

ИНЖЕНЕРНОГЕОЛОЖКИ АСПЕКТИ ПРИ ИЗБОР НА ТРАСЕ НА ПОДЗЕМНА ИЗРАБОТКА

Виолета Иванова

Минно-геоложки университет
"Св. Иван Рилски"
София 1700, България

Любен Тотев

Минно-геоложки университет
"Св. Иван Рилски"
София 1700, България

Илия Патронеv

Минно-геоложки университет
"Св. Иван Рилски"
София 1700, България

РЕЗЮМЕ

В статията се обосновава понятието "устойчивост на масива", което се използва като признак за класифициране устойчивостта на контура на подземните изработки. Разгледани са инженерногеоложките аспекти, които най-силно повлияват устойчивостта на масива.

Въз основа на направеното обсъждане на устойчивостта на скалния масив се предлагат основните принципи, на които следва да се подчини избора на трасе, вида на крепежните конструкции и технологията на прокарване и закрепване на подземните изработки.

Прокарването на подземна изработка е предизвикателство към природата: създаденият в земната кора отвор води до мигновено освобождаване на неговия контур от напрежения и промяна на равновесното напрегнато състояние в скалния масив. При определени геоложки условия тези промени могат да доведат до сериозни проблеми при прокарването, а именно:

- скални удари и изстрели,
- пропадания,
- подуване и/или изстискване на скалите,
- приток на вода: интензивен капеж, завиряване, водни прориви,
- прориви на плаващи пясъци.

Описаните явления увеличават разходите за прокарване и подържане, а в най-неприятните случаи водят до човешки жертви и дори до невъзможност за използване на изработката.

Предвиждането и предотвратяването или евентуалното намаляване на влиянието на изброените неблагоприятни явления може да се постигне в резултат на задълбочени инженерногеоложки изследвания и правилно оценяване на получената информация при проучване на трасето на бъдещата подземна изработка.

В терминологията на подземното строителство съществува понятието "устойчив скален масив", което досега не е ясно дефинирано. Според авторите под "устойчив скален масив" следва да се разбира масив, който осигурява устойчиво състояние на контура на подземна изработка без крепеж за времето на съществуването ѝ. Иначе казано контурът е устойчив, когато по него не възниква отделяне на скални късове,

както от стените, така и от тавана на изработката или пропадания, а конвергенции не могат да бъдат установени с невъоръжено око.

Различните скални масиви предполагат различна степен на устойчивост, която е функция от конкретните инженерногеоложки и технически условия. На тази база авторите предлагат скалните масиви според устойчивостта им да се групират в четири класа:

- **устойчиви** - както са характеризирани по-горе. При тези условия, ако изработките са минни, най-често не се крепят, а в тунелите крепежът се изгражда предвид необходимата по-висока степен на сигурност и по-дълъг срок на експлоатация;

- **средно устойчиви** - масиви, които осигуряват устойчивост на контура без крепеж за период от време от една седмица до няколко месеца. След изтичане на този период от тавана или стените на изработката се откъсват и падат малки до средноголеми късове, след което могат да последват неголеми пропадания. Радиалните конвергенции по контура са в порядъка от нула до 2 см. В тези условия най-често се използва анкерен крепеж, пръскан бетон, а при тунелите и монолитен бетон с неголяма носеща способност;

- **неустойчиви** - масиви, които осигуряват устойчивост на контура за период от едно денонощие до една седмица. В този случай временен крепеж не се налага, при условие че постоянният се изгражда в рамките на едно денонощие от създаване на отвора. Радиалните конвергенции по контура за посочения период могат да достигнат до 10 см. В такива условия се прилагат крепежи с голяма носеща способност или регламентирана податливост;

- **крайно неустойчиви** - масиви, които осигуряват устойчивост на контура за период от време от нула до 24

часа. При тях радиалните конвергенции за сметка на подуване или изстискване на скалите могат да достигнат десетки сантиметри и дори до пълно затваряне на напречното сечение. Тук трябва да бъдат причислени и масивите, които крият риск от прориви на вода или плаващи пясъци. Прокарването на изработки в такива масиви се осъществява с временен или изпреварващ крепеж или при използване на специални начини на прокарване.

