



ЗРГИМ

XV TO СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:
Технологија на подземна и површинска експлоатација на
минерални суровини

ПОДЕКС – ПОВЕКС '24

Струга
18 – 20. 10. 2024 год.

ИЗБОР НА НАЧИН ЗА ОТВОРАЊЕ НА ПОДЗЕМЕН РУДНИК

Стојанче Мијалковски¹, Александар Лазаровски², Николинка Донева¹

¹Факултет за природни и технички науки, Универзитет “Гоце Делчев”,
Штип, Северна Македонија

²Рудник “Саса” Дооел, М. Каменица Северна Македонија

Апстракт: Изборот на начинот за отворање на подземен рудник или продлабочување на веќе постоечки рудник, е прилично сложена и одговорна работа за секој рударски инженер и проектант. Повеќекритериумското одлучување наоѓа голема примена во рударството за решавање на многу проблеми, како што е и изборот на начинот за отворање на подземен рудник. При примената на повеќекритериумското одлучување се земаат во предвид поголем број на критериуми, според кои се врши избор на најоптимална алтернатива.

Во овој труд ќе биде даден краток опис за начините за отворање на подземните рудници, како и можноста за примената на методите за повеќекритериумско одлучување за избор на оптимален начин за отворање на подземен рудник.

Клучни зборови: отворање, подземен рудник, повеќекритериумско одлучување.

SELECTION THE WAY TO OPEN AN UNDERGROUND MINE

Stojance Mijalkovski¹, Aleksandar Lazarovski², Nikolinka Doneva¹

¹Faculty of Natural and Technical Sciences, University “Goce Delcev”, Stip, North
Macedonia

²Sasa Mine, M. Kamenica, North Macedonia

Abstract: Selecting a method for opening an underground mine or deepening an existing mine is a rather complex and responsible task for every mining engineer and designer. Multi-criteria decision-making is widely used in mining to solve many problems, such as choosing a way to open an underground mine. When applying multi-criteria decision-making, a greater number of criteria are taken into account, according to which the most optimal alternative is chosen.

This paper will give a brief description of the method of opening underground mines, as well as the possibility of applying methods for multi-criteria decision-making for choosing the optimal method of opening an underground mine.

Keywords: opening, underground mine, multi-criteria decision making.

1. ВОВЕД

Една од многу важните одлуки што ја донесува секоја голема рударска компанија е изборот на начинот за отворање на нов подземен рудник или продлабочување на веќе постоечки подземен рудник. Отворањето на подземниот рудник претставува почетна фаза во технолошкиот процес за подземна експлоатација

на наоѓалиштето, при што наоѓалиштето се поврзува со површината со изработка на различни видови на подземни простории. Просториите за отворање служат за транспорт и извоз на рудата, достава на материјали, превоз на работници, проветрување, одводнување и снабдување на јамата со погонска енергија [1].

Отворањето на подземниот рудник може да биде потполно (кога се отвора целокупното рудно наоѓалиште) или делумно (кога со подземните рударски простории се отвора само дел од рудното наоѓалиште). Отворањето може да се врши од површината или од некоја подземна рударска просторија, доколку рудникот напредува во длабочина и поради некоја причина не може да се отвори од површината [2, 3, 4, 5].

Просториите за отворање можат да се поделат на: главни простории за отворање (извозно окно, поткопи, рампи) и помошни простории за отворање (вентилациони и сервисни окна, главни пречни ходници до наоѓалиштето, навозишта, главна рудна сипка, водособирици, како и останати помошни објекти кои служат за подолг временски период).

Просториите за отворање мораат да бидат така димензионирани за да овозможат непречено остварување на планираното производство, безбедно движење на вработените, непречено движење на опремата и достава на репроматеријали, како и да овозможуваат брзо повлекување на вработените од јамата во случај на пожар, поплава итн.

