

საქართველოს იუნესკოს საქმეთა ეროვნული კომისია  
UNESCO Georgian National Commission

**ა(ა)იპ გარემოს დაცვის ეკოცენტრი**  
გაეროს ეკონომიკური და სოციალური საბჭოს  
(ECOSOC) საკონსულტაციო სტატუსის  
ორგანიზაცია

**ECOCENTER FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION**  
**The Organization in Category of Consultative Status with**  
**the Economic and Social Council (ECOSOC) of UN**



**unesco**

Georgian  
National Commission  
საქართველოს იუნესკოს  
საქმეთა ეროვნული  
კომისია



The Organization in Category of  
Consultative Status with the  
Economic and Social Council  
(ECOSOC) of UN

**ბუნებრივი კატასტროფების პროგნოზირება და  
რისკების შემცირების ინოვაციური ღონისძიებები**  
**ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი**

**პროექტის ხელმძღვანელი:**

**გივი გავარდაშვილი**  
*საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის  
აკადემიკოსი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,  
პროფესორი*

**თბილისი - 2023**

UDC (უკ) 551.311.4

ღ-48

საქართველოს იუნესკოს საქმეთა ეროვნული კომისია  
UNESCO Georgian National Commission

ა(ა)იპ გარემოს დაცვის ეკოცენტრი  
გაეროს ეკონომიკური და სოციალური საბჭოს  
(ECOSOC) საკონსულტაციო სტატუსის  
ორგანიზაცია

**ECOCENTER FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION**  
**The Organization in Category of Consultative Status with**  
**the Economic and Social Council (ECOSOC) of UN**

მასალა გამოიცა გაერთიანებული ერების განათლების,  
მეცნიერებისა და კულტურის ორგანიზაციის (UNESCO)  
2022 - 2023 წ.წ. “მონაწილეობის პროგრამის” ფინანსური  
მხარდაჭერით

წიგნი 2

© გ.ვ. გავარდაშვილი

ISBN 978-9941-33-248-7

თბილისი, 2023

**ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური  
ბარაჟის საცდელ-საექსპერიმენტო  
ნაგებობის კონსტრუქცია**



## პროექტის შემსრულებლები

#	სახელი, გვარი	სამეცნიერო ხარისხი	როლი პროექტში
1	<b>გივი გავარდაშვილი</b>	აკადემიკოსი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი	პროექტის ხელმძღვანელი და შემსრულებელი
2	<b>ედუარდ კუხალაშვილი</b>	ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი	პროექტის შემსრულებელი
3	<b>ინგა ირემაშვილი</b>	ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი (აკადემიური დოქტორი), პროფ.	პროექტის შემსრულებელი
4	<b>კონსტანტინე ზზიავა</b>	ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი (აკადემიური დოქტორი)	პროექტის შემსრულებელი
5	<b>მარინა მღებრიშვილი</b>	ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი (აკადემიური დოქტორი)	პროექტის შემსრულებელი
6	<b>შორენა კუპრეიშვილი</b>	ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი (აკადემიური დოქტორი), პროფ.	პროექტის შემსრულებელი
7	<b>თამრიკო სუპატაშვილი</b>	აგროინჟინერიის აკადემიური დოქტორი	პროექტის შემსრულებელი

8	<b>ნათია გავარდაშვილი</b>	საზოგადოებრივი გეოგრაფიის აკადემიური დოქტორი	პროექტის შემსრულებელი
9	<b>ანა გავარდაშვილი</b>	ინფორმატიკის აკადემიური დოქტორი	პროექტის შემსრულებელი
10	<b>გიორგი ნატროშვილი</b>	აგროინჟინერიის აკადემიური დოქტორი	პროექტის შემსრულებელი
11	<b>ალექსანდრე წაქაძე</b>	ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი (აკადემიური დოქტორი)	პროექტის შემსრულებელი
12	<b>ზაზა გიორგობიანი</b>	მაგისტრი, ინჟინერ- მშენებელი	პროექტის შემსრულებელი
13	<b>ქეთევან დადიანი</b>	მშენებლობის აკადემიური დოქტორი	პროექტის შემსრულებელი
14	<b>ნანა ბერაია</b>	მშენებლობის აკადემიური დოქტორი	პროექტის შემსრულებელი
15	<b>ხათუნა კვიციანი</b>	მშენებლობის აკადემიური დოქტორი	პროექტის შემსრულებელი
16	<b>ლია მაისაია</b>	მშენებლობის აკადემიური დოქტორი	პროექტის შემსრულებელი
17	<b>ლაშა თოფურია</b>	მაგისტრი, ინჟინერ- გეოლოგი	პროექტის შემსრულებელი
18	<b>თენგიზ მალაფერიძე</b>	მაგისტრი, ინჟინერ ჰიდროლოგი	პროექტის შემსრულებელი
19	<b>ზურაბ გოგუაძე</b>	მაგისტრი, ინჟინერ- ეკონომისტი	პროექტის შემსრულებელი

## შინაარსი

<i>№</i>	<i>სამუშაოს დასახელება</i>	<i>გვ.</i>
1.	ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი .....	<b>7</b>
2.	ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის მდინარის კალაპოტში დაპროექტება .....	<b>10</b>
3.	ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის კონსტრუქციული გაანგარიშება.....	<b>20</b>
4.	მდინარე მლეთის ხევის კომპლექსური შეფასება.....	<b>28</b>
5.	მდინარე მლეთის ხევის კალაპოტის ტრანზიტულ ნაწილში ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის განთავსება .....	<b>33</b>
6.	მლეთის ხევის კალაპოტში მიმდინარე ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების პროგნოზირება .....	<b>35</b>
7.	ლიტერატურა .....	<b>40</b>

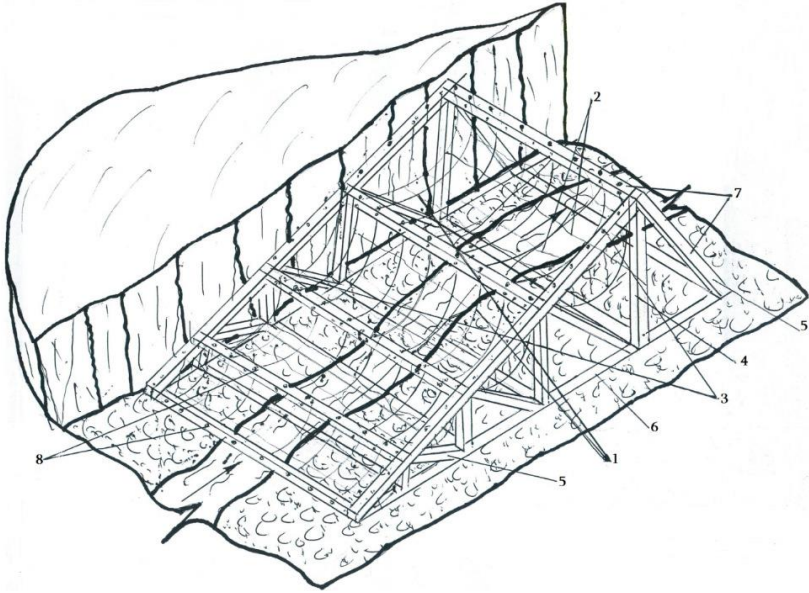
## 1. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი

გარემოს დაცვაში ეკოლოგიური წონასწორობის მდგრადობისა და სტაბილურობის გარანტს ეფექტური ნაგებობის შექმნა წარმოადგენს, ე.ი. ნაგებობათა ისეთი სახეები, რომელთა სიხისტე ნაკადის დამრტყმელ ძალასთან მიმართებაში მინიმუმამდეა დაყვანილი, ხოლო კონსტრუქციული ელემენტების ფორმა და სამშენებლო ზომები დაზუსტებული მეთოდოლოგიის გამოყენებით არის გაანგარიშებული. სტიქიათა ნაგებობაზე ზემოქმედება მის ანომალურობაზე დამოკიდებული.

ზემოთ აღნიშნულთან ერთად, ინოვაციურ ნაგებობათა სხვადასხვა სახის ნაკადების სადინარებში მოწყობის დროს, კონსტრუქციული ელემენტების შერჩევასა შეიძლება წარმოიშვას რისკები ახალი მეთოდოლოგიის გამოყენების შესაძლებლობებზე.

მეთოდურ რეკომენდაციებზე დაყრდნობით შემოთავაზებულია ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის (ნახ. 1.1) გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რომლის სიახლის პრიორიტეტი დაცულია საპატენტო მოწმობით.

არსებული სახეებისაგან განსხვავებით ნაგებობის ინოვაცია წარმოდგენილია კონსტრუქციულ გადაწყვეტაში. იგი შესრულებულია თანაბარი სიმაღლის მქონე, ფუძეებით ერთმანეთთან დაკავშირებული სამკუთხა პრიზმებით, რომელიც იდგმება ღვარცოფსადინარის კალაპოტში.



