

СФЕРИ НА ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПЪРВИЧНАТА ОБЛИЦОВКА ПРИ ТУНЕЛИТЕ

Невена Ивайлова Бабунска-Иванова

babunska_n@abv.bg

Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”

гр. София 1574, ул. “Гео Милев” 158

БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: тунели, класификации, скален масив, първична облицовка

Резюме: За да се предотврати разрушаването на подземния изкоп под действието на планинския натиск и да се осигурят безопасни условия на работа до изграждане на постоянната облицовка на съоръжението, тунелния изкоп се укрепва. Съвременните крепежни конструкции се включват като съставна част на постоянната облицовка и в този смисъл те се третират като първична облицовка.

Първичната облицовка при тунелите се състои от различни елементи, според категорията и качеството на скалния масив. За да се определят сферите на приложение на първичната облицовка са сравнени едни от най-често прилаганите класификации на скалните масиви в тунелното строителство, използвани по света и у нас – класификацията на Протодьяконов, Нов австрийски метод RMR, Q, GSI системите и параметъра RQD. Определена е връзката между RQD и RMR, като са събрани данни от реални обекти от световната практика и са направени корелационен и регресионен анализ. На базата на изведената зависимост и цитираните литературни източници са построени графики на които са представени и сравнени споменатите класификации и параметър, според категорията и качеството на скалния масив. Като е използвана сравнителната графика е разработена таблица, в която са представени видовете първична облицовка според различни автори, използвани при строителството на тунели.

1. УВОД

Първичната облицовка при тунелите е основен елемент от тунелната конструкция. Ето защо от съществено значение е да се избере правилната крепежна конструкция, която да осигури безопасна работа по време на строителството. За тази цел е необходимо да се определят сферите на приложение на първичната облицовка. В тази връзка възниква необходимост да се направи сравнение на едни от най-широко прилаганите класификации на скални масиви: *Класификация на Протодьяконов*, характеризираща се с коефициента на здравина f ; *Нов австрийски метод*, Rabcewicz (1964); *RMR система*, Bieniawski (1973); *Q система*, Barton и колектив (1974); *GSI система*, Hoek (1994) и параметъра RQD [1], [2], [3], [4], [5].

2. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Целта на настоящето изследване е определяне на сферите на приложение на първичната облицовка при тунелите, с оглед на избора на подходящ вид крепеж според различните геоложки условия.

Задачите, които трябва да се изпълнят за постигане на целта са следните:

- Получаване на зависимост между RQD и RMR чрез прилагане на корелационен и регресионен анализ в среда на програмния продукт *MS Excel*;
- Сравняване на споменатите по-горе класификации и параметър на скалния масив в стойностно и графично изражение.

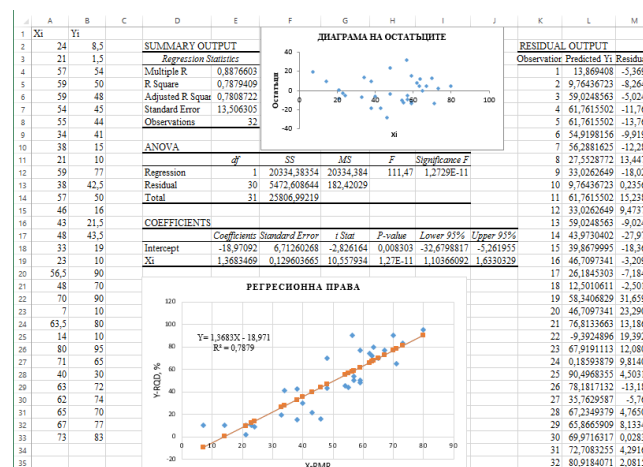
3. СРАВНЯВАНЕ НА КЛАСИФИКАЦИИ НА СКАЛНИТЕ МАСИВИ

3.1. Параметър RQD и RMR система

За определяне на връзката между RQD и RMR са събрани данни от реални обекти от различни литературни източници [6], [7], [8], [9], [10] и са направени корелационен и регресионен анализ, с помощта на *MS Excel* (табл. 1, фиг. 1).

