



საქართველოს ტექნიკური  
უნივერსიტეტი  
1922 წლიდან

ირაკლი რამიშვილი

ღვარცოფული მოვლენების პროგნოზირება  
და ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის  
შემუშავება მლეთის ხევის  
ღვარცოფსადინარის მაგალითზე

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა მშენებლობა

შიფრი 0732

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი თბილისი, 0160, საქართველო

2023წ

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ფაკულტეტი სამშენებლო

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავცვანით ირაკლი რამიშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ღვარცოფული მოვლენების პროგნოზირება და ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის შემუშავება მლეთის ხევის ღვარცოფსადინარის მაგალითზე“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

22, თებერვალი 2023 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი/ხელმძღვანელები: პროფესორი დავით გურგენიძე

რეცენზენტი: ასოცირებული პროფესორი კონსტანტინე ბზიავა

რეცენზენტი: პროფესორი ზურაბი ვარაზაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2023წ

ავტორი: ირაკლი რამიშვილი

დასახელება: „ღვარცოფული მოვლენების პროგნოზირება და ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის შემუშავება მლეთის ხევის ღვარცოფსადინარის მაგალითზე“

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: მშენებლობის ინჟინერიის დოქტორი

სხდომა ჩატარდა 22 თებერვალი, 2023

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა



ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

დისერტაციაში განხილული კვლევების ანალიზის მიხედვით შეიძლება ითქვას, რომ: მლეთის ხევში ჩატარებული საველე კვლევების შედეგად გამოვლენილია ღვარცოფის გამომწვევი უბნები, საიდანაც აღებულ ნიადაგის საანალიზო ნიმუშებიდან დადგინდა გეოტექნიკური და ქიმიური მახასიათებლები; გამოისახა როგორც მლეთის ხევის რელიეფის სიმაღლითი მოდელი – DEM-ის და გის-ში არსებული ახალი მონაცემები; დადგინდა დაუცველ ადგილებში არსებული ღვარცოფის მაფორმირებელი მყარი მასის მდგრადობა, საიდანაც შეიძლება ვთქვათ, რომ აღნიშნული ფერდობი მეწყერსაშიშია, რადგან ფერდობის 30<sup>0</sup>-ით დახრის შემთხვევაში, საკმარისია გრუნტის 0,61 მ-ის სიღრმე, რომ წყლით გაჯერების დროს განხორციელდეს ფერდობის დაცურება. აღსანიშნავია, რომ წყალსადინარის ქანობი 30<sup>0</sup>-40<sup>0</sup>-ია, ხოლო მდინარის კალაპოტში არსებული ღვარცოფული მყარის მასის სისქე 2-3 მ, საიდანაც შეიძლება დავასკვნათ, რომ ძლიერი წვიმების დროს შეიძლება ფორმირდეს ღვარცოფი; RAMMS-ით ჩატარდა მლეთისხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის მოდელირება; მლეთის ხევში სხვადასხვა ფაქტორების დამთხვევის შედეგად მოსალოდნელი ღვარცოფის ფორმირების RAMMS-ით მოდელირებისას დადგინდა: ღვარცოფის მაქსიმალური სიჩქარე, სიმაღლე, დაწნევა, ღვარცოფული მასის მოცულობა, რაც შეადგენს **1 102 033 მ<sup>3</sup>-ს**; მოდელირებისას გამოიკვეთა მლეთის ხევში შესაძლო ღვარცოფული მასით დაფარული ზონები, როგორცაა სამოსახლო ტერიტორიები, ეკლესია, გზა და ხიდი. მოდელირების შედეგად ასევე გამოიკვეთა, რომ ღვარცოფმა შესაძლებელია გადაკეტოს თეთრი არაგვის კალაპოტი და დატბოროს მოსახლეობა, ასევე შესაძლებელია ღვარცოფული მასა ტრანსპორტირდეს ჟინვალის წყალსაცავში, რაც შეზღუდავს ქ. თბილისის წყალმომარაგებას; შეფასდა მლეთისხევის წყალსადინარში შესაძლო ღვარცოფის ზეგავლენა შემოთავაზებულ ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციაზე და გამოიკვეთა კონსტრუქციის ეფექტურობა, კერძოდ: კონსტრუქციის შემადგენელი სექციების გავლის შემდეგ ღვარცოფის ძალა შემცირდა 2.3-ჯერ; ჩატარებული ანგარიშების მიხედვით შეიძლება ითქვას, რომ ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია არის მდგრადი და ეკონომიური.

## Summary

Based on result analysis of theoretical and field studies presented, following results were obtained: As a result of the field expeditions carried out in the water catchment basin of Mletiskhevi, the vulnerable areas of landslide formation were observed, from which soil samples were taken and their physical mechanical, granulometric and chemical characteristics were determined; An elevation model of Mletishkevi terrain - DEM was built and updated data based on the Geoinformation System (GIS) was displayed in digital format; Based on theoretical

studies, the stability of landslide-forming mass on vulnerable areas was evaluated, according to which it can be concluded that the studied slope is prone to landslides, because in the case of an average tilting angle of  $30^\circ$ , the ground mass with a depth of 0.61 m is enough to, under conditions of water saturation disturb the slope balance. Since the slope of the debris flow channel is within  $30^\circ$ - $40^\circ$ , and the thickness of the layer of the accumulated debris flow forming mass is 2-3 meters, it can be said that during the formation of heavy rainfall, it is possible to form a debris flow in the debris flow channel. Initial data were entered into RAMMS computer program and modeling and forecasting of expected flood in Mleta ravine was carried out; In the case of synergistic formation of expected erosive and landslide genesis mudslides in the Mleta ravine, the maximum speed, height, pressure and mass volume of the mudslides, which amounted to **1,102,033** m<sup>3</sup>, were determined by computer program RAMMS modeling; The influence zones of the expected debris flows in the Mleta ravine were determined, which covered settlements (5 local residents), a church, a highway and a bridge. The debris flow is expected to block the riverbed of Tetri Aragvi river and create a danger of flooding for the population of Zemo Mleta, and it is also expected that the solid mass that got into the riverbed of the Tetri Aragvi river will get into the Zhinvali reservoir, and therefore can provoke limitations to water supply of Tbilisi city; The impact of the debris flow wave expected in the debris flow channel of Mleta ravine on the modern, anti-debris flow structure was calculated and the effectiveness of the structure was assessed, thus, it can be said that the construction is an effective engineering measure to combat debris flows, because the initial force of the debris flow acting on the structure **P=5962.5 kN**, after passing through the anti-debris flow structure installed in the selected section of the area, decreased by approximately 2.3 times, which indicates the effectiveness of the construction; Based on performed calculations, we can conclude, that stability condition of the structure is fulfilled, and accordingly, the anti-debris flow structure to be installed in the debris flow channel of Mleta ravine is stable and reliable; Based on carried out calculations to determine the anti-debris flow structure economic efficiency, it is determined that the annual economic efficiency of the anti-debris flow structure is 323.4 GEL/longitudinal meter, which gives implementation possibility.

## შინაარსი

შესავალი .....	11
<b>თავი 1. ღვარცოფული მოვლენების შესწავლის და რეგულირების თანამედროვე ასპექტები .....</b>	<b>16</b>
1.1 ღვარცოფული მოვლენების კვლევისა და ღვარცოფსაწინააღმდეგო მიმართულებების მიმოხილვა .....	16
1.2 ღვარცოფული მოვლენების გამომწვევი ძირითადი ფაქტორები.....	17
1.3 ღვარცოფის წარმოშობის რისკის შეფასებისა და მართვის ასპექტები	19
<b>თავი 2. მდინარე მლეთის ხევის ხეობაში მოსალოდნელი ეროზიული პროცესების, მეწყრული და ღვარცოფული მოვლენების პროგნოზირება და მართვის თანამედროვე ღონისძიების შემუშავება .....</b>	<b>24</b>
2.1. მლეთის ხევში არსებული ეროზიულ-მეწყრული უბნების და ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასის გამოვლენა .....	24
2.2. მლეთის ხევში მიმდინარე ეროზიულ-მეწყრული პროცესების ინტენსიობის და წყალსადინარში დაგროვილი ღვარცოფმაფორმირებელი მყარი მასის ძვრის განმაპირობებელი ფაქტორების დადგენა .....	30
2.3. მლეთისხევის რელიეფის სიმაღლითი მოდელის – DEM შექმნა გის-ში არსებული ახალი მონაცემების საფუძველზე .....	45
2.4. მლეთისხევში არსებული მეწყრისა და ღვარცოფსადინარში დაგროვილი ღვარცოფმაფორმირებელი მყარი მასის მდგრადობის დადგენა.....	64
2.5. RAMMS-ის გამოყენებით მლეთისხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის მოდელირება .....	68
<b>თავი 3. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის და ღვარცოფული მოვლენების მართვის შემუშავება .....</b>	<b>76</b>
3.1. მლეთის ხევის ღვარცოფსადინარში განსახორციელებელ ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციაზე ღვარცოფის ზემოქმედების და კონსტრუქციის ეფექტურობის შეფასება.....	76

3.2. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის მდგრადობის გაანგარიშება .....	85
<b>თავი 4. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება .....</b>	<b>90</b>
<b>დასკვნა .....</b>	<b>93</b>

### ცხრილების ნუსხა

<b>ცხრილი 1.</b> მდ. მლეთის ხევის ეროზირებული ფერდობების ამგები ელუვიურ-დელუვიური ქანების გრანულომეტრიული შემადგენლობა და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები.....	32
<b>ცხრილი 2.</b> მდ. მლეთის ხევის ეროზირებული ფერდობის ამგები ნიადაგ-გრუნტის ქიმიური მახასიათებლები.....	33
<b>ცხრილი 3.</b> მდ. მლეთის ხევის მეწყრული ფერდობების ამგები ქანების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები.....	34
<b>ცხრილი 4.</b> მლეთის ხევის კალაპოტის კვეთი 1-ის გრანულომეტრიული შემადგენლობა.....	36
<b>ცხრილი 5.</b> მლეთის ხევის კალაპოტის კვეთი 2-ის გრანულომეტრიული შემადგენლობა.....	37
<b>ცხრილი 6.</b> მლეთის ხევის კალაპოტის კვეთი 3-ის გრანულომეტრიული შემადგენლობა.....	38
<b>ცხრილი 7.</b> მლეთის ხევის კალაპოტის კვეთი 4-ის გრანულომეტრიული შემადგენლობა.....	39
<b>ცხრილი 8.</b> მლეთის ხევის კალაპოტის კვეთი 5-ის გრანულომეტრიული შემადგენლობა.....	40
<b>ცხრილი 9.</b> მლეთის ხევის კალაპოტის კვეთი 6-ის გრანულომეტრიული შემადგენლობა.....	41
<b>ცხრილი 10.</b> მლეთის ხევის კალაპოტის გრანულომეტრიული შემადგენლობა.....	42

<b>ცხრილი 11.</b>	ქვიშოვანი გრუნტების <b>Cn</b> კუთრი შეჭიდულობის მეოთხეული წარმოშობის, კპა (კგმ/სმ <sup>2</sup> ), დეფორმაციის მოდულოის და $\phi_i$ შიგა ხახუნის კუთხის, მპა (კგმ/სმ <sup>2</sup> ) ნორმატიული მნიშვნელობები.....	42
<b>ცხრილი 12.</b>	ქვიშა-თიხური ქანების გრანულომეტრიული შემადგენლობის განსაზღვრა ლაბორატორიული გზით.....	43
<b>ცხრილი 13.</b>	დღე-ღამური ნალექების საშუალო, მაქსიმალური და აბსოლუტური მნიშვნელობები.....	43
<b>ცხრილი 14.</b>	ღვარცოფსადინარში აღებული ნიადაგ-გრუნტის ქიმიური მახასიათებლები.....	45
<b>ცხრილი 15.</b>	RAMMS-ში შესაყვანი პარამეტრები.....	69
<b>ცხრილი 16.</b>	RAMMS-ით განხორციელებული მოდელირების მონაცემები.....	71
<b>ცხრილი 17.</b>	ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის (გამჭოლი ტიპის) ღირებულების გაანგარიშება.....	91

## **ნახაზების ნუსხა**

<b>ნახ.1.</b>	DEM რელიეფის სიმაღლითი მოდელი.....	46
<b>ნახ.2.</b>	Pix4D-ის ლოგო.....	47
<b>ნახ.3.</b>	DEM-ის ასაგებად გამოიყენებული ArcGIS 3D Analyst-ის ინსტრუმენტი.....	47
<b>ნახ.4.</b>	რელიეფის ვიზუალიზაციისათვის საჭირო hillshade ინსტრუმენტი.....	48
<b>ნახ.5.</b>	რელიეფის დაჩრდილვის მოდელი (hillshade).....	49



<b>ნახ.6.</b> მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის სამგანზომილებიანი მოდელი.....	50
<b>ნახ.7.</b> ლოკალური მინიმუმის პროფილი.....	51
<b>ნახ.8.</b> ლოკალური მაქსიმუმის პროფილი.....	51
<b>ნახ.9.</b> Arc Hidro-ში დამუშავებული DEM.....	52
<b>ნახ.10.</b> მლეთის ხევის წყალსადინარში წყლის ნაკადის მიმართულებები (flow direction).....	53
<b>ნახ.11.</b> წყალშემკრები აუზის აკუმულაციის ტალღეები (flow accumulation) .....	54
<b>ნახ.12.</b> მლეთის ხევაში არსებული წყალშემკრები მიკროაუზები.....	54
<b>ნახ.13.</b> მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზი.....	55
<b>ნახ.14.</b> მლეთის ხევის რელიეფის ზედაპირების დახრილობები (გრადუსებში).....	56
<b>ნახ.15.</b> მლეთის ხევის ფერდობთა ექსპოზიციები.....	57
<b>ნახ.16.</b> მლეთის ხევის ხეობის განივი პროფილი AB მიმართულებით.....	58
<b>ნახ.17.</b> მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზში ჰიდროქსელი.....	59
<b>ნახ.18.</b> მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში მცენარეული საფარის გავრცელება.....	60
<b>ნახ.19.</b> მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის გეოლოგიური აგებულება.....	61
<b>ნახ.20.</b> მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში ეროზიული ფართობის და მეწყრული სხეულის გავრცელება.....	62
<b>ნახ.21.</b> მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის ღვარცოფსადინარში აკუმულირებელი ღვარცოფული მასის გავრცელება.....	63

<b>ნახ.22.</b>	ფერდობის კრიტიკული ფარდობით სიღრმეებსა და ქანობს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი.....	65
<b>ნახ.23.</b>	წყალსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფული მასის კრიტიკული ფარდობით სიღრმეებსა და ქანობს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი .....	67
<b>ნახ.24.</b>	მლეთის ხევის DEM ფაილი (Digital Elevation Model).....	68
<b>ნახ.25.</b>	მლეთის ხევის რელიეფის ფარდობითი სიმაღლეები და სიღრმეები.....	72
<b>ნახ.26.</b>	მლეთის ხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის მაქსიმალური სიმაღლეები.....	72
<b>ნახ.27.</b>	მლეთის ხევში არსებული ფერდობების დახრილობა.....	73
<b>ნახ.28.</b>	მლეთის ხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის მაქსიმალური სიჩქარეები.....	73
<b>ნახ.29.</b>	მლეთის ხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის მაქსიმალური დაწნევები.....	74
<b>ნახ.30.</b>	მოდელირების საწყისი ეტაპი.....	74
<b>ნახ.31.</b>	მოდელირების საბოლოო ეტაპი.....	75
<b>ნახ.32.</b>	ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის საერთო ხედი.....	76
<b>ნახ.33.</b>	ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ზედა ხედი.....	77
<b>ნახ.34.</b>	ჭრილი ა-ა ფიგ. 3.1.2.-ზე.....	77
<b>ნახ.35.</b>	ჭრილი ბ-ბ ფიგ. 3.1.2.-ზე.....	78
<b>ნახ.36.</b>	კონსტრუქციის საფეხუროვან ელემენტებზე, მომქმედი ღვარცოფის დარტყმის შეკავების კოეფიციენტსა და ელემენტების გავლის შემდეგ მიღებულ ნარჩენ დამრტყმელ ძალას შორის კავშირი.....	84
<b>ნახ. 37.</b>	ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის მდგრადობის საანგარიშო სქემა.....	86

## შესავალი

ნაშრომის აქტუალურობა მთიან ადგილებში ფორმირდება ისეთი ნაკადები, განსაკუთრებით კი ღვარცოფული ნაკადები, რომლებიც ანადგურებენ სასოფლო-სამეურნეო და საკარმიდამო ნაკვეთებსა და დასახლებულ პუნქტებს, რის გამოც მნიშვნელოვანია ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციების შემუშავება.

1997 წელს სან-ფრანცისკოში (აშშ) ჩატარდა პირველი საერთა-შორისო კონფერენცია თემაზე “ღვარცოფების საშიშროების შემცირება: მექანიზმი, პროგნოზი და შეფასება”, რითაც საფუძველი ჩაეყარა ამ საშიში გეომორფოლოგიური მოვლენის შესწავლის საერთაშორისო სამეცნიერო კვლევების კოორდინირებულად განხორციელებას; იგი ხელს შეუწყობს ერთიანი ძალისხმევით ამ კატასტროფული მოვლენის წინააღმდეგ დასახული ამოცანების გადაჭრას სხვა ეკოლოგიური ხასიათის პრობლემებთან ერთად.

საქართველოში ძირითადად გავრცელებულია: ღვარცოფი, ზვავი, წყალდიდობა, მაგრამ განსაკუთრებული ყურადღება არის გასამახვილებელი ღვარცოფებზე, რომელსაც ადგილი აქვს თითქმის ყველა მთისა და მთისწინა რეგიონში. ღვარცოფები დიდ ზიანს აყენებენ დასახლებულ ადგილებს და საფრთხეს უქმნიან ენერგო დერეფნების ფუნქციონირებას.

აღსანიშნავია, რომ საქართველოს ტერიტორიის 26 % ღვარცოფების საფრთხის ქვეშ იმყოფება, რაც ქმნის რესურსმზოგი, საიმედო და ეფექტური ღვარცოფსაწინააღმდეგო სტრატეგიის შემუშავების აუცილებლობის პირობას.

საქართველოში გავრცელებული ღვარცოფული ხასიათის მდინარეებიდან აღსანიშნავია მდინარე თეთრი არაგვის მარჯვენა ღვარცოფული ხასიათის შენაკადის, მლეთის ხევი, იგი წარმოადგენს ძლიერ აქტიურ ღვარცოფსადინარს, სადაც თითქმის ყოველწლიურად რამოდენიმეჯერ ფორმირდება სხვადასხვა სიმძლავრის, ეროზიული და

მეწყრული გენეზისის ღვარცოფები. 1897 წლიდან 2011 წლის ჩათვლით, მღეთის ხევში კატასტროფული ღვარცოფების მოვარდნა აღრიცხულია 150-ჯერ, რის გამოც მნიშვნელოვნად დაზიანდა დასახლებული პუნქტები და სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტები.

განსაკუთრებით აღსანიშნავია, რომ მღეთის ხევიდან გამოტანილი ღვარცოფული მასით ხშირად ხდება მდ. თეთრი არაგვის კალაპოტის გადაკეცვა, რაც წარმოქმნის მდინარე თეთრი არაგვის კალაპოტში ბუნებრივ ზღუდარს, რომლის ზედა ბიეფში დაგროვილი წყლის მასის მიერ ზღუდარის განგრევის შედეგად ფორმირდება მაღალი კონცენტრაციის ნატანდატვირთული ნაკადები, რაც იწვევს მდინარე თეთრი არაგვის წყალსადინარში კალაპოტურ ეროზიას, რის გამოც ზიანდება საქართველოს სამხედრო გზა და საფრთხის წინაშეა საქართველოს სამხედრო გზაზე, მდინარე თეთრი არაგვის კალაპოტში გადებული კაპიტალური რკინა-ბეტონის ხიდი, რადგან ამჟამად ხიდის ბურჯების საძირკველი მნიშვნელოვნად დაზიანებულია.

გარდა ამისა, აღნიშნული მაღალკონცენტრირებული ნატანდატვირთული ნაკადები ჩაედინება ქ. თბილისის წყალმომარაგების ობიექტში-ჟინვალის წყალსაცავში, რის გამოც ბინძურდება წყალსაცავის წყალი სხვადასხვა სახის მძიმე მეტალებით და ჩქარდება წყალსაცავის მკვდარი მოცულობის ზრდის პროცესი, რაც განაპირობებს წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობის შემცირებას და ქ. თბილისის შეუფერხებელი წყალმომარაგების შესაძლებლობის შეზღუდვას.

ვითარება განსაკუთრებით გამძაფრდა ბოლო ხუთი წლის განმავლობაში, რადგან გახშირდა მღეთის ხევში ღვარცოფების ფორმირება. თვალსაჩინო მაგალითია 2018 წლის 10 აგვისტოს მღეთის ხევში ფორმირებული ღვარცოფი, რამაც გამოიწვია 8 დასახლებული პუნქტის მნიშვნელოვანი დაზიანება.

ზემოაღნიშნული საკითხი წარმოადგენს სახელმწიფოსთვის მეტად მნიშვნელოვან და აქტუალურ პრობლემას, მაგრამ მიუხედავად ამისა,

მლეთის ხევში არსებული ეკოლოგიური პრობლემები დღემდე სათანადოდ არ არის შესწავლილი და გადაწყვეტილი, ხოლო ჩვენს მიერ გადაწყვეტილი ამოცანების რეალიზაცია ხელს შეუწყობს მლეთის ხევის ეკოლოგიური უსაფრთხოების მნიშვნელოვნად გაუმჯობესებისათვის საფუძვლის შექმნას და სხვა ანალოგიური ეკოლოგიური პრობლემების მქონე ხეობების რეგულირების მიზნით სახელმწიფოსთვის, რეალური მართვის მექანიზმების შემუშავებას.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, წარმოდგენილი დისერტაცია: „ღვარცოფული მოვლენების პროგნოზირება და ღვარცოფსაწინააღმდეგო სტრატეგიის შემუშავება მლეთის ხევის ღვარცოფსადინარის მაგალითზე“ აქტუალობას იძენს და აქვს როგორც სამეცნიერო, ასევე პრაქტიკული მნიშვნელობა.

**წარმოშობის მიზანი.** მლეთის ხევში შესაძლო ღვარცოფის შესწავლა და მისი მარეგულირებელი საინჟინრო ტექნოლოგიის დამუშავება.

**კვლევის ამოცანები.** დასახული მიზნის მისაღწევად გამოყენებული იქნა თეორიული, საველე, ლაბორატორიული მეთოდები და თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიები, რომლის მიხედვითაც გადაწყვეტილი იქნა შემდეგი ამოცანები, კერძოდ:

- გამოვლენილია მლეთის ხევში არსებული ეროზიულ-მეწყრული უბნები და ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასა;
- დადგენილია მლეთის ხევში არსებულ მოწყვლად ფერდობებზე მიმდინარე ნიადაგ-გრუნტის ეროზიული პროცესების ინტენსივობის, მეწყრული ფერდობების და წყალსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასის ძვრის განმაპირობებელი ძირითადი ფაქტორები;
- აგებულია მლეთისხევის რელიეფის – DEM და დატანილია განახლებული მონაცემები;

- დადგინდა მლეთის ხევში მოწყვლად ფერდობებზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების ინტენსივობა, შეფასდა მეწყრის და მდინარის კალაპოტში არსებული მყარი მასის მდგრადობა;
- განხორციელებულია მლეთისხევში შესაძლო ღვარცოფის მოდელირება;
- შეფასებულია ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციაზე ღვარცოფის ტალღის ზემოქმედება და კონსტრუქციის ეფექტურობა;
- დადგენილია ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის მდგრადობა;
- დადგენილია ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტიანობა.

**მეცნიერული სიახლე.** ნაშრომში განხორციელებული კვლევის მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:

შესწავლილია ღვარცოფული ხასიათის მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში ღვარცოფის მაფორმირებელი ფაქტორების (ეროზიული პროცესები, მეწყერი, წყალსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფული მასის) აქტივობის ვალიდურობა.

პირველად, გეოინფორმაციულ სისტემაში (გის) აგებული იქნა მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის რელიეფის სიმაღლითი მოდელი – DEM (Digital Elevation Model), რომელიც გამოყენებული იქნა გეოინფორმაციულ სისტემაში ადაპტირებული კომპიუტერული პროგრამა RAMMS-ით მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში მოსალოდნელი ღვარცოფის მოდელირებისა და შესაბამისად სხვადასხვა ობიექტების მიმართ, ღვარცოფის მაფორმირებელი ფაქტორების ერთობლივად მოქმედების შემთხვევაში, მოსალოდნელი ეკოლოგიური რისკების დასადგენად.

მოდელირების შედეგად მიღებული ფაქტორების გათვალისწინებით, დამუშავდა ეფექტური ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა და დადგინდა მლეთის ხევის ღვარცოფსადინარის მარეგულირებელი ახალი, თანამედროვე, ღვარცოფსაწინააღმდეგო საინჟინრო კონსტრუქციის ეფექტურობა, მდგრადობა და ეკონომიურობა.

**კვლევის პერსპექტიული ობიექტები:** აქტიური ღვარცოფული ხასიათის მდინარეთა ხეობები და ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციები.

**კვლევის მეთოდი.** საველე და ლაბორატორიული კვლევა, სამშენებლო და თეორიული მექანიკის მეთოდები, კომპიუტერული მოდელირება, საინჟინრო ეკოლოგიაში საყოველთაოდ აღიარებული სამეცნიერო-ტექნიკური მიდგომები და მეთოდები, საინვესტიციო პროექტების ეკონომიკური ანალიზისა და შეფასების მეთოდები.

**ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება და შედეგების რეალიზაცია.** მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნას შესაძლო ღვარცოფის მახასიათებლების შესასწავლად და ღვარცოფის სამართავად.

**ნაშრომის აპრობაცია.** დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებულ იქნა 20.05-22.05 2022წ. ა. შირაკაცის სახელობის საერთაშორისო ურთიერთობების ერევნის უნივერსიტეტში გამართულ საერთაშორისო სამეცნიერო და ტექნიკურ კონფერენციაზე "საინჟინრო მეცნიერებათა პრობლემები".

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ოთხი თავის, დასკვნისა და 77 დასახელების ლიტერატურული წყაროსაგან. ძირითადი ტექსტი 101 კომპიუტერული ნაბეჭდი გვერდია, მათ შორის 37 ნახაზი და 17 ცხრილია.

# თავი 1. ღვარცოფული მოვლენების შესწავლის და რეგულირების თანამედროვე ასპექტები

## 1.1 ღვარცოფული მოვლენების კვლევისა და ღვარცოფსაწინააღმდეგო მიმართულებების მიმოხილვა

ღვარცოფის კვლევას საფუძველი ჩაეყარა მე-19 საუკუნეში, რადგან იგი, მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური საფრთხის გამო აუცილებელს ხდიდა დაეცვათ სხვადასხვა ინფრასტრუქტურული ობიექტები საინჟინრო გადაწყვეტებით.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო მიდგომების შემუშავების მიმართულებით მნიშვნელოვანი როლი შეასრულეს მსოფლიოში ცნობილმა ავსტრიელმა, ფრანგმა, შვეიცარიელმა და რუსმა მეცნიერებმა, განსაკუთრებით შეიძლება აღინიშნოს: ბოგდანოვიჩი, ლისნევსკი, ბრილინსკი, ჰსარევი, რომლებიც სწავლობდნენ ღვარცოფის ბუნებას და შეიმუშავეს ღვარცოფთან ბრძოლის ფიტომელიორაციული მეთოდები [2,3,20,21].

ყოფილი საბჭოთა კავშირის ფარგლებში, ღვარცოფების შესწავლის მიმართულებით გამოირჩეოდნენ შემდეგი მეცნიერები: ეგიაზაროვი, ველიკანოვი, გაგოშიძე, მოსტკოვის, ხერხეულიძე, ფლეიშმანი და სხვ. ისინი დაკავებული იყვნენ ღვარცოფების ფუნდამენტური კვლევით [7,8,22,23].

ღვარცოფებთან დაკავშირებულ გრუნტების მექანიკის, ჰიდრომექანიკის, ჰიდროტექნიკის და რეოლოგიის მიმართულებით კვლევას აწარმოებდნენ შემდეგი მეცნიერები: ტაკახაში, იანო, პირსონი, ბერუჩაშვილი, მირცხულავა, ვინოგრადოვი, ვოინიჩ-სიანოჟენსკი, ნათიშვილი, კერესელიძე, თევზაძე, მირზა-ზადე, იორდანიშვილი, ხერხეულიძე, სულაქველიძეს. ფრუიძე, გავარდაშვილი, ყრუაშვილი, კუხალაშვილი, კვაშილავა და სხვ. [8,9,10,36,37,38,39,51].

პირველად ც. მირცხულავამ დაადგინა ბმული ღვარცოფის მოძრაობასა და კატასტროფის მათემატიკურ თეორიას შორის კავშირი [29,30,31,32,33,34,35].



ღვარცოფის მოდელის რეოლოგიური განტოლების ინტეგრირებით ცნობილია ვინოგრადოვის ფორმულა, რომელიც კომპლექსურად ასახავს ღვარცოფის სიბლანტის და შინაგანი ხახუნის მახასიათებლებს. [24,25,26,27,63].

მდინარეთა წყალშემკრებ აუზებში ღვარცოფების ფორმირების ფაქტორების შესწავლის მიმართულებით გამოირჩევიან შემდეგი მეცნიერები: შეკოვო, წერეთელი, თურმანიანი, ბელი და სხვ. [17,18,19,75].

ღვარცოფის ფიზიკურ-მექანიკური, რეოლოგიური და ჰიდრავლიკური პარამეტრების ლაბორატორიულ-ექსპერიმენტული გზით შესწავლით დაკავებული იყვნენ შემდეგი მეცნიერები: ცუკერმანი, სტეპანოვი, კიმი, ლომთაძე [42,43,44].

ღვარცოფსაწინააღმდეგო საინჟინრო კონსტრუქციებზე ღვარცოფების ზემოქმედების საკითხებზე მუშაობდნენ საქართველოს “ჰიდრომეტეოროლოგიის”, “ჰიდროეკოლოგიის” და ყაზახეთის ინსტიტუტების ლაბორატორიებში [28, 44].

## 1.2 ღვარცოფული მოვლენების გამომწვევი ძირითადი ფაქტორები

ღვარცოფების ფორმირება ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორებით არის განპირობებული, ესენია: ჰიდროლოგიური, გეოლოგიური, გეომორფოლოგიური, ჰიდრომეტეოროლოგიური, ნიადაგურ-მცენარეული და ანთროპოგენური.

