



## МЕРКИ ЗА ОВЛАДЯВАНЕ НА МАЩАБНИ СВЛАЧИЩНО-СРУТИЩНИ ПРОЦЕСИ

проф.д-р инж. Николай Жечев - МГУ“Св.Иван Рилски“, катедра „Подземно строителство“  
E-mail: n\_rafailov@abv.bg

### ABSTRACT

*The destructive processes that have occurred are an obstacle to the implementation of infrastructure. Mastering them takes place in two stages. Geomechanical problems are related to: /1/ securing the work sites and traffic from rock fragments, /2/ replacing the temporary measures with the permanent elements of a new tunnel, /3/ foundation and its combination with shore strengthening activities, /4/ atypical for a tunnel loads, /5/ specifics of the tunnel construction.*

*The report with an example from practice discusses the measures to achieve permanent security of the adjacent infrastructure from the attack of destructive processes.*

**Keywords:** tunnel, resilience, reinforcement, landslide, safety, risk

### I. Въведение

Настъпилите мащабни свлачищно-срутищни процеси (Duncan, W,1992) са препятствие, което блокира с години завършването на стратегически за страната инфраструктурни проекти. Тези процеси са затруднение, което не позволява дори да бъде направено пълноценно геолошко проучване. По тази причина се налага обезопасяването на деструктивния процес да протече на два етапа.

При първия етап трябва да бъде направено временно укрепване на откоса, което да позволи изпълнение на геолошко изследване. При изпълнение на този етап обаче възникват проблеми със съоръжения на съществуващата инфраструктура и безопасността на технологичните подходи към обекта. Този факт налага съществуващите съоръжения, засегнати от укрепителните дейности да бъдат проверени като елемент на временната стабилизация.

Временното укрепване на откоса не е достатъчно условие за безопасност при изпълнение на съоръженията за постоянна стабилизация. Използването на тежка техника може да провокира непредвидени аварии. По тази причина е целесъобразно да се премине към втори етап на укрепителните дейности. Този етап е отбранителна концепция на стабилизиращите мерки с използване на тунел в петата на откоса. Тунелът като укрепително съоръжение е поставен в условията на специфична технология за изграждане и функциониране на този вид съоръжения, което поражда нови геомеханични проблеми.

Тези проблеми са свързани със: /1/ обезопасяването на работните площадки и транспортния трафик от атака на скални късове, /2/ заместването на временните укрепителни мерки с част от постоянните елементи на новото тунелно съоръжение, /3/ фундирането на тунела и съчетаването му с брегоукрепителни дейности, /4/ увеличените и нетипични за тунел натоварвания, /5/ спецификата на монтажа и изпълнението на тунелната конструкция.

Докладът е посветен на мерките с които може да бъде постигнато трайно обезопасяване на прилежащата инфраструктура от деструктивните процеси на мащабните свлачищно – срутищни процеси. Изследването е подкрепено с пример от практиката.

### II. Първи етап на укрепителните дейности – временно укрепване на откоса

От временното укрепване на свлачищно – срутищния откос произтичат два геомеханични проблема: /1/ какъв да е начинът на възпиране на разрушенията за осигуряване на достъп за геолошко обследване и /2/ как съществуващите съоръжения попадащи в зоната на временно усилване да запазят функционирането си при включване в укрепителните мероприятия и след премахването им. За решение на първия проблем укрепителните мероприятия започват с изграждане на насипен контрафорс в петата на свлачищния откос.

Извършен е анализ на устойчивостта за основна товарна комбинация на 3 броя напречни геотехнически профили: /1/ актуално състояние на склона без мерки за укрепване с коефициенти на сигурност от 0.96 до 0.99; /2/ укрепване само с насипен контрафорс в петата на откоса с коефициенти на сигурност 1.01, но по Фелениус е 0.98 и /3/ комбинирано укрепване с насипен контрафорс и претокосиране във веждата на откоса с коефициенти на сигурност от 1.03 до 1.07.

Резултатите от изчисленията за стабилитета на терена, показват, че укрепването на терена само с насипен контрафорс е недостатъчно за гарантиране на безопасността при геолошко обследване – при метода на Фелениус коефициентът на сигурност е под единица. За гарантиране на безопасно проучване следва да се изпълнят насипен контрафорс в петата и разтоварващо претокосиране във веждата на откоса – решенията по всички методи са над 1 (Фиг.1).

