

ედუარდ კუხალაშვილი, გივი გავარდაშვილი,
ინგა ირემაშვილი, შორენა კუპრეიშვილი

სამშენებლო ნორმები და წესები

„ინოვაციური ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური
ნაგებობის დაპროექტებისათვის ჰიდრაულიკური
განგარიშება“



თბილისი
2023



საქართველოს
განათლებისა და
მეცნიერების
სამინისტრო



შოთა რუსთაველის ეროვნული
საზღვანერო ფონდი
SHOTA RUSTAVELI NATIONAL
SCIENCE FOUNDATION



საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
საბუნებისმეტყველო მეცნიერების ინსტიტუტი
Institute of Natural Sciences of the Georgian
Technical University
1929



საქართველოს განათლებისა და
მეცნიერების სამინისტრო

შოთა რუსთაველის საქართველოს
ეროვნული სამეცნიერო ფონდი

საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტის
ცოტნე მირცხულავას სახელობის
წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი

გარემოს დაცვის ეკოცენტრი
„გაეროს ეკოლოგიური და
სოციალური საბჭოს (ECOSOC)
საკონსულტაციო სტატუსის
ორგანიზაცია“

განხილულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის
ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს მიერ, ოქმი №31, 27/12/2021

ნაშრომი გამოიცა შოთა რუსთაველის საქართველოს
ეროვნული სამეცნიერო ფონდის საგრანტო პროექტის
№AR18-1244 „ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი“
ფინანსური მხარდაჭერით

უაკ (UDC) 511.311.21+ 627.141.1
კ-991

ს ა რ ო ე ვ ი

1. გამოყენებულ ტერმინთა განმარტებები	4
2. ზოგადი დებულებები	11
3. ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობების დატვირ- თვებისა და ზემოქმედების, გეგმარების განმსაზღვრელი კრიტერიუმები და საანგარიშო ფორმულები	20
4. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების დაპროექტებისთვის გაანგარიშების მეთოდოლოგია.....	29
5. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის სადინარში მოწყობა ახალ მეთოდოლოგიაზე დაყრდნობით	34
6. ლიტერატურა	55

1. გამოყენებულ ტერმინთა

გ ა ნ მ ა რ ტ ე ბ ე ბ ი

- **ადაპტაცია** [ლათინური „adaptation” – „შეგუება“, „შეწყობა“] – ორგანიზმის შეგუება გარემო პირობებთან არსებობის შესანარჩუნებლად;
- **გეოგრაფიული აღნიშვნა** – სპეციფიკური ადგილის, რეგიონის ან ქვეყნის სახელი, რომელიც გამოიყენება იქ წარმოებული ისეთი პროდუქტის აღსანიშნავად, რომლის განსაკუთრებული ხარისხი და თვისებები განპირობებულია იმ ადგილისათვის დამახასიათებელი გარემო პირობებითა და ადამიანური ფაქტორით;
- **გეოლოგია** [ბერძნული „ge” და „logos” – „დედამიწა“ და „მოდღვრება“] – მეცნიერება, რომელიც სწავლობს დედამიწის აგებულებასა და შედგენილობას, დედამიწის ქერქის ცვლილების ისტორიას, დედამიწაზე ორგანული სიცოცხლის ისტორიასა და სასარგებლო წიაღისეულის საბადოებს;
- **გრუნტი** [გერმანული „Grund” – „მიწა“, „ნიადაგი“] – მიწის, ნიადაგის მყარი ფენა;
- **დეგრადაცია** [ფრანგული „degradation”] – თანდათანობით გაუარესება რაიმე თვისებისა; დაქვეითება, დაცემა; სინონიმი – დეგრადირება;
- **ეკოლოგია** [ბერძნული „oikos” და „logos” – „სახლი“ და „მოდღვრება“] – ბიოლოგიის ნაწილი, რომელიც შეისწავლის ორგანიზმებისა და მათი გარემოს ურთიერთდამოკიდებულებას;

- **ეროზია** [ლათინური „erosion” – „გამოჰმა“] – გადატანითი მნიშვნელობით ნიადაგის ეროზია, დაშლა, რღვევა და წარეცხვა ღვარებისაგან;
- **ვალიდაცია** – მიზანთან შესაბამისობის დადასტურება;
- **კლიმატი** [ბერძნული „klima”, („klimatos”)] – ამა თუ იმ ადგილის მეტეოროლოგიურ პირობათა ერთობლიობა, ამინდის რეჟიმი; ჰავა;
- **კომბინირება** [ლათინური „kombin”] – ერთმანეთთან შეხამება, შეთანწყობა, კომბინაცია – რთული ჩანაფიქრი რაიმე მიზნის მისაღწევად;
- **ლანდშაფტი** [გერმანული „Landschaft”] – რაიმე ადგილის (სოფლის, მინდვრის, ტყის და სხვ.) საერთო ხედი; დედამიწის ზედაპირის ნაწილი, რომლისთვისაც დამახასიათებელია რელიეფის, ჰავის, ნიადაგის, მცენარეულობის, ცხოველების და სხვ. გარკვეული შეხამება;
- **მაღალმთიანი რეგიონი** – გეოგრაფიული არეალი, რომელიც შეესაბამება „მაღალმთიანი რეგიონის სოციალურ-ეკონომიკური და კულტურული განვითარების შესახებ“ საქართველოს კანონით განსაზღვრულ მაღალმთიანი რეგიონის ცნებას;
- **მდინარის აუზი** [„River basin”] – დედამიწის ზედაპირი, საიდანაც წყალი ცალკეულ მდინარესა თუ მდინარის ქსელში ჩაედინება. ყოველი მდინარის აუზი შეიცავს ზედაპირულ და მიწისქვეშა წყალშემკრებებს. ზედაპირული წყალშემკრებები დედამიწის ზედაპირის უბანია, რომლიდანაც წყალი მდინარის ქსელში ან მდინარეში ჩაედინება;
- **მეტეოროლოგია** [ბერძნული „meteora” და „logos” – „ატმოსფერული მოვლენები“ და „მოდღვრება“] – 1. მეც-

ნიერება დედამიწის ატმოსფეროს, მისი აგებულების, თვისებებისა და მასში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების შესახებ. 2. მოძღვრება ამინდისა და მისი წინასწარი გამოცნობის შესახებ;

- **მეწყერი** [„Landslide“] მიწის მასების ან ქანების ფენის მოწყვეტა და გადაადგილება მთის კალთაზე ან ფერდობზე სიმძიმის ძალის გავლენით. წარმოიქმნება მთის ქანების სიმტკიცის წონასწორობის დარღვევის ან მთის ქანების სიმტკიცის შესუსტების შედეგად, რაც გამოწვეულია როგორც ბუნებრივი მიზეზით, ასევე ადამიანის ზემოქმედებით;
- **პროგნოზი** [ბერძნული „Prognosis“] – რაიმე მოვლენის განვითარებისა და შედეგების წინასწარ განჭვრეტა, წინასწარმეტყველება არსებული მეცნიერული მონაცემების საფუძველზე;
- **რეკოგნოსცირება** [ლათინური „Regocnosco“ – „ვათვალიერებ“] – წინასწარი დათვალიერება, გამოკვლევა (ადგილმდებარეობისა) გეოდეზიურ სამუშაოთა საწარმოებლად;
- **რისკი** [ფრანგული „Risque“] – მოსალოდნელი საფრთხე, საშიშროება, საფრთხიდან გამომდინარე, ადამიანის, ცხოველის ჯანმრთელობაზე, მცენარის სიჯანსაღეზე მავნე ზემოქმედების გამოვლენის ალბათობა და სიმძიმე. რისკის გაწევა – ალალბედზე მოქმედება, სახიფათო მდგომარეობაში ჩადგომა;
- **ტოპოგრაფია** [ბერძნული „topos“ – „ადგილი“ და „grapho“ – „ვწერ“] 1. გეოდეზიის ნაწილი, რომელიც სწავლობს დედამიწის ზედაპირს, მისი გაზომვისა და გეგმაზე ან რუკაზე გამოსახვის ხერხებს. 2. რომელიმე

ქვეყნის ან ადგილის ზედაპირი და მისი ნაწილების, პუნქტების ურთიერთგანლაგება;

- **ჰიდრაულიკა** [ბერძნული „hydraulikos”] – მეცნიერება სითხეების წონასწორობისა და მოძრაობის კანონთა შესახებ, აგრეთვე, ამ კანონების პრაქტიკული პრაქტიკული გამოყენების შესახებ;
- **ჰიდროლოგია** [ბერძნული „hydor” და „logos” – „წყალი“ და „მოდღვრება“] – მეცნიერება, რომელიც სწავლობს წყლის სივრცეებს, წყლის მიმოქცევას დედამიწის ზედაპირზე;
- **ჰიდრომეტეოროლოგია** [ბერძნული „hydor” – „წყალი“ და მეტეოროლოგია] – მეცნიერება, რომელიც სწავლობს წყლის მიმოქცევას ატმოსფეროში;
- **GIS** – გეოგრაფიული საინფორმაციო სისტემა;
- **GPS** – სატელიტური სანავიგაციო სისტემა;
- **წყალმოვარდნა** [„Flood”] – მდინარეში წყლის დონის სწრაფი, შედარებით მოკლევადიანი აწევა, რაც გამოწვეულია თავსხმა წვიმებით, თოვლისა და ყინულის ინტენსიური დნობით, ასევე მიწის კაშხლების გარღვევით;
- **ღვარცოფი** [Debris Flow ან Mudflow] – სწრაფი, უეცარი კალაპოტური ნაკადი, რომელიც შედგება წყლის, გრუნტის მცირე ნაწილაკების, კოლოიდებისა და მთის ქანების მონატეხებისაგან. ღვარცოფი ვითარდება მცირე ზომის მთის მდინარეების აუზებში;
- **ღვარცოფული პროცესი** [Debris Flow Processes] – ბუნებრივი პროცესების ერთობლიობა, რომელიც აერთიანებს ღვარცოფების ფორმირებისა და მოძრაობის ეტაპს;
- **ღვარცოფული მოვლენა** [Debris Flow Phenomena] – ღვარცოფული პროცესების რეალიზაციის ფორმა ბუნებ-

რივ ან ადამიანის მიერ შეცვლილ, განსაზღვრულ გეოგრაფიულ გარემოში. ღვარცოფული მოვლენა ასევე მოიცავს ღვარცოფულ პროცესს და მის შედეგს – რელიეფისა და ღვარცოფული გენეზისის დანალექს;

- **ღვარცოფული რისკი** [Debris Flow Risk] – ადამიანთა მსხვერპლის და ეკონომიკური ზარალის მოსალოდნელი რაოდენობა, რაც გამოწვეულია ღვარცოფის მოძრაობით. ღვარცოფული რისკის რაოდენობრივი შეფასება ხორციელდება ალბათობის თეორიის გამოყენებით;
- **ღვარცოფული კალაპოტი** [Debris Flow Chanel] – წყალსადინარის კალაპოტი, რომელშიც მოძრაობს ღვარცოფი;
- **ღვარცოფული აუზი** [Debris Flow Basin] – წყალშემკრები აუზი, რომლის საზღვრებში ხდება ღვარცოფის ფორმირება, ხოლო მათი მოძრაობა მდინარის კალაპოტში. ღვარცოფული აუზი იყოფა სამ ძირითად მორფოდინამიკურ ზონად: ღვარცოფის ფორმირების, ტრანზიტისა და აკუმულაციის ზონად;
- **ღვარცოფსაშიშროება** [Debris Flow Basin Hazard] – ღვარცოფის მოძრაობის შედეგად ადამიანთა სიცოცხლისა და მატერიალური ღირებულებების დაკარგვის საფრთხე;
- **ღვარცოფის გამოტანის კონუსი** [Debris Flow Fan] – ღვარცოფული მასის საბოლოო აკუმულაციის ტიპური ფორმა; აქვს დამრეცი კონუსის სეგმენტის ფორმა. ღვარცოფის გამოტანის კონუსი შედგება ღვარცოფული დანალექისაგან, სიგანის სიგრძესთან დამახასიათებელი შეფარდება შეადგენს 1:10;
- **ღვარცოფული მასის მოცულობა** [Debris Flow Volume] – წარმოადგენს ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული

მასის მყარი და თხიერი მასის მოცულობას, რომელიც ერთჯერადად გამოიტანება ღვარცოფის მიერ (მ³);

