



**ПРОГНОЗИРАНЕ НА ДЕФОРМАЦИОННОТО СЪСТОЯНИЕ НА СКАЛНИЯ МАСИВ И ОПРЕДЕЛЯНЕ  
СТЕПЕНТА НА УСТОЙЧИВОСТ НА ПОДЗЕМНИТЕ ОТКРИТИ ДОБИВНИ ПРОСТРАНСТВА,  
МОДЕЛИРАНЕ ПО МЕТОДА НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ, ПОСРЕДСТВОМ ПРОГРАМЕН ПРОДУКТ В  
УЧАСТЪК „КРУШЕВ ДОЛ“ КЪМ „ГОРУБСО-МАДАН“ АД**

**Десислава Атанасова-Венкова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, гр. София, България,  
dessislava.atanassova@abv.bg

**РЕЗЮМЕ**

*Методите за изучаване на деформационните процеси в скалния масив се основават на наблюдения в естествени условия в комбинация с методи за моделиране и аналитични изследвания.*

*Чрез извършване на периодични маркшайдерски измервания и последващата им обработка, е изследвано деформационното състояние на скалния масив около минните изработки в участък „Крушев дол“.*

*Приложен е метод за определяне на стойностите на инвариантните характеристики на деформациите, при който се изследват геометрични или физични свойства на обекта, които не зависят от избора на координатна система.*

*С помощта на използвания метод са определени деформационни показатели за определени участъци от масива, всеки от които е разглеждан чрез дефиниран с трите си страни триъгълник, чийто върхове са контролните точки, стабилизирани върху изследваните обекти.*

**PREDICTION OF THE STATE OF DEFORMATION OF THE ROCK MASSIF AND DETERMINATION OF  
THE DEGREE OF RESISTANCE OF THE UNDERGROUND OPEN MINING SPACES, MODELING BY THE  
FINITE ELEMENT METHOD, USING A SOFTWARE PRODUCT IN THE "KRUSHEV DOL" SECTION  
TOWARDS "GORUBSO-MADAN" LTD**

**Desislava Atanasova-Venkova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>University of Mining and Geology is “St. Ivan Rilski”, Sofia, Bulgaria, dessislava.atanassova@abv.bg

**ABSTRACT**

*The methods for studying the deformation processes in the rock massif are based on observations in natural conditions in combination with modeling methods and analytical studies.*

*By carrying out periodic surveyor measurements and their subsequent processing, the deformation state of the rock massif around the mine workings in the "Krushev Dol" section was investigated.*

*A method for determining the values of the invariant characteristics of the deformations is applied, in which geometrical or physical properties of the object, which do not depend on the choice of coordinate system, are studied.*

*With the help of the used method, deformation indicators were determined for certain sections of the array, each of which was viewed through a triangle defined by its three sides, whose vertices are the control points stabilized on the studied objects.*

Въведение

Изучаването и прогнозирането на деформационното състояние на скалния масив налагат прилагане на подходящи методи на наблюдение за установяване на деформационните процеси и

вземане на адекватни решения за контролирането им във възможните граници. Доброто „познаване“ на поведението на масива допринася за безопасна и ефективна работа в подземните рудници.

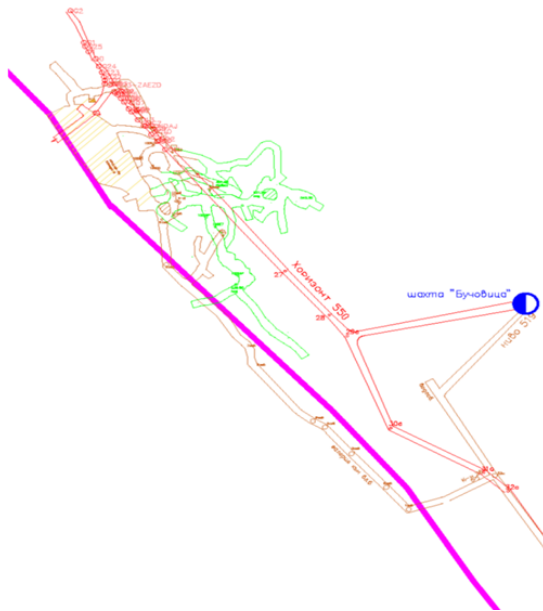
При маркшайдерските изследвания, се поставя принципът на инвариантност, при изследване на деформации, при който се разглеждат геометрични и физични свойства на обекта, независимо от избора на координатна система. Въз основа на такива изследвания оценката на деформационното състояние се получава чрез сравнение на линейните размери на приетите елементарни фигури(триъгълници).

