



ЗРГИМ
Здружение на
рударски и
геолошки инженери
на Р. Македонија

XIII TO СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

Технологија на подземна и површинска експлоатација на
минерални сировини

ПОДЕКС – ПОВЕКС '22

Охрид
14 – 16. 10. 2022 год.

ПРИМЕНА НА МЕТОДИ ЗА ПОВЕКЕКРИТЕРИУМСКО ОДЛУЧУВАЊЕ ПРИ ИЗБОР НА РУДАРСКА ОТКОПНА МЕТОДА ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА

**Стојанче Мијалковски¹, Зоран Десподов¹, Дејан Мираковски¹,
Ванчо Аџиски¹, Николинка Донева¹, Ванчо Гоцевски²**

¹Универзитет „Гоце Делчев“, Факултет за природни и технички науки,
Штип, Р. Северна Македонија

¹ДИТИ, Скопје, Р. Северна Македонија

Абстракт: Еден од најважните делови во процесот за отворање на нов рудник или разработување на нов дел во веќе постоечки рудник е избор на рударска откопна метода. При изборот на рударска откопна метода е потребно да се земат во предвид голем број на влијателни параметри, при што во тој случај ќе се добие најсоодветната рударска откопна метода. Примената на методите за повеќекритериумско одлучување се од голема важност за решавање на вакви сложени проблеми, бидејќи овозможуваат разгледување на голем број влијателни параметри.

Во овој труд ќе бидат споменати неколку методи за повеќекритериумско одлучување, кои се имаат применето за избор на рударска откопна метода и потоа е извршено споредување на добиените резултати за да се одреди просечното рангирање на рударските откопни методи.

Клучни зборови: избор на рударска откопна метода, подземна експлоатација, методи за повеќекритериумско одлучување.

APPLICATION OF MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHODS FOR UNDERGROUND MINING METHOD SELECTION

**Stojance Mijalkovski¹, Zoran Despodov¹, Dejan Mirakovski¹,
Vancho Adjiski¹, Nikolinka Doneva¹, Vanko Gocevski²**

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

²STI, Skopje, R. of North Macedonia

Abstract: One of the most important parts in the process of opening a new mine or developing a new section in an existing mine is the mining method selection. When mining method selection, it is necessary to take into account a large number of influential parameters, in which case the most suitable mining method will be obtained. The application of multi-criteria decision-making methods is of great importance for solving such complex problems, because they enable the consideration of a large number of influential parameters.

In this paper, several multi-criteria decision-making methods that were applied in the mining method selection will be mentioned, and then a comparison of the obtained results was made in order to determine the average ranking of the mining methods.

Keywords: *mining method selection, underground mining, multi-criteria decision-making methods.*

1. ВОВЕД

Рударството е област во која се среќаваме со многу сложени проблеми, кои честопати е потребно да се решат за многу краток временски период. Еден од најсложените проблеми е избор на рударска откопна метода за подземна експлоатација. Сложеноста на ова прашање потекнува од самиот факт дека применетата рударска откопна метода има директно влијание врз остварениот профит на рудникот, а со тоа има директно влијание врз финансиското работење на целиот рудник [1].

Кога се врши избор на рударска откопна метода, потребно е да бидат земени во предвид голем број на влијателни параметри, кои можат да бидат квантитативни или квалитативни. Квантитативните параметри можат да бидат измерени или пресметани со примена на соодветни формули, додека пак квалитативните параметри неможат да се измерат и се дефинираат со описни оценки, па за да можат да бидат користени за понатамошни пресметувања потребно е да се трансформираат во нумерички вредности. Сите параметри што имаат влијание при изборот на рударска откопна метода можат да се поделат во три групи [2] и тоа:

- рударско – геолошки параметри, како што се: обликот на рудното тело, моќноста на рудното тело, аголот на залегнување на рудното тело, длабочината на залегнување на рудното тело, распространетоста на орудувањето, цврстината на карпестата маса, растојанието помеѓу пукнатините, цврстината на смолкнување на пукнатините и др.;
- рударско – технички параметри, како што се: годишното производство, применетата механизација, безбедноста и здравјето при работа, влијанието врз животната средина, осиромашувањето (разблажувањето) на рудата, искористувањето на рудата, коефициентот на подготвителни работи, откопниот учинок, флексибилноста на методата и др.;
- економски параметри, како што се: капиталните трошоци, оперативните трошоци, вредноста на откопаната руда, цената на чинење на еден тон руда и др.

