

ГЕОТЕХНИЧЕСКИ УСЛОВИЯ НА ТУНЕЛ „ЖЕЛЕЗНИЦА“ ОТ АМ „СТРУМА“

Антонио Лаков, Стефчо Стойнев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; tony_lakov@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Направен е преглед на отделните елементи, определящи геотехническите условия в участъка на тунел Железница (част от изграждането на АМ „Струма“): геолого-тектонски строеж, сеизмотектонски условия, хидрогеоложки условия, инженерногеоложки свойства на скалния масив. По-детайлно са разгледани инженерногеоложките свойства на разновидностите, изграждащи скалния масив. Характеристиката им е направена на базата на качествени оценки (показателя RQD – показател за качеството на скалата и GSI – геоложки индекс за якостта на масива) и количествени оценки от лабораторните и полевите (геофизични и еластиметрични) изследвания. Дадена е обща характеристика на хидрогеоложките условия и са оценени очакваните водопритоци в тунела. Направени са общи изводи и заключения за условията на проектиране и строителство.

GEOTECHNICAL CONDITIONS OF JELEZNICA TUNNEL FROM STRUMA HIGHWAY

Anotnio Lakov, Stefcho Stoynev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; tony_lakov@abv.bg

ABSTRACT. A review of the geological and tectonic structure, the seismic hydrogeological and engineering geological conditions of the rockmass was carried out as elements of the geotechnical conditions of the Jeleznica tunnel from the Struma Highway. More detailed characteristics are made to the engineering properties of the identified rock types. It is based on qualitative parameters as RQD and GSI and quantitative parameters based on the results from the laboratory and field (geophysical and elastometric) tests. General description of the hydrogeological conditions and the estimated in-flow in the tunnel is presented. General conclusions for the design and construction are presented.

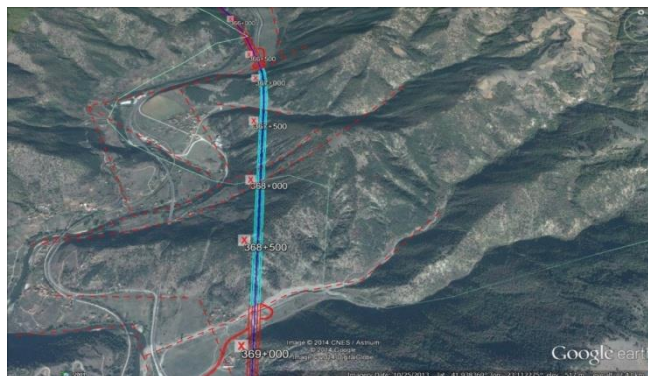
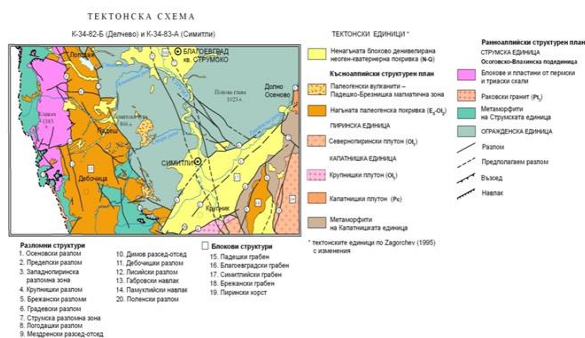
Въведение

Завършването на АМ „Струма“ е свързано с изграждането на два тунела – Кресна и Железница. Изграждането на тунел Кресна е съпроводено с редица технически, икономически и екологични проблеми, поради което се търси нова алтернатива на магистралата в този участък, докато тунел Железница е практически без алтернатива. Неговото изграждане е наложително и поради факта, че в момента се изгражда участъкът от Благоевград до Симитли, който не включва тунела. Проектното решение за изграждането на тунела предвижда дължината му да бъде 2040 m. Извършените през 2014-2015 г. на етап Идеен Проект проучвателни дейности по трасето на тунела включват: структурно-геоложка картировка, сеизмично профилиране по оста на тунела, прокарането на 8 бр. вертикални, наклонени и хоризонтални сондажи; сеизмичен каротаж, еластиметрични изследвания, нагнетяване тип Люжон, водоваливания и водочерпене в сондажите; лабораторни изследвания на скални и земни проби. Обобщените резултати от тези изследвания са представени в настоящата статия (Стойнев, 2015).

