

ნილი.

მრავალი ქვეყანა მიისწრაფის მწვანე ეკონომიკის დანერგვის და განვითარების კუთხით. აღსანიშნავია, რომ საქართველოს შემთხვევაში, სახელმწიფოს მიერ გადადგმული ნაბიჯები არის ბაზისი და მისი განვითარება უნივერსალურობისაკენ უნდა იყოს მიმართული. უნივერსალური სისტემის თანდათანობით მისაღწევად ჯერ კიდევ დიდი გზაა გასავლელი, რადგან საქართველოსთვის ცირკულარული მწვანე ეკონომიკა შედარებით ახალ სისტემას წარმოადგენს, რომელიც უნდა დაიხვეწოს განხორციელების პროცესში. ყველაფრის წინასწარ განსაზღვრა შეუძლებელია, მნიშვნელოვანია კონკრეტული, თანმიმდევრული და სისტემური სტრატეგიისა და ტაქტიკის შემუშავება, რაც მის ეფექტურ დანერგვას და ჰარმონიულ განვითარებას უზრუნველყოფს.

### გამოყენებული ლიტერატურა:

1. საქართველოს გარემოს დაცვის და სოფლი მუხრნეობის სამინისტრო [www.mepa.gov.ge](http://www.mepa.gov.ge)
2. საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტრო [www.economy.gov.ge](http://www.economy.gov.ge)
3. საქართველოს მთავრობა. საქართველოს გარემოს დაცვის 2016-2020 წლების ეროვნული სამოქმედო გეგმა, 2030 წლის ეროვნული პროგრამა [www.gov.ge](http://www.gov.ge)
4. „მდგრადი ეკონომიკური აღდგენა“ ადგილობრივი ეკონომიკური განვითარების XII ფორუმი [www.tbilisi.gov.ge](http://www.tbilisi.gov.ge)
5. Results from the 2022 Global Green Economy Index™ (GGEI) [www.dualcitizeninc.com](http://www.dualcitizeninc.com)
6. UNEP - UN Environment Programme [www.unep.org](http://www.unep.org)
7. World Bank sustainable development programs in the South Caucasus. [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)

### Opportunities, challenges and perspectives of circular green economy in Georgia

Davis Chiotashvili, Neli Goginashvili, Nana Berdzenishvili

#### Summary

Circular green economy is the most important factor for the sustainable and effective development of the country and the traditional economy in general, which we can safely consider as one of the determining factors of economic development, strategic protection of the environment, protection of the population and social security. The process of transformation of the traditional economy into a green circular economy, despite being a vital and critical necessity, has been a significant problem in all periods and is still facing great challenges today.

Out of all the countries of the world, according to the Global Green Economy Index (GGEI), Georgia currently ranks 44th among 130 countries in terms of green economy development, which in turn is a big successful step towards economic development in the direction of production of renewable and recyclable resources. But, like all important state reforms, the process of transformation of the traditional economy into a green circular economy requires a lot of effort and financial resources primarily from the state and is not immune to the accompanying problems and challenges at different stages of its development and regulation.

The paper analyzes the stages and challenges of establishing, developing, managing and regulating a universal green economy in Georgia.

**Keywords:** green economy; circular economy; ecology; ecological economy;

ცოცვად-პლასტიკური მეწყერული ტანების მდგრადობის შეფასება  
რიცხვით-ანალიზური მეთოდით

**ლევან ჯაფარიძე<sup>1</sup>, ნიკოლოზ ჩიხრაძე<sup>1,2</sup>, თამაზ გობეჯიშვილი<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>სსიპ გ. წულუკიძის სამთო ინსტიტუტი

<sup>2</sup>საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

**აბსტრაქტი:** დამუშავებულია ცოცვად-პლასტიკური ტიპის მეწყერული ტანების მდგრადობის გაანგარიშების ორიგინალური რიცხვით-ანალიზური მიდგომა კომპიუტერული პროგრამების და მათთან თეორიის ანალიზური აპარატის გამოყენებით. შრეობრივი მასივის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზის საფუძველზე იგი საშუალებას იძლევა შედგენილ იქნას მეწყერსაშიში ტანების საანგარიშო სქემები და დადგინდეს მათი გრავიტაციული და სეისმური ძალების ზემოქმედების მიმართ მდგრადობის უზრუნველყოფის საჭირო ღონისძიებები.

