

## ГЕОТЕХНИЧЕСКИ УСЛОВИЯ НА ТУНЕЛ „КРЕСНА“ ОТ АМ „СТРУМА“

**Антонио Лакъв, Стефчо Стойнев**

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; [tony\\_lakov@abv.bg](mailto:tony_lakov@abv.bg)

**РЕЗЮМЕ.** Направен е преглед на отделните елементи, определящи геотехническите условия в участъка на тунел Кресна (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. Установено е аномално напрегнато състояние на масива. Направени са общи изводи и заключения за условията на проектиране и строителство.

### GEOTECHNICAL CONDITIONS OF KRESNA TUNNEL FROM STRUMA HIGHWAY

**Anotnio Lakov, Stefcho Stoynev**

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; [tony\\_lakov@abv.bg](mailto: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 Kresna 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. Abnormal in-situ stress state of the rockmass is established. General conclusions for the design and construction are presented.

### Въведение

Завършването на АМ „Струма“ е свързано с преминаването ѝ през един от най-сложните участъци – Кресненското дефиле. В проектното решение е предвидено това да стане чрез тунел, дълъг повече от 15 km. От особена важност при проектирането, а в следствие при строителството на тунела, са геотехническите условия по трасето. 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, прокарването на 17 бр. вертикални, наклонени и хоризонтални сондажи с обща дължина от 1430 m; сеизмичен каротаж, еластиметрични изследвания, нагнетяване тип Люжон, водоваливания и водочерпене и хидроразрив в сондажите; лабораторни изследвания на скални и земни проби. Обобщените резултати от тези изследвания са представени в настоящата статия (Стойнев, С., 2015).

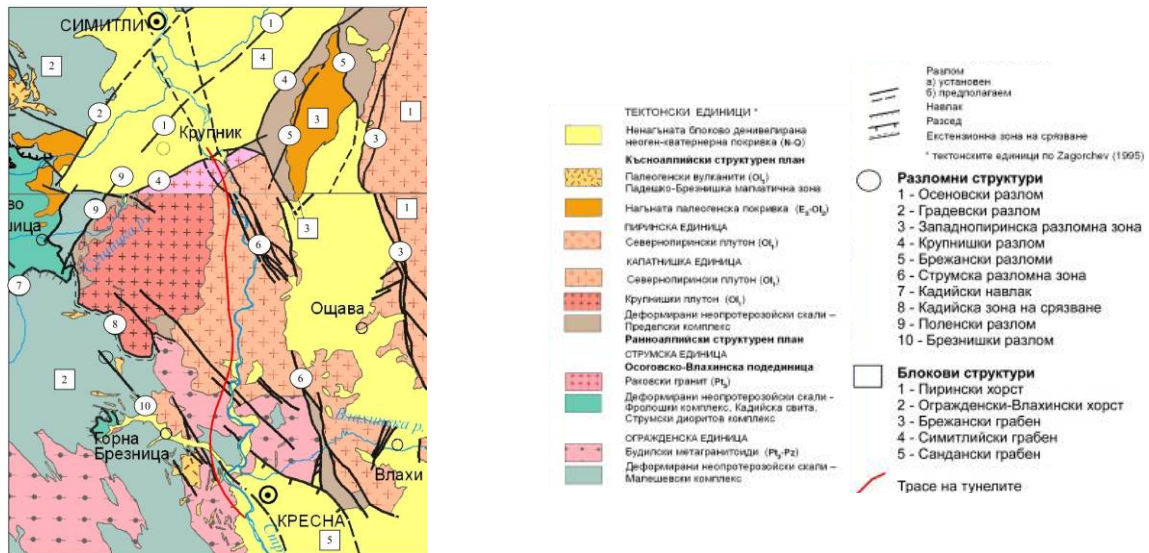
### Геолого-тектонски строеж

Трасето на тунела преминава изцяло през Кресненския хорст, който е част от южния (Беласишко-Огражденски) блок на Крайщидната морфоструктурна зона. Геоложкият разрез в северната и централната част от тунела е сравнително еднообразен - изграден е от палеогенски гранитоиди (фиг. 1 и 2) (Желев и др., 2014). Те са

