

პროექტი: <div style="text-align: center; font-size: 1.2em; font-weight: bold;">ნამახვანის ჰესის კასკადის პროექტი</div>					
მფლობელი: <div style="text-align: center;">  </div>					
გენერალური კონტრაქტორი: <div style="text-align: center; font-weight: bold;">             სს ენმარ კონსტრაქშენის              საქართველოს ფილიალი           </div>					
კონსტრუქტორი/ქვემენარდე: <div style="text-align: center;">  </div>					
კონტრაქტის ნომერი: <div style="text-align: center; font-size: 1.1em; font-weight: bold;">GE308</div>					
დოკუმენტის დასახელება: <div style="text-align: center; font-weight: bold;">             საინჟინრო-გეოლოგიური ანგარიში              გზის გადატანის სამუშაოები              უბანი - 5              მონაკვეთი: კმ 34+807 – კმ 40+530           </div>					
დოკუმენტის ნომერი:		<div style="text-align: center; font-size: 1.1em; font-weight: bold;">GE308-203-DW-REP-GEO-00012</div>			რედ. No. <div style="text-align: center; font-weight: bold;">00</div>
<p>წინამდებარე დოკუმენტი შეიცავს კონფიდენციალურ ინფორმაციას და/ან ეკუთვნის ENKA-ს და მასთან აფილირებულ კომპანიებს. დოკუმენტის ნებისმიერი სახით გამოყენება, გასაჯაროება, ან გამრავლება ENKA-ს გარდა სხვა მხარის მიერ, ENKA-ს წინასწარი წერილობითი თანხმობის გარეშე, აკრძალულია. ყველა უფლება დაცულია.</p> <p style="text-align: center;">© 2019 ENKA İnşaat ve Sanayi A.Ş.</p> <p>დოკუმენტი დაბეჭდვის შემდეგ შემოწმებას არ ექვემდებარება. გთხოვთ, გამოყენებამდე, ბოლო ვერსია იხილოთ ელექტრონული დოკუმენტების მართვის სისტემაში.</p>					
რედ. N	რედაქტირების თარიღი	რედაქცია	მომზადებულია	შემოწმებულია	დამტკიცებულია
00	05/08/2019	გაცემულია ინფორმაციისთვის	Mustafa Akıncı	Bülent Uygur	Nejat Demirörs

## სარჩევი

1. მეთოდოლოგია: კონცეპტუალური მენტალური მოდელები.....	5
1.1 გეოლოგია და კონცეპტუალური მენტალური მოდელების არსი .....	5
1.2 ევოლუციის გეოდინამიკური მოდელი.....	6
1.2.1 კუნძულთარკალური ვულკანიზმი.....	7
1.2.2 პროექტის ტერიტორიის სტრუქტურული ევოლუცია .....	9
2. ზოგადი გეოლოგია.....	10
2.1 შუა იურული პორფირიტული სერიები.....	10
3. საინჟინრო გეოლოგია .....	12
3.1 ქანის მასივის მახასიათებლები.....	12
3.1.1 ჭანების მასალათა თვისებები .....	12
3.1.2 ჭანის მასური თვისებები .....	13
3.2 გრუნტის წყლების პირობები .....	14
3.2.1 ლიდროგეოლოგიური ტერმინები.....	14
3.3 საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევები.....	15
3.3.1. ზედაპირული კვლევები .....	15
3.3.2. ზედაპირქვეშა ზონის კვლევები.....	15
3.4 ქანების მასივების ემპირიული კლასიფიკაციის სისტემები .....	15
3.4.1 ზოგადი მოსაზრებები.....	15
3.4.2 ზორელაცია GSI, RMR და Q მნიშვნელობათა შორის.....	19
3.5 ქანების ექსკავაციის შედეგად წარმოქმნილი ფერდობების ემპირიული პროექტირება .....	19
3.5.1 RMR კლასიფიკაციის სისტემა.....	20
3.5.2 ფერდობის ემპირიული პროექტირება Q-დახრილობის გამოყენებით .....	22
3.6 ადგილზე არსებულ ქანთა მასივების საინჟინრო მახასიათებლები .....	23
4. ცხრილის კლდოვანი ფერდობის პროექტირება .....	25
4.1 ემპირიულად დაპროექტებული კლდოვანი ფერდობები .....	25
4.2 გაჭრილი კლდის ფერდობის ანალიზი .....	30
4.3 ფერდობის დაცვის პროექტირება.....	36
4.4 კონტურული აფეთქების მეთოდი .....	36
5. ჩაყარის ფუნდამენტის პირობები .....	37
6. დასკვნები და რეკომენდაციები .....	38
6.1 დასკვნები.....	38
6.2 რეკომენდაციები .....	39
7. გამოყენებული მასალა.....	40
8. ზანართები.....	42

