



შოთა რუსთაველის ეროვნული
სამეცნიერო ფონდი
SHOTA RUSTAVELI NATIONAL
SCIENCE FOUNDATION

შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდი



THE WORLD BANK
IBRD • IDA | WORLD BANK GROUP

მსოფლიო ბანკი



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

თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ინოვაციური კონსტრუქცია

(კონსტრუქციის დაპროექტების მეთოდოლოგია,
სამშენებლო ნორმები და წესები)



თბილისი
2021

უაკ 551. 578.46

თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ინოვაციური კონსტრუქციის დაპროექტების მეთოდოლოგია, სამშენებლო ნორმები და წესები გამოიცა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის საგრანტო პროექტის - CARYS-19-305 (თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ინოვაციური კომპლექსური ღონისძიება) მხარდაჭერითა და მსოფლიო ბანკის დაფინანსებით.

საგრანტო პროექტის სამეცნიერო ხელმძღვანელი და ძირითადი შემსრულებელი გივი გავარდაშვილი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი.

საგრანტო პროექტის დამუშავებაში მონაწილეობდნენ პროექტის ძირითადი და დამხმარე შემსრულებლები: ედუარდ კუხალაშვილი (პროფესორი), ინგა ირემაშვილი (ასისტ. პროფესორი), თამრიკო სუპატაშვილი (ასისტ. პროფესორი), ქეთევან დადიანი (დოქტორანტი), ნანა ბერაია (დოქტორანტი), ლიანა მასიაია (დოქტორანტი), ხათუნა კიკნაძე (დოქტორანტი), ფერიდე ლორთქიფანიძე (დოქტორანტი), ლელა დუდაური (მაგისტრი), ლაშა თოფურია (მაგისტრი), შორენა კუპრეიშვილი (ასისტ. პროფესორი), ნათია გავარდაშვილი (ასისტ. პროფესორი), ანა გავარდაშვილი (აკადემიური დოქტორი, უფრ. მეცნიერ-თანამშრომელი), ლაურა ტოკლიკიშვილი (მაგისტრი).

საგრანტო პროექტის წამყვანი ორგანიზაცია - გაეროს ეკონომიკური და სოციალური საბჭოს (ECOSOC) საკონსულტაციო სტატუსის ორგანიზაცია - ა(ა)იპ გარემოს დაცვის ეკოცენტრი.

თანამონაწილე ორგანიზაციები - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი და შპს გარემოს გეოლოგიური სააგენტო.

შინაარსი

სამუშაოს დასახელება		83
1.	შესავალი	4
2.	თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ტრადიციული კონსტრუქციები და მათი დახასიათება	7
3.	მთის ფერდობის ზვავსარეგულაციო ნაგებობის ინოვაციური კონსტრუქციული გადაწყვეტა ადგილმდებარეობის ტოპოგრაფიასთან კავშირში	17
3.1.	ზვავსარეგულაციო ნაგებობის ინოვაციური კონსტრუქციული მახასიათებლების შერჩევა (ნაგებობის ფორმა, ზომა, სიმაღლე) სენსიტიური უბნების შესაბამისად	17
3.2.	საკვლევ დერეფანში ზვავსაშიშროებიდან გამომდინარე ნაგებობათა რაოდენობისა და განლაგების სქემის შერჩევა მთის ფერდობის ტოპოგრაფიული მახასიათებლების მიხედვით	21
4.	ზვავსაწინააღმდეგო ინოვაციური კონსტრუქციის დაპროექტების ძირითადი პარამეტრები	31
4.1.	კონსტრუქციის გაანგარიშებისას გათვალისწინებული დატვირთვები და ზემოქმედებები	34
5.	ციტირებული ლიტერატურა	49

1. შესავალი

ქვეყნის მდგრადი განვითარებისთვის მთიან რეგიონებს გააჩნიათ არსებითი მნიშვნელობა, იმდენად, რამდენადაც მთის ეკოსისტემები ასრულებენ გადამწყვეტ როლს მსოფლიო მოსახლეობის დიდი ნაწილის მტკნარი წყლის რესურსებით უზრუნველყოფაში (UNGA, 2012). მსოფლიო მოსახლეობის 10% პირდაპირ არის დამოკიდებული მთის რესურსებზე. ერთი მხრივ, მთა წარმოადგენს წყლის, ენერჯის, მინერალების, ბიომრავალფეროვნების, რეკრეაციის, ტყისა და სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტების მნიშვნელოვან წყაროს, მეორე მხრივ კი - განეკუთვნება მაღალი რისკის გარემოს, მოწყვლადი ლანდშაფტებით.

მთიანი რეგიონები ყველაზე მგრძობიარე არეალია კლიმატის ცვლილების მიმართ. მათ უმრავლესობაში რესურსების რაოდენობა შეზღუდულია (FAO, 2011), ამიტომ მთაში ცხოვრობს მსოფლიოს უღარიბესი მოსახლეობა. მთის ლანდშაფტები გვაწვდიან მაღალი ხარისხისა და მარავალფეროვან, ამავედროულად შეზღუდული რაოდენობის და მისაწვდომობის რესურსებს. შესაბამისად მთიანი რეგიონების ბუნებათსარგებლობა და რესურსთსარგებლობა განსაკუთრებულად ფრთხილ მოდგომას საჭიროებს.

მთის მოსახლეობა ცნობილია უნიკალური ტრადიციებით და წეს-ჩვეულებებით, რითაც მნიშვნელოვან როლს ასრულებს გლობალურ ეთნიკურ, კულტურულ, ლინგვისტურ და რელიგიურ მრავალფეროვნებაში (FAO, 2011). აღსანიშნავია ისიც, რომ ტრადიციულ რეგიონებში, ბუნებრივი ლანდშაფტები ადგილობრივი კულტურის ინტეგრალური ნაწილია (UN, 1992).

საქართველოს ტერიტორიის ორ მესამედზე მეტი მთიანია, შესაბამისად, ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი გამოწვევა აქაც აქტუალურია. მცირე ტერიტორიის მიუხედავად აქ გვხვდება ლანდშაფტის მრავალი ტიპი, მათ შორის მაღალმთის ალპური მდელოები და გლაციალური ლანდშაფტები (Nikolaishvili, et al., 2011). როგორც მსოფლიოს სხვა რეგიონებში, საქართველოშიც მთა წარმოადგენს მტკნარი წყლის რეზერვუარს, „ბიომრავალ-

ფეროვნების საცავს“ და თვითმყოფადი კულტურის კერას (FAO, 2011). შესაბამისად, მისი დაცვა და შენარჩუნება ქართული სახელმწიფოსთვის ერთ-ერთი პრიორიტეტული და, ამავდროულად, ეკონომიკური გამოწვევებიდან გამომდინარე, რთული ამოცანაა. უნდა აღინიშნოს, რომ ჩვეულებრივ, განვითარების ინტერვენციას თან ახლავს გარემოსდაცვითი და საზოგადოებრივი რისკები.

მთიანი რეგიონების მდგრადი განვითარების კონცეფციაში ლანდშაფტების (ეკოსისტემების) დაცვას ცენტრალური ადგილი უკავია, რადგან მთის ხეობების ფარგლებში ბუნებრივი ტყეები წარმოადგენენ ყველაზე ეფექტურ მიწის საფარს, ჰიდროლოგიური პირობების დარეგულირების კუთხით (Hamilton & King, 1983). მთის მოსახლეობას კი - აკისრია უდიდესი როლი ეკოსისტემების შენარჩუნებაში იმ სახით, რომ მათ შეძლონ საზოგადოების უზრუნველყოფა გარემოს/ეკოსისტემური/ლანდშაფტური სერვისებით. მნიშვნელოვანია მთის მოსახლეობის გაძლიერება, მათი ყოფის გაუმჯობესება, რათა შესწევდეთ ძალა, თავად დაიცვან ბუნება და შეასრულონ მთის მცველების როლი (FAO 2011).

საქართველოს ტერიტორიის დიდი ნაწილი უკავია მაღალ მთებს, უღელტეხილებსა და დამრეც ფერდობებს. ამიტომ ზამთარში ხშირია თოვლის ზვავები. განსაკუთრებით ჯვრის, როკისა და სურამის გადასასვლებები. მართალია ამ გადასასვლელებზე აგებულია საავტომობილო გვირაბები, თოვლის ზვავის დამჭერი კედლები, გალერეები და სხვა ტიპის ნაგებობები, მაგრამ კონსტრუქციების არასაკმარისობის გამო, დიდთოვლობის პერიოდში საავტომობილო მოძრაობა რამოდენიმე ხნით ჩერდება, სანამ გზები არ გაიწმინდება ჩამოქცეული ზვავებისაგან.

მდინარეების - თერგის, არაგვისა და ძირულას წყალშემკრებ აუზებში ხშირია დიდთოვლობასა და თოვლის ზვავებთან დაკავშირებული საავტომობილო კატასტროფები, სამწუხაროდ ხშირია ადამიანთა მსხვერპლიც. მაგალითად, 1999 წლის ზამთარში ყაზბეგის რაიონის სოფელ კობიდან ვლადიკავკაზში მიმავალ ავტობუსს დაეცა ჩამოქცეული ზვავი,

ავტობუსი გადავარდა მდინარე თერგში, რის შედეგადაც დაიღუპა 42 ადამიანი. 2000 წლის იანვარში როკის გვირაბის მხრიდან თოვლის ზვავი დაეჯახა ავტობუსს და გარდაიცვალა 28 მგზავრი.

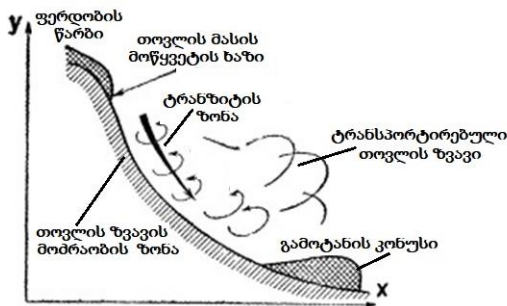
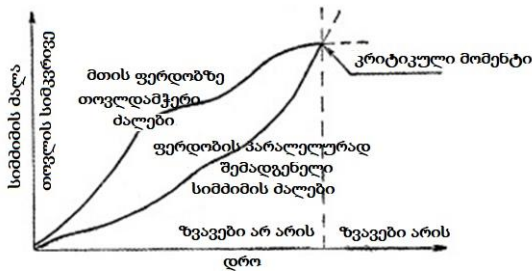
განსაკუთრებით უნდა ავღნიშნოთ მსოფლიო მასშტაბით თოვლის ზვავის მიერ გამოწვეული დიდი მსხვერპლის მომტანი სტატისტიკური მაჩვენებლები. მაგალითად 1905 წელს ყარაყუმში უცბად ჩამოწვა ჰასაბადის მყინვარი, რის შედეგადაც დაიღუპა 2500 ადამიანი, დაინგრა ათასობით სახლი და შენობა. 1906 წელს ალიასკის მთებიდან ჩამოწვა მყინვარი კარიჰეიტედი, დაიღუპა 3500 ადამიანი, დაინგრა 28 000 სახლი და ა.შ.

2018 წლის 4 იანვარს სვანეთში, კურორტ „თეთნულდის“ მიმდებარე ტერიტორიაზე ზვავი ჩამოწვა. პირველადი ინფორმაციით, კურორტ „თეთნულდზე“ მყოფი, ექსტრემალური სპორტის მოყვარული 4 უცხოელი ტურისტი გაუკვალავ თოვლზე დაეშვა, რამაც ზვავი გამოიწვია. სამმა მათგანმა უსაფრთხო ადგილზე გასვლა მოახერხა, ხოლო მეოთხე - თოვლში ჩაიძარხა და დაიღუპა.

2. თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ტრადიციული კონსტრუქციები და მათი დახასიათება

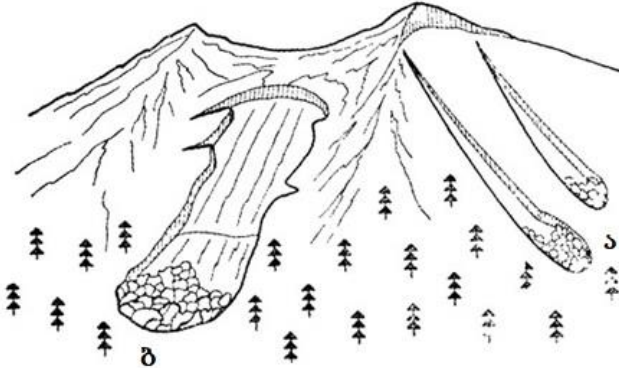
თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ნაგებობების ზუსტ დაპროექტებასა და ტოპოგრაფიული ადგილმდებარეობის შერჩევას დიდი მეცნიერულ-პრაქტიკული მნიშვნელობა გააჩნია.

მსოფლიოში არსებობს თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ნაგებობების სხვადასხვა ტიპები, რომლებიც ძირითადად იყოფა სამი ჯგუფად: პროფილაქტიკური (ხელოვნური), თოვლის ზვავის დამჭერი ნაგებობები და თოვლის მასის მთის ფერდობზე შემაკავებელი ნაგებობები, რომლებიც ეწინააღმდეგებიან თოვლის ზვავის წარმოქმნას. ნახაზზე 2.1 მოცემულია თოვლის ზვავის ტრადიციული გრძივი პროფილები, სადაც განხილულია თოვლის ზვავის მთის ფერდობზე წარმოშობის გრძივი პროფილი, რომელიც შედგება: ფერდობის წარბის, თოვლის მასის მოწყვეტის ხაზის, თოვლის მასის ტრანზიტული უბნის, ტრანსპორტირებული თოვლის მასის მოცულობისა და თოვლის ზვავის გამოტანის კონუსისგან.



