

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას
სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი
შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდი

**საგრანტო პროექტის AR - 18-1491
მოკლე ანგარიში**

თანამედროვე ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეფექტურობის
და საიმედოობის შეფასება მდინარე მლეთისხევის ღვარცოფსადინარის
მაგალითზე

საგრანტო პროექტის ხელმძღვანელი
ტექნიკის აკადემიური დოქტორი,
მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი

გოგა ჩახაია

თბილისი
2020

ს ა რ ზ ე ვ ი

შესავალი -----3

თავი 1. მლეთის ხევში არსებული ეროზიულ-მეწყრული უბნების და ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასის გამოვლენა -----5

თავი 2. მლეთის ხევში არსებულ მოწყვლად ფერდობებზე მიმდინარე ნიადაგ-გრუნტის ეროზიული პროცესების ინტენსიობის, მეწყრული ფერდობების და წყალსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასის ძვრის განმაპირობებელი ფაქტორების დადგენა -----9

თავი 3. მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის რელიეფის სიმაღლითი მოდელის – DEM (Digital Elevation Model) აგება გეოინფორმაციული სისტემაში (გის) ბაზირებული განახლებული მონაცემების გამოყენების საფუძველზე -----11

თავი 4. მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში არსებული მეწყრული ფერდობებისა და წყალსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფული მასის მდგრადობის შეფასება -----13

თავი 5. კომპიუტერული პროგრამა RAMMS-ის გამოყენებით მლეთის ხევში მოსალოდნელი კატასტროფული ღვარცოფის მოდელირება და პროგნოზირება -----17

თავი 6. მლეთის ხევის ღვარცოფსადინარის ოპტიმალურ კვეთში დასამონტაჟებელ ახალ, თანამედროვე, ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციაზე ღვარცოფის ტალღის ზემოქმედების გაანგარიშება და კონსტრუქციის ეფექტურობის შეფასება -----20

თავი 7. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის მდგრადობის გაანგარიშება -----29

თავი 8. თანამედროვე ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება -----32

დასკვნები და რეკომენდაციები -----35

გამოყენებული ლიტერატურა -----37

შესავალი

მლეთის ხევი წარმოადგენს მდ. თეთრი არაგვის ხეობის მარჯვენა ღვარცოფული ხასიათის შენაკადს. ღვარცოფული ნაკადების კვება ხდება ხევის სათავეებში დაგროვილი დიდი რაოდენობის გამოფიტული და უხემნატეხოვანი მასალით და მეწყრული პროცესებით [1,2].

მლეთის ხევის წყალსადინარის სათავე უბანი წარმოდგენილია კანიონის სახით, რომლის ფერდების დაფერდება $50^{\circ}\div 60^{\circ}$ -ია და იგი $45^{\circ}\div 20^{\circ}$ -მდე მცირდება, კალაპოტის ფსკერის სიგანე სატრანზიტო ზონის დასასრულამდე $4\div 5$ მ-დან იზრდება $10\div 15$ მ-მდე. ნარიყის კონუსი წარმოდგენილია $60^{\circ}\div 80^{\circ}$ -მდე გაშლილი კონუსის სახით, მისი ზედაპირი შედარებით ამობურცულია და წარმოდგენილია ქვიშა-ხრემოვანი და მასზე ნაკლები ზომის ფრაქციებით. კალაპოტწარმომქმნელი ნაწილაკების გრანულომეტრიული და მინერალოგიური შედგენილობის განსაზღვრის საფუძველზე დადგინდა, რომ აღნიშნული წყალსადინარი ხასიათდება არაბმული (ტურბულენტური) ღვარცოფების გავლით [1,2].

მდინარე მლეთის ხევის კალაპოტში ბოლო წლებში დაფიქსირებულია დიდი სიმძლავრის ღვარცოფების გავლა (1953, 1981, 1982, 1983, 1985, 1987, 1989, 2001, 2003, 2005 წწ.), ასევე 2003, 2005, 2007, 2009 და 2010 წლებში შეიმჩნევა ღვარცოფების წარმოშობის სიხშირის ზრდაც (2-3 მძლავრი ნაკადის გავლა წელიწადში). ჩატარებულმა გამოკვლევამ ცხადყო, რომ გაიზარდა არა მარტო ღვარცოფის წარმოშობის სიხშირე, არამედ ღვარცოფის მიერ გამოტანილი მყარი მასის მოცულობაც, ერთჯერადი გამოტანილი მასალის მოცულობა ხშირად 1 მლნ მ³-ს აღემატება [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12].

უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ 2003 წელს მლეთის ხევის კალაპოტში წამოსულმა ღვარცოფმა 20 წუთის განმავლობაში გადაკეტა მდინარე თეთრი არაგვის კალაპოტი, ხოლო 2005 წელს სტიქია მძვინვარებდა 25 წუთი [3].

მდინარე მლეთის ხევიში სისტემატურად ხორციელდება კალაპოტის პერიოდული გაწმენდა-დაღრმავება, მაგრამ მიუხედავად ამისა კალაპოტი ხშირად ივსება ღვარცოფული ნატანით. ღვარცოფული ნაკადები რეალურ საშიშროებას უქმნის მლეთის ეკლესიას და მოსახლეობის ნაწილს. ღვარცოფის გაქტიურება ხდება ყოველწლიურად, არის შემთხვევები როცა ნაკადებმა გადაკეტა მდ. არაგვი და დატბორა ე.წ. „ხიდისუბნის“ დასახლება. ხიდისუბანში მდინარის კალაპოტის აწევის გამო ირეცხება ნაპირები, რის გამოც დაზიანდა და დაინგრა საცხოვრებელი სახლები, ამჟამად 8 ოჯახი გადასაყვანია უსაფრთხო ადგილას.

მლეთისხევში მიმდინარე ღვარცოფული მოვლენების წარმოშობის მთავარ კერას წარმოადგენს მეწყრული პროცესები, იგი ხევში მყარი მასალის მთავარი მიმწოდებელია და ღვარცოფული ნაკადების სიხშირეს და დამანგრეველ ძალას მისი დინამიკის აქტიურობა მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს.

მლეთისხევის მეწყერი, როგორც ზემოთ იყო ნახსენები, სათავეში და ხევის შუა წელშია განვითარებული. ფერდობი ეროზიული წარმოშობისაა, ძირითადად ადმოსავლური და ჩრდილო-ადმოსავლური ექსპოზიციის, სიმაღლით 500-700 მ, სიგანით 400-450 მ. მისი დახრილობა ფერდობის ზედა ნაწილში 20-25°, ქვემო ნაწილში მცირედ იზრდება, ხოლო ძირში, სადაც მისი ენა ხევის კალაპოტში იწყებს ბაზირებას, მკვეთრად იზრდება მდინარის მხრიდან წარმოებული მძლავრი გვერდითი ეროზიის გამო და იგი ხშირად ციცაბო დაქანებას ღებულობს, რის გამოც მისგან მოწყვეტილი ბლოკები მდინარის კალაპოტში ინტენსიურად ცვივა. თვითონ მეწყრული სხეულის ზედაპირი ტიპური მეწყრული ფორმისაა: ტალღისებურ-საფეხურისებური, დასერილია ახალი წარმოშობის ნაპრალებით, რომლებიც თითქმის მთელ სიგანეზე გასდევს მას. მეწყრის თავში ფრაგმენტების სახითაა შემორჩენილი ცირკისებური რკალი - მთავარი მოწყვეტის ზოლი, რომლის სიმაღლე მის შუა ნაწილში 10 მეტრამდე აღწევს, თუმცა იგი ძირითადად რელიეფთანაა შერწყმული დენუდაციური პროცესების მიერ. მეწყრის ცოცვის სიბრტყე სავარაუდოდ 20-25 მეტრას უნდა აღწევდეს. თვით მეწყრული სხეული აგებულია ღორღ-ნატეხოვანი მასალით - ხრეშის, ქვიშის და თიხური მასალის შემავსებლით. ღორღ-ნატეხოვანი მასალა ძირითადი (დედა) ქანების გამოფიტვის და დეზინტეგრაციის გზითაა წარმოქმნილი, რომელიც ქვიშაქვების, ფიქლებისა და კირქვების მასივებიდანაა მიღებული [1].

ჩვენ მიერ შესწავლილი ლიტერატურული წყაროებიდან გამომდინარე, ნათელია, რომ საჭიროა მდინარე მლეთის ხევში მიმდინარე ღვარცოფული მოვლენების დეტალური შესწავლა, თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით, რათა დადგინდეს იქ არსებული თანამედროვე ეკოლოგიური რისკები და დაისახოს ადეკვატური ღონისძიებები ეკოლოგიური რისკების მინიმიზაციის უზრუნველსაყოფად.

თავი 1. მლეთის ხევში არსებული ეროზიულ-მეწყრული უბნების და ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასის გამოვლენა.

საგრანტო პროექტის გეგმის მიხედვით, ჩვენ მიერ მდინარე მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში განხორციელდა სავლე საექსპედიციო კვლევები იქ არსებული ეროზიულ-მეწყრული უბნების და ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასის გამოსავლენად, რომლის შედეგად დაფიქსირდა ინტენსიური ეროზიულ და მეწყრული უბნები, ასევე მდინარის კალაპოტში აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მყარი მასა (იხ. ფოტო 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7).



ფოტო 1.1. მლეთისხევის ღვარცოფსადინარის ტრანზიტულ ზონაში დაფიქსირებული ეროზირებული უბნები



ფოტო 1.2. მლეთისხევის ღვარცოფსადინარის ტრანზიტული ზონის დასაწყისში დაფიქსირებული ეროზირებული უბნები



ფოტო 1.3. მლეთისხევის ღვარცოფსადინარის ტრანზიტული ზონის დასაწყისში და ნაწილობრივ სათავეში დაფიქსირებული მეწყრული უბნები



ფოტო 1.4. მლეთისხევის ღვარცოფსადინარის სათავეში დაფიქსირებული მეწყრული უბნები



ფოტო 1.5. მლეთისხევის ღვარცოფსადინარის ტრანზიტულ ზონაში დაფიქსირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასა (ხედი სათავისკენ)



ფოტო 1.6. მლეთისხევის ღვარცოფსადინარის ტრანზიტულ ზონაში დაფიქსირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასა (ხედი შესართავისკენ)



ფოტო 1.7. მლეთისხევის ღვარცოფსადინარის ტრანზიტული ზონის დასაწყისში დაფიქსირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასა

ზემოაღნიშნული ფოტომასალიდან ჩანს, რომ მლეთისხევის ღვარცოფსადინარში მიმდინარეობს, როგორც ტრანზიტული უბნის გასწვრივ, ასევე სათავეებისკენ აქტიური ეროზიული და მეწყრული პროცესები, რაც განაპირობებს ღვარცოფსადინარის შევსებას ღვარცოფმაფორმირებელი მყარი მასით. სათავეებიდან მოყოლებული, ტრანზიტული უბნის ბოლომდე, დაფიქსირდა კალაპოტში აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მყარი მასა, რაც ასევე ხელს უწყობს დიდი სიმძლავრის ღვარცოფის ფორმირებას.

თავი 2. მლეთის ხევში არსებულ მოწყვლად ფერდობებზე მიმდინარე ნიადაგ-გრუნტის ეროზიული პროცესების ინტენსიობის, მეწყრული ფერდობების და წყალსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასის ძვრის განმაპირობებელი ფაქტორების დადგენა.

მლეთის ხევში მიმდინარე გეოდინამიკური პროცესები ურთიერთ დამოკიდებულებაში იმყოფებიან და მთავარ ურთიერთგამომწვევ ფაქტორებად გვევლინებიან - მის ფერდობებზე წარმოქმნილ მეწყრულ სხეულებში ვითარდება ეროზიული პროცესები, ხოლო ეროზირებული ფერდობები თავის მხრივ ხელს უწყობენ მეწყრული მოვლენების წარმოქმნას და განვითარებას. მეწყრულ-ეროზიული პროცესები კი ორივე ერთად მდ. მლეთის ხევის ძირითად არტერიას აწვდიან დიდი რაოდენობით მყარ მასალას. რაც შეეხება ღვარცოფულ მოვლენებს, ისინი ძალიან დიდ როლს ასრულებენ მდინარის კალაპოტში მიმდინარე გვერდითი და სიღრმითი ეროზიების გასაძლიერებლად. თუმცა, ყოველივე ეს პროცესები არ წარმართებოდა, თუ მათ არ ექნებოდა ის ძირითადი განმაპირობებელი ფაქტორები, რომლებიც გეოლოგიური, ჰიდროგეოლოგიური, ჰიდროლოგიური, კლიმატური და ტექნოგენური თავისებურებებიდან გამომდინარეობენ:

1) გეოლოგიური ფაქტორები:

- კავკასიონის ქედის აქტიური ტექტონიკური მოძრაობები (აზევება), რაც იწვევს ეროზიის ადგილობრივი ბაზისის მუდმივ განახლებას და ფერდობების დახრილობების ზრდას ან/და შენარჩუნებას;
- ამგები ქანების არაერთგვაროვნება (მკვრივი ქანების მორიგეობა სუსტ, ადვილად გამოფიტვად ქანებთან), რაც ზრდის დამაბულობას სამთო მასივში;
- ადგილობრივი ტექტონიკური რღვევები და აშლილობები, რომლებიც ხელს უწყობენ გამოფიტვის პროცესების განვითარებას და ქანების დეზინტეგრაციას;

2) ჰიდროგეოლოგიური ფაქტორები:

- ღრმა ცირკულაციის მიწისქვეშა წყლების შეღწევა ფერდობების ამგებ ქანებში ნაპრალოვანი სისტემების საშუალებით და მეწყრული სხეულების გატენიანება;
- ზედაპირული წყლების შეღწევა ფერდობის სიღრმეში და ფერდობების გატენიანება;

3) ჰიდროლოგიური:

- მდ. მლეთის ხევის ჰიდროლოგიური რეჟიმი - ღვარცოფწარმოქმნელი წყალმოვარდნები;
- ხშირი ჰიდროგრაფიული ქსელი ღრმა ეროზიული ჩაჭრებით და სიმეტრიულად განლაგებული ვერისებური წყალშემკრები ფართობით, რაც განაპირობებს ღვარცოფული ნაკადის ერთდროულ მოვარდნას ტრანზიტის ზონაში და მისი სიძლიერეს გაზრდას;
- ადგილობრივი ეროზიის ბაზისის მუდმივად განახლებადი პროცესი, რაც განაპირობებს ფერდობების დახრილობის და მის ამგებ ქანებში მძვრელი ძალების გაზრდას;

4) კლიმატური ფაქტორები:

- ხშირი თავსხმა წვიმები;
- ტემპერატურული რეჟიმის მკვეთრი ცვალებადობა, რაც აძლიერებს გამოფიტვის პროცესების ინტენსიურობას და მიმდინარეობას;
- თოვლის მაღალი საფარი, რასაც პირდაპირი კავშირი გააჩნია ფერდობების გატენიანებასთან.