В тези условия минните изработки се крепят с податливи крепежи с голяма носеща способност, а при тунелите се използват крепежи с максимална носеща способност.

Устойчивостта на масива е функция от много фактори: генезис, минерален състав, физико-механични свойства, напуканост и водонаситеност на скалите, естествено поле на напреженията, наличие на тектонски нарушения и други.

Анализът на изброените фактори позволява посредством рационален избор на трасе на изработката да се избегне или минимизира тяхното неблагоприятно влияние върху устойчивостта на масива.

Определящ по отношение устойчивостта на масива е произходът на скалите. Най-добра устойчивост на масива предлагат магмените скали. Интрузивните се характеризират с висока якост и незначителна порестост. Те са устойчиви на изветряне, особено ако в състава им присъства голямо количество кварц. По-малко устойчиви са ефузивните скали. Те имат по-малка якост, по-голяма порестост и респективно по-голяма водопрпускливост. Независимо от това, в повечето случаи предлагат достатъчна устойчивост на масива.

Утаените скали съобразно техния минерален състав, свързващо вещество, дисперсност и степен на литификация се разсейват в целия диапазон - от устойчиви до крайно неустойчиви. Масиви от гипс, варовик и каменна сол са устойчиви до определена дълбочина. Устойчивостта на масив от свързани утаени скали най-силно се влияе от вида на свързващото вещество. Масиви със силикатно свързващо вещество притежават устойчивост, съизмерима с тази на интрузивните скали. По-ниска степен на устойчивост осигуряват хематитното и карбонатното свързващо вещество. Най-неустойчиви са масивите от глинести или утаени скали с глинесто свързващо вещество. Крайно неблагоприятна среда за прокарване на подземни изработки са плаващите пясъци.

За глинестите масиви от голямо значение е степента на литификация и свързаните с нея порестост и плътност. Повисоката степен на литификация предполага по-малка порестост, по-висока плътност, по-здрави структурни връзки, а оттам и по-добра устойчивост на масива при всички други равни условия.

Магмените и утаените скали могат да бъдат променени вследствие на метаморфизъм и метасоматизъм.

Метаморфизмът най-често влошава устойчивостта на магмените скали в резултат на възникване на силно изразена анизотропия, намаляване на якостта, поява на слоестост, промяна на минералния състав в резултат на протеклите прекристализационни процеси и др. Типичен пример за това е промяната на гранита в гнайс. Обратно на магмените, утаените скали, преминавайки през прекристализационните процеси на метаморфизма, значително подобряват качествата си като среда за подземните изработки. Примери за това е промяната на глините в глинести шисти, на пясъчниците в кварцити, на варовиците в мрамори.

Метасоматичните промени водят до влошаване устойчивостта на масива - аргилитизацията, пиритизацията, хлоритизацията, пропилитизацията са процеси, при които по-неустойчивите на хидротермално въздействие минерали се превръщат в глинести. Долomitизацията на карбонатни масиви води до увеличаване на порестостта на скалите в масива, а ако вследствие на тектонски въздействия (натрошаване) той е подложен и на изветряне е възможно да бъде дезинтегриран до пясък, който при определени хидрогеоложки условия може да премине в плаващо състояние. Окварцяването (силицитизацията) на скалните масиви значително подобрява устойчивостта им.

Върху устойчивостта на масива сериозно влияние оказва неговата напуканост. Причините за поява на пукнатини са много - генезис на скалите, намаляване на обема при изстиване и загуба на влага, тектонски процеси, изветряне, метасоматизъм, технология на прокарването и др. Пукнатините увеличават филтрационните свойства, улесняват тангенциалните премествания и ротацията на блоковете и във всеки случай влошават устойчивостта на масива.

Влиянието на напукаността върху устойчивостта на масивите е във функционална зависимост, както от естественото поле на напреженията, така и от грападостта на повърхнините между отделните късове и блокове. Влиянието на напукаността на масива е минимално, когато посоката на максималните натискови напрежения е перпендикулярна на посоката на разпространение на преобладаващата система от пукнатини, а контактните повърхнини на блоковете са грапави. В този смисъл най-неблагоприятна устойчивост на масива съществува в зоните на земната кора, където напреженията, насочени перпендикулярно на посоката на разпространение на пукнатините са опънови или незначителни натискови.