ღვარცოფების ფორმირებას უპირველესად განაპირობებს ჭარბი ნალექები, რადგან ამ დროს ხდება ფერდობები წყლით გაჟღენთვა, რის გამოც ირღვევა მდგრადი ფერდობი წონასწორობა და იწყება ფერდობის ჩამოცურების პროცესი და ხდება დიდი რაოდენობით მყარი მასის მოხვედრა მდინარის კალაპოტში.

ღვარცოფის წარმოქმნის მეტეოროლოგიური ფაქტორია: ჰაერის ტემპერატურა, რაც განაპირობებს მყინვარების დნობის პროცესს და წარმოქმნის გლაციალურ ღვარცოფებს.

ასევე ღვარცოფების ფორმირებაში მონაწილეობას ლებულობს როგორც ზედაპირული, ასევე მიწისქვეშა წყლები, რადგან გრუნტის წყალი ხშირად ხვდება ფერდობის ჩამოცურების სიბრტყის გასწვრივ, რაც განაპირობებს ფერდობის ჩამოცურებას [11,51,53].

მოწყვლად ფერდობებზე ნალექების ჩაჟონვა დამოკიდებულია ქანების ზედაპირის გრანულომეტრიულ შემცველობაზე, მინერალოგიაზე და ტენიანობაზე და სხვა [40,41,15,24,25,26,27].

მთის ქანების ნგრევის განაპირობებს ტექტონიკური პროცესები, რომლებიც აქტიურად უწყობენ ხელს ღვარცოფის ფორმირებას.

მთის ქანები შეიძლება დავეოთ რამოდენიმე კლასად: 1. დანალექი, მეტამორფული და მაგმური, 2. დანალექი ქანები და ნიადაგები, 3. ხელოვნური გრუნტები [17,18,19,40,41].

გეომორფოლოგიური ფაქტორი ზეგავლენას ახდენს ღვარცოფის ფორმირებისას, მოძრაობის და გამოტანის კონუსის გაშლისას.

მთები დიდ გავლენას ახდენენ ჰაერის მასების ცირკულაციაზე, აკონტროლებენ ნალექების განაწილებას. მთის ფერდობების ზედაპირის განსხვავებული ტემპერატურით გათბობა განსაზღვრავს მთის ქანების რღვევის განსხვავებულ ინტენსივობას [13,42,43].

ასევე აღსანიშნავია ღვარცოფის გამომწვევი ნიადაგურ-მცენარეული ფაქტორები. ცნობილია, რომ იქ სადაც მთის ფერდობებზე არსებობს მძლავრი ფესვთა სისტემის მქონე ხშირი ტყე, ღვარცოფის ფორმირების რისკი მინიმალურია, რადგან ტყის ფესვთა სისტემა აარმირებს ნიადაგს და იცავს მას რღვევისაგან და შესაბამისად ეროზიული პროცესებისაგან [20,21,54,55].

ტყიანი ნიადაგები გამოირჩევიან ძლიერი წყალშთანთქმის და წყალშედწევადობის უნარით. ტყით დაფარული ფერდობების ფოთლოვანი ზედაპირი ზეგავლენას ახდენს ნიადაგის ტემპერატურულ რეჟიმზე.

ღვარცოფწარმომქმნელი ანთროპოგენური ფაქტორებია: ფერდობებზე ტყის არასისტემური ჭრა, პირუტყვის არაკონტროლირებადი

მოვება, რის შედეგადაც ხდება ნიადაგის ზედაპირის გადაგვარება და ეროზიული პროცესების ფორმირება, რაც საბოლოოდ განაპირობებს ღვარცოფულ მოვლენებს.

ასევე აღსანიშნავია, ღვარცოფწარმომქმნელი აგროტექნიკური ფაქტორი, რაც გულისხმობს ფერდობის გრძივად ხვნას, რაც წარმოქმნის ნაღვარევეს და განაპირობებს ეროზიულ პროცესებს [5,16].

ზემოაღნიშნული ღვარცოფწარმომქმნელი ფაქტორების კომპლექსი წარმოადგენს ეკოლოგიურ საფრთხეს და ქმნის სათანადო საინჟინრო მიდგომების დახვეწის აუცილებლობას, რათა თავიდან იქნას აცილებული ღვარცოფების ფორმირება.

### **1.3 ღვარცოფის წარმოშობის რისკის შეფასებისა და მართვის ასპექტები**

დედამიწაზე მიმდინარე სტიქიურ მოვლენებს შორის, როგორცაა: მიწისძვრა, ტორნადო, წყალდიდობა შეიძლება გამოიყოს ღვარცოფი. ეს მოვლენა მნიშვნელოვნად აფერხებს სახელმწიფოს სოციალურ-ეკონომიკურ განვითარებას და რაც მთავარია იწვევს ადამიანთა მსხვერპლს.

აღნიშნული პრობლემა უფრო მძაფრდება მთიან რეგიონში განლაგებულ დასახლებული პუნქტებისა და ეროვნული მემკვიდრეობის განვითარების მაგალითზე, რაც გამოიხატება სახელმწიფოსათვის ყოველწლიურად ათეულობით მილიონი ლარის ზარალით.

საქართველოში არსებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებები: კალაპოტის ნაწილობრივ გაწმენდა, ნაპირდამცავი დამბების მშენებლობა ვერ უზრუნველყოფს ღვარცოფის თანმხლებ ნეგატიურ მოვლენებს და საჭიროა ღვარცოფის ბუნების გაშიფვრა, ღვარცოფის რისკის შეფასება, ღვარცოფსაწინააღმდეგო ეფექტური ღონისძიებების რეალიზება [63].

ამერიკელი სპეციალისტები თვლიან, რომ ღვარცოფის რისკის შეფასება უახლოეს მომავალში წარმოადგენს ერთადერთ ანალიტიკურ ინსტრუმენტს, რომელიც მოგვცემს საშუალებას მეცნიერულად

განსაზღვრეთ რისკის ხარისხი, როგორცაა: ადამიანის სიცოცხლე, ასევე მატერიალური ღირებულებები და მათი თანაფარდობა, აქედან გამომდინარე დავსახოთ მოქმედების პრიორიტეტული მიმართულებები რისკის მინიმიზაციის კუთხით [73].

ამ მიმართულებით ღვარცოფსაშიშ ტერიტორიაზე უსაფრთხოების უზრუნველყოფისათვის უნდა დავადგინოთ: ღვარცოფის წარმოშობის და ზემოქმედების რისკი. პირველი შეფასებისათვის აუცილებელია საკვლევ რეგიონში ღვარცოფის წარმოშობის ალბათობის განსაზღვრისათვის გავანალიზოთ ღვარცოფის რისკის წყარო. მეორე, განისაზღვრება ღვარცოფის ნეგატიური ზემოქმედების ხარისხის დადგენით, რომელსაც შეუძლია მნიშვნელოვანი ზიანი მოუტანოს ადამიანს, როგორც სიცოცხლის და ჯანმრთელობის ხელყოფის, ასევე ეკონომიკური ზიანის კუთხით. ღვარცოფსაშიშ ტერიტორიების უსაფრთხოების მიზნით მნიშვნელოვანია რისკის მართვის შესაძლებლობა.

მსოფლიო პრაქტიკაში 70-იანი წლებიდან რისკის პრობლემის კვლევისას გამოიკვეთა განსხვავება რისკის შეფასებასა და მართვას შორის. რისკის შეფასება ეს არის სამეცნიერო ინფორმაციისა და მეცნიერულად დასაბუთებული პროგნოზების გამოყენება, ფაქტორების კომპლექსის ზემოქმედების რისკის შეფასებისას, რომელიც გამოიხატება სტიქიურ-დამანგრეველი პროცესებით. რისკის მართვა ეს არის სარისკო სიტუაციების ანალიზი და გადაწყვეტილების დაუყოვნებლივ მიღება, რომელიც მიმართულია რისკის მინიმიზაციისაკენ. ამისათვის საჭიროა ვიცოდეთ რისკის ძირითადი წყარო (რისკის შეფასება) და რისკის აღკვეთის ეფექტური გზები (რისკის მართვა).

საქართველოს მთიან რეგიონში ღვარცოფის წარმოქმნისა და სოციალურ-ეკონომიკური დანიშნულების ობიექტებზე ზემოქმედების კანონზომიერების განსაზღვრისათვის, ღვარცოფსაშიშ ტერიტორიების უსაფრთხოების პრობლემების გადაჭრისათვის, გამოიყოფა ღვარცოფის რისკის შეფასების 5 ეტაპი.

1. ღვარცოფის პოტენციური საფრთხის გამოვლენა, რომელიც გულისხმობს რისკ ფაქტორების, რისკის წყაროს და პოტენციური ზემოქმედების ობიექტების (ზონების) დადგენას.

2. ღვარცოფის რისკის წყაროში იგულისხმება ფაქტორებისა და პირობების ერთობლიობა, რომლის დროსაც წარმოიქმნება ღვარცოფი.

3. ღვარცოფის რისკის წყაროს ზემოქმედების ანალიზი, როგორც მოსახლეობაზე, ასევე გარემოზე. ნორმატივის დადგენა ღვარცოფის ზემოქმედებისას ადამიანისა და ეკოსისტემის უსაფრთხოების განსაზღვრა, ღვარცოფის რისკის ხარისხისა და ზარალის მასშტაბებს შორის დამოკიდებულებების გამოვლენა. აქ მნიშვნელოვანია ღვარცოფის ზემოქმედების ზღვრის (დასაშვები რისკის დონე) გამოვლენა.

4. ღვარცოფული მოვლენებისადმი მიდრეკილების შეფასება, რომელიც გულისხმობს რისკის წყაროს რეალურ ზემოქმედებას ადამიანზე და გარემოზე, რაც გულისხმობს ზემოქმედების (დონის) განსაზღვრულ მასშტაბს, მის სიხშირეს და ხანგრძლივობას, უნდა გამოვლინდეს მოსახლეობის სამეურნეო ობიექტების რაოდენობის და მიწის ფართობის მოცულობა, რომელსაც ემუქრება ღვარცოფი. ეს ინფორმაცია შეიძლება მივიღოთ სტატისტიკური მონაცემების, მონიტორინგისა ან მოდელირების გზით.

5. მეხუთე ეტაპზე ხორციელდება ღვარცოფის რისკის დონის განსაზღვრა და მიღებული შედეგების რუკის სახით გამოსახვა [16].

ღვარცოფის რისკის მართვის განხორციელებისათვის საჭიროა ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებების ორ ჯგუფად დაყოფა: აქტიურ და პასიურ ღონისძიებებად.

აქტიური ღონისძიებები (ტბის დონის დაწევა ან დაცლა, ტბის ზღუდარის გამაგრება, წყალსატევების ფერდობების გამაგრება და ა. შ.) მიმართულია ღვარცოფის კერაში ღვარცოფის ფორმირების თავიდან აცილებისაკენ.

პასიური ღონისძიებები გულისხმობს ღვარცოფსაწინააღმდეგო საინჟინრო ნაგებობების მშენებლობას (კაშხალი, დამბა, ღვარცოფდამჭერები და ა. შ.) წარმოქმნილი ღვარცოფისაგან დაცვის მიზნით.

დასახული მიზნის მაქსიმალურად მისაღწევად, ღვარცოფის რისკის შეფასებისათვის და მართვისათვის საჭიროა, განსაზღვრული მართვის სტრატეგიის არსებობა. სტრატეგიულ მართვაში იგულისხმება სტრატეგიის ფორმირებისათვის ღონისძიებების ერთობლიობა.

ღვარცოფული პროცესების სტრატეგიული მართვისათვის უნდა გამოიყოს 2 ძირითადი ეტაპი: შემუშავება და განხორციელება. პირველ ეტაპზე ხორციელდება ანალიტიკურ-პროგნოზული ინფორმაციის დამუშავება, რაც გულისხმობს ღვარცოფის რისკის შეფასებას, ანუ ფუნდამენტურ კვლევებს, სამეცნიერო-კვლევით და ცდისეულ-კონსტრუქტორულ სამუშაოს, რომელიც უზრუნველყოფს მიღებული შედეგების შემდგომ რეალიზაციას პრაქტიკაში.

ზემოთ თქმული საშუალებას იძლევა გამოვყოთ კვლევის პრიორიტეტული მიმართულებები ღვარცოფსაშიში ტერიტორიების უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად:

1. ღვარცოფული ნაკადებისა და მისი წარმოქმნის პირობების შესახებ ცნობათა სისტემატიზაცია, ღვარცოფის დინამიკური მახასიათებლების მონაცემთა ბაზის შექმნა.
2. ღვარცოფის რისკის შეფასების მეთოდის დამუშავება.
3. ღვარცოფის რისკის წარმოქმნის წყაროს გამოვლენა.
4. ღვარცოფის რისკის შეფასება მონიტორინგის მონაცემების და საველე-ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე.
5. ღვარცოფის რისკის პროგნოზული შეფასების მეთოდების დამუშავება.
6. ღვარცოფის რისკის პრინციპების შეფასება მეთოდური მიდგომებით; ღვარცოფსაშიში ტერიტორიების უსაფრთხოების უზრუნველყოფისათვის სამეცნიერო-მეთოდური მიდგომების დამუშავება.

7. სამეცნიერო-მეთოდური საფუძვლების დამუშავება სპეციალური დანიშნულების რუკების შესაქმნელად (ღვარცოფის წარმოქმნის რისკის პირობების, ღვარცოფის ზემოქმედების რისკის, ღვარცოფის რისკის ხარისხის მიხედვით ტერიტორიების დარაიონება), ღვარცოფის ზემოქმედების რისკისაგან სოციალურ-ეკონომიკური დანიშნულების ობიექტების დაცვის უზრუნველყოფა [74,75].

ზემოთ ჩამოთვლილი ღონისძიებების დასახვა და შემდგომ რეალიზაცია წარმოადგენს აუცილებელ პირობას ღვარცოფსაწინააღმდეგო სტრატეგიის შემუშავებისათვის, რაც იქნება გარანტი მოსახლეობის უსაფრთხოებისა და ეკონომიკური წინსვლისათვის.

თავი 2. მდინარე მლეთის ხევის ხეობაში მოსალოდნელი ეროზიული პროცესების, მეწყრული და ღვარცოფული მოვლენების პროგნოზირება და მართვის თანამედროვე ღონისძიების შემუშავება

2.1. მლეთის ხევი არსებული ეროზიულ-მეწყრული უბნების და ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასის გამოვლენა

მლეთისხევი არის მდინარე თეთრი არაგვის მარჯვენა შენაკადი, სადაც ღვარცოფის ფორმირება ხდება მდინარის ზემო წელში აკუმულირებული გამოფიტული, ნატეხოვანი მასალით და მეწყრული მოვლენებით [14,46,47,56,57,58].

მლეთისხევის სათავე კანიონს წარმოადგენს, რომლის ფერდოს ქანობი  $20^{\circ} - 50^{\circ}$  -ის ფარგლებში მერყეობს, კალაპოტის სიგანე  $4 \div 15$  მ-ია. გამოტანის კონუსის დახრის კუთხე  $60^{\circ} \div 80^{\circ}$ -მდე მერყეობს, რომლის ზედაპირი ხასიათდება არათანაბრობით, სადაც ქვიშა-ხრემოვანი და მცირე ზომის ფრაქციები არის წარმოდგენილი. მლეთისხევი წლების განმავლობაში განხორციელებული დაკვირვების და საველე-სარეკოგნოსტიკური კვლევების მხედველობაში მიღების საფუძველზე დადგინდა, რომ აღნიშნულ ღვარცოფსადინარში ძირითადად ფორმირდება არაბმული ღვარცოფები [48,49,68,69].

მლეთისხევი უკანასკნელ პერიოდში დაფიქსირდა მნიშვნელოვანი სიმპლავრის ღვარცოფების გავლა (2001, 2003, 2005 წწ.), ასევე 2003-2010 წლებში დაფიქსირდა ღვარცოფის ფორმირების სიხშირის გაზრდა. ჩატარებულმა საველე გამოკვლევებმა დაგვანახა, რომ ასევე გაიზარდა ღვარცოფის მიერ გამოტანილი მასის მოცულობაც, კერძოდ: მლეთისხევის მიერ გამოტანილი მყარი მასალის მოცულობა ხშირად 1 მლნ მ<sup>3</sup>-ს აღემატება [76,59,60,61,62].



მლეთისხევში ხორციელდება ისეთი მარეგულირებელი ღონისძიებები, როგორცაა კალაპოტის გაწმენდა-დაღრმავება, მაგრამ მდინარის კალაპოტი ხშირად ივსება ღვარცოფის მიერ გამოტანილი მყარი მასით. მლეთისხევში ფორმირებული ღვარცოფი ემუქრება ისეთ ობიექტებს, როგორცაა წმინდა გიორგის სახელობის მლეთის ეკლესია და დასახლებულ პუნქტებს. მდინარე მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში ფორმირებული ღვარცოფის ზეგავლენის შედეგად დაზიანდა საცხოვრებელი სახლები, რის გამოც 8 ოჯახი გადაყვანილ იქნა უსაფრთხო ადგილას [60,69].

მლეთის ხევში მიმდინარე ღვარცოფული პროცესების ფორმირების მთავარ განმაპირობებელ ფაქტორს წარმოადგენს მეწყრული პროცესები, რაც განსაზღვრავს ღვარცოფის სიხშირეს და მის მიერ წარმოქმნილი ეკოლოგიური რისკების მასშტაბურობას.

მლეთისხევში არსებული მეწყრული სხეული ფორმირდება სათავიდან და ხევის შუა წელამდე. მლეთისხევის კალაპოტის მიმდებარე ფერდობები ეროზირებულია, რომლის დახრილობა ზედა ნაწილში 20-25<sup>0</sup>-მდე მერყეობს, ქვემო ნაწილში კი მცირდება. მლეთისხევის მეწყერი ტიპიურია და ტალღისებურ-საფეხურისებური ფორმისაა, შეიმჩნევა დიდი ინტენსივობის ნაღვარევი და ნაპრალევი მეწყრის მთელ სიგრძეზე. მეწყრის ჩამოცურების სიბრტყე სავარაუდოდ 20-25 მეტრს აღწევს.

მლეთის ხევის მეწყერი შედგება:-ქვიშის, ხრეშის და თიხური ფრაქციებისაგან, ასევე ხშირად ვხვდებით ქვიშაქვებს, ფიქლებსა და კირქვების მასივებს [50,68].

აღნიშნულის გათვალისწინებით, რომ საჭიროა მლეთისხევში მიმდინარე ღვარცოფული პროცესების სკრუპულოზური შესწავლა, თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენების საფუძველზე, რათა იდენტიფიცირდეს მოსალოდნელი ეკოლოგიური რისკები და მათ შესამცირებლად შემუშავდეს ეფექტური საინჟინრო ღონისძიებები. სწორედ, ამ მიზნით მლეთისხევის ხეობაში განხორციელდა საველე-

სარეკონოსტირებო კვლევები, იქ მიმდინარე ეროზიულ-მეწყრული ადგილების და წყალსადინარში დაგროვილი ღვარცოფმაფორმირებელი მყარი მასის დასაფიქსირებლად. კვლევის შედეგად იდენტიფიცირდა აქტიური ეროზიულ-მეწყრული ფერდობები და მდინარის კალაპოტში დაგროვილი ღვარცოფმაფორმირებელი მყარი მასა (ფოტო 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4, 2.1.5, 2.1.6, 2.1.7).



**ფოტო 2.1.1 მლეთისხევის წყალშემკრებ აუზში დაფიქსირებული ეროზირებული ფერდობი**



**ფოტო 2.1.2 მლეთისხევის წყალსადინარში იდენტიფიცირებული  
ეროზირებული ფერდობები**



**ფოტო 2.1.3 მლეთისხევის სათავეში დაფიქსირებული მეწერული სხეული**



**ფოტო 2.1.4 მლეთისხევის სათავეში არსებული მეწყერი**



**ფოტო 2.1.5 მლეთისხევის კალაპოტში იდენტიფიცირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მყარი მასა**



**ფოტო 2.1.6 მლეთისხევის კალაპოტში დაგროვილი  
ღვარცოფმაფორმირებული მყარი მასა**



**ფოტო 2.1.7 მლეთისხევის შუაწელში იდენტიფიცირებული  
ღვარცოფმაფორმირებული მყარი მასა**

ზემოაღნიშნულიდან შეიძლება ითქვას, რომ მლეთისხევის წყალსადინარში მიმდინარეობს ნიადაგ-გრუნტის აქტიური ეროზიული პროცესების და მეწყრული მოვლენები, რაც განაპირობებს მდინარის კალაპოტის შევსებას ქვა-ღორღით და სხვადასხვა ფრაქციის მყარ მასით. მდინარე მლეთისხევის მთელ სიგრძეზე დაფიქსირდა კალაპოტში დაგროვილი დიდი რაოდენობის მყარი მასა, რაც მნიშვნელოვნად განაპირობებს კატასტროფული ხასიათის ღვარცოფული მოვლენების ფორმირებას.

## **2.2. მლეთის ხევი მიმდინარე ეროზიულ-მეწყრული პროცესების ინტენსივობის და წყალსადინარში დაგროვილი ღვარცოფმაფორმირებელი მყარი მასის ძვრის განმაპირობებელი ფაქტორების დადგენა**

მლეთისხევი მიმდინარე ეკოლოგიური პროცესები ერთმანეთზე არიან დამოკიდებული და ურთიერთ გამომწვევ ფაქტორებს წარმოადგენენ. მლეთისხევი არსებულ მეწყრულ სხეულებში მიმდინარეობს აქტიური ეროზიული პროცესები, ხოლო ეროზია მნიშვნელოვნად განაპირობებს მეწყრული მოვლენების ფორმირებას. ეროზიული და მეწყრული პროცესები ერთობლივად განაპირობებენ მდინარე მლეთისხევი მნიშვნელოვანი რაოდენობის მყარი მასალის მოხვედრას.

მლეთისხევი მიმდინარე ღვარცოფული მოვლენები განაპირობებენ მდინარის კალაპოტში გვერდითი და სიღრმითი ეროზიების გაძლიერებას. ზემოაღნიშნულ ეგზოგენურ მოვლენებს ძირითადად განაპირობებს ჰიდროგეოლოგიური, გეოლოგიური, ჰიდროლოგიური, ტექნოგენური და კლიმატური ფაქტორები [45,46]:

### **1) გეოლოგიური:**

- კავკასიონის ქედის აზევება, რაც განაპირობებს ნიადაგ-გრუნტის ეროზიის ბაზისის განახლებას და ფერდოს ქანობის ზრდას ან შენარჩუნებას;

- ფერდობების ამგები ქანები არაერთგვაროვანია, რაც განაპირობებს ფერდობის დაძაბულ მდგომარეობაში ყოფნას;
- 2) ჰიდროგეოლოგიური:
- ხდება მიწისქვეშა წყლების შეღწევა ფერდობების ამგებ ქანებში და ხდება მეწყრული ფერდობის გატენიანება;
  - ფერდობის სიღრმეში ზედაპირული წყლების შეღწევა და ფერდობების ძლიერი გატენიანება;
- 3) ჰიდროლოგიური:
- წყალმოვარდნები, რაც მნიშვნელოვნად განაპირობებს ღვარცოფის ფორმირებას;
- 4) კლიმატური:
- ხშირად ფორმირებული დიდი ინტენსივობის წვიმები;
  - ტემპერატურის ცვალებადობა, რაც განაპირობებს ფერდობების შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტის გამოფიტვას;
- 5) ტექნოგენური:
- ფერდობებზე ხე-ტყის გაჩეხვა, რაც განაპირობებს აქტიურ ეროზიულ პროცესებს [76].

**მოწყვლად ფერდობზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიის ინტენსივობის განმაპირობებელი ფაქტორები** - მლეთის ხევში განხორციელებული სავლე ექსპედიციების შედეგად გამოვლენილი ეროზირებული ფერდობიდან, აღებული ნიადაგ-გრუნტის ნიმუშებიდან (იხ. ფოტო 2.2.1) განისაზღვრა გრანულომეტრიული შემადგენლობა, ფიზიკურ მექანიკური და ქიმიური მახასიათებლები (იხ. ცხრილი 2.2.1., 2.2.2.).



ფოტო 2.2.1. მლეთის ხევში არსებული ეროზირებული ფერდობიდან ნიადაგ-გრუნტის ნიმუშის აღება

ცხრილი 2.2.1.

მდ. მლეთის ხევის ეროზირებული ფერდობების ამგები ელუვიურ დელუვიური ქანების გრანულომეტრიული შემადგენლობა და ფიზიკურ მექანიკური მახასიათებლები

გეოლოგიური ინდექსი	გრანულომეტრიული შემადგენლობა				ფიზიკური თვისებები												მექანიკური თვისებები	
	ფრაქციის ზომა მმ				პლასტიკურობა			სიმკვრივე			ტენიანობა W	ფორიანობა, n	ფორიანობის კოეფიციენტი, e	ტენიანობის ხარისხი, S <sub>r</sub>	დენადობის მაჩვენებელი, IL	ქანის დაღობის სიჩქარე	სიმტკიცე	
	თიხა	მტკეპრი	ქვიშა	უსემქმნატეს ოვანი	ტენიანობა დენადობის ზღვარზე W <sub>lc</sub>	ტენიანობა პლასტიკურობის ზღვარზე W <sub>p</sub>	პლასტიკურობის რიცხვი I <sub>p</sub>	გრუნტის ნაწილაკების ρ <sub>s</sub>	ბუნებრივი ρ	გრუნტის ჩონჩხის ρ <sub>f</sub>							შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი (ს.ნ. და წ. 2020-83, დან. 1. ცხ.2)	შეჭიდულობა, C (ს.ნ. და წ. 2020-83, დან. 1. ცხ.2)
	<0.002	0.002-0.05	0.05-1.0	>1.0	ბ.ბ.	ბ.ბ.	%	გ/სმ <sup>3</sup>	გ/სმ <sup>3</sup>	გ/სმ <sup>3</sup>	ბ.ბ.	ბ.ბ.	ბ.ბ.	ბ.ბ.	ბ.ბ.	წამი	გრად	მპა
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ედQIV	12	25	23	40	0,28	0,17	11,50	2,72	1,85	1,54	0,20	0,43	0,76	0,71	0,30	30	22	0,028
	5	15	24	56	0,31	0,16	15,00	2,70	1,85	1,57	0,18	0,42	0,72	0,67	0,13	90	24	0,025
	8	8	20	64	0,33	0,16	17,00	2,68	1,9	1,61	0,18	0,40	0,66	0,73	0,12	120	28	0,020
	10	23	14	53	0,29	0,19	10,00	2,72	1,81	1,51	0,20	0,45	0,80	0,68	0,10	-	20	0,025
	4	10	28	58	0,35	0,20	15,00	2,70	1,82	1,50	0,21	0,44	0,80	0,71	0,07	67	19	0,024
	9	19	21	51	0,37	0,20	17,00	2,72	1,85	1,57	0,18	0,42	0,73	0,67	-0,12	-	22	0,026

მოწყვლადი ფერდობის ეროზიულობის განსაზღვრის ყველაზე ადეკვატური მახასიათებელია ქანის დაღობის სიჩქარე (გრაფა 17, - ნიშნავს



არაა დაღობადი), რომელიც ცხრილი 2.2.1-ის მიხედვით, ორი შემთხვევის გარდა, ნიადაგ-გრუნტების მაღალ დაღობადობაზე მიუთითებს, რაც ნიშნავს, რომ ჩვენ მიერ მღეთის ხევში გამოვლენილი მოწყვლადი ფერდობი ეროზიისადმი მიდრეკილია.

მღეთის ხევის ეროზირებული ფერდობიდან აღებული ნიადაგ-გრუნტის ნიმუშების ქიმიური მახასიათებლების დასადგენად ლაბორატორიულ პირობებში განხორციელდა შემდეგი კვლევები: ნიადაგის წყლით გამონაწურის (ქლორიდ  $Cl^-$ ; ჰიდროკარბონატ  $HCO_3^-$ ; სულფატ  $SO_4^{2+}$ ; კალციუმ  $Ca^{2+}$  და მაგნიუმ  $Mg^{2+}$  იონების) ანალიზი, გამონაწური მომზადდა თანაფარდობით 50/250-ზე. ასევე დადგინდა ჰუმუსის პროცენტული შემცველობა გამოწვის მეთოდით და pH-ის მაჩვენებელი წყალ ფაზაში (იხ. ცხრილი 2.2.2.).

**ცხრილი 2.2.2**  
**მდ. მღეთის ხევის ეროზირებული ფერდობის ამგები ნიადაგ-გრუნტის ქიმიური მახასიათებლები**

#	<u>ნიმუშის დასახელება</u>	pH	<u><math>Cl^-</math> მგ/გ</u>	<u><math>HCO_3^-</math> მგ/გ</u>	<u><math>SO_4^{2+}</math> მგ/გ</u>	<u><math>Ca^{2+}</math> მგ/გ</u>	<u><math>Mg^{2+}</math> მგ/გ</u>	<u>ჰუმუსი %</u>
1	<u>ეროზირებული ფერდობიდან აღებული ნიადაგ-გრუნტი</u>	7.98	0.053	0.0432	0.087	0.16	0.072	1.1

განხორციელებული ლაბორატორიული კვლევების შედეგების მიხედვით შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ეროზირებული ფერდობის შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტი, იონების კონცენტრაციის და ჰუმუსის შემცველობის მიხედვით, ეწერ ნიადაგზე უფრო ღარიბია, რაც მიუთითებს ნიადაგ-გრუნტების ადვილად გარეცხვის შესაძლებლობაზე.

მოწყვლად ფერდობზე მიმდინარე მეწყრული პროცესების ინტენსივობის განმაპირობებელი ფაქტორები - მღეთის ხევში განხორციელებული სავლე ექსპედიციების შედეგად გამოვლენილი მეწყრული ფერდობებიდან აღებული იქნა ნიადაგ-გრუნტის ნიმუშები და

განისაზღვრა გრანულომეტრიული შემადგენლობა, ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური მახასიათებლები [10,40] (იხ. ცხრილი 2.2.3, 2.2.4).

