

საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო

შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის
ინსტიტუტი

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



ღვარცოფსადინართა რისკების რეგულირება და
ინოვაციური ნაგებობების გაანგარიშების
მეთოდოლოგია



თბილისი
2021

**ბუკლეთი გამოიცა შოთა რუსთაველის საქართველოს
ეროვნული სამეცნიერო ფონდის საგრანტო პროექტის №AR18-
1244 „ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი“**

ფინანსური მხარდაჭერით

საგრანტო პროექტის ხელმძღვანელი:

ედუარდ კუხალაშვილი

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

საგრანტო პროექტის კოორდინატორი:

გივი გავარდაშვილი

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

პროექტის შემსრულებლები

#	სახელი, გვარი	სამეცნიერო ხარისხი	როლი პროექტში
წამყვანი ორგანიზაციიდან			
1	ედუარდ კუხალაშვილი	ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი	პროექტის ხელმძღვანელი
2	გივი გავარდაშვილი	ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი	პროექტის კოორდინატორი
3	ინგა ირემაშვილი	ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი (აკადემიური დოქტორი), პროფ.	ძირითადი პერსონალი
4	შორენა კუპრეიშვილი	ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი (აკადემიური დოქტორი), პროფ.	ძირითადი პერსონალი
5	ნანა ბერაია	დოქტორანტი	ძირითადი პერსონალი
6	ხათუნა კიკნაძე	დოქტორანტი	ძირითადი პერსონალი
თანამონაწილე ორგანიზაციიდან			
7	ნანა ქურციკიძე	მაგისტრი	ძირითადი პერსონალი
8	ნათია გავარდაშვილი	აკადემიური დოქტორი	ძირითადი პერსონალი
9	პაატა სიჭინავა	აგროინჟინერიის	ძირითადი

		დოქტორი	პერსონალი
10	ქეთევან დადიანი	დოქტორანტი	ძირითადი პერსონალი
11	ლია მასიაია	დოქტორანტი	ძირითადი პერსონალი
12	მარინა მღებრიშვილი	ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი (აკადემიური დოქტორი)	ძირითადი პერსონალი
13	ლამა თოფურია	ტოპოგრაფ-გეოლოგი, მაგისტრი	ძირითადი პერსონალი
დამხმარე პერსონალი			
14	გიორგი ნატროშვილი	აგროინჟინერი, ტექნიკის აკადემიური დოქტორი, ასისტ. პროფესორი	დამხმარე პერსონალი
15	თამრიკო სუპატაშვილი	ინჟინერ-ქიმიკოსი, (საინჟ. მეცნ. აკადემიური დოქტორი)	დამხმარე პერსონალი
16	ანა გავარდაშვილი	პროგრამისტი, ინფორმატიკის აკადემიური დოქტორი	დამხმარე პერსონალი
17	ირაკლი ფხალაძე	გეომორფოლოგი, მაგისტრი	დამხმარე პერსონალი
18	მარიამ კუხალაშვილი	კონსტრუქტორი, მაგისტრი	დამხმარე პერსონალი
19	ზურაბ ქურციკიძე	მაგისტრი	დამხმარე პერსონალი
20	ნინო ნიბლაძე	მელიორატორი, მაგისტრი	დამხმარე პერსონალი
21	ზურაბ გოგუაძე	ინჟინერ-ეკონომისტი, მაგისტრი	დამხმარე პერსონალი

© საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი
 © ედუარდ კუხალაშვილი, გივი გავარდაშვილი

ISBN 978-9941-9678 -0-1

შინაარსი

№	სამეცნიერო სამუშაოს დასახელება	გვ.
1.	შესავალი	5
2.	ღვარცოფთა ზემოქმედება შემხვედრ წინააღმდეგობებზე	9
3.	ღვარცოფთან ბრძოლის საავტორო უფლების მქონე ღონისძიებები.....	12
3.1.	ნახევრად კონუსური გამჭოლი ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობა.....	15
3.2.	ნახევრად ცილინდრული გამჭოლი ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობა	16
3.3.	პირამიდული სახის ღვარცოფსწინააღმდეგო ნაგებობა	17
3.4.	გარსდენის პრინციპით დაპროექტებული ნაგებობა	18
3.5.	ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი ...	21
4.	ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობების გაანგარიშება ახალი მეთოდოლოგიის გამოყენებით.....	23
4.1.	ნახევრადკონუსური გამჭოლი ნაგებობა	23
4.2.	ნახევრადცილინდრული გამჭოლი ნაგებობა ...	28
4.3.	პირამიდული გამჭოლი ნაგებობა	33
4.4.	გარსდენის პრინციპის კონსტრუქციული ნაგებობა	39
4.5.	ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი	41
5.	ძირითადი დასკვნები.....	49
6.	ლიტერატურა	50

1. შესავალი

მსოფლიოს მთაგორიანი ქვეყნების ტერიტორიათა განსაზღვრული ნაწილი ღვარცოფთა დამანგრეველი მოქმედების ზონაშია განთავსებული. ასეთი ნაკადების ჩამოყალიბების ადგილს ღვარცოფული კერები წარმოადგენს, რომელთა მყარი ნატანით კვება ეროზიული ღრანტებიდან მიმდინარეობს. ღვარცოფული კერები მთის შენაკადთა ზედა ნაწილში ჰიდროგრაფიული ქსელების კალაპოტთა სისტემით არის წარმოდგენილი. მთის ქანების რღვევით, აგრეთვე თავსხმა წვიმებით, თოვლის დნობით ან სხვა გარე ფაქტორებით გამოწვეული ეროზიული ღრანტეების მყარი მასალის ტრანსპორტირებით ხდება ამ სისტემის შევსება და მიღებული ნარევის დაძვრა, რომელიც ხასიათდება ბმულობით. დაძვრული მასის შედეგად ადგილი აქვს მოძრაობის მიმართულებით კლდის ნამსხვრევების, ქვების, ხის და სხვა სახის მასალის მიერთებას და ღვარცოფის ჩამოყალიბებას. ფორმირებული ნაკადი შეიცავს წონით (80-90%) მყარ მასას და (10-20%) წყალს. მისი მოცულობითი მასა 18000-23000 ნ/მ³-ის ზღვრებშია განთავსებული და წარმოადგენს პლასტიკურ კონგლომერატს. მოძრაობა ხდება გრავიტაციის ძალით და ასეთი სახის ნაკადები ჰიპერკონცენტრირებული - ბმული ღვარცოფების სახელწოდებით არის ცნობილი.

აღნიშნულ ნაკადში წყლის პროცენტული რაოდენობის კრიტიკულზე ზევით გაზრდით ადგილი აქვს ბმულობის დაკარგვას, ხდება მისი გარდასახვა ისეთი სახის ნაკადად, რომელიც ტურბულენტური ღვარცოფის სახელწოდებით არის ცნობილი. მიღებული ტურბულენტური ღვარცოფი

ხასიათდება მოცულობითი წონის სიდიდით, რომლის მასა 11000-17000 ნ/მ³-ის ზღვრებში მერყეობს, ხოლო მყარი ჩანართი წონით 60-70%-ს შეადგენს. ნაკადის მატრანსპორტირებელ გარემოს წყალკოლოიდური ნარევი წარმოადგენს.

ღვარცოფები პერიოდულად ცვლადი მოვლენაა და ხასიათდება როგორც გააქტიურებით, ისე დროებითი სტაბილიზაციით.

ღვარცოფებთან ბრძოლის მდგრად, საიმედო ღონისძიებად, ბოლო მონაცემების მიხედვით, საინჟინრო გადაწყვეტების სხვადასხვა სახეებია მიჩნეული, რომელთა გამოყენების სფერო დაურეგულირებელ ნაკადთა მრავალი სახეობის არსებობასა და ჰიდრავლიკის თავისებურებებთან არის დაკავშირებული, რაც სრულიად განსხვავებულია ჩვეულებრივი ნიუტონური სითხეებისაგან.

ხშირია შემთხვევები, როცა სადინართა სატრანზიტო მონაკვეთები ვერ იძლევა მათი უსაფრთხო ტრანზიტის შესაძლებლობას, რაც უეცრად ჩამოყალიბებული ღვარცოფების კალაპოტური პროცესებისა და დამანგრეველი რისკების გააქტიურების გაძლიერების განმსაზღვრელი ფაქტორი ხდება.

დაურეგულირებელი ბუნებრივი ანომალიების, კერძოდ, ღვარცოფთა რეგულირების საკითხი მსოფლიოს თითქმის ყველა მთაგორიანი ქვეყნის საზრუნავს წარმოადგენს. რაც მათი განმეორებადობის სიხშირით არის გამოჩვეული. შესწავლის თვალსაზრისით, ანომალურობის გამო, მოვლენა არის რთული, არ ექვემდებარება მექანიკის კანონებს, ხასიათდება დიდი დამანგრეველი ძალით, ენერგეტიკული მახასიათებლის შეფასება მოითხოვს დიფერენცირებულ მიდგომებს და ბრძოლის ღონისძიებების შერჩევა სირთულეებთანაა დაკავშირებული. საინჟინრო გადაწყვეტათა

ინოვაციური სახეების შექმნა, მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტები ისეთი ელემენტების ჩართვას მოითხოვს, რომლებიც მნიშვნელოვნად გაზრდის ნაკადთან ნაგებობის შეხების საკონტაქტო ზედაპირს და, დამრტყმელი ძალიდან გამომდინარე, გააძლიერებს ენერჯის ჩაქრობის შესაძლებლობას.

მონიტორინგის მასალებიდან გამომდინარე, თითქმის ყველა მთის მდინარის შენაკადზე არსებული ნაგებობების საექსპლუატაციო მაჩვენებლების ანალიზით დადასტურებულია ღვარცოფთა ნაგებობებზე ანომალური ზემოქმედების ანაბეჭდები. მონაცემების ანალიზით ღვარცოფსადინარებში გავლილი ნაკადის ენერგეტიკული მახასიათებლები ხასიათდება ცვლილების დიდი დიაპაზონით და ტალღის 10-15 მეტრიანი მასშტაბებით. ამასთან ერთად, ღვარცოფთა ტრანსპორტუნარიანობის შესაძლებლობა ძალზე დიდია და ტრანსპორტირებული ქვის დიამეტრი ღვარცოფსადინარში 63,4 ტონას აღწევს [6]. ანალოგიური სიტუაციებია ფიქსირებული მდინარე არაგვის, მესტიის, ჭაგის, ცხენისწყლის, ჭოროხის და სხვა აუზების ღვარცოფსადინარებში. ღვარცოფთა გავლის შედეგად მწყობრიდან არის გამოსული არსებულ ნაგებობათა თითქმის უმრავლესობა.

ღვარცოფები რთულად პროგნოზირებადი მოვლენაა. ხასიათდება უეცარი წარმოქმნით, ღამის პერიოდში გავლის შემთხვევებით, ნაკადი ხასიათდება მნიშვნელოვანი დარტყმის ძალით, იწვევს სადინარის კალაპოტის სიღრმით და განივ ეროზიას და დეფორმაციებს, რაც კალაპოტური ნაგებობების მწყობრიდან გამოყვანის მიზეზსაც წარმოადგენს [1, 2, 3, 4, 6, 21].

დიდი სიმძლავრის ღვარცოფების რეგულირება და სტაბილიზაცია საინჟინრო ნაგებობების გამოყენებასთან

არის დაკავშირებული, რომელთა ფუნქცია - მოძრავი ნაკადის შეჩერება ან დინამიკური მახასიათებლების შესუსტებაა [7, 9, 16, 19, 20].

ღვარცოფთან ბრძოლის პრაქტიკიდან გამომდინარე, საინჟინრო გადაწყვეტები მრავალი სახესხვაობით არის წარმოდგენილი. კონსტრუქციული გადაწყვეტებისას ხშირად გამოყენებული არ არის ნაგებობების ნაკადთან დამყოლობის შესაძლებლობები. ნაგებობები გამოირჩევა სიხისტით და ვერ იძლევა ნაკადთან ელასტიურად შეხების შესაძლებლობას. კონსტრუქციული ელემენტების გაბარიტების შერჩევის დროს გამოყენებულია წყლის ნაკადის სამშენებლო ნორმები და წესები.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ნაგებობათა პარამეტრები ვერ პასუხობს მოვლენის რეალურ შესაძლებლობას და გაანგარიშების მეთოდოლოგიის სრულყოფას და დამუშავებას საჭიროებს.

2. ღვარცოფთა ზემოქმედება შემხვედრ წინააღმდეგობებზე

რეოლოგიურად განსხვავებული ნაკადების ბუნებაში არსებობა და სადინართა ძნელად აღსაწერი კონფიგურაცია ართულებს სტიქიათა ობიექტებზე ზემოქმედების მოსალოდნელი რისკების პროგნოზირებას, მოძრაობის რეჟიმიდან გამომდინარე, ეფექტური ინოვაციური მათემატიკური მოდელების მოვლენასთან ადაპტაციას და ინოვაციურ ნაგებობათა გაანგარიშების მეთოდოლოგიის სრულყოფას.