Устойчивостта на напукания масив зависи и от ъгъла, който сключват надлъжната ос на изработката и разпространението на преобладаващата система от пукнатини. Най-добро ниво на устойчивост се постига, когато този ъгъл е около 90°, по-неблагоприятно е то при ъгъл 0°, а най-неблагоприятно е при стойности на ъгъла между 60° и 80°.

Когато масивът е на дълбочина над 800-1000 m и е от здрави скали, склонни към крехко разрушаване, неговата

естествена напуканост осигурява дисипация на енергия за сметка на конвергенции и ротация на блоковете по контура на изработката и опасността от скални изстрели и удари намалява.

Известен факт е, че в дълбочина интензитета на напукаността много бързо намалява, широчината на пукнатините е минимална (респективно възможността за премествания и ротация на блоковете е твърде малка), поради което опасността от скални удари нараства, особено в участъците, в които натисковите напрежения на големи. На по-малки дълбочини най-честа причина за скални удари са тектонските движения (в резултат на млади нагъвателни процеси или остатъчни напрежения от по-стари тектонски процеси), проявяващи се в най-древните формации от здрави еластични скали, склонни към крехко разрушаване.

Практиката показва, че при избора на трасе на минна изработка не винаги се отделя необходимото внимание и средства за предварителното инженерногеолошко проучване. В резултат на това впоследствие се налагат значителни допълнителни разходи, както за прокарване, така и за закрепване и подържане на изработката. Особено сериозен е този проблем в минното производство, но подобни грешки са допускани и при строителството на тунели.

Пример за такава грешка е западната тръба на тунел Витиня, която по голямо протежение попада в силно натрошените скали на голям разлом. Неправилно избраното трасе на тунела доведе до забавяне и значително оскъпяване на строителството, до редица рискови операции за допълнително закрепване на пропаданията, до проникваща през крепежа вода, която ще доведе до преждевременни ремонти.

Изветрянето също води до влошаване устойчивостта на масива. Като резултат от него се увеличава напукаността и се намалява якостта на скалите. Погребани изветрели скали се срещат и в дълбочина в земната кора. Масиви от такива скали са неустойчиви, а изработките прокарани в тях са оскъпявани поради по-големите разходи, както за прокарването, така и за подържането им.

Кои са задължителните изисквания за рационален избор на трасе на подземна изработка?

Трябва да се започне със сериозно инженергеолошко проучване на района на строителството, което да установи геоложките формации, изграждащи скалните масиви и постгенетичните геодинамични процеси и явления, настъпили в тях: наличие на разломни зони, напуканост, изветряне, подземни води и др., които влияят върху устойчивостта на масива.

Установените тектонски форми трябва да се оценят от гледна точка на съществуващото естествено поле на напреженията. При отговорни и скъпо струващи подземни съоръжения е необходимо да се определят и количествените стойности на тези напрежения в масива.

Необходимо е да се търсят всякакви възможности за избягване на зоните, в които масивът е неустойчив или крайно неустойчив. Обикновено тези зони са свързани с динамично подхранвани водоносни хоризонти и плаващи пясъци, със скали претърпели метасоматични промени, с глини или глинести скали с ниска степен на литификация.

Трасето на изработката трябва да се полага така, че да се избягва преминаването на участъци с интензивна напуканост. Ако това е неизбежно, най-добре е оста на изработката да ги пресича пукнатините по възможност перпендикулярно.

Ако се върнем към примера със западната тръба на тунел Витиня, можем да кажем, че дължината на съоръжението е достатъчна с оглед оста му да не съвпада с посоката на разпространение на разлома и да го избегне или да го пресече перпендикулярно.

Когато изработката е на малка дълбочина и трябва да премине през напукани скали, трасето ѝ трябва да се полага в зони на повишени натискови напрежения (по възможност перпендикулярни на посоката на разпространение на преобладаващата система пукнатини). При опасност от скални удари точно обратното, трасето трябва да се разполага там, където натисковите напрежения са минимални и масивът предлага условия за дисипация на енергия.

