

საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების
სამინისტრო
წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი
ბარემოს დაცვის ეკოცენტრი



გივი გაგარდაშვილი

ბუნებრივი და ტექნოგენური
კატასტროფებისა და მათი ლანდშაფტების
შსაფრთხილების ღონისძიებები



თბილისი
2011

საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების
სამინისტრო
წყალთა მუშაობის ინსტიტუტი
ბარემოს დაცვის ეკოცენტრი

გივი გაგარდაშვილი

ბუნებრივი და ტექნოგენური
კატასტროფებისა და მთის ლანდშაფტების
უსაფრთხოების ღონისძიებები

თბილისი
2011

551.311.21 : 627.141.1

**საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო
წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი
გარემოს დაცვის ეკოცენტრი**

**ბუნებრივი და ტექნოგენური კატასტროფებისას
მთის ლანდშაფტების უსაფრთხოების
ღონისძიება**

გივი გაგარდაშვილი

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

ნაშრომში განხილულია საქართველოში 2008 წლის აგვისტოში საომარი მოქმედებების შედეგად გადამწვარი ტყის მასივების ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ზარალის შეფასებისა და მთის ფერდობებზე ნიადაგის ეროზიისაგან დამცავი ღონისძიებები.

2005-2010 წწ. ჩატარებული საველე-საექსპედიციო კვლევების ანალიზის საფუძველზე წარმოდგენილია მდინარე არაგვის წყალშემკრებ აუზში ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების პროგნოზირება და მათი შეფასება მდინარე დუშეთის ხევისა და მღეთის ხევის მაგალითზე.

განხორციელებულია ლენტეხისა და ცაგერის რაიონებში ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესებისა და წყალდიდობების საწინააღმდეგო საინჟინრო და ფიტომელიორაციული ღონისძიებები.

საიმედოობისა და რისკის თეორიის გამოყენებით შეფასებულია ტრამპლინის ტიპის ახალი კონსტრუქციების საიმედოობა და მწყობრიდან გამოსვლის რისკი, ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალისა და ღვარცოფული მასით გამოწვეული წონითი დატვირთვით, ნაკებობაზე ცალ-ცალკე და ერთდროულად მოქმედების შემთხვევაში; დამუშავებული და განხორციელებულია სოფელ ჯვარბოსლის (მთათუშეთი)

მიმდებარე ეროდირებული მთის ფერდობის სარეაბილიტაციო კომპლექსური ღონისძიებები.

სხვადასხვა უზრუნველყოფის რისკის მხედველობაში მიღებით შემუშავებულია საქართველოს მაღლივი კაშხლების შესაძლო ავარიის შემთხვევაში წარმოშობილი წყალდიდობების მათემატიკური იმიტაცია ჟინვალის, სიონის, ლაჯანურის, ენგურის და შაორის კაშხლების მაგალითებზე.

კატასტროფების თეორიის გამოყენებით შეფასებულია მცირე სიმძლავრის მეწყერისა და თოვლის ზვავის მოძრაობის დაწყების ხარისხობრივი ანალიზი, რომელიც აღნიშნული პროცესების პროგნოზირების საშუალებას იძლევა.

სამუშაო ეხმიანება კატასტროფების შემცირების საერთაშორისო სტრატეგიის (ISDR) 2005-2015 წწ. ჰიოვოს ჩარჩო დოკუმენტს.

ნაშრომი შეფასებული და რეკომენდებულია გამოსაცემად სსიპ წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს მიერ (ოქმი №21, 2010 წლის 19 ნოემბერი).

რედაქტორი: თეიმურაზ გველესიანი
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,
პროფესორი

რეცენზენტი: გიორგი ხელიძე
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,
პროფესორი

© გ. ვ. გავარდაშვილი
თბილისი 2010

ISSN 1512-2344

551.311.21 : 627.141.1

**MINISTRY OF SCIENCE AND EDUCATION OF GEORGIA
INSTITUTE OF WATER MANAGEMENT
ECOCENTER FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION**

**MEASURES FOR THE SAFETY OF MOUNTAIN LANDSCAPES
DURING NATURAL AND TECHNOGENIC DISASTERS**

Givi Gavardashvili

Doctor of Technical Sciences, Professor

The paper considers the estimation of ecological and economic damage to the forest tracts burnt as a result of the hostilities in August 2008 and measures for the protection of soil on mountain slopes.

The prediction of erosion and mudflow processes in the Aragvi catchment basin and their assessment as exemplified by the rivers Dushetis-khevi and Mletis-khevi is presented on the basis of an analysis of the field-expeditional studies carried out in 2005-2010. Engineering and phytoameliorative measures against erosion and mudflow processes in Lentekhi and Tsageri districts are presented.

Using the theory of reliability and risk, the reliability and the risk of breakdown of spring-board type new constructions are assessed in the case of separate and simultaneous action on the structure by the dynamic impact force of mudflow and the weight load caused by the mudflow mass.

Complex measures have been worked out and implemented for the rehabilitation of the eroded mountain slope adjoining v. Jvarboseli (Mtatusheti)

Taking into account risks of various provisions, a mathematical imitation of high waters in the case of possible breakdown of

Georgia's high dams has been worked out using the cases of Zhinvali, Sioni, Lajanuri, Enguri and Shaori dams.

Using mathematical theory of catastrophe the variability of potential energy of avalanche, which is in boundary equilibrium has been determined. It has been established that the exist from boundary equilibrium of the avalanche accumulated on mountain slope is described by the catastrophe of the fold. This makes possible to determine the peculiarity of the onset of avalanche motion with account of algebraic coordinates.

The work echoes the Hyogo framework document of the International Strategy of Disaster Reduction (ISDR) 2005-2015.

The work has been assessed and recommended for publication by the Scientific Council of the Institute of Water Management (minutes № 21, 19 November 2010).

Editor: **Teimuraz Gvelesiani**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Reviewer: **Giorgi Khelidze**
Doctor of Technical Sciences, Professor

551.311.21 : 627.141.1

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ГРУЗИИ
ИНСТИТУТ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
ЭКОЦЕНТР ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**МЕРОПРИЯТИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ
ЛАНДШАФТОВ ПРИ ПРИРОДНЫХ И
ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФАХ**

Гиви Гавардашвили

Доктор технических наук, профессор

В работе рассматриваются экологически-экономическая оценка ущерба сожженных лесных массивов в результате военных действий в Грузии в августе 2008 года и защитные мероприятия от эрозии почв на горных склонах.

На основе анализа полево-экспедиционных исследований, проведенных в 2005-2010 гг., представлено прогнозирование эрозионно-селевых процессов в водосборном бассейне реки Арагви и их оценка на примере ущелий рек Душети и Млета.

Представлены инженерные и фитомелиоративные мероприятия по борьбе с эрозионно-селевыми процессами и наводнениями в Лентехском и Цагерском районах.

С использованием теории надежности и риска произведена оценка надежности и риска выхода из строя конструкции силой динамического удара селя и селевой массы, вызванных весовой нагрузкой селя в случае действия их новые конструкции трамплинного типа – раздельно и одновременно.

Разработаны и осуществлены реабилитационные комплексные мероприятия эродированного горного склона в окрестностях села Джварбосели (Мтатушети).

Принимая во внимание риск разной обеспеченности, разработана математическая имитация наводнений, образованных в случае возможных аварий высоких плотин Грузии на примере плотин Жинвали, Сиони, Ладжанури, Ингури и Шаори.

С помощью математической теории катастроф определены критериальные значения сдвига маломощных оползней и снежных лавин, которые дают возможность прогнозировать вышеуказанные процессы.

Работа созвучна международной стратегии (ISDR) по сокращению катастроф Рамочного документа Хиого 2005-2015 гг.

Работа оценена и рекомендована к изданию Ученым Советом Института водного хозяйства (протокол №21, 19 ноября, 2010 года).

Редактор: **Теймураз Гвелесиани**

Доктор технических наук, профессор

Рецензент: **Георгий Хелидзе**

Доктор технических наук, профессор

რედაქტორისაბან

წინამდებარე მონოგრაფიაში განხილულია მეტად აქტუალური და მნიშვნელოვანი საკითხები, რომლებიც შეეხება უმთავრესად, სტიქიური მოვლენებისაგან გარემოს, მათ შორის მთის ლანდშაფტების უსაფრთხოების უზრუნველყოფას სპეციალური საინჟინრო-ეკოლოგიური ღონისძიებების განხორციელებით.

ნაშრომში შემოთავაზებულია ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო რესურსმზოვი ახალი კონსტრუქციები და მათი დაპროექტებისათვის გაანგარიშების მეთოდოლოგია. მოცემულია ფიტომელიორაციული საშუალებები ღვარცოფებისა და წყალდიდობების გარემოზე ნეგატიური ზემოქმედების ინტენსივობის შემცირების მიზნით. აღსანიშნავია, რომ აღნიშნულმა ღონისძიებებმა, რომლებიც ბოლო წლებში განხორციელდა როგორც ბორჯომის რაიონში (2008 წლის აგვისტოს თვეში საომარი მოქმედებების შედეგად გადამწვარი ტყის მთის ფერდობებზე ეროზიის მიმართ სენსიტიურ უბნებზე), ასევე საქართველოს სხვადასხვა რეგიონებში (ღენტეხი, ცაგერი, დუშეთი, ასპეტა და სხვ.), დაადასტურეს თავისი ეფექტურობა.

ნაშრომში წარმოდგენილია აგრეთვე, საქართველოს რიგი კაშხლების შესაძლო ავარიის შემთხვევაში ფორმირებული წყალდიდობის საანგარიშო (კომპიუტერული იმიტაცია) მეთოდის გამოყენებით მიღებული პროგნოზირების მიახლოებითი შედეგები, რომლებიც მნიშვნელოვანია არა მხოლოდ ჰიდროკვანძების მიმდებარე ტერიტორიების (ქვედა ბიეფის) უსაფრთხოების პრევენციული ღონისძიებების შერჩევის, არამედ საქართველოში დამუშავებული, უფრო ზუსტი კომპიუტერული პროგრამის (DBW) საფუძველზე შესაბამისი ტესტური გათვლების ჩატარების მიზნით.

წიგნი უდავოდ საინტერესო იქნება ჰიდროსაინჟინრო და გარემოს დაცვის დარგებში მომუშავე მეცნიერ-სპეციალისტებისათვის, რომლებსაც შესაძლებლობა ექნებათ შემოთავაზებული ორიგინალური მეთოდოლოგიის გამოყენების საფუძველზე მომავალში საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში, შესაძლო საგანგებო პირობებში განახორციელონ მთის ლანდშაფტების და ჰიდროკვანძების ქვედა ბიეფის უსაფრთხოების უზრუნველყოფის საინჟინრო-ეკოლოგიური და სხვა სახის ღონისძიებები.

თეიმურაზ გველესიანი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სრული პროფესორი, ტექნიკის მეცნიერებათა
დოქტორი, საქართველოს ენერგეტიკის
აკადემიის აკადემიკოსი

FROM THE EDITOR

The present monograph deals with urgent and important questions – largely with ensuring the security of the environment from natural disasters, including mountain landscapes by implementing special engineering-ecological measures.

New resource-saving structures are proposed in the work to combat soil erosion, and the methodology is presented for designing them. Phyto-reclamation means are given, aimed at reducing the intensity of the negative impact of mudflows and high waters on the environment. It should be noted that these measures that were implemented in recent years in Borjomi district (on plots of mountain slopes sensitive to erosion, involving forests burnt as a result of the hostilities of August 2008), as well as in various regions of Georgia (Lentekhi, Tsageri, Dusheti, Akhmeta, etc.), have proved their effectiveness.

Presented in the work are approximate results of prediction of floods formed in the case of possible accidents at a number of dams in Georgia, obtained by methods of calculation (computer simulation). These findings are important not only in selecting preventive measures of the safety of the territories adjoining hydroelectric stations (tailrace), but also for carrying out appropriate test calculations on the basis of a more precise computer program (DBW) developed in Georgia.

The book will doubtless be of interest for scientists-specialists working in the fields of hydraulic engineering and environmental protection. They will be enabled, using the proposed original methodology, to carry out engineering-ecological and other measures towards the safety of mountain landscapes and tailraces of hydroelectric stations in various regions of Georgia in emergency conditions.

Teimuraz Gvelesiani

Full Professor of the Georgian Technical University,
Doctor of Technical Sciences,
Academician of the Georgian Power Academy

შ ი ნ ა ა რ ს ი

თავი 1. საქართველოში 2008 წლის აგვისტოში საომარი მოქმედების შედეგად გადამწვარი ტყის მასივების ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ზარალის შეფასება და მთის ფერდობებზე ნიადაგის ეროზიისაგან დამცავი ღონისძიებები	14
1.1. გადამწვარი ტყის მასივების საერთო შეფასება ..	14
1.2. ბორჯომისა და გორის რაიონებში ტყის მასივების გადაწვისას ტერიტორიის ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ზარალის კომპლექსური შეფასება	18
1.3. ბორჯომის ხეობაში ეკონომიკური ზარალის გაანგარიშება	20
1.4. გორის რაიონში ეკონომიკური ზარალის გაანგარიშება	21
1.5. გადამწვარ ტერიტორიებზე ნიადაგის ეროზიული პროცესების პროგნოზირება	22
1.6. ეროზიის საწინააღმდეგო რესურსმზოვი ახალი კონსტრუქციები და მათი დაპროექტების მეთოდები ..	29
1.7. ბორჯომის მუნიციპალიტეტის დაბა წაღვერის ტერიტორიაზე გადამწვარი ტყის მასივების მთის ფერდობებზე 2010 წლის არსებული მდგომარეობის შეფასება	35
თავი 2. მდინარე არაგვის წყალშემკრებ აუზში ეროზიულ-დვარცოფული პროცესების პროგნოზირება და მათი შეფასება	43
2.1. მდინარე დუშეთის ხევის ეკოლოგიური შეფასება	44

2.2. მღეთის ხევის კალაპოტში მიმდინარე ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების პროგნოზირება ..	51
2.3. ღვარცოფების რეგულირების თანამედროვე ღონისძიებები	63
2.3.1. ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა	64
2.3.2. ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ჰიდრაულიკური გაანგარიშება	66
2.3.3. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კაშხლის ზედა ბიეფის ფორმირების ზოგადი საკითხი	69
2.3.4. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ტრამპლინის ტიპის კაშხლის საიმედოობის შეფასება	71
თავი 3. ლენტეხისა და ცაგერის რაიონებში ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესებისა და წყალდიდობების საწინააღმდეგო ფიტომელიორაციული და საინჟინრო ღონისძიებები	76
3.1. ლენტეხში, მდინარე ტუმბრას მარცხენა ეროზირებულ-დამეწყრილ ფერდობზე ბუშლაგების მოწყობა	76
3.2. მდინარე ტუმბრას მარჯვენა შენაკადზე ხევის კალაპოტის სტაბილიზაცია ხის ბარაჯების მოწყობით	82
3.3. ლენტეხისა და ცაგერის რაიონებში წყალდიდობის საწინააღმდეგო საინჟინრო ღონისძიებები	85
თავი 4. სოფელ ჯვარბოსლის (მთათუშეთი) მიმდებარე ეროზირებული მთის ფერდობის სარეაბილიტაციო კომპლექსური ღონისძიებები	88
4.1. საკვლევი ტერიტორიის კომპლექსური შეფასება..	88
4.2. ხევის ჰიდროლოგიური გაანგარიშება	93
4.3. ხევის ჰიდრაულიკური გაანგარიშება.....	95

4.4. ხევის ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებები.....	100
თავი 5. საქართველოს მადლივი კაშხლების შესაძლო ავარიის შემთხვევაში წარმოშობილი წყალდიდობების მათემატიკური იმიტაცია	105
5.1. მსოფლიოში კაშხლების ავარიის მოკლე მიმოხილვა	105
5.2. კაშხლების შესაძლო ავარიის პროგნოზირების მეთოდოლოგია	107
5.3. უინგალის კაშხლის შესაძლო ავარიის პროგნოზირება სხვადასხვა უზრუნველყოფის რისკის მხედველობაში მიღებით	110
5.4. სიონის კაშხლის შესაძლო ავარიის პროგნოზირება	142
5.5. შაორის კაშხლის შესაძლო ავარიის პროგნოზირება	174
5.6. ლაჯანურის კაშხლის შესაძლო ავარიის პროგნოზირება	183
5.7. ენგურის კაშხლის შესაძლო ავარიის პროგნოზირება	190
თავი 6. მეწყრული პროცესებისა და თოვლის ზეავის მოძრაობის დაწყების ანალიზი კატასტროფების თეორიის მიხედვით	201
6.1. მცირე სიმძლავრის მეწყრის ანალიზი	201
6.2. თოვლის ზეავის მოძრაობის დაწყების ანალიზი კატასტროფების მათემატიკური თეორიის გამოყენებით	204
ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები	213
რეზიუმე	221
ლიტერატურა	228

თავი 1. საქართველოში 2008 წლის აგვისტოში საომარი მოქმედებების შედეგად გადამწვარი ტყის მასივების ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ზარალის შეფასება და მთის ფერდობებზე ნიადაგის ეროზიისაგან დამცავი ღონისძიებები

1.1. გადამწვარი ტყის მასივების საერთო შეფასება

საქართველოში 2008 წლის აგვისტოს თვეში საომარი მოქმედებების შედეგად ბორჯომისა და გორის რაიონებში გამოწვეულმა ხანძრებმა, რომლებმაც მოიცვა თითქმის 1003 ჰა ტყის მასივი, გამოიწვია ბუნებრივი პირობებისა და ნიადაგის წყალ-ფიზიკური თვისებების კატასტროფული გაუარესება, ზოგ შემთხვევაში მისი ჰუმუსოვანი 2-10 სმ ფენის პრაქტიკულად მთლიანი გამოწვა. შეიქმნა ეროზიული პროცესების, ნაღვარელების, ხეების, მეწყრების წარმოშობის საშიშროება, დეარცოფებისა და წყალდიდობების წარმოქმნის საუკეთესო პირობები, მკვეთრად გაუარესდა გარემოს მდგრადობა.

როგორც ცნობილია, ჩვენს პლანეტაზე ტყე გავრცელებულია ყველა კონტინენტზე და მას უკავია ხმელეთის 30%. რაც შეეხება საქართველოს, იგი ევროპაში ერთ-ერთ ტყიან ქვეყნად ითვლება (საქართველოში ტყე განთავსებულია მთლიანი ტერიტორიის 39,8 %-ზე) და მას მეოთხე ადგილი უკავია ფინეთის (71%), შვედეთის (51%) და ლიტვის (44%) შემდეგ [31,42].

მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ ტყის 1 ჰა ფართობს შეუძლია შთანთქოს 13-17 ტონა ნახშირორჟანგი და

გამოიმუშავოს 10-15 ტონა ჟანგბადი.

ამასთან ერთად აუცილებელია ავლნიშნოთ, რომ 1 ჰა ტყე წელიწადში მოიხმარს 13-18 მ³ წყალს, ნიადაგში აბრუნებს 40-51 მ³-ს და შეიცავს 150 მ³ ხე-ტყის მარაგს. საინტერესოა ის ფაქტიც, რომ ერთი თანამედროვე ტიპის თვითმფრინავი 8-10 საათის ფრენის დროს შთანთქავს 35 ტ ჟანგბადს, რასაც გამოყოფს 1 ჰა ტყე მთელი წლის განმავლობაში [31].

საქართველოში საომარი მოქმედებების შედეგად ტყეში გაჩენილი ხანძრები უახლოეს 2-3 წელიწადში გააღწიან იქონიებს არა მარტო მინერალური, არამედ იმ წყაროების წყლის დებეტზეც, რომლებიც მონაწილეობენ ადგილობრივი მდინარეების ხარჯის ფორმირებაში.

ყველაფერმა ამან ერთად მკვეთრად გააუარესა რეგიონის რეკრეაციული პირობები, გამოიწვია მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური, სოციალური და ეკონომიკური ზარალი.

ფოტოზე 1.1 ნახვენებია გორის მიმდებარე ტერიტორიაზე გადამწვარ ტყეში ფიჭვის ნარგავები, ფოტოზე 1.2 – წაღვერის მიმდებარე ტერიტორიაზე, სოფ. დაბას ტყეში დამწვარი ხის ნარჩენები; ფოტოზე 1.3 – სოფ. დაბაში გადამწვარი ტყის მასივები, ხოლო ფოტოზე 1.4 – ამავე ტყეში დამწვარი ნიადაგის ნიმუშის აღება.

საქართველოს პრემიერ-მინისტრის 2008 წლის 29 აგვისტოს №252 ბრძანებულების თანახმად, წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი აქტიურად იყო ჩართული საქართველოში საომარი მოქმედებების შედეგად გარემოსათვის მიყენებული ზარალის დადგენის საქმეში.



სურ. 1.1. გორის მიმდებარე ტერიტორია ხანძრის შემდეგ



სურ. 1.2. დამწვარი ხის ნარჩენები სოფელ დაბას ტყეში



**სურ. 1.3.. სოფელ დაბას (წაღვერი) მიმდებარე ტერიტორია
ხანძრის შემდეგ**



სურ. 14. დამწვარი ნიადაგის ნიმუშის აღება სოფელ დაბას ტყეში (მარჯვნიდან პროფ. თ. ურუშაძე, პროფ. გ. გავარდაშვილი)

1.2. ბორჯომისა და გორის რაიონებში ტყის მასივების გადაწვისას ტერიტორიის ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ზარალის კომპლექსური შეფასება

ტყის ხანძრის შედეგად გამოწვეული ეკონომიკური ზარალის დადგენის მიზნით გამოიყენება შემდეგი სამეცნიერო ლიტერატურა: [29, 31, 46, 47]. ტყის და ნიადაგის ჰუმუსოვანი ფენის განადგურების შედეგად, ასევე წყლის რესურსების შემცირებით გამოწვეული დანაკარგები განისაზღვრება პირდაპირი გადაანგარიშებით (განადგურებული რესურსების რაოდენობის ნამრავლით მის ღირებულებასზე).

რაც შეეხება ბუნებრივი ტყის ლანდშაფტის რეკრეაციული შესაძლებლობების მკვეთრი გაუარესების შედეგად გამოწვეულ დანაკარგებს, მათი სიდიდე ჯამდება 50-100 წლის განმავლობაში, რაც აუცილებელია ადრე არსებული ტყიანი საფარის ბუნებრივი აღდგენისათვის. აღნიშნული სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ფორმულით [29, 62]:

$$Y = \frac{\Pi \cdot S}{E}, \quad (\text{მლნ. ლარი}) \quad (1.1)$$

სადაც Y არის სანიტარულ-საკურორტო მეურნეობის ზარალი; Π – რეკრეაციული ობიექტის ფუნქციონირების შედეგად მიღებული შემოსავალი; S – შემოსავლების სიდიდეში რეკრეაციული ბუნებრივი ფაქტორების შეტანის მახასიათებელი კოეფიციენტი; E – დროის ფაქტორის აღწერის ნორმა (დისკონტის ნორმა) – 1/წელიწადი.

Π სიდიდე განისაზღვრება გამოსახულებით [29]:

$$\Pi = I \times P \times Z \times T, \quad (1.2)$$

სადაც I რეკრეაციული ობიექტის მომსახურების ფასში მოგების წილია; P – დამსვენებელთა საშუალო რაოდენობა დღეში; Z – რეკრეაციული ობიექტის მომსახურების ფასი; T – რეკრეაციულ ობიექტზე დამსვენებლის ყოფნის დროის პერიოდი.

ეკონომიკურ ზარალთან ერთად, აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს სოციალური ზარალიც, რომელიც გამოწვეულია საჭაერო აუზის ქიმიური დაბინძურებით და ლანდშაფტების ესთეტიკური ფასეულობების გაუარესებით.

მიუხედავად იმისა, რომ სოციალური ზარალის რაოდენობრივ შეფასებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს, დღემდე არ არის მიღებული მისი გამოთვლის მეთოდოლოგია.

დღესდღეობით, სოციალური დანაკარგი (ზარალი) შეიძლება განისაზღვროს პირდაპირ ჯანმრთელობაზე განხორციელებული ხარჯების ზრდით და გამოითვლება ფორმულით [29, 61]

$$Y_{\text{სოც}} = \frac{\alpha \cdot N \cdot K}{E} \quad (\text{მლნ. ლარი}) , \quad (1.3)$$

სადაც α ჯანმრთელობაზე დანახარჯების კოეფიციენტი; N – ადგილობრივ მცხოვრებთა რაოდენობა; K – საშუალო დანახარჯი მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე წლის განმავლობაში, ლარი/კაცი; E – დისკონტის ნორმა.

1.3. ბორჯომის ხეობაში ეკონომიკური ზარალის გაანგარიშება

- ხანძრის შედეგად დაზიანდა ტყის 950 ჰა, მათ შორის მთლიანად დაიწვა 250 ჰა. განადგურდა 290 ათასი მ³ ხე-ტყე, რამაც განსაზღვრა ზარალი

$$Y_3 = 290,0 \text{ ათასი მ}^3 \times 500 \text{ ლარი/მ}^3 = 145,0 \text{ მლნ. ლარი} \quad (1.4)$$

სადაც 500 ლარი/მ³ ხე-ტყის რესურსული ფასია;

- 950 ჰა ფართობზე მთლიანად ან ნაწილობრივ დაიწვა საშუალოდ 0.2 მ სისქის ნიადაგი. ჰუმუსოვანი ფენის დაკარგვით გამოწვეული ზარალი საორიენტაციო მონაცემებით შეადგენს

$$Y_3 = 9\,500\,000 \text{ მ}^2 \times 0,2 \text{ მ} \times 100 \text{ ლარი/მ}^3 = 190,0 \text{ მლნ. ლარი}; \quad (1.5)$$

- წყლის რესურსების შემცირებით გამოწვეული ზარალი შეადგენს:

$$Y_3 = 50 \text{ მ}^3 \times 850 \text{ ჰა} \times 4,965 \text{ ლარი/მ}^3 = 0,235 \text{ მლნ. ლარი}; \quad (1.6)$$

სადაც 4,965 ლარი 1 მ³ წყლის რესურსული ფასია;

- სანიტარულ-საკურორტო მეურნეობის ზარალი, რომელიც გამოითვლება (1.1) და (1.2) ფორმულებით, შეადგენს:

$$\begin{aligned} Y_{სკ} &= 0,3 \times 5,0 \text{ ათ. ადამ.} \times 50 \text{ ლარი} \times 90 \text{ დღე} \times 1,0 : 0,01 = \\ &= 675,0 \text{ მლნ. ლარი} \end{aligned} \quad (1.7)$$

სოციალური ზარალის სიდიდე განისაზღვრება (1.3) ფორმულით:

$$\begin{aligned} Y_{სოც} &= 0,3 \times 5000 \text{ კაცი} \times 150 \text{ ლარი} : 0,02 = \\ &= 11.250 \text{ მლნ. ლარი} \end{aligned} \quad (1.8)$$

ამრიგად, ბორჯომის ხეობაში ტყის განადგურების შედეგად გამოწვეული ჯამური ზარალი შეადგენს 1 021 485 მლნ ლარს.

1.4. გორის რაიონში ეკონომიკური ზარალის გაანგარიშება

- გორის რაიონში ხანძრის შედეგად დაზიანდა დაახლოებით ტყის 53 ჰა (მათ შორის, 50 ჰა ატენის ხეობაში). განადგურდა 16 ათასი მ³ ხე-ტყე, რამაც განსაზღვრა ზარალი:

$$Y_3 = 16,0 \text{ ათასი მ}^3 \times 500 \text{ ლარი/მ}^3 = 8,0 \text{ მლნ. ლარი}; \quad (1.9)$$

- 53 ჰა ფართობზე მოთიანად ან ნაწილობრივ დაიწვა

საშუალოდ 0,2 მ სისქის ნიადაგი. ჰუმუსოვანი ფენის დაკარგვით გამოწვეული ზარალი საორიენტაციო მონაცემებით შეადგენს

$$Y_3 = 530\,000 \text{ მ}^2 \times 0,2 \text{ მ} \times 100 \text{ ლარი/მ}^3 = 10,6 \text{ მლნ. ლარი}; (1.10)$$

- წყლის რესურსების შემცირებით გამოწვეული ზარალი შეადგენს

$$Y_3 = 50 \text{ მ}^3 \times 53 \text{ ჰა} \times 4,95 \text{ ლარი/მ}^3 = 0,013 \text{ მლნ. ლარი}; (1.11)$$

- სანიტარულ-საკურორტო მეურნეობის ზარალი, რომელიც გამოითვლება (1.1) და (1.2) ფორმულებით, შეადგენს:

$$Y_{სკ} = 0,3 \times 1,0 \text{ ათ. ადამ.} \times 50 \text{ ლარი} \times 90 \text{ დღე} \times 1,0 : 0,01 = 135,0 \text{ მლნ. ლარი}. (1.12)$$

სოციალური ზარალის სიდიდე იანგარიშება (1.3) ფორმულით და შეადგენს

$$Y = \frac{0,1 \times 50000 \text{ კაცი} \times 150 \text{ ლარი}}{0,02} = 37,5 \text{ მლნ ლარი}. (1.13)$$

ამგვარად, გორის რაიონში ტყის განადგურების შედეგად გამოწვეული ჯამური ზარალი შეადგენს 191,113 მლნ ლარს.

1.5. გადამწვარ ტერიტორიებზე ნიადაგის ეროზიული პროცესების პროგნოზირება

ბორჯომისა და გორის რაიონებში გადამწვარი ნიადაგის გეოეკოლოგიური შეფასების მიზნით, წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის მეცნიერ-თანამშრომლების მიერ განხორციელდა ექსპედიციები 2008 წლის აგვისტო-ნოემბერში. ადგილზე აღებულ იქნა გადამწვარი ნიადაგის

სინჯები (სურ. 1.5, 1.6) და ინსტიტუტში ჩატარებული ლაბორატორიული კვლევის ანალიზის საფუძველზე დადგინდა:

ბორჯომის ხეობაში (წაღვერი-დაბის ტერიტორიაზე) მომხდარი ხანძრის შემდგომ მდგომარეობის შესწავლის მიზნით, განხორციელდა ნიმუშიდან გამონაწურის ქიმიური ანალიზი, რომლის მონაცემებიც ადასტურებს, რომ ნიმუშში ადვილად ხსნადი მარილების საერთო რაოდენობა ნიადაგის ზედა ფენებში შეადგენს 2%-ს; ჰუმუსის შემცველობა ძალიან მცირეა და 1.25%-ს აღწევს. ნიადაგი უმეტესად კარბონატულია და ღარიბია საკვები ელემენტებით. შთანთქმული Na -ის რაოდენობა ტევადობის 2.34%-ს შეადგენს, რაც დასაშვებ ნორმაზე მეტია. ნიადაგებისათვის დამახასიათებელია მცირე რაოდენობით სოდის შემცველობა, საერთო ტუტეანობა საკმაოდ მაღალია და ტოქსიკურ ზღვარს აღწევს; ქლორის შემცველობა სიღრმით მატულობს და მცენარეებისათვის საშიშ ზღვარზე მეტია. ამ მონაცემებიდან გამომდინარე, შესწავლილ ნიადაგს დაკარგული აქვს სტრუქტურა და ხასიათდება წყლისა და ქარისმიერი ეროზიის მიმართ დიდი სენსიტიურობით.

ეროზიული პროცესების შესწავლის მიზნით გამოქვეყნებული სამეცნიერო ლიტერატურის ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ წაღვერის მიმდებარე ტერიტორიაზე, სოფ. დაბაში მდ. ნიაღვრის დეღეს, ე.წ. მტს-ის დეღეს და რუსის დეღეს წყალშემკრებ აუზებში ნალექების წლიური მაქსიმალური მანვენებელი იცვლება 600-800 მმ/წელიწადში, ხოლო ბორჯომის რაიონში ნალექების

განაწილება თვეების მიხედვით მოცემულია პირველ ცხრილში, ნალექების განაწილების ციკლოგრამა კი – 1.7 სურათზე.



სურ. 1.5. გორის მიმდებარე ტერიტორიაზე გადამწვარი ნიადაგის ზედაპირი

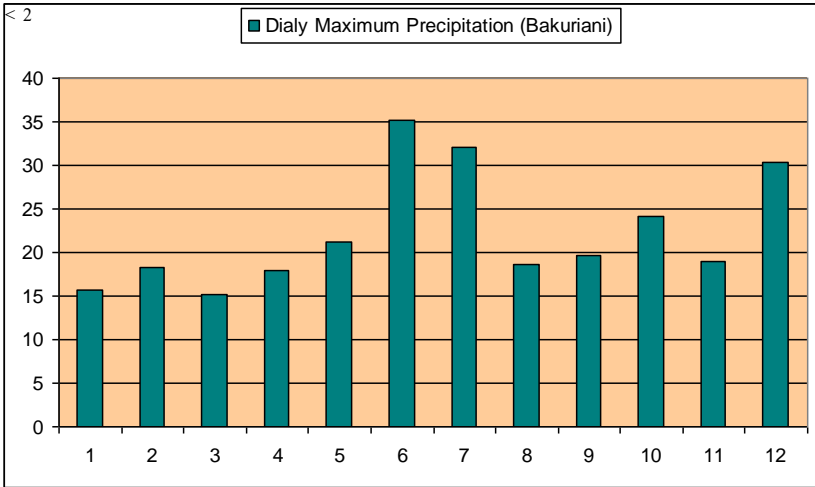


სურ. 1.6. სოფელ დაბაში გადამწვარი ნიადაგის ზედაპირი

ცხრილი 1.1

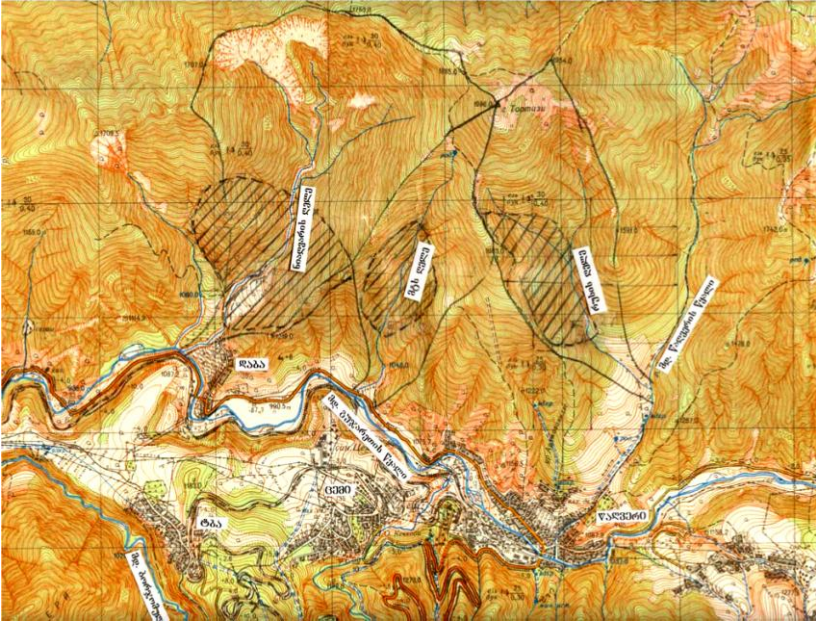
წლიური მაქსიმალური ნალექების განაწილება
თვეების მიხედვით

სადგურის დასახელება	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ბაკურიანი	15,7	18,2	15,2	17,9	21,2	35,2	32	18,7	19,7	24,2	18,9	30,3



სურ. 1.7. ნალექების განაწილების ციკლოგრამა

საველე გამოკვლევებისა და ტოპოგრაფიული რუკის გამოყენებით (სურ. 1.8) დადგინდა, რომ მდ. ნაღვარევის წყლის წყალშემკრები აუზის მთლიანი ფართობი არის $F_0 = 4.313 \text{ კმ}^2$, გადამწვარი ფართობისა კი - $F_1 = 1,25 \text{ კმ}^2$, ხოლო სენსიტიური ფართობი - $F_2 = 0,95 \text{ კმ}^2$. ანალოგიური მაჩვენებლები ე.წ. მტს-ის ხევისათვის - $F_0 = 1.656 \text{ კმ}^2$, $F_1 = 0.52 \text{ კმ}^2$, $F_2 = 0,41 \text{ კმ}^2$, ხოლო რუსის დელეს შემთხვევაში - $F_0 = 2.375 \text{ კმ}^2$, $F_1 = 0.66 \text{ კმ}^2$ და $F_2 = 0,44 \text{ კმ}^2$.



სურ. 1.8. ტოპოგრაფიული რუკა

ამრიგად, ბორჯომის რაიონში ჩატარებული საველესარეკონოსტირებო კვლევების ანალიზის შედეგად შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა: ბორჯომის რაიონში მდ. ნაღვარევის, მდ. მტს-ის დეღესა და მდ. რუსის დეღეს წყალშემკრებ აუზში ხანძრისაგან დაიწვა 950 ჰა ტყის მასივი, აქედან მთლიანად გადამწვარი ტყის 250 ჰა (2,50 კმ²) ფართობიდან სენსიტიურ უბნებად დავაფიქსირეთ 191 ჰა (1,91 კმ²), ე.ი. მთლიანი გადამწვარი ფართობის 84% (ცხრ. 1.2).

მთის ფერდობების გეომეტრიული მაჩვენებლები

წყალშემკრები აუზის დასახელება	ფერდობის პროექცია	ფერდობის დაწვევისა და დამთავრების ნიშნული ზღვის დონიდან (მ)		ფერდობის სიგრძე (მ)	ფერდობის კანობი	ფერდობის დახრის კუთხე (გრად)
ნაღვარევის ღელე	მარჯვენა	1475	1105	875	0,423	25 ⁰ 00'
	მარცხენა	1375	1105	625	0,432	25 ⁰ 40'
მტს-ის ღელე	მარჯვენა	1375	1125	500	0,500	30 ⁰ 00'
	მარცხენა	1425	1125	375	0,733	47 ⁰ 10'
რუსის ღელე	მარჯვენა	1588	1250	575	0,587	36 ⁰ 00'
	მარცხენა	1450	1250	360	0,555	33 ⁰ 40'

ეროზიის კოეფიციენტის (E) დასადგენად ვსარგებლობთ შემდეგი დამოკიდებულებით [10,14]:

$$E = [0,58 + 1,40(F_2 / F_1)](t/T)^{0,21}, \quad (1.14)$$

სადაც F_1 არის წყალშემკრები აუზის გადამწვარი ფართობი (კმ^2); F_0 – მთლიანი წყალშემკრები აუზის ფართობი (კმ^2); t – საანგარიშო დროის ელემენტარული პერიოდი (წელი); T – საპროგნოზო დროის მთლიანი პერიოდი (წელი).

(1.14) დამოკიდებულებისა და ინგლისელი მეცნიერის, პროფ. რ. მორგანის [54] ეროზიული სკალის გამოყენებით მიღებული გაანგარიშების შედეგები მოცემულია ცხრილში 13.

ეროზიის პროგნოზი

ეროზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობა (E)	2009	2010	2011	2012	2013	ეროზიის კლასი რ. მორგანის მიხედვით [16]	ეროზიის ინტენსი- ვობა წელიწადში (ტ/ჰა)
მდ. ნაღვარევის წყლის წყალშემკ- რები აუზი	0,95	1,11	1,21	1,27	1,34	3	5÷10
მდ. მტს-ის ღელეს წყალშემკრები აუზი	0,56	0,65	0,71	0,75	0,79	2	2÷5
მდ. რუსის ღელეს წყალშემკრები აუზი	0,47	0,56	0,60	0,64	0,67	2	2÷5

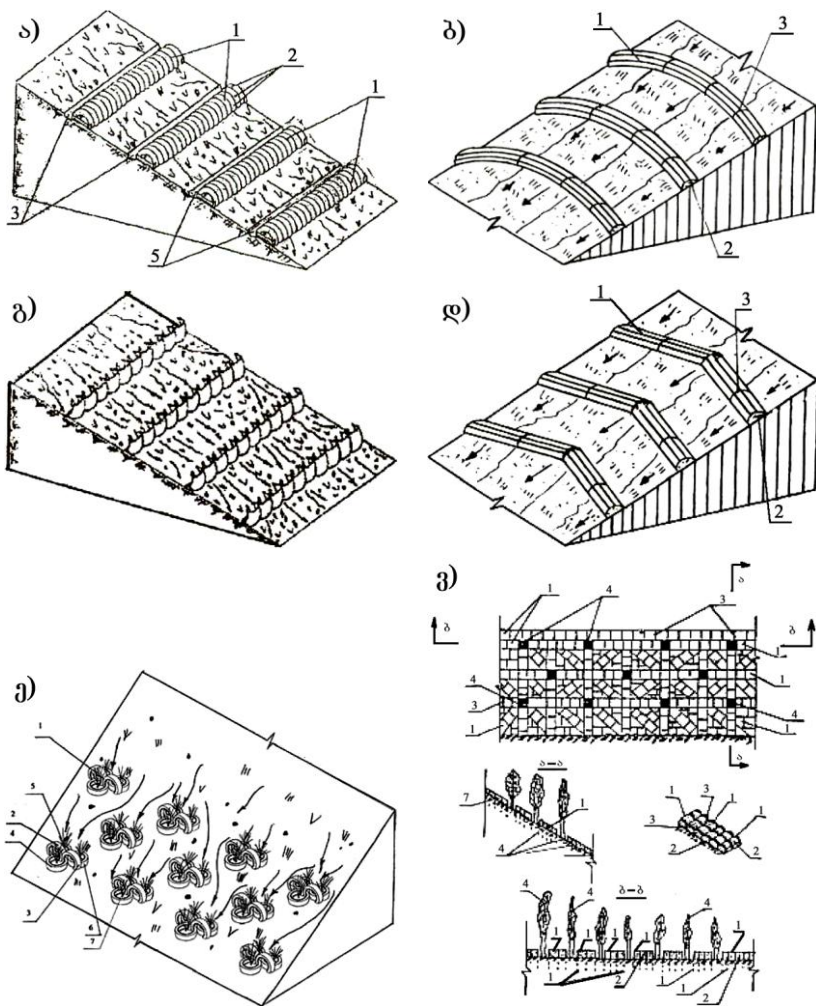
ეროზიის კლასი ამჯერად მეორე რიგისაა (პროფ. რ. მორგანის სკალის მიხედვით), რომლის შესაბამისი ეროზიის ინტენსივობა წელიწადში ჯერჯერობით ნაკლებია 2÷5 ტ/ჰა-ზე. ამ რეგიონში ინტენსიური წვიმების გათვალისწინებით (პროგნოზით წვიმის მაქსიმალური ინტენსივობა უტოლდება $K = 0,195$ მმ/წმ), შესაძლებელია უფრო გაძლიერდეს ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესები, რაც კიდევ უფრო დაამძიმებს იქ არსებულ ეკოლოგიურ მდგომარეობას.

1.6. ეროზიის საწინააღმდეგო რესურსმზოგი ახალი კონსტრუქციები და მათი დაპროექტების მეთოდები

ეროზიული პროცესების პროგნოზირებისა და მათი საწინააღმდეგო ღონისძიებების დაპროექტებისათვის მეთოდოლოგიის დამუშავებას ყოფილ საბჭოთა კავშირში, და მათ შორის საქართველოშიც, საფუძველი ჩაუყარა მსოფლიოში ცნობილმა მეცნიერმა, აკადემიკოსმა ცოტნე მირცხულავამ [50, 51, 53]. განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს, დამოუკიდებელ საქართველოში (1992 წ.) წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტში მისი ხელმძღვანელობითა და უშუალო მონაწილეობით „საქართველოს ნიადაგების ეროზიისაგან დაცვის სახელმწიფო მიზნობრივი პროგრამის“ დამუშავება, რომელიც დამტკიცებულია საქართველოს პრეზიდენტის შესაბამისი ბრძანებულებით.

ბორჯომის რაიონში ხანძრის ზონებში ჩატარებულმა ექსპედიციურმა გამოკვლევებმა დაადასტურა, რომ რეგიონი განთავსებულია ტყის ზედა სარტყლის ლანდშაფტში, გარშემორტყმულია საშუალო სიმაღლის მთებით და დაფარულია რცხილნარ-წიფლნარი და ზოგან ფიჭვნარი ტყით. რაც შეეხება ნიადაგებს, აქ ძირითადად გავრცელებულია ღია და გაეწრებული საშუალო და მცირე სისქის ტყის ყომრალი ნიადაგი.

საველე და კარტოგრაფიული მონაცემების ერთობლივი დამუშავებით დადგინდა მდ. ნაღვარევის დელის, მდ. მტს-ის დელისა და მდ. რუსის დელის წყალშემკრები აუზის გადამწვარ ფართობებზე განთავსებული მთის ფერდობების დახრის კუთხის მნიშვნელობები, რომელთა მანკენებლებიც მოცემულია ცხრილში 1.3.



სურ. 19. ეროზიის საწინააღმდეგო ახალი კონსტრუქციები

წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტში დამუშავებულია მთელი რიგი წყლისმიერი ეროზიის საწინააღმდეგო რესურსდამზოგი ახალი კონსტრუქციები, რომელთა მეცნიერულ-ტექნიკური სიახლის პრიორიტეტებიც დამოწმებულია

საქართველოსა და საზღვარგარეთის საპატენტო მოწმობებით [2, 4, 12, 13, 24].

მთის ფერდობის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა (სურ. 1.9, ა) წარმოადგენს მთის ფერდობის მთელ სიგანეზე რიგებად დამონტაჟებულ ავტომობილის ამორტიზებულ საბურავებისაგან შედგენილ სექციებს; გამოყენებული საბურავები განლაგებულია გვერდითი ზედაპირებით ერთმანეთზე მიჯრით, ჩალაგებულია გრუნტის თხრილში და მჭიდროდაა დაკავშირებული ერთმანეთთან ლითონის ბაგირებით, რომლებიც გატარებულია საბურავებში წინასწარ გაკეთებულ ნახვრეტებში, შემოხვეულია სექციის ერთ ბოლოზე მიმაგრებულ ლითონის II-სებრ ელემენტზე და ბოლოები ხისტადაა ჩამაგრებული სექციის მეორე ბოლოზე დაყენებულ II-სებრ ელემენტზე ქანჩითა და ჭანჭიკით; ამასთან, ნაგებობიდან წყლის ნაკადის გაყვანის მიზნით, ნაგებობის ზედა ბიეფში მოწყობილია წყალამრიდი არხები [12].

ეროზიის საწინააღმდეგო ზვინულები (სურ. 1.9, ბ და 1.9, დ), რომლებიც შედგება მიწის ტომრებისაგან, მთის ფერდობზე განლაგებულია სხვადასხვა კონფიგურაციით, რაც უზრუნველყოფს ინტენსიური წვიმების შედეგად წარმოშობილი წყლის ზედაპირული ნაკადების კინეტიკური ენერჯის ჩაქრობას. მიწის ზვინულებს შორის მანძილი და მათ შორის მცენარეული საფარის განახლება ხორციელდება ქვემოთ განხილული შესაბამისი მეთოდოლოგიით [13].

მთის ფერდობის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა (სურ. 1.9, გ) შედგება ავტომობილის ამორტიზებული, დიამეტრზე გაკვეთილი საბურავებისაგან, რომლებიც

ერთი ბოლოთი გრუნტში ხისტადაა ჩამაგრებული ერთმანეთთან მიჯრით, ხოლო მეორე, ნიადაგის ზემოთ დარჩენილი ნაწილი მიმართულია მთის ფერდობზე მოსული ინტენსიური წვიმების შედეგად წარმოშობილი წყლის-მიერი ზედაპირული ეროზიის საწინააღმდეგოდ [22].

მთის ფერდობის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა (სურ. 1.9, ე) შედგება ჭადრაკულად განლაგებული აგტომობილის ამორტიზებული საბურავებით შედგენილი სექციებისაგან, რომელთაგან ორი ჩამაგრებულია დიამეტრის სიგრძის დაახლოებით $1/3$ ნაწილით და მუშა ზედაპირებით ერთმანეთთან მიჯრით დაკავშირებულია ისე, რომ მათი დიაგონალი მართობული იყოს ფერდობის სიბრტყისადმი, ხოლო მესამე განთავსებულია ნიადაგის ზედაპირზე და გაყრილია ნიადაგში ჩამაგრებული საბურავების ღრუ ტანში, დანარჩენი საბურავები კი განლაგებულია გვერდითი ზედაპირების ერთმანეთთან მიჯრით ნიადაგის სიბრტყეზე ისე, რომ მათი მუშა ზედაპირები მოთავსებულია ნიადაგში ჩამონტაჟებული საბურავების შიგა მხარეს. მთის ფერდობის ზედაპირზე განლაგებულ საბურავებში სექციების მდგრადობის გასაძლიერებლად ჩარგულია მცენარეები.

