



ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА РАЗЛИЧНИ МЕТОДИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДЕФОРМАЦИОННОТО СЪСТОЯНИЕ НА СКАЛНИЯ МАСИВ ПО ДАННИ ОТ МАРКШАЙДЕРСКИ НАБЛЮДЕНИЯ

¹Веселина Господинова, ²Милена Бегновска, ³Александър Цонков, ⁴Радослав Сираков
^{1, 2, 3}Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София,
⁴"Лъки Инвест-Джурково" ЕООД, 4241 Лъки

¹veselina_gospodinova80@abv.bg, ²m_begnovska@abv.bg, ³altzon@abv.bg, ⁴radoslavsirakov24@gmail.com

POSSIBILITIES FOR APPLICATION OF DIFFERENT METHODS FOR INVESTIGATION OF THE DEFORMATION CONDITION OF THE ROCK MASSIF ACCORDING TO DATA FROM MINE SURVEYING MEASUREMENTS

¹Veselina Gospodinova, ²Milena Begnovska, ³Alexander Tzonkov, ⁴Radoslav Sirakov
^{1, 2, 3}University of mining and geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia,
⁴"Laky Invest-Dzhurkovo" EOOD, 4241 Lucky

¹veselina_gospodinova80@abv.bg, ²m_begnovska@abv.bg, ³altzon@abv.bg,
⁴radoslavsirakov24@gmail.com

ABSTRACT

In the present study, the possibilities for application of different methods for studying the deformation state of the rock massif are evaluated according to data from mine surveying observations:

- 1. Polar method for monitoring the displacements of observed points;*
- 2. Digital close-range photogrammetry;*
- 3. Analysis of thermal images.*

The combination of classical and other methods gives a more complete picture of the processes occurring in the rock massif.

ВЪВЕДЕНИЕ

Познаването на състоянието на масива или обекта и на протичащите в него процеси се основава на високоточно определяне на изменението на пространственото положение на наблюдавани точки във времето [2]. Независимо от това, дали експлоатацията се води по открит или по подземен начин, в скалния масив протичат редица процеси, познаването на които би довело до вземане на адекватни и реално-отговорни решения относно системата на разработване, реда на работа в пространството и времето на отделните работни места, за мерките за безопасност, за предвиждане в разумни граници на рисковете в конкретните ситуации.

При експлоатацията на находищата на подземни богатства протичат различни физически процеси вследствие на които скалният масив реагира по различен начин. Появяват се зони с постоянен или временен характер на изменение на свойствата на скалите, на напрегнато-деформираното състояние, на газоотделянето, на появата на мощни динамични процеси.

Представата за взаимодействието между отделните елементи на средата позволява да се достигне до решаването на проблема с построяване на максимално адекватни модели на процесите в минното производство. Решенията в това отношение изискват опит и познания в различни области. За изследване на причините за възникване и характеристиките на процесите в масива е необходимо и натрупване на множество като количество и вид данни [2].



За изучаване на процесите в скалния масив се използват различни методи, технологии, модели и средства. При формирането на моделите се предлагат варианти, които се оценяват по различни критерии. Въз основа на оценките се избира най-добрият. Той трябва да характеризира тенденцията на изменение във времето и пространството на изследваните явления и процеси с оглед управлението на открития или подземен рудник.

При изучаване на процесите се различават два етапа:

1. Математическо описание (моделиране, идентификация) на процеса;
2. Прогнозиране на бъдещи стойности на изследваните величини за различни моменти от времето.

Исходната информация, необходима за осигуряване на рационалните решения и съответните анализи, се набира главно от изследвания и измервания в естествени условия [2]. Освен познатите от скалната механика методи за определяне на физико-механичните характеристики на масива и неговото поведение, широко се използват и маркшайдерски методи за определяне на пространствени изменения на характерни точки от средата и земната повърхност, чрез които се съди за промени в напрегнато-деформираното състояние на масива вследствие на природни или технологични фактори.

