



ЗРГИМ

XVI^{TO} СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:
Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални
суровини

ПОДЕКС – ПОВЕКС '25

Охрид
03 – 05. 10. 2025 год.

НУМЕРИЧКИ МЕТОДОЛОГИИ ЗА ИЗБОР НА РУДАРСКА ОТКОПНА МЕТОДА

Стојанче Мијалковски¹, Николинка Донева¹, Зоран Панов¹

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

Апстракт: Успешното работење на секој подземен рудник во најголема мерка зависи од применетата рударска откопна метода, поради што со сигурност можеме да кажеме дека е од многу голема важност правилниот избор на рударската откопна метода. Во литературата се среќаваат повеќе методологии за избор на рударска откопна метода, каде изборот се врши врз основа на рударско – геолошките параметри на карпестиот масив. Во овој труд ќе бидат разработени трите најчесто применувани нумерички методологии, кои се користат за избор на рударска откопна метода.

Клучни зборови: избор на рударска откопна метода, нумерички методологии, Nicholas методологија, UBC методологија, Sh&B методологија.

NUMERICAL METHODOLOGIES FOR UNDERGROUND MINING METHOD SELECTION

Stojance Mijalkovski¹, Nikolinka Doneva¹, Zoran Panov¹

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

Abstract: The successful operation of any underground mine depends largely on the excavation method used, which is why we can safely say that the correct choice of excavation method is of great importance. The literature contains several methodologies for selecting a mining excavation method, where the selection is made based on the mining and geological parameters of the rock massif. This paper will discuss the three most commonly used numerical methodologies used for underground mining method selection.

Key Words: underground mining method selection, numerical methodologies, Nicholas methodology, UBC methodology, Sh&B methodology.

1. ВОВЕД

Најголем проблем со кои се среќава секој проектант, при отворање на нов рудник или нов дел во веќе постоечки рудник за подземна експлоатација, е изборот на рударска откопна метода. Големата важност за правилен избор на рударска откопна метода, произлегува од фактот дека успешното работење на рудникот директно зависи од применетата рударска откопна метода. За да се избере најсоодветната рударска откопна метода за конкретен случај, потребно е да бидат земени во предвид повеќе влијателни фактори. Факторите кои имаат влијание при изборот на рударска откопна метода, можат да бидат поделени во три групи [1] и тоа:

- рударско – геолошки фактори,
- рударско – технички фактори
- економски фактори.

Многу автори ја имаат истражувано оваа проблематика и кај повеќето од нив постои заедничко мислење дека постапката за избор на рударска откопна метода може да се подели во две фази, односно: рационален и оптимален избор на рударска откопна метода [2].

Во првата фаза, односно при рационалниот избор на рударска откопна метода се врши рангирање на рударските откопните методи според рударско - геолошките фактори. Главна цел во овој чекор е да се намали бројот на рударски откопни методи, кои ќе бидат разгледувани во втората фаза, односно при оптималниот избор на рударска откопна метода.

Во втората фаза, односно при оптималниот избор на рударска откопна метода се врши селектирање на рударските откопни методи според рударско – техничките и економските фактори.

Методологиите кои се разработени за избор на рударска откопна метода можат да бидат поделени во три главни групи: описни, нумерички и методи на одлучување [3]. Описните и нумеричките методи

се користат кај рационалниот избор на рударска откопна метода [4], додека пак методите за одлучување се користат кај оптималниот избор на рударска откопна метода. Развиени се повеќе описни методи за избор на рударска откопна метода, како што се: Boshkov и Wright, Morrison, Laubscher, Hamrin, Hartman и други. Разработени се неколку нумерички методи за избор на рударска откопна метода, како што се: Nicholas, UBC, Sh&B и други.

Кога се применуваат нумеричките методи за избор на рударска откопна метода, се земаат во предвид најважните рударско – геолошки фактори, како што се [1]:

- геометрија на рудното наоѓалиште (длабочина под површината, залегнување, длабочина, дебелина на рудното тело, генерален облик),
- квалитет на карпите (подина, кровина и рудната зона, т.е. стабилност, притисок, цврстина, структура, означување на квалитетот на карпите, цврстина на смолкнување при настанување на лом, растојание при настанување на лом, цврстина на карпестата супстанца),
- променливост на рудата (распространетост, континуитет, униформност на рудата, граници на рудата),
- квалитет на ресурсите итн.

Во овој труд ќе бидат разгледани три нумерички методи за избор на рударска откопна метода според рударско - геолошките параметри и тоа UBC, Nicholas и Sh&B методата, односно рационален избор на рударска откопна метода за подземна експлоатација на конкретно рудно наоѓалиште.