Нежелателно е преминаването през погребани изветрели скали, тъй като те предполагат ниско ново на устойчивост на масива. Когато инженерногеоложкото проучване установи наличието на такива зони, трябва да се потърсят възможности за тяхното заобикаляне.

При прокарване на изработки във въглищни рудници на голяма дълбочина и в здрави вместващи скали, отлични резултати се получават при предварително подработване на бъдещата изработка от добивен забой и прокарването ѝ впоследствие в зоната на едроблоковото обрушаване (вътре в свода на установилото се вече равновесно напрегнато състояние).

Изборът на трасе на изработката трябва да се прави възоснова на минимум два, предварително добре обосновани в инженерногеолошко отношение варианта, доведени до пълна стойност на съоръжението в завършен вид, пресметната по укрупнени показатели, в които е включена и оценка на риска (както от финансова гледна точка, така и от гледна точка на безопасност на труда). Така например, в рудниците, разработващи жилни находища винаги трябва да се сравняват вариантите на прокарване по скала и по полезно изкопаемо.

По време на прокарването на вече избраното трасе прилагането на системата "инженерини" позволява неговата рационална промяна в случай на неочаквано отклоняване на природните условия от тези, по които е извършено проектирането му.

Едно от условията за осигуряване на правилен избор на трасето на дадена подземна изработка е и добрата квалификация на специалистите, които извършват проектирането, а до голяма степен и прокарването ѝ. Това налага и преориентиране до известна степен на програмите, по които се обучават както минните специалисти, така и инженер-геолозите, като се включи много по широко изучаването на скалните масиви от гледна точка степента на устойчивостта им.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направеният анализ на факторите, които радикално повлияват устойчивостта на масива дава възможност на специалистите да създадат рационални критерии при избора на трасе на подземната изработка. Това ще гарантира минимални рискове и разходи при прокарването ѝ и ще обезпечи необходимото ниво на безопасност.

ЛИТЕРАТУРА

- Ломтадзе, В.Д. 1986. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых. Недра, Л.
- Мюллер, Л. 1971. Геология скальных массивов. Мир, М.
- Wahlstrom, E. E. 1973. Tunnelling in Rock. Elsevier, L.

*Препоръчана за публикуване от
катедра "Подземно строителство" на МТФ*

INFLUENCE OF ENGINEERING GEOLOGICAL FACTORS ON THE CHOICE OF WAY OF AN UNDERGROUND WORKING

ABSTRACT

Article defines the term "competent rock mass". Taking the definition as a criterion, a classification for the contour stability of an underground opening is proposed. Engineering- geological aspects, influencing rock mass competency are discussed. On the base of analysis of rock mass competency, general principals of tunnel rout choice, support systems and tunnelling technologies are proposed.

To drive an underground working is a challenge to nature. It leads to instantaneously stress release of contour of the opening and change of natural field of stresses in the rock mass. Under certain geological conditions, this could cause serious problems in driving and maintaining the underground workings, such as:

- rock bursts;
- rock falls or cavings;
- floor heaving or rock squeezing;
- water inflow: dripping, inrush, impoundment;
- inrush of quicksand.

All this leads to higher costs of construction and maintenance, accidents and manlife losses even to impossibility to use the working.

Forecasting and avoiding or minimizing the influence of the above mentioned adverse events could be reached only as a result of careful engineering- geological investigations and correct estimation the obtained information about the way underground working is to follow.

The underground construction terminology includes the term "competent rock mass", not giving definition about it. We suggest for competent rock mass to understand such one, which

assures stable condition of the opening without any support during all the time of its existence. In other words an opening is stable if there are not any fragments to split and fall from the contour of the working and convergencies can not be observed without any instrumentation.