მთის ფერდობის ეროზიის საწინააღმდეგო ახალი მოწყობილობა (სურ. 1.9, ვ) უზრუნველყოფს გრუნტის ნაწილაკების ადგილზე შეკავებას, ეწინააღმდეგება ეროზიის გავრცელებას მთის ფერდობზე, ქმნის მცენარისათვის ნორმალურ ეკოლოგიურ გარემოს და ხასიათდება დაბალი სამშენებლო და სამონტაჟო ხარჯებით [3]. ნაგებობა შედგება პოლიეთილენის ტომრებისაგან, რომლებიც შევსებულია ადგილობრივი გრუნტით. ტომრები გრუნტის

ზედაპირზე დამაგრებულია ლითონის სამაგრებით, ხოლო თავისუფალ ადგილებში ჭადრაკულადაა დარგული მცენარეები.

წარმოდგენილი ახალი კონსტრუქციები შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს როგორც წყალამრიდი ზვინულების, ისე სხვადასხვა ცალკეული ღონისძიებების სახით; ხოლო ეროზიულ ფართობებზე, სენსიტიური უბნების დადგენის შემდეგ შეირჩევა, თუ რომელ კონსტრუქციას გაეწიოს რეკომენდაცია და შემდეგ ეტაპზე ხორციელდება მისი დაპროექტება.

მთის ფერდობის ტოპოგრაფიული, გეოლოგიური, ნიადაგობრივი, კლიმატური, ჰიდროლოგიური და ფერდობზე ფორმირებული ზედაპირული წყლის ნაკადის ჰიდრაულიკური პარამეტრების მხედველობაში მიღებით, აკად, ც. მირცხულავას [50, 51, 52, 53] მეთოდოლოგიის გამოყენებით წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტში დადგინდა ზვინულებს შორის ის კრიტიკული ურთიერთდაშორება (მანძილი) X_0 , რომელიც უზრუნველყოფს ნიადაგის დაცვას წყლისმიერი ეროზიული პროცესებისაგან [55]:

$$X_0 = \frac{V_{\Delta 0}^{5.4} (BH_0 + 1)^{2.7} n^{4.4} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{2,25 \ln^2(1 - R) dtg^{0.8} sq}, \quad (მ) \quad (1.15)$$

სადაც $V_{\Delta 0}$ ნიადაგის ზღვრული (არაგამრეცხი) ფსკერული სიჩქარეა (მ/წმ); B – ფერდობის სიგანე, რომელიც იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$B = \frac{156250}{w dt}, \quad (1.16)$$

სადაც w ნაკადის პულსაციის სიხშირის საშუალო

მნიშვნელობაა ($1/\sqrt{m}$); d – ნიადაგის მოწყვეტილი ნაწილაკის ზომა ($d=0,0004$ მ); t – მოცემული ინტენსივობის წვიმის ხანგრძლივობა, წმ; H_0 – ნაკადულის ფსკერის წარეცხვის დასაშვები სიმაღლე, მ; n – ფერდობის ხორკლიანობის კოეფიციენტი; α, β – ფერდობის ზედაპირის უსწორობის მახასიათებელი კოეფიციენტები (მოსხული ნიადაგისათვის $\alpha=13,4$; $\beta=17,6$); R – ეროზიის თვალსაზრისით ფერდობის საიმედოობა; s – ფერდობის დახრის კუთხე (გრადუსი); q – ფერდობის ჩამონადენი (მ/წმ).

თუ გავითვალისწინებთ აკად. ც. მირცხულავას მიერ რეკომენდებულ არაგამრეცხი ფსკერული სიჩქარეების მნიშვნელობებს: ქვიშნარი ნიადაგებისათვის – 0,11 მ/წმ, თიხნარებისათვის – 0,115 მ/წმ, ხოლო თიხებისათვის – 0,12, მაშინ (1.15) დამოკიდებულებით გამოთვლილი ეროზიის საწინააღმდეგო ზვინულებს შორის მანძილის ოპტიმალური მნიშვნელობები მოყვანილია 1.4 ცხრილში [55]. მიღებული მონაცემები შედარებულ იქნა მცენარეული საფარის არმქონე ფერდობებზე ქვიშნარი ნიადაგის პირობებისათვის, მსოფლიოში ცნობილი მეცნიერების რ. მორგანის [54], რ. მარშალის [45] და USLE-ის მონაცემებთან. ანალიზით დადგინდა, რომ აკად. ც. მირცხულავას [50, 55] მეთოდოლოგია უფრო მისაღებია, რადგან, გარდა ეროზიის განმსაზღვრელი ძირითადი პარამეტრებისა, ანგარიშში გათვალისწინებულია ეროზიული პროცესების ალბათური ხასიათიც.

რაც შეეხება ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობების სამშენებლო-სამონტაჟო ღირებულებას, იგი წინასწარი

განგარიშებით, ერთი გრძივი მეტრის მოწყობისას არ აღემატება 12÷25 ლარს.

ცხრილი 14

ეროზიის საწინააღმდეგო ზვინულებს შორის მანძილი (მ)

ფერდობის ქანობი (გრადუსი)	ქვიშნარი		თიხნარი		თიხები	
	$V_{\Delta 0}=0,11$ (მ/წმ)		$V_{\Delta 0}=0,115$ (მ/წმ)		$V_{\Delta 0}=0,12$ (მ/წმ)	
	$R=0,95$	$R=0,99$	$R=0,95$	$R=0,99$	$R=0,95$	$R=0,99$
5	39,1	16,6	49,7	21,1	62,6	26,6
10	22,5	9,5	28,6	12,1	35,9	15,3
15	16,2	6,9	20,6	8,8	26,0	11,0
20	12,9	5,5	16,4	7,0	20,6	8,8
30	9,3	4,0	11,9	5,0	14,9	6,3
40	7,4	3,1	9,4	4,0	11,9	5,0
50	6,2	2,6	7,9	3,3	9,9	4,2
60	5,4	2,3	6,8	2,9	8,6	3,6
70	4,7	2,0	6,0	2,6	7,6	3,2

1.7. ბორჯომის მუნიციპალიტეტის დაბა წაღვერის ტერიტორიაზე გადამწვარი ტყის მასივების მთის ფერდობებზე 2010 წლის არსებული მდგომარეობის შეფასება

საქართველოს გარემოს დაცვისა და ბუნებრივი რესურსების მინისტრის 2010 წლის 20 აგვისტოს ბრძანების (№ი-427) თანახმად, რომელიც დაკავშირებულია 2008 წლის აგვისტოს თვეში რუსეთის სამხედრო აგრესიის შედეგად ბორჯომის მუნიციპალიტეტის დაბა წაღვერის ტერიტორიაზე გადამწვარი ტყის მასივების მთის ფერდობებზე არსებული მდგომარეობის შეფასებასთან, 2010

წლის 23 აგვისტოს საქართველოს გარემოს დაცვისა და ბუნებრივი რესურსების მინისტრის მიერ შექმნილი კომისიის წევრების მიერ განხორციელდა მივლინება დაბა წაღვერში.

აღვილზე ჩატარებული საველე-სარეკოგნოსციურებო კვლევებისა და გადამწვარ ტყის ფერდობებზე 2008-2010 წწ. ნიადაგის ზედაპირიდან აღებული ნიმუშების ლაბორატორიული გამოკვლევების შემდეგ შეიძლება ავლნიშნოთ:

1. ბორჯომის მუნიციპალიტეტის სოფელ დაბასა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე მდ. გუჯარეთის წყალშემკრებ აუზში მთის ფერდობების საერთო მდგომარეობა მოცემულია 1.10 და 1.11 სურათებზე.



სურ. 1.10. 2008 წლის სექტემბერი



სურ. 1.11. 2010 წლის 23 აგვისტო

2. 2008 წლის სექტემბერსა და 2010 წლის 23 აგვისტოში სოფ. დაბის მიმდებარე ტერიტორიაზე აღებული ნიადაგის ქიმიური ანალიზის შედეგებიდან შეიძლება დავასკვნათ: ანიონებიდან №1 და №3 ნიმუშში ყველაზე დიდი რაოდენობითაა მოდის SO_4^{2-} ($67,58 \div 69,58\%$), ხოლო №2 ნიმუშში Cl ($69,5\%$). მომდევნო ადგილი №1 და №3 ნიმუშში Cl -ს უკავია. ამდენად ნიადაგის ზედაპირი სულფატურ-ქლორიდული, პრაქტიკულად არადამლაშებული ხასიათისაა. კათიონებიდან წყლის გამონაწურში წამყვანი ადგილი Na^+ -ს უკავია. ამდენად მთის ფერდობის ნიადაგის ზედაპირის დამლაშება გამოწვეულია ძირითადად გლაუბერის მარილით და ქლორიდებით. ნიადაგი ბიცობებს განეკუთვნება. ბიცობები შთანთქმული Na^+ -ის გავლენით არამტკიცე სტრუქტურით ხასიათდება და ყოველი წვიმის შემდეგ იკეთებს ქერქს, რაც ცუდად მოქმედებს მცენარეებზე, იწვევს მცენარის მექანიკურ დაზიანებას. გარდა ამისა, ფერდობის ზედაპირზე ქერქის გაჩენა აძლიერებს წყლის ზედაპირულ აორთქლებას, ყოველივე

ეს კი ზრდის მთის ფერდობზე ეროზიული პროცესების გააქტიურებას;

3. მთის ფერდობის ეროზიული პროცესების პროგნოზირების მიზნით გამოყენებულია აკადემიკოს ც. მირცხუ-ლაგას, ინგლისელი პროფესორის რ. მორგანის და წინამდებარე მონოგრაფიის ავტორის მეთოდოლოგია, რომლის რიცხობრივი მაჩვენებლებიც მოცემულია 1.5 ცხრილში.

ეროზიის კლასი ამჯერად მეორე რიგისაა (პროფ. რ. მორგანის მიხედვით), რომლის შესაბამისი ეროზიის ინტენსივობა წელიწადში ჯერჯერობით ნაკლებია 2÷5 ტ/ჰა-ზე. ამ რეგიონში ინტენსიური წვიმების გათვალისწინებით (პროგნოზით წვიმის მაქსიმალური ინტენსივობა უტოლდება 0,195 მმ/წმ-ს), შესაძლებელია უფრო გაძლიერდეს ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესები, რაც კიდევ უფრო დაამძიმებს იქ არსებულ ეკოლოგიურ მდგომარეობას.

4. სამწუხაროდ, ჩვენს მიერ ჩატარებული 2008 და 2009 წლის მეცნიერული კვლევების საფუძველზე არ განხორციელდა შესაბამისი პრევენციული ღონისძიებები, რის შედეგადაც 2010 წლის გაზაფხულზე, ეროზიული პროცესების გააქტიურების შედეგად მდ. ნაღვარევის წყლის წყალშემკრებ აუზში განხორციელდა მთის ფერდობების ჩამონგრევა-ჩამოშვება და ზედაპირული წყლის ნაკადების მიერ ტრანპორტირებულ იქნა დამწვარი და წაქცეული ხის ნარჩენები (სურ. 1.12;1.13;1.14;1.15), რის შედეგადაც ჩამოყალიბდა სხვადასხვა სიმძლავრის დვარცოფები. ამჟამად დვარცოფული მასით მთლიანად არის შევსებული მდ. ნაღვარევის წყლის კალაპოტი და საშიშროების წინაშე დგას მთლიანად სოფელ დაბის მოსახლეობა.

ეროზიული პროცესების პროგნოზი

ეროზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობა (E)	2009	2010	2011	2012	2013	ეროზიის კლასი რ. მორგანის მიხედვით [16]	ეროზიის ინტენსივობა წელიწადში (ტ/ჰა)
მდ. ნაღვარევის წყლის წყალშემკრები აუზი	0,95	1,11	1,21	1,27	1,34	3	5 - 10
მდ. მტს-ის დელეს წყალშემკრები აუზი	0,56	0,65	0,71	0,75	0,79	2	2 - 5
მდ. რუსის დელეს წყალშემკრები აუზი	0,47	0,56	0,60	0,64	0,67	2	2 - 5



სურ. 1.12. მთის ფერდის ჩამონგრევა-ჩამოშვავება.
2010 წლის 23 აგვისტო



სურ. 1.13. ღვარცოფული მასა მდ. ნაღვარევის წყლის კალაპოტში



სურ. 1.14. მდინარის კალაპოტში ტრანსპორტირებული ხის ნარჩენები (23.08.2010)



სურ. 1.15. მდ. ნაღვარევის წყლის კალაპოტში (23.08.2010)

წინასწარი გაანგარიშებით მდ. ნაღვარევის წყლის კალაპოტი ღვარცოფული მასით სიგრძეზე შევსებულია 1,5 კმ მანძილზე, მდინარის საშუალო განივი კვეთის ფართობით 8 მ². შესაბამისად ღვარცოფის მიერ გამოტანილი ინერტული მასის საორიენტაციო მოცულობამ შეადგინა – 12000 მ³.

თუ ჩავატარებთ მიღებული მონაცემების ანალიზს, დავრწმუნდებით რომ ეროზიული პროცესების გააქტიურებით უკვე ჩამოყალიბდა მთის ფერდობების ისეთი დესტრუქციული პროცესები, როგორცაა ფერდობის ჩამონგრევა-ჩამოშვება და აქედან გამომდინარე, ღვარცოფული პროცესების ფორმირება.

ამრიგად, ბორჯომის მუნიციპალიტეტის დაბა წაღვერის ტერიტორიაზე გადამწვარ ტყის მასივებში ფორმირებული ბუნების სტიქიური მოვლენების რეგულირების

მიზნით აუცილებელია განხორციელდეს ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების საწინააღმდეგო პრევენციული საინჟინრო-ეკოლოგიური, სატყეო-მელიორაციული და კომპლექსური სახის ღონისძიებები, წინააღმდეგ შემთხვევაში საშიშროება დაემუქრება არა მარტო დაბა წაღვერის ტერიტორიაზე გადამწვარი ტყის ლანდშაფტებში განთავსებული მთის ფერდობების ეკოლოგიურ მდგრადობას, ასევე ამ სოფელში და მიმდებარე ტერიტორიაზე განთავსებული მოსახლეობის სიცოცხლეს.

თავი 2. მდინარე არაგვის წყალშემკრებ აუზში ეროზიულ-დვარცოფული პროცესების პრობნოზირება და მათი შეფასება

წარმოდგენილი მასალა ეფუძნება წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტში 25 წლის განმავლობაში განხორციელებული თეორიული და საველე კვლევის შედეგებს [7, 9, 14, 16, 18, 20, 21, 28, 30], რაც განპირობებული იყო ბოლო წლებში მსოფლიოში და მათ შორის საქართველოში, ბუნების სტიქიური მოვლენების – წყალდიდობების, წყალმოვარდნების, ეროზიულ-დვარცოფული პროცესების, მეწყერების და ა.შ. განსაკუთრებული გააქტიურებით.

მდინარე არაგვის წყალშემკრებ აუზში, მაგ., მდინარე დუშეთის ხევი 2003 – 2005 წწ. მნიშვნელოვნად გახშირდა წყალდიდობები, ხოლო მღეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში დვარცოფული პროცესები, რომლებმაც დიდი ზიანი მიაყენა არა მარტო მღეთის 1876 წელს აშენებულ წმინდა გიორგის ეკლესიას, საქართველოს სამხედრო გზის მონაკვეთსა და სოფელ ქვემო მღეთას, ასევე მდ. დუშეთის ხევის წყალმოვარდნებისა და დვარცოფების გავლისას დუშეთში დაინგრა საცხოვრებელი სახლები და დაზიანდა საავტომობილო გზები. სამწუხაროდ, იყო ადამიანთა მსხვერპლიც.

ნაშრომში განხილული მეცნიერული კვლევის შედეგები მოხსენებული იყო 2006 წლის ივნის-ივლისში გერმანიაში, ჰესენის უნივერსიტეტში [16], ხოლო 2007 წლის მარტ-აპრილში ჩინეთში: ჩინეთის ცენტრალურ ნორმალის უნივერსიტეტში (ქ. ვუჰანი), ვუჰანის უნივერსიტეტში, ჩინეთის მეცნიერებათა აკადემიის გეოდეზიისა და

გეოფიზიკის ინსტიტუტში (ჰუბეის პროვინცია) და ძიუძიანგის უნივერსიტეტში (ჯიან-ჯის პროვინცია), რამაც სპეციალისტთა დიდი ინტერესი გამოიწვია.

სამეცნიერო ნაშრომში დამუშავებული საპროექტო წინადადებები გადაეცა სრულიად საქართველოს კათოლიკოს პატრიარქს, უწმინდესსა და უნეტარეს ილია მეორეს.

2.1. მდინარე დუშეთის ხევის ეკოლოგიური შეფასება

დუშეთის ხევი სათავეს იღებს ზღვის დონიდან 1260 მ სიმაღლეზე, სოფელ რბოეთის მიმდებარე ტერიტორიიდან, რომელიც არაგვის ერთვის 640 მ ნიშნულზე. დუშეთის ხევის ძირითადი ჰიდრომორფომეტრული სიდიდეები ასეთია: წყალშემკრები აუზის ფართობი – 36,72 (კმ²), ეროდირებული ფართობი – 11,16 (კმ²), მდინარის სიგრძე – 13,2 (კმ), კალაპოტის საშუალო ქანობი – 0,047 [20].

2005 წლის 10–15 ივნისს დუშეთის რაიონში ინტენსიური წვიმების შედეგად ფორმირებულმა ზედაპირული წყლის ნაკადებმა, თავის მხრივ, გამოიწვია დუშეთისა და ფოტეს ხეების კალაპოტში დვარცოფების გავლა, რამაც დიდი ზიანი მიაყენა არა მარტო დუშეთის რაიონს, არამედ მწყობრიდან გამოიყვანა ჟინვალის წყალსაცავიდან გამომავალი თბილისისათვის სასმელი წყლის მომწოდებელი გვირაბი. სამწუხაროდ, სტიქიას აქაც ადამიანის მსხვერპლის გარეშე არ ჩაუვლია [20].

განხორციელებული კვლევებისას განსაკუთრებული ყურადღება მიექცა დუშეთის ხევის კალაპოტში რამდენიმე ადგილზე წარმოშობილი ბუნებრივი ზღუდარის შექმნას, რაც გამოწვეული იყო კალაპოტის ფერდობების

ჩამონგრევა-ჩამოშვავებით და რამაც ხელი შეუწყო მდინარის კალაპოტურ ეროზიას. ამას ემატებოდა მეწერული პროცესები, რომლებიც დაფიქსირდა სოფელ ამილახვრიანთ კართან (სურ. 2.1) და ღუშეთის ხევის სათავეებში.



სურ. 2.1. დამეწერილი ტერიტორია სოფელ ამილახვრიანთ კართან, 2005 წ. 31 ივლისი

ღვარცოფის სიმძლავრეზე ისიც მიუთითებს, რომ ღუშეთისა და სოფელ ამილახვრიანთ კარის შემაერთებელ ხიდან მდინარის კალაპოტში ნაკადმა 100 მ მანძილზე ჩამოიტანა 30 ტ წონის ამწე [20].

ღუშეთიდან 3 კმ-ის დაშორებით (მდ. ღუშეთის ხევის სათავეს მიმართულებით), სოფელ ახალ ტონჩაში წყალდიდობამ და ღვარცოფმა მთლიანად დაანგრია ამ სოფლისა და სოფელ ჭონტილს შორის დამაკავშირებელი ხიდი, რომელიც წარმოადგენდა ოთხი 12 მ სიგრძის

ლითონის მილს დიამეტრით 1200 მმ. ხიდს ზევიდან დაყრილი ჰქონდა ადგილობრივი გრუნტი და წარმოადგენდა მილხიდის კონსტრუქციას. ღვარცოფმა გაანგრია გრუნტის ყრილი და ლითონის მილსადენები გადაიტანა 100-300 მ-ის მოშორებით. ამჟამად გზა დანგრეულია 15 მ სიგრძეზე.

წყალდიდობამ და ღვარცოფმა დიდი ზიანი მიაყენა აგრეთვე მოსახლეობის საკარმიდამო ნაკვეთებს: სტიქიამ წარიტაცა ხეხილის ბაღები; კალაპოტი 6 მ სიღრმეზე გარეცხა, რასაც მდინარის ორივე ნაპირზე მოჰყვა ფერდების ჩამონგრევა-ჩამოშვავება და სხვადასხვა სიმაღლის ზღუდარების წარმოშობა.

მდინარის კალაპოტში შექმნილი ბუნებრივი კაშხლების (ზღუდარების) განგრევის შედეგად წარმოიშვა ღვარცოფი. ანალოგიური შემთხვევები დუშეთის ხევის კალაპოტში რამდენიმე ადგილზე დაფიქსირდა.

დუშეთისა და სოფ. ამილახერიანთ კარის დამაკავშირებელ ხიდთან ჩატარებულმა გამოკვლევამ ცხადყო, რომ კალაპოტის სიგანე ამ ადგილას 41 მ-ია; ხიდი წარმოადგენს კოჭოვან კონსტრუქციას ორი ბურჯით (სურ. 2.2).

ამ ადგილზე ღვარცოფის გავლის კვალი დაფიქსირებულია 4 მ სიმაღლეზე; კალაპოტის ქანობი 5-7-ის ფარგლებში მერყეობს. ჩატარებული გამოთვლებით დადგინდა, რომ ღვარცოფის ხარჯის პიკურმა სიდიდემ 492 მ³/წმ შეადგინა.

დამუშავებული მეთოდიკით [20] მდინარე დუშეთის ხევის კალაპოტის ჰიდრომორფომეტრული მაჩვენებლების მხედველობაში მიღებით გაანგარიშებულ იქნა ღვარცო-

ვის ის მაქსიმალური ხარჯი, რომელმაც 475,5 მ³/წმ შეადგინა, რაც შეესაბამება 1%-იანი უზრუნველყოფის ხარჯს. აღნიშნული სიდიდე წარმოადგენს ღვარცოვის იმ მაქსიმალური ხარჯის მნიშვნელობას, რომელიც დუშეთის ხევის კალაპოტში უნდა წარმოიშვას 100 წელიწადში ერთხელ.



სურ. 2.2. დუშეთისა და სოფ. ამილახვრიანთ კარის შემაერთებელი ხიდის საერთო ხედი, 2005 წ. 31 ივლისი
 სხვადასხვა უზრუნველყოფის ღვარცოვის მაქსიმალური ხარჯის მნიშვნელობა გაანგარიშებულ იქნა შემდეგი ფორმულით [3, 23]:

$$Q_{\max} = A(34 + 400i)F_0^{0.61} \text{ მ}^3/\text{წმ}, \quad (2.1)$$

სადაც A არის წყალდიდობის ხარჯის კოეფიციენტი, რომლის ცვლილება უზრუნველყოფის კოეფიციენტთან $P(\%)$ მოყვანილია 2.1 ცხრილში.



სურ. 2.3. ღვარცოფის მიერ დუშეთის ხევის 6 მ სიღრმეზე გარეცხილი კალაპოტი, 2005 წ. 31 ივლისი

ცხრილი 2.1

A კოეფიციენტსა და უზრუნველყოფის კოეფიციენტს P(%) შორის კავშირი

უზრუნველყოფის კოეფიციენტი (%)	0,1	1	3	5	10	25
A - კოეფიციენტი	2,4	1,0	0,7	0,6	0,5	0,3

დუშეთის ხევის კალაპოტისათვის აღნიშნული მეთოდით განხორციელებული მაქსიმალური ხარჯების გაანგარიშების შედეგები მოცემულია 2.2 ცხრილში.

მდინარე დუშეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში ეროზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობები დადგენილია შემდეგი ფორმულით [5]:

$$E = [0.58 + 1.40(F_1/F_0) \cdot (t/T)^{0.21}], \quad (2.2)$$

სადაც F_1 არის მდინარის წყალშემკრებ აუზში ეროზირებული ფართობი (კმ²); F_0 – მდინარის წყალშემკრები აუზის მთლიანი ფართობი (კმ²); t – დროის პერიოდი, წელი; T – მთლიანი დაკვირვების პერიოდი, წელი; გაანგარიშების შედეგები მოყვანილია 2.3 ცხრილში.

ცხრილი 2.2

დუშეთის ხევის კალაპოტში დვარცოფის სხვადასხვა უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯები

უზრუნველყოფის კოეფიციენტი (%)	0.1	1	3	5	10	25
დვარცოფის ხარჯი (მ ³ /წმ)	1141,1	475,5	332,8	285,3	237,7	142,6

ცხრილი 2.3

ეროზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობები წლების მიხედვით

წელი	1985	1990	1995	2000	2005	2010
ეროზიის კოეფიციენტი (E)	0,51	0,72	0,83	0,90	0,96	1,01

თუ გამოვიყენებთ ცნობილი ინგლისელი მეცნიერის, პროფესორ რ. მორგანის [56] კლასიფიკაციას, მაშინ 2005 წელს დუშეთის ხევის წყალშემკრები აუზის მდგომარეობა ეროზიული პროცესების მიხედვით შეესაბამება მეორე კლასს, რომლის დაზიანების რიცხვითი მაჩვენებელია 5-10 ტ/ჰა წელიწადში, ხოლო 2010 წელს იქნება მესამე

კლასი – მნიშვნელოვანი დაზიანების ხარისხით 10–50 ტ/ჰა-ზე წელიწადში, ე.ი. დუშეთის ხევის წყალშემკრები აუზის ეროზირებული ფერდობებიდან მდინარის კალაპოტში 1 ჰა-დან წელიწადში დაგროვდება 10-50 ტ ეროზირებული გრუნტის ნაწილაკები, რომლებიც ინტენსიურ ნალექებთან ერთად ღვარცოფული მასის წარმოშობის ერთ-ერთ მთავარ კომპონენტს წარმოადგენს.

ღვარცოფის წარმოშობის ხელშემწყობი ფაქტორები, რომლებსაც ადგილი ჰქონდა დუშეთის ხევის კალაპოტში და არა მარტო აქ, შეიძლება ითქვას მთლიანად ანალოგიურია საქართველოს დიდი და პატარა მდინარეთა კალაპოტებისათვის. ესენია: ტყის ინტენსიური ჭრა, შედეგი – მთის ფერდობებისა და მდინარის კალაპოტების გაძლიერებული ეროზია; დუშეთის ხევის კალაპოტის უკანონო ათვისება (კალაპოტის შევიწროება); წყალდიდობებისა და ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებების ჩაუტარებლობა; კალაპოტის გამწმენდი სამუშაოების შეჩერება, მისი ჩახერგვა და მისი ამოვსება საყოფაცხოვრებო ნარჩენებით; ქ. დუშეთში სანიაღვრე არხების ავარიულობა და სხვ. ზემოთ აღნიშნულ ფაქტორებს ემატება რეგიონის კლიმატური მანვენებლებიც; მაგალითად, ქ. დუშეთის მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემებით, 2005 წლის მაისი-ივნისის თვეებში მოსული ნალექების რაოდენობამ შესაბამისად შეადგინა 220 და 206 მმ, რომელიც იანვარი-აპრილის თვეებში მოსული ნალექების ჯამურ რაოდენობას თითქმის ორჯერ აღემატება.

დუშეთის ხევის ანალოგიურად, სოფელ არაგვისპირის მოსახლეობას დიდი ზარალი მიაყენა მდ. ფოტეს კალაპოტში ფორმირებულმა ღვარცოფმა. ნაკადმა დაანგრია

სათავო ნაგებობები და ღვარცოფული მასით შეავსო მოსახლეობის საცხოვრებელი სახლების პირველი სართული. საბედნიეროდ, სტიქიას აქ ადამიანის მსხვერპლი არ მოჰყოლია.

ჩატარებული დაკვირვებების ანალიზის შედეგები საშუალებას გვაძლევს დღის წესრიგში დავაყენოთ დუშეთის ხევის კალაპოტის აუცილებელი და გადაუდებელი რეგულირების საკითხი. წინააღმდეგ შემთხვევაში, დიდი საშიშროების წინაშე დადგება არა მარტო ქალაქ დუშეთისა და მისი რაიონის მოსახლეობა, არამედ სტიქიის განმეორების შემთხვევაში, არსებობს დიდი რისკი, ხელახლა მწყობრიდან გამოიყვანოს ან მთლიანად დაანგრიოს ჟინვალ-ბოდორნას წყალსაცავების დამაკავშირებელი წყალსადენი გვირაბის მონაკვეთი დუშეთის ხევის დააკვეთის ადგილზე, რაც ქ. თბილისის მოსახლეობას სასმელი წყლის გარეშე დატოვებს. უნდა ითქვას, რომ მიღებული შედეგები 2005 წელს გამოყენებულ იქნა საქვიდრო-პროექტის ინსტიტუტის მიერ დუშეთის ხევის კალაპოტის რეგულირების პროექტში, რომლის დაპროექტება და მშენებლობა განხორციელდა მსოფლიო ბანკის დაფინანსებით.

2.2. მღეთის ხევის კალაპოტში მიმდინარე ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების პროგნოზირება

მდინარე თეთრი არაგვის წყალშემკრებ აუზში ღვარცოფების წარმოშობის ალბათობა უკავშირდება არა მარტო ამ ტერიტორიაზე მიმდინარე ეროზიული პროცესების გაძლიერებას [7, 9, 18], არამედ აქ მოსული ნალექების

ზღვრული ნორმის გადაჭარბებას და, რა თქმა უნდა, წვიმის გაძლიერებულ ინტენსივობას. კვლევის ობიექტად შერჩეული იყო მდინარე მლეეთის ხევი (მდ. თეთრი არაგვის მარჯვენა შენაკადი), რადგან, გარდა იმისა, რომ მდინარის კალაპოტში ბოლო წლებში დაფიქსირებულია დიდი სიმძლავრის ღვარცოფების გავლა (1953, 1981, 1982, 1983, 1985, 1987, 1989, 2001, 2003, 2005 წწ.), ასევე 2003, 2005, 2007, 2009 და 2010 წლებში შეიმჩნევა ღვარცოფების წარმოშობის სიხშირის ზრდაც (2–3 მძლავრი ნაკადის გავლა წელიწადში). ჩატარებულმა გამოკვლევამ ცხადყო, რომ გაიზარდა არა მარტო ღვარცოფის წარმოშობის სიხშირე, არამედ ღვარცოფის მიერ გამოტანილი მყარი მასის მოცულობაც.

2001 წლის 13 სექტემბერს, 2003 წლის 3 მაისს და 2005 წლის 26 აპრილს მლეეთის ხევის კალაპოტში დაფიქსირდა მძლავრი ღვარცოფების გავლა, რომლებმაც შესაბამისად გამოიტანა 65 780 მ³, 110 000 მ³, 95 700 მ³ მოცულობის ინერტული მასა. 1897 წლიდან 2007 წლამდე, ე.ი. 110 წლის პერიოდში გავლილი კატასტროფული ღვარცოფების რაოდენობამ 150-ს გადააჭარბა.

უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ 2003 წელს მლეეთის ხევის კალაპოტში წამოსუღმა ღვარცოფმა 20 წუთის განმავლობაში გადაკეტა მდინარე თეთრი არაგვის კალაპოტი, ხოლო 2005 წელს სტიქია მძვინვარებდა 25 წუთი.

2.4 სურათზე ნაჩვენებია 2003 წელს მდინარე მლეეთის ხევის კალაპოტში წამოსული ღვარცოფის კვალი, 2.5 სურათზე – მდინარის კალაპოტში გაჩერებული ღვარცოფი, ხოლო 2.6 სურათზე კი - მლეეთის ხევის წყალშემკრები აუზის გეგმა [16].



სურ. 2.4. მღეთის ხევის გამოტანის კონუსის საერთო ხედი
(2003 წ. 3 მაისი)



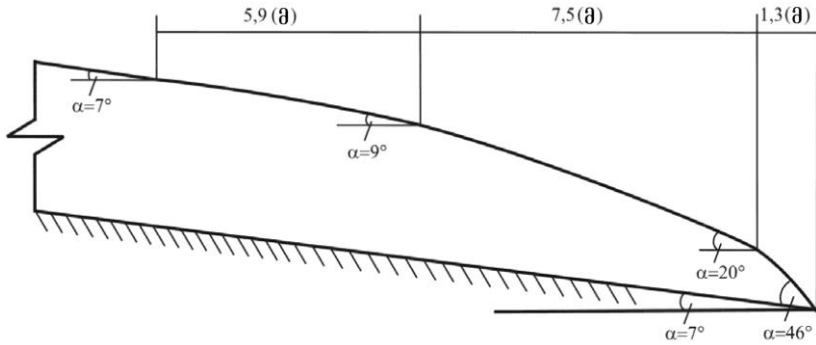
სურ. 2.5. მღეთის ხევის კალაპოტში გაჩერებული
ღვარცოფი (2003 წ. 30 ივლისი)



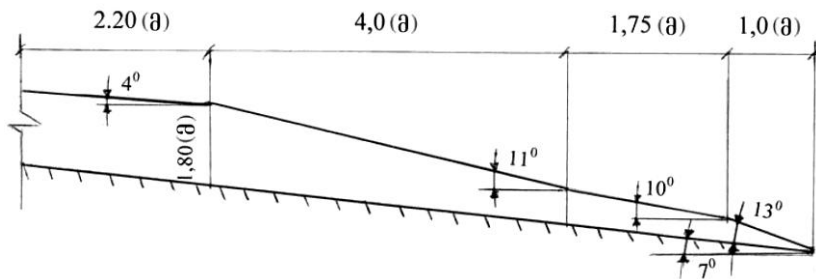
სურ. 2.6. მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის გეგმა

მლეთის ხევის კალაპოტში 2003 წელს გამოტანის კონუსზე გაჩერებული დვარცოვის ფრონტის გრძივი პროფილის სქემა ნაჩვენებია 2.7 სურათზე, ხოლო 2005 წელს დვარცოვის ფრონტის გრძივი პროფილის სქემა კი 2.8 სურათზე.

დვარცოვის გავლამდე მლეთის ეკლესიის ეზოს საერთო ხედი ნაჩვენებია 2.9 სურათზე, ხოლო დვარცოვის მოქმედებით მლეთის წმინდა გიორგის ეკლესიაზე მიყენებული ზარალი - 2.10 სურათზე. რაც შეეხება ეკლესიის ეზოში დვარცოფული მასის სიმაღლეს, მისი მნიშვნელობა იცვლებოდა 2,5 – 5,5 მ-მდე. დვარცოფული მასით იყო შევსებული ეკლესიის შიგა სივრცეც, სადაც ინერტული მასის სიმაღლემ 2,2 მ-ს მიაღწია. სტიქიამ დააზიანა ეკლესიის კედლებზე მოხატული ფრესკები და ხატები.



სურ. 2.7. 2003 წელს გამოტანის კონუსზე გაჩერებული ღვარცოფის ფრონტის გრძივი პროფილის სქემა



სურ. 2.8. 2005 წელს გამოტანის კონუსზე გაჩერებული ღვარცოფის ფრონტის გრძივი პროფილის სქემა

მღეთის ხევში ფორმირებული ღვარცოფების რეგულირების მიზნით, წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტში არსებული სამეცნიერო ლიტერატურის [5, 7, 14, 16-21, 23, 28], აგრეთვე (2.1) და (2.2) დამოკიდებულებების გამოყენებით, მდინარე თეთრი არაგვის წყალშემკრებ აუზში არსებული აქტიური ღვარცოფული ტიპის შენაკადებზე შეფასებულია ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესები, რომელთა რიცხობრივი მაჩვენებლებიც მოყვანილია 2.4 ცხრილში.



სურ. 2.9. ეკლესიის საერთო ხედი ღვარცოფის გავლამდე
(2003 წ. 26 მაისი)



სურ. 2.10. ეკლესიის ეზო ღვარცოფის გავლის შემდეგ
(2005 წ. 22 აპრილი)

ცხრილი 2.4

მდინარე თეთრი არაგვის წყალშემკრებ აუზში
ღვარცოფული ტიპის შენაკადების
ძირითადი მონაცემები

№	მდინარის დასახელება	წყალშემკრები აუზის ფართობი F_0 (კმ ²)	მდინარის კალაპოტის ქანობი, (i)	მთის ფერდობების ეროზიის კოეფიციენტი, (E)	ეროზიის კლასი, პროფ. რ. მორგანის სკალის მიხედვით	დაზიანების ხარისხი (ტ/ჰა წელიწადში)	ღვარცოფის 1% მაქს. ხარჯი, (მ ³ /წმ)
1	მღეთის ხევი	1,28	0,260	1,13	მეოთხე	10-50	131,0
2	წისქვილთ ხევი	1,50	0,251	0,89	მესამე	5-10	87,0
3	კოტორას ხევი	0,62	0,290	1,62	მეხუთე	50-100	98,0
4	არახვეთის ხევი	1,45	0,216	0,96	მესამე	5-10	109,0
5	ქიმბარიანის ხევი	0,60	0,220	0,95	მესამე	5-10	70,0
6	ნაღვარევის ხევი	6,50	0,247	1,00	მეოთხე	10-50	387,0
7	ჩოსელთ ხევი	6,96	0,290	0,95	მესამე	5-10	550,0
8	ზემო ამირთ ხევი	1,87	0,264	0,92	მესამე	5-10	200,0
9	ქვემო ამირთ ხევი	0,96	0,310	0,73	მეორე	2-5	140,0
10	ჩადისციხის ხევი	1,30	0,360	1,17	მეოთხე	10-50	141,0

2010 წლის 24 აპრილს არაგვის ხეობაში, მღეთის ხევის კალაპოტში ინტენსიური წვიმების შედეგად ფორმირებულ იქნა ტურბულენტური ღვარცოფი. ჩვენს მიერ დამუშავებული მეთოდოლოგიით დადგინდა, რომ ღვარცოფის ხარჯმა შეადგინა 37.5 მ³/წმ, ხოლო გამოტანილი ინერტული მასის მოცულობამ – 45 000 მ³: ზემოხსენებულმა მასამ გადაკეტა მდ. თეთრი არაგვის კალაპოტი და ბუნებრივი ზღუდარის მიერ შეგუბებულმა წყალმა დატბორა ზემო მღეთის 8 ოჯახი, რომლებიც ექვემდებარება გასახლებას (სურ. 2.11, 2.12).



სურ. 2.11. 2009 წ. მღეთის ხევის ღვარცოფით გადაკეტილი არაგვის კალაპოტი

პრობლემა, რომელიც მღეთის ხევს შეეხება, კომპლექსურია: 1. საშიშროებას უქმნის ზემო და ქვემო მღეთის მოსახლეობას; 2. ნგრევის საშიშროების წინაშეა 1876 წელს აშენებული მღეთის წმინდა გიორგის ეკლესია;

3. გაზრდილია საქართველოს სამხედრო გზის მიწის ვაკისის მარცხენა ფერდის ჩამონგრევა-ჩამოშვავების საშიშროება; 4. ასევე დიდია მდ. თეთრ არაგვზე გადებული რკინა-ბეტონის კაპიტალური ხიდის მწყობრიდან გამოსვლის რისკი, რასაც ადასტურებს ინსტიტუტის მიერ მღეთის ხეზე ჩატარებული საველე-სარეკონოსცირებო სამუშაოები; 5. ღვარცოფული გამონატანით ინტენსიურად იზრდება უნვალის წყალსაცავის მკვდარი მოცულობა, რომელიც შესაბამისად ამცირებს მის სასარგებლო მოცულობას.



სურ. 2.12. 24.04.2010 წ. წყლით დატბორილი სოფელ ზემო მღეთის 8 ოჯახი

წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტში უკვე დამუშავებულია პრობლემის კომპლექსური გადაწყვეტის სქემა შესაბამისი თანამედროვე საინჟინრო-ეკოლოგიური მეთოდოლოგიის გამოყენებით. სამშენებლო მასალად გამოყენებულ

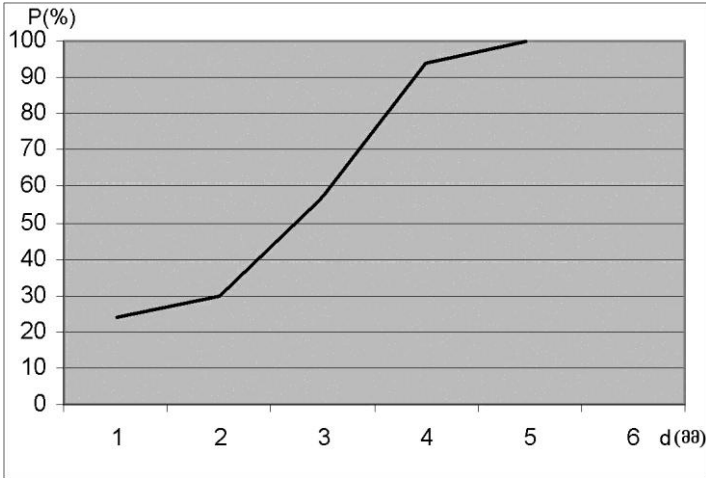


**სურ. 2.13. 2010 წლის 24
აპრილს სტიქიის დროს
მღეთის ხევის წყალშემკრები
აუზი**

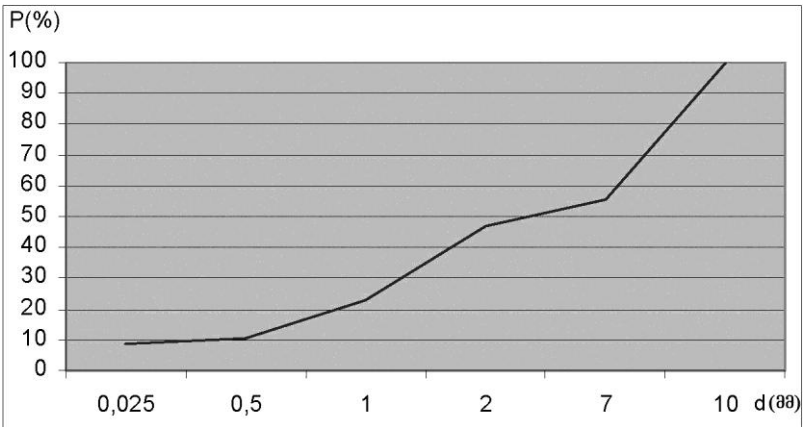
იქნება მღეთის ხევის წყალშემკრები აუზიდან გამოტანილი ინერტული მასალა, დარეგულირდება მდ. მღეთის გამოტანის კონუსი კაპიტალური ნაგებობებით, ხოლო ტრანზიტულ მცირე სიგრძის უბანზე განსაზღვრულია ბარაჟების მოწყობა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ინერტული მასალის დაახლოებით 70% გაჩერდეს ადგილზე ეროზიულ ღრანტეებში. პროექტში განსაზღვრულია ასევე ადგილობრივი მოსახლეობის დასაქმება 100 კაცამდე.

აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტის შესახებ ეცნობა საქართველოს რეგიონალური და ინფრასტრუქტურის განვითარების სამინისტროს (წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის წერილი 2010 წლის 13 მაისი №01-15/146). ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ნატანის ოდენობის დადგენის მიზნით, ჩატარდა საველე-ექსპედიციური გამოკვლევა და დადგინდა, რომ ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების საშუალო დიამეტრი იცვლებოდა 15-45 სმ-ის ფარგლებში, რაც შეეხება ღვარცოფულ მასასა და მდინარის კალაპოტში დაფიქსირებულ კონგლომერატებში წერილმარცვლოვანი ფრაქციების შემცველობას, მათი გრანულომეტრიული მრუდები მოცემულია 2.14 სურათზე.

ა)



ბ)



სურ. 2.14. ეკლესიის ეზოში დაფიქსირებული ღვარცოფული მასის გრანულომეტრიული მრუდები

ა) წვრილმარცვლოვანი ფრაქცია, ბ) კონგლომერატი

მღეთის ხევის გამოტანის კონუსზე ღვარცოფულ მასაში დაფიქსირებული იყო სხვადასხვა ფერის მყარი მასა, რომლის შემადგენლობის დადგენის მიზნით

წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის ქიმიურ ლაბორატორიაში ჩატარდა ღვარცოფული მასის ქიმიური ანალიზი სამი ტიპის ნიმუშზე: კონგლომერატი, სილა და ნატანებიანი ფრაქცია, რომელთა რიცხვითი მაჩვენებლები მოცემულია 2.5 ცხრილში.

ცხრილი 2.5

ღვარცოფული გამონატანის ქიმიური ანალიზი

ნიმუშის ნომერი	ნიმუშის ტიპი	ქიმიური ნაერთების შემცველობა მილიგრამებში, 100 გრამიანი წონის ნიმუშებში				
		P _H	HCO ₃	SO ₄	Na+K	Ca
1	კონგლომერატი	7,4	0,426	0,374	0,052	0,748
2	ქვიშა	7,4	0,377	0,416	0,294	0,499
3	ფრაქციები	7,4	0,377	0,436	0,499	0,499

პროგნოზი, რომელიც ზემოთ ჩატარებული მეცნიერული კვლევების შედეგებს ეფუძნება, საგანგაშოა, რადგან მდინარე მლეთის ხევის კალაპოტში მიმდინარე ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების გააქტიურება სულ უფრო ნათელი ხდება; ამიტომ, თუ დროზე არ ჩატარდა შესაბამისი ეროზიული და ღვარცოფსაწინააღმდეგო საინჟინრო-ეკოლოგიური ღონისძიებები, შემდეგი სტიქია, ღვარცოფის ან წყალდიდობის სახით, მთლიანად დაანგრევს მლეთის 1876 წ. აშენებულ წმინდა გიორგის ეკლესიას.

წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის ხელმძღვანელობამ სრულიად საქართველოს კათოლიკოს-პატრიარქს, მცხეთა-თბილისის მთავარეპისკოპოსს, ბიჭვინთისა და ცხუმ-აფხაზეთის მიტროპოლიტს, უწმინდესსა და

უნეტარეს ილია II –ს წარუდგინა ეკლესიის გადარჩენის საპროექტო წინადადება.

ინსტიტუტის სამეცნიერო პერსონალი ვალდებულებას იღებს მაღალ დონეზე განახორციელოს პროექტი, ხოლო მშენებლობის პროცესში ექსპერტიზა ჩაატაროს ყოველგვარი დაფინანსების გარეშე.

2.3. ღვარცოფების რეგულირების თანამედროვე ღონისძიებები

ბოლო წლებში მსოფლიოში, და მათ შორის საქართველოშიც, განსაკუთრებით გააქტიურდა ბუნებრივი კატასტროფები, რომელთაგან წყალდიდობებთან ერთად ყურადსაღებია ღვარცოფები, რადგან საქართველოს მთლიანი ტერიტორიის 45%-ზე მეტი უკვე ღვარცოფების ზემოქმედების ზონაში იმყოფება [10, 38, 56, 57, 58].

XXI საუკუნის დასაწყისში, საქართველოში ფორმირებულმა ბუნების სტიქიურმა მოვლენებმა, მიყენებული ზარალის მიხედვით, კულმინაციას 2005 წელს მიაღწია. აქედან წყალმოვარდნებზე, წყალდიდობებსა და ღვარცოფებზე მოდის მთლიანი ზარალის 70%-ზე მეტი.

ქვეყნის მასშტაბით საშიშროების რისკის ზონაში მოექცა 190-მდე დასახლებული პუნქტი: დაზარალებული მოსახლეობის რაოდენობა – 880 ოჯახი, დაღუპულ ადამიანთა რაოდენობა – 35, დაშავებულ ადამიანთა რაოდენობა – 213, დანგრეული და დაზიანებული გზებისა და ხიდების რაოდენობა – 111 კმ გზა და 69 ხიდი, ექსპლუატაციიდან ამოვარდნილია სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები 9610 ჰა. სტიქიური მოვლენების გამო, 2005 წელს საქართველოში 86-ჯერ გამოცხადდა საგანგებო მდგომარეობა.

ანალოგიური სიხშირის სტიქიური მოვლენები საქართველოში დაფიქსირდა 2006-2010 წლებშიც.

საქართველოში ბოლო წლებში ჩატარებულმა მეცნიერულმა დაკვირვებებმა ცხადყო, რომ სულ უფრო იზრდება დვარცოფების ზემოქმედებით გამოწვეული ზარალი, ამიტომ მეცნიერების წინაშე დგება პრობლემა, რომელიც ითვალისწინებს როგორც დვარცოფების დაზუსტებული პროგნოზირებისათვის მეთოდოლოგიის სრულყოფას, ასევე მათ წინააღმდეგ ბრძოლის უფრო ეფექტური და საიმედო კონსტრუქციების დამუშავებას [3, 32, 38, 58, 63].

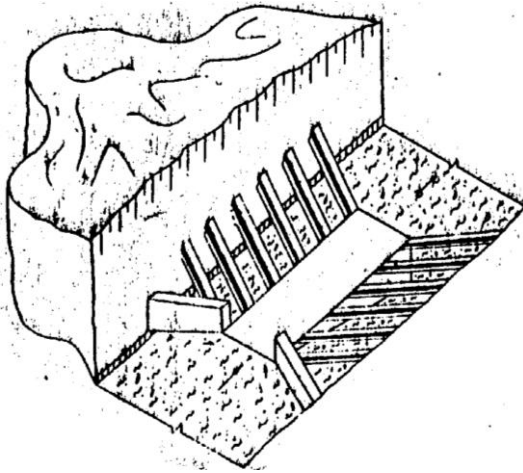
ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით, საქართველოს წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტში ავტორის მიერ დამუშავებულია რიგი დვარცოფსაწინააღმდეგო ტრამპლინის ტიპის ნაგებობებისა, რომელთა მეცნიერული სიახლის პრიორიტეტებიც დამოწმებულია როგორც საქართველოს, ასევე საზღვარგარეთის პატენტის მოწმობებით [4].

