

A CASE STUDY OF THE ROCK DISCONTINUITIES IN SLOPES SITUATED NEAR SECTIONS FROM THE STATE ROAD NETWORK

Veselin Balev, Dimitar Kaykov, Ljupcho Dimitrov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: veselinbalev@mgu.bg

ABSTRACT. In the current case study, in situ measurements have been conducted for determining the rock discontinuities in slopes situated near certain sections from the state road network. These measurements have been conducted as part of a periodic monitoring program. The main fault systems for each slope have been identified, which are considered to directly influence the slope stability on a local scale. These analyses are conducted in order to ensure the safe use of the road network. The gathered data is processed by a specialised engineering software product. Certain recommendations have been made for maintaining the slope stability, mainly for ensuring the safe passage on the state road network. The slopes situated near the roads are classified into two groups – low slide risk slopes and high slide risk slopes. The major actions recommended for this case study are the mounting/building of safety nets, “wall pockets” for accumulating fallen rock, and artificial rock toppling of hanging and unstable rocks, all of which lower the risk of rock sliding and toppling over the road.

Key words: structural discontinuities, rock slope, civil engineering

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТРУКТУРНИТЕ НАРУШЕНИЯ НА СКАЛНИ ОТКОСИ В БЛИЗОСТ ДО ОТДЕЛНИ УЧАСТЪЦИ НА РЕПУБЛИКАНСКАТА ПЪТНА МРЕЖА

Веселин Балев, Димитър Кайков, Люпчо Димитров

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В настоящото изследване са направени полеви (in situ) изследвания на структурните нарушения на масива в скални откоси, разположени в близост до отделни участъци на републиканската пътна мрежа. Това е осъществено с цел да се извършва периодичен мониторинг. Установени са главните системи пукнатини, които имат пряко отношение към локалната устойчивост на изследваните скални откоси. Събраните данни са обработени чрез специализиран софтуерен продукт. След анализиране на получените резултати са направени препоръки, свързани с осигуряването на локалната устойчивост на скалните откоси в близост до разглежданите участъци на републиканската пътна мрежа и с осигуряването на безопасна експлоатация на автомобилния път. Препоръките основно включват разделяне на изследваните участъци в две групи – с нисък и висок риск от свлачищно-срутищни процеси. Част от мерките, осигуряващи локална устойчивост, са: монтирането на мрежи, „скални джобове“ и обрушване на разхлабени скални блокове, ограничаващи отделянето на единични на скални късове от скалния откос и попадането им в границите на пътните платна.

Ключови думи: структурна нарушеност, скален откос, гражданско строителство

Въведение

Структурната нарушеност на скален масив носи в себе си обем информация, необходима за определяне на технологичните свойства на скалите. Нейното изучаване е продължителен процес, в резултат на което се натрупва голямо количество фактически материал. Изучаването на структурната нарушеност на скални откоси, попадащи в обхвата на трасето на път, част от републиканската пътна мрежа, се налага от необходимостта да се актуализира и потвърди информацията за геоложкия строеж и нарушеността на масива. Структурната нарушеност дава възможност да се представят пространствено и групите пукнатини, развити интензивно по скалните откоси в непосредствена близост до пътя. Тези откоси през годините са подлагани на изветряване, развитие на свлачищни и срутищни процеси и допълнително отслабване на физико-механичните свойства (ФМС) на скалите, изграждащи изследваните откоси. Структурната нарушеност на масива

има отношение и към поведението на скалните откоси по трасето на изследвания път и в бъдеще.

Изследване на структурната нарушеност на масива

Показателите, характеризиращи механичните свойства на масива in situ – на реалния скален масив – може значително да се различават от свойствата, определени в лабораторни условия. Това се отнася най-вече за якостта на натиск и опън, модула на еластичност и коефициента на Поасон. Но най-съществено влияние върху несъответствието между показателите, получени в лаборатория и in situ, оказва структурната нарушеност на масива и по-конкретно – броят и ориентацията на отслабващите повърхнини. Поради това изготвянето на класификационните оценки на скалния масив не може да се

извърши, без да се отчете реалната му структурна нарушеност.