В настоящото изложение се изследва възможността за характеризиране на напрегнато-деформираното състояние на наблюдаван обект чрез резултати от различни технологии от маркшайдерската практика.

Изменението на пространственото положение на наблюдавани точки, определено в различни моменти от време, дефинира промени в състоянието на масива или обекта. Изучаването на тези промени е необходимо за осигуряване на безопасната експлоатация на обекта.

Възможността за използване на резултатите от маркшайдерските измервания за оценка на състоянието на масива или обекта се основава на наблюдения в естествена среда, което определя реалност на получените стойности за конкретните технически, минно-технически и геоложки условия [2].

ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Обект на изследване в настоящата разработка е опорен целик в метазалеж 6 в рудник „Джурково“ - „Лъки Инвест-Джурково“ ЕООД.

Метазалеж 6 се намира на територията на находище „Джурково“. Разкрит е от хоризонт 632 по рудоносната зона „Източен апофиз“. Рудното тяло е метасоматично (чрез процеса метасоматоза мраморните пластове са частично заместени от сулфидни минерали). Системата на разработване на рудни тела от този вид, използвана в рудник „Джурково“, е Камерно-стълбова система. Основните елементи на системата са: нарезни изработки, добивни камери и опорни целици (стълбове).

Източното крило на рудоносния пласт е иззето от кота 646 m до кота 680 m, а западното крило – от 653 m до 668 m. Посоката на западане на пластове в метазалеж 6 е северозапад с ъгъл на западане 9-10 °, а средната дебелина е около 3 m.

Нарезните изработки са прокарани по жилата (Източен апофиз), като едновременно с това е разкрит мраморният пласт. Перпендикулярно на нарезните изработки са прокарани ортове до контура на заместените мрамори. Добивните камери са с различни размери, в зависимост от съответните минно-геоложки и минно-технически условия.

Скалният натиск се контролира чрез опорните целици (стълбове), чиито размери, гъстота и пространствено разположение трябва да се избират рационално и съобразно редица фактори и резултати от детайлно проучване.

КРАТКИ СВЕДЕНИЯ ЗА ПРИРОДНИТЕ И МИННО-ТЕХНИЧЕСКИТЕ УСЛОВИЯ

Лъкинското рудно поле се намира на 5 km южно от гр. Лъки по северния склон на Централно-Родопския купол и по западната граница на Източно-Родопското палеогенско понижение. Рудник „Джурково“ разработва едни от най-значителните оловно-цинкови рудни запаси в района.



Литоложката структура на находището е представена от гнайси, слюдени шисти, мрамори и пегматити. Рудните тела в рудник „Джурково“ се отнасят към два морфогенетични типа – жилни и метасоматични. Средната мощност на жилните тела варира от 0,5 m до 2,5 m, а на метасоматичните – от 0,5 до 5-6 m. Основните рудни минерали са: галенит, сфалерит, пирит, халкопирит, а нерудните са представени основно от кварц и калцит.

Системите на разработване, използвани към настоящия момент, са: Система с открито добивно пространство и отбиване на рудата от подетажни изработки и Камерно-стълбова система. Разкриващите изработки на находище „Джурково“ са две вертикални шахти и една наклонена минна изработка с един изход на повърхността. Транспортирането на отбитата минна маса се извършва с челни товарачи и минни камиони с нисък профил и намалено отделяне на вредни емисии.