2. НАЧИНИ ЗА ОТВОРАЊЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ РУДНИЦИ

Постојат основни и комбинирани начини за отворање на подземните рудници за експлоатација на наоѓалиштата на минерални сировини. Просториите за отворање можат да бидат лоцирани во наоѓалиштето, во подинските карпи, во кровинските карпи или во една од бочните страни на наоѓалиштето [1,2,3,4,5,6].

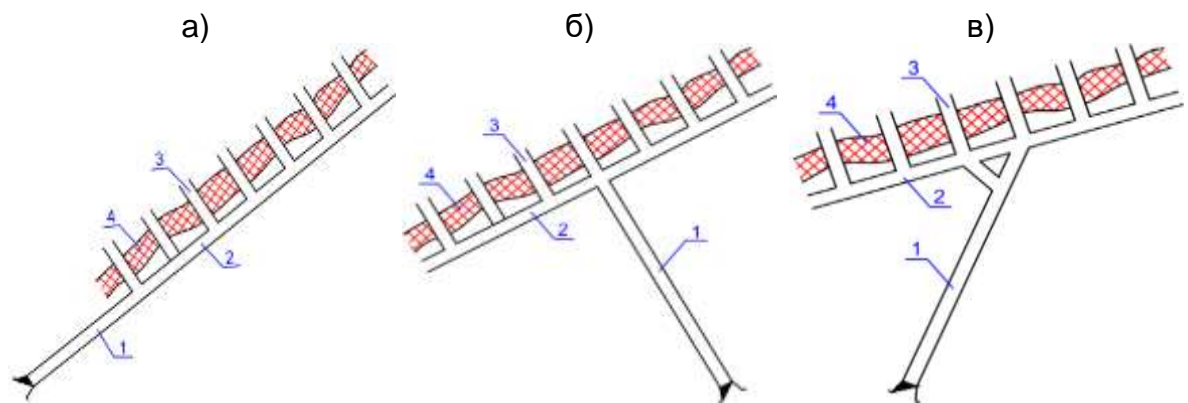
Основни начини за отворање на наоѓалиштата се:

- Отворање на наоѓалиштата со поткоп (слика 1);
- Отворање на наоѓалиштата со нископ или рампа (слика 2 и слика 3);
- Отворање на наоѓалиштата со вертикално окно (слика 4);
- Отворање на наоѓалиштата со косо окно (слика 5).

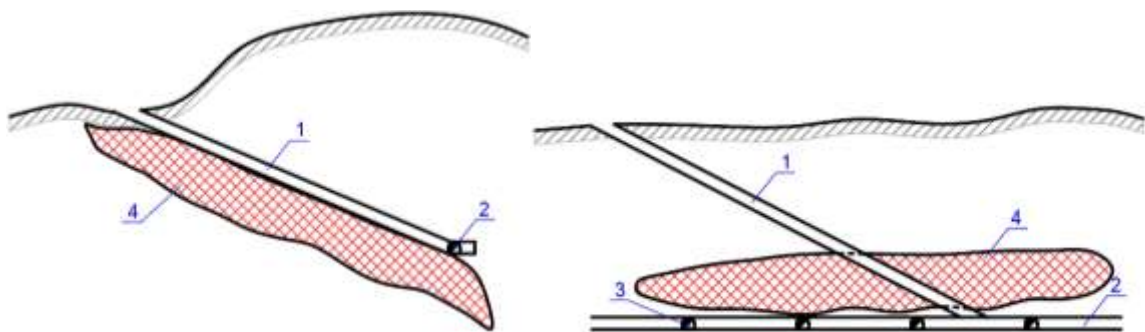
Комбинираниот начин на отворање претставува меѓусебна комбинација на основните начини на отворање.

