

АНАЛИЗ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ПЪРВИЧНАТА ТУНЕЛНА ОБЛИЦОВКА

Невена Ивайлова Бабунска-Иванова
babunska_n@abv.bg

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

Ключови думи: тунели, първична облицовка, крепежна конструкция, RMR, Q.

Резюме: При строителството на тунели, за да се предпази подземния изкоп от обрушване и разрушаване под действието на планинския натиск и да се осигурят безопасни условия на труд до изграждането на постоянната облицовка на съоръжението е необходимо тунелния профил да се укрепи. Съвременните крепежни конструкции се включват като съставна част на постоянната облицовка и в този смисъл те се определят като първична облицовка.

Като основен елемент от тунелната конструкция, първичната облицовка трябва да изпълни предназначението си за сигурно и надеждно укрепване на тунелния профил. Видът на крепежната конструкция се избира основно според параметрите и особеностите на скалния масив.

Изпълнението на първичната облицовка след извършване на изкопа заема ключова роля при тунелите. От съществено значение е да се избере правилната крепежна конструкция, като се определят нейните параметри, за да отговоря в най-пълна степен на геоложките условия на масива. Ето защо възниква необходимост да се анализират параметрите на отделните видове първична облицовка съгласно категорията и качеството на скалите при различни широчини на тунелния профил. Това е и предмета на настоящето изследване. При сравнителния анализ са използвани едни от най-новите разработки в сферата на тунелното строителство, включващи RMR и Q системите за класификация на скалните масиви. Извършени са регресионни анализи. Според представеното сравнение между параметрите на различните видове първична облицовка са направени съответните изводи и заключения.

1. УВОД

Строителството на автомобилни и железни пътища в планински и градски условия налага необходимостта от изграждането на транспортни тунели [1], [2], [3].

Съществено в тунелното строителство е да се изясни геологията през която ще премине съоръжението, както и да се отчете влиянието на геоложките условия върху деформациите на тунелната облицовка [4], [5]. За тази цел са създадени различни класификации на скалните масиви с помощта на които може да се определи класа и характеристиката на скалите.

Две от най-широко прилаганите класификации на скални масиви при строителството на тунели в световен мащаб са *RMR системата* на *Bieniawski* [6] и *Q системата* на *Barton* [7]. Между двете класификационни системи съществува взаимовръзка, която е определена чрез редица зависимости, изведени в различни държави по света. Зависимостта, използвана в настоящата разработка има вида [8]:

$$(1) \quad RMR = 6,70 \ln Q + 46,67$$

2. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ПЪРВИЧНАТА ОБЛИЦОВКА СПОРЕД RMR И Q СИСТЕМИТЕ

В съответствие със своята *RMR система*, *Bieniawski* (1989) предлага указания за прокопаване и укрепване на тунели на базата на категорията на скалния масив [9].

По-късно *Romana* (2014) представя нови насоки за избор на първична облицовка при тунели съгласно стойностите на *RMR*. Отнасят се за строителство на пътни и железопътни тунели с широчина на профила 10÷14m, изпълнявани по *Нов австрийски тунелен метод* (*New Austrian Tunnelling Method – NATM*) [10].

На базата на *Q системата* *Grimstad* и *Barton* (1993) според качеството на скалния масив, определят вида на крепежната конструкция при строителството на тунели по *Норвежки тунелен метод* (*Norwegian Method of Tunnelling – NMT*) [11].

По-късно *Grimstad* и колектив (2000) променят графиката за оценка на вида на крепежа [12]. Последното обновяване е направено през 2015г. от *Норвежкия геотехнически институт* (*Norwegian Geotechnical Institute – NGI*) [13].

Съгласно цитираните най-нови разработки – тези на *Romana* и *NGI* са определени отделните видове крепежни конструкции с техните параметри при различни стойности на *Q* и *RMR* за много слаби до изключително здрави скали. За представяне на взаимовръзката между двете системи е приложена зависимост (1). Решението е направено за различни широчини на тунелния профил $B=10\div 14m$ (табл.1).