- **ღვარცოფმცოდნეობა** [Debris Flow Basin Studies] – მეცნიერული მიმართულება, რომლის კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ღვარცოფები და ღვარცოფული აუზები, დედამიწის ზედაპირის ის უბნები, სადაც მიმდინარეობს ღვარცოფის წარმოქმნის პროცესი;
- **ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა** [Debris Flow Protection Structures] – ერთ-ერთი (ტექნიკური) ღონისძიება ღვარცოფებისაგან დაცვის ღონისძიებათა სისტემაში. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების დანიშნულებაა უშუალო ზემოქმედება ზონის შეზღუდვის მიზნით. კონკრეტულად, ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობები, ძირითადად დანიშნულების მიხედვით, იყოფა სამ კლასად: სარეგულაციო, შემაკავებელი და მასტაბილიზირებელი;
- **ღვარცოფსაშვი** [Debris Flow Chute] – ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობათა ერთ-ერთი ტიპი, რომლის ძირითადი დანიშნულებაც არის ღვარცოფის ტრანსპორტირება. იგი, თავის მხრივ, წარმოადგენს რკინაბეტონის ღარს და ღვარცოფული კალაპოტის გაგრძელებას დასაცავი ხაზოვანი ობიექტის (რკინიგზის ან გზატკეცილის ვაკისი, არხი და ა.შ.) ზემოდან;
- **ღვარცოფსაცავი** [Debris Flow Reservoir] – ღვარცოფ-შემაკავებელი კაშხლის ზედა ბიეფთან ღვარცოფულ აუზში განლაგებული ხეობის უბანი, სადაც კონცენტრირდება ღვარცოფული მასის მყარი მასალა;
- **ღვარცოფის ტალღა** [Debris Flow Wave] – ტალღის ფორმირება ღვარცოფული მასის კონცენტრაციის გაჯერების

შემდეგ. ჰიდრომექანიკის თვალსაზრისით ღვარცოფი შეიძლება განისაზღვროს როგორც ერთჯერადი ან მრავალჯერადი დაღმავალი, უწყვეტი ტალღა, რომელიც მოძრაობს მდინარის კალაპოტში;

- **ღვარცოფშემაკავებელი კაშხლები** [Debris Flow Check-Dams] – ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობათა ერთ-ერთი ტიპი. გათვლილია ღვარცოფის შეჩერებაზე, მისი მყარი ჩანართის აკუმულირებასა და ღვარცოფის თხიერი ჩანართის ორგანიზებულ გაშვებაზე. ღვარცოფშემაკავებელი კაშხლების კონსტრუქციები შეიძლება იყოს მასიური – ბეტონის, რკინაბეტონის, ქვის წყობის, გრუნტის (მიწის) ან გამჭოლი (გისოსებრი), განივი ან გრძივი ტრამპლინის ტიპის, ანაკრები რკინაბეტონის ან ლითონის დეტალებისაგან. როდესაც ღვარცოფშემაკავებელი კაშხლების სიმაღლე მერყეობს 10–15 მ–ის ფარგლებში, ნაგებობას ეწოდება საგუბარი ან ბარაჟი, ხოლო 15 მ–ზე მეტს – კაშხალი;
- **ღვარცოფმაფორმირებელი ნალექები** [Debris Flow Precipitation] – მუნციპალიტეტისათვის ან ღვარცოფული აუზისათვის დამახასიათებელი თხევადი ნალექების ჯამი. ღვარცოფმაფორმირებელი ნალექები უზრუნველყოფს ღვარცოფმაფორმირებელ ხარჯებს ან ღვარცოფული კერების აქტიურობას, ანუ ღვარცოფის წარმოშობას.

2. ზოგადი დებულებები

სამშენებლო ნორმებში და წესებში წარმოდგენილია გაანგარიშების მეთოდოლოგია, მოდელები, ღონისძიებათა სახეები, რომლებიც უნდა სრულდებოდეს ღვარცოფულ კერებში ღვარცოფული მოვლენების რისკების შეფასების, ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობების სახეების შერჩევის, დაგეგმარების, ღონისძიებების გატარებისა და მშენებლობის-თვის ჩასატარებელი საინჟინრო კვლევების საწარმოებლად.

- ღვარცოფები არსებითად განმსაზღვრელ როლს ასრულებს ეკოლოგიური წონასწორობის მდგრადობაში, ასევე მნიშვნელოვანია სახალხო მეურნეობის გეგმაზომიერ განვითარებასა და მთისა და მთისწინა ტერიტორიების ლანდშაფტური ინფრასტრუქტურის მართვაში;
- ღვარცოფთა რისკების განხილვის დროს აუცილებელია სხვადასხვა მოსაზრებების გავლენა ღვარცოფთა წარმოდგენაში როგორც რისკების შეფასების, ისე სარეგულაციო ღონისძიებათა შერჩევის შემთხვევაში;
- შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული ფონდის გრანტის AR-18-1244 „ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი“ საფუძველზე დამუშავებულია სამშენებლო ნორმებში და წესები ღვარცოფული პროცესების საანგარიშო მოდელებისა და სარეგულაციო ღონისძიებების სტრატეგიის შერჩევის მიზნით.

წყალშემკრები აუზის ჰიდროგრაფიული ქსელის მონაცემებით მნიშვნელოვანია ღვარცოფული ხასიათის სადინარების ენერგეტიკული პოტენციალი, კერებში ღვარცოფის ფორმირების შესაძლებლობები და წარმოქმნის განსაკუთრებული პირობები, მოძრაობის

რეჟიმის ცვლილება, სადინარში მოძრავი ნაკადის მდგრადობის რღვევა, ღვარცოფების შემხვედრ ნაგებობებზე ზემოქმედების განსხვავებულობა, სადინარებში მოძრაობის რეჟიმის ცვლილებასთან ერთად ტალღის სახით ფორმირება, ნაგებობებზე ნაკადის უკუდინების შემთხვევები და სადინარის კალაპოტიდან ამოვარდნის შესაძლებლობები;

- ღვარცოფები განეკუთვნება ანომალურ სტიქიათა ერთ-ერთ კატეგორიას, რომელთა ფორმირება არსებით როლს ასრულებს გარემოს მდგრადობაში. ღვარცოფის ფორმირება ხდება ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში, საიდანაც მოძრაობის დაწყება ხორციელდება თავსხმა წვიმების ზემოქმედებით. ღვარცოფებისათვის დამახასიათებელია ნატანით წონითი ან მოცულობითი გაჯერებულობა, ხასიათდება მნიშვნელოვანი სიჩქარით, დიდი დამანგრეველი ძალით, სატრანზიტო მონაკვეთებზე ქმნის სადინარის მაფორმირებელ დანალექებს;
- ბმული ღვარცოფები (ჰიპერკონცენტრირებული ნაკადები) – დამანგრეველი და შექმნილი დაწნევით მოძრავი მასის სიგანე დაკავშირებულია მოცულობით მასასთან, მატრანსპორტირებელ გარემოს წარმოადგენს სიმძიმის ძალა, ფორმირება ხდება ღვარცოფწარმომქმნელ კერებში, მოძრაობის პერიოდში არ განიცდის შემადგენელ კომპონენტებად დაშლას, გაჩერების შემთხვევაში ქმნის დამბისებურ შემაღლებას და მოცულობითი წონა იცვლება 18000–23000 კ.ნ/მ³ ზღვრებში;
- ტურბულენტური ღვარცოფების მატრანსპორტირებელ გარემოს წარმოადგენს წყალი, დინების დროს შემოსაზღვრულია სადინარის კალაპოტით, ფლობს მნიშვნე-

ლოვან დინამიკურ დარტყმის ძალას, გამოტანის კონუსებზე გამოაქვს მნიშვნელოვანი მოცულობის მყარი გამონატანი, მოცულობითი წონა 13000–17000 კ.ნ/მ³ ფარგლებში მერყეობს.

- ნატანით დატვირთული ნაკადები წყლის ღვარცოფულ ნარევი იმყოფება თავისუფალ მდგომარეობაში. ღვარცოფული მასის ნარევის სიმკვრივე მერყეობს 11000–16000 კ.ნ/მ³ ზღვრებში, შედგენილობის მიხედვით მასა უპირატესად არის ქვაწყლიანი;
- ბმული და არაბმული ღვარცოფები ერთმანეთისაგან განსხვავებულია ფორმირების პირობებით ხარისხობრივად, მოძრაობისა და ძალური დამანგრეველი მოქმედების შესაძლებლობებით;
- ღვარცოფული აუზები მთის წყალსადინარების აუზებისაგან განსხვავებით წარმოდგენილია მცირე ფართობით, სადინარის ციცაბო ფერდობით, კალაპოტის არაპრიზმატულობით, აუზები მდიდარია თიხაწარმომქმნელი ალუმინ–სილიკატებით, თიხოვანი მინერალებით, ღვარცოფწარმომქმნელი და ღვარცოფმკვებავი კერებით;
- ბმული ღვარცოფების განსაკუთრებულობას, მისი ტანის გაუმლელად და სტრუქტურის დაურღვევლად, წარმოადგენს ვიწრო ზოლით მოძრაობა. ნაგებობაზე ზემოქმედების შემთხვევაში დინამიკური ღერძიდან გადახრა არ აღემატება 11–13⁰-ს და მასზე გადადინება ხდება მაშინ, როცა ნაკადის სიმაღლე აღემატება ღვარცოფის მოძრაობის სიღრმეს კალაპოტში;
- არაბმული ღვარცოფის შემთხვევაში ხეობიდან გამონატანი იშლება შემადგენელ კომპონენტებად და ტრანს-

პორტირებული ნატანი დალექილია გარკვეული დახარისხებით;

- ღვარცოფსაწინააღმდეგო დამცავი ნაგებობის დაგეგმარებისას რისკების შემცირების შესაძლებლობებიდან მნიშვნელოვანია მათი წარმოქმნის ალბათობა წყალშემკრებ აუზში, გასატარებელი სატყეო–სამელიორაციო პროფილაქტიკა და საორგანიზაციო-სამეურნეო ღონისძიებები;
- სატყეო–სამელიორაციო ღონისძიებების გამოყენება თავსხმა წვიმებით გამოწვეული ღვარცოფების საწინააღმდეგოდ, ფერდობების ეროზიული მონაკვეთის გამაგრებისა და ზედაპირული ჩამონადენის შემცირების მიზნითა და მისი დადგენა კონკრეტული აუზისათვის ხორციელდება ინჟინრულ კვლევა–ძიებაზე დაყრდნობით;
- პროფილაქტიკური ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებები ითვალისწინებს ცალკეული ბუნებრივი ფაქტორების შესუსტებას ან ლიკვიდაციას ღვარცოფწარმოქმნაში და მოიცავს:
 - ა) სიფონური, გვირაბული და სხვა ტიპის წყალსაგდებებით მეწყერის, ყინულის ან ზვავის შედეგად წარმოქმნილი ტბების გარკვეულ პრევენციას;
 - ბ) ღვარცოფული კერების ზემოთ სპეციალური საცავების მოწყობას, ღვარცოფწარმოქმნელი წყალმოვარდნების რეგულირებას;
 - გ) ღვარცოფული პროცესების შესაძლო წარმოქმნის მონაკვეთზე მეწყერსაწინააღმდეგო–შემაკავებელი კედლების, დრენაჟების მოწყობას;

დ) ღვარცოფწარმოქმნელი თავსხმა წვიმების შემცირების მიზნით, ტერასების, არხ-ტერასების, მთისა და წყალსაგდები არხების მშენებლობას.

