

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВЗАИМОВРЪЗКАТА МЕЖДУ RMR И Q СИСТЕМИТЕ ПРИ СТРОИТЕЛСТВОТО НА ТУНЕЛИ

Невена Ивайлова Бабунска-Иванова  
[babunska\\_n@abv.bg](mailto:babunska_n@abv.bg)

*Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”  
гр. София 1574, ул. “Гео Милев” 158  
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** тунели, класификации, скален масив, RMR система, Q система, дескриптивна статистика*

***Резюме:** Поради голямото разнообразие на скалните масиви в подземното строителство са създадени различни класификации на скалите, отчитащи действието на редица фактори. Класификациите, които намират широко приложение в световен мащаб при строителството на тунели са RMR системата на Bieniawski и Q системата на Barton.*

*В статията са посочени целта и задачите на настоящето изследване. В резултат е направен обзор на редица корелации между двете класификации, определени от различни автори. Приложена е дескриптивна статистика, на базата на която е получена нова зависимост на RMR с Q, използвана за тяхното съпоставяне. Определени са различни показатели на разпределение, като: средните аритметични величини, стандартните отклонения, размаха, коефициентите на вариация, асиметрия и ексцес с помощта на програмния продукт MS Excel. От направения статистически анализ на база стойностите на коефициентите на вариация, асиметрия и ексцес се установява, че извадките са приблизително еднородни и признаците имат нормално разпределение с нормален ексцес.*

*Извършено е сравнение на новата зависимост с тези на Bieniawski, Barton и други автори, което е онагледено с графики. Въз основа на получената зависимост на RMR с Q е определена взаимовръзката между двете класификации, която е представена в стойностно и графично изражение.*

### 1. УВОД

Един от основните фактори, оказващ влияние при строителството на тунели са геоложките условия през които преминава съоръжението. Ето защо е необходимо да се направят задълбочени геоложки проучвания на масива, като се започне с определяне на отделните параметри, които служат за класифициране на скалите.

От гледна точка на тунелното строителство са създадени различни класификации на скалните масиви: *Класификация на Протодьяконов; Планински натиск, Terzaghi (1946); Период на престой, Lauffer (1958); RQD концепция, Deere и колектив (1967); RMR система, Bieniawski (1973), Q система, Barton и колектив (1974);*

Класификация на Бульчев (1977); GSI система, Ноек (1994); RMI система, Palmström (1995) и др. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7].

Двете класификации, намерили широко приложение в световен мащаб са RMR и Q системите. При строителството на тунели често се използва едната или другата система, дори и двете едновременно. Ето защо възниква необходимост от съпоставянето им чрез определяне на тяхната взаимовръзка.

## 2. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Целта на изследването е определяне на взаимовръзката между RMR и Q системите при строителството на тунели, с оглед съпоставяне на двете класификации.

За реализиране на поставената цел е необходимо да се изпълнят следните задачи:

- Извършване на обзор на съществуващите корелации, според различните автори;
- Получаване на нова зависимост на база направения обзор чрез прилагане на дескриптивна статистика в среда на програмния продукт MS Excel;
- Сравняване на получените резултати със съществуващите корелации.

## 3. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВЗАИМОВРЪЗКАТА МЕЖДУ RMR И Q СИСТЕМИТЕ

### 3.1. Според различните автори

За да се определи взаимовръзката между двете системи са изведени редица зависимости за нуждите на подземното строителство в различни държави по света: Иран, Саудитска Арабия, Пакистан, Индия, Канада, САЩ, Бразилия, Скандинавските страни, Великобритания, Испания, Нова Зеландия и др. (табл. 1), [8÷22].