Најчести начини за комбинирано отворање на наоѓалиштата се следниве:

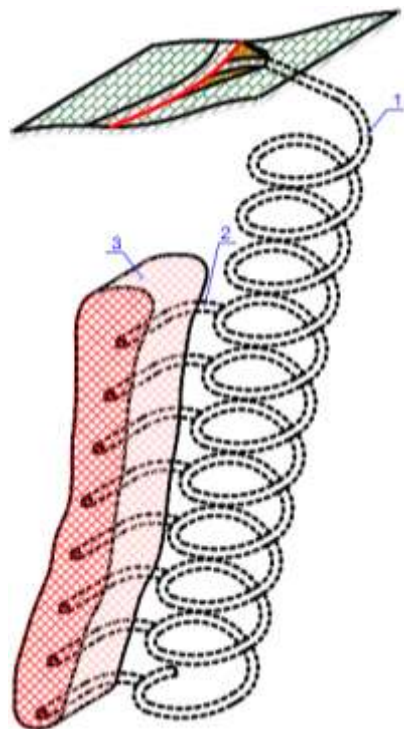
- Отворање на горните делови на наоѓалиштето со поткоп, а долните делови со вертикално слепо окно;
- Отворање на повисоките делови на наоѓалиштето со поткоп, а пониските делови со косо слепо окно или нископ;
- Отворање на повисоките делови на наоѓалиштето со вертикално окно, а пониските делови со косо слепо окно или нископ;
- Отворање на повисоките делови на наоѓалиштето со косо окно или нископ, а пониските со вертикално слепо окно;
- Отворање на повисоките делови на наоѓалиштето со косо окно, а пониските со нископ;
- Отворање на повисоките делови на наоѓалиштето со вертикално окно, а пониските со вертикално слепо окно.



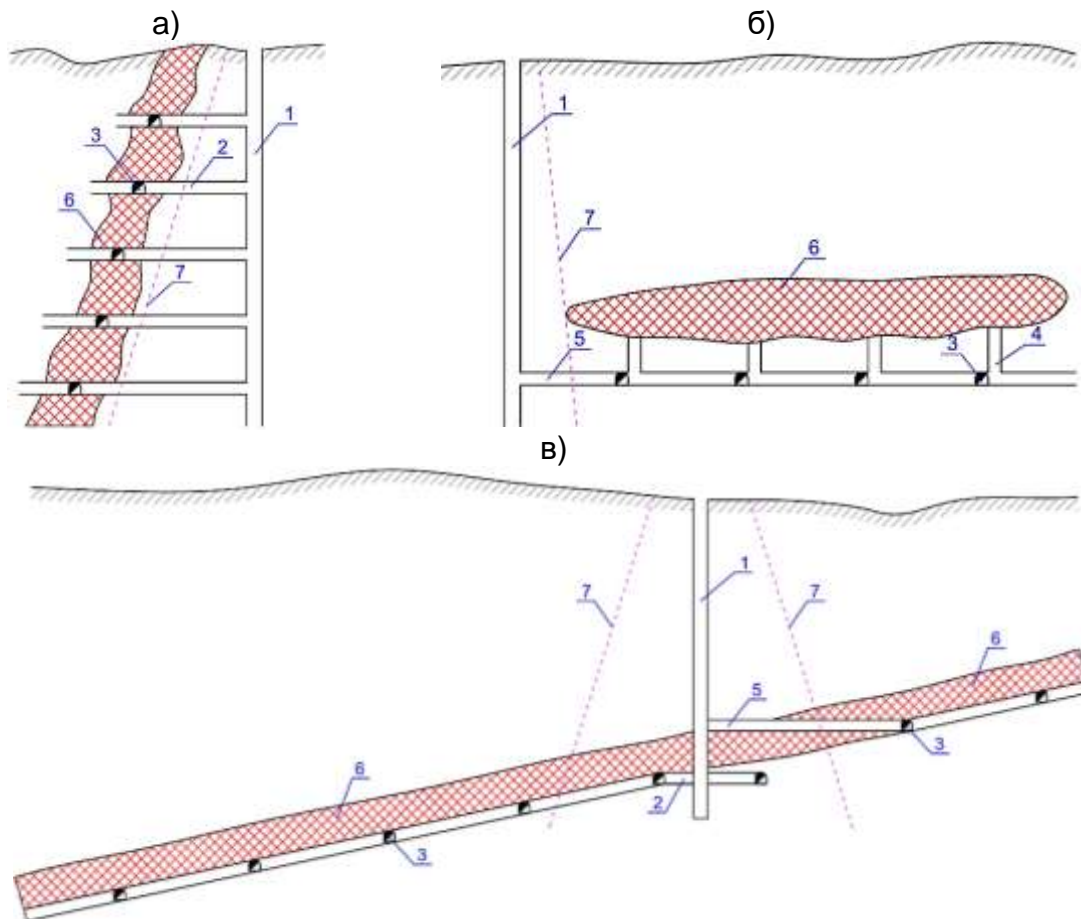
Слика 1. Отворање на наоѓалишта со поткоп: а) по правецот на протегање, б) попречно на правецот на протегање, в) дијагонално на правецот на протегање на наоѓалиштето (1 – поткоп, 2 – насочен ходник, 3 – пречен ходник, 4 – руда)



