



ИНОВАТИВЕН ПОДХОД ЗА ОБСЛЕДВАНЕ НА ОТКОСИТЕ ПРИ РЕХАБИЛИТАЦИЯ НА ПЪТНА ИНФРАСТРУКТУРА

Иван Митев, ivan_mitev@mgu.bg
Веселин Балеv, veselinbalev@mgu.bg
Владимир Певев, Vladimir.penev@mgu.bg
Кремена Щерева, k_shtereva@mail.bg
Людмила Московска, mining.softsolutions@gmail.com
Калин Калчев, office@alveconsult.com

INNOVATIVE APPROACH FOR SURVEYING SLOPE STABILITY IN ROAD INFRASTRUCTURE REHABILITATION

Mitev Ivan, ivan_mitev@mgu.bg
Balev Veselin, veselinbalev@mgu.bg
Penev Vladimir, Vladimir.penev@mgu.bg
Shtereva Kremena, k_shtereva@mail.bg
Moskovska Lyudmila, mining.softsolutions@gmail.com
Kalchev Kalin, office@alveconsult.com

ABSTRACT

The objectives of the repair, maintenance and rehabilitation of the road network in mountainous terrains focus on the study of the structural condition of the rock slopes. An innovative approach to structural mapping and analysis was implemented within the framework of a survey project for a road section of road II-35 Troyan-Karnare, known as "BEKLEMETO". The study of the structural disturbance provides an opportunity to present the groups of joints that have developed intensively on the rock slopes passing near the observed area. The technology of mobile ground laser scanning, which is a suitable method for covering the complex characteristics of the terrain, was chosen for the research. Using this method, a total of 18 representative sections within the road were studied, and the number of measured cracks exceeded 13,000. The total length of the researched sections is over 10,770 m. These data and studies are essential for the planning of effective measures to maintain and rehabilitate road infrastructure in complex mountain conditions.

Въведение

Една от ключовите цели при извършването на ремонт, поддръжка и рехабилитация на републиканската пътна мрежа в планински райони е да се изследва структурната нарушеност на скалните откоси. В тази статия се фокусираме върху методиката на обследване на определен участък от път II-35 Троян-Кърнаре, наречен "БЕКЛЕМЕТО". Този участък преминава през планински терен и изисква специални методи за изследване на скалните образувания по пътната траектория.

След анализ на терена, определящ участъка, избрахме технологията на мобилното наземно лазерно заснемане. Тази технология използва интегриран комплекс, който включва хибридна лазерна система RIEGL - VZ - 2000, монтирана на подвижна платформа (автомобил с висока проходимост). Техническият комплекс също включва два GPS-приемника, дигитална камера с висока резолюция "Canon" и 3D-инерциална система.

За по-точното определяне на траекторията на комплекса използвахме GNSS-приемник ("STONEX S900A"), работещ в статичен режим. За координатното и височинното привързване на



облака от точки използвахме предварително означени марки върху асфалта, съобразени с изискванията за точност, зададени по проекта.

(1)



(2)



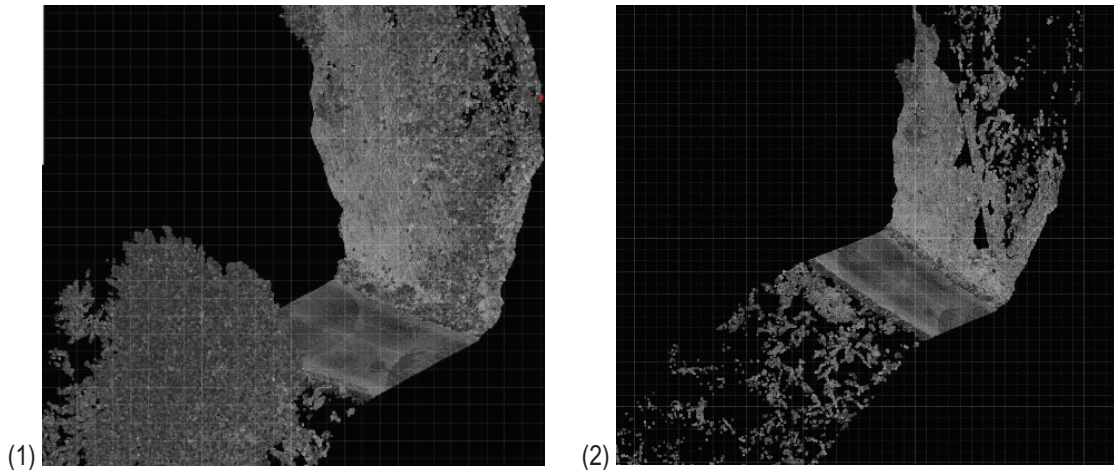
Фиг. 1. (1) Интегрирана лазерна станция "Riegl-VZ-2000, монтирана на превозно средство; (2) изглед отблизо на сканиращата система