Таблица 1

Корелация	Автор/и, година	Корелация	Автор/и, година
(1) $RMR=9\ln Q+44$	Bieniawski, 1976,1989	(22) $RMR=7\ln Q+36$	Tugrul, 1998
(2) $RMR=5,9\ln Q+43$	Rutledge и др., 1978	(23) $RMR=4,2\ln Q+50,6$	Asgari, 2001
(3) $RMR=5,4\ln Q+55,2$	Moreno, 1980	(24) $RMR=15\log Q+56$	NGI, 2001
(4) $RMR=5\ln Q+60,8$	Clarke и др., 1981	(25) $RMR=5,97\ln Q+49,5$	Sunwoo и др., 2001
(5) $RMR=4,6\ln Q+55,5$	Clarke и др., 1981	(26) $RMR=7,79\ln Q+36,7$	Yağiz и др., 2001
(6) $RMR=7,5\ln Q+42$	Baczynski, 1983	(27) $RMR=3,7\ln Q+53,1$	Sari и др., 2004
(7) $RMR=10,5\ln Q+41,8$	Abad и др., 1983	(28) $RMR=4,7\ln Q+56,8$	Kumar и др., 2004
(8) $RMR=5,3\ln Q+50,81$	Udd и Wang, 1985	(29) $RMR=8,3\ln Q+42,5$	Kumar и др., 2004
(9) $RMR=6,3\ln Q+41,6$	Kaiser и Gale, 1985	(30) $RMR=6,4\ln Q+49,6$	Kumar и др., 2004
(10) $RMR=8,7\ln Q+38$	Kaiser и Gale, 1985	(31) $RMR=6,65\ln Q+35,53$	Castro и др., 2010
(11) $RMR=10\ln Q+39$	Choquet и др., 1988	(32) $RMR=5,37\ln Q+40,48$	Hashemi и др., 2010
(12) $RMR=6,8\ln Q+42$	Sheorey, 1993	(33) $RMR=9,1\ln Q+43$	Stojkovic и др., 2010
(13) $RMR=9\ln Q+49$	Al-Harathi, 1993	(34) $RMR=9,52\ln Q+42,39$	Hossaini и др., 2011
(14) $RMR=7\ln Q+41$	El-Naqa, 1994	(35) $RMR=8,15\ln Q+44,88$	Laderian и др., 2012
(15) $RMR=7\ln Q+44$	El-Naqa, 1994	(36) $RMR=6,3\ln Q+43$	Ranasooriya и др., 2012
(16) $RMR=6,28\ln Q+52,48$	NGI, 1994	(37) $RMR=8,09\ln Q+43,08$	Rafiee и др., 2013
(17) $RMR=15\log Q+50$	Barton, 1995	(38) $RMR=5,7\ln Q+43,65$	Caicedo и др., 2013
(18) $RMR=10,3\ln Q+49,3$	Rawlings и др., 1995	(39) $RMR=2,87\ln Q+48,71$	Ali и др., 2014
(19) $RMR=6,2\ln Q+49,2$	Rawlings и др., 1995	(40) $RMR=6,55\ln Q+59,53$	Jaques и др., 2015
(20) $RMR=6,6\ln Q+53$	Rawlings и др., 1995	(41) $RMR=4,52\ln Q+43,6$	Sayeed и др., 2015
(21) $RMR=5,7\ln Q+54,1$	Rawlings и др., 1995		

Обобщеният вид на представените корелации може да се запише както следва:

$$(42) RMR = A \cdot \ln Q + B$$

През годините Bieniawski е направил няколко промени в RMR класификацията (1974, 1976, 1979, 1989, 2014), [23], [24]. Днес, все още най-широко приложение намира версията от 1989г. Тъй като корелациите от (2) до (11) са изведени преди 1989г., същите няма да бъдат взети предвид при определяне на новата зависимост.

### 3.2. Определяне на нова зависимост между RMR и Q

На базата на съществуващите корелации (табл. 1) е определена нова зависимост между RMR и Q чрез прилагане на дескриптивна статистика, която дава възможност да се опишат параметрите на дадено множество от данни (извадка). Тя включва три групи показатели: за средни величини, за разсейване, за нормалност на разпределението [25].

Новата зависимост е получена чрез непретеглената формула за средна аритметична величина [26]:

$$(43) \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

където:

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  - индивидуални значения на признака;

$n$  - брой на наблюдаваните единици.

След пресмятане по формула (43) за параметрите A и B се получава:

$$\bar{x}' = \frac{x_1' + x_2' + x_3' + \dots + x_n'}{n} = \frac{9 + 6,8 + 9 + \dots + 4,52}{31} = \frac{207,7744}{31} = 6,7024$$

$$\bar{x}'' = \frac{x_1'' + x_2'' + x_3'' + \dots + x_n''}{n} = \frac{44 + 42 + 49 + \dots + 43,6}{31} = \frac{1446,738}{31} = 46,6689$$

Следователно новата зависимост има вида:

$$(44) RMR = 6,70 \ln Q + 46,67$$

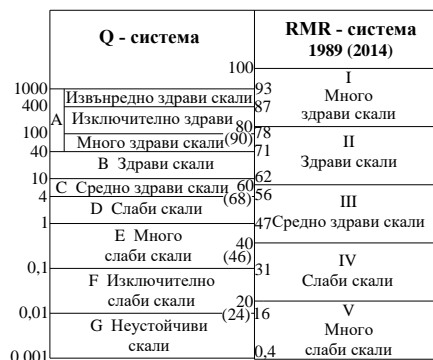
Статистическият анализ е извършен с помощта на софтуерния продукт MS Excel [27]. Резултатите от изчисленията са подредени в *таблица 2*.