2.3.1. ტრამპლინის ტიპის დვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა

დვარცოფსაწინააღმდეგო გამჭოლი ტრამპლინის ტიპის კაშხლების დანიშნულებას წარმოადგენს კონსტრუქციაზე ნაკადის დარტყმის ძალის შემცირება, განსაკუთრებით დვარცოფის პარამეტრების კატასტროფული მნიშვნელობებისას, აგრეთვე კონსტრუქციის გამარტივება-გაიაფება [3-7].

განხილული ტრამპლინის ტიპის ტრაპეციული ფორმის დვარცოფსაწინააღმდეგო კაშხლის (სურ. 2.15) უპირატესობა არსებულთან შედარებით შემდეგშია: ა) ნაგებობის საიმედო და ხანგრძლივი მუშაობა; ბ) მთის

მდინარეების კალაპოტის ეფექტური სტაბილიზაცია, მდინარის კალაპოტში კონსტრუქციების კასკადურად განლაგების შემთხვევაში და გ) დიდი ეკონომიკური ეფექტი – წარმოდგენილი ნაგებობები შენდება რკინა-ბეტონისა და მეორადი მასალისაგან (ჩამოწერილი რკინის რელსები, და ა.შ.), რომელთა რაოდენობა მთლიანი სამშენებლო მასალის 50-80%-ს შეადგენს [2, 3].



სურ. 2.15. ტრაპეციული ფორმის ნაგებობა

კონსტრუქცია [2], რომელიც ნაჩვენებია 2.15 სურათზე, წარმოადგენს ტრაპეციული ფორმის დარს ნაკადმიმართ-ველი რკინა-ბეტონის კედლებით; ნაგებობის ფერდები დაკავშირებულია მდინარის კალაპოტის (ხეობის) გვერ-დებთან რომელთა კუთხის მნიშვნელობაც იცვლება 110-160°-ის ფარგლებში.

ნაგებობის ფერდები წარმოადგენს რკინის კოჭებს, რომლებიც ერთმანეთთან ქმნიან მართკუთხა ფორმის ღრეჩოებს. ნაგებობის ცენტრში მოთავსებულია რკინა-

ბეტონის საძირკველი, რომელსაც აქვს ტრამპლინის ფორმა და რომელზეც მოძრაობს ღვარცოფი.

ნაგებობის ტრაპეციული ფორმა, ნაკადმიმართველი კედლებით, საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ, როგორც ნაკადის დარტყმის ძალის მნიშვნელობა, ასევე ნაგებობაზე მოქმედი ნატანების ანუ ღვარცოფული მასის გრავიტაციული (წონითი) დაწოლა, რომელიც ნაგებობის საიმედო მუშაობის გარანტიას იძლევა [6].

2.3.2. ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ჰიდრაულიკური გაანგარიშება

ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ჰიდრაულიკური გაანგარიშებისათვის ინსტიტუტის ჰიდროტექნიკურ ლაბორატორიაში ჩატარდა ლაბორატორიული კვლევები, სადაც მოდელზე დაცული იყო მოდელირების შემდეგი პარამეტრები: დინამიკური მსგავსება (ფრუდის რიცხვი) $Fr = idem$; გეომეტრიული მსგავსება (ქანობი) – $i = idem$; ნატანების მოძრაობა (წყლისა და ნატანების სიჩქარეთა ფარდობა): $V/V_s = idem$; კალაპოტის ფსკერის წინააღმდეგობის მსგავსება (შეზის კოეფიციენტი) – $C = idem$; ცდების დროს ლაბორატორიაში ნატანების საშუალო დიამეტრის ზომა იცლებოდა შემდეგ საზღვრებში: $d = 0,75; 2,25; 3,75; 5,25; 6,25$ მმ [30, 32].

ცდებით მიღებული სტატისტიკური რიგის დამუშავების შემდეგ ნაგებობის ზედა ბიეფში დაგროვილი მყარი ფრაქციების გამაწონასწორებელი ქანობის მნიშვნელობა (i_0) პირველი მიახლოებით იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით [32]:

$$i_0 = 9,29(q_s / q_w)^{1,53}, \quad (2.3)$$

სადაც q_s და q_w – შესაბამისად, მყარი ფრაქციებისა და წყლის ნაკადის ხვედრითი ხარჯია.

ოგივე მნიშვნელობა (i_0) დროის ფაქტორის, ნაგებობის გამჭოლიანობისა და მდინარის კალაპოტის ქანობის (i) მხედველობაში მიღებით ტოლია [34]:

$$i_0 = \frac{0,29i}{(d/\Delta^{0,27}) \cdot (t/T)^{0,25}}, \quad (2.4)$$

სადაც Δ – ნაგებობის ფერდებზე კოჭებს შორის ღრეხოს სიგანეა (მმ).

ტრამპლინის ტიპის ტრაპეციული ფორმის ღვარცოფ-საწინააღმდეგო ნაგებობის ზედა ბიეფში დაგროვილი მყარი ნატანის გამაწონასწორებელი ქანობის მნიშვნელობა, მდინარის კალაპოტის ქანობის (i) გათვალისწინებით, იანგარიშება დამოკიდებულებით [3]:

$$i_0 = 0,76 \cdot i. \quad (2.5)$$

მდინარის კალაპოტში ტურბულენტური ღვარცოფის ფორმირების შემთხვევაში ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების ხვედრითი ხარჯი (q_s) იანგარიშება შემდეგი ფორმულით [34]:

$$q_s = 0,20 \cdot C \cdot i^{1,13} h^{1,15} (k_t / d), \quad (2.6)$$

სადაც k_t – მდინარის კალაპოტის სიმქისის შვერილების სიმაღლეა (მმ).

მიღებული დამოკიდებულების მუშაობის საიმედოობის დასადგენად შედარებულ იქნა ცნობილი მეცნიერების რ. ასატრიანის, ვ. კნოროზის, ა. კუპრინის, შვეიცარიელი

მკვლევარის რ. პერდოლის, ასევე ნ. რუხაძის მიერ დამუშავებულ ბუნებრივ მონაცემებთან, თანხვედრა მათ შორის, 0,95%-იანი უზრუნველყოფის ალბათობით 90%-ია რაც ჰიდრაულიკური გაანგარიშებისათვის მაღალი შედეგია.

ბუნებრივ მონაცემებზე დაყრდნობით ღვარცოვის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების საშუალო დიამეტრი ტოლია [32]:

$$d = (0,02 + 6,55i^{2,73}) \cdot Q_{\max}^{0,64}, \quad (\text{მ}) \quad (2.7)$$

სადაც Q_{\max} – ღვარცოვის მაქსიმალური ხარჯია ($\text{მ}^3/\text{წმ}$)

ლაბორატორიაში ჩატარებული კვლევების, საქართველოში ღვარცოფული ტიპის მდინარეებზე გაზომილი მაქსიმალური ხარჯებისა (Q_{\max}) და იაპონიაში დაფიქსირებულ ბუნებრივ მონაცემებზე დაყრდნობით, ღვარცოვის 0,1%-იანი უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯი იანგარიშება დამოკიდებულებით [10]:

$$Q_{0,1\%} = 2,4(34 + 400i)F^{0,61}, \quad (\text{მ}^3/\text{წმ}) \quad (2.8)$$

სადაც F – მდინარის წყალშემკრები აუზის ფართობია (კმ^2).

ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე დინამიკური დარტყმის ძალის გასანგარიშებლად აუცილებელია ვიცოდეთ ტურბულენტური ღვარცოვის მაქსიმალური სიჩქარე (V), რომლის მნიშვნელობაც, ლაბორატორიული ცდების მიხედვით, ტოლია [32]:

$$V = V_w(0,60 + 7,60i - 1,2d/h), \quad (\text{მ}/\text{წმ}) \quad (2.9)$$

სადაც V_w – წყლის ნაკადის მაქსიმალური სიჩქარეა ($\text{მ}/\text{წმ}$);

h – ტურბულენტური ღვარცოვის სიღრმე (მ).

ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის

სიმაღლე (H) ტოლია [3]:

$$H = h[1,80 + 52 \cdot i - 50(q_s / q_w)], \quad (2.10)$$

ნაგებობის მიერ ნატანდაჭერის ეფექტი, დროის ფაქტორის მხედველობაში მიღებით, ტოლია [32]:

$$W_t / W_T = [0,90 + 0,1(d/\Delta)^{1,51}] \cdot (t/T)^{2,34}, \quad (2.11)$$

სადაც W_t და W_T არის შესაბამისად ნაგებობის მიერ t დროში შეკავებული ნატანებისა და კონსტრუქციის მიერ T დროში შეჩერებული ნატანის მთლიანი მოცულობა ($მ^3$).

ამრიგად, წარმოდგენილი მეთოდოლოგიით, პირველი მიახლოებით შესაძლებელია ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ჰიდრაულიკური გაანგარიშება, რომლის გამოყენებითაც შემდეგ ეტაპზე აუცილებელია ჩატარდეს ნაგებობის გაანგარიშება მდგრადობაზე, ღვარცოფის სტატიკური და დინამიკური ძალების ცალკე და ხდომილებების ერთდროულად მოქმედების შემთხვევაში [10].

2.3.3. ღვარცოფსაწინააღმდეგო კაშხლის ზედა

ბიეფის ფორმირების ზოგადი საკითხი

ტრაპეციული ფორმის ნაგებობის ზედა ბიეფში დაგროვილი ღვარცოფული მასის გამაწონასწორებელი ქანობის (i_0) მნიშვნელობა იანგარიშება შემდეგი ემპირიული დამოკიდებულებით [19, 32]:

$$i_0 = \frac{0,29 i}{(d/\Delta)^{0,27} \cdot (t/T)^{0,25}}, \quad (2.12)$$

სადაც i – არის მდინარის კალაპოტის ქანობი, d – მყარი ნატანის საშუალო დიამეტრი (სმ), Δ – ნაგებობის კოჭებს შორის ღრეხოს სიგანე (სმ) t – ნაგებობის მუშაობის საკვლევი დროის მონაკვეთი (წმ), T – ნაგებობის ზედა ბიეფის შევსების მთლიანი დროის პერიოდი (წმ); პირველი დამოკიდებულების მუშაობის ზღვრებია: $(d/\Delta) = 0,125 - 1,125$ და $(t/T) = 0,1 - 0,9$;

კაშხლის მიერ 90%-იანი ქვების ჩანართების დაჭერის შემთხვევაში ღვარცოფის კონცენტრაცია (S') იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით [30]:

$$S' = S - \frac{90 \cdot S}{100}; \quad (2.13)$$

სადაც S არის ღვარცოფის საწყისი კონცენტრაცია (%).

ღვარცოფის ნაგებობაში გავლის შემდეგ ნაკადის მოცულობითი წონა (γ') იქნება [30]:

$$\gamma' = \gamma_1 + S(\gamma_2 - 1) \text{ ნ/მ}^3, \quad (2.14)$$

სადაც γ_1 – წყლის მოცულობითი წონა ($\gamma_1 = 1,0 \text{ ნ/მ}^3$); γ_2 - ქვის მოცულობითი წონა ($\gamma_2 = 2,65 \text{ ნ/მ}^3$);

კაშხლის მიერ შეკავებული ღვარცოფული მასის მოცულობა იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით [32]:

$$W_T = \frac{S \cdot Q_{\max}}{[0,95 + 0,05(d/\Delta)] \cdot (t/T)^{0,58}} \text{ (მ}^3\text{)}, \quad (2.15)$$

სადაც Q_{\max} არის ღვარცოფის მაქსიმალური ხარჯის მნიშვნელობა (მ³/წმ).

2.3.4. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ტრამპლინის ტიპის კაშხლის საიმედოობის შეფასება

ტრამპლინის ტიპის ტრაპეციული ფორმის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კაშხლის საიმედოობის დადგენის მიზნით წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის ჰიდროტექნიკურ ლაბორატორიაში ჩატარდა ლაბორატორიული ცდები.

ექსპერიმენტის ჩატარების პროცესში განხილული იყო ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის, როგორც ზედა ბიეფის ფორმირების პროცესი, ასევე ნაგებობის ზედა ბიეფში ღვარცოფული მასის წონითი დატვირთვისა და ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის ცვლილების ხასიათი.

ლაბორატორიული ცდების ჩატარების პროცესში ყურადღება აგრეთვე გამახვილებული იყო ნაკადში მყარი ფრაქციების კონცენტრაციაზე, ნატანის საშუალო დიამეტრის ზომაზე, ჰიდრავლიკური ღარის ქანობზე, ტურბულენტური ღვარცოფის სიჩქარისა და მყარი ფრაქციების ხარჯის ცვლილებაზე.

ტრამპლინის ტიპის, ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე მყარი ფრაქციების წონითი დატვირთვის W_p სტატისტიკური მაჩვენებლები ინტერვალებში და შესაბამისი სიხშირის მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილში (ცხრ. 2.6), სადაც (m_i) არის ინტერვალებში განმეორებადობის რაოდენობა, P_i – განმეორებადობის სიხშირე ($P_i = m_i/n$), სადაც n – სტატისტიკური რიგის რაოდენობა ($n = 41$); $A_i = (p_i/j)$, სადაც j ინტერვალების მნიშვნელობებია.

ცხრილი 2.6

მყარი ფრაქციების წონითი დატვირთვის მნიშვნელობები

$j \cdot 10^{-2}$	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	75-90	90-105	105-120
m_i	21	5	4	3	2	3	1	1
P_i	0.51	0.12	0.09	0.07	0.05	0.07	0.02	0.02
A_i	3.40	0.80	0.60	0.46	0.33	0.46	0.13	0.13
W_i	0.428	0.279	0.182	0.118	0.078	0.051	0.033	0.014
$n \cdot W_i$	17.55	11.44	7.46	4.84	3.19	2.09	1.35	0.57

2.6 ცხრილის მონაცემების გამოყენებით აგებულ იქნა წონითი დატვირთვის ფუნქციის განაწილების მრუდი, რომელსაც შეესაბამება ექსპონენციალური განაწილება და იგი მათემატიკურად ასე გამოისახება [32]:

$$f(W_p) = 2.857 \exp(-2.857W_p); \quad (2.16)$$

ამ შემთხვევაში პირსონის კრიტერიუმი ტოლია $\chi^2 = 8.71$, თავისუფლების ხარისხი კი - $N=6$; გაანგარიშებული იყო თეორიულ განაწილებასა და ჰისტოგრამის მონაცემებს შორის თანხვედრის მაჩვენებელი, რომელმაც 95%-იანი ალბათობით 80% შეადგინა.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ტრამპლინის ტიპის საიმედოობა ნაგებობის ზედა ბიეფის ღვარცოფული მასის შეესებად შეადგინა:

$$P_1(W_p) = \int_0^l f(W_p) dW_p = \int_0^{0.61} 2.857 e^{-2.857W_p} dW_p = 0.825; \quad (2.17)$$

ნაგებობის მწყობრიდან გამოსვლის რისკი (R_1) კონსტრუქციის ზედა ბიეფის ღვარცოფული მასის წონითი

დატვირთვის შემთხვევაში ტოლია:

$$R_1 = 1 - P_1(W_p) = 1 - 0.825 = 0.175. \quad (2.18)$$

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ტრამპლინის ტიპის ნაგებობაზე ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის მნიშვნელობა F - გაანგარიშებულ იქნა პროფესორ მ. გაგოშიძის [30] მიერ მიღებული დამოკიდებულებით, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$F = K\rho\omega V^2 \sin \alpha, \quad (6/მ^2) \quad (2.19)$$

სადაც K არის კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია $K = 4,5$ (წელის ნაკადისათვის ეს მაჩვენებელი ტოლია $K = 1,0$, ხოლო თოვლის ზგავისათვის კი $K = 1,5$), ρ - ღვარცოფის სიმკვრივეა (კგ/მ³), ω - ნაგებობის ის ფართობი, რომელზეც მოქმედებს ღვარცოფი (მ²), V - ღვარცოფის საშუალო სიჩქარე (მ/წმ), α - ტრამპლინის ტიპის ნაგებობის მდინარის კალაპოტში დახრის კუთხე (გრადუსი).

ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის განაწილების ფუნქციის დადგენის მიზნით გამოყენებულ იქნა როგორც ლაბორატორიული მონაცემები, ასევე ბუნებაში ღვარცოფის გავლის სტატისტიკური რიგი, რომლის რაოდენობამაც შეადგინა 55 წერტილი. ღვარცოფის ნაგებობაზე დინამიკური დარტყმის ძალის მნიშვნელობები იცვლდებოდა 3.88-3024.8 (6/მ²) საზღვრებში [56-58].

ბუნებრივი მონაცემების გამოყენებით, რომელთა მნიშვნელობებიც მოცემულია 2.7 ცხრილში, აგებულ იქნა პისტოგრამა; მათემატიკური ლოდინი ტოლია $m_* = 437,45$,

ხოლო ექსპონენციალური განაწილების ხარისხის მაჩვენებელი ტოლია: $\lambda = -1/m_* = -0,0023$ [32].

ცხრილი 2.7

ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის მნიშვნელობები

<i>FFi-102</i> (<i>N/m²</i>)	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21
<i>m_i</i>	31	12	3	5	1	1	1
<i>f(F_i)</i>	0.564	0.218	0.055	0.091	0.018	0.018	0.018

ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის განაწილებას აქვს შემდეგი სახე [32]:

$$f(F_i) = 0.0023 \exp(-0.0023 F_i); \quad (2.20)$$

მიღებული (2.20) გამოსახულება შეესაბამება ექსპონენციალურ განაწილებას, ხოლო თანხვედრამ თეორიულ განაწილებასა და ჰისტოგრამის მონაცემებს შორის პირსონის კრიტერიუმის χ^2 -ის მიხედვით [1, 60] 70% შეადგინა.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის საიმედოობა ღვარცოფის დინამიკური ძალის მხედველობაში მიღებით ტოლია [32]:

$$P_2(F_i) = \int_0^l f(F_i) dF_i = \int_0^{0.61} 0.0023 e^{-0.0023} dF_i = 0.928; \quad (2.21)$$

ტრამპლინის ტიპის თაღოვანი და საფეხურებიანი ფორმის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის მწყობრიდან

გამოსვლის რისკი, კონსტრუქციაზე ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალის მხედველობაში მიღებით, ტოლია:

$$R_2 = 1 - P_2(F_i) = 1 - 0.928 = 0.072 \quad (2.22)$$

ბუნებაში ღვარცოფის ნაგებობაზე ზემოქმედების შემთხვევაში, პარალელურად მიმდინარეობს როგორც დინამიკური, ასევე სტატიკური ძალების მოქმედება, ამიტომ ხდომილებების ზედდების შემთხვევაში ნაგებობის სრული საიმედოობა (P_0) ტოლია:

$$P_0 = P_1(W_p) \cdot P_2(F_i) = 0.825 \cdot 0.928 = 0.766, \quad (2.24)$$

ხოლო ნაგებობის მწყობრიდან გამოსვლის რისკი (R_0) ხდომილებების ზედდების შემთხვევაში ტოლია:

$$R_0 = 1 - P_0 = 1 - 0.766 = 0.234 \quad (2.25)$$

თუ განვიხილავთ მიღებული შედეგების ანალიზს დავრწმუნდებით, რომ წარმოდგენილი ტრამპლინის ტიპის ასალი ნაგებობები, არსებულთან შედარებით, ხასიათდება მაღალი საიმედოობით, რაც ძირითადად განპირობებულია კონსტრუქციული გადაწყვეტით.

**თავი 3. ლენტეხისა და ცაგერის რაიონებში
ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესებისა და
წყალდიდობების საწინააღმდეგო ფიტო-
გელიორაციული და საინჟინრო ღონისძიებები**

**3.1. ლენტეხში, მდინარე ტუმბრას მარცხენა
ეროზირებულ-დამეწყრილ ფერდობზე
ბუშლაგების მოწყობა**

ლენტეხისა და ცაგერის რაიონებში ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესებისა და წყალდიდობების საწინააღმდეგო ფიტომელიორაციული და საინჟინრო ღონისძიებები განხორციელდა 2008 წლის ზაფხულის პერიოდში ინსტიტუტის მიერ შვეიცარიის განვითარებისა და თანამშრომლობის სააგენტოსთან (SDC) ერთად, თუმცა აღნიშნულ რეგიონში ინსტიტუტის მიერ განხორციელებული სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების ისტორია ითვლის მრავალათეულ წელს (1970-2010 წწ.).

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა ლენტეხში მდინარე ტუმბრას მარცხენა ეროზირებულ-დამეწყრილი ფერდობი, რომლის გეომეტრიული ზომებია: სიგრძე - 78 მ, სიგანე - 15 მ, ხოლო ქანობი, გამომდინარე ფერდობის ტოპოგრაფიიდან, იცვლებოდა 24-65°-ის ფარგლებში (სურ.3.1).

დაზიანებული, გაშიშვლებული ფერდობის გამაგრების მიზნით პრაქტიკაში ერთ-ერთ ეფექტურ მეთოდს ტირიფის ტოტების (კალმების) გამოყენებით მცირე ტერასების ე.წ. ბუშლაგების (Buschlage – გერმანული სიტყვაა და ბუჩქების განლაგებას, წყობას ან ჩალაგებას ნიშნავს) შექმნა წარმოადგენს.



სურ. 3.1. მდ. ტუმბრას მარცხენა ეროზირებულ-დამეწყრილი ფერდობის საერთო ხედი

ამ ღონისძიების მთავარი მიზანია ეროზიის განვითარების შეჩერება და ამით სამყოფელის შესაბამისი მცენარეული თანასაზოგადოების თვითაღდგენის პროცესის სტიმულირება. ღონისძიების ჩასატარებლად მცენარის მოსვენების პერიოდში (გაზაფხულზე ფოთლების გამოტანამდე, ან შემოდგომით ფოთოლცვენის შემდეგ) იჭრება 60-70 სმ სიგრძის ღეროს კალმები (ტოტები). მცენარის წყლის ხარჯის შესამცირებლად უმჯობესია ახალგაზრდა ტოტების გამოყენება (გვალვისას პირველ წელს საჭიროა „ბუშლაგების“ პერიოდული რწყვა). შემდგომ ეროზიულ ფერდობზე იქმნება 40-50 სმ სიღრმის ტერასისმაგვარი ჭრილი, სადაც ლაგდება კალმები (1 მ ჭრილი – 20 ტოტი: 10 – დიაგონალურად მარჯვნივ, 10 – მარცხნივ, რაც ჯვარედინ-ბადისებრ ფორმას ქმნის) (სურ. 3.2).



კალმების (ტოტების) განლაგების სქემა



კალმების მოწყობისას
სურ. 3.2

„ბუშლაგების“ ტერასები ფერდობის ქვედა მხრიდან თანმიმდევრობით (ზევით) ეწყობა, რაც ციციბო ფერდობზე აადვილებს სამუშაოებს: ბუშლაგების ჩამწყობი დგება ქვედა ტერასაზე და ასე თხრის შემდგომ ტერასას, ამოთხრილ მიწას კი ქვედა „ბუშლაგს“ (ტირიფის კალმებს) აყრის. ნაყარი მიწა კარგად უნდა დაიტკეპნოს. ამ დროს შეიძლება გამოვიყენოთ „კარნიზების“ ჩამოჭრისას ადრე დაცურებული კორდები, რომლებიც „ბუშლაგების“ ტერასაზე ლაგდება, რაც ერთი მხრივ, მეტ სიმყარეს სძენს მათ, ხოლო მეორე მხრივ, ბალახნარის აღდგენას უწყობს ხელს. ჭრილში ჩაწყობისას კალმები მიწის გარეთ 20 სმ-ზე მეტად არ უნდა იყოს ამოშვერილი, ზედმეტი ნაწილი უნდა წაიჭრას. ამასთან, მნიშვნელოვანია, რომ კალმების მიწის გარეთ დარჩენილი ნაწილი ზევით იყოს მიმართული (კალმები ძალზე დიდი არ უნდა იყოს). ვიწრო ეროზიულ ფერდობზე „ბუშლაგებს“ შორის ინტერვალი დაახლოებით 2 მ-ია, ფართო ფერდობზე – 3-4 მ. ამასთან, არ არის აუცილებელი „ბუშლაგების“ უწყვეტი რიგის შექმნა. იქ, სადაც შერჩენილია კორდი, ან ადგილი ბუნებრივად ძლიერ ქვიანია და მისი ქვებისაგან გაწმენდა ძნელია, „ბუშლაგები“ შეიძლება წყვეტილად განლაგდეს.

სამუშაო განხორციელდა 2008 წლის ოქტომბრის მეორე ნახევარი–ნოემბრის დასაწყისში ზემოაღნიშნული მეთოდოლოგიის გამოყენებით. კალმების (ტოტების) მასალად გამოყენებული იყო ადგილობრივი სახეობის ტირიფისა და თხმელის კალმები, შემდეგი საპროექტო მონაცემებით:

- კალმების (უმჯობესია ახალგაზრდა ტოტების გამოყენება) სიგრძე – 60-70 სმ;

- „ბუშლაგების” საფეხურების სიგანე – 40-50 სმ;
- კალმები გარეთ არ უნდა იყოს გამოსული 20 სმ-ზე მეტ სიგრძეზე;
- 1 მ სიგრძეზე ჭრილში ეწყობა 20 ტოტი: 10 – დიაგონალურად მარჯვნივ, 10 – მარცხნივ, რაც ჯვარედინ – ბადისებრ ფორმას ქმნის;
- „ბუშლაგების“ ტერასები ფერდობის ქვედა მხრიდან თანმიმდევრობით (ზევით) ეწყობა, რაც ციცაბო ფერდობზე აადვილებს სამუშაოებს;
- მომწეობი ქვედა ტერასაზე დგება და ასე თხრის შემდგომ ტერასას, ამოთხრილ მიწას კი ქვედა „ბუშლაგებს“ (ტირიფის კალმებს) აყრის;
- ნაყარი მიწა კარგად უნდა დაიტკეპნოს;
- „ბუშლაგებს“ შორის ინტერვალი დაახლოებით 2 მ-ია, ფართო ფერდობებზე კი – 3-4 მ;
- მთის ფერდობზე ბუშლაგების ტერასებზე რეკომენდებულია ორგანული სასუქის შეტანა;
- ტერასების სრული მომზადების შემდეგ რეკომენდებულია კალმების პერიოდული მორწყვა.

სამუშაოს ჯამური შედეგები მოცემულია 3.1 ცხრილში.

პირველ და მეორე ტერასებს შორის განხორციელდა ბუჩქოვანი მცენარეების დარგვა, მათ შორის ვეტივერი – 30 ნერგი და პამპასების ბალახი – 20 ნერგი.

3.3 სურათზე ნაჩვენებია მდ. ტუმბრას მარცხენა ეროზირებულ-დამეწერილი ფერდობის საერთო ხედი ბუშლაგებით გამაგრების შემდეგ.

ცხრილი 3.1

ჯამური საპროექტო მონაცემები

№	იარუსის ნომერი	იარუსის სიგრძე (მ)	ტერასის დახრის კუთხე (α°)	ხის კალმების დასახელება	კალმების რაოდენობა (ცალი)
1	2	3	4	5	6
1	პირველი	45.0	35°	თხმელა	900
2	მეორე	40.0	51°	ტირიფი	800
3	მესამე	33.0	36°	თხმელა	660
4	მეოთხე	27.0	21°	თხმელა	540
5	მეხუთე	7.70	10°	ტირიფი	154
		15.30	10°	თხმელა	306
სულ დაირგო 3206 თხმელა და 954 ტირიფი.					



სურ. 3.3. ბუშლაგებით გამაგრებული მთის ფერდობი
2008 წლის 30 ივლისი

3.2. მდინარე ტუმბრას მარჯვენა შენაკადზე ხევის კალაპოტის სტაბილიზაცია ხის ბარაყების მოწყობით

მდ. ტუმბრას მარჯვენა შენაკადზე ეროზიულ-დვარცოფული პროცესების რეგულირებისა და გრძივი პროფილის ქანობის სტაბილიზაციის მიზნით წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტში დამუშავებული მეთოდოლოგიის გათვალისწინებით [6] წყალსადინარში მოეწყო თხემელის ხის ტოტების წნულებისაგან დამზადებული 0.90 მ სიმაღლის ექვსი



ბარაყი (სურ. 3.4), ხოლო სურ. 3.5-ზე მოცემულია ბარაყების მუშაობის ამსახველი ფოტომასალა 2 წლის შემდეგ (2010 წლის ივლისი). 3.6 სურათზე კი ნაჩვენებია ხევის კალაპოტში ერთი ბარაყის მიერ შეკავებული ეროზირებული ნაწილაკებით შევსებული ნაგებობის ზედა ბიევი.

ა)



ბ)

სურ. 34. დარეგულირებული ხევის კალაპოტის საერთო ხედი
ა) 2008 წლის 30 ივლისი; ბ) 2010 წლის 30 ივლისი



სურ. 3.5. ეროდირებული ნაწილაკებით შევსებული ბარაჟის საერთო ხედი (2010 წლის 30 ივლისი)

ამრიგად წარმოდგენილი მეთოდოლოგიითა და საინჟინრო ღონისძიებებით განხორციელებული ეროზიულ-დვარცოფული პროცესების საწინააღმდეგო ფიტომელიორაციული და საინჟინრო ღონისძიებების ეფექტურობა სახეზეა და მათ შესაძლებელია გაუეწიოთ რეკომენდაცია საქართველოს სხვადასხვა მთიან რეგიონებში ბუნების სტიქიური მოვლენების – ეროზიულ-დვარცოფული პროცესების სტაბილიზაციისათვის.

3.3. ლენტეხისა და ცაგერის რაიონებში წყალდიდობის საწინააღმდეგო საინჟინრო ღონისძიებები

ცაგერის რაიონის სოფელ ჭალისთავში, მდინარე ცხენისწყალზე, წყალდიდობის საწინააღმდეგო ღონისძიებები განხორციელდა წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტისა და გარემოს დაცვის ეკოცენტრის მიერ შვეიცარიის განვითარებისა და დახმარების სააგენტოს დაკვეთით (SDC).

სამუშაოს მიზანი იყო ცაგერის რაიონის სოფელ ჭალისთავში, მდინარე ცხენისწყლის მარჯვენა ნაპირზე, მოსახლეობისა და სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების დაცვა მდინარის კალაპოტში ფორმირებული წყალმოვარდნებისა და წყალდიდობებისაგან.

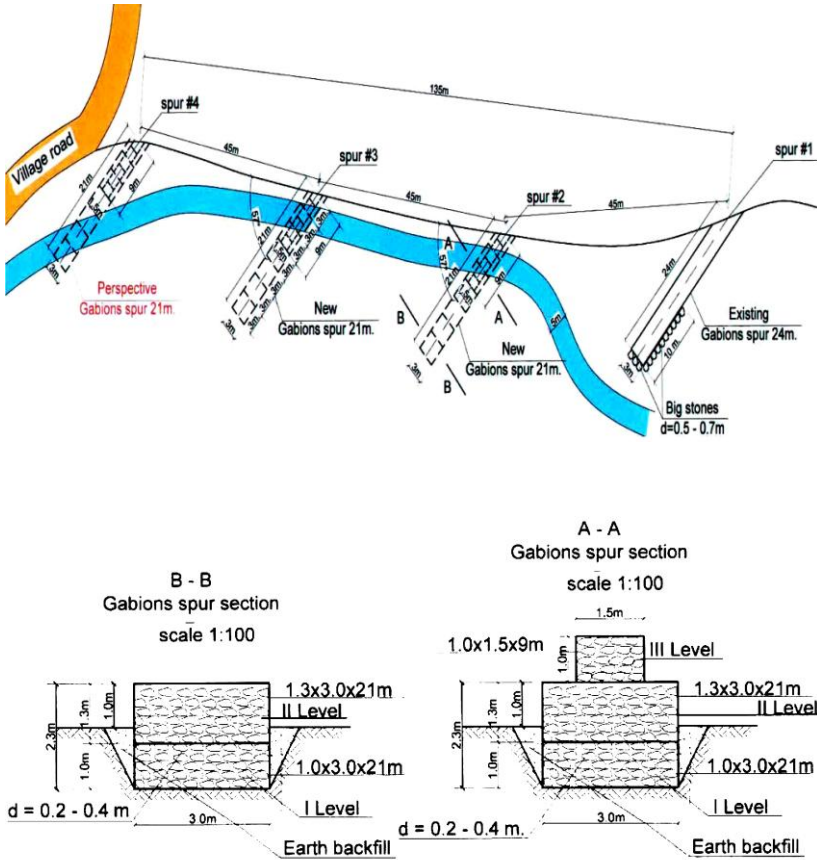
არსებული სამეცნიერო და ტექნიკური [36] ლიტერატურის გამოყენებით დადგინდა, რომ მდინარე ცხენისწყლის ჰიდროლოგიური მაჩვენებლები ცაგერის ჰიდრომეტეოროლოგიურ საგუშაგოსთან შემდეგია: მდინარის წყალშემკრები აუზის ფართობია $F = 14703$ კმ²; კალაპოტის საშუალო ქანობი – $i = 0,0075$.

მდინარე ცხენისწყლის აუზში სხვადასხვა უზრუნველყოფის წყალდიდობის ხარჯი დადგინდა (2.1) დამოკიდებულებით [34], რომლის გამოყენებით საპროექტო უბანზე წყალდიდობის საანგარიშო ხარჯი ($(P(\%) = 0,1)$) იქნება:

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= A \cdot (34 + 400 \cdot i) \cdot F^{0,61} = \\ &= 2,4(34 + 400 \cdot 0,0075) \cdot 1430,3^{0,61} = 3111,80 \text{ მ}^3/\text{წმ} \end{aligned} \quad (3.2)$$

წყალდიდობის საანგარიშო ხარჯისა და არსებული

მეთოდოლოგიის გამოყენებით დაპროექტებულია მდინარის ნაპირდამცავი გაბიონები და დეზები, რომლის საანგარიშო სქემა ნაჩვენებია 3.6 სურათზე, ხოლო დეზების საერთო ხედი კი 3.7 სურათზე.



სურ. 3.6. წყალდიდობის საწინააღმდეგო დეზების საანგარიშო სქემა



სურ. 3.7. წყალდიდობის საწინააღმდეგო ქვის დეზების საერთო ხედი

ამრიგად, ცაგერის რაიონის სოფელ ჭალისთავში მდინარე ცხენისწყლის მარჯვენა ნაპირზე მოსახლეობისა და სასოფლო სამეურნეო სავარგულების წყალმოვარდნებისა და წყალდიდობებისაგან დაცვის მიზნით დაპროექტებული და აშენებულია ქვის გაბიონები და დეზები, რაც ადგილობრივი ტერიტორიის ეკოლოგიური უსაფრთხოების გარანტიას იძლევა.

**თავი 4. სოფელ ჯვარბოსლის (მთათუშეთი)
მიმდებარე ეროზირებული მთის ფერდობის
სარეაბილიტაციო კომპლექსური ღონისძიებები**

4.1. საკვლევი ტერიტორიის კომპლექსური შეფასება

სამუშაო შესრულებულია გარემოს დაცვისა და ბუნებრივი რესურსების სამინისტროს მდგრადი განვითარების პროექტების განმახორციელებელი სააგენტოს დაკვეთით (დამფინანსებელი მსოფლიო ბანკი, კონტრაქტი №SDPIA/PADC/CQ-07) და იგი ითვალისწინებს მთათუშეთის სოფ. ჯვარბოსლის მიმდებარე ტერიტორიაზე წარმოშობილი ხევისა და ფერდობის გამაგრებას საინჟინრო და ფიტომელიორაციული მეთოდებით. ამ მიზნით განხორციელდა ტერიტორიის საინჟინრო-გეოლოგიური, ჰიდროლოგიური და სატყეო-მელიორაციული შეფასება. ხევის სტაბილიზაციის მიზნით გათვალისწინებულია ბეტონის მცირე სიმაღლის კაშხლების (ბარაუები) დაპროექტების მეთოდოლოგიის დამუშავება.

სოფელი ჯვარბოსელი მდებარეობს ზღვის დონიდან 1904 მ-ზე. საკვლევი ტერიტორიის წყალშემკრები აუზის ფართობი შეადგენს 0,0325 კმ²-ს, ხოლო სიგრძე – 0,4 კმ-ს. საკვლევი ხრამის სათავე მდებარეობს ზღვის დონიდან 2012 მ-ზე, ხოლო მდინარე თუშეთის შესართავი ალაზანთან – 1835 მ-ზე.

სოფელ ჯვარბოსლის რელიეფი და მისი ძირითადი ტიპები ჩამოყალიბებულია მეოთხეული პერიოდის ვერტიკალური მოძრაობებით, გამყინვარებით, მდინარეული ეროზიითა და მექანიკური გამოფიტვით. ფერდობის

სამხრეთი ექსპოზიცია დღე-ღამური და სეზონური ტემპერატურების ცვლილებით მნიშვნელოვნად უწყობს ხელს ეროზიული პროცესების განვითარებას.

სოფელ ჯვარბოსელში ჰავა ცივია და განეკუთვნება ალპური ჰავის ზოლს. მთელი წლის განმავლობაში ამინდები გრილია (წლის საშუალო ტემპერატურა 5°C -ია). ზამთარში სუსხიანი და თოვლიან-ყინვიანი. იანვრის ტემპერატურა მინუს 12°C -დან 18°C -მდე აღწევს და მთის მდინარე ალაზანიც კი იყინება. გაზაფხული გვიან დგება, შემოდგომა ადრე. ხშირად სექტემბერში თოვლი მოდის. ზაფხული გრილია (ივლისის ტემპერატურა 10°C -დან 14°C -მდე), მოკლე და ნესტიანი.

იანვარ-თებერვალში ჰაერის საშუალო ტემპერატურა მინუს $13-15^{\circ}$ -ზე დაბლა არ ჩამოდის, თოვლის საფარის ხანგრძლივობა 5-6 თვეა, ხოლო ივლის-აგვისტოში ჰაერის საშუალო ტემპერატურა პლუს $14-15$ გრადუსია.

სოფელ ჯვარბოსელში ნალექების რაოდენობა წელიწადში მერყეობს $450-900$ მმ-ს შორის, საშუალო მრავალწლიური კი 770 მმ-ია. აქედან ნალექების 69% მოდის თბილ პერიოდში – აპრილიდან სექტემბრის ჩათვლით, 31% კი დანარჩენ 6 თვეში - მყარი სახით. თოვლის საფარის მაქსიმალური სისქე 2 მ-ს აღწევს, მინიმალური - $0,3$ მ-ს.

ჰავა კონტინენტურია. ღრუბლიან დღეთა რაოდენობა, საშუალოდ, თვეში 5.5 -ია. სოფელ ჯვარბოსელში სეტყვა იშვიათი მოვლენაა. აქ საშუალო სიჩქარის ქარები ($7-14$ მ/წმ) წელიწადში დროის 10% -ს აღწევს; ძირითადად, სუსტი ქარი და წყნარი დღეები იცის. სოფელ ჯვარბოსელთან

უახლოესი მეტეოსადგურის მიხედვით კლიმატური მანვენებლები მოცემულია ცხრილში 4.1.

ცხრილი 4.1

სოფ. ომალოს კლიმატური ელემენტების დახასიათება

სადგურის დასახელება	სიმაღლე მ-ში სადგური	ჰაერის ტემპერატურა გრადუსებში			ფარდობითი ტენიანობა %		წლიური დრუბლიანობა საერთო დრუბლიანობის მიხედვით %	ნალექი (მმ)			წლიური ნალექების დღეთა რიცხვი	წლიური ნალექების კოეფიციენტი
		ყველაზე ცივი თვის	ყველაზე თბილი თვის	საშუალო წლიური	ყველაზე მშრალი თვის	საშუალო წლიური		წლიური ჯამი	ზაფხული	ზამთარი		
ომალო	1880	-9.1	14.2	3.5	66	69	55	748	234	121	124	1.5

სოფ. ომალოში დანესტიანების ბალანსი, წლიური მანვენებლების მიხედვით დადებითია (ცხრ. 4.2).

ცხრილი 4.2

დანესტიანების ბალანსი (მმ)

სადგურები	თვეები												წლიური
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ომალო	20	27	30	48	55	44	10	-17	4	6	19	21	267

სოფელი ჯვარბოსელი მდებარეობს კავკასიონის ქედის სამხრეთ ფერდობზე განვითარებული კონუსისმაგვარი ფორმის დელუვიური ნალექებით აგებულ ტერიტორიაზე.

ასეთი დელუვიური კონუსის წარმოშობა დაკავშირებულია აქ არსებული, თითქმის ვერტიკალურ მდგომარეობაში მყოფი ღია მთის ფერდობების ტიპთან. მათი ზედაპირი, მიუხედავად დიდი ქანობებისა (35°-40°), ძირითადად სტაბილიზებულია, რელიეფის ფორმები – რბილი, მიწის ზედაპირი დაფარულია ბალახით, რომელსაც ადგილობრივი მოსახლეობა საძოვრებად იყენებს.

ასეთი დელუვიური გენეზისის კონუსები მრავლადაა განვითარებული კავკასიონის მთავარი გულისა და მისი მომიჯნავე მთის ფერდობების გასწვრივ. სოფელი ჯვარბოსელი, ისევე როგორც ეროზიული ხევი, ერთ-ერთი ასეთი ნაშალი მასალის აკუმულაციის შედეგად შექმნილ კონუსზეა განლაგებული.

ხევი განვითარებულია სწორედ ასეთი გენეზისის მქონე დელუვიურ ნალექებში, ჰიფსომეტრულად სოფ. ჯვარბოსლის განლაგების აბსოლუტურ ნიშნულზე (1880 მ) მაღლა, ჩრდილოეთიდან სამხრეთის მიმართულებით, ფერდობის დაქანების გასწვრივ.

ერთი შეხედვით წონასწორობის პირობებში მყოფ, ბალახით დაფარულ ფერდობზე, ნეგატიური ეროზიული პროცესების ჩასახვისა და სწრაფი განვითარების მაინციტირებლად, ეროზიული ხევის დასაწყისში, 2003-2012 მ აბსოლუტურ ნიშნულებს შორის გამომავალი წყაროები უნდა ჩაითვალოს. მათი მეშვეობით განხორციელდა დელუვიური გრუნტების გაწყლოვანება. უნდა აღინიშნოს, რომ დელუვიონი სწრაფად ღბობადი გრუნტებითაა წარმოდგენილი. ასეთ შემთხვევაში თოვლის დნობის პროცესში ფორმირებული ნებისმიერი ნაკადული, ეროზიული ხევის

ჩასახვისა და განვითარების ფაქტორი ხდება.

ეროზიული ხევის უდიდესი სიღრმე 9-11 მ-ს აღწევს, ხოლო სიგანე – 20-25 მ-ს. ხევის ფსკერის სიგანე 0,7-1,2 მ-ს არ აღემატება. აქ დაგროვილია მსხვილნატეხოვანი ნამსხვრევი მასალა, ღორღი და ხვინჭა. ქვიშის, თიხისა და მტვრის ფრაქცია მთლიანად გამორეცხილია. ხევის საერთო სიგრძე 200 მ-ზე ნაკლებია. „V“-სებრი ხევის ფერდობების დახრილობა 60° - 75° აღწევს. უდიდეს სიღრმეს ხევი მის შუა წელში აღწევს, ხოლო ქვედა ნაწილში, სოფ. ჯვარბოსლის განაპირას, იქ, სადაც გარეცხვას აკუმულაცია ჭარბობს, ეროზიული ჩაღრმავება შედარებით უმნიშვნელოა. ხევის განვითარება იმდენად ინტენსიურად მიმდინარეობს (ჩამოყალიბდა და განვითარდა უკანასკნელი 15 წლის განმავლობაში), რომ იქმნება საშიშროება არამარტო საძოვრების ჩამორეცხვისა და განადგურების, არამედ თვით სოფ. ჯვარბოსლის არსებობისაც. აღნიშნულის გათვალისწინებით, წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის მიერ აქ განხორციელდა ტოპოგრაფიული და დეტალური საინჟინრო გეოლოგიური და გეოტექნიკური გამოთვლები. სახელდობრ, დადგენილ იქნა თვით დელუვიურის, აგრეთვე ხევის ფსკერზე არსებული ნატანი გრუნტის ფიზიკური თვისებების მახასიათებლების (ტენიანობა, მინერალური ნაწილაკების სიმკვრივე, ბუნებრივი სიმკვრივე, შემადგენლობა, შემვსების პლასტიკურობა, საერთო ლბობადობა), სიმტკიცის მახასიათებლების (შინაგანი ხახუნის კუთხე, შეჭიდულობა) ნორმატიული და საანგარიშო პარამეტრები.

4.2. ხევის ჰიდროლოგიური გაანგარიშება

საკვლევი ტერიტორიის (დასაპროექტებელი ობიექტი) ზედაპირული ჩამონადენის სიდიდის დასადგენად გამოყენებულ იქნა პროფესორ გ. როსტომოვის ემპირიული დამოკიდებულებები, რომელიც რეკომენდებულია კავკასიის რეგიონისათვის.

მაქსიმალური წყლის ხარჯი გაანგარიშებული იყო შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$Q = R \left[\frac{\Omega^{2/3} \cdot K^{1,35} \cdot \tau^{0,38} \cdot \bar{I}^{0,125}}{(L + 10)^{0,44}} \right] \Pi \cdot \sigma \cdot \lambda, \quad (4.1)$$

სადაც Q წყლის ჩამონადენის მაქსიმალური ხარჯია, მ³/წმ; R – საკვლევი (დასაპროექტებელი) ტერიტორიის კოეფიციენტი; Ω – წყალშემკრები აუზის ფართობი (კმ²), გამოითვლება მსხვილმასშტაბიანი ტოპოგრაფიული რუკიდან; K – კლიმატური კოეფიციენტი, იანგარიშება ნორმატიული რუკიდან; τ – განმეორების პერიოდი (უზრუნველყოფა %-ში); \bar{I} – აუზის საშუალო ქანობი, გამოთვლილია მსხვილმასშტაბიანი ტოპოგრაფიული რუკიდან; L – წყალშემკრები აუზის სიგრძე, კმ-ში, გამოთვლილია მსხვილმასშტაბიანი ტოპოგრაფიული რუკიდან; σ – წყალშემკრები აუზის ფორმის კოეფიციენტი, იანგარიშება დამოკიდებულებით

$$\sigma = 0,25 \frac{B_{\text{მაკს}}}{B_{\text{საშ}}} + 0,75, \quad (4.2)$$

სადაც $B_{\text{მაკს}}$ წყალშემკრები აუზის მაქსიმალური სიგანეა, კმ-ში; $B_{\text{საშ}}$ – წყალშემკრები აუზის საშუალო სიგანე, კმ-ში, გამოითვლება მსხვილმასშტაბიანი ტოპოგრა-

ფიული რუკიდან; $B_{საშ}$ -ს გამოსათვლელად გამოყენებულია დამოკიდებულება:

$$B = \frac{F}{L}, \quad (4.3)$$

სადაც F წყალშემკრები აუზის ფართობია, კმ²-ში; λ – ტყიანობის მახასიათებელი უგანზომილებო სიდიდე, გამოითვლება დამოკიდებულებით:

$$\lambda = \frac{1}{1 + 0.2 \frac{\Omega_{ტყ}}{\Omega}}, \quad (4.4)$$

სადაც $\Omega_{ტყ}$ – წყალშემკრები აუზის ფართობია, რომელიც ტყითაა დაფარული, კმ²; Π – ნიადაგური პარამეტრი, რომელიც გამოითვლება რუკიდან და ცხრილებიდან.

ზემოხსენებული მახასიათებლების გამოსათვლელად გამოყენებულია მსხვილმასშტაბიანი ტოპოგრაფიული რუკები და პროფესორ გ. როსტომოვის ავტორობით გამოცემული ტექნიკური მითითებები – „მდინარეთა მაქსიმალური ჩამონადენის ანგარიში კავკასიის პირობებში“, თბილისი, 1980 წ. (რუსულ ენაზე).

საბოლოოდ, საკვლევი ტერიტორიაზე წყლის 1%-იანი უზრუნველყოფის ხარჯის დასადგენად, გაანგარიშებულ იქნა (4.1) ფორმულაში შემავალი ყველა სიდიდე: R -ის მნიშვნელობა მოცემულია ტექნიკურ მითითებაში და უდრის 1,15-ს; $\Omega = 0,0325$ კმ²; $K = 7$; $\tau = 100$ წ (1% უზრუნველყოფა); $\bar{I} = 0,44$; $L = 0,4$ კმ; $\Pi = 0,7$; $\sigma = 1,06$; $\lambda = 1$; $B_{მაქს} = 0.1$ კმ; $\Omega_{ტყ} = 0$ კმ²; $B_{საშ} = 0,08$ კმ.