При наличие на три и повече системи пукнатини, в масива се оформя елементарен структурен блок. Формата, размерите и ориентацията в пространството на структурния блок влияят върху устойчивостта на скалните откоси, поради което тези параметри трябва да бъдат установени. Освен това естествената блоковост оказва влияние и върху степента на раздробяване и развитие на свлачищни и срутищни процеси.

Въз основа на изложените по-горе съображения става ясно, че изучаването на структурната нарушеност конкретно за всеки изследван участък е необходимо и неотложно изследване, без което не могат да се правят необходимите оценки за стабилитетни изчисления. Резултатите от изследването ще дадат отговор на основните въпроси, свързани с геомеханичното поведение на повлияния от времето скален масив, изграждащ изследваните участъци.

Изучаването на структурната нарушеност на масива във всеки участък поотделно се извършва по метода на масово замерване на пукнатини с използване на геоложки компас и ролетка. Измерванията се извършват на участък от скалния откос на предварително избрана площадка, наречена „Измерителна станция“. Измерителната станция се маркира с тънко въже или линия от началото до края ѝ, което образува „измерителна линия“. Измерителната линия е дублирана с мерна лента за улесняване отчитането на разстоянията от началото на станцията до съответната пукнатина. Като се започне от началото, с геоложки компас последователно се регистрират пукнатини, с дължина, по-голяма от 0.5 m, пресичащи измерителната линия. Показателите, характеризиращи пространственото положение на пукнатините, се установяват с компас, с който се измерват параметрите: ъгъл на западане - $DIP=\beta$, посока на западане - $DIP\ DIRECTION$, посока на разпространение - $STRIKE=\alpha$.

Между посоката на западане $DIP\ DIRECTION$ и посоката на разпространение $STRIKE$, съществува зависимостта: $DIP\ DIRECTION = \alpha \pm 90$.

При по-нататъшната интерпретация на получените данни и за оценяване на влиянието на отделните пукнатини върху структурната нарушеност на откосите се отчита и техният характер. За целта те се систематизират в три групи, а именно:

- тип „x“-пукнатина с голяма издържаност – разпространява се извън границата на борда;
- тип „d“-пукнатина, която се проследява и завършва до друго нарушение;
- тип „г“-пукнатина с малка издържаност – разпространява се на относително неголямо разстояние и се загубва в масива.

Масовото измерване на пукнатините преследва следните основни цели: **установяване на броя на системите пукнатини, тяхната ориентация и оценка на състоянието им.**

Системи пукнатини

Система пукнатини в скалната механика е група повтарящи се пукнатини с очевидно успоредни или близко до успоредните направления и ъгли на западане. Пукнатини с друга ориентация, които не могат да се включат към някоя от системите, се наричат случайни. Състоянието

на контактните повърхнини на пукнатините определя степента на деформируемост на масива, коравината му и възможностите за хлъзгане. Степента на нарушения от взривните работи зависи от същите фактори.

При наличие на три и повече системи пукнатини в масива се оформят структурни блокове, формата и размерите на които зависят от ориентацията на системите и от разстоянието между пукнатините на отделните системи. В триизмерната блокова структура на масива има значително повече „степени на свобода“ за деформации, отколкото в масиви с по-малко от три системи. Степента на нарушаване на вместващите скали също е силно зависима от броя на системите пукнатини. За да се определи броят на системите пукнатини в даден участък, е необходимо да се извърши масово замерване и да се установят параметрите на голям брой пукнатини (около 50), а при различни петрографски типове, формиращи скалните откоси и твърде различаваща се ориентация – значително повече. Броят на системите обикновено е пропорционален на големината на картираните площи – колкото по-голяма е изследваната площ, толкова повече системи могат да бъдат регистрирани. Това, обаче, не означава, че всички те ще се проявяват в обособена част от масива. След завършване на първия етап – масовите замери – става възможно да се установи броят на системите локално, на определени места, представляващи интерес. Устойчивостта на скалните откоси, или деформируемостта на масива на тези места ще бъде функция на съответния брой системи, установени за съответния район, а не на общия брой, установен при масовото замерване. Определените пукнатинни системи се означават с номер с цел по-лесното им идентифициране. Най-добре изявената система може да бъде обозначена със „система №1“ и т. н., но системите могат да бъдат номерирани и по реда на тяхното значение за устойчивостта. Системните пукнатини от дадена система се разграничават от несистемните още при определянето коя система кой номер да бъде. Несистемни са пукнатините, които имат случайна, различна от преобладаващата, ориентация. В случаи, в които системите не могат да бъдат отчетливо разграничени в дадената област, се използват статистически тестове за идентифициране на направленията на множеството полюси, нанесени на полярна равноплоскостна мрежа. При анализ на влиянието на системите пукнатини върху скални откоси обикновено се прави съпоставка на разстоянието между пукнатините в отделните системи с размерите на скалния откос. Малките разстояния ще повлияят на откоси с малки размери, а големите – на откоси с големи размери. Изхождайки от това, за проверка на устойчивостта на откосите най-напред се проверява взаимната ориентация на стените и на системи пукнатини само от типа „x“, а след това – и на системи от типа „x+d“.