**საკვანძო სიტყვები:** ბლოკური მეწყერი, ცოცვად-პლასტიკური მეწყერი, მდგრადობის კოეფიციენტი, რიცხვით-ანალიზური მეთოდი

მეწყერსაშიში ფერდობების მდგრადობის გაანგარიშების ისტორია 250 წელს ითვლის. ამ დროისათვის გამოქვეყნებულია 5000-ზე მეტი სტატია თუ მონოგრაფია, რომლებშიც გაანალიზებულია ასეკვენტური და კონსეკვენტური მეწყერული მოვლენების წარმოშობი მიზეზები, მეწყერის სახეები და მათი მდგრადობის შეფასების მეთოდები. არსებული შრომების დიდი უმრავლესობა ემყარება ურთიერთ მსგავს, გამარტივებულ საანგარიშო სქემებს, მეწყერული ტანის დაყოფას ვერტიკალურ ბლოკებად, ცალკეული ბლოკის და შემდეგ მთელი მეწყერსაშიში ტანის მდგრადობის კოეფიციენტის განსაზღვრას მრავალუცნობიანი განტოლებათა სისტემების შრომატევად ამოხსნას გამარტივებელი დაშვებებით. შესაბამისად ასე გამოთვლილი მდგრადობის კოეფიციენტების სიდიდეებიც კონკრეტული მეწყერის პირობებისათვის მცირედ განსხვავდება ერთმანეთისაგან.

მეწყერული მოვლენების ამსახველი მექანიკური მოდელების დიდ სიმრავლეში ქანების მასივები განიხილება მყარი (დრეკადი) ტანის მექანიკის პრინციპებიდან. ფერდობის მდგრადობის შეფასება ხდება ზღვრული წონასწორობის, კულონი-მორის და მისი მსგავსი სიმტკიცის თეორიების პირობებით. დროის ფაქტორის გავლენა კი მხოლოდ უკანასკნელი წლების კვლევების მიხედვით შეიძლება\ ამ მეთოდებში ირიბად იქნას ასახული ქანების შეჭიდულობის და შიგა ხახუნის კოეფიციენტის, ანუ სიმტკიცის მაჩვენებლების ზღვრული მნიშვნელობების დაქვეითების ხარჯზე. ამას ეწოდა „ძვრის სიმტკიცის შემცირების ფაქტორი“ (“Shear Strength Reduction factor”), ხოლო მის გამოყენებას სასრულო ელემენტების მეთოდთან ერთად ახალი ერა მეწყერების მდგრადობის გაანგარიშების თეორიაში [1].

„ძვრის სიმტკიცის შემცირების ფაქტორის“ გათვალისწინება მეტად მნიშვნელოვანია ბლოკური ტიპის კონსეკვენტური და ინსეკვენტური მეწყერული ტანების მდგრადობის გაანგარიშებისას, რომლებიც მდგრად მდგომარეობას ინარჩუნებენ ხანგრძლივი დროის განმავლობაში და წონასწორობას კარგავენ ერთბაშად, ექსტრემალური მეტეოროლოგიური ან სხვა ზემოქმედების შედეგად. მანამდე კი შეიძლება ამ ტიპის მეწყერსაშიში ფერდობების ხანგრძლივმა მინიტორინგმა ქანების არავითარი ანგარიშგასაწევი ძვრა არ აჩვენოს.