- ღვარცოფულ აუზებში საორგანიზაციო-სამეურნეო ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებები მიმართულია ანტროპოგენული ფაქტორების, ღვარცოფწარმოქმნის პოტენციალის შესამცირებლად ან სალიკვიდაციოდ და მოიცავს ტყის გაჩეხვას ან მის აკრძალვას, პირუტყვის უსისტემოდ ძოვების შეზღუდვას, საგზაო და სხვა ტიპის მშენებლობების დროს ფერდობების ეროზიის პრევენციას, ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებების დაცვას;
- ღვარცოფსაწინააღმდეგო დამცავი ღონისძიებების კომპლექსის გათვალისწინებით, მოცემული აუზისათვის შემუშავებული ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშებების მაჩვენებლების შედარების საფუძველზე კონსტრუქციული გადაწყვეტებისა და სახის შერჩევას;
- ღვარცოფსაწინააღმდეგო დამცავი ნაგებობების დაგეგმარება უნდა განხორციელდეს შემუშავებული ვარიანტის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარების, მშენებლობის, ტოპოგრაფიული, გეოლოგიურ-გეოგრაფიული, ჰიდროლოგიური პირობების, სამშენებლო მასალების, სამუშაოთა წარმოების ხერხების, მშენებლობის ვადების, ნაგებობათა ექსპლუატაციის, ღვარცოფის გავლის შემდეგ ნაგებობის დამცავი ფუნქციის აღდგენის შესაძლებლობების საფუძველზე;
- ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობის კონსტრუქციული ელემენტების გეომეტრიული ზომების შერჩევა

ხორციელდება მოსალოდნელი სტიქიის ჰიდროლოგიისა და ჰიდრაულიკის სპეციფიკურობის გათვალისწინებით, ხოლო კონსტრუქციის ელემენტების მდგრადობაზე შემოწმება – ნორმატიული დოკუმენტებზე დაყრდნობით;

- ღვარცოფთა ფორმირების ფიზიკიდან გამომდინარე, სტიქიასთან ბრძოლის ღონისძიებებია: ღვარცოფშემაკავებელი, ღვარცოფმიმართველი, მასტაბილიზირებელი, ღვარცოფამცილებელი, ორგანიზაციულ-ტექნიკური:

ა) ღვარცოფშემაკავებელი – ბეტონის, რკინაბეტონის, ქვანაყარი და გრუნტის კაშხლებში – ღვარცოფული ნაკადების შეკავება ხდება ზედა ბიეფში და იქმნება ღვარცოფსაცავები;

ბ) ღვარცოფსატრანზიტო – არხებში, გვირაბებში, ღვარცოფსაშვებში – ღვარცოფის შეჩერება ან გატარება ხდება ობიექტის გავლით ან მოვლით;

გ) ღვარცოფდამჭერი – ჯებირების კასკადი, შემკავებელი კედლები, ფერდობების ტერასები, აგროტექნიკური მელიორაცია – ღვარცოფთა მოძრაობის შეჩერება ან დინამიკური მახასიათებლების შესუსტება;

დ) ღვარცოფამცილებელი – წყალმოვარდნის სარეგულაციო კაშხლები, ღვარცოფსაგდებები, განივი დეზები – ღვარცოფსადინარების პრევენცია;

ე) ორგანიზაციულ-ტექნიკური – მეთვალყურეობისა და შეტყობინების სამსახურები – ღვარცოფების წარმოქმნის პროგნოზი.

- შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების თავისებურებების საექსპლუატაციო მომსახურების დროის ხანგრძლივობის მიხედვით ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობები დაყოფილია კლასებად.

ა) მუდმივი ნაგებობები:

- I კლასი – განსაკუთრებით მაღალი კაპიტალურობა – მომსახურების ვადა 50 წელი და მეტი;
- II კლასი – განსაკუთრებით მაღალი კაპიტალურობა – მომსახურების ვადა 40–დან 50 წლამდე;
- III კლასი – ჩვეულებრივი კაპიტალურობა – მომსახურების ვადა 30–40 წელი;
- IV კლასი – მსუბუქი ნაგებობა – მომსახურების ვადა 20–30 წელი;
- V კლასი – განსაკუთრებით მსუბუქი ნაგებობა – მომსახურების ვადა 10–20 წელი;

ბ) დროებითი ნაგებობები – კაპიტალურობის მიხედვით მიეკუთვნება IV– V კლასს – მომსახურების ვადა 4–5 წელი;

- ღვარცოფსადინარების კლასიფიკაცია:

ა) სიგრძის მიხედვით

- გრძელი – 10 კმ;
- საშუალო – 3–5 კმ;
- მოკლე – ≤ 1 კმ.

ბ) ქანობის მიხედვით

- მცირე – $i = 0,1 \div 0,3$;
- საშუალო – $i = 0,3 \div 0,4$;
- ციცაბო – $i > 0,64$.

გ) ფსკერის სიმრუდის მიხედვით

- ჩაზნექილი – $\frac{dH}{dl} > 0$

$$- \text{სწორხაზოვანი} - \frac{dH}{dl} = 0$$

$$- \text{ამოზნეკილი} - \frac{dH}{dl} < 0$$

- საგრანტო პროექტით განხორციელებული კვლევები და რეკომენდაციები გეგმა-გრაფიკის შესაბამისად მოიცავს ფორმირების, მოძრაობის, ნაგებობაზე ზემოქმედების, კალაპოტურ პროცესებში მონაწილეობის, მდგრადობისა და რეგულირების საკითხებს;
- დინამიკის საკითხების განხილვის დროს გამოყენებულია ღვარცოფმცოდნეობაში არსებული მასალები და კვლევის შედეგებით რეოლოგიური მახასიათებლების გავლენა ფორმირებასა და მოძრაობის შესაძლებლობაზე. ნაგებობაზე ძირითადი დატვირთვების ზემოქმედების გეგმარების დროს გათვალისწინებულია ნაგებობის საკუთარი წონა, რომელიც შეიძლება ნაგებობებთან ერთად, დაძვრის შემთხვევაში განხორციელდეს, გვერდითი წნევები ზედა და ქვედა ბიეფიდან, ნაგებობის წინ დაღეკილი ნატანის წნევა, გრუნტის წყლების ჰიდროსტატიკური და ფილტრაციული წნევები, მოძრავი ღვარცოფული ზვირთის დინამიკური წნევა;
- ნაგებობის განსაკუთრებულ დატვირთვაზე გაანგარიშების დროს გათვალისწინებულია: ა) სეისმური და ბ) ღვარცოფმოვარდნით გამოწვეული დატვირთვები.
- ნაგებობები განკუთვნილია სადინარის სტაბილიზაციისათვის, როცა იგი ეწყობა ზემოქმედების ტრანზიტულ ზონაში. მისი სიმაღლე არ უნდა ჭარბობდეს 3 ÷ 5 მ-ს, ხოლო ძირითადი ნაგებობის სიმაღლეთა ცვლილება შეიძლება იყოს 7 ÷ 12 მ;

- მცირე მასტაბილიზირებელი ნაგებობების მოწყობა კასკადურად მიზანშეწონილია მთავარი წყალსადინარის ღვარცოფულ შენაკადებში;
- როცა კონსტრუქციის მზიდი კარკასი წარმოადგენს ლითონის კონსტრუქციას, მნიშვნელოვანია მისი ტექნიკური მახასიათებლები, რომლის საფუძველზეც შეირჩევა საძირკვლის სახე (ელასტიკური ბარაჟის შემთხვევაში – წერტილოვანი საძირკველი);
- საძირკველში რეკომენდებულია პორტლანდცემენტზე დამზადებული W8 წყალშეუღწევადი მარკის ცემენტი – სიმტკიცის მიხედვით ბეტონის კლასი B25;
- კონსტრუქციის გრუნტთან შეხების შესაძლებლობების შემთხვევაში მისი ზედაპირი აუცილებელია დაიფაროს ჰიდროსაიზოლაციო ფენით;
- ბარაჟის, როგორც მზიდი ერთიანი სივრცული კონსტრუქციის, გაანგარიშება მუდმივ და დროებით დატვირთვაზე მიზანშეწონილია საანგარიშო კომპლექს „Lup a lanp 2019” გამოყენებით – ლიცენზიის ნომერი IV1/71–65.
- პროექტის დამუშავების დროს მშენებლობის ადგილზე გამოიყენება ქვეყნის მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტები:
 - ა) ბეტონის და რკინაბეტონის კონსტრუქციები 03.01–09;
 - ბ) შენობებისა და ნაგებობების ფუძეები – 3502.01.08;
 - გ) სამშენებლო კლიმატოლოგია – 3501.05.08;
 - დ) სამშენებლო ნორმები და წესები – СНиП2.01.07.85;
 - ე) Нагрузки воздействия, СНиП II-23-81, Стальные Конструкции, СНиП 2.03.11-85.

3. ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობების დატვირთვებისა და ზემოქმედების, დაგეგმარების განმსაზღვრელი კრიტერიუმები და საანგარიშო ფორმულები

ღვარცოფსარეგულაციო ნაგებობების დაპროექტების დროს საანგარიშო მახასიათებლების განსაზღვრა მიმდინარეობს ღვარცოფის სტრუქტურასა და სახესთან კავშირში.

- ღვარცოფის ფორმირებულ მასაში მყარი ნაწილის S მოცულობითი კონცენტრაცია, იანგარიშება (1) დამოკიდებულებით, როცა მყარი შემადგენლის მოცულობა $W_{მყ}$ -ის, ხოლო მისი მთლიანი მოცულობა $W_{ღვ}$ -ის ტოლია

$$S = \frac{W_{მყ}}{W_{ღვ}} (\%); \quad (1)$$

- ღვარცოფში მყარი ნაწილი P წონითი კონცენტრაციაა, როცა მყარი ნაწილის წონა $G_{მყ}$ და ღვარცოფული მასის წონა $G_{ღვ}$ ტოლია:

$$P = \frac{G_{მყ}}{G_{ღვ}} (\%); \quad (2)$$

- ღვარცოფის მოცულობითი წონა შემადგენელი კომპონენტების წყლის $\gamma_{წყ}$ და ღვარცოფის $\gamma_{მყ}$ -ის მოცულობითი წონების შემთხვევაში:

$$\gamma_{ღვ} = \gamma_{წყ} + S(\gamma_{მყ} - \gamma_{წყ}) (ნ/მ^3); \quad (3)$$

- შემადგენელი კომპონენტების წონითი შემცველობის მიხედვით, ღვარცოფულობა კომპონენტთა ცვლილებით წარმოდგენილია უტოლობებით:

$$0 < P_{\text{ვფ}} / P_{\text{მ}} < 0,49$$

$$0,11 < P_{\text{ვფ}} / P_{\text{ღვ}} < 0,20 \quad (4)$$

$$0,23 < P_{\text{მ}} / P_{\text{მე}} < 0,45$$

სადაც: $P_{\text{ვფ}}$ ღვარცოფის მასაში წყლის რაოდენობაა, $P_{\text{მ}}$ - მყარი შემადგენლის მილიმეტრიანი და მასზე ნაკლები ნაწილაკების რაოდენობა, $P_{\text{მე}}$ - ღვარცოფის მყარი მასის მნიშვნელობა, $P_{\text{ღვ}}$ - თვით ღვარცოფის ნარევის რაოდენობა.

- ღვარცოფის მოცულობითი წონის გაანგარიშების გამართივების მიზნით მატრიცა მოცემულია ცხრილში 3.1.
- კავშირი მოცულობით და წონით კონცენტრაციებს შორის:

$$S = \frac{P\gamma_{\text{ვფ}}}{(1-P)\gamma_{\text{მე}} + P\gamma_{\text{ვფ}}} (\%); \quad (5)$$

$$P = \frac{S\gamma_{\text{ვფ}}}{(1-S)\gamma_{\text{მე}} + S\gamma_{\text{ვფ}}} (\%). \quad (6)$$

- მყარი ნაწილაკების საშუალო არითმეტიკული დიამეტრი, როცა ცალკეული ნაწილაკების ზომები d_i სახით არის წარმოდგენილი და მისი პროცენტული შეცვლობა მყარი მასის სტრუქტურაში n -ის ტოლია:

$$d_{\text{სშ}} = \frac{n_1 d_1 + n_2 d_2 + \dots + n_n d_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_N} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i d_i}{N} \quad (\text{მმ}); \quad (7)$$

- ნაწილაკების საშუალო გეომეტრიული დიამეტრი

$$\log d_{\text{საშგ}} = \frac{\sum_{i=1}^N \log d_i}{N} \quad (8)$$

ცხრილი 3.1

ღვარცოვის მოცულობითი მასის მნიშვნელობები (კგ/მ³), მისი შემადგენელი კომპონენტების წონითი ურთიერთ-თანაფარდობების გათვალისწინებით

# როგზე	წყლის წონის შეფარდება ღვარცოვნარევის მთლიან წონასთან																													
	M ₁	M ₂	0	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32		
1	0.000	1560	1590																											
2	0.067	1680	1710	1720																										
3	0.097	1730	1770	1780	1800	1740																								
4	0.126	1790	1820	1840	1860	1800	1750																							
5	0.152	1840	1880	1900	1920	1860	1820	1900	1930																					
6	0.177	1900	1940	1960	1980	1920	2000	2020	2060	2010																				
7	0.207	1960	2000	2020	2040	2000	2060	2080	2100	2130	2150	2180																		
8	0.228	2020	2070	2090	2110	2100	2130	2150	2140	2200	2220	2250	2280																	
9	0.258	1960	2000	2020	2040	2070	2100	2090	2110	2130	2160	2180	2210	2240																
10	0.298	1890	1930	1950	1970	2000	2030	2020	2050	2070	2100	2120	2140	2160	2180															
11	0.342	1830	1850	1870	1890	1910	1930	1920	1950	1970	2000	2020	2040	2060	2100	2140														
12	0.389	1730	1770	1790	1810	1830	1850	1840	1870	1890	1910	1930	1950	1970	2000	2040	2060													
13	0.498	1580	1610	1620	1640	1660	1680	1670	1700	1720	1740	1760	1780	1810	1840	1880	2040	2060												
14	0.629	1430	1460	1470	1490	1500	1520	1510	1540	1560	1580	1600	1620	1640	1660	1680	1700	1720	1740	1760	1780	1800								
15	0.752	1280	1300	1320	1340	1360	1380	1370	1400	1420	1440	1460	1480	1500	1520	1540	1560	1580	1600	1620	1640	1660	1680	1700						
16	1.00	1125	1150	1160	1170	1180	1190	1200	1210	1220	1230	1240	1250	1260	1270	1280	1290	1300	1310	1320	1330	1340	1350	1360	1370	1380	1390	1400	1410	1420

xx მილიმეტრან და მასზე ნაკლები ზომის ნაწილაკების წონის შეფარდება ღვარცოვის მყარ მასასთან

