

Получена: 15.09.2017 г.

Приета: 22.12.2017 г.

ГЕОТЕХНИЧЕСКИ УСЛОВИЯ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ТУНЕЛ „СТАРА КРЕСНА“ НА АМ „СТРУМА“

С. Стойнев¹, А. Лаков²

Ключови думи: тунел „Стара Кресна“, хидрогеоложки и геотехнически условия, геотехнически показатели

РЕЗИЮМЕ

Строителството на АМ „Струма“ в района на Кресненското дефиле ще бъде извършвано в сложни геотехнически условия. Източният вариант на трасето ще премине в средната част на левия долинен склон на река Струма, чрез система от мостове, виадукти и къси тунели. В статията е направен анализ на геолого-тектонския сроеж и хидрогеоложките условия и са разгледани геотехническите условия в зоната на тунела „Стара Кресна“. Определянето на геотехническите свойства на скалните разновидности е извършено чрез използване на комплекс от полеви и лабораторни изследвания, които позволяват да се получат достоверни характеристики за якостно-деформационните свойства на скалния масив в района на тунела.

1. Въведение

Завършването на АМ „Струма“ е свързано с изграждането на участъка в Кресненското дефиле. Изграждането на магистралата в този участък е съпътствано с редица трудности, свързани както със сложните геоложки, геотехнически и сеизмични условия, така и с решаването на важни екологически проблеми. Един от най-възможните варианти е едната лента от магистралата да премине в средната част на левия долинен склон на река Струма, чрез система от мостове, виадукти и къси тунели. Силно пресеченият релеф и сложните геолого-тектонски условия ще създадат много трудности при проектирането и строителството на съоръженията.

¹ Стефчо Боянов Стойнев, доц. д-р, София, МГУ „Св. Иван Рилски“, stoynev@mail.bg

² Антонио Вутов Лаков, инж., София, МГУ „Св. Иван Рилски“, tony_lakov@abv.bg

Тунел „Стара Кресна“ е с дължина 1055 метра. Той ще бъде изграден в сложни инженерногеоложки и хидрогеоложки условия, обусловени от високата сеизмичност, високите водни нива на подземните води и сравнително ниските якостно-деформационни свойства на литоложките разновидности, изграждащи геоложкия разрез. Това прави изключително важно точното и достоверно определяне на геотехническите свойства на скалния масив, за получаване на оптимални решения при проектирането и строителството на тунела. Характеристиката на геотехническите условия на тунела е направена въз основа на извършени значителни по обем проучвателни дейности, включващи структурно-геоложка картировка, сеизмично профилиране по оста на тунела, прокарването на 3 бр. сондажи; сеизмичен каротаж, еластиметрични изследвания, нагнетяване тип Люжон, водовливания и водочерпене в сондажите; лабораторни изследвания на скални и земни проби [7].



Фиг. 1. Местоположение на тунела върху сателитна снимка от Google Earth

2. Геолого-тектонски строеж

Трасето на тунела е разположено върху западния склон на Пирин, източно от Кресненското дефиле. Релефът е силно разчленен и трудно достъпен. Развитието на релефа в този участък се обуславя главно от проявите на разломната тектоника и денудационно-планационните процеси. Тунелът попада върху третата денудационна повърхнина – 620 – 780 m. Възрастта на тези повърхнини е миоцен-плейстоценска. Релефът е усложнен от интензивно холоценско издигане, активизирало блоковите структури и свързаната с тях континентална седиментация.

В тектонско отношение районът попада в най-източната част на Краищидната структурна зона, в близост до Западнопиринската разломна зона (фиг. 1), приемана за граница между Краищидите и Родопския масив. В зоната на тунела са установени две разломни структури. Те принадлежат към т.нар. неотектонски разломи. Те са добре изразени в релефа, като ориентировката им съответства на двете основни разломни системи – Струмската и Брежанската. Геологоструктурният облик на този участък е изразен много ясно в неотектонския структурен план. Като цяло той има грабенев строеж и е част от Струмската грабенова система, ограничена в региона от Западнопиринската (от изток) и Струмската (от запад) разломни системи (снопове).