ღვარცოფის ხარჯისა და სადინარის კალაპოტის ცნობილი ფორმის შემთხვევაში, კვეთის ენერჯის მრუდზე დაყრდნობით შესაძლებელია სრულად შეფასდეს ნაკადის მდგრადობა. როცა სადინარის კალაპოტი არაპრიზმატულია და გამორიცხულია მოძრაობის რეჟიმის სტაციონალურობა ნაკადის მდგრადობის ცვლილების და შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების ნათელი წარმოდგენის მიზნით, აუცილებელია, პირველ რიგში აღიწეროს ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის ფორმა, მისი ენერგეტიკული მახასიათებლები. როცა ცნობილია ნაკადის მახასიათებლები და ენერგეტიკა, ასეთ შემთხვევაში, მარტივდება სიღრმის განსაზღვრის, სადინარის სხვადასხვა კვეთში ნაგებობათა ზომების შერჩევისა და ნაკადის კალაპოტიდან გადმოღვრის შეფასების შესაძლებლობები.

გარემოს დაცვაში ეკოლოგიური წონასწორობის მდგრადობისა და სტაბილურობის შენარჩუნების გარანტს ეფექტური კომპლექსური ხასიათის ინოვაციური ნაგებობების შექმნა წარმოადგენს, ე.ი. ბარაჟების ისეთი სახეების, როცა ნაგებობათა სიხისტე ნაკადის დამრტყმელ ძალასთან მიმართებაში

მინიმუმამდე არის დაყვანილი და ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების ფორმა და სამშენებლო ზომები დაზუსტებული მეთოდოლოგიის გამოყენებითაა შერჩეული. სტიქიათა ნაგებობაზე ზემოქმედების შეფასების მეთოდის ანომალურობაზე დამოკიდებული. გამომდინარე აქედან, ნაგებობის ინოვაციურობა არსებულთან შედარებით ნაკადზე ზემოქმედების შესაძლებლობებით უნდა იყოს გამორჩეული როგორც ვერტიკალურ, ისე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში. ასეთ შემთხვევაში, ნაკადზე ნაგებობის ზემოქმედება არაერთდროულად ხდება.

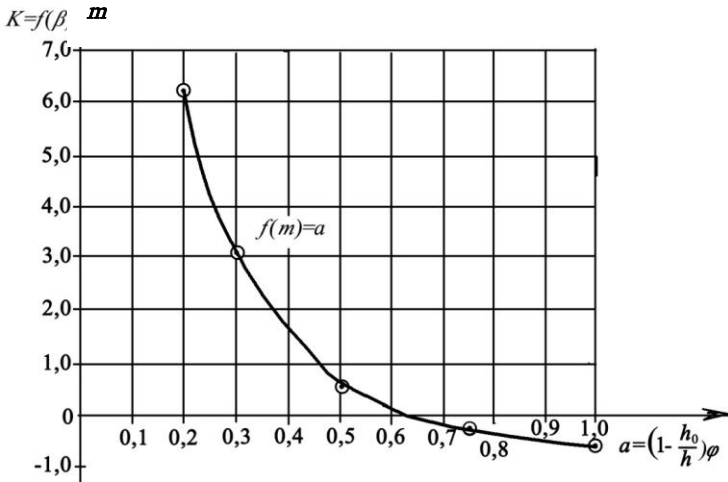
ღვარცოფებთან ბრძოლის ყოველი კონკრეტული ამოცანა ფაქტორთა მთელ კომპლექსზეა დამოკიდებული, რაც, თავის მხრივ, განსაზღვრავს ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ამა თუ იმ ტიპის შერჩევას შესაძლებლობას [17].

ნაგებობაზე მოსალოდნელი დამრტყმელი ძალის სიდიდის ცოდნის შემთხვევაში სირთულის გარეშე შესაძლებელია განისაზღვროს ნაგებობათა კონსტრუქციული ელემენტები.

ნაგებობაზე მომქმედი ბმული ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის შეფასების და თვით შერჩეული ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების გაანგარიშების მეთოდოლოგია დიდი ხანია ეყრდნობა ტალღური და კალაპოტური ნაკადების გაანგარიშების ანალოგიას.

ნაკადის წინსვლითი მოძრაობის დროს ხარჯის მუდმივობის შემთხვევაში, საკონტაქტო კვეთებში ტალღის სიჩქარის, რეჟიმების ცვლილების და წნევის შეფასების მიზნით, მოდელში გამოყენებულია შემდეგი მახასიათებლები: 1. წნევის ცვლილების შეფასებისათვის - სიჩქარე; 2. შემფოთების დასახასიათებლად - მასისა და მოცულობითი ცვლილების დრეკადობის პარამეტრები.

დამრტყმელი ძალის მნიშვნელობა რეოლოგიური მახასიათებლების ფუნქციას წარმოადგენს და გრაფიკული სახით m -ის ფუნქციონალური დამოკიდებულება წარმოდგენილია ნახ. 2.1 - ზე.



ნახ. 2.1. ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის შემასწორებელი კოეფიციენტის დამოკიდებულების გრაფიკი რეოლოგიურ მახასიათებლებთან კავშირში

როცა ღვარცოფთა რეგულირება გამჭოლი ნაგებობებშითაა გამიზნული და გამჭოლობის კოეფიციენტი K -ს ტოლია, ღვარცოფული ანომალურობის განმსაზღვრელი m კოეფიციენტის გაანგარიშების მიზნით მოცემულია გრაფიკული დამოკიდებულება $\alpha=f(m)$, სადაც α რეოლოგიური მახასიათებლების ფუნქციას წარმოადგენს და შინაგანი ხახუნის ϕ კუთხესა და ბმულობის ექვივალენტურ სიღრმეზეა დამოკიდებული.

3. ღვარცოფებთან ბრძოლის საავტორო უფლების მქონე ღონისძიებები

ექსტრემალური ეროზიული პროცესების შედეგად მთისა და მთისწინა წყალშემკრებ აუზებში მეტწილად ღვარცოფწარმომქმნელი მყარი მასა ფორმირდება, რომელზედაც გარე ფაქტორების, კერძოდ, თავსხმა წვიმების ზემოქმედებით ხდება ღვარცოფების ჩამოყალიბება.

წარმოდგენილი სტიქია ხასიათდება არა მხოლოდ მოქმედების მასშტაბურობით, არამედ ფიზიკურ-მექანიკური და რეოლოგიური მახასიათებლების დიდ დიაპაზონში ცვალებადობით. საქართველოს მთის მდინარეთა შენაკადების 90% ღვარცოფული ხასიათისაა, რომელთა შემხვედრი წინააღმდეგობების სარისკო სიტუაციები განსაკუთრებულ ყურადღებას საჭიროებს. ღვარცოფთა რეგულირება დიდი დამრტყმელი ძალის პრობლემასთან ერთად ნაკლებად ემორჩილება დინამიკური ღერძიდან გადახრას და შემხვედრ წინააღმდეგობაზე გარშემოდენას. ასეთი სახის ნაკადები ნაგებობაზე ახორციელებს სრული ენერგიით დარტყმას. მაღალი ტრანსპორტირების გამო გააჩნია კალაპოტის თვით-ფორმირების შესაძლებლობები.

რეგულირების პრობლემა დინამიკასთან ერთად სარეგულაციო ნაგებობათა სიხისტესა და ნაგებობათა სადაწნეო ზედაპირზე ნაკადის ტრანსფორმაციისა და დამრტყმელი ძალის გადანაწილებაზეა დამოკიდებული. ამასთან ერთად, ფორმირებულ ღვარცოფთა გაზრდილი სიხშირით წარმოქმნის გამო მნიშვნელოვანია მათი სატრანზიტო დერეფნის მიმდებარე ტერიტორიების კრიტიკული ინფრასტრუქტურის დეცენტრალიზაციის შესაძლებლობები. ანომალურობის გამო ღვარცოფები არა-

ხელსაყრელი ეკოლოგიური და, აქედან გამომდინარე, სოციალურ-ეკონომიკური პრობლემების წარმოქმნელ ფაქტორად გადაიქცა.

რადგან სარეგულაციო კალაპოტური ნაგებობების მწყობრიდან გამოსვლის ზუსტი პროგნოზირება ღვარცოფთა მრავალფეროვნებისა და დროის სხვადასხვა მონაკვეთში წარმოქმნის გამო ძნელად პროგნოზირებადია, დღეისათვის უნივერსალურ ღონისძიებათა კომპლექსის სახით გაგვაჩნია ისეთი შესაძლებლობები, რომელთა გამოყენება მნიშვნელოვნად ამცირებს ბუნებრივი კატასტროფების ნეგატიურ ზემოქმედებას. აღნიშნული თავისთავად შექმნილია მეცნიერული კვლევების შედეგად დასაბუთებული სხვადასხვა ინოვაციური მეთოდებისა და ტექნოლოგიის გამოყენებით. ღვარცოფსაწინააღმდეგო-სარეგულაციო ნაგებობათა უმრავლესობა რთული კონსტრუქციული ელემენტთა სისტემით არის შედგენილი. რეგულირების ამოცანებიდან გამომდინარე, მათ გააჩნიათ ღვარცოფდამჭერი, ღვარცოფსატრანზიტო, ღვარცოფსარეგულაციო, სანაპირო ზოლის ღვარცოფისგან დამცავი ფუნქცია.

ღვარცოფთა ფორმირება სატრანზიტო მონაკვეთზე ხშირად ტალღის ფორმით ხდება და ფორმირებული ნაკადის ჰიდრაულიკა ძნელად აღსაწერ ჰიდროდინამიკურ პროცესს წარმოადგენს. ჰიდრაულიკურ წინააღმდეგობებზე დიდი კინეტიკური ენერგიით ზემოქმედების გამო ღვარცოფული ნაკადი დაუმყარებელი რეჟიმით მოძრაობს. ძალური მოქმედების შესაძლებლობების სიდიდე სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია. ტალღის გავრცელების სიჩქარე 3-ჯერ ჭარბობს ჩვეულებრივად მოძრავი ნაკადის საშუალო

სიჩქარეს. აქედან გამომდინარე, სავსებით ნათელია, რა შედეგი ექნება ტალღის ფორმით განვითარებულ კატასტროფას.

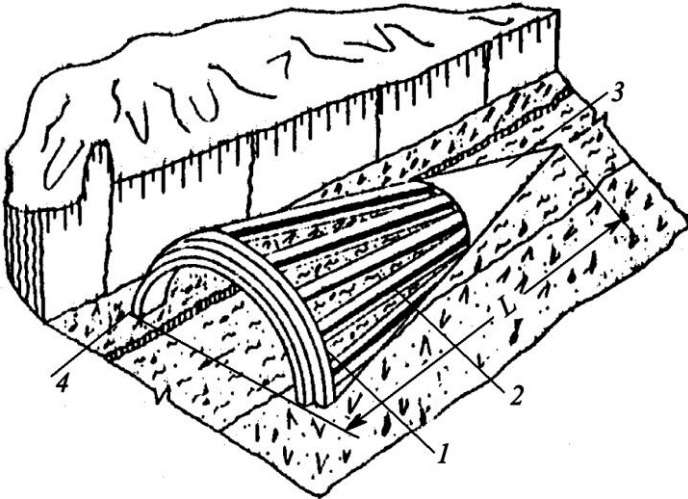
მოვლენის სირთულის გამო ბრძოლის ღონისძიებების შერჩევის სიძნელეებმა, ანომალურობამ და გაზრდილმა რისკმა დღის წესრიგში დააყენა ისეთი კონსტრუქციების შექმნის აუცილებლობა, რომლებიც არსებულისგან განსხვავებულია, როგორც კონსტრუქციული გადაწყვეტით, ისე ნაკადზე ზემოქმედების ინოვაციური შესაძლებლობებითა და დამრტყმელ ძალასთან თანდათანობითი დამყოლობით.

უკანასკნელ პერიოდში უპირატესობა დაეთმო ღვარცოფების გრძივი ნაგებობებით რეგულირებას, სადაც გამოყენებულია ნაკადის შრეობრივად დაყოფის შესაძლებლობა, კატასტროფის ჩასაქრობად ნაგებობა იყენებს ძირითადი ნაკადის კინეტიკურ ენერგიას. კონსტრუქციული გადაწყვეტების ინოვაციურობა ექსპლუატაციის პერიოდში იძლევა მათი მრავალჯერადი გამოყენების შესაძლებლობებს, მაქსიმალურად გათვალისწინებულია ნაკადის ანომალურობა ენერგიის ჩაქრობის დროს. ნაგებობა ხასიათდება ნაკადთან თანდათანობითი შეხებითა და ტრანსფორმაციის კარგი შესაძლებლობით, გააჩნია ნაკადთან ზემოქმედების დროს ელასტიურობა, სირთულეს არ წარმოადგენს ნებისმიერი ფორმის კალაპოტში მოწყობა, იძლევა მასიდან გამოყოფილი მყარი ჩანართის დახარისხების შესაძლებლობას. არსებულისაგან განსხვავებით შემოთავაზებული ნაგებობა სრულიად განსხვავებულია და გააჩნია საავტორო უფლებები.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, მოგვყავს ზოგიერთი მათგანის დახასიათება და ღვარცოფებთან ბრძოლის სტრატეგია.

3.1. ნახევრადკონუსური გამჭოლი ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობა

ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობა (საავტორო მოწმობა №1101499) წარმოადგენს ნახევარკონუსის ფორმით წარმოდგენილ ნაწილობრივ გამჭოლ კონსტრუქციას, რომლის წვერო (3) (ღრუ ნაწილი) ნაგებობის ბოლო საყრდენ თაღთან (1) დაკავშირებულია კოჭების (2) მეშვეობით და ქმნის ტრამპლინს. ნაგებობის წვერო (3) და თაღების ჩასამაგრებელი საძირკველი (4) შესრულებულია რკინაბეტონით, ხოლო კოჭებად (2) შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მეორადი რესურსები, კერძოდ - რკინიგზის ჩამოწერილი რელსები.