ნახ. 2.1. თოვლის ზვავის გრძივი პროფილები

ნახაზზე 2.2 მოცემულია თოვლის ზვავის მთის ფერდობზე მოწყვეტის სხვადასხვა სახეები, კერძოდ ა) მთის ფერდობზე თოვლის მასის მოწყვეტა მიმდინარეობს წერტილოვანი სახით და ბ) როდესაც მთის ფერდობზე თოვლის მასის მოწყვეტა მიმდინარეობს ფერდის მთელ სიგანეზე, გარკვეული ფართობით, ე.წ. თოვლის მასის გრძივი მოწყვეტა.



ნახ. 2.2. მთის ფერდობზე თოვლის ზვავის მოწყვეტის სახეები:

- ა) თოვლის მასის წერტილოვანი მოწყვეტა;
- ბ) თოვლის მასის გრძივი მოწყვეტა

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით განვიხილოთ თოვლის ზვავის ტრადიციული ნაგებობების კონსტრუქციული დახასიათება.

მსოფლიო პრაქტიკის გათვალისწინებით არსებობს თოვლის ზვავისგან დაცვის სხვადასხვა სისტემა, რომლებიც იყოფა სამ ძირითად ტიპად:

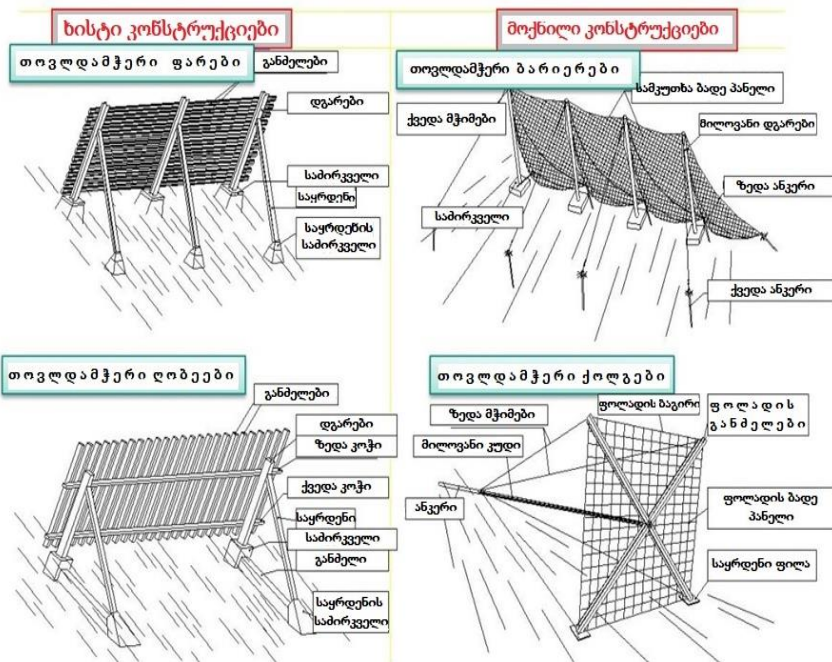
1. პროფილაქტიკური (ხელოვნური დაღმართი, პროგნოზირება, ზონირება);
2. თოვლის ზვავისგან დაცვა (თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ნაგებობები, რომლებიც იცავენ ინფრასტრუქტურას, ასევე ეწინააღმდეგებიან თოვლის მასის გადაადგილებას);
3. თოვლის ზვავის პრევენცია (მთის ფერდობზე თოვლის მასების მოძრაობის საწინააღმდეგო სხვადასხვა კონსტრუ-

ქციები, ასევე კონსტრუქციები, რომლებიც ეწინააღმდეგებიან თოვლის ზვავის წარმოშობას და ა.შ).

ზვავსაწინააღმდეგო კონსტრუქციები დაცვის ყველაზე სტაბილური და ეფექტური სახეობაა, რადგან ისინი ხელს უშლიან თოვლის მასების ფერდობზე გადაადგილების დაწყებას, შესაბამისად ხელს უშლის თოვლის ზვავის წარმოშობას. მნიშვნელოვანია, სპეციალისტებმა მთის ფერდობზე აირჩიონ სწორი ადგილი ასეთი ტიპის ნაგებობების მოწყობისათვის - ეს უნდა იყოს მხოლოდ ზვავების წარმოშობის ზონები, სადაც შეიძლება მოხდეს ფერდობზე თოვლის მასების პირველი მოძრაობა. მსოფლიო პრაქტიკის მხედველობაში მიღებით არსებობს ასეთი ნაგებობების განზოგადებული სახეები - თოვლის ზვავის შემაკავებელი ღობეები, ამასთან, ევროპასა და აშშ-ში ისინი უფრო დეტალურად ახდენენ ამ ნაგებობების კლასიფიკაციას და აქვთ დიდი გამოცდილება მათი გამოყენების თვალსაზრისით. უფრო დეტალურად განვიხილოთ შემდეგი ნაგებობების სხვადასხვა კონსტრუქციები (ნახ. 2.3):

- ხისტი კონსტრუქციები (თოვლის ფარები, თოვლის ღობეები);
- მოქნილი კონსტრუქციები (თოვლის ბარიერები, თოვლის ქოლგები).

თოვლის ზვავის რეგულირების პროცესში განსაკუთრებული როლი ენიჭება ქარის მაკონტროლებელ კონსტრუქციებს (ქარის ბალთები, ქარის მიმართულების გადამღობი კონსტრუქციები), რომლებიც ასევე შედის ზვავსაწინააღმდეგო კონსტრუქციების ჯგუფში, თუმცა ისინი ნაკლებად მდგრადია, იშვიათად იყენებენ დამოუკიდებლად და ამ ნაშრომში ჩვენ მიერ არ იქნება განხილული.



ნახ. 2.3. თოვლის ზეგავის შემკავებელი ნაგებობების სხვადასხვა ტიპები

- **თოვლის გადამღობი (დამჭერი)ფარები (Snow bridge)** - ეს არის მეტალის კონსტრუქციები ჰორიზონტალური ზოლებით, საყრდენი პანელების სახით, რომელიც ეწყობა მთის ფერდობზე, ჩვეულებრივ ბეტონის სამირკველზე. ფარები ეწყობა თოვლის ზეგავის წარმოშობის ადგილებში, სადაც თოვლის მასის სიმაღლე აღემატება 4,5 მ. მთის ფერდობზე ფარების მოწყობას ასევე აქვთ მთელი რიგი უარყოფითი მხარეები: საკმაოდ დიდი წონა (200 კგ /გრძ.მ - მდე), რაც მოითხოვს უფრო მძლავრ ფუნდამენტს ნაკლებად მძიმე კონსტრუქციებთან შედარებით, გარდა ამისა, ისინი მკვეთრად გამოირჩევიან ბუნებრივი ლანდშაფტის ფონზე (ნახ. 2.3).
- **თოვლდამჭერი ღობეები (Snow rake)** – კონსტრუქცია მზადდება ხის ვერტიკალური ძელებისაგან, როგორ დამჭერი პანელები და განლაგებულია მთის ფერდობზე ზემოდან ქვევით მიმართულებით. რადგან კონსტრუქცია მზადდება ხის

მასალისაგან, იგი საგრძნობლად ეკონომიურია - შესაძლებელია დამზადდეს ადგილობრივი ტყის მასალისაგან. ამასთან ერთად, ამ კონსტრუქციას გააჩნია რიგი უარყოფითი თვისებები, მაგალითად, საძირკველთან შეერთების ადგილი, მიწის ზედა ნაწილის მუშაობის ნაკლები ხანგრძლივობა (ნახ. 2.3).

➤ **თოვლდამჭერი ბარიერები (Snow net)** - მოქნილი კონსტრუქცია - თოვლის ელასტიკური ბადეები არის მოქნილი ფოლადის კონსტრუქციები, რომლებიც უზრუნველყოფენ უწყვეტ, გრძელვადიან წინააღმდეგობას თოვლის სტატიკური დატვირთვების მიმართ, გამოწვეული თოვლის მასების ზეწოლით საყრდენ გამჭოლ ტილოზე. კონსტრუქციის ეს ტიპი ყველაზე მსუბუქია და სხვა ნაგებობებთან შედარებით ყველაზე ნაკლებად ახდენს ესთეტიკურ გავლენას ლანდშაფტზე. იმის გამო, რომ ამ ნაგებობას აქვს საყრდენთან დაკავშირებული ანკერები, მას ადვილად შეუძლია რეაგირება მოახდინოს დატვირთვის ცვლილებებზე მთელი თოვლის მასის ზეწოლის პერიოდში, იგი კარგად ეგუება ფერდობის მორფოლოგიას და უძლებს დიდ დინამიკურ დატვირთვებს (ქვათაცვენის ფრაგმენტები და ყინულის ბლოკები). ასეთ ნაგებობებს ერთადერთი ნაკლი აქვთ, სხვა ნაგებობების ტიპებთან შედარებით, შეიძლება იყოს მიწისზედა ნაწილის დამონტაჟების სირთულე (ნახ. 2.3).

➤ **თოვლდამჭერი ქოლგები (Snow umbrella)** - ნაგებობები, რომლებიც შედგება ფოლადის ელემენტებისგან და აქვთ ჯვარედინი ფოლადის განძელები, რომლებიც "კუდი" მიერთებული არიან პანელთან. ამ დიზაინის მთავარი უპირატესობაა როგორც მიწის ზედა ნაწილის, ისე საძირკვლის მონტაჟის სიმარტივე, მაგრამ მათი წონა დაახლოებით 100 კგ გრძ/მეტრია, ხოლო საერთო მოქნილობა მნიშვნელოვნად ჩამოუვარდება თოვლის ბარიერებს, მიუხედავად იმისა, რომ მათი მახასიათებლები მსგავსია. ამ ნაგებობის ნაკლოვანებები დამუშავებულია დავოსში შვეიცარიის თოვლისა და ზვავების ინსტიტუტის მიერ. ამასთან, ბევრი ექსპერტი თვლის, რომ ეს დროის საკითხია, ვინაიდან დიზაინი ახალია და მას უფრო მრავალჯე-

რადი პრაქტიკული საველე-სამეცნიერო ექსპერიმენტი სჭირდება (ნახ. 2.3).

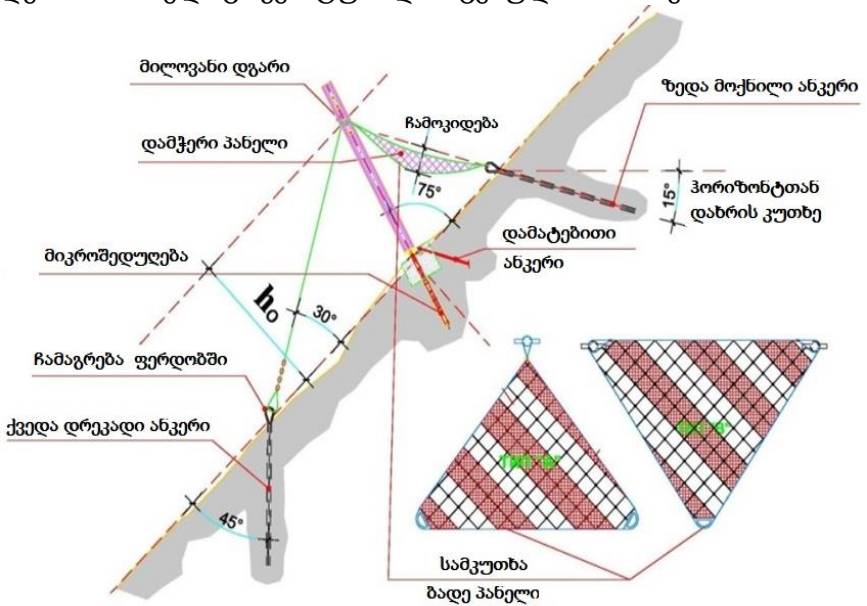
თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ნაგებობების ზემოთ განხილული დახასიათებისა და ნახ. 2.3-ზე მოცემული კონსტრუქციების განხილვის საფუძველზე მათი კონსტრუქციული დახასიათება მოყვანილია ცხრილში 2.1.

ცხრილი 2.1
თოვლის ზვავის კონსტრუქციული დახასიათება

ნაგებობის ტიპი	ფარი	ღობე	ბარიერი	ქოლგა
სიმკვრივე	ხისტი	ხისტი	დრეკადი	დრეკადი
მასალა	ფოლადი	ხე	ფოლადი	ფოლადი
წონა, კგ.გრძ.მ.	≈200	≈100	≈70	≈100
თოვლის საფარის სიმაღლე	4,5 მ - მდე	4,0 მ - მდე	4,3 მ - მდე	4,0 მ - მდე
დინამიკური დატვირთვა	ვერ უძლებს დატვირთვას	ვერ უძლებს დატვირთვას	უძლებს დატვირთვას	უძლებს დატვირთვას
მთის ლანდშაფტზე ვიზუალური დატვირთვა	მაღალი	მაღალი	დაბალი	დაბალი
მიწისზედა ნაწილის მონტაჟი	მარტივი/რთული		მარტივი/რთული	მარტივი/რთული

ამჟამად, ევროკავშირში მათ შორის კავკასიაში, ამ ტიპის ნაგებობების წარმოება ხდება მრავალი ბრენდის სახელწოდებით.

დებით, რომელიც სქემატურად მოცემულია ნახაზე 2.4.



ნახ. 2.4. თოვლის ზეგვის ბარიერის ტიპური კვეთები და ძირითადი კომპონენტები

მთის ფერდობის ტოპოგრაფიული და კონფიგურაციული ელემენტების გათვალისწინებით თოვლის ზეგვის საწინააღმდეგო ბარიერი შეიძლება განთავსდეს ერთმანეთის მიმართ პარალელურად (ფოტო 2.1).