2. НУМЕРИЧКИ МЕТОДИ ЗА ИЗБОР НА ПОДЗЕМНА РУДАРСКА ОТКОПНА МЕТОДА

Прва нумеричка метода за избор на рударска откопна метода е методологијата на Nicholas [5, 6], која потоа е модифицирана и на тој начин е добиена UBC методологијата [7], Sh&B постапката претставува нов нумерички пристап предложен од авторите Shahriar&Bakhtavar и во основа се надоврзува на UBC методологијата [8].

Постапката за рангирање на рударските откопни методи кај сите три нумерички методи (Nicholas, UBC и Sh&B) е иста, а се разликува само во системот на нумерирање и распонот на влезните параметри. Сите овие методи користат влезни параметри за да извршат оценувања на различните рударски откопни методи, а потоа да се одбере најсоодветната рударска откопна метода или група на најпогодни рударски откопни методи за дадениот случај.

Селектирањето на рударските откопни методи се врши според геометријата на рудното тело и механичките карактеристики на карпестиот масив.

При селектирањето на рударските откопни методи се земаат во предвид следниве параметри за геометријата на рудното тело:

- Облик на рудното тело;
- Моќност на рудното тело;
- Агол на залегнување на рудното тело;
- Длабочина на залегнување на рудното тело;
- Распространетост на оруднувањето во рудното тело;
- Вредност на рудното наоѓалиште.

Исто така, кога се врши селектирање на рударските откопни методи се земаат во предвид следниве физичко-механички карактеристики на карпестиот масив:

- Цврстина на карпестата маса;
- Растојание помеѓу пукнатините (Број на пукнатини / m, % RQD);
- Цврстина на смолкнување на пукнатините;
- Rock Mass Rating (RMR);
- Rock Substance Strength (RSS).

Кога имаме конкретно рудно тело, потребно е да се усвојат параметрите за геометријата на рудното тело и механичките карактеристики на карпестиот масив (руда, кровински и подински карпи). Врз основа на усвоените параметри за рудното тело, се врши избор на следниве рударски откопни методи:

1. Метода на откопување со блоковно зарушување;
2. Подетажна метода на откопување со отворени откопи;
3. Подетажна метода на откопување со зарушување;
4. Коморно-столбна откопна метода;
5. Магацинска метода на откопување;
6. Метода на откопување со засипување на откопаниот простор;
7. Метода на откопување со зарушување на кровинските карпи (Top slice);
8. Метода на откопување со квадратни слогови;
9. Широкочелна откопна метода;

10. Метода за површинско откопување.

Селектирањето на рударските откопни методи се врши на следниов начин: за секоја рударска откопна метода се усвојуваат посебни бодовни вредности и со нивниот збир се добива вкупна бодовна вредност, која се внесува во посебна табела. Врз основа на тие вкупни бодовни вредности се врши селектирање на рударските откопни методи. Целта на ова селектирање е да се издвојат сите поволни рударски откопни методи, кои според геометријата на рудното тело и механичките карактеристики на карпестиот масив претставуваат најефикасни рударски откопни методи. Ефикасноста на секоја рударска откопна метода се дефинира со вкупната бодовна вредност. Рударската откопна метода која има најголема вкупна бодовна вредност, претставува најефикасна метода за откопување во дадениот случај. Врз основа на тој принцип се врши рангирање на рударските откопни методи и резултатите се прикажуваат во табела.

Доколку некоја метода за откопување има негативна вкупна бодовна вредност, тогаш таа се елиминира, односно претставува неприфатлива метода за откопување на даденото рудно тело.

Методата на откопување која има вкупна бодовна вредност еднаква на нула (0), не е препорачливо да се примени за откопување на даденото рудно тело, но може и да не се исклучува.

Множеството од поволни методи за откопување на даденото рудно тело го сочинуваат рударските откопни методите со вкупни бодовни вредности поголеми од нула (0) и кои значително не се разликуваат помеѓу себе.

Рударските откопни методи помеѓу себе се разликуваат според трошоците за откопување, односно некои рударски откопни методи имаат помали, а некои имаат поголеми трошоци за откопување [9]. Споредувањето на релативните трошоци за откопување на различните рударски откопни методи, се врши во случај ако секоја од рударските откопни методи се применува во услови кои што одговараат за неа. За таа цел е потребно да се земат во предвид рударско-техничките и економските фактори, односно да се направи оптимален избор на рударска откопна метода [2], што претставува посебна методологија која не е предмет на истражување во овој труд.