Геолого-тектонски строеж

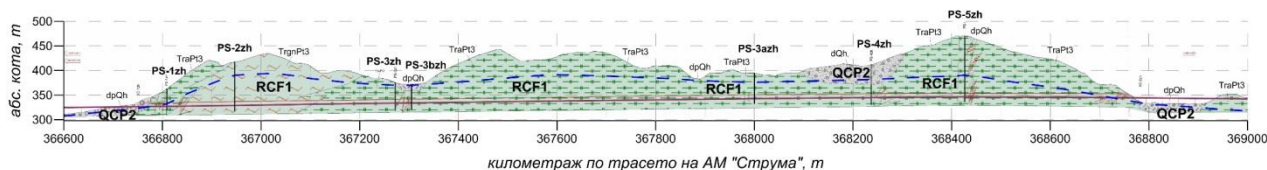
Трасето на тунела преминава изцяло през Железничкия хорст, разделящ Благоевградския (Джерманския) от Ораново-Симитлийския грабен. Той е изграден от сравнително еднообразни скали: предимно докамбийски

високостепенни метаморфити и кватернерни континентални наслаги (Желев, 2014). Докамбийските високостепенни метаморфити са представени от Тросковския метаморфен комплекс, включващ две съвкупности. В първата преобладават амфиболити и амфиболови гнайси с тела от ултрабазити, а във втората – двуслюдени и биотитови гнайси, процепени от кварцови жили. Амфиболитите преобладават в изграждането на пролома, а гнайсите имат подчинено разпространение – разкриват се под формата на лещообразни тела между амфиболовите гнайси и амфиболитите. Амфиболитите са меланократни, сивозелени на цвят, дължащ се на основния скалообразуващ минерал – амфибола. Амфиболовите гнайси имат мезократен облик, поради значителното количество на плагиоклаза, съизмеримо с това на амфибола. Тросковските гнайси са левкократни скали, контрастни на амфиболитите и включват плагиоклаз, кварц, мусковит и биотит като главни скалообразуващи минерали. Често гнайсите се проследяват или са процепени от кварцови жили с дебелина до 10 m. Кватернерните наслаги са представени от няколко литогенетични единици: алувиални, пролувиални, делувиални и алувиално-пролувиални. Алувиалните седименти са свързани с р. Струма, която прорязва старите метаморфити в обхвата на Железничкия пролом, като отлага върху тях напрекъснато алувиални наслаги (чакъли, пясъци, глини). В основата на бреговете на реката се развиват делувиални наслаги (предимно груботеригенни брекчи с глинеста спойка), а около водосливите на притоците се образуват пролувиални конуси (чакъли, валуни, пясъци).



Фиг. 1. Тектонска карта на района на Кресненското дефиле (по Милованов и др., 2009, с допълнения) и интерпретационна схема върху сателитна фотография на Google Earth на разломните структури (червени прекъснати линии) в района на тунелите (в син цвят)

ХИДРОГЕОЛОЖКИ РАЗРЕЗ ПО ТРАСЕТО НА ТУНЕЛ "ЖЕЛЕЗНИЦА", ЛОТ 3 - АМ "СТРУМА"



Условни означения

RCF1	- Воденосен пукнатинен комплекс в Троковските амфиболити и гнайси - RCF1
QCP2	- Пориви води в слабо водопропускливите кватернерни наслаги (делувий, пролувий, елувий, алувий в притоците на р. Струма) - QCP2
- - -	- Ниво на подземните води
- - -	- Тунел (нивелетна линия)
PS-1zh	- Проучвателен сондаж №

Фиг. 2. Геоложки разрез през трасето на тунела

В тектонско отношение трасето на тунела върви успоредно, но в близост до множество разломи, които по посока се отнасят към две групи: Крайцидна (150-170°) и Твърдишка (40-60°).