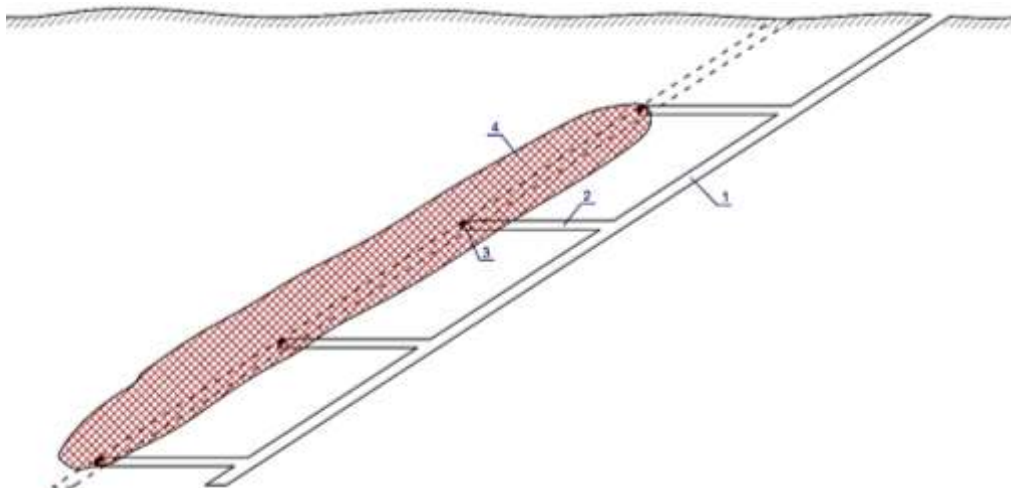
Слика 2. Отворање на косо и хоризонтално рудно наоѓалиште со нископ (1 – нископ, 2 – насочен ходник, 3 – попречен ходник, 4 – руда)



Слика 3. Отворање на рудно наоѓалиште со рампа (1 – рампа, 2 – пристапен ходник, 3 – руда)



Слика 4. Отворање на стрмно и хоризонтално наоѓалиште со вертикално окно
 (1 – окно, 2 – пристапен ходник, 3 – насочен ходник, 4 – рудна сипка,
 5 – транспортен ходник, 6 – руда, 7 – заштитен столб)



Слика 5. Отворање на рудно наоѓалиште со косо окно
 (1 – окно, 2 – пристапен ходник, 3 – насочен ходник, 4 – руда)

3. ИЗБОР НА НАЧИНОТ ЗА ОТВОРАЊЕ

Изборот на начинот за отворање на наоѓалиштата, како и изборот на локацијата на просториите за отворање, се врши со економска анализа (обемот на

инвестициските вложувања и степенот на амортизација, односно вредноста на капиталните и оперативните трошоци) на можните варијанти за отворање [2]. Врз основа на технологијата за експлоатација на наоѓалиштето потребно е да се дефинираат можните варијанти за отворање. Доколку разгледуваното наоѓалиште е составено од едно рудно тело, тогаш постојат помал број на варијанти за отворање. Спротивно на тоа, во случај разгледуваното наоѓалиште да е составено од повеќе рудни тела, тогаш се зголемува бројот на варијанти за отворање на истото.