В геоложко отношение тунелът попада изцяло в широки площни разкрития на Мечкулския член на Калиманската свита, представляващ пълнежа на Саннадския (Струмския) грабен. Той е изграден от валунни гранитни конгломерати. Късовете включват предимно гранити от Севернопиринския плутон и много рядко метаморфити. Размерите им варират от сантиметър до няколко метра. Спойката е еднородна, представена от гранитен грус и много рядко от глинести прослойки. Сортировката на късовете е лоша, поради което и слоестостта е неясна. Наблюдава се само в по-фините (глинести или глинесто-песъчливи) прослойки. Мечкулските конгломерати лежат трансгресивно и дискордантно върху по-старите метаморфити на Пределския метаморфен комплекс и върху палеогенските седименти от Брежанския грабен. Поради това, както и поради пространствената им връзка с разположения на юг Сандански грабен се счита, че последният е наложен частично върху Брежанския грабен и частично върху Кресненския хорст [6].

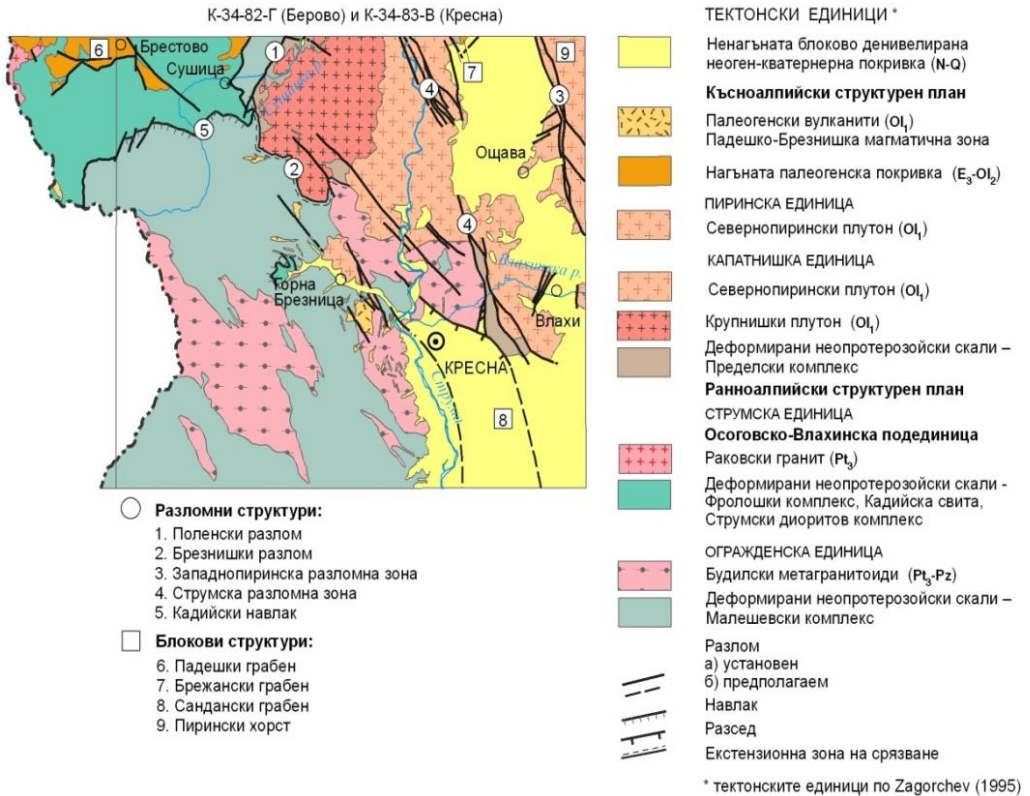
3. Сеизмичност

Трасето на тунела е разположено изцяло в Кресненската сеизмична зона. Влиянието ѝ е доминиращо за изследвания район и тази зона предопределя всички сеизмични характеристики, които пряко засягат строителството на каквото и да било съоръжение в района. Това е в резултат на развитието на Крупнишката и Струмската разломни зони и техните по-нискоразрядни единици [4].