შესაბამისი გამოთვლების შედეგად (4.1) დამოკიდებულების საშუალებით დადგინდა წყლის მაქსიმალური

ჩამონადენის 1%-იანი უზრუნველყოფის ხარჯი, რომელმაც საკვლევ ტერიტორიაზე (წყალშემკრებ აუზში) $Q = 2,23$ მ³/წმ შეადგინა. ჩამონადენის მოდულში ეს მაჩვენებელი უდრის $M = 68615$ ლ/წმ კმ²-დან, ხოლო დასაპროექტებელი კვეთისთვის, იმ ფართობის გათვალისწინებით (≈ 0.0325 კმ²), სადაც წყლის ზედაპირული ჩამონადენი ფორმირდება, ეს მაჩვენებელი – $M = 2230$ ლ/წმ-ს.

აღნიშნული ჰიდროლოგიური ანგარიში ადასტურებს სოფელ ჯვარბოსელში არსებული ხრამის განვითარების ძალზე სწრაფ დინამიკას და უშუალოდ ხრამში საინჟინრო და სატყეო-მელიორაციული ღონისძიებების კომპლექსური განხორციელების აუცილებლობას.

ჯვარბოსლის ხევში მიმდინარე ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების სტაბილიზაციის მიზნით მიზანშეწონილია კალაპოტური პროცესების მარეგულირებელი ბეტონის წყალსაშვიანი ბარაჟების მოწყობა, ზედა და ქვედა ბიეფში განთავსებულ მთის ფერდობებზე ფიტომელიორაციული ღონისძიებებისა და სატყეო მელიორაციული (ადგილობრივი ბალახოვანი მცენარეების დათესვა) ღონისძიებების განხორციელება.

4.3. ხევის ჰიდრაგლიკური გაანგარიშება

სოფ. ჯვარბოსლის მიმდებარე ტერიტორიაზე წარმოშობილი ხევის ჰიდრაგლიკური ანგარიშით 1%-იანი უზრუნველყოფის ხარჯისათვის მიღებულია, რომ $Q_{1\%} = 2,23$ მ³/წმ; ხევის პარამეტრები: სიგანე ფსკერზე $b_0 = 1,20$ მ; ფერდობის დახრის კოეფიციენტი: – $m = ctg 40^\circ = 1,192$;

ხევის ფსკერის ქანობი – $i = 0,515$; კალაპოტის ხორკლიანობის კოეფიციენტი – $n = 0,040$; ტრაპეციული კვეთის მქონე ხევის ცოცხალი კვეთის ფართობი (ω) იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით [65]:

$$\omega = b_0 h + m h^2 \quad (\text{მ}^2), \quad (4.5)$$

სადაც b_0 არის ხევის ფსკერის ძირის სიგანე (მ); h – წყლის ნაკადის სიღრმე (მ); m - ხევის ფერდობის დახრის კოეფიციენტი.

ზემოთ მოყვანილ საანგარიშო დამოკიდებულებების გამოყენებით მე-4 ბარაჟის ზედა ბიევის კალაპოტის მანქნებლები ასეთია: $b_0 = 1,20$ მ; $m = ctg 40^\circ = 1,192$; ხევის სველი პერიმეტრი იანგარიშება შემდეგი ფორმულით [65]:

$$\chi = b_0 + 2h\sqrt{1+m^2} \quad (\text{მ}); \quad (4.6)$$

ჰიდრაულიკური რადიუსი ტოლია:

$$R = \frac{\omega}{\chi} \quad (\text{მ}) \quad (4.7)$$

არსში ფორმირებული წყლის ნაკადის საშუალო სიჩქარე იანგარიშება შეზის ფორმულით:

$$V = C\sqrt{R \cdot i} \quad (\text{მ}^3/\text{წმ}), \quad (4.8)$$

სადაც C არის შეზის კოეფიციენტი, რომელიც იანგარიშება ფორმულით [65]:

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (\text{მ}^{0,5} \cdot \text{წმ}^{-1}), \quad (4.9)$$

ჩვენს შემთხვევაში ხარისხის მანქნებლის სიდიდეს ვიღებთ $y = 0,17$; i – არის ხევის კალაპოტის გრძივი პროფილის ქანობი. ამ უბანში იგი ტოლია: $i = 0,515$.

ხევში ფორმირებული წყლის ხარჯი იანგარიშება ფორმულით [65]:

$$Q = \omega V \quad (\text{მ}^3/\text{წმ}) \quad (4.10)$$

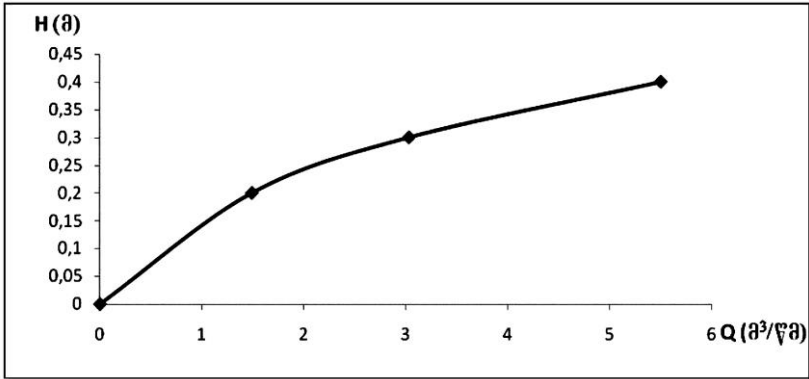
მოყვანილი ფორმულების გამოყენებით ვანგარიშობთ ხევის ჰიდრაულიკურ მახასიათებლებს მე-4 ბარაუისათვის. მათი მნიშვნელობებიც მოყვანილია ცხრილში 4.3. ანგარიშს ვაწარმოებთ მანამ, სანამ Q არ გაუტოლდება 1%-იანი უზრუნველყოფის ხარჯის სიდიდეს – $Q_{1\%} = 2,23 \text{ მ}^3/\text{წმ}$.

ცხრილი 4.3

ხევის ჰიდრაულიკური პარამეტრების გაანგარიშება

№	წყლის სიღრმე, h (მ)	ხევის ფუძის სიგანე, b_0 (მ)	ცოცხალი კვეთის ფართობი, ω (მ ²)	სველი პერიმეტრი, χ (მ)	ჰიდრაულიკური რადიუსი, R (მ,,)	შეზის კოეფიციენტი, C (მ ^{0,5} /წმ)	წყლის საშუალო სიჩქარე, V (მ/წმ)	წყლის ხარჯი, Q (მ ³ /წმ)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,2	1,2	0,287	1,822	0,157	18,23	5,18	1,49
2	0,3	1,2	0,467	2,134	0,219	19,30	6,48	3,03
3	0,4	1,2	0,671	2,444	0,274	20,05	7,53	5,05

რადგან ბოლო მესამე მონაცემმა გადააჭარბა $Q_{1\%} = 2,23 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ -ს, ამიტომ ანგარიში წყდება და 1%-იანი ხარჯის დასადგენად ვაგებთ $H = f(Q)$ დამოკიდებულების გრაფიკს (ნახ. 4.1):



ნახ. 4.1. $H = f(Q)$ დამოკიდებულების გრაფიკი

ნახაზზე დავიტანთ ხევიში ფორმირებულ მაქსიმალურ წყლის ხარჯს $Q_{1\%} = 2,23 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ -ის შესაბამის სიღრმეს $H = 0,26 \text{ მ}$, ამით მე-4 ბარაჟის ზედა ბიეფში ჰიდრავლიკური ანგარიში დამთავრებულია, ხოლო შესაბამისი ჰიდრავლიკური მანვენებლები კი შემდეგია:

$$\omega = b_0 h + m h^2 = 0,393 \text{ (მ}^2\text{)};$$

$$\chi = b_0 + 2h\sqrt{1+m^2} = 2,01 \text{ (მ)};$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = 0,196 \text{ (მ)};$$

$$V = c\sqrt{Ri} = 6,02 \text{ (მ/წმ)};$$

$$Q = \omega V = 2,36 \text{ (მ}^3/\text{წმ)}.$$

ანალოგიური ჰიდრავლიკური ანგარიში ჩატარებულია მესამე, მეორე და პირველი ბარაჟების კვეთებში, როგორც მსგავსი განივი პროფილისა და ქანობის შემთხვევები, კერძოდ კი:

$$\text{ხევის ფუძის სიგანეა} - b_0 = 1,20 \text{ (მ)};$$

კალაპოტის საშუალო ქანობი – $i=0,437$;
 კალაპოტის ხორკლიანობა – $n=0,040$;
 ხევის დაფერდების კოეფიციენტი – $m=0,9$;
 ანგარიში წარმოდგენილია 4.4 ცხრილის სახით:

ცხრილი 4.4

ხევის ჰიდრაულიკური პარამეტრების ანგარიში

№	წყლის სიღრმე, h (მ)	ხევის ფუძის სიგანე, b_0 (მ)	ცოცხალი კვეთის ფართობი, ω (მ ²)	სველი პერიმეტრი, χ (მ)	ჰიდრაულიკური რადიუსი, R (მ,)	შეზის კოეფიციენტი, C (მ ^{0,5} /წმ)	წყლის საშუალო სიჩქარე, V (მ/წმ)	წყლის ხარჯი, Q (მ ³ /წმ)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,2	1,2	0,276	1,738	0,159	18,3	4,82	1,33
2	0,3	1,2	0,441	2,007	0,22	19,33	5,99	2,64
3	0,4	1,2	0,624	2,280	0,27	20,05	6,94	4,33

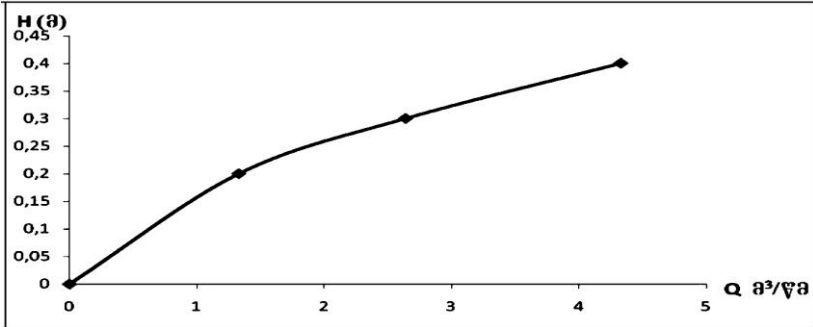
ცხრილი 4.4-ის მონაცემების მიხედვით ვაგებთ $H = f(Q)$ დამოკიდებულების გრაფიკს (ნახ. 4.2). ნახაზზე ხარჯს $Q_{1\%} = 2,23$ მ³/წმ შეესაბამება წყლის სიღრმე ხევაში $H = 0,27$ მ.

შესაბამისი ჰიდრაულიკური მაჩვენებლები ტოლია:

$$\omega = 1,2 \cdot 0,27 + 0,9 \cdot 0,27^2 = 0,39 \text{ (მ}^2\text{)};$$

$$\chi = 1,2 + 2 \cdot 0,27 \sqrt{1 + 0,9^2} = 1,93 \text{ (მ)}; \quad V = 19,03 \sqrt{0,20 \cdot 0,437} = 5,63$$

$$\text{(მ/წმ)}; \quad R = \frac{0,39}{1,93} = 0,20 \text{ (მ)}; \quad Q = 2,20 \text{ (მ}^3\text{/წმ)}.$$



ნახ. 4.2. $H = f(Q)$ დამოკიდებულების გრაფიკი

4.4. ხევის ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებები

თუშეთისა და კერძოდ სოფ. ჯვარბოსლის მიმდებარე ტერიტორიის უნიკალობისა და თვითმყოფადობის გათვალისწინებით შედარებით ახალწარმოქმნილი ხევი ხასიათდება შემდგომი განვითარებით. აქ მიზანშეწონილია განხორციელდეს სენსიტიური უბნებისათვის მისაღები და ფრთხილად შერჩეული ღონისძიებები, რომლებიც უნდა მოიცავდნენ როგორც საინჟინრო ნაგებობების, ისე ფიტომელიორაციული ხასიათის მეთოდების გამოყენებას. პირველი მათგანი შესაძლებლობას იძლევა ოპერატიულად, დროის შედარებით მცირე მონაკვეთში უზრუნველყოს დაზიანებული რელიეფის სტაბილურობა, ხოლო მეორე მოითხოვს ხანგრძლივ პერიოდს (რამდენიმე წელიწადს), რათა მიღებულ იქნეს მასზე გათვლილი სათანადო ეფექტი.

ეს ღონისძიებები ისე უნდა იქნეს შერჩეული, რომ რაც შეიძლება ნაკლები ზიანი მიადგეს ადგილობრივ

გარემოს და ორიენტირებულ იქნეს მიმდინარე ნეგატიური ხასიათის მოვლენების თუ არა მთლიანად აღმოფხვრაზე, მათ შესუსტებაზე მაინც.

შექმნილ სიტუაციაში უპირატესობა უნდა მიენიჭოს საინჟინრო ღონისძიებების განხორციელებას ეროზირებულ ხევში საშუალო ან მცირე ზომის ბეტონის კაშხლების მოწყობით, როგორც ეს ხორციელდებოდა და დღესაც წარმატებით ფუნქციონირებს საქართველოს მსგავს მთაგორიან ქვეყნებში – ავსტრია, შვეიცარია, გერმანია, იაპონია, ჩინეთი, ნეპალი და ა.შ. ამ სახის შემოთავაზებულ ღონისძიებას ის უპირატესობა გააჩნია, რომ იგი მშენებლობის დამთავრებისთანავე იძლევა საგრძნობ დადებით შედეგს მოგვიანებით წარმოშობილი ხარვეზების აღმოფხვრის შესაძლებლობით [7].

ბეტონის კაშხლებისათვის ეროზირებულ ხევში ადგილების შერჩევისას მხედველობაში იქნა მიღებული როგორც ხევის გრუნტის ძირითადი მახასიათებლები, ასევე მისი გრძივი პროფილის ცვლილების ხასიათი, განივი კვეთების ფორმები და სავარაუდო მანძილები კაშხლებს შორის. ამ ტიპის კაშხლებზე გამართლებულია ტრაპეციული ფორმის წყალსაშვებისა და კაშხლის ტანში მცირე ზომის ხვრეტების მოწყობა წვიმიანობისა და ხევში წარმოშობილი წყლის ნაკადის უმტკივნეულოდ გატარების მიზნით, ვიდრე კაშხლის ზედა ბიეფი მთლიანად შეივსება მყარი ჩამონადენით. ასეთ შემთხვევებში ეროზირებული კალაპოტის საიმედო სტაბილიზაციისათვის მიზანშეწონილია კაშხლებს შორის ხევის ფსკერისა და ფერდობების გამაგრება მოსაპირკეთებელი მასალით, რაც ხელს შეუწყობს მთლიანად ხევის დასტაბილიზებას და

მყარი ჩამონადენის მინიმიზაციას.

სოფელ ჯვარბოსლის მიმდებარე ტერიტორიაზე დასარეგულირებელი ხევის პირველადი მონაცემები ასე გამოიყურება: მთლიანად ფერდობის ფართობი, სადაც წარმოშობილია თხიერი ზედაპირული ჩამონადენით გამოწვეული ხევი, შეადგენს (როგორც ეს ზემოთ იყო აღნიშნული) 32500 მ²-ს, ხევის სიგრძეა - 185 მ, მისი განივი კვეთი თითქმის მთელ სიგრძეზე სამკუთხა ფორმისაა, რომლის სიგანე ფერდობის ზედაპირთან ცალკეულ კვეთებში აღწევს 12 მ-ს, ხოლო ფსკერთან 2-3 მ-ს. ხევის სიღრმეები მისი სათავიდან მდ. ალაზნის შესართავამდე იცვლება 5-10 მ-ის ფარგლებში. ხევის ქანობი სათავიდან მის ბოლომდე მიახლოებით მუდმივია და შეადგენს 35°-ს ანუ $i = 0,56$.

ხევის დამარეგულირებელი ბეტონის კაშხლებს შორის მანძილის დადგენა არც თუ იოლი ამოცანაა და იგი მოითხოვს ხევის როგორც გეომეტრიული ზომების ისე კალაპოტის ფსკერისა და მყარი ჩამონადენის გრანულომეტრიული შემადგენლობის დადგენას, აგრეთვე კაშხლის ზედა ბიეფში დალექილი მყარი ჩამონადენის ზედაპირის ქანობის შეფასებას, რომელიც რეალურად არა წრფივი, არამედ მრუდწირული ხასიათისაა. ამ წირის სიგრძეზე, თუ მთლიანად არა, მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული კაშხლებს შორის მანძილის დადგენა, ე.ი. კაშხლების საერთო რაოდენობა, მაგრამ არსებული ხევის შედარებით მცირე სიგრძისა და მყარი ჩამონადენის ერთგვაროვნების გათვალისწინებით შესაძლებელია პირველი მიახლოებით, როგორც არსებულ ტექნიკურ ლიტერატურაშია მიღებული,

ასეთი შემთხვევისათვის დასაშვებია წირი მიღებულ იქნეს სწორხაზოვნად, ხოლო მისმა ქანობმა შეადგინოს ხევის კალაპორტის ქანობის 0,5 ნაწილი.

ამგვარი დაშვებებით დადგინდა, რომ ხევის მთელ სიგრძეზე დასაპროექტებელია ოთხი ბეტონის კაშხალი (ნახ. 4.3).

თითოეული კაშხალი გაანგარიშებულ იქნა ამ შემთხვევისათვის ტრადიციული მეთოდით – მდგრადობაზე და გადაყირავებაზე ხევის გრუნტში ერთ მეტრამდე ჩაღრმავებით. კაშხლის ქიმზე მოწყობილი ტრაპეციული ფორმის წყალსაშვებები გაანგარიშებულ იქნა 1%-ანი უზრუნველყოფის თხიერ ჩამონადენზე ქვედა ბიეფის გამაგრებით კაშხლის მდგრადობის უზრუნველყოფის მიზნით.

სოფლის სიახლოვეში, ხეზე გათვალისწინებულია საჭაპანო ტრანსპორტისა და ფეხით მოსიარულეთათვის მცირე ზომის ერთმალაიანი ბეტონის ფილის ბოგირი, რომლის სიგრძე შეადგენს 10 მ-ს, ხოლო სიგანე 3 მ-ს.

ჩვეულებრივად, ამ ტიპის ხეებს ახასიათებს საკმაოდ ძლიერი გამოტანის კონუსის წარმოშობა, მაგრამ ვინაიდან ხევის დაბოლოება მკვეთრი ქანობით ეშვება მდ. პირიქითა ალაზანში და ეს უკანასკნელი თავისი ძლიერი წყლის ნაკადით, როგორც ეს ახასიათებს მთის მდინარეებს, რეცხავს ხევის მიერ გამოტანილ მყარ ჩამონადენს და უმტკივნეულოდ გადაადგილებს მას ქვევით, დინების მიმართულებით. ამიტომ, ამ შემთხვევაში, გამოტანის კონუსის არარსებობის გამო, მნიშვნელოვნად ადვილდება სოფ. ჯვარბოსლის დაცვა გამოტანის კონუსზე ტრანსპორტირებული ღვარცოფული მასისაგან.



**ნახ. 4.3. ეროზიის საწინააღმდეგო ბეტონის ბარაჟები.
მთათუშეთი. 2007 წლის 21 ნოემბერი**

თავი 5. საქართველოს მაღლივი კაშხლების უმსაქლო ავარიის შემთხვევაში წარმოშობილი წყალდიდობების მათემატიკური იმიტაცია

5.1. მსოფლიოში კაშხლების ავარიის მოკლე მიმოხილვა

პრაქტიკაში, სხვადასხვა დანიშნულების კაშხლების საიმედოობა კაცობრიობას ჯერ კიდევ უძველესი დროიდან აინტერესებს, როდესაც ჩვენს წელთაღრიცხვამდე რამოდენიმე ათასი წლის წინათ ბაბილონში, ჩინეთში, ეგვიპტეში და იტალიაში აშენებული იყო სხვადასხვა სიმაღლის წყალგადამღობი ნაგებობები.

კაშხლების ავარიის ძირითად მიზეზად ყველაზე ხშირად სპეციალისტები თვლიდნენ საძირკველში ჩაწყობილი მასალის ნაკლებ სიღრმეს, შემდეგ მიზეზად – კი გრუნტის კაშხლებისათვის დასაშვებზე მეტ დატვირთვას და ა.შ.

ქვემოთ განხილულია მსოფლიოში მომხდარი ტექნოგენური კატასტროფების ის შემთხვევები, როდესაც ადგილი ჰქონდა ადამიანთა დიდი რაოდენობით მსხვერპლს [28]:

- 1864 წელს ამერიკის შეერთებულ შტატებში დაინგრა ბრედფილდის მიწის კაშხალი. კაშხლის ზედა ბიეფი მოპირკეთებული იყო ბეტონის ფილებით, ხოლო კაშხლის გულში მოთავსებული იყო თიხა-თიხნარის გრუნტი. კაშხლის ავარიამ 239 კაცის სიცოცხლე შეიწირა;
- 1889 წლის 31 მაისს აშშ-ში დაინგრა საუტ ფორკის (პენსილვანიის შტატი) 92 მ სიმაღლის მიწის

კაშხალი, კატასტროფამ 2500 ადამიანის სიცოცხლე შეიწირა;

- 1890 წლის 22 თებერვალს არიზონას შტატში (აშშ) დაინგრა 33,6 მ სიმაღლის ქვაყრილი კაშხალი, რის შედეგადაც დაიღუპა 129 ადამიანი;
- 1895 წლის 27 აპრილს საფრანგეთში დაინგრა ბუზეისკის 22 მ სიმაღლის ქვაყრილი კაშხალი, დაიღუპა 156 ადამიანი;
- 1911 წლის 30 სექტემბერს ქალაქ აუსტინის მახლობლად (პენსილვანიის შტატი) დაინგრა ბეტონის კაშხალი. კატასტროფამ შეიწირა 100 ადამიანის სიცოცხლე;
- 1935 წლის 13 აგვისტოს სოფელ ზერბინოში (იტალია) დაინგრა ბეტონის 16,5 მ სიმაღლის კაშხალი, ადამიანთა მსხვერპლის რაოდენობამ 100–ს გადააჭარბა.

კაშხლების ავარიას ადგილი ჰქონდა ასევე ყოფილი საბჭოთა კავშირის რესპუბლიკებშიც, მაგრამ ცნობილი პოლიტიკის გამო ეს ინფორმაცია საზოგადოებისათვის დახურული იყო. შესაბამისად, უცნობია ინფორმაცია მსხვერპლის შესახებაც. მაგ. 1955 წელს ავარია იყო გორკის ჰიდროელექტროსადგურის კაშხალზე, 1956 წელს ლუესკის კაშხალზე (ლენინგრადის ოლქი), 1958 წელს ირკუტსკის კაშხალზე, 1960 წელს ცაგერის წყალსაცავზე, 1989 წელს კი საქართველოში, დაბა წყნეთში – 10 მ სიმაღლის მიწის კაშხალზე, კატასტროფამ 3 ადამიანის სიცოცხლე შეიწირა.

2009 წ. 17 აგვისტოს რუსეთში საინო-შუშენსკის კაშხალზე მოხდა ავარია, რომელმაც 12 ადამიანის სიცოცხლე შეიწირა (გაზეთი "Взгляд") და ა.შ.

52. კაშხლების შესაძლო ავარიის პროგნოზირების მეთოდოლოგია

საქართველოში ენერგეტიკისა და მელიორაციის განვითარებისათვის აუცილებელი გახდა წყალსამეურნეო სხვადასხვა სიმაღლის კაშხლების მშენებლობა. დასახული ამოცანის გადაწყვეტის მიზნით მე-20 საუკუნეში ინტენსიურად დაიწვეს სხვადასხვა დანიშნულებისა და ტიპის კაშხლების მშენებლობა, რომელთა სიმაღლეც იცვლება 10 მეტრიდან 274 მეტრამდე, რაც შეეხება წყალსაცავების მოცულობას, მათი სიდიდეები აღემატებოდა რამდენიმე ათეულ მლნ მ³-ს.

მე-20 საუკუნის 60–80 წლებში ჩატარებულმა აღრიცხვამ ნათელი გახადა, რომ საქართველოში მთლიანად დაფიქსირდა 64 დიდი და პატარა წყალსაცავი, რომლებიც განთავსებულია მთისა და მთისწინა ლანდშაფტებში.

მაღლივ კაშხლებს, რომლებიც ქმნიან დიდი მოცულობის წყალსაცავებს, ძირითად სამეურნეო დანიშნულებასთან ერთად, განსაკუთრებული როლი ენიჭება, როგორც ბუნების სტიქიური მოვლენების (წყალდიდობებისა და წყალმოვარდნების) რეგულირების, ასევე ენერგეტიკის მიმართულებით [43].

საქართველოში სწორედ მაღლივ კაშხლებს გააჩნია კომპლექსური დანიშნულება და მათ მინიმუმამდე დაყავს მოსახლეობისა და მიმდებარე ტერიტორიების დატბორვის რისკი.

მეცნიერების დაკვირვებებმა კლიმატზე ნათელი გახადა, რომ ჩვენს პლანეტაზე შეიმჩნევა ტემპერატურის მატება, რაც ხელს უწყობს თოვლის საფარისა და

მყინვარების ინტენსიურ დნობას, ეს კი წყალდიდობების, წყალმოვარდნებისა და ღვარცოფების ფორმირების ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტია;

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით წყალსამეურნეო ობიექტებზე, მათ შორის კაშხლებზე დატვირთვაც იზრდება. ასევე უნდა გაითვალისწინოთ აკადემიკოს ცოტნე მირცხულავას გამოკვლევა [54, 55], რომელიც დაკავშირებულია კაშხლების ე.წ. „სიბერესთან“, რომელიც მეტად ამცირებს კაშხლების ექსპლუატაციის საიმედოობას, ეს კი ზრდის ტექნოგენური კატასტროფის წარმოშობის ალბათობას.

სამეცნიერო ლიტერატურის [33, 35, 37, 38, 39, 64] ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელი გახდა საქართველოს საზღვრებში დაგვედგინა ის კაშხლები, რომლებიც ტექნოგენური კატასტროფის შემთხვევაში მოსახლეობას და ტერიტორიას დიდი საშიშროებით ემუქრება. ესენია: ჟინვალის, სიონის, ლაჯანურის, შაორისა და ენგურის კაშხლები.

საქართველოში კაშხლების შესაძლო ტექნოგენური კატასტროფების კომპიუტერული იმიტაციის მიზნით დახვეწილ იქნა არსებული ალგორითმი [64], რომელიც საშუალებას გვაძლევს კაშხლის შესაძლო ნგრევის შემთხვევაში ვიანგარიშოთ ტალღის სიჩქარე, გარბენილი მანძილი და, რაც მთავარია, დატბორილი ტერიტორიის გეომეტრიული ზომები.

საწყისი მონაცემები ჩვენს მიერ დაყოფილი იყო ორ ნაწილად: პირველი – მუდმივი სიდიდეები და მეორე – ცვლადი; მუდმივ სიდიდეებში გათვალისწინებულია ის

პარამეტრები, რომელიც დამოკიდებული არ არის რომელიმე პირობაზე; რაც შეეხება ცვლად სიდიდეებს, ისინი დამოკიდებულია წყალდიდობაზე, კაშხლის ნგრევის ხარისხზე და ა. შ.

წყალსაცავში არსებული წყლის მოცულობა (W_0) გაანგარიშებული იყო შემდეგი დამოკიდებულებით [64]:

$$W = \frac{H_B S_B}{3}, \quad (\text{მლნ მ}^3) \quad (5.1)$$

სადაც H_B არის წყლის სიღრმე კაშხლის ნორმალური შეტბორვის სიმაღლეზე (მ); S_B – წყალსაცავის სარკის ზედაპირის ფართობი (მლნ მ²);

მდინარის სიგანე აიღება ტოპოგრაფიული რუკებიდან, რაც შეეხება წერტილთა რაოდენობას, იგი არ უნდა აღემატებოდეს მდინარის ღერძიდან ერთ მხარეს 3 წერტილს, სულ 6 წერტილს და უნდა მოიცავდეს მთლიანად წყალშემკრებ ტერიტორიას.

დატბორილი ტერიტორიის ფართობის განსაზღვრისათვის კაშხლიდან კვეთების რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს 8 კვეთს, რომელთა შორის მანძილი წინასწარ უნდა იყოს დატანილი ტოპოგრაფიულ რუკაზე.

წყალდიდობის დროს ტალღის სიჩქარე (V) ნაგებობის ქვედა ბიეფში გამოითვლება შემდეგი ფორმულით [64]:

$$V = V_0 (H_1 / H_0)^{2/3}, \quad (5.2)$$

სადაც V_0 არის მდინარეში წყლის სიჩქარე ნაგებობის ქვედა ბიეფში (მ/წმ); H_1 – მდინარეში წყლის სიმაღლე კაშხლის ქვედა ბიეფში (მ); H_0 – მდინარეში წყლის სიმაღლე წყალდიდობის დროს (მ).

კაშხლის ნგრევის ხარისხი (E_p) დადგენილია შემდეგი დამოკიდებულებით [64]:

$$E_p = \frac{F_B}{F_0}, \quad (5.3)$$

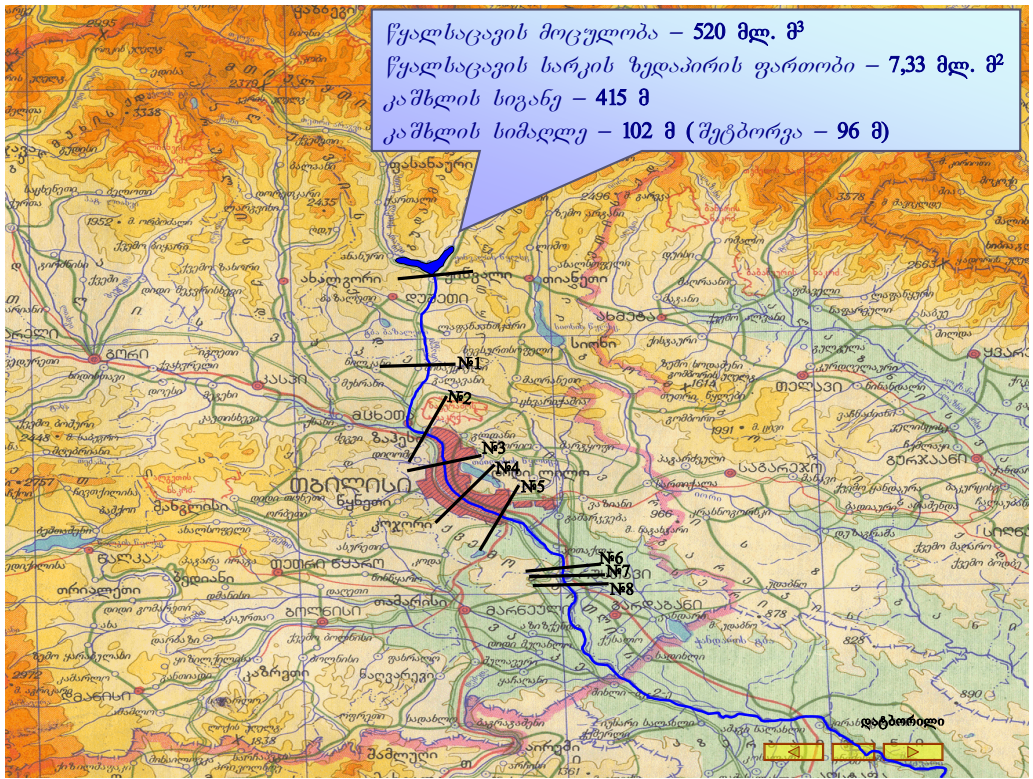
სადაც F_B არის ნაპირის რღვეულის ფართობი (m^2);
 F_0 – ზედაპირის ფართობი (m^2).

გარდა ზემოთ აღნიშნულისა, ალგორითმში გათვალისწინებულია: მდინარის ნაპირის ზღურბლის სიმაღლე (m), მდინარის სიგრძეზე კვეთების რაოდენობა, კვეთებს შორის დაშორება ($კმ$), მდინარის კალაპოტის სიგანე (m), წყლის ნაკადის სინქარე მდინარის კალაპოტში ($m/წმ$), მდინარის ნოღა კალაპოტის სიგანე (m), მდინარის კალაპოტის ნიშნულების სიდიდეები (m) და ა. შ.

5.3. ჟინვალის კაშხლის ავარიის პროგნოზირება სხვადასხვა უზრუნველყოფის რისკის მხედველობაში მიღებით

ჟინვალის წყალსაცავი, რომლის კაშხალიც წარმოადგენს მიწის ნაყარ თიხის გულიან ნაგებობას, მდებარეობს დუშეთის რაიონის სოფელ ჟინვალში. კაშხლის სამშენებლო სიმაღლე 102 მ-ია, ხოლო მუშა სიმაღლე (წყლის შეტბორვის სიმაღლე) კი – 96 მ. კაშხლის სიგანე ზღურბლზე 415 მ-ის ფარგლებშია. ჟინვალის წყალსაცავის მოცულობა 520 მლნ m^3 -ის, ხოლო სარკის ზედაპირის ფართობი კი 733 მლნ m^3 -ის ტოლია [43].

ჟინვალის კაშხლის კატასტროფის პროგნოზირების მიზნით, მდ. არაგვსა და მდ. მტკვარზე ქ. რუსთავამდე კვეთების რაოდენობა შეადგენს 8 ერთეულს (სურ. 5.1).



სურ. 5.1. საანგარიშო კვეთების განლაგების სქემა

კვეთები აღებული იყო შემდეგ დასახლებულ პუნქტებში, რომლებიც კაშხლიდან სხვადასხვა მანძილითაა დაშორებული, კერძოდ კი [28]:

1. სოფელი მისაქციელი – 30,0 კმ;
2. აგჭალის დასახლება – 35,0 კმ;
3. დიდმის (შალიკაშვილის) ხიდი – 44,5 კმ;
4. თამარ მეფის (ჩელუსკინელების) ხიდი – 48,0 კმ;
5. ორთაჭალის ხიდი – 54,2 კმ;
6. ქ. რუსთავის ახალი დასახლება – 74,0 კმ;
7. ქ. რუსთავის ცენტრი – 77,0 კმ;
8. ქ. რუსთავის ბოლო – 80,0 კმ.

ჟინვალის კაშხლის ავარიის შემდეგ წყლის ტალღის პირველი ნაკადი შესაბამის კვეთებში ჩამოედინება შემდეგ დროში:

1. სოფელი მისაქციელი – 47,1 წთ;
2. აგჭალის დასახლება – 57,74 წთ;
3. დიდმის (შალიკაშვილის) ხიდი – 76,34 წთ;
4. თამარ მეფის (ჩელუსკინელების) ხიდი – 90,1 წთ;
5. ორთაჭალის ხიდი – 107,0 წთ;
6. ქ. რუსთავის ახალი დასახლება – 172,6 წთ;
7. ქ. რუსთავის ცენტრი – 183,3 წთ;
8. ქ. რუსთავის ბოლო – 197,3 წთ.

რაც შეეხება ჟინვალის წყალსაცავით დატვირთილი ტერიტორიის გეომეტრიულ ზომებს მდინარის ღერძიდან მარცხნივ და მარჯვნივ, ასეთია:

1. სოფელი მისაქციელი
მარცხნივ – 319 მ, მარჯვნივ – 322 მ,
წყლის სიღრმე – 21 მ, ტალღის სიქარე – 11 მ/წმ;

2. აეჭალის დასახლება
კანიონში იტბორება ორივე მხარე;
3. დიდმის (შალიკაშვილის) ხიდი
მარცხნივ – 649 მ, მარჯვნივ – 1603 მ,
წელის სიღრმე – 9 მ, ტალღის სიჩქარე – 5 მ/წმ;
4. თამარ მეფის (ჩელუსკინელების) ხიდი
მარცხნივ – 88 მ, მარჯვნივ – 715 მ,
წელის სიღრმე – 18 მ, ტალღის სიჩქარე – 10 მ/წმ;
5. ორთაჭალის ხიდი
მარცხნივ – 239 მ, მარჯვნივ – 629 მ,
წელის სიღრმე – 10 მ, ტალღის სიჩქარე – 7 მ/წმ;
6. ქ. რუსთავის ახალი დასახლება
მარცხნივ – 115 მ, მარჯვნივ – 570 მ,
წელის სიღრმე – 11 მ, ტალღის სიჩქარე – 7 მ/წმ;
7. ქ. რუსთავის ცენტრი
მარცხნივ – 293 მ, მარჯვნივ – 786 მ,
წელის სიღრმე – 6 მ, ტალღის სიჩქარე – 5 მ/წმ;
8. ქ. რუსთავის ბოლო
მარცხნივ – 1055 მ, მარჯვნივ – 110 მ,
წელის სიღრმე – 7 მ, ტალღის სიჩქარე – 5 მ/წმ.

უინვალის კაშხლის ამსახველი დეტალური მასალა [28] მოცემულია ცხრილებში (ცხრ. 5.1-5.12), ხოლო მდინარის კალაპოტში და მიმდებარე ტერიტორიაზე დატბორილი ტერიტორიების გეომეტრიული ზომები მოცემულია ნახაზებზე 5.2-5.36.

სამუშაოს ანგარიში

დრო: 17:07:2003, 18:24:00

დასახელება: ჟინვალის კაშხალი (1)

114

პიღროკვანძის საწყისი მონაცემები:	განზ. ერთ.	რაოდ.
1. წყალსაცავის მოცულობა ნორმალური შეტბორვის დონეზე (ნშდ)	მლნ მ ³	520
2. წყალსაცავის სიღრმე კაშხალთან ნშდ-ზე	მ	96
3. სარკის ზედაპირის ფართობი ნშდ-ზე	მლნ მ ³	7,33
4. კაშხლის სიგანე ნშდ-ზე	მ	415
5. მდინარის სიღრმე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	1
6. მდინარის სიგანე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	25
7. მდინარის სიქარე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ/წმ	1
8. წყალსაცავის სიღრმე კაშხლის ავარიის მომენტში	მ	96
9. კაშხლის ნგრევის ხარისხი	მ	1
10. მდინარის კალაპოტის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	1
11. წყალსაცავში წყლის ნორმალური შეტბორვის ნიშნული	მ	816
12. მდინარის კალაპოტში განივი პროფილების რაოდენობა	ც	8

ცხრილი 5.2

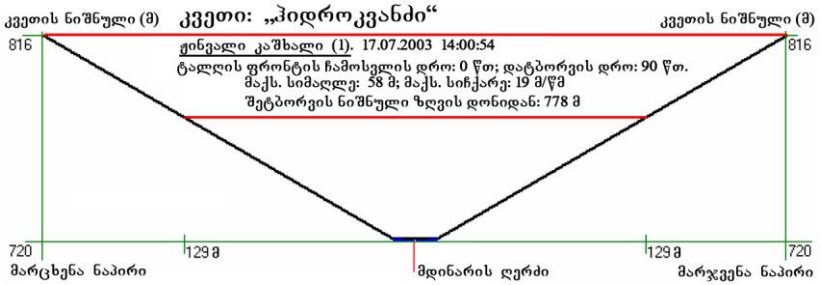
განივი კვეთების დახასიათება	გან. ერთ.	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i-ური კვეთის დაცილება კაშხლიდან	კმ	30	35	44,5	48	54,2	74	77	80
ხვედრითი ნაკადი:									
წყლის შეტბორვის ნიშნული	მ	480	425	398	393	375	327	322,7	313
სიღრმე	მ	1	3	2	2	1	2	1	1
სიგანე	მ	70	60	80	82	80	150	100	93
ნაკადის სიჩქარე	მ/წმ	1	1	1	1	1	1	1	1
მარცხენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	7	2	3	5	4	2,5	3	0,5
მდინარის ნოღა კალაპოტის სიგანე	მ	50	10	50	20	20	5	5	40
ნიშნული №1	მ	490	435	402,5	400	383	330	327,5	315
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	137	50	440	71	180	100	60	225
ნიშნული №2	მ	520	440	405	405	385	340	330	320
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	687	70	670	371	280	125	1310	1295

ცხრილი 5.2 (გაგრძელება)

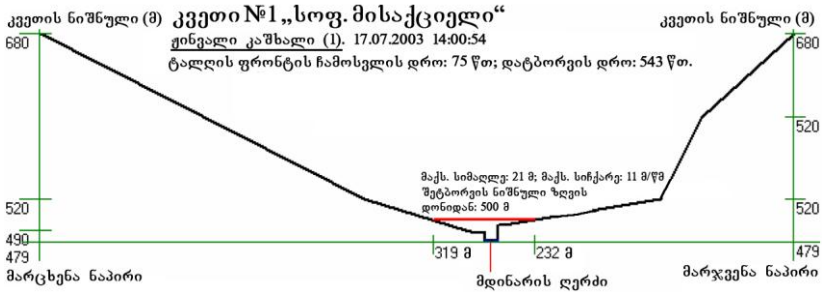
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ნიშნული №3	მ	680	490	410	415	388	350	332,5	322,5
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	2437	340	970	800	720	265	1610	1345
მარჯვენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	15	8	3	5	4	1	1	5
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	30	25	50	20	100	300	300	50
ნიშნული №1	მ	520	435	402,5	410	380	330	325	340
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	912	60	840	90	510	525	750	440
ნიშნული №2	მ	600	445	405	415	385	340	337,5	350
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	1137	70	1680	200	660	600	900	570
ნიშნული №3	მ	680	490	410	425	395	343	345	400
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	1637	540	2000	230	940	1300	1650	840

ცხრილი 5.3

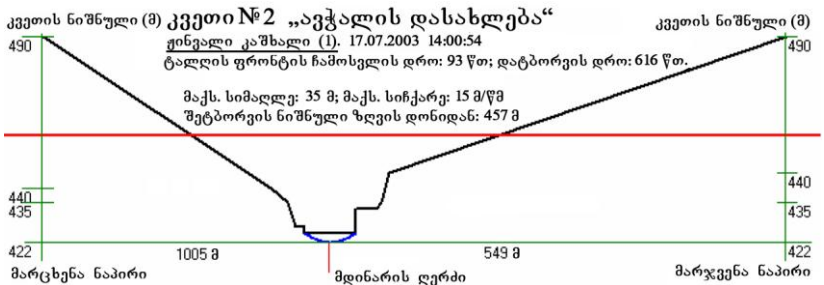
კაშხლის განგრევის პარამეტრები	გან. ერთ.	კვეთი №0	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
კვეთის დაშორება ჰიდროკვანძიდან	კმ	0	30	35	44,5	48	54,2	74	77	80
კვეთში წყლის მაქსიმალური ხარჯი	ა.მ. ³ / წმ	137	31,9	28,18	22,98	21,7	19,6	15,19	14,59	14,16
დრო:										
ტალღის ფრონტის დაწევის	წთ	0	47,1	57,74	76,34	90,1	107	172,6	183,3	197,3
ტალღის დაწევის	წთ	0	75,3	93,07	135,6	149	171	273	285,7	297,3
ტალღის კუდის დაწევის	წთ	90,3	590	673,7	832	890	994	1324	1374	1424
დატბორვის	წთ	90,3	543	615,9	755,7	800	886	1151	1190	1226
დინების მაქსიმალური სიჩქარე	მ/წმ	18,7	11,5	14,52	5,25	9,78	6,99	7,33	5,06	5,45
ტალღის სიმაღლე	მ	56,6	19,9	32,32	6,77	16	8,98	9,01	5,27	5,88
დატბორვის მაქსიმალური სიღრმე	მ	57,6	20,9	35,32	8,77	18	9,98	11,01	6,27	6,88
დატბორვის მაქსიმალური ნიშნული	მ	778	500	457,3	404,8	409	384	336	328	318,9
დატბორვის მაქსიმალური სიმაღლე:										
მდინარის მარცხენა ნაპირზე	მ	152	319	1005	649	715	239	115	293	1055
მდინარის მარჯვენა ნაპირზე	მ	152	232	648,9	1603	87,6	629	570	785,6	110,3



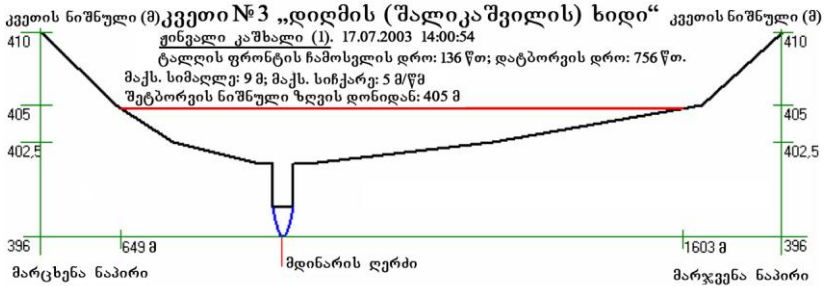
ნახ. 5.2



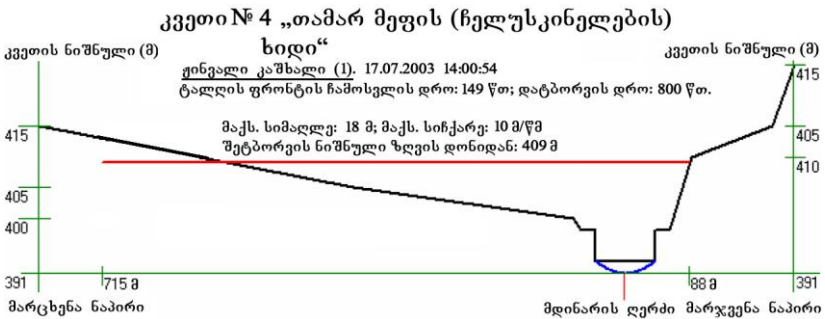
ნახ. 5.3



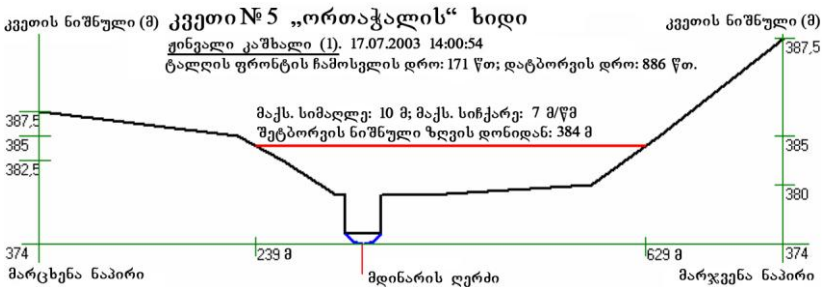
ნახ. 5.4



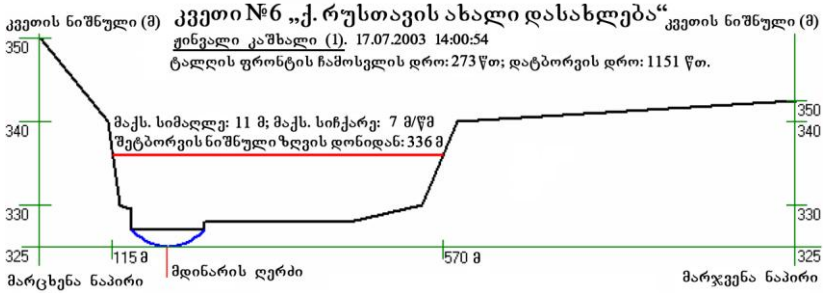
ნახ. 5.5



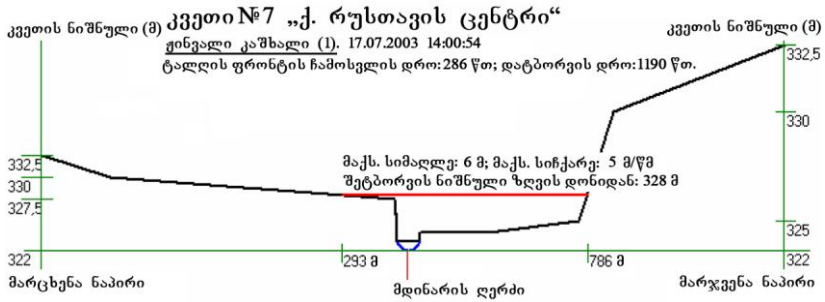
ნახ. 5.6



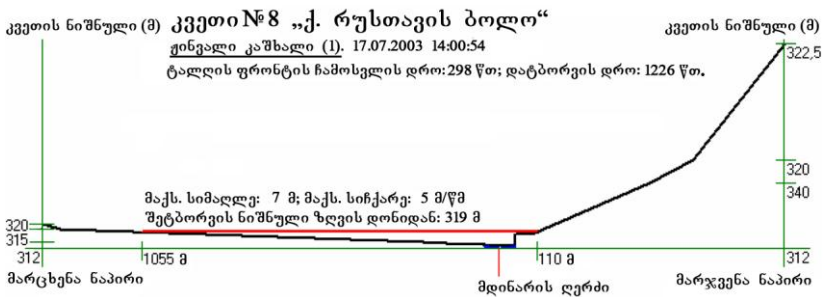
ნახ. 5.7



ნახ. 5.8



ნახ. 5.9



ნახ. 5.10

სამუშაოს ანგარიში

დრო: 17:07:2003, 18:02:40

დასახელება: ჟინგალის კაშხალი (0,75)