МАРКШАЙДЕРСКИ НАБЛЮДЕНИЯ

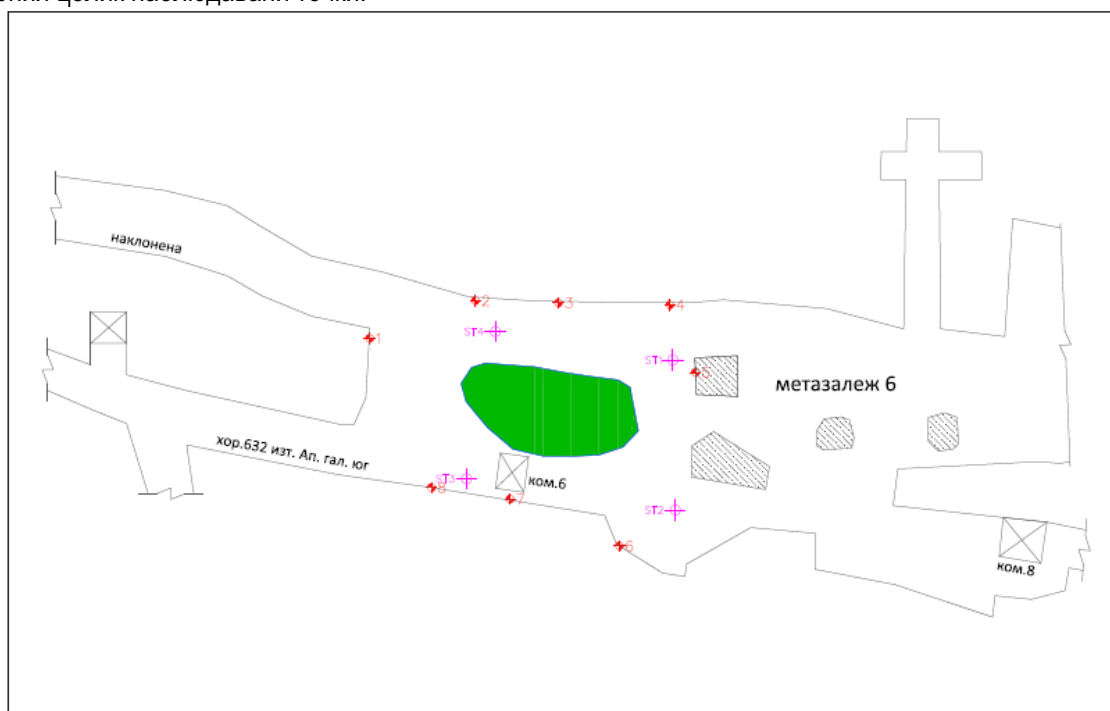
В настоящата разработка се прави оценка на възможностите за приложение на различни методи за изследване на деформационното състояние на скалния масив по данни от маркшайдерски наблюдения:

1. Полярен метод за следене преместванията на наблюдавани точки, стабилизирани на целика;
2. Цифрова блискообхватна фотограметрия;
3. Анализ на топлинни изображения.

Опорният целик, обект на настоящото изследване, се намира в северната част на метазалеж 6 (фиг.1). Средната му площ е около 60 m², а височината му е от 3 до 3,8 m. Формиран е след прокарването на наклонена галерия (през месец Септември 2019 г.), от хоризонт 572 до хоризонт 632 и съответно до метазалежа.

В близост не са извършвани пробивно-взривни работи от месец Септември 2020 г.

За изследване на деформационното състояние на целика чрез маркшайдерски измервания, е изградена специална наблюдателна станция. Състои се от 8 изходни точки, трайно стабилизирани в стените на минните изработки около целика и 49 контролни точки (репери), равномерно разположени на три нива (горе, в средата и долу) по всичките стени на целика. Наблюдателната станция има за цел да осигури надеждно и точно определяне на пространственото положение на стабилизираните в опорния целик наблюдавани точки.



Фиг.1. Опорен целик в метазалеж 6 - ситуация



1. *Полярен метод за следене преместванията на наблюдавани точки, стабилизирани на целика.*

Чрез маркшайдерски измервания за периода от месец юли 2020 г. до месец юни 2021 г. са извършени 7 наблюдения. От предварително координираните опорни точки в стените на изработките около целика, с тотална станция по полярен метод са определени пространствените координати на наблюдаваните точки. Изчислени са и векторите им на преместване, между отделните и спрямо началното наблюдение. Точността на определените координати е от порядъка на 2 mm.