2.1. NICHOLAS методологија

Прва нумеричка метода за избор на рударска откопна метода е Nicholas методологијата [5,6,10]. Параметрите за геометријата на рудното тело се усвојуваат врз основа на податоците прикажани во табела 1, а параметрите за механичките карактеристики на карпестиот масив (рудата, кровинските и подинските карпи) се усвојуваат врз основа на податоците прикажани во табела 2.

Табела 1. Геолошки параметри на рудното наоѓалиште [5, 10]

ОБЛИК НА РУДНОТО ТЕЛО	Изометриско рудно тело	Димензиите во сите три правци се скоро еднакви
	Плочесто рудно тело	Двете димензии се многу поголеми од моќноста и обично не изнесува повеќе од 100 m
	Неправилно рудно тело	Димензиите значајно варираат на мали растојанија
МОЌНОСТ НА РУДНОТО ТЕЛО	Мала	< 10 m
	Средна	10 ÷ 30 m
	Голема	30 ÷ 100 m
	Многу голема	> 100 m
АГОЛ НА ЗАЛЕГНУВАЊЕ НА РУДНОТО ТЕЛО	Хоризонтално	< 20°
	Благо налегнато	20 ÷ 55°
	Стрмен наклон	> 55°
ДЛАБОЧИНА НА ЗАЛЕГНУВАЊЕ НА РУДНОТО ТЕЛО	/	Постојана длабочина на залегнување
РАСПРОСТРАНЕТОСТ НА ОРУДНУВАЊЕТО ВО РУДНОТО ТЕЛО	Рамномерно	Содржината на корисната компонента во рудата, во било кој дел на рудното тело, не варира значајно од средната содржина на истата во рудното тело
	Зонарно	Можат да се забележат бројни зони во рудното тело со различна содржина на корисна компонента, чијашто вредност значајно не се разликува
	Нерамномерно	Содржината на корисната компонента значајно се разликува на мали растојанија, при што не може да се забележе законитоста промена

Табела 2. Физичко-механички карактеристики на карпестиот масив [5, 10]

ЦВРСТИНА НА КАРПЕСТАТА МАСА	Мала	< 55 MPa	
	Средна	55 ÷ 110 MPa	
	Голема	> 110 MPa	
РАСТОЈАНИЕ ПОМЕЃУ ПУКНАТИНИТЕ		Број на пукнатини / m	% RQD
	Многу блиско	> 16	0 ÷ 20
	Блиско	10 ÷ 16	20 ÷ 40
	Големо	3 ÷ 10	40 ÷ 70
	Многу големо	< 3	70 ÷ 100
ЦВРСТИНА НА СМОЛКНУВАЊЕ НА ПУКНАТИНИТЕ	Мала	Празни пукнатини со глатки површини или наполнети со материјал чија цврстина е помала од цврстината на рудата	
	Средна	Празни пукнатини со рапави површини	
	Голема	Пукнатини пополнети со материјал чија цврстина е еднаква или поголема од цврстината на рудата	

Напомена: *Класификација на карпестата маса според Deere

2.2. UBC методологија

UBC методологијата за рангирање на рударските откопни методи претставува модифицирана верзија на Nicholas методологијата [7, 11]. Оваа методологија е предложена од Универзитетот во Британска Колумбија, од каде го добила и името UBC. UBC методологијата првенствено се употребува за длабоки рудни наоѓалишта за елиминирање или ограничено користење на методите за површинско откопување. Параметрите за геометријата на рудното тело се усвојуваат врз основа на податоците прикажани во табела 3, а параметрите за механичките карактеристики на карпестиот масив (рудата, кровинските и подинските карпи) се усвојуваат врз основа на податоците прикажани во табела 4.

Табела 3. Геолошки параметри на рудното наоѓалиште [7, 11]