Таблица 1

RQD [%]	RMR	RQD [%]	RMR	RQD [%]	RMR	RQD [%]	RMR	RQD [%]	RMR	RQD [%]	RMR
8,5	24	1,5	21	54	57	50	59	48	59	45	54
44	55	41	34	15	38	10	21	77	59	42,5	38
50	57	16	46	21,5	43	43,5	48	19	33	10	23
90	56,5	70	48	90	70	10	7	80	63,5	10	14
95	80	65	71	30	40	72	63	74	62	70	65
77	67	83	73	-	-	-	-	-	-	-	-



Фиг.1. Резултати от регресионния анализ

Означенията в таблиците от *фигура 1* са свързани с коефициентите на корелация R и детерминация R Square, емпиричната характеристика F_{emp} на F - теста и наблюдаваното равнище на значимост, съответстващо на F (*Significance F*), регресионните коефициенти b_0 и b_1 (*Coefficients*) и др. [11].

След заместване на изчислените регресионни коефициенти в линейното еднофакторно уравнение на регресия се получава следната зависимост:

$$(1) Y = 1,3683 \cdot X - 18,971$$

Получените резултати дават основание да се направят следните изводи:

- Коефициентът на корелация $R = 0,887$ при получената линейна зависимост има стойност сравнително близка до 1, което доказва, че между величините Y (RQD) и X (RMR) има силна корелационна връзка;

➤ Стойността на коефициента на детерминация $R^2 = 0,787$ показва, че 78,7% от изменението на зависимата променлива величина Y (RQD) се дължи на влиянието на независимата факторна променлива величина X (RMR);

➤ Получената зависимост между разглежданите величини е статистически значима, поради изпълнение на условието $F_{emp} = 111,47 \geq F_{0,05} = 4,17$ [12], [13].

3.2. RMR и Q системи

Връзката между RMR и Q системите е представена чрез зависимостта [14]:

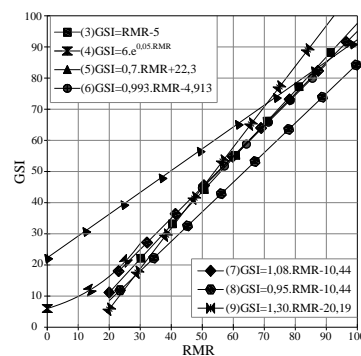
$$(2) RMR = 6,70 \ln Q + 46,67$$

3.3. RMR система и Нов австрийски метод

Bieniawski представя взаимовръзката между RMR и *Нов австрийски метод*, съгласно класа и качествата на скалите според австрийския стандарт $\ddot{O}NORM B-2203$, която е взета предвид при сравняването на класификациите [15].

3.4. GSI и RMR системи

Връзката между двете класификации според различни автори – *Hoek*, *Osgoui Hashemi*, *Ali*, *Ceballos* и др. [16], [17], [18], [19], [20] е представена на *фигура 2*.



Фиг. 2. Сравняване на зависимостите между GSI и RMR

От направеното сравнение се констатира следното:

➤ Най-голямо отклонение на стойностите се наблюдава при корелацията на *Hashemi* и колектив (2010) – уравнение (5), спрямо другите;

➤ При останалите 6 зависимости се получават сравнително сходни резултати.

На базата на направените констатации при сравняването на отделните класификации, ще бъде използвана зависимост (3) на *Hoek* и колектив (1995): $GSI=RMR-5$ ($GSI>25$, $RMR>23$), която е и най-широко разпространена в световната практика.

3.5. Коефициент на здравина по Протодьяконов f и RQD

За сравнение на коефициента f и RQD е използвана връзката, представена в [21].

4. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

На базата на изведената зависимост и цитираните автори е построена графика на която са представени и съпоставени разглежданите по-горе класификации и параметър, според категорията и качеството на скалния масив (фиг.3).

Съгласно направената съпоставка са представени видовете първична облицовка, според *Bieniawski*, *Grimstad* и *Barton*, $\ddot{O}NORM B-2203$, *NGI* (*Norwegian Geotechnical Institute*) и *Romana* [3], [22], [23], [24], [25], онагледени в *таблица 2*.