პიღროკვანძის საწყისი მონაცემები:	განზ. ერთ.	რაოდ.
1. წყალსაცავის მოცულობა ნორმალური შეტბორვის დონეზე (ნშდ)	მლნ მ ³	520
2. წყალსაცავის სიღრმე კაშხალთან ნშდ-ზე	მ	96
3. სარკის ზედაპირის ფართობი ნშდ-ზე	მლნ მ ³	7,33
4. კაშხლის სიგანე ნშდ-ზე	მ	415
5. მდინარის სიღრმე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	1
6. მდინარის სიგანე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	25
7. მდინარის სიქარე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ/წმ	1
8. წყალსაცავის სიღრმე კაშხლის ავარიის მომენტში	მ	96
9. კაშხლის ნგრევის ხარისხი	მ	0,75
10. მდინარის კალაპოტის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	24
11. წყალსაცავში წყლის ნორმალური შეტბორვის ნიშნული	მ	816
12. მდინარის კალაპოტში განივი პროფილების რაოდენობა	ც	8

ცხრილი 5.5

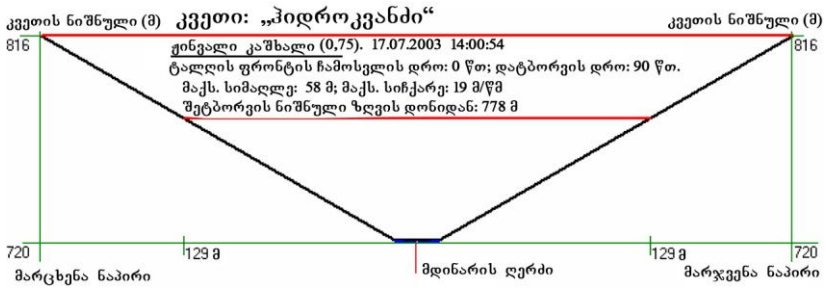
განივი კვეთების დახასიათება	ბან. ერთ.	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i-ური კვეთის დაცილება კაშხლიდან	კმ	30	35	44,5	48	54,2	74	77	80
ხვედრითი ნაკადი:									
წყლის შეტბორვის ნიშნული	მ	480	425	398	393	375	327	322,7	313
სიღრმე	მ	1	3	2	2	1	2	1	1
სიგანე	მ	70	60	80	82	80	150	100	93
ნაკადის სიხქარე	მ/წმ	1	1	1	1	1	1	1	1
მარცხენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	7	2	3	5	4	2,5	3	0,5
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	50	10	50	20	20	5	5	40
ნიშნული №1	მ	490	435	402,5	400	383	330	327,5	315
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	137	50	440	71	180	100	60	225
ნიშნული №2	მ	520	440	405	405	385	340	330	320
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	687	70	670	371	280	125	1310	1295

ცხრილი 5.5 (გაგრძელება)

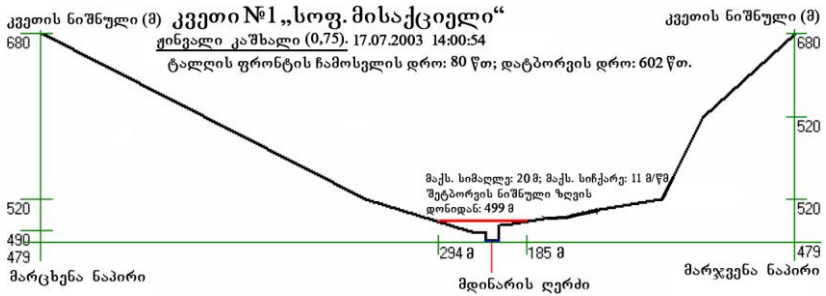
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ნიშნული №3	მ	680	490	410	415	388	350	332,5	322,5
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	2437	340	970	800	720	265	1610	1345
მარჯვენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	15	8	3	5	4	1	1	5
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	30	25	50	20	100	300	300	50
ნიშნული №1	მ	520	435	402,5	410	380	330	325	340
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	912	60	840	90	510	525	750	440
ნიშნული №2	მ	600	445	405	415	385	340	337,5	350
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	1137	70	1680	200	660	600	900	570
ნიშნული №3	მ	680	490	410	425	395	343	345	400
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	1637	540	2000	230	940	1300	1650	840

ცხრილი 5.6

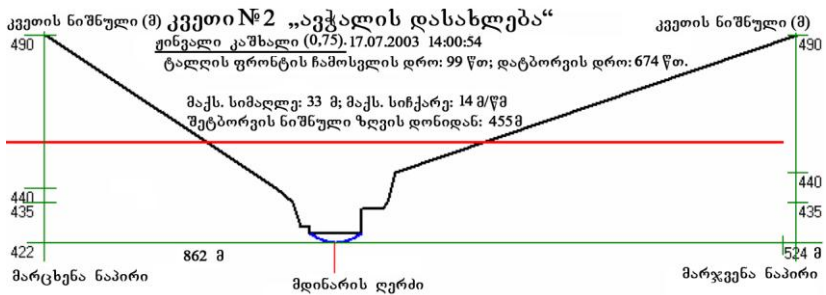
კაშხლის განგრევის პარამეტრები	გან. ერთ.	კვეთი №0	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
კვეთის დაშორება ჰიდროკვანძიდან	კმ	0	30	35	44,5	48	54,2	74	77	80
კვეთში წყლის მაქსიმალური ხარჯი	ათ.მ ³ /წმ	137	24,4	21,9	18,12	17,2	15,59	12,32	11,84	11,5
დრო:										
ტალღის ფრონტის დაწევის	წთ	0	47,1	57,8	76,9	90,9	108,5	175,5	186,7	201
ტალღის დაწევის	წთ	0	80,2	99,1	143,4	158	180,7	288,7	301,9	314,8
ტალღის კუდის დაწევის	წთ	149	649	732	890,4	949	1052	1382	1432	1482
დატბორვის	წთ	149	602	674	813,5	858	943,6	1207	1245	1281
დინების მაქსიმალური სიჩქარე	მ/წმ	18,7	11,2	14,1	5,03	9,53	6,77	6,86	4,91	5,26
ტალღის სიმაღლე	მ	56,6	18,6	29,7	6,15	14,8	8,29	7,88	4,88	5,41
დატბორვის მაქსიმალური სიღრმე	მ	57,6	19,6	32,7	8,15	16,8	9,29	9,88	5,88	6,41
დატბორვის მაქსიმალური ნიშნული	მ	778	499	455	404,2	408	383,3	334,9	327,6	318,4
დატბორვის მაქსიმალური სიმაღლე:										
მდინარის მარცხენა ნაპირზე	მ	152	294	862	591,6	614	211,7	112,2	97,83	955,8
მდინარის მარჯვენა ნაპირზე	მ	152	185	524	1394	84,8	608,8	561,6	780,9	103



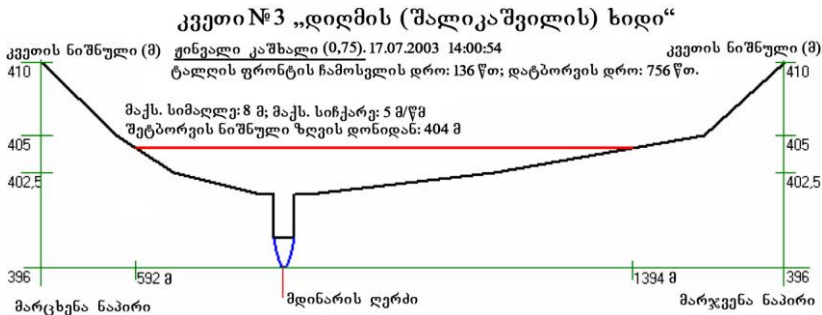
ნახ. 5.11



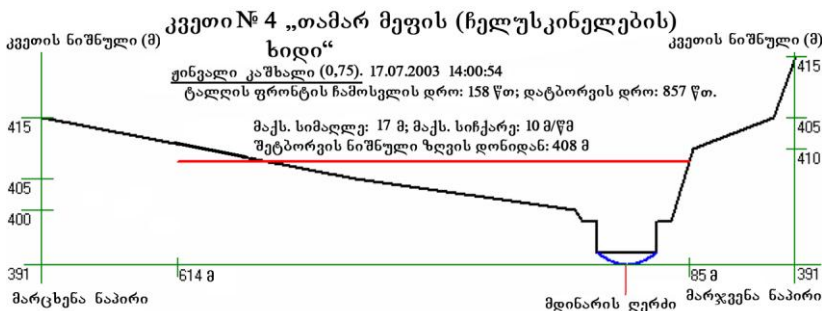
ნახ. 5.12



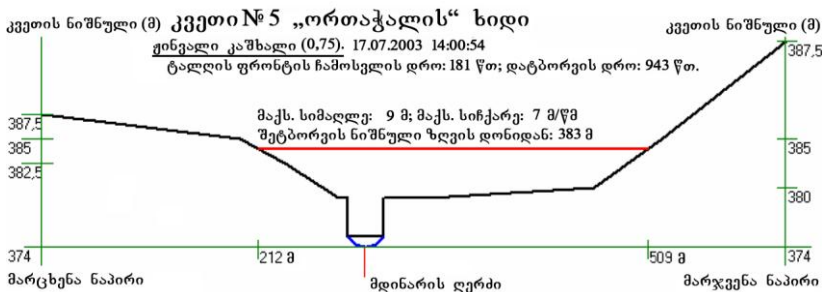
ნახ. 5.13



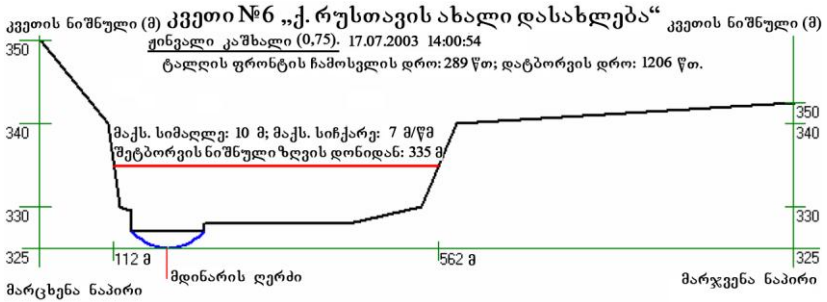
ნახ. 5.14



ნახ. 5.15



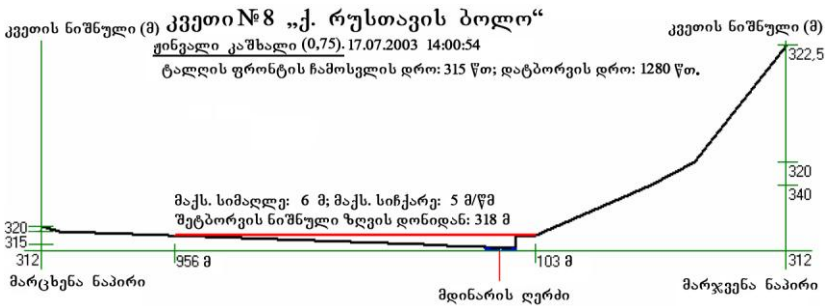
ნახ. 5.16



ნახ. 5.17



ნახ. 5.18



ნახ. 5.19

სამუშაოს ანგარიში

დრო: 17:07:2003, 18:28:04

დასახელება: ჟინგალის კაშხალი (0,5)

128

პიღროკვანძის საწყისი მონაცემები:	განზ. ერთ.	რაოდ.
1. წყალსაცავის მოცულობა ნორმალური შეტბორვის დონეზე (ნშდ)	მლნ მ ³	520
2. წყალსაცავის სიღრმე კაშხალთან ნშდ-ზე	მ	96
3. სარკის ზედაპირის ფართობი ნშდ-ზე	მლნ მ ³	7,33
4. კაშხლის სიგანე ნშდ-ზე	მ	415
5. მდინარის სიღრმე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	1
6. მდინარის სიგანე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	25
7. მდინარის სიქარე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ/წმ	1
8. წყალსაცავის სიღრმე კაშხლის ავარიის მომენტში	მ	96
9. კაშხლის ნგრევის ხარისხი	მ	0,5
10. მდინარის კალაპოტის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	48
11. წყალსაცავში წყლის ნორმალური შეტბორვის ნიშნული	მ	816
12. მდინარის კალაპოტში განივი პროფილების რაოდენობა	ც	8

ცხრილი 5.8

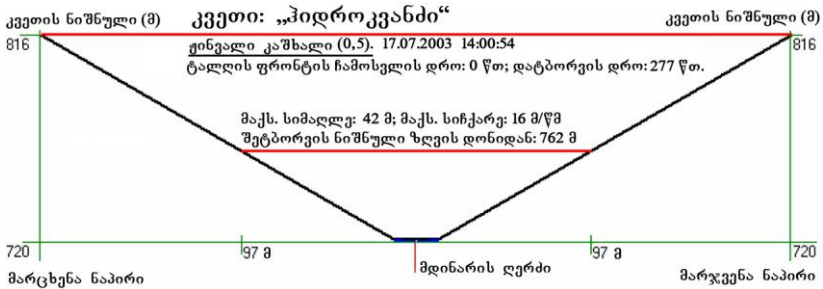
განივი კვეთების დახასიათება	ბან. ერთ.	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i-ური კვეთის დაცილება კაშხლიდან	კმ	30	35	44,5	48	54,2	74	77	80
ხვედრითი ნაკადი:									
წყლის შეტბორვის ნიშნული	მ	480	425	398	393	375	327	322,7	313
სიღრმე	მ	1	3	2	2	1	2	1	1
სიგანე	მ	70	60	80	82	80	150	100	93
ნაკადის სიხქარე	მ/წმ	1	1	1	1	1	1	1	1
მარცხენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	7	2	3	5	4	2,5	3	0,5
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	50	10	50	20	20	5	5	40
ნიშნული №1	მ	490	435	402,5	400	383	330	327,5	315
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	137	50	440	71	180	100	60	225
ნიშნული №2	მ	520	440	405	405	385	340	330	320
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	687	70	670	371	280	125	1310	1295

ცხრილი 5.8 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ნიშნული №3	მ	680	490	410	415	388	350	332,5	322,5
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	2437	340	970	800	720	265	1610	1345
მარჯვენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	15	8	3	5	4	1	1	5
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	30	25	50	20	100	300	300	50
ნიშნული №1	მ	520	435	402,5	410	380	330	325	340
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	912	60	840	90	510	525	750	440
ნიშნული №2	მ	600	445	405	415	385	340	337,5	350
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	1137	70	1680	200	660	600	900	570
ნიშნული №3	მ	680	490	410	425	395	343	345	400
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	1637	540	2000	230	940	1300	1650	840

ცხრილი 5.9

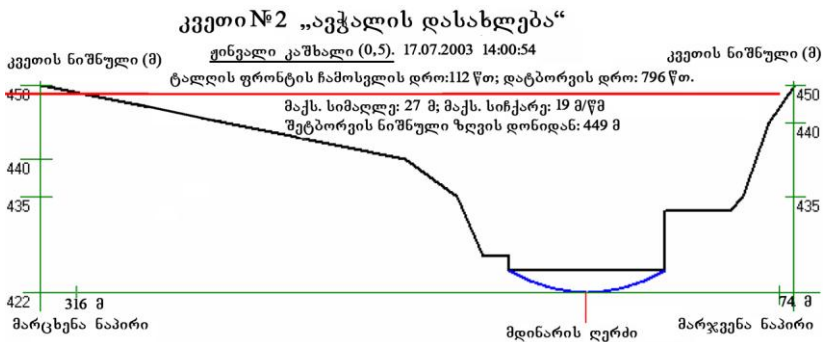
კაშხლის განგრევის პარამეტრები	გან. ერთ.	კვეთი №0	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
კვეთის დაშორება პიდროკვანძიდან	კმ	0	30	35	44,5	48	54,2	74	77	80
კვეთში წყლის მაქსიმალური ხარჯი	ათ.მ ³ /წმ	67,2	14,6	13,3	11,38	10,87	9,97	8,13	7,81	7,61
დრო:										
ტალღის ფრონტის დაწვეის	წთ	0	53,7	64,8	85,4	99,92	118,2	188,9	201,4	216,3
ტალღის დაწვეის	წთ	0	90,6	112	160,5	176,8	202,1	322	366,5	350,6
ტალღის კუდის დაწვეის	წთ	277	777	861	1019	1077	1181	1511	1561	1611
დატბორვის	წთ	277	724	796	933,7	977,5	1063	1322	1359	1394
დინების მაქსიმალური სიჩქარე	მ/წმ	16	10,8	12,9	4,69	9,08	6,33	6,01	4,58	4,95
ტალღის სიმაღლე	მ	41,1	16,2	23,8	5,15	12,74	7,01	6,01	4,13	4,64
დატბორვის მაქსიმალური სიღრმე	მ	42,1	17,2	26,8	7,15	14,74	8,01	8,01	5,12	5,64
დატბორვის მაქსიმალური ნიშნული	მ	762	496	449	403,2	405,7	382	333	326,8	317,6
დატბორვის მაქსიმალური სიმაღლე:										
მდინარის მარცხენა ნაპირზე	მ	125	251	316	500	434,1	163,2	107,5	58,12	788,9
მდინარის მარჯვენა ნაპირზე	მ	125	105	73,8	1059	79,69	570,3	547,9	771,9	46,5



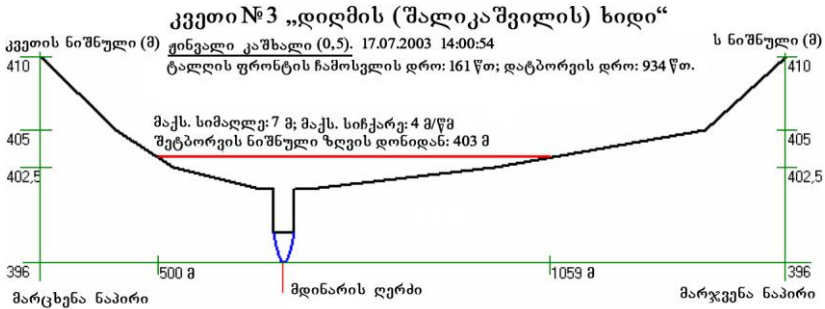
ნახ. 520



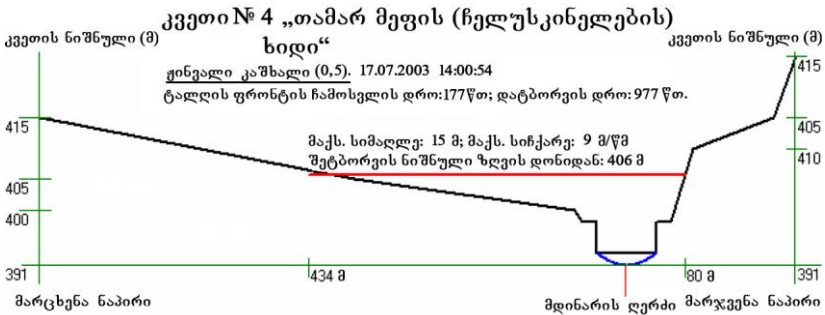
ნახ. 521



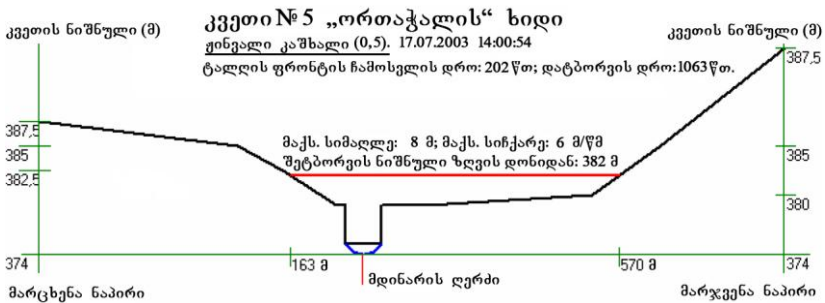
ნახ. 522



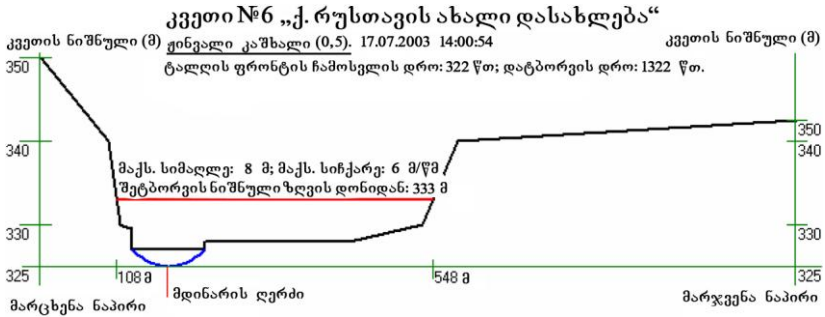
ნახ. 5.23



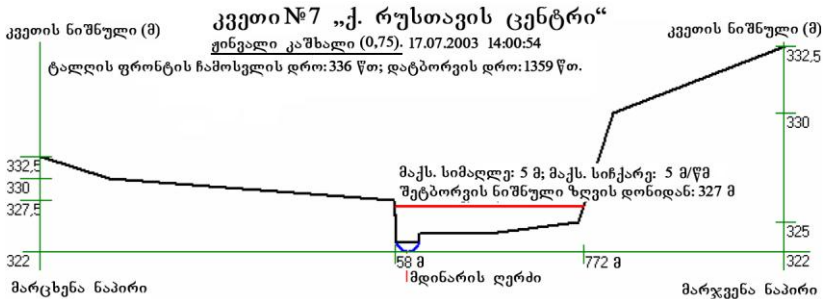
ნახ. 5.24



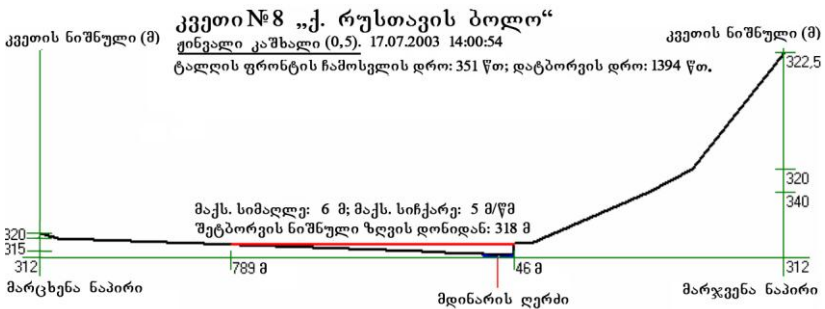
ნახ. 5.25



ნახ. 526



ნახ. 527



ნახ. 528

სამუშაოს ანგარიში

დრო: 17:07:2003, 18:28:04

დასახელება: ჟინგალის კაშხალი (0,25)

135

პიღროკვანძის საწყისი მონაცემები:	განზ. ერთ.	რაოდ.
1. წყალსაცავის მოცულობა ნორმალური შეტბორვის დონეზე (ნშდ)	მლნ მ ³	520
2. წყალსაცავის სიღრმე კაშხალთან ნშდ-ზე	მ	96
3. სარკის ზედაპირის ფართობი ნშდ-ზე	მლნ მ ³	7,33
4. კაშხლის სიგანე ნშდ-ზე	მ	415
5. მდინარის სიღრმე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	1
6. მდინარის სიგანე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	25
7. მდინარის სიქარე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ/წმ	1
8. წყალსაცავის სიღრმე კაშხლის ავარიის მომენტში	მ	96
9. კაშხლის ნგრევის ხარისხი	მ	0,25
10. მდინარის კალაპოტის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	72
11. წყალსაცავში წყლის ნორმალური შეტბორვის ნიშნული	მ	816
12. მდინარის კალაპოტში განივი პროფილების რაოდენობა	ც	8

ცხრილი 5.11

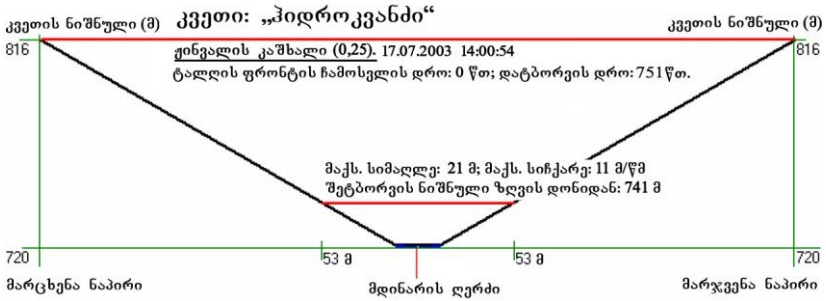
განივი კვეთების დახასიათება	ბან. ერთ.	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i-ური კვეთის დაცილება კაშხლიდან	კმ	30	35	44,5	48	54,2	74	77	80
ხვედრითი ნაკადი:									
წყლის შეტბორვის ნიშნული	მ	480	425	398	393	375	327	322,7	313
სიღრმე	მ	1	3	2	2	1	2	1	1
სიგანე	მ	70	60	80	82	80	150	100	93
ნაკადის სიხქარე	მ/წმ	1	1	1	1	1	1	1	1
მარცხენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	7	2	3	5	4	2,5	3	0,5
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	50	10	50	20	20	5	5	40
ნიშნული №1	მ	490	435	402,5	400	383	330	327,5	315
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	137	50	440	71	180	100	60	225
ნიშნული №2	მ	520	440	405	405	385	340	330	320
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	687	70	670	371	280	125	1310	1295

ცხრილი 5.11 (გაგრძელება)

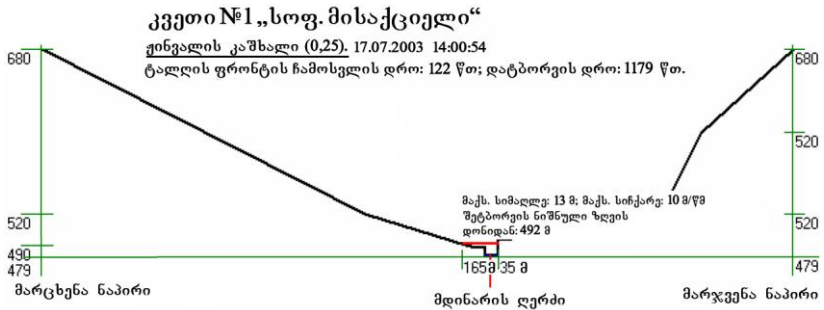
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ნიშნული №3	მ	680	490	410	415	388	350	332,5	322,5
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	2437	340	970	800	720	265	1610	1345
მარჯვენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	15	8	3	5	4	1	1	5
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	30	25	50	20	100	300	300	50
ნიშნული №1	მ	520	435	402,5	410	380	330	325	340
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	912	60	840	90	510	525	750	440
ნიშნული №2	მ	600	445	405	415	385	340	337,5	350
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	1137	70	1680	200	660	600	900	570
ნიშნული №3	მ	680	490	410	425	395	343	345	400
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	1637	540	2000	230	940	1300	1650	840

ცხრილი 5.12

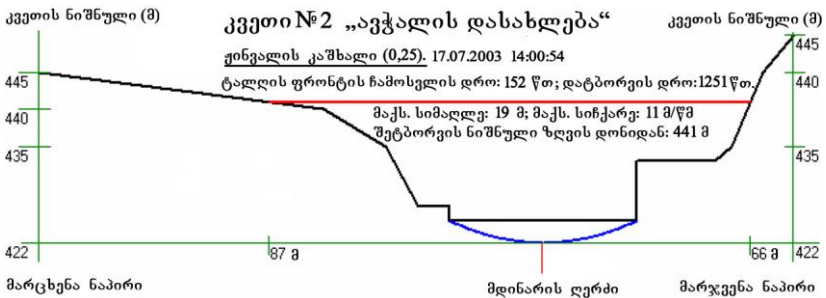
კაშხლის განვრევის პარამეტრები	გან. ერთ.	კვეთი №0	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
კვეთის დაშორება ჰიდროკვანძიდან	კმ	0	30	35	44,5	48	54,2	74	77	80
კვეთში წყლის მაქსიმალური ხარჯი	ათ.მ ³ /წმ	13,2	4,78	4,56	4,11	3,99	3,73	3,32	3,15	3,10
დრო:										
ტალღის ფრონტის დაწევის	წთ	0	71,51	83,09	105,8	120,7	139,8	217,5	232,9	250,2
ტალღის დაწევის	წთ	0	122,4	151,8	209,4	230,6	262,6	407,7	425,4	442,2
ტალღის კუდის დაწევის	წთ	751	1251	1334	1492	1551	1654	1984	2034	2084
დატბორვის	წთ	751	1179	1251	1386	1430	1514	1766	1801	1834
დინების მაქსიმალური სიჩქარე	მ/წმ	11,2	9,78	11,38	4,28	8,52	5,68	4,54	3,66	4,39
ტალღის სიმაღლე	მ	19,6	11,51	15,96	3,7	9,38	5,03	3,24	2,52	3,29
დატბორვის მაქსიმალური სიღრმე	მ	20,6	12,51	18,96	5,7	11,38	6,03	5,24	3,52	4,29
დატბორვის მაქსიმალური ნიშნული	მ	741	491,5	441	401,7	402,4	380	330,2	325,2	316,3
დატბორვის მაქსიმალური სიმაღლე:										
მდინარის მარცხენა ნაპირზე	მ	80,5	164,7	87,19	252,4	213,9	95,22	100,6	50	500,3
მდინარის მარჯვენა ნაპირზე	მ	80,5	35	65,96	438	71,59	510,8	526,8	752,7	46,5



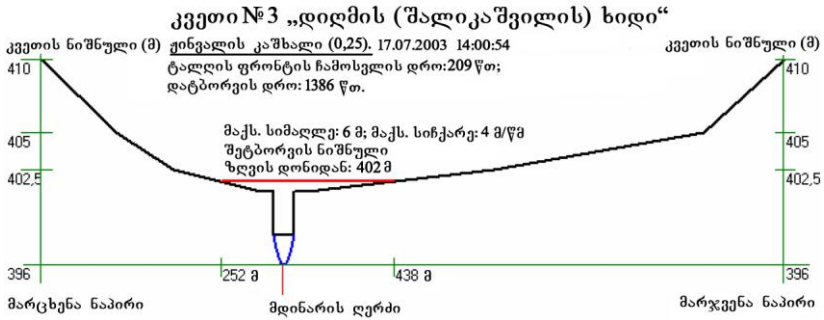
ნახ. 5.29



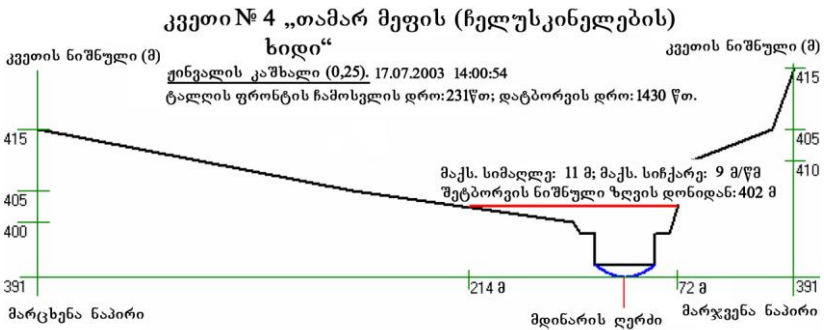
ნახ. 5.30



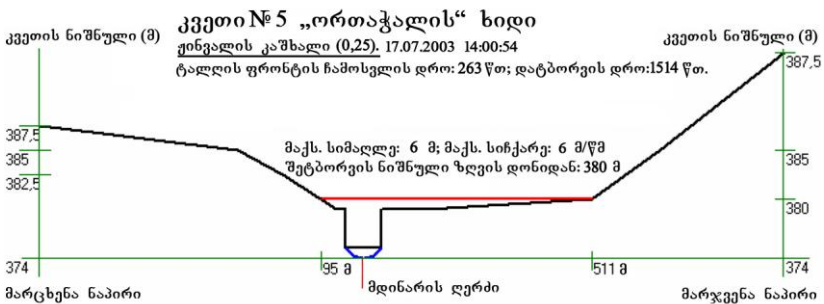
ნახ. 5.31



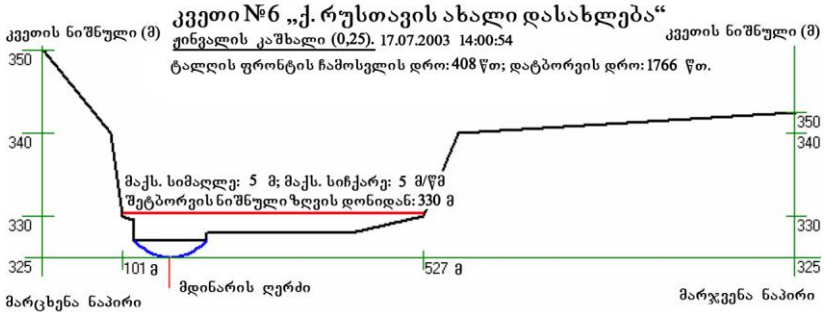
ნახ. 5.32



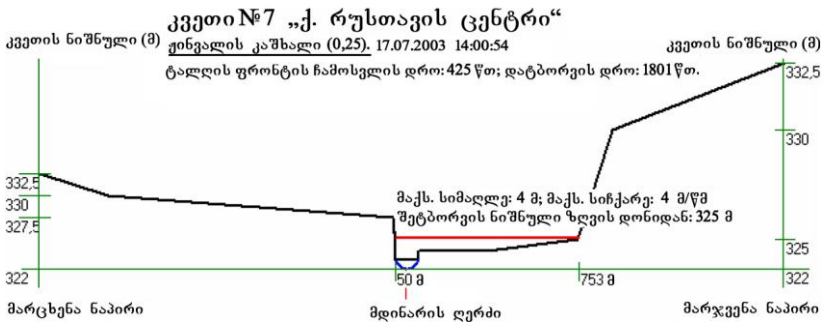
ნახ. 5.33



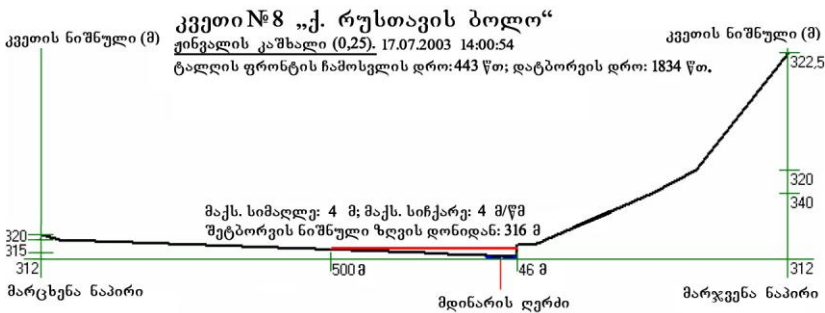
ნახ. 5.34



ნახ. 5.35



ნახ. 5.36



ნახ. 5.37

5.4. სიონის კაშხლის შესაძლო ავარიის პრობნოზირება

სიონის წყალსაცავი მდებარეობს თიანეთის რაიონის სოფელ სიონში, ივრის ხეობაში. მდინარე იორზე ზღვის დონიდან 415 მ სიმაღლეზე აშენებულია მიწის ნაყარი კაშხალი, რომლის ზედა ბიეფი მოპირკეთებულია ბეტონის ფილებით. კაშხლის სიმაღლე 62 მ-ის, ხოლო სიგანე 850 მ-ის ფარგლებში მერყეობს [43].

სიონის წყალსაცავის მოცულობა 433 მლნ მ³-ის ფარგლებში მერყეობს, ხოლო სარკის ზედაპირის ფართობი – 12,8 მლნ მ²-ის ფარგლებში.

სიონის კაშხლის ავარიის დატბორილი ტერიტორიის ფართობის დადგენის მიზნით შერჩეული იყო განივი კვეთები დასახლებულ პუნქტებთან (სურ. 5.38).

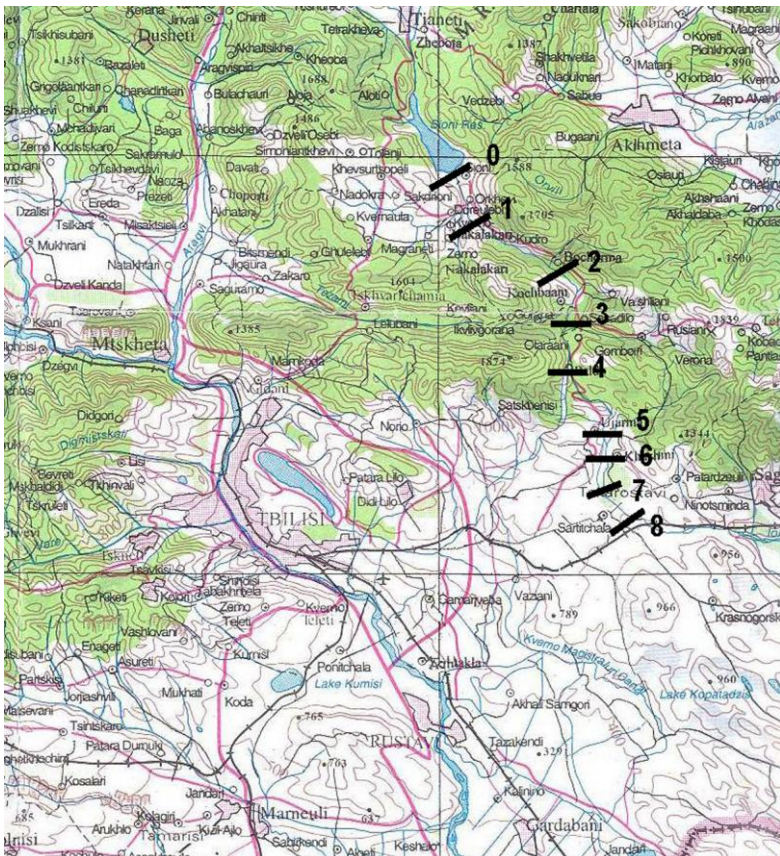
მათი დაცილება კაშხლის ტანიდან მოცემულია ქვემოთ:

1. სოფ. ქვედა და ზედა ნაქალაქარი – 5,0 (კმ);
2. სოფ. ბოჭორმა – 13,0 (კმ);
3. სოფ. სასადილო – 19,5 (კმ);
4. სოფ. პაღლო – 25,5 (კმ);
5. სოფ. უჯარმა – 34,0 (კმ);
6. სოფ. ხაში – 36,0 (კმ);
7. სოფ. მუდანლო – 39,0 (კმ);
8. სოფ. სართიჭალა – 41,5 (კმ).

სიონის კაშხლის ავარიის შემთხვევაში დასახლებულ პუნქტებში ანუ შერჩეულ კვეთებში წყალდიდობის პირველი დარტყმის ტალღა ჩამოვა შემდეგ დროში:

1. სოფ. ქვედა და ზედა ნაქალაქარი – 9,58 (წთ);

2. სოფ. ბოჭორმა – 32,4 (წთ);
3. სოფ. სასადილო – 49,4 (წთ);
4. სოფ. პაღლო – 71,8 (წთ);
5. სოფ. უჯარმა – 106,0 (წთ);
6. სოფ. ხაში – 114,0 (წთ);
7. სოფ. მუღალნო – 128,0 (წთ);
8. სოფ. სართიჭალა – 141 (წთ).



სურ. 5.38. საანგარიშო კვებების სქემა

მდინარე იორზე სიონის კაშხლის ავარიის შემთხვევაში, მდინარის ღერძიდან მარცხენა და მარჯვენა მხარეს დატბორილი ტერიტორიის გეომეტრიული ზომები, ტალღის სიჩქარე და წყლის სიღრმე ტოლია:

1. სოფ. ქვედა და ზედა ნაქალაქარი
მარცხნივ – 462 (მ), მარჯვნივ – 473 (მ),
ტალღის სიღრმე – 22 (მ),
ტალღის სიჩქარე – 10 (მ/წმ);

2. სოფ. ბოჭორმა
მარცხნივ – 183 (მ), მარჯვნივ – 227 (მ),
ტალღის სიღრმე – 21 (მ),
ტალღის სიჩქარე – 11 (მ/წმ);

3. სოფ. სასადილო
მარცხნივ – 563 (მ), მარჯვნივ – 51 (მ),
ტალღის სიღრმე – 12 (მ),
ტალღის სიჩქარე – 7 (მ/წმ);

4. სოფ. პაღლო
მარცხნივ – 775 (მ), მარჯვნივ – 184 (მ),
ტალღის სიღრმე – 10 (მ),
ტალღის სიჩქარე – 7 (მ/წმ);

5. სოფ. უჯარმა
მარცხნივ – 205 (მ), მარჯვნივ – 642 (მ),
ტალღის სიღრმე – 8 (მ),
ტალღის სიჩქარე – 7 (მ/წმ);

6. სოფ. ხაშმი
მარცხნივ – 328 (მ), მარჯვნივ – 770 (მ),

ტაღლის სიდრმე – 7 (მ),
ტაღლის სიჩქარე – 6 (მ/წმ);

7. სოფ. მუღანლო
მარცხნივ – 963 (მ), მარჯვნივ – 250 (მ),
ტაღლის სიდრმე – 6 (მ),
ტაღლის სიჩქარე – 5 (მ/წმ);

8. სოფ. სართიჭალა
მარცხნივ – 590 (მ), მარჯვნივ – 940 (მ),
ტაღლის სიდრმე – 5 (მ),
ტაღლის სიჩქარე – 4 (მ/წმ).

სიონის კაშხლის ავარიის შემთხვევაში ტაღლის ძირითადი ჰიდროლოგიური და ჰიდრაულიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხრილებში 5.13-5.15, სადაც მოყვანილია სიონის კაშხლის ავარიის მონაცემები, როდესაც ნაგებობის ნგრევის ხარისხი 1,0% უზრუნველყოფის ტოლია. 5.16-5.18 ცხრილებში – სიდიდეები, როდესაც კაშხლის ნგრევის ხარისხი 0,75% უზრუნველყოფის ტოლია, 5.19-5.21 ცხრილებში – მონაცემები, რომელიც შეესაბამება 0,50%-იან უზრუნველყოფას, ხოლო 5.22-5.24 ცხრილებში - მონაცემები, რომელიც შეესაბამება ნგრევის 0,25%-იან უზრუნველყოფას. შესაბამისი გრაფიკული მასალა მოცემულია ნახაზებზე 5.39-5.74.