ამისგან განსხვავებით, ცოცვად-პლასტიკური ტიპის დეფორმაციებს ადგილი აქვს ქანების მასივებში პრაქტიკულად ყველგან და იმის მიხედვით, თუ რა ინტენსივობის აქ-

ტიური მხები ძაბვები მოქმედებს კონკრეტული სქემისას და როგორია მასივის მექანიკური პარამეტრები. ცოცვადობის დეფორმაციები შეიძლება ვითარდებოდეს ძალზე სწრაფად ან უკიდურესად მდორედ, დროის მონაკვეთებში რამდენიმე საათიდან ასწლეულებამდე. აქტიურ მხებ ძაბვებში, ძირითადად, იგულისხმება ქანების მასივში მოქმედი გრავიტაციული ძალებით გამოწვეული ძაბვები. რაც შეეხება მასივის მექანიკურ პარამეტრებს, აქ ყველაზე უფრო დამახასიათებელი უნდა იყოს ქანების არა მხოლოდ სიმტკიცის (შეჭიდულობა, შიგა ხახუნის კუთხე), არამედ დეფორმაციული მახასიათებლები: დრეკადობის მოდული, ცოცვადობის პარამეტრები. მათი განსაზღვრა შესაძლებელია სავარაუდო მეწყერსაშიში ფერდობიდან აღებული გეოლოგიური მასალის ნიმუშების ლაბორატორიული შესწავლის ან/და მასზე ჩატარებული წინასწარი მონიტორინგით მიღებული სურათის დამუშავებით, ე.წ. „ნატურულ-ანალიზური“, ანუ შებრუნებული ანალიზის (Back analyze) მეთოდით [3]. აღსანიშნავია, რომ ამ უკანასკნელის სრულფასოვანი გამოყენების საშუალება შეიქმნება თვით ცოცვად-პლასტიკური მეწყერების ამსახველი პირდაპირი ანალიზური აპარატის შექმნის და სრულყოფის კვალდაკვალ, რაც დღემდე აქტუალური პრობლემაა.

ფაქტორთა გათვალისწინების სისრულის, სიზუსტისა და გაანგარიშების პრაქტიკული შესაძლებლობის მიხედვით ცოცვად-პლასტიკური ტიპის მეწყერული ტანების მდგრადობის შეფასება რთულია და გაანგარიშების მეთოდებიც პრაქტიკულად არ არსებობს. მაშასადამე, სამთო მასივის რეოლოგიის განვითარების თანამედროვე სტადია შეიძლება განვიხილოთ მხოლოდ როგორც საწყისი, როდესაც დაგროვილია ინფორმაციის, წარმოდგენების, მეთოდების და შედეგების პირველადი მარაგი, მაგრამ ძირითადი კვლევები და მათი შედეგების პრაქტიკული გამოყენება ჯერ კიდევ წინ არის.

გ. წულუკიძის სამთო ინსტიტუტში შესრულებული პროექტით გათვალისწინებული იყო ცოცვად-პლასტიკური ტიპის მეწყერული ფერდობების მდგრადობის შეფასების კვლევა გაანგარიშების მეთოდის დამუშავების მიზნით, რაც, განსხვავებით ბლოკური ტიპის მეწყერული ტანის მდგრადობის გაანგარიშების მეთოდისაგან, უნდა ასახავდეს მეტამორფული თიხოვანი ქანების შემცველ მასივში მდორედ მიმდინარე დრეკად-პლასტიკურ და რეოლოგიურ დეფორმაციებს და, შესაბამისად, დროის ფაქტორს. ეს პრობლემა მნიშვნელოვანი და აქტუალურია როგორც თეორიულად, ასევე პრაქტიკულად საერთოდ და იმიტომაც, რომ საქართველოში ბევრგანაა გეოლოგიური ფორმაციები, სადაც გვხვდება „ცოცვად-პლასტიკური“ მეწყერსაშიში ადგილები. ამ ტიპის ლოკალური თუ მასშტაბური მეწყერები მოსალოდნელია ტალღოვან-ბორცოვანი რელიეფის ადგილებში [4] თუ ინფრასტრუქტურული მშენებლობის ინტენსიფიკაციის პირობებში განსაკუთრებული ყურადღება არ მიექცა მათ აცილებას ჯერ კიდევ ადრეულ, დაპროექტების სტადიაზე.