За секоја од можните варијанти за отворање кои се анализираат, се одредуваат трошоците за изработка, опремата и одржувањето на објектите за отворање и придружните објекти на површината на теренот, како и трошоците за транспорт, извоз, одводнување итн. Понекогаш за некои од можните варијанти за отворање е потребно да се разработат и да се анализираат неколку подваријанти. Најповолната подваријанта се усвојува како важечка варијанта за отворање и како таква се вклучува во понатамошната постапка за анализа на можните варијанти за отворање [2, 3, 4, 5, 6].

При споредување на вкупните трошоци за можните варијанти на отворање, многу е значајно доколку е изводливо да се издвојат:

- Моментално потребниот обем на инвестициски вложувања за отворање на наоѓалиштето;
- Обем на инвестициските вложувања кои можат подоцна да бидат актуелни во текот на веќе започнатата експлоатација на наоѓалиштето, односно во текот на отворањето на нови хоризонти, рудни тела или ревири.

Многу е важно да се напомене дека потполно е погрешно доколку се врши просто собирање на директните трошоци за отворање (изработка и опрема за објектите за отворање) и трошоците за транспорт, извоз, одводнување итн. Наведените трошоци значајно се разликуваат во текот на целиот период на инвестициските вложувања.

4. ПРИМЕНА НА МЕТОДИТЕ ЗА ПОВЕЌЕКРИТЕРИУМСКО ОДЛУЧУВАЊЕ ПРИ ИЗБОР НА НАЧИН ЗА ОТВОРАЊЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ РУДНИЦИ

Постојат голем број на методи за повеќекритериумско одлучување, кои можат да се применат во процесите на одлучување при проектирање и планирање во рударството [7,8,9,...,16,17,18]. Како најчесто применувани методи за повеќекритериумско одлучување, за решавање на проблеми во рударството би можело да се издвојат следниве: метода ELECTRA, метода PROMETHEE, метода ANP, ANP – PROMETHEE интегрирана методологија, метода VIKOR, метода TOPSIS, метода EDAS и др. Овие методи многу успешно можат да бидат применети за избор на начин за отворање на подземен рудник.

Параметрите, односно критериумите според кои ќе се споредуваат потенцијалните начини за отворање на подземниот рудник (алтернативите), можат да бидат квантитативни и квалитативни. Во суштина одлучувањето претставува избор на една алтернатива од повеќе можни алтернативи за дадениот проблем. За да може да се примени одлучување, потребно е да постојат две или повеќе можни алтернативи за дадениот проблем. Примената на одлучувањето за решавање на даден проблем може да биде еднокритериумско или повеќекритериумско. Кај еднокритериумското одлучување се применува само еден критериум, додека пак кај

повеќекритериумското одлучување се применуваат повеќе критериуми според кои се донесува конечната одлука. Еднокритериумската оптимизација користи само еден критериум при оптимизирањето, со што се намалува реалното решение за дадениот проблем. Повеќекритериумската оптимизација користи повеќе критериуми, со што добиеното решение е најоптимално за дадениот проблем [7].

Зголемениот број на критериуми во моделите на повеќекритериумската оптимизација значат не само реализирање на моделирањето, туку и пред се зголемување на веродостојноста во добиените резултати. Процесот на оптимизација е во директна субјективна врска со доносителот на одлуката, односно експертот.

Големиот број на критериуми освен тоа што има свои предности, секако има и свои недостатоци. Недостатоците се предизвикани од големиот број на критериуми, од начинот на нивното дефинирање, дефинирањето на нивните влијанија, односно тежини во самиот модел, што од своја страна го прави овој процес на математичко моделирање комплексен. Дури и во денешни услови на развој на математиката како наука, не постои ниту една метода која би се карактеризирала со општост и моќност во решавањето на моделот.