Съгласно Еврокод 8 трасето на магистралата попада в участък с референтното максимално ускорение $aR = 0,32$ g за 475-годишен период на повтораемост.

ТЕКТОНСКА СХЕМА

К-34-82-Г (Берово) и К-34-83-В (Кресна)

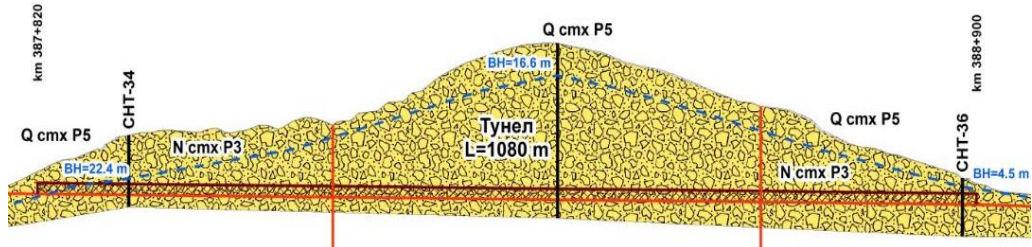


Фиг. 2. Геотектонска схема на разглеждания участък

4. Хидрогеоложка характеристика

Тунелът ще премине само една хидрогеоложка единица – неогенския комплекс с порови води в Мечкулския член на Калиманската свита.

Подземни води са установени по цялата дължина на тунела, като формират издържан водоносен хоризонт. Нивата на подземните води са на дълбочина от 4 – 5 m до 20 – 25 m под земната повърхност. В средната част на тунелното трасе, в протежение на около 50% от неговата дължина, водният стълб над тунелната тръба е сравнително висок – от 25 до 50 – 60 m. В периферията на трасето (около 40 % от общата дължина) водният стълб е с височина от 0 до 25 m, а в най-северната му част нивото на подземните води е под тунелния свод, като при входа е по-дълбоко и от неговата основа. (фиг. 3). Подземните води са порови по тип, безнапорни по характер. Поради това, че запълнителят между валуните и блоковете е от много плътни, сбити и слабо проницаеми прахово-песъчливи глини, до чакълести глини, водоносният хоризонт е с ниски филтрационни свойства, слабо водообилен. Коефициентът на филтрация варира между 4,7E-04 m/d и 1,1E-03 m/d, а средната му стойност е $k_{cp} = 8E-04$ m/d. Подхранването на подземните води е основно от топенето на снеговете в по високите части на планината и от инфилтриралите се валежи. Средният модул на подземния отток е нисък – около 0,3 l/s/km² [7].



Фиг. 3. Схема на хидрогеоложките условия в тунела

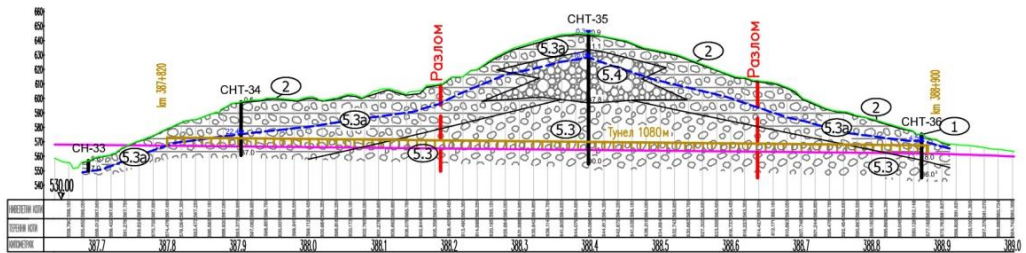
При прокарването на тунела в резултат на разуплътняване на масива, обрушвания и частично изнасяне на фини фракции от запълнителя между скалните късове (суфозия) се очаква повишаване на водопропускливостта на водоносния комплекс, особено в зоните на тектонските нарушения (разломите). В резултат на механичните промени се очаква повишаване на водопропускливостта в тези зони, което ще доведе до увеличаване на водопритока в тунелите, ще благоприятства за последващи локални обрушвания, а е възможно и да провокира пропадане на тунелния свод. С оглед на това, независимо от сравнително малката водообилност на масива, участъците в близост до големите разломи трябва да се преминават с повишено внимание, тъй като в тях не са изключени високи водопритоци и обрушвания.