2. МЕТОДОЛОГИЈА

Постапката за избор на рударска откопна метода може да се подели во две фази [3] и тоа:

- Рационален избор на рударска откопна метода;
- Оптимален избор на рударска откопна метода.

Во првата фаза, односно при рационалниот избор на рударска откопна метода се врши селектирање и издвојување на рударските откопни методи според рударско – геолошките параметри. Целта на ова рангирање е да се намали бројот на рударски откопни методи, кои ќе бидат разгледувани во втората фаза. Многу автори вршеле истражувања за избор на рударска откопна метода според рударско – геолошките параметри, при што се разработени повеќе постапки за

селектирање на рударските откопни методи, како што се: постапката според Boshkov и Wright, Morrison, Nicholas, Laubscher, Hartman, UBC, Sh&B и др. За рационален избор на рударска откопна метода во овој труд е користена постапката според Nicholas [4] и според UBC [5]. Откако беа споредени добиените резултати според двете постапки (Табела 1), ги издвоивме првите четири најдобро рангирани рударски откопни методи и тие претставуваат алтернативи во повеќекритериумското одлучување.

Табела 1. Рангирање на рударските откопни методи според Nicholas и UBC

Реден број	Метода на откопување	Ранг според Nicholas	Ранг според UBC	Просечен ранг
1	Метода на откопување со блоковно зарушување	4	6	5
2	Подетажна метода на откопување со отворени откопи	8	2	5
3	Подетажна метода на откопување со зарушување	5	4	4,5
4	Коморно-столбна откопна метода	7	5	6
5	Магацинска метода на откопување	3	3	3
6	Метода на откопување со засипување на откопаниот простор	1	1	1
7	Метода на откопување со зарушување на кровинските карпи (Top slice)	6	7	6,5
8	Метода на откопување со квадратни слогови	2	8	5

Откако ќе се изврши селектирање на рударските откопни методи според рударско – геолошките параметри, помеѓу првите четири најдобро рангирани рударски откопни методи се врши оптимален избор, односно избор врз основа на рударско – техничките и економските параметри.

Во втората фаза, односно при оптималниот избор на рударска откопна метода, можат да бидат користени повеќе методи за повеќекритериумско одлучување, како што се: ANP, PROMETHEE, ELECTRE, TOPSIS, VIKOR, EDAS, WPM и други. Во моите досегашни истражувања имам користено повеќе методи за повеќекритериумска оптимизација, со цел за избор на рударска откопна метода. Во 2012 година ја користев интегрираната ANP и PROMETHEE метода за избор на рударска откопна метода [6]. Во 2013 година ја користев ANP, PROMETHEE и ANP – PROMETHEE интегрираната метода за избор на рударска откопна метода во рудникот CACA [1]. Во 2021 година ја користев методата PROMETHEE за избор на рударска откопна метода за подземна експлоатација [7]. Во 2021 година ја користев методата VIKOR за избор на рударска откопна метода за подземна експлоатација [8]. Во 2022 година ја користев методата TOPSIS за избор на рударска откопна метода за подземна експлоатација [9]. Во 2020 година ја користев методата Fuzzy TOPSIS за проценка на ризик на работните места во подземните рудници за олово и цинк [10].