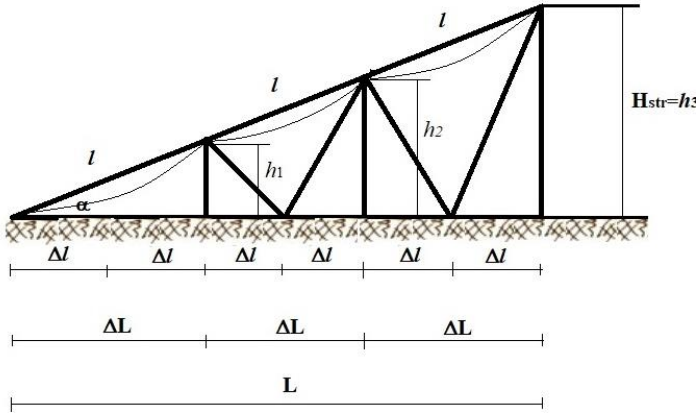
**ნახ. 1.1. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი**

ნაგებობის განივი კვეთის სიდიდე და სიგრძე ღვარცოფის სიმძლავრესა და სტრუქტურაზე დამოკიდებული. ნახ. 1.1-ზე მოცემული ნაგებობა შემადგენელი ელემენტების განლაგებით შემდეგი სახითაა წარმოდგენილი: სამკუთხა პრიზმები (3), პრიზმების ფუძეები (4), პრიზმების ფუძეების სიმაღლეები (5), პრიზმების წიბოები (6), ჩასამაგრებელი ტროსების ხვრელები (7) - ან ამ ადგილებზე შეიძლება მოეწყოს ბადეების ჩამოსაკიდი კაუჭები – გრძივი (1) და განივი (2) დრეკადი ბაგირები.

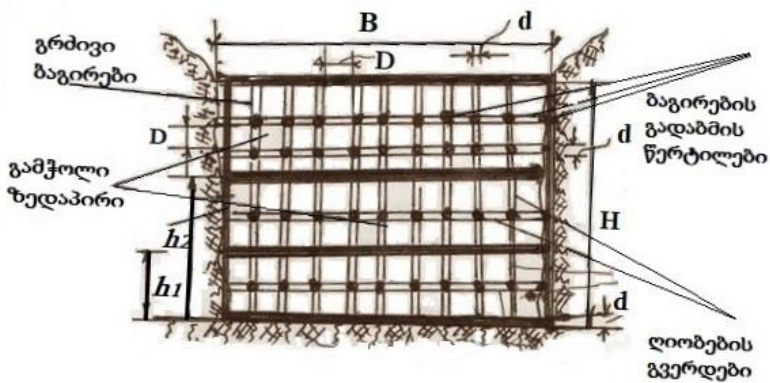
ნაგებობის სიმაღლე დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით იზრდება, ხოლო ვერტიკალურ სიბრტყეში გამჭოლი ღრეჩოს ფართობის სიდიდე სექციების მიხედვით უცვლელია.



ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების განლაგებისა და გაანგარიშების შესაძლებლობის სქემა მოცემულია ნახ. 1.2-სა და 1.3-ზე.



ნახ. 1.2. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის გრძივი ჭრილი



ნახ. 1.3. ნაგებობის განივი ჭრილი

ბაგირებით შექმნილი გამჭოლი ზედაპირი სწორკუთხა ფორმით არის წარმოდგენილი, რომელთა კვეთის ფართობი ნაგებობის სიმაღლეზე უცვლელია.

## 2. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის მდინარის კალაპოტში დაპროექტება

ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების შერჩევის დროს გამოიყენება სრულიად ახალი მიდგომები და გაანგარიშების მეთოდოლოგია. ნაგებობის სადაწნეო ზედაპირის ელასტიკურობის შემთხვევაში, როცა კალაპოტის სიგანე  $B$ -ს ტოლია და ნაკადის ზემოქმედება მის მთელ ზედაპირზე ხდება, კონსტრუქციული მდგრადობიდან გამომდინარე, სიმაღლე აიღება მისი სიგანის ნახევრის ტოლი  $H_{ნაგ.} = B/2$ . პრიზმებით შექმნილი სექციები სადინარის ზედაპირზე მიიღება ერთმანეთის ტოლი

$$\Delta L_1 = \Delta L_2 = \dots, \Delta L_n \quad (1)$$

— ნაგებობის სიგრძე, როცა სიმაღლე  $H$ -ის ტოლია,

$$L = \frac{H}{\sin \alpha}; \quad (2)$$

— ნაგებობის სიგრძე სექციების  $N$  რაოდენობიდან გამომდინარე,

$$L = N\Delta L; \quad (3)$$

— ნაგებობის სიმაღლე სექტორის სიგრძეებთან კავშირში,

$$H = \sin \alpha N\Delta L; \quad (4)$$

— ნაგებობის სიმაღლის სიგრძესთან ფარდობის ცვლილების ზღვრები:

$$\frac{1}{6} \leq \frac{H}{L} \leq \frac{5}{18}; \quad (5)$$

— ნაგებობის ფუძესთან დახრის კუთხე ნაკადის გარსდენის პრინციპიდან გამომდინარე

$$\alpha = (11 \div 13); \quad (6)$$

— ნაგებობის სექციებში ჩასაკიდებელი ბადეების სიგრძე-  
ები ( $\ell$ ):

$$\ell = \Delta L + \Delta h = \Delta L(1 + tg \alpha); \quad (7)$$

— ნაგებობის სიგანე  $B$ , როცა ცნობილია ბაგირების განივი  
კვეთის სიგანე  $d$  და ბაგირებს შორის დაშორება  $D$ :

$$B = nd + (n-1)D \text{ (მ)}; \quad (8)$$

— ნაგებობის სიმაღლე  $H$ , როცა მისი მნიშვნელობა  $\frac{B}{2}$  -  
ის ტოლია

$$H = \frac{nd + (n-1)D}{2} \text{ (მ)}; \quad (9)$$

— ბაგირების განლაგების რიცხვი სიგრძეზე:

$$n = \frac{1}{2} \cdot \frac{B + 2D}{d + D} \text{ (ცალი)}; \quad (10)$$

— ბაგირების რიცხვი სიგანეზე

$$n = \frac{B + D}{d + D} \text{ (ცალი)}; \quad (11)$$

— ყრუ ნაწილის სისქე სიმაღლესა და სიგანეზე:

$$d^* = nd \text{ (მმ)}; \quad (12)$$

— ნაგებობის გამჭოლი ნაწილის ფართობი:

$$\omega_{\text{გ}} = (n-1)D \cdot \frac{(n-1)D}{2} = \frac{(n-1)^2}{2} D^2 \text{ (მ}^2\text{)}; \quad (13)$$

— ნაგებობის მთლიანი ფართობი განივ კვეთში:

$$\omega = \frac{[nd + (n-1)d]^2}{2} \text{ (მ}^2\text{)}; \quad (14)$$

— ნაგებობის გამჭოლობის კოეფიციენტი:

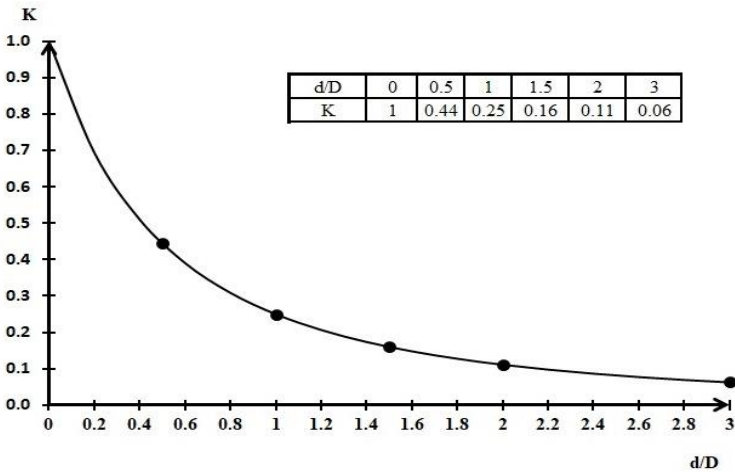
$$K = \frac{\omega_{\text{გამ.}}}{\omega} = \frac{\left(1 - \frac{d}{B}\right)^2}{\left(1 + \frac{d}{D}\right)^2} \quad (15)$$

რადგან ფარდობითი სიდიდე  $\frac{d}{B}$  ძალზე მცირეა და თითქმის არ ახდენს გავლენას ნაგებობის გამჭოლობაზე, რომლის კოეფიციენტი შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით ან გრაფიკული სახით (ნახ. 2.1):

ა) ფორმულით გამჭოლობის კოეფიციენტის შემთხვევაში:

$$K = \frac{1}{\left(1 + \frac{d}{D}\right)^2} \quad (16)$$

ბ) გრაფიკული გამჭოლობის კოეფიციენტის განსაზღვრის დროს:



ნახ. 2.1.  $K = f\left(\frac{d}{D}\right)$  გრაფიკული დამოკიდებულება

ნაგებობაზე ღვარცოფის დინამიკური ზემოქმედების ძალა:

$$P_1 = \frac{\gamma \omega V^2}{g} \sin \alpha f(m) \quad (5/\text{მ}^2) \quad (17)$$

სადაც  $\gamma$  ღვარცოფის მოცულობითი წონაა ( $\text{ნ}/\text{მ}^3$ );

$\omega$  – ცოცხალი კვეთის ფართობი ( $\text{მ}^2$ );

$V$  – ნაკადის სიჩქარე ( $\text{მ}/\text{წმ}$ );

$\alpha$  – ნაგებობის ფუძესთან დახრის კუთხე ( $^\circ$ );

$\psi$  – შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი და

$$\psi = tg^2 \left( 45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right); \quad (18)$$

$h_0$  – ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე ( $\text{მ}$ );

$H$  – ნაკადის სიღრმე ( $\text{მ}$ );

$a$  – კოეფიციენტი  $(1 - h_0 / H) \psi$ .