5. Инженерногеоложка характеристика

В зоната на тунела са диференцирани следните инженерногеоложки разновидности (фиг. 4):

- Конгломерати от гранити с пясъчлив запълнител, разуплътнени до силно изветрели – изветрителна зона – Пласт 5.3а. Те изграждат основната част от разреза в зоната на тунела в порталните участъци и прилежащите им сектори. Пластът включва изветрителните материали на конгломератите на пласт на 5.3. Представени от силно изветрели до напълно разложени чакъли, късове и блокове (преобладаващо от 10% до 30% от състава) от гранит, в матрица от запълнител от преобладаващо прахов среден пясък до глинест, сбит, жълто-до светлокафяви. Дебелината им надвишава 15 – 20 m в дълбочина.
- Конгломерати от гранити с пясъчлив запълнител, слабо изветрели до свежи – Пласт 5.3. Неизветрялата част от пласта се установява в дълбочина, в сондажи СНТ-35 и СНТ-36, като те изграждат основната част от масива в обхвата на централната част от тунела. Съставът им е практически същият, както в изветрялата зона (пласт 5.3а), като съдържанието на относително запазените чакъли и скални късове е повишено (до 30 – 50% от състава). Цветът им е сив до тъмносив.
- Конгломерати от заоблени валуни и скални късове с прахово-пясъчлив запълнител – Пласт 5.4. Тези конгломерати са установени само в сондаж СНТ-35, където залягат на дълбочина в интервала 11,0 – 48,0 m. Те са представени от заоблени валуни и едри скални късове, плътно подредени и заемат около 60 – 80% от материалите на пласта, умерено изветрели до силно изветрели в отделни зони. Запълнителят е от слабо споен до много сбит прахов до чакълест пясък.

ИНЖЕНЕРНОГЕОЛОЖКИ ПРОФИЛ НА ТУНЕЛ „СТАРА КРЕСНА“
Mx1:10000; Mв 1:5000



УСЛОВНИ ЗНАЦИ



Насип.



Почвен слой.

Неоген



Конгломерати от заоблени валуни и едри скални блокове (до 10-20% от състава) от гранитни, силно изветрели до грусирани, в зони с единични по-здрави късове, със запълнител от прахов среден пясък, много сбит, жълто-кафяв до кафяв.



Конгломерати от заоблени валуни и едри скални блокове (до 20-30% от състава) от гранитни, слабо изветрели до свежи, със запълнител от слабо споен прахов до чакълест пясък, сив до тъмно сив.



Конгломерати от валуни и едри скални блокове (до 70-80% от състава) от гранити, заоблени, умерено изветрели със запълнител от слабо споен прахов до чакълест пясък, сиво-кафяв и жълтеникъв.



Установено водно ниво, m



Разломна зона - а) установена; б) предполагаема.

Фиг. 4. Инженерногеоложки профил на тунел „Стара Кресна“

Инженерногеоложката характеристика на техните свойства е направена на базата на две групи показатели:

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

5.1. Качествени показатели за свойствата на скалния масив

5.1.1. Определяне на *RMR*

Скалите от геоложкия разрез са характеризирани чрез показателите *RMR* (Rock Mass Rating) и *GSI* (Geological Strength Index). Използвани са както класификацията на Биениавски от 1989 г. [3], така и корелационни зависимости между показателя и скоростите на разпространение на надлъжните вълни в масива от геофизичните проучвания. Характеризирането е направено интегрално за всеки от пластове.