Разломите от първата група преобладават и принадлежат на един разломен сноп с широчина около 5 km, означаван като Струмска разломна зона. Трасето на тунела върви успоредно на него, като на места пресича някои от съставните му разломни структури (фиг. 1). В регионален аспект формирането на грабените по протежението на реката и нейната генерална посока (170°) е предопределена от тази разломна зона. Интерпретацията на линеаментите в участъка на тунелите при с. Железница показва (фиг. 3), че тези две разломни системи са предестинирали резките завои на реката в Железничкия пролом. Ако се свържат праволинейните ѝ участъци между завоите, ще се получат фрагменти от двете системи, които оформят блокова мозайка. В участъка на тунела се установяват минимум три деформационни етапа: ранен (синметаморфен), среден и късен (неотектонски). Първият етап е свързан с метаморфизма на Троковския комплекс (неопротерозой), когато в него се формира фолиацията и широки милонитни зони в гнайсите, маркирани от очни гнайси. Тези структури са изцяло литифицирани и не влияят на устойчивостта на скалния масив. Втората група

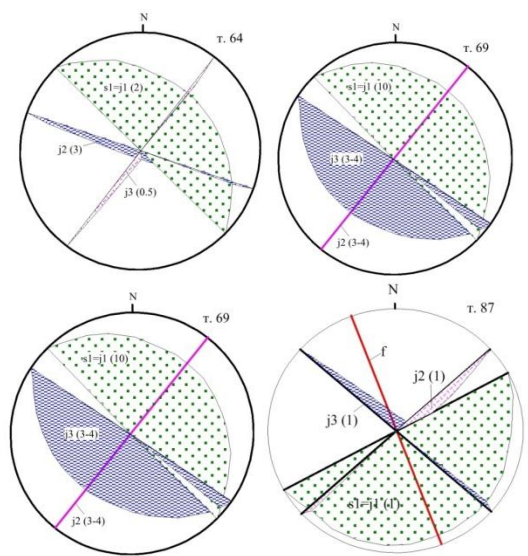
деформации се свързва с тектонските събития, които Троковските метаморфити са претърпели в един много широк интервал, обхващащ целия палеозой, мезозой и голяма част от неозой. Липсата на геоложки летопис в този регион не позволява разпознаването на каледоно-херцинските, кимерските и част от алпийските структури, установени на север в Балканидите и северния блок на Крайцидите. Със сигурност към Савските деформации може да се отнесе само една широка зона с хидротермална промяна, разкрита в шарпа на стария път от Благоевград за Железница югозападно от участъка. Тя продължава в Церовски дол, където е покрита от кватернерни алувиално-пролувиални наслаги. Свързва се с тектоно-магматичните събития в края на палеогена (олигоцен), когато на юг (извън района) се внедряват Кресненският и Севернопиринският плутони. Разломите, свързани с тези събития, се разпознават по хидротермалнопроменените скали около тях. Освен това, те се различават от неотектонските структури по малките наклони на разломните повърхнини.

Неотектонските структури са представени от две широки (25-30 m) зони на катаклаза в северната част на участъка, които се маркират от негативни релефни форми (седловина и рязка пречупка в релефа) – резултат от интензивна напуканост. Друга подобна структура е

установена северно от ретранслатора, като тук тя има характер на малък разлом с тектонска глина, но на югоизток (към Градевското дере) преминава в зона на катаклаза. Тук са установени още два малки разлома, маркирани от тектонска глина. Неотектонските разломи са вертикални, но кинематиката им не може да се установи, поради липса на маркиращи стратиграфски нива в метаморфитите. В сондажната ядка тези деформации се маркират от интервали с черна тектонска глина (милонит) или зони на катаклаза със значителна загуба на ядка.