Състояние на пукнатините

Върху състоянието на реалния скален масив съществено влияние оказва не само геометричната характеристика на пукнатините, но и състоянието на техните контакти. Това налага в общия комплекс по измерване на количествените и качествени показатели на напукаността да се включат следните параметри:

- разтвореност на пукнатините и характер на техните контакти;
- характер на стените на пукнатините;

- профил на пукнатините по линия на разпространение и линия на западане;
- якост на запълвачния материал и на стените на пукнатините;
- дебелина на запълвачния материал;
- степен на оводненост;
- степен на изветряване.

Тези показатели в съчетание с физико-механичните свойства на скалите, установени при изследването, следва да дадат пълния комплекс от параметри, необходими за определяне на технологичните характеристики на изследваните скални откоси по трасето на път, част от републиканската пътна мрежа.

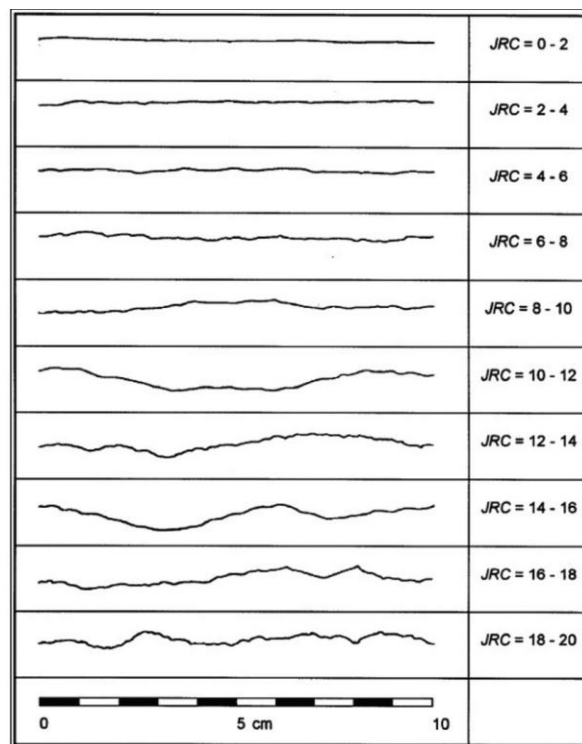
В обхвата на изследваните участъци от републиканската пътна мрежа са изследвани 24 скални откоса и са измерени всичко над 2500 броя пукнатини, при сумарна дължина на изследваните участъци над 5 km. От тях са извадени от обработка къси пукнатини с дължина под 0.8 m, които не влияят на структурната нарушеност на масива. Обработени са над 2000 замери на посоката на разпространение и ъгъла на западане на плоскостта на всяка пукнатина (Фиг. 1).