➤ **Определяне на показателя *RMR* по скалата на Биениавски**

Съгласно класификацията по *RMR*, качеството на масива е определено по следните показатели [3]:

• **Якост на ненарушената скала**

За всеки тип скала са използвани средните стойности на показателя за якост на едноосов натиск или за точково натоварване.

• **Стойност на показателя *RQD***

Съгласно резултатите от сондирането, стойността на *RQD* в по-голяма част от скалите е 0 или е минимална.

• **Характеристика на пукнатините**

За конгломератите в разреза (пластове 5.3а и 5.3) като еквивалентни на напукаността параметри са приети средните размери на скалните късове и включенията в тях, видът и свойствата на запълнителя.

• **Характеристика на подземните води**

Оценката на този фактор е направена на базата на определените в сондажите водни нива и съответния порен натиск, отнесен към геоложкия товар за дълбочината на тунела. При наличие на подземна вода в тунелите, определените стойности на това отношение са в порядъка от 0,25 до 0,4.

• **Условия на залягане на пукнатините**

За конгломератите, липсата на пукнатини е приета като благоприятно условие.

➤ **Определяне на показателя *RMR* и скоростите на разпространение на надлъжните вълни**

Показателят *RMR* може да се определи косвено по скоростта на надлъжната вълна V_p чрез следните зависимости между Q -индекса на Barton и V_p [1] и [2]:

$$Q = 10^{(V_p - 3.5)} \frac{100}{R_H},$$

където V_p е скоростта на надлъжната вълна в km/s;

R_H е якостта на едноосов натиск на скалата в МПа.

$$RMR = 9 \ln Q + 44 .$$

Точността на горната формула по отношение на *RMR* е ± 14 бала, като при изчисленията е приета долната граница – $RMR = 9 \ln Q + 30$.

И по двата метода са оценени минималната и максималната стойност на *RMR* в зависимост от варирането на входните параметри.

5.1.2. Определяне на показателя *GSI*

Стойностите на показателя *GSI* са определени на базата на интегралните минимална и максимална стойности на *RMR* по следната формула [5]:

$$GSI = RMR - 5 .$$

Резултатите за определяне на показателите *RMR* и *GSI* за пластове са посочени на фиг. 5 и фиг. 6.

Пласт 5.3а

	Показател	Оценка мин.	Оценка макс.
A1	UCS, МПа	0	0
A2	RQD, %	3	3
A3	Разст. между пукнатините/размер на късове, m	5	8
A4	Състояние на пукнатините	20	20
A5	Условия на ПВ	4	4
B (F)	Ориентация на пукнатините	0	0
	RMR	32	35

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS								
Parameter		Range of values					For this low range - uniaxial compressive test is preferred	
1	Strength of intact rock material	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	<1 MPa
	Point load strength index	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	2	1	0
	Rating	15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality (%)	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%		
	Rating	20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities	> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	<60 mm		
	Rating	20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (see E)	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
	Rating	30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125	
		(oint water pressure) (Pa) or (principal stress)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5	
	General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating	15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)								
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable		
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12		
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25		
	Slopes	0	-5	-25	-50			
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS								
Rating	30 - 41	20 - 31	10 - 21	0 - 11	< 11			
Class number	I	II	III	IV	V			
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock			

Показател	Оценка мин.	Оценка макс.
Едносова якост R_H , МПа	0.077	0.72
Скорост надл. вълна V_P , km/s	0.5	2.2
Q-индекс	1.3	7.0
$RMR = f(Q)$	32	47
RMR по Биениявски	32	35
Обхват на RMR	32	37
Обхват на GSI	27	32