Фолиацията е основната проникваща структура във високостепенните метаморфити. Генералната ѝ посока е СЗ-ЮИ с посока на потъване предимно на СИ. Ъглите на потъване варират в широки граници (от 18 до 70°), което показва интензивна гънкова деформация. Общо взето фолиацията очертава една моноклинална структура – фрагмент от бедро на голяма гънка. Наблюдаваните вариации в посоката на фолиацията най-вероятно се дължат на второразрядни гънки, резултат от дисхармонична нагънатост, или на късната блокова дезинтеграция и денивелация.

Пукнатините във високостепенните метаморфити оформят три ясно изразени групи (фиг. 3.). Те са ориентирани закономерно спрямо фолиацията, като ясно очертават една ортогонална пукнатинна система. Първата пукнатинна група (j1) съвпада с фолиацията (s1). Тя е най-ясно изразена и с най-голяма гъстота (7-8 бр./м).



Фиг. 3. Обобщени диаграми за ориентировката на фолиацията (s1) и пукнатинните групи (j) и разломите (f) в метаморфитите на Тросковския метаморфен комплекс. В скоби е показан броят на пукнатините на линеен метър.

Пукнатините са гладки и издържани. В централната част на участъка по тях са внедрени доста дебели кварцови жили. Втората група (j2) е нормална на j1 и има посока СЗ-ЮИ, като потъва стръмно на ЮЗ. Пукнатините са стерилни и имат характер на структури на срязване. Третата пукнатинна група (j3) е субвертикална с посока ЮЗ-СИ. Тя също е стерилна, но на места по нея се наблюдават следи от движения (харниши) (Стойнев, 2015).

Сеизмотектонски условия

Районът на Железничкия хорст е разположен в една от най-сеизмичноактивните области от тази част на Балканския полуостров. Тунелът Железница попада в Кресненската сеизмична зона, като пресича основните активни структури, които са генерирани силни земетресения. Тази зона е известна с най-силното земетресение в Европа през последните 200 години (на 04.04.1904 г.) с магнитуд $M=7,5$ според изчисленията в Пасадена (САЩ). Съществуват и данни за възможни две последователни събития с магнитуд, съответно 7,2 и 7,8. Вероятно хипоцентрите на главните събития, както и афтершоковата серия през следващите две години, са били свързани с регионалния и много активен съвременен Крупнишки разлом (Shanov, Dobrev, 2000).

Съвременните сеизмотектонски условия в зоната на тунела се определят основно от два разлома, определящи се като активни – Падешки разлом и Крупнишки разлом.

Падешкият разлом пресича трасето на магистрала „Струма“ северно от тунел Железница. Той формира добре изразен съставен разломен откос с височина до 270 m. Посоката е N 50°. Разломът затъва на СЗ. Той е ясно изразен като структура в гравитационното поле. Съвременната сеизмичност е концентрирана в блока, ограничен от Падешкия разлом и Крупнишкия разлом. Разломът контролира неогенската, вкл. плейстоценската и холоценската седиментация в понижения СЗ блок. Стратиграфският интервал на басейните предполага неотектонска и съвременна активност на разлома. Изследванията на (Шанов, Добрев и др., 2009) показват, че разломът е активен, като въз основа на установените амплитуди на преместване при едно събитие, очакваното максимално земетресение ще бъде с магнитуд $M_s > 7$.

Крупнишкият разлом пресича трасето на магистрала „Струма“, точно пред северния вход на тунела. Той е система от разломни сегменти с преобладаващо направление СИ-ЮЗ (N 50-60°), затъващ с ъгъл 50-62° на СЗ (Vrablianski, 1974). Сеизмотектонските изследвания по дължината на разлома не позволяват да се съди за магнитудите на силните земетресения, които могат да се генерират от Крупнишкия разлом. Преместванията по него, обаче, красноречиво показват, че магнитудите над 7,0 могат да се генерират, което и става през 1904 г.