Поради геометричните и физико-географски характеристики на участъка, той бе разделен условно на два равни по дължина участъка. Позиционирането на марките (привързващи и контролни) се извърши посредством GNSS-измервания в режим RTK. Заснемането на всеки от участъците, с някои припокривания, се извърши двукратно в двете посоки, при вертикална позиция на сканиращото устройство. В случаите, когато GNSS-сигналът не беше недостъпен за подучастъци с гъста дървесна растителност, позиционирането на траекторията се осъществяваше чрез 3D-инерциалната система. Общият брой измерени точки в облака е 1 745 746 807, които са съотнесени към различни участъци, след филтрация и обработка. Предварителната обработка и селектиране на информацията от облаците от точки включва:

- Обработка на траекторията: Началната траектория, получена от IMU/GPS системата, е обработена последващо със специализиран софтуер, което я представя в реално време със сантиметрова точност. Тя е геореферирана спрямо базова станция и изравнена заедно с отделните записи от лазерната технология.
- Обработка на облака от точки: Облакът от точки е подложен на филтрация, като се изключват точките извън терена, като например растителност, малки обекти, движещи се превозни средства и други (фиг. 2(1)). Резултатът от филтрацията се използва за формиране на различни равнини в скалния масив (фиг. 2(2)).

Софтуерното решение Sirovision позволява след това дистанционна техника за картиране повърхностите на скалните нарушения и цифров запис на всички необходими структурни данни, като се използва само компютър, както и кинематичен анализ за отчитане на маса и обем на образуващите се структурни клинове и блокове.

Тази методика осигурява важна информация за изследването на структурната нарушеност на скалните откоси и ще даде основа за по-нататъшните проекти за поддръжка и рехабилитация на пътния участък.



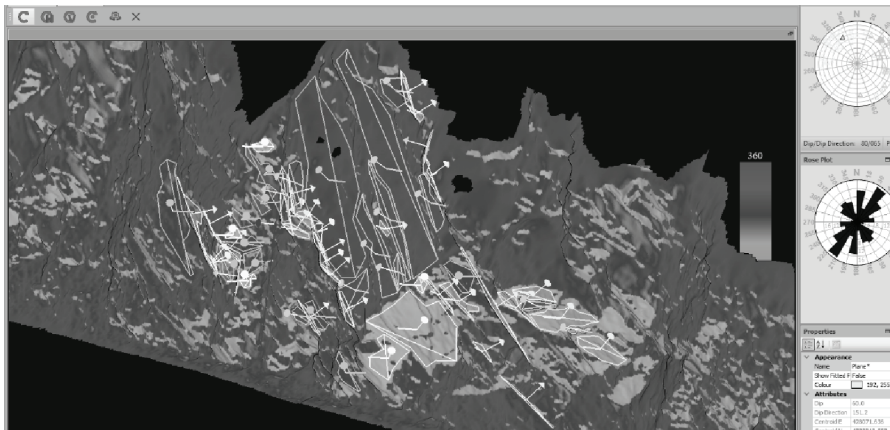
Фиг. 2. (1) Нефилтриран и (2) Филтриран облак от точки – служещ за формиране на равнини

Изследване на структурната нарушеност на масива по участък „Беклемето“

Изследването на структурната нарушеност на скалния масив е от изключителна важност поради откритите разлики между механичните свойства на масива, измерени в реални условия и тези, определени в лабораторията. Особено се отнася това за параметрите като якост на натиск и опън, модул на еластичност и коефициент на Поасон. В този контекст, е необходимо да се разберат броят и ориентацията на отслабващите повърхнини и тяхната връзка с класификационните оценки. При наличие на три и повече системи пукнатини, се формира елементарен структурен блок в масива. Формата, размерите и ориентацията на структурните блокове влияят върху устойчивостта на скалните откоси, тъй като тези параметри са установени в нашето изследване. Освен това, естествената блокова напуканост оказва влияние върху степента на раздробяване и развитие на свлачищни и срутищни процеси.