Rock masses poses different competency and it is result from the geologic and technical conditions. On this basis the authors propose to classify them into four classes:

- **competent** - as they were defined above. If they are mine workings, no need of support. If they are tunnels because of the higher safety standards and longer service period, support is shotcrete or even cast in situ concrete;
- **of middle competency** - the contour of the opening is stable for a period from a week up to several months. After that period from the back and the walls small or not so small rock pieces split and fall and small rock cavings are possible. The radial convergencies of the contour are from 0 to 2 cm. The more often used supports are shotcrete, combination of rock bolts and shotcrete or cast in situ concrete with some higher load bearing capacity than in previous class;
- **of low competency** - rock mass assures stability of the contour from a day to a week. In such rock mass, if permanent support is built in above-mentioned period, temporary support is not necessary. The convergencies of the contour could reach for the boundary period values of 10 cm. In this conditions supports must poses high bearing capacity, or to be yielding ones (with predetermined yield);
- **incompetent** - rock masses, in which the contour is stable from 0 to 24 hours. In them radial convergencies of upheaving or rock squeezing reach tens of centimeters or even could lead to total closure the opening. In the same class are the high water bearing rock masses, in which water or quicksand inrush is possible. Driving mine workings in such conditions is possible by using temporary or fore supports or by using not conventional technologies (earth pressure balance machines, rock freeing or grouting e.t.c.). Supports must be with maximal bearing capacity (and yielding ones in development mine workings), in water bearing rocks- impermeable.

Rock mass competency is influenced by many factors: genesis, mineral staff, rock properties, folding, faulting and fissuration, water logging, natural field of stresses, tectonic disturbances and many other factors.

Analysis of above mentioned factors permits, by rational choice the way working must follow, to avoid or minimize their unfavorable influence on rock mass.

One of the most important factors concerning rock mass competency is the origin of rocks. The best conditions for tunneling propose igneous rocks. Intrusive ones poses high strength, and negligible porosity. They are resistant against weathering, particularly if they content abundant quantity of quartz. Some lower competency poses extrusive rocks. Their porosity is bigger, strength lower and permeability higher.

Sedimentary rocks, in accordance with their mineral staff, cementing material and degree of lithification are taking place in all four classes of competency. Monomineral rock masses of

limestone, plasterstone and rock salt assures enough competency to a definite depth. For clastic rocks, the most important thing, influencing rock mass stability is the binding matter. If binding material is silica, rock mass could be as competent as igneous one. In lowering order could be mentioned carbonate and hematite cement. The worst competency could be waited from clay binding, especially in the cases, when rock contains abundance of water or quicksand.

For clayey rock masses very important factor is the degree of lithification. The higher degree of lithification, the higher density, the better binds between particles, the more competent rock mass.

Igneous and sedimentary rocks could be altered by metamorphism or metasomatism. In general if an igneous rock passes through metamorphism, the competency of the rock mass gets lower because of anisotropism, lamination, changes of mineral staff. A typical example is alteration of granite into gneiss.

Just the opposite, if a sedimentary rock passes metamorphism, as a result of recrystallization processes, rock mass upgrades its properties. Good examples are marbles, clay schists, and calcareous shales.

More of metasomatic changes lead to deterioration of rock mass stability. Argillization, pyritization, chloritization, propylitization are processes which alter low resistant to hydrothermal impact rocks into clayey minerals.

Dolomitization of carbonate rocks leads to higher rock porosity, and if later they are put under weathering, in certain geological conditions- to disintegration to sand.

Quartzitization of sedimentary rocks is allays a reason for better competency of the rock mass.

Fissuration and jointing strongly deteriorate rock mass stability. Reasons for rock fissuration and jointing are too much: rock origin, tectonics, weathering, conditions of lava cooling, metamorphism, metasomatism, tunneling technology. The exiting jointing planes lead to increasing filtration properties, make rotation and tangential convergencies of rock blocks much easier.

The influence of fissuration and jointing on rock mass competency is in functional relations with natural field of stresses and roughness of jointing planes. This influence is minimal if there are high compressive stresses perpendicular to jointing planes and the surface of above-mentioned planes are rough. In this sense, unfavorable are geologic conditions, where above-discussed stresses are tension ones or negligibly small compressive.

In a jointed rock mass, competency is a function of the angle between the direction of tunnel axis and direction of jointing planes. The most favorable is the case, when the angle between them is about 90°. Less favorable are the cases in which tunnel axis and jointing planes are parallel. The worst situation is when tunnel axis crosses jointing planes at 60°- 80°.