Фиг. 1. Извършване на замери за определяне състоянието на скален откос в изследван участък от републиканската пътна мрежа

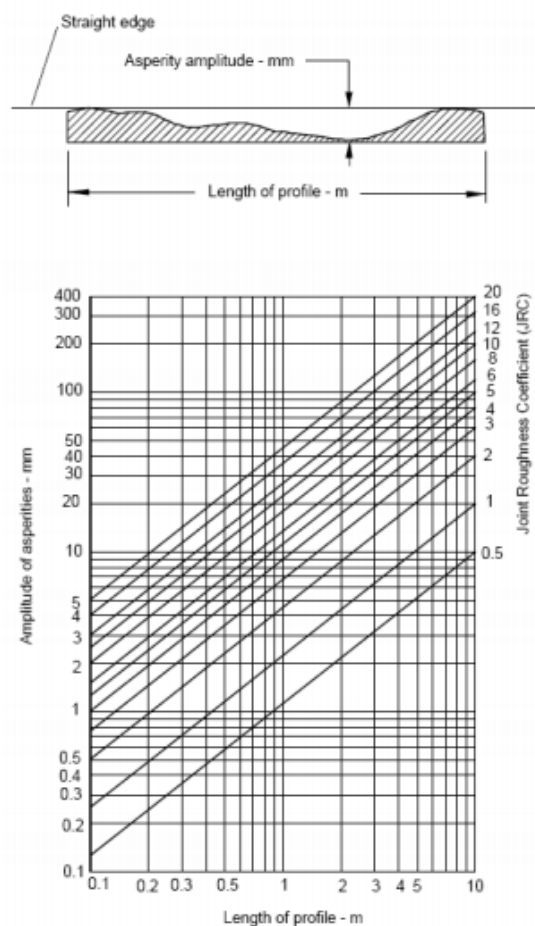
Полеви (in situ) оценки за JRC и JCS

Грапавостта на нарушението (пукнатината), или Joint Roughness Coefficient (JRC), е число, което може да бъде определено чрез съпоставяне на повърхността на нарушението със стандартни профили, предложени от Бартон. Едни от най-често използваните профили са представени на Фиг. 2. Повърхността на нарушението се сравнява визуално с профилите и избраният профил (този, който най-близко съпада с профила на естественото нарушение) дава стойността на JRC. В случай, че нарушението е по-протяжно от мащаба на предложените профили, стойността на JRC се определя по цялата му дължина.



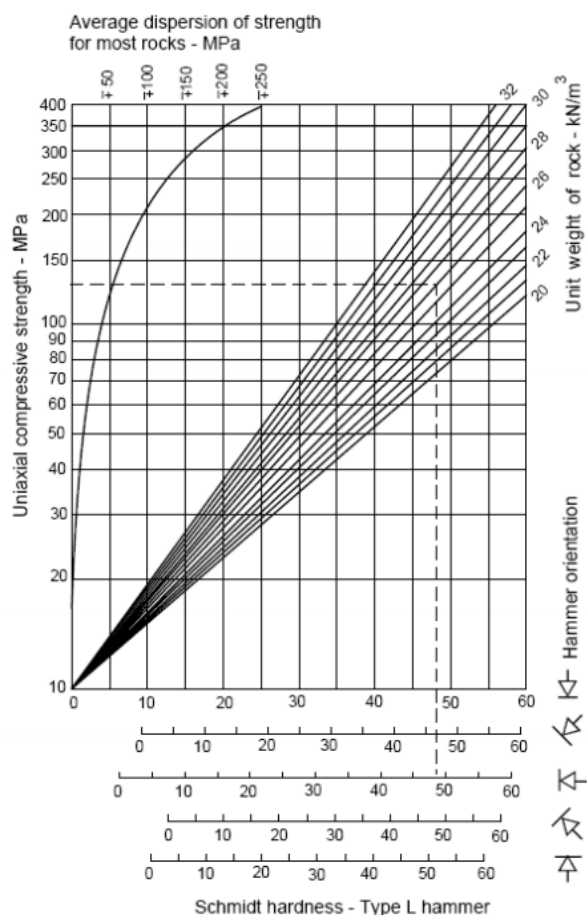
Фиг. 2. Връзка между коефициента на грапавостта на нарушението (пукнатините) и определения профил

На фиг. 3 е представен алтернативен метод за определяне на JRC в зависимост от амплитудата на неравностите и дължината на пукнатината:



Фиг. 3. Алтернативен метод за определяне на JRC

Извършени са полеви (in situ) оценки за коефициента на якост на стените на пукнатините - Joint Compression Strength (JCS), или още известен като нормална натискава якост на стената на нарушението. Препоръчаните методи за определяне на JCS съгласно ISRM са чрез чук на Шмидт. Обработката на резултатите е с помощта на Фиг. 4:



Фиг. 4. Връзка между резултатите от чука на Шмидт (L) и плътността на скалата, якостта на едноосов натиск в зависимост от отскока.