## სურათების ჩამონათვალი

სურათი 1: კუნძულთა რკალის ფორმაციაში მონაწილე ტექტონიკური ფილის სქემატური კვეთა; რკალსუკანა აუზი და გაფართოების ცენტრი, სადაც დიდი კავკასიონის ვულკანურ-სედიმენტური ქანების თავდაპირველი დალექვა მოხდა. ....	8
სურათი 2: რეგიონალური ტექტონიკის გამარტივებული სქემა, რომელშიც ნაჩვენებია დიდი კავკასიონისა და რიონის აუზის ფორმირებაში მონაწილე ძირითადი სტრუქტურები; მცირე კავკასიონი მდებარეობს რიონის აუზის სამხრეთ-სამხრეთ-დასავლეთით; ამონარიდი საცნობარო დოკუმენტიდან [5]. ....	9
სურათი 3: პროექტის ტერიტორიის შუა იურული პერიოდის ქანების სტრატиграფიული ჭრილები.....	11
სურათი 4: განზოგადებულია RMR კლასიფიკაციის პარამეტრებიდან. შენიშვნა: RMR89 შესწორებული ვერსია მიღებულია გრუნტის წყლების რეიტინგით 15 (მშრალი), და ნაპრალის ორიენტაციის კორექტირებით 0 (ძალიან ხელსაყრელი) .....	17
სურათი 5: ქანებისა და ნაპრალოვანი ქანის მასივების სიმტკიცის განმსაზღვრელი მიახლოებითი განტოლებები კლდოვანი ფერდობის დაპროექტებაში (ჰოუკი და ბრაუნი, 1980).....	20
სურათი 6: კლდის ფერდობის ქანის ხარისხისა და ქანის ტიპის ურთიერთკავშირი.....	21
სურათი 7: ემპირიული ფერდობის დიაგრამა Q-ფერდობის გამოყენებით.....	22
სურათი 8: ფორმაციების განზოგადებული მთის მასივის ხარისხი, რაც GSI გრაფიკზე ნაჩვენებია გადატანილი გზის ამოთხრილ მთის ფერდობს შეადგენს.....	27
სურათი 9: ქუთაისი-ალპანას გზის ამჟამინდელი მდგომარეობა კმ 37+180 - კმ 37+380 მონაკვეთზე: აღსანიშნავია სინკლინის სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილზე, დინების საწინააღმდეგოდ გადახრილი შრეებრიობის ზედაპირების ორიენტაცია, რაც ძალზე ხელსაყრელ პირობებს ქმნის სტაბილურობისთვის. ....	28
სურათი 10: გასაჭრელი კლდის ფერდობისა და ყრილების კრიტიკული ინტერვალები.....	29
სურათი 11: კმ 36+360 მარცხენა ფერდობის სიბრტყითი რღვევის ანალიზი .....	32
სურათი 12: კმ 37+020 მარცხენა ფერდობის სიბრტყითი რღვევის ანალიზი .....	33
სურათი 13: კმ 36+360 მარცხენა ფერდობის ჩამოშლითი რღვევის ანალიზი.....	34
სურათი 14: კმ 37+020 მარცხენა ფერდობის ჩამოშლითი რღვევის ანალიზი .....	35

## შესავალი:

ქვემო ნამახვანის ჰესის პროექტის რეზერვუარის ტერიტორიის საზღვრებში მოქცეული „გზის გადატანის სამუშაოებთან“ დაკავშირებით განსახორციელებელი საექსკავაციო სამუშაოების საინჟინრო პროექტი, რომელიც ნამახვანის ჰიდროელექტროსადგურის („ჰესი“) კასკადის პროექტის (ზედა ნამახვანი 100 მგვტ. და ქვემო ნამახვანი 333 მგვტ. ქუთაისი, საქართველო) წინასწარი საპროექტო გათვლების (1-ელი დონე) ფარგლებში იყო შემუშავებული, დამკვეთისთვის დასამტკიცებლად იქნა წარდგენილი. პროექტის გაცნობის შემდეგ, დამკვეთმა კონტრაქტორ ინჟინერს გზის ხუთი სპეციფიკური მონაკვეთის „ნამახვანი-ალპანას გზის გადატანის სამუშაოების საინჟინრო გეოლოგიური ანგარიშის“ წარდგენა მოსთხოვა, მის მიერ შემდგომი გაცნობისა და დამტკიცებისთვის. ქვემო ნამახვანის ჰესების პროექტის რეზერვუარის წყლის მაქსიმალურ დონეზე (ზღვის დონიდან 311.50მ) მაღლა გასაყვანი გზის მეორე უბნის კილომეტრაჟი შეადგენს კმ 34+807 - კმ 40+530.