5) ტექნოგენური ფაქტორები:

- ფერდობებზე არსებული ხე-ტყის გაჩეხვა ხელს უწყობს ეროზიული პროცესების გააქტიურებას;
- არ ხდება ცხვრის გადასარეკი ბილიკების მონაცვლეობა, რაც, ასევე, პირდაპირ კავშირშია ეროზიული პროცესების ჩასახვასთან.

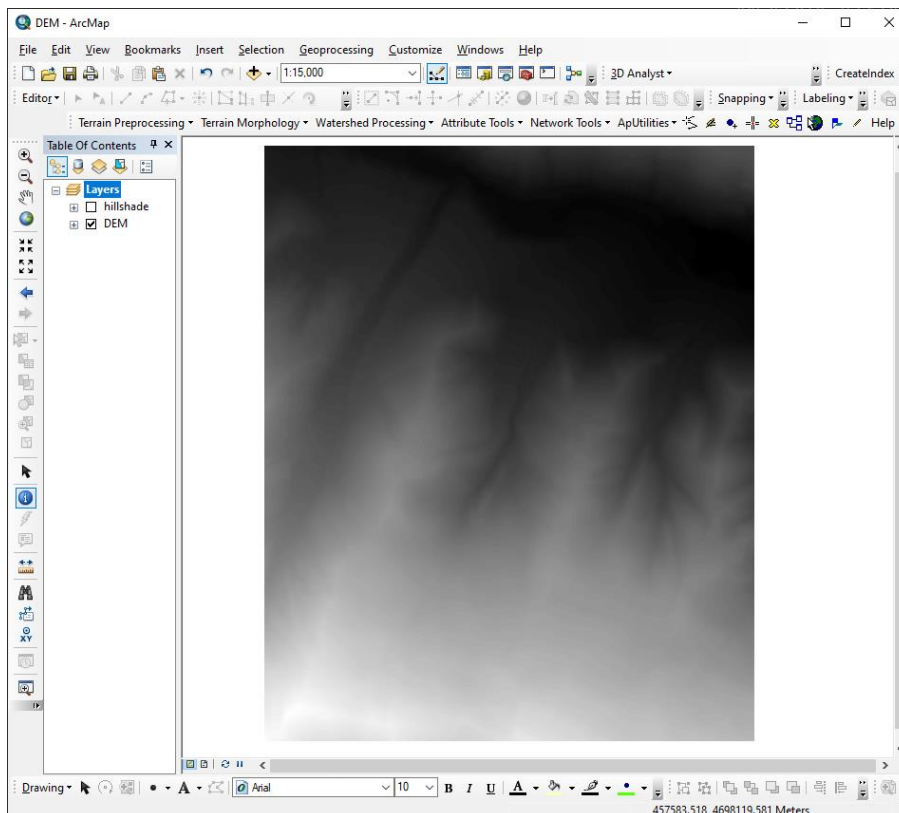
განხორციელებული საველე, თეორიული და ლაბორატორიული კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით შეიძლება დავასკვნათ, რომ მლეთის ხევის ღვარცოფსადინარში, ძირითადად აკუმულირებული მსხვილნატეხოვანი და ქვიშოვან-თიხოვანი გრუნტები წარმოადგენენ არამდგრად (სამარაგო) მასას ღვარცოფსადინარში მოსალოდნელი ღვარცოფული ნაკადისთვის და სხვა გეოლოგიურ, ჰიდროლოგიურ და კლიმატურ ფაქტორებთან ერთად ხელს უწყობენ მოსალოდნელი ეკოლოგიური საფრთხის მასშტაბების გაძლიერებას.

მლეთისხევის ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული გრუნტი წარმოადგენს იონების კონცენტრაციის მიხედვით დაბალი შემცველობის გრუნტს, ასევე მასში ჰუმუსის შემცველობა 0-ის ტოლია, რაც მიუთითებს ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებული მასის ადვილად დაძვრის შესაძლებლობაზე.

თავი 3. მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის რელიეფის სიმაღლითი მოდელის – DEM (Digital Elevation Model) აგება გეოინფორმაციული სისტემაში (გის) ბაზირებული განახლებული მონაცემების გამოყენების საფუძველზე.

მლეთისხევი მოსალოდნელი ღვარცოფის კომპიუტერული პროგრამა RAMMS-ით მოდელირებისთვის, საჭიროა რელიეფის ციფრული მოდელის (DEM – Digital Elevation Model) აგება. ის პიქსელების ერთობლიობაა – *grid* მოდელია (მატრიცა). თითოეული პიქსელის ცენტრმა იცის X,Y კოორდინატები და აბსოლუტური სიმაღლე (Z). უჯრედის სიდიდე (cell size) განსაზღვრავს მის სივრცით შესაძლებლობას.

პროექტის ფარგლებში, მლეთის ხევის ღვარცოფის მოდელირებისათვის ვიყენებთ 2 მ შესაძლებლობის DEM-ს (იხ. ნახ. 3.1.).



ნახ. 3.1. რელიეფის ციფრული მოდელი DEM

DEM სხვადასხვა გზებით შეიძლება მივიღოთ. ჩვენ გამოვიყენეთ უპილოტო საფრენი

აპარატის – დრონის უახლესი მოდელი – Mavic 2 Pro (იხ. ფოტო. 3.1.)



ფოტო 3.1. უპილოტო საფრენი აპარატი – დრონი Mavic 2 Pro

დრონის პირველადი ინფორმაციული მოდელების ფოტოგრამმეტრიული დამუშავებისა და სიმაღლითი ნიშნულების (*elevation*) მისაღებად გამოყენებული იქნა პროგრამული უზრუნველყოფა Pix4D (იხ. ნახ. 3.2).



ნახ. 3.2. Pix4D-ის ლოგოტიპი

ამრიგად, დისტანციური ზონდირების და გეოინფორმაციული სისტემების თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით შეიქმნა რელიეფის ციფრული მოდელი (DEM), რომელიც გამოყენებული იქნა ადგილის რელიეფის დახრილობის, ფერდობთა ექსპოზიციების განსასაზღვრავად, პროფილების ასაგებად, RAMMS-ით ღვარცოფული პროცესის მოდელირებისა და მისი მახასიათებლების გამოსათვლელად.

თავი 4. მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში არსებული მეწყრული ფერდობებისა და წყალსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფული მასის მდგრადობის შეფასება

მეწყრული ფერდობის მდგრადობის შეფასება.

მლეთისხევის წყალშემკრებ აუზში მოსალოდნელი ეკოლოგიური რისკების დადგენისათვის საჭიროა, საველე-სარეკოგნოსცირებო კვლევების შედეგად დაფიქსირებული, მეწყრული ფერდობის მდგრადობის შეფასება, რისთვისაც განხორციელდა შემდეგი გაანგარიშებები:

- მეწყრული ფერდობიდან აღებული ნიადაგ-გრუნტის ნიმუშების ლაბორატორიული კვლევის შედეგები: შიდა ხახუნის კუთხე $\varphi=23^{\circ}$, შეჭიდულობა $c = 0,25\text{ტ/მ}^2$, ფორიანობა $n = 0,43$, მინერალის სიმკვრივე $\rho_d = 2,72\text{ტ/მ}^3$, სითხის სიმკვრივე $\rho_b = 1\text{ტ/მ}^3$.

ზემოაღნიშნული მონაცემები გამოყენებულ იქნა საკვლევ ფერდობზე გრუნტის ფენის კრიტიკული (როცა იწყება მოძრაობა) სიღრმის დასადგენად, „მშრალი“ გრუნტის შემთხვევაში; გაანგარიშება განხორციელდა შემდეგი მეთოდოლოგიით [13]:

$$\frac{1}{z} \leq \frac{c}{\rho \phi z} = \sin \alpha - \tan \varphi \cos \alpha \quad (3.1),$$

სადაც $\bar{z} = \frac{\rho \phi z}{c}$ - არის გრუნტის ფენის ფარდობითი სისქე, რომლის გაზრდა იწვევს ფერდობის დაძვრას; α - არის ფერდობის დახრილობის კუთხე, ხოლო წყლით გაჯერებული ფერდობის შემთხვევაში გვაქვს:

$$\frac{1}{z_1} \leq \frac{c}{\rho \phi z_1} = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_\theta}\right) \cdot (\sin \alpha - \tan \varphi \cos \alpha) + \frac{\rho_b}{\rho_\theta} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{1}{1-n} \quad (3.2),$$

ჩვენი მონაცემების გათვალისწინებით მივიღებთ შემდეგ დამოკიდებულებებს:

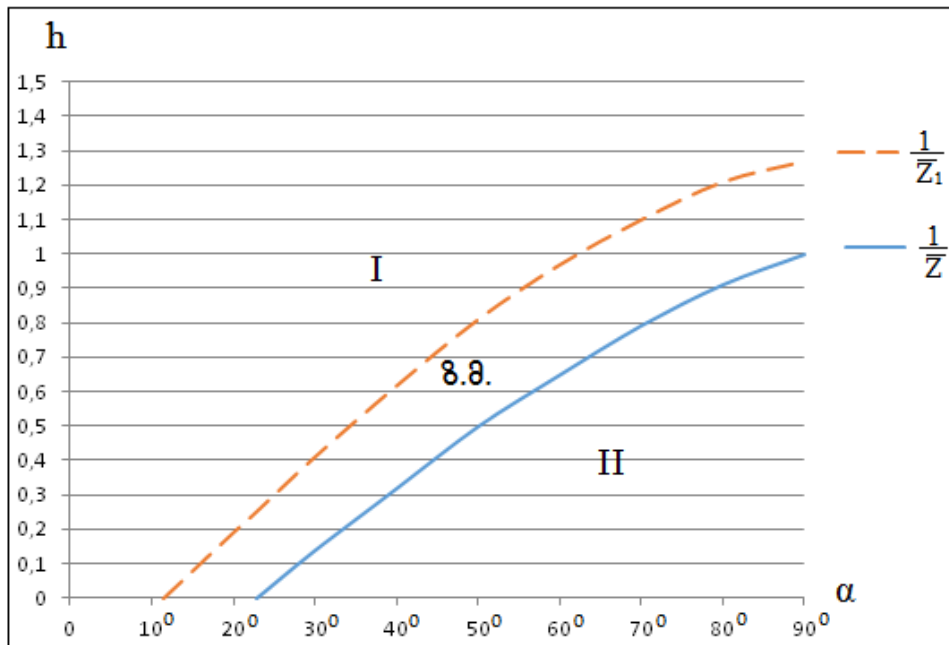
$$\begin{aligned} \frac{1}{z_1} &= \left(1 - \frac{1}{2,72}\right) (\sin \alpha - 0,42 \cos \alpha) + \frac{1}{2,72} \sin \alpha \frac{1}{1-0,43} = 0,63 \sin \alpha - 0,26 \cos \alpha + 0,64 \sin \alpha = \\ &= 1,27 \sin \alpha - 0,26 \cos \alpha; \end{aligned} \quad (3.3)$$

საბოლოოდ გვექნება:

$$\frac{1}{z} = \sin \alpha - 0,42 \cos \alpha \quad (3.3)$$

$$\frac{1}{z_1} = 1,27 \sin \alpha - 0,26 \cos \alpha \quad (3.4)$$

ზემოაღნიშნულ დამოკიდებულებებში ფერდობის კრიტიკულ ფარდობით სიღრმეებსა და ქანობს შორის დამოკიდებულება გამოისახება ნახ. 3.1-ზე მოცემული გრაფიკის სახით.