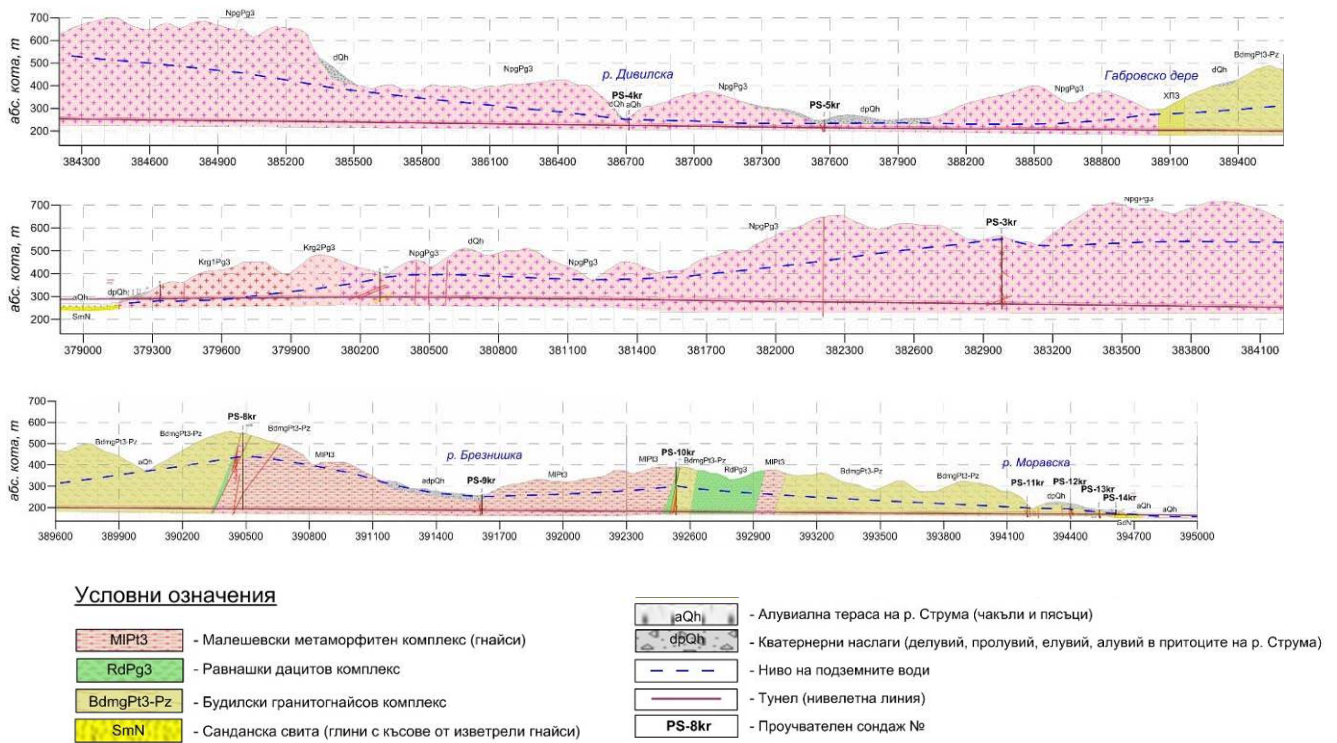
представени от два плутона – Крупнишки и Севернопирински. Крупнишкият плутон от своя страна включва две петрографски разновидности (наставки, фази). Първата е изградена от дребнозърнести биотитови гранити, а втората – от порфирни биотитови гранити. И двете наставки се разкриват в северната част на хорста. Севернопиринският плутон е представен от еднообразни биотитови гранити с преходи до гранодиорити. Те изграждат по-голямата част от хорста.

За разлика от северната и централната част на хорста, южната му част е с по-разнообразен литоложки състав - разкриват се метаморфитите на Малешевския комплекс, представени от двуслюдени гнайси и плагиогнайси, с тела от амфиболити и серпентинити. Те са процепени от Будилските метагранитоиди, включващи биотитови и двуслюдени метагранити. Тези метаморфити са пресечени от щокообразни тела и дайки от олигоценски дацити, обединени в Равнашкия субвулкански комплекс. В най-южната част на трасето на тунела се разкриват наслагите на Санданската свита (неоген). Те са представени от латерално съчленяващи се алувиални и пролувиални наслагии. Алувиалните седименти включват добре споени конгломерати и пясъчници, а пролувиалните са представени от брекчи с пясъчливо-глинеста spojka.

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



Фиг. 1. Тектонска карта на района на Кресненското дефиле (по Милованов и др., 2009, с допълнения).



Фиг. 2. Геоложки разрез през трасето на тунела.

преобладават и принадлежат на един разломен спол с широчина около 5 km, означаван като Струмска разломна зона. Трасето на тунела при Кресна върви успоредно на него, като на места пресича някои от сателитните му илипоперващи разломни структури. Втората разломна група обуславя напречното разчленяване на участъка. Най-ясно тя е изразена в Крупнишката разломна зона, по която е оформен и Ораново-Симитлийският грабен.