Историски гледано, развојот на методите за повеќекритериумската оптимизација започнал со решавање на проблеми чекор по чекор, односно се развивале методи за конкретни проблеми. Со понатамошно истражување дошло до нивно обопштување и развивање во општи - формализирани методи за решавање на група или класи на проблеми.

Методите на повеќекритериумската оптимизација можат да се класифицираат во две поголеми групи, и тоа:

- Методи на повеќекритериумско одлучување или попознато како повеќекритериумска анализа;
- Методи на повеќекритериумско одлучување.

Иако методите на повеќекритериумската оптимизација се доста сложени, сепак истите имаат некои заеднички карактеристики како што се:

- Голем број на критериуми (ги креира доносителот на одлуката);
- Постојење на конфликтност помеѓу критериумите;
- Секој критериум има своја единица мерка и тежина (ретки се случаевите кога овој услов не е исполнет);
- Субјективност во оптимизацијата (влијанието на доносителот на одлуката);
- Решенијата на овие видови на проблеми се:
 - Проектирање на најдобри акции (алтернативи);
 - Избор на најдобра акција од множество на претходно дефинирани конечни акции.

5. ЗАКЛУЧОК

Кога се врши проектирање или планирање во рударството, потребно е да се води сметка за да се постигне што поголем работен учинок, да се обезбедат сигурни услови за работа, да има што помали работни трошоци, односно да се постигне што поголема финансиска добивка од работењето на рудникот. За да бидат исполнети сите овие барања, потребно е да се земат во предвид поголем број на влијателни параметри, односно критериуми. Сите критериуми немаат

исто влијание врз сите алтернативи, односно еден критериум може да има поголемо влијание врз една алтернатива, а помало врз останатите и обратно. Методите за повеќекритериумско одлучување овозможуваат вклучување на поголем број критериуми, односно релевантни фактори со што се постигнува и поголема точност при изборот, односно при донесувањето на конечната одлуката. Од методите за повеќекритериумско одлучување најмногу применувани за решавање на проблеми во рударството се: методата ELECTRA, методата PROMETHEE, методата AHP, методата VIKOR, методата TOPSIS, методата EDAS и др.

При донесувањето на конечна одлука за избор на начинот за отворање на подземен рудник, пожелно е конкретниот проблем да се реши со примена на повеќе методи за повеќекритериумско одлучување, а потоа да се изврши споредување на добиените резултати и тогаш да се донесе конечната одлука, односно да се избере најоптималната алтернатива.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мијалковски С., Десподов З.: *Отворање и разработка на рудни наоѓалишта за подземна експлоатација* (рецензирана скрипта), УГД, ФПТН, Штип, 2015;
- [2] Мијалковски С., Десподов З., Аџиски В.: *Технологија на подземна експлоатација* (рецензирана скрипта), УГД, ФПТН, Штип, 2018;
- [3] Milicevic, Z., & Milic, V. (2013). *Tehnologija podzemne eksploatacije ležišta mineralnih sirovina*. Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor;
- [4] Торбица, С., и Лапчевић, В. (2020). *Методы подземного откопавања*, (Авторизирана скрипта). Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Београд;
- [5] Торбица, С., и Петровић, Н. (1997). *Методы и технологија подземне експлоатације неслојевитих лежишта*, (приручник у настави). Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Београд;
- [6] Мијалковски С., Десподов З., Мираковски Д., Хаџи-Николова М.: *Избор на начинот за отворање на рудни наоѓалишта за подземна експлоатација*, VII Стручно советување на тема: Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини (ПОДЕКС-ПОВЕКС'14), ЗРГИМ, Радовиш, 2014;
- [7] Mijalkovski, S., Efe, F.O. & Zeqiri, K. (2023). Chapter 3: *Application of Multi-Criteria Decision-Making Methods for the Underground Mining Method Selection*. In: Handbook of Research on Sustainable Consumption and Production for Greener Economies, IGI GLOBAL. Pennsylvania, 42-57.
- [8] Mijalkovski, S., Despodov, Z., Mirakovski, D., Hadzi-Nikolova, M., Doneva, N., Gocevski, B., *Mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE method*, PODEKS-POVEKS 2012, pp. 121-127, 2012;
- [9] Mijalkovski, S., Despodov, Z., Mirakovski, D., Hadzi-Nikolova, M., Doneva, N., Gocevski, B., *Practical example for mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE method*, PODEKS-POVEKS 2012, pp. 128-133, 2012;
- [10] Mijalkovski, S., Despodov, Z., Mirakovski, D., Adjiski, V., Doneva, N., Mijalkovska, D.: *Mining method selection for underground mining with the application of PROMETHEE method*, 3rd International Multidisciplinary Geosciences Conference (IMGC 2021), University of Mitrovica "Isa Boletini", Mitrovica, 14-15.10.2021.
- [11] Mijalkovski Stojance, Dragi Peltechki Zoran Despodov, Dejan Mirakovski, Vanco