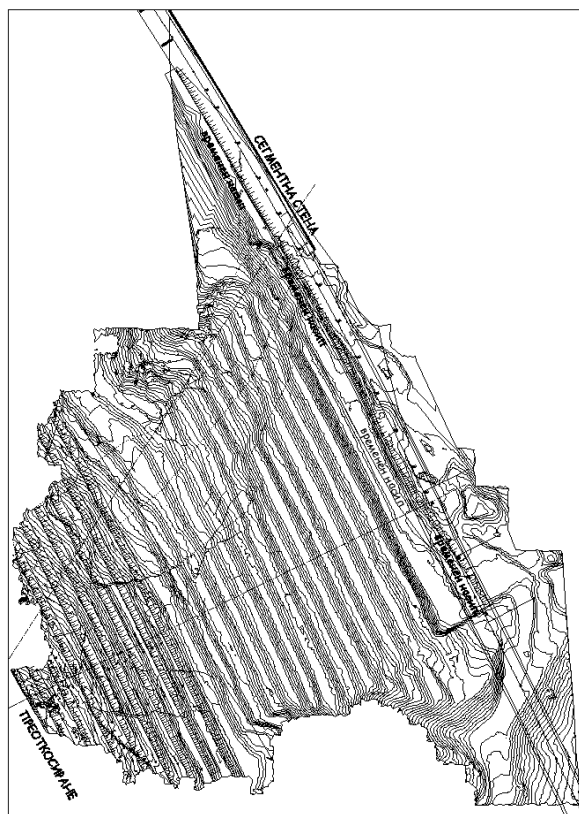
Вторият проблем се създава от факта, че част от съществуваща сегментна стена предпазваща устоя на моста в съседното платно на магистралата попада в насипния контрафорс и се налага да бъде претоварена с допълнително тегло и свлачищен натиск (Фиг.2).

Направено е изследване с цел да установи дали изпълняваните насипи в зоната на сегментната стена няма да я компрометират и дали в този участък устойчивостта на склона е обезпечена.

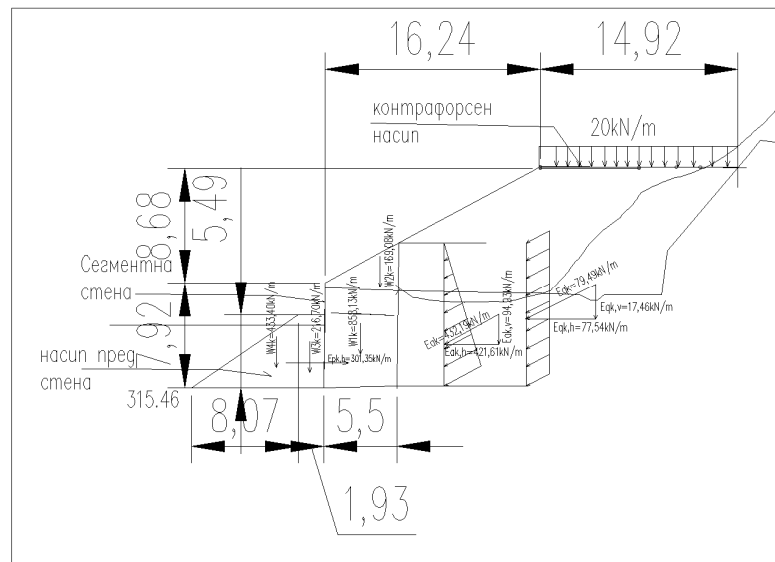
В критичния участък е направено заснемане на изпълнения уплътнен насипен контрафорс за стабилизиране на стената и е предвиден насипния обем над вече изпълнената конструкция.

Проверката за устойчивостта на склона с използване на насипен контрафорс и претокосиране е обезпечена при решението на първия геомеханичен проблем. От решението е определена свлачищната сила с която е натоварен новия изчислителен модел на Фиг.2 за проверка на сегментната стена.

За окончателно гарантиране на сигурността на сегментната стена е необходимо да бъдат изпълнени още четири критерия.