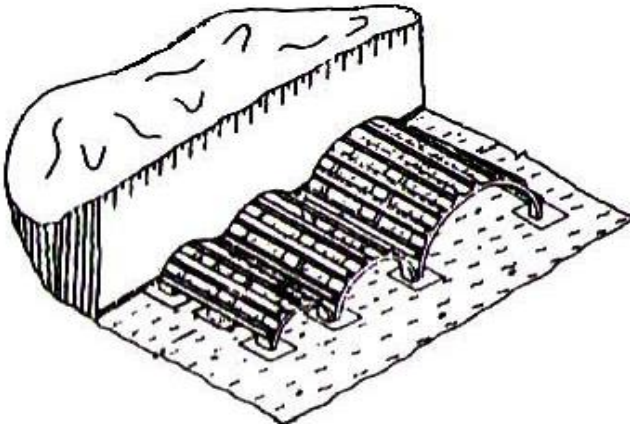


ნახ. 3.1. ღვარცოფსარეგულაციო ნახევრად კონუსური
გამჭოლი ნაგებობა:

1. ნაგებობის ბოლო საყრდენი თაღი;
2. გრძივი კოჭები;
3. ნაგებობის წვერო;
- 4 - თაღების ჩასამაგრებელი საძირკველი

3.2. ნახევრადცილინდრული გამჭოლი ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობა

აღნიშნული კონსტრუქცია (№1191515 საავტორო უფლება) წარმოდგენილია თალურ-საფეხურისებრი ფორმით, რომელსაც ნაკადთან მიმართებაში ერთმანეთთან ჩამაგრებული ნახევრადცილინდრული ზედაპირი გააჩნია, რომელიც იზრდება ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით (ნახ 3.2).



ნახ. 3.2. ნახევრად ცილინდრული გამჭოლი ნაგებობის ხედი:
1. ჩამოწერილი რელსები; 2. რკინაბეტონის საძირკველი

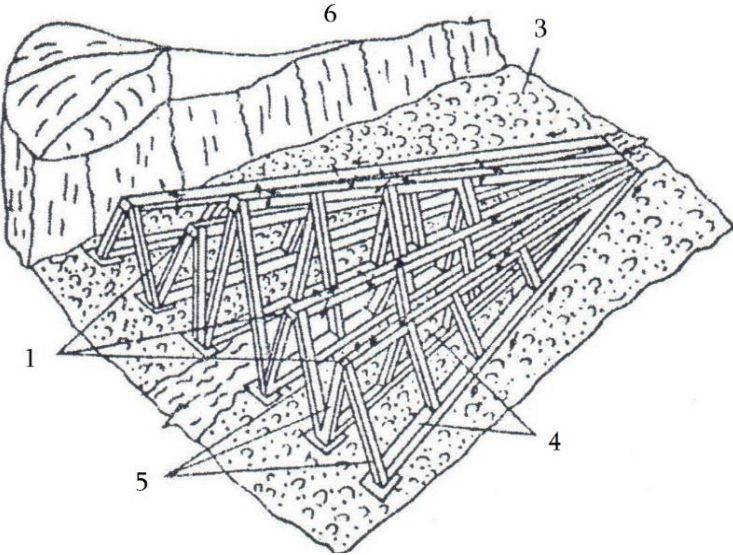
წარმოდგენილი ნაგებობის ზედაპირი შექმნილია მეორადი რესურსით, კერძოდ, რკინაბეტონის საძირკველში (2) ჩამაგრებული ჩამოწერილი რელსებით (1).

ნაგებობის სიმაღლე მატულობს დინების მიმართულებით, ნახევრადცილინდრული ზედაპირის რადიუსების გაზრდის საფუძველზე. რელსებით შექმნილი გამჭოლი ზედაპირის სივრცე წარმოადგენს სწორკუთხა ღრეჩოებს, რომელთა კვეთის ფართობი ნაგებობის სიმაღლეზე არ იცვლება და მუდმივია. თვით ნაგებობის განივი კვეთის სიდიდე

დამოკიდებულია ღვარცოფის სიმძლავრესა და სატრანზიტო უბანზე ნაკადის ჰიდრავლიკურ პარამეტრებზე.

3.3. პირამიდული სახის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა

წარმოდგენილი ნაგებობა (საავტორო მოწმობა №1413185) ჰიდროტექნიკური ნაგებობის კატეგორიით განკუთვნილია ღვარცოფთა შეკავებისა და კინეტიკური ენერჯის ჩასაქრობად (ნახ. 3.3).



ნახ. 3.3. ღვარცოფსაწინააღმდეგო მოწყობილობა:

1. კოჭები; 2. განაპირა კოჭები; 3. ღვარცოფსადინარის კალაპოტი;
4. საყრდენი კონსტრუქცია; 5. პირამიდის ფუძის კოჭები;
6. ღვარცოფსადინარის სანაპირო ზოლი; 7. სამკუთხა პირამიდები

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა გამჭოლი კონსტრუქციის სახითაა წარმოდგენილი, რომელიც კოჭების სისტემით (1) თავში შეკრულია კონად, რომელიც სხივურად იშლება ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით. განაპირა კოჭები (2)

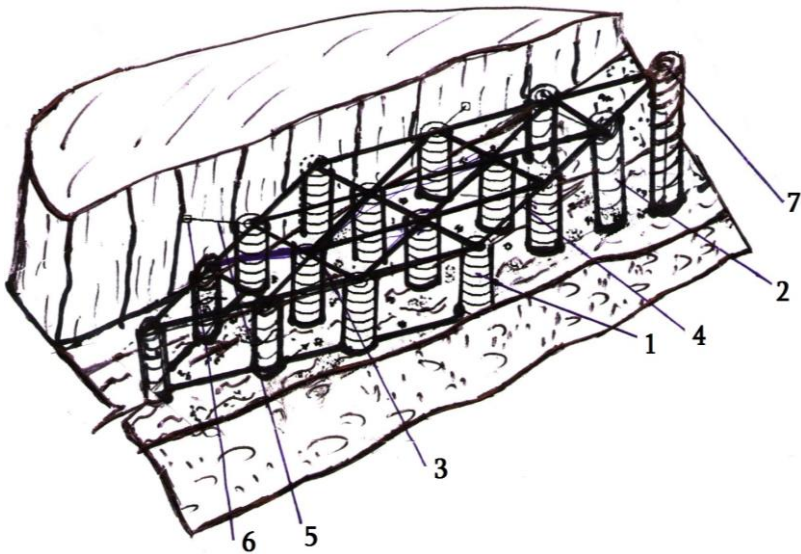
განლაგებულია ღვარცოფსატარი კალაპოტის ფუძეზე (3), ხოლო მათ შორის განლაგებული კოჭები დაყენებულია ნაკადის დინების მიმართულებასთან ზრდადი უკუქანობით საყრდენ კონსტრუქციაზე (4). კონსტრუქცია განთავსებულია ღვარცოფსადინარის კალაპოტში (3) და მაგრდება საყრდენ კონსტრუქციებზე.

ყოველი კოჭი (1) უახლოეს ორ საყრდენ კოჭთან (4) წყვილი დახრილი კოჭებითა (5) და ნაგებობის ბოლოს, საყრდენი კოჭების შეერთების შედეგად, ნაგებობა შეიძლება წარმოდგენილი იქნას წვეროებით კონად შეკრული გამჭოლი პირამიდებით (7), რომელთა სიმაღლეები იზრდება როგორც ნაკადის, ისე სანაპირო ზოლიდან დინამიკური ღერძის მიმართულებით.

3.4. გარსდენის პრინციპით დაპროექტებული ნაგებობა

ნაგებობა წარმოადგენს ინოვაციურ ნაგებობას და შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ღვარცოფების რეგულირების მიზნით [8].

გარსდენის პრინციპიდან გამომდინარე, ნაგებობა ხასიათდება დიდი საიმედოობით და ღვარცოფშეკავების გაძლიერებული ეფექტურობით. წარმოდგენილი ღვარცოფსარეგულაციო გარსდენის ნაგებობის სიახლე და ინოვაციურობა კონსტრუქციის განსხვავებული ფორმით და ნაკადზე ურთიერთმოქმედების განსხვავებული პრინციპით წარმოდგენილია ნახ. 3.4-ზე.



ნახ. 3.4. ღვარცოფსარეგულაციო გამჭოლი ნაგებობა:
 1. ლითონის მილი; 2. საბურავები; 3. ლითონის ღერძი; 4. მილების
 შემერთებელი ირიბანები; 5. მისაბმელი ტროსი; 6. ტროსების
 დასამაგრებელი ანკერები; 7. ინერტული მასალა

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა წარმოდგენილია ჭადრაკული სქემით - შერეული ცილინდრული ფორმის ელემენტებით, რომელებიც ლითონის ღერძის მქონე ღვარცოფსადინარის კალაპოტში არსებული ინერტული მასალებით სავსე მილებითაა წარმოდგენილი და დამაგრებულია რკინაბეტონის ფუძეზე.

ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობა განივი სახის ნაგებობათა კატეგორიას განეკუთვნება, რომელსაც ღერძიდან ღვარცოფის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით აქვს სამკუთხა პრიზმის ფორმა, შეიძლება ნაგებობა, მისი

კონსტრუქციული გადაწყვეტიდან გამომდინარე, წაკვეთილი პირამიდის ფორმით იყოს წარმოდგენილი.

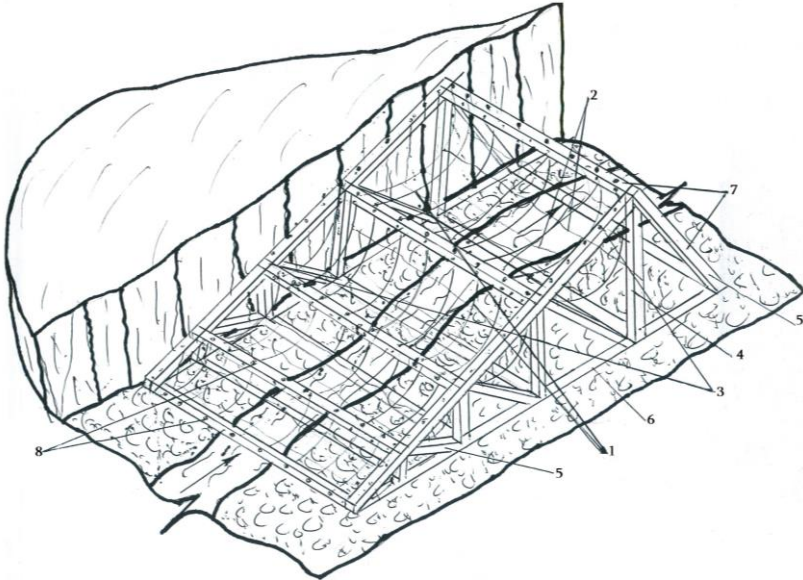
კონსტრუქციული გადაწყვეტა წარმოდგენილია შემადგენელი ელემენტებით: (1) ლითონის მილი, საბურავები (2), ლითონის ღერძი (3), ლითონის ღერძისა და მილების შემერთებელი ირიბანები (4), ღვარცოფსადინარის ფერდობზე ცილინდრული ელემენტების დასამაგრებელი ტროსი (5), ღვარცოფსადინარის ფერდობზე ტროსების მომჭერის მისამაგრებელი ანკერები (6), მილებში მოთავსებული ინერტული მასალა (7).

ნაგებობა დინების მიმართულებით და საწინააღმდეგოდ წარმოდგენილია სექციების სახით, რომელთა რაოდენობა დამოკიდებულია ღეროზე განლაგებული ღრუ ნაწილის შემქმნელი მილსადენების რაოდენობაზე.

ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედების დროს ხდება მისი სტრუქტურის დაყოფა კალაპოტის სიგანეზე. ნაგებობის განშლადი სახით გადაწყვეტის გამო დამრტყმელი ძალა გადანაწილდება მის სექციებსა და მთელ სიგრძეზე. სტრუქტურული ელემენტების ღვარცოფთან შეხების შემთხვევაში მიმდინარეობს დამრტყმელი ძალის მდორედ ცვლილება, რაც, თავის მხრივ, იწვევს ენერჯის ეფექტურად ჩაქრობის შესაძლებლობას.

3.5. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი

წარმოდგენილი ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის (პატენტი P 20207068 B) ღვარცოფთან ბრძოლის სიახლე და ინოვაციურობა კონსტრუქციის განსხვავებული ფორმითა და ელასტიურობითაა წარმოდგენილი (ნახ. 3.5).



ნახ. 3.5. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი:

1. და 2. გრძივი და განივი ტროსები;
3. სამკუთხა პრიზმები;
4. სამკუთხა პრიზმების ფუძეები;
5. სამკუთხა პრიზმების წახნაგები;
6. კალაპოტზე განლაგებული პრიზმის წახნაგი;
7. პრიზმების წიბოები;
8. ბაგირების ჩასამაგრებელი ხვრელები

ელასტიკური ბარაჟის ელემენტებს წარმოადგენს: სამკუთხა პრიზმები (3), სამკუთხა პრიზმების ფუძეები (4), წახნაგები (5), პრიზმის ფუძის წახნაგი (6), წიბოები (7), ტროსის ჩასამაგრებელი ხვრელები (8), გრძივი (1) და განივი (2) დრეკადი ტროსები.

ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის ტექნიკური ამოცანის გადაჭრის შესაძლებლობა არსებულისაგან განსხვავებით არის მაღალი, მისი მშენებლობა არის მარტივი, შედარებით სრულად ითვალისწინებს ღვარცოფთა ანომალურ ბუნებას, მრავალჯერადად გამოიყენება, ელასტიკურობის ხარჯზე ეფექტურადაა შესაძლებელი ღვარცოფის დარტყმის ძალის მის სადაწნეო ზედაპირზე გადანაწილება. გარდა ამისა, ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ნატანის ქვის ჩანართის დახარისხების შესაძლებლობას იძლევა.

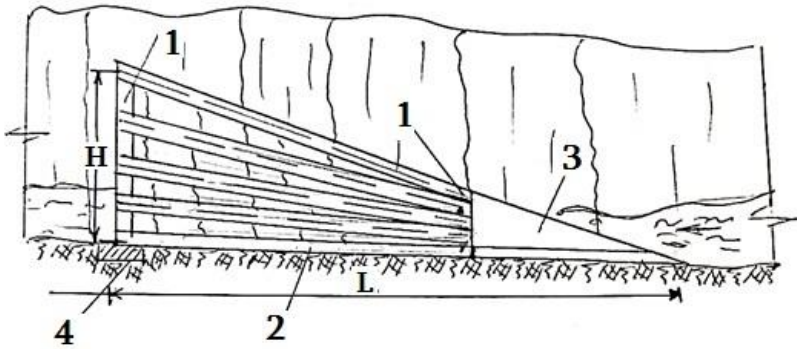
ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი წარმოდგენილია სხვადასხვა ფორმის ელემენტებისაგან შედგენილი სექციების სახით ერთმანეთთან დაკავშირებული განსხვავებული სახის ხისტი ელემენტებით. კონსტრუქციას აქვს ტრამპლინის სახე, რომლის სადაწნეო გამჭოლი ზედაპირი ბაგირების გამოყენების გამო მრუდწირული ფორმითაა წარმოდგენილი. ენერჯის ჩაქრობა ხორციელდება სექციების სიმაღლეთა გაზრდის საფუძველზე. ნაგებობის საიმედოობის გაზრდა და ღვარცოფის დინამიკური დარტყმის ძალასთან მოქნილობა, ასევე კონსტრუქციის ელასტიკურობა მიღწეულია თანაბარი სიმაღლის მქონე პრიზმების მიჯრით სექციების სახით. ნაგებობა წახნაგებით ჩადგმულია მდინარის კალაპოტში, რომელთა ფუძის სიმაღლე იზრდება ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით, ხოლო ზედა წიბოებს შორის გაბმულია დრეკადი ლითონის ბაგირები, რომლებიც ქმნიან სექციებს შორის ჯიბეებს ღვარცოფული მასის მისაღებად.

4. ღვაროფსარეულაციო ნაგებობის გაანგარიშება ახალი მეთოდოლოგიის გამოყენებით

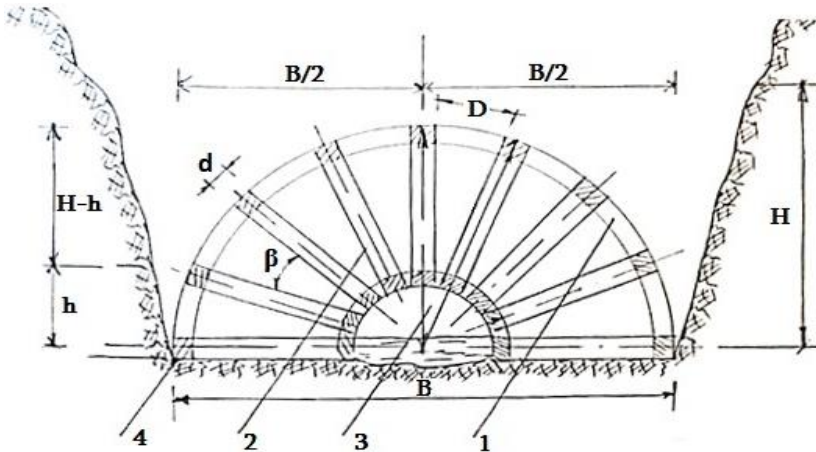
4.1. ნახევრადკონუსური გამჭოლი ნაგებობა

როცა ღვარცოფის რეგულირება ხორციელდება წარმოდგენილი ნაგებობით, აუცილებელია მხედველობაში იქნეს მიღებული მოსალოდნელი კატასტროფის სახე, რადგან რეალობაში ვხვდებით როგორც ტურბულენტურ, ისე ბმულ, ერთმანეთისაგან ბუნებით განსხვავებულ ღვარცოფებს. ამასთან ერთად, კონსტრუქციის შერჩევისას ნაგებობაზე მოქმედი ნაკადის მახასიათებელი პარამეტრების განსაზღვრის დროს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული მოვლენასთან ადაპტირებული საანგარიშო დამოკიდებულებების ერთმანეთთან დიამეტრულად განსხვავებულობა.

დასაპროექტებელი ნაგებობა თაღოვან ნახევრადკონუსური სივრცული გარსით თაღოვან საყრდენებზე დამაგრებული კოჭების მეშვეობით ტრამპლინის სახით არის წარმოდგენილი. ნაგებობის გამჭოლობის ცვლილება სამკუთხედის ფორმიდან ტრაპეციის ფორმაში ან პირიქითაა შესაძლებელი, კოჭების განლაგებით ან ყრუ ნაწილის სიგრძის ცვლილებით. წარმოდგენილი ნაგებობის საანგარიშო სქემა გრძივი და განივი ხედით მოცემულია ნახაზებზე 4.1.1 და 4.1.2.



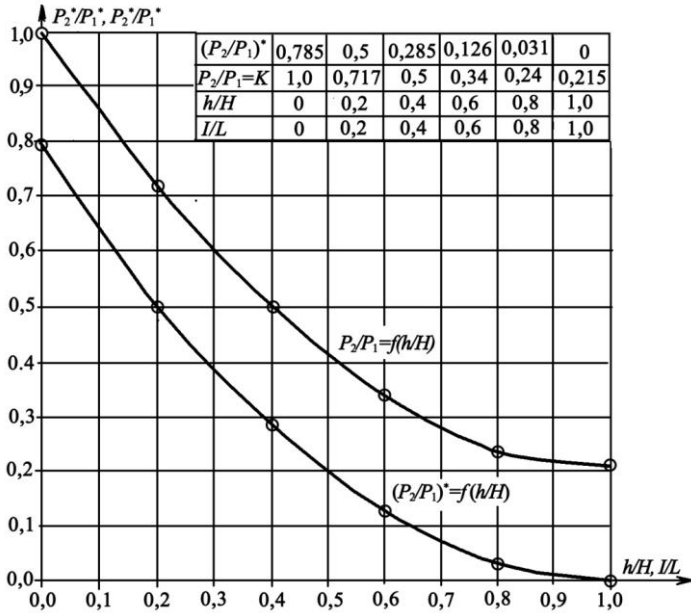
ნახ. 4.1.1.1. ნახევრადკონუსური ნაგებობის გრძივი ჭრილი:
 1. ნაგებობის თალი; 2. გრძივი კოჭები; 3. ნაგებობის წვერო; 4. ნაგებობის საძირკველი



ნახ. 4.1.1.2. ნახევრად კონუსური ნაგებობის განივი ჭრილი:
 1. ნაგებობის თალი; 2. გრძივი კოჭები; 3. ნაგებობის წვერო; 4. ნაგებობის საძირკველი

თავდაპირველად უნდა აღინიშნოს, რომ კოჭებს შორის მაქსიმუმი დაცილება აიღება ღვარცოფის მყარი ნაწილით ტრანსპორტირებული ქვის დიამეტრის მიხედვით.

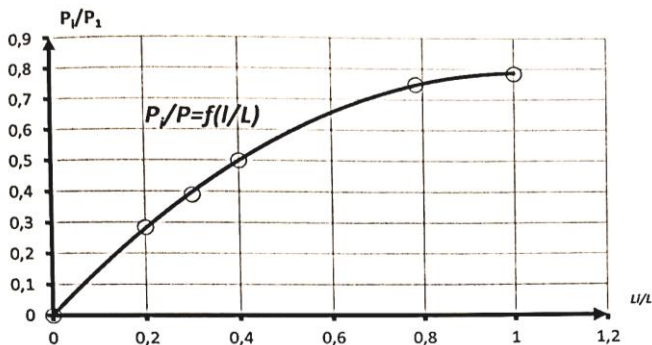
გამჭოლ თუ ყრუ ნაგებობაზე დამრტყმელი ძალის სიდიდის შესაფასებლად მოგვყავს გრაფიკული დამოკიდებულება ფარდობით სიდიდეებში (ნახ. 4.1.3).



ნახ. 4.1.3. გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე მოქმედი დამრტყმელი ძალის დამოკიდებულების გრაფიკი ფარდობით სიდიდეებში გამჭოლობის კოეფიციენტთან

ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით დამრტყმელი ძალის ნაგებობის სიგრძეზე ცვალებადობის შეფასება ნაგებობის ყრუ ნაწილის მიხედვით ხდება, რადგან ნაგებობის ყრუ ნაწილის რადიუსი კოჭების საანგარიშო კვეთის მაქსიმალურ სიდიდესთანაა დაკავშირებული.

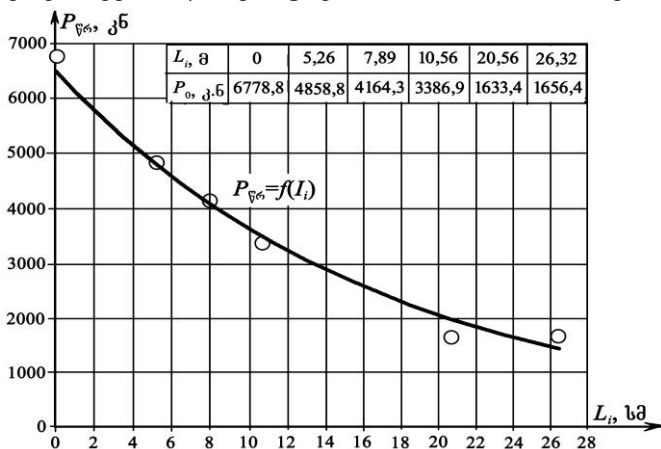
ნაგებობის სიგრძეზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის განწილების სურათი ფარდობით სიდიდეებში გრაფიკული სახით მოცემულია ნახ. 4.1.4-ზე.



ნახ. 4.1.4. ყრუ ნაწილის ნაგებობის სიგრძეზე ცვლილების დროს დამრტყმელი ძალის ფარდობით სიდიდეებში

$$\text{ცვლილების გრაფიკი } \frac{P_i}{P_1} = f\left(\frac{L_i}{L}\right)$$

ნაგებობის მიერ დარტყმითი ძალის განეიტრალების შესაძლებლობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მათი რაოდენობის შერჩევის დროს. აქედან გამომდინარე, ნარჩენი ძალის სიდიდის ცვლილების სურათი ნაგებობის სიგრძეზე მოყვანილია გრაფიკის სახით ნახ. 4.1.5-ზე.

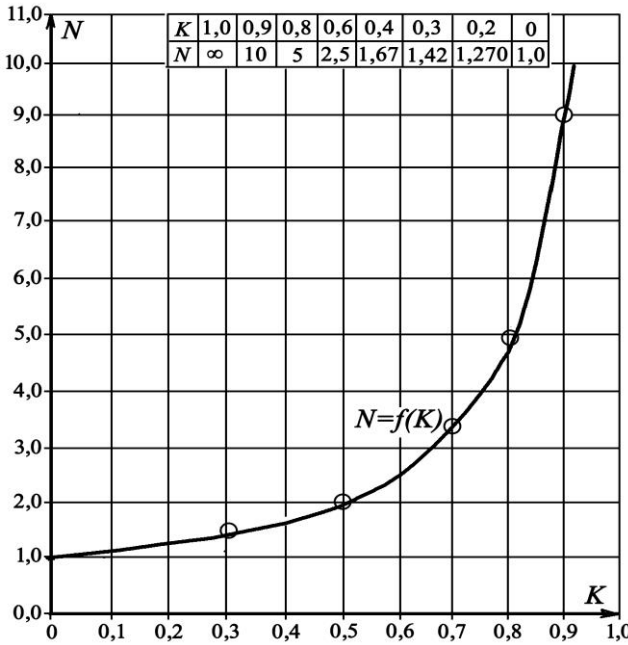


ნახ. 4.1.5. ნაგებობის სიგრძეზე ნარჩენი ძალის ცვლილების კანონზომიერება

$$P_0 = f(L_i)$$

ჩატარებული გაანგარიშებების საფუძველზე მიღებული დამრტყმელი ძალის სრულ განეიტრალებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება დასაპროექტებელი ნაგებობების რაოდენობის დადგენის დროს.

გამჭოლობის კოეფიციენტის ცვლილების საფუძველზე, ნაგებობის რაოდენობა გამჭოლობასთან კავშირში გრაფიკული დამოკიდებულების სახით მოცემულია ნახ. 4.1.6-ზე.