ნახ. 3.1. ფერდობის კრიტიკულ ფარდობით სიღრმეებსა და ქანობს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი

ნახაზზე I არე შეესაბამება ფერდობის მდგრად მდგომარეობას, ზ.მ. შეესაბამება ზღვრულ მდგომარეობას, ხოლო II კი ზღვარს მიღმიერ, ანუ როცა ფერდობი დაიძვრება.

ნახ. 5.1. მიხედვით, წყლით გაჯერება ფერდობის დახრის კრიტიკულ კუთხეს (როცა იწყება მოძრაობა) ამცირებს დაახლოებით $12^{\circ} \div 28^{\circ}$ -ით.

„მშრალი“ გრუნტისთვის მივიღოთ $\rho = 1.5 \text{ ტ/მ}^3$, მაშინ $\alpha = 30^{\circ}$ -ის შემთხვევაში $\frac{c}{\rho g z} \leq 0.13$, საიდანაც $z \geq 1,28 \text{ მ}$ და დაიწყება მოძრაობა. $\alpha = 40^{\circ}$ -თვის $\frac{c}{\rho g z} \leq 0.32$, საიდანაც $z \geq 0,52 \text{ მ}$, ხოლო $\alpha = 50^{\circ}$ -თვის $\frac{c}{\rho g z} \leq 0.5$, საიდანაც $z \geq 0.33 \text{ მ}$.

წყლით გაჯერებული გრუნტისთვის მოძრაობა დაიწყება $\alpha = 30^{\circ}$ –ის შემთხვევაში $z_1 \geq 0,61 \text{ მ}$, 40° -თვის $z_1 \geq 0,40 \text{ მ}$, ხოლო 50° -თვის $z_1 \geq 0,31 \text{ მ}$.

ზემოაღნიშნული ანგარიშის შედეგებიდან გამომდინარე, საკვლევი ფერდობი აშკარად მეწყერსაშიშია, რადგან საშუალოდ 30° -იანი კუთხის ქანობის შემთხვევაში, საკმარისია $0,61 \text{ მ}$ -ის სიღრმის გრუნტის მასა, რომ წყლით გაჯერების პირობებში მოხდეს ფერდობის წონასწორობის დარღვევა.

წყალსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფული მასის მდგრადობის შეფასება.

მლეთისხევის წყალშემკრებ აუზში მოსალოდნელი ეკოლოგიური რისკების დადგენისათვის საჭიროა, საველე-სარეკოგნოსცირებო კვლევების შედეგად დაფიქსირებული, წყალსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფული მასის მდგრადობის შეფასება, რისთვისაც განხორციელდა შემდეგი გაანგარიშებები:

- წყალსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფული მასიდან აღებული ნიადაგ-გრუნტის მახასიათებლები: შიდა ხახუნის კუთხე $\varphi = 39^{\circ}$, შეჭიდულობა $c = 0,41 \text{ ტ/მ}^2$, ფორიანობა $n = 0,6$, ღვარცოფული მასის სიმკვრივე $\rho_{\theta} = 1,85 \text{ ტ/მ}^3$, სითხის სიმკვრივე $\rho_{\nu} = 1 \text{ ტ/მ}^3$.

ზემოაღნიშნული მონაცემები გამოყენებულ იქნა საკვლევ ფერდობზე გრუნტის ფენის კრიტიკული (როცა იწყება მოძრაობა) სიღრმის დასადგენად, „მშრალი“ გრუნტის შემთხვევაში; გაანგარიშება განხორციელდა შემდეგი მეთოდოლოგიით [3,4]:

$$\frac{1}{z} \leq \frac{c}{\rho g z} = \sin \alpha - \tan \varphi \cos \alpha \quad (4.5),$$

სადაც $\bar{z} = \frac{\rho g z}{c}$ - არის გრუნტის ფენის ფარდობითი სისქე, რომლის გაზრდა იწვევს ფერდობის დაძვრას; α - არის ფერდობის დახრილობის კუთხე, ხოლო წყლით გაჯერებული ფერდობის შემთხვევაში გვაქვს:

$$\frac{1}{z_1} \leq \frac{c}{\rho g z_1} = \left(1 - \frac{\rho_{\nu}}{\rho_{\theta}}\right) \cdot (\sin \alpha - \tan \varphi \cos \alpha) + \frac{\rho_{\nu}}{\rho_{\theta}} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{1}{1-n} \quad (4.6),$$

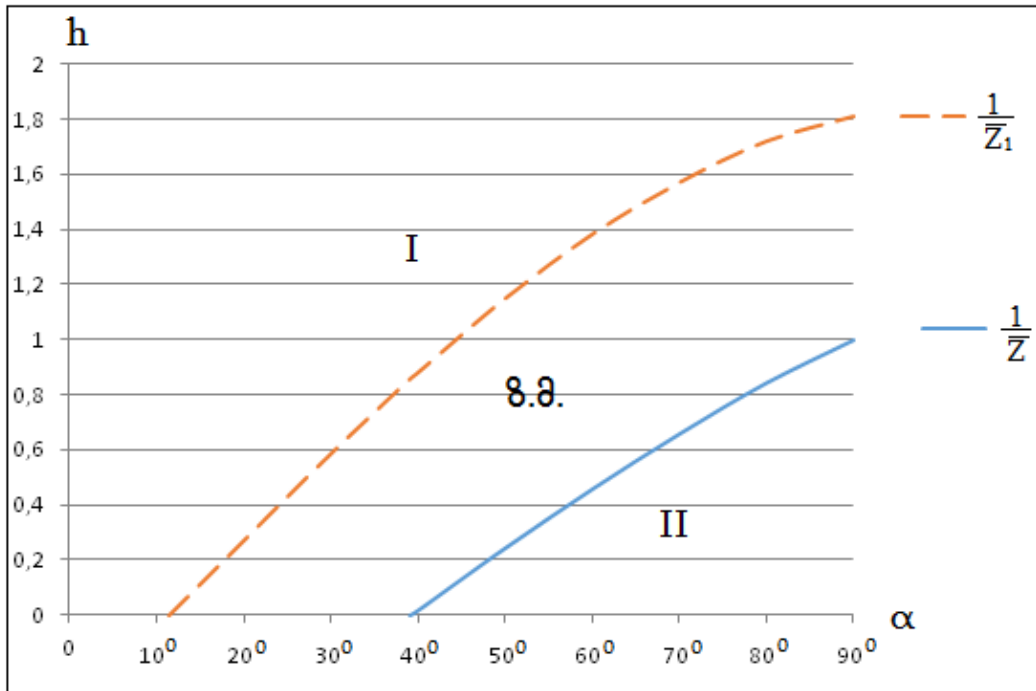
ჩვენი მონაცემების გათვალისწინებით მივიღებთ შემდეგ დამოკიდებულებებს:

$$\frac{1}{z_1} = \left(1 - \frac{1}{1,85}\right) (\sin \alpha - 0,81 \cos \alpha) + \frac{1}{1,85} \sin \alpha \frac{1}{0,4} = 0,46 \sin \alpha - 0,37 \cos \alpha + 1,35 \sin \alpha$$

$$\frac{1}{z} = \sin \alpha - 0,81 \cos \alpha \quad (4.7),$$

$$\frac{1}{z_1} = 1,81 \sin \alpha - 0,37 \cos \alpha \quad (4.8).$$

ზემოაღნიშნულ დამოკიდებულებებში ფერდობის კრიტიკულ ფარდობით სიღრმეებსა და ქანობს შორის დამოკიდებულება გამოისახება ნახ. 4.2-ზე მოცემული გრაფიკის სახით.



ნახ. 4.2. ფერდობის კრიტიკულ ფარდობით სიღრმეებსა და ქანობს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი

ნახაზზე I არე შეესაბამება ფერდობის მდგრად მდგომარეობას, ზ.მ. შეესაბამება ზღვრულ მდგომარეობას, ხოლო II კი ზღვარს მიღმიერ, ანუ როცა ფერდობი დაიძვრება.

ნახ. 4.2. მიხედვით, წყლით გაჯერება ფერდობის დახრის კრიტიკულ კუთხეს (როცა იწყება მოძრაობა) ამცირებს დაახლოებით $28^{\circ} \div 45^{\circ}$ -ით.

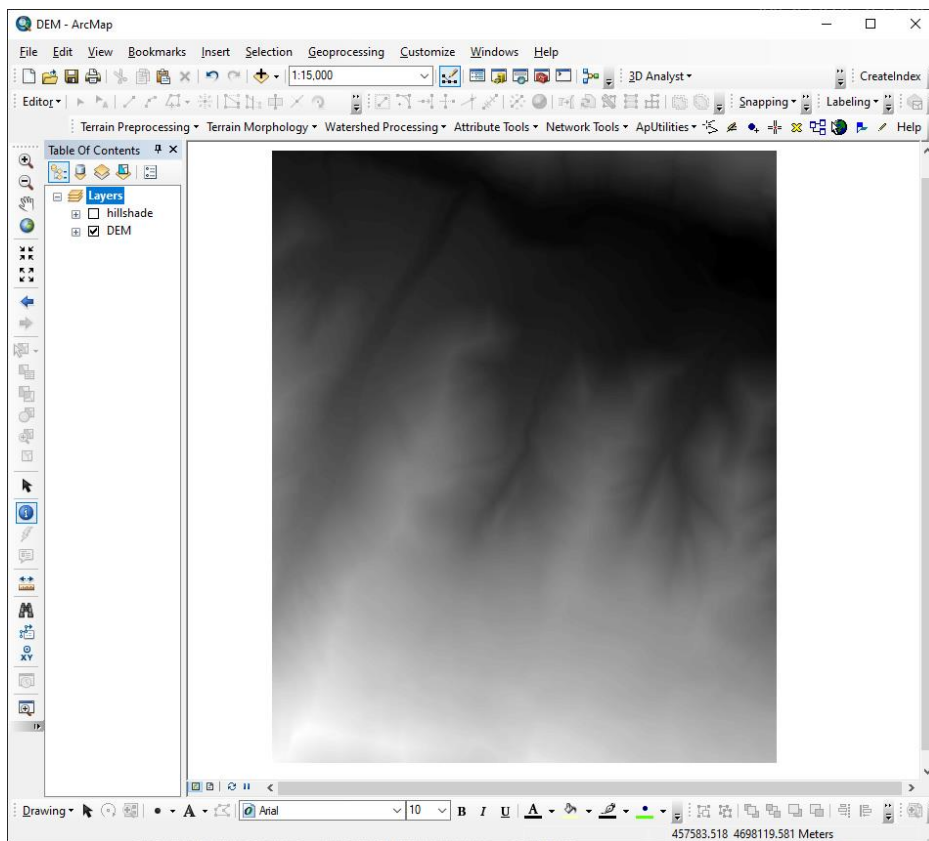
„მშრალი“ გრუნტისთვის $\alpha = 40^{\circ}$ -ის შემთხვევაში $z \geq 1,0$ მ და დაიწყება მოძრაობა. $\alpha = 50^{\circ}$ – ის შემთხვევაში $z \geq 0,9$ მ.

წყლით გაჯერებული გრუნტისთვის მოძრაობა დაიწყება $\alpha = 40^{\circ}$ –ის შემთხვევაში $z_1 \geq 0,25$ მ, $\alpha = 50^{\circ}$ –ის შემთხვევაში $z_1 \geq 0,19$ მ.

რადგანაც ღვარცოფსადინარის დახრილობა 30° - 40° -ის ფარგლებშია, ხოლო აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასის ფენის სისქე 2-3 მეტრია, ზემოაღნიშნული ანგარიშის შედეგებიდან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ ძლიერი ინტენსიობის ნალექების ფორმირებისას შესაძლებელია ღვარცოფსადინარში ღვარცოფის ფორმირება.

თავი 5. კომპიუტერული პროგრამა RAMMS-ის გამოყენებით მლეთის ხევში მოსალოდნელი კატასტროფული ღვარცოფის მოდელირება და პროგნოზირება.

მლეთის ხევში მოსალოდნელი კატასტროფული ღვარცოფის მოდელირება და პროგნოზირებისთვის გამოყენებული იქნა მლეთის ხევის DEM (Digital Elevation Model - 2x2 m resolution, იხ. ნახ. 5.1.) და ორთო ფოტო (იხ. ნახ. 3.20., 3.21). საველე-საექსპედიციო და ლაბორატორიული კვლევის შედეგად დადგინდა: ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული მასის, მოწყვლად ფერდობებზე არსებული ეროზირებული ნიადაგ-გრუნტის და მეწყრული სხეულის სიღრმე, ასევე განისაზღვრა კომპიუტერულ პროგრამა RAMMS-ში შესაყვანი ძირითადი პარამეტრები პროგრამის ინსტრუქციაში მოცემული რეკომენდაციების გათვალისწინებით [14] (იხ. ცხრილი 5.1).