Фиг.1: План за временна стабилизация на нарушения откос



Фиг.2: Изчислителна схема за проверка на сегментната стена

Критериите при спазване на означенията и стойностите на Фиг.2 са следните:

1. Проверка за плитко плъзгане

$$R_d = 836,41 > E_d = 685,48 \text{ kN/m} \text{ – проверка е изпълнена} \quad (1)$$

2. Проверка за ексцентритет на основата – проверката е направена при използване на 50% от пасивното съдействие на насипния контрафорс за стабилизиране на сегментната стена

$$e = (2157,46 - 551,47) / 1181,5 = 1,359 < 1,375 \text{ m} \text{ – проверка е изпълнена} \quad (2)$$

3. Проверка за носещата способност на основата

$$e = (2103,84 - 551,47) / 1541 = 1,00 < 1,375 \text{ m} \quad (3)$$

$$Q_{r,d} = 514,83 > Q_{v,d} = 440,28 \text{ kPa} \text{ - проверка е изпълнена} \quad (4)$$

4. Усилия в армировката

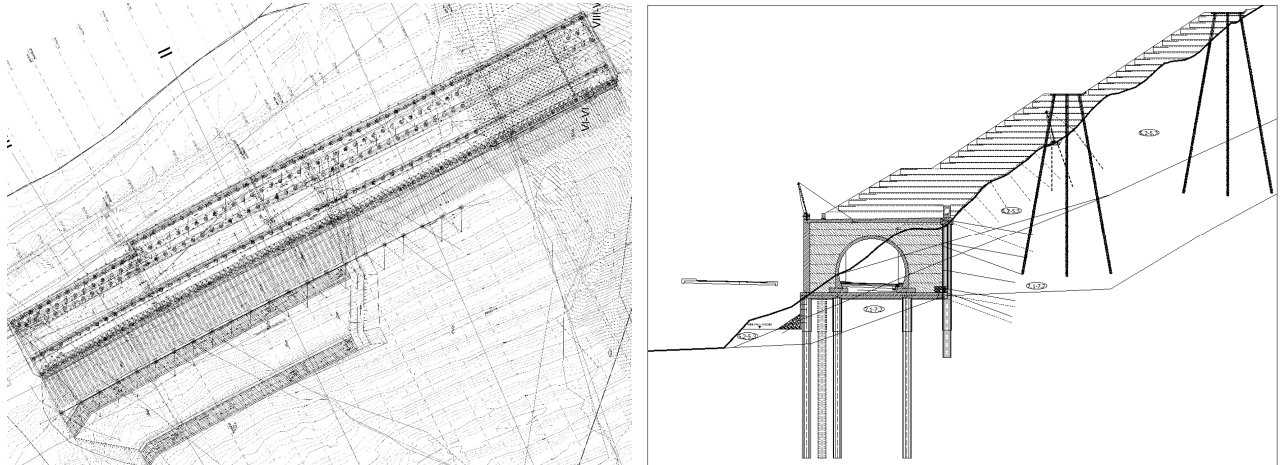
Максималното усилие на обтегачите в 4-я ред, над нивото на насипния контрафорс подпираш сегментната стена се увеличава с 15%, което се компенсира от коефициента на сигурност по материал. Проверката на изтръгване поради увеличения вертикален товар също е изпълнена.

От двете дейности на временното укрепване – насипен контрафорс и преоткосиране, е изпълнен само насипния контрафорс поради затруднения с временния път за разтоварване на активната зона. Това довежда до рискови ситуации при геоложкото обследване и разместване на разрушение на сондажните кухини поради геодинамичните процеси в свлачищния циркус.

След период на постоянно наблюдение около година се активират процеси на загуба на местна устойчивост в долната и средна зона на откоса, но насипния контрафорс не получава нарушения. Този резултат доказва достоверността на изчислителния метод на Фелениус показал стойности на сигурността под единица когато не бъде изпълнено преоткосиране в зоната на разтоварване. По тази причина методът на Фелениус не е препоръчително да отпадне при актуализиране на наредбата за геотехнически строежи. Започналите деструктивни процеси са причина държавната администрация да започне реализацията на втория етап като постоянно укрепване на свлачището.

### III. Втори етап – постоянни укрепителни мерки

#### III.1 Кратко описание на техническото решение



Фиг.3: Ситуация и напречен профил на укрепен свлачищно-срутищен откос с гравитачен контрафорс с вграден тунел

Работната площадка за реализация на строителното състояние (Жечев Н., Рафаилов Р. ,2024) е върху временния насипен контрафорс в петата на откоса, изграден при първия етап на временно възпиране.

Укрепването за строително състояние е посредством предпазна стена от сондажноизливни пилоти (Жечев Н.,2023). Стената е укрепена с напрегнати ИВО анкери. За обезопасяване на строителните дейности от падащи скални късове е предвидена предпазна бариера.