**ცხრილი 2.2.3**

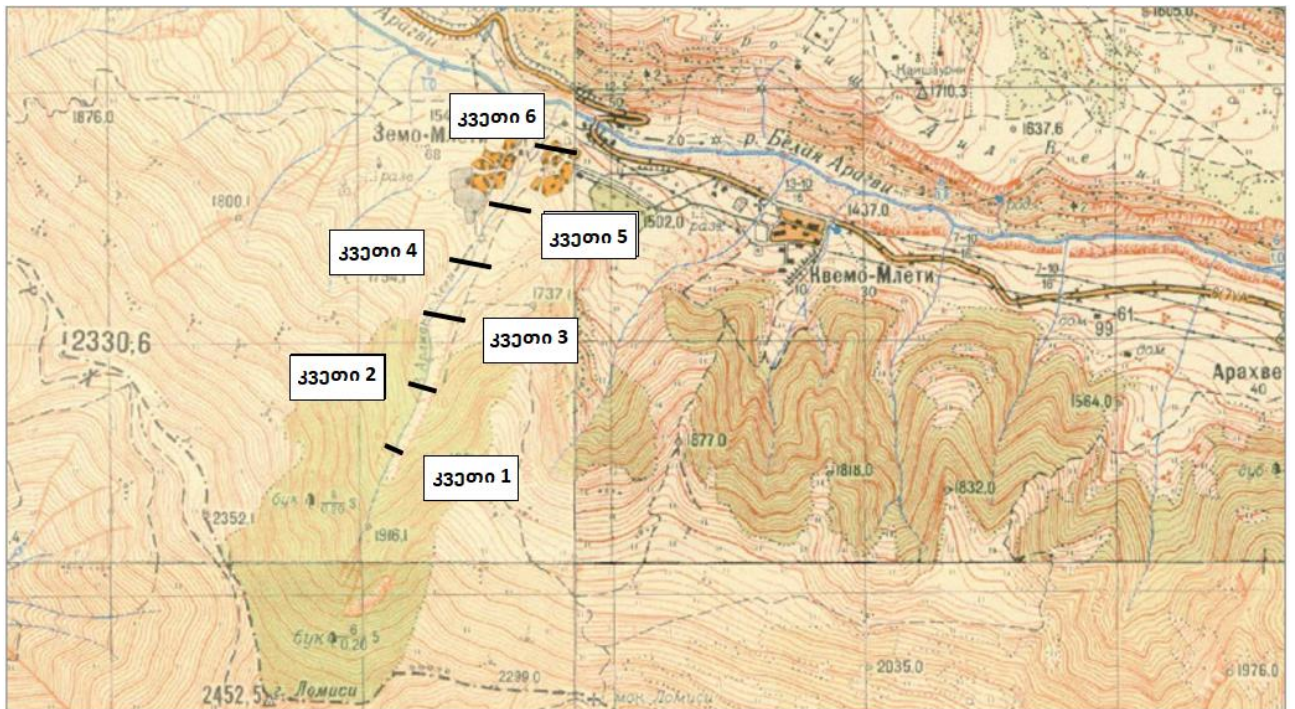
**მდ. მლეთის ხევის მეწყრული ფერდობების ამგები ქანების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები**

ნიმუშები	თიხური ქანების ფიზიკურ მექანიკური თვისებები										
	პლასტიკურობა			სიმკვრივე			ტენიანობა W	ფორიანობა, n	ფორიანობის კოეფიციენტი, e	ტენიანობის ხარისხი, S <sub>r</sub>	დენადობის მაჩვენებელი I <sub>r</sub>
	ტენიანობა დენადობის ზღვარზე W <sub>e</sub>	ტენიანობა პლასტიკურობის ზღვარზე W <sub>s</sub>	პლასტიკურობის რიცხვი I <sub>p</sub>	გრუნტის ნაწილაკების ρ <sub>s</sub>	ბუნებრივი ρ	გრუნტის ჩონჩხის ρ <sub>h</sub>					
გ.გ.	გ.გ.	%	გ/სმ <sup>3</sup>	გ/სმ <sup>3</sup>	გ/სმ <sup>3</sup>	გ.გ.	გ.გ.	გ.გ.	გ.გ.	გ.გ.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.35	0.22	13	2.72	1.85	1.54	0.20	0.43	0.76	0.71	-0.15
2	0.37	0.20	17	2.72	1.85	1.57	0.18	0.42	0.73	0.67	-0.12
3	0.33	0.22	11	2.72	1.8	1.48	0.22	0.46	0.84	0.71	0.00
4	0.33	0.21	12	2.72	1.8	1.48	0.22	0.46	0.84	0.71	0.08
5	0.37	0.18	19	2.72	1.9	1.60	0.18	0.41	0.70	0.73	0.05
6	0.35	0.19	16	2.72	1.9	1.57	0.19	0.42	0.73	0.67	-0.06

როგორც ცხრილიდან ჩანს, გრუნტები პლასტიკურობის რიცხვის მიხედვით ძირითადად განეკუთვნებიან თიხნარებს I<sub>p</sub>=0.11-0.19. კონსისტენციის მიხედვით ეს გრუნტები მყარსა და ნახევრადმყარს შორის მერყეობენ: -0.15>I<sub>r</sub>>0.08. ტენიანობის ხარისხი S<sub>r</sub>=0.73-0.67 ტოლია და საშუალო ტენიანი გრუნტების ტიპს მიეკუთვნება. გრუნტის სიმტკიცის მაჩვენებლები შემდეგია (ნორმატიული მნიშვნელობა, პნ 02.51-08): შინაგანი ხახუნი კუთხე φ<sup>0</sup>=23<sup>0</sup>, ხოლო შეჭიდულობა - C=0.025 მპა. საერთო დეფორმაციის მოდული E<sub>0</sub>=17.0 მპა. საანგარიშო წინაღობა ვერტიკალურ დატვირთვაზე R<sub>0</sub>=2.0 კგმ/სმ<sup>2</sup>.

ზემოაღნიშნული მონაცემებიდან გამომდინარე, მლეთის ხევში არსებული მეწყერი არამდგრადი ხასიათისაა, რაც ქმნის აუცილებლობას დადგენილი იქნას მისი მდგრადობის დაკარგვის (დინამიკაში მოსვლის) პირობები.

მლეთის ხევის ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასის ძვრის განმაპირობებელი ფაქტორების დადგენა - ჩვენ მიერ მლეთის ხევში განხორციელებული საველე ექსპედიციების შედეგად დადგინდა, რომ ღვარცოფსადინარში ძირითადად აკუმულირებულია მსხვილნატეხოვანი და ქვიშოვან-თიხოვანი გრუნტები, რის გამოც, წინასწარ შერჩეულ კვეთებზე განხორციელდა გრანულომეტრიული შედგენილობის განსაზღვრა საველე ფოტომეტრიული და ლაბორატორიული მეთოდების გამოყენების გზით (იხ. ნახ. 2.2.1, ფოტო 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4, 2.2.5, 2.2.6, 2.2.7).



ნახ. 2.2.1. მლეთისხევის ღვარცოფსადინარის ტრანზიტულ ზონაში აკუმულირებული ღვარცოფმაფორმირებელი მასის და პროლუვიური გამოზიდვის კონუსის გრანულომეტრიული შემადგენლობის შესასწავლი კვეთების განლაგება



ფოტო 2.2.2. გრანულომეტრიული შემადგენლობა კვეთი-1-ის მიხედვით

ცხრილი 2.2.4.

მლეთის ხევის კალაპოტის კვეთი 1-ის გრანულომეტრიული შემადგენლობა

მსხვილნატეხოვანი და ქვიშოვანი გრუნტების ტიპები პროცენტული გრანულომეტრიული შედგენილობის მიხედვით (სამშენებლო ნორმები და წესები - "შენობებისა და ნაგებობების ფუძეები - პნ 02.01-08")

უხეში მსხვილნატეხოვანი ფრაქცია		წვრილი და საშუალო ნატეხოვანი ფრაქცია		ქვიშური ფრაქცია			წვრილ-დისპერსიული ფრაქცია	
კაჭარი (ლოდნარი) >500 მმ	რიყნარი 100-500 მმ	ხრემოვანი (ლორლოვანი) 10-100 მმ	კენჭოვანი (ხვინჭოვანი) 2-10 მმ	კენჭოვანი მსხვილი ქვიშა 0.5-2 მმ	საშუალო ქვიშა 0,1-0.2 მმ	წვრილი ქვიშა 0,05-0.1 მმ	მტვერი 0,002-0,05	თიხა < 0,002
2	35	16	12	12	11	9	2	1



ფოტო 2.2.3. გრანულომეტრიული შემადგენლობა კვეთი-2-ის მიხედვით

ცხრილი 2.2.5.

მლეთის ხევის კალაპოტის კვეთი 2-ის გრანულომეტრიული შემადგენლობა

<p><u>მსხვილნატეხოვანი და ქვიშოვანი გრუნტების ტიპები პროცენტული გრანულომეტრიული შედგენილობის მიხედვით (სამშენებლო ნორმები და წესები - "შენიშვნისა და ნაგებობების ფუძეები - პნ 02.01-08")</u></p>								
უხეში მსხვილნატეხოვანი ფრაქცია		წვრილი და საშუალო ნატეხოვანი ფრაქცია	ქვიშური ფრაქცია				წვრილ-დისპერსიული ფრაქცია	
კაჭარი (ლოდნარი) >500 მმ	რიყნარი 100-500 მმ	ხრეშოვანი (ლორღვანი) 10-100 მმ	კენჭოვანი (ხვინჭოვანი) 2-10 მმ	კენჭოვანი მსხვილი ქვიშა 0.5-2 მმ	საშუალო ქვიშა 0,1-0.2 მმ	წვრილი ქვიშა 0,05-0.1 მმ	მტვერი 0,002-0,05	თიხა < 0,002
3	38	22	13	9	7	6	1	1



ფოტო 2.2.4. გრანულომეტრიული შემადგენლობა კვეთი-3-ის მიხედვით

ცხრილი 2.2.6.

მლეთის ხევის კალაპოტის კვეთი 3-ის გრანულომეტრიული შემადგენლობა

<u>მსხვილნატეხოვანი და ქვიშოვანი გრუნტების ტიპები პროცენტული გრანულომეტრიული შემადგენლობის მიხედვით (სამშენებლო ნორმები და წესები - "შენობებისა და ნაგებობების ფუძეები - პნ 02.01-08")</u>								
უხეში მსხვილნატეხოვანი ფრაქცია		წვრილი და საშუალო ნატეხოვანი ფრაქცია		ქვიშური ფრაქცია			წვრილ-დისპერსიული ფრაქცია	
კაჭარი (ლოდნარი) >500 მმ	რიყნარი 100-500 მმ	ხრეშოვანი (ლორლოვანი) 10-100 მმ	კენჭოვანი (ხვინჭოვანი) 2-10 მმ	კენჭოვანი მსხვილი ქვიშა 0.5-2 მმ	საშუალო ქვიშა 0,1-0.2 მმ	წვრილი ქვიშა 0,05-0.1 მმ	მტვერი 0,002-0,05	თიხა < 0,002
0	31	22	20	15	6	4	1	1



ფოტო 2.2.5. გრანულომეტრიული შემადგენლობა კვეთი-4-ის მიხედვით

ცხრილი 2.2.7.

მლეთის ხევის კალაპოტის კვეთი 4-ის გრანულომეტრიული შემადგენლობა

<u>მსხვილნატეხოვანი და ქვიშოვანი გრუნტების ტიპები პროცენტული გრანულომეტრიული შემადგენლობის მიხედვით (სამშენებლო ნორმები და წესები - "შენობებისა და ნაგებობების ფუძეები - პნ 02.01-08")</u>								
უხეში მსხვილნატეხოვანი ფრაქცია		წვრილი და საშუალო ნატეხოვანი ფრაქცია	ქვიშური ფრაქცია				წვრილ-დისპერსიული ფრაქცია	
კაჭარი (ლოდნარი) >500 მმ	რიყნარი 100-500 მმ	ხრეშოვანი (ლორღვანი) 10-100 მმ	კენჭოვანი (ხვინჭოვანი) 2-10 მმ	კენჭოვანი მსხვილი ქვიშა 0.5-2 მმ	საშუალო ქვიშა 0,1-0.2 მმ	წვრილი ქვიშა 0,05-0.1 მმ	მტვერი 0,002-0,05	თიხა < 0,002
0	2	33	27	14	11	10	2	1



ფოტო 2.2.6. გრანულომეტრიული შემადგენლობა კვეთი-5-ის მიხედვით

ცხრილი 2.2.8.

მლეთის ხევის კალაპოტის კვეთი 5-ის გრანულომეტრიული შემადგენლობა

<u>მსხვილნატეხოვანი და ქვიშოვანი გრუნტების ტიპები პროცენტული გრანულომეტრიული შემადგენლობის მიხედვით (სამშენებლო ნორმები და წესები - "შენობებისა და ნაგებობების ფუძეები - კნ 02.01-08")</u>								
უხეში მსხვილნატეხოვანი ფრაქცია		წვრილი და საშუალო ნატეხოვანი ფრაქცია		ქვიშური ფრაქცია			წვრილ-დისპერსიული ფრაქცია	
კაჭარი (ლოდნარი) >500 მმ	რიყნარი 100-500 მმ	ხრეშოვანი (ლორლოვანი) 10-100 მმ	კენჭოვანი (ხვინჭოვანი) 2-10 მმ	კენჭოვანი მსხვილი ქვიშა 0.5-2 მმ	საშუალო ქვიშა 0,1-0.2 მმ	წვრილი ქვიშა 0,05-0.1 მმ	მტვერი 0,002-0,05	თიხა < 0,002
0	0	15	17	21	20	12	10	5





ფოტო 2.2.7. გრანულომეტრიული შემადგენლობა კვეთი-6-ის მიხედვით

ცხრილი 2.2.9.

მლეთის ხევის კალაპოტის კვეთი 6-ის გრანულომეტრიული შემადგენლობა

<u>მსხვილნატეხოვანი და ქვიშოვანი გრუნტების ტიპები პროცენტული გრანულომეტრიული შედგენილობის მიხედვით (სამშენებლო ნორმები და წესები - "შენიშვნებისა და ნაგებობების ფუძეები - პნ 02.01-08")</u>								
უხეში მსხვილნატეხოვანი ფრაქცია		წვრილი და საშუალო ნატეხოვანი ფრაქცია		ქვიშური ფრაქცია			წვრილ-დისპერსიული ფრაქცია	
კაჭარი (ლოდნარი) >500 მმ	რიყნარი 100-500 მმ	ხრეშოვანი (ლორღვანი) 10-100 მმ	კენჭოვანი (ხვინჭოვანი) 2-10 მმ	კენჭოვანი მსხვილი ქვიშა 0.5-2 მმ	საშუალო ქვიშა 0,1-0.2 მმ	წვრილი ქვიშა 0,05-0.1 მმ	მტვერი 0,002-0,05	თიხა < 0,002
0	2	20	16	16	22	10	7	7

მიღებულ შედეგებზე დაყრდნობით, მოგვყავს ჩატარებული სამუშაოების შემაჯამებელი ცხრილი 2.2.10.

**ცხრილი 2.2.10.**  
**მლეთის ხევის კალაპოტის გრანულომეტრიული შემადგენლობა**

<u>მსხვილნატეხოვანი და ქვიშოვანი გრუნტების ტიპები პროცენტული გრანულომეტრიული გასაშუალოებული შედეგნილობის მიხედვით (სამშენებლო ნორმები და წესები - "შენობებისა და ნაგებობების ფუძეები - პნ 02.01-08")</u>								
უხეში მსხვილნატეხოვანი ფრაქცია		წვრილი და საშუალო ნატეხოვანი ფრაქცია		ქვიშური ფრაქცია			წვრილ-დისპერსიული ფრაქცია	
კაჭარი (ლოდნარი) >500 მმ	რიყნარი 100-500 მმ	ხრემოვანი (ლორღოვანი) 10-100 მმ	კენჭოვანი (ხვინჭოვანი) 2-10 მმ	კენჭოვანი მსხვილი ქვიშა 0.5-2 მმ	საშუალო ქვიშა 0,1-0.2 მმ	წვრილი ქვიშა 0,05-0.1 მმ	მტვერი 0,002-0,05	თიხა < 0,002
0,83	18,00	21,33	17,50	14,50	12,83	8,50	3,83	2,67

**ცხრილი 2.2.11.**  
**ქვიშოვანი გრუნტების C<sub>n</sub> კუთრი შეჭიდულობის მეოთხეული წარმოშობის, კვა (კგმ/სმ<sup>2</sup>), დეფორმაციის მოდულოის და φ<sub>n</sub> შიგა ხახუნის კუთხის, მვა (კგმ/სმ<sup>2</sup>) ნორმატიული მნიშვნელობები**

ქვიშოვანი გრუნტები	მახასიათებლების აღნიშვნა	მახასიათებლები ფორიანობის e კოეფიციენტის მიხედვით			
		0,45	0,55	0,65	0,75
ა) კენჭოვანი და მსხვილი	C <sub>n</sub>	2,0 (0,02)	1,0(0,01)	1,0(0,01)	1,0(0,01)
	φ <sub>n</sub>	43	40	40	40
	E	50(500)	40(400)	40(400)	40(400)
ბ) საშუალო სიმსხოსი	C <sub>n</sub>	3,0(0,03)	3,0(0,03)	3,0(0,03)	3,0(0,03)
	φ <sub>n</sub>	40	40	40	40
	E	50(500)	50(500)	50(500)	50(500)
გ) წვრილი	C <sub>n</sub>	8,0(0,08)	8,0(0,08)	8,0(0,08)	8,0(0,08)
	φ <sub>n</sub>	36	36	36	36
	E	39(390)	39(390)	39(390)	39(390)

ასევე ჩვენ მიერ განხორციელდა მლეთისხევის ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული ქვიშა-თიხური ქანების გრანულომეტრიული შემადგენლობის განსაზღვრა ლაბორატორიული გზით (იხ. ცხრილი 2.2.12).

**ცხრილი 2.2.12**  
**ქვიშა-თიხური ქანების გრანულომეტრიული შემადგენლობის განსაზღვრა ლაბორატორიული გზით**

	ქვიშა					მტვერი		თიხა	
	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.10	0.10-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.002	<0.002
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,1	2,0	4,8	54,8	27,4	1,6	1,3	1,1	5,9
2	1,2	2,1	4,9	51,9	29,4	1,5	0,8	1,0	7,2
3	1,2	1,8	5,2	55,4	28,6	1,1	0,6	0,6	5,5
4	1,4	2,7	4,0	52,8	29,5	1,4	0,9	0,7	6,6
5	1,7	2,1	5,7	54,2	26,6	1,8	1,4	0,6	5,9
6	1,3	1,9	6,4	53,4	29,8	0,5	0,6	0,4	5,7
7	1,3	2,1	5,2	53,8	28,6	2,2	1,9	1,7	3,3

მეტეოსადგურებიდან დადგინდა საშუალო და აბსოლუტური დღე-ღამური ნალექების რაოდენობის მაქსიმუმები, ცხრილი 2.2.13. [1]

**ცხრილი 2.2.13.**  
**დღე-ღამური ნალექების საშუალო, მაქსიმალური და აბსოლუტური მახასიათებლები**

მეტეოროლოგიური სადგურები	გუდაური	ბურსაჩილი	მლეთა	ბარისაზო	ფასანარი	მცხეთა
1. დღე-ღამური ნალექების მაქსიმალური რაოდენობა (მმ)	49.4	50.4	45.6	43.0	42.4	34.0
2. დღე-ღამური ნალექების მაქსიმალური რაოდენობა (მმ)	38.4 (VIII)	50.0 (VIII)	36.0 (VIII)	41.0 (VIII)	40.0 (VI)	29.0 (IX)
3. დღე-ღამური	136.0	139.0	125.0	118.0	97.0	94.0

ნალექების აბსოლუტური რაოდენობა (მმ)						
4. დღე-ღამური ნალექების აბსოლუტური რაოდენობა (მმ)	100.0 (VIII)	106.0 (IX)	79.0 (VII)	92.0 (VIII)	78.0 (VII)	136.0 (IX) 62.0 (VII)

ნალექების საშუალო წლიური მაჩვენებელი მდ. მლეთის ხევისა და მდ. თეთრი არაგვის შეერთების ადგილში უტოლდება 1 339 მმ-ს. მოსული ნალექების მაქსიმალური მნიშვნელობა ფიქსირდება გაზაფხულისა და ზაფხულის პერიოდში; მაისში, ივნისსა და ივლისში, როდესაც ნალექების მთლიანი წლიური მაჩვენებლის 1/3 მოდის. ნალექების მაქსიმალური საშუალო დღე-ღამური მაჩვენებელი დაფიქსირებულია 45,6 მმ ფარგლებში, ხოლო ნალექების აბსოლუტური დღეღამური მაქსიმალური მაჩვენებელი კი უტოლდება 125,0 მმ-ს [68,69].

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ მლეთის ხევის წყალსადინარში, ძირითადად დაგროვილი მსხვილნატეხოვანი და ქვიშოვან-თიხოვანი გრუნტები წარმოადგენენ, არამდგრად მყარ მასას წყალსადინარში, შესაძლო ღვარცოფი სხვა გეოლოგიურ, ჰიდროლოგიურ და კლიმატურ ფაქტორებთან ერთად ხელს უწყობს ეკოლოგიური საფრთხის მასშტაბების მატებას.

მლეთისხევის წყალსადინარში ასევე აღებული იქნა ნიადაგ-გრუნტის სინჯი და შეფასებული იქნა მისი ქიმიური მახასიათებლები (იხ. ცხრილი 2.2.14.).

ცხრილი 2.2.14.

წყალსადინარში აღებული ნიადაგ-გრუნტის ნიმუშების ქიმიური მახასიათებლები

#	ნიმუშის დასახელება	pH	Cl <sup>-</sup> მგ/კგ	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> მგ/კგ	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> მგ/კგ	Ca <sup>2+</sup> მგ/კგ	Mg <sup>2+</sup> მგ/კგ	ჰუმუსი %
3	ღვარცოფსადინარის დასაწყისში აკუმულირებული ღვარცოფული მასიდან აღებული ნიადაგ-გრუნტი	8.2	0.0017	0.0588	0.001	0.024	0.0048	0

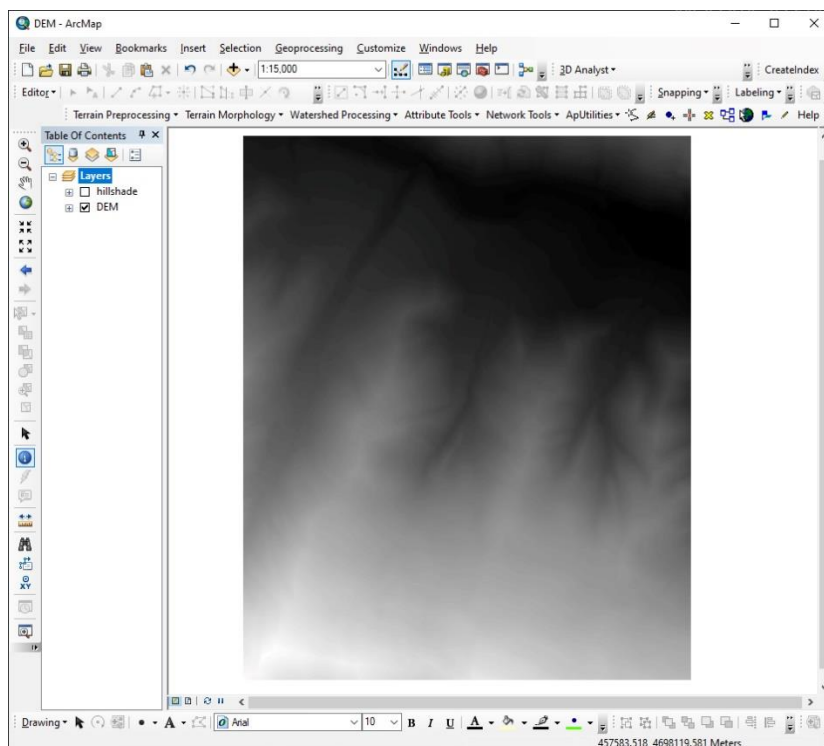
ლაბორატორიული კვლევების შედეგების მიხედვით შეიძლება ითქვას, რომ მლეთისხევის წყალსადინარში დაგროვილი გრუნტი წარმოადგენს იონების კონცენტრაციის თვალსაზრისით დაბალი შემცველობის გრუნტს, ასევე გრუნტის ნიმუშში ჰუმუსის შემცველობა 0-ის ტოლია, რაც მიუთითებს მლეთისხევის წყალსადინარში დაგროვილი ღვარცოფის მაფორმირებელი მყარი მასის ადვილად ძვრის შესაძლებლობაზე.

2.3. მლეთისხევის რელიეფის სიმაღლითი მოდელის – DEM შექმნა

გის-ში არსებული ახალი მონაცემების საფუძველზე

მლეთისხევაში შესაძლო ღვარცოფის RAMMS-ით მოდელირებისთვის, საჭიროა რელიეფის სიმაღლითი მოდელის DEM – ის აგება. ის წარმოადგენს პიქსელების ერთობლიობას – *grid* მოდელს, სადაც თითოეული პიქსელის ცენტრმა იცის სიმაღლე (Z) და X, Y კოორდინატები. უჯრედის სიდიდე (cell size) განაპირობებს სივრცით შესაძლებლობას [45, 77].

მლეთისხევაში მოსალოდნელი კატასტროფული ხასიათის ღვარცოფის მოდელირებისათვის ვიყენებთ DEM-ს, რომელსაც აქვს 2 მ შესაძლებლობა (იხ. ნახ. 2.3.1.).



**ნახ. 2.3.1. DEM რელიეფის სიმალითი მოდელი**

DEM-ის მიღება შესაძლებელია სხვადასხვა გზები გამოყენებით. ჩვენ გამოვიყენეთ ფართო შესაძლებლობის მქონე Mavic 2 Pro, დრონის უახლესი მოდელი (იხ. ფოტო. 2.3.1.)



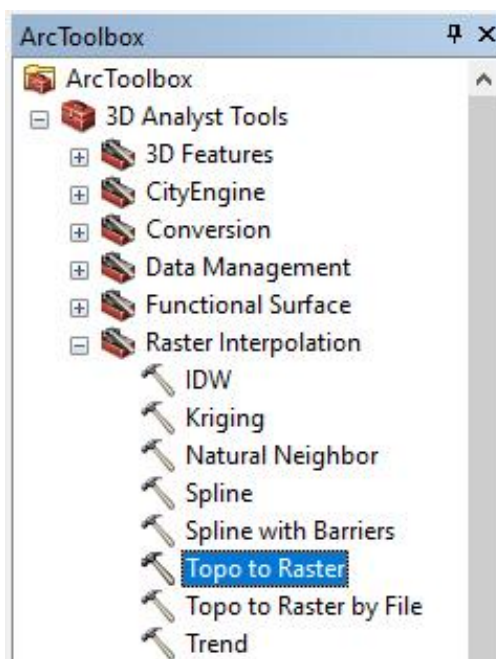
**ფოტო 2.3.1. დრონი Mavic 2 Pro**

Mavic 2 Pro-ს მიერ მოპოვებული მონაცემების ფოტოგრამეტრიული დამუშავებისა და სიმაღლითი ნიშნულების მისაღებად გამოვიყენეთ Pix4D პროგრამული უზრუნველყოფა (იხ. ნახ. 2.3.2).



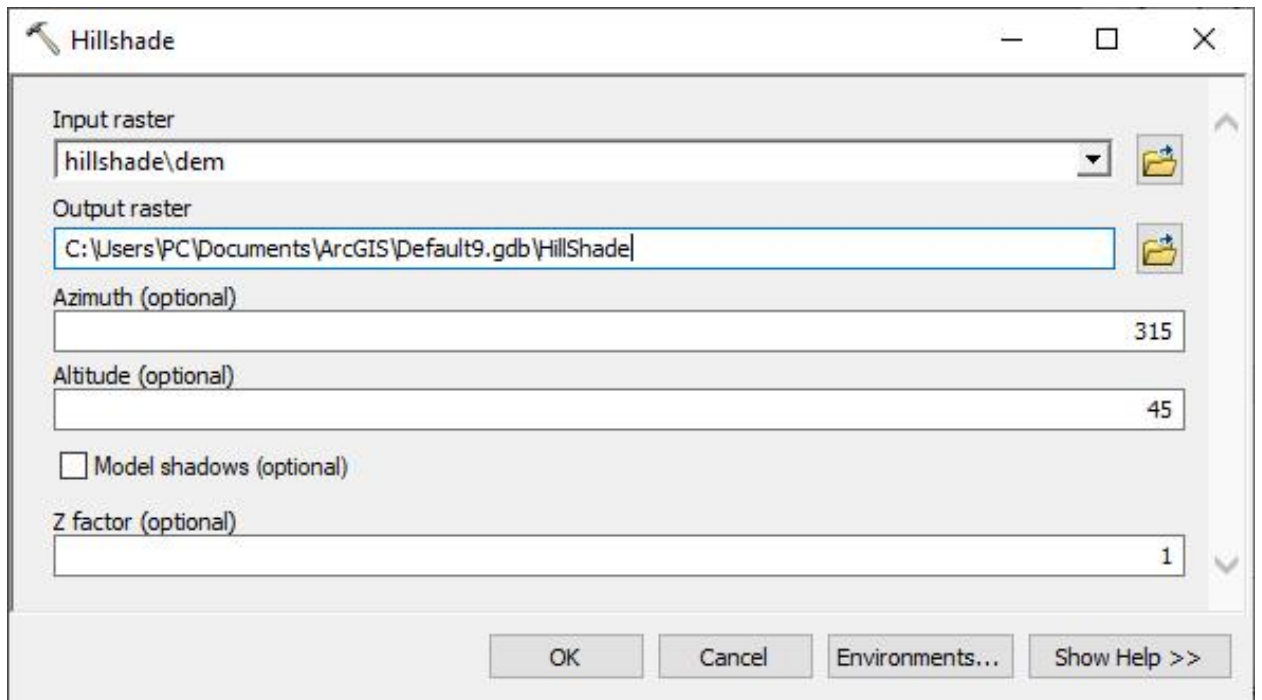
**ნახ. 2.3.2. Pix4D-ის ლოგო**

სიმაღლითი ნიშნულებიდან (*elevation*) DEM-ის მისაღებად გამოყენებულია ESRI-ის გის პროგრამული უზრუნველყოფის ArcGIS-ის დამატებითი მოდულის – 3D Analyst-ის ფუნქციები (ნახ. 2.3.3).