Сложна мозайка от неотектонски структури се наблюдава и в южния край на участъка (западно от Кресна, при изходите на тунелите). Тук те имат характер на разседи с потънали южни крила, оформящи границата между Кресненския хорст и Струмския грабен.

Само при изпълнената геоложка картировка на участъка са установени повече от 65 разломни нарушения, като част от разломните нарушения са с ориентация съпадаща с оста на тунела (Стойнев, 2015).

## Сеизмотектонски условия

Районът на Кресненското дефиле е разположен в една от най-сеизмично активните области от тази част на Балканския полуостров. Тунелът на Кресна 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 – 04.04.1904г. с магнитуд  $M=7,5$  според изчисленията в Пасадена (САЩ), но съществуват данни за възможни две последователни събития с магнитуди, 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 - Крупнишки разлом и Яворовски разлом. (Шанов и др., 2009).

Крупнишкият разлом пресича трасето на магистрала „Струма“, точно пред северния вход на тунела. Той е система от разломни сегменти с преобладаващо направление СИ-ЮЗ ( $N 50-60^\circ$ ) и затъващи с ъгъл  $50-62^\circ$  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.

Яворовският разлом пресича трасето на тунела в южната му част. Разломът, или по-точно група от разломни сегменти с направление СЗ – ЮИ, преминава североизточно от г. Кресна, но е покрит от по-млади, кватернерни седименти. При геоложката картировка по трасето на тунел „Кресна“ също са открити разломни повърхности в зоната, където трасето пресичат този разлом. Той не е проучван специално за съвременна активност, но около него има концентрация на сеизмични събития. Не е изяснена реалната дължина на активната част на разлома, но при картирана дължина около 15 km на най-дългия сегмент, е изчислена средната стойност на очакваното максимално земетресение  $M_s=6,2$  или  $M_w=6,13$ . Подобно събитие може да доведе до разместване по разлома с амплитуда около 26 cm при хипотеза за дълбочина на огнището на 15 km.

## Хидрогеоложки условия

Трасето на тунел „Кресна“ преминава през 4 водоносни комплекса. Първият водоносен комплекс е формиран в гранитните плутони, вторият в Малешевските метаморфити, третият в Равнешките дацити и четвъртият в Будилските гранитогнайси(фиг. 2). Скалните формации от състава на тези водоносни комплекси са в различна степен напукани и вторично променени, което определя и забележими различия във водопроницаемостта, респ. значителна филтрационна нееднородност на масива. Коефициентът на филтрация в различните водоносни комплекси варира между  $10^{-1}$  и  $10^{-4}m/d$ . Следва да се отбележи, че в масива е възможно да се пресекат и водопроводящи разломни зони с много висока водопроницаемост (например, в дацитовия комплекс е получена необичайно висока стойност на коефициента на филтрация - около 2 m/d).

Нивото на подземните води е установено на дълбочина, варираща в много широки граници - от 10 m до повече от 150-180 m. В една значителна част от трасето на тунела (в интервали с обща дължина 10,7 km) дебелината на водоносителната зона в скалния масив над свода на тунела е много голяма – в диапазона от 50-60 до 250-270 m, което определя значителен хидростатичен натиск върху тунелните изработки.

Подземните води в района на тунел „Кресна“ са насочени генерално от високите части на магмено-метаморфния водоносен комплекс към р. Струма. В регионален план подземният поток изглежда цялостен, но в локален мащаб съществуват хидравлично несвързани участъци и зони, обусловени от наличието на много слабопроницаеми или практически непроницаеми пространства в скалния масив.

Относително по-високата водопроницаемост на скалния масив и по-големите на места хидравлични градиенти са предпоставка да се очаква сравнително по-висок водоприток при изграждането на тунел „Кресна“. Прогнозни изчисления показват, че средният единичен водоприток е  $0,74 (m^3/d)/m \approx 0,0085 l/s$  на л.м. Между отделните участъци разликите са големи - от 0,04 до 2,1  $(m^3/d)/m$ , което се дължи преди всичко на големите различия в дебелината на водоносните комплекси и в големината на напорния градиент.

## Инженерногеоложки свойства на скалите

При настоящото изследване в зоната на тунела са диференцирани следните инженерногеоложки скални разновидности (ИГР):

- ИГР 2 - Крупнишки гранити (KgPg3);
- ИГР 3 - Севернопирински гранити (NpgPg3);
- ИГР 4 - Малешевски метаморфити (MlPt3);
- ИГР 5 - Будилски гранитогнайси (BdmgPt3-Pz);
- ИГР 6 - Равнашки дацити (RvdPg3).