За постигане целите на проекта, извършихме обследване и изучаване на структурната нарушеност на масива, като се фокусирахме върху всеки участък поотделно. Замерването на пукнатините се извършва с използване на геоложки компас и ролетка. Тези измервания се извършват на участък от скалния откос на предварително избрана площадка, наречена "Измерителна станция". Измерителната станция се маркира с тънко въже или линия, образуваща "измерителна линия". Тази линия е дублирана с мерна лента, за улеснение при отчитането на разстоянията от началото на станцията до съответната пукнатина. При измерването се записват пукнатините, които пресичат измерителната линия и имат дължина по-голяма от 0.5 м. Показателите, които характеризират пространственото положение на пукнатините, се определят с геоложкия компас, който измерва параметрите: ъгъл на западане ($DIP=\beta$), посока на западане ($DIP\ DIRECTION$) и посока на разпространение ($STRIKE=\alpha$). Работата на компютър се състоеше в картиране на повърхности на нарушения, установяване на пукнатинните системи, провеждане на автоматичния кинематичен анализ, изчисляване на масата и обема и отчитане на кинематично свободните обекти с помощта на софтуерното решение Sirovision (Фиг. 3) в комбинация с Dips v8.0.

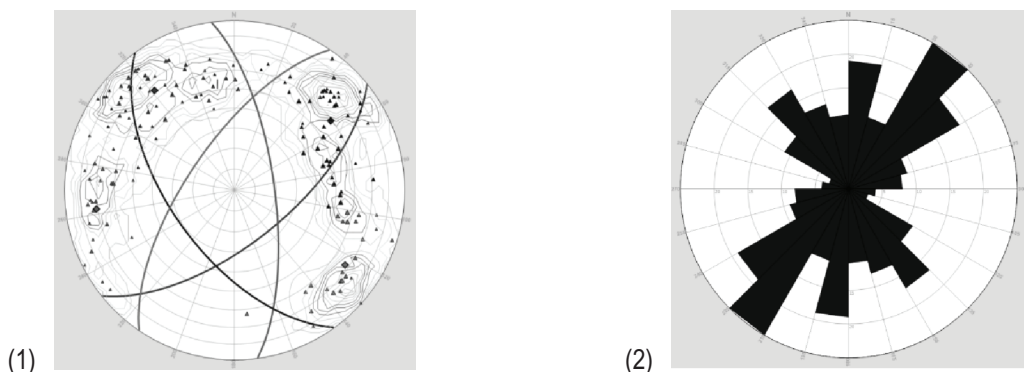
Масовото измерване на пукнатините има три основни цели: установяване на броя на системите пукнатини, техните ориентации и оценка на състоянието на нарушенията. Системите пукнатини в скалната механика представляват група повтарящи се пукнатини с очевидно успоредни или близки до успоредните направления и ъгли на западане. Състоянието на контактните повърхнини на пукнатините определя степента на деформируемост на масива, неговата якост и възможности за хлъзгане. Броят на системите пукнатини и техните ориентации определят структурните блокове.



Фиг. 3. Настолно картиране на структурни повърхнини и запис на структурни данни с помощта на Sirovision

Обработка на данните от лазерното сканиране

Обработката на данните и представянето на резултатите от изследването на структурната нарушеност на скалния масив се извършват с помощта на програмните продукти DIPS 8.0 и Sirovision. Данните за пукнатините се нанасят в равноплосчна стереографска проекция, долна полусфера, където плоскостта на пукнатината се представя като полюс. Полярната равноплосчна проекция е най-подходящата за представяне на полюсите на пукнатините, тъй като не изисква ротация или припокриване. Струпванията на полюсите на пукнатините се отличават добре и това е първата стъпка за получаване на средната ориентация на отделните системи пукнатини. За оконтуряване на полюсите на пукнатините и определяне на тяхната плътност се използва методът на Schmidt, като са отделени до 6 плътностни контурни интервала (Фиг. 4(1)). Диапазонът на разсейване се определя с корекцията на Terzaghi, която най-често е 15° . Другият вариант за представяне на резултатите от масовото замерване на пукнатини е диаграмата "Роза на пукнатините" (Фиг. 4(2)). Този метод позволява представянето само на посоката на разпространение, без да включва наклона. Използването на DIPS 8.0, Sirovision и методите за представяне на данните позволяват подробно изучаване на структурната нарушеност на скалния масив и определяне на важни параметри, които имат решаващо значение за инженерните решения и стабилността на скалните откоси.