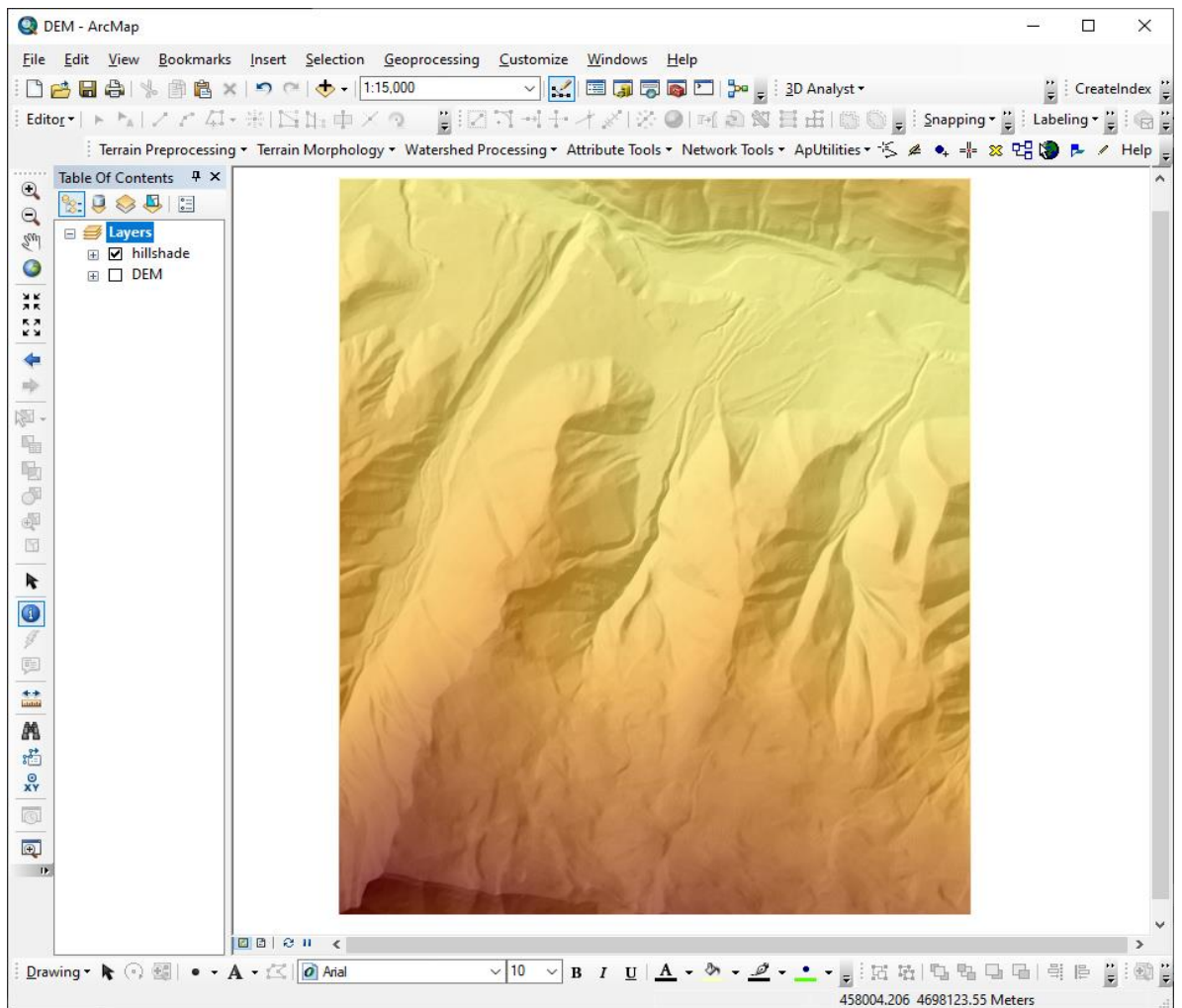
**ნახ. 2.3.3. DEM-ის ასაგებად გამოიყენებული ArcGIS 3D Analyst-ის ინსტრუმენტი**

DEM-ის დახმარებით შესაძლებელია რელიეფის ვიზუალიზაცია, რისთვისაც ხდება რელიეფის დაჩრდილვის მოდელის (*hillshade*) აგება (იხ. ნახ. 2.3.4, 2.3.5)



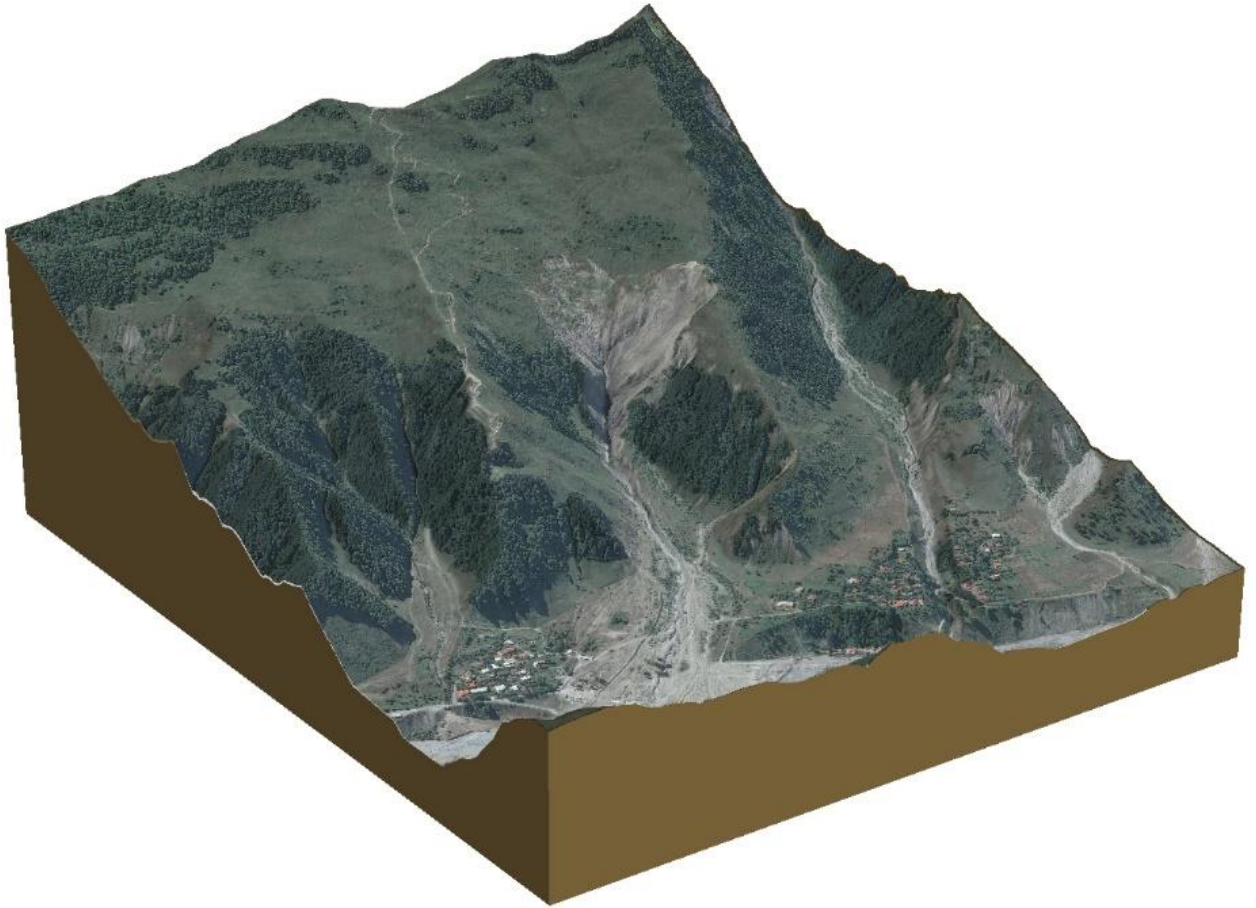
ნახ. 2.3.4. რელიეფის ვიზუალიზაციისათვის საჭირო *hillshade* ინსტრუმენტი





**ნახ. 2.3.5. რელიეფის დაჩრდილვის მოდელი (*hillshade*)**

DEM-ის დახმარებით შესაძლებელია ადგილის სამგანზომილებიანი მოდელის აგება, რომელიც ვიზუალური ანალიზისთვის საუკეთესო მასალას იძლევა (იხ. ნახ. 2.3.6.)

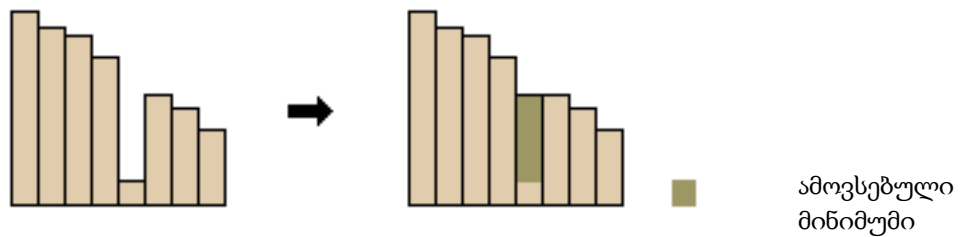


**ნახ. 2.3.6. მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის სამგანზომილებიანი მოდელი**

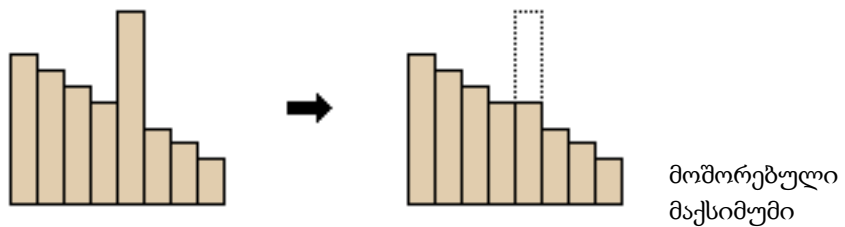
ჰიდროლოგიური მოდელირებისა და გამოანგარიშებისათვის DEM-ს სპეციალური დამუშავება სჭირდება. შესაძლებელია მას გარკვეული ხარვეზები ჰქონდეს, რაც პირველ რიგში ლოკალური ჩადაბლებების (მინიმუმი) ან ამაღლებების (მაქსიმუმი) არსებობაში შეიძლება გამოიხატებოდეს. ამაში იგულისხმება შემდეგი: DEM-ის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ფერდობის დაქანების მიმართულებით ყოველი მომდევნო პიქსელი წინაზე განსაზღვრული სიმაღლით დაბალია, მაგრამ ეს კანონზომიერება შეიძლება დარღვეული იყოს და მომდევნო პიქსელი წინაზე მნიშვნელოვნად დაბლა ან მაღლა შეიძლება მდებარეობდეს, რაც წარმოქმნის ლოკალურ მინიმუმებს, ან მაქსიმუმებს. ასეთის არსებობის შემთხვევაში ჰიდროლოგიური მოდელირება და გამოანგარიშება, ან შეუძლებელია ან შეცდომების შემცველი იქნება.

ზემოაღნიშნული ხარვეზის აღმოფრხვა შესაძლებელია DEM-ის

შესაბამისი ციფრული დამუშავების შედეგად. ამისათვის ჩვენ გამოვიყენეთ ESRI-ის გის პროგრამული უზრუნველყოფის ArcGIS-ის დამატებითი აპლიკაციის – Arc Hidro-ს ფუნქცია – Fill Sinks. მისი დახმარებით შესაძლებელია ლოკალური მინიმუმის და მაქსიმუმის აღმოფხვრა (ნახ. 2.3.7., 2.3.8.).

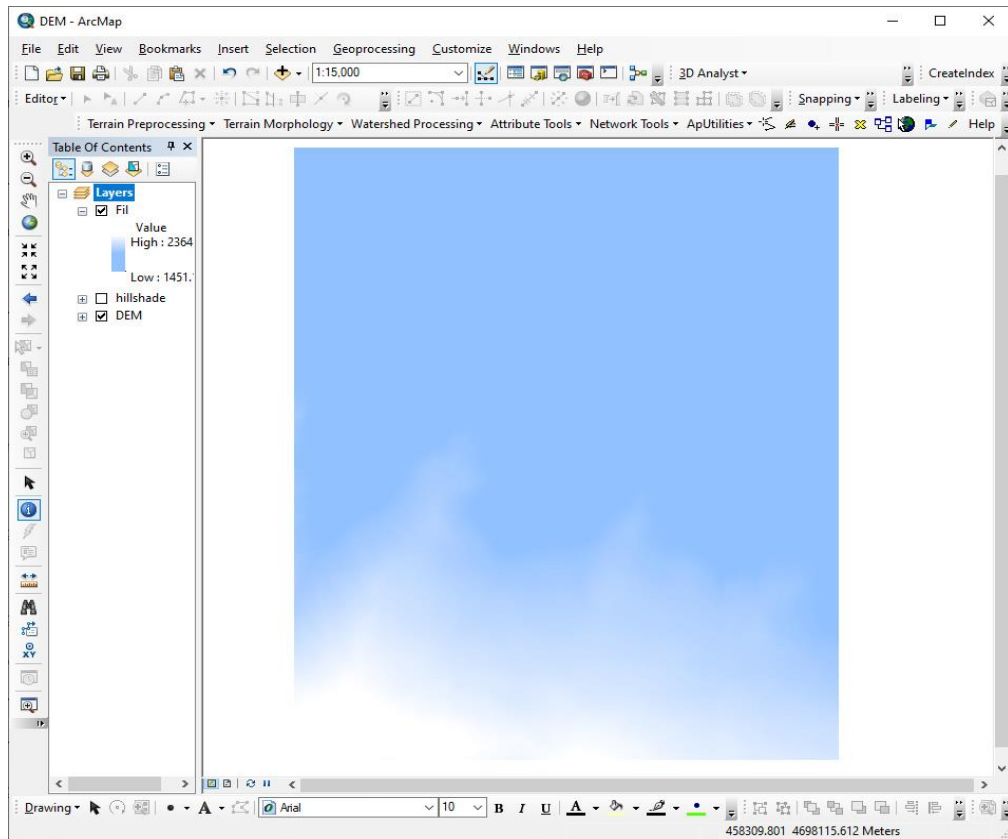


ნახ. 2.3.7. ლოკალური მინიმუმის პროფილი



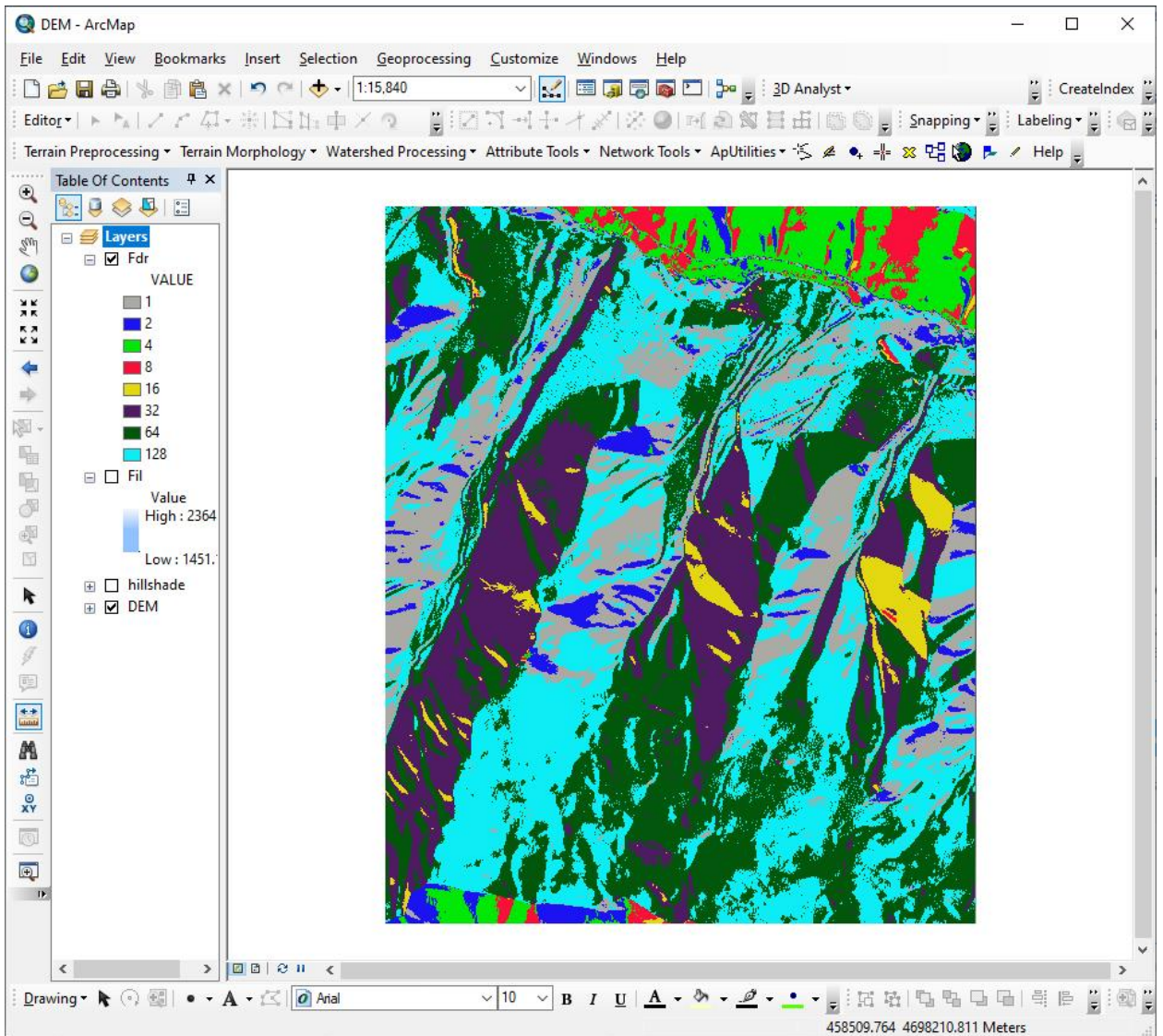
ნახ. 2.3.8. ლოკალური მაქსიმუმის პროფილი

შედეგად მივიღებთ დამუშავებულ DEM-ს, რომელიც ჰიდროლოგიური მოდელირებისა და გამონაგარიშების საშუალებას იძლევა (იხ. ნახ. 2.3.9.).



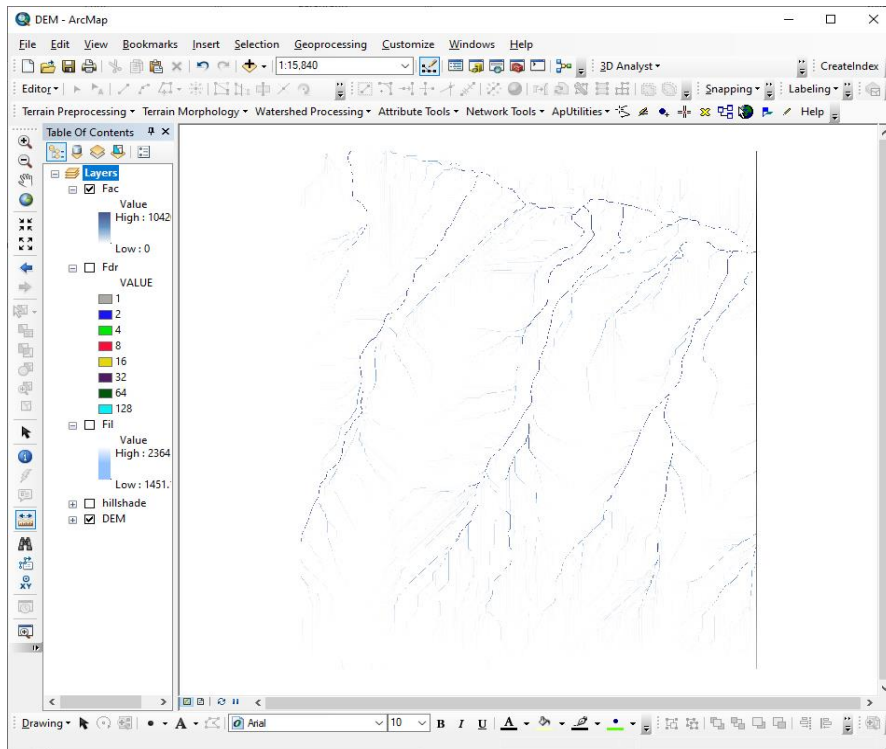
ნახ. 2.3.9. Arc Hydro-ში დამუშავებული DEM

მომდევნო ეტაპზე Fill Sinks-ით დამუშავებული DEM-იდან ხდება წყლის ნაკადის მიმართულებების (*flow direction*) განსაზღვრა (ნახ. 2.3.10.).



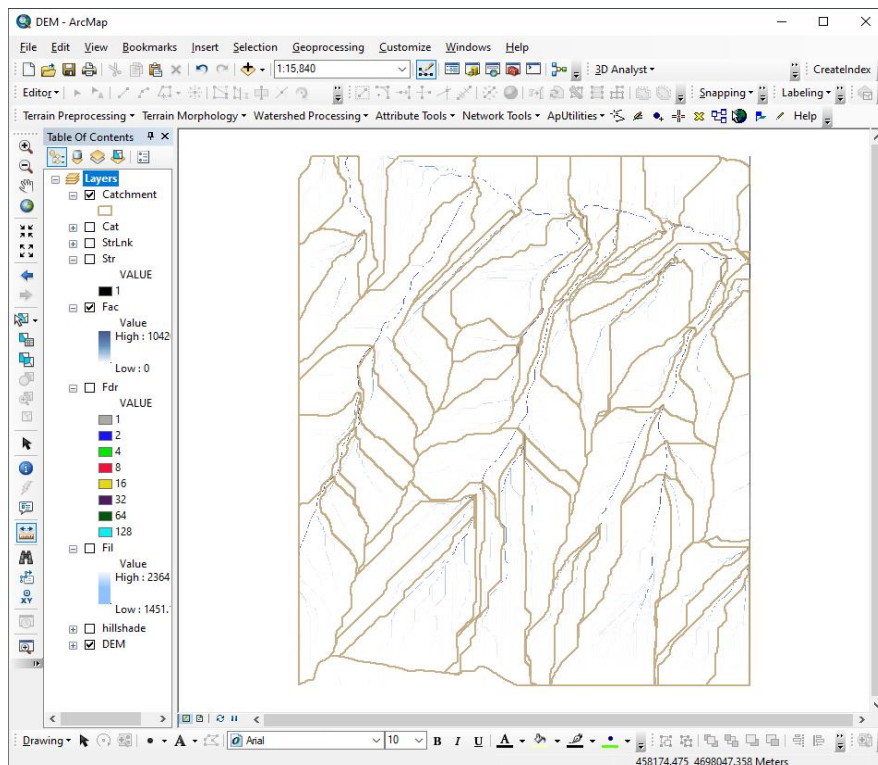
ნახ. 2.3.10. მღეთის ხევის წყალსადინარში წყლის ნაკადის მიმართულებები (flow direction)

წყლის ნაკადის მიმართულებებიდან განისაზღვრება აკუმულაციის ტალღეები – წყალშემკრების ყველაზე დაბალი წერტილების შემადგენელი ხაზები. პრაქტიკულად ეს არის აუზის პოტენციური ნაკადების სადინარები (ნახ. 2.3.11.).



ნახ. 2.3.11. წყალშემკრები აუზის აკუმულაციის ტალღეები (*flow accumulation*)

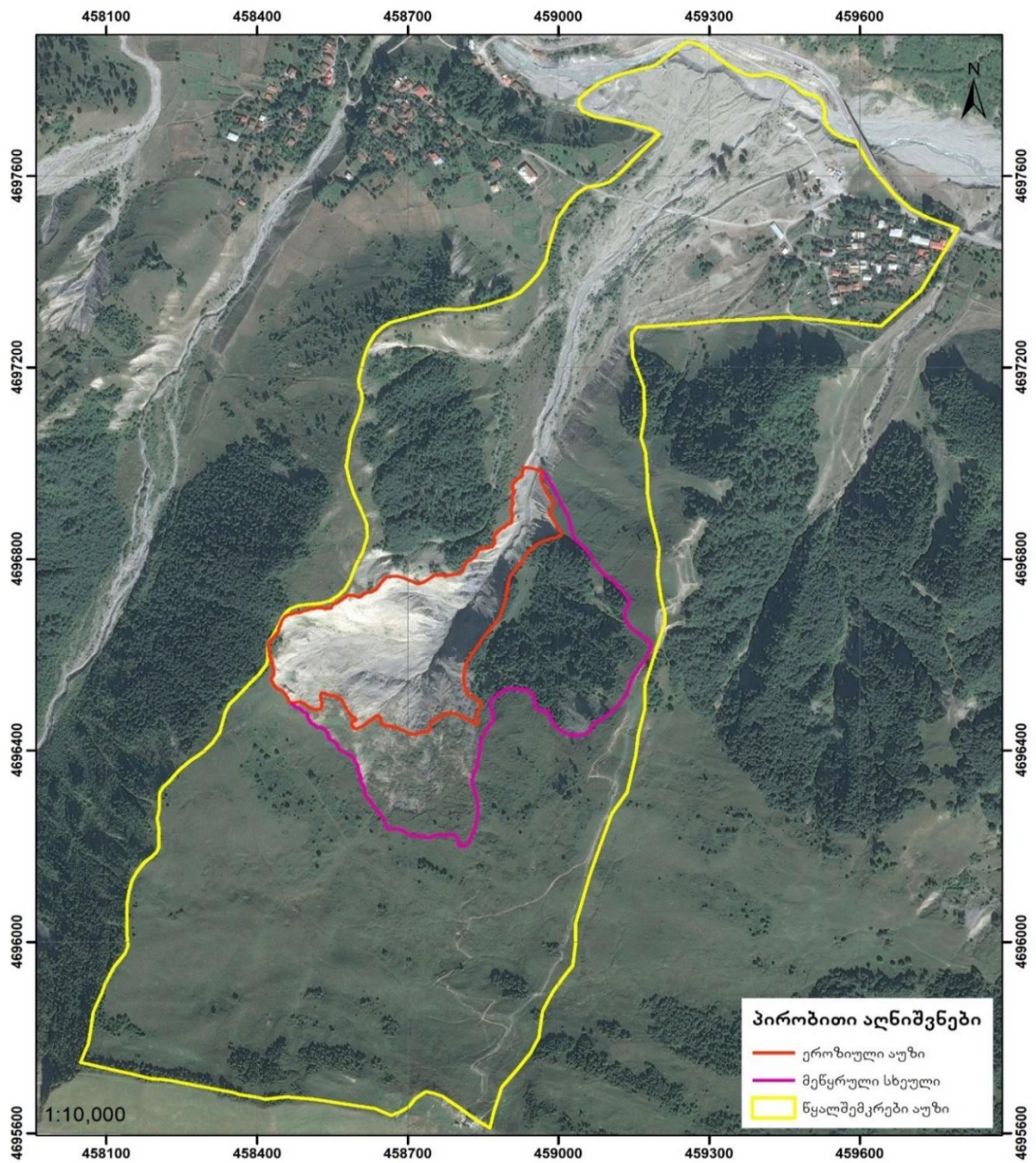
შემდეგი თანმიმდევრული გის ტექნიკური პროცედურების შედეგად მივიღებთ, წყალშემკრები მიკროაუზების საზღვრებს (ნახ. 2.3.12.).



ნახ. 2.3.12. მღეთის ხევში არსებული წყალშემკრები მიკროაუზები

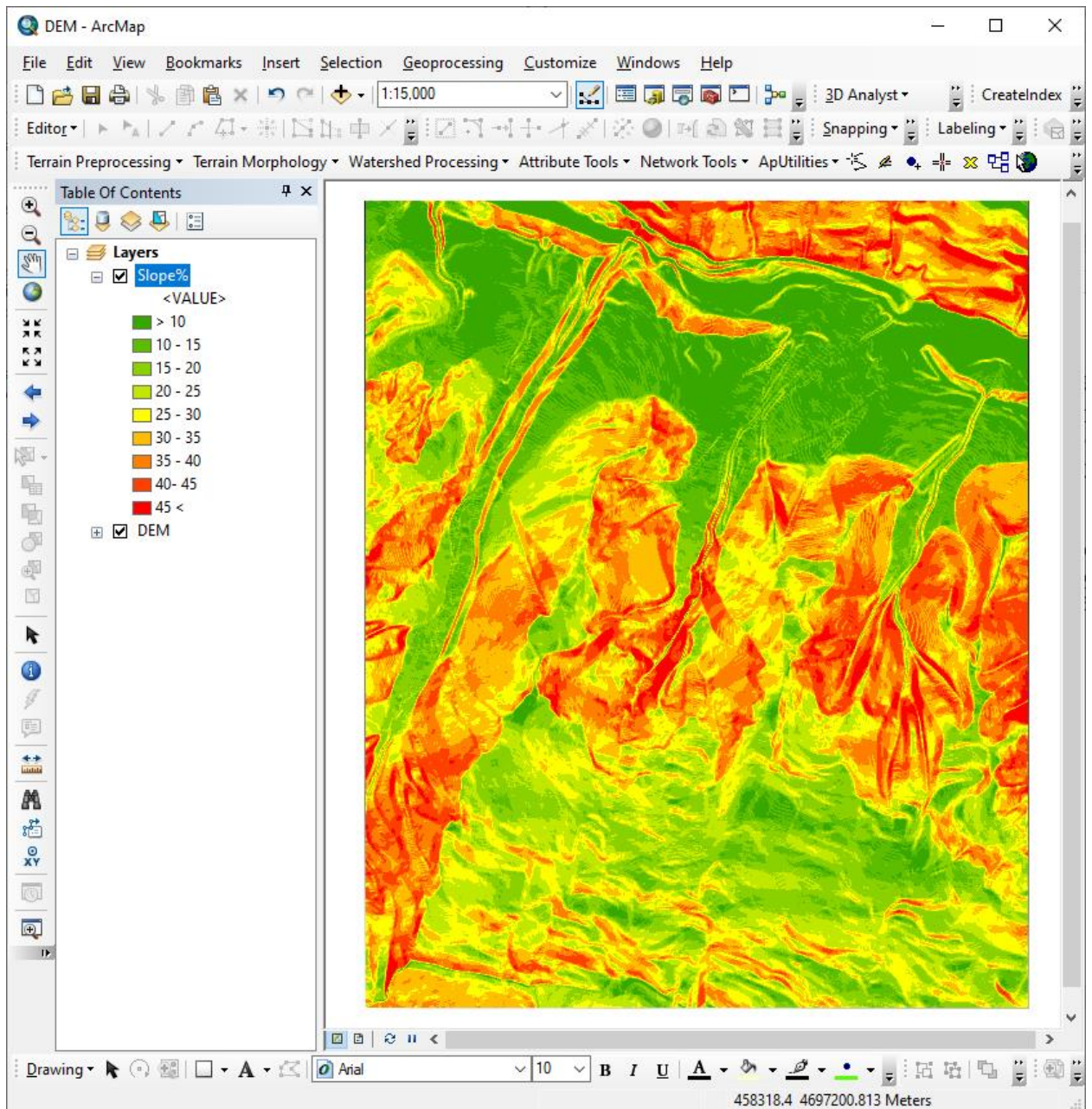
მიკროაუზების გაერთიანებით მივიღებთ მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზს, ეროზიულ აუზს და მეწყრულ სხეულს (ნახ. 2.3.13.). ეს მონაცემები საფუძვლად დაედო კომპიუტერულ პროგრამა RAMMS-ით ღვარცოფული პროცესის მოდელირებისათვის საჭირო საბაზისო ვექტორულ (shapefile) მონაცემებს – წყალშემკრები აუზი, ეროზიული აუზი, ნაკადის სადინარი და მეწყრული სხეული [16,45].

### მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზი



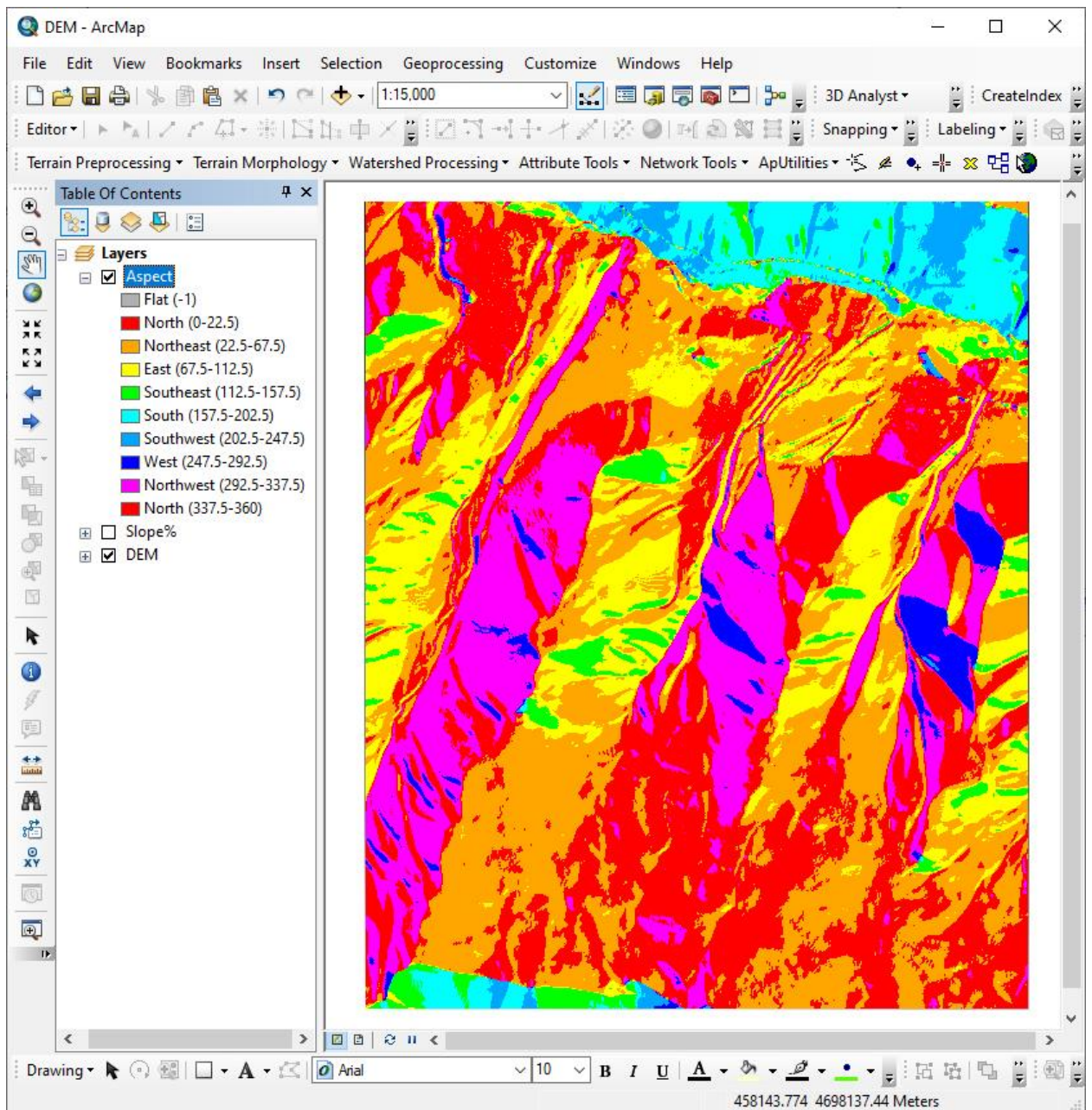
ნახ. 2.3.13. მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზი

ArcGIS-ის დამატებითი მოდულის – 3D Analyst-ის დახმარებით ასევე შესაძლებელია DEM-იდან მივიღოთ რელიეფის ზედაპირების დახრილობები და ფერდობთა ექსპოზიციები, რომლებიც ღვარცოფწარმოქმნელ მნიშვნელოვან ფაქტორებს წარმოადგენს და პროგნოზული ანალიზისთვის საუკეთესო მასალას იძლევა (იხ. ნახ. 2.3.14, 2.3.15).



ნახ. 2.3.14. მღეთის ხევის რელიეფის ზედაპირების დახრილობები (გრადუსებში)

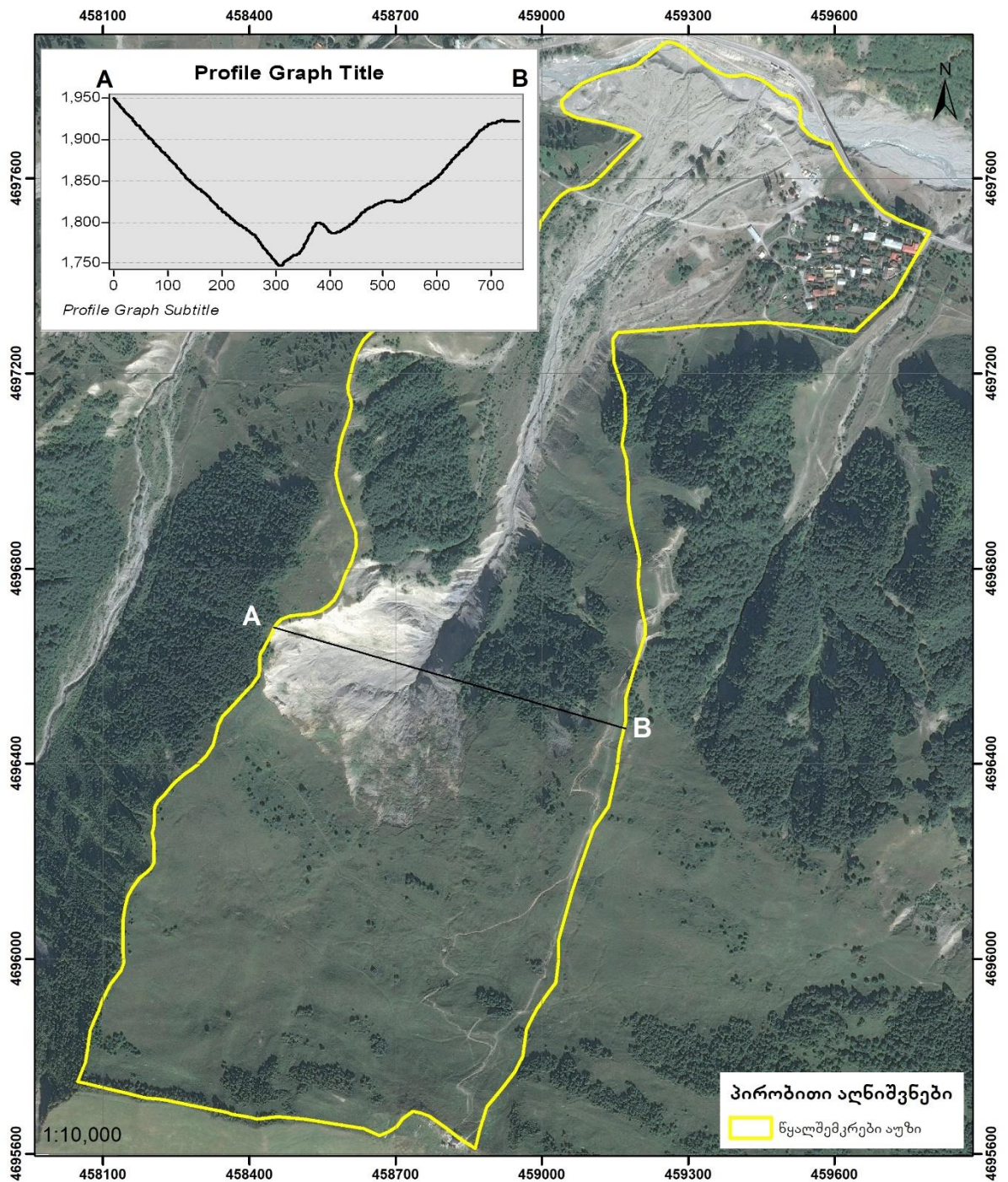




ნახ. 2.3.15. მლეთის ხევის ფერდობთა ექსპოზიციები

DEM-ის დახმარებით შესაძლებელია ხეობის ნებისმიერ ადგილზე დეტალური გასწვრივი და განივი პროფილების აგება (ნახ. 2.3.16.).

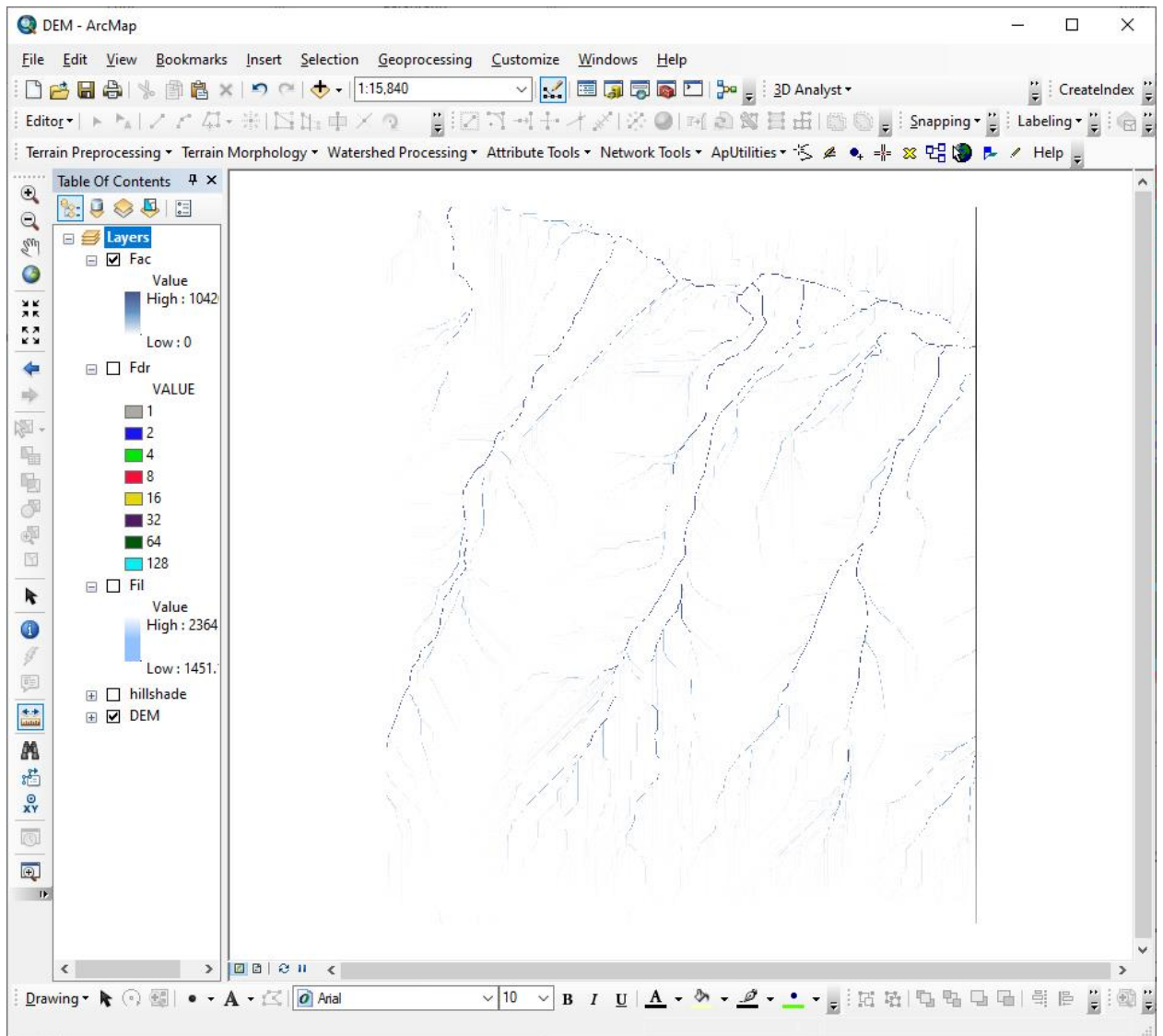
## მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზი (ხეობის განივი პროფილი)



ნახ. 2.3.16. მლეთის ხევის ხეობის განივი პროფილი AB მიმართულებით

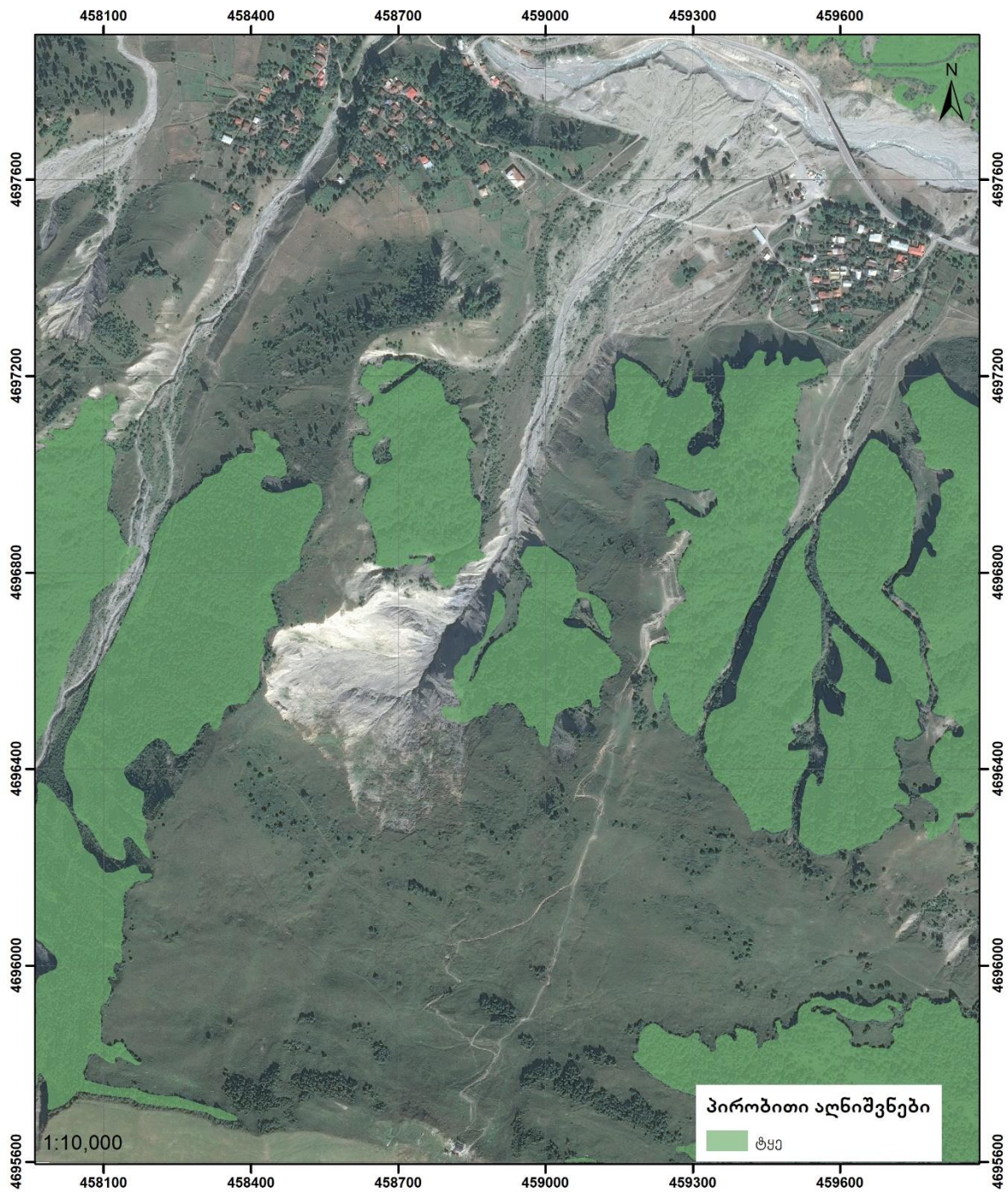
გარდა ამისა, გეოინფორმაციულ სისტემებში მოხდა მთელი რიგი თემატური სივრცითი მონაცემების ინტეგრირება. მათ შორის აღსანიშნავია: ჰიდრომეტეოროლოგიური მახასიათებლები (იხ. ნახ. 2.3.17.), მცენარეული

საფარი (იხ. ნახ. 2.3.18.), გეოლოგიური აგებულება (იხ. ნახ. 2.3.19.), ღვარცოფმაფორმირებელი ეროზირებული და მეწყრული უბნები (იხ. ნახ. 2.3.20.), ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფული მასა (იხ. ნახ. 2.3.21.).



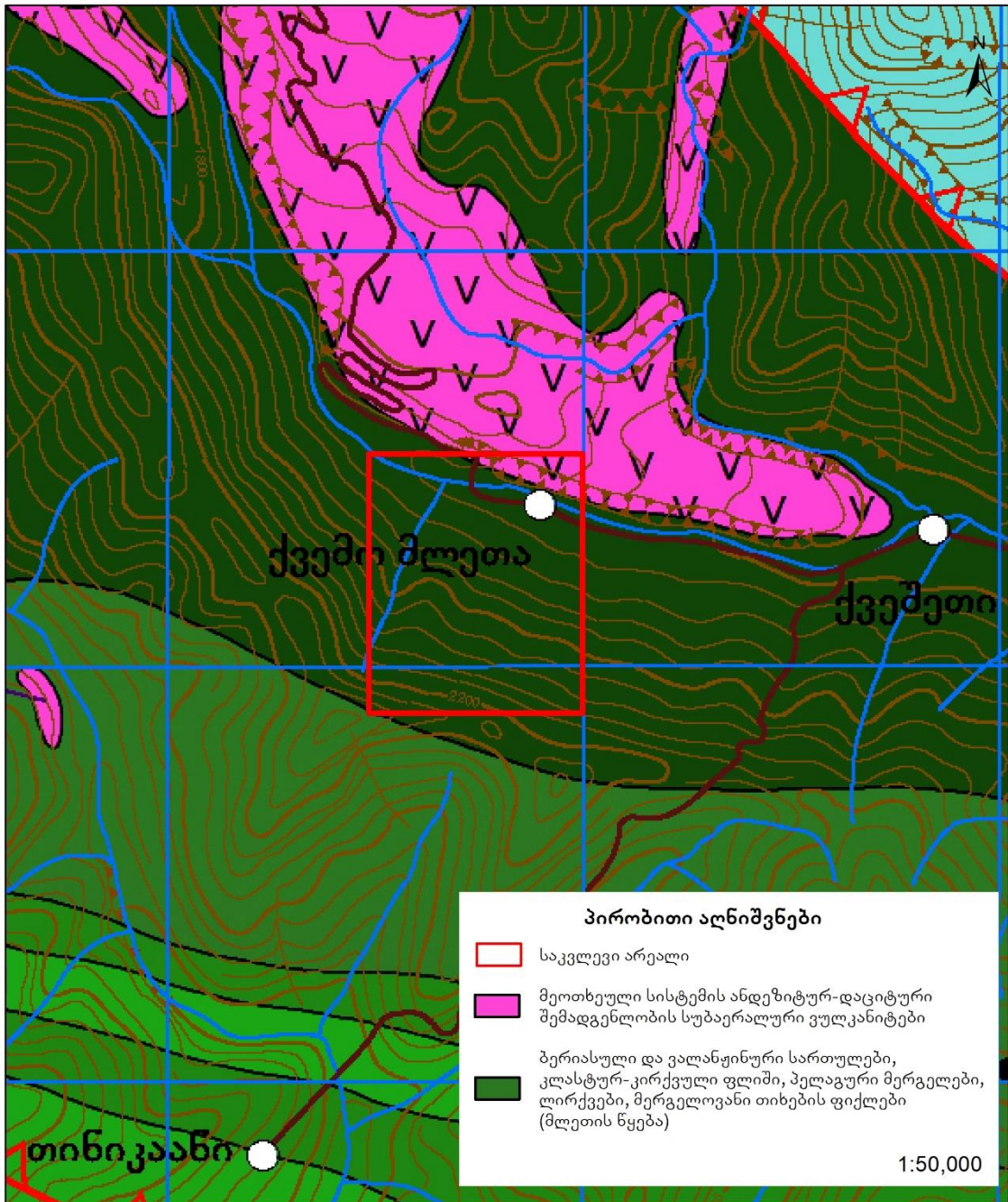
ნახ. 2.3.17. მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზში ჰიდროქსელი

### მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის მცენარეული საფარის



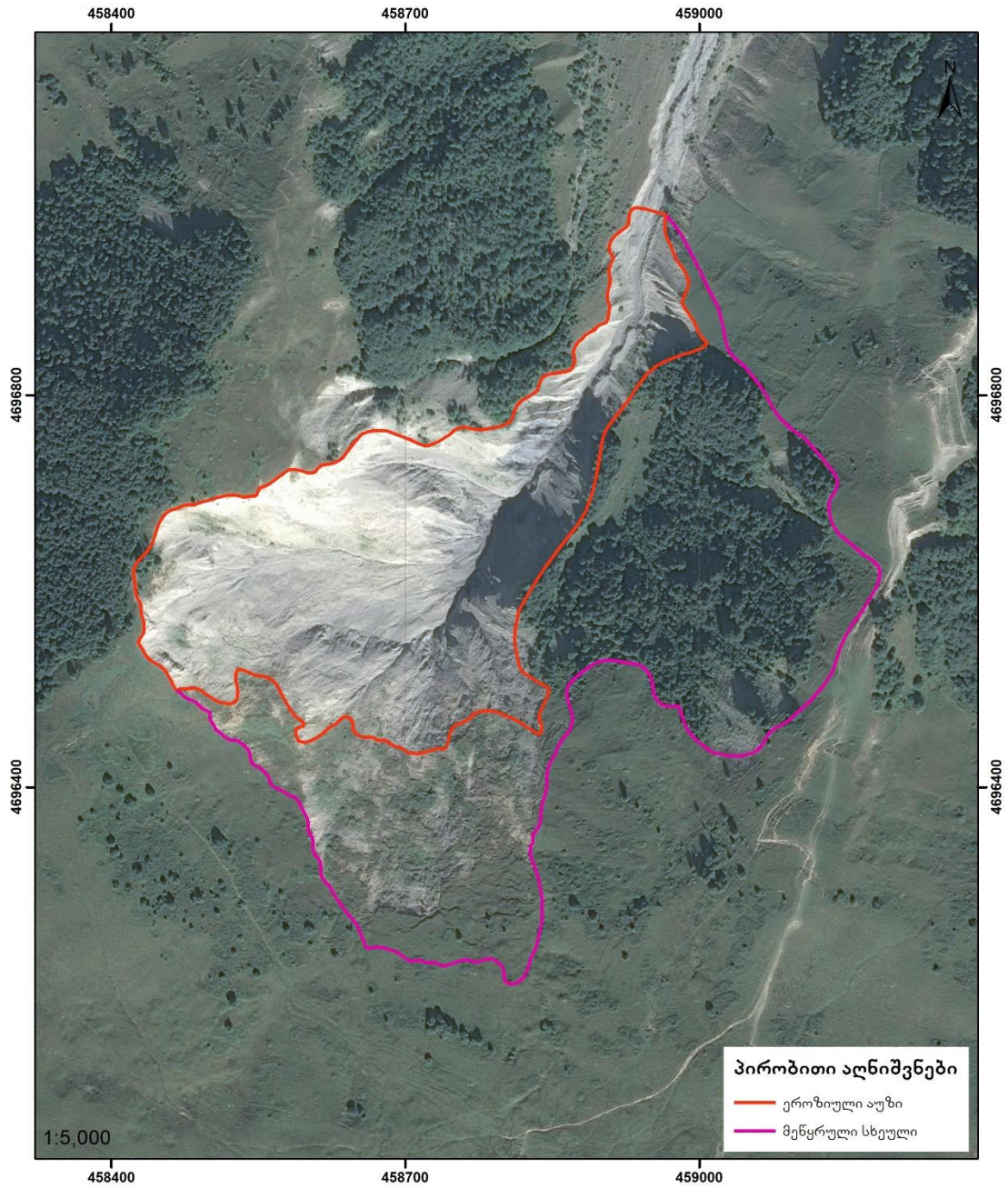
ნახ. 2.3.18. მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზში მცენარეული საფარის გავრცელება

**მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის  
გეოლოგიური რუკა**



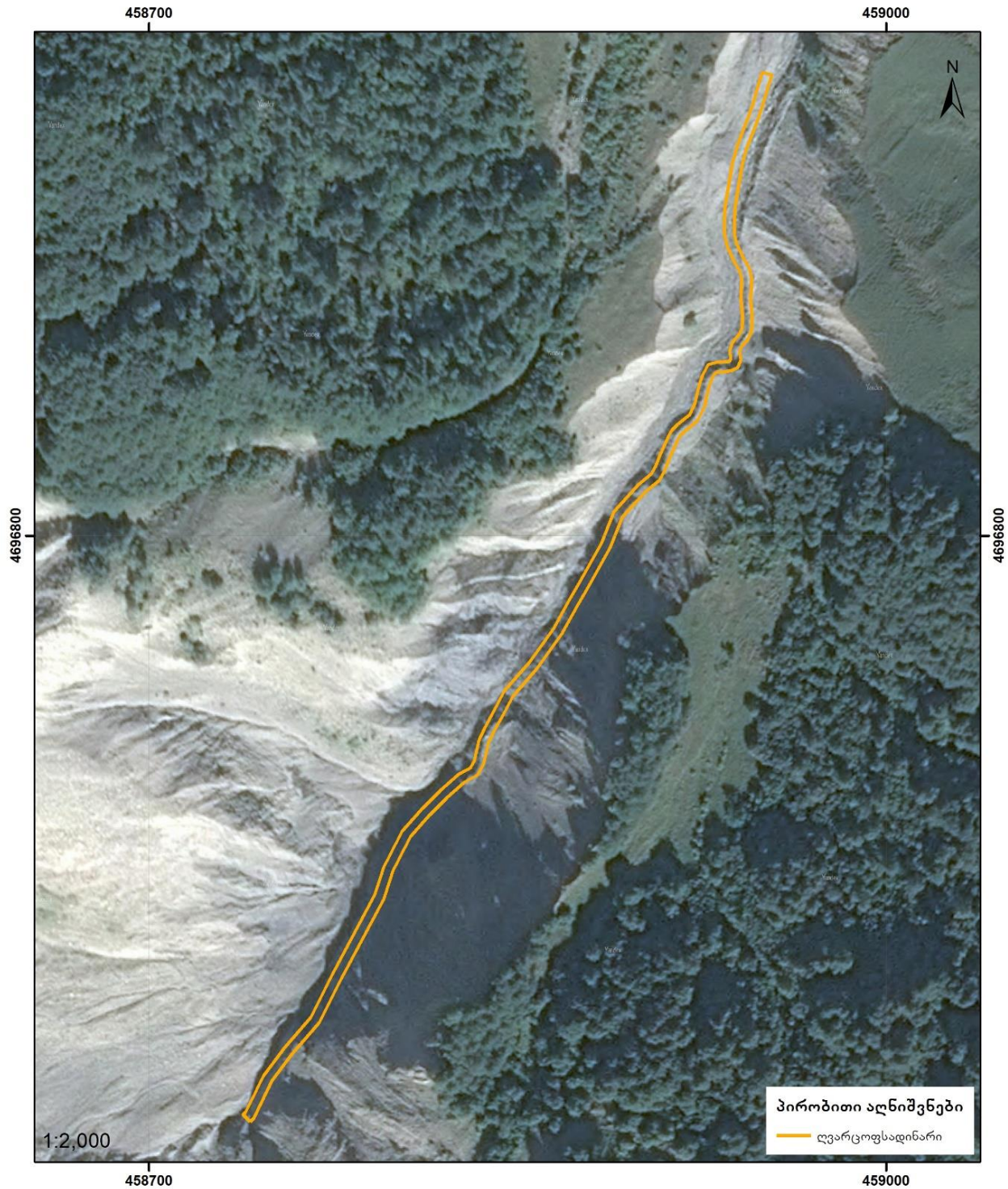
ნახ. 2.3.19. მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის გეოლოგიური აგებულება

**მლეთის ხევის წყალგამტარების აუზში  
ეროზიული ფართობი და მეწყრული სხეული**



**ნახ. 2.3.20. მლეთისხევეში ეროზიული ფართობის  
და მეწყრული სხეულის გავრცელება**

**მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის  
ღვარცოფსადინარში აკუმულირებალი ღვარცოფული მასა**



**ნახ. 2.3.21. მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის ღვარცოფსადინარში  
აკუმულირებალი ღვარცოფული მასის გავრცელება**

გეოინფორმაციული სისტემების გამოყენებით შექმნილი რელიეფის

სიმაღლითი მოდელის საშუალებით განხორციელდა შემდეგი: რელიეფის ქანობების დადგენა, ფერდობთა ექსპოზიციების განსაზღვრა, მდინარის კალაპოტის პროფილების აგება და რაც მთავარია RAMMS-ით მოსალოდნელი ღვარცოფის მოდელირება და ღვარცოფის მახასიათებელი სიდიდეების დადგენა.

#### 2.4. მლეთისხევში არსებული მეწყრისა და ღვარცოფსადინარში დაგროვილი ღვარცოფმაფორმირებელი მყარი მასის მდგრადობის დადგენა

მლეთისხევი აუზში მოსალოდნელი ეკოლოგიური რისკების განსაზღვრისათვის საჭიროა, განხორციელებული სავლე კვლევების შედეგად იდენტიფიცირებული მეწყრული სხეულის მდგრადობის შეფასება, რისთვისაც ჩატარდა შემდეგი გათვლები [12, 50, 65, 66]:

- მეწყრული სხეულიდან აღებული ნიადაგის სინჯების ლაბორატორიული კვლევის შედეგები:  $\varphi=23^\circ$  - შიდა ხახუნის კუთხე,  $c = 0,25 \text{ ტ/მ}^2$  - შეჭიდულობა,  $n = 0,43$  – ფორიანობა,  $\rho_\theta = 2,72 \text{ ტ/მ}^3$  - მინერალის სიმკვრივე,  $\rho_b = 1 \text{ ტ/მ}^3$  წყლის სიმკვრივე.