$f(m)$  კოეფიციენტი და დამოკიდებულია ღვარცოფის რეოლოგიურ მახასიათებლებზე:

$$f(m) = \frac{16 - (\alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha})(2 + \sqrt{\alpha})^2}{(\alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha})(2 + \sqrt{\alpha})^2} \quad (19)$$

გამჭოლი ნაგებობის შემთხვევაში მოქმედი ძალის სიდიდე

$$P_2 = \frac{\gamma \omega V^2}{g} K \sin \alpha f(m) \quad (5/\text{მ}^2), \quad (20)$$

სადაც  $K$  გამჭოლობის კოეფიციენტი და ტოლია:

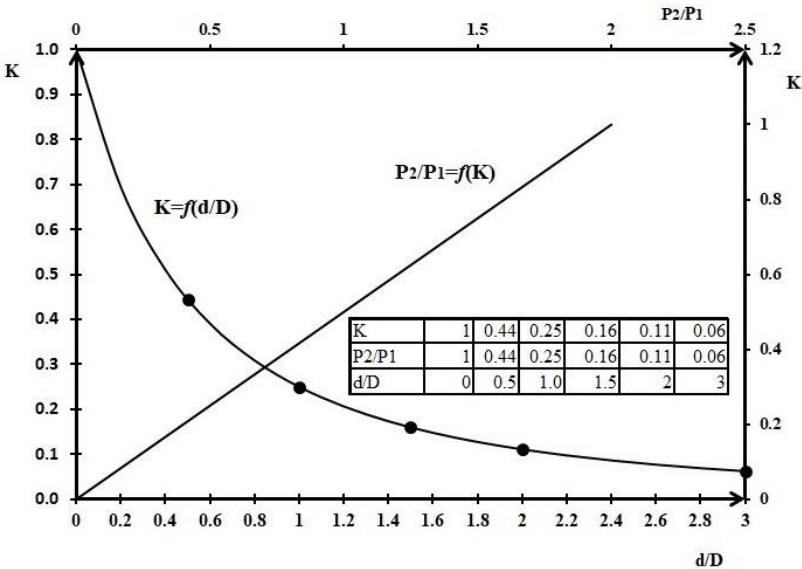
$$K = \frac{\omega_1}{\omega} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{\left( 1 + \frac{d}{D} \right)^2} \quad (21)$$

შესაბამისად, გამჭოლ ნაგებობაზე მოქმედი ძალა:

$$P_2 = \frac{\alpha \omega V^2 \sin \alpha}{g} \frac{1}{\left(1 + \frac{d}{D}\right)^2} f(m) \quad (\text{ნ/მ}^2), \quad (22)$$

გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე დამრტყმელი ძალის სიდიდის შესაფასებლად მოგვყავს გრაფიკული დამოკიდებულება

$$P_2 / P_1 = f\left(K, \frac{d}{D}\right) \quad (\text{ნახ. 2.3}).$$



ნახ. 2.3. გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე მოქმედი ძალის ფარდობითი სიდიდის  $P_2 / P_1$  დამოკიდებულების გრაფიკი გამჭოლობასა და ბაგირის  $d$  დიამეტრის გამჭოლობის  $D$  სიგანის ფარდობასთან კავშირში

ღვარცოფთა ნაგებობაზე ზემოქმედების ამოცანების გაანგარიშების ნათლად წარმოდგენის მიზნით მხედველობაში მიიღება აკადემიკოს ო. ნათიშვილის მიერ დასაბუ-

თებული ნაკადის მოძრაობის თავისებურება. როცა ღვარცოფი მოძრაობს საგრადიენტო შრითა და გულით, ასეთ შემთხვევაში ნაკადის მოძრაობის პირობა უზრუნველყოფილია ბმულობის ექვივალენტური სიღრმის ნაკადის სრულ სიმაღლესთან ფარდობის ზღვრებით. იგი ნაკლები უნდა იყოს 0,60-ზე:  $h_0 / H < 0,60$ . სხვა შემთხვევაში ნაკადი არ მოძრაობს და მისი ზემოქმედება ნაგებობების ზედაპირზე არ განიხილება.

კონკრეტულ მაგალითზე მოცემულია გაანგარიშების ნიმუში, როცა ღვარცოფსადინარის სიგანე  $B = 10$  მ-ს, ნაკადის სადინარში გავლის სიღრმე  $H = 5$  მ-ს, ნაკადის სიჩქარე  $V = 5$  მ/წმ, მოცულობითი წონა  $\gamma = 2000$  კგ/მ<sup>3</sup>, შინაგანი ხახუნის კუთხე  $\varphi = 30^\circ$ , ტრანსპორტირებული ქვის დიამეტრი  $D_{\text{აქ.}}$  = 0,4 მ-ს, ბაგირის დიამეტრი  $d = 0,01$  მ-ს, ბაგირებს შორის მინიმალური დაშორება  $D_{\text{ბიბ.}}$  = 0,2 მ-ს და ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე  $h_0 = 3,0$  მ-ს, ფარდობა შესაბამისად,  $\frac{h_0}{H} = \frac{3,0}{5} = 0,6$ -ის ტოლია. ღვარცოფის დინამიკური მოდელიდან გამომდინარე, დამრტყმელი ძალის კოეფიციენტების სიდიდე:

$$f(m) = \frac{16 - (a^3 + 4a\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2}{(a^3 + 4a\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2} \quad (23)$$

რადგან დამრტყმელი ძალის შემასწორებელი  $f(m)$  კოეფიციენტის სიდიდე რეოლოგიურ მახასიათებლებთან კავშირში  $a$  კოეფიციენტის სიდიდით არის გამოხატული, მისი მნიშვნელობა -

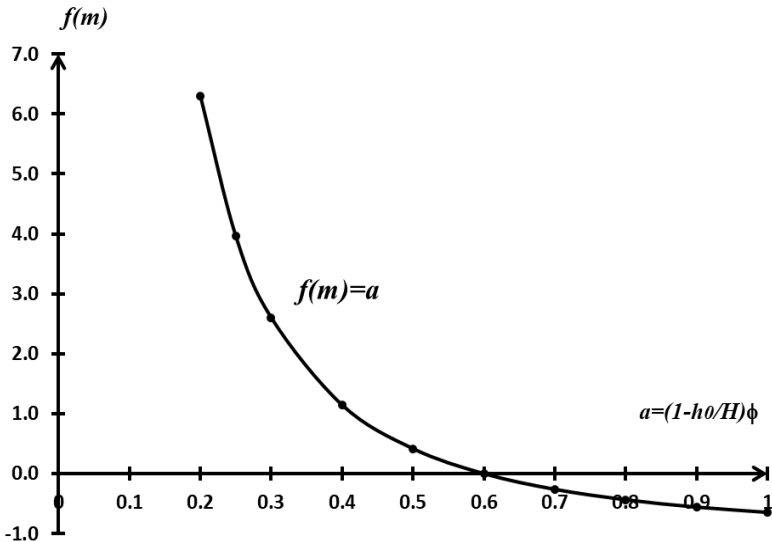
$$a = \left(1 - \frac{h_0}{H}\right) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (24)$$

$$\text{ე.ი. } \alpha = \left(1 - \frac{3}{5}\right) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2}\right) = 0,13;$$

თუ  $\alpha$  -ს გავითვალისწინებთ  $f(m)$ -ის ფორმულაში,

$$f(m) = \frac{16 - (0,13^3 + 4 \cdot 0,13\sqrt{13})(2 + \sqrt{0,13})^2}{(0,13^3 + 4 \cdot 0,13\sqrt{13})(2 + \sqrt{0,13})} = 4,2; \quad (25)$$

ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის შემასწორებელი კოეფიციენტის გაანგარიშების გამარტივების მიზნით შესაძლებელია გვესარგებლა გრაფიკული დამოკიდებულებით (ნახ. 2.4).