მასივის წერტილების გადაადგილების ამსახველი ფუნქციების დასადგენად გეოტექნიკური ობიექტების დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შეფასება ცოცვადობის გათვალისწინებით დღეისათვის შესაძლებელია, თუ ცნობილია ამოცანის ანალიზური ამონახსენი დრეკადობის თეორიის ფარგლებში. ასეთ ამოცანებს მიეკუთვნება მიწისქვეშა ნაგებობები, კერძოდ გვირაბები, რომელთა მათემატიკური მოდელირება შესაძლებელია, მაგალითად, ნ. მუსხელიშვილის კომპლექსური პოტენციალების მეთოდების გამოყენებით.

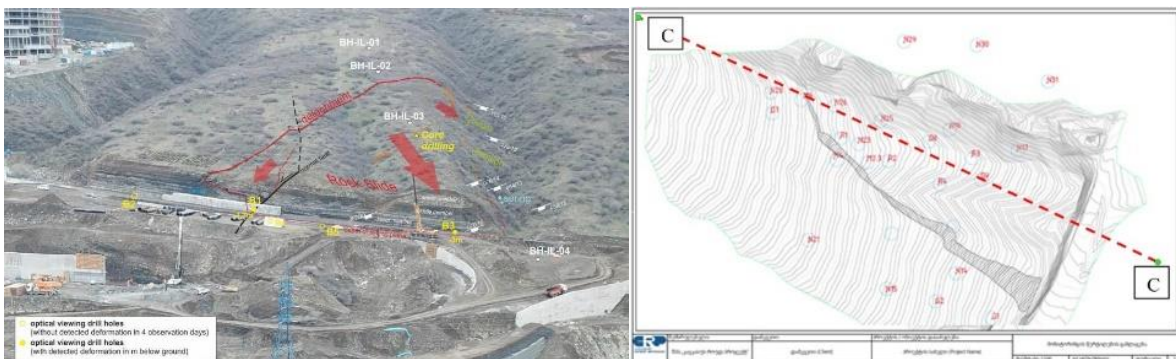
თაც. მაგრამ მეწყერსაშიში ფერდობების მდგრადობის შეფასებისას იგივეს ჩატარება ძალზე ძნელია.

სასრული ელემენტის მეთოდების გამოყენება ზღვრული წონასწორობის ჩარჩოში, გეოტექნიკური სტრუქტურების სტაბილურობის გასაანალიზებლად მნიშვნელოვანი წინ გადადგმული ნაბიჯია [2] და მრავალი უპირატესობა აქვს. მათ შორის: აღარ არის საჭირო დაშვებების გაკეთება შიგა (პრიზიმებს შორის) ძაბვების შესახებ; სტაბილურობის ფაქტორი განისაზღვრება ძაბვების გამოთვლის შემდეგ და, შესაბამისად, არ არსებობს იტერაციული კონვერგენციის პრობლემები; გადაადგილების თავსებადობის საკითხი დაკმაყოფილებულია; გამოთვლილი ძაბვები უფრო ახლოსაა რეალობასთან; ძაბვების კონცენტრაციები არაპირდაპირი გზით არის გათვალისწინებული სტაბილურობის ანალიზში; მიწისძვრის შედეგად წარმოქმნილი დინამიკური ძაბვები შეიძლება პირდაპირ იქნას განხილული სტაბილურობის პირობებში.

ამგვარად, სასრულ ელემენტზე დაფუძნებული მიდგომა გადალახავს ზღვრული წონასწორობის მეთოდებისათვის თანდაყოლილ ბევრ შეზღუდვას. გეოტექნიკური სტრუქტურების სტაბილურობის ანალიზის ჩასატარებლად საჭირო ინსტრუმენტები სასრული ელემენტის მეთოდით გამოთვლილ ძაბვებზე დაყრდნობით დღეს უკვე ხელმისაწვდომია, თუმცა ზოგიერთი სუსტი მხარეები მათაც აქვთ და მომავალში შესაძლოა გაუთვალისწინებელი პრობლემები კვლავაც გაჩნდეს. ასეთი პრობლემები დღეს კვლევის საგანია და დროთა განმავლობაში გადაწყდება, რადგან მეთოდი სულ უფრო მეტად გამოიყენება გეოტექნიკური ინჟინერიის პრაქტიკაში [2-4].