Таблица 1

Широчина Система		B=10m		B=11m		B=12m		B=13m		B=14m	
Q	RMR	Q	RMR	Q	RMR	Q	RMR	Q	RMR	Q	RMR
0,1	31	A1	A	A2	A	A2	A	A2	A	A2	A
0,4	41	B1	B	B1	B	B1	B	A3	B	A3	B
1	47	C1	C	C1	C	C1	C	C1	C	C1	C
4	56	D1	D	D1	D	D1	D	D1	D	D1	D
10	62	E1	E	E1	E	E1	E	E1	E	E1	E
40	71	F1	F	F1	F	F1	F	F1	F	E2	F
100	78	G1	G	G1	G	G1	G	G1	G	F1	G
400	87	H1	H	H1	H	H1	H	H1	H	H1	H

Означения: Крепеж съгласно *Romana* при *RMR системата*: А) Анкери $L=4,5m$, $S=1 \times 1m$; армиран пръскан бетон $h=185\div 225mm$ с двойна мрежа и фибри – при необходимост; стоманен крепеж ТН-29 през 1m; система *Bernold* – при необходимост.

В) Анкери $L=4m$, $S=1 \times 1/1 \times 1,5m$; пръскан фибробетон (ПФБ) $h=155\div 190mm$ и единична мрежа – при необходимост; стоманен крепеж ТН-21 през 1m.

С) Анкери $L=4m$, $S=1 \times 1,5m$; ПФБ $h=140\div 170mm$ и единична мрежа – при необходимост; стоманен крепеж ТН-21 през 1,5m.

Д) Анкери $L=3/4m$, $S=1,5 \times 1,5/1 \times 1,5m$; ПФБ $h=110\div 135mm$; единична мрежа и стоманен крепеж ТН-21 – при необходимост.

Е) Анкери $L=3m$, $S=2 \times 2/1,5 \times 1,5m$; ПФБ $h=95\div 110mm$.

Ф) Единични анкери $L=3m$; пръскан бетон $h=65\div 75mm$ и фибри – при необходимост.

Г) Единични анкери $L=3m$; пръскан бетон $h=50mm$ и фибри – при необходимост.

H) Единични анкери $L=2/3\text{m}$; пръскан бетон $h=20\text{mm}$, единична мрежа – при необходимост.

Крепеж съгласно *NGI* при Q системата: A1) ПФБ $h=150\text{mm}$; анкери $L=3\text{m}$, $S=1,3\text{m}$; стоманен крепеж Si30/6 $\varnothing 16\div\varnothing 20$ през $4\text{m} + 150\text{mm}$ пръскан бетон; изпълнение на тръбен чадър (ТЧ) – при необходимост. Наименованието Si30/6 $\varnothing 16\div\varnothing 20$ означава един ред от 6 броя армировъчни пръти $\varnothing 16\div\varnothing 20$ и обща дебелина на пръскан бетон 300mm .

A2) ПФБ $h=160\div 180\text{mm}$; анкери $L=3/4\text{m}$, $S=1,3\text{m}$; стоманен крепеж D45/6+2 $\varnothing 16\div\varnothing 20$ през $4\text{m} + \sim 280\text{mm}$ пръскан бетон. Вероятна необходимост от изпълнение на ТЧ. Означението D45/6+2 $\varnothing 16\div\varnothing 20$ е свързано с изпълнението на два реда армировъчни пръти $\varnothing 16\div\varnothing 20$ и обща дебелина на пръскан бетон 450mm .

A3) ПФБ $h=120/125\text{mm}$; анкери $L=4\text{m}$, $S=1,5\text{m}$; стоманен крепеж Si30/6 $\varnothing 16\div\varnothing 20$ през $4\text{m} + \sim 180\text{mm}$ пръскан бетон. Вероятна необходимост от изпълнение на ТЧ.

B1) ПФБ $h=115/120\text{mm}$; анкери $L=3/4\text{m}$, $S=1,5\text{m}$. Изпълнение на ТЧ – при необходимост.

C1) ПФБ $h=90\div 105\text{mm}$; анкери $L=3/4\text{m}$, $S=1,7\text{m}$.

D1) Анкери $L=3/4\text{m}$, $S=2,1\text{m}$; ПФБ $h=60/65\text{mm}$.

E1) Анкери $L=3/4\text{m}$, $S=2,3\text{m}$; ПФБ $h=55/60\text{mm}$.

E2) Анкери $L=4\text{m}$, $S=3\text{m}$; ПФБ $h=50\text{mm}$.

F1) Единични анкери $L=3/4\text{m}$.