ღმ გეოლოგიურ ანგარიშში, გათხრების შედეგად წარმოქმნილი ფერდობების და ნაყარის ფუნდამენტების გეოტექნიკური მონაცემების კვლევაში ძირითადად ყურადღება გზის გადატანის პროექტის შემდეგ გეოტექნიკურ ასპექტებზეა გამახვილებული:

- საცნობარო დოკუმენტების [1&2] საფუძველზე და გზის გადატანის პროექტის ადრეულ ეტაპზე შემუშავებული რეგიონალური „კონცეპტუალური გეოტექტონიკური მოდელის“ გათვალისწინებით, გზების განლაგების ძირითადი გეოლოგიური პირობების აღწერა.
- რუსული 1957 წლის გამოცემის [1] და საქართველოს გეოლოგიის ინსტიტუტის, 2008 წლის გამოცემის [2] რიონის კასკადის გეოლოგიური რუკები ღირებულ ინფორმაციას გვაწვდის საპროექტო ტერიტორიის ქანების ტიპებსა და გეოლოგიურ სტრუქტურაზე.
- ნაყარის ფუნდამენტის შესასწავლად თავდაპირველად ორი ჭაბურღილი, DSK-6 and DSK-7 დაპროექტდა და გაიბურღა.
- „გეოტექნიკური მონაცემების საუკეთესო ნიმუშებზე დაკვირვება შესაძლებელია არსებული ქუთაისი-ალპანას გზებთან გამდინარე და შემდეგ რიონის ხეობაში ჩამდინარე შენაკადებში. ღდნიშნულ შენაკადებზე დაკვირვების შედეგად და ხელთ არსებული გეოლოგიური რუკებისა და გეოტექტონიკური მოდელის დახმარებით, დადგინდა ადგილობრივი ქანების მასივისა და ტუფოგენური ქვიშაქვისა და

ანდეზიტ-პორფირიტის მასალების თვისებები, და ასევე გადამფარავი კოლუვიური ნალექების მიახლოებითი სისქე.

- ხემათ აღნიშნული დოკუმენტების სტრუქტურულ-გეოლოგიურ მონაცემებზე დაყრდნობით, რიონის ხეობის გასწვრივ გამოსავალი საგულდაგულოდ იქნა შესწავლილი ნამახვანის ანტიკლინის და შემდგომ ჩრდილო-აღმოსავლეთის მიმართულებით სინკლინის შრეებრიობის ზედაპირების ორიენტაციების დასასგენად.
- საბოლოოდ, საერთაშორისოდ აღიარებული „ქანების მასივების ემპირიული კლასიფიკაციის“ საფუძველზე, შემუშავდა ექსკავაციის შედეგად ფორმირებული ფერდობების „ემპირიული პროექტი“.

## 1. მეთოდოლოგია: კონცეპტუალური მენტალური მოდელები

### 1.1 გეოლოგია და კონცეპტუალური მენტალური მოდელირების არსი

„ზროსა და სივრცის“ კონცეფცია „გეოლოგიის“ სხვა მეცნიერებებისგან განმასხვავებელი მთავარი ასპექტია. ამგვარად, დედამიწის ევოლუციის გეოდინამიკური პროცესების „გასააზრებლად“, საჭიროა, შეფასდეს, რამდენად დიდია მილიონობით წელწადში გამოხატული „გეოლოგიური დრო“ „ანთროპოლოგიურ (ადამიანურ) დროსთან“ მიმართებით. ზუსტად ასე, „სივრცე“, რომლის ზომა მიკროსკოპულით იწყება და კოსმიურ მასშტაბებს აღწევს, მნიშვნელოვან როლს ასრულებს „კონტინენტალური და ოკეანის“ ფილების გადაადგილებისა და პროექტის ტერიტორიის ამ აქტიურ ფილებთან მიმართებით რეგიონალური თუ ლოკალური მდებარეობის ვიზუალიზაციაში. ყოველივე ეს გულისხმობს, რომ სწორი გადაწყვეტილებების მიღება, ნებისმიერ შემთხვევაში, დამოკიდებული იქნება იმაზე, თუ რამდენად ზუსტად იქნება განსაზღვრული საპროექტო ტერიტორიის გეოლოგიური პირობები, მათ შორის (i) გეოტექტონიკური კავშირი; (ii) საინჟინრო გეოლოგია და (iii) ჰიდროგეოლოგიური პირობები. ამ კომპლექსურ, შრომატევად ნაშრომში ჩვენ შევეცდებით, ქვემოთ ჩამოყალიბებული უკუკავშირების ჯაჭვების დახმარებით, დასახული მიზანს კონკრეტული საფუძველი შევუქმნათ.

#### **ა: თეორიული ასპექტები**

ეს ასპექტები ტექტონიკური ფილების თეორიის, საინჟინრო გეოლოგიისა და ჰიდროგეოლოგიის საბაზისო ცნებებს ეფუძნება.

#### **ბ: ემპირიული ასპექტები**

გამოცდილება დიდწილად დაკავშირებულია ვიზუალურ გამოსახვასთან, ემპირიულ გამოცდილებასა და სამეცნიერო და ტექნიკურ ინტუიციასთან.