За безопасност на работещите при изпълнение на тунела по открит способ, след откопаване на предпазната стена също се предвиждат предохранителни мерки срещу пропадане на единични скални късове от опасната зона на откоса (Фиг.3,4).

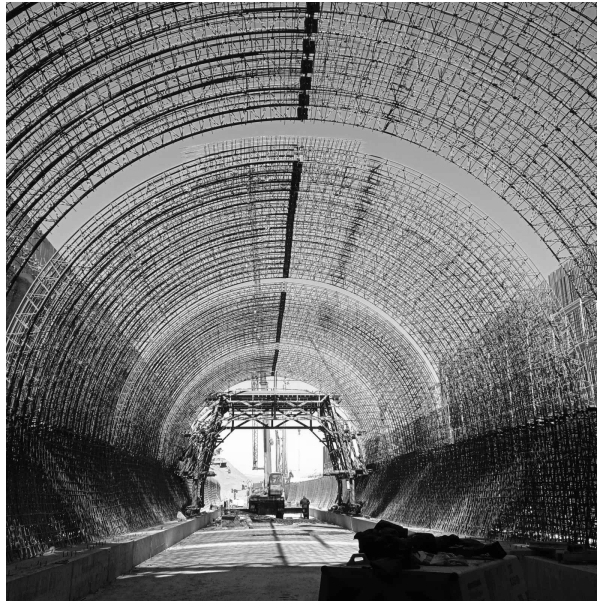
Строежът продължава с изграждане на пилотни фундаменти за тунелната облицовка и укрепителна с ограничителна функция стена.



Фиг.4: Предпазна стена и изпълнение на фундаментна плоча

Фундирането е предвидено като монолитна стоманобетонна плоча. Фундаментът за поемане на опънни усилия се свързва към високите пилоти и закотвящите части на стената осигуряваща строителното състояние.

Тунелната облицовка се изгражда с инвентарен кофраж над дясното платно на магистрала „Струма“. Армира се с армоферми и стоманени мрежи по аналогия с подземното изпълнение за постигане на максимална предварителна заготовка и съкращаване на срока за строителство. Армофермите и прилежащите армировъчни мрежи оформят стоманено хале монтажът на което предхожда монтирането на кофражните форми (Фиг.5).



Фиг.5: Монтаж на стоманени армоферми за тунел

Затварянето на т.нар. кутия около тунела завършва с направата на два портала и преходник между двете проектни ширини на съоръжението. Порталите на тунела се оформят чрез стени и бордове от монолитен стоманобетон.

След завършване на монолитните дейности по стените и тунела започва изпълнение на запълване на оформената кутия с нискоякостен пълнеж бетон и изпълнение на покривната плоча. Дейностите завършват с направата на уплътнен армиран насип – контрафорс с инжекционно заздравяване по откоса(Фиг.6) и преместването на предпазната бариера от откоса върху ограничителната стена към лявото платно на магистрала „Струма“.



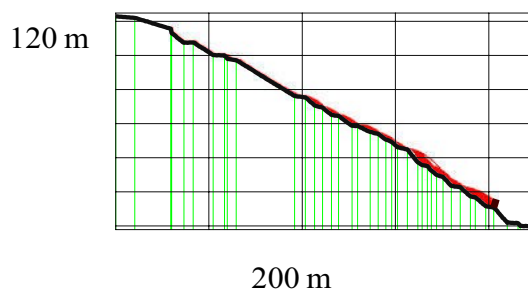
Фиг.6: Етап от изпълнението на армирания насип по откоса

### III.2 Геомеханичен проблем при обезопасяване на работните площадки и транспортния трафик от атака на скални късове

Изследването се провежда при условие една и съща бариера да бъде използвана за обезопасяване на строителното състояние по дясното платно и за гарантиране безопасността на трафика по лявото крило на магистралата.

Меродавно за избора на бариерата се оказва използването и като предпазно средство при строителното състояние (Фиг.7).

Основният проблем е да бъде намерено точното място на бариерата при което избраните параметри да не позволят да бъде прехвърлена от падащи скални късове. При вариране на местоположението на бариерата, за балистично изследване на скални късове с максимален обем  $1\text{m}^3$  е получена необходима височина 5м. Допълнително, по време на изследването, оптималното място е съгласувано с технологичния достъп и възможността за изпълнение в относително ненарушен участък.