აღნიშნული ლაბორატორიული მასალები გამოყენებულ იქნა მეწყრულ ფერდობზე გრუნტის შრის კრიტიკული (მომძრაობის დაწყება) სიღრმის დასადგენად, „მშრალი“ გრუნტის შემთხვევაში. გათვლები ჩატარდა შემდეგნაირად [12,37,38]:

$$\frac{1}{\bar{z}} \leq \frac{c}{\rho_{\theta} z} = \sin \alpha - \tan \varphi \cos \alpha \quad (2.4.1.),$$

სადაც  $\bar{z} = \frac{\rho_b z}{c}$  - არის გრუნტის შრის ფარდობითი სისქე, რომლის ზრდა განაპირობებს ფერდობის ძვრას;  $\alpha$  - არის ფერდობის დაქანების კუთხე, ხოლო წყლით გაჯერებული ფერდობის დროს გვექნება:

$$\frac{1}{\bar{z}_1} \leq \frac{c}{\rho_{\theta} z_1} = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_\theta}\right) \cdot (\sin \alpha - \tan \varphi \cos \alpha) + \frac{\rho_b}{\rho_\theta} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{1}{1-n} \quad (2.4.2.),$$

ზემოაღნიშნული მონაცემების გათვალისწინებით ვღებულობთ შემდეგ დამოკიდებულებებს:



$$\frac{1}{z_1} = \left(1 - \frac{1}{2,72}\right) (\sin \alpha - 0,42 \cos \alpha) + \frac{1}{2,72} \sin \alpha \frac{1}{1-0,43} = 0,63 \sin \alpha - 0,26 \cos \alpha + 0,64$$

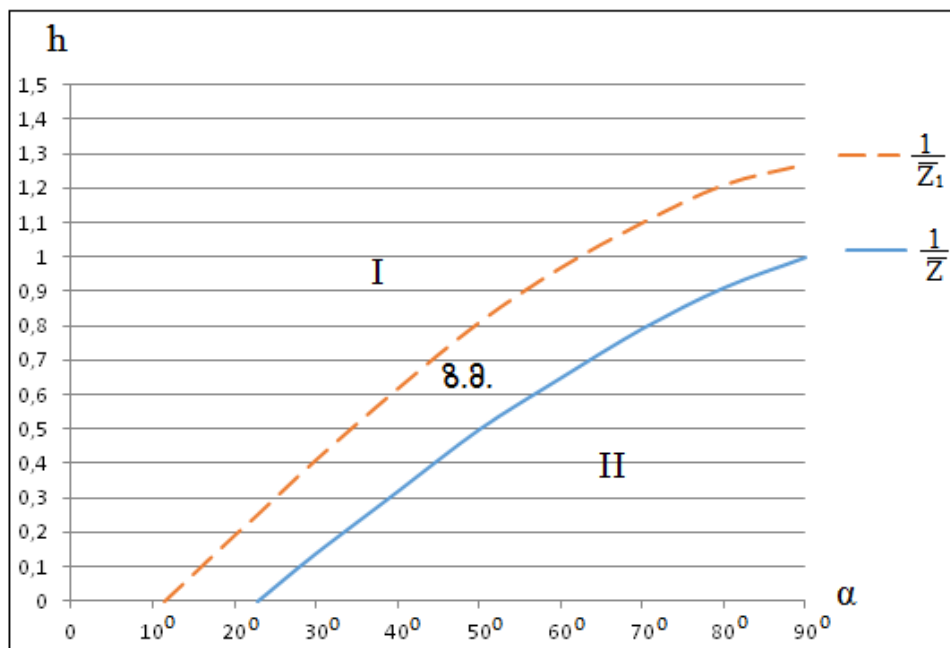
$$\sin \alpha = 1,27 \sin \alpha - 0,26 \cos \alpha; \quad (2.4.3.)$$

საბოლოოდ გვექნება:

$$\frac{1}{z} = \sin \alpha - 0.42 \cos \alpha \quad (2.4.3.)$$

$$\frac{1}{z_1} = 1.27 \sin \alpha - 0.26 \cos \alpha \quad (2.4.4.)$$

აღნიშნულ ფორმულებში ფერდობის კრიტიკულ ფარდობით სიღრმეებსა და დახრილობას შორის დამოკიდებულება გამოსახება შემდეგნაირად (ნახ. 2.4.1):



ნახ. 2.4.1. ფერდობის კრიტიკული ფარდობით სიღრმეებსა და ქანობს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი

ნახაზზე I არე აღნიშნავს ფერდობის მდგრად მდგომარეობას, ზ.მ. აღნიშნავს ზღვრულს, ხოლო II კი ზღვარს მიღმა არსებულ ფერდობის მდგომარეობას, ანუ როცა ფერდობი შესაძლებელია დაიძრას.

აღნიშნული გრაფიკის მიხედვით, ფერდობის წყლით გაჟღენთვა დაქანების კრიტიკულ კუთხეს (მოძრაობის დაწყება) ამცირებს  $12^{\circ} \div 28^{\circ}$ -ით.

„მშრალი“ გრუნტისთვის  $\rho = 1.5 \text{ ტ/მ}^3$ , მაშინ  $\alpha = 30^{\circ}$ -ის შემთხვევაში  $\frac{c}{\rho g z} \leq 0.13$ , საიდანაც  $z \geq 1,28 \text{ მ}$  - მოძრაობა დაიწყება.

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

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ჩვენ მიერ მლეთისხევეში დაფიქსირებული ფერდობი მეწყერსაშიშაა, რადგან ფერდობის  $30^\circ$ -იანი დახრის შემთხვევაში, საკმარისია  $0,61$  მ-ის სიღრმის გრუნტი, რომ წყლით მოხდეს ფერდობის მდგრადობის რღვევა.

ანალოგიური მეთოდით განხორციელდა კვლევები მლეთისხევის წყალსადინარში დაგროვილი ღვარცოფმაფორმირებელი მასის მდგრადობის დადგენისათვის:

მლეთისხევის ღვარცოფსადინარში დაგროვილი ღვარცოფული მასის მახასიათებლები:  $\varphi=39^\circ$  ფერდობის შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტის შიდა ხახუნის კუთხე,  $c = 0,41\text{ტ/მ}^2$  შეჭიდულობა,  $n = 0,6$  ფორიანობა,  $\rho_a = 1,85\text{ტ/მ}^3$  ღვარცოფის მყარი მასის სიმკვრივე,  $\rho_b = 1\text{ტ/მ}^3$  სითხის სიმკვრივე.

აღნიშნული მასალა გამოვიყენეთ ღვარცოფსადინარში დაგროვილი ღვარცოფული მყარი მასის შრის კრიტიკული სიღრმის დასადგენად, „მშრალი“ გრუნტის მაგალითზე; გაანგარიშება განხორციელდა შემდეგნაირად[3,4]:

$$\frac{1}{z} \leq \frac{c}{\rho g z} = \sin \alpha - \tan \varphi \cos \alpha \quad (2.4.5.),$$

სადაც  $\bar{z} = \frac{\rho_b z}{c}$  - არის გრუნტის შრის ფარდობითი სისქე, რომლის ზრდა იწვევს ღვარცოფული მყარი მასის ძვრას;  $\alpha$  - არის ფერდობის დაქნების კუთხე, ხოლო წყლით გაჟღენთილი ფერდობის დროს გვაქვს:

$$\frac{1}{z_1} \leq \frac{c}{\rho g z_1} = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_a}\right) \cdot (\sin \alpha - \tan \varphi \cos \alpha) + \frac{\rho_b}{\rho_a} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{1}{1-n} \quad (2.4.6.),$$

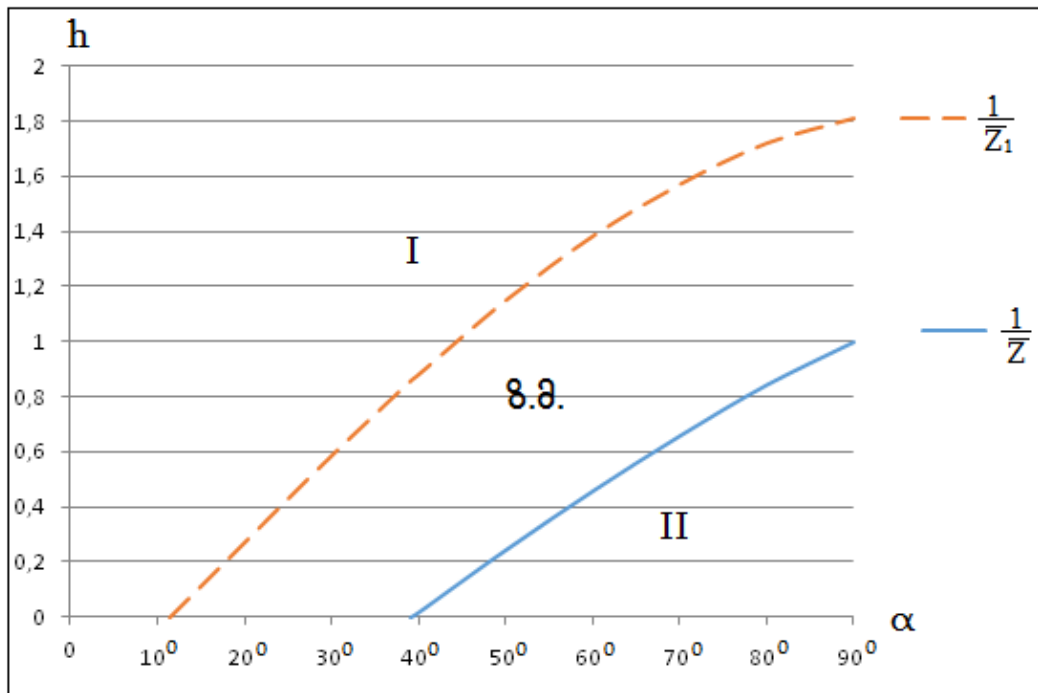
ზემოაღნიშნული ლაბორატორიული მონაცემების გათვალისწინებით ვღებულობთ შემდეგს:

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

$$\frac{1}{z} = \sin \alpha - 0,81 \cos \alpha \quad (2.4.7.),$$

$$\frac{1}{z_1} = 1.81 \sin \alpha - 0.37 \cos \alpha \quad (2.4.8.).$$

მლეთისხევის ღვარცოფსადინარში დაგროვილი ღვარცოფული მყარი მასის კრიტიკულ ფარდობით სიღრმეებსა და ფერდობის დახრილობას შორის დამოკიდებულება გამოისახება შემდეგი გრაფიკით (ნახ. 2.4.2).



ნახ. 2.4.2. წყალსადინარში აკუმულირებული ღვარცოფული მასის კრიტიკული ფარდობით სიღრმეებსა და ქანობს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი

I არე შეესაბამება მლეთისხევის ღვარცოფსადინარში დაგროვილი ღვარცოფული მყარი მასის წონასწორულ მდგომარეობას, ზ.მ. შეესაბამება ზღვრულ მდგომარეობას, ხოლო II კი ზღვარს მიღმა არსებულ ფერდობის მდგომარეობას, ანუ როცა ღვარცოფული მყარი მასა იძვრის.

ზემოაღნიშნული გრაფიკის მიხედვით, წყლით გაჯერება ღვარცოფსადინარში დაგროვილი ღვარცოფული მყარი მასის დახრის კრიტიკულ კუთხეს (მოძრაობის დაწყება) ამცირებს  $28^{\circ} \div 45^{\circ}$ -ით.

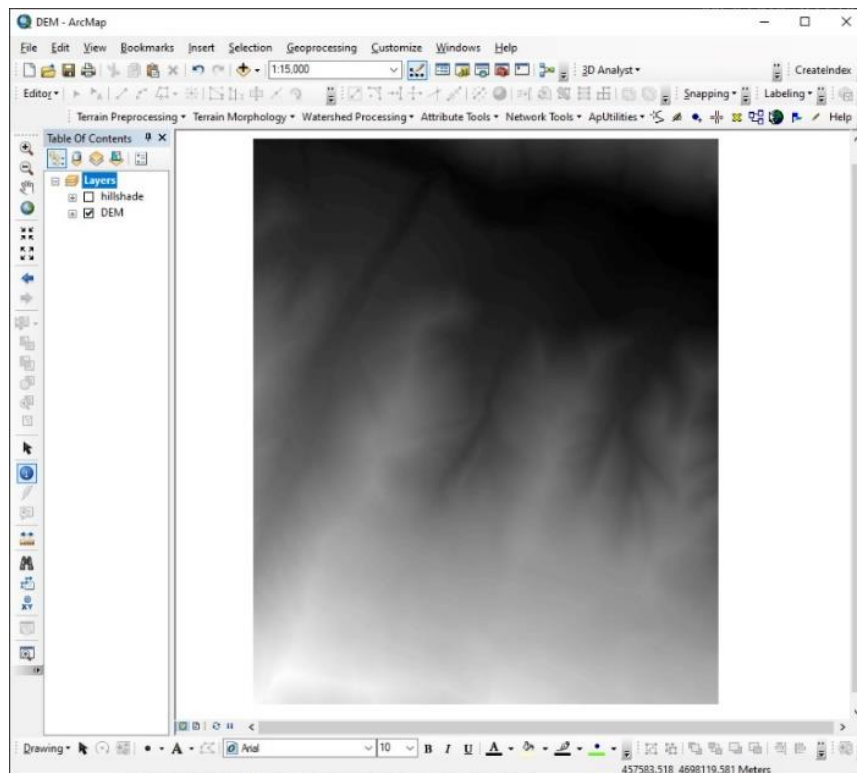
„მშრალი“ გრუნტისთვის  $\alpha = 40^{\circ}$ -ის შემთხვევაში  $z \geq 1,0$ მ და დაიწყება მოძრაობა.  $\alpha = 50^{\circ}$  – ის შემთხვევაში  $z \geq 0,9$ მ.

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

მლეთისხევში განხორციელებული საველე კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ღვარცოფსადინარის დაქანების კუთხე  $30^{\circ}$ - $40^{\circ}$ -ის ფარგლებშია, ხოლო მდინარის კალაპოტში დაგროვილი ღვარცოფმაფორმირებელი მყარი მასის შრის სისქე 2-3 მეტრია, ჩატარებული ანგარიშის შედეგებიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ დიდი ინტენსივობის წვიმის ფორმირებისას შესაძლებელია მდინარე მლეთისხევის კალაპოტში ღვარცოფის ფორმირება.

## 2.5. RAMMS-ის გამოყენებით მლეთისხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის მოდელირება

მლეთისხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის მოდელირებისათვის გამოყენებული იქნა მლეთისხევის რელიეფის სიმაღლითი მოდელი - 2x2 მ რეზოლუციის DEM (ხ. ნახ. 2.5.1.).



ნახ. 2.5.1. მლეთისხევის რელიეფის სიმაღლითი მოდელი DEM

მლეთისხევის წყალსადინარში განხორციელებული საველე და ლაბორატორიული კვლევის შედეგად მივიღეთ: ღვარცოფსადინარში დაგროვილი მყარი მასის მოცულობა, დაუცველ ფერდობებზე არსებული ეროზირებული ნიადაგის და მეწყრის სიღრმე, ასევე დადგინდა RAMMS-ში შესაყვანი მონაცემები შესაბამის ინსტრუქციაში მოცემული რეკომენდაციების მიხედვით [45,77](იხ. ცხრილი 2.5.1).

**ცხრილი 2.5.1**  
**RAMMS-ში შესაყვანი პარამეტრები**

ეროზირებულ ფერდობზე არსებული ნიადაგ-გრუნტის სიღრმე (მ)	ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული ნიადაგ-გრუნტის სიღრმე (მ)	მეწყრის სიღრმე (მ)	ღვარცოფის სიმკვრივე (კგ/მ <sup>3</sup> )	კულონის მშრალი ხახუნის კოეფიციენტი $\mu$	ბლანტ-ტურბულენტური ხახუნის კოეფიციენტი $\xi$ (მ/წმ <sup>2</sup> )	დედამიწის წნევის კოეფიციენტი $\lambda$	H კვეთის სიმაღლეების შემასწორებელი მნიშვნელობა (მ)
0,2	2,0	5.8	2000	0,1	120	1	0.0001

აღნიშნული მონაცემები შეყვანილი იქნა RAMMS-ში და ჩატარდა მლეთისხევის წყალსადინარში შესაძლო კატასტროფული ხასიათის ღვარცოფის კომპიუტერული მოდელირება, პროგრამირების მონაცემები მოყვანილია ქვევით:

\*\*\*\*\*

RAMMS::DEBRIS FLOW RAMMS OUTPUT LOGFILE

Output filename: D:\MLETA\MODEL\Model\_New\Model\_New.out.gz

Simulation stopped due to LOW FLUX!

Simulation stopped after 285.000s

Calculation time (min.): 47.12

Simulation resolution (m): 2.00

SIMULATION RESULTS

Number of cells: 708561

Number of nodes: 710623

Calculated Release Volume (m3): 1.13201e+006

Overall MAX velocity (m/s): 29.5694

Overall MAX flowheight (m): 52.6722

Overall MAX pressure (kPa): 2142.16

\*\*\*\*\*

RAMMS::DEBRIS FLOW 1.7.20 INPUT LOGFILE

Date: Thu Dec 26 21:45:28 2019

Input filename: D:\MLETA\MODEL\Model\_New\Model\_New.db2

Project: Model\_New

Details: Erozia

DEM / REGION INFORMATION:

DEM file: D:\MLETA\MODEL\Model\_New\Model\_New\_sink.xyz

DEM resolution (m): 2.00

(imported from: D:\MLETA\_1\RASTER\dem\_GK.tif)

DEM adaption: Release height subtracted from DEM!

Nr of nodes: 1277370

Nr of cells: 1275100

Project region extent:

E - W: 460033.66 / 457983.66

S - N: 4697563.1 / 4700051.1

CALCULATION DOMAIN:

D:\MLETA\MODEL\Model\_New\WyalSemktebi\_Auzi.dom

GENERAL SIMULATION PARAMETERS:

Simulation time (s): 1000.00

Dump interval (s): 5.00

Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5

Constant density (kg/m<sup>3</sup>): 2000

Lambda (): 1.0

NUMERICS:

Numerical scheme: SecondOrder

H cutoff (m): 0.000100

Curvature effects are ON!

RELEASE:

Depth: 5.80 m Vol: 1063640.0 m<sup>3</sup> Delay: 0.00 s Name: mewyeri.shp

Depth: 0.20 m Vol: 31888.9 m<sup>3</sup> Delay: 0.00 s Name: erozia\_2.shp

Depth: 2.00 m Vol: 6505.8 m<sup>3</sup> Delay: 0.00 s Name: kalapot.shp

Estimated release volume: **1102033.13 m<sup>3</sup>**

FRICITION MUXI:

Mu (): 0.100

Xi (m/s<sup>2</sup>): 120

COHESION:

No COHESION specified.

MAP / ORTHOPHOTO INFO:

Map file: D:\MLETA\Topo\25000\25000\_Top.tif

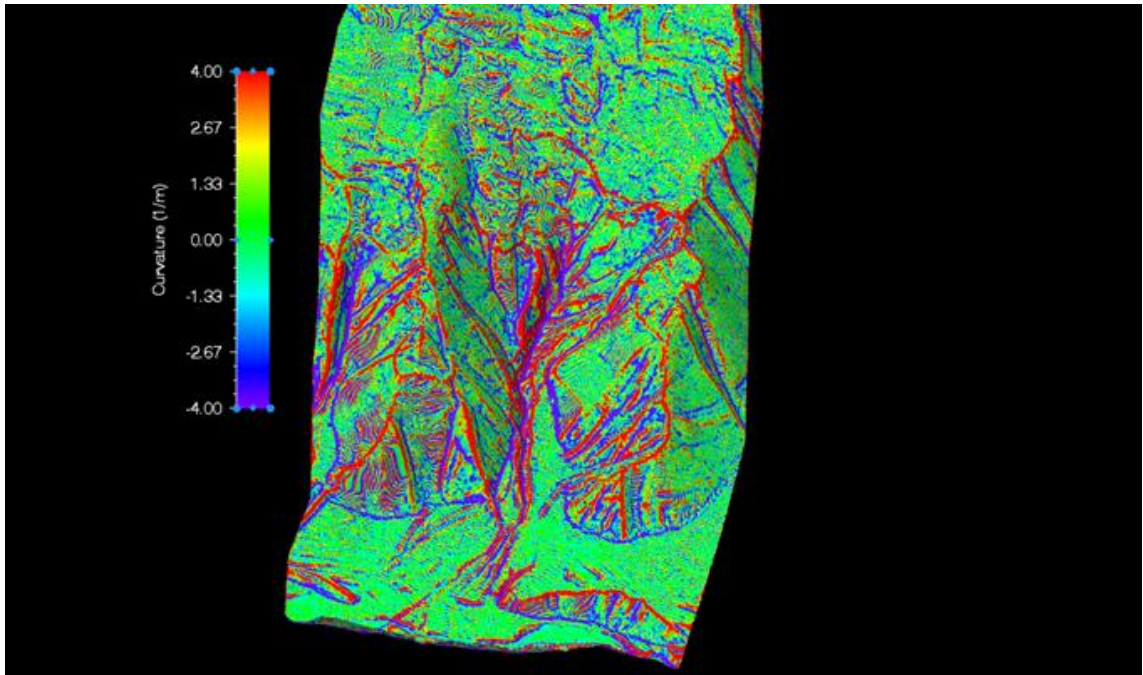
OrthoPhoto file: D:\Ortho\_Geo\Ortho\_Geo.tif

RAMMS-ით ჩატარებული მოდელირების მონაცემების შედეგად განისაზღვრა მლეთისხევის წყალსადინარში და დაუცველ ფერდობებზე პოტენციურად არსებული ღვარცოფმაფორმირებელი ნიადაგ-გრუნტის მოცულობები, მოსალოდნელი კატასტროფული ხასიათის ღვარცოფის მიერ გამოტანილი მყარი მასის შესაძლო მოცულობა, მლეთისხევის რელიეფის ფარდობითი სიმაღლეები და სიღრმეები, ღვარცოფის მაქსიმალური სიმაღლეები, ფერდობების დახრილობა, ღვარცოფის მაქსიმალური სიჩქარე და დაწნევა (იხ. ცხრილი 2.5.2., ნახ. 2.5.2.- 2.5.6.).

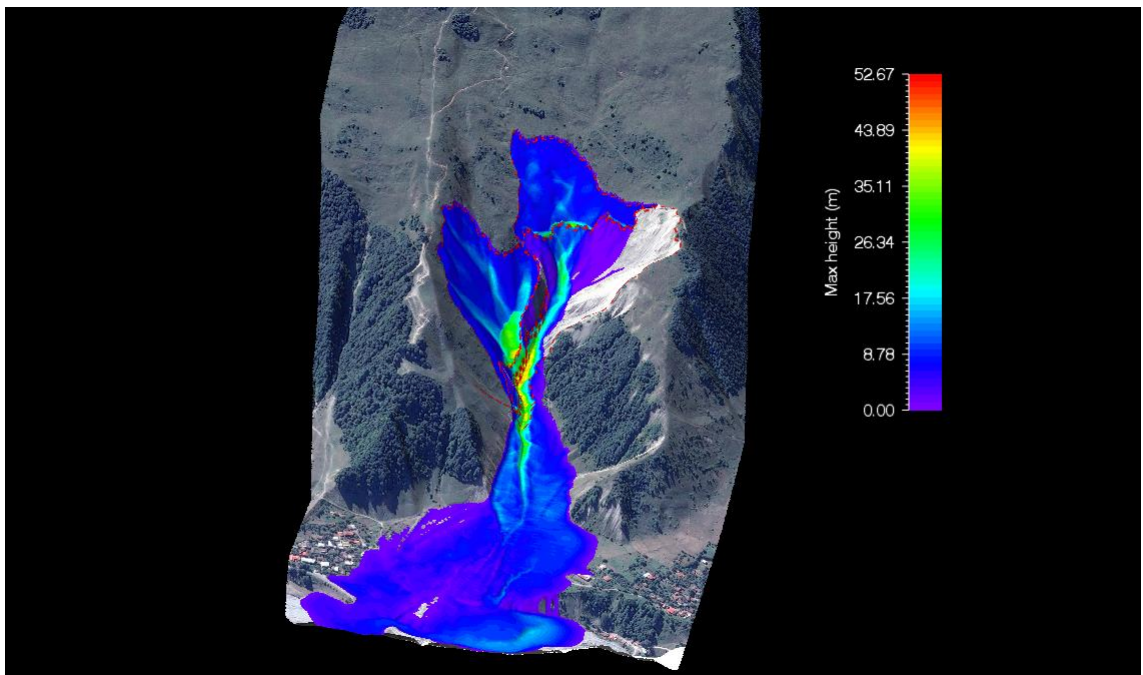
### ცხრილი 2.5.2.

#### RAMMS-ით განხორციელებული მოდელირების მონაცემები

სიმულაციის დრო (წმ.)	ფერდობზე არსებული ეროზირებული მასის მოცულობა მ <sup>3</sup>	ღვარცოფსადინარში აკუმულირებული ნიადაგ-გრუნტის მოცულობა მ <sup>3</sup>	მეწყრული სხეულის მოცულობა მ <sup>3</sup>	გამოტანილი ღვარცოფული მასის მოცულობა (მ <sup>3</sup> )	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

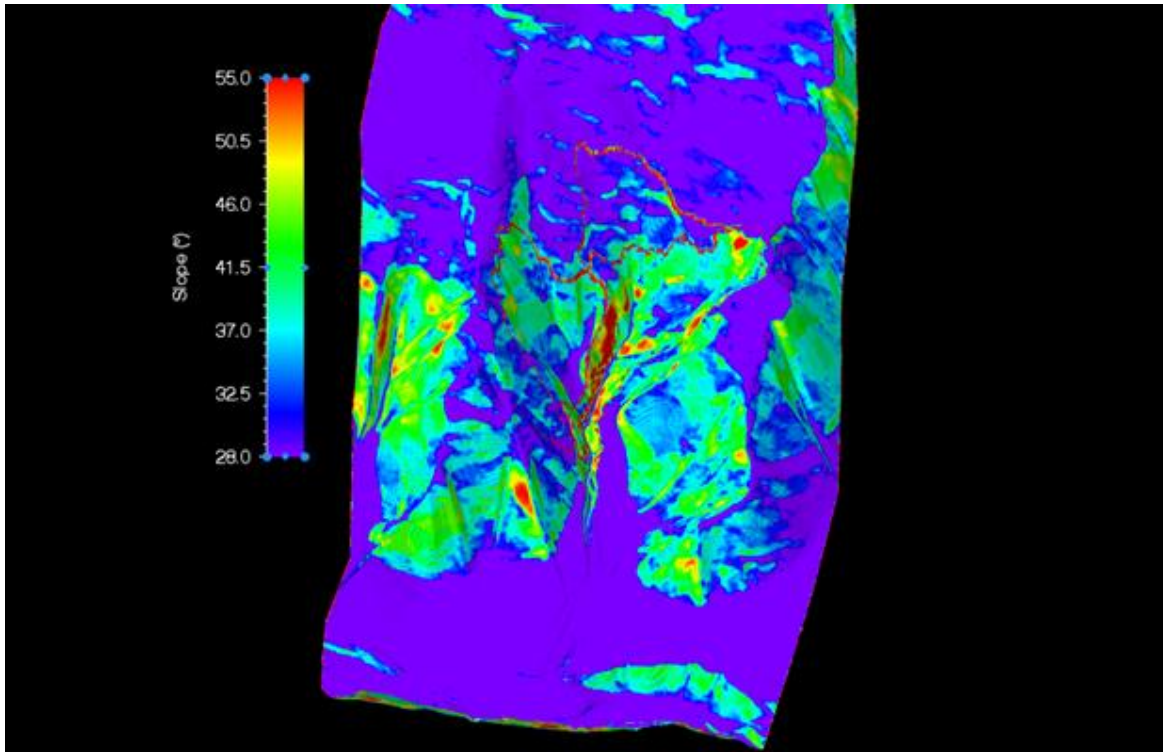


ნახ. 2.5.2. მლეთის ხევის რელიეფის ფარდობითი სიმაღლეები და სიღრმეები

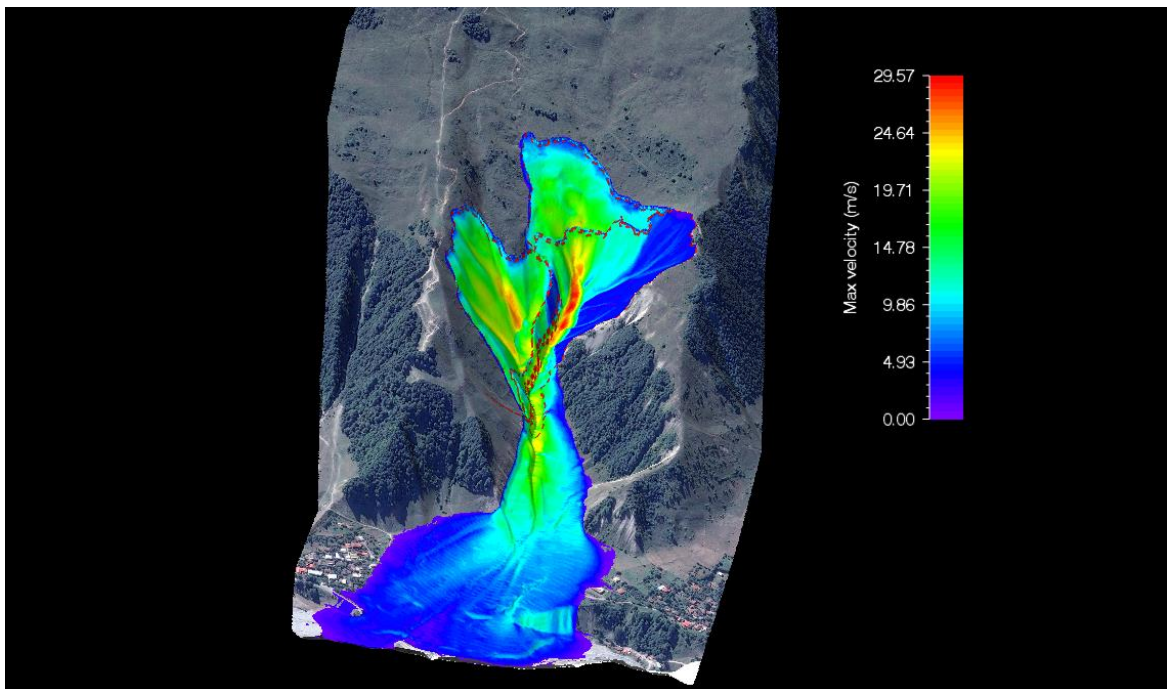


ნახ. 2.5.3. მლეთის ხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის მაქსიმალური სიმაღლეები