Обработка на данните и представяне на резултатите

Обработката на данните и представянето на резултатите са извършени с използване на програмния продукт DIPS 8.0 [Rocscience, 2021]. Данните се нанасят на полярна равноплосчна стереомрежа, в която плоскостта на пукнатината се представя като точка, нанесена на полусферата, наречена полюс. Центърът на сферата е разположен в плоскостта на пукнатината. За инженерни цели се използва долната полусфера.

Проекцията на полусферата представлява окръжност (360°), разделена с радиуси на сектори през 10°, по която се нанася посоката на разпространение на пукнатината. С девет концентрични окръжности (през 10°) се означава ъгълът на западане на плоскостта на пукнатината, който нараства от центъра към външната окръжност. По този начин, местоположението на полюса отразява и двете измерения – посока на разпространение и ъгъл на западане.

Полярната равноплосчна проекция е най-подходящата за представяне на полюсите на пукнатините, тъй като не е необходимо да се извършва ротация или припокриване. Струпванията на полюсите на пукнатините (облаците, които множествата данни образуват), се отличават добре и това е първата стъпка за получаване на средната ориентация на отделните системи пукнатини. За оконтуряването им и за определяне на плътността на полюсите се използва методът на Schmidt, а диапазонът на разсейване се определя с корекцията на Terzaghi, която най-често е 15°.

Оконтуряването включва полагане на квадратна решетка върху равноплосчната мрежа. Най-малката окръжност в центъра на равноплосчната диаграма, която представлява 1% от общата ѝ площ, се полага на местата на пресичане на линиите на решетката. Броят на полюсите, които попаднат в тази окръжност, се преброява за всяка пресечна точка. Така се получават очертанията на различните плътности в до 6 контурни интервала.

Посоката на разпространение и ъгълът на западане на центъра на най-високата концентрация определят полюса на дадената система пукнатини.

Друга възможност за представяне на резултатите от масовото замерване на пукнатини е диаграмата „Роза на пукнатините“, която представлява кръг, маркиран от 0 до 360°, разделен с радиуси на сектори през 10°. Измерените данни за ориентацията (само за посоката) се групират в най-близкия 10-градусов сектор, като техният брой се представя чрез големината на „листенцата на розата“, огледално разположени от двете страни на центъра на кръга, ограничени от концентрични окръжности през 5, 10 и 15 (или през други интервали), наблюдения. Данните за наклона в тази диаграма не могат да бъдат представени.

Изследване на структурната нарушеност на скални откоси по трасето на част от републиканската пътна мрежа

За изясняване на степента на напуканост на масива по изследваните двадесет и четири (24) скални откоса по трасето и определяне на броя и ориентацията на системите пукнатини, изследването е извършено в три направления:

1. За установяване на глобалната структурната нарушеност е обхванат почти целият район, разделен по участъци. В част от скалните откоси в различните участъци не е възможно картиране на случайни повърхнини, тъй като има наличие на предпазни мрежи, интензивно затрупване на изграждащите ги скали с почва и поради тази причина те са променили формата си. В тези участъци е извършено картиране на случайни пукнатини в местата с безопасен достъп.

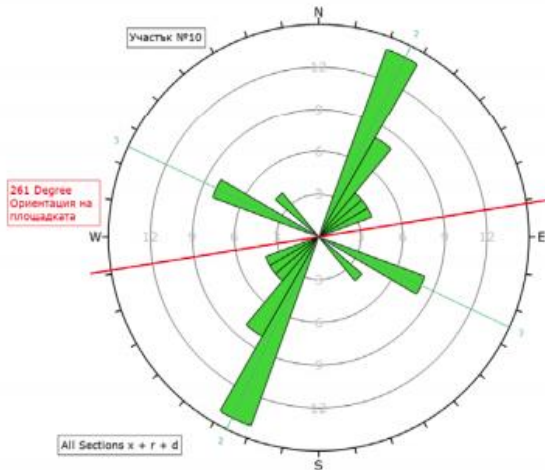
2. За проверка дали съществува пространствена разлика в степента и в характера на напукаността е извършено сравнение за групите пукнатини във всеки участък.