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 скалните късове от сондажната ядка с височина над 10 сткъм 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 рейсове 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, 2002), 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  $1 \text{ m}^3$  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, 2009):

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

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, като 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.

Таблица 1.

Категоризиране на показателите за състоянието на пукнатините за основните скалните формации.

Коефициент на състоянието на стените на пукнатините (SCR)				
Стойност	Инженерногеоложка разновидност			
	2	3	4	5
Максимална	15 (11)	14 (8)	16 (9)	13 (9)
Минимална	10 (9)	10 (4)	14 (6)	12 (6)
<b>Средна</b>	<b>13(10)</b>	<b>12 (6)</b>	<b>15(7)</b>	<b>12(8)</b>
<b>Средно за масива</b>				
Максимална	15 (10)			
Минимална	11 (6)			
Средна	<b>13(8)</b>			

\* Стойностите в скоби се отнасят за нарушените зони.

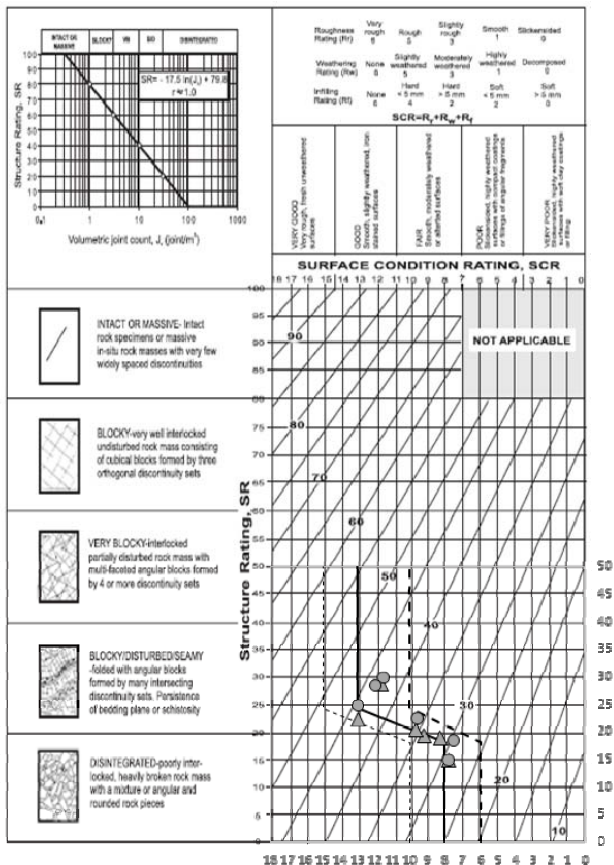
Таблица 2.

Обобщените резултати от изчисленията за показателите RQD и GSI.

ИГР	Обхват	Показатели				
		RQD	$J_v$	SR	SCR	GSI
1	масив	29,4	32,2	19,2	9,2	<b>11</b>
	тунел	37,8	28,9	22,6	9,6	<b>13</b>
2	масив	7,4	41,0	14,8	7,8	<b>33</b>
	тунел	8,0	40,8	14,9	7,8	<b>42</b>
3	масив	60,5	19,8	28,6	11,6	<b>36</b>
	тунел	61,4	19,5	29,8	11,5	<b>37</b>
4	масив	35,1	30,0	20,3	9,7	<b>30</b>
	тунел	62,1	19,2	28,4	12,0	<b>30</b>
5	масив	41,7	27,3	22,2	13,0	<b>30</b>
	тунел	48,7	24,5	24,9	13,0	<b>30</b>
6	масив	33,5	30,6	18,9	8,3	<b>37</b>
	тунел	27,1	33,2	18,5	7,5	<b>44</b>

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 стойност 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.



Фиг. 3. Модифицирана скала за определяне на GSI (no Sönmez & Ulusay, 2002).

△ – стойности за масива ○ – стойности за зоната на тунела.

Получените резултати съгласно изложената по-горе методика са представени в таблица 1, като са използвани за определяне на показателите GSI за поделените ИГР, като обобщените резултати са представени на фигура 3 и таблица 2.

### Количествени показатели за свойствата на скалния масив

Количествените показатели за характеризане 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.