ნახ. 5.1. მლეთის ხევის DEM (Digital Elevation Model)

ცხრილი 5.1

კომპიუტერულ პროგრამა RAMMS-ში შესაყვანი ძირითადი პარამეტრები

ეროზირებულ ფერდობზე არსებული ნიადაგ-გრუნტის სიღრმე (მ)	ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული ნიადაგ-გრუნტის სიღრმე (მ)	მეწყრის სიღრმე (მ)	ღვარცოფის სიმკვრივე (კგ/მ ³)	კულონის მშრალი ხახუნის კოეფიციენტი μ	ბლანტ-ტურბულენტური ხახუნის კოეფიციენტი ξ (მ/წმ ²)	დედამიწის წნევის კოეფიციენტი λ	H კვეთის სიმაღლეების შემასწორებელი მნიშვნელობა (მ)
0,2	2,0	5.8	2000	0,1	120	1	0.0001

ზემოაღნიშნული მონაცემები შეყვანილი იქნა კომპიუტერულ პროგრამა RAMMS-ში და განხორციელდა მლეთის ხევის ღვარცოფსადინარში მოსალოდნელი ეროზიული და მეწყრული გენეზისის ღვარცოფული მოვლენების კომპიუტერული მოდელირება და პროგნოზირება.

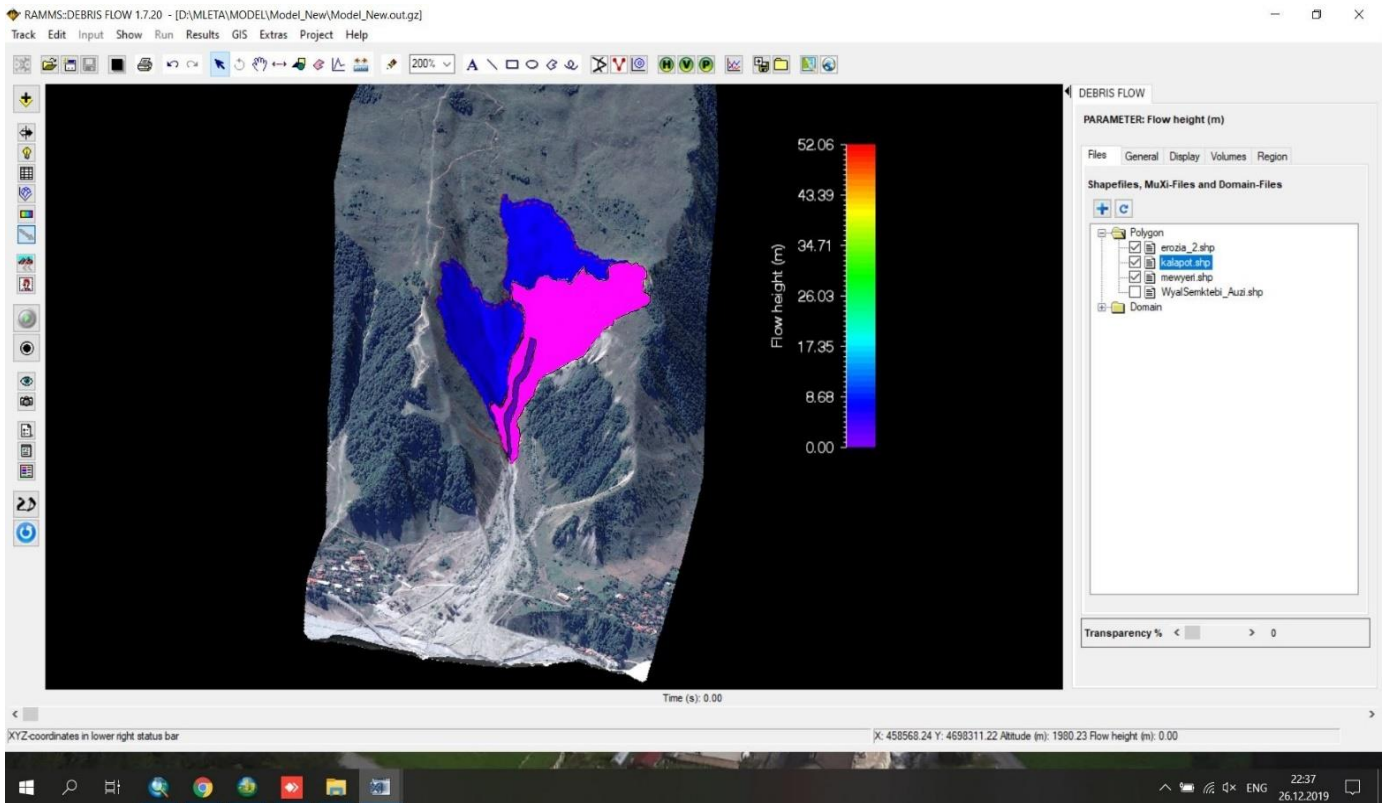
კომპიუტერული პროგრამა RAMMS-ით განხორციელებული მოდელირების შედეგად განისაზღვრა მლეთის ხევის ღვარცოფსადინარში და მოწყვლად ფერდობებზე არსებული ღვარცოფმაფორმირებელი ნიადაგ-გრუნტის მოცულობები, მოსალოდნელი ღვარცოფის მიერ გამოტანილი მასის მოცულობა, ღვარცოფის მაქსიმალური სიჩქარე, სიმაღლე და დაწნევა.

ცხრილი 5.2.

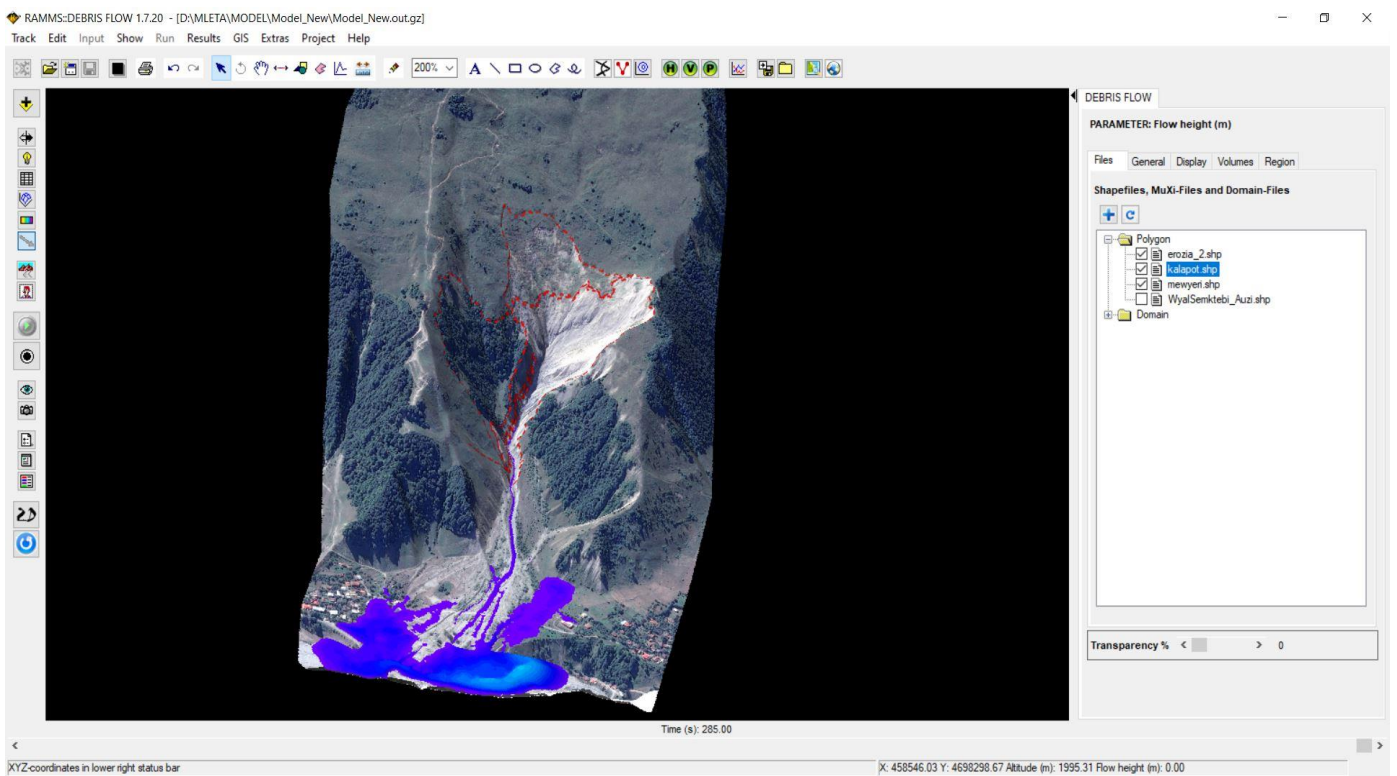
კომპიუტერული პროგრამა RAMMS-ით განხორციელებული მოდელირების შედეგად მიღებული მონაცემები.

სიმულაციის დრო (წმ.)	ფერდობზე არსებული ეროზირებული მასის მოცულობა მ ³	ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული ნიადაგ-გრუნტის მოცულობა მ ³	მეწყრული სხეულის მოცულობა მ ³	გამოტანილი ღვარცოფული მასის მოცულობა (მ ³)	ღვარცოფის მაქსიმალური სიჩქარე (მ/წმ)	ღვარცოფის მაქსიმალური სიმაღლე (მ)	ღვარცოფის მაქსიმალური დაწნევა (კილოპასკალი)
1000	31888.9	6505.8	1 063 640	1 102 033.13	29.5694	52.6722	2142.16

განხორციელებული კომპიუტერული მოდელირების შედეგად ასევე დადგინდა, მლეთის ხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის გავლენის ზონები და რისკის ზონაში მოხვედრილი სხვადასხვა დანიშნულების ინფრასტრუქტურული ობიექტები (იხ. ნახ. 5.2., 5.3.).



ნახ. 5.2. მოდელირების საწყისი ეტაპი



ნახ. 5.3. მოდელირების საბოლოო ეტაპი

ამრიგად, მლეთის ხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის, კომპიუტერული პროგრამა RAMMS-ით მოდელირებისას დადგინდა ღვარცოფის მოცულობა, რომელმაც 1 102 033 მ³ შეადგინა, რაც ემთხვევა არსებული სტატისტიკის მონაცემებს და შეიცავს უდიდესი ეკოლოგიური კატასტროფის რისკს.

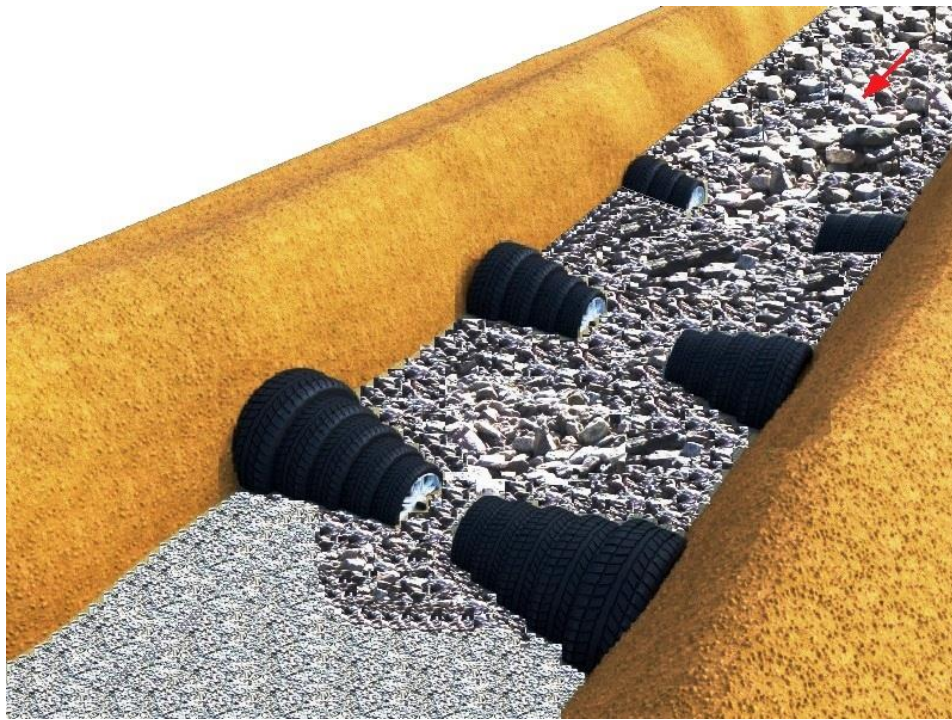
განხორციელებული მოდელირებისას ასევე დადგინდა, მლეთის ხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის გავლენის ზონები, რომელმაც მოიცვა დასახლებული პუნქტები (5 მოსახლე), ეკლესია, საავტომობილო მაგისტრალი და ხიდი, ღვარცოფი გადაკეტავს მდინარე თეთრი არაგვის კალაპოტს და დატბორვის საფრთხეს შეუქმნის ზემო მლეთის მოსახლეობას, ასევე მოსალოდნელია მდინარე თეთრი არაგვის კალაპოტში მოხვედრილი მყარი მასის ჟინვალის წყალსაცავში მოხვედრა და შესაბამისად ქ. თბილისის წყალმომარაგების შეზღუდვა.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, დადასტურდა მლეთის ხევში მოსალოდნელი ეკოლოგიური საფრთხე, რის გამოც სასწრაფოდ არის განსახორციელებელი ოპტიმალური ღონისძიებები საფრთხის დასარეგულირებლად.