### **გ: მექანიკური ასპექტები**

კლდოვან გრუნტზე მუშაობის "მექანიკური ასპექტები", როგორც წესი, გულისხმობს მიწისქვეშა კვლევებს, რომლებიც სვეტური ბურღვის გამოყენებით წარმოებს. ამ კონტექსტში, ჩვენმა პირადმა გამოცდილებამ დაგვანახა, რომ როგორც ეროვნულ, ისე საერთაშორისო დონეზე ინჟინერ-გეოლოგებისა და ინჟინერ-მშენებლების უმრავლესობა სვეტური ბურღვის საფუძველზე აგებს სამუშაო მოდელს. თუმცა, ჩვენი მიდგომა, "მოდელირების" განმარტების გათვალისწინებით, გავრცელებული ტენდენციებისგან განსხვავებით, მდგომარეობს იმაში, რომ ზედაპირქვეშა შრიდან მოპოვებული ქანის ნიმუშების მონაცემები გამოვიყენოთ ჩვენი კონცეპტუალური გეოტექტონიკური, საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური მოდელების შესამოწმებლად.

ჩვენ, უდავოდ, მხარს ვუჭერთ სვეტურ ბურღვას, თუ გრუნტი და ტოპოგრაფიული პირობები ხელს უწყობს ამგვარი კვლევების წარმოებას. თუმცა, ეს სულაც არ ნიშნავს იმას, რომ ჭაბურღილის მონაცემების არარსებობა, რაც მაღალი დატვირთვისა და რთული მისადგომობის პირობებით შეიძლება იყოს განპირობებული, უარყოფითად აისახება პროექტზე. ჩვენ მივიჩნევთ, რომ ქანის სვეტები გეოტექტონიკური, საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური მონაცემების "შეკვეცილი პროდუქტია", ამიტომაც ჩვენ, ინჟინრებმა, პირველ ყოვლისა, უნდა ვიცოდეთ, თუ რას ვკვევავთ.

### **1.2 ევოლუციის გეოდინამიკური მოდელი**

ტექტონიკური ფილების თეორიის თანახმად, დედამიწა დინამიკური პლანეტაა, რომელიც უწყვეტი მოძრაობის პროცესში იმყოფება, დივერგენტული (კონსტრუქციული), კონვერგენტული (დესტრუქციული) და ტრანსფორმული (ნეიტრალური) ფილების კონტექსტში. დედამიწის ქერქის ეს განმეორებადი ტექტონიკური პროცესები ძალიან კომპლექსურია და უშუალო ექსპერიმენტებს არ ექვემდებარება. აქედან გამომდინარე, თუ დედამიწის კომპლექსურობის გაგება გვსურს, ის უნდა განვიხილოთ, როგორც „სისტემა“. სისტემა მოცემულ შემთხვევაში არის „ურთიერთდაკავშირებულ ნაწილთა კომბინაცია, რომლებიც ორგანიზებულად ურთიერთქმედებენ“. თუმცა, სისტემის ქცევის შესასწავლად დაგჭირდება „ინტერფეისი“, რომ მისი კონკრეტულ საფუძველზე დამყარება შევძლოთ. ეს ინტერფეისი წარმოადგენს სისტემაში მიმდინარე პროცესების „გეოდინამიკურ მოდელს“, რომლის საშუალებითაც, ირიბი მტკიცებულებების გამოყენებით, „მოვლენების“ აღწერასა



და განსაზღვრას ვახდენთ. ზმ მიზნის მიღწევის ერთ-ერთი საშუალებაა "ტექტონიკური ფილების თეორიის" გამოყენება, რომელიც სისტემის შესაბამისი ნაწილების ინტეგრაციის საშუალებას გვაძლევს. ძავად ტექტონიკური ფილების თეორია „მაღალი დონის აბსტრაქტული აზროვნების“ გზით ჩამოყალიბდა. ზმ თეორიის გამოყენება აუცილებლად მოითხოვს "ვიზუალურ გამოსახვას, ემპირიულ გამოცდილებას და მეცნიერულ ინტუიციას".

ჟოგორც რეგიონალური, ისე გლობალური მნიშვნელობით, კავკასიონის სტრუქტურა და გეოლოგიური ისტორია დიდწილად განისაზღვრება მისი ჯერ კიდევ დაწევის პროცესში მყოფ, ევრაზიისა და აფრიკა-არაბეთის ლითოსფერულ ფილებს შორის მდებარეობით, კონტინენტური შეჯახების ფართე ზონაში. ლვიან პროტეროზულ - ადრე კენოზურ პერიოდში, რეგიონი ტეთისის ოკეანეს და მისი ევრაზიისა და აფრიკა-არაბეთის საზღვრებს მიეკუთვნებოდა. ლქ განვითარებული იყო „კუნძულთა რკალების, შიდარკალური რიფტების, კუნძულთა რკალსუკანა აუზების“ სისტემა, რაც რეგიონის ევოლუციის კოლიზიამდელი ეტაპის მახასიათებლებია [4]. ლექტონიკური ფილების თეორიის თვალსაზრისით, პროექტის ტერიტორია მდებარეობს ტრანსკავკასიურ მასივში, რომელიც პალეოზოლური-ადრეული კაინოზოური ერის „კუნძულოვანი რკალის“ ოროგენეზისია. შიდი კავკასიონი, მეორე მხრივ, წარმოადგენს ნაოჭა-შეცოცებითი სტრუქტურის მქონე კონტინენტაშორის მთათა სისტემას, რომელიც კოლიზიამდელი „რკალსუკანა აუზიდან“ წარმოიშვა, აფრიკა-არაბეთის და ევრაზიის ლითოსფერული ფილების შეჯახების შედეგად. ლვირაბის მშენებლობის ამ კონკრეტულ პროექტთან მიმართებით, გეოტექტონიკური ევოლუციის ორი ასპექტია საყურადღებო, როგორც ქვემოთ არის განხილული.