ნახ. 2.4. ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის შემასწორებელი კოეფიციენტის დამოკიდებულების გრაფიკი რეოლოგიურ მახასიათებლებთან კავშირში



– ნაგებობაზე მოქმედი ძალის სიდიდე:

$$P = f(m) \frac{\gamma \omega V^2}{g} = \frac{2000 \cdot 5 \cdot 10 \cdot 5^2}{9,8} \cdot 4,2 = 10714,2 \text{ (ნ);} \quad (26)$$

– წარმოდგენილი ნაგებობის გამჭოლობის კოეფიციენტი, როცა  $d = 5$  სმ და  $D = 40$  სმ–ს,

$$K = \frac{1}{\left(1 + \frac{5}{40}\right)^2} = 0,79; \quad (27)$$

– ნაგებობის სიგრძე:

$$L = \frac{H}{\sin \alpha} \frac{5}{\sin 12^\circ} = 24,03 \text{ (მ);} \quad (28)$$

– ნაგებობის სექციების რაოდენობა აიღება მისი მდგრადობიდან გამომდინარე და  $N = 3$ –ს,

– სექციის სიგრძე

$$\Delta L = 24 \cdot 3 = 8,0 \text{ (მ);} \quad (29)$$

– ბაგირებით შედგენილი ბადის სიგრძეები ნაგებობის გრძივი მიმართულებით სექტორებს შორის

$$\ell = \Delta L(1 + tg \alpha) = 8,0(1 + tg 12^\circ) = 9,7 \approx 10 \text{ (მ);} \quad (30)$$

– გამჭოლი ზედაპირის ბადის ზომები -  $D$  აიღება მაქსიმალური ქვის დიამეტრის ტოლი.  $D = 40$  სმ, ხოლო ბაგირის დიამეტრი  $d = 5$  სმ.

– სექციებში ბაგირების რაოდენობა სიგრძეზე:

$$n_1 = \frac{\ell + 0,4}{0,4 + 0,05} = \frac{9,7 + 0,4}{0,45} = 22,0 \text{ (ც);} \quad (31)$$

– სექციებში ბაგირების რაოდენობა სიგანეზე

$$n_2 = \frac{B + D}{d + D} = \frac{10 + 0,4}{0,05 + 0,4} = 23,0 \text{ (ც);} \quad (32)$$

– ნაგებობაზე ბაგირების რაოდენობა სიგრძით 10 მ

$$n = N(n_1 + n_2) = 3(23 + 22) = 135,0 \text{ (ც);} \quad (33)$$

– გამჭოლ ნაგებობაზე მოქმედი ძალა

$$P_2 = KP_1 = 10714,2 \cdot 0,79 = 8464,2 \text{ (კვ);} \quad (34)$$

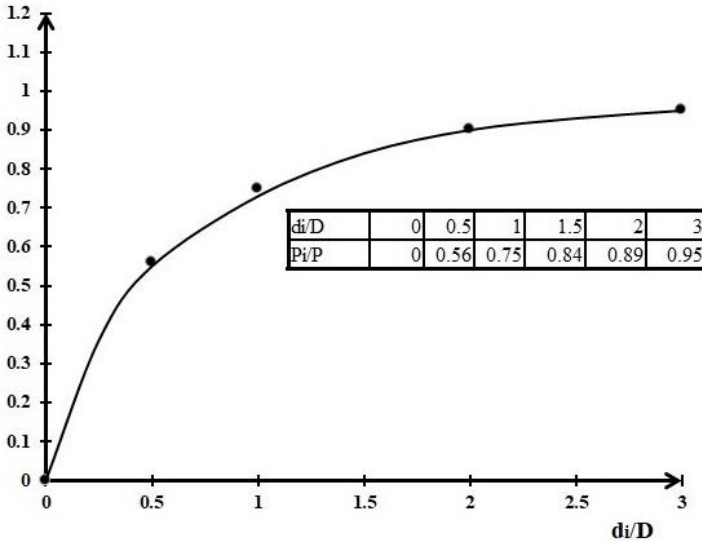
– ნაგებობის რაოდენობა:

$$N = \frac{P}{P - P_2} = \frac{10714,2}{10714,2 - 8464,2} = \frac{10714,2}{2250} \approx 4,76 \text{ (ც).} \quad (35)$$

დამრტყმელი ძალის მნიშვნელობები ნაგებობაზე, როცა ფარდობითი სიდიდე  $\frac{d}{D}$  იცვლება.

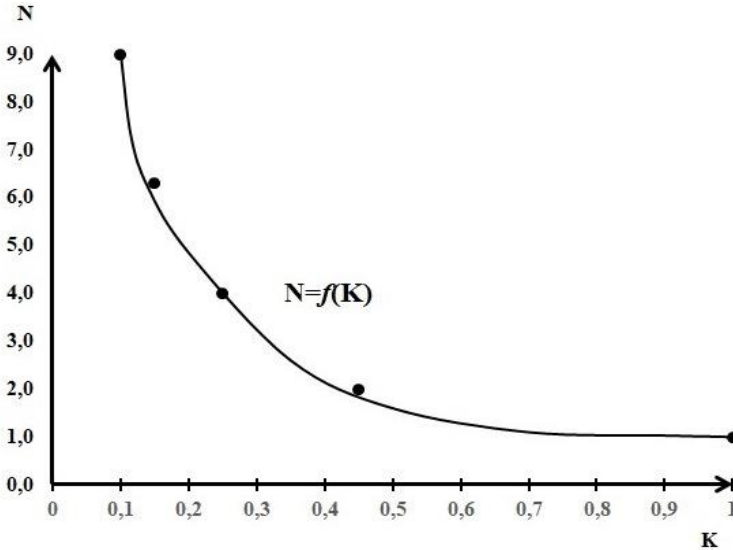
ბაგირის დიამეტრის გამჭოლობის სიგრძესთან ფარდობის, სხვადასხვა შემთხვევის დროს, დამრტყმელი ძალის განაწილების სურათი გრაფიკულად მოცემულია ნახ. 2.5-ზე.

**P<sub>i</sub>/P**



ნახ. 2.5. ნაგებობის ყრუ ნაწილის ცვლილების შემთხვევაში დამრტყმელი ძალის ცვლილების გრაფიკი  $P_i/P = f(d/D)$

ნაგებობით დამრტყმელი ძალის განეიტრალებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა გააჩნია მათი რაოდენობის დადგენის დროს. ნაგებობათა რაოდენობა დაკავშირებულია გამჭოლობის კოეფიციენტთან და მისი სიდიდე  $N = 1/K$ , რაც გრაფიკული სახით მოცემულია ნახ. 2.6-ზე.



**ნახ. 2.6. ნაგებობის რაოდენობის დამოკიდებულება გამჭოლობის კოეფიციენტთან**

როცა სიყრუის კოეფიციენტი  $K = 0,21$ -ს, ნაგებობის რაოდენობა 4,76-ის ტოლია. ე. ი. ასეთ შემთხვევაში, დამრტყმელი ძალის გასანეიტრალებლად 5 ნაგებობაა საჭირო. გამჭოლობის კოეფიციენტი დამოკიდებულია ბაგირის დიამეტრზე, მისი შემცირებით იზრდება გამჭოლობის კოეფიციენტი, ხოლო ნაგებობის დანარჩენი ელემენტების კონსტრუქციული ზომები რჩება უცვლელი.

### 3. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის კონსტრუქციული გაანგარიშება

გაანგარიშების ახალი მეთოდოლოგიიდან გამომდინარე, შერჩეული მოდელების საფუძველზე, გამოყენებულია ბარაჟირების გაანგარიშების ინოვაციური მიდგომები.

მშენებლობის ადგილზე ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის ზომების შერჩევის შემდეგ ხდება მისი ელემენტების ზომების დადგენა და მასალის შემოწმება მდგრადობაზე - სიმტკიცეზე.

ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების საიმედო მუშაობის მიზნით მხედველობაში მიღებულია სიმტკიცის, სიხისტისა და მდგრადობის პირობების კრიტერიუმი.

სიმტკიცის ამოცანა დამაკმაყოფილებლად იქნა მიჩნეული ისეთ შემთხვევაში, როცა საანგარიშო ელემენტები ძალის მოქმედების შედეგად არის მდგრადი და დეფორმაცია არ აღემატება დასაშვებ სიდიდეს.

შეკუმშული სწორი ღეროების შემთხვევაში, განივკვეთის ფართი სიგრძესთან შედარებით სიმცირის გამო, სწორი ფორმის შენარჩუნებისა და გაღუნვის თავიდან აცილების მიზნით, გამოიყენება როგორც კუმშვის, ისე რთული დეფორმაციის შესაძლებლობები დატვირთვის დაწყებიდან რღვევამდე.