სამუშაოს ანგარიში

დრო: 17:07:2003, 14:49:27

დასახელება: სიონის კაშხალი (1,0)

146

პილროკვანძის საწყისი მონაცემები:	განზ. ერთ.	რაოდ.
1. წყალსაცავის მოცულობა ნორმალური შეტბორვის დონეზე (ნშდ)	მლნ მ ³	433
2. წყალსაცავის სიღრმე კაშხალთან ნშდ-ზე	მ	62
3. სარკის ზედაპირის ფართობი ნშდ-ზე	მლნ მ ³	12,8
4. კაშხლის სიგანე ნშდ-ზე	მ	850
5. მდინარის სიღრმე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	0,88
6. მდინარის სიგანე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	75
7. მდინარის სიქარე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ/წმ	1
8. წყალსაცავის სიღრმე კაშხლის ავარიის მომენტში	მ	62
9. კაშხლის ნგრევის ხარისხი	მ	1
10. მდინარის კალაპოტის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	1
11. წყალსაცავში წყლის ნორმალური შეტბორვის ნიშნული	მ	1068
12. მდინარის კალაპოტში განივი პროფილების რაოდენობა	ც	8

ცხრილი 5.14

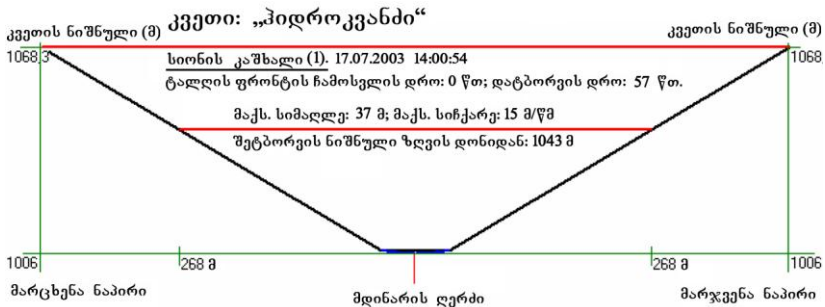
განივი კვეთების დახასიათება	გან. ერთ.	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i-ური კვეთის დაცილება კაშხლიდან	კმ	5	13	19,5	25,5	34	36	39	41,5
ხვედრითი ნაკადი:									
წყლის შეტბორვის ნიშნული	მ	990	940	880	835	758	730	710	690
სიღრმე	მ	1	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
სიგანე	მ	35	30	30	20	120	60	80	80
ნაკადის სიხქარე	მ/წმ	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
მარცხენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	0,8	0,7	0,1	0,4	0,5	0,5	0,1	0,1
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	30	35	500	20	5	40	500	450
ნიშნული №1	მ	1000	960	900	840	780	740	720	705
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	420	175	600	175	480	450	1350	850
ნიშნული №2	მ	1020	980	920	850	790	760	740	710
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	500	350	650	1550	980	800	1450	1350

ცხრილი 5.14 (გაგრძელება)

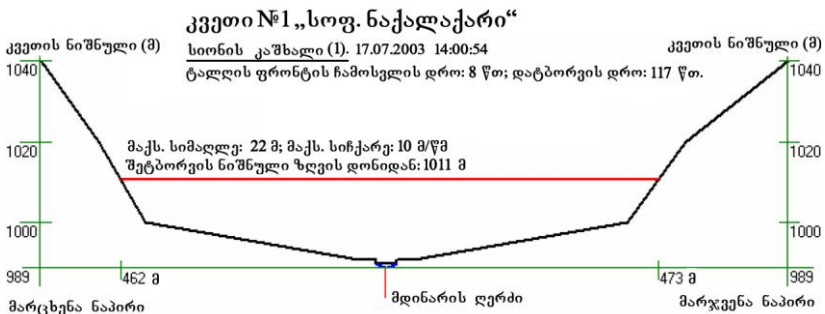
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ნიშნული №3	მ	1040	1000	960	860	800	780	745	734
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	600	825	750	2100	1480	1350	1500	2250
მარჯვენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	0.8	0.7	0.1	0.4	0.5	0.5	0.1	0.1
მდინარის ნოღა კალაპოტის სიგანე	მ	30	35	5	20	5	40	100	500
ნიშნული №1	მ	1000	960	900	840	760	740	720	700
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	420	225	75	140	570	110	350	1500
ნიშნული №2	მ	1020	980	920	860	780	760	730	709
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	520	275	500	340	820	1200	1250	2650
ნიშნული №3	მ	1040	1000	940	880	800	780	750	726
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	700	325	725	490	1270	1350	2200	4650

ცხრილი 5.15

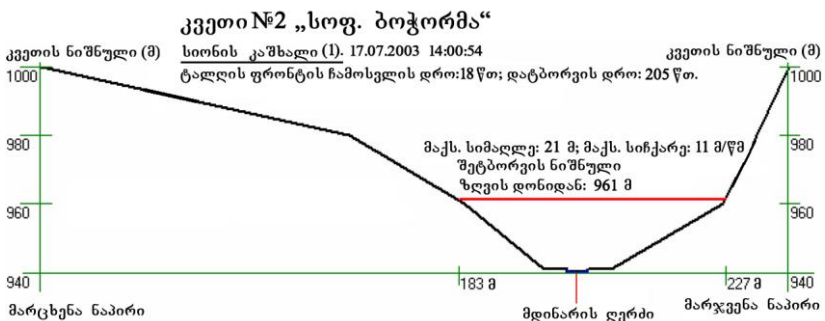
კაშხლის განგრევის პარამეტრები	გან. ერთ.	კვეთი №0	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
კვეთის დაშორება ჰიდროკვანძიდან	კმ	0	5	13	19,5	25,5	34	36	39	41,5
კვეთში წყლის მაქსიმალური ხარჯი	ათ.მ ³ /წმ	155	123,3	70,3	51,8	42,5	34,2	32,6	30,4	28,9
დრო:										
ტალღის ფრონტის დაწვევის	წთ	0	9,58	32,4	49,4	71,8	106	114	128	141
ტალღის დაწვევის	წთ	0	8,31	18,1	29,5	39,6	58,9	63,2	70,4	76,9
ტალღის კუდის დაწვევის	წთ	57,2	126,6	238	328	411	529	557	603	641
დატბორვის	წთ	57,2	117	205	279	340	423	443	474	499
დინების მაქსიმალური სიჩქარე	მ/წმ	15,2	9,97	11,1	7,44	6,52	6,79	5,93	5,13	4,42
ტალღის სიმაღლე	მ	36,3	20,58	20,9	11,4	9,36	7,73	6,95	5,27	4,23
დატბორვის მაქსიმალური სიღრმე	მ	37,2	21,58	21,4	12	9,86	8,23	7,45	5,67	4,63
დატბორვის მაქსიმალური ნიშნული	მ	1044	1011	961	891	844	766	737	715	694
დატბორვის მაქსიმალური სიმაღლე:										
მდინარის მარცხენა ნაპირზე	მ	318	462,3	183	563	772	205	328	963	590
მდინარის მარჯვენა ნაპირზე	მ	318	472,9	227	51,3	184	642	770	250	940



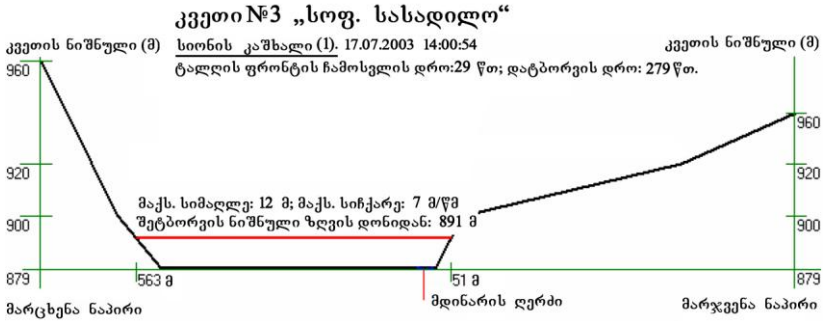
ნახ. 5.39



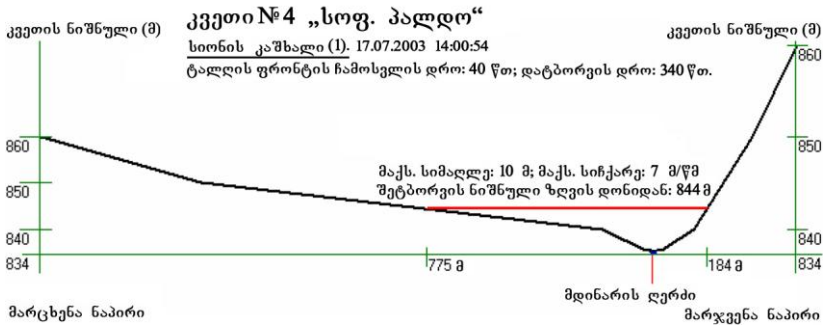
ნახ. 5.40



ნახ. 5.41



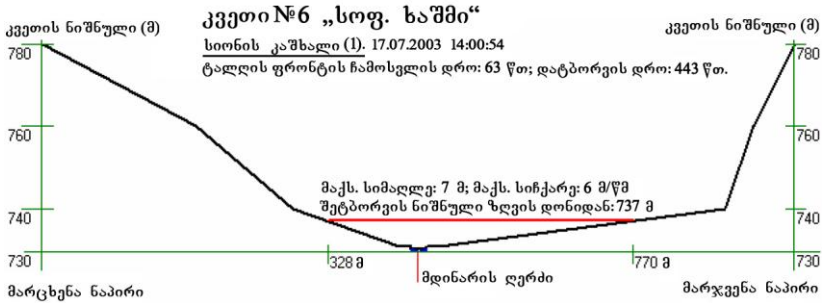
ნახ. 5.42



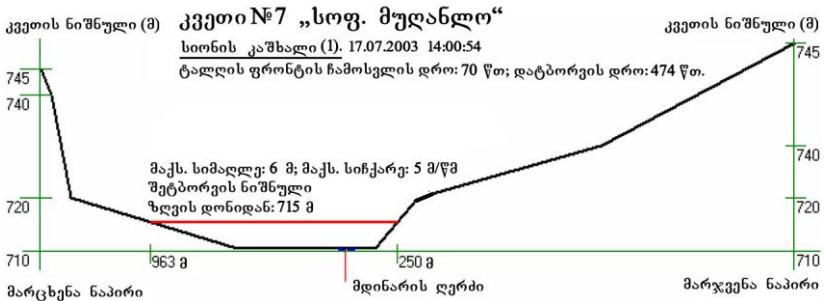
ნახ. 5.43



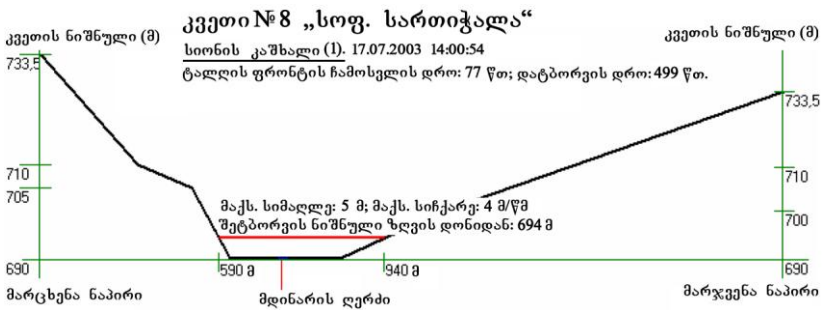
ნახ. 5.44



ნახ. 5.45



ნახ. 5.46



ნახ. 5.47

სამუშაოს ანგარიში

დრო: 19:07:2003, 14:37:51

დასახელება: სიონის კაშხალი (0,75)

153

პილროკვანძის საწყისი მონაცემები:	განზ. ერთ.	რაოდ.
1. წყალსაცავის მოცულობა ნორმალური შეტბორვის დონეზე (ნშდ)	მლნ მ ³	433
2. წყალსაცავის სიღრმე კაშხალთან ნშდ-ზე	მ	62
3. სარკის ზედაპირის ფართობი ნშდ-ზე	მლნ მ ³	12,8
4. კაშხლის სიგანე ნშდ-ზე	მ	850
5. მდინარის სიღრმე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	0,88
6. მდინარის სიგანე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	75
7. მდინარის სიქარე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ/წმ	1
8. წყალსაცავის სიღრმე კაშხლის ავარიის მომენტში	მ	62
9. კაშხლის ნგრევის ხარისხი	მ	0,75
10. მდინარის კალაპოტის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	15,5
11. წყალსაცავში წყლის ნორმალური შეტბორვის ნიშნული	მ	1068
12. მდინარის კალაპოტში განივი პროფილების რაოდენობა	ც	8

ცხრილი 5.17

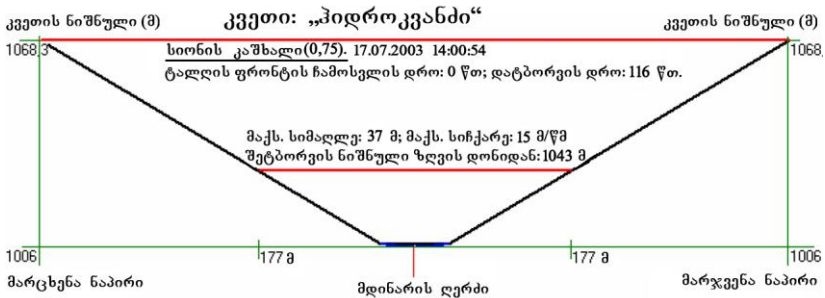
განივი კვეთების დახასიათება	ბან. ერთ.	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i-ური კვეთის დაცილება კაშხლიდან	კმ	5	13	19,5	25,5	34	36	39	41,5
ხვედრითი ნაკადი:									
წყლის შეტბორვის ნიშნული	მ	990	940	880	835	758	730	710	690
სიღრმე	მ	1	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
სიგანე	მ	35	30	30	20	120	60	80	80
ნაკადის სიხქარე	მ/წმ	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
მარცხენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	0,8	0,7	0,1	0,4	0,5	0,5	0,1	0,1
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	30	35	500	20	5	40	500	450
ნიშნული №1	მ	1000	960	900	840	780	740	720	705
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	420	175	600	175	480	450	1350	850
ნიშნული №2	მ	1020	980	920	850	790	760	740	710
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	500	350	650	1550	980	800	1450	1350

ცხრილი 5.17 (გაგრძელება)

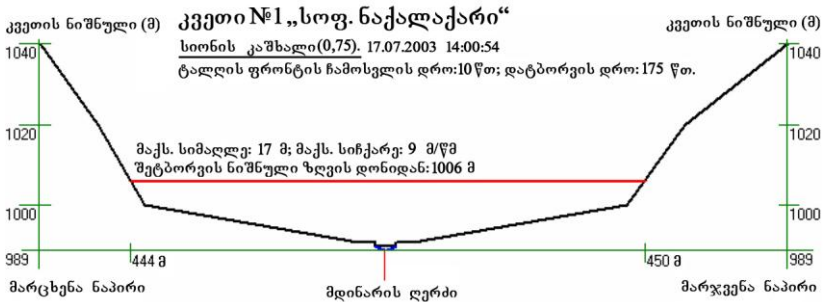
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ნიშნული №3	მ	1040	1000	960	860	800	780	745	734
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	600	825	750	2100	1480	1350	1500	2250
მარჯვენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	0.8	0.7	0.1	0.4	0.5	0.5	0.1	0.1
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	30	35	5	20	5	40	100	500
ნიშნული №1	მ	1000	960	900	840	760	740	720	700
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	420	225	75	140	570	110	350	1500
ნიშნული №2	მ	1020	980	920	860	780	760	730	709
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	520	275	500	340	820	1200	1250	2650
ნიშნული №3	მ	1040	1000	940	880	800	780	750	726
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	700	325	725	490	1270	1350	2200	4650

ცხრილი 5.18

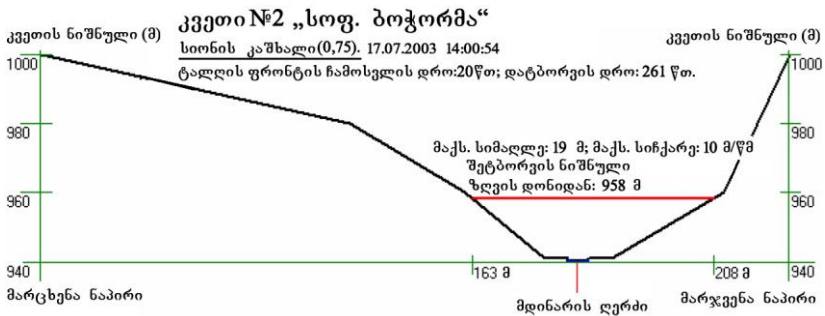
კაშხლის განგრევის პარამეტრები	გან. ერთ.	კვეთი №0	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
კვეთის დაშორება ჰიდროკვანძიდან	კმ	0	5	13	19,5	25,5	34	36	39	41,5
კვეთში წყლის მაქსიმალური ხარჯი	ათ.მ ³ /წმ	155	75,83	51	39,9	33,9	28	26,9	25,3	24,2
დრო:										
ტალღის ფრონტის დაწევის	წთ	0	9,6	35,2	53,2	77,3	113	121	135	149
ტალღის დაწევის	წთ	0	9,55	20,3	32,6	43,2	63,7	68,2	75,9	82,7
ტალღის კუდის დაწევის	წთ	116	185	296	386	470	588	616	661	699
დატბორვის	წთ	116	175,4	261	333	392	475	494	526	550
დინების მაქსიმალური სიჩქარე	მ/წმ	15,2	8,73	10,4	6,82	6,3	6,43	5,72	4,88	4,19
ტალღის სიმაღლე	მ	36,3	16,03	18,2	9,78	8,69	6,96	6,44	4,79	3,83
დატბორვის მაქსიმალური სიღრმე	მ	37,2	17,03	18,7	10,4	9,19	7,46	6,94	5,19	4,23
დატბორვის მაქსიმალური ნიშნული	მ	1044	1006	958	890	844	765	736	715	694
დატბორვის მაქსიმალური სიმაღლე:										
მდინარის მარცხენა ნაპირზე	მ	318	444,1	163	556	682	190	307	923	580
მდინარის მარჯვენა ნაპირზე	მ	318	450,2	208	49,8	177	632	714	239	902



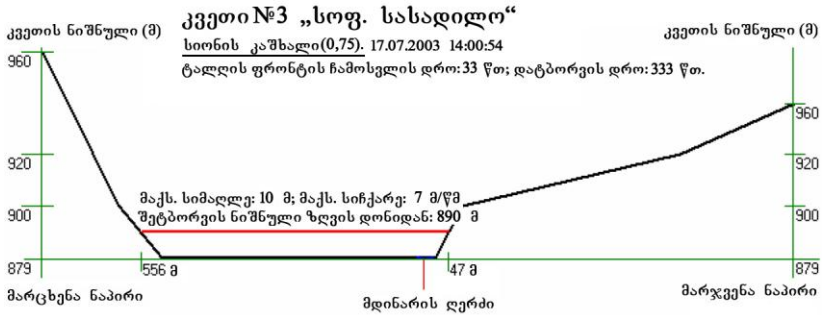
ნახ. 5.48



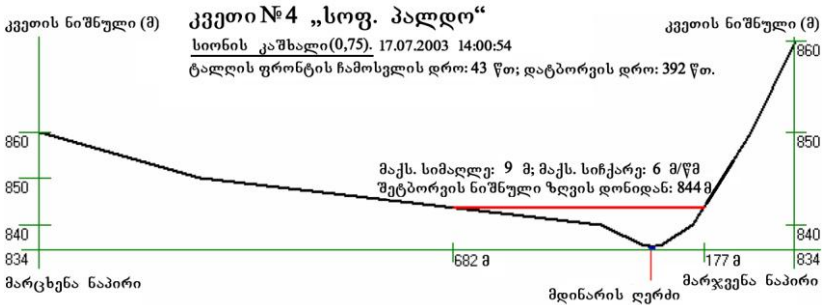
ნახ. 5.49



ნახ. 5.50



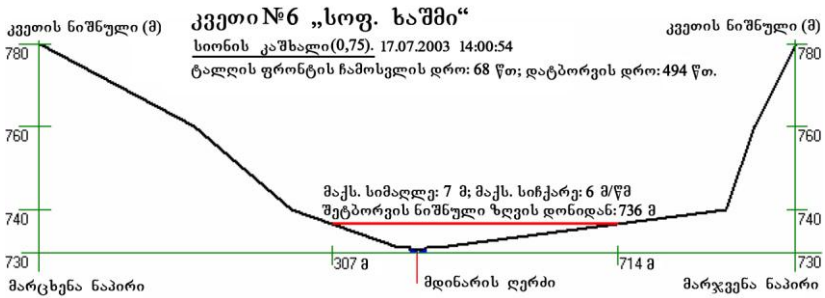
ნახ. 5.51



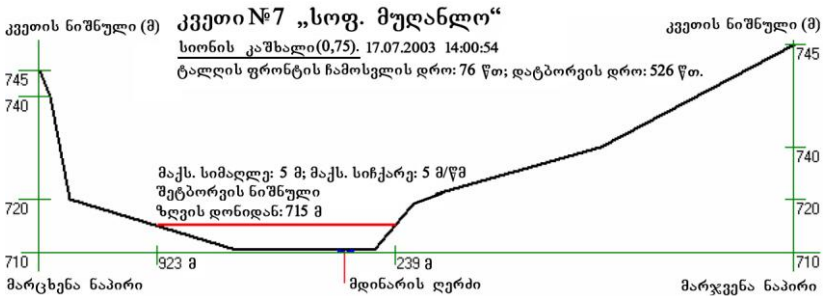
ნახ. 5.52



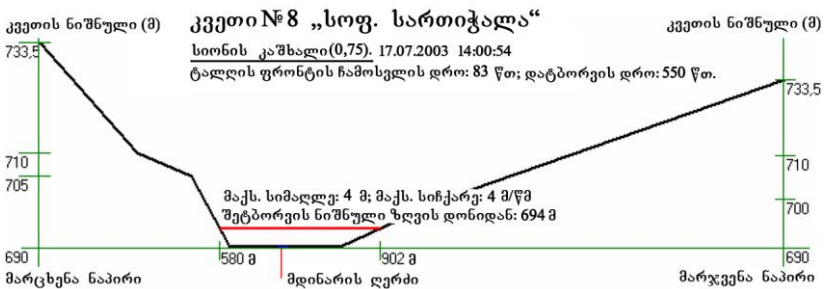
ნახ. 5.53



ნახ. 5.54



ნახ. 5.55



ნახ. 5.56

სამუშაოს ანგარიში

დრო: 19:07:2003, 14:37:51

დასახელება: სიონის კაშხალი (0,5)

160

პილროკვანძის საწყისი მონაცემები:	განზ. ერთ.	რაოდ.
1. წყალსაცავის მოცულობა ნორმალური შეტბორვის დონეზე (ნშდ)	მლნ მ ³	433
2. წყალსაცავის სიღრმე კაშხალთან ნშდ-ზე	მ	62
3. სარკის ზედაპირის ფართობი ნშდ-ზე	მლნ მ ³	12,8
4. კაშხლის სიგანე ნშდ-ზე	მ	850
5. მდინარის სიღრმე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	0,88
6. მდინარის სიგანე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	75
7. მდინარის სიქარე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ/წმ	1
8. წყალსაცავის სიღრმე კაშხლის ავარიის მომენტში	მ	62
9. კაშხლის ნგრევის ხარისხი	მ	0,5
10. მდინარის კალაპოტის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	31
11. წყალსაცავში წყლის ნორმალური შეტბორვის ნიშნული	მ	1068
12. მდინარის კალაპოტში განივი პროფილების რაოდენობა	ც	8

ცხრილი 5.20

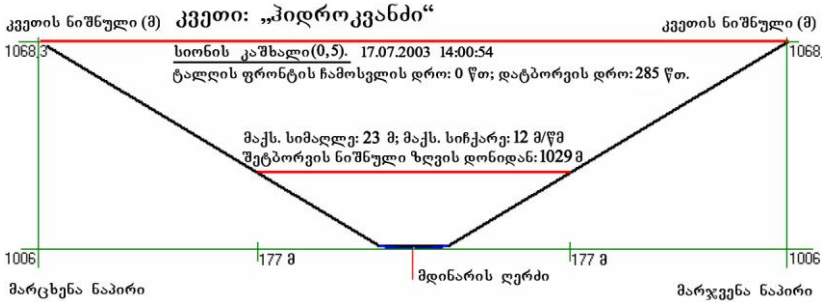
განივი კვეთების დახასიათება	გან. ერთ.	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i-ური კვეთის დაცილება კაშხლიდან	კმ	5	13	19,5	25,5	34	36	39	41,5
ხვედრითი ნაკადი:									
წყლის შეტბორვის ნიშნული	მ	990	940	880	835	758	730	710	690
სიღრმე	მ	1	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
სიგანე	მ	35	30	30	20	120	60	80	80
ნაკადის სიხქარე	მ/წმ	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
მარცხენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	0,8	0,7	0,1	0,4	0,5	0,5	0,1	0,1
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	30	35	500	20	5	40	500	450
ნიშნული №1	მ	1000	960	900	840	780	740	720	705
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	420	175	600	175	480	450	1350	850
ნიშნული №2	მ	1020	980	920	850	790	760	740	710
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	500	350	650	1550	980	800	1450	1350

ცხრილი 5.20 (გაგრძელება)

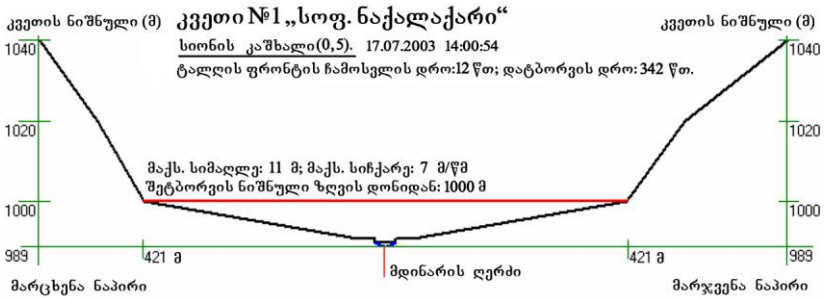
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ნიშნული №3	მ	1040	1000	960	860	800	780	745	734
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	600	825	750	2100	1480	1350	1500	2250
მარჯვენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	0.8	0.7	0.1	0.4	0.5	0.5	0.1	0.1
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	30	35	5	20	5	40	100	500
ნიშნული №1	მ	1000	960	900	840	760	740	720	700
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	420	225	75	140	570	110	350	1500
ნიშნული №2	მ	1020	980	920	860	780	760	730	709
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	520	275	500	340	820	1200	1250	2650
ნიშნული №3	მ	1040	1000	940	880	800	780	750	726
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	700	325	725	490	1270	1350	2200	4650

ცხრილი 5.21

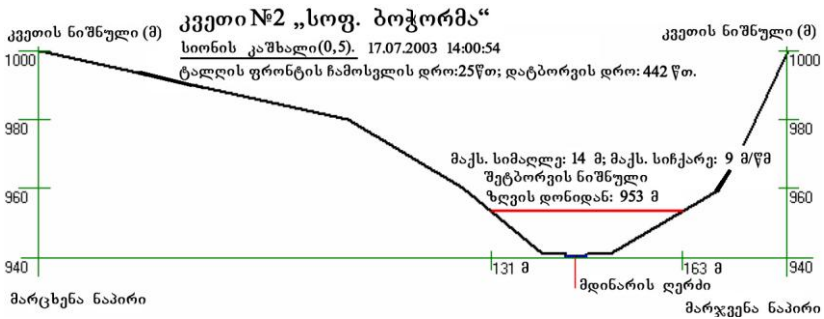
კაშხლის განგრევის პარამეტრები	გან. ერთ.	კვეთი №0	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
კვეთის დაშორება ჰიდროკვანძიდან	კმ	0	5	13	19,5	25,5	34	36	39	41,5
კვეთში წყლის მაქსიმალური ხარჯი	ათ.მ ³ / წმ	52,66	30,37	24,6	21,1	19	16,6	16,1	15,4	14,9
დრო:										
ტალღის ფრონტის დაწვევის	წთ	0	11,88	42,9	63,6	92,3	130	140	155	170
ტალღის დაწვევის	წთ	0	12,19	25,4	40,4	52,4	76,4	81,5	90,3	98
ტალღის კუდის დაწვევის	წთ	284,5	354	465	555	639	757	785	830	868
დატბორვის	წთ	284,5	342,1	422	492	546	626	645	675	698
დინების მაქსიმალური სიჩქარე	მ/წმ	11,97	6,9	8,88	5,49	5,79	5,57	5,19	4,23	3,61
ტალღის სიმაღლე	მ	22,06	10,22	13,2	6,62	7,19	5,24	5,23	3,66	2,9
დატბორვის მაქსიმალური სიღრმე	მ	22,94	11,22	13,7	7,22	7,69	5,74	5,73	4,09	3,3
დატბორვის მაქსიმალური ნიშნული	მ	1029	1000	953	887	842	763	735	714	693
დატბორვის მაქსიმალური სიმაღლე:										
მდინარის მარცხენა ნაპირზე	მ	241	420,9	131	543	476	157	259	831	558
მდინარის მარჯვენა ნაპირზე	მ	241	421,1	163	38	162	611	583	215	812



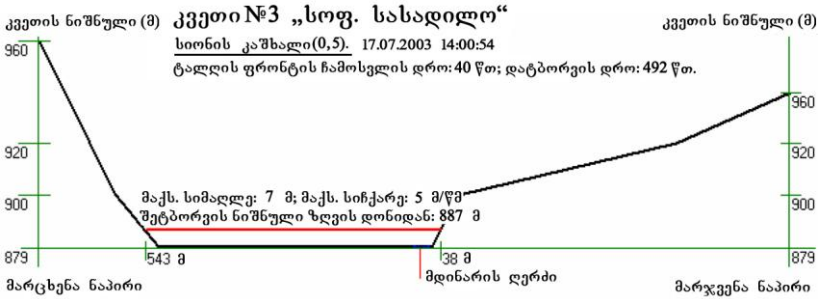
ნახ. 5.57



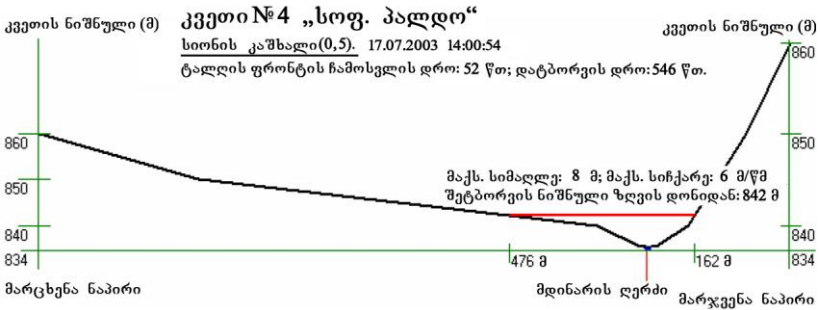
ნახ. 5.58



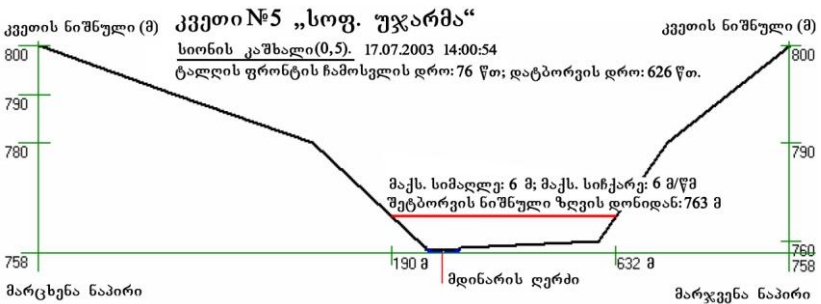
ნახ. 5.59



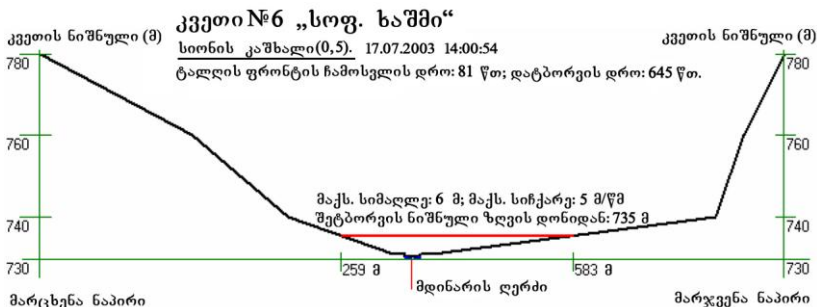
ნახ. 5.60



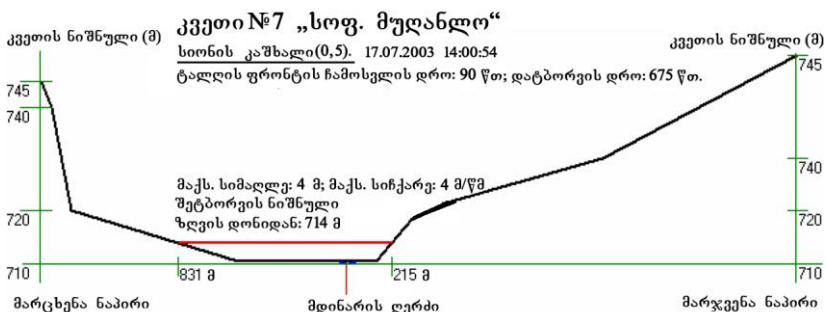
ნახ. 5.61



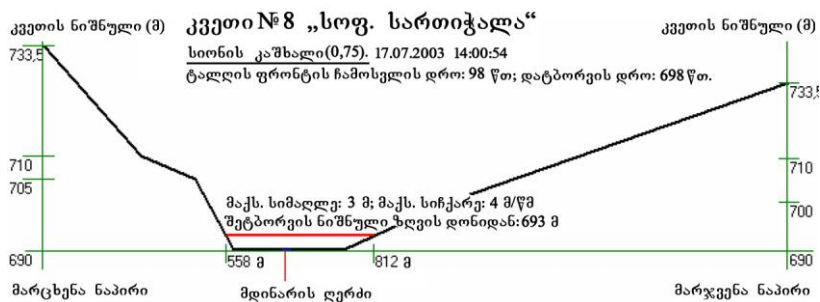
ნახ. 5.62



ნახ. 5.63



ნახ. 5.64



ნახ. 5.65

სამუშაოს ანგარიში

დრო: 19:07:2003, 14:37:51

დასახელება: სიონის კაშხალი (0,25)

167

პიღროკვანძის საწყისი მონაცემები:	განზ. ერთ.	რაოდ.
1. წყალსაცავის მოცულობა ნორმალური შეტბორვის დონეზე (ნშდ)	მლნ მ ³	433
2. წყალსაცავის სიღრმე კაშხალთან ნშდ-ზე	მ	62
3. სარკის ზედაპირის ფართობი ნშდ-ზე	მლნ მ ³	12,8
4. კაშხლის სიგანე ნშდ-ზე	მ	850
5. მდინარის სიღრმე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	0,88
6. მდინარის სიგანე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	75
7. მდინარის სიქარე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ/წმ	1
8. წყალსაცავის სიღრმე კაშხლის ავარიის მომენტში	მ	62
9. კაშხლის ნგრევის ხარისხი	მ	0,25
10. მდინარის კალაპოტის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	46,5
11. წყალსაცავში წყლის ნორმალური შეტბორვის ნიშნული	მ	1068
12. მდინარის კალაპოტში განივი პროფილების რაოდენობა	ც	8

ცხრილი 5.23

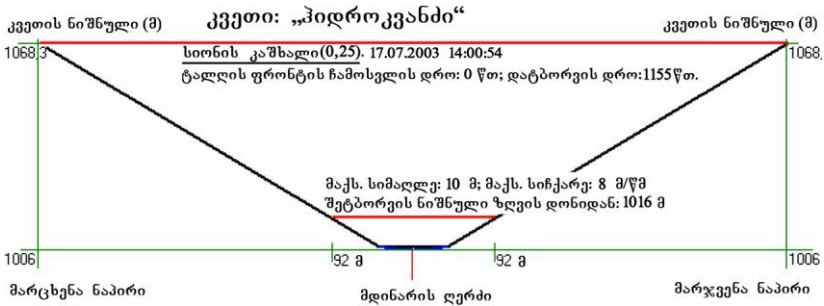
განივი კვეთების დახასიათება	ბან. ერთ.	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i-ური კვეთის დაცილება კაშხლიდან	კმ	5	13	19,5	25,5	34	36	39	41,5
ხვედრითი ნაკადი:									
წყლის შეტბორვის ნიშნული	მ	990	940	880	835	758	730	710	690
სიღრმე	მ	1	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
სიგანე	მ	35	30	30	20	120	60	80	80
ნაკადის სიხქარე	მ/წმ	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
მარცხენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	0,8	0,7	0,1	0,4	0,5	0,5	0,1	0,1
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	30	35	500	20	5	40	500	450
ნიშნული №1	მ	1000	960	900	840	780	740	720	705
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	420	175	600	175	480	450	1350	850
ნიშნული №2	მ	1020	980	920	850	790	760	740	710
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	500	350	650	1550	980	800	1450	1350

ცხრილი 5.23 (გაგრძელება)

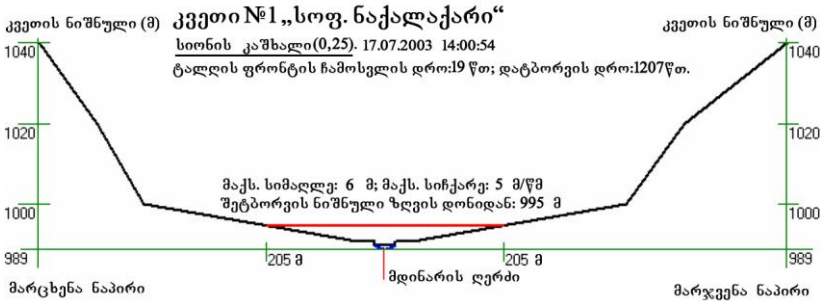
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ნიშნული №3	მ	1040	1000	960	860	800	780	745	734
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	600	825	750	2100	1480	1350	1500	2250
მარჯვენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	0.8	0.7	0.1	0.4	0.5	0.5	0.1	0.1
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	30	35	5	20	5	40	100	500
ნიშნული №1	მ	1000	960	900	840	760	740	720	700
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	420	225	75	140	570	110	350	1500
ნიშნული №2	მ	1020	980	920	860	780	760	730	709
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	520	275	500	340	820	1200	1250	2650
ნიშნული №3	მ	1040	1000	940	880	800	780	750	726
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	700	325	725	490	1270	1350	2200	4650

ცხრილი 5.24

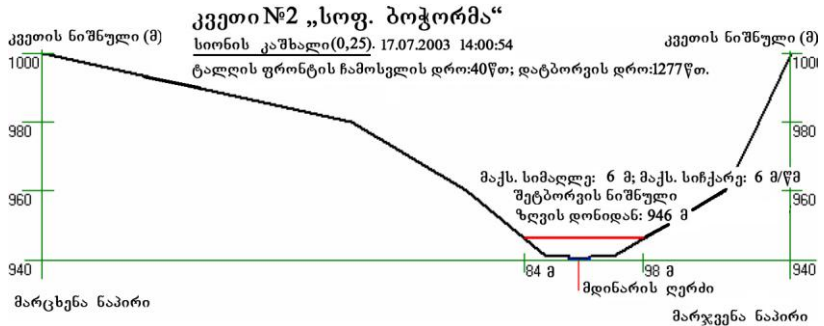
კაშხლის განვრევის პარამეტრები	გან. ერთ.	კვეთი №0	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
კვეთის დაშორება ჰიდროკვანძიდან	კმ	0	5	13	19,5	25,5	34	36	39	41,5
კვეთში წყლის მაქსიმალური ხარჯი	ათ.მ ³ / წმ	7,39	4,92	4,64	4,43	4,3	4,11	4,05	3,98	3,94
დრო:										
ტალღის ფრონტის დაწევის	წთ	0	17,13	58,28	87,35	130,5	175,8	188,2	207,3	228,5
ტალღის დაწევის	წთ	0	18,55	39,93	62,61	79,3	114,7	121,9	134,4	145
ტალღის კუდის დაწევის	წთ	1155	1224	1335	1426	1509	1627	1655	1700	1738
დატბორვის	წთ	1155	1207	1277	1338	1379	1451	1467	1493	1510
დინების მაქსიმალური სიჩქარე	მ/წმ	7,72	4,8	6,05	3,14	4,66	3,88	4	2,78	2,33
ტალღის სიმაღლე	მ	8,66	4,7	5,99	2,42	4,35	2,48	2,93	1,65	1,28
დატბორვის მაქსიმალური სიღრმე	მ	9,54	5,7	6,49	3,02	4,85	2,98	3,43	2,05	1,68
დატბორვის მაქსიმალური ნიშნული	მ	1016	994,7	946	882,4	839,4	760,5	732,9	711	691,3
დატბორვის მაქსიმალური სიმაღლე:										
მდინარის მარცხენა ნაპირზე	მ	146,1	205,2	84,27	524,9	154,5	103,3	167,3	667	518,5
მდინარის მარჯვენა ნაპირზე	მ	146,1	205,2	97,98	26,42	124,5	576	333,8	172,9	645,5



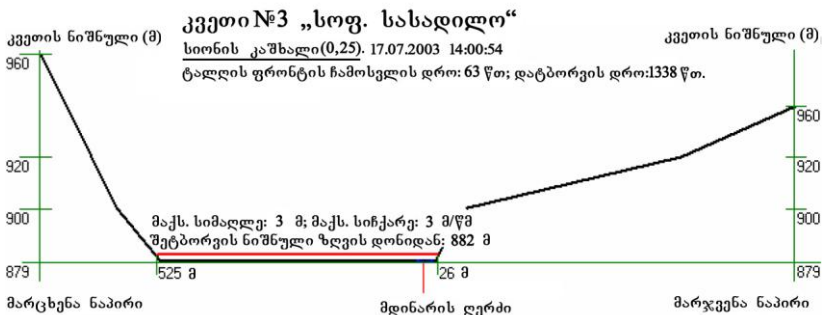
ნახ. 5.66



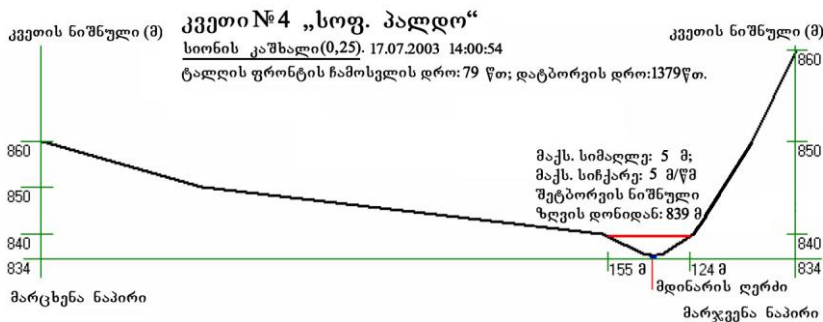
ნახ. 5.67



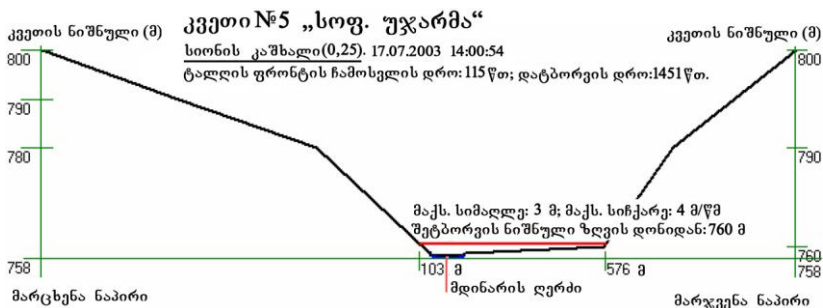
ნახ. 5.68



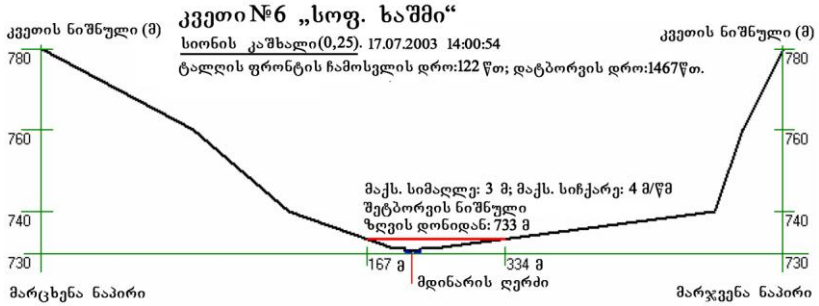
ნახ. 5.69



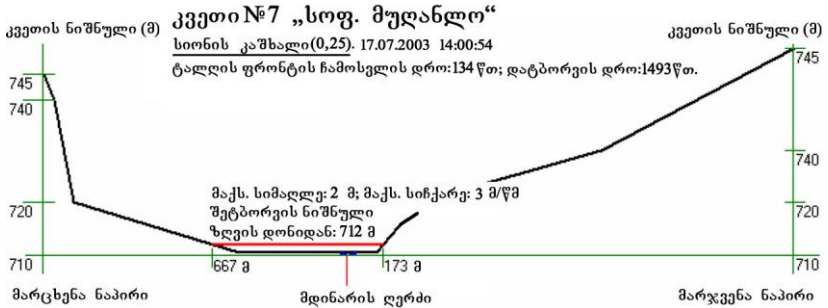
ნახ. 5.70



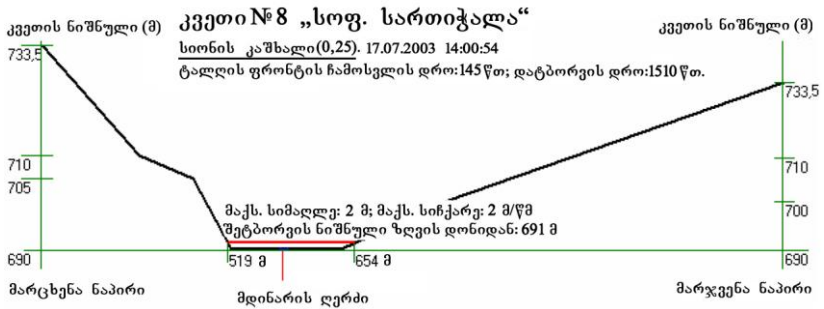
ნახ. 5.71



ნახ. 5.72



ნახ. 5.73



ნახ. 5.74

5.5. შაორის კაშხლის შესაძლო ავარიის პროგნოზირება

შაორის წყალსაცავი მდებარეობს რაჭაში. მისი კაშხალი წარმოადგენს ქვაყრილს სიმაღლით 11,5 მ, ხოლო სიგანე ზღურბლზე - 1210 მ-ია.

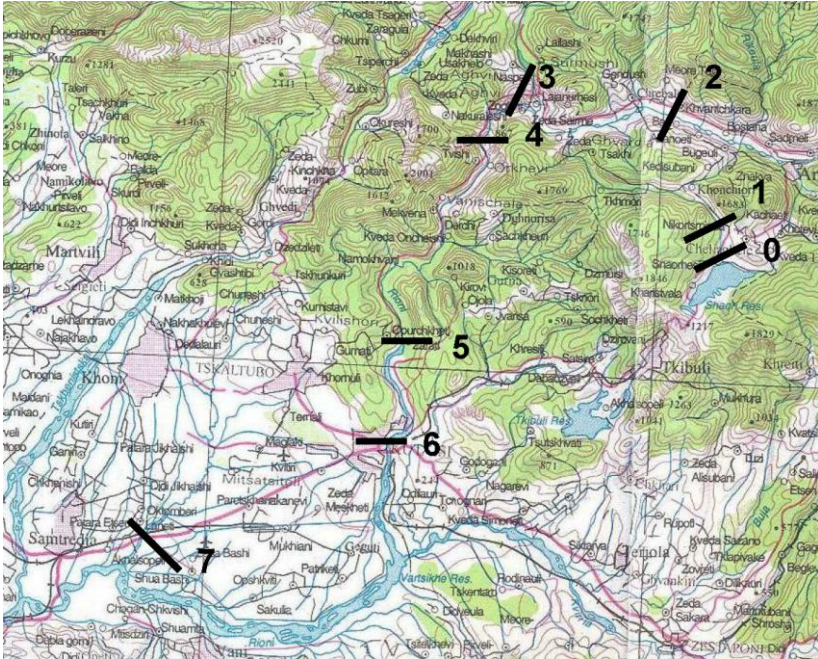
შაორის წყალსაცავის მოცულობა 1,15 მლნ მ³-ია, ხოლო სარკის ზედაპირის ფართობი – 9,2 მლნ მ² [43].

შაორის წყალსაცავის ავარიის შემთხვევაში (როდესაც ნგრევის ხარისხი ტოლია 100%) დატბორილი ტერიტორიის ფართობის პროგნოზირების მიზნით შერჩეული იყო განივკვეთები დასახლებულ პუნქტებში (სურ. 5.75), კერძოდ [35]:

1. სოფ. ნიკორწმინდა – 2,5 კმ;
2. სოფ. გოგოლეტი – 20,0 კმ;
3. სოფ. ლაჯანა – 30,0 კმ;
4. სოფ. ტვიში – 40,0 კმ;
5. სოფ. ოფურჩხეთი – 64,5 კმ;
6. ქ. ქუთაისი – 74,0 კმ;
7. ქ. სამტრედია – 131,0 კმ.

შაორის კაშხლის ავარიის შემთხვევაში წყლის ტალღის პირველი ნაკადი დასახლებულ პუნქტებში ჩამოვა შემდეგ დროში:

1. სოფ. ნიკორწმინდა – 6,0 წთ;
2. სოფ. გოგოლეტი – 80,0 წთ;
3. სოფ. ლაჯანა – 110,0 წთ;
4. სოფ. ტვიში – 138,0 წთ;
5. სოფ. ოფურჩხეთი – 236,0 წთ;
6. ქ. ქუთაისი – 272,0 წთ;
7. ქ. სამტრედია – 948,0 წთ.



ნახ. 5.75. საანგარიშო კვებების განლაგების გეგმა

შაორის კაშხლის ავარიის შემდეგ, მდინარის ღერძიდან მარცხენა და მარჯვენა მხარეს დატბორილი ტერიტორიის გეომეტრიული ზომები, ტალღის სიქარე და წყლის სიღრმე ტოლია [35]:

1. სოფ. ნიკორწმინდა
 მარცხნივ – 68 (მ), მარჯვნივ – 531 (მ),
 ტალღის სიღრმე – 6 (მ),
 ტალღის სიქარე – 5 (მ/წმ);
2. სოფ. გოგოლეოთი
 მარცხნივ – 217 (მ), მარჯვნივ – 370 (მ),
 ტალღის სიღრმე – 8 (მ),
 ტალღის სიქარე – 8 (მ/წმ);

3. სოფ. ლაჯანა

მარცხნივ – 162 (მ), მარჯვნივ – 125 (მ),
ტალღის სიღრმე – 9 (მ),
ტალღის სიჩქარე – 8 (მ/წმ);

4. სოფ. ტვიში

მარცხნივ – 108 (მ), მარჯვნივ – 108 (მ),
ტალღის სიღრმე – 10 (მ),
ტალღის სიჩქარე – 8 (მ/წმ);

5. სოფ. ოფურჩხეთი

მარცხნივ – 215 (მ), მარჯვნივ – 148 (მ),
ტალღის სიღრმე – 8 (მ),
ტალღის სიჩქარე – 8 (მ/წმ);

6. ქ. ქუთაისი

მარცხნივ – 607 (მ), მარჯვნივ – 693 (მ),
ტალღის სიღრმე – 3 (მ),
ტალღის სიჩქარე – 3 (მ/წმ);

7. ქ. სამტრედია

მარცხნივ – 175 (მ), მარჯვნივ – 175 (მ),
ტალღის სიღრმე – 4 (მ),
ტალღის სიჩქარე – 3 (მ/წმ).

შაორის კაშხლის ავარიის შემთხვევაში რიცხობრივი მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილებში 5.25-5.27, ხოლო დატბორილი ტერიტორიების განივი პროფილები მოცემულია ნახაზებზე 5.76-5.83.

შაორის კაშხლის ავარიის შემთხვევაში ხეობაში მდებარე დასახლებულ პუნქტებს საშიშროება არ ემუქრება, რადგან ისინი განთავსებულია ხეობაში მაღალ ფერდობებზე [35].

