летене и геотиф файл, с помощта на който дронът може да следва терена и заснемането на рудника да е от една височина, също така се определя дали да е 2D или 3D заснемане, както и височината на заснемането. RTK поправки могат да бъдат получавани както от външен доставчик на тази услуга, така и от собствена базова станция. Базовата станция се разполага в зоната на самото заснемане, нейните координати се определят чрез RTK измерване в режим ТОРО 10 минути, след това станцията се слага на измерената точка. И при двата метода моделът се изравнява чрез наземни марки и използването на прецизните координати на снимките.

След определяне настройките на проекта, които са пряко свързани с метеорологичните условия се вдига дронът за изпълнение на зададения летателен план. Необходимото време за изпълнение на поставената задача е около 3-4 часа.

След прекъсване на полета, суровите данни се свалят и се вмъкват за обработка в специализиран софтуер. В рудник "Асарел" това се случва със софтуерен продукт Agisoft.



Фигура 4.2: Изравнените снимки и полетния план

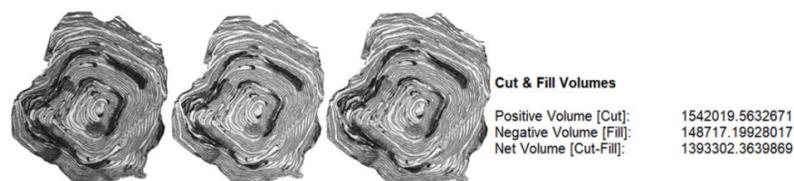
- Създаваме проект.
- Предварително изравняване на снимките.
- Вмъкване и разпознаване на GCP марките.
- Окончателно изравняване в референтна координатна система.
- Създаване на плътен облак от точки.
- Създаване на DEM модел.
- Създаване на ортофотоплан на обекта.
- Генериране на отчет за проекта.
- Анализ на резултатите от фотограметричната обработка.



Фигура 4.3: Иравнените снимки и полетния план

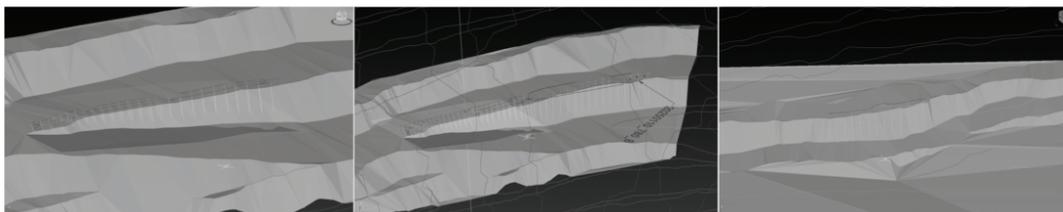
### 5. Краен продукт след обработка

След завършване на пълната обработка експортваме плътния класифициран облак от точки в LAS формат и преминаваме към създаване на обемно резултатна повърхнина, в софтуерен продукт Global Mapper, и експорт на окупторените зони на добив във формат Surfer Grid, подходящ за софтуера Surfer, с който се изчисляват извозените количества минна маса в рудник "Асарел".



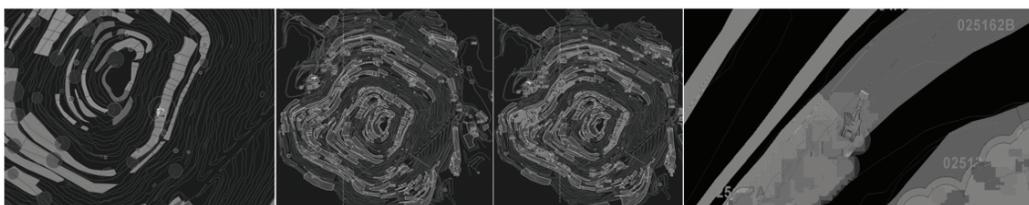
Фигура 5.1: Обемна резултатна повърхнина, показваща зоните на добив и извозеното количество минна маса в кубични метри

Друго предназначение на 3D модела е импортването му в софтуера за взривни дейности Data Blast като прецизна повърхнина. Тя спомага за точното позициониране на сондажа в пространството и коректната и точна дълбочина на сондажа.



Фигура 5.2: Използване на 3D модела в софтуер за взривни дейности и изготвяне на взривни проекти

Следващо предназначение на 3D модела подпомага ориентирането на диспечера в реално време за минните машини и точното им позициониране на терена. За цялостното изземване на полезните компоненти във взривните полета и недопускане на загуби при добив. Звено „Маркшайдерство“ актуализира модела на рудник “ Асарел “ четири пъти месечно, всяка седмица и локално всекидневно с преки GPS измервания при необходимост.



Фигура 5.3: Визуализация на блоковете за изземване и работата на минните машини

## 6. Заключение

Двата метода на сканиране осигуряват точен и подробен модел на рудничния котлован, своевременно краткосрочно и средносрочно планиране, безопасно следене на свлачищните зони, и недопускане на загуби при добива. Методът на сканиране зависи пряко от атмосферните условия, и зоните на работа през отчетния период. Правилният избор осигурява точна, безопасна и ефективна работа на рудника.

## 7. Библиография

1. инж. Николай Панчовски: Доклад мониторинг на деформациите чрез роботизирани тотални станции и георадарна система IBIS FM 2023г.
2. инж. Красимир Методиев: Доклад изчисляване на обеми – Асарел-Медет 2025г.