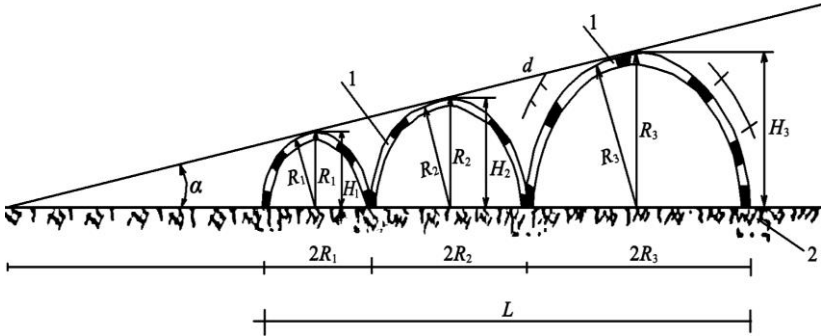
ნახ. 4.1.6. ნაგებობის რაოდენობასა და გამჭოლობის კოეფიციენტს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი $N = f(K)$

შემოთავაზებულ ნაგებობაზე ბმული ღვარცოფის ზემოქმედების პირველი მიახლოებითი მნიშვნელობით განხორციელებული ანგარიში გვიჩვენებს, რომ იგი ღვარცოფთან ბრძოლის ინოვაციურ ღონისძიებას წარმოადგენს.

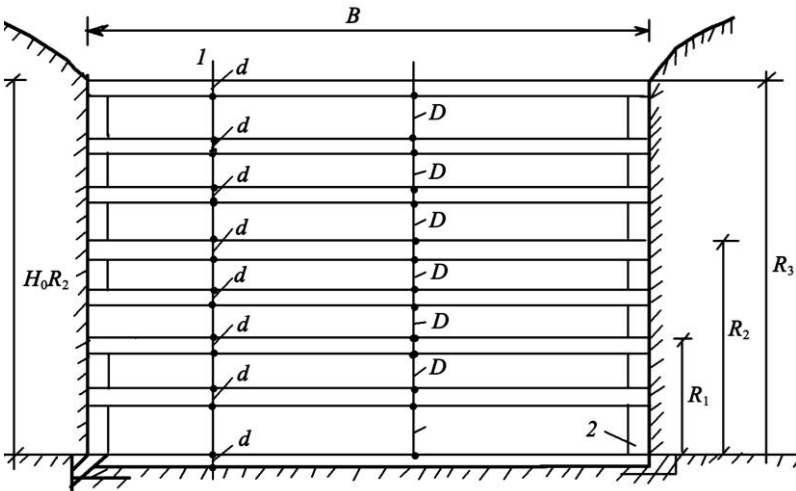
ნაკლებ გავლენას ახდენს ეკოლოგიურ წონასწორობაზე, ექსპლუატაცია არის მარტივი და მეორადი რესურსების გამოყენებით მისი სამშენებლო ღირებულება არის მნიშვნელოვნად დაბალი. ნახევრად კონუსური გამჭოლი ნაგებობის შემოთავაზებული მეთოდებით გაანგარიშება და პრაქტიკაში დანერგვა ღვარცოფთა რეგულირების ღონისძიებებში პერსპექტიულია, რადგან მოცემული გაანგარიშებით მისი ეფექტურობის მახასიათებლები დამაკმაყოფილებელია და მისაღებია საინჟინრო პრაქტიკის გათვალისწინებით.

4.2. ნახევრადცილინდრული გამჭოლი ნაგებობა

ნაგებობათა სახეების სიმრავლის მიუხედავად, ყოველ მათგანს ღვარცოფებთან ბრძოლის დროს მკაცრად განსხვავებული დანიშნულება გააჩნია. მოვლენასთან მათი გამოყენების შესაძლებლობა იმ სპეციფიკის გათვალისწინებით უნდა განხორციელდეს, რომელიც ღვარცოფის ადგილმდებარეობასთანაა დაკავშირებული. საავტორო უფლების მქონე ნახევრადცილინდრული გამჭოლი ნაგებობის ღვარცოფთან ბრძოლის გამოყენების მიზანშეწონილობა და კონსტრუქციის ელემენტების შერჩევის მეთოდოლოგია შემდეგნაირად შეიძლება ჩამოყალიბდეს:



ნახ. 4.2.1. ნახევრადცილინდრული ნაგებობის გრძივი ჭრილი

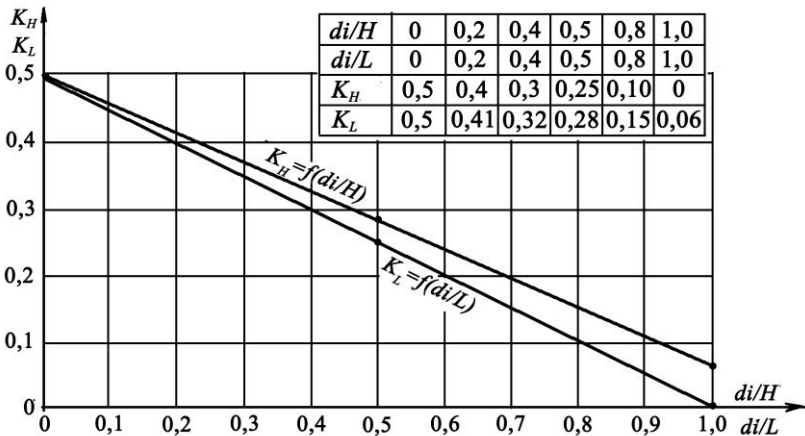


ნახ. 4.2.2. ნახევრადცილინდრული ნაგებობის განივი ჭრილი

ნაგებობის უპირატესობა მსგავსი ტიპის ნაგებობებთან შედარებით მისი მრავალჯერადი გამოყენებით განისაზღვრება.

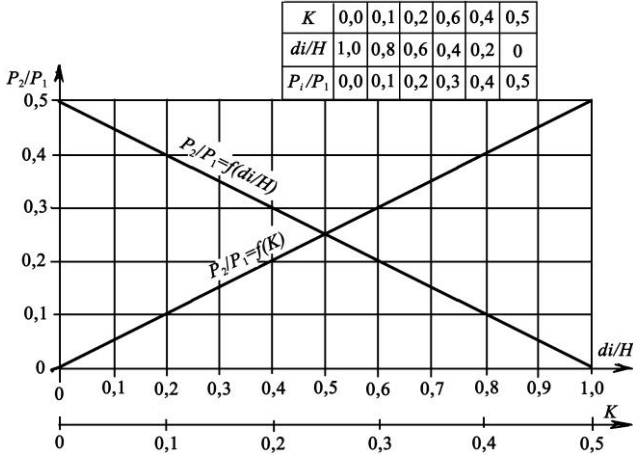
გამჭოლი ღრეჩობის ზომები და განლაგების სიხშირე ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ქვის მაქსიმალურ დიამეტრთანაა დაკავშირებული. კონსტრუქციული გადაწყვეტა შესაძლებლობას იძლევა მის ზედაპირზე ნაკადი გადანაწილდეს როგორც სიმაღლეზე, ისე სიგრძეზე.

წარმოდგენილი ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების და გაანგარიშების მეთოდოლოგია ნახაზებზე მოცემული საანგარიშო სქემების საფუძველზე ხდება. თვალსაჩინოების მიზნით გამჭოლობის კოეფიციენტის ცვლილების შესაძლებლობა მოცემულია გრაფიკული დამოკიდებულებების სახით (ნახ. 4.2.3).



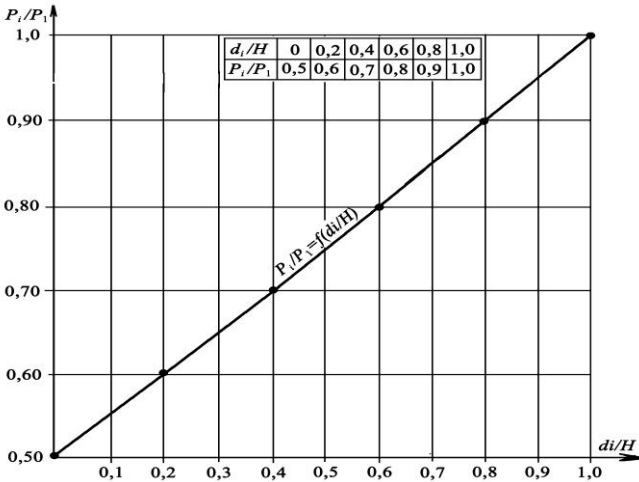
ნახ. 4.2.3. გამჭოლობის კოეფიციენტის ცვლილება ნაგებობის სიმაღლისა და სიგრძის მიხედვით

გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე დამრტყმელი ძალის სიდიდის შესაფასებლად მოგვყავს გრაფიკული დამოკიდებულება



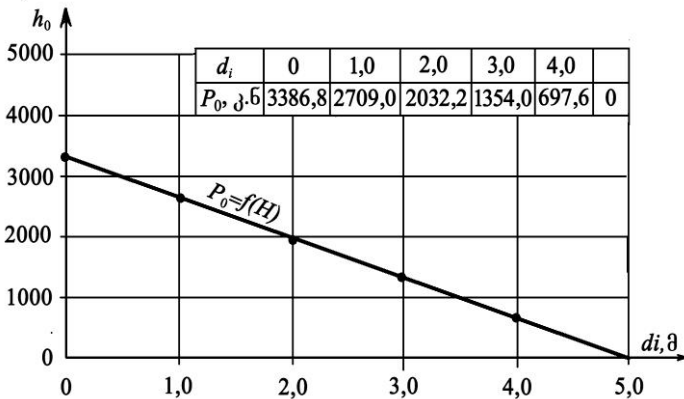
ნახ. 4.2.4. გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე მოქმედი ძალების ფარდობითი სიდიდეების P_2/P_1 დამოკიდებულების გრაფიკი (გამჭოლობისა და კოჭის სიგანის - ნაგებობის სიმაღლესთან ფარდობის კავშირი)

ნაგებობის სიმაღლეზე დამრტყმელი ძალის განაწილების სურათი ფარდობით სიდიდეებში მოცემულია გრაფიკული სახით (ნახ. 4.2.5).



ნახ. 4.2.5. ნაგებობის ყრუ ნაწილის ცვლილების დროს დამრტყმელი ძალის ცვლილების გრაფიკი $P_i/P_1=f(d_i/H)$ ფარდობით სიდიდეებში

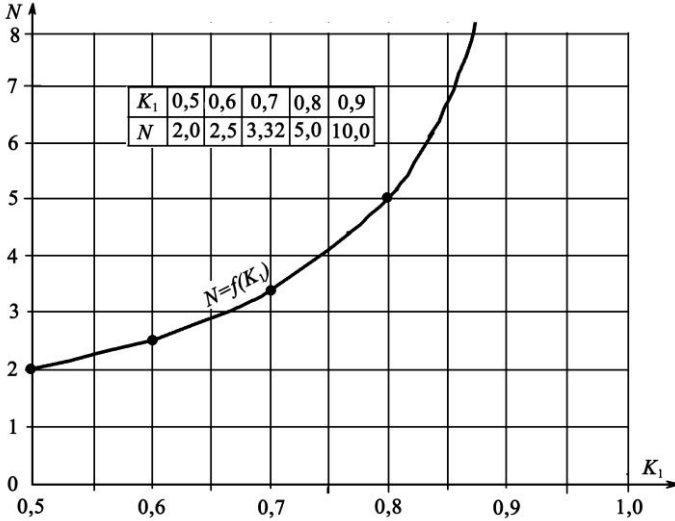
ნაგებობაზე დამრტყმელი ძალის განეიტრალების შესაძლებლობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მათი საჭირო რაოდენობის გასარკვევად. აქედან გამომდინარე, დამჭერი P ძალის ცვლილების გრაფიკს ნაგებობის სიმაღლეზე შემდეგი სახე აქვს:



ნახ. 4.2.6. ცვლილების დამოკიდებულება დამჭერი ძალის ნაგებობის სიმაღლესთან კავშირში

გაანგარიშების საფუძველზე ნაგებობაზე მოქმედი ძალის განეიტრალებას, რომელიც ნახ. 4.2.6-ზეა მოცემული, განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება დასაპროექტებელი ნაგებობის რაოდენობის შერჩევის დროს.

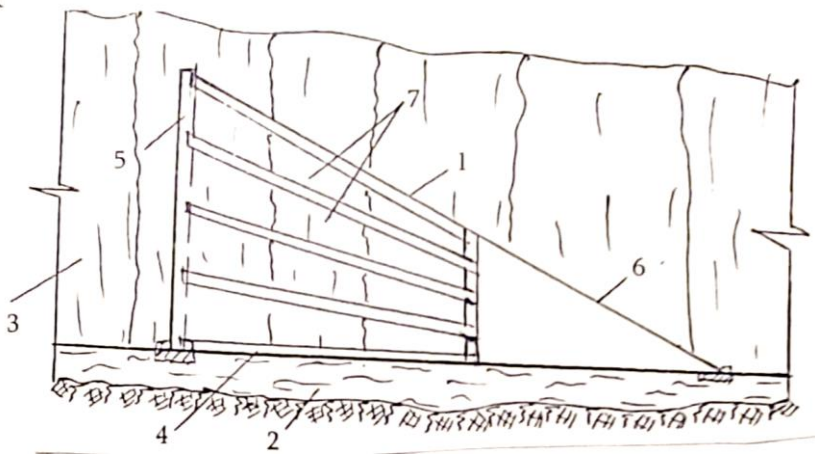
ზოგადად სიყრუის ცვლილების საფუძველზე, ნაგებობის რაოდენობა გრაფიკული სახით მოცემულია ნახ. 4.2.7-ზე.