სამუშაოს ანგარიში

დრო: 19:07:2003, 14:37:51

დასახელება: სიონის კაშხალი (1)

177

პიღროკვანძის საწყისი მონაცემები:	განზ. ერთ.	რაოდ.
1. წყალსაცავის მოცულობა ნორმალური შეტბორვის დონეზე (ნშდ)	მლნ მ ³	115
2. წყალსაცავის სიღრმე კაშხალთან ნშდ-ზე	მ	11,2
3. სარკის ზედაპირის ფართობი ნშდ-ზე	მლნ მ ³	9,2
4. კაშხლის სიგანე ნშდ-ზე	მ	120
5. მდინარის სიღრმე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	0,3
6. მდინარის სიგანე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	10
7. მდინარის სიქარე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ/წმ	1
8. წყალსაცავის სიღრმე კაშხლის ავარიის მომენტში	მ	11,5
9. კაშხლის ნგრევის ხარისხი	მ	1
10. მდინარის კალაპოტის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	1
11. წყალსაცავში წყლის ნორმალური შეტბორვის ნიშნული	მ	1130
12. მდინარის კალაპოტში განივი პროფილების რაოდენობა	ც	7

ცხრილი 5.26

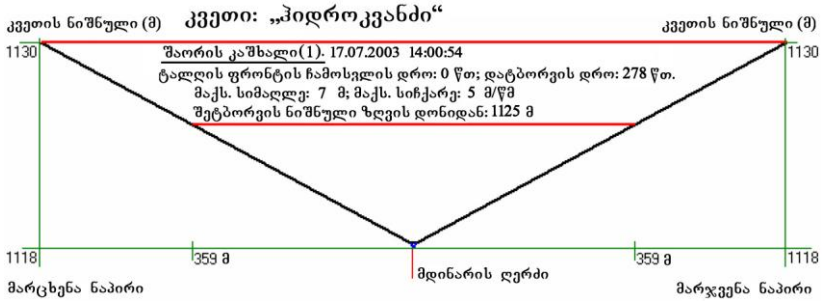
განივი კვეთების დახასიათება	გან. ერთ.	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7
1	2	3	4	5	6	7	8	9
i-ური კვეთის დაცილება კაშხლიდან	კმ	2,5	20	30	40	64,5	74	131
ხვედრითი ნაკადი:								
წყლის შეტბორვის ნიშნული	მ	1220	404	366	310	200	129,5	18
სიღრმე	მ	1	1	1	1	1	1,2	2,7
სიგანე	მ	10	300	150	100	200	100	350
ნაკადის სიჩქარე	მ/წმ	1,3	1,3	1,7	1,6	1,5	1,5	0,6
მარცხენა ნაპირი								
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	1	2	3	2	3	0,5	2
მდინარის ნოღა კალაპოტის სიგანე	მ	50	50	75	50	50	550	3700
ნიშნული №1	მ	1140	420	380	320	220	135	30
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	105	250	175	110	450	630	3900
ნიშნული №2	მ	1160	440	400	340	240	140	40
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	205	300	250	190	600	670	4050

ცხრილი 5.26 (გაგრძელება)

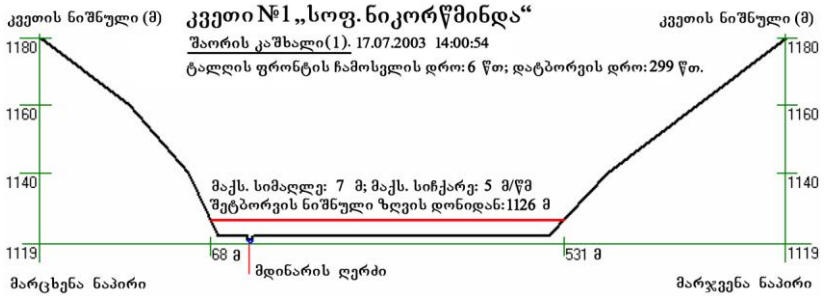
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ნიშნული №3	მ	1180	460	420	360	260	145	50
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	355	350	280	390	700	720	4150
მარჯვენა ნაპირი								
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	1	2	3	2	3	0.5	2
მდინარის ნოღა კალაპოტის სიგანე	მ	500	100	50	50	20	450	1900
ნიშნული №1	მ	1140	420	380	300	220	135	25
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	605	600	125	110	250	1340	3775
ნიშნული №2	მ	1160	440	400	340	240	137,5	30
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	755	800	130	140	550	3340	5875
ნიშნული №3	მ	1180	460	420	360	260	140	50
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	905	1000	225	210	850	5340	10675

ცხრილი 5.27

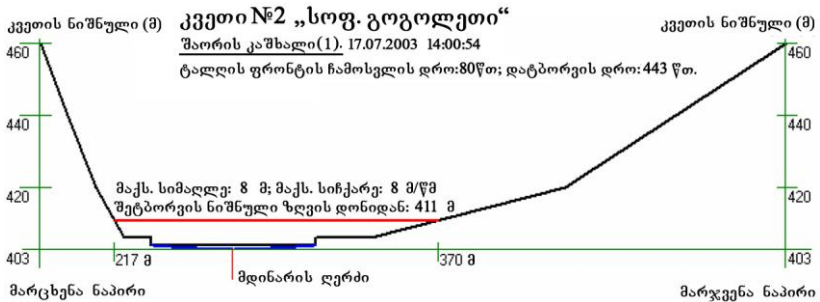
კაშხლის განგრევის პარამეტრები	გან. ერთ.	კვეთი №0	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7
კვეთის დაშორება პიდროკვანძიდან	კმ	0	2,5	20	30	40	64,5	74	131
კვეთში წყლის მაქსიმალური ხარჯი	ათ.მ ³ /წმ	12,67	11,48	7,88	6,83	5,94	4,49	4,07	1,87
დრო:									
ტალღის ფრონტის დაწევის	წთ	0	11,71	91,9	123,64	153,91	227,3	259,66	637,49
ტალღის დაწევის	წთ	0	6,04	80,24	109,66	138,41	236,2	271,74	947,67
ტალღის კუდის დაწევის	წთ	278,44	310,49	534,85	632,89	737,05	1009,3	1114,8	2698,2
დატბორვის	წთ	278,44	298,78	442,95	509,25	583,14	781,98	855,17	2060,7
დინების მაქსიმალური სიჩქარე	მ/წმ	5,41	4,51	7,73	8,35	8,21	8,1	2,59	3,02
ტალღის სიმაღლე	მ	6,6	5,94	6,82	8,07	8,5	6,69	1,63	1,45
დატბორვის მაქსიმალური სიღრმე	მ	6,9	6,94	7,82	9,07	9,5	7,69	2,83	4,15
დატბორვის მაქსიმალური ნიშნული	მ	1125,4	1125,9	410,82	374,07	318,5	206,69	131,2	19,45
დატბორვის მაქსიმალური სიმაღლე:									
მდინარის მარცხენა ნაპირზე	მ	309,01	68,01	217,2	524,9	154,5	103,3	167,3	667
მდინარის მარჯვენა ნაპირზე	მ	309,01	531,01	370,39	125	108,13	148,24	693,44	175



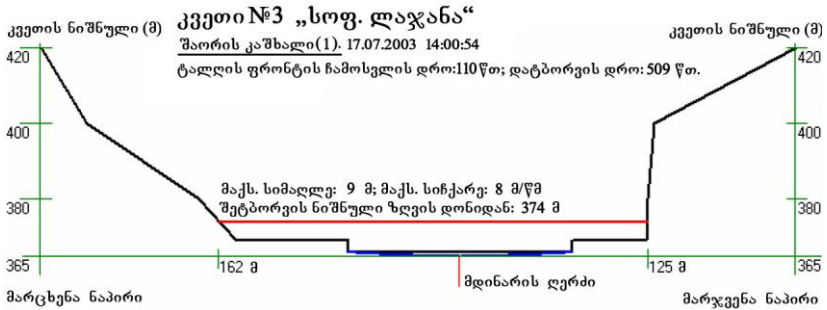
ნახ. 5.76



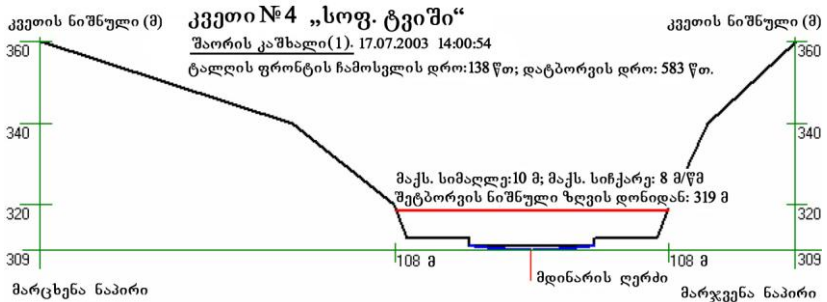
ნახ. 5.77



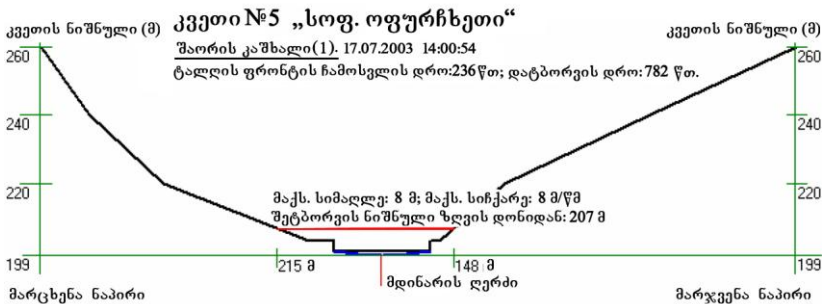
ნახ. 5.78



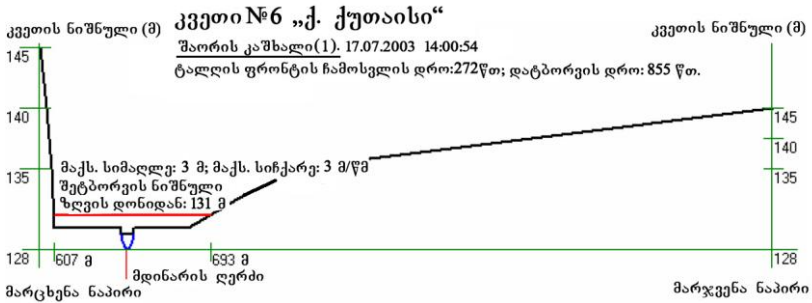
ნახ. 5.79



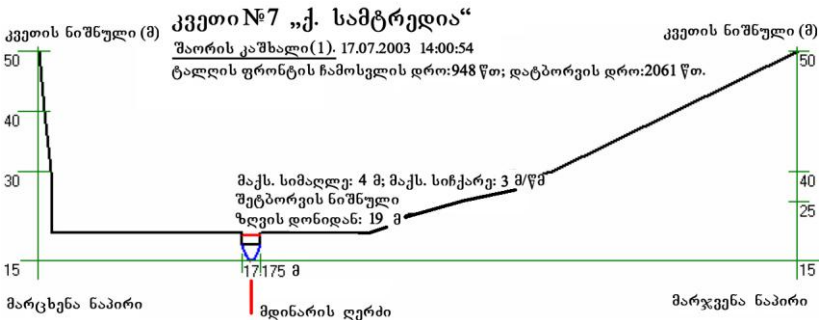
ნახ. 5.80



ნახ. 5.81



ნახ. 5.82



ნახ. 5.83

5.6. ლაჯანურის კაშხლის შესაძლო აგარიის პროგნოზირება

ლაჯანურის კაშხალი მდებარეობს მდინარე ლაჯანურზე, დაბა ცაგერის სამხრეთ-დასავლეთის მიმართულე-ბით. იგი წარმოადგენს თაღოვან რკინა-ბეტონის კაშხალს სიმაღლით 69 მ; კაშხლის სიგანე მდინარის განივკვეთის მიმართულებით - 127 მ-ია.

წყალსაცავის მოცულობა შეადგენს 25 მლნ მ³-ს, ხოლო წყლის სარკის ზეაპირის ფართობი 1,4 მლნ მ²-ია [43]. ლაჯანურის ავარიის კაშხლის პროგნოზი განგარიშებული იყო 100% ნგრევის უზრუნველყოფაზე.

დატბორილი ტერიტორიების პროგნოზირების მიზნით მდინარის კალაპოტში შერჩეული იყო ოთხი კვეთი: 1. თვით კაშხლის კვეთში; 2. სოფ. ლაჯანა; 3. სოფ. ტვიში; 4. სოფ. ოფურჩხეთი (სურ. 5.84).



ნახ. 5.84. საანგარიშო კვეთების სქემა

1. სოფ. ლაჯანა – 4,75 კმ;
2. სოფ. ტვიში – 14,75 კმ;
3. სოფ. ოფურჩხეთი – 44,75 კმ.

შეტბორილი წყალი დასახლებულ პუნქტებში მიად-
წევს შემდეგ დროში:

1. სოფ. ლაჯანა – 7,91 წთ;
2. სოფ. ტვიში – 34,74 წთ;
3. სოფ. ოფურჩხეთი – 135,35 წთ.

რაც შეეხება დატბორილ ტერიტორიებს მდინარის
ღერძიდან მარცხნივ და მარჯვნივ, ასევე ტალღის სიმაღ-
ლეს და წყლის სიჩქარეს დასახლებულ პუნქტებში,
შეადგინა:

1. სოფ. ლაჯანა

მარცხნივ – 179 მ; მარჯვნივ – 62 მ;

ტალღის სიმაღლე – 17 მ; ტალღის სიჩქარე – 10 მ/წმ;

2. სოფ. ტვიში

მარცხნივ – 82 მ; მარჯვნივ – 52 მ;

ტალღის სიმაღლე – 12 მ; ტალღის სიჩქარე – 8,0 მ/წმ;

3. სოფ. ოფურჩხეთი

მარცხნივ – 355 მ; მარჯვნივ – 155 მ;

ტალღის სიმაღლე – 3 მ; ტალღის სიჩქარე – 4 მ/წმ.

ლაჯანურის კაშხლის აგარიის შემთხვევაში იტბო-
რება მდინარის ხეობა, ადამიანთა სიცოცხლეს ამ შემთხ-
ვევაში საფრთხე არ ემუქრება.

5.28-5.30 ცხრილებში მოცემულია გაანგარიშების დე-
ტალური მონაცემები, ხოლო 5.85-5.88 ნახაზებზე დატა-
ნილია წყალმოვარდნის შემთხვევაში მდინარის განივი
პროფილები.

სამუშაოს ანგარიში

დრო: 19:07:2003, 14:37:51

დასახელება: ლაჯანურის კაშხალი (1)

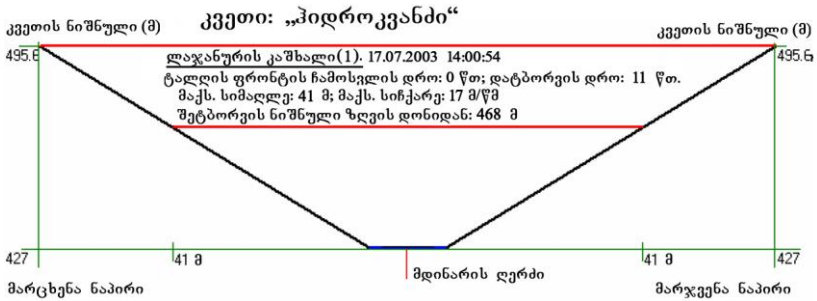
პიღროკვანძის საწყისი მონაცემები:	განზ. ერთ.	რაოდ.
1. წყალსაცავის მოცულობა ნორმალური შეტბორვის დონეზე (ნშდ)	მლნ მ ³	25
2. წყალსაცავის სიღრმე კაშხალთან ნშდ-ზე	მ	68
3. სარკის ზედაპირის ფართობი ნშდ-ზე	მლნ მ ³	1,4
4. კაშხლის სიგანე ნშდ-ზე	მ	127
5. მდინარის სიღრმე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	0,5
6. მდინარის სიგანე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	13
7. მდინარის სიქარე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ/წმ	1
8. წყალსაცავის სიღრმე კაშხლის ავარიის მომენტში	მ	69
9. კაშხლის ნგრევის ხარისხი	მ	1
10. მდინარის კალაპოტის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	1
11. წყალსაცავში წყლის ნორმალური შეტბორვის ნიშნული	მ	495,6
12. მდინარის კალაპოტში განივი პროფილების რაოდენობა	ც	3

ცხრილი 5.29

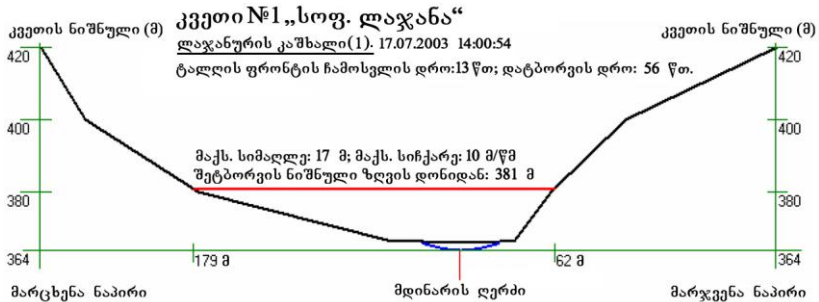
განივი კვეთების დახასიათება	გან. ერთ.	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3
i-ური კვეთის დაცილება კაშხლიდან	კმ	4,75	12,75	44,75
ხვედრითი ნაკადი:				
წყლის შეტბორვის ნიშნული	მ	366	310	200
სიღრმე	მ	2	1,5	1,2
სიგანე	მ	50	15	200
ნაკადის სიჩქარე	მ/წმ	1,5	1,6	1,5
მარცხენა ნაპირი				
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	0,5	0,5	1
მდინარის ნოღა კალაპოტის სიგანე	მ	20	15	250
ნიშნული №1	მ	380	320	220
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	175	80	450
ნიშნული №2	მ	400	340	240
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	250	180	600
ნიშნული №3	მ	420	360	260
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	280	380	700
მარჯვენა ნაპირი				
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	0,5	0,5	1
მდინარის ნოღა კალაპოტის სიგანე	მ	10	5	50
ნიშნული №1	მ	380	320	220
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	60	50	250
ნიშნული №2	მ	400	340	240
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	110	130	550
ნიშნული №3	მ	420	360	260
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	210	200	850

ცხრილი 5.30

კაშხლის განგრევის პარამეტრები	გან. ერთ.	კვეთი №0	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3
კვეთის დაშორება ჰიდროკვანძიდან	კმ	0	4,75	14,75	44,75
კვეთში წყლის მაქსიმალური ხარჯი	ათ.მ ³ /წმ	45,9	15,02	6,28	2,48
დრო:					
ტალღის ფრონტის დაწვევის	წთ	0	7,91	34,74	134,95
ტალღის დაწვევის	წთ	0	13,48	38,09	213,17
ტალღის კულის დაწვევის	წთ	10,95	33,73	167,89	501,23
დატბორვის	წთ	10,95	55,82	133,15	366,28
დინების მაქსიმალური სიჩქარე	მ/წმ	16,66	9,76	7,51	3,97
ტალღის სიმაღლე	მ	40,9	14,93	10,47	1,9
დატბორვის მაქსიმალური სიღრმე	მ	41,4	16,93	11,97	3,1
დატბორვის მაქსიმალური ნიშნული	მ	468	380,93	320,47	201,9
დატბორვის მაქსიმალური სიმაღლე:					
მდინარის მარცხენა ნაპირზე	მ	50,14	178,5	82,34	354,76
მდინარის მარჯვენა ნაპირზე	მ	50,14	62,34	51,87	154,76



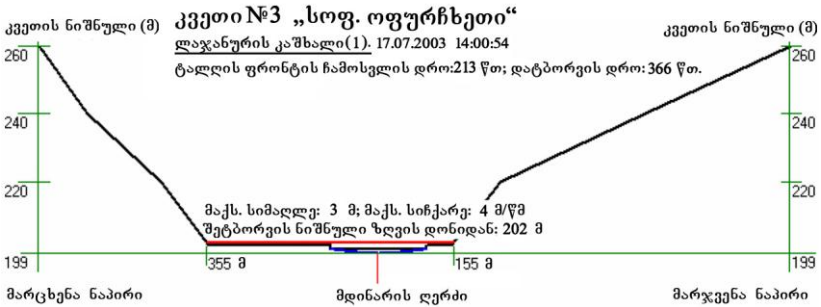
ნახ. 5.85



ნახ. 5.86



ნახ. 5.87



ნახ. 5.88

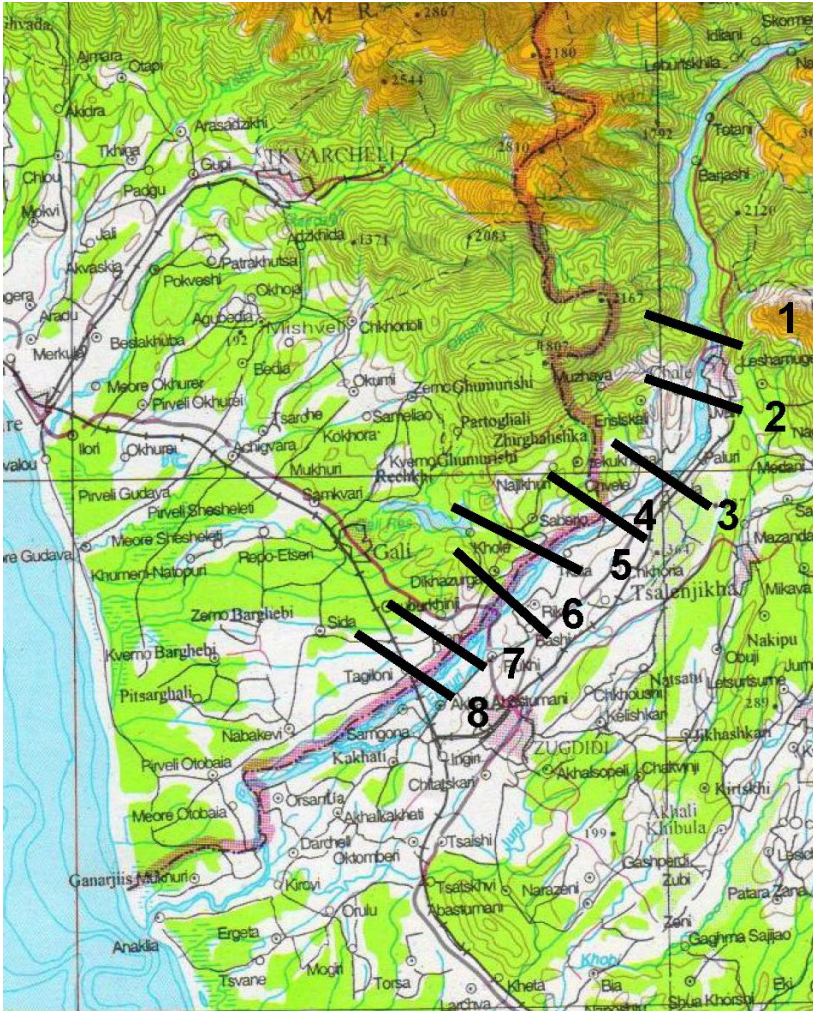
5.7. ენგურის კაშხლის შესაძლო ავარიის პროგნოზირება

ენგურის კაშხალი წარმოადგენს მსოფლიოში ერთ-ერთ უმაღლეს თაღოვან რკინა-ბეტონის კონსტრუქციას, რომელიც მდებარეობს ქ. ზუგდიდიდან 33 კმ-ის მანძილის დაშორებით მდ. ენგურის კალაპოტში ჩრდილოეთ მიმართულებით.

ენგურის თაღოვანი კაშხალის სიმაღლე არის 274 მ, მდინარის კალაპოტში მისი სიგანე 660 მ-ის ტოლია, ხოლო ნაგებობის ზედა ბიეფში წყლის შეტბორვის მაქსიმალური სიმაღლე 250 მ-ს არ აღემატება.

ენგურის კაშხლის წყალსაცავის მოცულობა ტოლია 1 მილიარდ 110 მლნ კუბური მეტრის, ხოლო სარკის ზედაპირის ფართობი 10,13 მლნ მ² [43].

ენგურის კაშხლის ავარიის პროგნოზირება ჩატარებული იყო 0,75 % ალბათობაზე, რისთვისაც შერჩეული იყო კვეთები დასახლებულ პუნქტებში (ნახ. 5.89), რომლის ჩამონათვალიც განხილულია ქვემოთ [43].



ნახ. 5.89. საანგარიშო კეეტების გეგმა

კეეთი კაშხლის ტანზე;

1. სოფ. ჯვარი კაშხლიდან დაშორებულია – 5 კმ-ით;
2. სოფ. ზედა ღია – 9 კმ-ით;

3. სოფ. საბერიო – 18,5 კმ-ით;
4. სოფ. ზენი – 23,0 კმ-ით;
5. სოფ. რიყე – 25,5 კმ-ით;
6. ქ. ზუგდიდის ხიდი – 28,5 კმ-ით;
7. სოფ. ჭუბურხინჯი – 30,5 კმ-ით;
8. ზუგდიდი–გალის სივრცე – 33,0 კმ-ით.

ენგურის კაშხლის აგარიის შემთხვევაში დასახლებულ პუნქტებში მდ. ენგურის ღერძიდან მარცხნივ და მარჯვნივ დატბორილი ფართობების გეომეტრიული ზომები, ტალღის ფრონტის სიჩქარე და ტალღის სიმაღლე, შესაბამის კვეთებში განხილულია ქვემოთ:

1. სოფ. ჯვარი
 - მარცხნივ – 795 მ; მარჯვნივ – 498 მ;
 - ტალღის სიმაღლე – 46 მ;
 - ტალღის სიჩქარე – 19 მ/წმ;
2. სოფ. ზედა ღია
 - მარცხნივ – 470 მ; მარჯვნივ – 765 მ;
 - ტალღის სიმაღლე – 37 მ;
 - ტალღის სიჩქარე – 16 მ/წმ;
3. სოფ. საბერიო
 - მარცხნივ – 1046,0 მ; მარჯვნივ – 1146 მ;
 - ტალღის სიმაღლე – 18 მ;
 - ტალღის სიჩქარე – 11 მ/წმ;
4. სოფ. ზენი
 - მარცხნივ – 1590 მ; მარჯვნივ – 1010 მ;
 - ტალღის სიმაღლე – 14 მ;
 - ტალღის სიჩქარე – 9 მ/წმ;

5. სოფ. რიყე
 მარცხნივ – 1493 მ; მარჯვნივ – 1586 მ;
 ტალღის სიმაღლე – 11 მ;
 ტალღის სიჩქარე – 8 მ/წმ;
6. ქ. ზუგდიდის ხიდი
 მარცხნივ – 1701 მ; მარჯვნივ – 596 მ;
 ტალღის სიმაღლე – 13 მ;
 ტალღის სიჩქარე – 9 მ/წმ;
7. სოფ. ჭუბურხინჯი
 მარცხნივ – 1818 მ; მარჯვნივ – 1864 მ;
 ტალღის სიმაღლე – 9 მ;
 ტალღის სიჩქარე – 7 მ/წმ;
8. ზუგდიდი–გალის სივრცე
 მარცხნივ – 1964 მ; მარჯვნივ – 15838 მ;
 ტალღის სიმაღლე – 4 მ;
 ტალღის სიჩქარე – 3 მ/წმ.

ენგურის კაშხლის აგარიის შემთხვევაში ზუგდიდი–გალის სივრცეში და მისი გავლის შემთხვევაში, შავი ზღვის აკვატორიაში წყალი ჩაედინება 27 802 მ სიგანით, რაც შეეხება წყლის გაშლის ხარისხს, იგი მიმდინარეობს როგორც აღმოსავლეთის, ასევე დასავლეთის მიმართულებით.

ენგურის კაშხლის ანგარიშის დეტალური მონაცემები მოცემულია ცხრილებში 5.31-5.33, ხოლო შესაბამისი გრაფიკული მასალა კი მაჩვენებია ნახაზებზე 5.90-5.98.

სამუშაოს ანგარიში

დრო: 19:07:2003, 14:37:51

დასახელება: ენგურის კაშხალი (0,75)

194

პილროკვანძის საწყისი მონაცემები:	განზ. ერთ.	რაოდ.
1. წყალსაცავის მოცულობა ნორმალური შეტბორვის დონეზე (ნშდ)	მლნ მ ³	1110
2. წყალსაცავის სიღრმე კაშხალთან ნშდ-ზე	მ	250
3. სარკის ზედაპირის ფართობი ნშდ-ზე	მლნ მ ³	10,13
4. კაშხლის სიგანე ნშდ-ზე	მ	660
5. მდინარის სიღრმე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	1,4
6. მდინარის სიგანე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ	75
7. მდინარის სიქარე კაშხლის ქვედა ბიეფში	მ/წმ	1,5
8. წყალსაცავის სიღრმე კაშხლის ავარიის მომენტში	მ	250
9. კაშხლის ნგრევის ხარისხი	მ	0,75
10. მდინარის კალაპოტის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	1
11. წყალსაცავში წყლის ნორმალური შეტბორვის ნიშნული	მ	510
12. მდინარის კალაპოტში განივი პროფილების რაოდენობა	ც	8

ცხრილი 5.32

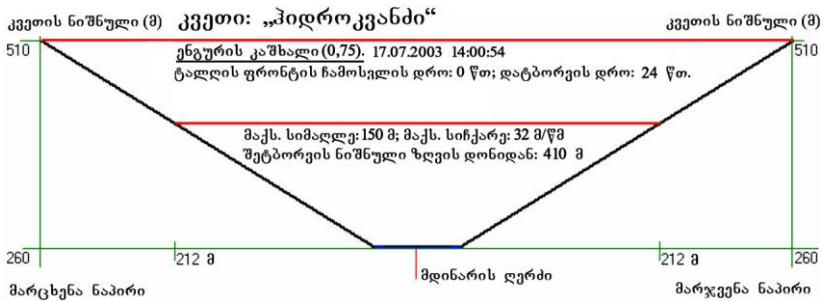
განივი კვეთების დახასიათება	გან.ერთ.	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i-ური კვეთის დაცილება კაშხლიდან	კმ	5	9	18,5	23	25,5	28,5	30,5	33
ხვედრითი ნაკადი:									
წყლის შეტბორვის ნიშნული	მ	235	230	170	145	130	116	104	88
სიღრმე	მ	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
სიგანე	მ	400	350	600	500	800	625	1000	1200
ნაკადის სიჩქარე	მ/წმ	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
მარცხენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	1	1	0,7	0,7	0,7	1	1	1
მდინარის ნოღა კალაპოტის სიგანე	მ	50	50	100	500	800	800	1000	1200
ნიშნული №1	მ	280	240	180	160	140	120	120	95
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	800	275	1000	1800	1500	1200	2200	2400
ნიშნული №2	მ	360	280	220	180	160	140	140	100
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	1600	575	1300	2500	3500	2500	10000	9000

ცხრილი 5.32 (გაგრძელება)

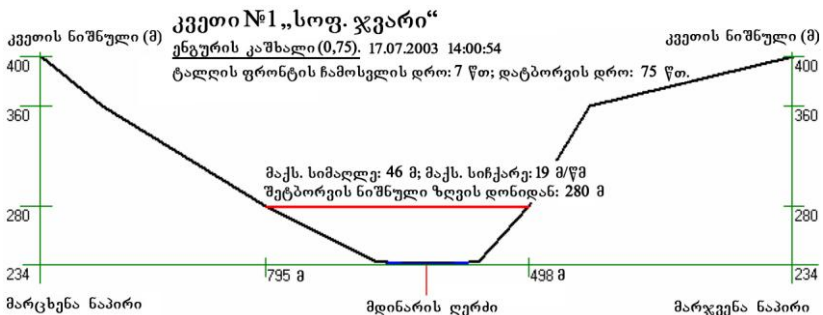
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ნიშნული №3	მ	400	360	240	200	180	160	160	120
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	1900	955	1800	4500	3800	6400	10500	9200
მარჯვენა ნაპირი									
მდინარის ნაპირის რღვეულის სიმაღლე	მ	1	1	0,7	0,7	0,7	3	1	1
მდინარის ნოლა კალაპოტის სიგანე	მ	50	50	100	200	600	100	1000	500
ნიშნული №1	მ	280	240	180	160	140	120	120	89,5
მანძილი მდინარის ღერძიდან №1 ნიშნულამდე	მ	500	375	11100	1150	1600	500	2300	15000
ნიშნული №2	მ	360	280	220	180	160	140	140	97
მანძილი მდინარის ღერძიდან №2 ნიშნულამდე	მ	800	975	1400	1300	1700	750	2600	20500
ნიშნული №3	მ	400	360	240	200	180	160	160	104,5
მანძილი მდინარის ღერძიდან №3 ნიშნულამდე	მ	1800	2475	1500	1400	2150	1600	3400	26000

ცხრილი 5.33

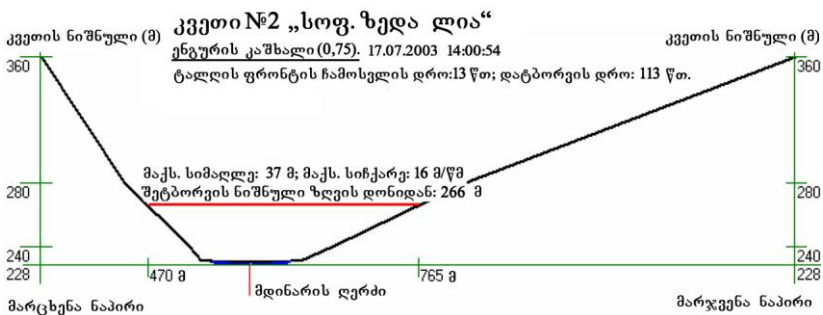
კაშხლის განგრევის პარამეტრები	გან. ერთ.	კვეთი №0	კვეთი №1	კვეთი №2	კვეთი №3	კვეთი №4	კვეთი №5	კვეთი №6	კვეთი №7	კვეთი №8
კვეთის დაწორება ჰიდროკვანძიდან	კმ	0	5	9	18,5	23	22,5	28,5	30,5	33
კვეთში წყლის მაქსიმალური ხარჯი	ათ.მ ³ /წმ	1622	496	328	177,1	149,5	138,5	126,9	120,7	114,18
დრო:										
ტალღის ფრონტის დაწვევის	წთ	0	4,7	10,8	27,05	38,23	45,43	54,54	60,21	69,29
ტალღის დაწვევის	წთ	0	6,96	13,5	38,6	50,61	58,3	66,94	73,79	83,16
ტალღის კუდის დაწვევის	წთ	23,79	79,4	124	236,9	286,9	314,7	348	370,2	398
დატბორვის	წთ	23,79	74,6	113	209,8	248,7	269,2	293,5	310	328,71
დინების მაქსიმალური სიჩქარე	მ/წმ	32,2	18,6	16,4	10,54	8,67	7,97	8,89	7,14	3,4
ტალღის სიმაღლე	მ	148,6	44,6	36	16,08	12,14	9,78	11,71	7,82	2,64
დატბორვის მაქსიმალური სიღრმე	მ	150	46	37,5	17,58	13,64	11,28	13,21	9,32	4,14
დატბორვის მაქსიმალური ნიშნული	მ	410	280	226	186,1	157,1	139,8	127,7	111,8	90,64
დატბორვის მაქსიმალური სიმაღლე:										
მდინარის მარცხენა ნაპირზე	მ	266,4	795	470	1046	1590	1493	1701	1818	1964,3
მდინარის მარჯვენა ნაპირზე	მ	266,4	498	765	1146	1010	1586	596,4	1864	15838



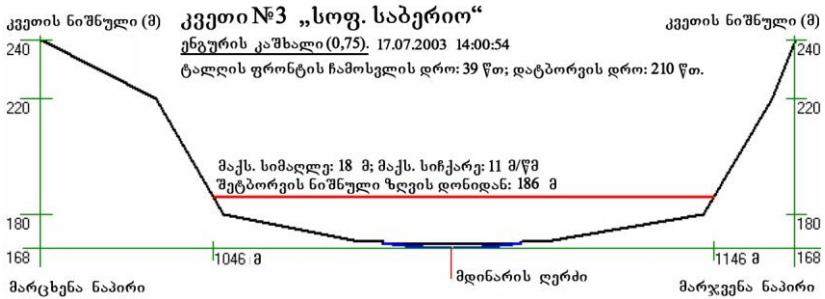
ნახ. 5.90



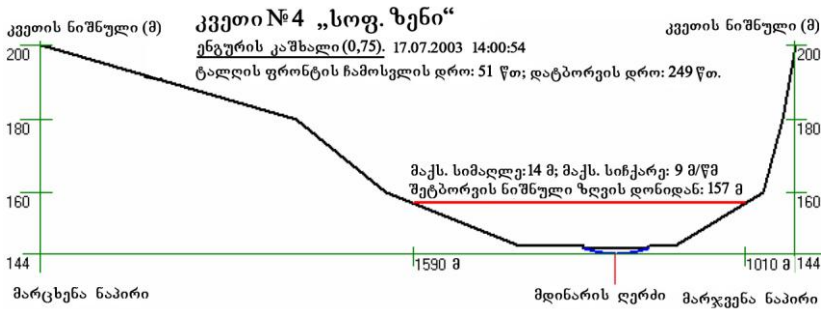
ნახ. 5.91



ნახ. 5.92



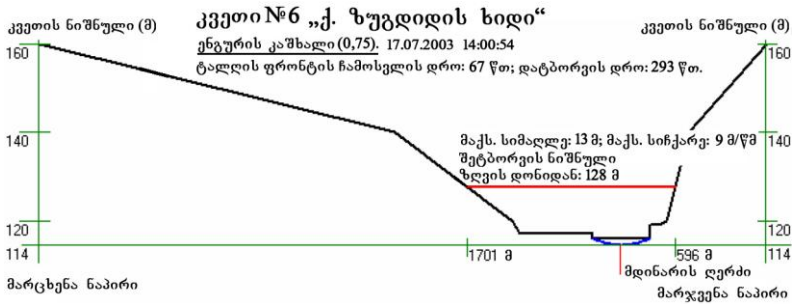
ნახ. 5.93



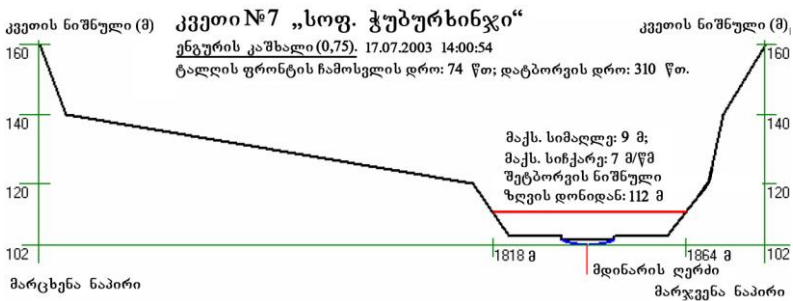
ნახ. 5.94



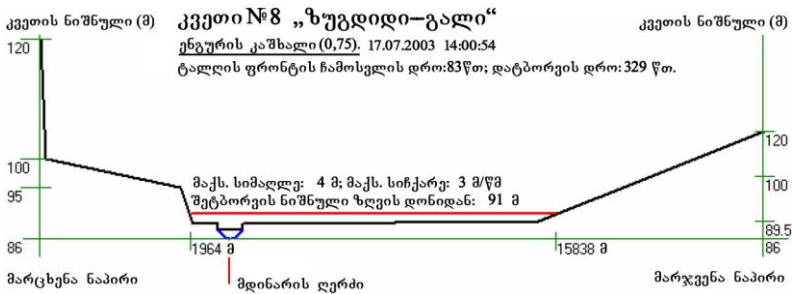
ნახ. 5.95



ნახ. 596



ნახ. 597



ნახ. 598

ამრიგად, ჩატარებული მათემატიკური იმიტაციის საფუძველზე დადგენილია საქართველოს მაღლივი კაშხლების შესაძლო ავარიის შემთხვევაში წყლით დატბორილი ტერიტორიების კონტურები, რაც ტექნოგენური კატასტროფების შემთხვევაში მოსალოდნელი საშიშროების ანალიზის საშუალებას იძლევა.

გავაწარმოთ (6.1) გამოსახულება ψ კუთხით (გრუნტის ჩამონგრევის კუთხე), მივიღებთ:

$$\frac{dc}{d\psi} = \frac{\gamma H_*}{2} \cdot \frac{\cos(\psi - \varphi_0) - \sin(\psi_0 - \varphi) \cdot \cos(\omega - \psi_0)}{\sin \omega \cdot \cos \varphi} \quad (6.2)$$

განვიხილოთ $c(\psi)$ ფუნქციის ტეილორის მწკრივად გაშლა [60]:

$$c(\psi_0 + \varphi) = a_0 + a_1\psi + a_2\psi^2 + a_3\psi^3 + \dots \quad (6.3)$$

დავადგინოთ (6.3) მწკრივის კოეფიციენტები:

$$a_0 = a' \sin^2 \frac{(\omega - \varphi)}{2}; \quad (6.4)$$

$$a_1 = 0; \quad (6.5)$$

$$a_2 = -a'; \quad (6.6)$$

$$a_3 = 0; \quad (6.7)$$

$$a_4 = \frac{1}{3} a', \quad (6.8)$$

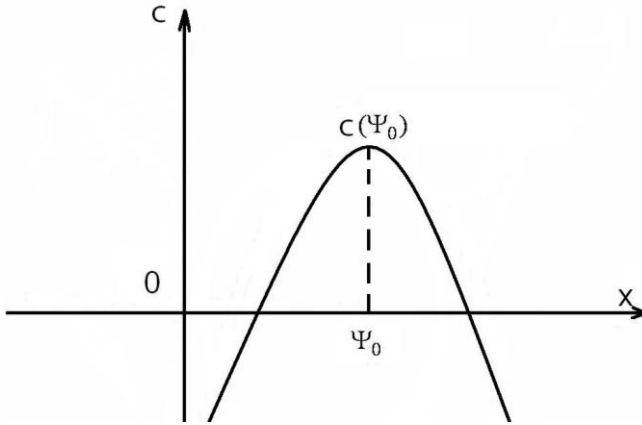
სადაც $a' \equiv \frac{\gamma H_*}{2 \sin \omega \cdot \cos \varphi}$.

მწკრივის კოეფიციენტების გათვალისწინებით (6.3) გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს [10]:

$$c(\psi_0 + \psi) = a' \sin^2 \frac{(\omega - \varphi)}{2} - a' \psi^2 + \frac{1}{3} a' \psi^4 - \dots \quad (6.9)$$

კატასტროფების თეორიიდან [62] ცნობილია, რომ კრიტიკული წერტილი გადაგვარებულია მაშინ, როდესაც $D^2 f|_{x_0} \neq 0$, სადაც $f: R \rightarrow R$ ფუნქცია და x_0 - კრიტიკული წერტილია; ამ შემთხვევაში, მორსის ლემის თანახმად, არსებობს კოორდინატთა გლუვი ლოკალური გარდაქმნა, რის შედეგადაც f ფუნქცია მიიღებს $\pm x^2$ -ის

მნიშვნელობას, სადაც ნიშანი ემთხვევა $D^2f|_{x_0}$ -ის ნიშანს, ჩვენს შემთხვევაში $D^2c|_{\psi_0} = -a' \neq 0$, ე.ი. გრუნტის მასის შეჭიდულობის ძალის ფუნქციის ქვედა ψ_0 წერტილში ლოკალურად აღიწერება $(-a'\psi^2)$ ფუნქციით, რომლის გრაფიკი მოცემულია 6.2 ნახაზზე.



ნახ. 6.2. მთის ფერდობის გრუნტის შეჭიდულობის ძალის ფუნქციის გრაფიკი

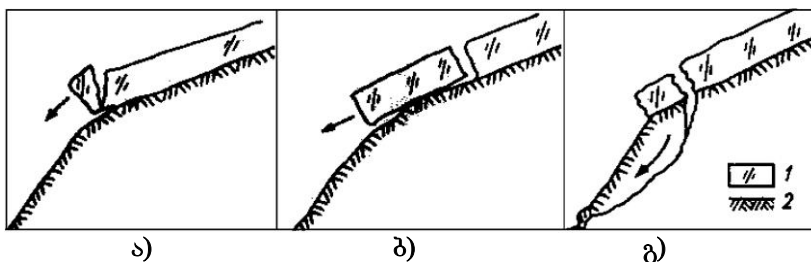
ჩატარებული მათემატიკური ანალიზიდან გამომდინარე, შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა:

მთის ფერდობის გრუნტის მოცულობითი წონის გაზრდასთან დაკავშირებით გრუნტის შიგა ხახუნის კუთხე (φ) იზრდება და როდესაც ის მიაღწევს ლოკალური მაქსიმუმის წერტილს (ψ_0), მაშინ გრუნტის შეჭიდულობის ძალის მნიშვნელობა კრიტიკულია $c(\psi_0)_{cr}$, რომლის მცირედი ცვლილებებისას (შეშფოთებისას) იწყება მთის ფერდის ჩამოცურება სიბრტყეზე სიგრძით — L_0 (ნახ. 6.2).

6.2. თოვლის ზვავის მოძრაობის დაწყების ანალიზი კატასტროფების მათემატიკური თეორიის გამოყენებით

ბუნების სტიქიური მოვლენებიდან თოვლის ზვავის წარმოშობას მეცნიერ-სპეციალისტები მიაკუთვნებენ ერთ-ერთ მრისხანე მოვლენას. ამ პრობლემის შესწავლა აქტუალურია და, შესაბამისად, ამ დარგის სპეციალისტების ყურადღებას იმსახურებს.

ჩვენს პლანეტაზე თოვლის ზვავის მოქმედების შედეგად ადამიანის მსხვერპლის მიხედვით ყველაზე შემზარავ შემთხვევებს ადგილი ჰქონდა პერუში 1962 და 1970 წლებში, როდესაც, პირველ შემთხვევაში, თოვლის ზვავმა ანდების მთებში შეიწირა 4000 ადამიანის სიცოცხლე, ხოლო მეორე შემთხვევისას, მიწისძვრის შედეგად უასკარინის მთაზე წარმოიშვა თოვლის ზვავი, რომელსაც თან დაერთო მეწყერი და სტიქიამ 18000 ადამიანი იმსხვერპლა. ზვავის მოცულობამ 10^8 მ³ შეადგინა [15].

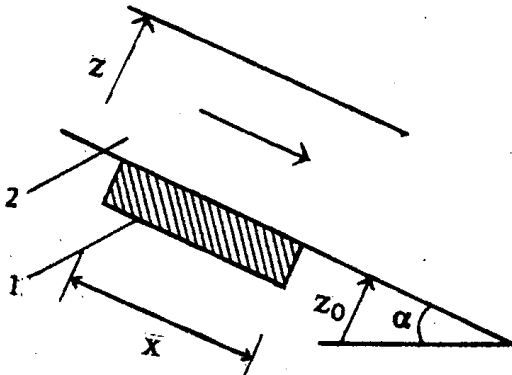


ნახ. 6.3. თოვლის ზვავის წარმოშობის ვარიანტები

- ა) თოვლის მასის წარმოშობის ფრონტალური დარღვევა;
- ბ) თოვლის ყინულოვანი პლასტის მთის ფერდობიდან მოწყვეტა;
- გ) თოვლის საფარისა და მთის ფერდობის გრუნტის ერთობლივი მოძრაობა. 1 – თოვლის ზვავი, 2 – გრუნტი.

თოვლის ზვავი წარმოშობის მიხედვით შეიძლება განვიხილოთ: თოვლის მასის წონასწორობის ფრონტალური დარღვევა; თოვლის ყინულოვანი პლასტის (ფენის) მთის ფერდობიდან მოწყვეტა და თოვლის საფარისა და მთის ფერდობის გრუნტის ერთობლივი მოძრაობა (ნახ. 6.3).

განვიხილოთ α კუთხით დახრილ მთის ფერდობზე მდებარე თოვლის მასა [15], რომელიც წონასწორულ მდგომარეობაში იმყოფება (ნახ. 6.4).



ნახ. 6.4. საანგარიშო სქემა

1 – თოვლის საფარის დასუსტებული ფენა; 2 – თოვლის დაფა

სადაც X თოვლის ზვავის სიგრძეა, რომელიც იმყოფება კრიტიკულ მდგომარეობაში; Z – თოვლის საფარის სისქე.

თოვლის ზვავის წარმოშობის დროს ძირითად პარამეტრად გვევლინება დაძაბულობა თოვლის საფარის დასუსტებულ ფენაში, რომელიც კავშირშია (X/Z) სიდიდესთან, თოვლის წნეკასა (P_w) და წნეკის ეფექტზე ($\sigma \sim P_w$), სადაც σ – ნორმალური ძაბვაა თოვლის ჩამოცურების სიბრტყეში [15].

ცნობილი მეცნიერი რ. ხეველი თოვლის ხახუნის წინაღობის სიდიდეს იღებდა $(\sigma - P_w) \operatorname{tg} \alpha$ -ს ტოლად.

დაძაბულობა ჩამოცურების სიბრტყეში ტოლია [15]

$$\sigma_x = \gamma g X (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi) + \left(\frac{x}{z} \right) P_w \operatorname{tg} \varphi, \quad (6.10)$$

სადაც γ თოვლის სიმკვრივეა (ტ/მ³), g – სიმძიმის ძალის აჩქარება (მ/წმ²), φ – ხახუნის კუთხე. ცნობილია, რომ თოვლის სიმკვრივე იცვლება 0,1 ÷ 0,55 ტ/მ³-ის ფარგლებში.

დაცურების ზედაპირზე დაძვრის რღვევის განხორციელება ხდება მაშინ, როდესაც თოვლის ზვავის მოწყვეტის დაძაბულობა აჭარბებს შეჭიდულობის τ ძაბვას [15]:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (\text{მგპა}) \quad (6.11)$$

სადაც c შეჭიდულობაა, φ – ხახუნის კუთხე, σ – ნორმალური დაძაბულობა.

განვიხილოთ თოვლის ზვავის მოძრაობა წრფივ X და Z დერძების მიმართ, როცა $Z = 0$ და $Z = Z_0$, სადაც Z_0 – თოვლის ზვავის სისქვა (მ). მისი დაცურების ზედაპირის კუთხე ავღნიშნოთ α -თი (ნახ. 6.4), მაშინ ნორმალური და მხები ძაბვები იქნება [15]:

$$\begin{cases} \sigma = \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_z \sin^2 \alpha \\ \tau = \frac{\sigma_x - \sigma_z}{2} \sin^2 \alpha \end{cases} \quad (6.12)$$

თოვლის ზვავი მოძრაობას იწყებს, ძირითადად, საკუთარი წონის ვერტიკალური დაწნევით, რომელიც ტოლია

$$\sigma_x = \xi \sigma_z = \sigma_y \quad (6.13)$$

სადაც ξ არის თოვლის გვერდითი წნევის კოეფიციენტი და ტოლია

$$\xi = \frac{\mu}{\mu - 1}, \quad (6.14)$$

სადაც μ პუასონის კოეფიციენტია.