При тези изследвания са определяни стойностите и посоките на гланите деформации, изменението на площта и формата на елементарните фигури. [4]

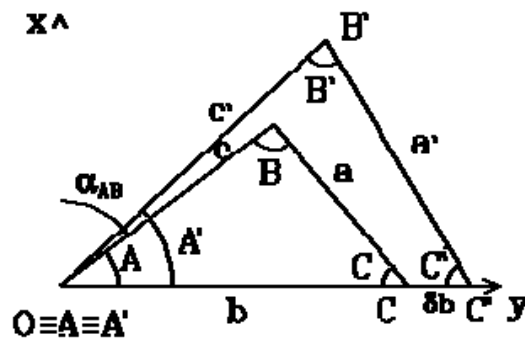
Участъкът, който разглеждаме е Главна извозна галерия на х. 550, в близост до стара добивна камера, на по-долно ниво.

Височината на камерата е 50 метра, а широчината е 38 метра.

В специализираният софтуер проследяваме хронологично минно-проходческите и добивни дейности, извършвани в близост до наблюдавания обект. [1]



Фиг. 1 - уч-к „Крушев дол“-ситуация Камера 6 и галерия 550



Фиг. 2 - Елементи на деформациите на триъгълника ABC с върхове A, B, C

Изследваните елементи на деформациите на триъгълника ABC с върхове A, B, C, се представят с:

- относително изменение на площта – дилатация;
- формоизменение – максимално преместване;
- главни стойности на деформациите и в посоките и на главните оси.

Тъй като стойностите им не зависят от възприетата координатна система, те се наричат инвариантни характеристики на деформациите.

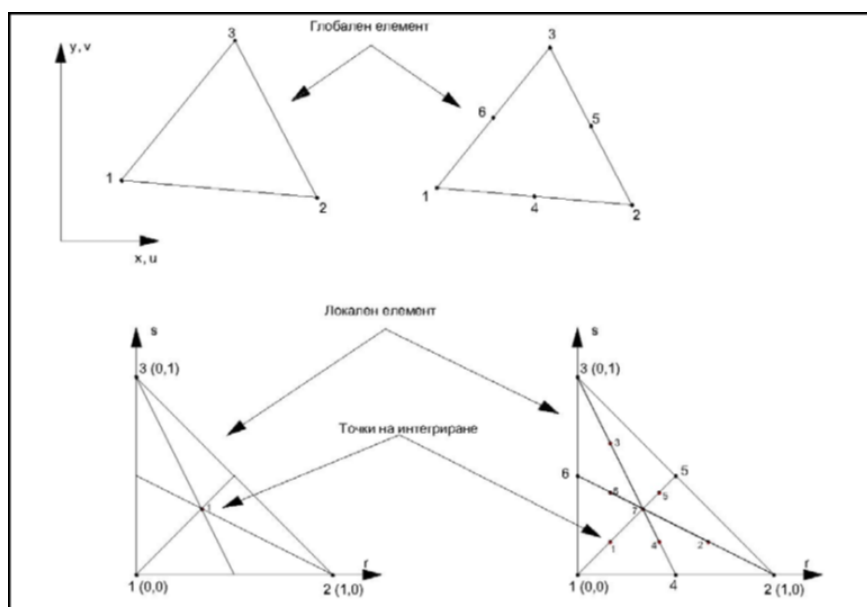
Главните стойности на деформациите представляват относителните изменения на дължините по направление на главните оси. Дилатацията и максималното преместване характеризират относителното изменение на площта и на формата на изследваната елементарна фигура.