- ტურბულენტური ღვარცოფის შემთხვევაში, როცა წყალშემკრები აუზიდან ზედაპირული ჩამონადენის კოეფიციენტი α -ს, თავსხმა წვიმების უთანაბრობის კოეფიციენტი β -ს, წყალშემკრები აუზის ფორმის კოეფიციენტი - δ -ს, წყალშემკრები აუზის ფართობი F -ის, თავსხმა წვიმების საანგარიშო ხანგრძლივობა T -სა და ნალექების საანგარიშო რაოდენობა H -ის ტოლია, წყალშემკრები აუზიდან ღვარცოფის ხარჯი:

ა) ტურბულენტური ღვარცოფი

$$Q_{\phi} = 9,48 \frac{(\alpha\beta\delta F)^{0,59}}{T^{0,59}} H \quad (\text{მ}^3/\text{წმ}); \quad (9)$$

ბ) ბმული ღვარცოფი

როცა ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე h_0 -ის, ფორმირების სიღრმე - H -ის ტოლია:

$$Q_{\text{ვვ}} = 8,52 HB \left(1 - \frac{h_0}{H}\right)^2 \left(1 + 0,49 \frac{h_0}{H}\right) \frac{(\alpha\gamma\beta\delta F)^{0,59}}{T^{0,59}} \quad (\text{მ}^3/\text{წმ}). \quad (10)$$

- როცა მყარი და თხიერი შემადგენლობის საშუალო სიჩქარეებია - $\bar{V}_{\text{მყ.}}$ და $\bar{V}_{\text{თხ.}}$, ხოლო სიმკვრივეებია - $\rho_{\text{მყ.}}$ და $\rho_{\text{თხ.}}$, ტურბულენტური ღვარცოფის საშუალო სიჩქარე ტოლია

$$V_{\text{საშ.}} = \frac{\bar{V}_{\text{მყ.}} \rho_{\text{მყ.}} - \bar{V}_{\text{თხ.}} (1-S) \rho_{\text{თხ.}}}{S \rho_{\text{მყ.}} + (1-S) \rho_{\text{თხ.}}} \quad (\text{მ}/\text{წმ}); \quad (11)$$

- ღვარცოფის სადინარში ნაკადის მახასიათებლები, როცა ტრანსპორტირებული ქვის დიამეტრი d -ს და ხარჯი Q -ს ტოლია:

ა) ნატანდატვირთული ნაკადის სიგანე

$$B = 3,0 \cdot d^{0,51} \cdot Q^{0,53} \quad (\text{მ}); \quad (12)$$

ბ) ნატანდატვირთული ნაკადის სიღრმე

$$H = 0,08 \cdot d^{0,19} \cdot Q^{0,53} \quad (\text{მ}); \quad (13)$$

გ) ნატანდატვირთული ნაკადის სიჩქარე

$$V = 0,16 \cdot d \cdot Q^{0,7} \quad (\text{მ/წმ}). \quad (14)$$

- ღვარცოფის მიერ ტრანსპორტირებული ქვის დიამეტრი, როცა სადინარის ქანობის სიდიდე i -ს, ხოლო ხარჯი Q -ს ტოლია:

$$d = (0,02 + 6,55i^{2,73})Q^{0,61} \quad (\text{მმ}); \quad (15)$$

- გამჭოლი ნაგებობის შემთხვევაში ბადის მაქსიმალური ზომები აიღება ტრანსპორტირებული ქვის დიამეტრთან კავშირში

$$D = 1,2d_{\text{ქვ}} \quad (\text{მმ}); \quad (16)$$

- ღვარცოფის კონცენტრაცია ღვარცოფის მოცულობითი $\gamma_{\text{ღვ}}$, წყლის მოცულობითი $\gamma_{\text{წყ}}$ და ტრანსპორტირებული ქვის მოცულობითი $\gamma_{\text{ქვ}}$ წონების შემთხვევაში:

$$S = \frac{\gamma_{\text{ღვ}} - \gamma_{\text{წყ}}}{\gamma_{\text{ქვ}} - \gamma_{\text{წყ}}} \quad (\%); \quad (17)$$

- 90% ქვების ნაგებობით დაჭერის შემთხვევაში ქვედა ბიეფში ტრანზიტული ნაკადის კონცენტრაცია

$$S_{\text{ბრ.}} = S - \frac{90S}{100} \quad (\%); \quad (18)$$

- განსაკუთრებული სპეციფიკურობით გამოირჩევა ჰიპერკონცენტრირებული ღვარცოფები, რომელთა

დინამიკა შეიძლება მიესადაგოს როგორც მყარი, ისე ანომალურად დენადი ტანის დინამიკას, რომლებსაც წყნარ მდგომარეობაში გააჩნია მხები ძაბვა.

- ღვარცოფულ კერაში ფორმირებული ღვარცოფული მასის დამაბული მდგომარეობა σ_1 და σ_2 მთავარი ძაბვების და ψ შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტის შემთხვევაში $\psi = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$, როცა ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე h_0 -ის და ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის სიმაღლე h -ის ტოლია,

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)\psi ; \quad (19)$$

ფარდობითი სიდიდე h_0/h შინაგანი ხახუნის კუთხის შემთხვევაში:

$$\frac{h_0}{h} = \frac{\operatorname{Sin}\varphi(1+\psi) - (1-\psi)}{(1-\operatorname{Sin}\varphi)\psi - \operatorname{cis}\rho\sqrt{\psi}} \quad (20)$$

ღვარცოფულ კერაში ფორმირებული ღვარცოფული მასის მდგრადობა

$$h_0/h < 2/3 ; \quad (21)$$

- განივი ძალით გამოწვეული აქტიური წნევის მნიშვნელობა ვერტიკალურ საყრდენ ზედაპირზე, როცა მასის ბმულობა C -ს და მოცულობითი წონა γ -ს ტოლია

$$P = \gamma h \psi - 2C\psi \quad (\text{ნ/მ}^2); \quad (22)$$

- ღვარცოფის ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე

$$h_0 = \frac{2C}{\gamma\sqrt{\psi}} \quad (\text{მ}); \quad (23)$$

- საყრდენ ზედაპირზე აქტიური ძალის სიდიდე

$$P = \frac{\mathcal{M}^2}{2} \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)^2 \psi^2 \quad (\text{მ}^2); \quad (24)$$

- ღვარცოფის დაძვრის შესაძლო მოცულობა ფორმირებული მასის B სიგანის შემთხვევაში:

$$W = \frac{Bh^2}{2} \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi^2 \quad (\text{მ}^3); \quad (25)$$

- ფორმირებული ღვარცოფის სიმაღლე

$$h_{\text{ღვ}} = h \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi \quad (\text{მ}); \quad (26)$$

- განივი ფარდობითი დეფორმაციის კოეფიციენტი, როცა $a = (1 - h_0/h)\psi$

$$\mu = \frac{a}{1+a}; \quad (27)$$

- განივი ფარდობითი დეფორმაცია ფორმირებული ღვარცოფწარმომქმნელი გრუნტის B სიგანის შემთხვევაში

$$\varepsilon_{\text{გ.წ.}} = \frac{\Delta B}{B}; \quad (28)$$

- ღვარცოფის მოძრაობის მდგრადობა, როცა ხარჯი Q –ს, ცოცხალი კვეთის ფართობი ω –ს, სიმძიმის ძალის აჩქარება g –ს, ნაკადის სიღრმე h –ის და სიგანე B –ს ტოლია, სიჩქარის α კოეფიციენტის შემთხვევაში გამოისახება უტოლობით:

$$\frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3} > / < \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)^3 \psi^3; \quad (29)$$

- ტალღის ფორმით მოძრავი ღვარცოფის კრიტიკული მდგომარეობის დროს, როცა კინეტიკურობის მახასიათებელი $\Pi k = a = \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)^3 \psi^3$ და ხვედრითი ხარჯი q -ს ტოლია

$$h_k = h_0 + \frac{1}{\psi} \sqrt[3]{\frac{\alpha q^3}{q}} \quad (მ) \quad (30)$$

ან

$$h_k = \frac{1}{2\psi} \left(1 - \psi + \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{q}} \right) \quad (მ) \quad (31)$$

- ტალღის გავრცელების სიჩქარე

$$C = \sqrt{gh \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi} \cos \alpha \quad (მ/წმ); \quad (32)$$

- ღვარცოფის ხარჯი ტალღის ფორმით მოძრაობის დროს

$$q = h \sqrt{gh \left(1 - \frac{h_0}{h}\right) \psi} \quad (მ^3/წმ); \quad (33)$$

- სადინარის კვეთის ფორმით გათვალისწინებით კრიტიკული მახასიათებლები

ა) კრიტიკული სიღრმე h_k

- სწორკუთხა კვეთი

$$h_k = h_0 + \frac{1}{\varphi} \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} \quad (მ); \quad (34)$$

- პარაბოლური კვეთი

$$h_k = h_0 + \frac{1}{\varphi} \sqrt[4]{\frac{27a^2 P}{125g}} \quad (\text{მ}); \quad (35)$$

- სამკუთხა ფორმა ფერდობების დახრის m კოეფიციენტის დროს

$$h_k = h_0 + \frac{1}{\varphi} \sqrt[5]{\frac{\alpha Q^2}{4gm^2}} \quad (\text{მ}); \quad (36)$$

ბ) კრიტიკული სიჩქარეები V_k

- სწორკუთხა კვეთი

$$V_k = \varphi(1-\varphi) \sqrt{\frac{g}{\alpha} h_k \varphi \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)} \quad (\text{მ/წმ}); \quad (37)$$

- პარაბოლური კვეთი

$$V = \varphi \left(1 - \frac{h_0}{h_k}\right) \sqrt{\frac{g}{\alpha} \frac{2}{3} h_k \left(1 - \frac{h_0}{h_k}\right)} \quad (\text{მ/წმ}); \quad (38)$$

- სამკუთხა კვეთი

$$V_k = \left(1 - \frac{h_0}{h_k}\right) \varphi \sqrt{\frac{g}{\alpha} \frac{h_k}{2} \left(1 - \frac{h_0}{h_k}\right)} \varphi \quad (\text{მ/წმ}); \quad (39)$$

- ტრაპეციული კვეთი

$$V = \left(1 - \frac{h_0}{h_k}\right) \varphi \sqrt{\frac{g}{\alpha} \frac{h_k (b + mh_k)}{b + 2mh_k} \left(1 - \frac{h_0}{h_k}\right)} \varphi \quad (\text{მ/წმ}); \quad (40)$$

- ტალღის გავრცელების საშუალო სიჩქარე

$$V = \frac{(1+\alpha)(a^3 + 4\sqrt{a})}{q^3 + 4\sqrt{a} + 4} \sqrt{gh \cos \alpha} \quad (\text{მ/წმ}). \quad (41)$$

4. ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების დაპროექტებისათვის გაანგარიშების მეთოდოლოგია

- ჰიპერკონცენტრირებულ ღვარცოფებს სიბლანტესთან ერთად ახასიათებს პლასტიკურობა, რომელიც კარგად ვლინდება მისი ტანის მდგრადობის შეფასებისა და დინების შემთხვევებში. იმის მიხედვით, რეგულირების რომელი ამოცანა განიხილება, გამოიყენება სხვადასხვა მოდელეები;
- ღვარცოფულ კერებში ფორმირებული ღვარცოფის შესაძლებლობების შესაფასებლად ან მდგრადობის შესანარჩუნებლად საყრდენი კედლების საპროექტო მახასიათებლების გაანგარიშება ხდება მის აქტიურ შესაძლებლობებზე. ნაგებობის დამძვრელი ძალის სიდიდე, როცა ღვარცოფწარმომქმნელი ბმულობის ექვივალენტური სიმაღლე h_0 -ის, შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი ψ -ს, მოცულობითი წონა γ -ს და კერაში ღვარცოფის სიმაღლე h -ის ტოლია:

$$P = \frac{\gamma h^2}{2} \left(1 - \frac{h_0}{h}\right)^2 \psi Z \quad (5/\theta^2). \quad (42)$$