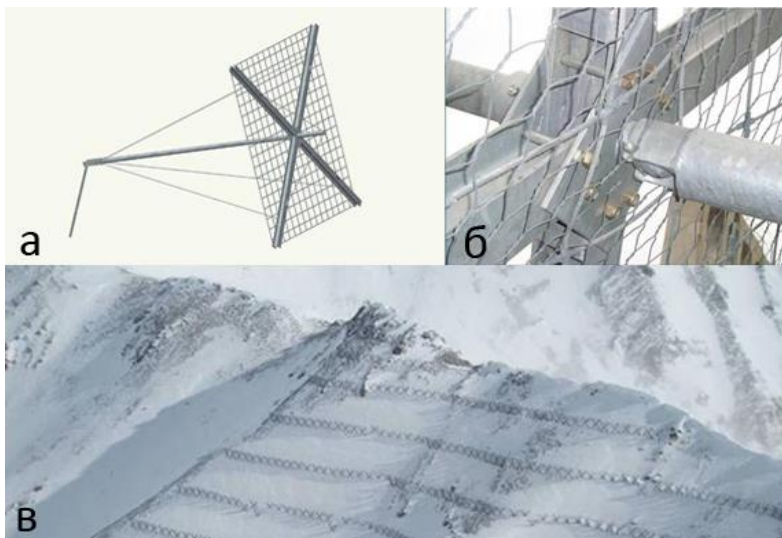
ფოტო 2.1. მოქნილი CTR-OM თოვლის ბარიერების რიგები ალპებში

ფოტო 2.2 ზე ნაჩვენებია თოვლის ბარიერები, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება ევროპასა და ამერიკაში და პრაქტიკამ გვიჩვენა, რომ ასეთი კონსტრუქციები საიმედოა თოვლის ზვავებისგან დასაცავად.



ფოტო 2.2. CTR-OM სისტემის თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ბარიერი

ფოტო 2.3 ზე ნაჩვენებია იტალიური ფირმა Maccaferri– ს რეკომენდაცია, მიაწოდოს იტალიური წარმოების Erdox თოვლის ქოლგები ყოფილი საბჭოთა სივრცის რესპუბლიკებს, სადაც არსებობს თოვლის ზვავის რეგულირების პრობლემები.

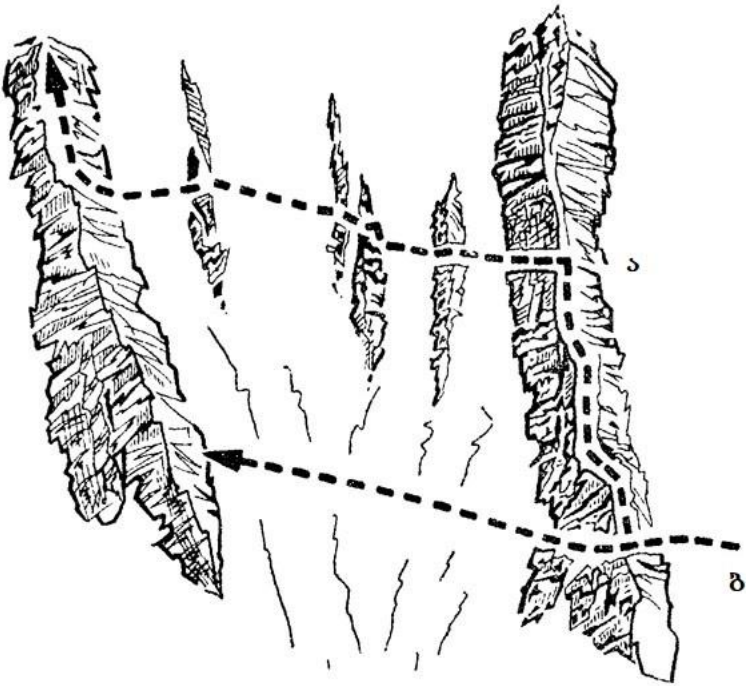


ფოტო 2.3. Erdox ტიპის თოვლის საყრდენი ქოლგები

- a) ქოლგის სტრუქტურის სქემა;**
- ბ) საყრდენი პანელის hinged კავშირი "კუდთან";**
- B) ქოლგების რიგები ზვავის ზონაში**

აღნიშნული თოვლის ბარიერები - ქოლგები პრაქტიკამ გვაჩვენა, რომ არის ძალიან საიმედო თოვლის ზვავებისგან დასაცავად, რაც მოსახლეობისა და სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტების უსაფრთხოების გარანტია.

მთის ფერდობზე თოვლის საფარის დიდი სიღმის შემთხვევაში, როდესაც არსებობს თოვლის ზვავის წარმოშობის ალბათობა, რეკომენდებულია სპეციალისტებმა იმუშაონ ნახ. 2.5-ზე მოცემული სქემის მიხედვით.



ნახ. 2.5. ზეგვსაშიში ფერდობის გადაკვეთა
 ა) სწორი, ბ) არასწორი

ამრიგად, ზემოთ განხილული და შეფასებული თოვლის ზეგვის საწინააღმდეგო ნაგებობების დახასიათების შემდეგ შესაძლებელია რეკომენდაცია გაეწიოს თოვლის ზეგვის ინოვაციურ კონსტრუქციას, რომელიც ხასიათდება მუშაობის საიმედოობითა და ოპტიმალური ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლებით.

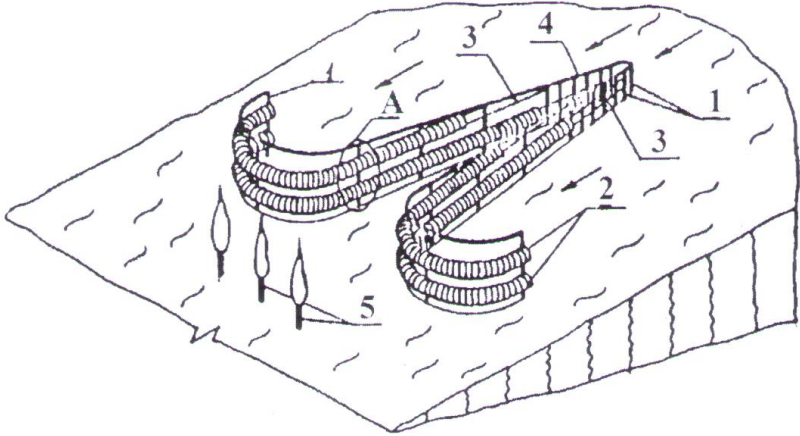
3. მთის ფერდობის ზვავსარეგულაციო ნაგებობის ინოვაციური კონსტრუქციული გადაწყვეტა ადგილმდებარეობის ტოპოგრაფიასთან კავშირში

3.1. ზვავსარეგულაციო ინოვაციური ნაგებობის კონსტრუქციული მახასიათებლების შერჩევა (ნაგებობის ფორმა, ზომა, სიმაღლე) სენსიტიური უბნების შესაბამისად

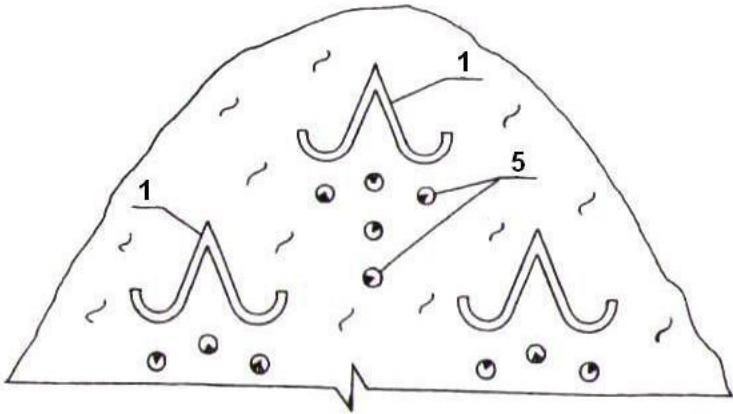
თოვლის ზვავების მასშტაბურობის გამო, არსებული მოდელებისა და ბრძოლის ღონისძიებების მიუხედავად, ვერ ხორციელდება შედეგების კატასტროფულობის თავიდან აცილება. თოვლის ზვავები მრისხანე მოვლენაა სტიქიათა შორის და სარეგულაციო ნაგებობათა ინოვაციური სახის შექმნა მათ გენეზისსა და დინამიკასთან არის დაკავშირებული.

გამოყენებული სარეგულაციო ნაგებობების კონსტრუქციული გადაწყვეტა მის სადაწნეო ზედაპირზე ხშირად ვერ იძლევა მოძრავი მასის ტრანსფორმაციისა და დამრტყმელი ძალის გადანაწილების შესაძლებლობას. ზვავსარეგულაციო ნაგებობის ინოვაცია იმაში მდგომარეობს, რომ არის საიმედო, ხანმედეგი, მდგრადი, მოქნილი ზვავის დამრტყმელი ძალის მიმართ, გაზრდილი აქვს ელასტიკურობა და შემცირებული - სიხისტე.

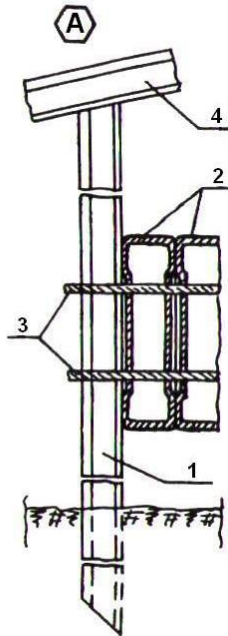
პროექტში წარმოდგენილი ზვავსაწინააღმდეგო ნაგებობა (საქართველოს პატენტი #278) შედგება ფერდობზე ჩამაგრებული სხვადასხვა სიმაღლის მეორადი ლითონის დგარებისაგან (1), რომლებშიც სექციებად გაყრილია ავტომანქანის ამორტიზებული საბურავჩამოცმული (2) ლითონის ელასტიკური ბაგირები (3), ხოლო დგარების თავზე ხისტად დამაგრებულია ლითონის რიგელი (4), რომლის გრუნტიდან დაშორება იზრდება თოვლის ზვავის მოძრაობის მიმართულებით. ნახაზზე 3.1 წარმოდგენილია თოვლის ზვავის ნაგებობა აქსონომეტრიაში, ნახაზზე 3.2 - კონსტრუქცია გეგმაში, ხოლო ნახაზზე 3.3 - ნაგებობის A კვანძის საერთო ხედი.



ნახ 3.1. თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ნაგებობა:
 1 - მეორადი ლითონის დგარები; 2 - ამორტიზებული
 ავტომობილის საბურავები; 3 - ლითონის ელასტიკური ბაგირები;
 4 - ლითონის რიგელი; 5 - მწვანე ნარგავები



ნახ. 3.2. ნაგებობების ჭადრაკულად განლაგების სქემა



სურ. 3.3. თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ნაგებობის A კვანძი

თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ნაგებობას გეგმაში აქვს ღუზის მსგავსი ფორმა, წვერით მიმართული ზვავის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით, მთის ფერდობის დაცულ ზოლებში შესაძლებელია გაშენდეს მწვანე ნარგავები. იმის მიხედვით, თუ წარმოდგენილი ნაგებობა მთის ფერდობის რა ადგილზე იქნება განლაგებული, მუშაობის პრინციპიდან გამომდინარე, შეიძლება განვიხილოთ ორი ვარიანტი:

- როდესაც ნაგებობები განლაგებულია მთის ფერდობის მთელ მასივზე, ამ შემთხვევაში ნაგებობა წარმოადგენს თოვლის ზვავის წარმოშობის წინააღმდეგ მომუშავე კონსტრუქციას.

მთის ფერდობზე ნაგებობების ჭადრაკული ან სხვა ოპტიმალური სახით განლაგება, ასევე მათ შორის მანძილების სწორად დადგენა, საშუალებას იძლევა, მთის ფერდობზე არ

მოხდეს თოვლის საფარის სტატიკური წონასწორობის დარღვევა და, თუ ეს მოხდა, მაშინ კონსტრუქციის ფორმიდან გამომდინარე, თოვლის ზვავს ექნება მცირე მოცულობა.

გარდა ზემოთ აღნიშნულისა, მთის ფერდობზე ნაგებობის მიერ დაცულ ზოლებში დარღული მწვანე ნარგავები არა მარტო ავსებენ (აღადგენენ) მთის ფერდის ეკოსისტემას, არამედ ეწინააღმდეგებიან თოვლის ზვავის წარმოშობის პროცესს;

- როდესაც მთის ფერდობის ტოპოგრაფიული გარემო არ გვაძლევს წარმოდგენილი კონსტრუქციის მთის ფერდობის მთელ ფართობზე განლაგების საშუალებას, ამ დროს ნაგებობა მუშაობს, როგორც თოვლის ზვავის მოძრაობის საწინააღმდეგო (ზვავდამჭერი) კონსტრუქცია.

კერძოდ, მისი მუშაობის პროცესი მდგომარეობს შემდეგში: თოვლის ზვავის მოძრაობისას ძირითად დარტყმის ძალას იღებს ნაგებობის წვერი, რომელიც თოვლის ზვავს ჰყოფს ორ ნაწილად, ხოლო ენერგიადაკარგული თოვლის ნაკადები შემდეგ მოძრაობენ ნაგებობის გამჭოლი სექციებისაკენ, სადაც ხდება მათი ენერგიის სრული ჩაქრობა. თოვლის ზვავის დინამიკიდან ცნობილია, რომ ზვავის მოძრაობის დროს მისი მოცულობა მოძრაობის მიმართულებით თანდათან იზრდება, ამიტომ წარმოდგენილ კონსტრუქციაში ნაგებობის რიგელის (4) გრუნტიდან დაშორებაც თოვლის ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით იზრდება, რაც ნაგებობის მიერ თოვლის ზვავის მოცულობის დიდი რაოდენობით შეკავების საშუალებას იძლევა.

ნაგებობის წარმოდგენილი კონსტრუქციული გადაწყვეტა მთის ფერდობის დაცულ ზოლებში მწვანე ნარგავების (5) გაშენების შესაძლებლობას იძლევა, რაც ამჟამად ასე აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს მაღალმთიან რეგიონებში მთის ფერდობების ეკოსისტემის აღდგენის მხრივ.