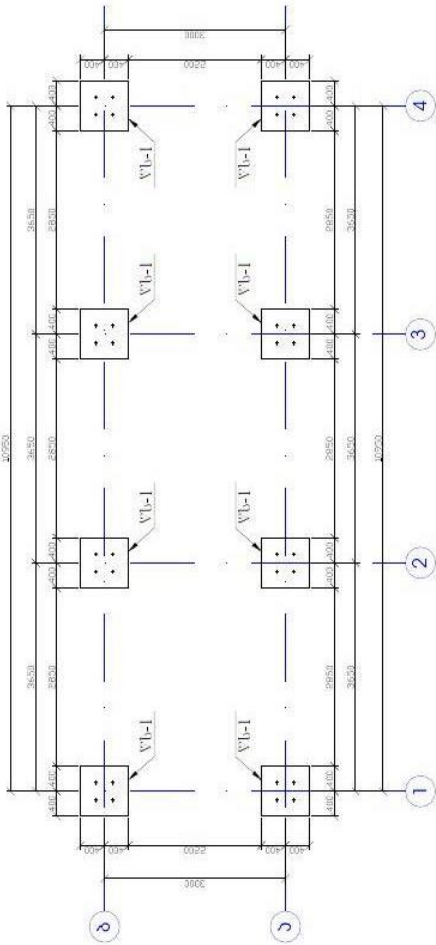
კონსტრუქციული გადაწყვეტიდან გამომდინარე, ნაგებობის განთავსება ფუძეზე გათვალისწინებულია წერტილოვან საძირკველზე. მშენებლობის ადგილზე ფუძის ჯდენისა და აქტიური ზონის გათვალისწინებით, წერტილოვანი საძირკვლის ზომები შემდგენიარად შეირჩა: ნაგებობის ფუძის

სიგრძე და სიგანე შეადგენს 80 სმ-ს, ხოლო სიმაღლე - 1,0 მეტრს. წერტილოვან საძირკველზე ნაგებობის ლითონის კონსტრუქციის დამაგრების თვალსაზრისით შერჩეულია საანგარიშო ჭანჭიკების პირველი და მეორე ტიპი. საძირკვლის მოწყობის დროს გამოყენებულია ბეტონი მარკით B25.

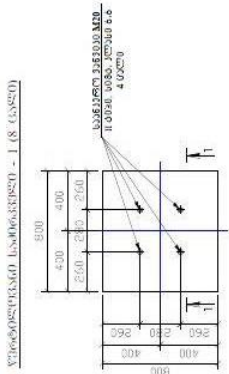
საძირკვლის განლაგება გეგმაზე და საანგერო ჭანჭიკების მოწყობის სქემა მოცემულია ნახაზზე 3.1.

საშემდუღებლო სამუშაოების წარმოების დროს გამოყენებულია ნახევრადავტომატური ან ხელით შედუღების მეთოდი. ხელით შედუღების მეთოდისას გამოყენებულია ელექტროდები  $\Theta 442A$ . დეტალების ჭანჭიკებით დაკავშირების დროს გამოყენებულია II ტიპის ჭანჭიკი, სიმტკიცის კლასით 6.6. ნაგებობის გეგმა და განივი ჭრილები მოცემულია ნახ. 3.2 -ზე.

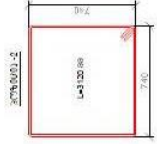
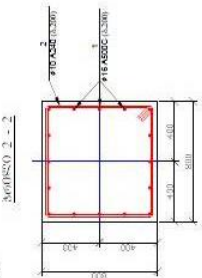
საპროექტო საინჟინერო კონსტრუქციის გეგმა



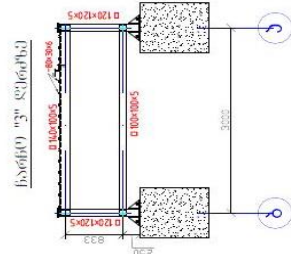
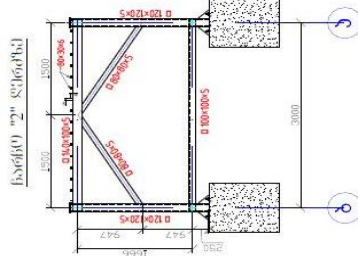
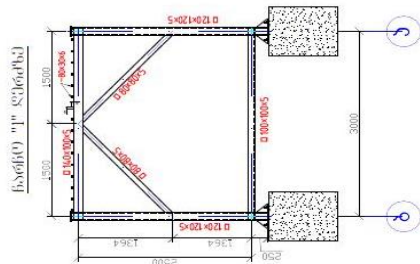
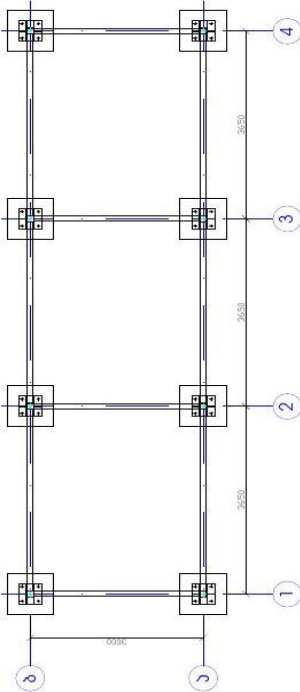
საპროექტო 1 - 1



საპროექტო 2 - 1-2



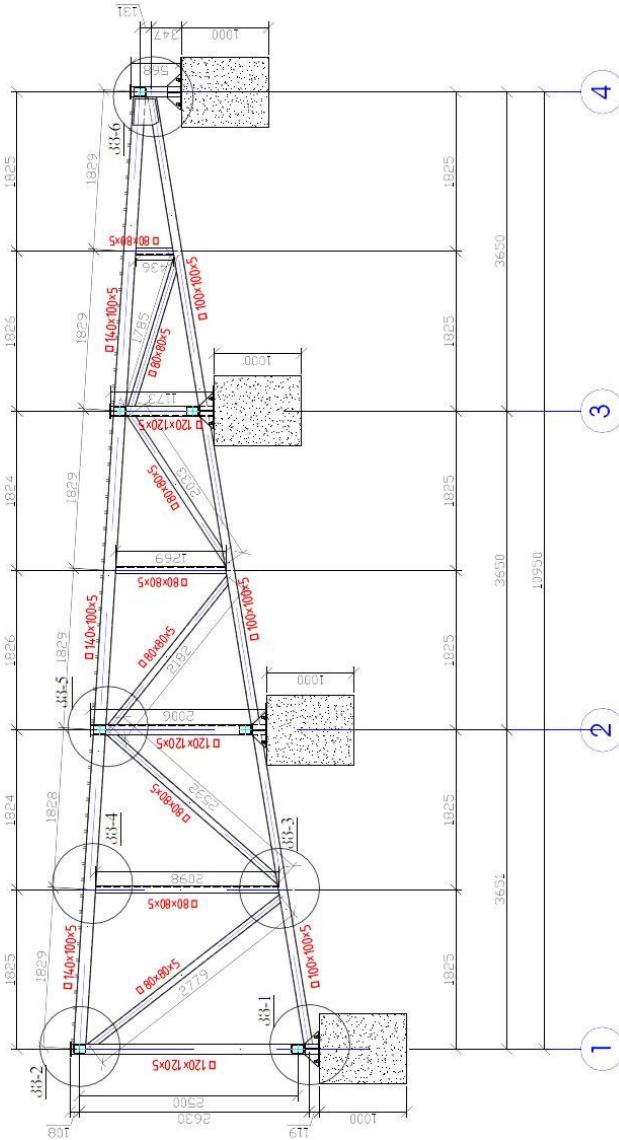
ნახ. 3.1. ნაგებობის საძირკვლის საანკერო კანკიკების მოწყობის სქემა



ნახ. 3.2. ღვარცოფსარეულაციო ელასტიკური ბარაჟის გეგმა და ჭრილები

ნაგებობის „ა“ და „ბ“ ღერძებზე ჭანჭიკებისა და საშემდულებლო საქმიანობის ნათლად წარმოჩენის მიზნით მოცემულია მისი გრძივი ჭრილი (ნახ. 3.3).