- ღვარცოფსადინარებში შემხვედრი წინააღმდეგობების მოწყობის დროს განიხილება ნაკადის როგორც უდაწნეო, ისე დაწნევითი მოძრაობის შემთხვევები: გვირაბებით ღვარცოფის ტრანზიტის შემთხვევაში, როცა განიხილება დაწნევითი მოძრაობა და საწყის და საბოლოო კვეთებში l სიგრძის შემთხვევაში წნევის ძალებს შორის სხვაობა ΔP -ს ტოლია, გვირაბის

რადიუსი r_c -ს, μ სიბლანტის, ნაკადის გულის r_0 რადიუსის და შინაგანი ხახუნის ψ კოეფიციენტის შემთხვევაში საშუალო სიჩქარე

$$V = \frac{\Delta P}{2\mu l} \left(\frac{r_c - r_0}{r_c} \right)^2 \psi^2 \left[\frac{r_0^2}{2} + \frac{(r_c - r_0)^2}{3} \right] \quad (\text{მ/წმ}); \quad (43)$$

- ბმული ღვარცოფის გვირაბში უდაწნეო მოძრაობის დროს ნაკადის H სიღრმის შემთხვევაში

ა) საშუალო სიჩქარე

$$V = \frac{\gamma H^2}{3\mu} \psi^2 \left(1 - \frac{h_0}{H} \right) \left(1 + \frac{1}{2} \frac{h_0}{H} \right) \quad (\text{მ/წმ}); \quad (44)$$

ბ) ქანობის სიდიდე

$$i = \frac{3V\mu}{\gamma \psi^2 (H - h_0)^2} \quad (45)$$

გ) რეინოლდსის რიცხვი

$$\text{Re} = \frac{V(H - h_0)}{\nu} \quad (46)$$

დ) დაწნევის დანაკარგი

$$h = \frac{6}{\text{Re}} \frac{\ell}{(H - h_0)^2} \frac{V_1^2}{2g} \quad (\text{მ}). \quad (47)$$

- ღვარცოფსაშუბე გადადინებული ჰიპერკონცენტრირებული ნაკადის ხარჯი Q როცა ხარჯის კოეფიციენტი m^* -ის, სიჩქარის კოეფიციენტი ξ -ს, შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი ψ -ის, სიმძიმის ძალის აჩქარება g -ს, ბმულობის ექვივალენტის სიღრმე h_0 -ისა და ღვარცოფსაშუბე დაწნევა H_0 -ის ტოლია:

$$Q = m^* \sqrt{2gH_0^{3/2}}, \quad (\text{მ}^3/\text{წმ}) \quad (48)$$

$$m^* = \frac{h_0}{H_0} + \frac{2\xi^2}{\psi[1+(2\xi^2-1)2\xi^2]} \left(\sqrt{\xi^2} \left[\frac{2\xi^2\psi(2\xi^2-1)}{\psi[1+2\xi^2(2\xi^2-1)]} - \frac{h_0}{H} \right] \right) \quad (49)$$

- შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ზემოქმედების დროს ნახტომის წარმოქმნის შედეგად შეუღლებულ სიღრმეთა თანაფარდობა, როცა ნახტომის წინ სიღრმე h_1 -ის, ნახტომის შემდეგ h_2 -ის, სიჩქარის შემასწორებელი კოეფიციენტი α -ს, შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი ψ -ს, ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე h_0 -ის და ხვედრითი ხარჯი q -ს ტოლია,

$$\frac{h_2}{h_1} = 0,5 \left(1 - \frac{h_0}{h_1} \right) \left[\sqrt{1 + \frac{8\alpha q^2}{gh_1^3 \left(1 - \frac{2h_0}{h_1} \right) \psi}} - 1 \right]; \quad (50)$$

- ფორმირებული ღვარცოფის მდგრადობის რღვევის შესაძლებლობა, როცა მისი განთავსების ადგილის კუთხის მნიშვნელობა α -ს ტოლია, რეოლოგიის კოეფიციენტის მნიშვნელობა განსაზღვრულია a კოეფიციენტით, კინემატიკურობის კოეფიციენტი ν და სიმძიმის ძალის აჩქარება g -ს ტოლია, მდგრადობის რღვევის შესაძლებლობა შეიძლება განსაზღვრული იქნეს სადინარის ქანობით

$$i > \frac{1}{2} \sqrt{\frac{q\nu \cos \alpha}{gf(\beta)h^3}} \quad (51)$$

- ნაკადში ნაგებობით შეჭრის სიდიდე, როცა მდგრადობა ირღვევა

$$\beta_{\text{ხელ}} = \left(1 - \frac{a}{a+1} \frac{a^3 + 4a\sqrt{a}}{4(1+a)} \right) \frac{Qv}{gih^3 f(\beta)} \quad (52)$$

- სარეგულაციო ნაგებობის სიგრძე

$$L_{\text{ნაგ}} = \left(1 - \frac{a}{1+a} \frac{a^3 + 4a\sqrt{a}}{4(1+a)} \right) \frac{Qv}{gih^3 f(\beta)} \quad (\text{მ}), \quad (53)$$

- ღვარცოფის ზღვრული სიჩქარე

$$V_{\text{ხელ}} = \frac{Q}{B_{\text{ხელ}} i^{0,4}} = \frac{Q}{\left(1 - \frac{a}{1+a} \frac{a^3 + 4a\sqrt{a}}{4(1+a)} \right) i^{0,4}} \frac{gih^3 f(\beta)}{Qv} \quad (54)$$

- ექსპერიმენტების საფუძველზე გამაწონასწორებელი ქანობის მნიშვნელობა, როცა სადინარის ქანობი I -ს, ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის ქანობი I_K -ს, მყარი ხარჯი q_T -ს, თხევადი ხარჯი q_B -ს, ღვარცოფდამჭერი ბაგირის დიამეტრი $d_{\text{ბაგ}}$, ტრანსპორტირებული ქვის დიამეტრი d_1 -ის და გამჭოლობის კოეფიციენტი K -ს ტოლია,

$$I_0 = 0,0275 \frac{\left(0,042 + 0,026 \frac{1}{n} \frac{d_1}{d_{\text{ბაგ}}} \frac{1 - \sqrt{k}}{k} \right) q_T / q_B}{(I/I_K)^{0,234}} \quad (55)$$

- ღვარცოფსარეგულაციო ბარაჟებს შორის მანძილი

$$L = \frac{H_k}{I - I_0} \quad (\text{მ}), \quad (56)$$

- წამური მოძრაობის რაოდენობის ბალანსის განტოლებაზე დაყრდნობით, როცა ღვარცოფის h სიმაღლიდან ვარდნა h_1 სიდიდემდე ხდება, ხარჯის სიდიდე Q -ს ტოლია, ძალის ცვლილება P_1 -დან P -

მდე $P_1 - P = \Delta P$ -ს ტოლია, შემხვედრი წინააღმდეგობების რეაქცია

$$R = \Delta P \frac{h_1 h}{h_1 - h}; \quad (57)$$

- შემხვედრ წინააღმდეგობებზე ღვარცოფის დინამიკური ძალის სიდიდე

$$\Delta P = K \frac{\alpha \gamma Q V \sin \alpha}{g} \quad (58)$$

დინამიკური ძალის შემასწორებელი კოეფიციენტი K , როცა დეფორმაცია მისი ტანის რეოლოგიური მახასიათებლების β -ს ფუნქციას წარმოადგენს ე.ი. $k = f(\beta)$

$$K = f(\beta) = \frac{16 - (a^3 + 4\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2}{(a^3 + 4\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2} \quad (59)$$

$f(\beta)$ -ს ფუნქციონალური კავშირი რეოლოგიასთან, როცა ბმულობის შესაბამისი სიღრმე h_0 -ის, შინაგანი ხახუნის კუთხე φ -ს, ბმულობა C -ს და სიღრმე h -ის ტოლია:

$$a = (1 - h_0/h) \gamma g^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (60)$$

- დინამიკური ძალის სიდიდე

$$\Delta P = \frac{16(a^3 + 4\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2}{(a^3 + 4\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2} \frac{\alpha \gamma Q V \sin \alpha}{g} \quad (61)$$

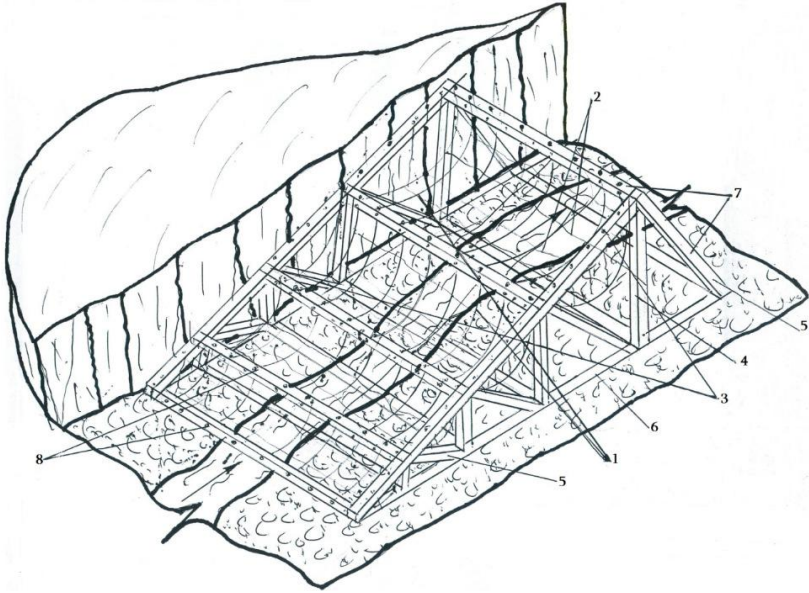
5. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის სადინარში მოწყობა ახალ მეთოდოლოგიაზე დაყრდნობით

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 ანომალურობაზეა 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 გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რომლის სიახლის პრიორიტეტი დაცულია საპატენტო მოწმობით (ნახ. 5.1).

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

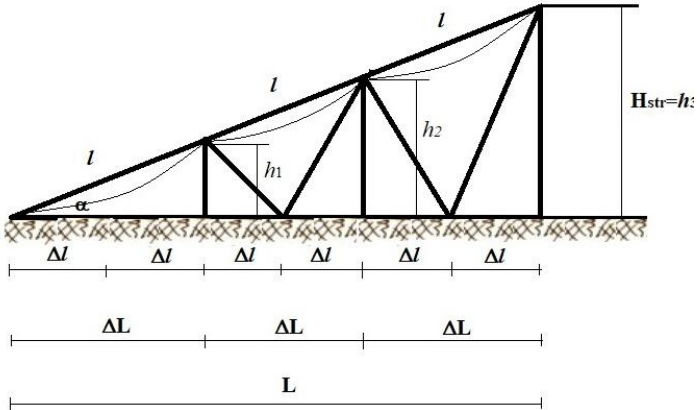


ნახ. 5.1. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი -

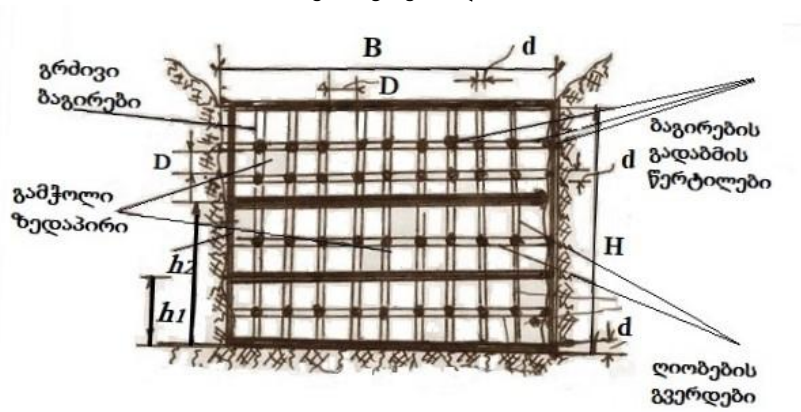
ნაგებობის განივი კვეთის სიდიდე და სიგრძე ღვარცოფის სიმძლავრესა და სტრუქტურაზე დამოკიდებული. ნახ. 5.1-ზე მოცემული ნაგებობა შემადგენელი ელემენტების განლაგებით შემდეგი სახითაა წარმოდგენილი: სამკუთხა პრიზმები (3), პრიზმების ფუძეები (4), პრიზმების ფუძეების სიმაღლეები (5), პრიზმების წიბოები (6), ჩასამაგრებელი 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. 5.2–სა და 5.3–ზე.