When a rock mass consists of strong, brittle rocks at depth over 800- 1000 m, its natural jointing assures energy dissipation as a result of rotation and displacements of rock blocks, forming the contour of the opening. By this way danger of rock bursts and rock spitting is lower.

But it is well-known fact, that going to depth intensity of fissuration becomes smaller and smaller, and width of fissures negligible narrow (in other words possibilities for rotation and displacements of rock blocks are very small) and the danger of rock bursts increase, especially in the area with compressive stresses concentration. In smaller depth rock bursts are connected to older rock formations and areas with stress concentration as a result young folding or residual stresses from older tectonic processes.

The practice showed, that not always enough attention is paid to this question. Later it becomes a cause for larger tunneling time, higher cost and useless risks. A bad example of such an error is Western tube of Vitinya tunnel. Improper placement of tunnel way caused many rock falls, additional expenses and risks for supporting occurred cavings, longer period for tunnel construction, higher cost of maintenance. Nowadays the water, infiltrating through concrete lining will destroy it in very short time.

Another reason for bad rock mass competency is weathering. Weathered rocks become much more fractured, water impermeable and less stable. Buried weathered rocks could be found in bigger depth in earth crust. Tunneling and later maintenance in such conditions are more expensive.

What are leading requirements for the choice of the way tunnel is going to follow?

Everything must start with a profound engineering- geological prospecting of the region. It must find all factors, influencing rock mass competency, such as: geological formations, post-genetic geodynamic processes and changes, caused into rocks: folding, faulting, weathering, underground water, jointing e. t. c.

Discovered tectonic forms must be discussed in aspect natural stress field. If safety standards for the future working are too high, quantitative results of earth crust stresses must be obtained.

It is advisable to be avoided all zones, where the rock mass is incompetent or of low competency. Usually, this zones are in connection with dynamically fed water bearing strata or quicksand, rocks undergone metasomatic changes, clastic rocks on low degree of lithification with clay binding between particles.

The way, tunnel is going to follow must avoid areas with highly developed fissuration systems. If this is not possible, the best decision is tunnel to intersect jointing planes at right angle. Going back to Vitinya tunnel example, we can say that the

length of the working was quite enough faulted zone to be avoided or crossed at right angle.

When working is at shallow depth and must cross jointed rock, the route it must follow should be laid in areas, where horizontal compressive stresses are maximal and their direction is perpendicular to the jointing planes. But if there is a danger of rock bursts, just the opposite- the way, tunnel should follow must be led in distressed areas, proposing possibilities for potential deformation energy dissipation.

It is not advisable to drive a working through buried weathered rocks. Possibilities should be searched to go round them.

In coal mines at great depth in hard, strong host rock good results are obtained when future tunnel way is previously undisturbed and after dome of equilibrium formation, underground working is placed into the distressed zone, near the top of natural arch.

Choice of the tunnel route must be made on the basis of minimum two well analyzed in engineering- geological aspect variants, brought roughly to full cost, including the risk estimation (as in financial, so in safety aspects). For an example, in ore mines, exploiting vein deposits, always must be compared variants: in vein working, or stone drift.

Good results offers the system "engineering", which unites designing and driving the working. It permits if unfavorable geologic circumstances occur during tunneling, rational correction to tunnel route to be introduced.

Never should be forgotten the fact, that correct choice of the way tunnel must follow is possible, if specialists, engaged with designing and driving it poses certain level of qualification. This may impose the need for some changes into educational programs of mine specialists and engineering- geologists too, where more profound study of hard rock to be included.

CONCLUSION

The analysis of engineering- geological factors, influencing radically rock mass stability permits the specialists to create rational choice of the route an underground working must follow. This will assure minimal risks, costs and good standards of safety during tunneling and exploitation period of the working.

REFERENCES

- Ломтадзе, В.Д. 1986. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых. Недра, Л.
Мюллер, Л. 1971. Геология скальных массивов. Мир, М.
Wahlstrom, E. E. 1973. Tunneling in Rock. Elsevier, L.

*Recommended for publication by Department
of Underground Construction, Faculty of Mining Technology*