ნაწილი "ა" და "ბ" დასრულებული



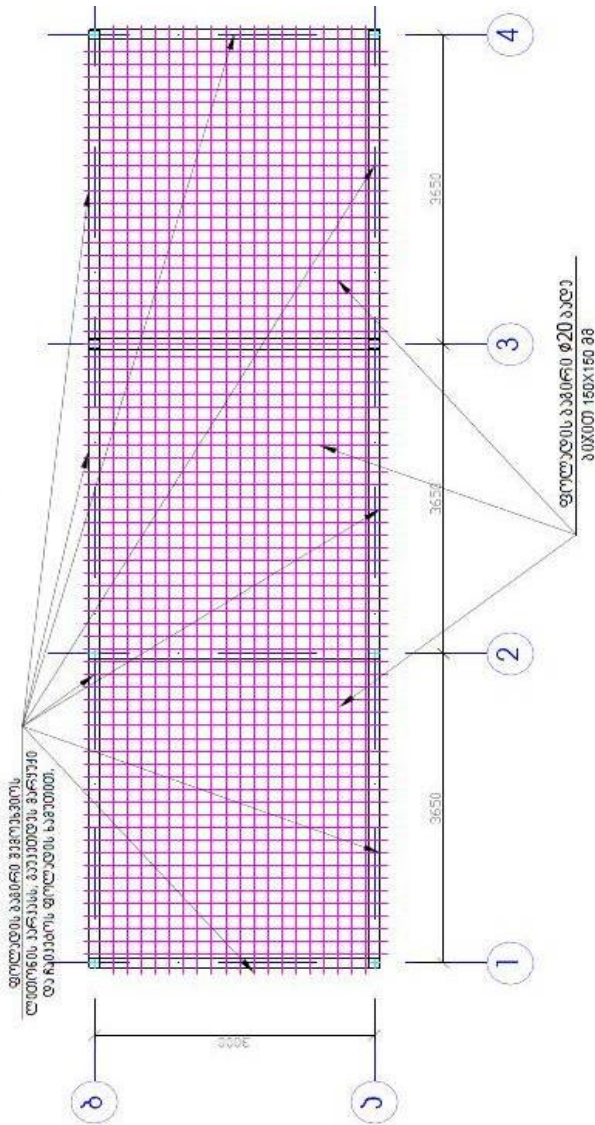
ნაგებობის ელემენტების კვანძებში შეერთების სურათი მოცემულია ნახაზზე 3.4.

ნახ. 3.3. „ა“ და „ბ“ ლერძებზე ნაგებობის გრძივი ქრილი

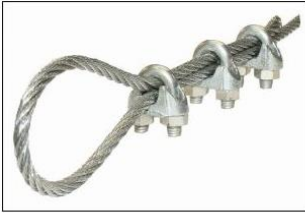




ფოლადის კამბრის პროექტის სურსათი  
 კამბის

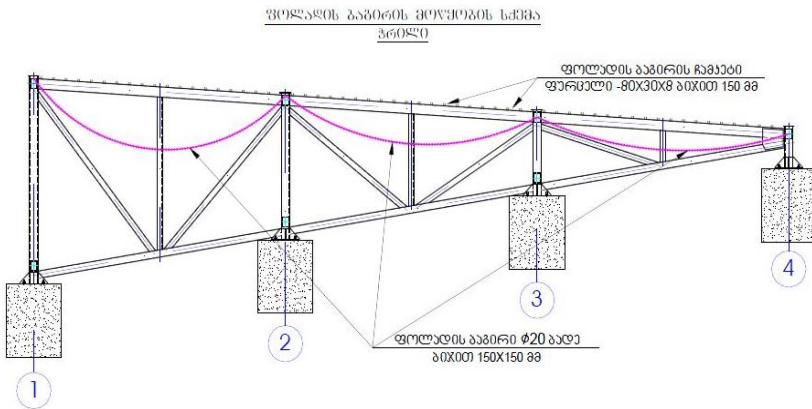


ნახ. 3.5. ნაგებობის სადაწნეო ზედპირზე ბაგერების განლაგების გეგმა



**ნახ. 3.6. ნაგებობის სადაწნეო ზედაპირზე ფოლადის ბაგირების შეერთების სქემები**

ნაგებობის ზედაპირზე ბაგირების მოწყობის გრძივი ჭრილი მოცემულია ნახ. 3.7-ზე



**ნახ. 3.7. ნაგებობის სადაწნეო ზედაპირზე ბაგირების მოწყობის გრძივი ჭრილი**

#### 4. მდინარე მლეთის ხევის კომპლექსური შეფასება

მდინარე თეთრი არაგვის წყალშემკრებ აუზში წარმოდგენილი მეცნიერული კვლევა ეფუძნება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის მეცნიერი სპეციალისტების მიერ 50 წელზე მეტი განხორციელებული თეორიული და სავლე კვლევის შედეგებს, რაც განპირობებული იყო ბოლო წლებში მსოფლიოში და, მათ შორის, საქართველოში ბუნების სტიქიური მოვლენების - წყალდიდობების, წყალმოვარდნების, ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების, მეწყრული მოვლენების და ა.შ. განსაკუთრებული გააქტიურებით.

მდინარე თეთრი არაგვის წყალშემკრებ აუზში, მაგალითად, მდინარე დუშეთის ხევში 2003-2005 წლებში მნიშვნელოვნად გახშირდა წყალდიდობები, ხოლო მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში ღვარცოფული პროცესები, რომლებმაც დიდი ზიანი მიაყენა არა მარტო მლეთის 1876 წელს აშენებულ წმინდა გიორგის ეკლესიას, საქართველოს სამხედრო გზის მონაკვეთს და სოფელ ქვემო მლეთას, ასევე მდ. დუშეთის ხევის წყალმოვარდნისა და ღვარცოფების გავლისას დუშეთში დაინგრა საცხოვრებელი სახლები და დაზიანდა საავტომობილო გზები. სამწუხაროდ, იყო ადამიანის მსხვერპლიც.

ნაშრომში განხილული მეცნიერული კვლევის შედეგები მოხსენებული იყო 2006 წლის ივნის-ივლისის თვეში გერმანიაში, ჰესენის უნივერსიტეტში, ხოლო 2007 წლის მარტი-აპრილის თვეში ჩინეთში: ჩინეთის ცენტრალურ ნორმალის უნივერსიტეტში (ქ. ვუჰანი), ვუჰანის უნივერსი-

ტეტში, ჩინეთის მეცნიერებათა აკადემიის გეოდეზიისა და გეოფიზიკის ინსტიტუტში (ჰუბეის პროვინცია) და ძიუ-ძიანგის უნივერსიტეტში (ჯიან-ჯის პროვინცია), რამაც სპეციალისტთა დიდი ინტერესი გამოიწვია.

საპროექტო წინადადებაში დამუშავებული სამეცნიერო-ტექნიკური მიღწევები მოხსენიებული იყო 2021 წელს საქართველოს საპატრიარქოს საეკლესიო ხუროთმოძღვრებისა და ხელოვნების საბჭოზე, 2021 წლის 5-7 ნოემბერს პრეზენტაცია გაიმართა ჩენსტოხოვას ტექნოლოგიურ უნივერსიტეტში (ქ. ჩენსტოხოვა, პოლონეთი, 2020 წ.), ხოლო მეცნიერული შედეგები 2020 წლის მარტში გამოქვეყნდა საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალში „GeoРиск“, ასევე ღვარცოფსაწინააღმდეგო ინოვაციური კონსტრუქციის ლაბორატორიული მოდელირების შედეგები წარდგენილ იქნა 2019 წლის 12-13 დეკემბერს ქ. რომში საერთაშორისო კონფერენციაზე.

4.1 ფოტოზე ნაჩვენებია საკვლევი ობიექტის, კერძოდ, მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის საერთო ხედი GIS ფორმატში.

ადგილზე განხორციელებული კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ მდინარე მლეთის ხევის ეროზიული ღრანტის მარჯვენა ფერდობი წარმოადგენს თიხა-ფიქალე-ბისაგან წარმოშობილ გეოლოგიურ ქანს, ხოლო მარცხენა ფერდობი კი - ქვიშა-ქვებისა და თიხნარის ჩანართებით შევსებულ გონგლომერატს, რომლის ზედაპირზეც, ე.ი ფერდობზე აქტიურად მიმდინარეობს გრუნტის მასის ჩამონგრევა-ჩამოშვავების პროცესები (ფოტო 4.2).



ფოტო 4.1. მდინარე მლეთის წყალშემკრები აუზის საერთო ხედი



ფოტო 4.2. მლეთის ხევის ეროზიული ღრანტის საერთო ხედი

ველზე ჩატარებულმა კვლევებმა დაადასტურა, რომ მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში ფორმირებული ღვარცოფების წარმოშობას ძირითადად ხელს უწყობს სწორედ მთის მარცხენა ფერდობზე მიმდინარე გრუნტის მასის ჩამონგრევა-ჩამოშვავების პროცესები რაც დასტურდება ღვარცოფული მასის გეოლოგიური კვლევის შედეგებით.

მდინარე მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში ფორმირებული ღვარცოფების წარმოშობას ძირითადად ხელს უწყობს სწორედ მთის მარცხენა ფერდობზე მიმდინარე გრუნტის მასის ჩამონგრევა-ჩამოშვავების პროცესები, რაც დასტურდება ღვარცოფული მასის გეოლოგიური კვლევის შედეგებით.