ამოცანის დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობის და ამასთან მკაცრი გადაწყვეტის თეორიული სირთულეების გამო, ცოცვად-პლასტიკური მეწყერული ტანის მოდელირება შესაძლებელია აგრეთვე იქნას ე.წ. „ცვლადი მოდულის“ [5,6] გამოყენებით.

გ. წულუკიძის ინსტიტუტში ჩატარებული კვლევის შედეგები გამოყენებული იქნა ქ. თბილისის ვაშლიჯვრის უბნის მ.მაჭავარიანის ქუჩის ცოცვად-პლასტიკური მეწყერის გამაგრების პროექტში, რომელიც შედგენილ იქნა შპს „კავკასუს როუდ პროჯექტისა“ და ბავარიის საინჟინრო გეოლოგიის ბიუროს მიერ და რომლის გეგმა და ჭრილი C-C 2021 წლის მარტის დასაწყისის მდგომარეობით, მოცემულია სურათ 1-ზე.



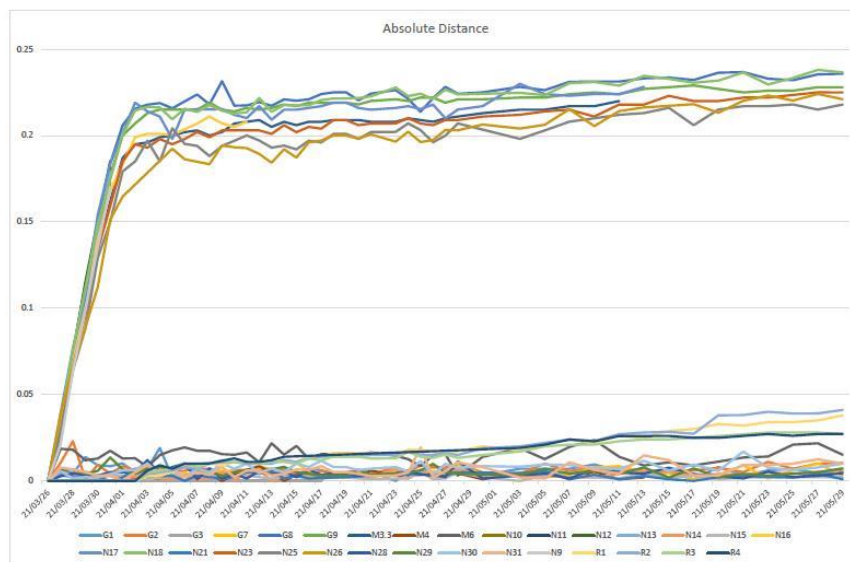
სურათი1. „ვაშლიჯვრის მეწყერის“ ზედახედი და გეგმა სადამკვირვებლო ნიშნულებით.

მეწყერის ზონაში მორფოლოგიური ცვლილებების გამოსავლენად ვენის უნივერსიტეტის მეცნიერებმა Sentinel-ის თანამგზავრიდან ჩაატარეს დაკვირვებები და სატელიტური გაზომვები ინტერფერომეტრიული სინთეზური დიაფრაგმის (InSAR) რადარის გამოყენებით.