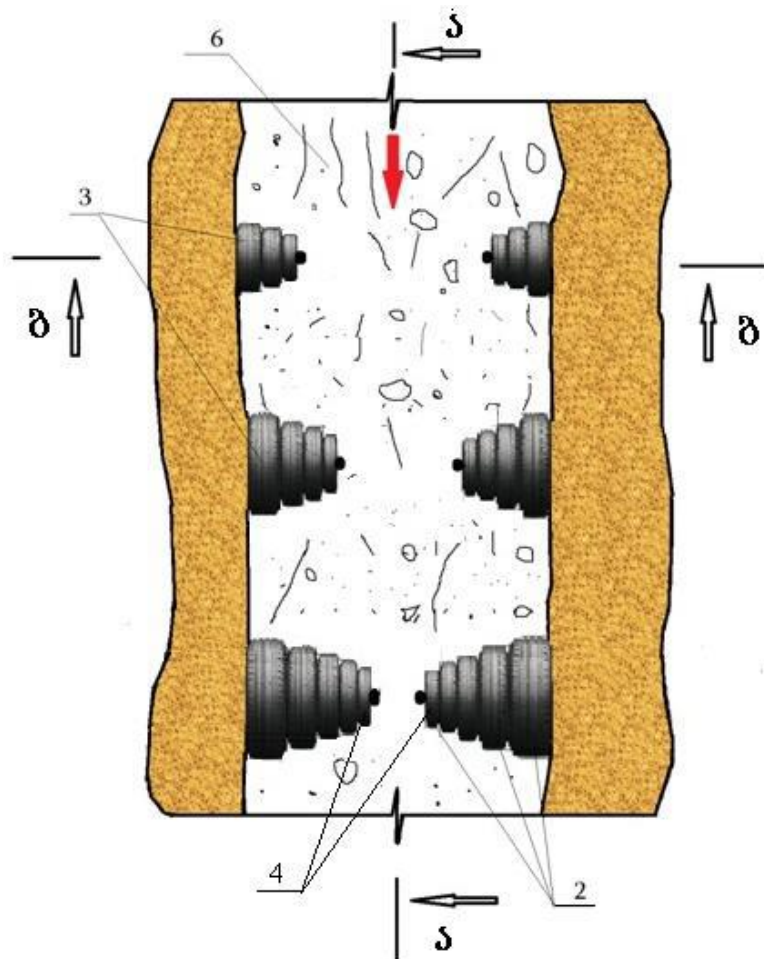
თავი 6. მლეთის ხევის ღვარცოფსადინარის ოპტიმალურ კვეთში დასამონტაჟებელ ახალ, თანამედროვე, ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციაზე ღვარცოფის ტალღის ზემოქმედების გაანგარიშება და კონსტრუქციის ეფექტურობის შეფასება.

საქართველოში არსებული ღვარცოფული ხასიათის მდინარეთა წყალშემკრებ აუზებში გააქტიურებული სხვადასხვა გენეზისის ღვარცოფული მოვლენების დასარეგულირებლად, შემოთავაზებულია მეორადი საბურავებისაგან შედგენილი საფეხუროვან ელემენტებიანი, წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ახალი კონსტრუქცია (იხ. ნახ. 6.1., 6.2., 6.3., 6.4.).

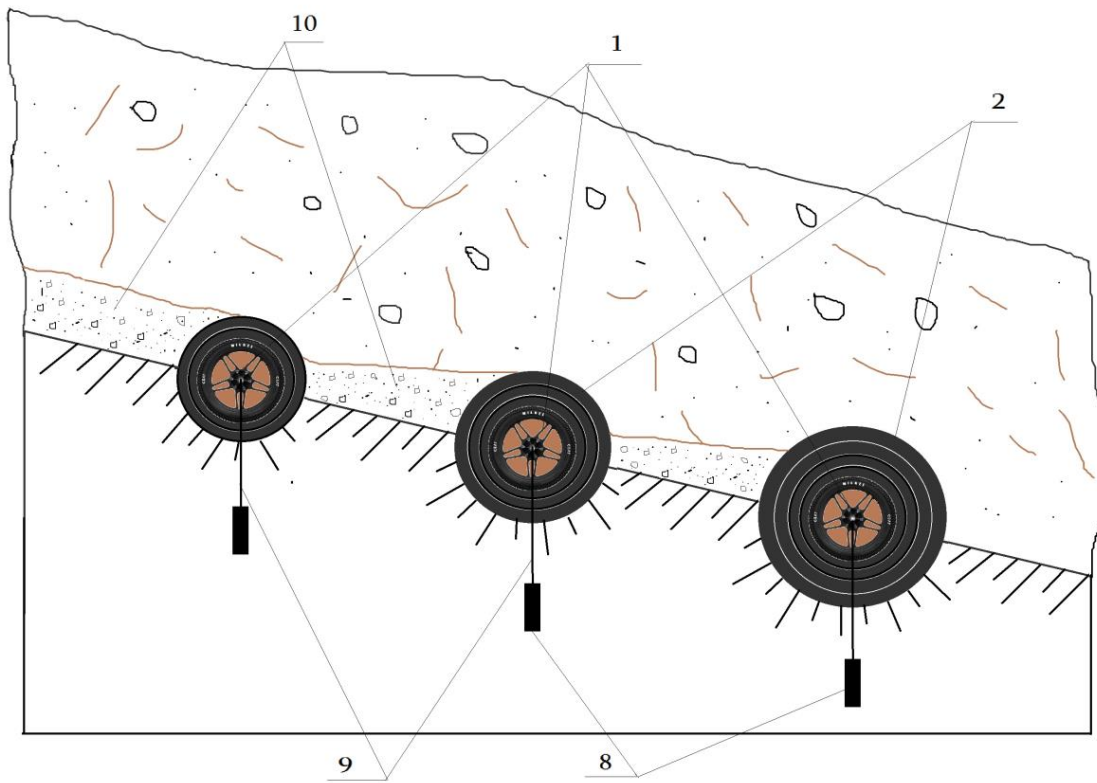
ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია წარმოდგენილია ოთხი ფიგურით: ნახ. 6.1. - ნაგებობის საერთო ხედი; ნახ. 6.2.- ნაგებობის ზედა ხედი; ნახ. 6.3. - ჭრილი ა-ა ფიგ. 2-ზე; ნახ. 6.4. - ჭრილი ბ-ბ ფიგ. 2-ზე.



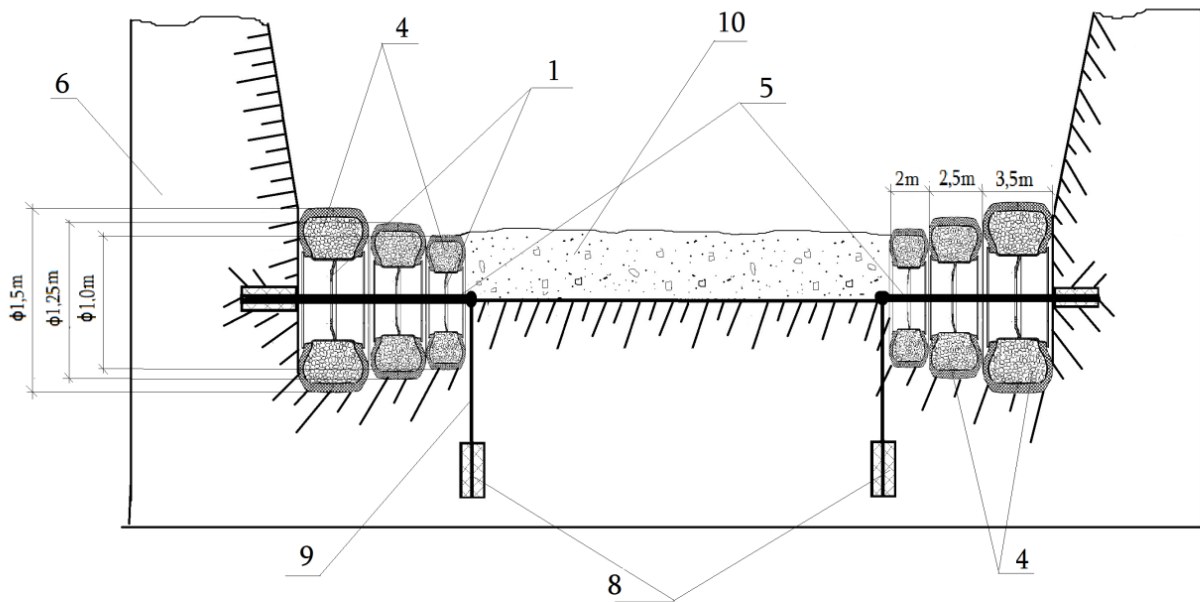
Биб. 6.1.



Биб. 6.2.



Биб. 6.3.



Биб. 6.4.

საფეხუროვან ელემენტებიანი, წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია წარმოადგენს სატრანსპორტო საშუალების ამორტიზირებულ, დისკებიან (1) საბურავებისაგან (2) შემდგარ სექციებს, რომლებიც შედგებიან ჰორიზონტალურად, დინების მიმართულების მართობულად განლაგებულ, დაწოლილი წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის დაწყვილებულ, დიდი ფუძეებით კალაპოტის ნაპირებზე ჩამაგრებული ელემენტებისაგან (3). კონსტრუქციის შემადგენელი საბურავები მუშა ზედაპირებით ვერტიკალურად ჩამაგრებულია ღვარცოფსადინარის კალაპოტში ნახევრად და მათი ღრუ ტანი ამოვსებულია ინერტული მასალით (4), ხოლო დისკებში გაყრილი ლითონის ღერძის (5) ერთი ბოლო ჩამაგრებულია კალაპოტის ნაპირში (6), ხოლო მეორე ბოლო კალაპოტის ძირში (7) ბეტონის ფუძეზე (8) ანკერით (9). ამასთან სექციების გაბარიტები იზრდება ღვარცოფის (10) მოძრაობის მიმართულებით და შესაბამისად მცირდება სექციების შემადგენელ ელემენტებს შორის მანძილი.

საფეხუროვან ელემენტებიანი, წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის სპეციფიკაცია მდგომარეობს შემდეგში: ღვარცოფის ენერჯის ჩაქრობას მნიშვნელოვნად განაპირობებს ნაგებობის ელემენტების ფორმა, კერძოდ, ნაგებობის პირველ საფეხურზე ღვარცოფის ზემოქმედებისას ხდება ნაკადის გარკვეული ნაწილის მიმართულების შეცვლა, გარდატეხა და კალაპოტის ცენტრის მიმართულებით მოძრავ ნაკადზე მარჯვენა და მარცხენა მხრიდან ნაგებობის ელემენტებზე გარსშემოდინებული ნაკადის დაჯახება, იგივე პროცესი გრძელდება ნაგებობის შემდგომ სექციებზეც, რაც საბოლოოდ განაპირობებს ღვარცოფის ენერჯის ჩაქრობას. აღსანიშნავია, რომ კონსტრუქციის ელემენტების მცირე ფუძეებს შორის მანძილი მცირდება, ანუ იზრდება კონსტრუქციის ელემენტების სიგანე ღვარცოფის მოძრაობის მიმართულებით და ქმნის უფრო მეტ წინააღმდეგობას, რაც განაპირობებს კონსტრუქციაზე ზემომქმედი ღვარცოფის ენერჯის ჩაქრობას. კონსტრუქციის ელემენტების შემადგენელი საბურავების, კალაპოტში მუშა ზედაპირებით ვერტიკალურად ნახევრად განთავსება, მათი ღრუ ტანის ინერტული მასალით შევსება და საბურავების დისკებში გამავალი ღერძის ორივე ბოლოს ჩამაგრება ზრდის ნაგებობის მდგრადობას, ხოლო საბურავების ელასტიური თვისებები ამცირებს მასზე მოქმედ დინამიურ დატვირთვებს, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის კონსტრუქციის საიმედოობას.

საფეხუროვან ელემენტებიანი, წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ელემენტების ზომები, მათი რაოდენობა და განლაგება კალაპოტში შეირჩევა ღვარცოფის დარტყმის ძალისა და მდინარის ბუნებრივ-ტოპოგრაფიული პირობების გათვალისწინებით.

შემოთავაზებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეფექტურობის დადგენის მიზნით, მღეთის ხევის კალაპოტი ტრანზიტული უბნის წინასწარ შერჩეული კვეთების მახასიათებლების გათვალისწინებით, განხორციელებულია გაანგარიშებები აპრობირებული მეთოდოლოგიით [15,16,17,18,19]:

კონსტრუქციაზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის სიდიდის საანგარიშო ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$P = \frac{1,5 \cdot \gamma \cdot \omega \cdot V^2}{g} \cdot \left[\cos \alpha \cdot tg \varphi + \frac{h_0}{2 \cdot H} \left(\frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) \right], \quad (6.1.)$$

სადაც γ – ღვარცოფის მოცულობითი წონა კგ/მ³;

V – ღვარცოფის ტალღური მოძრაობის სიჩქარე მ/წმ;

g – სიმძიმის ძალის აჩქარება (მ/წმ²);

ω – ცოცხალი კვეთის ფართობი მ².

h_0 – ბმულობის შესაბამისი ექვივალენტური სიმაღლე;

φ – შიგა ხახუნის კუთხე;

H – ღვარცოფული ნაკადის სიმაღლე;

α – კალაპოტის ქანობი.