3.2. საკვლევ დერეფანში ზეავსაშიშროებიდან გამომდინარე ნაგებობათა რაოდენობისა და განლაგების სქემის შერჩევა მთის ფერდობის ტოპოგრაფიული მახასიათებლების მიხედვით

მთის ფერდობზე თოვლის ზეავის საწინააღმდეგო ნაგებობის დაპროექტების მიზნით რეკომენდებულია განხორციელდეს შემდეგი სახის საველე-სამეცნიერო სამუშაოები:

- ტერიტორიის საინჟინრო-გეოდეზიური გამოკვლევა;
- მთის ფერდობის საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევა-ძიება;
- საინჟინრო ჰიდრომეტეოროლოგიური კვლევა-ძიება;
- საინჟინრო-ეკოლოგიური კვლევა-ძიება;

მთის ლანდშაფტებში თოვლის საფარის არსებობის პერიოდში, როდესაც არ გაგვაჩნია სტატისტიკური მასალა თოვლის ზეავის წარმოშობის პერიოდის დასადგენად, ვსარგებლობთ მაჩვენებლებით, რომლებიც მოცემულია 3.1 ცხრილში. (ცხრილში წარმოდგენილია თოვლის ზეავის წარმოშობის საშიშროება N (დღეები), რომელიც განისაზღვრება თოვლის ზეავის მაქსიმალური დეკადური საშუალო წლიური საფარის სიმაღლითა $h_{ზგ}$ (მ) და თოვლის საფარის დღეების რაოდენობით $N_{ზგ}$.)

ცხრილი 3.1
თოვლის ზეავის წარმოშობის სტატისტიკური მასალა

$h_{ზგ}$ (მ)	თოვლის ზეავის წარმოშობის ხანგრძლივობის N (დღეები) მნიშვნელობები და თოვლის საფარის დღეების რაოდენობა $N_{ზგ}$							
	75	100	125	150	175	200	225	250
2,5	60	85	110	135	160	185	210	235
1,5	55	80	105	130	155	175	200	220
1,25	55	80	100	125	150	170	195	215
1,0	50	75	95	115	135	155	175	195
0,9	50	70	85	105	125	140	160	175
0,8	45	65	80	95	110	125	140	155
0,7	40	55	70	85	95	110	120	130
0,6	35	50	60	70	80	85	95	105
0,5	30	40	50	55	60	65	70	75
0,4	25	35	40	45	50	50	50	55

როდესაც მთის ლანდშაფტებში არ გვაქვს სტატისტიკური მონაცემები თოვლის ზვავის წარმოშობის განმეორადობის მაჩვენებლები მოცემულია 3.2. ცხრილში, სადაც მოყვანილია თოვლის ზვავის წარმოშობის განმეორადობის მნიშვნელობები თოვლის ზვავის დეკადურ მრავლწლიან სიღრმესა და იანვრის თვის ტემპერატურის მნიშვნელობებთან.

ცხრილი 3.2

თოვლის ზვავის წარმოშობის განმეორადობის მაჩვენებლები

თოვლის ზვავის წარმოშობის განმეორადობა საშუალოდ 10 წლის განმავლობაში	თოვლის საფარის სიმაღლის $h_{ზვ}$ (მ) მნიშვნელობები და იანვრის თვის ტემპერატურის მნიშვნელობები $^{\circ}\text{C}$		
	+4 $^{\circ}\text{C}$ დან - 4 $^{\circ}\text{C}$	4 $^{\circ}\text{C}$ - დან - 20 $^{\circ}\text{C}$	- 20 $^{\circ}\text{C}$ მეტი
ნაკლები 1-ზე	1,0 მდე	0,4 – 0,7	0,3 – 0,5
1-დან -10 მდე	1,0 – 2,0	0,7 – 1,2	0,5 – 1,0
10-ზე მეტი	2,0 -ზე მეტი	1,2 -ზე მეტი	1,0 -ზე მეტი

თუ მთის ლანდშაფტებში არ განხორციელებულა საინჟინრო-ჰიდრომეტეოროლოგიური სამეცნიერო კვლევები ზვავის წარმოშობის უბნებზე თოვლის საფარის სიმაღლის ($h_{ზვ}$) დასადგენად, მაშინ შესაბამისი უზრუნველყოფით $h_{ზვ}$ იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$h_{ზვ} = h_0 (h_1 / h_2) \quad (\text{მ}), \quad (3.1)$$

სადაც h_0 არის თოვლის საფარის მაქსიმალური სიმაღლე შესაბამისი ალბათობით საკვლევ უბანზე (მ), h_1 , h_2 - თოვლის საფარის წლიური საშუალო და მაქსიმალური სიღრმეები (მ).

პრაქტიკამ დაგვანახა, რომ ხშირია შემთხვევა, როდესაც ზამთრის პერიოდში თოვლის საფარის სიმაღლის გამო ადგილი არ აქვს თოვლის ზვავების წარმოშობას. ცხრილში 3.3 წარმოდგენილია თოვლის ზვავის წარმოშობის რიცხობრივი მაჩვენებლები შესაბამისი ალბათობით.

ცხრილი 3.3

ზამთრში თოვლის ზვავების წარმოშობის ალბათობა

თოვლის საფარის სიმაღლე h_{Σ}	0,1 დან -0,3 მდე	0,3 დან -0,5 მდე	0,5 დან -0,7 მდე	0,7 დან -1,0 მდე	1,0 დან -1,5 მდე	1,5 >
ალბათობა	0,99	0,95	0,9	0,75	0,45	0,25

თოვლის ზვავის სიმაღლე (h_0) მისი ფენებად ფორმირების შემთხვევაში იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$h_0 = h_i \cdot k_h \quad (\text{მ}) \quad (3.2)$$

სადაც h_i არის თოვლის საფარის სიმაღლის ვარიაციული მნიშვნელობა (მ); k_h - თოვლის საფარის სიმაღლის საშუალო მნიშვნელობა (მ).

მთის ფერდობზე მოწყვეტილი თოვლის ზვავის მოცულობა V იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$V = h_0 [100 \operatorname{tg} 10^\circ + 30(L - 100)] \quad (\text{მ}^3), \quad (3.3)$$

სადაც L არის მთის ფერდობზე თოვლის ზვავის სიგრძის ჰორიზონტალური პროექცია (მ), ხოლო როდესაც $L < 100$ მ-ზე, თოვლის ზვავის მოცულობა იანგარიშება ფორმულით:

$$V = h_0 L \operatorname{tg} 10^\circ \quad (\text{მ}^3), \quad (3.4)$$

თოვლის ზვავის მოცულობა, როდესაც ხდება მთის ფერდობის გარკვეულ ფართობზე თოვლის მასის მოწყვეტა, ტოლია:

$$V = h_0 k_F F \quad (\text{მ}^3), \quad (3.5)$$

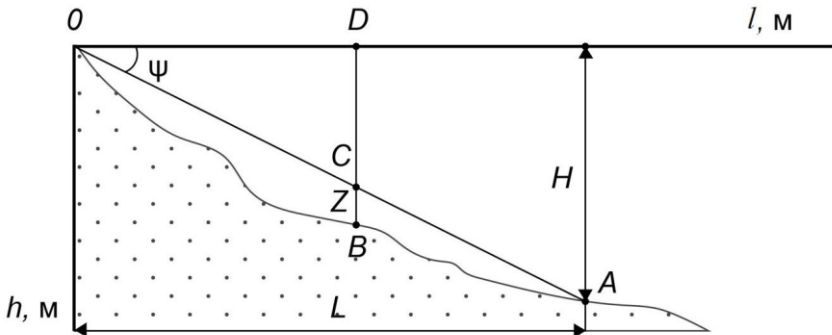
სადაც F არის თოვლის ზვავის კერის ფართობის ჰორიზონტალური პროექცია (მ^2); k_F - მთის ფერდობის ფართობზე ზვავწარმოქმნის კერის საშუალო მნიშვნელობის წილი, რომელიც მონაწილეობს თოვლის ზვავის წარმოშობაში. მისი მნიშვნელობის რიცხობრივი მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილში 3.4.

ცხრილი 3.4

k_F - კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობები

თოვლის ზვავის სიმაღლე (h_0)	k_F - მთის ფერდობის ფართობის საშუალო მნიშვნელობა									
	მშარალი თოვლის ზვავები					სველი თოვლის ზვავები				
	ზვავის კერის ფართობები (3α)									
	< 5	5-10	10-20	20-40	40 >	< 5	5-10	10-20	20-40	40 >
<0,2	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05
0,2 - 0,04	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
0,4 - 0,6	0,40	0,35	0,30	0,20	0,15	0,40	0,35	0,30	0,17	0,12
0,6 - 1,0	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,50	0,40	0,30	0,20	0,15
1,0 - 1,5	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20

ნახაზზე 3.3 წარმოდგენილია გრაფიკი - სქემა, რომლის საშუალებითაც დგინდება თოვლის ზვავის მოძრაობის მანძილი მთის ფერდობის ტოპოგრაფიული, ჰიდროლოგიური და ჰიდრავლიკური პარამეტრების მხედველობაში მიღებით.



ნახ. 3.3. თოვლის ზვავის მოძრაობის სქემა.

L - თოვლის ზვავის მოძრაობის - გზის ჰორიზონტალური პროექცია

(მ), H - თოვლის ზვავის ფერდობითი ვარდნის სიმაღლე (მ);

Ψ - თოვლის ზვავის მოწყვეტის კუთხე O წერტილიდან A

წერტილამდე, Z - მანძილი OA დახრის ხაზსა და B წერტილამდე, C და

D გაანგარიშებისათვის საჭირო დამხმარე წერტილები

B - წერტილში თოვლის ზვავის სიჩქარე V იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$V = (2gZ)^{0,5} \quad (\text{მ/წმ}) \quad (3.6)$$

სადაც,
$$Z = h_B - (H/L) l_B \quad (\text{მ}) \quad (3.7)$$

სადაც g არის თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ($g = 9,81 \text{ მ/წმ}^2$), Z - მანძილი OA დახრის ხაზსა და B წერტილამდე, l_B - მანძილი თოვლის ზვავის მოწყვეტის წერტილიდან O D წერტილის გადაკვეთამდე, h_B - ვერტიკალური მანძილი B წერტილიდან l ხაზის კოორდინატამდე.

სამეცნიერო-საველე კვლევებმა დაადასტურა, რომ როდესაც მთის ლანდშაფტებში არ ხორციელდება სამეცნიერო კვლევები, თოვლის ზვავის ფრონტის სიმაღლე იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით:

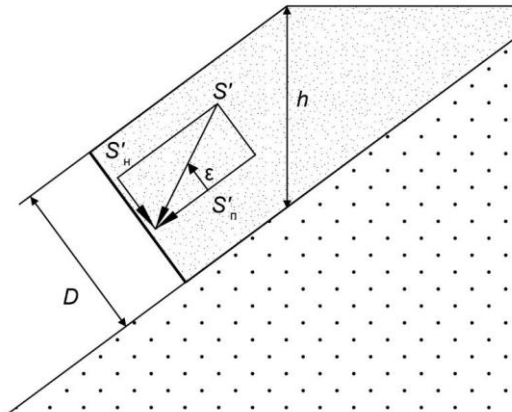
- მშრალი თოვლის ზვავის შემთხვევაში:

$$H_f = (0,081 gV - 0,10) V^{(0,74+0,121 \lg v)} \quad (3.8)$$

- სველი თოვლის ზვავის შემთხვევაში:

$$H_f = 0,25 V^{0,3} \quad (3.9)$$

თოვლის ზვავის მოძრაობის შემთხვევაში (ნახ. 3.4) შესაბამისი დაწნევა პარალელური მთის ფერდობის ზედაპირზე იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით:



ნახ. 3.4. თოვლის ზვავის მოძრაობისას მთის ფერდობზე თოვლის დაწნევის საანგარიშო სქემა

$$S_n = \rho g (h^2/2) \text{ KN} , \quad (3.10)$$

სადაც ρ მთის ფერდობზე ბუნებრივი თოვლის სიმკვრივეა (კგ/მ³), K - მთის ფერდობზე თოვლის ჩამოცურების კოეფიციენტი, რომელიც იანგარიშება ფორმულით ან აიღება 3.5 ცხრილის მიხედვით.

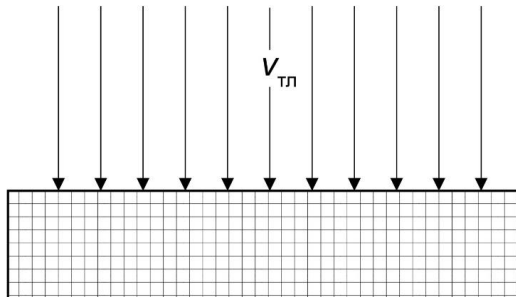
ცხრილი 3.5

მთის ფერდობზე თოვლის ჩამოცურების კოეფიციენტის (K), დთოვლის ზვავის სიმკვრისა (ρ) და მთის ფერდობის ჩამოცურების კუთხეს შორის კავშირი

თოვლის სიმკვრივე ρ (კგ/მ ³)	200	300	400	500	600
$K/\sin^2\beta$	0,7	0,76	0,83	0,92	1,05

განვიხილოთ მთის ფერდობზე მოძრავი თოვლის ზვავის ზემოქმედება სხვადასხვა სახით განლაგებულ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე.