Хидрогеоложки условия

Трасето на тунел „Железница“ преминава изцяло през магмено-метаморфен водоносен комплекс с пукнатинни води (RCF) (фиг. 2). Скалният масив е с различна степен на напуканост и проницаемост. Стойностите на коефициента на филтрация, определени от опитните водонагнетавания и водоналивания, са разположени в диапазона между 10-5 m/d и 10-1 m/d, а средната му стойност е $k = 0,011$ m/d, т.е. комплексът се характеризира с относително ниска водопроницаемост. Дълбочината на водното ниво под терена варира в широки граници – от 1-2 m до повече от 80 m – в зависимост от релефа. Формираният в масива водоносен хоризонт с пукнатинни води е насочен

генерално към р.Струма, като напорният градиент е сравнително висок - в зоната около тунела е в границите от 0,14 до 0,42. Оценката на очаквания водоприток показва, че тунел Железница е с относително малка водообилност. Единичният приток (на 1m) варира между 0.09 и 0.26 (m³/d)/m, като средната му стойност 0.15 (m³/d)/m = 150 (l/d)/m ≈ 0.00174 l/s на m. Следва да се отбележи, че независимо от общо взето невисоката водообилност на масива, има участъци, които трябва да се преминават с повишено внимание, тъй като в тях не са изключени по-високи водопритоци от указаните. Такива участъци могат да бъдат: а) местата в близост до големите разломи; б) участъците, където тунелът минава на малка дълбочина под някои по-големи дърета – обрушванията и напукването на скалите от взривните работи тук може да доведе до увеличен водоприток от съответната река.

Инженерногеоложки свойства на скалите

Геотехническите условия на тунела се определят от инженерногеоложките свойства на Тросковските амфиболити и гнайси (ТгаPt3), които изграждат геоложкия му разрез. Инженерногеоложката характеристика на техните свойства е направена на базата на две групи показатели:

- **Качествени показатели за свойствата на скалния масив:**
 - ✓ RQD – показател за качеството на скалата;
 - ✓ GSI – геоложки индекс за якостта на масива.
- **Количествени показатели за свойствата на скалния масив, основани на резултатите от лабораторни и полеви изследвания.**

Определяне на RQD

Показателят RQD е определен на базата на общоприета методика и представлява отношението (в %) на общата дължина на здравите скални късове от сондажната ядка с височина над 10 см към общата дължина на рейса на сондиране. При неговото определяне не са вземани предвид късовете, отделени по техногенни пукнатини. В тектонските или милонитни зони на пълно стриване на скалите, стойности за RQD не са определяни. Доколкото RQD е използван като основен показател за характеризиране на структурната нарушеност на скалите, за всеки сондаж неговата стойност е определена като средно тежестна по отношение на дължината на рейсовете за следните условия:

- средна стойност за скалния масив за цялата дълбочина на сондажа, преминаваща в скални разновидности;
- средна стойност за скалния масив за зоната на тунела.

Получените средни резултати за поделените ИГР са представени в таблица 2.

Определяне на GSI

Показателят GSI е качествена характеристика на масива, определяна по стандартна скала, предложена от Marinos, Hoek (2000), като участващите в нея основни характеристики са степен на напуканост и блоковост на масива (по вертикалната скала) и характер и състояние на пукнатините между блоковете (по хоризонталната скала). Доколкото в оригиналния вид на скалата тези показатели

се определят чисто визуално и експертно, в настоящата разработка е използвана модифицирана скала за GSI (Sönmez, Ulusay, 1999), където отделните характеристики се определят по числени процедури.

Степента на напуканост на масива е представена от показателя SR (Structural Rating – структурен коефициент), като той се изчислява количествено по данни за показателя J_v (брой пукнатини в 1 m³ от скалния масив). Определянето на този показател изисква познаване на системите пукнатини в масива и тяхната средна гъстота. Тъй като диференцирането на групите пукнатини по извадената ядка не е възможно, определянето на този показател по данни от RQD е направено по следната формула (Palmstrom, 2005):

$$RQD = 110 - 2,5 J_v$$

Преизчислената обратна връзка между показателите е:

$$J_v = (110 - RQD)/2,5$$

Определянето на показателя SR в посочената модифицирана скала става по формулата:

$$SR = -17,5 \ln(J_v) + 79,8$$

Доколкото определянето на SR е свързано с поредица косвени (емпирични) преизчисления, в крайните резултати се установяват някои особености, които трябва да се имат предвид при тяхната интерпретация. За граничните стойности на RQD=0 и RQD=100%, съответните стойности на J_v са съответно J_v=13,4 и J_v=48,4. Това ограничава стойностите на GSI в границите от около 10 до около 65-70, което основно води до подценяване на качеството на масива при по-високите стойности на RQD. В този смисъл, направените по-долу оценки за GSI имат консервативен характер за по-здравите зони от скалния масив.