აღსანიშნავია, რომ კონსტრუქციაზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის მნიშვნელობა მისი გამჭოლუნარიანობის ფუნქციას წარმოადგენს [8, 20], აქედან გამომდინარე, პირველ რიგში გაანგარიშება მის ანალოგიურ ყრუ ნაგებობაზე ხდება, რომლის გათვალისწინებით,

ნაგებობაზე მოქმედი ბმული ღვარცოფის ძალა ტოლია:

$$P = \frac{1,5 \cdot \gamma \cdot \omega \cdot v^2}{g} \cdot \left[\cos \alpha \cdot tg \varphi + \frac{h_0}{2 \cdot H} \left(\frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) \right] =$$

$$= \frac{1,5 \cdot 2000 \cdot 20 \cdot 5 \cdot (5)^2}{9,81} \cdot \left[0,978 \cdot 0,577 + \frac{4}{2 \cdot 5} \cdot \frac{1-0,5}{0,866} \right] = 5962,5 \text{ კ.ნ.}$$

სადაც:

ღვარცოფსადინარის კალაპოტის სიგანე $B=20$ (მ)-ს;

ნაკადის სიმაღლე $H=5$ (მ)-ს;

ნაკადის ტალღური მოძრაობის სიჩქარე $V=5$ (მ/წმ);

მოცულობითი წონა $\gamma=2000$ კგ/მ³;

შინაგანი ხახუნის კუთხე $\varphi = 30^\circ$ -ს;

ღვარცოფსადინარის ქანობი $i=0,2$.

რადგან ჩვენ მიერ შემოთავაზებული კონსტრუქცია არის გამჭოლი, გამავლობის კოეფიციენტი იანგარიშება ფორმულით.

$$Kn = \frac{\omega \text{ გამჭოლი } n \text{ რიგი}}{\omega}, \quad (6.2.)$$

სადაც $\omega_{\text{გამჭოლი } n \text{ რიგი}}$ - კონსტრუქციის რიგში არსებული ფრონტალურ პროექციაში მართკუთხედების ფორმის მქონე ელემენტებზე გადადინებული ღვარცოფის მიერ დაკავებული ფართი;

n - კონსტრუქციის ელემენტების რიგის ნომერია.

კონსტრუქციის ელემენტების ღვარცოფის დარტყმის შეკავების koeficienti ტოლია:

$$K_n^I = \frac{\omega_{\text{ყრუ } n \text{ რიგი}}}{\omega}, \quad (6.3)$$

სადაც $\omega_{\text{ყრუ } n \text{ რიგი}}$ - არის კონსტრუქციის რიგში არსებულ მართკუთხედების ფორმის მქონე 2 ელემენტის ფრონტალური პროექციის ფართობების ჯამი (ელემენტების პროექციის ფართობი წარმოადგენს მართკუთხედების ფართობების ჯამს);

განგარიშებები წარმოებს კონსტრუქციის I რიგისთვის

$$\text{გამავლობის კოეფიციენტი } K_1 = \frac{\omega_{\text{გამჭ. I რიგი}}}{\omega} = \frac{79,25}{100} = 0,7925 \text{ მ}^2,$$

სადაც $\omega_{\text{გამჭ. I რიგი}} = \omega - \omega_{\text{ყრუ I რიგი}} = 100 - 20,75 = 79,25 \text{ მ}^2$;

$$\omega = B \cdot H = 20 \cdot 5 = 100 \text{ მ}^2.$$

$$\omega_{\text{ყრუ I რიგი}} = S_{1 \text{ I რიგი}} + S_{2 \text{ I რიგი}} = 10,375 + 10,375 = 20,75 \text{ მ}^2,$$

სადაც $S_{1 \text{ I რიგი}}$ და $S_{2 \text{ I რიგი}}$ - არის კონსტრუქციის I რიგში მარცხენა და მარჯვენა მხარეს არსებული მართკუთხედის ფორმის ელემენტების ფრონტალური პროექციის ფართობები.

$$S_{1 \text{ I რიგი}} = a_1 \times b_1 + a_2 \times b_2 + a_3 \times b_3 = 3,5 \times 1,5 + 2,5 \times 1,25 + 2,0 \times 1,0 = 10,375 \text{ მ}^2;$$

$$S_{2 \text{ I რიგი}} = a_1 \times b_1 + a_2 \times b_2 + a_3 \times b_3 = 3,5 \times 1,5 + 2,5 \times 1,25 + 2,0 \times 1,0 = 10,375 \text{ მ}^2;$$

სადაც $a_1, b_1; a_2, b_2; a_3, b_3$ - არის შესაბამისად კონსტრუქციის პირველი რიგის მართკუთხედის ფორმის (ფრონტალური პროექცია) ელემენტების სიგანე და სიგრძე.

კონსტრუქციის პირველ რიგში არსებული მართკუთხედის ფორმის ელემენტებისაგან შედგენილი კონსტრუქციის ორივე ელემენტზე მოქმედი ბმული ღვარცოფის დამრტყმელი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ყრუ I რიგი}} = P \cdot K_1^I = 5962,5 \cdot 0,2075 = 1237,22 \text{ კ.ნ.};$$

$$\text{სადაც } K_1^I = \frac{\omega_{\text{ყრუ I რიგი}}}{\omega} = \frac{20,75}{100} = 0,2075.$$

კონსტრუქციის პირველი რიგის გავლის შემდეგ ბმული ღვარცოფის ნარჩენი დამრტყმელი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ნარჩენი I რიგი}} = P - P_{\text{ყრუ I რიგი}} = 5962,5 - 1237,22 = 4725,3 \text{ კ.ნ.};$$

განგარიშები წარმოებს ნაგებობის II რიგისთვის

$$\text{გამავლობის კოეფიციენტი } K_1 = \frac{\omega_{\text{გამჭ. II რიგი}}}{\omega} = \frac{76}{100} = 0,76 \text{ მ}^2,$$

$$\text{სადაც } \omega_{\text{გამჭ. II რიგი}} = \omega - \omega_{\text{ყრუ II რიგი}} = 100 - 24 = 76 \text{ მ}^2;$$

$$\omega = B \cdot H = 20 \cdot 5 = 100 \text{ მ}^2.$$

$$\omega_{\text{ყრუ II რიგი}} = S_{1 \text{ II რიგი}} + S_{2 \text{ II რიგი}} = 25,5 + 25,5 = 51 \text{ მ}^2,$$

სადაც $S_{1 \text{ II რიგი}}$ და $S_{2 \text{ II რიგი}}$ - არის ნაგებობის II რიგში არსებული მარცხენა და მარჯვენა მხარეს არსებული მართკუთხედის ფორმის ელემენტების ფრონტალური პროექციის ფართობები.

$$S_{1 \text{ II რიგი}} = a_1 \times b_1 + a_2 \times b_2 + a_3 \times b_3 + a_4 \times b_4 = 2,5 \times 1,75 + 2,25 \times 1,5 + 2,0 \times 1,25 + 1,75 \times 1,0 = 12,0 \text{ მ}^2;$$

$$S_{2 \text{ II რიგი}} = a_1 \times b_1 + a_2 \times b_2 + a_3 \times b_3 + a_4 \times b_4 = 2,5 \times 1,75 + 2,25 \times 1,5 + 2,0 \times 1,25 + 1,75 \times 1,0 = 12,0 \text{ მ}^2;$$

სადაც $a_1, b_1; a_2, b_2; a_3, b_3; a_4, b_4$ - არის შესაბამისად კონსტრუქციის მეორე რიგის მართკუთხედის ფორმის (ფრონტალური პროექცია) ელემენტების სიგანე და სიგრძე.

კონსტრუქციის მეორე რიგში არსებული ფრონტალურ პროექციაში მართკუთხედების ფორმის მქონე ორივე ელემენტზე მოქმედი ბმული ღვარცოფის დამრტყმელი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ყრუ II რიგი}} = P_{\text{ნარჩენი I რიგი}} \cdot K_2^I = 4725,3 \cdot 0,24 = 1134,0 \text{ კნ};$$

$$\text{სადაც } K_2^I = \frac{\omega_{\text{ყრუ II რიგი}}}{\omega} = \frac{24}{100} = 0,24.$$

კონსტრუქციის მეორე რიგის გავლის შემდეგ ბმული ღვარცოფის დამრტყმელი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} = P_{\text{ნარჩენი I რიგი}} - P_{\text{ყრუ II რიგი}} = 4725,3 - 1134,0 = 3591,0 \text{ კნ};$$

განგარიშებები წარმოებს ნაგებობის III რიგისთვის

$$\text{გამავლობის კოეფიციენტი } K_3 = \frac{\omega_{\text{გამჭ. III რიგი}}}{\omega} = \frac{71,5}{100} = 0,715 \text{ მ}^2,$$

$$\text{სადაც } \omega_{\text{გამჭ. III რიგი}} = \omega - \omega_{\text{ყრუ III რიგი}} = 100 - 28,5 = 71,5 \text{ მ}^2;$$

$$\omega = B \cdot H = 20 \cdot 5 = 100 \text{ მ}^2.$$

$$\omega_{\text{ყრუ III რიგი}} = S_{1 \text{ III რიგი}} + S_{2 \text{ III რიგი}} = 14,25 + 14,25 = 28,5 \text{ მ}^2,$$

სადაც $S_{1 \text{ III რიგი}}$ და $S_{2 \text{ III რიგი}}$ - არის ნაგებობის III რიგში არსებული მარცხენა და მარჯვენა მხარეს არსებული მართკუთხედის ფორმის ელემენტების ფრონტალური პროექციის ფართობები.

$$S_{1 \text{ III რიგი}} = a_1 \times b_1 + a_2 \times b_2 + a_3 \times b_3 + a_4 \times b_4 = 2,5 \times 2,0 + 2,0 \times 1,75 + 1,75 \times 1,5 + 1,5 \times 1,25 + 1,25 \times 1,0 = 14,25 \text{ მ}^2,$$

$$S_{2 \text{ III რიგი}} = a_1 \times b_1 + a_2 \times b_2 + a_3 \times b_3 + a_4 \times b_4 = 2,5 \times 2,0 + 2,0 \times 1,75 + 1,75 \times 1,5 + 1,5 \times 1,25 + 1,25 \times 1,0 = 14,25 \text{ მ}^2,$$

სადაც $a_1, b_1; a_2, b_2; a_3, b_3; a_4, b_4; a_5, b_5$ - არის შესაბამისად კონსტრუქციის მესამე რიგის მართკუთხედის ფორმის (ფრონტალური პროექცია) ელემენტების სიგანე და სიგრძე.

კონსტრუქციის მესამე რიგში არსებული წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ორივე ელემენტზე მოქმედი ბმული ღვარცოფის დამრტყმელი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ყრუ III რიგი}} = P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} \cdot K_3^I = 3591,0 \cdot 0,285 = 1023,4 \text{ კნ};$$

$$\text{სადაც } K_3^I = \frac{\omega_{\text{ყრუ III რიგი}}}{\omega} = \frac{28,5}{100} = 0,285.$$

კონსტრუქციის მესამე რიგის გავლის შემდეგ ბმული ღვარცოფის დამრტყმელი ძალა ტოლია:

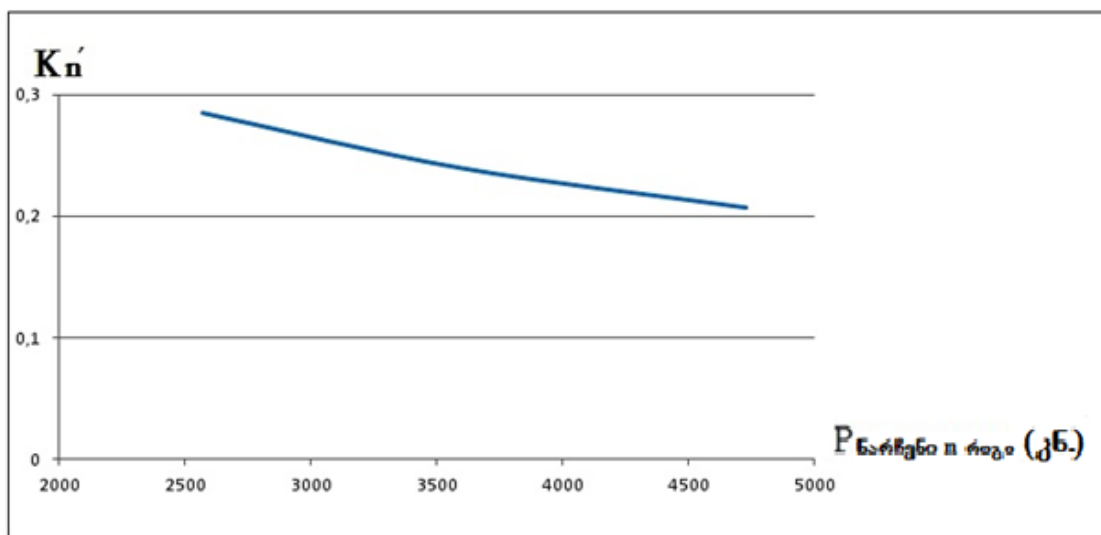
$$P_{\text{ნარჩენი III რიგი}} = P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} - P_{\text{ყრუ III რიგი}} = 3591,0 - 1023,4 = 2567,6 \text{ კნ};$$

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის საფეხუროვან ელემენტებზე მომქმედი ღვარცოფის დარტყმის შეკავების კოეფიციენტსა და ღვარცოფის მიერ კონსტრუქციის საფეხუროვანი ელემენტების გავლის შემდეგ მიღებულ ნარჩენ დამრტყმელ ძალას შორის კავშირი მოცემულია შემდეგი ფუნქციური დამოკიდებულების სახით $K_n^I = f(P_{\text{ნარჩენი II რიგი}})$, (იხ. ნახ. 6.5.).

$$K_1^I = 0,2075 \text{ შემთხვევაში } P_{\text{ნარჩენი I რიგი}} = 4725,3 \text{ კ.ნ.};$$

$$K_2^I = 0,24 \text{ შემთხვევაში } P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} = 3591,0 \text{ კ.ნ.};$$

$$K_3^I = 0,285 \text{ შემთხვევაში } P_{\text{ნარჩენი III რიგი}} = 2567,6 \text{ კ.ნ.}$$



ნახ. 6.5. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის საფეხუროვან ელემენტებზე მომქმედი ღვარცოფის დარტყმის შეკავების კოეფიციენტსა და ღვარცოფის მიერ კონსტრუქციის საფეხუროვანი ელემენტების გავლის შემდეგ მიღებულ ნარჩენ დამრტყმელ ძალას შორის კავშირი

წარმოდგენილ საფეხუროვან ელემენტებიან, ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციაზე ბმული ღვარცოფის ზემოქმედების აღწერისათვის განხორციელებული ანგარიშიდან ჩანს, რომ კონსტრუქცია წარმოადგენს ღვარცოფებთან ბრძოლის ეფექტურ საინჟინრო ღონისძიებას, რადგან ნაგებობაზე ზემომქმედი ღვარცოფის ფრონტის საწყისი $P=5962,5$ კნ. ძალა, მღეთის ხევის კალაპოტის ტრანზიტული უბნის შერჩეულ კვეთში დამონტაჟებული ნაგებობის გავლის შემდეგ შემცირდა დაახლოებით 2,3-ჯერ, რაც მიუთითებს ნაგებობის ეფექტურობაზე.