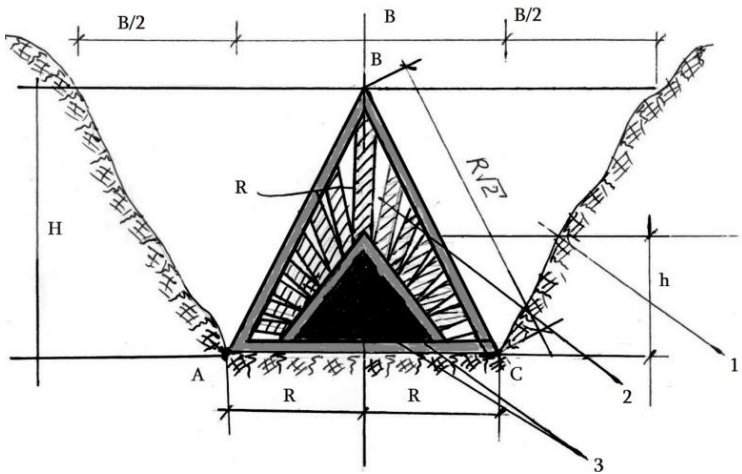
ნახ. 4.2.7. ნაგებობის რაოდენობის დამოკიდებულება სიყრუის კოეფიციენტთან

4.3. პირამიდული გამჭოლი ნაგებობა

ნაგებობა პირამიდების სისტემით არის წარმოდგენილი, მისი გაანგარიშების მიზნით ვიღებთ ერთ პირამიდას, ხოლო ნაკადის ძალური შეფასების მიზნით შეიძლება გამოვიყენოთ ჰიდრავლიკისა და ჰიდროლოგიის საანგარიშო დამოკიდებულებები. ასეთი სახით წარმოდგენილ კონსტრუქციაზე გამჭოლი კოჭების განლაგების შედეგად ღრეჩოებს შეიძლება ჰქონდეს ტრაპეციის ან სამკუთხედის ფორმა. ნაგებობის გაანგარიშების სქემები ნახ. 4.3.1–სა და ნახ. 4.3.2–ზეა მოცემული.



ნახ. 4.3.1. პირამიდული ნაგებობის გრძივი ჭრილი

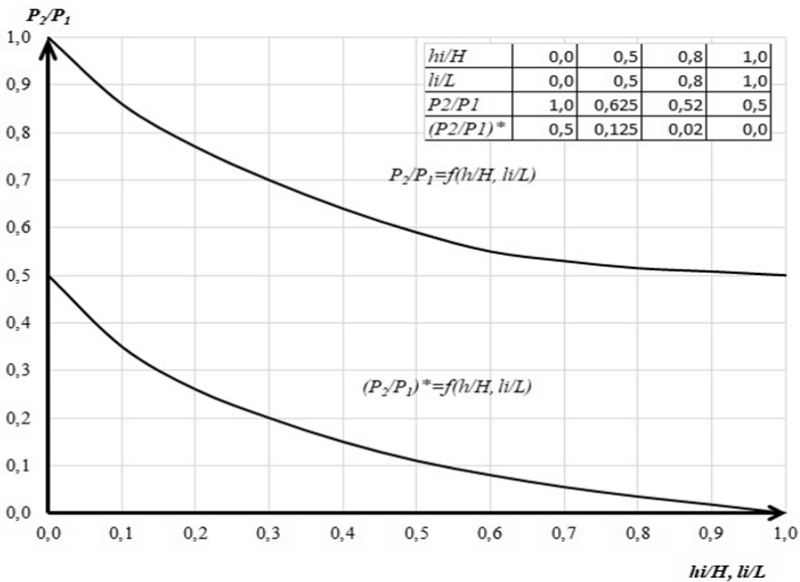


ნახ. 4.3.2. პირამიდული ნაგებობის განვი ჭრილი

წარმოდგენილ ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედების შესაფასებლად ნაგებობის საანგარიშო სქემის კონსტრუქციული ზომების შერჩევის მიზნით ქვემოთ მოგვყავს საანგარიშო დამოკიდებულებები. პირამიდის სამკუთხა

ფუძის შემთხვევაში, როცა კალაპოტის სიგანე B-ს და ნაგებობის სიმაღლე $H=B/2=R$ -ის ტოლია, ასეთ შემთხვევაში ნაგებობის სადაწნეო ზედაპირის ფერდების სრული სიგრძე $2R\sqrt{2}$ -ის ტოლი იქნება.

თვალსაჩინოების მიზნით, გრაფიკის სახით მოყვანილია ღვარცოფის გასატარებელი კვეთის გამჭოლობისა (K) და ნაგებობის გამჭოლობის (K^*) კოეფიციენტის ფუნქციონალური $K = \frac{P_2}{P_1} = f\left(\frac{h_i}{H}; \frac{l_i}{L}\right)$ დამოკიდებულება ნაგებობის ელემენტებთან კავშირში (ნახ. 4.3.3) გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე დამრტყმელი ძალის სიდიდის შესაფასებლად.

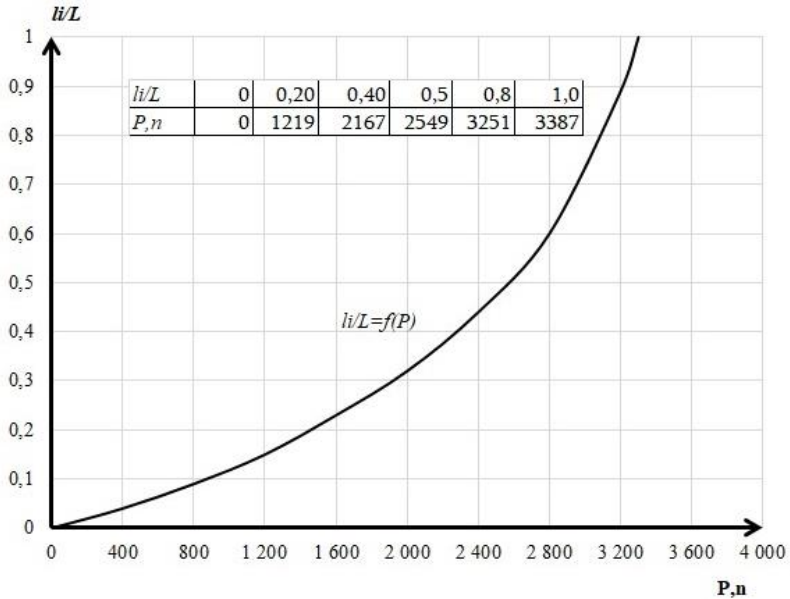


ნახ. 4.3.3. გრაფიკული დამოკიდებულება $\frac{P_2'}{P_1} = f\left(\frac{h_i}{H}; \frac{l_i}{L}\right)$ და

$$\frac{P_2}{P_1} = f\left(\frac{h_i}{H}; \frac{l_i}{L}\right) \text{ ნაგებობების ელემენტების } \frac{h_i}{H} \text{ და } \frac{l_i}{L}$$

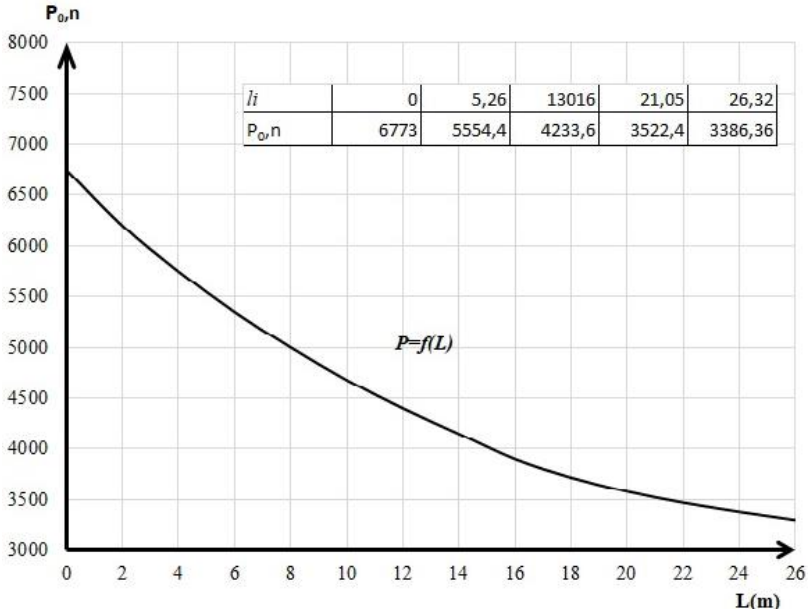
ცვლილების დროს

ნაგებობის სიგრძეზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის განაწილების სურათი ფარდობით სიდიდეებში (ყრუ ნაწილზე მოქმედი ძალის მთლიან ნაგებობაზე მოქმედ ძალასთან ფარდობის შემთხვევაში) გრაფიკის სახით მოცემულია ნახ. 4.3.4-ზე.



ნახ. 4.3.4. ნაგებობის სიგრძეზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის განაწილების სურათი ფარდობით სიდიდეებში

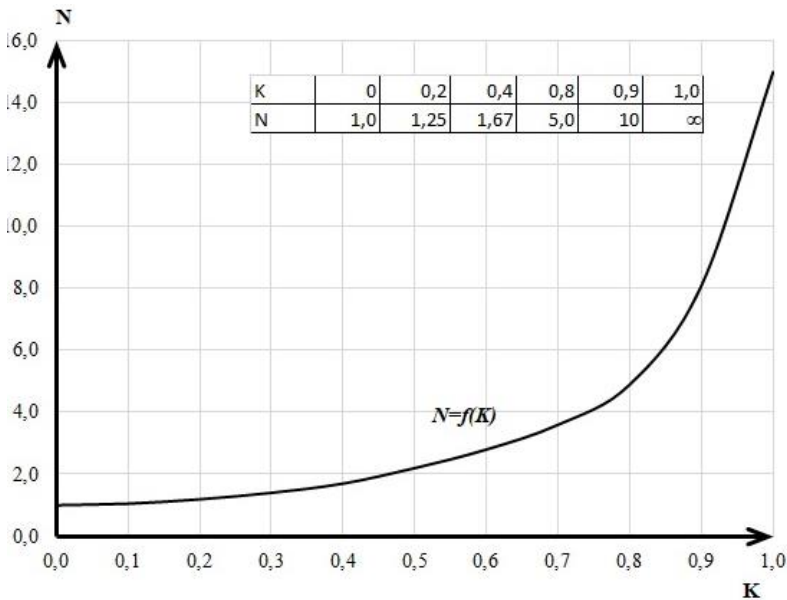
დამრტყმელი ძალის განეიტრალების შესაძლებლობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა გააჩნია ნაგებობათა რაოდენობის შერჩევის თვალსაზრისით. აქედან გამომდინარე, ნარჩენი ძალის სიდიდის ცვლილების სურათი გაანგარიშების საფუძველზე ნახ. 4.3.5-ზეა მოცემული.



ნახ. 4.3.5. ნარჩენი ძალის დამოკიდებულება ნაგებობის სიგრძესთან კავშირში

დამრტყმელი ძალის სრულ განეიტრალებაში განმსაზღვრელი როლი ნაგებობათა რაოდენობას გააჩნია, რომელიც, როცა გამჭოლობის კოეფიციენტი K -ს ტოლია, განისაზღვრება ფორმულით
$$N = \frac{1}{1-K}$$
.

თვალსაჩინოების მიზნით ნაგებობათა რაოდენობის შერჩევა შეიძლება განხორციელდეს $N = f(K)$ გრაფიკული დამოკიდებულების საფუძველზე (ნახ. 4.3.6).



ნახ. 4.3.6. ნაგებობის გამჭოლობასა და რაოდენობას შორის დამოკიდებულების გრაფიკი $N = f(K)$

შემოთავაზებული ნაგებობის საპროექტო პარამეტრების მიღებული მნიშვნელობები და კონსტრუქციული გადაწყვეტა გვიჩვენებს, რომ იგი ღვარცოფებთან ბრძოლის ეფექტურ საშუალებად შეიძლება იქნას მიჩნეული და, ამასთან ერთად, ნაკლებ გავლენას ახდენს ეკოლოგიურ წონასწორობაზე. მისი ექსპლუატაცია არის მარტივი. მეორადი რესურსების გამოყენების გამო მნიშვნელოვნად მცირდება მისი საამშენებლო ღირებულება.

4.4. გარსდენის პრინციპის კონსტრუქციული ნაგებობა

წარმოდგენილი ნაგებობის ინოვაცია ნაკადის გარსდენის პრინციპთან არის დაკავშირებული.