ნახ. 5.2. ღვარცოფსარეულაციო ელასტიკური ბარაჟის გრძივი ჭრილი



ნახ. 5.3. ნაგებობის განივი ჭრილი

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

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 $H_{ს.გ.} = B/2$. პრიზმებით შექმნილი სექციები სადინარის ზედაპირზე მიიღება ერთმანეთის ტოლი

$$\Delta L_1 = \Delta L_2 = \dots, \Delta L_n \quad (62)$$

— ნაგებობის სიგრძე, როცა სიმაღლე H –ის ტოლია,

$$L = \frac{H}{\sin \alpha}; \quad (63)$$

— ნაგებობის სიგრძე სექციების N რაოდენობიდან გამომდინარე,

$$L = N\Delta L; \quad (64)$$

— ნაგებობის სიმაღლე სექტორის სიგრძეებთან კავშირში,

$$H = \sin \alpha N\Delta L; \quad (65)$$

— ნაგებობის სიმაღლის სიგრძესთან ფარდობის ცვლილების ზღვრები:

$$\frac{1}{6} \leq \frac{H}{L} \leq \frac{5}{18}; \quad (66)$$

— ნაგებობის ფუძესთან დახრის კუთხე ნაკადის გარსდენის პრინციპიდან გამომდინარე

$$\alpha = (11 \div 13); \quad (67)$$

— ნაგებობის სექციებში ჩასაკიდებელი ბადეების სიგრძეები (ℓ):

$$\ell = \Delta L + \Delta h = \Delta L(1 + \operatorname{tg} \alpha); \quad (68)$$

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

$$B = nd + (n-1)D \text{ (მ);} \quad (69)$$

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

$$H = \frac{nd + (n-1)D}{2} \text{ (მ);} \quad (70)$$

- ბაგირების განლაგების რიცხვი სიგრძეზე:

$$n = \frac{1}{2} \cdot \frac{B + 2D}{d + D} \text{ (ცალი);} \quad (71)$$

- ბაგირების რიცხვი სიგანეზე

$$n = \frac{B + D}{d + D} \text{ (ცალი);} \quad (72)$$

- ყრუ ნაწილის სისქე სიმაღლესა და სიგანეზე -

$$d^* = nd \text{ (მმ);} \quad (73)$$

- ნაგებობის გამჭოლი ნაწილის ფართობი:

$$\omega_{\delta} = (n-1)D \cdot \frac{(n-1)D}{2} = \frac{(n-1)^2}{2} D^2 \text{ (მ}^2\text{);} \quad (74)$$

- ნაგებობის მთლიანი ფართობი განივ კვეთში

$$\omega = \frac{[nd + (n-1)d]^2}{2} \text{ (მ}^2\text{);} \quad (75)$$

- ნაგებობის გამჭოლობის კოეფიციენტი

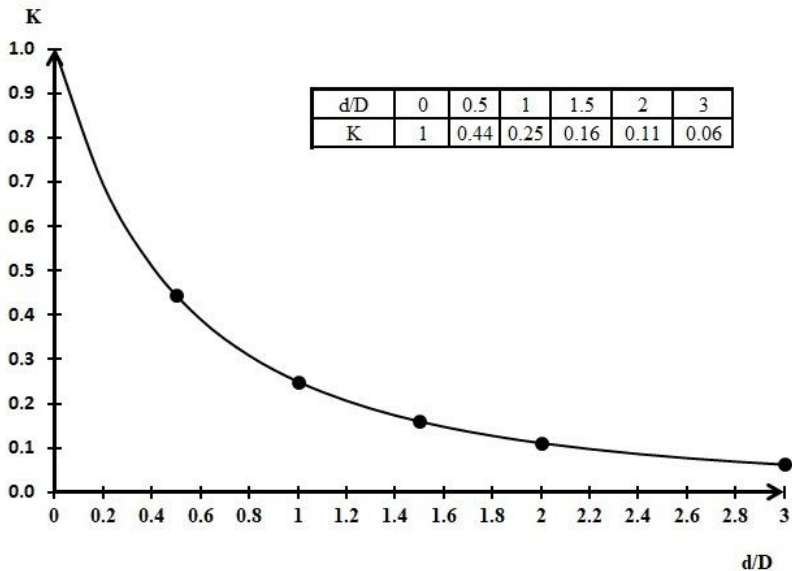
$$K = \frac{\omega_{\delta}}{\omega} = \frac{\left(1 - \frac{d}{B}\right)^2}{\left(1 + \frac{d}{D}\right)^2} \quad (76)$$

რადგან ფარდობითი სიდიდე $\frac{d}{B}$ ძალზე მცირეა და თითქმის არ ახდენს გავლენას ნაგებობის გამჭოლობაზე, რომლის კოეფიციენტი შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით ან გრაფიკული სახით (ნახ. 5.4):

ა) ფორმულით გამჭოლობის კოეფიციენტის შემთხვევაში:

$$K = \frac{1}{\left(1 + \frac{d}{D}\right)^2} \quad (77)$$

ბ) გრაფიკული გამჭოლობის კოეფიციენტის განსაზღვრის დროს:



ნახ. 5.4. $K = f\left(\frac{d}{D}\right)$ გრაფიკული დამოკიდებულება

ნაგებობაზე ღვარცოვის დინამიკური ზემოქმედების ძალა:

$$P_1 = \frac{\gamma \omega V^2}{g} \sin \alpha f(m) \quad (5/\text{მ}^2) \quad (78)$$

სადაც γ ღვარცოვის მოცულობითი წონაა ($5/\text{მ}^3$);

ω – ცოცხალი კვეთის ფართობი (მ^2);

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

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

ψ – შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი და

$$\psi = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right); \quad (79)$$

h_0 – ბმულობის ექვივალენტური სიღრმე (მ);

H – ნაკადის სიღრმე (მ);

a – კოეფიციენტი $(1 - h_0 / H) \psi$.

$f(m)$ კოეფიციენტია და დამოკიდებულია ღვარცოვის რეოლოგიურ მახასიათებლებზე:

$$f(m) = \frac{16 - (\alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha})(2 + \sqrt{\alpha})^2}{(\alpha^3 + 4\alpha\sqrt{\alpha})(2 + \sqrt{\alpha})^2} \quad (80)$$

გამჭოლი ნაგებობის შემთხვევაში მოქმედი ძალის სიდიდე

$$P_2 = \frac{\gamma \omega V^2}{g} K \sin \alpha f(m) \quad (5/\text{მ}^2), \quad (81)$$

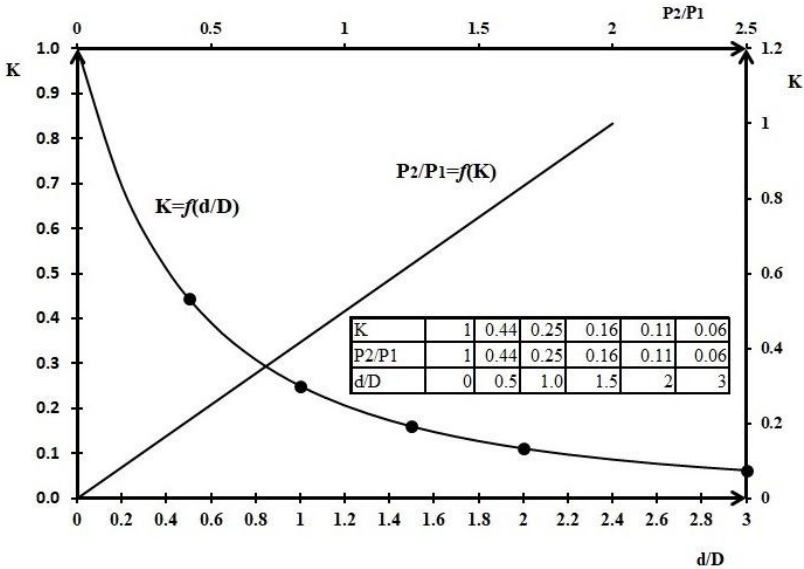
სადაც K გამჭოლობის კოეფიციენტია და ტოლია:

$$K = \frac{\omega_1}{\omega} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{\left(1 + \frac{d}{D}\right)^2} \quad (82)$$

შესაბამისად, გამჭოლ ნაგებობაზე მოქმედი ძალა:

$$P_2 = \frac{\alpha \omega V^2 \sin \alpha}{g} \frac{1}{\left(1 + \frac{d}{D}\right)^2} f(m) \quad (\text{ნ/მ}^2), \quad (83)$$

გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე დამრტყმელი ძალის სიდიდის შესაფასებლად მოგვყავს გრაფიკული დამოკიდებულება $P_2/P_1 = f\left(K, \frac{d}{D}\right)$ (ნახ. 5.5).



ნახ. 5.5. გამჭოლ და ყრუ ნაგებობაზე მოქმედი ძალის ფარდობითი სიდიდის P_2/P_1 დამოკიდებულების გრაფიკი გამჭოლობასა და ზაგირის d დიამეტრის გამჭოლობის D სიგანის ფარდობასთან კავშირში

ღვარცოფთა ნაგებობაზე ზემოქმედების ამოცანების გაანგარიშების ნათლად წარმოდგენის მიზნით მხედველობაში მიიღება აკადემიკოს ო. ნათიშვილის მიერ დასაბუთებული ნაკადის მოძრაობის თავისებურება. როცა ღვარ-

ცოფი 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/მ³, შინაგანი ხახუნის კუთხე $\varphi = 30^\circ$, ტრანსპორტირებული ქვის დიამეტრი $D_{\text{ავ.}}$ = 0,4 მ-ს, ბაგირის დიამეტრი $d = 0,01$ მ-ს, ბაგირებს შორის მინიმალური დაშორება $D_{\text{ბო.}}$ = 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:

$$f(m) = \frac{16 - (a^3 + 4a\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2}{(a^3 + 4a\sqrt{a})(2 + \sqrt{a})^2} \quad (84)$$

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

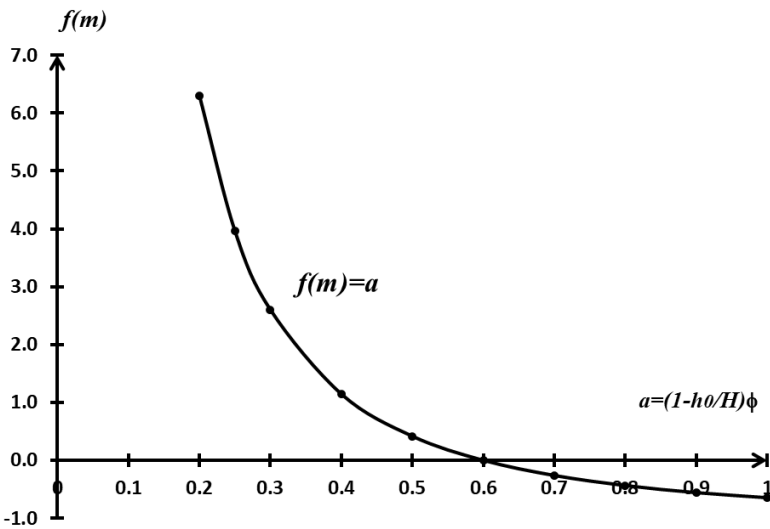
$$a = \left(1 - \frac{h_0}{H}\right) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (85)$$

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

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

$$f(m) = \frac{16 - (0,13^3 + 4 \cdot 0,13 \sqrt{13})(2 + \sqrt{0,13})^2}{(0,13^3 + 4 \cdot 0,13 \sqrt{13})(2 + \sqrt{0,13})} = 4,2; \quad (86)$$

ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის შემასწორებელი კოეფიციენტის გაანგარიშების გამარტივების მიზნით შესაძლებელია გვესარგებლა გრაფიკული დამოკიდებულებით (ნახ. 5.6).