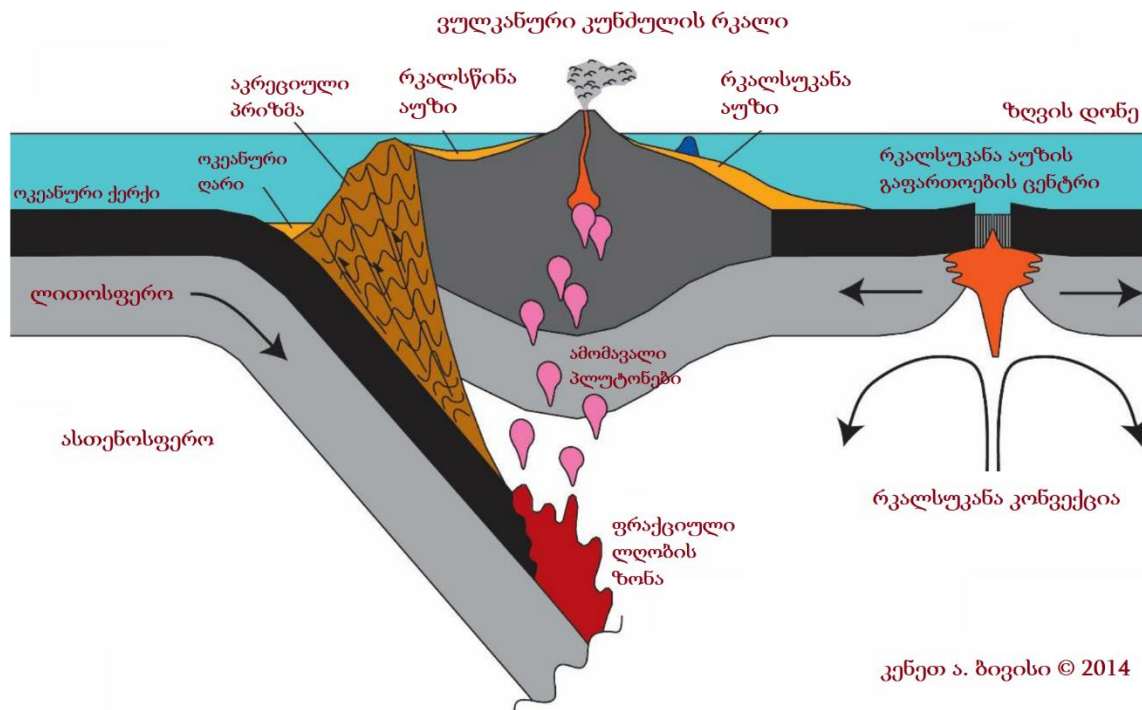
### 1.2.1 ზუნძულთარკალური ვულკანიზმი

კუნძულთა რკალები ორი ოკეანური ფილის შეჯახებისას (სადაც ერთი ოკეანური ფილა მეორე ოკეანური ფილის ქვეშ ექცევა) ფორმირდება, და შეცოცებული ფილის ზემოთ ვულკანური კუნძულების ჯაჭვს ქმნის. ქვემოთ მოქცეული ფილა - ოკეანური ფილის განაპირა ნაწილი ქერქსა და ზედა მანტიაში ჩადირვისას, ოკეანის ფსკერის გაფართოებით გამოწვეული წნეხის ზემოქმედებით, ლლობას იწყებს. ეს გეოდინამიკური პროცესი, ჩვენ კონკრეტულ შემთხვევაში, წარმოიქმნა პალეოტეთისის ოკეანის რიფტულ ზონაში, როცა სამხრეთით მდებარე ოკეანური ფილის კიდემ ჩრდილოეთის მიმართულებით დაიწყო დაწევა, ჩრდილოეთით მდებარე ოკეანური ფილის ქვეშ მოქცევის შედეგად. კუნძულთა რკალები, რომელთა ფორმირება ფილების კონვერგენტული აქტივობის შედეგად მოხდა,

ამჟამადაც არის წარმოდგენილი - დასავლეთიდან აღმოსავლეთით, თურქეთში - აღმოსავლეთ პონტიდების, საქართველოში - ამიერკავკასიის, და, აღმოსავლეთით ირანული ბლოკის სახით.