Коефициент на здравина f	Параметър RQD %	GSI - система	Q - система	RMR - система 1989 (2014)	Нов австрийски метод		
>8 $6-8$ 4 $1.5-2$ 0.8	100	1000	100	100	A1 Устойчиви скали		
	75	400	93	93			
	75	100	87	87	I Много здрави скали	A2 Слабо разрушени скали	
	55	40	80	80			
	55	10	78	78			
	55	10	40	71	65	II Здрави скали	B1 Трошливи скали
	40	4	62	62			
	40	4	1	68	56	III Средно здрави скали	B2 Силно трошливи скали
	35	1	47	47			
	35	0.1	0.1	40	45	IV Слаби скали	B3 Скали подложени на скален натиск
	25	0.1	31	31			
	25	0.01	0.01	20	20	V Много слаби скали	C1 Скали подложени на срязване
0	0.01	0.01	24	20			
			0.4	5	C2 Разводнени скали		
					1 Почва здраво свързана		
					2 Почва слабо свързана		

Фиг. 3. Съпоставка на класификации на скалните масиви и параметър RQD в тунелното строителство

Таблица 2

Крепжни конструкции (Първична облицовка), използвани в тунелното строителство										
Q - система NGI, 2015	Q - система Grimstad и Barton, 1993	RMR - система Romana, 2014	RMR - система Bieniawski, 1989	Нов австрийски метод						
1000 50 30 3 1 0.3 0.1 0.01 0.001	Не се изисква укрепване, при необходимост монтиране на единични анкери. Единични анкери. Систематично анкериране и пръскан фибробетон $h=5-6$ cm. Пръскан фибробетон $h=6-9$ cm + анкериране. Пръскан фибробетон $h=9-12$ cm + анкериране. Пр. фибробетон $h=12-15$ cm + Si30/6 Ø16-20 + анкериране. Пръскан фибробетон $h>15$ cm + D45/6+2 Ø16-20 + анкериране. Изпълнение на бетонна облицовка или пр. фибробетон + D55/6+4 Ø20 + анкериране.	Не се изисква укрепване. Единични анкери. Систематично анкериране и неармиран ПБ, $h=4-10$ cm. Пръскан фибробетон $h=5-9$ cm + анкериране. Пръскан фибробетон $h=9-12$ cm + анкериране. Пръскан фибробетон $h=12-15$ cm + анкериране. Пръскан фибробетон $h>15$ cm + стоманени ребра и ПБ + анкериране. Изпълнение на бетонна облицовка.	Ia Монтиране на единична мрежа -при необходимост. Iб Единични анкери $L=2/3m$, ПБ $h_{min}=2$ cm, армиран с единична мрежа-при нужда. Iв Единични анкери $L=3m$, ПБ $h_{min}=5$ cm, 1 слой, армиран с фибри-при нужда. Iг Анкери $L=3m$, $a=2x2/1.5x1.5m$, ПБ с $h_{min}=6-10$ cm, 1-2 слоя, армиран с фибри. IIа Анкери $L=3/4m$, $a=1.5x1.5/1x1.5m$, ПБ с $h_{min}=8-15$ cm, 2-3c. с Ф/ЕМ, СР-ТН-21-при нужда. IIб Анкери $L=4m$, $a=1x1.5/1x1m$, ПБ- $h_{min}=12-20$ cm, 2-3c. с Ф/ЕМ, СР-ТН-21/29, $s=1.5m$. IIв Анкери $L=4/4.5m$, $a=1x1.25/1x1m$, ПБ с $h_{min}=16-24$ cm, 3c. с ДМ/Ф-при нужда, СР-ТН-29, $s=1m$ и с-ма Бернолд-при нужда. IIг Анкери $L=4/4.5m$, $a=1x1m$, ПБ с $h_{min}=20-30$ cm, 3c. с ДМ/Ф, СР-ТН-29/НЕВ, $s=0.75-1m$, с-ма Бернолд, НК-при нужда. IIIа ПБ с $h_{min}=30-40$ cm, 3/4слоя с ДМ, СР-НЕВ, $s=0.5-0.75m$, с-ма Бернолд и НК. IIIб Спец. методи, С-ма Бернолд, СР-НЕВ и НК-при нужда. IIIв Спец. методи, СР-НЕВ, с-ма Бернолд и НК-при нужда.	I Не се изисква укрепване, освен извънредно монтиране на единични анкери. II Локални анкери в свода $L=3m$, $a=2.5m$ с армиран ПБ $h=5$ cm в свода (където е необходимо). III Анкери $L=4m$, $a=1.5-2m$ в свода и стените с армиран ПБ, $h=5-10$ cm в свода и $h=3$ cm в стените. IV Анкери $L=4-5m$, $a=1-1.5m$ в свода и стените с армиран ПБ, $h=10-15$ cm в свода и $h=10$ cm в стените и СР-леки до средно тежки, $s=1.5m$. V Анкери $L=5-6m$, $a=1-1.5m$ в свода и стените с мрежи, ПБ $h=15-20$ cm в свода, 5cm в стените и 5cm в забоя и СР-ср. тежки до тежки, $s=0.75m$, ст. обшивка и НК.	A1 Не се изисква укрепване, освен монтиране при нужда на локални укрепващи елементи (анкери). A2 Монтиране на крепеж в свода (анкери). B1 Монтиране на системно укрепване в свода и стените. B2 Монтиране на системно укрепване в свода и стените, при необходимост локално поставяне на НК. B3 Монтиране на системно укрепване в свода и стените и поставяне на НК. C1 Монтиране на системно укрепване в свода и стените, НК над свода. C2 Монтиране на системно укрепване в свода и стените, НК. L1, L2 Укрепване веднага след изкопа, запечатване с ПБ, НК.					
						Означения: h - дебелина на пръскания бетон; L - дължина на анкерите; a - разстояние между анкерите; s - разстояние между стоманените рамки; ПБ - пръскан бетон; 2-3 c. - 2-3 слоя пръскан бетон; Ф - фибри; ЕМ - единична мрежа; ДМ - двойна мрежа; СР - стоманени рамки; НК - набивен крепеж; Si30/6 - 1 ред от 6 бр. ст. ребра и дебелина на ПБ $h=30$ cm; D - 2 реда от ст. ребра; Ø16 - диаметър на ст. ребра, mm.				