Таблица 2. Резултати от статистическия анализ

Показател	n	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	R	$\bar{x}$	S	V	A <sub>s</sub>	E <sub>x</sub>
A	31	2,87	10,3	7,43	6,70	1,72	25,707	-0,03	-0,02
B	31	35,53	59,53	24,0	46,67	6,14	13,165	0,123	-0,574

От направеният статистически анализ, при получени вариационни коефициенти  $V' = 25,707\%$  и  $V'' = 13,165\%$  се наблюдава средно разсейване на признаците, което показва, че извадките са приблизително еднородни ( $V < 30\%$ ) [28]. Коефициентите на асиметрия  $A_s' = -0,03$ ;  $A_s'' = 0,123$  и ексцес  $E_x' = -0,02$ ;  $E_x'' = -0,574$  са под критичните стойности ( $A_s^{0,05} = 0,854$ ;  $E_x^{0,05} = 1,665$ ), което означава, че признаците имат нормално разпределение с нормален ексцес [29].

Въз основа на получената нова зависимост е изготвена графика, представяща взаимовръзката между RMR и Q системите (фиг. 1).



Фиг. 1. Взаимовръзка между RMR и Q системите

Стойностите в скобите, показани на графиката се отнасят за  $RMR_{14}$  – версия 2014г. и са определени от зависимостта [24]:

$$(45) RMR_{14} = 1,1RMR_{89} + 2$$

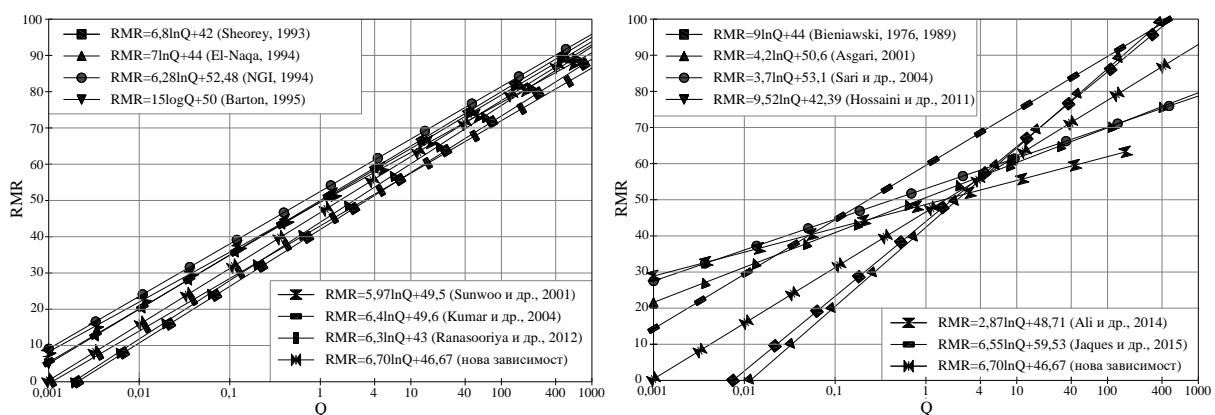
Очевидно е, че при новата версия на  $RMR$  се получават по-високи стойности на *системата* в сравнение с тази от 1989г., дължащо се на промени в стойностните показатели на отделните параметри и групирането им, което от своя страна е повлияно от съвременните тенденции за развитие на тунелното строителство.

### 3.3. Сравняване на новата зависимост със съществуващите корелации

На графиките, представени на *фигура 2* е направено сравнение на новата зависимост с най-близките и най-далечни по стойност съществуващи корелации (табл.1).