(6.14) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\mu = \frac{\xi}{\xi - 1}. \quad (6.15)$$

ორგანზომილებიან ვერტიკალურ სიბრტყეში ერთეული მოცულობის თოვლის ზვავის პოტენციური ენერგია ტოლია [15]:

$$E_3 = \frac{1}{2E}(\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - 2\mu\sigma_x\sigma_z), \quad (6.16)$$

სადაც E თოვლის ზვავის დრეკადობის მოდულია (მგპა); ზღვრული წონასწორობის დროს მხები ძაბვა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\tau = c + \gamma z_0(\cos^2 \alpha + \xi \sin^2 \alpha) \operatorname{tg} \alpha, \quad (6.17)$$

სადაც γ თოვლის სიმკვრივეა (ტ/მ³), z – თოვლის ზვავის სიმაღლე (მ). ზღვრული წონასწორობის დროს თოვლის გვერდითი წნევის კოეფიციენტი ξ ტოლია:

$$\xi = \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \alpha}; \quad (6.18)$$

(6.18) განტოლების გამოყენებით (6.17) დამოკიდებულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\tau = c + 2\gamma z_0 \cos^2 \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (6.19)$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნა

$$b \equiv 2\gamma z_0 \cos^2 \alpha. \quad (6.20)$$

მაშინ (6.17) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\tau = c + btg\varphi. \quad (6.21)$$

თუ გავითვალისწინებთ (2.16), (2.17), (2.19)-ს, პოტენციური ენერგია მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$E_3 = \frac{1}{2E} (\xi\sigma_z^2 + \sigma_z^2 - 2\frac{\xi}{\xi-1} \xi\sigma_z^2) = \frac{2}{E \sin^2 \alpha} \times \frac{\xi^3 - 3\xi^2 + \xi - 1}{\xi - 1}; \quad (6.22)$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნა:

$$D \equiv \frac{2}{E \sin^2 \alpha} \times \frac{\xi^3 - 3\xi^2 + \xi - 1}{\xi - 1}; \quad (6.23)$$

(2.24)-ის და (2.27)-ის გათვალისწინებით (2.26) გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს

$$E_3 = D(btg\varphi + c)^2. \quad (6.24)$$

როგორც (6.24) განტოლებიდან ჩანს E_3 დამოკიდებულია ორ შინაგან φ და c ცვლადზე და b პარამეტრზე, რომელიც დაკავშირებულია: თოვლის ზვავის სიმკვრივესთან, ტენიანობასთან, მის სიმაღლესა და შიგა ხახუნის კუთხესთან [15, 62].

თოვლის ზვავის წონასწორობიდან გამოსვლის შესასწავლად, საჭიროა დავადგინოთ პოტენციური ენერგიის (6.24) კრიტიკული წერტილების ხასიათი კატასტროფების თეორიის მიხედვით, ამისათვის უნდა ვიპოვოთ პოტენციური ენერგიის გრადიენტი (∇E_3) კოორდინატთა სათავეში. შემოვიტანოთ აღნიშვნა:

$$y_1 = \varphi, \quad y_2 = c \quad \text{და} \quad \nabla E_3 = \left(\frac{\partial E_3}{\partial y_1}; \frac{\partial E_3}{\partial y_2} \right), \quad (6.25)$$

გავშალოთ $tg y_1$ ფუნქცია ტეილორის მწკრივად [15]:

$$\operatorname{tg} y_1 = y_1 + \frac{1}{3} y_1^3 + \frac{2}{15} y_1^5 + \dots \quad (6.26)$$

განვიხილოთ $\operatorname{tg} y_1$ ფუნქციის ტეილორის მწკრივად გაშლის პირველი ნაკადი:

$$\operatorname{tg} y_1 = y_1. \quad (6.27)$$

(6.27)-ის გათვალისწინებით (6.24) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$E_3 = D(by_1 + y_2)^2. \quad (6.28)$$

პოტენციური ენერჯის გრადიენტი ტოლია:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dE_3}{dy_1} &= 2D(by_1 + y_2) \\ \frac{dE_3}{dy_2} &= 2D(by_2 + y_2) \end{aligned} \right\} \quad (6.29)$$

რადგან $E_3(0,0) = 0$, მაშასადამე არაცხადი ფუნქციის შესახებ თეორემის გამოყენება არ შეიძლება და საჭიროა შევამოწმოთ მორსის ლემის პირობა. ე.ი. დავადგინოთ ე.წ. „ჰესიანის“ გადაგვარების პირობა [62]. შემოვიტანოთ აღნიშვნა:

$$H = \left(\frac{d^2 E_3}{d_{y_i} d_{y_j}} \right)_{ij} \quad \text{სადაც } i, j = 1, 2 \quad (6.30)$$

პოტენციური ენერჯის მეორე რიგის კერძო წარმოებულის პონის შემდეგ (6.30) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$H = \begin{vmatrix} 2Db^2 & 2Db \\ 2Db & 2D \end{vmatrix} = 0 \quad (6.31)$$

(6.31) დამოკიდებულების დეტერმინანტი ტოლია:

$$\det(H) = 4D^2b^2 - 4D^2b^2 = 0 \quad (6.32)$$

ე.ი. მორსის ლემის პირობა არ სრულდება და მაშასადამე, კრიტიკული წერტილი არაიზოლირებული გადაგვარებული წერტილია, ანუ არ წარმოადგენს მორსის კრიტიკულ წერტილს, რადგან $\Delta E_3 = 0$ და $\det(H) = 0$, ამიტომ ვიყენებთ განცალკევების ლემას. ამისთვის საჭიროა ვიპოვოთ „ჰესიანის“ მახასიათებელი განტოლების საკუთრივი მნიშვნელობა. (2.35)-ის ამოხსნის შედეგად მივიღებთ:

$$\lambda_1 = 0, \lambda_2 = b^2 + 1, \quad (6.33)$$

რადგან $\lambda_1 = 0$ და $\lambda_2 \neq 0$, ამიტომ საწყისი შინაგანი ორი ცვლადიდან ცვლადთა ლოკალური გარდაქმნით გადაგვარდა მხოლოდ ერთი ცვლადი, ეს კი იმას ნიშნავს, რომ პოტენციური ენერგია ცვლადთა გარდაქმნის შემდეგ მიიღებს სახეს [62]:

$$E_3 = \text{cat}(Y, k) + f_m(X_2), \quad (6.35)$$

სადაც $\text{cat}(Y, k)$ კატასტროფების ფუნქცია, Y – ცვლადთა რაოდენობა, k – პარამეტრების რაოდენობა, f_m – მორსის კვადრატული ფორმა. ჩვენს შემთხვევაში $Y=1, k=1$, ამიტომ ტომას თეორიის თანახმად

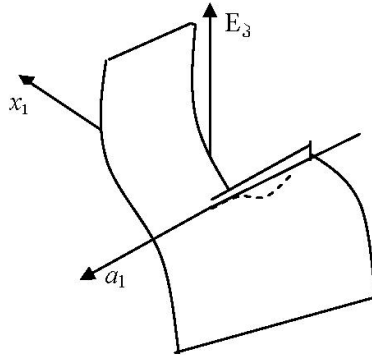
$$\text{cat}(1,1) = x_1^3 + a_1 x_1 \quad (6.36)$$

მიღებული კატასტროფა წარმოადგენს ტომას შვიდი კატასტროფიდან ე.წ. „ნაკეცის“ კატასტროფას.

პოტენციური ენერგიის ლოკალური სახე კოორდინატთა სათავეში ნაჩვენებია ნახ. 6.5-ზე.

პოტენციური ენერგიის კრიტიკული მნიშვნელობა კი ტოლია

$$x_1 = \pm \sqrt{-\frac{1}{3} a_1}. \quad (6.37)$$

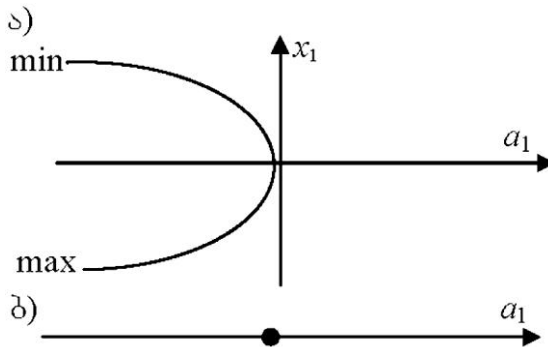


ნახ. 6.5. პოტენციური (E_p) ენერჯის გრაფიკი

როგორც (6.37) გამოსახულებიდან ჩანს, ფუნქციის ლოკალური მინიმუმია

$$x_1 = -\sqrt{-\frac{1}{3}a_1}, \quad (6.38)$$

რომლებშიც იმყოფება ფაქტობრივად ზემოთ აღწერილი მოვლენა a_1 პარამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის (ნახ. 6.6).



ნახ. 6.6. კრიტიკული წერტილები

ა) ლოკალური მინიმუმები და მაქსიმუმები;

ბ) ბიფურკაციის წერტილი

როგორც ჩანს, პარამეტრის უარყოფითი მნიშვნელობისათვის პოტენციურ ენერგიას აქვს ერთი ლოკალური მინიმუმი, ხოლო დადებითი მნიშვნელობისათვის საერთოდ არ აქვს, რაც იმას მიუთითებს, რომ $a_1 = 0$ წერტილში პოტენციური ენერგია განიცდის ნახტომს და ფიზიკური მოვლენა გადადის სხვა მდგომარეობაში, რომელსაც ჩვენი მათემატიკური მეთოდი არ აღწერს. ე.ი. $a_1 = 0$ წერტილში იწყება ზღვრულ წონასწორობაში მყოფი თოვლის ზვავის მოძრაობა. ამ წერტილს ეწოდება ბიფურკაციის წერტილი და იგი ერთადერთია [15, 62].

ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები

- საქართველოში 2008 წლის აგვისტოს თვეში გაჩენილი ხანძრის შედეგად გადაიწვა 1003 ჰექტარი ტყის ფართობი, აქედან 250 ჰექტარი გადამწვარია მთლიანად. საერთო ზარალმა 1 მილიარდ 212 მილიონ 595 ათასი ლარი შეადგინა;
- გადამწვარ ტერიტორიაზე განხორციელებული საინჟინრო-ეკოლოგიური გამოკვლევებით დადგინდა, რომ მთლიანად გადამწვარი 250 ჰექტრიდან, სენსიტიურ - ძლიერ ეროზიულ უბნებს მიეკუთვნება 191 ჰექტარი ტყის ფართობი, რომლებიც ამჟამად მიეკუთვნება ეროზიის მეორე კლასს და ინგლისელი პროფესორის, რ. მორგანის სკალის გათვალისწინებით, შეესაბამება ეროზიის ინტენსივობას წელიწადში 2-5 ტ/ჰა-ზე;
- სენსიტიურ უბნებზე აღებული ნიადაგის ანალიზის მონაცემები ადასტურებს, რომ ადვილად ხსნადი მარილების საერთო რაოდენობა ნიადაგის ზედა ფენებში შეადგენს 2%-ს. ჰუმუსის შემცველობა ძალიან მცირეა – 1.25%-ს აღწევს. ნიადაგი უმეტესად კარბონატულია, ღარიბია საკვები ელემენტებით. შთანთქმული Na -ის რაოდენობა ტევადობის 2.34%-ს შეადგენს, რაც დასაშვებ ნორმაზე მეტია. ნიადაგებისათვის დამახასიათებელია მცირე რაოდენობით სოდის შემცველობა, საერთო ტუტეობა საკმაოდ მაღალია და ტოქსიკურ ზღვარს აღწევს. ქლორის შემცველობა სიდრმეში მატულობს და მცენარეებისათვის საშიშ ზღვარზე მეტია. ამ მონაცემებიდან გამომდინარე, შესწავლილ

ნიადაგს დაკარგული აქვს სტრუქტურა და ხასიათდება წყლისა და ქარისმიერი ეროზიის მიმართ დიდი სენსიტიურობით;

- გადამწვარ ტყის ფერდობებზე წარმოქმნილი ეროზიის საწინააღმდეგოდ შემოთავაზებულია ახალი საინჟინრო-ეკოლოგიური კონსტრუქციები და მოწყობილობები, რომელთა მეცნიერულ-ტექნიკური სიახლის პრიორიტეტებიც დამოწმებულია საქართველოსა და საზღვარგარეთის პატენტებით;
- აკადემიკოს ცოტნე მირცხულავას მიერ მსოფლიოში ცნობილი ეროზიული პროცესების პროგნოზირების მეთოდოლოგიის გამოყენებით ეროზიის საწინააღმდეგო ახალი კონსტრუქციების დაპროექტებისათვის დამუშავებულია გაანგარიშების მეთოდი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს მთის ფერდობის ტოპოგრაფიული, ნიადაგობრივი, გეოლოგიური, კლიმატური, ჰიდროლოგიური და წყლის ზედაპირული ნაკადის ჰიდრაულიკური პარამეტრების გამოყენებით ვიანგარიშოთ ეროზიის საწინააღმდეგო ზვინულებს შორის მანძილი, რომელიც უზრუნველყოფს მთის ფერდობის მდგრადობას საიმედოობის ელემენტების გათვალისწინებით;
- 2010 წლის აგვისტო-სექტემბერში ჩატარებული კვლევების თანახმად, ბორჯომის მუნიციპალიტეტის დაბა წაღვერის ტერიტორიაზე გადამწვარ ტყის მასივებში ფორმირებული ბუნების სტიქიური მოვლენების რეგულირების მიზნით აუცილებელია განხორციელდეს ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების საწინააღმ-

დეგო პრევენციული საინჟინრო-ეკოლოგიური, სატყეო-მელიორაციული და კომპლექსური სახის ღონისძიებები. წინააღმდეგ შემთხვევაში, საშიშროება დამუქრება არა მარტო დაბა წალვერის ტერიტორიაზე გადამწვარი ტყის ლანდშაფტებში განთავსებულ მთის ფერდობების ეკოლოგიურ მდგრადობას, არამედ ამ სოფელში და მიმდებარე ტერიტორიაზე განთავსებული მოსახლეობის სიცოცხლესაც.

- ღვარცოფების რეგულირებისა და მთის მდინარეთა კალაპოტების ეფექტური სტაბილიზაციის მიზნით წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტში დამუშავებულია ტრამპლინის ტიპის ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ახალი კონსტრუქციები, რომელთა მუშაობის საიმედოობა და ღვარცოფების დინამიკური ძალის მყისიერი ჩაქრობის ეფექტი დადგენილია ლაბორატორიული ცდების საშუალებით;
- ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ჰიდრაულიკური გაანგარიშებისათვის ჩატარებულმა ლაბორატორიულმა ცდებმა დაგვანახა, რომ კონსტრუქცია მუშაობს საიმედოდ, სწრაფად აქრობს ღვარცოფის კინეტიკურ ენერგიას და ეფექტურია მთის მდინარეთა კალაპოტის სტაბილიზაციისათვის, რაც საშუალებას გვაძლევს რეკომენდაცია გაუწიოთ პრაქტიკაში მათ სერიულ გამოყენებას;
- საიმედოობისა და რისკის თეორიის გამოყენებით შეფასებულია ტრამპლინის ტიპის ახალი კონსტრუქციების საიმედოობა და მწყობრიდან გამოსვლის რისკი

ნაგებობაზე ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალითა და ღვარცოფული მასით გამოწვეული წონით დატვირთვის ცალ-ცალკე და ერთდროულად მოქმედების შემთხვევაში;

- ნაგებობის მწყობრიდან გამოსვლის მიღებული რისკის მინიმალური მნიშვნელობა ($R_0 = 0.234$) საშუალებას გვაძლევს ტრამპლინის ტიპის ტრაპეციული ფორმის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კაშხალს გავუწიოთ რეკომენდაცია მისი მშენებლობისათვის.
- მთათუშეთის ტერიტორია და კერძოდ, სოფ. ჯვარბოსლის მიმდებარე ფერდობები უკიდურესი სენსიტიურობით ხასიათდება, რაც გამოწვეულია ფერდობების დიდი ქანობითა და ნიადაგ-გრუნტების წყლის ნაკადების მიმართ სუსტი წინააღმდეგობით;
- სოფელ ჯვარბოსლის მიმდებარე ფერდობზე შედარებით ახლად წარმოშობილი თხიერი ჩამონადენის ზემოქმედებით წარმოშობილი ხევი, სიგრძით 185 მ და საშუალო სიღრმით 5-10 მ, შემდგომ პროგრესირებას განიცდის. ხევში ეროზიული პროცესები ამჟამადაც ინტენსიურად მიმდინარეობს;
- ხევის სტაბილიზაციისა და ეროზიული პროცესის შეჩერების თუ არა, შემცირების მიზნით მაინც, რეკომენდებულია მის მთელ სიგრძეზე 2-2 მ სიმაღლის ოთხი ბეტონის წყალსაშვიანი კაშხლის მოწყობა;
- კაშხლის ზომებისა და რაოდენობის დადგენას წინ უსწრებდა ჰიდროლოგიური და ჰიდრაულიკური გაანგარიშება 1% უზრუნველყოფის წყლის ხარჯის

ფორმირების გათვალისწინებით;

- ხევე მცირე ზომის კაშხლების მოწყობის გარდა, მიმდებარე ტერიტორიის მდგრადობის უზრუნველყოფის მიზნით განხორციელდა სატყეო-სამელიორაციო ღონისძიებები წინასწარ შერჩეული, ადგილობრივი პირობებთან ადაპტირებული ხის ჯიშების განაშენიანებით;
- ხევის კალაპოტში საინჟინრო სამუშაოების დამთავრებისა და ნაგებობათა სისტემის ექსპლუატაციაში შესვლის შემდეგ საჭიროა მუდმივი თვალყურის დევნება წარმოშობილი უწყესივრობების დროულად და კვალიფიციურად ლიკვიდაციის მიზნით;
- განსაკუთრებულ ყურადღებას ითხოვს კაშხლების ქვედა ბიეფი, რომლებიც ნაგებობის ზედა ბიეფის მყარი ჩამონადენით შევსების შემდეგ დაექვემდებარება გადმოდინებული ნატანდატვირთული ვარდნილი წყლის (ჩანჩქერის) დამანგრეველ ზემოქმედებას. გარეცხილი ფუნდამენტი სასწრაფოდ უნდა იქნეს აღდგენილი ნაგებობის მდგრადობის უზრუნველყოფის მიზნით;
- პროექტით გათვალისწინებული მთის ფერდობის გამაგრებულ მონაკვეთზე მცენარეული საფარის აღსადგენად საჭიროა გამოყენებულ იქნეს თივის ჩათესვა-მულჩირება. ეს საშუალებას მოგვცემს აღდგეს მცენარეული საფარი ადგილობრივი სახეობებით. პროექტით გათვალისწინებულ უბანზე შეტანილი თივა ასევე შეასრულებს ნიადაგის მულჩის

როლს, როგორც ნიადაგში ორგანული ნივთიერებების დამატების და ეროზიის პოტენციალის შემცირების საშუალება;

- თივა საჭიროა შექმნილ იქნეს ადგილობრივი ფერმერებისაგან, უშუალოდ მიმდებარე ტერიტორიებიდან. ეს განპირობებულია როგორც ლოჯისტიკური მოსაზრებებით, ასევე იმით, რომ თივის სათესლე ბანკი სახეობრივად შეესაბამებოდეს დასათესი უბნის მოთხოვნებს. ადგილობრივი მომწოდებლის შერჩევა უნდა განხორციელდეს თივის ხარისხის შედეგების შეფასების საფუძველზე. შესასყიდი თივა უნდა იყოს კარგად მომწიფებული. მისი გაშლა, მოსწორება შესაძლებელია მოთიბვიდან 1-2 კვირის ვადაში, ასევე შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს წინა წელს მოთიბული და სათანადო წესებით შენახული თივაც;
- თივის ჩათესვა-მულჩირებისათვის ოპტიმალური პერიოდია აპრილი-სექტემბერი. ჩასათესი თივა ნიადაგზე თხელ ფენად უნდა გაიშალოს. ადგილობრივი პირობების მიხედვით თივა შესაძლებელია გაიშალოს ხელით ან ტრაქტორის გამოყენებით. მისი გამოყენების ნორმაა 0,67 ტ/ჰა. ამ მონაკვეთისათვის დაცურებულ ფერდობებზე (0,5 ჰა) თივის ჩათესვა-მულჩირებისათვის საჭირო თივის რაოდენობაა - 0,34 ტონა;
- ქინვალის კაშხლის 0,25; 0,50; 0,75 ან 1%-იანი უზრუნველყოფის შესაძლო კატასტროფის შემთხვევაში მდ. არაგვისა და მდ. მტკვრის ნოღა კალაპოტში და მიმდებარე ტერიტორიაზე დადგენილია წყლით დატბორილი ტერიტორიების გეომეტრიული ზომები,

ტაღლის სიმაღლე, სიჩქარე და სხვა ძირითადი ტოპოგრაფიული და ჰიდროლოგიური მახასიათებლები;

- სიონის კაშხლის ავარიის შემთხვევაში მოცემულია ივრის ხეობაში დატბორილი ტერიტორიების ძირითადი გეომეტრიული მაჩვენებლები და დადგენილია დასახლებული პუნქტების ის ტერიტორიები, სადაც შესაძლებელია წყლის მასით დატბორვა;
- შაორისა და ლაჯანურის კაშხლების ავარიის შემთხვევაში დადგენილია დატბორილი ტერიტორიების ის ფართობები, სადაც შესაძლებელია საფრთხე შეექმნას არა მარტო მოსახლეობას, არამედ სხვადასხვა დანიშნულების სახალხო-სამეურნეო ობიექტებსაც;
- ენგურის კაშხლის ავარიის შემთხვევაში დიდი საშიშროების ქვეშ დგება ის მოსახლეობა, რომლებიც განთავსებულია როგორც მდინარე ენგურის მიმდებარე ტერიტორიებზე, ასევე 20–25 კმ-ით დაშორებულ ტერიტორიაზე, სადაც წყლის ტაღლის სიმაღლე 3–4 მ-ის ფარგლებში მერყეობს;
- საქართველოს მაღლივი კაშხლების შესაძლო ავარიის შემთხვევაში წარმოშობილი წყალდიდობების წარმოდგენილი მათემატიკური იმიტაცია საქართველოს მთავრობას მოსახლეობის დაცვის მიზნით შესაბამისი სამაშველო, სამოქალაქო თავდაცვის და სხვა სახის გადაუდებელი სამუშაოების ჩატარებისათვის დაგეგმვის საშუალებას უსახავს;
- კატასტროფების მათემატიკური თეორიის გამოყენებით დადგენილია ზღვრულ წონასწორობაში მყოფი თოვლის ზეგვის პოტენციური ენერჯის ცვალებადობა.

დადგინდა, რომ მთის ფერდობზე დაგროვილი თოვლის ზვავის ზღვრული წონასწორობიდან გამოსვლა აღიწერება ნაკეცის კატასტროფით. წარმოდგენილი მეთოდოლოგია საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ თოვლის ზვავის მოძრაობის დაწყების თვისობრივი თავისებურება ალგებრული კოორდინატების მხედველობაში მიღებით.

რეზიუმე

- ნაშრომში განხილულია საქართველოში 2008 წლის აგვისტოში საომარი მოქმედებების შედეგად გადამწვარი ტყის მასივების ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ზარალის შეფასება და მთის ფერდობებზე ნიადაგის ეროზიისაგან დამცავი ღონისძიებები, რომელშიც წარმოდგენილია:
 - ბორჯომისა და გორის რაიონში გადამწვარი ტყის მასივების საერთო მდგომარეობა;
 - გადამწვარი ტერიტორიების ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ზარალის გაანგარიშება;
 - ნიადაგის ეროზიული პროცესების პროგნოზირება და ეროზიის საწინააღმდეგო რესურსმზოგი ახალი კონსტრუქციები მათი დაპროექტების გაანგარიშების მეთოდებით.
- დამუშავებულია მდინარე არაგვის წყალშემკრებ აუზში მიმდინარე ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების პროგნოზი მდინარე დუშეთის ხევისა და მღეთის ხევის მაგალითზე.
- შვეიცარიის განვითარებისა და თანამშრომლობის სააგენტოს (SDC) დაფინანსებით წარმოდგენილია ლენტეხისა და ცაგერის რაიონებში ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების, წყალდიდობების საწინააღმდეგო საინჟინრო და ფიტომედიორაციული ღონისძიებები, რომლებიც განხორციელებულია მდინარე ტუმბრას მარცხენა, ეროზირებულ-დამეწყრილ ფერდობზე ბუშ-ლაგების მოწყობით და მდინარე ტუმბრას მარჯვენა

შენაკადზე ხევის კალაპოტის სტაბილიზაციისათვის ხის ბარაჟების მონტაჟით (ლენტეხი).

- მდინარე ცხენისწყალზე ლენტეხისა და ცაგერის რაიონებში ტერიტორიების წყალდიდობისაგან დაცვის მიზნით განხორციელდა ქვის დეზებისა და გაბიონების დაპროექტება და მშენებლობა.
- მსოფლიო საინჟინრო პრაქტიკის გათვალისწინებით, ღვარცოფების ეფექტური რეგულირების მიზნით დამუშავებულია ტრამპლინის ტიპის ტრაპეციული ფორმის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კაშხალი, რომლის სიახლეც დამოწმებულია შესაბამისი პატენტის მოწმობით.
- საიმედოობისა და რისკის თეორიის გამოყენებით შეფასებულია ტრამპლინის ტიპის ახალი კონსტრუქციების საიმედოობა და მწყობრიდან გამოსვლის რისკი, ნაგებობაზე ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალისა და ღვარცოფული მასით გამოწვეული წონითი დატვირთვით, ცალ-ცალკე და ერთდროულად მოქმედების შემთხვევაში.
- გარემოს დაცვისა და ბუნებრივი რესურსების სამინისტროს მდგრადი განვითარების პროექტების განმახორციელებელ სააგენტოს დაკვეთით (დამფინანსებელი მსოფლიო ბანკი, კონტრაქტი №SDPIA/PADC/CQ-07) განხორციელებულია ახმეტის რაიონში, კერძოდ, მთათუშეთის სოფელ ჯვარბოსლის მიმდებარე ტერიტორიაზე წარმოშობილი ხევისა და ფერდობის გამაგრების საინჟინრო, ფიტო- და სატყეო მელიორაციული კომპლექსური ღონისძიებები, რომლებიც მთის ფერდობისა და ხევის მდგრადობის, ასევე მოსახლეობის

უსაფრთხოების გარანტიას იძლევა.

- სხვადასხვა უზრუნველყოფის რისკის მხედველობაში მიღებით დამუშავებულია საქართველოს მაღლივი კაშხლების: ჟინვალის, სიონის, ლაჯანურის, ენგურის და შაორის შესაძლო ავარიის შემთხვევაში წარმოშობილი წყალდიდობების მათემატიკური იმიტაცია.
- კატასტროფების თეორიის გამოყენებით შეფასებულია მცირე სიმძლავრის მეწვერისა და თოვლის ზევის მოძრაობის დაწყების ხარისხობრივი ანალიზი, რომელიც აღნიშნული პროცესების პროგნოზირების საშუალებას იძლევა.
- ნაშრომი ეხმიანება კატასტროფების შემცირების საერთაშორისო სტრატეგიის (ISDR) 2005-2015 წწ. ჰიოგოს (18-22 იანვარი, 2005, ქ. კობე, იაპონია) ჩარჩო დოკუმენტს.

SUMMARY

- The work deals with the estimation of ecological and economic damage to the forest tracts burnt as a result of the hostilities in August 2008 in Georgia and the measures of protecting the soil on mountains from erosion; it presents the general condition of the burnt forest tracts in the districts of Borjomi and Gori, and calculation of the ecological and economic losses of the burnt territories, the soil erosional processes are predicted and new anti-erosional resource-saving constructions, with methods of calculating their design are presented.
- The erosional-mudflow processes in the Aragvi catchment basin are forecast, as exemplified by the Dushetis-khevi and Mletis-khevi rivers.
- Engineering and phytoamelioration measures, funded by the Swiss Agency of Development and Cooperation (SDC), are presented against erosional-mudflow processes in Lentekhi and Tsageri districts. The measures are implemented on the left eroded and landslide-affected slope of the river Tumbra, by setting up Bushlage and mounting wooden barrages toward stabilization of the bed of the right tributary of the Tumbra (Lentekhi).
- In Lentekhi and Tsageri districts in order to protect territories on the Tskhenistsqali river stone spurs and gabions were designed and built.
- Taking into consideration the world engineering practice, a spring-board type trapezoid anti-mudflow dam was developed for effective regulation of mudflows, whose novelty is confirmed by a relevant patent certificate.

- Using the theory of reliability and risk, the reliability and risk of failure of a spring-board type new design is assessed for the case of separate and simultaneous action of the dynamic impact force of a mudflow and the weight load caused by the mudflow mass on the structure.
- On the order of the Agency for Implementing Projects of Stable Development of the Ministry of Environmental protection and Natural Resources (funded by the World Bank, contract № SDPIA/PADC/CQ-07) complex engineering, phyto and forest reclamation measures have been implemented in order to strengthen the newly-formed ravine and slope on the territory adjoining the Mtatusheti village of Jvarboseli, Akhmeta district, guaranteeing the stability of the mountain slope and ravine. Taking into account the presence of various risks, a mathematical imitation of high waters arising in the case of possible breakdown of Georgia's high dams of Zhinvali, Sioni, Lajanuri, Enguri and Shaori has been worked out.
- Using mathematical theory of catastrophe the variability of potential energy of avalanche, which is in boundary equilibrium, has been determined. It has been established that the exist from boundary equilibrium of the avalanche accumulated on mountain slope is described by the catastrophe of the fold. This makes possible to determine the peculiarity of the onset of avalanche motion with account of algebraic coordinates.
- The work is a response to the Hyogo (18-22 January, 2005, Kobe, Japan) framework document of the international strategy for disasters reduction (ISDR) 2005-2015.

РЕЗЮМЕ

- В работе рассматриваются экологически-экономическая оценка ущерба сожженных лесных массивов в результате военных действий в Грузии в августе 2008 года и защитные мероприятия от эрозии почв на горных склонах, в которой представлены: общее состояние сожженных лесных массивов в Боржомском и Горийском районах, расчет экологически-экономического ущерба сожженных территорий; представлено прогнозирование эрозионных процессов почвы и противоэрозионные ресурсосберегающие новые конструкции с методом расчета их проектирования.
- Разработан прогноз эрозионно-селевых процессов, протекающих в водосборном бассейне реки Арагви на примере ущелий рек Душети и Млетис Хеви.
- Представлены инженерные и фитомелиоративные мероприятия по борьбе с эрозионно-селевыми процессами и наводнениями в Лентехском и Цагерском районах, профинансированные Швейцарским агентством по развитию и сотрудничеству (SDC), которые осуществлены на левом эрозионно-оползневом склоне реки Тумбра с устройством бушлагов и монтажом деревянных барражей для стабилизации русла на левом притоке реки Тумбра (Лентехи).
- Для защиты территорий от наводнений на реке Цхенисцкали в Лентехском и Цагерском районе осуществлено проектирование и проведены соответствующие строительные работы каменных шпор и габионов.
- С учетом мировой инженерной практики, с целью эффективного регулирования сея, разработана противоселевая плотина трамплинного типа трапециидальной формы,

новизна которой защищена соответствующим патентом.

- С использованием теории надежности и риска произведена оценка надежности и риска выхода из строя конструкции силой динамического удара селя и селевой массы, вызванных весовой нагрузкой селя в случае действия их новые конструкции трамплинного типа – раздельно и одновременно.
- По заказу Агенства осуществления проектов устойчивого развития Министерства защиты окружающей среды и природных ресурсов (финансирование: Мировой банк, контракт № SDPIA/PADC/CQ-07) в Ахметском районе, в частности, на территории, прилегающей к селу Джварбосели, в Мтатушети осуществлены инженерные, фито и лесомелиоративные комплексные мероприятия по укреплению возникшего ущелья и склона, которые дают гарантию их устойчивости.
- Принимая во внимание риск разной обеспеченности, разработана математическая имитация наводнений, образованных в случае возможных аварий высоких плотин Грузии на примере плотин Жинвали, Сиони, Ладжанури, Ингури и Шаори.
- С помощью математической теории катастроф определены критериальные значения сдвига маломощных оползней и снежных лавин, которые дают возможность прогнозирования вышеуказанных процессов.
- Работа созвучна международной стратегии (ISDR) по сокращению катастроф Рамкового документа Хьюго 2005-2015 гг.(18-22 ,январь, 2005, г. Кобе, Япония).

ლიტერატურა

1. **Ayyub B.M.** – Risk Analysis Engineering and Economics – A CRC Press Company. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C., 2003, 571 p.
2. **Гавардашвили Г.В., Шарангია Р.Л.** – Устройство для борьбы с эрозией. Авт. св. СССР №1783042, Бюлл. №47, М.: 1992, с. 156.
3. **Gavardashvili G.V.** – The New Mud-Protective Structures and Their Calculation Methodology. Tbilisi, Republic of Georgia, 1995, 58 p.
4. **Gavardashvili G.V.** – Les Nouvelles Espèces Des Constructions De la Nature. Tbilisi, „Metsniereba” 1999, 42 p.
5. **Гавардашвили Г.В.** – Оценка надежности новых противоселевых сооружений трамплинного типа. Труды международной конференции по русловым процессам, гидравлике трубопроводного транспорта, гидротехнических сооружений и вопросам гидроэнергетики. Тбилиси, 2000, ст. 111-112.
6. **Гавардашвили Г.В.** – Новые природозащитные конструкции и вопросы их надежности. Труды международного симпозиума по проектированию гидротехнических сооружений и проблемы их эксплуатации. ГТУ, Тбилиси, 2000, ст. 152-156.
7. **Гавардашвили Г.В.** – Разработка схем расположения противоселевых сооружений на горных реках. Труды международной конференции по теме "Эрозионно-селевые явления и некоторые смежные проблемы". Тр. института Грузгидроэкологии. Тбилиси, 2001, с. 33-39.
8. **Гавардашвили Г.В., Топуридзе З.Р.** – Оценка надежности

- горных склонов Грузии в коридоре нефте-трубопровода Баку-Супса. //Жур. “Инженерная экология”, Москва, №5, 2002, с.39-47.у
9. **Gavardashvili G.V.** – Ecological equilibrium of the mudflow water courses along the Georgian Military Road (methods of reliability and risk). //Engineering Ecology, №2, Moscow, 2002, pp. 11-17 (in Russian).
 10. **გავარდაშვილი გ.ვ.** – მდინარე დურუჯის აუზში ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების პროგნოზირება და მათი საწინააღმდეგო ახალი საინჟინრო-ეკოლოგიური ღონისძიებები. “მეცნიერება”, თბილისი, 2003, 116 გვ.
 11. **Гавардашвили Г.В.** - Оценка эрозионных процессов горных ландшафтов в "коридоре" нефте-газопроводов. //“Инженерная экология”, Москва, №6, 2003, с. 51-57.
 12. **გავარდაშვილი გ., წულუკიძე ლ.** – მთის ფერდობის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა. საქართველოს პატენტი №1080U, ბიულ. №5 (153), თბილისი, 2004, გვ. 18.
 13. **გავარდაშვილი გ., წულუკიძე ლ.** – მთის ფერდობის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა. საქართველოს პატენტი №1118, ბიულ. №15 (163). თბილისი, 2004, გვ. 22.
 14. **Gavardashvili G.V.** – Assessment of the ecological reliability of rivers of mudflow character of Georgia, Material of 13th International Conference on Transport and Sedimentation. September 18-20. Tbilisi, 2006, pp. 86-96 (in English).
 15. **Gavardashvili G.V., Tsulukidze L.N.** – Analysis of the Onset of Avalanche Motion Using the Theory of Catastrophes. Bull. of The Georgian National Academy of Sciences. Tbilisi, T. 173, №2, 2006, 396-399.

16. **Gavardashvili G.V., King L., Schaifer M.** – Debris Flows at the river Mletis-khevi (Greater Caucasus Mountains, Georgia) and it's Assessment. Methods. Center for International Development and Environmental Research. Giessen University, №32, Giessen, 2007, Germany. 15 p. (in English). *ww.unigiessen.de.zeu.*
17. **Gavardashvili G.V.** – Prediction of river-bed deformations of mudflow character water courses. Tenth. Int. Sump. of River-bed Sediment. Moscow, 1-4 August, 2007, pp 194-202. (in English).
18. **Гавардашвили Г.В.** – Эрозионно-селевые процессы и солнечная активность. //Экологические системы и приборы, №2, М., 2007, с. 50-53.
19. **Gavardashvili G.V.** – New designs of spring-board type drift-trapper and the methodology for their calculation. Material of an 14th International Conference on Transport and Sedimentation. June 23-27. Saint Petersburg, Russia, 2008, pp. 128-136 (in English).
20. **გავარდაშვილი გ.ვ.** – მდინარე თეთრი არაგვის წყალ-შემკრებ აუზში ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების პროგნოზირება და მათი შეფასება. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული №63. თბილისი, 2007. გვ. 22-32.
21. **გავარდაშვილი გ.ვ.** – მდინარე მლეთის ხევის წყალ-შემკრებ 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.

22. გავარდაშვილი გ., წულუკიძე ლ., გავარდაშვილი ნ., კინგი ლ., შეფერი მ. – მთის ფერდობის ეროზიის საწინააღმდეგო ნაგებობა. საქართველოს პატენტი №9764A, ბიულ. №13 (257), თბილისი, 2008, გვ. 13.
23. **Gavardashvili G.V.** - New designs of spring-board type drift-trapper and the methodology for their calculation. Material of an 14th International Conference on Transport and Sedimentation. June 23-27. Saint Petersburg, Russia, 2008, pp. 128-136 (in English).
24. გავარდაშვილი გ. – გრუნტის ეროზიის საწინააღმდეგო მოწყობილობა. საქართველოს პატენტი, №925U, ბიულ. №15(115), თბილისი, 2002, გვ. 25.
25. **Gavardashvili G.V., Chakhaia G. G., Tsulukidze L.N.** – Assessment of the Stability of Debris-Flow Riverbeds in Transport Corridor of Georgia. //Problems of Applied Mechanics. International Scientific Journal. № 4 (13) Tbilisi, 2003, 43-46.
26. **Гавардашвили Г.В.** – Анализ выхода из строя противоселевого сооружения арочно-ступенчатой формы с применением теории катастроф. // Экологические системы и Приборы. №5, Москва 2006, 50-53.
27. გავარდაშვილი გ.გ., გავარდაშვილი ნ.გ., კასაბური ი.ა. – სტიქია საქართველოს სამხედრო გზის მღვთა-გუდაურის სერპანტიან უბანზე და მისი შეფასება. //ქურ. "მეცნიერება და ტექნოლოგიები", №7-9, თბილისი, 2006, გვ. 20-22.
28. **Gavardashvili G.V., Ayyub B. M., Sobota J., Bournaski E., Arabidze V.** – Simulation of Flood and Mudflow Scenarios in Case of Failure of the Zhinvali Earth Dam. International Symposium (With the support of UNESCO) on „FLOODS AND

MODERN METHODS OF CONTROL MEASURES”. 23-28 September 2009, Tbilisi, Georgia, pp.148-163

29. **გავარდაშვილი გ., ვართანოვი მ.** – საქართველოში 2008 წლის საომარი მოქმედების შედეგად გადამწვარი ტყის მასივების ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ზარალის შეფასება და მთის ფერდობებზე ნიადაგის ეროზიისაგან დამცავი ღონისძიებები. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული №64. თბილისი, 2009. გვ. 48-59.
30. **Gavardashvili G.V.** – Termination of Stability for the Spring-board Type Trapezoidal Dam Against Debris Flow Taking Into Account Static and Dynamic Loads of Debris Flow. The IV International conference on The Modern Problems of Environmental Engineering. 22-24 June, 2010 Wroclaw –Karpacz, Poland. pp. 17.
31. **Гавардашвили Г.В.** – Защита горных ландшафтов от стихийных явлений некоторых объектов стратегического назначения Грузии. Труды Таврического национального Университета им. В.И. Вернадского. Серия "География", том 23(62), №3, Симферополь, 2010, с.299 – 302.
32. **Gavardashvili G.V.** – Hydraulic Calculation of a New Spring-Board Type Trapezoidal Structure Against Debris Flow. 2-nd International Scientific and Technical Conference „Architecture and Construction – Contemporary Problems”. 30- September-3 October, 2010, Yerevan - Jermuk, Conference roceedings. Vol. 2, pp. 256-262.
33. **Гавардашвили Г.В.** - Компьютерная имитация наводнения в случае разрушения Ингурской плотины. Труды института водного хозяйства Грузии, №65, Тбилиси, 2010, 12 с.

34. **გაგარდაშვილი გ.გ.** – მდინარე ცხენისწყალზე ცაგერის რაიონის სოფელ ჭაღისთავში წყალდიდობის საწინააღმდეგო ღონისძიებები. საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“. სტუ, თბილისი, 2010, გვ. 274-276.
35. **Gavardashvili G.V.** – Forecast of Flooded Territories by Flooding in Case of Possible Accident of Shaori Rockfill Dam. The International Conference on „Protection of Agrobiodiversity and Sustainable Development of Agriculture“. November 24-25, 2010, Tbilisi, Georgia, pp. 295-299.
36. **Gagoshidze M.S.** – Debris-flow Processes and Measures for combating them. Tbilisi, 1970, 380 p. (in Russian).
37. **Gvelesiani T.L., Matcharadze G.T., Nonoev I.K., Nieto D. and Piccolo M.** – Results of Geodynamic Investigation at Enguri HPP as Base of Predicting the Extreme Hydrodynamic Processes in the Reservoir and the Dam Safety. Georgian Engineering News. #1, 2003.
38. **Гвелесиани Т.Л.** – Теория генерации волн в приложении к задачам гидроэкологии. Издательство «Универсал», Тбилиси, 2009, 245 с.
39. **Gvelesiani T.L.** – Mathematical Models of Transient Waves Generation in Problems of Environment. Tel-Aviv, 2010, 216 p.
40. **გიგაური გ., სუპატაშვილი ა., გიგაური გ. (უმცროსი)** – საქართველოს ტყეების საკურორტო რეკრეაციულ-ტურისტული მნიშვნელობა და მათში მეურნეობის გაძღოლის საფუძვლები. თბილისი, 2007, 252 გვ.
41. **King L., Metzler M., Jiang T.(eds)** – Flood Risk and Land Use Conflicts in the Yangtze Catchment, China and at the Rhine River. Germany. Peter Lang, Frankfurt am Main, 2001, 240 p.

42. **Kukhalashvili E.G., Gavardashvili G.V., Mamasakhlisi Zh.G., Undilashvili N.** – The theoretical Model of Mudflow in Erosional River Gullies at High Water. International Symposium (with the support of UNESCO) on „FLOODS AND MODERN METHODS OF CONTROL MEASURES”. 23-28 September 2009, Tbilisi, Georgia, pp. 285-291.
43. Гидроэлектростанции Грузии. Энергомашэкспорт, Москва, 1989, 50 с.
44. **Гришин А.М.** – Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, СО, 1992.
45. **Marshall, R.G., Ruban, T.F.** – Geotechnical aspects of pipeline construction in Alberta. Canadian Geotechnical Journal, 20: 1983, p. 1-10.
46. **Мелихов Н.С.** – Природа леса и лесные пожары. Архангельск: ОГНЗ, 1947.
47. **Мирицхулава Ц.Е.** – Об одном подходе прогнозирования крупных лесных пожарных опасностей, уязвимости и их повторяемости. //Экологические системы и приборы, №5, 2006. с. 39-50.
48. **Мирицхулава Ц.Е.** – Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. М.,1970,179 с.
49. **Мирицхулава Ц.Е.** – Основы физики и механики эрозии русел. Л., 1988., 303 с.
50. **Мирицхулава Ц.Е.** – Об общей методологии решения гидравлических задач с позиции надежности. В сб. Вопросы теории и практики надежности гидромелиоративных систем и сооружений. ГрузНИИГиМ, Тбилиси, 1989, с. 112-129.

51. **Мирцхулава Ц. Е.** – Надежность гидромелиоративных сооружений. М. Колос, 1974, 279 с.
52. **Mirtskhoulava Ts.E.** – Hazards and Risk (at some water and other systems. Types, Analysis, Assessment), 2 Books. Tbilisi, Metsniereba”, 2003, 807 p. (in Russian)
53. **Мирцхулава Ц.Е.** – Экологические нарушения (предсказание риска нарушения, меры по снижению опасности). Тбилиси 1993, 432 с.
54. **Morgan, R.P.C.** – Topics in Application Geography. Soil Erosion, Longmont, London, 1979, 114p
55. **ნადირაშვილი ვ., თოფურბე ზ.** – ეროზიის საწინააღმდეგო მიწის ზვინულებების ურთიერთდაშორების გამოთვლის მეთოდი. ეროზიულ-დვარცოფული მოვლენები და ზოგიერთი მომიჯნავე პრობლემები. საერთაშორისო კონფერენციის სამეცნიერო შრომათა კრებული, 2001, თბილისი, გვ. 172-177.
56. **ნატიშვილი ო.გ., ტევზაძე ვ.ი.** – Влияние волнового режима – движения водного потока по склону на интенсивность эрозии почв. Сборник научных трудов Института водного хозяйства Грузии. Тбилиси, 2005. с.146-149.
57. **ნატიშვილი ო.გ., ტევზაძე ვ.ი.** – Основы динамики селей. Тбилиси, 2007, 213 с.
58. **ნატიშვილი ო.გ., ტევზაძე ვ.ი.** – Установление высоты волны повышения при входе связанного селевого потока в напорных сооружениях. //ж. Гидротехническое строительство, М., №5, 2005, с. 20-26.
59. **Кранке А.Н.** – Динамика масс снега и льда. Л.: , 1985 , с. 391-419.
60. **Korn G., Korn T.** – Direktory in Mathematics M.: 1984, 831.

61. **Рабинович Б. М.** – Экономическая оценка земельных ресурсов и эффективности инвестиций. М., Филин, 1997.
62. **Poston T., Stiuart Ien.** – Teoria Katastrof. Moscow, 1980.
63. **Takahashi T.** (Head Investigator), Japan-China Joint Research on the Prevention from Debris Flow Hazards, Kyoto University, Japan, 1994, 195.
64. **Шойгу С. К.** – Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях. (Книга – 2). М. 1998, 176 с.
65. **Штеренлихт Д.В.** – Гидравлика, Энергоатомиздат, Москва 1984, 494 с.

გივი გავარდაშვილი

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

ბუნებრივი და ტექნოგენური კატასტროფებისას

მთის ლანდშაფტების უსაფრთხოების ღონისძიებები

Givi Gavardashvili

Doctor of Technical Sciences, Professor

**MEASURES FOR THE SAFETY OF MOUNTAIN
LANDSCAPES DURING NATURAL AND TECHNOGENIC
DISASTERS**

Гиви Гавардашвили

Доктор технических наук, профессор

**МЕРОПРИЯТИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ
ЛАНДШАФТОВ ПРИ ПРИРОДНЫХ И
ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФАХ**



Givi Gavardashvili – The Director of Georgian Water Management Institute (2005), the Doctor of Technical Sciences (1996), Professor (1998), the Academician of Engineering Academy (2007), Co-President of National Academy of Fazisi (2010).

Givi Gavardashvili – the Author of More than 130 Science Works, among them 4 Mono-

graphs in Georgian, English and French Languages, 4 Methodical Instructions, 2 Handbooks, 26 Inventions (10 foreign patents). More than 170 Environmental Projects are designed in Georgian Energy and Transport Corridors by him. He is the Expert of more than 20 Projects on Influence on Nature. He is the Chief Scientific Supervisor of 4 Doctors of Academic Degrees and 2 Master Students from abroad.

Givi Gavardashvili is a Member of the Governmental Committee for the Estimation of Burned Forests and Soils after Military Actions in Georgia in August, 2008.

Givi Gavardashvili – the Chairman, Co-Chairman and Participant of Grant Projects, Business Development Projects, Congresses, International Symposiums and Conferences Financed and Supported by International Organizations **UNESCO, NATO, EU, SDC, ASCE, UN, FAO, FB** and Dedicated to the Problems of Water Resources, Natural Disasters, Energy Security, Melioration and Environmental Protection.





ბიზი ბავარდაშვილი – სსიპ წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის დირექტორი (2005), ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი (1996), პროფესორი (1998), საინჟინრო აკადემიის აკადემიკოსი (2007), „ფაზისის“ საერთო აკადემიის თანაპრეზიდენტი (2010), 130-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშ-

რომის ავტორი, მათ შორის: 4 მონოგრაფია ქართულ, ინგლისურ და ფრანგულ ენებზე; 4 მეთოდური მითითება, 2 დამხმარე სახელმძღვანელო, 26 გამოგონება (მათ შორის 10 საზღვარგარეთის პატენტი); საქართველოს ენერჯო და სატრანსპორტო დერეფნებში დაპროექტებული გარემოსდამცავი ნაგებობების 170-ზე მეტი პროექტის ავტორი; გარემოზე ზემოქმედების შეფასების 20-ზე მეტი პროექტის ექსპერტი; 4 აკადემიური დოქტორისა და 2 საზღვარგარეთელი მაგისტრის სამეცნიერო ხელმძღვანელი; 2008 წ. აგვისტოში საქართველოში საომარი მოქმედების შედეგად გადამწვარი ტყეებისა და ნიადაგის შეფასების სახელმწიფო კომისიის წევრი, წყლის რესურსების პრობლემების, ენერგოუსაფრთხოების, მედიორაციისა და გარემოს დაცვის საკითხებში საერთაშორისო ორგანიზაციების (**UNESCO, NATO, EU, SDC, ASCE, UN FAO, FB**) მიერ დაფინანსებული მრავალი გრანტის, პროექტის, აგრეთვე

ბიზნესის ხელშეწყობი პროექტის ხელმძღვანელი და ძირითადი შემსრულებელი, საერთაშორისო კონგრესების, სიმპოზიუმებისა და კონფერენციების თავმჯდომარე და თანათავმჯდომარე.