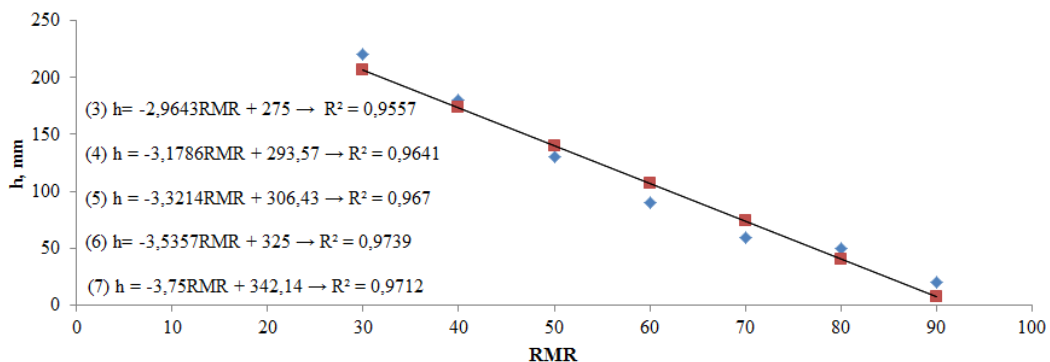
G1) Неукрепен тунел или единични анкери $L=3/4\text{m}$.

H1) Неукрепен тунел или единични анкери.

Определените в *таблица 1* крепежни конструкции съгласно Q се отнасят за свода на тунела. В пиедритите урепването се намалява според условията [12]:

(2) При $Q > 10 \rightarrow Q_{wall} = 5Q$; При $0,1 < Q < 10 \rightarrow Q_{wall} = 2,5Q$; При $Q < 0,1 \rightarrow Q_{wall} = Q$.

Тъй като в разработката си *Romana* не е посочил дебелината на пръскания бетон h при междинни стойности на RMR е направен регресионен анализ. На негова база са представени зависимости за определяне на размера на крепежа – израз (3) се отнася за широчина на тунела $B=10\text{ m}$, израз (4) – за $B=11\text{ m}$ и т.н. (фиг. 1).

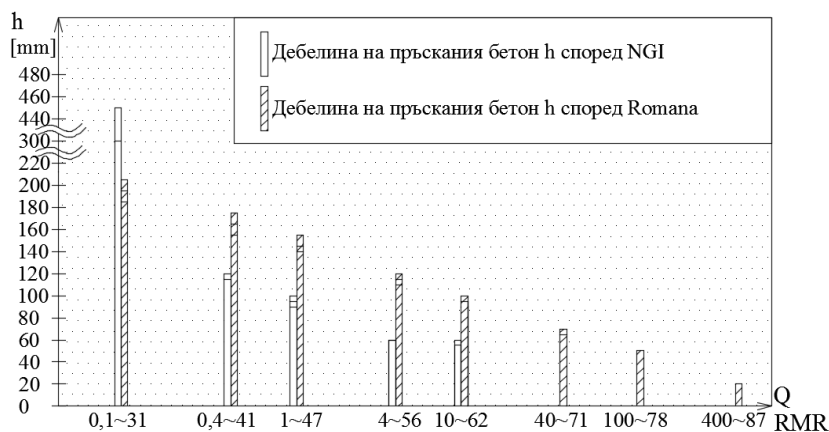


Фиг. 1 Определяне на дебелината на пръскан бетон h според RMR при широчини на тунела $B=10\div 14\text{ m}$

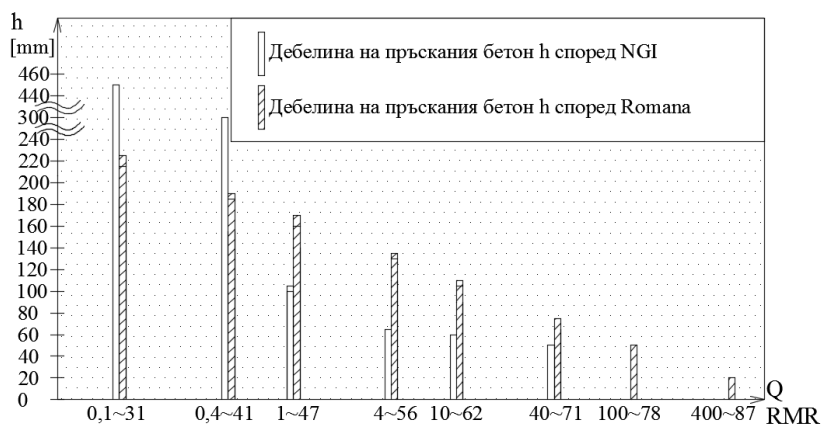
3. АНАЛИЗ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ПЪРВИЧНАТА ТУНЕЛНА ОБЛИЦОВКА