Фиг.7: Изследване за мястото на предпазната бариера за строително състояние

### III.3 Геомеханичен проблем при заместването на временните укрепителни мерки с част от постоянните елементи на новото тунелно съоръжение

Необходимостта укрепителният насип да бъде откопан и да се достигне ниво земно легло на дясното платно на магистралата се реализира чрез укрепителна конструкция между насипа и свлачищния масив. Предназначението на тази конструкция е при откопаване на насипа и удълбочаване до проектно ниво, да бъде напълно заместена укрепителната роля на насипния контрафорс без да бъдат допуснати допълнителни деформации, които да нарушат геодинамичното равновесие на откоса.

Укрепването е посредством сондажноизливни пилоти (Фиг.4 ). Еквивалентна роля с временния насипен контрафорс се постига с три инженерни интервенции: /1/ монтаж между пилотите на дренажен геокompatит за отвеждане на подземните води, което води до елиминиране на хидростатичния натиск; /2/ изпълнение на армиран пръскан бетон между пилотите за отстраняване на възможността за протичане на нарушени земно-скални маси и /3/ укрепване по височина с анкери, напрегнати със стойност възпрепятстваща допълнителни премествания в зоната на контакта след премахване на подпорната роля на насипа.

След изпълнение на ролята като укрепително съоръжение за строително състояние, пилотната стена в активната зона се покрива от насипен контрафорс и се обединява с конструкцията на тунела по открит способ.

### III.4 Геомеханичен проблем при фундирането на тунела и съчетаването му с брегоукрепителни дейности

Фундирането на тунела е стоманобетонна плоча, усилена със сондажноизливни стоманобетонни пилоти. Предвидената фундаментна конструкция има три специфични особености, които са свързани с нетипичното и предназначение като основа на укрепително съоръжение на откоса (Фиг.4 и 8): /1/ фундирането е натоварено със значителни хоризонтални сили от свлачищния откос което изисква съвместно анкериране с изпълнената конструкция между временния насипен контрафорс и свлачището; /2/ вертикалният товар и пилотното подпирание на фундаментната плоча е с изявена



несиметрия пораждаща пикове на напреженията в контактната фуга водещи до концентриране на надлъжна и напречна армировки и 1/3 част от пилотите играят и брегоукрепителна роля.

Брегоукрепителната роля е в зони с временен насип за изграждане на пилоти. След премахването на временния насип се изгражда и предпазната стена към „Струма“ пред пилотите, а откосът пред нея се заскалява.

При изпълнение на пилотите и направата на временен насип за работни площадки, за съществуващата сегментна стена се налага частичен демонтаж на последните панели и срязване на част от по-долния ред, навлизаща във фундацията на тунела. За запазване на подпорната функция на остатъчната сегментна стена, пилотите се изтеглят пред нейната конструкция.

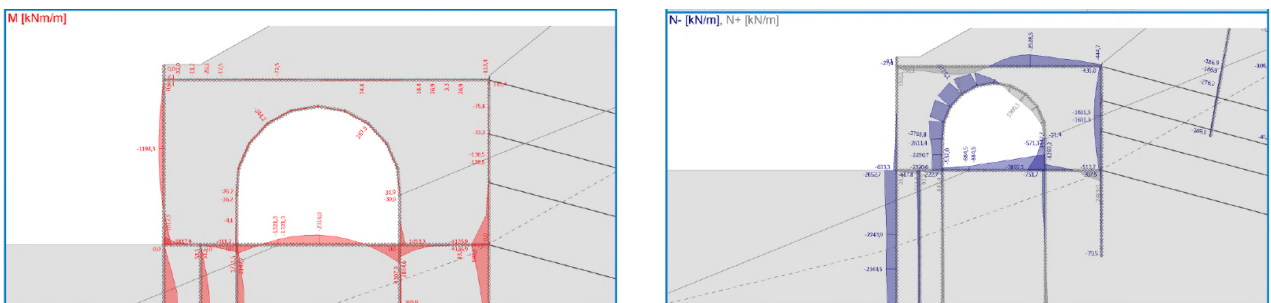
### III.5 Геомеханичен проблем при увеличените и нетипични за тунел натоварвания

Поради функцията като укрепително съоръжение, напрегнатото състояние и устойчивостта на тунела се различава от тунелите с класическо предназначение (Фиг.8).

На първо място има обединение на два вида конструкции – напрегната част заместваща временния насипен контрафорс и нова конструкция с допълнителни укрепителни елементи.