არსებული სამეცნიერო ლიტერატურული წყაროებისა და ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევის ანალიზის მიხედვით დადგინდა, რომ მდინარე მლეთის ხევის კალაპოტში, იმის და მიხედვით, თუ როგორ კლიმატურ და მეტეოროლოგიურ პირობებს აქვს ადგილი, მდინარის კალაპოტში შეიძლება ფორმირდეს როგორც სტრუქტურული, ასევე ტურბულენტური ტიპის ღვარცოფები, რომელთა გეოლოგიური და ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლები საგრძნობლად განსხვავდებიან ერთმანეთისგან.

მრავალჯერადი ლაბორატორიული და საველე კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ მოცულობითი წონა სტრუქტურული ღვარცოფის შემთხვევაში იცვლება 1,8 – 2,3 ტ/მ<sup>3</sup>-ის ფარგლებში, ხოლო ტურბულენტური ღვარცოფის შემთხვევაში კი - 1,1 – 1,7 ტ/მ<sup>3</sup>, რაც შეეხება ქვის ჩანართების მოცულობით მასას, მისი საშუალო მნიშვნელობა 2,65 ტ/მ<sup>3</sup> - ის ტოლია.

4.1 ცხრილში მოცემულია ღვარცოფულ მასაში მყარი ფრაქციების წონითი და მოცულობითი მნიშვნელობები.

**ცხრილი 4.1**  
**ღვარცოფულ მასაში მყარი ფრაქციების წონითი და**  
**მოცულობითი მნიშვნელობები**

№	ღვარცოფული მასის შემადგენლობა	% წონის მიხედვით	% მოცულობის მიხედვით
1	ღვარცოფულ მასაში მყარი ფრაქციების შემადგენლობა	80 - 90	60,2 – 77,4
2	ქვის ჩანართები დიამეტრით >30 მმ	30 - 40	22,5 – 34,4
3	ქვიშა, კენჭები, მსხვილი ფრაქცია დიამეტრით 1 – 30 მმ.	20 - 30	15,0 – 25,8
4	წვრილი ფრაქციები დიამეტრით 0,001 – 1,0 მმ	26,7 – 16,5	20,0 – 14,2
5	კოლოიდური ფრაქცია დიამეტრით < 0,001 მმ	3,3 – 3,5	2,5 – 3,3
6	წყლის შემადგენლობა	12 - 20	22,6 – 30,8



## 5. მდინარე მლეთის ხევის კალაპოტის ტრანზიტულ ნაწილში ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის განთავსება

მდინარე მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის ფართობი შეადგენს 1,28 კმ<sup>2</sup> -ს, ხოლო ეროზიული ფართობი კი 0,22 კმ<sup>2</sup> -ს, მდინარის ტრანზიტული ნაწილის სიგრძეა 476 მ, ხოლო გამოტანის კონუსის ფართობია 0,23 კმ<sup>2</sup>, რომლის კოორდინატებიც დატანილია ფოტოზე (სურ.5.1). ღვარცოფების რეგულირების მიზნით სწორედ ამ მონაკვეთზე დაპროექტდა ინოვაციური ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის საცდელ-საექსპერიმენტო კონსტრუქცია.



სურ. 5.5. მდინარე მლეთის ხევიში კონსტრუქციის განთავსების ადგილი

კონსტრუქცია მოეწყობა მდინარე ქვემო მლეთის კალაპოტის ტრანზიტული ნაწილის №1 კვეთისა და №2 კვეთის შუალედში, რომელთა ტოპოგრაფიული მაჩვენებლებიც მოცემულია 5.1 ცხრილში.

**ცხრილი 5.1**

№	კვეთის დასახელება	GPS - კოორდინატები		ზღვის დონიდან წერტილის აბსოლუტური ნიშნული, H (მ)
		X	Y	
1	I კვეთი	422530.85	443005.48	1592,00
2	II კვეთი	422529.67	443004.91	1601,00

მლეთის ხევის ეროზიულ ღრანტეში დაგროვილი ღვარცოფული მასის ძირითადი გეოლოგიური მახასიათებლების დადგენის მიზნით ადგილზე აღებული იქნა ეროდირებული მყარი ნაწილაკებისა და მარცხენა ფერდობიდან ჩამომვაკებული გრუნტის ანალიზის 5 ნიმუში, რომელთა მაჩვენებლებიც მოყვანილია ცხრილში 5.2.

**ცხრილი 5.2**

**მლეთის ხევის ეროზიულ ღრანტეში აღებული გრუნტის ნიმუშების გეოლოგიური მაჩვენებლები**

ნიმუშის ნომერი	სიმაღლე ზღვის დონიდან, მ	კოორდინატები		კალაპოტის ქანობი, i	მოცულობითი მასა, ტმ/წ	სიმკვრივე, ტ/წ	შეგახსუნის კუთხის გრად
		X	Y				
2	3	4	5	6	7	8	9
I	1740	42421113	44490809	0,225	1,88	0,192	15°
II	1785	42420526	44499444	0,242	1,89	0,193	15°
III	1795	42420439	44499194	0,258	1,92	0,196	14°
IV	1807	42420232	44498986	0,276	1,94	0,197	14°
V	1811	42420180	44498684	0,292	1,98	0,202	13°

## 6. მლეთის ხევის კალაპოტში მიმდინარე ეროზიულ- ღვარცოფული პროცესების პროგნოზირება

მდინარის კალაპოტში ფორმირებული სხვადასხვა უზრუნველყოფის ღვარცოფის მაქსიმალური ხარჯის მნიშვნელობა იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$Q_{\max} = A(34 + 400i)F_0^{0,61} \text{ მ}^3/\text{წმ}, \quad (6.1)$$

სადაც  $A$  არის ხარჯის კოეფიციენტი,  $i$  - კალაპოტის ქანობი. განხორციელებული გაანგარიშების შედეგები მოცემულია ცხრილში (ცხრ. 6.1).

**ცხრილი 6.1**  
ღვარცოფის ხარჯის კოეფიციენტსა ( $A$ ) და სხვადასხვა უზრუნველყოფის კოეფიციენტს ( $P$ ) შორის კავშირი

უზრუნველყოფის კოეფიციენტი (%) ( $P$ )	0.1	1	3	5	10	25	50
ღვარცოფის ხარჯის კოეფიციენტი ( $A$ ) (მ <sup>3</sup> /წმ)	2,4	1,0	0,7	0,6	0,5	0,3	0,2

პირველი დამიკვიდებულებისა და 6.1 ცხრილის მიხედვით გაანგარიშდა მდ. მლეთის ხევის სხვადასხვა უზრუნველყოფის ღვარცოფის მაქსიმალური ხარჯები, რომელთა მნიშვნელობები მოცემულია 6.2 ცხრილში.

ცხრილი 6.2

მდ. მლეთის კალაპოტში ფორმირებული ღვარცოვის სხვადასხვა უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯების მნიშვნელობები

უზრუნველყოფის კოეფიციენტი ( $P$ )	0.1	1	3	5	10	25	50
ღვარცოვის სხვადასხვა უზრუნველყოფის ხარჯები (მ <sup>3</sup> /წმ)	453,7	89,1	132,3	113,4	94,5	56,7	37,8

მდინარე მლეთის ხევის წყალშემკრებ აუზში ეროზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობები იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$E = [0.58 + 1.40(F_1/F_0) \cdot (t/T)^{0.21}], \quad (6.2)$$

სადაც  $F_1$  არის მდინარის წყალშემკრებ აუზში ეროზირებული ფართობი (კმ<sup>2</sup>);  $F_0$  - მდინარის წყალშემკრები აუზის მთლიანი ფართობი (კმ<sup>2</sup>);  $t$  - დროის პერიოდი, წელი;  $T$  - მთლიანი დაკვირვების პერიოდი, წელი; გაანგარიშების შედეგები მოყვანილია 6.3 ცხრილში.

ცხრილი 6.3

ეროზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობები წლების მიხედვით

წელი	2000	2005	2010	2015	2020	2025
ეროზიის კოეფიციენტი( $E$ )	0,90	0,96	1,01	1.10	1.17	1,61

ცხრილში 6.4 მოცემულია (6.1) და (6.2) ფორმულებით გაანგარიშებული მდინარე თეთრი არაგვის წყალშემკრებ აუზში ღვარცოფული ტიპის შენაკადების ძირითადი მონაცემები.