3. СТУДИЈА НА СЛУЧАЈ

Во овој труд се разгледува активен подземен рудник за олово и цинк, каде се отвора нов дел и потребно е да се избере соодветна рударска откопна метода. Во досегашното работење на рудникот, се применувани четирите рударски откопни методи кои се добија како најдобро рангирани според UBC методологијата, односно според рационалниот избор (избор според рударско –

геолошките фактори) и ќе претставуваат алтернативи за избор на рударска откопна метода (Табела 2). Бидејќи овие рударски откопни методи се имаат користено за откопување на некои делови во ова рудно наоѓалиште, постојат ориентациони параметри за овие рударски откопни методи. За оптималниот избор на рударска откопна метода ќе користиме неколку методи за повеќекритериумско одлучување. За оваа цел ќе користиме осум рударско технички и економски параметри, кои ќе претставуваат критериуми според кои ќе ги споредуваме алтернативите (Табела 3). Секој критериум има различна тежина, односно влијание врз алтернативните решенија. Во оваа студија тежините на критериумите се донесени со гласање, односно во консултација со група од 15 експерти од областа на подземната експлоатација, се со цел да се минимизира субјективноста при оптимизацијата. Дефинирањето на тежините во консултација со експерти е донесено на тој начин што секој експерт има дадено свое мислење за тежините на критериумите, а за понатамошните пресметувања е земена средна вредност (Табела 3). Исто така, во табела 3 е дадена целта кон која се стремат критериумите (max или min) и категоријата на класификација на истите (квантитативни или квалитативни). Некои критериуми се класифицираат во категоријата на квантитативни (можат да се измерат или пресметаат), а некои критериуми се класифицираат како квалитативни (неможат да се измерат). Квалитативните критериуми се дефинирани со описни оценки, па за да можат да се користат за понатамошни пресметувања потребно е да се трансформираат во нумерички вредности. Оваа трансформација може да се врши на повеќе начини и тоа со помош на интервална скала, квалитативна скала, биполарна скала, линеарна скала за трансформација и др. Во оваа студија беше користена интервалната скала за трансформирање на квалитативните во квантитативни вредности.

Табела 2. Алтернативи за избор на рударска откопна метода

Алтернативи	Ознака
Метода на откопување со засипување на откопаниот простор	A ₁
Подетажна метода на откопување со отворени откопи	A ₂
Магацинска метода на откопување	A ₃
Подетажна метода на откопување со зарушување	A ₄

Табела 3. Критериуми за избор на рударска откопна метода

Критериуми	Ознака	Тежини на критериумите	Дефинирање
Вредност на откопаната руда	K ₁	0,1900	Овој критериум е квантитативен и се стреми кон max. Вредноста на откопаната руда претставува нето вредност на корисната компонента содржана во 1 t руда, после флотациската и металуршката преработка, намалена за трошоците од металуршката преработка. Вредностите за критериумот K ₁ се добиени со посебно пресметување за секоја алтернатива.
Безбедност и здрави услови за извршување на работните операции	K ₂	0,1200	Овој критериум се стреми кон max. Овој критериум е квалитативен, па поради тоа му се доделуваат квалитативни оценки за секоја алтернатива.

Коефициент на подготвителни работи	K ₃	0,1150	Овој критериум е квантитативен и се стреми кон min. Вредноста за овој критериум е земена од литературата, соодветно за секоја алтернатива.
Искористување на рудата при откопување	K ₄	0,1400	Овој критериум е квантитативен и се стреми кон max. Коефициентот на искористување претставува однос на откопаната руда од наоѓалиштето и вкупното количество на руда во наоѓалиштето. Вредноста за овој критериум е земена од литературата, соодветно за секоја алтернатива.
Коефициент на осиромашување на рудната супстанца	K ₅	0,0900	Овој критериум е квантитативен и се стреми кон min. Коефициентот на осиромашување на рудата претставува однос на придојдената и со рудата помешана јаловина, и вкупното количество на равна руда. Вредноста за овој критериум е земена од литературата, соодветно за секоја алтернатива.
Цена на чинење на еден тон (1 t) руда	K ₆	0,1850	Овој критериум е квалитативен и се стреми кон min. Вкупните трошоци за производство на еден тон руда се нарекуваат "цена на чинење". Значи, под поимот цена на чинење кај производството на руда се подразбира збир од сите трошоци за производство и флотациска преработка на рудата.
Откопен учинок	K ₇	0,0975	Овој критериум е квантитативен и се стреми кон max. Откопниот учинок претставува продуктивноста на работникот во процесот на откопување. Вредноста за овој критериум е земена од литературата, соодветно за секоја алтернатива.
Деградиција на теренот и останати влијанија врз животната средина	K ₈	0,0625	Овој критериум се стреми кон min. Овој критериум е квалитативен, па поради тоа му се доделуваат квалитативни оценки за секоја алтернатива.