ა) თოვლის ზვავის მართობულად განთავსებული ნაგებობა (ნახ. 3.5)



ნახ. 3.5. საანგარიშო სქემა

ამ შემთხვევაში თოვლის ზვავის დაწნევა ნაგებობაზე იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

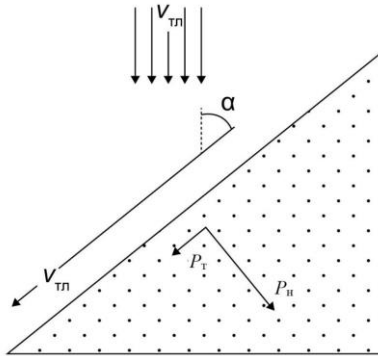
$$P_{\text{ზვ}} = \rho_{\text{ზვ}} V_{\text{ზვ}} \quad (\text{პასკალი}) \quad (3.11)$$

სადაც $\rho_{\text{ზ}}$ - მოძრავი თოვლის ზვავის სიმკვრივეა, რომელიც მშრალი თოვლის შემთხვევაში ტოლია 300 კგ/მ³, ხოლო სველის კი - 400 კგ/მ³, $V_{\text{ზ}}$ - თოვლის ზვავის სიჩქარე (მ/წმ).

თოვლის ზვავის მოძრაობის შემთხვევაში პირველადი ფრონტის დარტყმის დაწნევა ნაგებობაზე ($P_{\text{ფრ}}$) იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$P_{\text{ფრ}} = 3 P_{\text{ზვ}} \quad (\text{პასკალი}) \quad (3.12)$$

ბ) თოვლის ზვავის მიმართ დახრის კუთხით განთავსებული ნაგებობა (ნახ. 3.6)



ნახ. 3.6. საანგარიშო სქემა

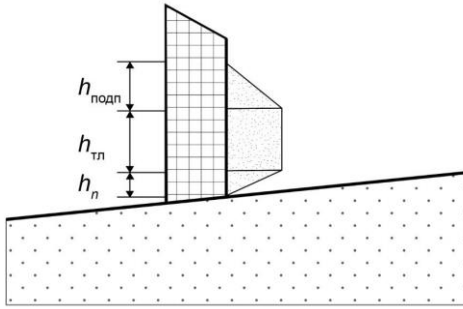
ამ შემთხვევაში ნაგებობაზე მოქმედი ნორმალური $P_{\text{წ}}$ და მხები (ტანგენციალური) $P_{\text{ფ}}$ ძაბვები იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$P_{\text{წ}} = \rho_{\text{ზ}} V_{\text{ზ}}^2 \sin^2 \alpha \quad (\text{პასკალი}) \quad (3.13)$$

$$P_{\text{ფ}} = \mu P_{\text{წ}} \quad (\text{პასკალი}) \quad (3.14)$$

სადაც α - არის კუთხე თოვლის ზვავის მიმართულებასა და ნაგებობის ელემენტს შორის, μ - ხახუნის კოეფიციენტი თოვლის მასის მოძრაობისას თოვლის შრეებს შორის და თოვლსა და გრუნტს შორის, რომელიც აიღება 0,30 -ის ტოლი, ხოლო თოვლისა და უხეში გრუნტის ან კლდის სიმქისის შემთხვევაში აიღება 0,40 -ის ტოლი.

გ) თოვლის ზვავის მასის მოძრაობა ნაგებობაზე ვერ შემოდინების შემთხვევაში (ნახ. 3.7).



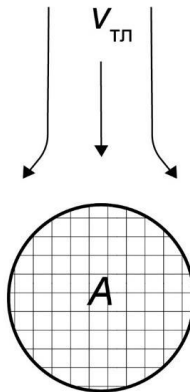
ნახ. 3.7. საანგარიშო სქემა

თოვლის ზვავის ნაგებობაზე ვერ შემოდინების შემთხვევაში თოვლის ზვავის დაწნევა ნაგებობაზე იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულიებით:

$$H_{დაწ} = V_{ზვ}^2 / 2g \lambda \quad (3.15)$$

სადაც $V_{ზვ}$ არის თოვლის ზვავის სიჩქარე (მ/წმ), λ - თოვლის ზვავის ენერგეტიკული მახასიათებელი, რომელიც: მშრალი თოვლის ზვავებისათვის ტოლია $\lambda = 1,5$, ხოლო სველისთვის - მისი მნიშვნელობა იცვლება საზღვრებში $\lambda = 2 \div 3$.

დ) თოვლის ზვავის მასის მოძრაობა ნაგებობაზე გარსშემოდინების შემთხვევაში ფართობით A (ნახ. 3.8).



ნახ. 3.8. საანგარიშო სქემა

თოვლის ზვავის დაწნევა ნაგებობაზე გარსშემოდინების შემთხვევაში ($P_{გშ}$) იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

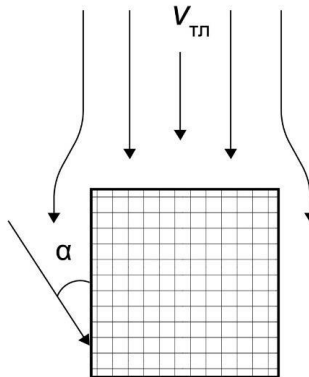
$$P_{გშ} = C_d (\rho_{ზვ} V^2_{ზვ} / 2) \quad (\text{პასკალი}) \quad (3.16)$$

სადაც C_d წინააღმდეგობის კოეფიციენტი, რომელიც აიღება ცხრილი 3.6-ის მიხედვით.

ცხრილი 3.6
თოვლის ზვავის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი C_d
ნაგებობაზე გარსემოდინების შემთხვევაში

ნაგებობის გარსემოდინების ფორმა	წინააღმდეგობის კოეფიციენტის C_d მნიშვნელობები	
	მშრალი თოვლის შემთხვევაში	სველი თოვლის შემთხვევაში
წრე	1,5	3 - 5
მართკუთხედი	2,0	4 - 6
სოლისებრი	1,5	3 - 6

ე) თოვლის ზვავის მასის მოძრაობა ნაგებობაზე მართკუთხა კვეთის გარსემოდინების შემთხვევაში (ნახ. 3.9).



ნახ. 3.9. საანგარიშო სქემა

თოვლის ზვავის დაწნევის სიმაღლე მართკუთხა ფორმის ნაგებობაზე გარსემოდინების შემთხვევაში იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$H_{დაწ} = (V^2_{ზვ} / 2 g \lambda) f \quad (\text{მ}) \quad (3.17)$$

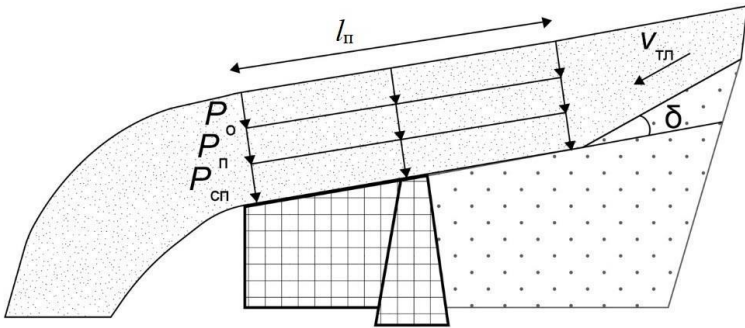
სადაც f არის კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება

ნაგებობის გარსშემოდინების სიგანით, თოვლის ზვავის ფრონტის სიმაღლით - h_B . კოეფიციენტ f -ის მნიშვნელობები აიღება 3.7 ცხრილიდან. კუთხე α -ს მნიშვნელობა აიღება 20° -ის ტოლი.

ცხრილი 3.7
 f კოეფიციენტის მნიშვნელობები ფარდობითი სიდიდის (b / h_B) მიხედვით

(b / h_B)	0,1	0,5	1,0	2,0	$\geq 3,0$
f	0,1	0,4	0,7	0,9	1,0

ვ) თოვლის ზვავის გალერეაზე დახრის კუთხით გადადინების შემთხვევაში (ნახ. 3.10).



ნახ. 3.10. საანგარიშო სქემა

გალერეის სახურავზე გადადინებული თოვლის ზვავის მიერ დატვირთვა იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$P_{დაწ} = (\rho_{ზვ} h_{ფრ} V^2_{ზვ} \sin \delta) / l_{II}, \quad (\text{პასკალი}) \quad (3.18)$$

სადაც δ არის თოვლის ზვავის გალარიაზე გადაკვეთის კუთხე (გრადუსი), l_{II} - თოვლის ზვავის გალერეაზე გადაკვეთის სიგრძე (მ).

თოვლის ზვავის მიერ გალერეის გადაკვეთისას ნაგებობის სახურავზე თოვლის ზვავის მიერ გამოწვეული დატვირთვა იანგარიშება ფორმულით:

$$P_0 = (h_{ზვ} - h_{ნაგ}) \rho_0 g \quad (მ) \quad (3.19)$$

სადაც $h_{ნაგ}$ არის ნაგებობის სიმაღლე (გალერეა), ρ_0 - თოვლის ზვავის სიმკვრივე, რომელიც ტოლია 500 კგ/მ^3 .

ამრიგად, ჩვენ მიერ განხილული და შეფასებულია თოვლის ზვავის მოძრაობის შემთხვევაში სხვადასხვა დანიშნულების ნაგებობებზე ზემოქმედებისას თოვლის ზვავის დაწნევის, დატვირთვებისა და სხვადასხვა ტიპის ნაგებობებზე გარსშემოდინებისას დატვირთვების საანგარიშო დამოკიდებულებები.

4. ზვავსაწინააღმდეგო ინოვაციური კონსტრუქციის დაპროექტების ძირითადი პარამეტრები

გასაანგარიშებლად წარმოდგენილია თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ინოვაციური კონსტრუქცია. ზვავის შემაკავებელ ნაგებობას აქვს ღუზის ფორმა, წვერით მიმართული ზვავის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ნაგებობა წარმოადგენს ფოლადის ელემენტების კონსტრუქციას.

კონსტრუქცია დაპროექტებულია იმგვარად, რომ შეასუსტოს დამრული თოვლის მასის ბიფურკაციის შედეგად მიღებული მოქმედება და სტიქიით მიყენებული ზარალის რისკი დაიყვანოს მინიმუმამდე.

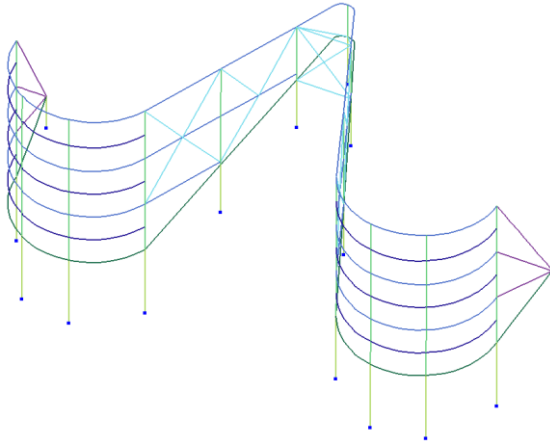
საანგარიშო სქემა შედგენილია ტექნიკური რეგლამენტების მოთხოვნათა და კვლევითი მასალის მონაცემების საფუძველზე. გაანგარიშებით უნდა განისაზღვროს თოვლის ზვავის მარეგულირებელი კონსტრუქციის მზიდი ელემენტების მზიდუნარიანობა.

მზიდ ელემენტებად მიღებულია ფოლადის ფასონური ელემენტები (ჩარჩო-კავშირებიანი სისტემა), ხოლო თოვლის შეკავება გათვალისწინებულია საყრდენი ბადეების საშუალებით, რომლებიც დამზადებულია ფოლადის

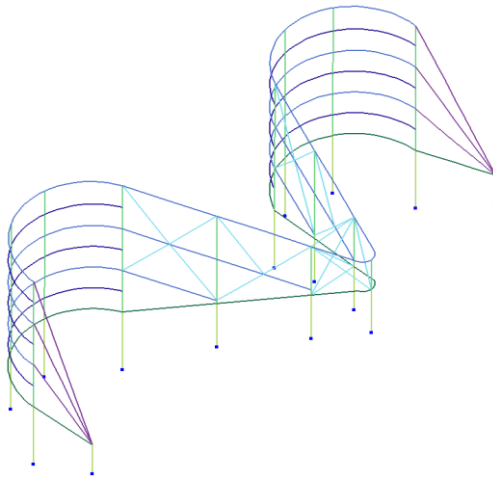
ბადეებისაგან და მაგრდება მზიდ ელემენტებზე.

მზიდი კონსტრუქციების სივრცითი კარკასი შედგენილია კომპლექსური პროგრამის *Лира-САПР 2019* საშუალებით (ლიცენზიის ნომერი #1/7165).