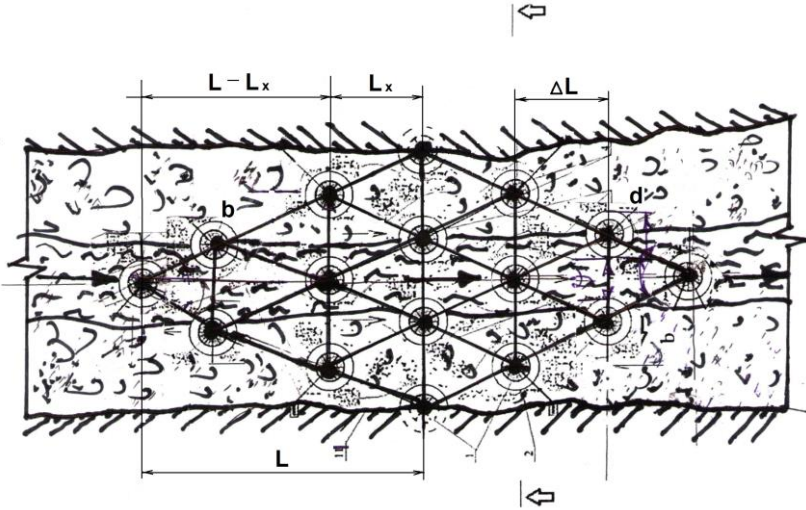
სტიქიასთან გამოყენების შემთხვევაში კონსტრუქცია სექციების სახით არის წარმოდგენილი და ქმნის ერთგვარი მასიური სახის პრიზმულ სახეს. შეიძლება ნაკადთან ზემოქმედების მიმართებაში იგი წარმოდგენილი იყოს წაკვეთილი პირამიდის სახით.

დამრტყმელი ძალის მიმართ ღრეჩოების განლაგებას მართობული მიმართულება აქვს, ხოლო საყრდენი მილების განლაგების გამო - გამჭოლ ღრეჩოებს სწორკუთხედის ფორმა, რომელიც შეიძლება კვადრატის სახითაც იყოს წარმოდგენილი.

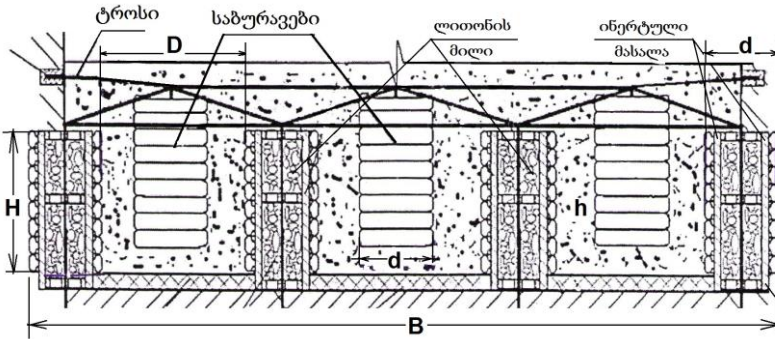
ნაგებობის სიგანე ნაკადის დინების მიმართულებით ღერძამდე სამკუთხედის სახისაა და იზრდება, ხოლო ღერძის შემდეგ იგი მცირდება შებრუნებული სამკუთხედის ფორმით. ნაგებობის სიმაღლე მის მთელ სიგანეზე უცვლელია, ხოლო ვერტიკალურ სიბრტყეში გამჭოლი ღრეჩოს ფართობის სიდიდე სექციების მიხედვით იცვლება.

წარმოდგენილი ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების განლაგება და საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ. 4.4.1-სა და ნახ. 4.4.2-ზე.

ნაგებობის კონსტრუქციული ზომების დადგენის დროს გამოყენებულია გაანგარიშების ახალი მეთოდოლოგია. როცა ღვარცოფსადინარის სიგანე B -ს ტოლია და ნაკადის ზემოქმედება ნაგებობის მთელ სიგრძეზე იხილება, კონსტრუქციული ნაგებობის სიმაღლე H -ის, ხოლო სიგრძე L -ის ტოლია, სადაც $H=B/2$.



ნახ. 4.4.1. გამჭოლი ნაგებობის გეგმა



ნახ. 4.4.2. გამჭოლი ნაგებობის კრილი

ნაგებობით დამრტყმელი ძალის განეიტრალების სიდიდე ნაგებობათა რაოდენობაზეა დამოკიდებული. გამჭოლობის კოეფიციენტსა და ნაგებობათა რაოდენობას შორის დამოკიდებულება 4.4.1 ცხრილის სახითაა მოცემული, როცა $L_x = 0$.

ცხრილი 4.4.1

ნაგებობათა რაოდენობის დამოკიდებულება გამჭოლობის სიდიდესთან

$d/B=0$		$d/B=0,2$		$d/B=0,4$		$d/B=0,6$	
d/D	N	d/D	N	d/D	N	d/D	N
0	0	0	2,78	0	1,56	0	1,19
0,5	1,78	0,5	1,38	0,5	1,19	0,5	1,07
1,0	1,33	1,0	1,19	1,0	1,09	1,0	1,04
1,5	1,19	1,5	1,14	1,5	1,06	1,5	1,04
2,0	1,12	2,0	1,07	2,0	1,06	2,0	1,02
2,5	1,08	2,5	1,05	2,5	1,03	2,5	1,01
3,0	1,0	3,0	1,04	3,0	1,02	3,0	1,01

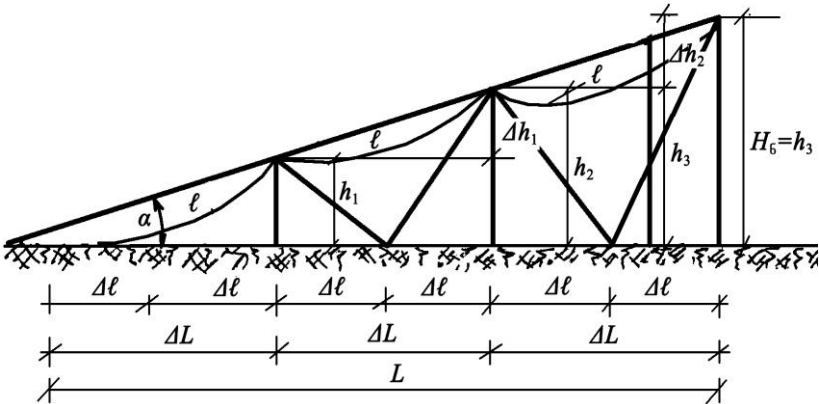
4.5. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი

გარემოს დაცვაში ეკოლოგიური წონასწორობის მდგომარეობისა და სტაბილურობის შენარჩუნების გარანტს ეფექტური კომპლექსური ხასიათის ნაგებობის შექმნა წარმოადგენს, ე. ი. ბარაჟების ისეთი სახეების შექმნა, როცა ნაგებობათა სიხისტე ნაკადის დამრტყმელ ძალასთან მიმართებაში მინიმუმამდე არის დაყვანილი და ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების ფორმა და სამშენებლო ზომები დაზუსტებული მეთოდოლოგიის გამოყენებით არის გაანგარიშებული. სტიქიათა ნაგებობაზე ზემოქმედების შეფასების მეთოდიკა მის ანომალურობაზეა დამოკიდებული. გამომდინარე აქედან, ნაგებობის ინოვაციურობა არსებულთან შედარებით ნაკადზე ზემოქმედებითაა გამორჩეული როგორც

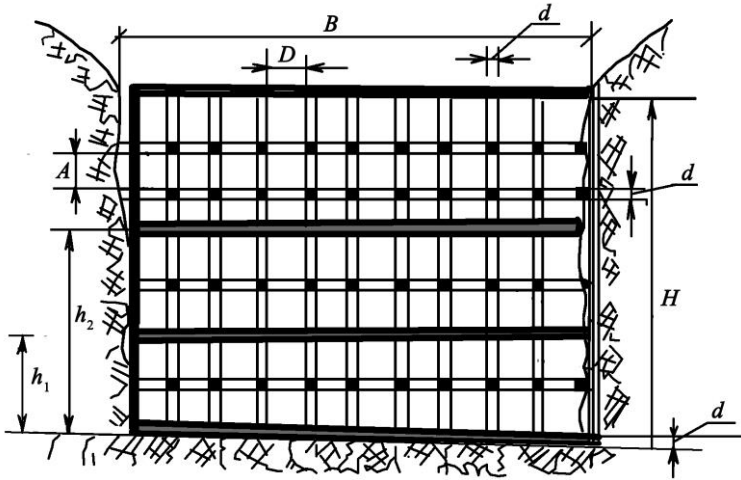
ვერტიკალურ, ისე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში. ნაკადზე ნაგებობის არაერთდროული ზემოქმედებითა და ელასტიკურობით მნიშვნელოვნად იზრდება ენერჯიის ჩაქრობის ეფექტურობა. არსებულთან შედარებით გაზრდილია ნაკადთან შეხების ზედაპირი და ელასტიკურობა, რაც ენერჯიის მდორედ ჩაქრობის გარანტიას წარმოადგენს.

ზემოთ აღნიშნულთან ერთად, ინოვაციურ ნაგებობათა სხვადასხვა სახის ნაკადების სადინარებში მოწყობის დროს არ წარმოიქმნება რისკები კონსტრუქციული ელემენტების შერჩევისას, რაც არ ართულებს გაანგარიშების ახალი მეთოდოლოგიის გამოყენების შესაძლებლობებს.

წარმოდგენილი ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების განლაგება და მათი გაანგარიშების შესაძლებლობა სქემების სახით მოცემულია 4.5.1 ნახაზზე.



ნახ. 4.5.1. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის გრძივი ჭრილი



ნახ. 4.5.2. ღვარცოფსადინარის განივი ჭრილი

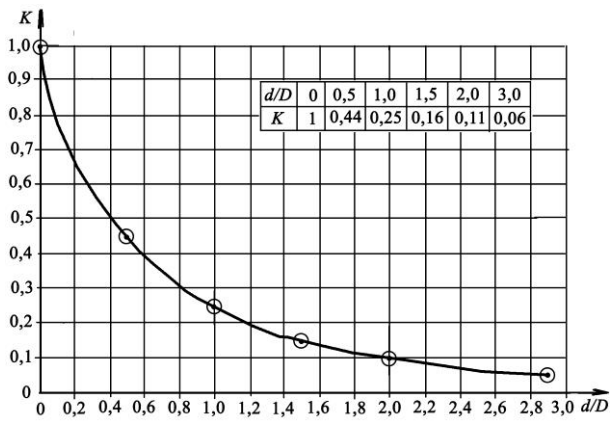
ბაგირების სიმაღლე დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით იზრდება, ხოლო ვერტიკალურ სიბრტყეში გამჭოლი ღრეჩოს ფართობის სიდიდე სექციების მიხედვით უცვლელია.

ბაგირებით შექმნილი გამჭოლი ზედაპირი წარმოადგენს სწორკუთხა ღრეჩოებს, რომელთა კვეთის ფართობი ნაგებობის სიმაღლეზე არ იცვლება და მუდმივია. ნაგებობის განივი კვეთის სიდიდე ღვარცოფის სიმძლავრესა და ნაკადის ჰიდრავლიკურ მახასიათებლებთან არის დაკავშირებული.

ნაგებობით ნაკადის ძალური ზემოქმედება ტრამპლინის პირველი საფეხურის გამჭოლი ზედაპირით მიიღება. ღრეჩოების სწორხაზოვანი ფორმა შესაძლებლობას იძლევა უზრუნველყოფილ იქნას ენერგიის ოპტიმალურად ჩაქრობის შესაძლებლობა. ნაგებობის არსებულთან შედარებით პრიორიტეტულობა მის მრავალჯერადობაშია.

ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების შერჩევის დროს გამოიყენება სრულიად ახალი მიდგომები და გაანგარიშების მეთოდოლოგია. ნაგებობის სადაწნეო ზედაპირის ელასტიურობის დროს, როცა კალაპოტის სიგანე B ტოლია და ნაკადის ზემოქმედება მის მთელ ზედაპირზე ხდება, კონსტრუქციული მდგრადობიდან გამომდინარე, სიმაღლე აიღება მისი სიგანის ნახევრის ტოლი $H_{ნაგ.} = B/2$. პრიზმებით შექმნილი სექტორების რაოდენობა და სიგრძე მდგრადობის გაზრდის მიზნით კალაპოტის სადინარის ზედაპირზე $\Delta L_1 = \Delta L_2 = \dots, \Delta L_n$ მიიღება ერთმანეთის ტოლი.

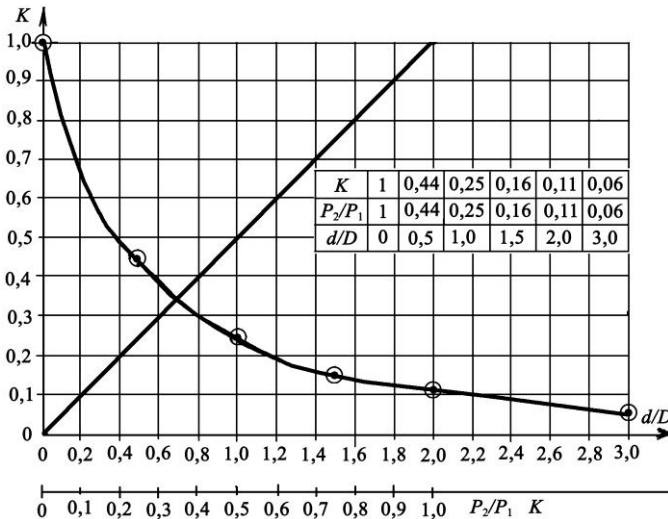
გრაფიკული დამოკიდებულება $K = f\left(\frac{d}{D}\right)$ ბაგირების დიამეტრის გამჭოლობის სიდიდესთან ფარდობის სხვადასხვა სიდიდეების შემთხვევის დროს, როცა $L_x = 0$, გრაფიკის სახით მოცემულია 4.5.3 ნახაზზე.