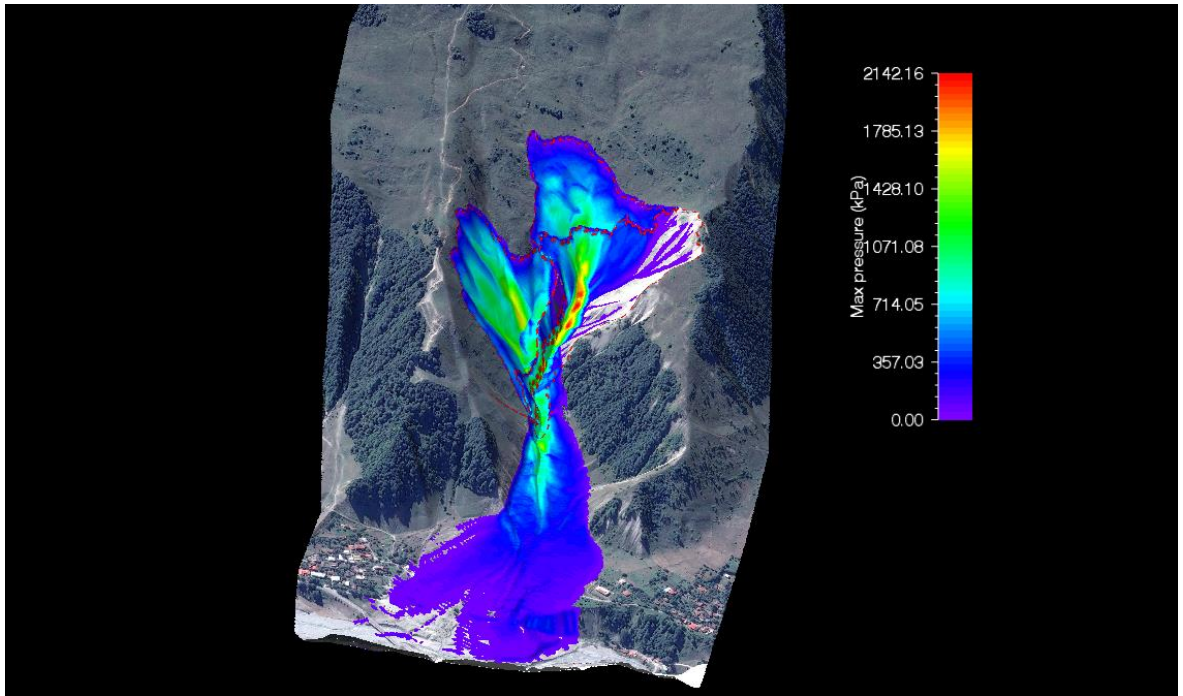




ნახ. 2.5.4. მლეთის ხევიში არსებული ფერდობების დახრილობა

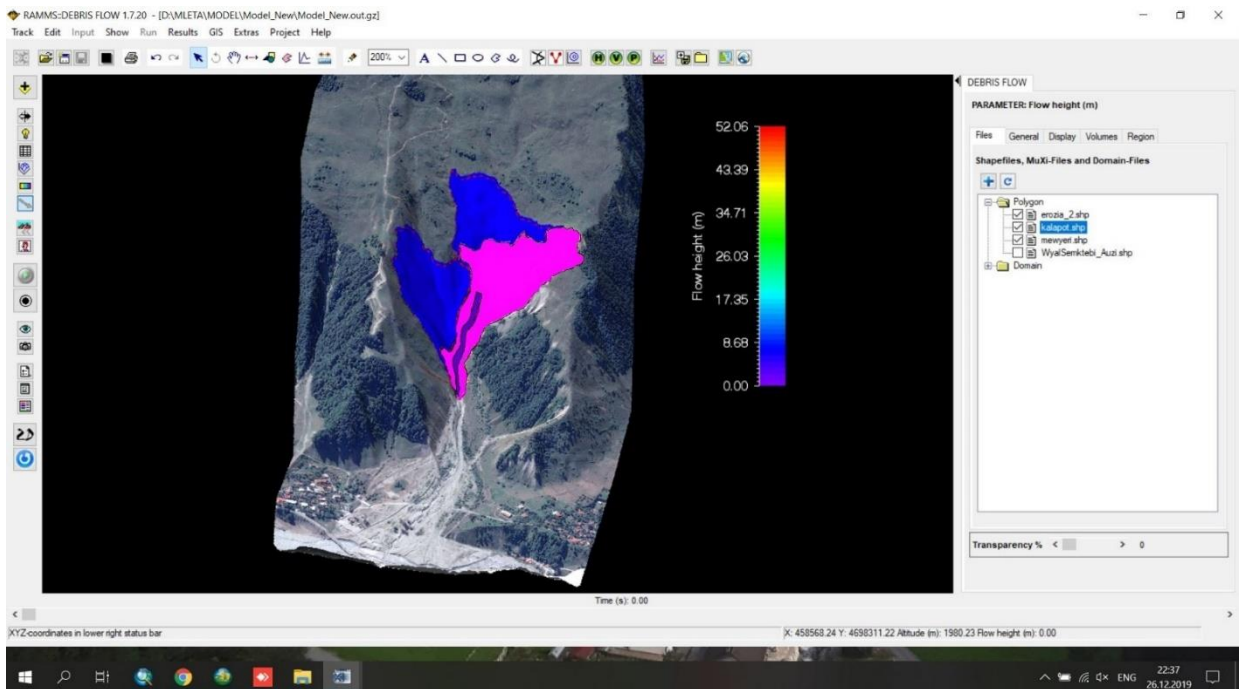


ნახ. 2.5.5. მლეთის ხევიში მოსალოდნელი ღვარცოფის მაქსიმალური სიჩქარეები

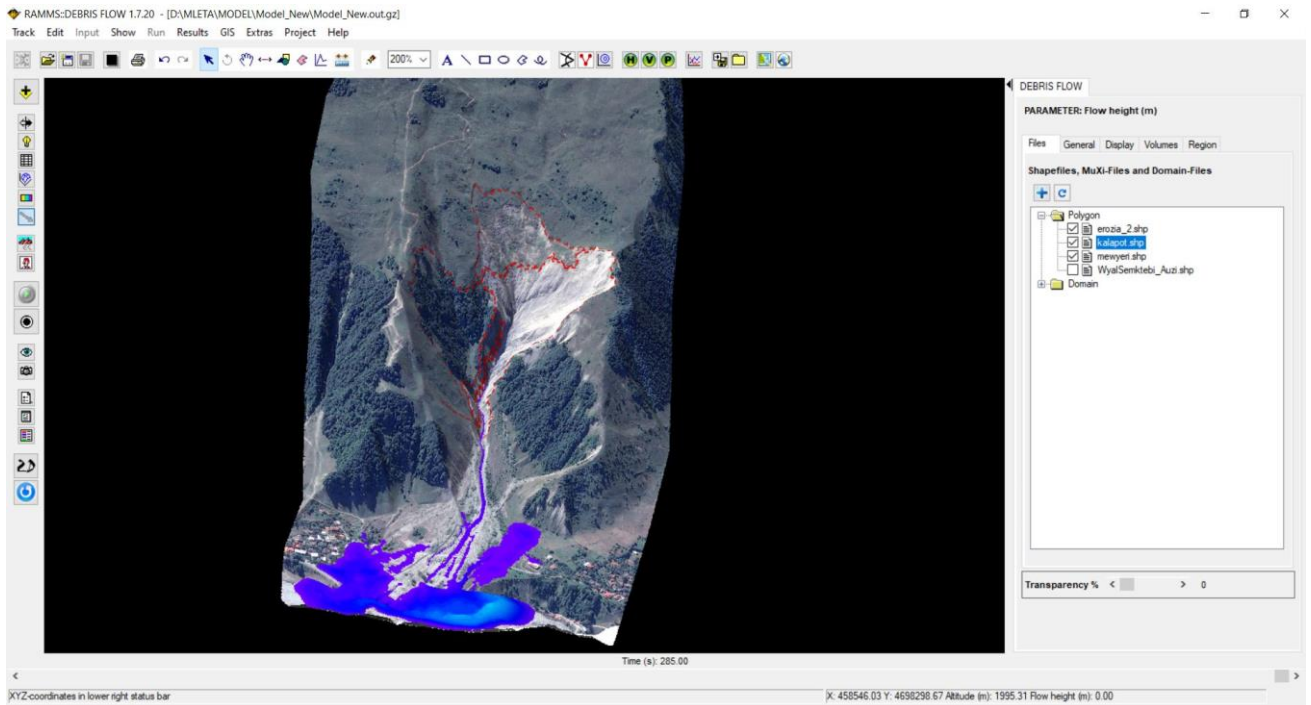


ნახ. 2.5.6. მღეთის ხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის მაქსიმალური დაწნევები

განხორციელებული მოდელირების შედეგად დადგინდა, მღეთისხევში შესაძლო კატასტროფული ხასიათის ღვარცოფის გავლენის ზონები და რისკის ზონაში მოხვედრილი სხვადასხვა ინფრასტრუქტურული ობიექტები (იხ. ნახ. 2.5.7., 2.5.8.).



ნახ. 2.5.7. მოდელირების საწყისი ეტაპი



ნახ. 2.5.8. მოდელირების საბოლოო ეტაპი

ამრიგად, მლეთისხევში მოსალოდნელი კატასტროფული ხასიათის ღვარცოფული მოვლენების RAMMS-ით მოდელირებისას დადგინდა ღვარცოფის მყარის მასის მოცულობა, რომელმაც შეადგინა **1 102 033 მ<sup>3</sup>**, რაც სტატისტიკურად ცნობილ მონაცემებს ემთხვევა [76].

RAMMS-ით ჩატარებული მოდელირებისას ასევე დადგინდა, მლეთისხევში შესაძლო კატასტროფული ხასიათის ღვარცოფის გავლენის ზონები, რომელშიც შედის დასახლებული პუნქტები და ეკლესია, ხიდი და საავტომობილო მაგისტრალი, ღვარცოფი პოტენციურად კეტავს მდ. თეთრი არაგვის კალაპოტს და ტბორავს მლეთის მოსახლეობის ნაწილს, ასევე შესაძლებელია მდ. თეთრი არაგვის კალაპოტში აკუმულირებული მყარი მასის ჟინვალის წყალსაცავში მოხვედრა და თბილისის წყალმომარაგების შეზღუდვა.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, დასტურდება მლეთისხევში შესაძლო ეკოლოგიური საფრთხე, რის გამოც აუცილებელია შეირჩეს და დაიგეგმოს ოპტიმალური ღვარცოფსაწინააღმდეგო საინჟინრო ღონისძიებები რათა მოსალოდნელი ეკოლოგიური რისკები მინიმუმამდე იქნას დაყვანილი.

### თავი 3. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის და ღვარცოფული მოვლენების მართვის შემუშავება

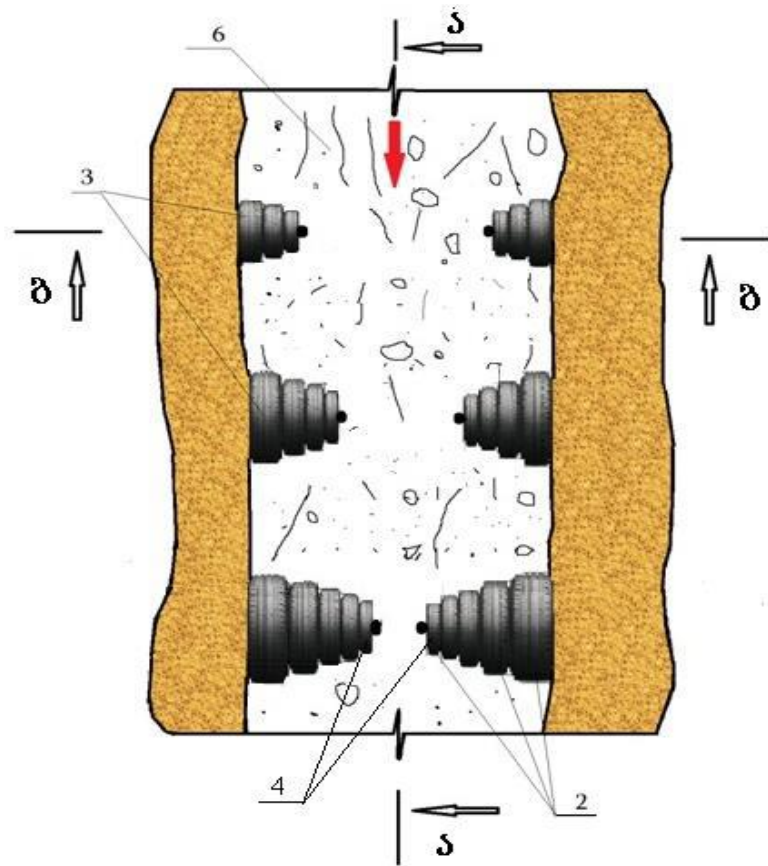
#### 3.1. მლეთის ხევის ღვარცოფსაღინარში განსახორციელებელ ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციაზე ღვარცოფის ზემოქმედების და კონსტრუქციის ეფექტურობის შეფასება

როგორც მლეთის ხევის წყალშემკრების აუზის, ასევე საქართველოს სხვა მდინარეთა ხეობებში მოსალოდნელია სხვადასხვა სიმძლავრის და გენეზისის ღვარცოფული მოვლენები, რომელთა რეგულირებისათვის, შემუშავებულია მეორეული საბურავებისაგან შედგენილი წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის ახალი ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია (იხ. ნახ. 3.1.1., 3.1.2., 3.1.3., 3.1.4.).

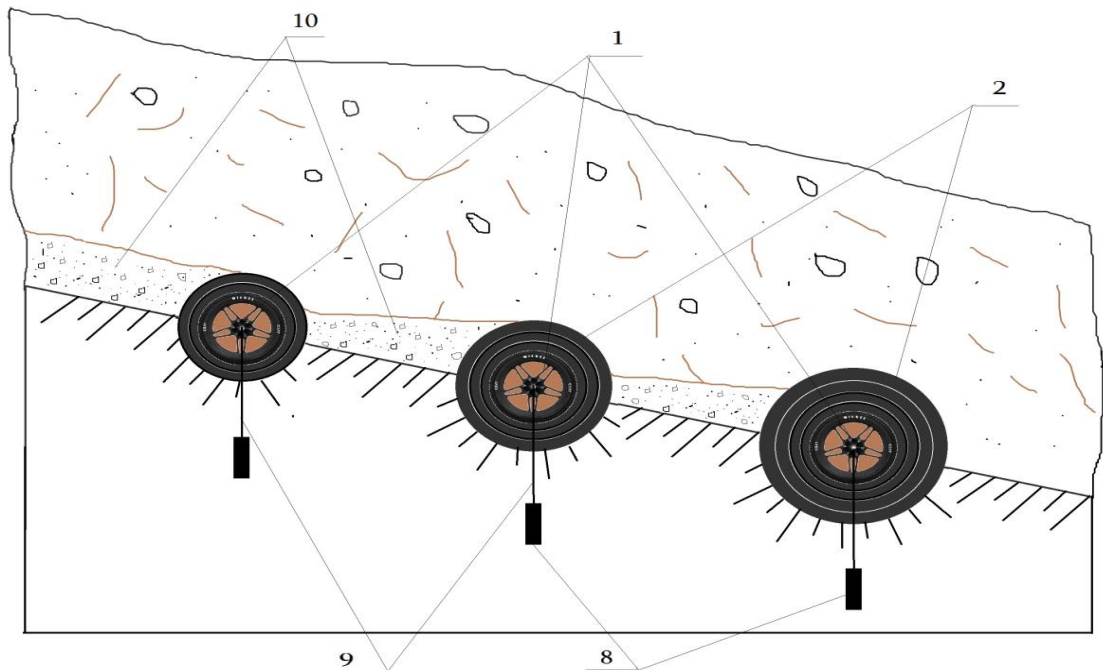
კონსტრუქცია მოცემულია ოთხი ფიგურით: ნახ. 3.1.1. - კონსტრუქციის საერთო ხედი; ნახ. 3.1.2.- კონსტრუქციის ზედხედი; ნახ. 3.1.3. - ჭრილი ა-ა ფიგ. 3.1.2.-ზე; ნახ. 3.1.4. - ჭრილი ბ-ბ ფიგ. 3.1.2.-ზე.



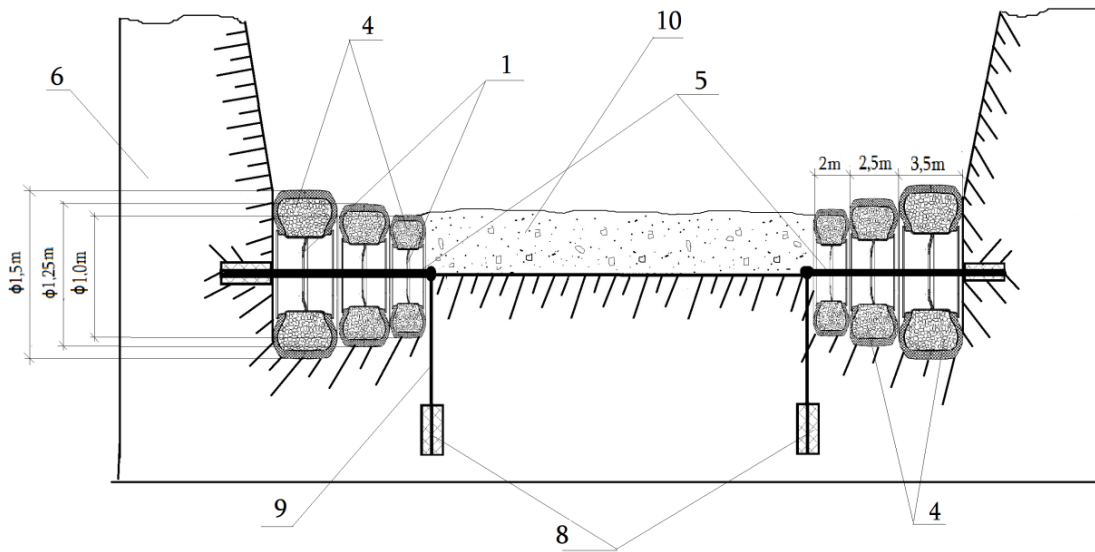
ნახ. 3.1.1. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის საერთო ხედი



ნახ. 3.1.2. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ზედა ხელი



ნახ. 3.1.3. კრილი ა-ა ფიგ. 3.1.2.-ზე



ნახ. 3.1.4. ჭრილი ბ-ბ ფიგ. 3.1.2.-ზე

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.

ღვარცოფის კინეტიკური ენერგიის ჩაქრობას განსაზღვრავს კონსტრუქციის ელემენტების ფორმა. კონსტრუქციის პირველ საფეხურზე ღვარცოფის გავლენისას ხდება ღვარცოფის გარკვეული ნაწილის მიმართულების შეცვლა და მდინარის კალაპოტის ცენტრის მიმართულებით მოძრავ ნაკადზე მარჯვენა და მარცხენა მხრიდან დაჯახება, იგივე პროცესი გრძელდება კონსტრუქციის შემდეგ სექციებზეც, რაც განაპირობებს ღვარცოფის კინეტიკური ენერგიის ჩაქრობას.

აღსანიშნავია, რომ ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის სექციების მცირე ფუძეებს შორის მანძილი კლებულობს და შესაბამისად, იზრდება ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის სექციების სიგანე ღვარცოფის მოძრაობის მიმართულებით და განაპირობებს უფრო მეტ წინააღმდეგობას, რაც განსაზღვრავს ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციაზე მომქმედი ღვარცოფის კინეტიკური ენერგიის ჩაქრობას. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის სექციების შემადგენელი საბურავების, კალაპოტში ვერტიკალურად ნახევრად განთავსება, ღრუ ტანის მყარი მასით შევსება და საბურავების დისკებში განთავსებული ღერძის ბოლოების ჩამაგრება ზრდის კონსტრუქციის მდგრადობას. საბურავების ელასტიკურობა ამცირებს დატვირთვებს, რაც ზრდის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის საიმედოობას.

შემოთავაზებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციას აქვს შემდეგი მახასიათებლები: ღვარცოფულ ღვარცოფსადინარში განსათავსებელი კონსტრუქციის სექციები შეიცავს მზა მასალებს, მდინარის ღვარცოფსადინარში კონსტრუქციის სექციების განთავსება ხდება მარტივად, მდინარის კალაპოტის ჩაღრმავებით, მასში ანკერების და ბეტონის საშუალებით ჩამაგრებით, რისთვისაც საჭიროა მცირე რაოდენობის ბეტონი, რაც საბოლოოდ ამცირებს შემოთავაზებულ კონსტრუქციაზე გაწეულ დანახარჯებს.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის სექციების მოხაზულობის საფეხურების ფორმა იძლევა მისი განმეორებით გამოყენების

შესაძლებლობას, რადგან კონსტრუქციის ფარგლებში დალექილი მყარი მასის გარეცხვა ხდება თვით მდინარის საშუალებით მორიგი წყალდიდობისას, შესაბამისად კონსტრუქცია ექსპლუატაციის პერიოდში არ მოითხოვს დიდ დანახარჯებს, რის გამოც მას გააჩნია დიდი პრიორიტეტი სხვა სახის ანალოგებთან შედარებით.

შემოთავაზებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის სექციების ზომები, რაოდენობა და განლაგება მდინარის კალაპოტში შეირჩევა ღვარცოფის სიმძლავრის და მდინარის ტოპოგრაფიული კონიუნქტურის გათვალისწინებით.

ჩვენ მიერ შემუშავებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეფექტურობის დადგენისათვის, მდინარე მლეთისხევის კალაპოტის შერჩეული კვეთის მორფომეტრიული მახასიათებლების გათვალისწინებით, ჩატარდა გაანგარიშებები შემდეგი მეთოდოლოგიით [46,47,48,49,67]:

კონსტრუქციაზე ღვარცოფის ზემომქმედი ძალის სიდიდის საანგარიშო ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$P = \frac{1,5 \cdot \gamma \cdot \omega \cdot V^2}{g} \cdot \left[ \cos \alpha \cdot tg \varphi + \frac{h_0}{2 \cdot H} \left( \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) \right], \quad (3.1.1.)$$

სადაც  $\gamma$  – ღვარცოფის მოცულობითი წონა კგ/მ<sup>3</sup>;

$V$  – ღვარცოფის მოძრაობის სიჩქარე მ/წმ;

$g$  – სიმძიმის ძალის აჩქარება (მ/წმ<sup>2</sup>);

$\omega$  – ცოცხალი კვეთის ფართობი მ<sup>2</sup>.

$h_0$  – ბმულობის შესაბამისი ექვივალენტური სიმაღლე;

$\varphi$  – შიგა ხახუნის კუთხე;

$H$  – ღვარცოფული ნაკადის სიმაღლე;

$\alpha$  – კალაპოტის ქანობი.

აღსანიშნავია, რომ ღვარცოფული ნაკადის კონსტრუქციაზე დამრტყმელი ძალის სიდიდე გამჭოლუნარიანობის ფუნქციაა [8, 20], აქედან, პირველ რიგში ანგარიში ანალოგიურ კონსტრუქციაზე



ხორციელდება, რომლის მიხედვითაც, კონსტრუქციაზე ზემომქმედი ძალა ტოლია:

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

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

სადაც:

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

ღვარცოფული ნაკადის სიმაღლე  $H=5$  (მ)-ს;

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

ღვარცოფული მასის მოცულობითი წონა  $\gamma=2000$  კგ/მ<sup>3</sup>;

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

მდინარის ქანობი  $i=0,2$ .

წარმოდგენილი ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია არის გამჭოლი, რის გამოც გამავლობის კოეფიციენტი იანგარიშება ფორმულით.

$$Kn = \frac{\omega \text{ გამჭოლი } n \text{ რიგი}}{\omega}, \quad (3.1.2.)$$

სადაც  $\omega$  გამჭოლი  $n$  რიგი - ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის რიგში არსებული, ფრონტალურ პროექციაში, მართკუთხედების ფორმის სექციებზე გადადინებული ღვარცოფული ნაკადის მიერ დაკავებული ფართი;

$n$  - კონსტრუქციის სექციების რიგის ნომერია.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის სექციების ღვარცოფული ნაკადის დარტყმის შეკავების კოეფიციენტი ტოლია:

$$K_n^I = \frac{\omega_{\text{ყრუ } n \text{ რიგი}}}{\omega}, \quad (3.1.3)$$

სადაც  $\omega_{\text{ყრუ } n \text{ რიგი}}$  - არის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის რიგში არსებულ მართკუთხედების ფორმის 2 სექციის ფრონტალური პროექციის ფართობების ჯამი;

განგარიშები წარმოებს ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის პირველი რიგისთვის

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

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

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

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

სადაც  $S_{1 \text{ I რიგი}}$  და  $S_{2 \text{ I რიგი}}$  - არის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის I რიგში არსებული მართკუთხედის ფორმის სექციების 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 ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის პირველი რიგის მართკუთხედის ფორმის სექციების სიგანე და სიგრძე.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის პირველ რიგში არსებული მართკუთხედის ფორმის ელემენტებისაგან შედგენილი კონსტრუქციის ორივე სექციაზე მოქმედი ღვარცოფის დამრტყმელი ძალა გამოითვლება შემდეგნაირად:

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

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

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის I რიგის გავლის შემდეგ ღვარცოფული ნაკადის ნარჩენი ძალა ტოლია:

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

განგარიშები წარმოებს კონსტრუქციის მეორე რიგისთვის

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

$$\text{სადაც აგამქ. II რიგი} = \omega - \text{აყრუ II რიგი} = 100 - 24 = 76 \text{ მ}^2;$$

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

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

სადაც  $S_{1 II რიგი}$  და  $S_{2 II რიგი}$  - არის კონსტრუქციის მეორე რიგში არსებული არსებული მართკუთხედის ფორმის სექციების ფრონტალური პროექციის ფართობები.

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

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

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

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის II რიგში არსებული ფრონტალურ პროექციაში მართკუთხედების ფორმის მქონე სექციებზე მოქმედი ღვარცოფული ნაკადის დამრტყმელი ძალა იანგარიშება:

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

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

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის II რიგის გავლის შემდეგ ღვარცოფული ნაკადის დამრტყმელი ძალა გამოითვლება შემდეგნაირად:

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

**განგარიშებები წარმოებს კონსტრუქციის მესამე რიგისთვის**

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

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

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

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

სადაც  $S_{1 III რიგი}$  და  $S_{2 III რიგი}$  - არის კონსტრუქციის მესამე რიგში არსებული მართკუთხედის ფორმის სექციების ფრონტალური პროექციის ფართობები.

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

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

სადაც  $a_1, b_1; a_2, b_2; a_3, b_3; a_4, b_4; a_5, b_5$  - არის შესაბამისად ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის მესამე რიგის მართკუთხედის ფორმის სექციების სიგანე და სიგრძე.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის III რიგში არსებული წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ორივე სექციაზე მოქმედი ღვარცოფული ნაკადის დამრტყმელი ძალა გამოითვლება:

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

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

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის III რიგის გავლის შემდეგ ღვარცოფული ნაკადის დამრტყმელი ძალა გამოითვლება:

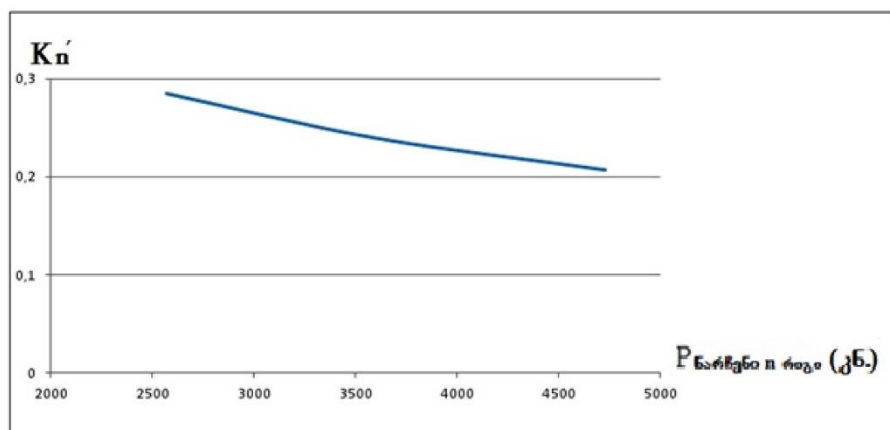
$$P_{\text{ნარჩენი III რიგი}} = P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} - P_{\text{ყრუ III რიგი}} = 3591,0 - 1023,4 = 2567,6 \text{ კნ};$$

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის საფეხუროვან სექციებზე მოქმედი ღვარცოფული ნაკადის დარტყმის შეკავების კოეფიციენტსა და ღვარცოფის მიერ კონსტრუქციის საფეხუროვანი სექციების გავლის შემდეგ მიღებულ ნარჩენ ძალას შორის კავშირი მოცემულია შემდეგი ფუნქციის სახით  $K_n^I = f(P_{\text{ნარჩენი n რიგი}})$ , (იხ. ნახ. 3.1.5.).

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

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

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



ნახ. 3.1.5. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის საფეხუროვან ელემენტებზე მოქმედი ღვარცოფული ნაკადის დარტყმის შეკავების კოეფიციენტსა და ღვარცოფის მიერ ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის სექციების გავლის შემდეგ მიღებულ ნარჩენ ძალას შორის კავშირი

შემოთავაზებულ ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციაზე ღვარცოფული ნაკადის ზემოქმედების დადგენისათვის ჩატარებული გამოთვლებიდან ჩანს, რომ ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია წარმოადგენს ღვარცოფებთან ბრძოლის ეფექტურ ტექნოლოგიას, რადგან კონსტრუქციაზე მოქმედი ღვარცოფული ნაკადის საწყისი  $P=5962,5$  კნ. ძალა, მლეთისხევის კალაპოტში შერჩეულ კვეთში განთავსებული კონსტრუქციის გავლის შემდეგ მცირდება 2.3-ჯერ, რაც მიუთითებს ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეფექტურობაზე.

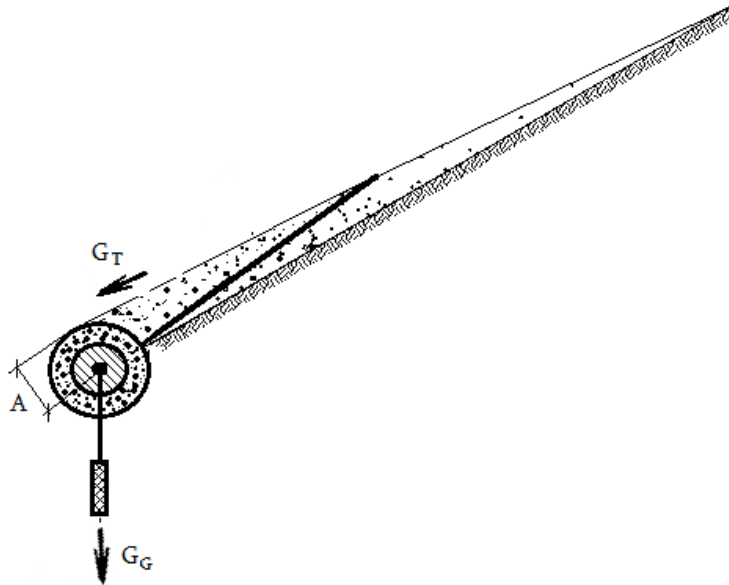
აღნიშნულის გათვალისწინებით, შეიძლება დავასკვნათ, რომ შემოთავაზებული კონსტრუქცია არის ეფექტური, მდინარის კალაპოტში ტექნიკურად ადვილად ჩასამონტაჟებელი საინჟინრო ღონისძიება, რის გამოც ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის მდგრადობის და ეკონომიური პარამეტრების დაზუსტების შემდეგ, მისი დანერგვა მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში მოსალოდნელი ღვარცოფის რეგულირების მიზნით პერსპექტიულია.