### Естественото поле на напреженията в масива

Естественото поле на напреженията в масива е изследвано чрез хидроразрив в сондажите. Получените резултати показват, че хоризонталните напрежения в масива са относително постоянни, като в дълбочина, в по-плитките зони се установява известно намаляване, вероятно за

сметка на разтоварването им. Естественото напрегнато състояние, вероятно под влияние на консервирани в масива тектонски напрежения, се характеризира с отклонение на главната ос на елипсоида на главните нормални напрежения от верикалата. В масива са консервирани значителни по големина и аномално хоризонтално ориентирани, вероятно тектонски напрежения, с интензивност до около 30 МПа.

### 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 съвременните инженерно-геоложки, хидрогеоложки и геотехнически условия. Независимо от сравнително еднородния геоложки строеж (основно в северната и централна част на участъка), тектонското развитие на хорста е обусловило съществена структурна нарушеност, представена от разломи, катаклазни зони и повсеместна напуканост, които са с преобладаващо стръмно западане, с различна честота и издържаност.
- Това е довело до наличие на множество слаби зони в зоната на тунела и обуславя значителна нееднородност по отношение на неговите инженерно-геоложки свойства, значителни различия във филтрационните му свойства, а също и за локални нарушения на хидравличната му свързаност.
- Водопритокът по трасето в тунела се очаква да бъде твърде неравномерен, като по неговото протежение има участъци, в които са възможни значително повишени водопритоци от средните. Такива участъци могат да бъдат: а) местата в близост до големите разломи; б) участъците където тунелът минава на малка дълбочина под някои по-големи дерета. В близо 70% от от тунелното трасе водоносните зони са с много голяма дебелина, което определя значителен хидростатичен натиск върху облицовката на тунела.
- Масивът е значително натрошен, със силно изменчиви свойства на инженерногеоложките разновидности, включително наличие на дисперсни почви в зоните на множеството разломни нарушения. 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;

Масивът е със сложно напрегнато състояние, характеризиращо се със значителни по големина и аномално хоризонтално ориентирани, вероятно тектонски напрежения, с интензивност до около 30 МПа и с отклонение на главната ос на елипсоида на главните нормални напрежения от верикалата.

Таблица 4.

Обобщени резултати от лабораторните и полеви изследвания.

Показатели		ИГР 2	ИГР 3	ИГР 4	ИГР 5	ИГР 6
ЛАБОРАТОРНИ						
Обемна плътност	$\rho_n$ (g/cm <sup>3</sup> )	-	2,61	2,70	2,62	2,52
Специфична плътност	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	-	2,69	2,78	2,76	2,68
Обем на порите	n (%)	-	2,87	2,62	5,02	6,23
Порен коефициент	e (-)	-	0,03	0,03	0,05	0,07
Якост на едноосов натиск в сухо състояние	R <sub>н.о.</sub> (MPa)	-	72,44	56,19	43,52	48,53
Якост на едноосов натиск във водонапито състояние	R <sub>н.в.</sub> (MPa)	-	46,42	37,91	23,32	25,05
Якост на опън сухо състояние	R <sub>оп.</sub> (MPa)	-	5,96	7,50	4,42	4,73
Триаксиален опит в камера на Ноек	c (MPa)	-	26,00	12,00	-	-
	$\phi$ (°)	-	54,00	54,10	-	-
Коефициент на Поасон	$\mu$ (-)	-	0,10	0,12	0,11	0,07
Модул на еластичност	E (MPa)	-	46931	65851	49137	26398
ПОЛЕВИ						
Еластиметричен модул	E <sub>0</sub> (MPa)	373,0	3896,7	1038,6	2807,2	913,4
Скорост на надлъжни вълни	V <sub>P</sub> (m/s)	2463	3442	3316	2981	3646
Скорост на напречни вълни	V <sub>S</sub> (m/s)	1276	1801	1712	1509	1948
Динамичен коефициент на Поасон	$\mu_d$ (-)	0,312	0,31	0,32	0,33	0,30
Динамичен модул на Юнг	E <sub>d</sub> (MPa)	11197	23724	21279	16735	26428

Като цяло, геолого-тектонските, сеизмотектонските, хидрогеоложките и инженерногеоложките условия определят геотехническите условия по трасето на тунел „Кресна“ като сложни и неблагоприятни, както по отношение на проектирането, така и за строителството. Те носят голям риск и за бъдещата експлоатация на съоръжението. Доколкото други изследвания показват, че изграждането на тунела ще бъде съпроводено и със значими за района екологични проблеми, би било подходящо (въпреки напредналата фаза на проектиране на тунела) да се потърси и алтернативен вариант на сегашното трасе за преминаване в зоната на Кресненското дефиле.

## ЛИТЕРАТУРА

- Bieniawski, Z.T. *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York.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.
- Sonmez, 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 „Благовезград – 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 газопрепосна мрежа. 2009.

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