ნახ. 4.5.3. გამჭოლობის კოეფიციენტის ცვლილების სურათი ბაგირისა და გამჭოლობის ღრეჩოს სიდიდის ფართობის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს

ღვარცოფთა ნაგებობაზე ზემოქმედების ამოცანების განხილვის დროს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული აკადემიკოს ო. ნათიშვილის მიერ დასაბუთებული ნაკადის მოძრაობის თავისებურება [13, 14, 15]. როცა ღვარცოფი მოძრაობს საგრადიენტო შრითა და გულით, ასეთი შემთხვევის დროს ნაკადის მოძრაობის პირობა უზრუნველყოფილია ბმულობის ექვივალენტური სიღრმის ნაკადის სრულ სიმაღლესთან ფარდობის ზღვრებით და სხვა შემთხვევაში ნაკადი არ მოძრაობს და მისი ზემოქმედების შესაძლებლობა ნაგებობაზე არ განიხილება.

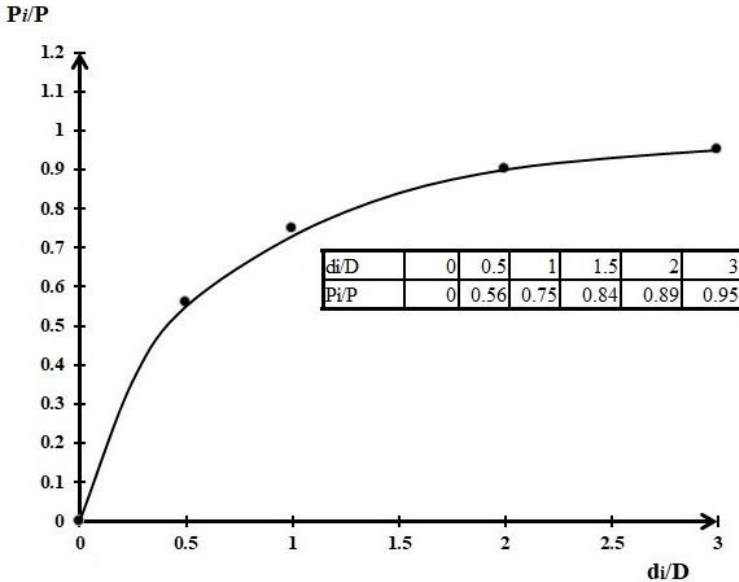
გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე დამრტყმელი ძალის სიდიდის შესაფასებლად მოგვყავს გრაფიკული დამოკიდებულება $P_2 / P_1 = f\left(K, \frac{d}{D}\right)$ (ნახ. 4.5.4).



ნახ. 4.5.4. გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე მოქმედი ძალის ფარდობითი სიდიდის P_2 / P_1 დამოკიდებულების გრაფიკი გამჭოლობასა და ზაგირის d დიამეტრის გამჭოლობის D სიგანის ფარდობასთან კავშირში

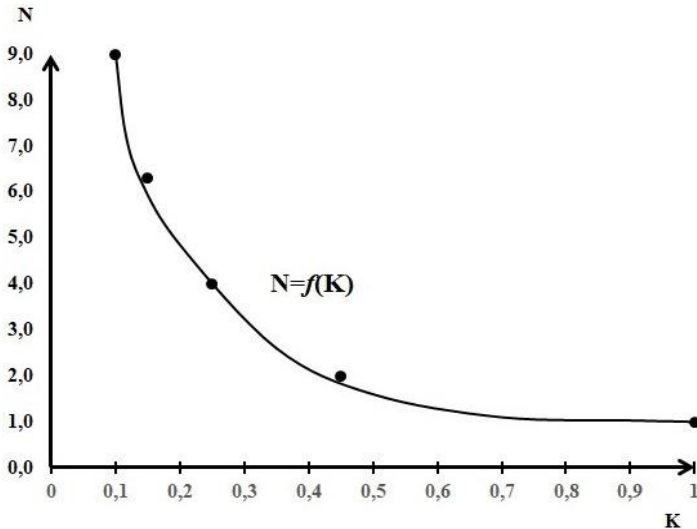
ნაგებობით დამრტყმელი ძალის განეიტრალებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა გააჩნია ნაგებობათა რაოდენობის შერჩევის დროს.

ბაგირის დიამეტრის გამჭოლობის სიგრძესთან ფარდობის სხვადასხვა შემთხვევაში დამრტყმელი ძალის განაწილების სურათი, როცა $Lx/L=0$ მოცემულია ნახ. 4.5.5-ზე.



ნახ. 4.5.5. ნაგებობის ყრუ ნაწილის ცვლილების შემთხვევაში დამრტყმელი ძალის ცვლილების გრაფიკი $P_i / P = f(d / D)$

ნაგებობათა რაოდენობა გამჭოლობის კოეფიციენტთან არის დაკავშირებული. მისი სიდიდე $N=1/K$. გრაფიკული დამოკიდებულება ნაგებობათა რაოდენობასა და გამჭოლობის კოეფიციენტს შორის მოცემულია გრაფიკის სახით ნახ. 4.5.6-ზე.



ნახ. 4.5.6. ნაგებობის რაოდენობის დამოკიდებულება
 ყრუ კონსტრუქციის კოეფიციენტთან

5. დასკვნა

სადინარში მოძრავი ღვარცოფის შემთხვევაში, როცა სიგანე $B=10$ მ-ს, ნაკადის სიღრმე $H=10$ მ-ს, ნაკადის სიჩქარე $V=5$ მ/წმ, მოცულობითი წონა $\gamma=20000$ ნ/მ³, შინაგანი ხახუნის კუთხე $\varphi=30^\circ$ -ს და ტრანსპორტირებული ქვის დიამეტრი $D=0,4$ მ-ს, ყრუ ნაგებობის კოეფიციენტი $Y_k=0,21$. ღვარცოფის დარტყმის ძალის შესამცირებლად 4 ნაგებობა არის საჭირო, რაც შეეხება გამჭოლობის კოეფიციენტს, მისი სიდიდე ბაგირების დიამეტრსა და რაოდენობასთან არის უშუალო კავშირში. ნაგებობის სხვა ზომები ასეთ შემთხვევაში უცვლელია.

6. ლიტერატურა

1. Власов А. Ю. Боярский И. Я. Селевые явления во Франции и борьба с ними. Вып. 3, М., ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1978, ст.157-162;
2. Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках, А.А. Гидрометеоздам, 1980, 144 стр.;
3. Gavardashvili G., Kukhalashvili E., Supatashvili T., Natroshvili G. Bziava K., Qufarashvili I. The Reserch of Water Levels in the Zzhinvali Water Reservoir and Results of Field Research on the Debris Flow Tributaries of the River Tetri Aragvi Flowing in it, Conference Proceedings, Rome, Italy, Jan 17-18, 2019, Pert V, pp. 813-820;
4. Gavardashvili G., Kukhalashvili E., Supatashvili T., Iremashvili I., Qufarashvili I. Bziava K., Natroshvili G. Using the „CAPRA” Methodology for Analysis of the Critical State of the Zhinvali Earth Dam and Risks, Conference Proceedings, Istanbul, Turkey, Jan 30-31, 2019, Pert XVII, pp.27-34;
5. Gavardashvili G.V., Kukhalashvili E.G., Gavardashvili N.G. - Modern Innovative Debris Flow control Structure. // Геориск, Москва, 2020, с.48-56. <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2020-14-3>.
6. გავარდაშვილი გ.ვ. - ბუნებრივი და ტექნოგენური კატასტროფებისას მთის ლანდშაფტების უსაფრთხოების ღონისძიებები. თბილისი, გამომცემლობა „უნივერსალი“, 2011, 237 გვ.
7. გავარდაშვილი გ.ვ. - მდინარე დურუჯის ეკოლოგიური პრობლემები და გარემოსდამცავი ინოვაციური ღონისძიებები. გამომცემლობა „უნივერსალი“, თბილისი, 2018, 260 გვ.

8. გავარდაშვილი გ., კუხალაშვილი ე., კუპრეიშვილი შ., გავარდაშვილი ნ. საქართველოს პატენტი GE P 2020 7068, სამრეწველო საკუთრების ოფიციალური ბიულეტენი #15(523), საქპატენტი, 12/08/2019, თბილისი, 2019, გვ. 6.
9. Гагошидзе М. С. Селевые явления и борьба с ними. Издательство «Сабчота Сакартвело», Тбилиси, 1970, ст. 387;
10. კუხალაშვილი ე., ინაშვილი ი., ბზიავა კ., ყრუაშვილი ი., ლორთქიფანიძე დ. ღვარცოფსადენში ტალღურად მოძრავი ბმული ღვარცოფის მახასიათებლების დადგენა. სტუ. ჟ. „ჰიდროინჟინერია“, #1–2, (19–20) 2015, გვ. 70–75;
11. E. Kukhalashvili, G. Gavardashvili, SH. Kupreishvili. Expcted Risks of Cohesive Debris flpws and fighting against them. LAP-Lambert Academic Publishing, Germany, 2018, 88 p.
12. ყრუაშვილი ი., ქაცარავა თ., კუხალაშვილი ე. ღვარცოფის შემფოთებული ზონის საანგარიშო მახასიათებლები. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ. IX, თბილისი, 1997, გვ. 229–230;
13. Круашвили И.Г., Кухалашвили Э.Г., Инашвили И.Д., Бзиава К.Н., Лорткипанидзе Д. Г. «Установление Гидравлических параметров селевых русел», ж. Экологические системы и приборы, 2016, ст. 9-14;
14. Круашвили И.Г. «Сели и методы борьбе с ними», Тбилиси, ГТУ, 2014, ст. 338;
15. ყრუაშვილი ი., კუხალაშვილი ე., ინაშვილი ი., ბზიავა კ. ღვარცოფული მოვლენები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა, სტუ, თბილისი, 2017, გვ. 250;

16. Мирцхулава Ц.Е., Оценка риска повреждения противоселевых сооружений, Труды ВНИИ ГиМ, вып.4, М., 1975, стр. 48-62;
17. ნათიშვილი ო., თევზაძე ვ., დანელია ზ., ღვარცოვისა და ღვარცოვსაწინააღმდეგო ნაგებობების ჰიდრაულიკა, თბილისი, 1995, გვ. 70;
18. ნათიშვილი ო.გ., ტევზაძე ვ.ი., Основы динамики селей, Тбилиси, 2007, 214 стр.;
19. ნათიშვილი ო.გ., ტევზაძე ვ.ი., Волны в селях, Москва, ООО Издательство «Научмехиздат», 2011, 160 стр.;
20. ნათიშვილი ო.გ., კრუაშვილი ი.გ. «Экологические проблемы защиты объектов от вредного воздействия селевых потоков», ж. Экологические системы и приборы, №7, 2015, ст.20-30;
21. Natishvili O.G., Gavardashvili G.V. - Calculation of Impact Action of a Coherent Mudflow Current in the Wave Motion Mode on a Transverse Structure. 9th International Scientific and Technical Conference, Modern Problems of Water Management, Environmental Protection, Architecture and Construction". Tbilisi, 2019, pp. 210-214.
22. Natishvili O.G., Gavardashvili G.V. - Some Hydraulic Properties of Cohesive Mudflows. Polish journal of science, #29, vol. 1, 2020, Warsaw pp. 27-30. <https://www.poljs.com/wp-content/uploads/2020/08/POLISH-JOURNAL-OF-SCIENCE-%E2%84%9629-2020.pdf>.
23. Natishvili O., Gavardashvili G. - Dynamics of Gully-Formation by Considering the Wave Motion of Flow. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences. (ASRJEST) , Vol 55, #1, 2019, pp. 17-26. http://asrjtsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/issue/view/81.
24. Херхеулидзе И.И. Овражение и селевые Выносы, Дориздат., М. 1947, ст. 97;

25. G. Di Silvio, Flood and sediment dynamics in Mountain Rivers. Preproceeding of the NATO ASJ and „Cjping with floods”, E. Mojoraamana center Erice, November, 3415, 1992, pp. 110;
26. Яно К., Даидо А. Фундамельные изучения грязекаменных потоков, Труды Института Защиты от Стихийных Бедствии, Т. 14, ЧАСТЬ 2, Киото, 1985, ст. 69-93;
27. Takhashi T. Debris flow, Teilor & Francis Group, London, UK, 2007, p.465;
28. Kailty P., Bowman E., Laue J. & Springman S. - Modelling Debris Flow Processes with a Geotechnical Centrifuge. 5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy (2011) 339-349.
29. Katina R., Hsu L. & Dietrich W. - On the Development of an Unsaturated Front of Debris Flow. /5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy (2011) 351-358.
30. Kogeking A., Hubl J., Surinach E., Vilajosana I. at al. - A Study of Infrasonic Signals of Debris Flow. 5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy (2011) 563-572.
31. Steger J.L., Worming G. - Flux Vector Splitting of the inside geodynamic equations with application to the finite-difference methods. //Journal of Computer. Phys., №40 (1981) 263-293.
32. Флейшман С.М., Сели, Гидрометеоиздат, Л., 1970, с.352.