### **3.2. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის მდგრადობის გაანგარიშება**

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის მდგრადობის ანგარიში ტარდება ცნობილი მეთოდით [1,6,72], რომლის მიხედვითაც აუცილებელია მდგრადობის პირობის დაკმაყოფილება, ანუ ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის დამჭერი ძალები უნდა აჭარბებდნენ გადამაყირავებელ ძალებს.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის დამჭერი ძალების საანგარიშოდ, ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის განივი კვეთის ფორმის მიხედვით, რომლის მრუდწირული ფორმის სექციები შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს მართკუთხედის ფორმის სახით, დადგინდა სექციების საერთო წონა და გადაყირავების წერტილის მიმართ მომენტი.

ასევე, ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის გადამყირავებელი ძალა წარმოდგენილია ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის სექციების ზედა ნაწილში დაგროვილი წყლით გაჟღენთილი ნიადაგ-გრუნტის მასით, რომელიც მოთავსებულია ღვარცოფული მასის დაცურების სიბრტყის ზევით (იხ. ნახ. 3.2.1.). ღვარცოფული მასის ბუნებრივი დახრის კუთხე უდრის 30 გრადუსს.



ნახ. 3.2.1. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის მდგრადობის საანგარიშო სქემა

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის მდგრადობის პირობის დასაკმაყოფილებლად აუცილებელია გამოითვალოს სექციების წონით განმაპირობებელი გადაყირავების წერტილის მიმართ დამჭერი მომენტი  $M_{დამჭ.}$  და იგივე წერტილის მიმართ კონსტრუქციის ზედა ნაწილში აკუმულირებული ღვარცოფული მასის სიმძიმით გამოწვეული კონსტრუქციის გადამყირავებელი მომენტი  $M_{გად}$ , რომელიც კონსტრუქციის ექსპლუატაციაში შესვლის დროს უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას:

$$M_{დამჭ.} > M_{გად} \quad (3.2.1)$$

ქვემოთ მოყვანილია ძირითადი პარამეტრების ანგარიში.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის დამჭერი ძალების მომენტის ანგარიში - ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის თითოეული სექციის დამჭერი ძალები მოცემულია მისი სხეულის  $G$  წონით, რომელიც წარმოადგენს დისკიანი საბურავის და მის ღრუ ტანში განთავსებული მყარი მასის წონათა ჯამს. ე.ი.

$$G_{კონს} = G_{საბ} + G_{დისკ} + V_{გრუნტ} \times \gamma_{გრუნ} \quad (ტ.) \quad (3.2.2)$$

I სექციისათვის (3.2.2) ფორმულის ანგარიშით მივიღებთ:

$$G_{1კონს} = G_{საბ} + G_{დისკ} + V_{გრუნტ} \times \gamma_{გრუნ} = 3.9 + 2.2 + 35.7 = 41.8 \quad (ტ.) \quad (3.2.3)$$

II სექციისათვის (3.2.2) ფორმულის ანგარიშით მივიღებთ:

$$G_{2კონს} = G_{საბ} + G_{დისკ} + V_{გრუნტ} \times \gamma_{გრუნ} = 6.6 + 7.2 + 88.5 = 102.3 \quad (ტ.) \quad (3.2.4)$$

III სექციისათვის (3.2.2) ფორმულის ანგარიშით მივიღებთ:

$$G_{3კონს} = G_{საბ} + G_{დისკ} + V_{გრუნტ} \times \gamma_{გრუნ} = 8.2 + 2.6 + 110 = 120.8 \quad (ტ.) \quad (3.2.5)$$

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ელემენტები, ანუ საბურავები ჩამჯდარია წინასწარ გათხრილ გრუნტში, დიამეტრის ნახევარზე, რომლის მიხედვითაც კონსტრუქციის თითოეული სექციის წონა შეადგენს:

$$G_1 = G_{1კონს} + V_{გრუნტ} \times \gamma_{გრუნ} = 41.8 + 16.2 / 2 \times 2,2 = 59.6 \quad (ტ.); \quad (3.2.6)$$

$$G_2 = G_{2კონს} + V_{გრუნტ} \times \gamma_{გრუნ} = 102.3 + 20.1 / 2 \times 2,2 = 124.4 \quad (ტ.); \quad (3.2.7)$$

$$G_3 = G_{3კონს} + V_{გრუნტ} \times \gamma_{გრუნ} = 120.8 + 25 / 2 \times 2,2 = 148.3 \quad (ტ.). \quad (3.2.8)$$

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ელემენტების სიმძიმის ცენტრის გრაფიკული მეთოდით დადგენის შემდგომ, დადგენილია კონსტრუქციის დამჭერი მომენტის მხარის სიდიდე, რომელის მოცემული ქვემოთ:

$$A_1 = 0.65 \text{ მ};$$

$$A_2 = 0.7 \text{ მ};$$

$$A_3 = 0.75 \text{ მ}.$$

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ელემენტების დამჭერი მომენტი გადაყირავების წერტილის მიმართ იქნება:

$$M_1 = G_1 \times A_1 = 59.6 \times 0.65 = 38.8 \text{ (ტ.მ.);} \quad (3.2.9)$$

$$M_2 = G_2 \times A_2 = 124.4 \times 0.7 = 86.8 \text{ (ტ.მ.);} \quad (3.2.10)$$

$$M_3 = G_3 \times A_3 = 148.3 \times 0.75 = 111.2 \text{ (ტ.მ.).} \quad (3.2.11)$$

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის გადამყირავებელი ძალებით შეპირობებული მომენტის ანგარიში - ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ელემენტების გადამყირავებელი ძალები მოცემულია კონსტრუქციის ზედა ნაწილში წყლით გაჟღენთილი აკუმულირებული ღვარცოფული მყარი ნატანის მოცულობით. ჩამოცურების პრიზმის მოცულობა იანგარიშება ღვარცოფული მასის შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტის შინაგანი ხახუნის კუთხის შესაბამის წრფეზე გამავალი სიბრტყის ზევით მოთავსებული პრიზმისა და ნიადაგ-გრუნტის მოცულობითი წონის ნამრავლით. ე.ი.

$$G_{\text{გრ}} = W_{\text{გრ}} \times \gamma_{\text{გრ}} \text{ (ტ.).} \quad (3.2.12)$$

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

$$G_{1\text{გრ}} = W_{1\text{გრ}} \times \gamma_{\text{გრ}} = 13,8 \times 2,2 = 30,4 \text{ (ტ.);} \quad (3.2.13)$$

$$G_{2\text{გრ}} = W_{2\text{გრ}} \times \gamma_{\text{გრ}} = 45,1 \times 2,2 = 99,2 \text{ (ტ.);} \quad (3.2.14)$$

$$G_{3\text{გრ}} = W_{3\text{გრ}} \times \gamma_{\text{გრ}} = 51,8 \times 2,2 = 113,9 \text{ (ტ.).} \quad (3.2.15)$$

ღვარცოფული მასის პრიზმის სიმძიმის ცენტრიდან გატარებულ ხევის ფსკერის პარალელურად წრფეზე ძალის მხარი, ელემენტების გათვალისწინებით იქნება:

$$B_1 = 0,65 \text{ მ;}$$

$$B_2 = 0,7 \text{ მ;}$$

$$B_3 = 0,75 \text{ მ;}$$



გადამყირავებელი მომენტი შესაბამისად იქნება:

$$M_{1გად.} = G_{1გრ.} \times B_1 = 30,4 \times 0,65 = 19,8 \text{ (ტ.მ.);} \quad (3.2.16)$$

$$M_{2გად.} = G_{2გრ.} \times B_2 = 99,2 \times 0,7 = 69,4 \text{ (ტ.მ.);} \quad (3.2.17)$$

$$M_{3გად.} = G_{3გრ.} \times B_3 = 113,9 \times 0,75 = 85,4 \text{ (ტ.მ.).} \quad (3.2.18)$$

ამრიგად, დაცულია პირობა  $M_{ლაშკ} > M_{გად}$  ე.ი. რაც ნიშნავს, რომ ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის შემადგენელ ელემენტებს აქვთ მდგრადობის მარაგი, რაც გამოისახება შემდეგნაირად:

$$M_1 / M_{1გად.} = 38,8 / 19,8 = 1,95; \quad (3.2.19)$$

$$M_2 / M_{2გად.} = 86,8 / 69,4 = 1,25; \quad (3.2.20)$$

$$M_2 / M_{2გად.} = 111,2 / 85,4 = 1,30. \quad (3.2.21)$$

აღნიშნულიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის მდგრადობის პირობა შესრულებულია და შესაბამისად მლეთის ხევის კალაპოტში განსათავსებელი ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია არის მდგრადი.

## თავი 4. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება

ცნობილი ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციების უმეტესობა განსაკუთრებულ პირობებში არ ხასიათდებიან მდგრადობით ღვარცოფული ნაკადების მიმართ, რის გამოც ხდება მათი წყობიდან გამოსვლა.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის მაღალი ეფექტურობა მიიღება იმ შემთხვევაში თუ გავითვალისწინებთ ღვარცოფული ნაკადების ფიზიკურ-მექანიკურ და დინამიკურ მახასიათებლებს.

კვლევებით დადგენილია, რომ ბმული ღვარცოფის მოძრაობა ნაკლებად ექვემდებარება ეკონომიკურ შეფასებას, რის გამოც ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიში განხორციელდა ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციების მახასიათებელ ეკონომიკური პარამეტრების ერთმანეთთან შედარების გზით.

ზოგადა ცნობილია სხვადასხვა ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციები, რომლებიც გამოიყენება კონკრეტული ამოცანების შესასრულებლად, მდინარის მორფომეტრიული მახასიათებლის გათვალისწინებით.

აღსანიშნავია, რომ ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის უმეტესობის მშენებლობა ტარდება რკინა-ბეტონის ძვირი მასალებით, რომელთა ტრანსპორტირება ისეთ მიუვალ ადგილებში, როგორცაა მდინარის კალაპოტი ძალიან ძნელია.

შემოთავაზებულია გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია, რომლის შემუშავებისას მაქსიმალურად გათვალისწინებული იქნა ეფექტურობის, მდგრადობის და ეკონომიურობის მახასიათებლები[71].

ზემოაღნიშნული ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტიანობის დასადგენად, შესადარებლად, შერჩეულ იქნა ტრამპლინის ტიპის კონსტრუქცია. ტრამპლინის ტიპის

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე კაპიტალური დაბანდებები შეადგენს 4051 ლარი/გრძ.მ.

კაპიტალური დაბანდებები ჩვენ მიერ შემოთავაზებულ ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციაზე შეადგენს 1895 ლარი/გრძმძვ მეტრზე (იხ. ცხრილი 4.1.).

**ცხრილი 4.1.**  
**ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის (გამჭოლი ტიპის) ღირებულების განგარიშება**

№	მასალის დასახელება	ერთეულის განზომილება	რაოდენობა	ერთეულის ღირებულება, ლარი	ღირებულება სულ, ლარი
1	ბეტონი	მ <sup>3</sup>	12	150	1801
2	არმატურა	ტ	0,6	1201	721
3	ამორტიზირებული საბურავები	ტ	10	50	501
4	საბურავების ამორტიზირებული ლითონის დისკები	ტ	6	400	2401
5	ლითონის ღერძი (50 მმ)	მ	57	6,25	357
6	ანკერები	ცალი	12	200	2401
7	საბურავებში მოთავსებული მყარი მასა	მ <sup>3</sup>	50	14	701
სულ					8877
	დღგ 18%				1599
სულ					10475
1გრძ.მ ღირ.					1895

აპრობირებული მეთოდოლოგიის მიხედვით, ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის წლიური ეკონომიკური ეფექტურობა იანგარიშება ფორმულით [74]:

$$\text{ჟწლიური} = (K_1 - K_2)E, \quad (4.1.1)$$

სადაც  $K_1$  – კაპიტალური დაბანდებები ბაზისური კონსტრუქციის მშენებლობაში;

$K_2$  – კაპიტალური დაბანდებები შემოთავაზებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის მშენებლობაში;

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

$$\text{ჯწლიური} = (4050 - 1894) \times 0,15 = 323,5 \text{ ლარი/ გრძ. მ.} \quad (4.1.2)$$

ამრიგად, ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის წლიური ეკონომიკური ეფექტურობა შეადგენს 323,5 ლარი/გრძ.მ., რაც არის მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ეფექტი, რის გამო სამომავლოდ შესაძლებელია მისი დანერგვა.

## დასკვნა

1. მლეთის ხევში ჩატარებული სავსე კვლევების შედეგად გამოვლენილია ღვარცოფის გამომწვევი უბნები;
2. მოწყვლადი უბნებიდან აღებული ნიადაგის საანალიზო ნიმუშებიდან დადგინდა გეოტექნიკური და ქიმიური მახასიათებლები;
3. გამოისახა მლეთის ხევის რელიეფის სიმაღლითი მოდელი – DEM-ის და გის-ში არსებული ახალი მონაცემები;
4. დადგინდა დაუცველ ადგილებში არსებული ღვარცოფის მაფორმირებელი მყარი მასის მდგრადობა, საიდანაც შეიძლება ვთქვათ, რომ აღნიშნული ფერდობი მეწყერსაშიშაა, რადგან ფერდობის 30<sup>0</sup>-ით დახრის შემთხვევაში, საკმარისია გრუნტის 0,61 მ-ის სიღრმე, რომ წყლით გაჯერების დროს განხორციელდეს ფერდობის დაცურება. აღსანიშნავია, რომ წყალსადინარის ქანობი 30<sup>0</sup>-40<sup>0</sup>-ია, ხოლო მდინარის კალაპოტში არსებული ღვარცოფული მყარის მასის სისქე 2-3 მ, საიდანაც შეიძლება დავასკვნათ, რომ ძლიერი წვიმების დროს შეიძლება ფორმირდეს ღვარცოფი;
5. RAMMS-ით ჩატარდა მლეთისხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის მოდელირება;
6. მლეთის ხევში სხვადასხვა ფაქტორების დამთხვევის შედეგად მოსალოდნელი ღვარცოფის RAMMS-ით მოდელირებისას დადგინდა: ღვარცოფის მაქსიმალური სიჩქარე, სიმაღლე, დაწნევა, ღვარცოფული მასის მოცულობა, რაც შეადგენს **1 102 033 მ<sup>3</sup>-ს**;
7. RAMMS-ით განხორციელებული მოდელირებისას გამოიკვეთა მლეთის ხევში შესაძლო ღვარცოფული მასით დაფარული ზონები, როგორცაა სამოსახლო ტერიტორიები, ეკლესია, გზა და ხიდი. ასევე გამოიკვეთა, რომ ღვარცოფმა შესაძლებელია გადაკეტოს თეთრი არაგვის კალაპოტი და დატბოროს მოსახლეობა, ასევე შესაძლებელია ღვარცოფული მასა ტრანსპორტირდეს ჟინვალის წყალსაცავში, რაც შეზღუდავს ქ. თბილისის წყალმომარაგებას;

8. შეფასდა მლეთისხევის წყალსადინარში შესაძლო ღვარცოფის ზეგავლენა შემოთავაზებულ ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციაზე და გამოიკვეთა კონსტრუქციის ეფექტურობა, კერძოდ: კონსტრუქციის შემადგენელი სექციების გავლის შემდეგ ღვარცოფის ძალა შემცირდა 2.3-ჯერ;
9. ჩატარებული ანგარიშების მიხედვით შეიძლება ითქვას, რომ ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია არის მდგრადი და ეკონომიური.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. ასტვაცატუროვი ა. - სამშენებლო მექანიკა : სპეციალური კურსი. ნაშენთა მდგრადობა და დინამიკა : სახელმძღვანელო უმაღლესი ტექნიკის სასწავლებლების სტუდენტთათვის. - თბილისი, განათლება, 1976. – 438 გვ.
2. გავარდაშვილი გ. - 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).
3. გავარდაშვილი გ. - მლეთის წმინდა გიორგის ეკლესიის დაცვა ღვარცოფებისაგან და მისი გაანგარიშების მეთოდები.
4. გავარდაშვილი 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.
5. გავარდაშვილი გ. - მდინარე მლეთისხევის წყალშემკრებ აუზში ეროზიული კერის საინჟინრო გეოლოგიური შეფასება. სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის შრომათა კრებული - მიძღვნილი ი. ბუაჩიძის დაბადებიდან 100 წლის აღსანიშნავად. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2007. 6 გვ.
6. ვეკუა ნ. თეორიული მექანიკა, თბილისის უნივერსიტეტის გამოცემა, 1991
7. დიაკონიძე რ., თევზაძე ვ. 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.
8. დიაკონიძე რ. ღვარცოფული ხასიათის წყალსადინარებზე წყლის ნაკადისა და ტურბულენტური ღვარცოფის ხარჯების ანგარიში. საქ. მეც. აკადემიის, საქართველოს ჰიდროეკოლოგიის ინსტიტუტის შრომები, თბილისი, 1999, გვ. 33-35.
9. დიაკონიძე რ. გარემოს ეკოლოგიური პრობლემები. ღვარცოფული მოვლენები და მათი პროგნოზი. საქ. მეც. აკადემიის, საქართველოს ჰიდროეკოლოგიის ინსტიტუტის შრომები, თბილისი, 2005, გვ. 24-31.
10. დიაკონიძე რ. პლანეტის გლობალური დათბობა და ღვარცოფები. საქართველოს განათლების და მეცნიერების სამინისტრო, საქართველოს

- ჰიდროეკოლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული, თბილისი, 2005, გვ. 21-23.
11. დოხნაძე გ., დიაკონიძე რ. და სხვა.ეროზიულ- ღვარცოფული მოვლენების კვლევა აეროკოსმოსური ინფორმაციის გამოყენებით. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომები #63, თბილისი, 2007, გვ. 46-53.
  12. კვაშილავა ნ. წყალგაჯერებულობის გავლენა ღვარცოფების წარმოქმნის პირობებზე. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მაცნე. 1982.106 ტ., №2, გვ. 353-356.
  13. კუპრავეიშვილი მ.- ღვარცოფების გენეზისი და დინამიკა. მონოგრაფია. საგამოცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, გვ. 250, თბილისი 2019.
  14. კუპრავეიშვილი მ. - 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.
  15. ცანავა ლ. - კატასტროფული წყალდიდობები, წყალმოვარდნები და ღვარცოფული მოვლენები საქართველოში. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია, წყალთა მეურნეობისა და საინჟინრო ეკოლოგიის ინსტიტუტი (საქჰიდროეკოლოგია) . მონოგრაფია. გამომცემლობა „მეცნიერება“, გვ. 300, თბილისი, 2004.
  16. ჩეკურიშვილი რ. ი., გავარდაშვილი გ. ვ., ნადარაია მ. მთის ლანდშაფტის კადასტრის შედგენა აეროკოსმოსური მეთოდების გამოყენებით. (მეთოდური მითითებები). თბილისი, 1994. 48 გვ.
  17. Белый Л.Д. Геологические основы классификации грунтов при изысканиях и проектировании гидроэнергетических сооружений. Л., М., Госэнергоиздат. 1954. ст. 92.
  18. Белый Л.Д. Теоретические основы инженерно-геологического картирования. М. “Недра“. 1964. ст. 168.
  19. Белый Л.Д. Инженерная геология. М. Высшая школа. 1985. ст. 231.
  20. Брилинский А. Л. Горные потоки, их природа и меры борьбы с ними. ОЦИВХ, 1930. ст. 77.
  21. Брилинский А. Л. Горные потоки и меры борьбы с ними. Изд-во Тиф. Закоиз. 1936. ст 130.



22. Великанов М. А. Качественный динамический анализ селевого потока. Изво. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз. 1945. Т-9, №4. сс. 353-363.
23. Великанов М. А. Динамика русловых потоков, М. 1955. Т-2. ст. 323.
24. Виноградов Ю. Б. Метод расчёта характеристик дождевых паводков. Л.1967. ст. 12.
25. Виноградов Ю. Б. Некоторые вопросы формирования селевых потоков и методы их расчёта; Тр. Каз. НИИГ и М. Вопросы изучения селей. 1969. Вып. 33, ст. 5-29.
26. Виноградов Ю. Б. Глациальные прорывные паводки и селевые потоки. Л. "Гидрометеиздат". 1977. ст. 140.
27. Виноградов Ю. Б. Этюды о селевых потоках. Л. "Гидрометеиздат". 1980. ст. 144.
28. Гидротехнические сооружения (Справочник проектировщика). Москва, 1983, с. 542.
29. Мирцхулава Ц. Е. Экологические нарушения (предсказание риска нарушения, меры по снижению опасности). Груз. НИИ. вод. хозяйств. инж. экологии, АН Грузии. Тбилиси. 1993. ст. 437.
30. Мирцхулава Ц. Е. Оценка риска появления селей катастрофического характера. Док. Российской Академии сельскохозяйственных наук. 1997. №6. сс. 24-26.
31. Мирцхулава Ц. Е. Метод расчета русел каналов. "Речной транспорт". 1966. №5. ст. 54-57.
32. Мирцхулава Ц. Е. Инженерные методы расчёта и прогноза водной эрозии. М. "Колос". 1970. ст. 240.
33. Мирцхулава Ц. Е. Оценка опасных состояний на гидротехнических объектах. Ж. Гидротехническое строительство, №3. М. 2001, ст. 28-36.
34. Мирцхулава Ц. Е. Оценка частоты появления селей катастрофического характера. Ж. Гидротехническое строительство, №5, М., 1998, 19-26.
35. Мирцхулава Ц. Е. О перспективном методе охраны почв от эрозии в странах южного кавказа с помощью ветиверных тонких полос. Известия аграрной науки. Тбилиси 2003, №2 ст. 18-21.
36. Натишвили О. Г. Гидравлика безнапорных взвесенесущих потоков. Тип-фия. Груз. СХИ. Тбилиси. 1988. ст. 62.

37. Натишвили О. Г., Тевзадзе В. И. – Прогнозирование экологических нарушений в русле горного водотока и мероприятия по их смягчению. Сборник научных трудов (Экологическая устойчивость, безопасность, надежность). Тбилиси, 2003, с. 111-123.
38. Натишвили О. Г., Тевзадзе В. И. Селевые явления. “Месниереба“, Тбилиси, 1994, ст. 205.
39. Натишвили О. Г., Тевзадзе В. И. Гидравлические закономерности связанных селей. “Мецниереба“. Тбилиси. 1996. ст. 156.
40. Панюков П.Н. Основы физической минералогии. Часть 1, М. 1966. ст. 70.
41. Панюков П.Н. Основы физической петрографии.. Часть 2, М. 1968. ст. 106.
42. Степанов Б.С. Основные характеристики селевых потоков и селевой массы. Методы измерений. Тр. Каз. Регион. НИИ. “Госкомгидрометал“. 1982. №79. ст. 137.
43. Степанов Б. С., Цукерман И.Т. Оценка дальности продвижения селевых потоков на конусе выноса. Сб. “Селевые потоки“. М. 1984. №8. ст. 39-42.
44. Сулаквелидзе Л.А. Новый тип барража-эластичный селезаградитель. В сб. Груз НИИГ и М, вып. 24, Тбилиси. 1966. ст. 71-76.
45. Bartelt P., Bieler C., Bühler Y., Christen M., Deubelbeiss Y., Graf Ch., Mc Ardell B., Salz M., Schneider M. A numerical model for debris flows in research and practice. User Manual v1.7.0 Debris Flow, 116 (2017).
46. 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.
47. 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.
48. Chakhaia G., Kvashilava N., Tsulukidze L., Lobzhanidze Z., Kupreishvili Sh., Supatashvili T., Kvirvelia 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.

49. 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.
50. Chakhaia G., Kvashilava N., Tsulukidze L., Lobzhanidze Z., Kupreishvili Sh., Supatashvili T., Kvirkevelia 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.
51. Daido A. On the occurrence of mud-debris flow. Bull. Dis. Res. Inst. Kyoto Univ. 1971. Vol. 21. part. 2. #187, November, pp.103.
52. Diakonidze R. Chakhaia G. Tsulukidze L. Supatashvili T. Kupreishvili Sh. Planet Water Resources, Global Ecology Problems and Role of Human Being in Solving These Problems. Georgia International Journal of Science and Technology New York, v. 5, # 1/2, 2013, p. 27-33.
53. Diakonidze R. and ect. The Protection of Settlements from the Floods and Debris Flow (On the example of tragedy in Tbilisi on 13-14 June of 2015). Meteorology Hydrology and Water Managment. Warszawa, Poland; 2017
54. Diakonidze R. and ect. Debris flows and protection of quality of water resources (case study of Georgia). Debris flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Pyatigorsk, Russia, 2008, pp. 343-346.
55. Diakonidze R. and etc. Empirical dependences for calculation of the maximum discharges of water. International Symposium on Floods and Modern Methods of Control Measures. Dedicated to the 80th anniversary of the GWMI. Tbilisi, 2009, pp.99-105.
56. Gavardashvili G., King L, Schaefer M. Debris Flow at the River Mletis Khevi in the Great Caucasus (Georgia) and its Assessment Methods. Center for International Development and Environmental Research. Iustus-Liebig Universitet Giessen. # 32, August, 2007, 15 p. GERMANY , Gissen.

57. Gavardashvili, N., Gavardashvili, A. Study and Assessment of the Natural Disasters in the Bed of the River Mleta Gully. //Proceedings of the 5th International conference on Contemporary Problems in Architecture and Construction. June 24-27, Saint-Petersburg, Russia, 2013, 6.
58. Gavardashvili, N., Gavardashvili, A., Kasaburi I. Disaster at the serpentine site of Mleta-Gudauro Georgian military road and its assessment. //, Science and Technology ”, # 7-9 Tbilisi, 2006, 20-22.
59. Gavardashvili N., Gavardashvili A. Integrated Granulometry Curves for Flood Solid Extraction in the Bed of the River Mletiskhevi. 3rd International Scientific-Technical Conference on Environment, Architecture and Construction Modern problems. " Tbilisi Borjomi, July 29 - August 4, 2013,27-36.
60. Gavardashvili G., Chakhaia G. Tsulukidze L. Assessment of erosion-debris flow phenomena in the basins of the Tergi, Tetri Aragvi and Duruji rivers. Materials International conference on debris flows. Novochoerkassk - Pyatigorsk, 2003, 22 - 24.
61. Gavardashvili N., Gavardashvili A. Integrated Granulometry Curves for debris flow Solid Extraction in the River Mletiskhevi. 3rd International Scientific-Technical Conference on Environment, Architecture and Construction Modern problems. Tbilisi-Borjomi, 2013, 27-36.
62. Gavardashvili G.V., King L., Schaifer M. – Debris Flows at the river Mletiskhevi (Greater Caucasus Mountains, Georgia) and it's Assessment. Methods. Justus Liebig University Giessen, Center for international Development and Environmental Research (ZEU), Germany. №32, 2007, 15. [https://www.econstor.eu/bitstream/10419/21928/1/DiscPap32\\_DebrisFlows.pdf](https://www.econstor.eu/bitstream/10419/21928/1/DiscPap32_DebrisFlows.pdf)
63. Gurgenidze D., Klimiashvili L., Gvishiani Z., Bosikashvili Sh., Ramishvili I., Enukidze R., Chakhaia G. Development of the optimal engineering technology against the expected flood in the Nagvarevi channel. For Participating in the international scientific and technical conference "Problems of Engineering Sciences" in Yerevan University of International Relations named after A. Shirakatsi 20.05-22.05, 2022.
64. Gurgenidze D., Klimiashvili L., Gvishiani Z., Bosikashvili Sh., Ramishvili I., Enukidze R., Chakhaia G. Khubulava I., Tsulukidze L. - Correction of the design dependence of the continuous wave force formed during the movement of continuous mudflow with constant flow rate. World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development (June-2022). pp. 35-37.
65. Kvashilava N. Evaluation of the stability of the debris flow -prone slope in the River Gldaniskhevi Valley”. J The Sci. and Techn. 2(722), 4 (2016).

66. Kvashilava N., Chakhaia G., Lobzhanidze Z., Tsulukidze L., Kupreishvili S., Supatashvili T., Kvirkvelia I., Khubulava I., Gogilava S. The Assessment Stability of Landslide Dangerous Slopes Existing in the Basin of River Jokhtaniskhevi. International Journal of Sciences: World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development. 2017, Reference Number: 3-2-12, Impact Factor 4,25. India.
67. Kukhalashvili E., Omsarashvili G., - The calculation of attacking forced action on the linkage debris flow transverse construction. Georgian state agrarian university. Vol .3, # 2 (51). Tbilisi, 2010, 70-73 pp.
68. Kupravishvili M. Character of distribution of the proluvion in the water-channel of gully Mleta (field experiment) Minister of Education and Science of Georgia Ts. Mirtskhulava Water Management Institute of Georgian Technical University. Collected papers №73 Tbilisi 2018 . p. 59.
69. Kupravishvili M. The distribution of channel formations (proluvium) along the watercourse. Earth and Planetary Sciences. Works of GTU. №4 (514), 2019, 66-74. <http://shromebi.gtu.ge/admin/uploads/7-kupravishvili-2-axali.pdf>
70. Morgan R.P.C., Hann M. J, Shah Deniz Gas Export Project: erosion risk assessment. Cranfield University, UK, Silsoe, 2001,. 25 p.
71. Ramishvili I. - Evaluation of the economic efficiency of the modern anti-debris flow structure. World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development (September-2022). pp. 68-70.
72. Ramishvili I. - Calculation of the stability of the anti-debris flow structure. World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development (September-2022). pp. 109-111.
73. Spanu V., Gaprindashvili G., Keith McCall M. - Participatory Methods in the Georgian Caucasus: Understanding Vulnerability and Response to Debrisflow Hazards. International Journal of Geosciences. Vol.06 No.07 (2015), Article ID:58168,8 pages .10.4236/ijg.2015.67054
74. <https://lektsiopedia.org/lek-65234.html>
75. [http://conference.sens-2013.tsu.ge/uploads/51cda2db08165mcxeta-mtianetis\\_regionis\\_reliefi\\_da\\_geodinamikuri\\_procesebi.pdf](http://conference.sens-2013.tsu.ge/uploads/51cda2db08165mcxeta-mtianetis_regionis_reliefi_da_geodinamikuri_procesebi.pdf)
76. <https://tenders.procurement.gov.ge/public/library/files.php?mode=app&file=160795&code=1456855724>
77. [https://ramms.slf.ch/fileadmin/user\\_upload/WSL/Microsite/RAMMS/Downloads/RAMMS\\_DBF\\_Manual.pdf](https://ramms.slf.ch/fileadmin/user_upload/WSL/Microsite/RAMMS/Downloads/RAMMS_DBF_Manual.pdf)