Очевиден е по-консервативният подход на *Romana* (2014) в сравнение с този на *Bieniawski* (1989), което се дължи на развитието на тунелното строителство през последните десетилетия. Промените са свързани с размера на тунелите, методите на строителство, разнообразието от анкери, все по-широкото приложение на пръскания бетон, армиран с фибри и повишените изисквания за безопасност. При използваната първична облицовка за *Q системата* според *NGI* (2015) също се наблюдава увеличаване параметрите на крепежа в сравнение с тези на *Grimstad* и *Barton* (1993).

Q и *RMR системите*, както и *Новия австрийски метод* се характеризират с широкото използване на съвременни крепжни конструкции: анкери, армиран пръскан бетон с фибри и/или мрежи и стоманени рамки (ребра). При последните две

класификации се предвижда използването и на набивен крепеж, като при *RMR системата*, *Romana* разглежда прилагането и на система Бернолд.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящето изследване са съпоставени едни от най-широко използваните класификации по света и у нас и определени сферите на приложение на първичната облицовка при тунелите, според здравината на скалите.

Направеното изследване би могло да послужи в практиката, като насоки при класифициране на скалния масив и избора на първична облицовка.

Интензивното натрупване на знания и опит в областта на тунелното строителство в света допринася за намиране на все по-прецизното съответствие между скалната среда и първичната облицовка. Особено полезни са разработките на *NGI* и *Romana*, които са базирани на най-новите тенденции в развитието при изграждането на тунели. Прилагането на новите подходи у нас би издигнало на съвременно равнище българското тунелно строителство.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Тотев Й. и колектив. Норми за проектиране на пътни и железопътни тунели, 1988.
- [2] Rabcewicz L.V. The New Austrian Tunneling Method, Part One, Water Power, Vol.16, N11, pp.453-457, 1964.
- [3] Bieniawski Z.T., Tunnel Design by Rock Mass Classifications, Technical Report, 1990.
- [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] Hoek E. Practical Rock Engineering, 341 p.,
<http://www.rocscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>
- [6] Zhang L. Determination and applications of rock quality designation RQD. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 8 pp.389-397, 2016.
- [7] Raiz A., S.Jamil, M. Asif, K. Akhtar. Tunnel Support Design by Comparison of Empirical and Finite Element Analysis of the Nahakki Tunnel in Mohmand Agency, Pakistan. Studia Geotechnica et Mechanica, Vol. 38, No. 1, pp. 75-84, 2016.
- [8] Manquehual C. Head Race Tunnel Melado Hydropower Plant, Chile. Optimization in Excavation and Rock Support. MSc thesis, 416 p., 2012.
- [9] Rasool D., Z. Hooseinmirzall. Determination strength parameters rock masses Jajarm tunnel based on geotechnical study. JBES, Vol.4, №6, pp.495-502, 2014.
- [10] Иванов В. Изследване на опасността от скални удари при изработването на Маданското рудно поле. Годишник на МГУ, Том 52, Св. II, с. 55-61, 2009.
- [11] Димитров С. Примерно приложение на единична линейна регресия и корелация в транспортните изследвания с използване на MS Excel. Сп. Механика, транспорт, комуникации, бр.2, №0479, с. 3-10÷3-16, “ВТУ Тодор Каблешков“, 2010.
- [12] Димитров С. Примерно приложение на единична линейна регресия и корелация в транспортните изследвания. Сп. Механика, транспорт, комуникации, бр.2, №0478, с. 3-1÷3-8, “ВТУ Тодор Каблешков“, 2010.
- [13] Dodge Y. The Concise Encyclopedia of Statistics. Appendix C: Fisher Table for $\alpha=0.05$, p.590, ISBN: 978-0-387-32833-1, Springer 2008.
- [14] Бабунска-Иванова Н. Определяне на взаимовръзката между RMR и Q системите при строителството на тунели. XXII Международна научна конференция “ТРАНСПОРТ 2017“, ВТУ “Тодор Каблешков“ (под печат).
- [15] Bieniawski Z. T. Cycle of Lectures. Academia Gorniczo-Hutnicza, Krakow, Oct. 2010.
- [16] Hoek E., P. Kaiser, W. Bawden. Support of Underground Excavations in Hard Rock. ISBN10 9054101873, 225 p., A. A. Balkema, 1995.