- **ზვავსაწინააღმდეგო ინოვაციური კონსტრუქციის საანგარიშო სქემები**

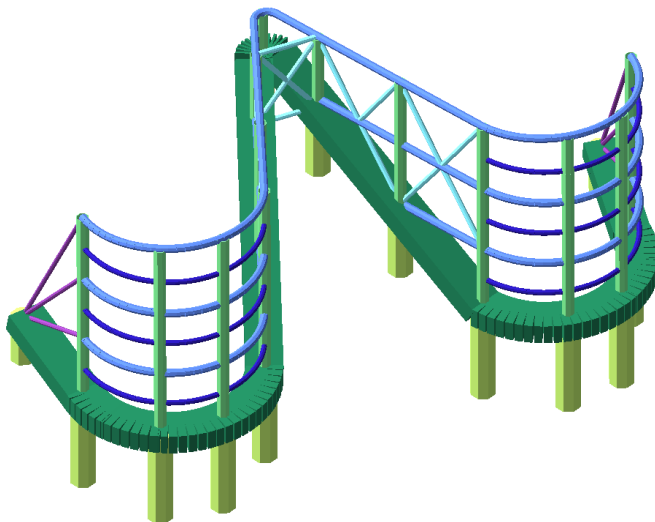


ნახ. 4.1. საანგარიშო სქემა #1

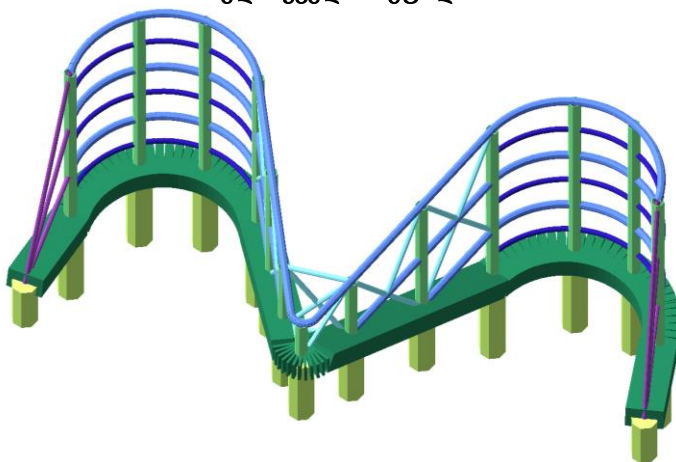


ნახ. 4.2. საანგარიშო სქემა #2

- ზვავსაწინააღმდეგო ინოვაციური კონსტრუქციის საერთო ხედები



ნახ. 4.3. ზვავსაწინააღმდეგო ინოვაციური კონსტრუქციის ხედი ქვედა ბიეფიდან



ნახ. 4.4. ზვავსაწინააღმდეგო ინოვაციური კონსტრუქციის ხედი ზედა ბიეფიდან

4.1. კონსტრუქციის გაანგარიშებისას გათვალისწინებული დატვირთვები და ზემოქმედებები

➤ მუდმივი დატვირთვა

- კონსტრუქციების საკუთარი წონა;

ფოლადისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების საკუთარი წონა გენერირდება ავტომატურად. გადატვირთვის კოეფიციენტი - ფოლადის კონსტრუქციებისათვის $\gamma = 1.05$ (კგ.ძ/მ³); რკინაბეტონის კონსტრუქციებისათვის - $\gamma = 1.10$ (კგ.ძ/მ³).

- დროებითი დატვირთვა

თოვლის ზვავის დაწნევა ნაგებობაზე გარსშემოდინების შემთხვევაში იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$P_{gშ} = C_d (\rho_{\text{ზვ}} V^2_{\text{ზვ}} / 2), \quad (\text{კგ.ძ./მ}^2) \quad (4.1)$$

$$P_{gშ} = 1,5 \cdot (450 \cdot 4,43^2 / 2) = 6623,4 \quad (\text{კგ.ძ./მ}^2) \quad (4.2)$$

სადაც $\rho_{\text{ზვ}}$ - თოვლის ზვავის ნაკადის სიმკვრივეა და $\rho_{\text{ზვ}} = 450$ (კგ/მ³), C_d - ნაგებობაზე თოვლის ზვავის გარსშემოდინების წინააღმდეგობის კოეფიციენტი, რომლის რიცხობრივი მაჩვენებლებიც მოცემულია ცხრილში 3.6.

თოვლის ზვავის ნაკადის სიჩქარე იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$V = (2gZ)^{0,5} (\partial/\partial) = (2 \times 9,81 \times 1,0)^{0,5} = 19,62^{0,5} = 4,43 \quad (\partial/\partial); \quad (4.3)$$

სადაც,

$$Z = h_B - (H/L) l_B \quad (\partial) \quad (4.4)$$

$$L = 800 \times \cos 24^\circ = 800 \times 0,91 = 728,0 \quad (\partial) \quad (4.5)$$

თოვლის მასის დაცურება შესაძლებელია მოხდეს შენელებული ტემპით და კონსტრუქციაზე ბადებთან ურთიერთქმედების შედეგად შექმნას ბუნებრივი "კედელი", რაც გამოიწვევს დატვირთვების გადანაწილებას "კედლის" ფართობის მიხედვით:

$$P = P_{gშ} \cdot b_{საშ} = 6,623 \cdot 1,9 = 11,86 \quad (\text{ტ/მ}^2) \quad (4.6)$$

- **თოვლის ზვავის დინამიკური დატვირთვა**

თოვლის ზვავის დინამიკური ზემოქმედების განსაზღვრა:

$$F = K\rho\omega V^2 \quad (\text{კგმ/მ}^2), \quad (4.7)$$

სადაც: ρ – თოვლის ზვავის ნაკადის სიმკვრივეა; $\rho = 450$ (კგმ/მ³); ω – განაწილების ფართობი (მ²); V – ზვავის ნაკადის სიჩქარე; $V = 4,43$ (მ/წმ); K – კოეფიციენტი, $K=1,5$.

ვინაიდან ნაგებობის კონსტრუქცია არის გამჭოლი, თოვლის ზვავის დინამიკური ზემოქმედებისას, თოვლის ნაკადის ნაწილი შეჩერდება ბადებთან, ხოლო ნაწილი კი შემცირებული სიჩქარით განაგრძობს მოძრაობას. აქედან გამომდინარე, თოვლის დინამიკური დატვირთვა გათვალისწინებულია სვეტების პროფილზე (სვეტების გაბარიტი $\varnothing 245$ მმ).

$$F = 1,5 \cdot 0,450 \cdot 0,245 \cdot 4,43^2 = 3,25 \quad (\text{ტ/მ}^2) \quad (4.8)$$

- **სეისმური დატვირთვა**

საქართველოს ტერიტორიის სეისმური დარაიონებისა და საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევების შედეგად მიღებული შესაბამისი დასკვნების მიხედვით დადგენილია, რომ სამშენებლო ობიექტი განლაგებულია 9-ბალიანი სეისმური საშიშროების ზონაში MSK 64 სკალის მიხედვით ($A = 0,40$); გრუნტის კატეგორია სეისმური თვისებების მიხედვით - II. (ნახ. 4.5).

თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ნაგებობის საანგარიშო სქემიდან გამომდინარე, კონსტრუქცია გაანგარიშებულია ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ სეისმურ ზემოქმედებაზე. დღეისათვის საქართველოში მოქმედი ნორმის $\mathbb{3N} 01.01-09$ თანახმად, საანგარიშო სტატიკური დატვირთვები მრავლდება შემდეგ თანწყობის კოეფიციენტებზე (პუნქტი 4,1):

მუდმივი - 0,9;

დროებითი - 0,8.



ნახ. 4.5. სეისმური საშიშროების გრაფიკი

სეისმური ზემოქმედების საწყისი მონაცემები, თანახმად პნ 01.01- 09-ისა;

გრუნტის კატეგორია II, ცხრილი 1 ;

გრუნტის აჩქარება $A = 0.40$ (გ) დანართი 1;

ცხრილი 4.1, II კატეგორია, 9 ბალი. $K_0=1,0$;

რკინაბეტონის კარკასი. $K_1 = 0,25$; პოზიცია 8. $K_2 = 1,0$; პოზიცია 1. $K_3 = 1,4$; პოზიცია 3. $K_4 = 1,0$.

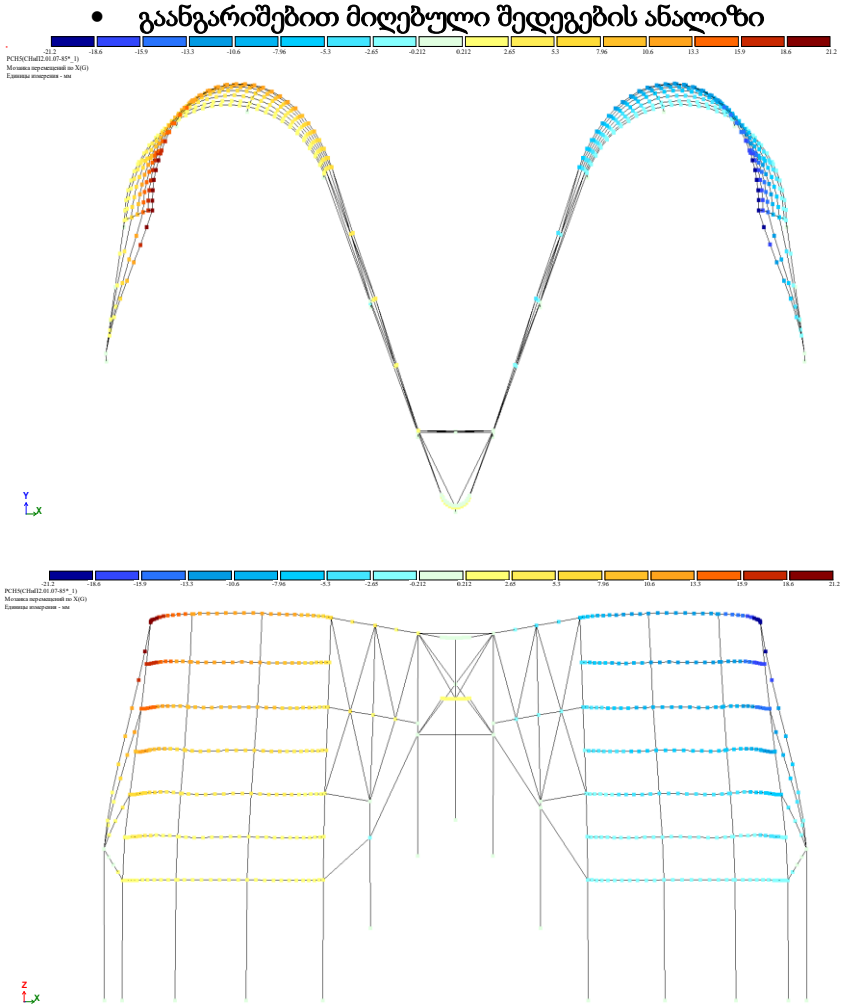
შედეგენილ იქნა სპაციალური ალგორითმი და კომპიუტერის დახმარებით გაანგარიშებულ იქნა კონსტრუქცია სასრულ-სხვაობიანი სქემის გამოყენებით. ანგარიშის შედეგები მოცემულია ცხრილში 4.1.

ცხრილი 4.1

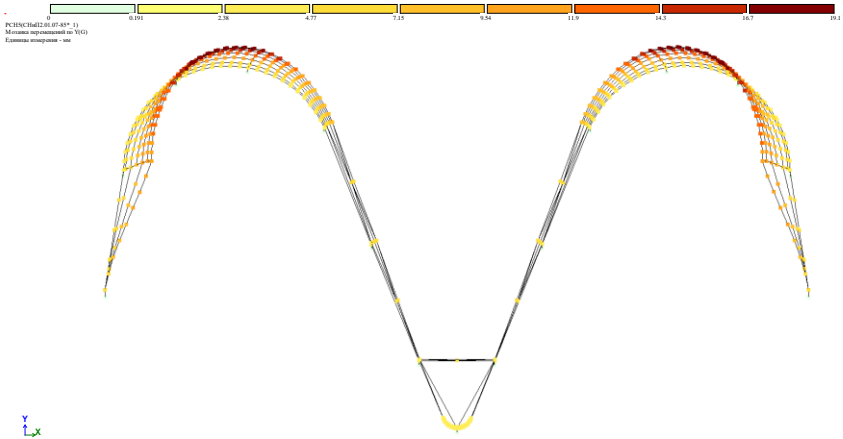
გაანგარიშება შესრულდა ძაღვების შეხამებით

დატვირთვის №	დატვირთვის დასახელება	დატვირთვის სახე	დატვირთვის ნიშნების ჩააღიარება	დატვირთვის ურთიერთ-გამორიცხვა	საიმედოობის კოეფიციენტი	დატვირთვის ხანგრძლივობის წილი
1	მუდმივი	მუდმივი (მ)	+		1,000	1,000
2	მოკლე	დროებითი(დ)	+		1,000	0,350
3	განსაკუთრებ	განსაკუთრ.(გ)	+		1,000	0,000

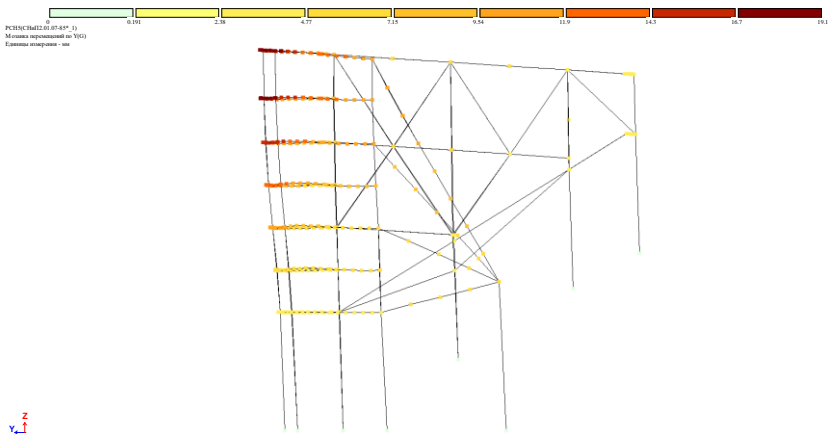
4	სეისმოლოგ. X	სეისმური (ს)	+/-	1	1,000	1,000
5	სეისმოლოგ. Y	სეისმური (ს)	+/-	1	1,000	1,000