ზემოაღნიშნული გარემოებიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ წარმოდგენილი ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია არის ეფექტური, ტექნიკური თვალსაზრისით შედარებით ადვილად განსახორციელებელი ღონისძიება, რის გამოც კონსტრუქციის საიმედოობის და ეკონომიურობის დაზუსტების შემდეგ, მისი დანერგვა მლეთის ხევის რეგულირების მიზნით პერსპექტიულია.

თავი 7. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის მდგრადობის გაანგარიშება

კონსტრუქციის გაანგარიშება ხორციელდება ტრადიციული მეთოდით [20], რომელიც ითვალისწინებს მისი მდგრადობის პირობების დაკმაყოფილებას, რაც მდგომარეობს იმაში, რომ დამჭერი ანუ მდგრადობის ხელშემწყობი ძალები უნდა აჭარბებდნენ გადაამყირავებელ ძალებს.

დამჭერი ძალების საანგარიშოდ, კონსტრუქციის მიღებული განივი კვეთის ფორმის გათვალისწინებით, რომელის მრუდწირული ფორმის ელემენტები შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს მართკუთხედის ფორმის სახით, დადგენილი იქნა მათი საერთო წონა და გადაამყირავების წერტილის მიმართ მომენტი.

მეორეს მხრივ, გადაამყირავებელი ძალა ამ შემთხვევაში წარმოდგენილია კონსტრუქციის ელემენტების ზედა ბიეფში დაგროვებული წყლით გაჯირჯვებული გრუნტის მასით, რომელიც განთავსებულია ჩამოცურების სიბრტყის ზევით. გრუნტის ამ მასის ბუნებრივი დახრის კუთხე წინასწარი მონაცემებით ტოლია 30 გრადუსისა.

კონსტრუქციის მდგრადობის პირობის დასაკმაყოფილებლად საჭიროა გათვლილ იქნეს მისი ელემენტების სიმძიმით განპირობებული გადაამყირავების წერტილის მიმართ ე.წ. დამჭერი მომენტი $M_{დამჭ}$. და ამავე წერტილის მიმართ ზედა ბიეფში დაგროვებული გრუნტის სიმძიმით გამოწვეული გადაამყირავებელი მომენტი $M_{გად}$, რომელიც კაშხლის საექსპლუატაციო პირობებში ყოფნის დროს უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას:

$$M_{დამჭ} > M_{გად} \quad (8.1.)$$

ქვემოთ მოყვანილია ამ ორი ძირითადი პარამეტრის გაანგარიშება.

კონსტრუქციის დამჭერი ძალებით გაანგარიშებული მომენტის ანგარიში

კონსტრუქციის თითოეული ელემენტის დამჭერი ძალები ძირითადად წარმოდგენილია მისი ტანის G წონით, რომელიც ჩვენს შემთხვევაში წარმოადგენს ამორტიზირებული საბურავის, მისი დისკის, საბურავის ღრუ ტანში მოთავსებული ინეტრული მასალის წონათა ჯამს. ე.ი.

$$G_{\text{კონ}} = G_{\text{საბ}} + G_{\text{დის კ}} + G_{\text{გრუნ}} \times \gamma_{\text{გრუნ}} \quad (\text{ტ.}) \quad (8.2.)$$

პირველი სექციისათვის (8.2.) ფორმულის გაანგარიშებით მივიღებთ

$$G_{\text{საბ}} + G_{\text{დის კ}} + G_{\text{გრუნ}} \times \gamma_{\text{გრუნ}} = 3.9 + 2.2 + 35.7 = 41.8 \quad (\text{ტ.}) \quad (8.3.)$$

მეორე სექციისათვის (8.2.) ფორმულის გაანგარიშებით მივიღებთ:

$$G_{\text{საბ}} + G_{\text{დის კ}} + G_{\text{გრუნ}} \times \gamma_{\text{გრუნ}} = 6.6 + 7.2 + 88.5 = 102.3 \quad (\text{ტ.}) \quad (8.4.)$$

მესამე სექციისათვის (8.2.) ფორმულის გაანგარიშებით მივიღებთ:

$$G_{\text{საბ}} + G_{\text{დის კ}} + G_{\text{გრუნ}} \times \gamma_{\text{გრუნ}} = 8.2 + 2.6 + 110 = 120.8 \quad (\text{ტ.}) \quad (8.5.)$$

კონსტრუქციის სექციების შემადგენელი ელემენტები - საბურავები ჩამჯდარია გრუნტში, დიამეტრის ნახევარზე. ამის გათვალისწინებით თითოეული სექციის წონა შეადგენს:

$$G_1 = 41.8 + 16.2 / 2 \times 2,2 = 59.6 \quad (\text{ტ.}); \quad (8.6.)$$

$$G_2 = 102.3 + 20.1 / 2 \times 2,2 = 124.4 \quad (\text{ტ.}); \quad (8.7.)$$

$$G_3 = 120.8 + 25 / 2 \times 2,2 = 148.3 \quad (\text{ტ.}). \quad (8.8.)$$

კონსტრუქციის სექციების სიმძიმის ცენტრის გრაფიკული მეთოდით დადგენის შემდგომ, განსაზღვრული იქნა დამჭერი მომენტის მხარის სიდიდე, რომელმაც შესაბამისად შეადგინა:

$$A_1 = 0.65 \text{ მ};$$

$$A_2 = 0.7 \text{ მ};$$

$$A_3 = 0.75 \text{ მ}.$$

კონსტრუქციის სექციების დამჭერი მომენტი გადაყირავების წერტილის მიმართ შესაბამისად იქნება:

$$M_1 = G_1 \times A_1 = 59.6 \times 0.65 = 38.8 \text{ (ტ.მ.);} \quad (8.9.)$$

$$M_2 = G_2 \times A_2 = 124.4 \times 0.7 = 86.8 \text{ (ტ.მ.);} \quad (8.10.)$$

$$M_3 = G_3 \times A_3 = 148.3 \times 0.75 = 111.2 \text{ (ტ.მ.).} \quad (8.11.)$$

კონსტრუქციის გადამყირავებელი ძალებით განპირობებული მომენტის ანგარიში

კონსტრუქციის სექციების გადამყირავებელი ძალები წარმოდგენილია მის ზედა ბიეფში დაგროვებული წყლით გაჯირჯვებული გრუნტის მოცულობით, რომლის წონა ჩამოცურების პრიზმის მოცულობა იანგარიშება გრუნტის შინაგანი ხახუნის კუთხის შესაბამის წრფეზე გამავალი სიბრტყის ზევით მოთავსებული პრიზმისა და გრუნტის მოცულობითი წონის ნამრავლით. ე.ი.

$$G_{\text{გრუნ}} = W_{\text{პრ}} \times \gamma_{\text{გრუნ}} \quad (\text{ტ.}). \quad (8.12.)$$

თუ დავუშვებთ, რომ კონსტრუქციის სექციებს შორის მანძილი 15 მ-ია, მაშინ მათზე მოქმედი პრიზმის წონა შესაბამისად იქნება:

$$G_{1\text{გრუნ}} = 13.8 \times 2,2 = 30.4 \text{ (ტ.);} \quad (8.13.)$$

$$G_{2\text{გრუნ}} = 45.1 \times 2,2 = 99.2 \text{ (ტ.);} \quad (8.14.)$$

$$G_{3\text{გრუნ}} = 51.8 \times 2,2 = 113.9 \text{ (ტ.);} \quad (8.15.)$$

გრუნტის პრიზმის სიმძიმის ცენტრიდან გატარებულ ხევის ფსკერის პარალელურად წრფეზე გადაყირავების წერტილიდან დაშვებული მართობი, ანუ ძალის მხარი, სექციების მიხედვით იქნება

$$B_1 = 0,65 \text{ მ;}$$

$$B_2 = 0,7 \text{ მ;}$$

$$B_3 = 0,75 \text{ მ;}$$

გადამყირავებელი მომენტი შესაბამისად იქნება:

$$M_{1\text{გად.}}=G_{1\text{გრ.}}\times B_1=30,4\times 0,65=19,8 \text{ (ტ.მ.);} \quad (8.16.)$$

$$M_{2\text{გად.}}=G_{2\text{გრ.}}\times B_2=99,2\times 0,7=69,4 \text{ (ტ.მ.);} \quad (8.17.)$$

$$M_{3\text{გად.}}=G_{3\text{გრ.}}\times B_3=113,9\times 0,75=85,4 \text{ (ტ.მ.).} \quad (8.11.)$$

ამრიგად, დაცულია პირობა (1) ანუ $M_{\text{damW}} > M_{\text{gad}}$ ე.ი. რაც იმას ნიშნავს, რომ კონსტრუქციის სექციებს გააჩნიათ მდგრადობის მარაგი და შეესაბამება სიდიდეებს:

$$38,8/19,8=1,95;$$

$$86,8/69,4=1,25;$$

$$111,2/85,4=1,30.$$

ზემოაღნიშნული გაანგარიშებებიდან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ კონსტრუქციის მდგრადობის პირობა შესრულებულია და შესაბამისად მლეთის ხევის ღვარცოფსადინარში ჩასამონტაჟებელი ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია არის მდგრადი და საიმედო.

თავი 8. თანამედროვე ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება.

დღეს არსებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობები მეტად ექსტრემალურ სიტუაციებში ვერ გამოირჩევიან მდგრადობით ღვარცოფების მიმართ, რის შედეგადაც ხდება მათი ნგრევა (განადგურება) დასაცავ ობიექტებთან ერთად.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების ყველაზე მაღალი შემაკავებელი ეფექტი შეიძლება მიღებულ იქნას მხოლოდ ღვარცოფების ფიზიკურ-მექანიკური და დინამიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით და ასევე მისი გრადაციული ზონის მოქმედების დადგენით [21,22,23].

ღვარცოფების გავლით გამოწვეული სოციალური და ეკონომიკური ზიანი განისაზღვრება მილიონობით ლარით. მაგალითად ქ. ალმა-ატისთვის მიყენებული ზიანი განისაზღვრა 40 მილიონზე მეტი ლარით, ხოლო საქართველოში ყვარლის რაიონს, საქწყალპროექტის გათვლებით ყოველწლიურად 2 მილიონი ლარის ზარალი ადგება.

კვლევებით მიღებული ექსპერიმენტული და თეორიული დამოკიდებულებები ზღვრულ-წონასწორული მდგომარეობაში მყოფი, მაღალი სიმკვრივის ღვარცოფული ნაკადების მოძრაობა ძნელად ექვემდებარება ეკონომიკურ შეფასებას, ამიტომ ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის კვლევა განხორციელდა ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციების მაგალითზე.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო მშენებლობაში ცნობილია სხვადასხვა ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების კონსტრუქციები, რომლებიც გამოიყენებიან კონკრეტულ შემთხვევაში ღვარცოფსადინარის მახასიათებლის გათვალისწინების პირობებში.

უნდა აღინიშნოს, რომ ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების მშენებლობა ხორციელდება ძვირადღირებული მასალებით (რკინა, ბეტონი), რომელთა ადგილზე მიტანა მთაგორიან პირობებში გაძნელებულია.

ჩვენ მიერ შემუშავებულ იქნა მაღალი საიმედოობის და ხანგრძლივობის ახალი გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა. ამავე დროს კონსტრუქციის შემუშავებისას კეთდებოდა აქცენტი მათ მაქსიმალურ საიმედოობაზე და მშენებლობის ღირებულების გაიაფებაზე.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების შემოთავაზებული კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტიანობის დასადგენად შესადარებელ ბაზად შერჩეულ იქნა მრუდხაზოვანი ფორმის ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა. კაპიტალური დაბანდებები მრუდხაზოვანი ფორმის ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე შეადგენს 4050 ლარი/გრძ.მ.