Състоянието на пукнатините в масива е характеризирано с показателя SCR (Surface Condition Rating – Коефициент на състоянието на стените на пукнатините), който е сума от стойностите на следните показатели (rating) – грапавост на пукнатините (R_r – Roughness ratio), изветряне по пукнатините (R_w – Weathering rating) и вид на запълнителя (R_f – Infilling rating) в пукнатините:

$$SCR = R_r + R_w + R_f$$

Категориите на отделните показатели се определят визуално, съгласно Bieniawski (1989).

На базата на данните от визуалното описание на състоянието на пукнатините от сондажната ядка за основните скални формации и структурно-нарушените зони и свързаните с тях вторични променисаопределени интегралните характеристики на състоянието на пукнатините за отделните скални инженерногеоложки разновидности, като стойностите на съответните коефициенти (рейтинги) са представени в таблица 1.

Доколкото структурно нарушените зони и свързаните с тях вторични промени в скалите се различават от тези на основната скална разновидност и контролират свойствата на значителни по обхват зони от скалния масив, за тях също са направени самостоятелни оценки на състоянието на пукнатините. Резултатите са представени в таблица 2.

Таблица 1.

Категоризиране на показателите за състоянието на пукнатините (SCR)

Коефициент на състоянието на стените на пукнатините (SCR)	
Стойност	Инженерногеоложка разновидност
	Тросковски амфиболити и гнайси
Максимална	16
Минимална	8
Средна	11,5

Таблица 2.

Категоризиране на показателите за състоянието на пукнатините за основните типове структурни нарушения

Коефициент на състоянието на стените на пукнатините (SCR)				
Стойност	Инженерногеоложка разновидност			
	Окварцени и фелдшпатизирани скали	Хлорит-епидотови скали	Тектонити (катаклазити и милонити)	Пластични тектонити (очни гнайси)
Максимална	11	8	9,0	9,3
Минимална	9	4	6,0	6,3
Средна	10	6	7,5	7,8
Средно за масива				
Максимална	7,8			
Минимална	4,0			
Средна	11,0			

Таблица 3.

Обобщените резултати от изчисленията за показателите RQD и GSI

Показатели		RQD	GSI		
ИГР	Обхват		Средно	Мин.	Макс.
Тросковските амфиболити и гнайси (TraPt3)	масив	29,4	33,8	25,9	44,6
	тунел	37,8	35,9	28,5	44,5

За стойностите за показателя SCR, определени за скалите, се приема, че характеризират основно по-слабо нарушената част на масива, която може да се характеризира със стойности на $RQD > 50\%$ (добро качество на масива) и стойности на $SR > 22,8$. Съответните стойности за структурно-нарушената част на масива, се приема, че характеризират зоните с $RQD < 25\%$ (много лошо качество на масива) и $SR < 17,0$. Тези граници, както и средните стойности за масива, са показани на фигура 3.

Получените резултати съгласно изложената по-горе методика, са представени в таблица 1 и 2, като са използвани за определяне на показателя GSI.