ამ სუბდუქციური პროცესის საბოლოო პროდუქტია ქვემო ნამახვანის ჰესების კაშხლების ტერიტორიაზე შუა იურული პერიოდის პორფირიტული სერიები (ვულკანურ-სედიმენტური ქანები) და თანმხლები სტრუქტურები. ამ ტექტონიკური პროცესის ქანების ფორმაციის ეპიზოდები ქვემოთ არის მოყვანილი:

- პორფირიტული სერიის ვულკანური ქანები კუნძულთარკალური ვულკანიზმის საწყისი პროდუქტია, რომელიც მოიცავს პიროკლასტურ ქანებს, ლავის ხშირი ამოფრქვევით.
- ვულკანიზმის არააქტიური პერიოდებისას, ეროზიული რეაგენტები აქტიურდება, რაც ადრე ფორმირებული ვულკანური მასებიდან სხვადასხვა ზომის ნაწილების მოწყვეტას განაპირობებს. შედეგად, დანალექი ქანების ნალექგროვება იზრდება.
- კუნძულთარკალურ არეში, ეს ორი პროცესი ურთიერთმონაცვლეობით მიმდინარეობს, რაც ვულკანური და დანალექი ქანების თანმიმდევრულ ნალექგროვებას იწვევს.

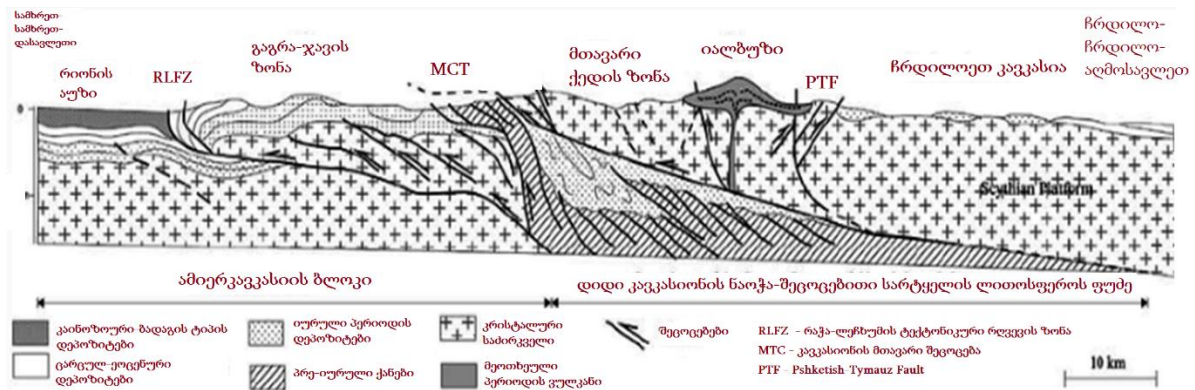


**სურათი 1:** კუნძულთარკალის ფორმაციაში მონაწილე ტექტონიკური ფილის სქემატური კვეთა; რკალსუკანა აუზი და გაფართოების ცენტრი, სადაც დიდი კავკასიონის ვულკანურ-სედიმენტური ქანების თავდაპირველი დალექვა მოხდა.



### 1.2.2 პროექტის ტერიტორიის სტრუქტურული ევოლუცია

დიდ და მცირე კავკასიონს შორის მდებარე რიონის აუზი მიმდინარე ტექტონიკური ინვერსიის შესანიშნავი მაგალითია. რეგიონალური თვალსაზრისით, სტრუქტურულმა ინვერსიამ ტექტონიკური კუმშვის დროს კრისტალური ფუნდამენტი სამხრეთისკენ დაძრა, შედეგად, ინდივიდუალურმა რღვევებმა გაფართოების სიღრმეში გაგრძელება შეაკავა და კუმშვა გამოიწვია, რაც მის ზედა მონაკვეთში ანტიკლინის ზრდასთან არის დაკავშირებული. რეგიონალურად ეს რივერსიული ძვრები წარმოდგენილია კავკასიონის მთავარი შეცოცებისა და რაჭა-ლეჩხუმის ტექტონიკური რღვევის ზონაში. პროექტის ტერიტორია მდებარეობს ლიტერატურაში „გონის მასივად“ მოხსენიებულ, გაგრა-ჯავის ზონაში, სადაც შუა იურული პერიოდის კუნძულთარკალური წარმოშობის პორფირიტის სტრუქტურები სამხრეთით მიმართული ცარცული კირქვის მასივებითაა გადაფარული.



**სურათი 2:** რეგიონალური ტექტონიკის გამარტივებული სქემა, რომელშიც ნაჩვენებია დიდი კავკასიონისა და რიონის აუზის ფორმირებაში მონაწილე ძირითადი სტრუქტურები; მცირე კავკასიონი მდებარეობს რიონის აუზის სამხრეთ-სამხრეთ-დასავლეთით; ამონარიდი საცნობარო დოკუმენტიდან [5].