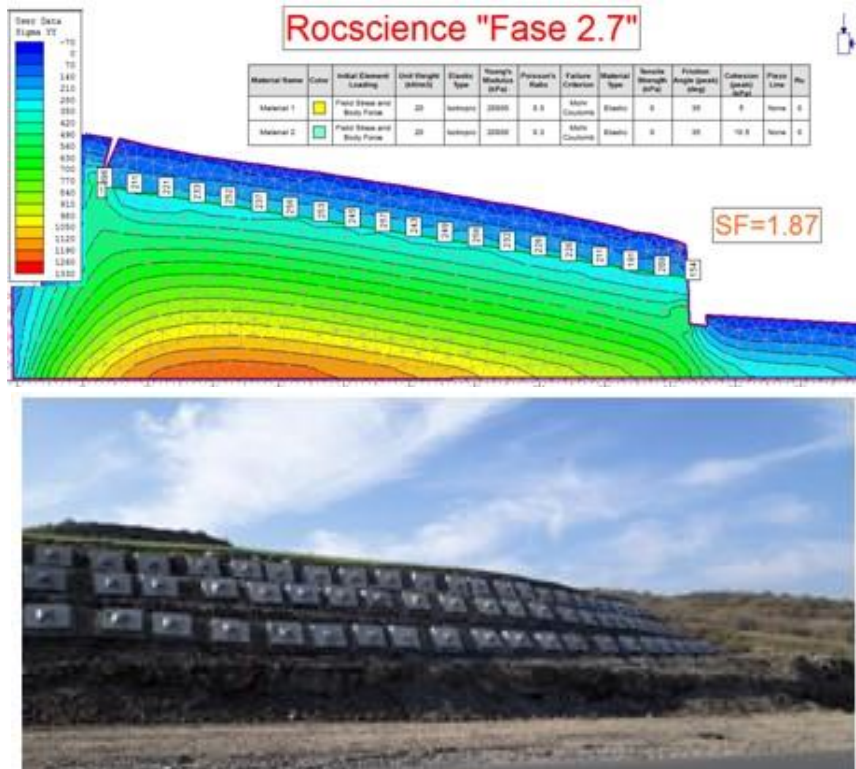
მეწყერულ ტანზე და მის ფარგლებს გარეთ მოეწყო სადამკვირვებლო ნიშნულები (სურათი 1). დაფიქსირდა გეოდეზიური ნიშნულების გადაადგილებები მეწყერის მიმართულებით 26 მარტიდან 17 ივნისამდე.

სურათ 2-ზე მოცემული სადამკვირვებლო გეოდეზიური ნიშნულების გრავიტაციული ძალებით გამოწვეული გადაადგილებები ადასტურებენ მეწყერული ტანის ცოცვად-პლასტიკურ ხასიათს და იძლევა შესაძლებლობას დადგენილი იქნას მთელი მეწყერული ტანის მასივის ცოცვადობის პარამეტრები შემოთავაზებული ნატურულ-ანალიზური მეთოდით, ე.წ. დროში ცვლადი მოდულების გამოყენებით.

მ. მაჭავარიანის ქუჩის მეწყერულ ტანზე ჩატარებული ნატურულ-ანალიზური მეთოდით მიღებული ეს მონაცემები, გამოყენებული იქნა მეწყერული ტანის მდგრადობის გაანგარიშებისათვის (სურათი 3) და შემდეგ - მისი გამაგრების პროექტის შედგენისათვის გერმანიის ბავარიის საინჟინრო გეოლოგიის ბიუროს და სამშენებლო კომპანია CRP-ის სპეციალისტებთან ერთად.



სურათი 2. სადამკვირვებლო გეოდეზიური ნიშნულების გადაადგილებები მეწყერის მიმართულებით