ნახ. 5.6. ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის შემასწორებელი კოეფიციენტის დამოკიდებულების გრაფიკი რეოლოგიურ მახასიათებლებთან კავშირში

– ნაგებობაზე მოქმედი ძალის სიდიდე:

$$P = f(m) \frac{\gamma \omega V^2}{g} = \frac{2000 \cdot 5 \cdot 10 \cdot 5^2}{9,8} \cdot 4,2 = 107142 \text{ (ნ);} \quad (87)$$

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

$$K = \frac{1}{\left(1 + \frac{5}{40}\right)^2} = 0,79; \quad (88)$$

– ნაგებობის სიგრძე:

$$L = \frac{H}{\sin \alpha} \frac{5}{\sin 12^\circ} = 24,03 (\text{მ}); \quad (89)$$

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

– სექციის სიგრძე

$$\Delta L = 24 \cdot 3 = 8,0 (\text{მ}); \quad (90)$$

– ბაგირებით შედგენილი ბადის სიგრძეები ნაგებობის გრძივი მიმართულებით სექტორებს შორის

$$\ell = \Delta L(1 + tg \alpha) = 8,0(1 + tg 12^\circ) = 9,7 \approx 10 (\text{მ}); \quad (91)$$

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

– სექციებში ბაგირების რაოდენობა სიგრძეზე:

$$n_1 = \frac{\ell + 0,4}{0,4 + 0,05} = \frac{9,7 + 0,4}{0,45} = 22,0 (\text{ც}); \quad (92)$$

– სექციებში ბაგირების რაოდენობა სივანეზე

$$n_2 = \frac{B + D}{d + D} = \frac{10 + 0,4}{0,05 + 0,4} = 23,0 (\text{ც}); \quad (93)$$

– ნაგებობაზე ბაგირების რაოდენობა სიგრძით 10 მ

$$n = N(n_1 + n_2) = 3(23 + 22) = 135,0 (\text{ც}); \quad (94)$$

– გამჭოლ ნაგებობაზე მოქმედი ძალა

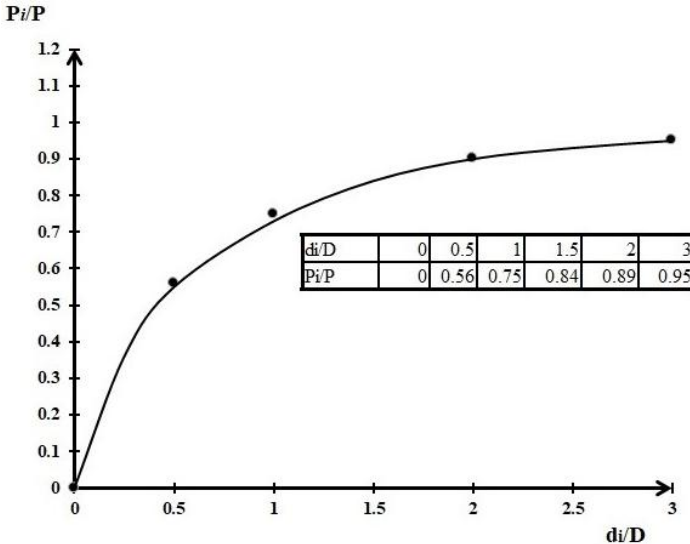
$$P_2 = KP_1 = 10714,2 \cdot 0,79 = 8464,2 (\text{კნ}); \quad (95)$$

– ნაგებობის რაოდენობა:

$$N = \frac{P}{P - P_2} = \frac{10714,2}{10714,2 - 8464,2} = \frac{10714,2}{2250} \approx 4,76 \text{ (ც)}. \quad (96)$$

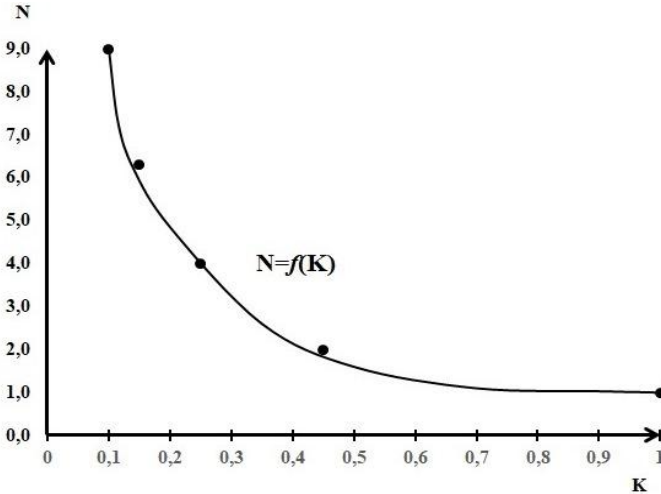
დამრტყმელი ძალის მნიშვნელობები ნაგებობაზე, როცა ფარდობითი სიდიდე $\frac{d}{D}$ იცვლება.

ზაგირის დიამეტრის გამჭოლობის სიგრძესთან ფარდობის, სხვადასხვა შემთხვევის დროს, დამრტყმელი ძალის განაწილების სურათი გრაფიკულად მოცემულია ნახ. 5.7-ზე.



ნახ. 5.7. ნაგებობის ყრუ ნაწილის ცვლილების შემთხვევაში დამრტყმელი ძალის ცვლილების გრაფიკი $P_1/P = f(d/D)$

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. 5.8-ზე.



ნახ. 5.8. 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.

გაანგარიშების ახალი მეთოდოლოგიიდან გამომდინარე, შერჩეული მოდელების საფუძველზე, გამოყენებულია ბარაჟების 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.

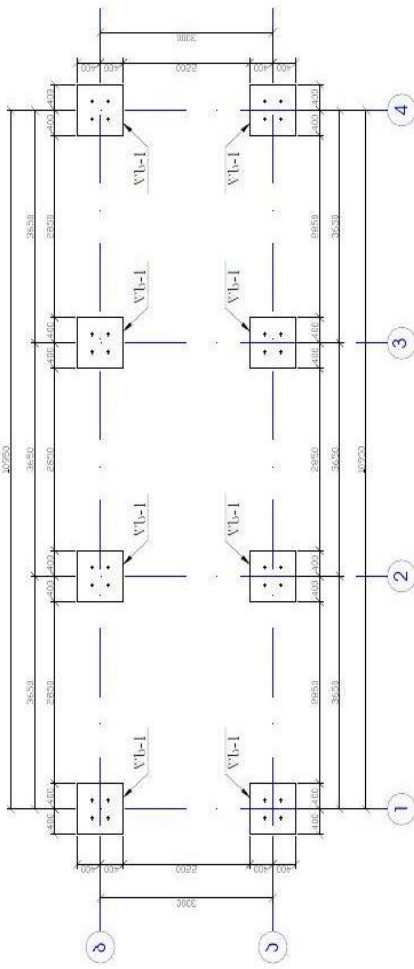
სიმტკიცის ამოცანა დამაკმაყოფილებლად იქნა მიჩნეული ისეთ შემთხვევაში, როცა საანგარიშო ელემენტები ძალის მოქმედების შედეგად არის მდგრადი და დეფორმაცია არ აღემატება დასაშვებ სიდიდეს.

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

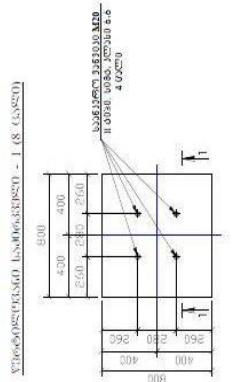
კონსტრუქციული გადაწყვეტიდან გამომდინარე, ნაგებობის განთავსება ფუძეზე გათვალისწინებულია წერტილოვან საძირკველზე. მშენებლობის ადგილზე ფუძის ჯდენისა და აქტიური ზონის გათვალისწინებით, წერტილოვანი საძირკვლის ზომები შემდეგნაირად შეირჩა: ნაგებობის ფუძის სიგრძე და სიგანე შეადგენს 80 სმ-ს, ხოლო სიმაღლე - 1,0 მეტრს. 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 საანკერო ჭანჭიკების მოწყობის სქემა მოცემულია ნახაზზე 5.9.

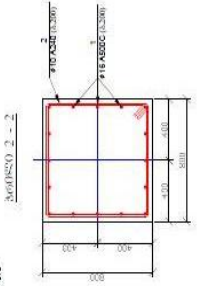
სანკონსტრუქციული საპროექტო ნახაზი



სანკონსტრუქციული საპროექტო ნახაზი



სანკონსტრუქციული საპროექტო ნახაზი

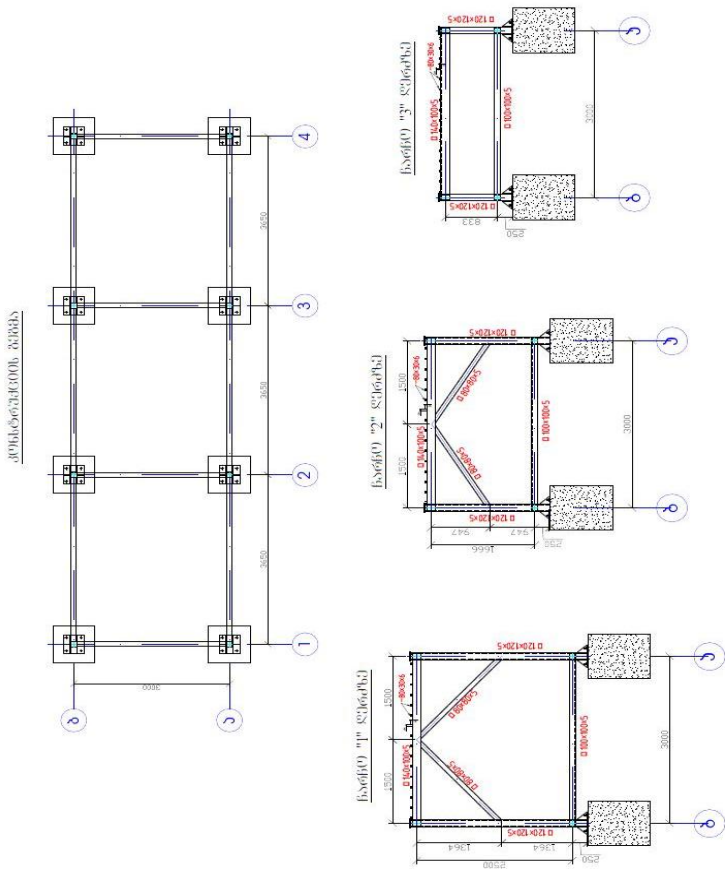


სანკონსტრუქციული საპროექტო ნახაზი



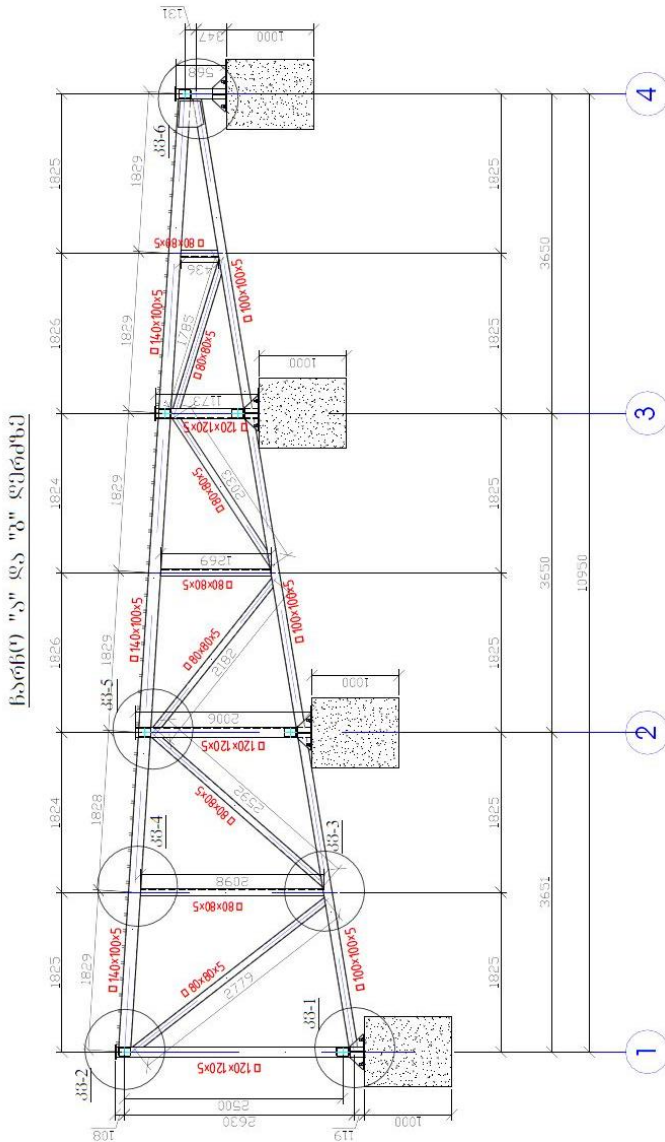
ნახ. 5.9. ნაგებობის საძირკვლის საანკონსტრუქციული მოწყობის სქემა

საშემდუღებლო სამუშაოების წარმოების დროს გამოყენებულია ნახევრადავტომატური ან ხელით შედუღების მეთოდი. ხელით შედუღების მეთოდისას გამოყენებულია ელექტროდები $\Phi 4.2$ A. დეტალების ჭანჭიკებით დაკავშირების დროს გამოყენებულია II ტიპის ჭანჭიკი, სიმტკიცის კლასით 6.6. ნაგებობის გეგმა და განივი ჭრილები მოცემულია ნახ. 5.10 –ზე.