## 2. ზოგადი გეოლოგია

ნამახვანის კასკადის ზოგადი გეოლოგიური მდგომარეობის შესწავლა 1938 წლიდან დაიწყო და, როგორც დოკუმენტები აჩვენებს, საბჭოთა პერიოდში, 1976 წლამდე გაგრძელდა. პორფირიტული სერიების ფორმაციების ზოგადი გეოლოგიური მახასიათებლები, რომლებიც გვირაბთან დამაკავშირებელი გადასატანი გზის მთავარ ქანს წარმოადგენს, დამუშავებულია საცნობარო დოკუმენტში [1&2]. აქედან გამომდინარე, მკითხველის კომფორტისთვის, ქვემოთ სქემა 3-ში გამოსახული ქვე-წყებების შესახებ მხოლოდ ზოგადი სახის ინფორმაცია არის წარმოდგენილი.

### 2.1 შუა იურული პორფირიტული სერიები

შუა იურული პერიოდის ბაიოსური ხანის ქანოვანი ფორმაციები რიონის ხეობის გასწვრივ, სოფელ გუმათსა და ტვიშს შორის, დაახლოებით 20 კილომეტრის მანძილზეა გავრცელებული. წინა კვლევებში ამ გეოლოგიურ ფორმაციებს „პორფირიტულ სერიებად“ მოიხსენიებდნენ. აგრეთვე, ზოგ შემთხვევაში, "ვულკანურ-სედიმენტურ წარმონაქმნებს" უწოდებენ. ბაიოსი თავის მხრივ, სამ ქვეტიპად არის წარმოდგენილი, მათ შორის შორის: ქვედა ბაიოსური (J2b1), შუა ბაიოსური (J2b2) და ზედა ბაიოსური (J2b3). ამ ქვეტიპების განლაგება, ქანების სტრატეგრაფიული ჭრილების სახით არის წამოდგენილი (სქემა 3).

#### ა: ქვედა ბაიოსური წყება (J2b1)

პროექტის ტერიტორიაზე ქვედა ბაიოსური წყების მხოლოდ უკიდურესად ზედა შრე გამოდის ზედაპირზე და ანტიკლინისა და სინკლინის სტრუქტურის მქონე ფუძის ქანს წარმოადგენს. ეს ერთეული რიონის კასკადის ქვედა დინების ზონაში - მაგალითად, ქვემო ნამახვანის ჰესის პროექტის შესასვლელი გვირაბის ზედაპირზე - არ გამოდის. ჭანის ტიპური გამოსავალი შეიძლება ვნახოთ ლეხიდარის შენაკადსა და სოფელ ბენტოქოულას შორის არსებულ ზონაში, ანტიკლინის სამხრეთ ფრთაზე. ზედაპირული საველე კვლევა აჩვენებს, რომ თავდაპირვლად ეს წყება ძალიან ტიპური „ფლიშის“ ფორმაციის შთაბეჭდილებას ტოვებს. ძირითადად შედგება ღია ნაცრისფერი ტუფის, არგილიტის, მიკრობრექჩიის, ტუფოგენური კვიშაქვისგან, ზოგ შემთხვევაში, არგილიტ-ლაბრადორიტის პორფირიტებით. წანსაკუთრებით კარგად განვითარებული შრეებრიობის ზედაპირები გამორჩეული საშუალო ორიენტაციის მაჩვენებლებით - 030/41<sup>1</sup>. ხასიათდება.

<sup>1</sup> აღნიშნავს დაქანების მიმართულებასა და დაქანების სიდიდეს

## ბ: შუა ბაიოსური წყება (J2b2)

შუა ბაიოსურ წყებაში (J2b2) მონაწილე ფორმაციები დამატებით 6 ქვე-წყებად არის დაყოფილი, რომლებიც ბუნებრივი მახასიათებლებიდან და „კუნძულთარკალური ვულკანიზმის“ მოდალური შემადგენლობიდან გამომდინარე, ძირითადად ერთმანეთთან არის შერეული. ყველა ეს ქვე-წყება ჩრდილო-დასავლეთის მიმართულებით ქუთაისი-ალპანას გზაზე არსებულ განაჭრელ ქანებში გვხვდება. აქედან გამომდინარე, მშენებარე ინჟინერისთვის კარგად არის ცნობილი ამ ქანების მასივების ქცევა. ამ ექვს ქვე-წყებას შორის, მხოლოდ ორი, სახელდობრ, J2b2-5 და J2b2-6, გვხვდება გადასატანი გზის გასწვრივ და საზღვრების საძირკველთან.