После извршената анализа за оценка на поединечните критериуми за секое алтернативно решение, а врз основа на теоријата и врз основа на наша проценка е извршено дефинирање на повеќекритериумскиот модел (Табела 4).

Табела 4. Влезен модел за повеќекритериумско одлучување

Алтернативи	Критериуми							
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈
Цел	max	max	min	max	min	min	max	min
A ₁	93.300	7.000	8.650	94.000	6.000	9.000	15.000	3.000
A ₂	81.600	5.000	23.900	80.000	18.000	7.000	22.000	5.000
A ₃	88.200	7.000	17.550	85.000	12.000	7.000	10.000	3.000
A ₄	77.300	9.000	2.560	75.000	22.000	3.000	30.000	9.000
Тежина на критериумите	0.1900	0.1200	0.1150	0.1400	0.0900	0.1850	0.0975	0.0625

После извршеното пресметување според повеќе методи за повеќекритериумска оптимизација, извршено е споредување на добиените резултати (Табела 5) и пресметан е просечен ранг на алтернативите (Табела 6).

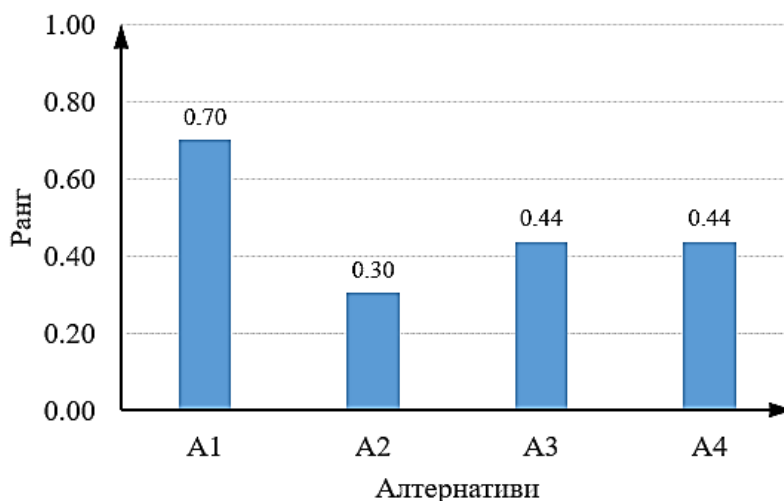
Табела 5. Рангирање на алтернативите

Алтернативи	AHP	PROMETHEE	AHP-PROMETHEE	ELECTRE	TOPSIS	VIKOR	EDAS
A ₁	1	1	1	1	2	2	2
A ₂	3	4	4	1	4	3	4
A ₃	2	3	3	1	3	1	3
A ₄	4	2	2	2	1	4	1

Табела 6. Просечно рангирање на алтернативите

Алтернативи	Просечно рангирање	Ранг
A ₁	1,43	0,70
A ₂	3,29	0,30
A ₃	2,29	0,44
A ₄	2,29	0,44

Од **табела 6** можеме да заклучиме дека најприфатлива алтернатива е “A₁”, односно Метода на откопување со засипување на откопаниот простор (**Слика 1**). Алтернативите “A₃” и “A₄” се наоѓаат на вториот ранг и последно рангирана алтернатива е A₂ (A₁ → A₃ = A₄ → A₂).