ОБЛИК НА РУДНОТО ТЕЛО	Изометриско рудно тело	Димензиите во сите три правци се скоро еднакви
	Плочесто рудно тело	Двете димензии се многу поголеми од моќноста и обично не изнесува повеќе од 35 m
	Неправилно рудно тело	Димензиите значајно варираат на мали растојанија
МОЌНОСТ НА РУДНОТО ТЕЛО	Многу мала	< 3 m
	Мала	3 ÷ 10 m
	Средна	10 ÷ 30 m
	Голема	30 ÷ 100 m
	Многу голема	> 100 m
АГОЛ НА ЗАЛЕГНУВАЊЕ НА РУДНОТО ТЕЛО	Хоризонтално	< 20°
	Благо налегнато	20 ÷ 55°
	Стрмен наклон	> 55°
ДЛАБОЧИНА НА ЗАЛЕГНУВАЊЕ НА РУДНОТО ТЕЛО	Плитко	0 ÷ 100m
	Средно	100 ÷ 600 m
	Длабоко	> 600 m
РАСПРОСТРАНЕТОСТ НА ОРУДНУВАЊЕТО ВО РУДНОТО ТЕЛО	Рамномерно	Содржината на корисната компонента во рудата, во било кој дел на рудното тело, не варира значајно од средната содржина на истата во рудното тело
	Зонарно	Можат да се забележат бројни зони во рудното тело со различна содржина на корисна компонента, чијашто вредност значајно не се разликува
	Нерамномерно	Содржината на корисната компонента значајно се разликува на мали растојанија, при што не може да се забележе законитоста промена

Табела 4. Физичко-механички карактеристики на карпестиот масив [7, 11]

Rock Mass Rating (RMR)	Многу мала	0 ÷ 20
	Мала	20 ÷ 40
	Средна	40 ÷ 60
	Голема	60 ÷ 80
	Многу голема	80 ÷ 100
Rock Substance Strength (RSS)	Многу мала	< 5
	Мала	5 ÷ 10
	Средна	10 ÷ 15
	Голема	> 15

2.3. Sh&B процедура

Sh&B постапката претставува нов нумерички пристап предложен од авторите Shahriar&Bakhtavar [12, 13]. Кај оваа постапка сите влезни параметри се исти како и кај UBC постапката, само е додаден "Grade Quantity". Овој параметар е додаден поради големото значење што го има при проценка на рудното наоѓалиште. Селектирањето на рударските откопни методи се врши според геометријата на рудното тело (табела 5) и механичките карактеристики на карпестиот масив (табела 6).

Табела 5. Геолошки параметри на рудното наоѓалиште [12, 13]

ОБЛИК НА РУДНОТО ТЕЛО	Изометриско рудно тело	Димензиите во сите три правци се скоро еднакви
	Плочесто рудно тело	Двете димензии се многу поголеми од моќноста и обично не изнесува повеќе од 35 m
	Неправилно рудно тело	Димензиите значајно варираат на мали растојанија
МОЌНОСТ НА РУДНОТО ТЕЛО	Многу мала	< 3 m
	Мала	3 ÷ 10 m
	Средна	10 ÷ 30 m
	Голема	30 ÷ 100 m
	Многу голема	> 100 m
АГОЛ НА ЗАЛЕГНУВАЊЕ НА РУДНОТО ТЕЛО	Хоризонтално	< 15°
	Скоро хоризонтално	15 ÷ 30°
	Благо налегнато	30 ÷ 45°
	Слабо наклонето	45 ÷ 60°
	Стрмен наклон	> 60°
ДЛАБОЧИНА НА ЗАЛЕГНУВАЊЕ НА РУДНОТО ТЕЛО	Плитко	0 ÷ 200m
	Средно	200 ÷ 500 m
	Изразено длабоко	500 ÷ 800 m
	Длабоко	> 800 m
РАСПРОСТРАНЕТОСТ НА ОРУДНУВАЊЕТО ВО РУДНОТО ТЕЛО	Рамномерно	Содржината на корисната компонента во рудата, во било кој дел на рудното тело, не варира значајно од средната содржина на истата во рудното тело
	Зонарно	Можат да се забележат бројни зони во рудното тело со различна содржина на корисна компонента, чијашто вредност значајно не се разликува
	Нерамномерно	Содржината на корисната компонента значајно се разликува на мали растојанија, при што не може да се забележе законитоста промена
ВРЕДНОСТ НА РУДНОТО НАОЃАЛИШТЕ	Ниска оценка	Зависи од видот на минералот и неговата пазарна цена
	Средна	Зависи од видот на минералот и неговата пазарна цена
	Висока оценка	Зависи од видот на минералот и неговата пазарна цена

Табела 6. Физичко-механички карактеристики на карпестиот масив [12, 13]

Rock Mass Rating (RMR)	Многу мала	0 ÷ 20
	Мала	20 ÷ 40
	Средна	40 ÷ 60
	Голема	60 ÷ 80
	Многу голема	80 ÷ 100
Rock Substance Strength (RSS)	Многу мала	< 5
	Мала	5 ÷ 10
	Средна	10 ÷ 15
	Голема	> 15

3. ЗАКЛУЧОК

Голем број на автори ја проучувале проблематиката која е поврзана со избор на рударска откопна метода, при што заедничко мислење на повеќето автори е дека изборот на рударска откопна метода се состои од два чекора и тоа: рационален и оптимален избор.