Фиг. 4. Представяне на структурни данни на наблюдаваната област (1) върху стереографска проекция и (б) върху Роза диаграма

Комбинираното използване на Dips v8.0, Sirovision и графичните методи за представяне на данните ни позволи да проучим в детайли структурното нарушение на скалния масив и да определим



важни параметри, които са от решаващо значение за инженерните решения след оценка на стабилността на скалните склонове и осигуряване на безопасността на пътната отсечка.

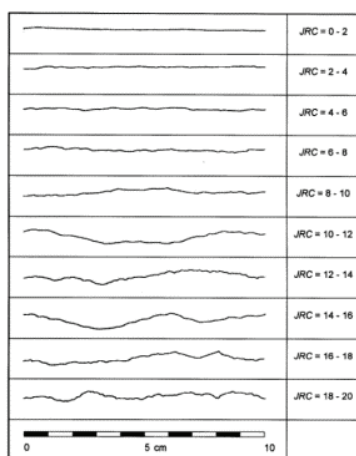
Sirovision е инструмент за анализ устойчивостта на откосите, който позволява на инженерите и геолозите да идентифицират и количествено определят онези области на скалния откос, където могат да възникнат непланирани движения и срутвания. Този софтуер дава възможност за въвеждане на граници на домейни с индивидуални геотехнически характеристики (плътност, кохезия, ъгъл на вътрешно триене), решетки за порен натиск, които са важни параметри при оценка стабилността на масива. Важна характеристика на Sirovision е възможността за работа със сложни структури, които могат да бъдат и нелинейни. Това позволява по-реалистично представяне на скалната геология и структурите в масива.

Картографираните структурни данни се използват за откриване и визуализиране на клинове и блокове, които са видими на дневна светлина върху скалния склон и представляват потенциална опасност. Геотехнически данни от домейни, решетки за порен натиск и сложни структури се използват за изчисляване фактора на безопасност за всеки открит обект и осигуряване на класификация на устойчивостта. Това дава възможност да се оцени риска от потенциални събития и предприемането на необходимите мерки за укрепване на скалните откоси.

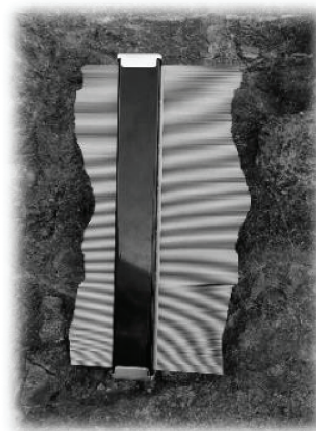
Освен това, Sirovision предоставя информация за обема, масата и вектора на плъзгане за всеки открит клин. Тази информация е ценна за установяване на фона на потенциалните опасности и за проектиране на подходящи инженерни решения за стабилизация на скалните масиви. Обобщавайки, Sirovision е мощен инструмент, който предоставя на геотехническите инженери и геолози надеждни и точни данни за анализ на устойчивостта на скалните откоси и управление на риска от срутищни явления в скалната среда.

Полеви изследвания

Полевите "in situ" оценки за Joint Roughness Coefficient (JRC) се извършват чрез сравнение на повърхността на пукнатината със стандартни профили, предложени от Бартон. Това сравнение се прави визуално, като се избира профилът, който най-близко съвпада с профила на естественото нарушение (Фиг. 5). За най-протяжните пукнатини, които надхвърлят мащаба на предложените профили, стойността на JRC се определя по цялата дължина на пукнатината (Фиг. 6).



Фиг. 5. Връзка между JRC и определения профил

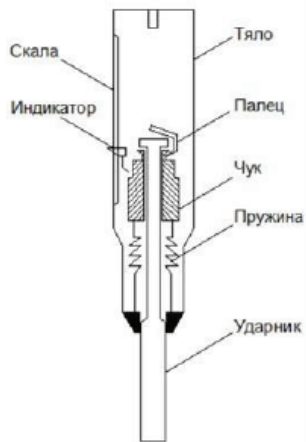


Фиг. 6. Альтернативен метод за определяне на JRC в зависимост от амплитудата на гравитацията и дължината на пукнатината.