Въз основа на координатните изменения на наблюдаваните (контролни) точки в различните моменти на наблюдение, са определени инвариантните характеристики на деформационното състояние на масива. [3]

Определянето на степента на устойчивост на подземните открити добивни пространства е основен въпрос пред геомеханиката, успешното решение на който изисква използване на съвременни методи, каквито са класификационните оценки на масива, съпроводени с изграждане на геомеханични модели, решавани с числените методи на механиката на скалите, като метода на граничните елементи, метода на крайните елементи и др. Във всички случаи определянето на устойчивите параметри започва с изследване на структурната нарушеност на масива, физико-механичните и еластични свойства на скалите, изграждащи вместващия масив и рудното тяло, определени по стандартни методи: якост на натиск, якост на опън и плътност на литоложките разновидности скали, модул на еластичност и коефициент на Поасон. Това с пълна сила се отнася и за естественото поле на напреженията, което изисква големината и посоката на напреженията да са установени, чрез измервания които много често се правят „in situ“. В случая такива изследвания също липсват и се налага тези параметри да се определят по алтернативни методи, чрез хипотези, чрез използване на специализиран софтуер или да се използват данни за измерени напрежения определени в близост до находището.

Масивът изграден от скала е моделиран по Метода на крайните елементи, посредством програмата RS2, Rocscience.

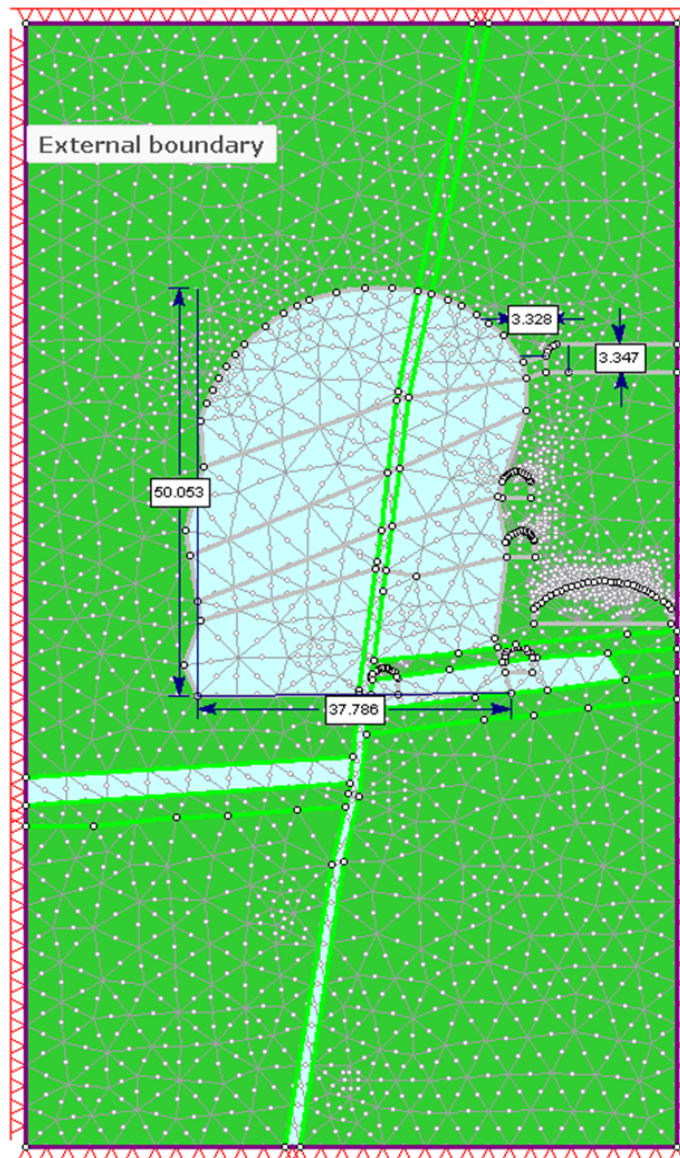
Този софтуерен продукт позволява решаването на линейни задачи в еластична, еласто-пластична и вискозно-пластична среда. Моделирането на масива обхваща зоната разглеждана около минната изработка.



Фиг.3 - Двумерни триъгълни крайни елементи с шест възела (6-node triangular elements)

Напреженията в масива са получени чрез анализ, отчитащ височината на покритието над изработката, обемното тегло на изграждащият масив и коефициентът на страничен натиск. В създаването на моделите са използвани двумерни триъгълни крайни елементи с шест възела (6-node triangular elements). Като преместванията в тях се апроксимират с полиноми от по-висок ред.