3. За решаване на един от конкретните етапи в задачата – определяне на общата структурна нарушеност по участъци, са извършени отделни изследвания на напукаността като са определени:

- якостта на стени на пукнатините с чук на Schmidt,
- геоложкия индекс за якостта (GSI - Geological Strength Index),
- коефициента на грапавост на пукнатините (JRC – Joint Roughness Coefficient),

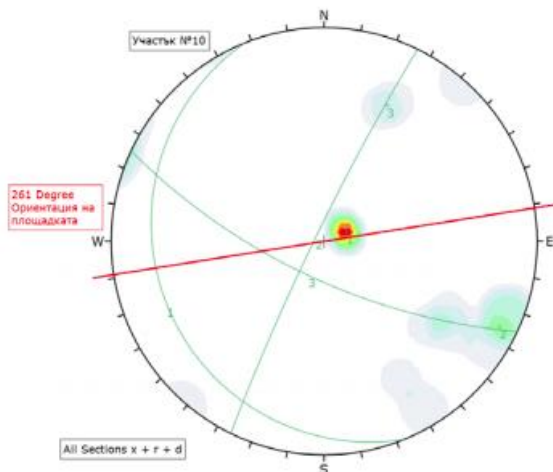
- коефициента на якост на стените на пукнатините (JCS - Joint Compression Strength).

На Фиг. 5а и 5б са представени резултати от изследването на глобалната структурна нарушеност от пукнатините от тип x, d и г за един от изследваните участъци, като резултатите за останалите участъци са получени аналогично. Фиг. 5а показва полярната равноплосчна стереорежа, групирането и контурите на въведените полюси на пукнатините от трите типа x, d и г.



Фиг. 5а. Резултати Полярна равноплосчна стереорежа с групиране и контури на полюсите на пукнатините тип x, d, г

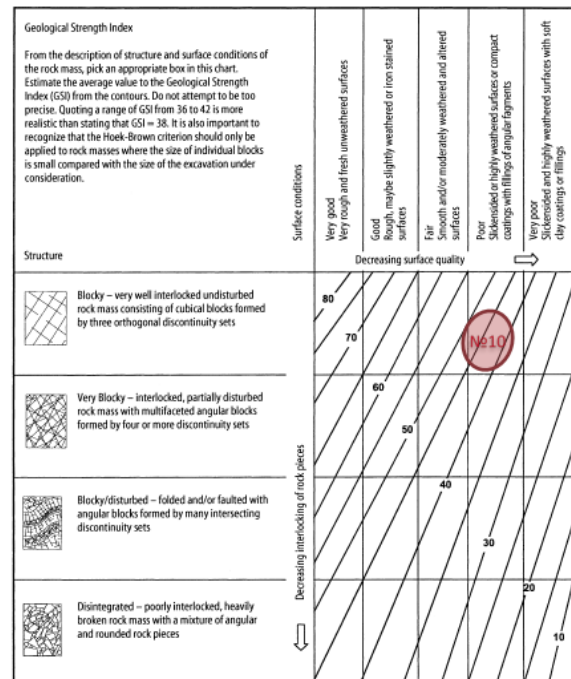
На фиг. 5б са показани системите пукнатини в диаграма „роза на пукнатините“.



Фиг. 5б. Ориентация на трите основни системи пукнатини в масива изграждащ скалния откос от участък

Определен е GSI на скалния откос от посочения участък ($GSI \approx 43$), при който качеството на масива е лошо (силно изветрели повърхности, запълнени със скален материал и глина) (Фиг. 6).

Структурата на масива е блокова – с преобладаващо добре контактуващи нарушения и частично нарушена с многообразни ъгловати блокове, образувани от три плюс случайни системи пукнатини.



Фиг. 6. Характеризация на скалния масив базирана на структурата и състоянието на нарушенията GSI за Участък №10 (Hoek and Brown 1998).

Залючения и препоръки за изследвания път, част от републиканската пътна мрежа

1. Масивът изследвани участъци е блоково напукан. Размерът на структурния блок може да бъде определен. В отделните участъци е в пряка зависимост от степента на нарушеност на масива, ориентацията, западането на системите пукнатини и пресичането им.