- Adjiski, Nikolinka Doneva: *Application of the FUZZY TOPSIS method for selecting an underground mining method*, Acta Montanistica Slovaca, Union of Metallurgy, Mining Industry and Geology of Slovak Republic, the Slovak Mining Society, the Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies (FBERG) of the Technical University of Kosice (Slovakia), and the Faculty of Mining and Geology (HGF) of the VSB Technical University of Ostrava (Czech Republic), Vol. 28, No. 2, pp. 465-478, 2023. IF 1.833.
- [12] Mijalkovski Stojance, Omer Faruk Efe, Zoran Despodov, Dejan Mirakovski, Daniela Mijalkovska: *Underground mining method selection with the application of TOPSIS method*, GeoScience Engineering journal, VSB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Czech Republic, Vol. 68, No. 2, pp. 125-133, 2022.
- [13] Mijalkovski Stojance, Dejan Mirakovski, Daniela Mijalkovska: *Underground mining method selection with the application of ELECTRE method*, 4th International Multidisciplinary Geosciences Conference (IMGC 2022), University of Mitrovica "Isa Boletini", Mitrovica, 13-14.10.2022.
- [14] Мијалковски Стојанче, Зоран Десподов, Дејан Мираковски, Ванчо Аџиски, Николинка Донева, Ванчо Гоцевски: *Примена на методи за повеќекритериумско одлучување при избор на рударска откопна метода за подземна експлоатација*, Тринаесето стручно советување "Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини", ЗРГИМ, Охрид, 2022.
- [15] Mijalkovski Stojance, Zoran Despodov, Dejan Mirakovski, Vancho Adjiski, Nikolinka Doneva, Daniela Mijalkovska: *Mining method selection for underground mining with the application of VIKOR method*, Undergorund mining engineering, University of Belgrade – Faculty of Mining and Geology, Number 39, pp. 11-22, Belgrade, December 2021.
- [16] Mijalkovski Stojance, Dragi Peltechki, Zoran Despodov, Dejan Mirakovski, Vancho Adjiski, Nikolinka Doneva: *Methodology for underground mining method selection*, Mining Science (Previously Prace Naukowe Instytutu Gornictwa Politechniki Wroclawskiej, ISSN 0370-0798 in Polish), ISSN 2353-5423, Volume 28, pp. 201-216, December 2021.
- [17] Mijalkovski Stojance, Dragi Peltecki, Kemajl Zeqiri, Joze Kortnik, Dejan Mirakovski: *Risk assessment at workplace in underground lead and zinc mine with application of Fuzzy Topsis Method*, Journal of the Institute of Electronics and Computer, IEC Science, 2020.
- [18] Mijalkovski Stojance, Zoran Despodov, Dejan Mirakovski, Marija Hadzi-Nikolova, Nikolinka Doneva, Borce Gocevski: *Mining method selection for deeper parts of "Svinja reka" ore deposit – "SASA" mine*, 5th Jubilee Balkan Mining Congress, Ohrid, 18-21 September 2013.