Въз основа на определените параметри на различните видове първична облицовка е направен графичен анализ, относно дебелините на пръскания бетон и разстоянията между анкерите. На графиките са анализирани вече споменатите параметри според *NGI* и *Romana* при широчини на тунела B от 10 до 14 m. По абсцисата са нанесени граничните стойности на Q и отговарящите на тях стойности на RMR за различни геоложки условия. Върху ординатата са представени размерите на отделните крепежи (фиг. 2, фиг.3, фиг. 4).

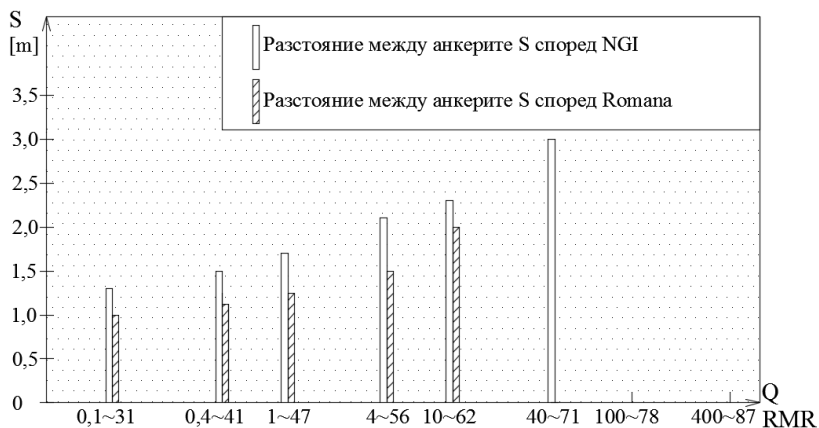
От графиките ясно може да се види, че според *Romana* се използва по-голямо количество пръскан бетон с изключение при много слаби скали. Освен това той предвижда дори и при изключително здрави скали макар и минимален пласт от пръскан бетон. По отношение на разстоянието между анкерите при *Q системата* се наблюдава по-голямо разстояние между анкерите т.е. налице е използването на по-малък брой крепеж.



Фиг. 2 Анализ на дебелината на пръскан бетон *h* според NGI и *Romana* при широчини на тунела $B=10\div 12$ m



Фиг. 3 Анализ на дебелината на пръскан бетон *h* според NGI и *Romana* при широчини на тунела $B=13\div 14$ m



Фиг. 4 Анализ на разстоянието между анкерите *S* според NGI и *Romana* при широчини на тунела $B=10\div 14$ m

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение могат да бъдат направени следните по-важни изводи:

➤ *RMR системата* не отчита конкретно размера на тунела за разлика от *Q системата*. В публикацията е направен регресионен анализ с цел да се определи дебелината на пръскания бетон при различни широчини на тунела, съгласно стойности на *RMR*.

➤ При укрепването на тунелното сечение *Romana* не разграничава свода от пиедритите, т.е. по напречния профил на съоръжението крепежа е един и същ. Според *NGI* облицовката в стените се намалява съгласно условия (2).

➤ За много слаби скали *Q* използва много по-голямо количество пръскан бетон в сравнение с *RMR*. За останалите класове се наблюдава обратната тенденция. При системата на *Barton* широко приложение намира пръскания фибробетон, докато при тази на *Bieniawski* се разглежда и употребата на армиран бетон с мрежи.

➤ *RMR* се характеризира с прилагането на по-голям брой анкери спрямо *Q*.

➤ При *RMR* параметрите на анкерите се променят според съответните стойности на системата, докато при *Q* – според размера на тунела.

➤ *Romana* препоръчва използването на стоманен крепеж от *TH* профили през 1/1,5m при много слаби и слаби скали. *NGI* пък разглежда необходимостта от прилагането на стоманено укрепване от армировъчни пръти през 4m само при много слаби скали, както и вероятност за изпълнение на тръбен чадър.