**ცხრილი 6.4**  
**მდინარე თეთრი არაგვის წყალშემკრებ აუზში**  
**ღვარცოფული ტიპის შენაკადების ძირითადი მონაცემები**

მდინარის დასახელება	წყალშემკრები აუზის ფართობი, <i>მ<sup>2</sup>/მმ</i>	მდინარის კალაპოტის ქანობი, <i>i</i>	მთის ფერდობების ეროზიის კოეფიციენტი, <i>E</i>	ეროზიის კლასი, პროფ. რ. მორგანის სკალის მიხედვით	დაზიანების ხარისხი (ტ/ჰა წელიწადში)	ღვარცოფის 1% მაქს. ხარჯი, (მ <sup>3</sup> /წმ)
მლეთის ხევი	1,28	0,260	1,61	მეხუთე	50-100	131,0
წისქვილთ ხევი	1,50	0,251	0,89	მესამე	5-10	87,0
კოტორას ხევი	0,62	0,290	1,62	მეხუთე	50-100	98,0
არახვეთის ხევი	1,45	0,216	0,96	მესამე	5-10	109,0
ქიმბარიონის ხევი	0,60	0,220	0,95	მესამე	5-10	70,0
ნაღვარევის ხევი	6,50	0,247	1,00	მეოთხე	10-50	387,0
ჩოხელთ ხევი	6,96	0,290	0,95	მესამე	5-10	550,0
ზემო ამირთ ხევი	1,87	0,264	0,92	მესამე	5-10	200,0
ქვემო ამირთ ხევი	0,96	0,310	0,73	მეორე	2-5	140,0
ჩადისციხის ხევი	1,30	0,360	1,17	მეოთხე	10-50	141,0

თუ გამოვიყენებთ ცნობილი ინგლისელი მეცნიერის, პროფესორ რ. მორგანის კლასიფიკაციას, მაშინ 2000 წელს

მდინარე მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის მდგომარეობა ეროზიული პროცესების მიხედვით შეესაბამება მეორე კლასს, რომლის დაზიანების რიცხვითი მაჩვენებელია 5-10 ტონა/ჰექტარზე წელიწადში, ხოლო 2025 წელს იქნება მეხუთე კლასი, მნიშვნელოვანი დაზიანების ხარისხით 50-100 ტონა/ჰექტარზე წელიწადში, ე.ი. მლეთის ხევის წყალშემკრები აუზის ეროზირებული ფერდობებიდან მდინარის კალაპოტში ერთი ჰექტრიდან წელიწადში დაგროვდება 50-100 ტონა ეროდირებული გრუნტის ნაწილაკები, რომლებიც ინტენსიურ ნალექებთან ერთად, ღვარცოფული მასის წარმოშობის ერთ-ერთ მთავარ კომპონენტს წარმოადგენს.

ღვარცოფის წარმოშობის ხელშემწყობი ფაქტორები, რომლებსაც ადგილი ჰქონდა მლეთის 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 ღვარცოფსა-წინააღმდეგო ღონისძიებების ჩაუტარებლობა; კალაპოტის გამწმენდი სამუშაოების შეჩერება; კალაპოტის ჩახერგვა და მისი ამოვსება საყოფაცხოვრებო ნარჩენებით; ასე, მაგალითად, ფასანაურის მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემებით, 2020 წლის მაის-ივნისის თვეებში მოსული ნალექების რაოდენობამ შესაბამისად შეადგინა 220 და 206 მმ, რომელიც იანვარ-აპრილის თვეებში მოსული ნალექების ჯამურ რაოდენობას თითქმის ორჯერ აღემატება.

ამრიგად, ვიცით რა მდინარე მლეთის ხევის ტურბულენტური ღვარცოფის ძირითადი ჰიდროლოგიური და ჰიდრაულიკური მახასიათებლები, შემდეგ ეტაპზე მდინარე მლეთის ხევის კალაპოტის რეგულირების მიზნით

განხილულია ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესების საწინა-აღმდეგოდ ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის საანგარიშო საინჟინრო სქემები, რომლის გამოყენებითაც 2022 წლის აგვისტო - ოქტომბრის თვეებში მდინარე მლეთის ხევის კალაპოტში აშენდა ინოვაციური ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის საცდელ-საექსპერიმენტო ნაგებობის კონსტრუქცია (ფოტო 6.1).



**ფოტო 6.1. მდინარე მლეთის ხევის კალაპოტში აშენებული ინოვაციური ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის საცდელ-საექსპერიმენტო ნაგებობის კონსტრუქცია**

## 7. ლიტერატურა

1. გ. გავარდაშვილი, ე. კუხალაშვილი, შ. კუპრეიშვილი, ნ. გავარდაშვილი. „ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი“. გამოგონება #14656/1, 21.12.2017, პატენტის #P2020 7068 B;
2. Крუашვილი И.Г., Кухалашვილი Е.Г., Инашвили И.Д., Бзиава К.Н. „ღვარცოფული მოვლენები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა“. სტუ, თბილისი, 2017, გვ. 250;
3. Kukhalashvili E., Gavardashvili G., Kupreishvili Sh. Expected Rick of Cohesive Debris Flows and Fighting Against Them, LAP — LAMBERT Academic Publishing, GmbH, Norderstedt, Germany, 2018, 87 p;
4. Натишвили О. Г., Тевзадзе В.И., „Волны в селях“, ООО Издательство « Научмехиздат», М., 2011, 160 с.;
5. ო. ნათიშვილი, ი. ყრუაშვილი, გ. გავარდაშვილი, ი. ინაშვილი, მეთოდური რეკომენდაციები ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის პროექტირებისათვის (ჰიდრაულიკური გაანგარიშებები), საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია, თბილისი, 2016, 48 გვ.;
6. G. Gavardashvili, E. Kukhalashvili, Sh. Kupreishvili, N. Gavardashvili. Elastic mudflow regulating barrage and methodology for its calculation. Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection, „Promotion“, LLC Dushanbe, 2020, vol.1, pp 88-96;
7. O. Natishvili, E. Kukhalashvili, G. Gavardashvili, I. Iremashvili. One dimension mathematical model of energy parameters of a hyper concentrated mudflow. Annals of Agrarian Science, 2020, vol. 18, no. 3, 251-257;
8. E. Kukhalashvili, G. Gavardashvili, I. Iremashvili, N. Beraia, K. Kiknadze. „Debris flow density and their effect on debris flow regulation buildings“. Annals of Agrarian science, 2021, vol.19, no. 1, 13-22;



9. Gavardashvili G., Kukhalashvili E., Iremashvili I., Kupreishvili Sh., Gavardashvili N., Maisaia L., Dadiani K. Development of the Debris Flow Control Elastic Barrage Design Methodology, consruction of optimized energy potential. XVII international scientific-technical conference, Czestochowa, Poland, vol.9, no. 2/2020, 127-136;
10. Гавардашвили Г. В., Кухалашвили Е. Г., Купреишвили Ш. Г., Гавардашвили Н. Г. Современное инновационное противоселевое сооружение. Гео Риск, международный научный журнал, т. XIV, #3, с. 48-56;
11. Kukhalashvili E., Gavardashvili N., Gavardashvili G., Kupreishvili Sh.. Designing and Evaluating Elastic debris flow – Regulating barrage for efficient debris flow regulation, Roma, Italy, 2019, 65-68 p.;
12. კუხალაშვილი ე., გავარდაშვილი გ., ირემაშვილი ი., ბერაია ნ., დადიანი ქ., კიკნაძე ხ., მაისაია ლ. „წყალსატევების კვების წყაროთა ჰიდროლოგიური მახასიათებლები და მათი როლი წყლის ინტეგრირებულ მართვაში“, საქართველოს სოფლის მეურნეობის აკადემია, ინტერნეტ-სამეცნიერო კონფერენცია, 17-18 სექტემბერი, 2020 წ., გვ. 149-159;
13. ნ. ბერაია. „ბმული ღვარცოფის რისკები და ენერგეტიკული მახასიათებლები“. სტუ, სადისერტაციო ნაშრომი, 2022 წ.;
14. კიკნაძე ხ. „ღვარცოფსადინრებში მიმდინარე კალაპოტური პროცესები“. სტუ, სადისერტაციო ნაშრომი, 2022 წ.;
15. დადიანი ქ. „ჰიპერკონცენტრირებული ღვარცოფის მდგრადობა და ნაგებობაზე ზემოქმედების შეფასება“. სტუ, სადისერტაციო ნაშრომი, 2022 წ.;
16. მაისაია ლ. „ღვარცოფის ზემოქმედების შეფასება“. სტუ, სადისერტაციო ნაშრომი, 2022 წ.

**UNESCO Georgian National Commission**

**ECOCENTER FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION  
The Organization in Category of Consultative Status with the  
Economic and Social Council (ECOSOC) of UN**

**FORECASTING NATURAL DISASTERS AND RISK  
REDUCTION INNOVATIVE MEASURES**

**Debris Flow Regulation Elastic Barrage**

**Project's Coordinator:  
Academician Givi Gavardashvili,  
Doctor of Technical Sciences, professor**

**Book 2**

**The material was published with the support of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization's (UNESCO) 2022-2023 "Participation Program", within the framework of the project (2240116105) funded by UNESCO.**

**Agreement # 4 / 2240116105/pp 2022-2023**

**Tbilisi 2023**