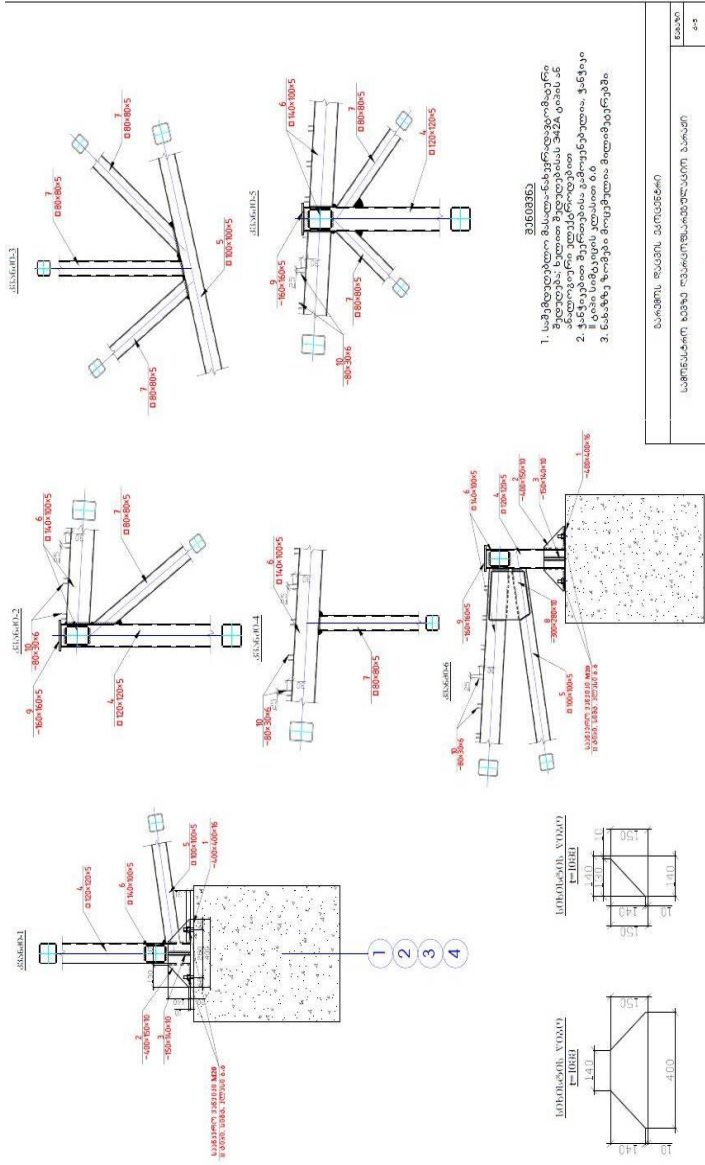
ნახ. 5.10. ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟის გეგმა და ჭრილები

ნაგებობის „ა“ და „ბ“ ღერძებზე ქანჭიკებისა და საშემდუღებლო საქმიანობის ნათლად წარმოჩენის მიზნით მოცემულია მისი გრძივი ჭრილი (ნახ. 5.11).



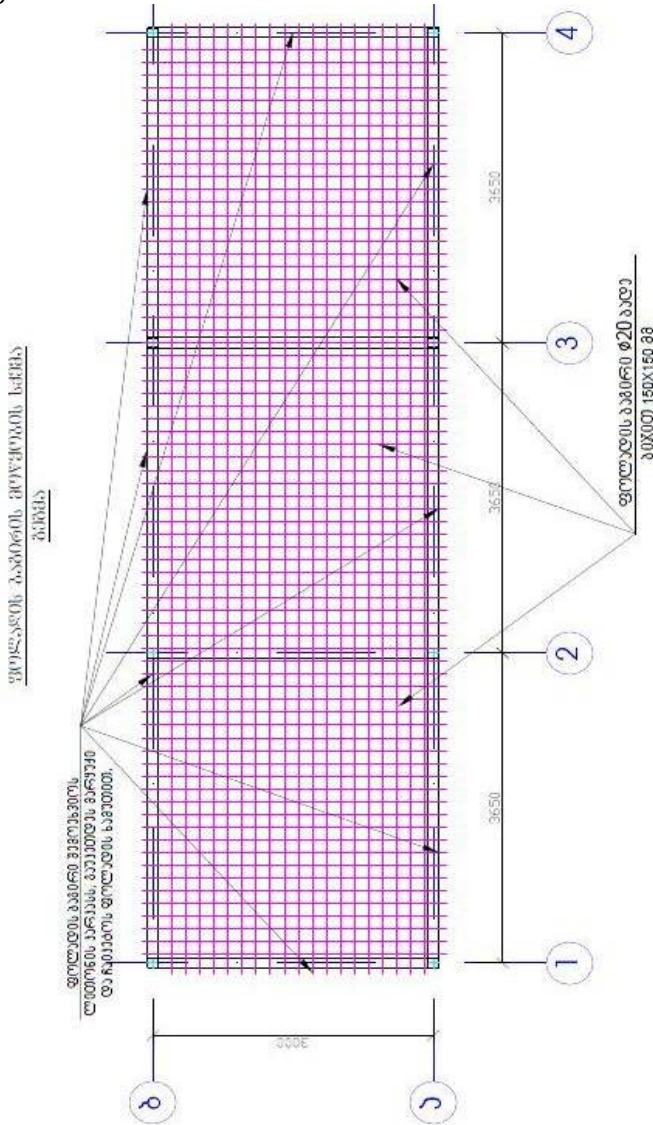
ნახ. 5.11 „ა“ და „ბ“ ღერძებზე ნაგებობის გრძივი ჭრილი

ნაგებობის ელემენტების კვანძებში შეერთების სურათი მოცემულია ნახაზზე 5.12.

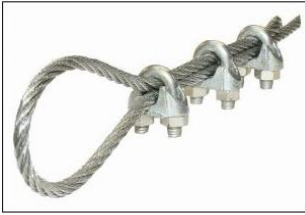


ნახ. 5.12. დვარცოფსარგულაციო ელასტიკური ბარაჟის სიბისტის წიბოებისა და შუბადგენელი ელემენტების მოწყობის სქემები

ნაგებობის სადაწნეო ზედაპირზე ფოლადის ბაგირების – ტროსების შეერთებისა და საყრდენ კვანძებზე მოწყობის სქემების გეგმა და ჭრილები მოცემულია ნახ. 5.13–სა და 5.14–ზე.

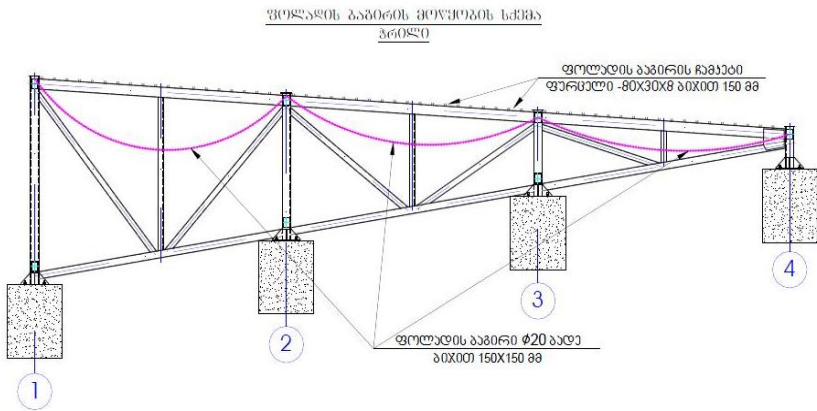


ნახ. 5.13. ნაგებობის სადაწნეო ზედაპირზე ბაგირების განლაგების გეგმა



ნახ. 5.14. ნაგებობის სადაწნეო ზედაპირზე ფოლადის ბაგირების შეერთების სქემები

ნაგებობის ზედაპირზე ბაგირების მოწყობის გრძივი ჭრილი მოცემულია ნახ. 5.15–ზე



ნახ. 5.15. ნაგებობის სადაწნეო ზედაპირზე ბაგირების მოწყობის გრძივი ჭრილი

სამუშაოთა სახეების მიხედვით ნაგებობის სამუშაოთა მოცულობები 5.1 და 5.2 ცხრილების სახით არის მოცემული.

ცხრილი 5.1

ფორმალის უწყვეტების სპეციფიკაცია								
ფორმალის ნომერი	პოზიცია	დასახელება, მასივი მმ.	პროფილი მმ.	L მ.	n ცალი	მასა კგ.		ფორმალის მატი
						მთლი პოზ.	მშობლ პოზ.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1	საპროფილი ფორმა	400X400X16	-----	8	20.1	1608	C 245
	2	ფორმული სიხისთვის წიკო დაბრუნს ავბილუნ	t=10	-----	16	32.97	527.52	C 245
	3	ფორმული სიხისთვის წიკო დაბრუნს ავბილუნ	t=10	-----	16	9.42	150.72	C 245
	4	ბოლკვარანბი დაბრუნს ავბილუნ	120X120X5	15	-----	-----	274.5	C 245
	5	ბოლკვარანბი დაბრუნს ავბილუნ	100X100X5	33	-----	-----	501.6	C 245
	6	ბოლკვარანბი დაბრუნს ავბილუნ	140X100X5	34	-----	-----	612.0	C 245
	7	ბოლკვარანბი დაბრუნს ავბილუნ	80X80X5	41	-----	-----	496.1	C 245
	8	საკვანბი ფორმული	300X280X10	-----	4	6.6	26.4	C 245
	9	ფორმული	160X160X5	-----	8	1.0	8	C 245
	10	დაბრუნის ნაკვბი ფორმული	80X60X6	-----	356	0.3	78.3	C 245
		ანბი	M 20	0.8	32	-----	-----	ბიბი, სიბი, კუნბი ბ.ბ
						8.880	4272.94	
						შეშულბანი 1.5 %	85.46	342A
						სულ	4358.4	

ფორმალის ბაბიბი $\varnothing 20$ მმ - 705 ბბ.ბ.

ფორმალის ხაბუბი ხაბრბიბი - 792 ბ.

ფორმალის ხაბუბი ზვარბიბი - 1440 ბ.

ცხრილი 5.2

პოზ.	ა ბ ბ ბ ბ ბ ბ	ბ ბ ბ ბ ბ ბ ბ	ბაბ.	წობა, კგ	
		წბბბბბბბბბბბბბბბ - 1	8	ბაბ	
		შბბბბბბ		ბბბბბბ (კგ)	სულ (კგ)
1		$\varnothing 16$ A 500c t= 2800	8	35.39	283.14
2		$\varnothing 10$ A 500c t= 3120	4	7.70	61.62
					344.766
				ბბბბბბ (ბ)	სულ (ბ)
		ბბბბბ B25 W8		0.640	5.12

ლიტერატურა

1. გ. გავარდაშვილი, ე. კუხალაშვილი, შ. კუპრეიშვილი, ნ. გავარდაშვილი. „ღვარცოფსარეგულაციო ელასტიკური ბარაჟი“. გამოგონება #14656/1, 21.12.2017, პატენტის #P2020 7068 B;
2. КрyашвилИ И.Г., КухалашвилИ 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. თ. 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. Givi Gavardashvili, Edvard Kukhalashvili, Inga Iremashvili, Shorena Kupreishvili, Natia Gavardashvili, Lia Maisaia, Kate Dadiani. Development of the Debris Flow Control Elastic Barrage Design Methodology, construction 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. E. Kukhalashvili, N. Gavardashvili, G. Gavardashvili, Sh. Kupreishvili. Designing and Evaluating Elastic debris flow – Regulating barrage for efficient debris flow regulation, Roma, Italy, 2019, 65–68 p.;
12. ე. კუხალაშვილი, გ. გავარდაშვილი, ი. ირემაშვილი, ნ. ბერაია, ქ. დადიანი, ხ. კიკნაძე, ლ. მაისაია. „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”. *სადისერტაციო ნაშრომი*, 2022 წ.;

14. ხ. კიკნაძე. „ღვარცოფსადინრებში მიმდინარე კალაპოტური პროცესები“. სადისერტაციო ნაშრომი, 2022 წ.;
15. ქ. დადიანი. „ჰიპერკონცენტრირებული ღვარცოფის მდგრადობა და ნაგებობაზე ზემოქმედების შეფასება“. სადისერტაციო ნაშრომი, 2022 წ.;
16. ლ. მასიაია. „ღვარცოფის ზემოქმედების შეფასება“. სადისერტაციო ნაშრომი, 2022 წ.