კაპიტალური დაბანდებები გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციაზე შეადგენს 1894 ლარი/გრძ.მ მეტრზე (იხ. ცხრილი 8.1.).

ცხრილი 8.1.

გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ღირებულების გაანგარიშება

№	მასლის დასახელება	ერთეულის განზომილება	რაოდენობა	ერთეულის ღირებულება, ლარი	ღირებულება სულ, ლარი
1	ბეტონი	მ ³	12	150	1800
2	არმატურა	ტ	0,6	1200	720

3	ამორტიზირებული საბურავები	ტ	10	50	500
4	საბურავების ამორტიზირებული ლითონის დისკები	ტ	6	400	2400
5	ლითონის ღერძი (50 მმ)	მ	57	6,25	356
6	ანკერები	ცალი	12	200	2400
7	ინერტული მასალა საბურავებში	მ ³	50	14	700
სულ					8876
	დღგ 18%				1598
სულ					10474
1გრძ.მ ღირ.					1894

წლიური ეკონომიკური ეფექტურობა ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტიანობა იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$\text{წლიური} = (K_1 - K_2)E, \quad (5.2.1)$$

სადაც K_1 – კაპიტალური დაანდეგები საბაზო ნაგებობის მშენებლობაში;

K_2 - კაპიტალური დაბანდეგები შემოთავაზებული ნაგებობის მშენებლობაში;

E - ნორმატიული ეფექტურობის კოეფიციენტი ($E = 0,15$);

$$\text{წლიური} = (4050 - 1894) \times 0,15 = 323,4 \text{ ლარი/ გრძ. მ.} \quad (5.2.2)$$

ამრიგად, ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის წლიური ეკონომიკური ეფექტურობა შეადგენს 323,4 ლარი/ გრძ.მ., რაც იძლევა მისი დანერგვის შესაძლებლობას.

დასკვნები და რეკომენდაციები

1. მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში განხორციელებული საველე ექსპედიციების შედეგად დაფიქსირდა ღვარცოფმაფორმირებელი მოწყვლადი უბნები, საიდანაც აღებული იქნა გრუნტის ნიმუშები და დადგინდა მათი ფიზიკურ მექანიკური, გრანულომეტრიული, ქიმიური და რეოლოგიური მახასიათებლები;

2. აგებული იქნა მლეთისხევის რელიეფის სიმაღლითი მოდელი – DEM და ციფრულ ფორმატში გამოსახული იქნა გეოინფორმაციულ სისტემაში (გის) ბაზირებული განახლებული მონაცემები;

3. თეორიული კვლევების საფუძველზე, შეფასდა მოწყვლად უბნებზე არსებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასის მდგრადობა, რომლის მიხედვითაც შეიძლება დავასკვნათ, რომ საკვლევი ფერდობი მეწყერსაშიშაა, რადგან საშუალოდ 30° -იანი კუთხის ქანობის შემთხვევაში, საკმარისია 0,61 მ-ის სიღრმის გრუნტის მასა, რომ წყლით გაჯერების პირობებში მოხდეს ფერდობის წონასწორობის დარღვევა. რადგანაც ღვარცოფსადინარის დახრილობა 30° - 40° -ის ფარგლებშია, ხოლო აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასის ფენის სისქე 2-3 მეტრია, შეიძლება ითქვას, რომ ძლიერი ინტენსიობის ნალექების ფორმირებისას შესაძლებელია ღვარცოფსადინარში ღვარცოფის ფორმირება.

4. კომპიუტერულ პროგრამა RAMMS-ში შეყვანილი იქნა საწყისი მონაცემები და განხორციელდა მლეთის ხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის მოდელირება და პროგნოზირება.

5. მლეთის ხევში მოსალოდნელი ეროზიული და მეწყრული გენეზისის ღვარცოფის სინერგიული ფორმირების შემთხვევაში, კომპიუტერული პროგრამა RAMMS-ით მოდელირებისას დადგინდა მოსალოდნელი ღვარცოფის მაქსიმალური სიჩქარე, სიმაღლე, დაწნევა და ღვარცოფის მიერ გამოტანილი მასის მოცულობა, რომელმაც **1 102 033 მ³** შეადგინა.

6. დადგინდა, მლეთის ხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის გავლენის ზონები, რომელმაც მოიცვა დასახლებული პუნქტები (5 მოსახლე), ეკლესია, საავტომობილო მაგისტრალი და ხიდი, ღვარცოფი სავარაუდოდ გადაკეტავს მდინარე თეთრი არაგვის კალაპოტს და დატბორვის საფრთხეს შეუქმნის ზემო მლეთის მოსახლეობას, ასევე მოსალოდნელია მდინარე თეთრი არაგვის კალაპოტში მოხვედრილი მყარი მასის ჟინვალის წყალსაცავში მოხვედრა და შესაბამისად ქ. თბილისის წყალმომარაგების შეზღუდვა.

7. გაანგარიშებული იქნა მლეთის ხევის ღვარცოფსადინარში მოსალოდნელი ღვარცოფის ტალღის ზემოქმედება თანამედროვე, ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციაზე და შეფასდა

კონსტრუქციის ეფექტურობა, რის საფუძველზეც შეიძლება ითქვას, რომ კონსტრუქცია წარმოადგენს ღვარცოფებთან ბრძოლის ეფექტურ საინჟინრო ღონისძიებას, რადგან ნაგებობაზე ზემომქმედი ღვარცოფის ფრონტის საწყისი $P=5962,5$ კნ. ძალა, მლეთის ხევის კალაპოტის ტრანზიტული უბნის შერჩეულ კვეთში დამონტაჟებული ნაგებობის გავლის შემდეგ შემცირდა დაახლოებით 2,3-ჯერ, რაც მიუთითებს ნაგებობის ეფექტურობაზე.

8. განხორციელებული გაანგარიშების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ კონსტრუქციის მდგრადობის პირობა შესრულებულია და შესაბამისად მლეთის ხევის ღვარცოფსადინარში ჩასამონტაჟებელი ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია არის მდგრადი და საიმედო.

9. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტიანობის დასადგენად განხორციელებული გაანგარიშების საფუძველზე დადგენილია, რომ ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის წლიური ეკონომიკური ეფექტურობა შეადგენს 323,4 ლარი/გრძ.მ., რაც იძლევა მისი დანერგვის შესაძლებლობას.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. მათა კუპრავიშვილი - ღვარცოფების გენეზისი და დინამიკა. მონოგრაფია. საგამოცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, გვ. 250, თბილისი 2019.
2. მათა კუპრავიშვილი - მლეთის ხევის წყალსადინარში პროლუვიონის განაწილების ხასიათი (საველე ექსპერიმენტი). საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული #73. გამომცემლობა „უნივერსალი“, გვ. 59-64. თბილისი, 2018.
3. გივი გავარდავილი - ღვარცოფები მლეთის ხევის კალაპოტში, სამხრეთ კავკასია (საქართველო) და მისი შეფასების მეთოდები (ინგლისურ ენაზე). ჰესენის უნივერსიტეტი. ჰესენი, გერმანია. [www. uni-giessen.de/zeu](http://www.uni-giessen.de/zeu).
4. გივი გავარდავილი - მლეთის წმინდა გიორგის ეკლესიის დაცვა ღვარცოფებისაგან და მისი გაანგარიშების მეთოდები.
5. გავარდავილი ნ. გ., კასაბური ი.ა. - სტიქია საქართველოს სამხედრო გზის მლეთა-გუდაურის სერპანტიან უბანზე და მისი შეფასება. ჟურ.'მეცნიერება და ტექნოლოგიები, # 7 - 9 , თბილისი, 2006, 20 - 22.
6. G. Gavardashvili, L. King,, M. Schaefer. Debris Flow at the River Mletis Khevi in the Great Caucasus (Georgia) and its Assessmant Methods. Center for International Development and Environmental Research. Iustus-Liebig Universitet Giessen. # 32, August, 2007, 15 p.GERMANY , Gissen.
7. გივი გავარდავილი - მდინარე მლეთის-ხევის წყალშემკრებ აუზში ეროზიული კერის საინჟინრო გეოლოგიური შეფასება. სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის შრომათა კრებული - მიმდვნილი ი. ბუაჩიძის დაბადებიდან 100 წლის აღსანიშნავად. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2007. 6 გვ.
8. ლეილა ცანავა - კატასტროფული წყალდიდობები, წყალმოვარდნები და ღვარცოფული მოვლენები საქართველოში. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია, წყალთა მეურნეობისა და საინჟინრო ეკოლოგიის ინსტიტუტი (საქჰიდროეკოლოგია) . მონოგრაფია. გამომცემლობა „მეცნიერება“, გვ. 300, თბილისი, 2004.
9. რ. დიაკონიძე. თანავტორები: ვ. თევზაძე და სხვები. საქართველოს სამხედრო გზის გასწვრივ მდ. თეთრ არაგვზე, 1982 წელში გავლილი ღვარცოფული ნაკადების ნატურალური დაკვირვების შედეგები (რუსულ ენაზე). მთიანი და მთისწინა რეგიონების

მელიორაციის საკითხები. საქართველოს ჰიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტის შრომათა კრებული, თბილისი, 1988, გვ. 127-134.

10. <http://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/34390/1/BunebriviTeknologiebisKatastrofebi.pdf>
11. http://conference.sens-2013.tsu.ge/uploads/51cda2db08165mcxeta-mtianetis_regionis_reliefi_da_geodinamikuri_procesebi.pdf
12. <http://el.ge/uploads/7376/503.pdf>
13. ნ. კვაშილავა. წყალგაჯერებულობის გავლენა ღვარცოფების წარმოქმნის პირობებზე. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მაცნე. 1982.106 ტ., №2, გვ. 353-356.
14. https://ramms.slf.ch/ramms/downloads/RAMMS_DBF_Manual.pdf
15. Chakhaia G., Kukhalashvili E., Diakonidze R., Kvashilava N., Tsulukidze L., Kupreishvili Sh., Supatashvili T., Khubulava I. - The Evaluation of Debris Flows Influence on the Pass through Type Debris Flow against Construction. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS) ISSN (Print) 2313-4410, ISSN (Online) 2313-4402 © Global Society of Scientific Research and Researchers. Vol. 20, #1, 2016, pp. 224-234. **Impact Factor 0,296, USA.**
16. Chakhaia G., Kvashilava N., Diakonidze R., Tsulukidze L., Lobzhanidze Z., Kupreishvili Sh., Supatashvili T., Khubulava I. - Assessment of Debris Flow Influence on the Lattice Type Debris Flow against Construction. International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR). ISSN 2307-4531 (Print & Online), Volume 29, No 2, pp.23-44 <http://gssrr.org/index.php?journal=JournalOfBasicAndApplied>. **Impact Factor 0,415. USA.**
17. Chakhaia G., Kvashilava N., Tsulukidze L., Lobzhanidze Z., Kupreishvili Sh., Supatashvili T., Kvirkevelia I., Khubulava I., Gogilava S. - The Assessment of Debris Flow Influence on the Debris Flow against Stepped Barrage. International Journal of Sciences:World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development. WWJMRD 2017; 3(1): 1-5. www.wwjmr.com e-ISSN: 2454-6615. **Impact Factor 4,25. India.**
18. Chakhaia G., Kvashilava N., Tsulukidze L., Lobzhanidze Z., Kupreishvili Sh., Supatashvili T., Kvirkevelia I., Khubulava I., Gogilava S. - The Assessment of the Possibility Debris Flow Influence on the Pass Through Type Debris Flow Against Construction in the River Jokhtaniskhevis Basin. International Journal of Sciences:World Wide Journal of Multidisciplinary Research and

Development. WWJMRD 2017; 3(1): 6-11. www.wwjmr.com e-ISSN: 2454-6615. **Impact Factor 4,25. India.**

19. Chakhaia G., Kvashilava N., Tsulukidze L., Lobzhanidze Z., Kupreishvili Sh., Supatashvili T., Kvirkvelia I., Khubulava I., Gogilava S. - The Assessment of the Debris Flow Influence on the Debris Flow against Stepped Barrage Containing of Semi Cylinder Shape Elements. International Journal of Sciences: World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development. WWJMRD 2017; 3(1): 12-15. www.wwjmr.com e-ISSN: 2454-6615. **Impact Factor 4,25. India.**
20. გ. გავარდაშვილი, ც. მირცხულავა, ვ. თევზაძე, თ. თევზაძე, გ. ჩახაია, ნ. ლომიძე, ი. ფირცხალაიშვილი, მ. ვართანოვი, ნ. ბალავაძე. - სოფელ ჯვარბოსლის მიმდებარე ეროდირებული ფერდობის/საძოვრის აღდგენის პროექტის მომზადება. პროექტი. თბილისი, 2007.
21. Бирман Ю., Шмидт С. Экономический анализ инвестиционных проектов: Пер. с англ. / Под.ред. Л.П.Белых. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997.
22. Бригхем Ю., Гапенски Л. Финансовый менеджмент: Пер. с англ./Под ред. В.В. Ковалева. – СПб: Экономическая школа, 1997.
23. Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов : М.: Финансы и статистика, 1998.