Досега се разработени повеќе постапки за рационален избор на рударска откопна метода според рударско-геолошките параметри, како што се: постапката според Boshkov и Wright, Nicholas, Morrison, Hartman, Laubscher, UBC, Sh&B и др.

Во овој труд беа разработени три нумерички методи, кои се применуваат за рационален избор на рударска откопна метода за подземна експлоатација. Беа разработени најчесто применуваните нумерички методи (Nicholas, UBC и Sh&B) за рангирање на рударските откопни методи и издвојување на најповолните рударски методи, односно издвојување на група од поволни методи за откопување на дадено рудно тело. Според трите нумерички методи обично се добиваат скоро исти резултати, односно постои мала промена во редоследот за рангирање на рударските откопни методи. Главната цел за примена на три нумерички методи за рационален избор на рударска откопна метода, е да се изврши споредување на добиените резултати и на тој начин ќе се добие најсоодветната група од рударски откопни методи, што е од многу голема важност за решавање на ова многу сложено прашање.

Групата од четири или пет најдобро рангирани рударски откопни методи ги издвојуваме како поволни рударски откопни методи за примена во конкретниот случај и можат да се користат во вториот чекор, односно за оптимален избор на рударска откопна метода, каде ќе бидат земени во предвид рударско-техничките и економските параметри. За оптимален избор на рударска откопна метода можат да се користат методите за повеќекритериумско одлучување или Fuzzy методите за повеќекритериумско одлучување, што претставува предмет за истражување во некоја наредна студија.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bogdanovic D., Nikolic D., Ilic I. (2012) Mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE method. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 84(1), 219–233. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652012005000013>
- [2] Mijalkovski S., Peltecki D., Despodov Z., Mirakovski D., Adjiski V., Doneva, N. (2021) Methodology for underground mining method selection. *Mining science*, 28, 201-216. <https://doi.org/10.37190/MS212815>
- [3] Nourali H., Nourali S., Ataei M., Imanipour N. (2012) A hierarchical preference voting system for mining method selection problem, *Archives of mining sciences*, 57(4), 925-938.
- [4] Namin F.S., Shahriar K., Bascetin A., Ghodsypour S.H. (2009) Practical applications from decision-making techniques for selection of suitable mining method in Iran, *Mineral Resources Management*, 25(3), 57-77.
- [5] Nicholas, D.E., 1981. Method Selection — A Numerical Approach, Design and Operation of Caving and Sublevel Stopping Mines, Chap.4, D. Stewart, (ed.), SME-AIME, New York, 39–53. https://www.cnitucson.com/publications/1981_Nicholas_436-Method%20Selection%20-%20A%20Numerical%20Approach%201981.pdf
- [6] Nicholas, D.E., 1992. Selection method, *SME Mining Engineering Handbook*, Howard L. Hartman (ed.), 2nd edition, Society for Mining Engineering, Metallurgy and Exploration, Inc., 2090–2106.
- [7] MILLER, T.L., PAKALNIS, R. and POULIN, R. (1995) UBC Mining Method Selection, *Mine planning and equipment selection. (MPES)*, SINGHAL R.K. et al. (Eds), Balkema, Rotterdam, pp. 163-168.
- [8] Shahriar K., Bakhtavar E., Saeedi Gh. (2007) A new numerical method and AHP for mining method selection, Conference: Aachen International Mining Symposia (AIMS), Germany, 289-305.
- [9] Balt K., Goosen R.L. (2020) MSAHP: An approach to mining method selection, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 120(8), pp. 451-460.

- [10] Mijalkovski, S., Zeqiri, K., Despodov, Z. and Adjiski, V. (2022a) Underground mining method selection according to Nicholas methodology, *Natural Resources and Technology*, Vol. 16, No 1, pp. 5-11.
- [11] Mijalkovski, S., Despodov, Z., Mirakovski, D., Adjiski, V. and Doneva, N. (2022b) Application of UBC methodology for underground mining method selection, *Underground mining engineering*, Vol. 40, No 1, pp. 15-26.
- [12] Shahriar K., Bakhtavar E., Saeedi Gh. (2007) A new numerical method and AHP for mining method selection, Conference: Aachen International Mining Symposia (AIMS), Germany, 289-305.
- [13] Mijalkovski, S., Despodov, Z., Adziski, V., Doneva, N. (2023) Underground mining method selection according to the Shahriar&Bakhtavar procedure, PODEX-POVEX, Ohrid.