სურათი 3. მეწყრული ტანის მდგრადობის გაანგარიშება და გამაგრების ვიზუალური სურათი

### დასკვნები:

1. ცოცვად-პლასტიკური მეწყერსაშიში ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია არა მხოლოდ კულონ-მორის სიმტკიცის მახასიათებლებზე, არამედ ქანების დეფორმაციულ პარამეტრებზეც საერთოდ და მათ შორის ცოცვადობის მახასიათებლებზეც;
2. სადამკვირვებლო გეოდეზიური ნიშნულების გრავიტაციული ძალებით გამოწვეული გადაადგილებების დამუშავება შემოთავაზებული „ნატურულ-ანალიზური მეთოდით“ ევროკოდების ნორმატიულ დოკუმენტებში მითითებული ცილინდრულ დილატომეტრულ მეთოდთან შედარებით, იძლევა უკეთეს შესაძლებლობას დადგენილი იქნას მთელი მეწყრული ტანის მასივის ექვივალენტური ცოცვადობის პარამეტრები.
3. ამოცანის დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობის და მკაცრი გადაწყვეტის თეორიული სირთულეების გამო, ცოცვად-პლასტიკური მეწყრული ტანის მოდელირების შესაძლებლობა მიზანშეწონილია შესწავლილი იქნას ე.წ. „ცვლადი მოდულის“ იდეის გამოყენებით. ამ შემთხვევაში გასათვალისწინებელია დღეს უკვე დამკვიდრებული „ძვრის სიმტკიცის შემცირების“ (“Shear Strength Reduction”) ფაქტორის ანალოგიური, „ძვრის დეფორმაციის მოდულის შემცირების“ (“Shear Modulus Reduction”) ფაქტორის შემოთავაზება და განვითარება;
4. კონკრეტული მეწყერსაშიში ადგილის საინჟინრო-გეოლოგიური შესწავლისას ქანების სხვა, (ტრადიციულ) პარამეტრებთან ერთად, „ნატურულ-ანალიზური“ ან/და ლაბორატორიული მეთოდებით დადგენილი უნდა იქნას ქანების ცოცვადობის პარამეტრები, ან

უკიდურეს შემთხვევაში - დეფორმაციის მოდულის პიკური (Peak) და ნარჩენი (Residual) სიდიდეები, როგორც ეს მოთხოვნილია, მაგალითად, პროგრამა Phase 2.7 -ის „მასალების თვისებების“ ცხრილში.

#### ლიტერატურა

1. Rocscience. [A New Era in Slope Stability Analysis: Shear Strength Reduction Finite Element Technique. Strengthreduction.pdf. 2004.](#)
2. Stability Modeling with SLOPE/W. An Engineering Methodology. GEO-SLOPE International Ltd. Calgary, Alberta, Web: <http://www.geo-slope.com>. 2012.
3. ანალიზური აპარატი გეოლოგიური პარამეტრების დასადგენად დრეკად-ბლანტ-პლასტიკური ქანების მასივში გაყვანილი წრიული კვეთის გვირაბის კედლების გადაადგილებების გაზომვებით. საქ. მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ქ. თბილისი, 1987 წ. 0.2 ნ.გ.
4. საქართველოს გარემოს დაცვისა და სოფლის მეურნეობის სამინისტრო გარემოს ეროვნული სააგენტო. გეოლოგიის დეპარტამენტი. ქ. თბილისის ტერიტორიის საინჟინრო-გეოდინამიკური პირობები და გეოლოგიური საფრთხეების შეფასება. თბილისი, 2019. PDF.
5. Nicholson, G.A. and Bieniawski, Z.T. (1990). A nonlinear deformation modulus based on rock mass classification,” Int. J. Min. & Geological Engng 8, 181–202.
6. Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels — Civil Elements. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. Publication No. FHWA-NHI-10-034 December 2009.
7. Ержанов Ж.С. Теория ползучести горных пород и ее приложения. Алма-Ата, Наука, 1964.
8. Interim summary of geoscientific landslide reconnaissance, conclusions and recommendations. თბილისი, 2021. PDF.

#### **Determination of stability of creep-plastic type landslide by numerical-analytical methods**

Levan Japaridze, Nikoloz Chikhradze, Tamaz Gobejishvili

##### summary

An original numerical-analytical approach has been developed to calculate the stability of elastic-plastic type landslides using computer programs and stress analysis apparatus. The proposed numerical-analytical method was used together with specialists from the Bavarian Engineering Geology Bureau and the construction company CRP to calculate the stability of the existing block and creep-plastic landslides within Tbilisi and to prepare their strengthening projects.

**Keywords:** Block landslide, creep-plastic landslide, coefficient of stability, numerical-analytical method.