Въз основа на координатните изменения на наблюдаваните точки в различните моменти на наблюдение ще бъдат определени и характеристики на деформационното състояние на масива. Методът за тяхното изчисляване и интерпретацията на получените резултати са представени в [2].

Освен класическите подходи за проследяване на деформации в подземни рудници, базирани на измервания с тотална станция, в практиката се налагат и други методи, например цифрова блискообхватна фотограмметрия и анализ на топлинни изображения.

2. *Цифрова блискообхватна фотограмметрия.*

Приложението на цифровата фотограмметрия в подземния добив е свързано със създаването на числени модели, които впоследствие се използват за решаването на разнообразни задачи. Тази методика е успешно използвана за генериране на триизмерни модели на целици и откриване на области на пространствени изменения между две и повече измервания, изследване и мониторинг на скалния масив в подземни рудници [3], [4], [5]. През 2018 г. в България е реализирано първото цифрово фотограмметрично заснемане на част от галерия в подземен рудник. Извършено е и сравнение между обемите на фотограмметричния модел и на модел, създаден чрез тотална станция в режим на лазерно сканиране за същия участък. Получената разлика в обемите, определени по двата метода, е от порядъка на 1%. Това доказва приложимостта на методиката за изчисляване на обеми иззета минна маса [1]. Впоследствие в друго изследване, свързано с редуциране броя на опорните точки се установи, че при наличното качество на изображенията и формата на заснемания обект прилаганият метод осигурява достатъчно висока точност за множество задачи, като за подходящи условия дори може да претендира за регистриране на деформации. За правилно определяне проявите на скалния натиск в масива е необходимо точно спазване на избраната методика на заснемане [6].

Следващите изследвания са свързани с анализи на резултатите от прилагането на традиционния и фотограмметричния метод, с цел проследяване на деформационни процеси в подземни рудници.

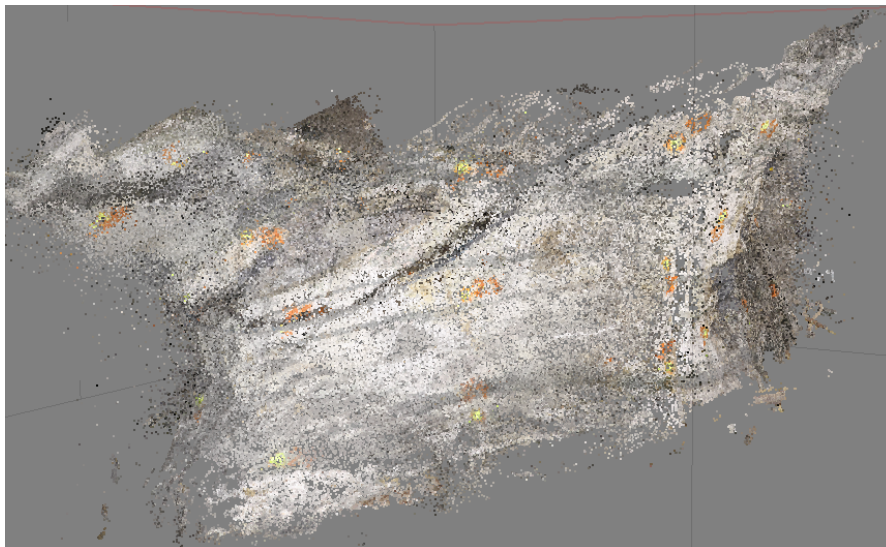
Фотограмметричното заснемане на изследвания обект е извършено с цифрова огледално-рефлексна камера Canon EOS7D Mark II с 20.2 - мегапикселов сензор. Тя осигурява детайлни снимки дори на слаба светлина. За заснемането са използвани две осветителни тела и статив. На фигура 2 са представени изображения на изследвания целик.