Второ - от експлоатационните товари възникват силно изявиени несиметрични усилия, които провокират неблагоприятна форма на загуба на устойчивост. При тунелни облицовки с класическо предназначение няма случай на зони с опънни усилия. В случая възникват напрежения от нецентричен опън изискващ по-сериозно армиране, което поражда изразена несиметрия в сеченията на армофермите. Друга разлика свързана с необходимостта концентрираните напречни сили в контакта с фундацията да се поемат чрез допълнителни армоскелети за напречно армиране.

На трето място – натискът на околния масив при класическите тунели е геоложки и е предвидим. В изследвания казус следва да бъде елиминиран технологичният риск от авария при несиметрично натоварване от техника и материали за изпълнение на насипите (Rafailov R.,2022), което да е отчетено в изчисленията.



Фиг.8: Моменти и осови сили в обединената укрепителна конструкция на откоса

### III.6 Геомеханичен проблем при спецификата на монтажа и изпълнението на тунелната конструкция.

При изпълнение на тунелната облицовка освен упоменатото в предходната точка за осигуряване срещу риска от несиметрични технологични товари при насипване, трябва да бъдат отчетени още две специфични изисквания.

Първо – армофермите се монтират предварително под формата на стоманено хале (Фиг.5) и след това се бетонират с преместваем кофраж. Този факт означава, че към металната конструкция следва да се направят изчисления и да се предвидят мерки за пространствено укрепване.

Второ – трябва да се провери устойчивостта при едностранно полагане на бетона за тунелната облицовка.

## IV. Заключение

За да не бъдат провокирани мащабни свлачища е наложително още на ниво проект (Рафаилов Р, 2020) или да бъде избегнато опасно подсичане на проблемните откоси (Жечев Н., Рафаилов Р.,2021)



чрез изместване трасето на пътната артерия или трасето да навлезе в откоса под формата на укрепителен тунел. При пропускане на тези две възможности се достига до разгледания в доклада казус.

При активиране на мащабен деструктивен процес подобен на описания случай, в проектите за обезопасяване на трафика няма възможност за допускане на допълнителни грешки.

Направените в настоящата разработка анализи на геодинамичните проблеми и приложените мерки ще подпомогнат теоретично и практически инженерите свързани с подземното и геотехническо строителство да не пропуснат важни за сигурността проверки и да създават реализации (Zhechev, N., 2018) с траен ефект.

### Литература

1. Duncan, W. 1992. State of the art & Static stability and Deformation analysis stability and performance of slopes and Embankment - In Proc. Of Spec. Conf. Sponsored by the geot. Eng. Div. Of the ASCE, Berkly, California, June 29 – July 1, 1992.
2. Rafailov R., Stability of Road Embankments on Weak Soils, Geospatial Technology in Mining and Earth Sciences/ Selected papers of the 2nd International Conference on Geo-Spatial Technologies and Earth Resources 2022 (GTER2022 · GTER2022 Volume1) - Hanoi University of Mining and Geology (HUMG), Vietnam, 13-14 October 2022
3. Zhechev, N. (2018). Ecology and long-term security of road infrastructure exploitation. Paper presented at the International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM18(1.2) 231-238. doi:10.5593/sgem2018/1.2/S02.029 Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com)
4. Жечев Н., Рафаилов Р. (2024), Тунелът - безалтернативен вариант за укрепване на мащабни свлачища, сп.Геология и Минерални ресурси, бр.2-3/2024, стр.10-15, ISSN 1310-2265
5. Жечев Н., Рафаилов Р., „Превенция и защита по откоси на пътната инфраструктура“, сп.“Геология и минерални ресурси“, бр.1-3, стр.9, 2021, ,ISSN: 1310-2265
6. Рафаилов Р., Инженерна система за управление на риска в геотехнически строежи, Сп.Геология и Минер.ресурси бр.1/2020, ISSN: 1310-2265
7. Рафаилов Р., Проблеми на стабилитета при пътни насипи, Сп.Геология и минерални ресурси бр. 9-10 2021г. стр. 31-35, ISSN: 1310-2265
8. Жечев Н., Обезопасяване активирани свлачищно-срутищни процеси чрез полутунелни и тунелни съоръжения, сп.Геология и Минерални ресурси, бр.2-3/2023, стр.9-14, ISSN 1310-2265
9. Жечев Н., Рафаилов Р., Превенция и защита по откоси на пътната инфраструктура, сп.Геология и Минерални ресурси, стр.2-6, бр.1/2021, ISSN1310-2265