Фиг. 5. Резултатите за определяне на показателите RMR и GSI за пласт 5.3а

Пласт 5.3

	Показател	Оценка мин.	Оценка макс.
A1	UCS, МПа	1	2
A2	RQD, %	3	3
A3	Разст. между пукнатините/размер на късовете, m	5	8
A4	Състояние на пукнатините	20	20
A5	Условия на ПВ	4	4
B (F)	Ориентация на пукнатините	0	0
	RMR	33	37

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS						
Parameter		Range of values				
1	Strength of intact rock material	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive strength is preferred
	Point load strength index	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	1 - 25 MPa 1 - 5 MPa <1 MPa
	Rating	15	12	7	4	2 1 0
2	Drill core quality (%)	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%
	Rating	20	17	13	8	3
3	Spacing of discontinuities	>2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	<60 mm
	Rating	20	15	10	8	5
4	Condition of discontinuities (See E)	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slackened surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous
	Rating	30	25	20	10	0
5	Gouge inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
	Joint water pressure (Major or principal)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing
	Rating	15	10	7	4	0
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)						
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS						
Rating	30 - 31	20 - 29	10 - 19	0 - 9	< 0	
Class number	I	II	III	IV	V	
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock	

Показател	Оценка мин.	Оценка макс.
Едносова якост R_H , МПа	6.5	6.5
Скорост надл. вълна V_p , km/s	2.3	2.6
Q-индекс	1.0	1.9
$RMR = f(Q)$	30	36
RMR по Биениявски	33	37
Обхват на RMR	32	34
Обхват на GSI	27	29

Фиг. 6. Резултатите за определяне на показателите RMR и GSI за пласт 5.3

5.2. Количествени показатели за свойствата на скалния масив, основани на резултатите от лабораторни и полеви изследвания

5.2.1. Определяне на деформационните характеристики на скалния масив

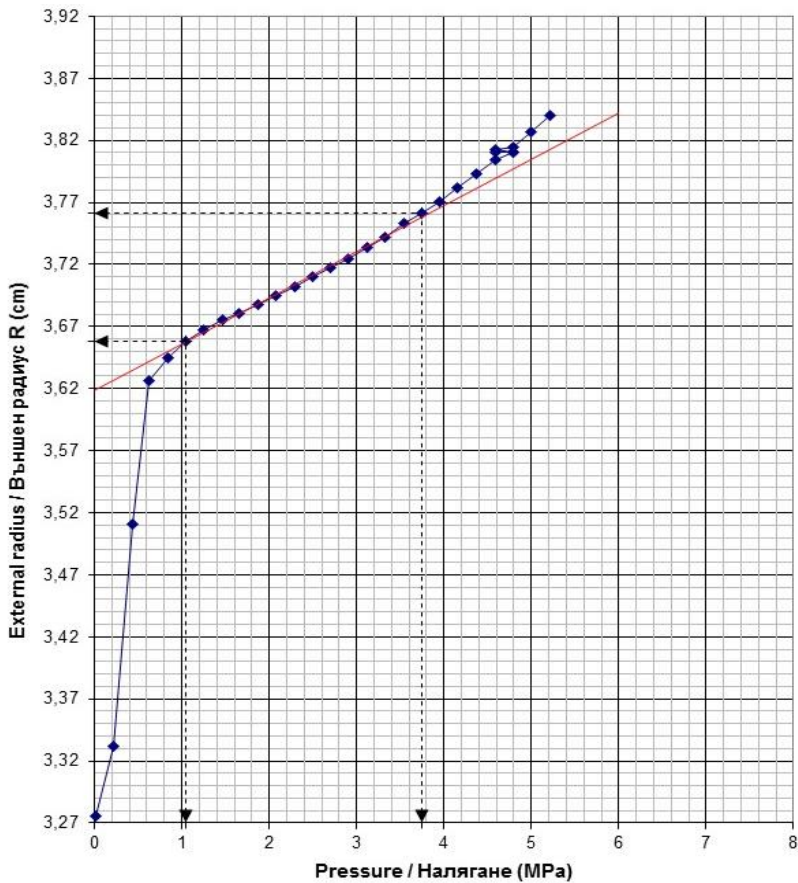
Определянето на деформационния модул на конгломератите изисква получаване на интегрални характеристики, които да отчитат общото деформационно поведение на скалата в масива. Във връзка с това, определянето на деформационните показатели на конгломератите е извършено чрез еластиметрични изследвания.