- [17] Osgoui R., E. Ünal. Rock reinforcement design for unstable tunnels originally excavated in very poor rock mass. *Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future* – Erdem & Solak, London, ISBN 04 1537 452 9, pp.291-296, 2005.
- [18] Zhang L. *Engineering Properties of Rocks*. Second Edition. ISBN: 978-0-12-802833-9, 378 p., Elsevier, 2017.
- [19] Ali W., N. Mohammad, M. Tahir. 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] Ceballos F., C. Olalla, R. Jiménez. Relationship between RMR_b and GSI based on in situ data. *Proceedings of EUROCK 2014 ISRM European Symposium*, pp.375-380, 2014.
- [21] Бешевлиев Ив., Д. Хвърлев, А. Янев, Ж. Добрев, А. Руменов. Ретроспекция относно проучвания, проекти и изпълнения на тунели и пряко свързани с някои от тях обекти, в периода 1950÷2011 г., София 2010.
- [22] Grimstad E., N. Barton. Updating of the Q-System for NMT. *Proceedings of the International Symposium on Sprayed Concrete*, Fagernes, pp.46-66, 1993.
- [23] Aşçıoğlu G. *Analysis of Support Design Practice at Elmalik Portals of Bolu Tunnel*, Thesis, Middle East Technical University, 211 p., 2007.
- [24] NGI. Using the Q-system. *Rock mass classification and support design*, 54p., 2015, www.ngi.no
- [25] Romana M. Update of 1989 Bieniawski's RMR guidelines for tunnel excavation and support. *Proceedings of EUROCK 2014 ISRM European Symposium*, pp.1139-1144, 2014.

FIELDS OF APPLICATION OF THE PRIMARY LINING IN THE TUNNELING

Nevena Ivaylova Babunska-Ivanova
babunska_n@abv.bg

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

Key words: *tunnels, classification, rock massif, primary lining*

Abstract: *To prevent the destruction of underground excavation under the influence of rock pressure and provide safe working conditions to build a permanent lining of the facility, tunnel excavation is supported. Modern supporting systems are included as a component of the permanent lining and in this sense they are treated as primary lining.*

The primary lining in tunnels consists of various elements, depending on the category and quality of the rock mass. To determine the fields of application of the primary lining has been compared one of the most commonly classifications of rock mass in tunnel construction - Protodiakonov and Lauffer, NATM, RMR, Q, GSI and RQD parameter. The relationship between RQD and RMR has been determined using collected data from real objects from the world practice and correlation and regression analysis has been done. On the basis of the determined relationship and the cited references are drawn graphics that are presented and compared to those classifications and RQD, according to the category and quality of the rock mass. According to the graphics has been made decision of the individual classifications in the construction of a tunnel for a specific amount of RMR, determined on the basis of individual parameters. Using a comparative graph of classifications has been developed a table in which are presented the types of primary lining used in the construction of tunnels.