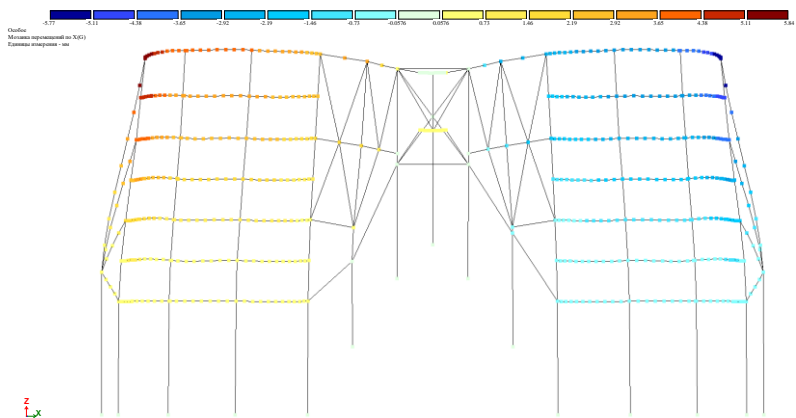
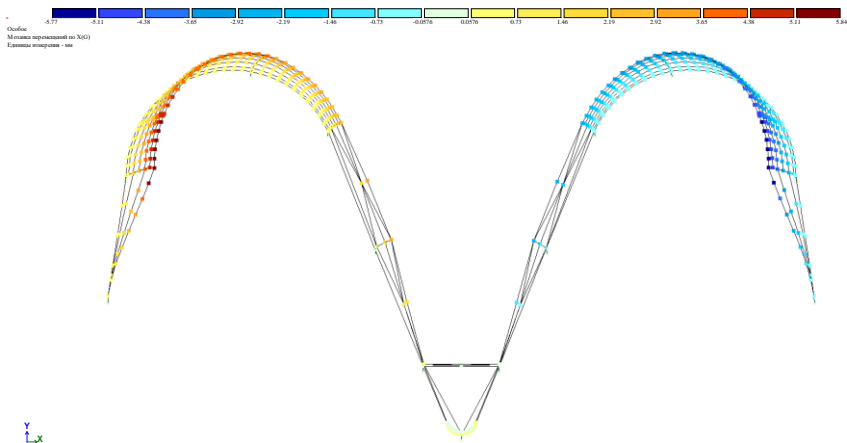
ნახ. 4.6. თოვლის ზვავის დაწნევის შემთხვევაში



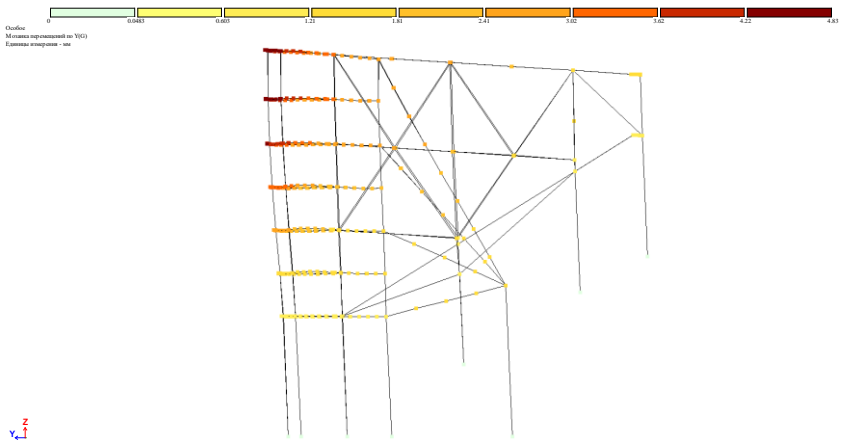
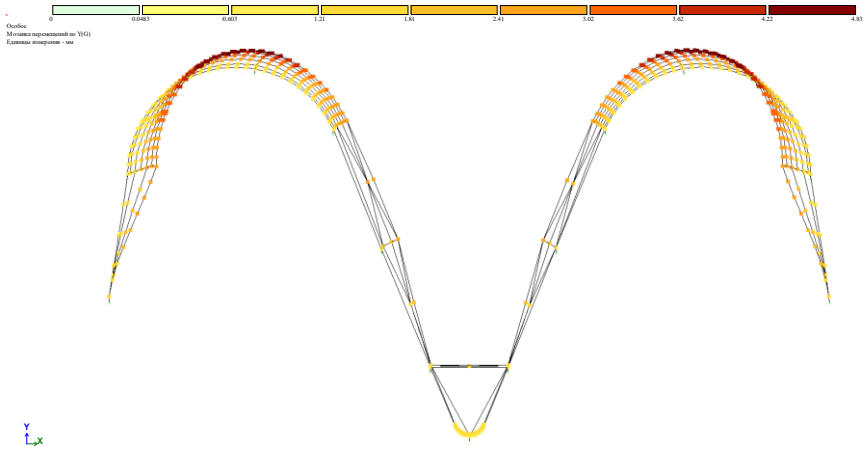
ნახ. 4.7. თოვლის ზვავის დაწნევის შემთხვევაში გადაადგილება X ღერძის მიმართულებით



ნახ. 4.8. თოვლის ზვავის დაწნევის შემთხვევაში გადაადგილება Y ღერძის მიმართულებით



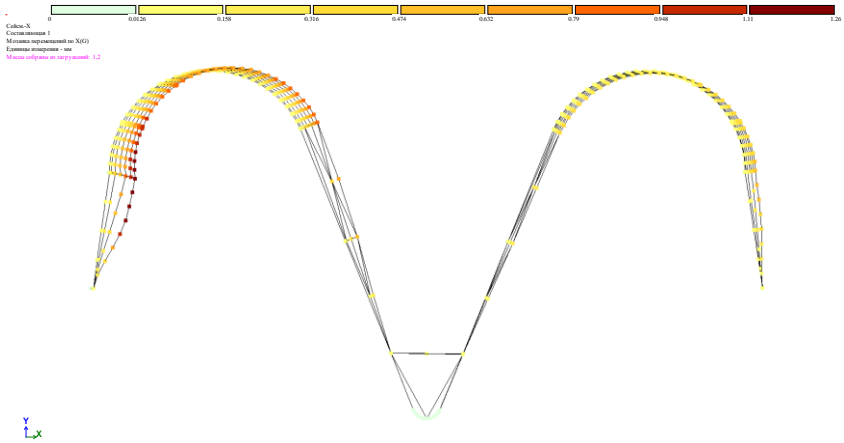
ნახ. 4.7. თოვლის ზეგვის დინამიკური ზემოქმედებით გადაადგილება X ღერძის მიმართულებით



**ნახ. 4. 8. თოვლის ზვავის დინამიკური ზემოქმედებით
 გადაადგილება Y ღერძის მიმართულებით**

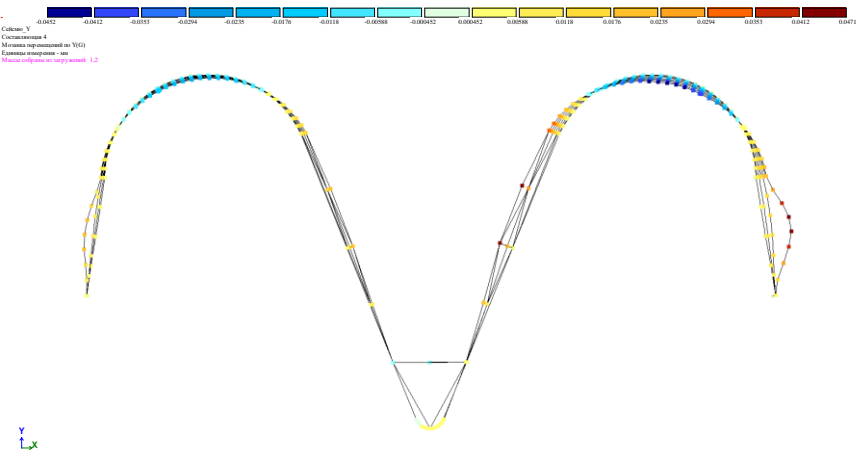
➤ სეისმური ზემოქმედების შედეგები

- I - ფორმა



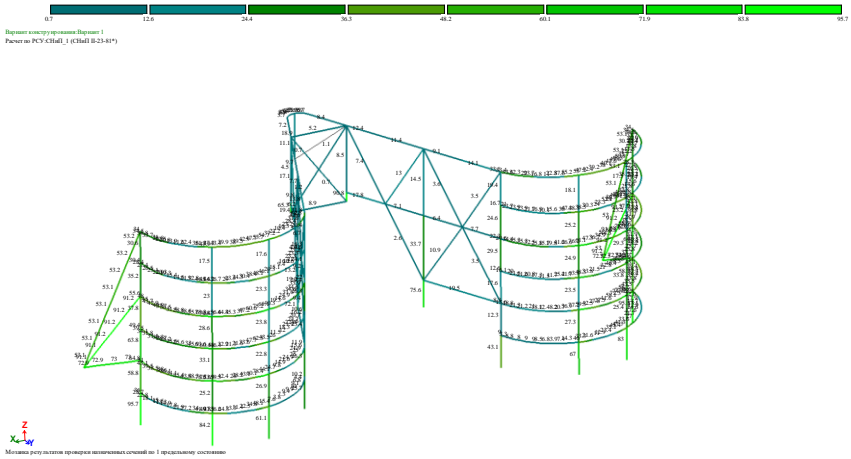
ნახ. 4.9. გადაადგილება X ღერძის მიმართულებით

- IV - ფორმა



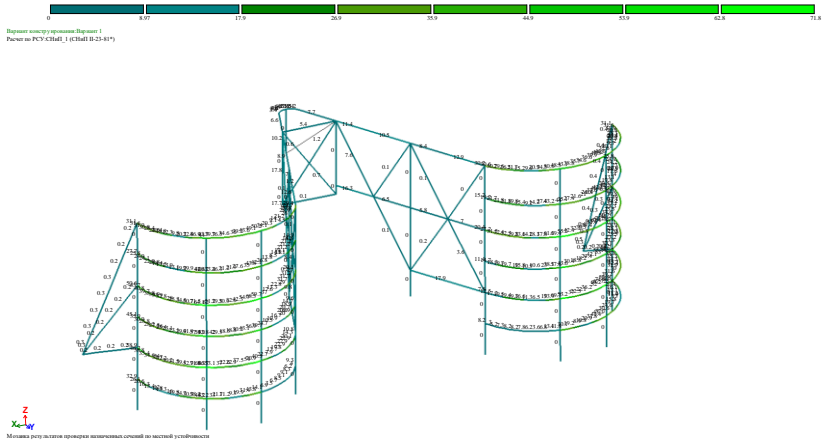
ნახ. 4.10. გადაადგილება Y ღერძის მიმართულებით

➤ გაანგარიშების შედეგები



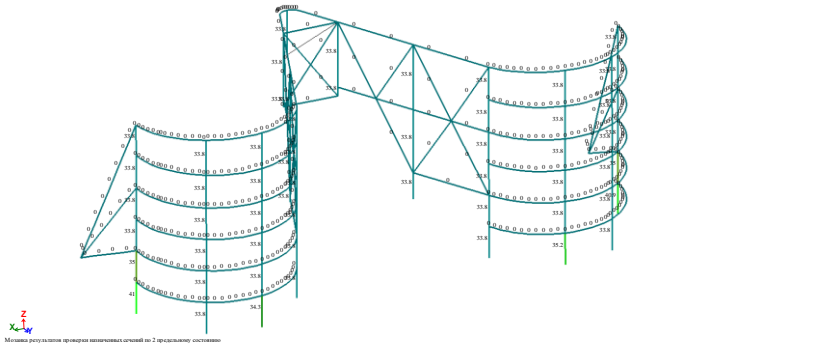
მაქსიმალური გამოყენების კოეფიციენტი 95,7 %.

ნახ. 4.11. ლითონის კვეტების შემოწმება I ზღვრული მდგომარეობით



მაქსიმალური გამოყენების კოეფიციენტი 71,8 %.

ნახ. 4.12. ლითონის კვეტების შემოწმება ადგილობრივ მდგრადობაზე

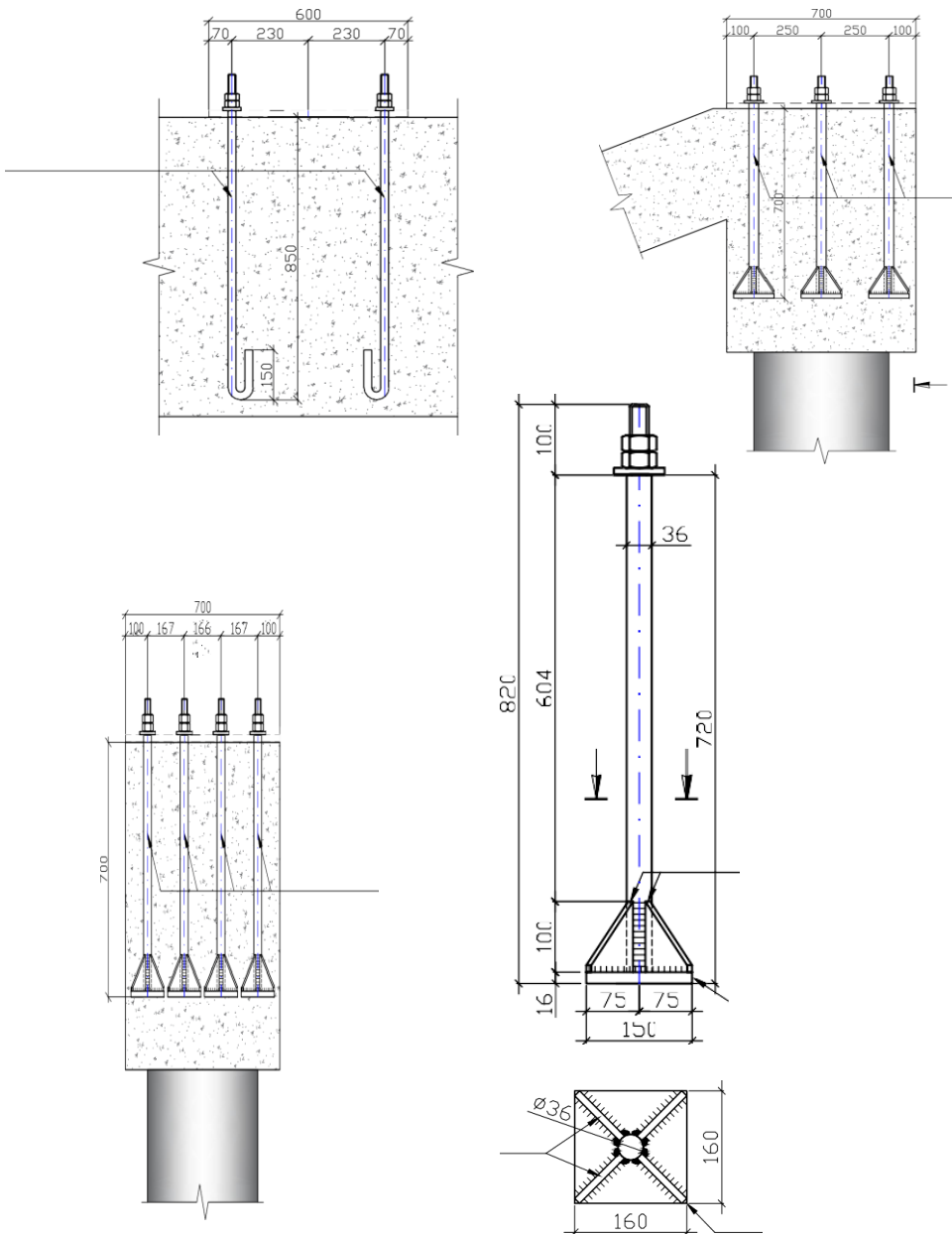


მაქსიმალური გამოყენების კოეფიციენტი 41,0 %.