Material Name	Material Color	Initial Element Loading	Unit Weight (MN/m <sup>3</sup> )	Elastic Type	Poisson's Ratio	Young's Modulus (MPa)	Failure Criterion	Material Type	Compressive Strength (MPa)	mb Parameter	s Parameter	a Parameter	GSI Parameter	mi Parameter
Гранито гнайси	Green	Field Stress and Body Force	0.0256	Isotropic	0.2	2000	Generalized Hoek-Brown	Plastic	56	4.61577	0.025562	0.501702	67	15
Руда	Light Blue	Field Stress and Body Force	0.029	Isotropic	0.22	11920.3	Generalized Hoek-Brown	Plastic	75.042	4.66601	0.005395	0.504656	53	25
ЗАПЪЛНЕНИЕ	Yellow	Body Force Only	0.022	Isotropic	0.2	1324.6	Generalized Hoek-Brown	Elastic	56	0.695323	7.08068e-05	0.565328	14	15



Фиг.4 Геометрични размери на модела на Равнинно Деформирано Състояние и физико-механични свойства на рудата

Софтуерният продукт дава възможност за първоначална дискретизация на границите (External Boundaries) като на база на тези възли се създава мрежа. За мрежата се дефинират тип и вид на

крайния елемент. Масива е разделен на мрежа от крайни елементи – триъгълни. Напреженията в земния масив са определени спрямо обемното тегло на средата съставляваща масива и геометричните размери на разглежданата камера и други минни изработки. [2]

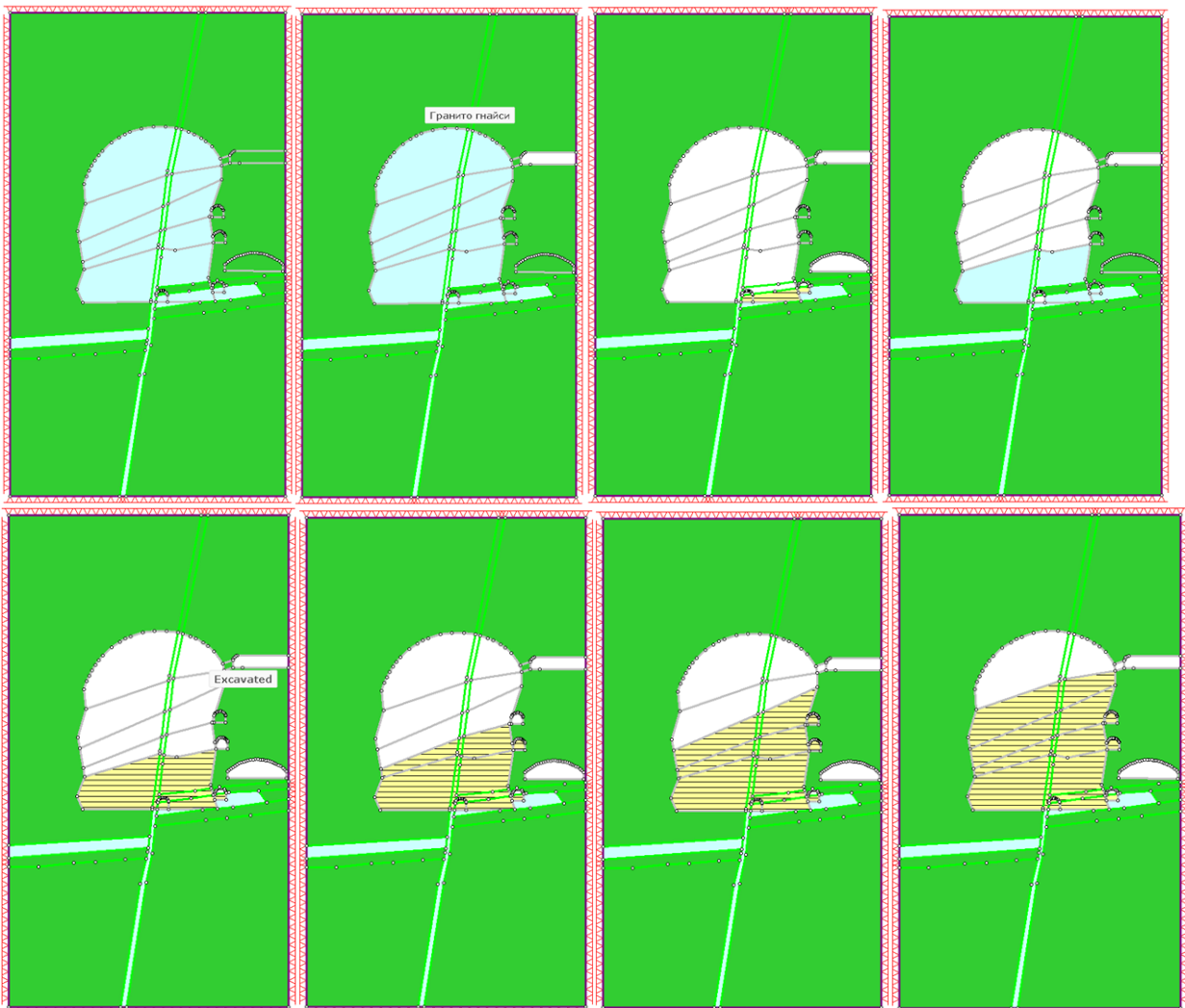
Отчитане на напреженията  $\sigma_1$  от естественото състояние (stage 1 - In Situ) на масива. Констатираните напрежения на при създаденият модел напълно удовлетворяват аналитично определеното и очаквано напрегнато състояние. Определянето на първичните деформации, настъпващи в свода и стените на изработката е по следните методи: [4]