За провеждане на еластиметричните изследвания е използван Elastmeter 2 (Model-4180) на японската фирма ОУО с блок за директно измерване на радиалните деформации и ръчна помпа за подаване на налягането (фиг. 7).



Фиг. 7. Използвано оборудване при еластиметричните изследвания

Комплектовката на еластиметъра отговаря на изискванията на ASTM D4719-07 – дължина на камерата 52 cm и максимално налягане 20 МПа. Преди провеждане на полевите изпитания се извършва калибриране на устройството в тънкостенна метална тръба и получената корекция се вкарва в измервателния блок. Изпитвателната процедура включва обсаждане на сондажа с обсадна тръба 112 mm до дълбочина 1,50 метра над изследвания участък. Изследваният участък се просондира с диаметър $\phi 76$ mm до дълбочина 1,5 метра под дъното на обсадената зона. Камерата се поставя в средната част на просондирания интервал, след което се подава първоначално налягане с цел да се получи плътен контакт между стените на сондажа и камерата. Изследването се извършва, като се подава налягане в камерата на стъпки от 0,2 до 0,5 МПа в зависимост от съпротивлението на масива и етапа на изпитване. Прилагането на всяка следваща степен на натоварване се извършва на период от 2 минути. За всяка степен на натоварване се отчитат радиалните деформации и приложеното налягане. Опитът завършва при достигане на представителен линеен участък на деформиране от минимум 5 – 7 точки или започващо нарастване на нелинейните деформации. Въз основа на резултатите от изследването се построява крива на зависимостта между натоварването и предизвиканата от него радиална деформация (фиг. 8).



Фиг. 8. Диаграма от проведен еластиметричен опит

Модулът на обща деформация се определя с израза:

$$E = (1 + 0,3)r_{\text{cp}} \frac{\Delta p}{\Delta r},$$

където r_{cp} е средата на линейния участък на кривата;

$\frac{\Delta p}{\Delta r}$ – нейният наклон.

За определяне на деформационния модул на конгломератите са направени 5 еластиметрични опита – 3 броя за изветрителната зона (пласт 5.3a) и два за разуплътнените и изветрели конгломерати (пласт 5.3) [8].

Лабораторните изследвания са извършени съгласно стандартите BDS-EN-ISO за отделните видове анализи. Получените резултати показват един сравнително широк диапазон на изменение на физикомеханичните свойства, което определя и съществена неоднородност на геоложкия разрез.

Обобщените резултати от лабораторните и полеви изследвания на отделните инженерногеоложки разновидности са представени в табл. 1.

Таблица 1. Обобщените резултати от лабораторните и полеви изследвания на отделните инженерногеоложки разновидности

Показатели		Пласт 5.3а	Пласт 5.3
ЛАБОРАТОРНИ			
Обемна плътност (минимум)	ρ_n (g/cm ³)	1,86	1,90
Обемна плътност (максимум)	ρ_n (g/cm ³)	2,03	2,13
Обемна плътност (средно)	ρ_n (g/cm ³)	1,97	2,03
Порен коефициент	e (-)	0,53	0,459
Якост на едноосов натиск (минимум)	q_u (kPa)	59,63	129,56
Якост на едноосов натиск (максимум)	q_u (kPa)	94,95	578,01
Якост на едноосов натиск (средно)	q_u (kPa)	77,44	369,92
Якост на срязване (характеристични)	c (kPa)	39,8	39,8
	ϕ (°)	35,20	35,20
Компресионен модул ($P_{cp}= 300$ kPa) (средно)	M (MPa)	9,96	13,12
Коефициент на Поасон	μ (-)	0,4	0,38
ПОЛЕВИ			
Еластиметричен модул	E_0 (MPa)	319,6	405,1
Скорост на надлъжни вълни	V_P (m/s)	2592,76	1144,04
Скорост на напречни вълни	V_S (m/s)	1143,75	474,73
Динамичен коефициент на Поасон	μ_d (-)	0,375	0,403
Динамичен модул на Юнг (среден)	E_d (MPa)	8830	1929,31