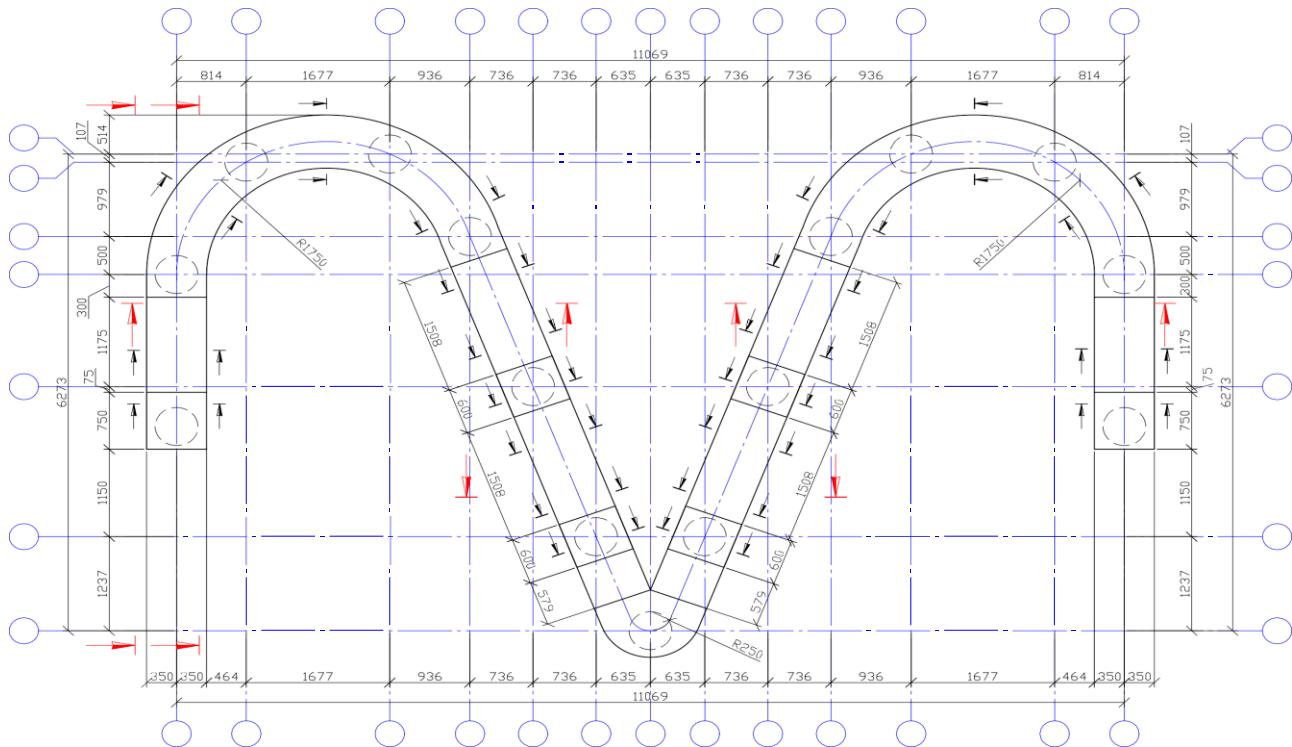
ნახ. 4.13. ლითონის კვეთების შემოწმება II ზღვრული მდგომარეობით

კომპიუტერში ალგორითმის საშუალებით საწყისი მონაცემების შეყვანის შემდეგ თოვლის ზვავის საწინააღმდეგო ინოვაციური კონსტრუქციის საპროექტო ზომები მოცემულია ნახ. 4.14 – 4.17-ზე.

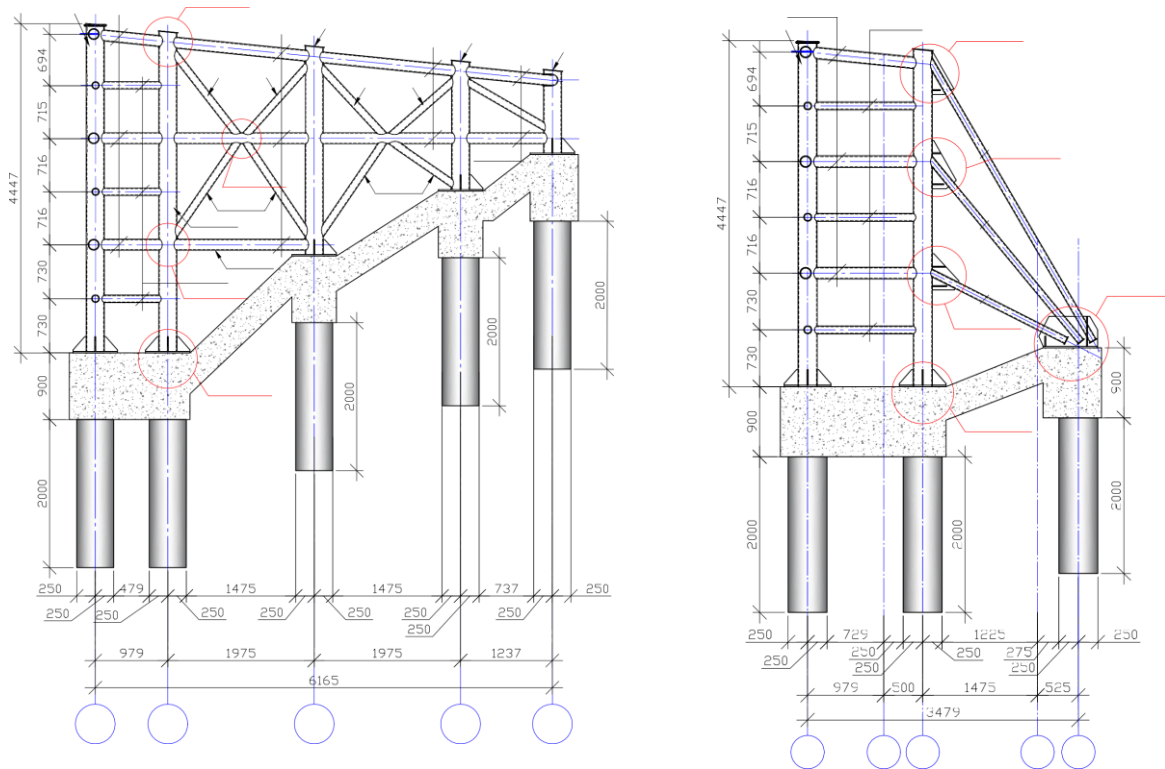
წარმოდგენილი რეკომენდაციების გათვალისწინებით გაანგარიშებული, დაპროექტებული და აშენებული იქნა თოვლის ზვავის ინოვაციური კონსტრუქცია საქართველოს სამხედრო გზის კობი-გუდაურის ალპურ უბანზე ზღვის დონიდან 2338 მ-ზე, რომლის საერთო ხედი მოცემულია 4.1 ფოტოზე.



ნახ. 4.14. თოვლის ზვავის ინოვაციური კონსტრუქციის
საძირკვლის კრილგები



ნახ. 4.16. კონსტრუქციის როსტვერვის გეგმა



ნახ. 4.17. თოვლის ზვავის ინოვაციური კონსტრუქციის კვანძები



**ფოტო. 4.1. თოვლის ზვავის ინოვაციური კონსტრუქციის საერთო ხედი
საქართველოს სამხედრო გზის კობი-გულდაურის ალპურ ზონაში (ზღვის დონიდან 2238 მ)**

5. ციტირებული ლიტერატურა

1. **Абдушелишвили К.Л., Калдани Л.А., Салуквадзе М.Е.** – Катастрофические лавины на территории Грузии. Тр. ЗакНИИГМИ, вып. 68(74), Л.: 1979.
2. **Абдушелишвили К.Л., Калдани Л.А., Салуквадзе М.Е., Цомаия В.Ш.** – Снеголавыный режим Кавказских перевальных дорог и картирование лавинной опасности. Труды 3-го Всесоюзного совещания по лавинам. Тбилиси, 1998.
3. **Gavardashvili G.V., Kukhalashvili E.G., Iremashvili I.R.** - Study of the Mathematical Model of Snow Avalanche Kobi-Gudauri Section of the Georgian Military Road on Sensitive Areas. XVI International Scientific and Practical Conference „Science and Society, Patterns and Trends of Development“, Vienna, Austria, March 30–April 02, 2021, pp. 221-226. <https://isg-konf.com/science-and-society-patterns-and-trends-of-development/>.
4. **Gavardashvili G, Kukhalashvili E., Iremashvili I., Gavardashvili N.** - The outcomes of field survey of sensitive areas at Kobi - Gudauri section of the Georgian military road for the purpose of arranging an innovative snow avalanche construction. // „Annals of Agrarian Science“ Volume 19, Number 2, Tbilisi, June, 2021, pp. 181 – 189.
5. **გავარდაშვილი გ., კუხალაშვილი ე., ირემაშვილი ი., გავარდაშვილი ნ.** - თოვლის ზვავის ინოვაციური კონსტრუქციის დაპროექტებისათვის მეთოდოლოგიის დამუშავება. მე-10 საერთაშორისო კონფერენცია - „წყალთა მეურნეობის, გარემოს დაცვის, არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“ მიძღვნილი აკადემიკოს ცოტნე მირცხულავას დაბადებიდან 100 წლის იუბილისადმი თბილისი, 2021, 25-27 ივლისი, გვ. 36-45.
6. **Gavardashvili G, Kipiani G., Tskhvedadze R.** - Calculation of New Anti-Snow Avalanche Construction. Proceedings of the 4th International Conference on Contemporary Problems in Architecture and Construction. September 24-27, Czestochowa, POLAND, 2012, pp. 41- 47
7. **Gavardashvili G, Tsulukidze L.** - Analysis of the Onset of Avalanche Motion Using the Theory of Catastrophes. Bull. of The

- Georgian National Academy of Sciences. Tbilisi, T. 173, #2, 2006, pp. 396 – 399
8. გავარდაშვილი გ., გავარდაშვილი ნ., კასაბური ი.- სტიქია საქართველოს სამხედრო გზის მლეთა-გუდაურის სერპანტინიან უბანზე და მისი შეფასება. //მეცნიერება და ტექნოლოგიები, # 7 - 9 , თბილისი, 2006, გვ. 20 – 22
 9. **Gavardashvili G., Kasaburi I.** - Mathematical Model of Landslide Flow Motion. Bull. of the Georgian Academy of Sciences. Tbilisi, T.161, №1, 2000, 88-89 p.
 10. გავარდაშვილი გ. ვ., პასიკაშვილი მ. გ., ცხოვრებაძე ა. გ. ზეკვსაწინააღმდეგო ნაგებობა საქართველოს პატენტი # 278, ბიულ. # 2(7), თბილისი, 1996, გვ. 30.
 11. **სალუქვაძე მ.ე.** საქართველოს თოვლის ზვავების კადასტრი. თბილისი, 2018, 154 გვ.
 12. **ქალდანი ლ., სალუქვაძე მ.** თოვლის ზვავები საქართველოში (მონოგრაფია), თბილისი, 2015.
 13. Defense structures in avalanche starting zones (technical guideline as an aid to enforcement). WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF (Davos). Bern, 2007. 134 p.
 14. Инженерные изыскания для строительства в лавиноопасных районах. Общие требования. Москва, 2018, 63 с.
 15. <https://www.debian.org/users/org/slf.ru.html>
 16. <https://www.debian.org/doc/manuals/debian-handbook/index.ru.html>
 17. Статковский Б.И. Проект дороги через хребет Кавказских гор между урочищем Квишеты и станцією Коби. – Журнал Главного управления путей сообщения и публичных зданий. Т. 29. Санкт Петербург, Тип. Гл. упр. Путей сообщ., 1859, с. 249-282.
 18. **Черноморец С.С., Гавардашвили Г.В., Савернюк Е.А. и др.** - Ледово-каменный обвал и последующий селевой поток в Девдоракском ущелье (Кавказ, Грузия) в 2014. IV международная конференция – “Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. г. Иркутск, Россия, 2016, 5 с.
 19. <https://elib.rgo.ru/safe-view/123456789/222568/1/UnVQUkxJQjEyMDM5NzU3LIBERg#330>
 20. <https://elib.rgo.ru/handle/123456789/222568>



Shota Rustaveli
National Science
Foundation of
Georgia



World Bank



ECOCENETR FOR
ENVIRONMENTAL
PROTECTION

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

INNOVATIVE CONSTRUCTION AGAINST SNOW AVALANCHE

(Structure design methodology, construction norms and rules)

The research was supported by the Shota Rustaveli National Science
Foundation of Georgia, grant project: CARYS - 19 – 305
"Innovative Complex Measure Against Snow Avalanche"
Funded by the World Bank

Scientific Supervisor and Principal Executor of the Grant Project,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Givi Gavardashvili

Leading organization of the grant project:
Ecocenter for Environmental Protection
<http://eco1985.ge>

Tbilisi, GEORGIA
2021