2. Важно е да се отбележи, че в част от изследваните участъци се наблюдават потенциално застрашени от свлачищносрутищни процеси зони над скалните откоси.

3. В изследваните участъци от пътя, част от републиканската пътна мрежа, скалните откоси могат да се категоризират в две категории (вж. Табл. 1 по-долу):

- I категория – откоси с нисък риск от свлачищносрутищни процеси;

- II категория – откоси с висок риск от свлачищносрутищни процеси;

4. За скалните откоси от II категория следва да бъдат проведени допълнителни инженерно-геоложки и хидрогеоложки проучвания, на база на които да се извърши оценка на устойчивостта по представителни профилни линии и да бъдат проектирани и оразмерени високоякостни оградни мрежи и/или укрепителни системи. Препоръчва се още и прилагането едно или повече от изброените мероприятия, които биха подобрили устойчивостта на рисковите откоси:

- обриване на разхлабените блокове, изграждащи скалния откос;

- поставяне на предпазни мрежи по цялата дължина на откоса;

- изграждане на стомано-бетонни „джобове“ с височина не по-малка от 1 метър с цел задържане на обрушени

скални блокове и възпрепятстване попадането им на пътното платно.

Таблица 1. Категоризация на участъците от изследвания път, част от републиканската пътна мрежа, по степен на риск

Участък	I категория	II категория
Участък № 1	-	√
Участък № 2	-	√
Участък № 3	√	-
Участък № 4	√	-
Участък № 5	-	√
Участък № 6	√	-
Участък № 7	√	-
Участък № 8	-	√
Участък № 9	-	√
Участък № 10	-	√
Участък № 11	-	-
Участък № 12	-	√
Участък № 13	-	√
Участък № 14	-	√
Участък № 15	-	√
Участък № 16	-	√
Участък № 17	√	-
Участък № 18	-	√
Участък № 19	√	-
Участък № 20	-	√
Участък № 21	-	√
Участък № 22	-	√
Участък № 23	√	-
Участък № 24	-	√

Литература

- Bandis, S., A. Limsden, N. Barton. 1982. Experimental Study of Scale Effects on the Shear Behaviour of Rock Joints. - *Int. J. Rock Mech.* Perg. Ltd., London.
- Barton, N.. 1982. *Shear Strength Investigation for Surface Mining*, London.
- Barton, N., E Choubey. 1977. The Shear Strength of Rock Jointed Model in Theory and Practice. - *Rock Mechanics* 2/1977.
- Barton, N. 1976. The shear strength of rock and rock joints. - *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 13, 1-24.
- Barton, N. R., S. C. Bandis. 1990. Review of Predictive Capabilities of JRC-JCS Model in Engineering Practice. - In: *Rock joints, proc. int. symp. on rock joints*, Loen, Norway, (eds N. Barton and O. Stephansson), 603-610. Rotterdam: Balkema
- Book, H. 1983. *Introduction to Rock Mechanics*. Dips v.8.0., 2021. Rocscience, Canada.
- Patton, F.D. 1966. Multiple Modes of Shear Failure in Rock. - In: *Proc. 1st Congr. Int. Soc. Rock Mech.*, 1, Lisbon, 509-513.
- RocData v.5.0., 2021. Rocscience, Canada.
- Stereva, K. 2020. Detection and Measurement of Cracks in Rock Massifs by Means of Ground Laser Scanning. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 609, 6th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium, 7-11 September 2020, Prague, Czech Republic.
- Балев, В., И. Митев, Г. Дачев. 2016. Сравнителен анализ при определяне якостта на едноосов натиск на скални образци чрез съпоставяне на лабораторни и “In Situ” методи. - In: *VII International Geomechanics Conference*. Varna, 2016, ISSN 1314-6467.
- Илов, Г. 1989. Възможност за индиректно определяне на якостта на срязване по пукнатините в скалния маси, *Сп. Транспорт*, 3/1989.
- Илов, Г. 2009. *Приложна механика на скалите - строителни скални откоси и фундаране в скали*, ИК ЕРА, София.