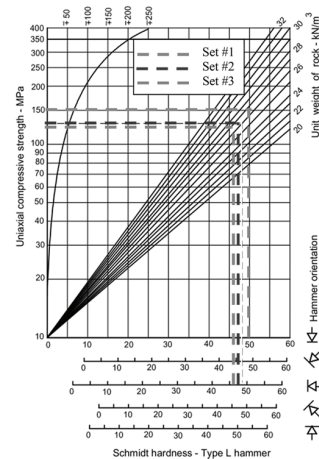
Относно Joint Compression Strength (JCS), това е коефициент, който представлява нормалната якост на натиск на стената на пукнатината. За определяне на JCS, препоръчителните методи съгласно



ISRM (Международната Асоциация по механика на скалите) включват използване на чук на Шмидт. Чукът на Шмидт е инструмент, който се използва за определяне на якостта на едноосов натиск на скалата.



Фиг. 7. Пример за чук на Schmidt



Фиг. 8. Диаграма за оценка на JCS от показанията на чука на Schmidt

Резултатите от чука на Шмидт (L) се използват за определяне якостта на едноосов натиск в зависимост от отскока. За визуализация и интерпретация на резултатите е приложима диаграмата за оценка, показана на фиг. 8.

Тези полеви оценки за JRC и JCS са важни за анализа на стабилността на скални откоси и за изготвянето на геотехнически оценки при инженерни проекти, които са свързани със скални масиви.

Резултати

Изследването на структурната напуканост на масива е проведено в три направления, с цел да се определи степента на напуканост на откосите и да се установят броят и ориентацията на системите пукнатини.

Първото направление на изследване е свързано с установяването на глобалната структурна нарушеност на района. Почти целият район е обхванат, като е разделен на участъци за по-подробно проучване.

Второто направление на изследване има за цел да провери дали съществува пространствена разлика в степента и характера на напукаността между различните участъци. Сравнение е направено за групите пукнатини във всеки участък.

Третото направление се свързва с решаването на конкретни етапи в задачата, като определяне на общата структурна нарушеност по участъци.

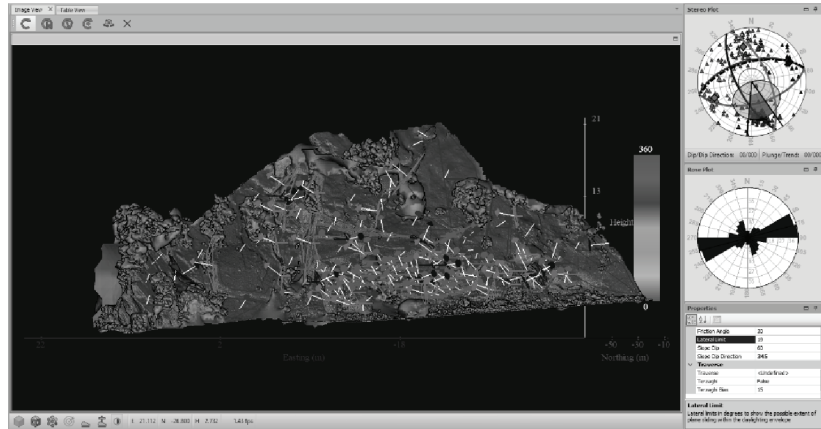
В тези изследвания бяха определени следните параметри:

- Якост на стените на пукнатините с помощта на чук на Schmidt.
- Геоложки индекс за якостта (Geological Strength Index - GSI), който е числов параметър, използван за оценка на геомеханичните свойства на скалите и структурната напуканост.
- Коефициент на грапавост на пукнатините (Joint Roughness Coefficient - JRC), който се използва за оценка на грапавостта на повърхността на пукнатините.

Коефициентът на якост на стените на пукнатините (Joint Compression Strength - JCS) се използва за получаване на едноосовата якост на скалите изграждащи скалния откос в разглеждания участък. Тези изследвания и измервания имат ключово значение за определяне на структурната нарушеност на скалните откоси и за провеждане на геотехнически оценки, които са необходими при планиране и изпълнение на инженерни проекти в скални масиви.