6. Заключение

Направеният анализ на геотехническите условия в зоната на пътния тунел позволява да се направят следните изводи:

- Тунелът ще бъде изграден в еднородна геоложка среда от разуплътнени и изветрели конгломерати с наличие на два неотектонски разлома.
- При прокарването на тунела в резултат на разуплътняване на масива, обрушвания и частично изнасяне на фини фракции от запълнителя между скалните късове (суфозия) се очаква повишаване на водопропускливостта на водоносния комплекс, особено в зоните на тектонските нарушения (разломите). В резултат на механичните промени се очаква повишаване на водопропускливостта в тези зони, което ще доведе до увеличаване на водопритока в тунелите, ще благоприятства за последващи локални обрушвания, а е възможно и да провокира пропадане на тунелния свод.

- Якостните параметри на скалния масив са определени чрез полеви изследвания (определяне на геоложкия индекс за якостта на масива *GSI*) и лабораторни анализи (якост на срязване и якост на натиск. Получените резултати показват един сравнително широк диапазон на изменение на физико-механичните свойства, което определя и съществена нееднородност на геоложкия разрез.
- Деформационните свойства на скалния масив са определени чрез еластично-метрични изследвания, което позволява да се получат интегрални стойности, отчитащи значителната нееднородност на конгломератите.
- Сеизмотектонските условия са едни от най-неблагоприятните и опасни за строителство на територията на България.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Barton, N.* 2002: Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.* nr. 39, pp. 185-216. *Bhawani Singh, Jethwa, J. L., Dube, A. K. and Singh, B.,* 1992: Correlation between observed.

2. *Bieniawski, Z. T.* (1984). *Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling*, p. 272. Balkema, Rotterdam.

3. *Bieniawski, Z. T.* *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York. 1989.

4. *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.

5. *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.

Фондови материали

6. *Желев, В. и др.* Доклад за извършената картировка на тунелите в участък „Кресна“ на автомагистрала „Струма“. Геофонд на „Геотехника АБС“ ООД. 2014.

7. *Лаков, А.* (ред.) Изработване на разширен идеен проект с парцеларен план за Автомагистрала „Струма“, лот 3.2, участък „Крупник–Кресна“ – ляво платно с приблизителна дължина 23,8 km – тунел „Стара Кресна, Геофонд на „Геотехника АБС“ ООД, 2017.

GEOTECHNICAL CONDITIONS FOR CONSTRUCTING THE “STARA KRESNA” TUNNEL ON STRUMA HIGHWAY

S. Stoynev¹, A. Lakov²

Keywords: “Stara Kresna” tunnel, hydrogeological and geotechnical conditions, geotechnical properties

ABSTRACT

The construction of Struma Highway through the Kresna Gorge will be carried out in complicated geotechnical conditions defined by the mountain terrain and the complex geological and tectonic structures. The Southern Variant of the highway passes through a high tableland from the left bank of the Struma River with a sequence of bridges, viaducts and short tunnels. One of the most important issues for the design and construction of the tunnel is to define the geotechnical properties of the rocks from the geological section. This paper discusses the geological, tectonic, hydrogeological and geotechnical conditions of the “Stara Kresna” tunnel. Reliable values for the strength and strain rock-mass properties are derived through a complex of field and laboratory tests.

¹ Stefcho Stoynev, Assoc. Prof. Dr. Eng., University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia, e-mail: stoynev@mail.bg

² Antonio Lakov, Eng., University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia, e-mail: tony_lakov@abv.bg