Новата зависимост има близки резултати с корелациите на *Sheorey, El-Naqa, NGI (Norwegian Geotechnical Institute), Barton, Sunwoo* и колектив, *Kumar* и колектив, *Ranasooriya* и колектив (фиг. 2, лява графика). Сравнените зависимости са изведени при строителството на подземни съоръжения в държави като: Индия, Йордания, Норвегия, Южна Корея, Тайланд.

Сравнително голяма разлика в стойностите на полученото уравнение съществува при корелациите на *Bieniawski, Asgari, Sari, Hossaini, Ali, Jaques* и колективи (фиг.2, дясна графика). Държавите, в които са получени тези зависимости са: САЩ, части от Южна Африка, Иран, Турция, Пакистан, Бразилия.



Фиг. 2. Сравняване на новата зависимост със съществуващи корелации

След пресмятане на  $RMR$  *системата* съгласно съществуващите корелации (табл.1) се установява сходство при около 63 % от уравненията за гранични стойности на  $Q$  от 1 до 10, които характеризират слаб и средно здрав масив.

## 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Взаимовръзката между  $RMR$  и  $Q$  *системите* е определена при строителството на голям брой подземни съоръжения през последните 4 десетилетия. За извеждане на корелациите отделните автори са използвали геоложки данни от редица държави, разположени на 6 континента.

В настоящето изследване е получена нова зависимост (44), като са използвани чуждите знания и опит в световната практика. Представеното изследване би могло да намери приложение в практиката при строителството на тунели.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Тотев Й. и колектив. Норми за проектиране на пътни и железопътни тунели, 1988.
- [2] Deere, D.U., Deere, D.W. The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. In Rock Classification Systems for Engineering Purposes, ASTM Special Publication 984, pp. 91-101, Philadelphia, 1988.
- [3] Bieniawski Z.T. Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologist in Mining, Civil, and Petroleum Engineering, Wiley, 1989.
- [4] Barton N., R. Lien, J. Lunde. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics 6, pp.189-236, Springer-Verlag, 1974.
- [5] Булычев Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах, ISBN 5-247-00294-6, с. 270, Недра, 1989.
- [6] Hoek E. Practical Rock Engineering, 341 p.,  
<https://www.rocscience.com/documents/hoek/corner/Practical-Rock-Engineering-Full-Text.pdf>
- [7] Palmström A., RMI – A Rock Mass Characterization System for Rock Engineering Purposes. PhD thesis, 400 p., Oslo University, Norway, 1995.
- [8] Ranasooriya J., H. Nikraz. Reliability of the Linear Correlation of Rock Mass Rating (RMR) and Tunnelling Quality Index (Q). Australian Geomechanics Vol. 44, No 2, 2009.
- [9] Barton N. The influence of joint properties in modelling jointed rock masses. 8th ISRM Congress, 25-29 September, Tokyo, Japan, Volume 3, pp. 1023-1032, Balkema, 1995.
- [10] Makurat A., F. Løset, A. W. Hagen, L. Tunbridge, V. Kveldsvik, E. Grimstad. Äspö HRL. A descriptive rock mechanics model for the 380–500 m level. NGI, Oslo, 2006.
- [11] Yağız S, S. Cheema. Review and comparison of rock mass classification systems. In: Pakistan Engineering Congress. PEC, 2001-2002, paper no. 629, pp. 449-460, 2001.
- [12] Castro-Fresno D., R. Diego-Carrera, F. Ballester-Muñoz, J. Álvarez-García. Correlation between Bieniawski's RMR and Barton's Q Index in Low-Quality Soils. Revista de la Construcción . Volume 9 No 1, pp. 107–119, 2010.
- [13] Hashemi M., Sh. Moghaddas, R. Ajalloeian. Application of Rock Mass Characterization for Determining the Mechanical Properties of Rock Mass: a Comparative Study. Rock Mech Rock Eng. 43:305–320 DOI 10.1007/s00603-009-0048-y, 2010.
- [14] Toševski A., D. Pollak, T. Zenko, D. Aljinovicd, N. Tadejd. Some engineering properties of limestone: Tunnel Straz̃ina case study (Croatia). Tunnelling and Underground Space Technology, 2010.
- [15] Hossaini S., F. Nezhadshahmohamad, M. Dadkhah. Stability Assessment and Support Design for Water Deviation Binary Tunnels of Bakhtiyari Dam – Iran. 11<sup>th</sup> Underground Coal Operators Conference, pp 99-104, Australia, 2011.
- [16] Laderian, A., M.A. Abaspoor. The correlation between RMR and Q systems in parts of Iran. Tunnelling Underground Space Technology, 27, pp.149-158, 2012.
- [17] Ranasooriya J., M. Swe, H. Nikraz Application of Rock Mass Classification Methods to the Klong Tha Dan Project Tunnels, IJMMP Vol.3 No.1, pp. 37-46 ISSN: 2229-3124 © International Science Press, 2012.
- [18] Rafiee R., M. Ataei, M. Kamali. Tunnels stability analysis using binary and multinomial logistic regression(LR).Journal of Geology and Mining Research, Vol. 5(4), pp. 97-107, 2013.
- [19] Ali W., N. Mohammad, T. Mohammad. Rock Mass Characterization for Diversion Tunnels at Diamer Basha Dam, Pakistan – a design perspective. International Journal of Scientific Engineering and Technology, Volume No.3, Issue No.10, pp. 1292-1296, 2014.
- [20] Caicedo A., Perez D. Correlations between the RMR and Q geomechanical classifications at “La Línea” exploratory tunnel, Colombian Central Andes. Boletín Ciencias de la Tierra, Nro. 34, pp. 42-50, ISSN 0120-3630, 2013.
- [21] Jaques D., K. Rezende, E. Marques. Correlação entre os sistemas RMR e Q em maciços rochosos da mina de volta grande, sudeste do Brasil. 15 Congresso Brasileiro, 2015.