**Слика 1.** Рангирање на алтернативите

4. ЗАКЛУЧОК

Како што веќе кажавме и претходно, правилниот избор на рударска откопна метода за подземна експлоатација е од многу голема важност, бидејќи има директно влијание врз финансиското работење на рудникот. Поради големата важност за правилен избор на рударска откопна метода, многу автори ја проучувале оваа проблематика. Заеднички заклучок од повеќето автори кои ја истражувале оваа проблематика е дека постапката за избор на рударска откопна метода се состои од две фази и тоа: рационален и оптимален избор на рударска откопна метода.

За да можеме да ја избереме најсоодветната рударска откопна метода, потребно е да земеме во предвид што повеќе влијателни параметри (рударско-геолошки, рударско-технички и економски параметри).

Примената на методите за повеќекритериумско одлучување овозможуваат избор на најсоодветна алтернатива од множество на предложени алтернативи, кои што се споредуваат според повеќе влијателни критериуми.

Во овој труд се применети повеќе методи за повеќекритериумско одлучување, со цел избор на најсоодветна рударска откопна метода. Притоа беа разгледани четири алтернативи, односно рударски откопни методи и истите беа споредувани помеѓу себе според осум критериуми. Резултатите што се добија според различните методи за повеќекритериумско одлучување, се споредија помеѓу себе и се изврши просечно рангирање на алтернативите. На овој начин, како најдобро рангирана рударска откопна метода се доби Методата на откопување со засипување на откопаниот простор.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Mijalkovski, S., Despodov, Z., Mirakovski, D., Hadzi-Nikolova, M., Doneva, N. and Gocevski, B. (2013): *Mining method selection for deeper parts of "Svinja Reka" ore deposit – "SASA" mine*. In: 5th Balkan mining congress, Ohrid, September 2013, pp. 133-136.
- [2] Bogdanovic, D., Nikolic, D. and Ilic, I. (2012): *Mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE method*. Annals of the Brazilian Academy of Sciences, Vol.84, No 1, pp.219–233.
- [3] Mijalkovski, S., Peltecki, D., Despodov, Z., Mirakovski, D., Adjiski, V. and Doneva, N. (2021): *Methodology for underground mining method selection*. Mining science, Vol.28, pp. 201-216.
- [4] Mijalkovski, S., Zeqiri, K., Despodov, Z. and Adjiski V. (2022): *Underground mining method selection according to Nicholas methodology*. Natural Resources and Technology, Vol.XVI, No.1, pp. 5-11.
- [5] Mijalkovski, S., Despodov, Z., Mirakovski, D., Adjiski, V. and Doneva, N. (2022): *Application of UBC methodology for underground mining method selection*. Underground mining engineering. Vol. 40, No.1, pp. 15-26.
- [6] Mijalkovski, S., Despodov, Z., Mirakovski, D., Hadzi-Nikolova, M., Doneva, N., Gocevski, B. (2012): *Mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE method*. PODEKS-POVEKS 2012, pp. 121-127.
- [7] Mijalkovski, S., Despodov, Z., Mirakovski, D., Adjiski, V., Doneva, N. and Mijalkovska, D. (2021): *Mining method selection for underground mining with the application of PROMETHEE method*. 3st International Multidisciplinary Geosciences Conference (IMGC 2021): October 14-15, 2021, Mitrovica, Kosovo. pp. 84-91.
- [8] Mijalkovski, S., Despodov, Z., Mirakovski, D., Adjiski, V., Doneva, N. and Mijalkovska, D. (2021): *Mining method selection for underground mining with the application of VIKOR method*. Underground mining engineering. Vol. 39, No.2, pp. 11-22.
- [9] Mijalkovski, S., Efe, O.F., Despodov, Z., Mirakovski, D. and Mijalkovska, D. (2022): *Underground mining method selection with the application of TOPSIS method*. GeoScience Engineering. Vol. 68, No. 2, pp. 125-133.
- [10] Mijalkovski, S., Peltechki, D., Zeqiri, K., Kortnik, J. and Mirakovski, D. (2020): *Risk assessment at workplace in underground lead and zinc mine with application of Fuzzy TOPSIS method*. Journal of the Institute of Electronics and Computer. Vol.2, pp. 121-141.