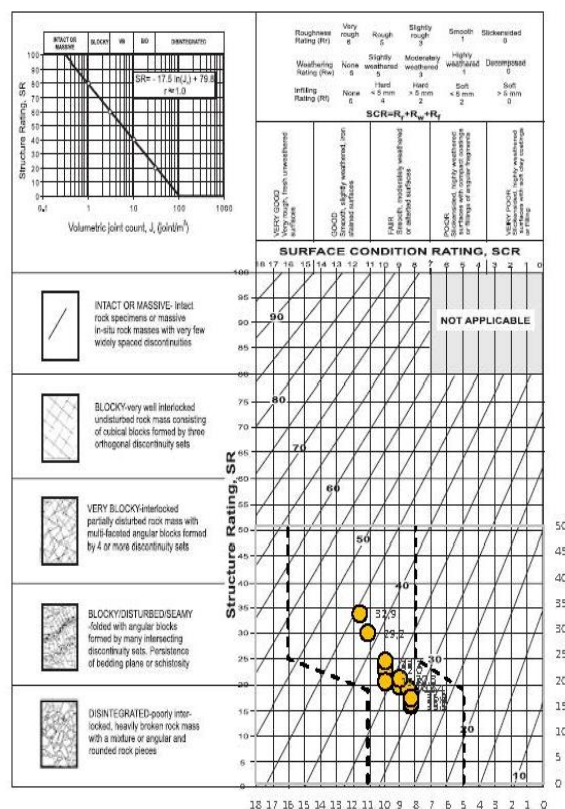
Обобщените резултати са представени на фигура 3 и в таблица 3.

Количествени показатели за свойствата на скалния масив

Количествените показатели за характеризиране на геотехническите свойства на масива са определяни чрез:

- Лабораторни изследвания на скални проби от сондажната ядка;
- Полеви еластиметрични изследвания в сондажите;
- Сеизмичен каротаж в сондажите.

Обобщените резултати от лабораторните и полеви изследвания на отделните инженерногеоложки разновидности са представени в таблица 4.



Фиг. 3. Модифицирана скала за определяне на GSI (по Sönmez и Ulusay, 1999).

Изводи и заключения

Направеният анализ на отделните елементи, характеризиращи геотехническите условия, позволява да се направят следните изводи:

- Съвременните геолого-тектонски условия са основен елемент, определящ инженерно-геоложките, хидрогеоложките и геотехническите условия. Независимо от сравнително еднородния геоложки строеж (амфиболити и гнайси), тектонското развитие е довело до образуването на големи участъци с интензивно катаклазирани и милонитизирани амфиболити. Разрезът е нарушен от няколко големи разломни структури и множество по-малки сателитни или оперяващи на тях. Скалният масив е интензивно деформиран, като деформациите са свързани не само с регионално разломяване, но и с гънковите деформации. Това се дължи на редуването в разреза на компетентни (устойчиви) гнайси и амфиболови гнайси и некомпетентни (неустойчиви) амфиболити, което е предпоставка за образуването на дисхармонична нагънатост;
- Скалният масив е с различна степен на напуканост и проникваемост. Стойностите на коефициента на филтрация, определени от опитните водонагнетявания и водоналивания, са разположени в диапазона между 10^{-5} m/d и 10^{-1} m/d, а средната му стойност е $k = 0,011$ m/d, т.е. комплексът се характеризира с относително ниска водопроницаемост;

- Единичният приток (на 1m) варира между 0,09 и 0,26(m³/d)/m, като средната му стойност 0,15 (m³/d)/m=150 (l/d)/m $\approx$ 0,00174 l/s на m. Следва да се отбележи, че независимо от общо взето нивисоката водообилност на масива, има участъци, които трябва да се преминават с повишено внимание, тъй като в тях не са изключени повисоки водоприитоци от указаните. Такива участъци могат да бъдат: а) местата в близост до големите разломи; б) участъците, където тунелът минава на малка дълбочина под някои по-големи дърета – обрушванията и напукването на скалите от взривните работи тук може да доведе до увеличен водоприиток от съответната река;

- Геотехническите условия в зоната на тунел Железница са сложни и в значителна степен неблагоприятни. Това се дължи основно на значителната степен на структурна нарушеност. Структурните нарушения (разломи, катаклазни зони, напуканост) са преобладаващо със стръмно западане, с различна честота и издържаност.Съгласно преобладаващите стойности на показателя RQD, неговото качество се изменя от „много лошо“ до „лошо“;

- Сеизмотектонските условия са едни от най-неблагоприятните и опасни за строителство на територията на България.