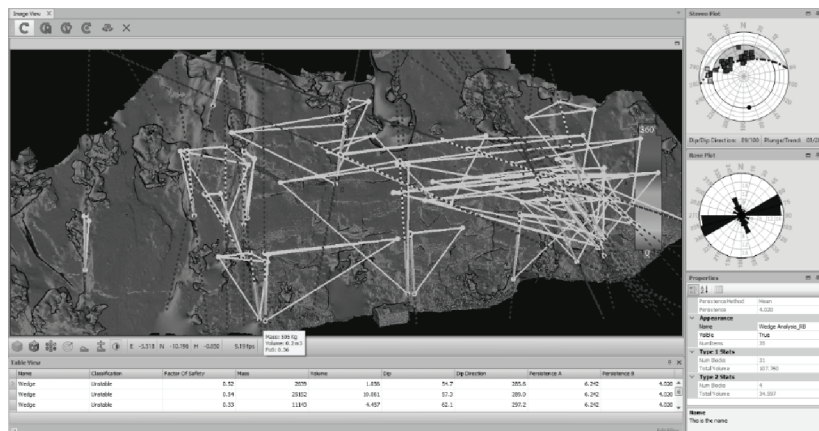


Прилагането на някои съществуващи технологии като комбинация като нова интегрирана методологична система в този проект беше ключов фактор за нашето проучване за получаване на бързи, безопасни и точни резултати. Комбинирахме облака от точки, събран с лазерен скенер, за да създадем реална 3D повърхност на наблюдаваните скални склонове, импортирахме повърхностите в Sirovision, за да картираме структурните повърхности, записахме параметрите на наклона и посоката на наклона и автоматично анализирахме и отчетохме параметрите за устойчивост на склона. Тази техника ни спести повече от 200% от времето, необходимо за теренно картиране и измерване, и защити теренните геолози от опасности при разрушаване на скали по време на теренна работа.



Фиг. 9. Цифров 3D модел на скален откос, представящ картирани на компютър структури и поделянето им групи според ориентацията

Повърхностите на структурите се виждат добре на цифровия 3D модел на скалния откос, структурите лесно се картират и класифицират в групи въз основа на техния наклон и посока на затьване (Фиг. 9). От дясната страна на това изображение се виждат съответно стереографска проекция и роза диаграма на всички повърхности, картирани в Sirovision за избрания сектор.



Фиг. 10. 3D модел на същия скален откос, представящ открити клинове, образувани между картираните структури.

Фиг. 10 представя същия 3D модел, в който инструментът за кинематичен анализ на Sirovision е открил образувани клинове между отделните системи пукнатини в скалния масив. Структурните клинове са отделни зони с нестабилност, които са класифицирани по тип, въз основа на съответния коефициент на устойчивост. Класификацията на клиновете има предвид различни параметри като



наличие или липса на триене между повърхностите на клиновете и степента на стабилност. Възможните типове клинове са:

- Стабилни с триене: Това са клинове, които са стабилни и не представляват висок риск за срутване, тъй като наличното триене между повърхностите на клиновете ги държи в стабилно състояние.
- Стабилни без триене: Този тип клинове също е стабилен, но няма триене между повърхностите им.
- Нестабилни с триене: Това са клинове, които са нестабилни и представляват висок риск за падане. Наличието на триене не е достатъчно да ги задържи в стабилно състояние.
- Нестабилни без триене: Тези клинове са също нестабилни и представляват сериозен риск за срутване, като в този случай липсва и триене.

Другото предимство от използването на този специализиран софтуер беше способността ни да изчисляваме и докладваме масата и обема на потенциално опасни скални маси, разпознати като клинове или структурни блокове.

По този начин визуализацията на клиновете и тяхната класификация са от изключително значение за оценката на риска и проектирането на подходящи инженерни мерки за осигуряване на стабилност и безопасност на скалните откоси. Инженерите могат да използват тази информация за вземане на информирани решения и предприемане на необходимите действия за минимизиране на риска от срутвания на клинове, блокове и други нестабилни елементи.