- Чрез наблюдение в реални условия – опитни участъци;
- Чрез ососиметричен (axisymmetric) анализ;

Възприетият подход е чрез ососиметричен анализ. Данните от модела за Равнинно деформирано състояние за главните и минималните действащи напрежения са използвани при последващото ососиметрично изследване.

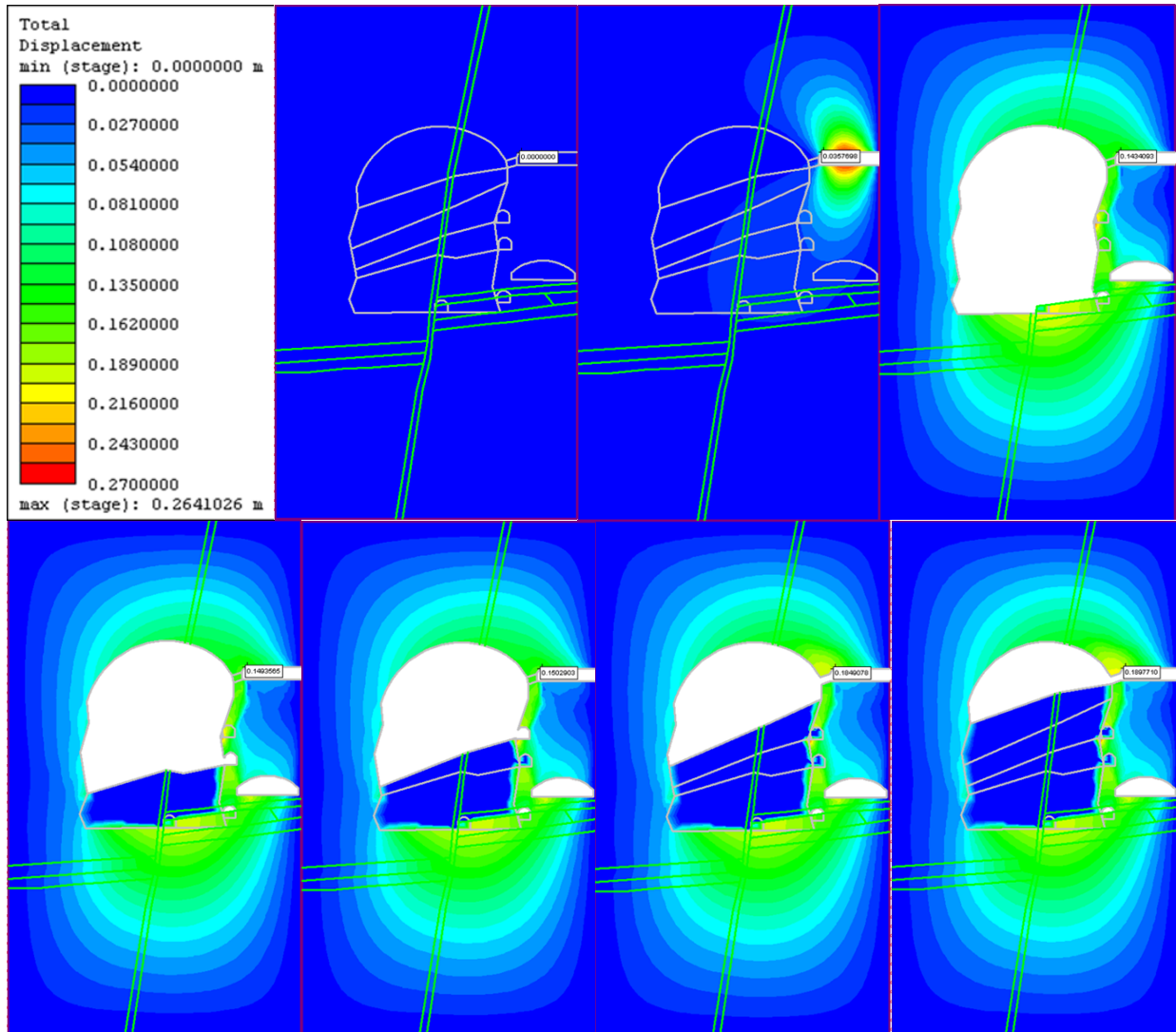
Етапите на минните работи са в следния ред:

- Прокарване на хор. 550
- Отработване на добивна камера 6
- Сбойка с камера 6 на 1-во ниво
- Прокарване на изработки източно от камера 6 и сбойки на няколко нива
- Сбойка на хор. 550 с камера 6



Фиг.5 - Напрежения, отчетени в масива при различните етапи на минните дейности

Резултатите от извършените маркшайдерски наблюдения са съпоставени с анализа и прогнозирането от специализирания софтуер. Получените стойности са релевантни.



Фиг.6 - Отчетена зона на изменение на "Strength Factor" и Отчитане на преместванията в свода на сечение при откопаване и след това запълнение и определено вътрешното натоварване.

Представено е основно действащото главно напрежение ( $\sigma_1$ ) около контурите на хор. 550 и камера 6, през основните етапи-преди прокарване (естествено поле на напрежения), при сбойките (индуцирано поле на напрежения) при етапите на зпълнение и при връзката между хор. 550 и камера 6, след запълнението (индуцирано плюс допълнително поле на напрежения).

#### Изводи и препоръки

С напредването на минните работи и увеличаването дълбочината на разработване в находищата в „ГОРУБСО - Мадан“, необходимостта от извършване на нови наблюдения и анализи нараства. Предвид новата идеология за добив на подземни богатства в находището, бързото образуване на големи празни пространства е предпоставка за наличие на премествания и активирание на процеса движение на скалите.



Съвременните методи за наблюдение и анализ на преместванията, както и своевременно взетите мерки, биха дали възможност за количествени оценки и набелязване на конкретни мероприятия за безопасна експлоатация и предотвратяване на аварии.

#### Литература

1. Атанасова, Д., ИЗГРАЖДАНЕ И НАБЛЮДЕНИЕ НА КОНТРОЛНО-ИЗМЕРВАТЕЛНА СТАНЦИЯ В ГЛАВНА ИЗВОЗНА ГАЛЕРИЯ В У-К „КРУШЕВ ДОЛ“, „ГОРУБСО-МАДАН“ АД- Осма национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство“, 04 – 07 октомври 2022, Девин, България
2. Балев, В., ИЗЧИСЛИТЕЛНИ МОДЕЛИ ЗА ПРОКАРВАНЕ НА МИННИ ИЗРАБОТКИ И ТУНЕЛИ ПРЕЗ ЗАПЪЛНЕНИ КАМЕРИ И ОТРАБОТЕНИ ПРОСТРАНСТВА
3. Цонков, Ал., М.Бегновска, Следене устойчивостта на скалния масив чрез маркшайдерски измервания при добив на оловно-цинкова руда за условията на р-к „Крушев дол“, „ГОРУБСО – МАДАН“ АД, VIII Международна конференция по геомеханика, 2-6 юли, Варна, 2018 г.,
4. Цонков, Ал., ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ИНВАРИАНТНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ДЕФОРМАЦИИТЕ ЧРЕЗ МАРКШАЙДЕРСКИ ИЗМЕРВАНИЯ