➤ При изследваните различни широчини на тунелния профил $B=10\div 14m$ не се наблюдава съществена промяна на използваните крепежни конструкции. Разликата се изразява основно в изменение на дебелината на пръскания бетон *h*.

Изграждането на тунели е сложна и отговорна комплексна инженерна задача, свързана с осъществяването на голям брой цикли. Изпълнението на първична облицовка според класа и характеристиките на скалите е неизменна част от основните операции.

Представената разработка би могла да послужи в практиката като ориентир за избор на крепежна конструкция при различна геология според две от най-прилаганите в световен мащаб класификационни системи при строителството на тунели – *RMR* и *Q*.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Николов В. Проектиране и строителство на пътища, 588 с., ISBN–10:954-12-0124-4, София, ВТУ “Т. Каблешков“, 2012.

[2] Зафирова М. Проектът “Виа Карпатия“ и Оперативна програма “Транспорт и транспортна инфраструктура”, Международна научна конференция “ТРАНСПОРТ – 2017“, сп. “Механика Транспорт Комуникации“, том 15, брой 3, статия №1497, стр. VIII-1÷VIII-6, ISSN 1312-3823, София, 2017.

[3] Вълков Р. Железопътно строителство и създаване на железопътна мрежа в Република България, Сборник доклади 12-та международна научна конференция ВСУ 2012, стр. VI-60÷VI-64, ISSN 1314-071X, 2012.

[4] Колев Ч. Натурно изследване за влиянието на геоложките условия върху деформациите на тунелната облицовка, Международна конференция „Ролята на геомеханиката за устойчиво развитие на минната индустрия и гражданското строителство“, Сборник доклади, III – стр.17÷24, Несебър, 2007.

[5] Колев Ч. Комплексни системи за геозащита, Техника, ISBN 978-954-03-0677-3, стр. 44÷50, София, 2007.

[6] Bieniawski Z.T. Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologist in Mining, Civil, and Petroleum Engineering, Wiley, 1989.

- [7] 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.
- [8] Бабунска-Иванова Н. Определяне на взаимовръзката между RMR и Q системите при строителството на тунели. XII Международна научна конференция “ТРАНСПОРТ – 2017“, сп. “Механика Транспорт Комуникации“, том 15, брой 3, статия №1503, стр. VIII-35÷VIII-40, ISSN 1312-3823, София, 2017.
- [9] Bieniawski Z.T. Tunnel Design by Rock Mass Classifications, Technical Report, 1990.
- [10] 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.
- [11] Grimstad E., N. Barton. Updating of the Q-System for NMT. *Proceedings of the International Symposium on Sprayed Concrete*, Fagernes, pp.46-66, Norway, 1993.
- [12] Grimstad, E. и колектив. *Rock Mass Quality Q Used in Designing Reinforced Ribs of Sprayed Concrete and Energy Absorption*, NGI Pub., 2000.
- [13] Norwegian Geotechnical Institute. *Using the Q-system. Rock mass classification and support design*, 54p., NGI, Oslo, Norway, 2015, www.ngi.no.

ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF THE TUNNEL PRIMARY LINING

Nevena Ivaylova Babunska-Ivanova
babunska_n@abv.bg

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

Key word: *tunnels, primary lining, support system, RMR, Q.*

Abstract: *In the construction of tunnels, in order to prevent the destruction of the underground excavation under the influence of rock pressure and to ensure safe working conditions until building of the permanent lining of the facility, the tunnel profile needs to be supported.*

Modern rock supports are included as main part of the permanent lining and in this sense they are defined as a primary lining. As the main element of the tunnel construction, the primary lining must perform its purpose for secure and reliable supporting of the tunnel profile.

The type of the rock support is chosen mainly according to the parameters and characteristics of the rock massif. The primary lining consists of different rock supports, according to the category and the quality of the rocks.

The latest trends in the development of tunnel construction inculcate increased safety requirements for the construction of underground facilities. Implementation of the primary lining after excavation has a key role in tunnels. It is essential to select the correct rock support, to analysis its parameters to fully meet the geological conditions of the massif. Therefore, it is necessary to compare different parameters of the primary lining, according to the category and the quality of the rocks at different widths of the tunnel profile. This is also the subject of this research. The most recent developments in the field of tunnel construction, including RMR and Q rock classification systems, have been used in the analysis. Statistical analyzes were performed. According to the comparison between the parameters of the different types of primary lining, are made the relevant conclusions.