Фиг.2. Изображения, получени от заснемане с Canon EOS7D Mark II

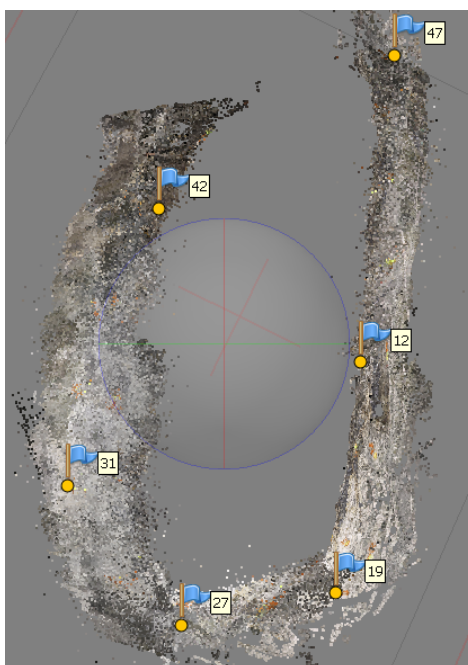


Направени са 72 снимки в рамките на 40 min, като времето включва и маркирането на опорните точки. Фотограметричната обработка е извършена със софтуера Agisoft PhotoScan. Генерираният гъст облак от точки съдържа 13 993622 точки и част от него може да се види на фигура 3.



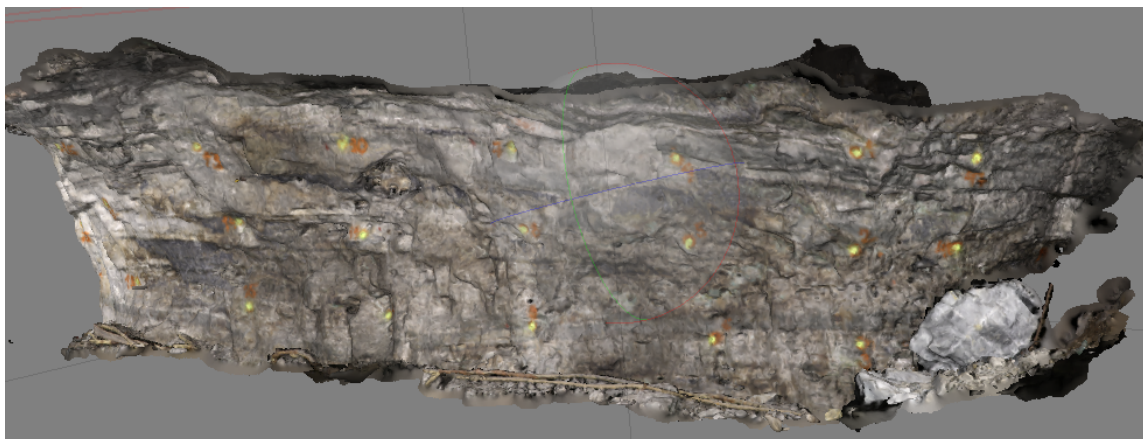
Фиг.3. Гъст облак от точки

За геореферирание на модела са измерени 6 броя опорни точки, разположени равномерно в целика. На фигура 4 е изобразено местоположението им.



Фиг.4. Разположение на опорните точки

Създаден е полигонален модел съдържащ 920 453 триъгълника, а част от числения модел с текстура е представен на фигура 5.