Заключение

Основните заключения и препоръки за изследвания участък на база избраните подходи и методи са следните:

Изграждането и обезопасяването на скални откоси са строги задачи, които изискват експертиза и специализирано планиране. Това е необходимо, за да се гарантира безопасността на хората, които пътуват по пътя, както и на съоръженията, намиращи се в близост до откосите. Случайното обрушване на разхлабени скални блокове от скалните откоси може да предизвика сериозни опасности за движението на превозни средства и хора. Затова е необходимо да се предприемат подходящи мерки за предотвратяване на случайните обрушвания и управление на последиците от това. Може да се използват различни техники за ремонт и поддържане на скалните откоси, за да се предотвратят обрушвания. Размерът на структурните блокове на скалните откоси може значително да варира в различните участъци. Оразмеряването на укрепителни системи следва да се извършва на базата на минималния и максималния размер на структурните блокове за всеки от участъците. Скалните откоси са класифицирани в две категории - I-ва категория с нисък риск от срутищни процеси и II-ра категория с висок риск от срутищни процеси. За откосите от I-ва категория следва да се предприемат мерки като обрушване на разхлабените скални блокове и поставяне на предпазни мрежи и/или „джоб стени“ в специфичните участъци. За откосите от II-ра категория е необходимо да се проведат допълнителни изследвания и анализи, за да се определят подходящите мерки за укрепване. При проектирането и оразмеряването на оградни мрежи и укрепителни системи е важно да се вземат предвид конкретните характеристики на скалните откоси във всеки от участъците. Наблюдават се потенциално застрашени зони над скалните откоси в част от изследваните участъци. Тези зони трябва да бъдат специално обозначени и взети предвид при планирането на сигнализационни и обезопасителни мерки.

Обобщено, осигуряването на скални откоси изисква комплексен подход, като се вземат предвид специфичните условия на местността и характеристиките на скалните масиви. Изследванията и анализите играят ключова роля за определяне на необходимите мерки за укрепване и гарантиране на безопасността на пътуването по „Път II-35 „БЕКЛЕМЕТО““ и околната среда.

Изложените информация и източници подчертават важноста на лазерното сканиране като съвременен и мощен метод за картиране и анализ на скални образци и скални откоси. Лазерното сканиране предоставя детайлни и точни 3D модели на скалната повърхност и пукнатините, което е от изключителна полза за геотехническите инженери при оценката на стабилността на скалните образци.



Определените структурни характеристики като коефициент на грапавост на пукнатините (JRC), коефициент на якост на стените на пукнатините (JCS) и размерите на структурните блокове са от съществено значение за анализа на поведението на скалната маса. Лазерното сканиране позволява прецизно измерване и документиране на тези параметри, което допринася за по-голямата точност на геотехническите оценки. Подходът, базиран на лазерното сканиране, позволява бърз и безопасен преглед на голям обем скални повърхности, което е от особено значение при изследвания в труднодостъпни и опасни райони. Това помага за намаляване на рисковете за персонала, както и за по-ефективното планиране на подходящи мерки за стабилизация и безопасност на скалните образци. Също така, лазерното сканиране създава възможности за автоматизирано откриване на нестабилни елементи като клинове и блокове, които представляват потенциални опасности за пътната инфраструктура и хората. Този метод може да бъде интегриран в системи като Sirovision, които позволяват автоматично откриване и анализ на структурни характеристики.

С цялата си информативност и възможности, и комбиниран с подходящо софтуерно решение за геотехнически анализ, лазерното сканиране е мощен инструмент, който съдейства за подобряване на прецизността и ефективността на геотехническите оценки и стабилността на скалните откоси. Тази методика носи потенциал за значително подобрене на проектирането и изпълнението на инженерни решения, които засягат скални масиви и геотехнически конструкции.

Литература

1. 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.
2. Barton, N., E Choubey. 1977. The Shear Strength of Rock Jointed Model in Theory and Practice. - Rock Mechanics 2/1977.
3. Barton, N. 1976. The shear strength of rock and rock joints. - Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 13, 1-24.
4. Barton, N.. 1982. Shear Strength Investigation for Surface Mining, London.
5. 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.
6. Book, H. 1983. Introduction to Rock Mechanics.
7. Dips v.8.0.,2023. Rocscience, Canada.
8. Patton, F.D. 1966. Multiple Modes of Shear Failure in Rock. - In: Proc. 1st Congr. Int. Soc. Rock Mech.,1, Lisbon, 509-513.
9. RSData, 2023. Rocscience, Canada.
10. Sirovision, DataMine, 2023.
11. 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.
12. Балеv, 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.
13. Илов, Г. 1989. Възможност за индиректно определяне на якостта на срязване по пукнатините в скалния маси, Сп. Транспорт, 3/1989.
14. Илов, Г. 2009. Приложна механика на скалите - строителни скални откоси и фундиране в скали, ИК ЕРА, София.