- [22] Sayeed I. R. Khanna. Empirical correlation between RMR and Q systems of rock mass classification derived from Lesser Himalayan and Central crystalline rocks. International Conference on “Engineering Geology in New Millennium”, 2015.
- [23] Hoek E., P. Kaiser, W. Bawden. Support of Underground Excavations in Hard Rock. ISBN10 9054101873, 225 p., A. A. Balkema, 1995.
- [24] Celada, B., I. Tardáguila, P. Vrona, A. Rodriguez, Z.T. Bieniawski. Innovating Tunnel Design by an Improved Experience-based RMR System. Proc. World Tunnel Congress, ITA, Brazil, pp.60-68, 2014.
- [25] Ганева З. Да преоткрием статистиката с IBM SPSS Statistics, с. 713, Elestra, ISBN 978-619-7292-01-5, Първо издание, 2016.
- [26] Михалев Др. Избрани лекции по статистика, <http://math.vtu.bg/Stat.pdf>
- [27] Каращранова Е. Формиране на понятия от описателната статистика с помощта на MS Excel. Тридесет и втора пролетна конференция на Съюза на математиците в България, с.362-368, Слънчев бряг, Април 2003.
- [28] [http://basaga.org/wiki/index.php?title=Показатели\\_за\\_разсейване](http://basaga.org/wiki/index.php?title=Показатели_за_разсейване)
- [29] [http://4.nsa-virtualeducation.com/U4\\_sport\\_manual.doc](http://4.nsa-virtualeducation.com/U4_sport_manual.doc)

## DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN RMR AND Q SYSTEMS DURING TUNNEL CONSTRUCTION

**Nevena Ivaylova Babunska-Ivanova**  
[babunska\\_n@abv.bg](mailto:babunska_n@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport*  
*1574 Sofia, 158 Geo Milev Str.*  
**BULGARIA**

**Key words:** *tunnels, classification, rock massif, RMR system, Q system, descriptive statistic*

**Abstract:** *Because of the wide variety of rock masses in underground construction, have been created different classifications of rock, which account for the effects of a number of factors. The classifications that are widely used worldwide for tunnel construction are the Bieniawski's RMR system and the Barton's Q system.*

*The the article outlined the purpose and tasks of the study. As a result, have been made a series of correlations between the two classifications identified by different authors. There has been applied descriptive statistics, on which base is created new correlation between RMR and Q for their comparison. Various distribution factors are defined, such as: mean, standard deviations, range, coefficients of kurtosis, skewness, and variation, using the MS Excel software product. From the statistical analysis based on the values of coefficients of variation, skewness and kurtosis, are found that the samples are approximately homogeneous and the signs have a normal distribution with a normal kurtosis. A comparison of the dependence with Bieniawski, Barton and other authors was made, which is illustrated with graphs. On the base of the obtained dependence of RMR with Q, the relationship between the two classifications is determined, which is represented in numerical and graphical expression.*