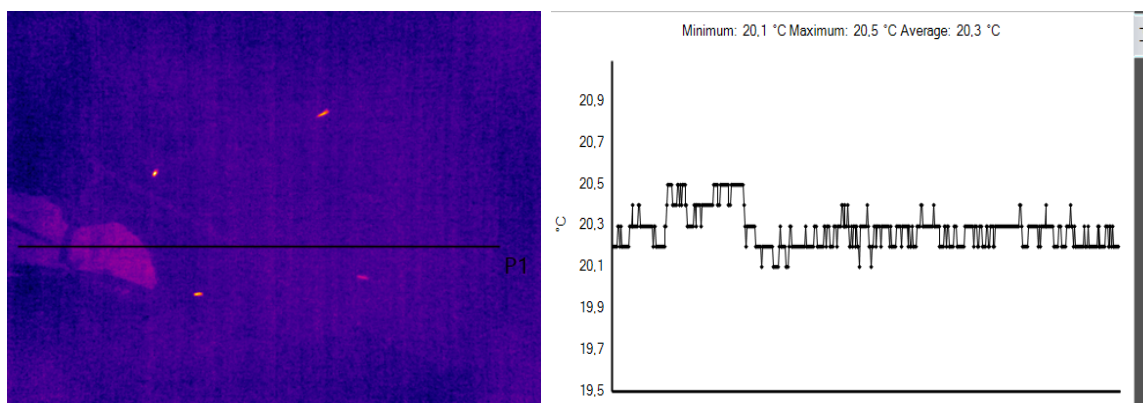


Фиг.5. Числен модел с текстура

Качеството на направените цветни изображения и получените резултати показват, че тази методика може да се използва за наблюдение състоянието на целици при подземния добив. В последващите изследвания ще бъде извършено повторно заснемане на участъка и анализ за установяване разлика в обема на наблюдавания обект между отделните заснемания. Въз основа на тях ще се съди за деформационното му състояние.

3. Анализ на топлинни изображения.

При този метод на изследване е използвана ръчна термовизионна камера Testo 890, с разделителна способност от порядъка на 0.1°C . От направените до момента опити за заснемане с топлинна/термовизионна камера може да се каже, че топлинните изображения биха могли да се използват за установяване на местата, в които се наблюдава наличие на напрежение в изследвания обект. Това може да се види и на профилната графика, а в топлинното изображение тези участъци се класифицират с друг цвят. На фигура 6 се вижда участък, в който се наблюдава рязка промяна в топлинния профил във вертикално и в хоризонтално направление, както и визуално в топлинното изображение.



Фиг.6. Топлинно изображение и надлъжен профил

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Всеки от методите за проследяване на деформационни процеси разглежда и онагледява тези явления по различен начин.

Комбинирането на класически и други методи дава по-пълна картина за процесите, протичащи в скалния масив при подземния добив на полезни изкопаеми.



Последващите изследвания ще бъдат насочени към разработване на подход, чрез който да се определят различни зони на напрегнато състояние в скалния масив.

ЛИТЕРАТУРА

1. Господинова, В., П. Георгиев, П. Иванов, Създаване на числен фотограмметричен модел в подземен рудник, Сборник доклади от VI Национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”, 01 – 04 октомври 2018, Девин, България, стр. 155-161, ISSN: 1314-7056
2. Цонков, А., Геомеханични изследвания чрез маркшайдерски измервания, монография, ИК „Св. Иван Рилски”, София, 2019, ISBN: 978-954-353-383-1
3. Brent A Slaker, Erik Westman, John Ellenberger, Michael Murphy, Time–Lapse Photogrammetric Monitoring of An Underground Stone Mine, 34th International Conference on Ground Control in Mining, July 28 - 30, 2015, pp.1-5
4. Brent A. Slaker, Khaled M. Mohamed, A practical application of photogrammetry to performing rib characterization measurements in an underground coal mine using a DSLR camera, International Journal of Mining Science and Technology 27, 2017, pp. 83–90
5. Brent Allan Slaker, Monitoring Underground Mine Displacement Using Photogrammetry and Laser Scanning, PhD, Blacksburg, VA, 2015
6. Gospodinova, V., Research on creating a digital photogrammetric model by using different number of control and check points, International scientific conference of UMG „St. Ivan Rilski”, 18 October 2019, Sofia. Journal of mining and geological sciences, vol.62, Number 2, 2019, pp. 29-33, ISSN: 2682-9525 (print), ISSN: 2683-0027 (online)