Таблица 4.

Обобщени резултати от лабораторните и полеви изследвания

Показатели		Тросковски амфиболити и гнайси		
ЛАБОРАТОРНИ		Мин.	средно	Макс.
Обемна плътност	ρ_n (g/cm ³)	2,19	2,65	3,13
Специфична плътност	ρ_s (g/cm ³)	2,70	2,92	3,18
Обем на порите	n (%)	0,65	9,45	23,69
Порен коефициент	e (-)	0,01	0,11	0,31
Якост на едноосов натиск в сухо състояние	R _{н.о.} (MPa)	0,30	11,7	57,9
Якост на едноосов натиск във водонапито състояние	R _{н.в.} (MPa)	0,19	3,69	24,0
Якост на опън сухо състояние	R _{оп.} (MPa)	0,17	2,00	4,86
Триаксиален опит в камера на Hoek	c (MPa)	2,20	8,60	15,0
	ϕ (°)	38,7	41,72	44,74
Коефициент на Поасон	μ (-)	0,01	0,15	0,38
Модул на еластичност	E (MPa)	3462	26774	84150
ПОЛЕВИ				
Еластиметричен модул	E ₀ (MPa)	170,9	1128,3	2941
Скорост на надлъжни вълни	V _p (m/s)	1640,21	2524,19	4187,36
Скорост на напречни вълни	V _s (m/s)	856,35	1318,45	2209,03
Динамичен коефициент на Поасон	μ_d (-)	0,27	0,31	0,38
Динамичен модул на Юнг	E _d (MPa)	4516,79	12079,4	33747,5

Литература

- Bieniawski, Z.T. *Engineering Rock Mass Classifications*. New York,Wiley,1989.
- Marinos, P., E.Hoek. A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. - *Proceedings of the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering (GeoEng2000)*, Melbourne, Australia, Technomic Publishing Co. Inc., 2000. - 1422-1440.
- Palmstrom, A.Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD). - *Tunnels and Underground Space Technology*,20, 2005. - 362-377.
- Shanov S., N. Dobrev. Tectonic stress field in the epicentral area of 04.04.1904 Kroupnik Earthquake from strea on slickensides. Geodynamic Investigations on the Territory of Bulgaria. Investigations of the Krupnik-Kresna Region Related to the 1904 Earthquake. - *Reports of Geodesy. Warsaw University of Technology*, 4 (48), 2000. - 117-122.
- Sönmez, H., R.Ulusay. Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes. - *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (36), 1999. - 743-760.
- Vrablianski, B. Main lines of tectonic activation of the Earth's crust in Bulgaria during the anthropogean. - *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, 27, 7,1974. -953-956

Фондови материали

- Желев, В. и др. Доклад за извършената картировка на тунелите в участък «Кресна» на автомагистрала «Струма». – Геофонд на «Геотехника АБС» ООД.2014.
- Милованов, П., И. Петров, В. Вълев, А. Маринова, И. Климов, Д. Синьовски, М. Ичев, С. Приставова, Е. Илиева, Б. Банушев. *Обяснителна записка към Геоложка карта на Република България в мащаб 1:50 000. Картен лист К-34-82-Г (Берово) и К-34-83-В (Кресна).* С., Консорциум Геокомплекс. 2009.
- Стойнев, С. (ред.), *Геотехнически проучвания на АМ „Струма“, участък „Благовевград – Сандански“ – ЛОТ 3.2. – тунел „Кресна“, Геофонд на «Геотехника АБС» ООД.*2015.
- Шанов С., Добрев Н. и кол. *ДОКЛАД по Договор № 458/2009 между Геологическия институт при Българска академия на науките и “Булгартрансгаз” ЕАД: Определяне на геоложките опасности в най-уязвимите участъци на Националната газопроводна мрежа.*2009.

Статията е рецензирана от проф. д-р Венелин Желев и препоръчана за отпечатване от кат. „Хидрогеология и инженерна геология“.