PERIOD პერიოდი	FORMATION ფორმაცია	LITHOLOGY ლითოლოგია	DESCRIPTION აღწერა
QUATERNARY მეოთხეული			ალუვიონი
			მდინარეული ნალექები
			კოლუვიუმი
MIDDLE JURASSIC შუა იურული	UPPER BAJOCIAN (J2b3) ზედა ბაიოსური		ფერადი ტუფი, ქვიშაქვა- გაქვავებული თიხის მონაცვლეობა
	MIDDLE BAJOCIAN (J2b2) შუა ბაიოსური	J2b2-6	მასიური, ავგიტ- ლაბრადორიტის პორფირიტები
		J2b2-5	საშუალოდ ან წვრილად დამრეცხული, ტუფოგენური ქვიშაქვა, ადგილებში ზრექიით
		J2b2-4	სქლად ან საშუალოდ დამრეცხული, ტუფოგენური ქვიშაქვა ზრექიით
		J2b2-3	საშუალოდ ან წვრილად დამრეცხული, წვრილმარცვლოვანი ტუფოგენური ალევროლიტი, ადგილებში მიკროზრექიით
		J2b2-2	მასიური, ტუფოგენური ქვიშაქვა ზრექიით
		J2b2-1	საშუალოდ და წვრილად დამრეცხული, წვრილმარცვლოვანი ტუფური ქვიშაქვა, ადგილებში თიხაფიქალით
	LOWER BAJOCIAN (J2b1) ქვედა ბაიოსური		ტუფი, არგილიტი, მიკროზრექიტი, ტუფოგენური ქვიშაქვა, ადგილებში ავგიტ-ლაბრადორის პორფირიტებით

სურათი 3: პროექტის ტერიტორიის შუა იურული პერიოდის ქანების სტრატეგრაფიული ჭრილები

### 3. საინჟინრო გეოლოგია

ქანის მასივების საინჟინრო გეოლოგიურ ქცევას ძირითადად განაპირობებს (ა) ქანის მასივის მახასიათებლები და (ბ) გრუნტის წყლები. ეს ტერმინები მოკლედ არის განმარტებული ქვემოთ, ქანების მასივების ემპირიული კლასიფიკაციისთვის საჭირო სტრუქტურული საფუძვლის შექმნის მიზნით.

#### 3.1 ქანის მასივის მახასიათებლები

გადასატანი გზის გვირაბის საინჟინრო გეოლოგიური კვლევები „ქანების მასივების მახასიათებლების“ კონცეფციას ეფუძნება. ეს არის ცნება, რომელიც განისაზღვრება, როგორც „ხარისხობრივი და რაოდენობრივი მონაცემების შეგროვებისა და ანალიზის პროცესი, რომელიც ქანების მასივის გეომეტრიული და მექანიკური მახასიათებლების ინდიკატორებსა და აღწერით ცნებებს განსაზღვრავს“.

ქანის მასივი არის მატრიცა, რომელიც შედგება ქანის მასალისა და ქანის სტრუქტურის რღვევებისგან. ქანის მასალის თვისებები გაზომვას და/ან აღწერას ექვემდებარება ლითოლოგიური თვისებების აღწერის გზით, რაც ქანის ნიმუშების შეფასებით ან ლაბორატორიული ცდების საფუძველზე ხორციელდება. ქანის მასივის თვისებას დაუზიანებელი ქანების მასალების თვისებები და ასევე ქანის სტრუქტურაში განვითარებული რღვევები განსაზღვრავს. აქედან გამომდინარე, სწორედ ქანებში გაჩენილი ნაპრალები და სხვა რღვევები თამაშობს წამყვან როლს ქანების მასივების ქცევასა და თვისებებში. ამ კონტექსტში, ნაპრალთა რაოდენობა, ორიენტაცია, ნაპრალთა შორის დაშორება, აპერტურა, ზედაპირის უსწორმასწორობა და გამოფიტვისა და სახეცვლილების მდგომარეობა წარმოადგენს ქანის მასივის პარამეტრების ძირითად ნიშან-თვისებებს. აღნიშნული მახასიათებლები, ქვემოთ მოკლედ არის აღწერილი, ქანების მასების ემპირიული კლასიფიკაციის სტრუქტურული საფუძვლის შექმნის მიზნით.

##### 3.1.1 ჭანების მასალათა თვისებები

გეოტექნიკურ ინჟინერიაში, “დაურღვეველი ქანი” აღნიშნავს შტუფს ან ქანის სვეტს, რომელსაც რაიმე სახის რღვევა არ აღენიშნება. აქედან გამომდინარე, გეოტექნიკური ინჟინერიის კუთხით, შემდეგ ხარისხობრივ და რაოდენობრივ მახასიათებლებს ენიჭება პრიორიტეტი:

#### **ა: ხარისხობრივი მახასიათებლები**

ეს თვისებები ძირითადად მოიცავს ქანის ტიპს, პირველად ფორიანობასა და გამოფიტვის ხარისხს. თუმცა, ამათ შორის, ქანის ტიპი და გამოფიტვის ხარისხი განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს GSI ქანების კლასიფიკაციის სისტემაში. ამ კონტექსტში, ხაზი უნდა გაესვას, რომ დაუზიანებელი ქანის გამოფიტვის ხარისხი განისაზღვრება დარღვეული ზედაპირების მდგომარეობით; აქედან გამომდინარე, GSI-ს ცხრილების გამოყენებისას, ეს ხარისხობრივი მახასიათებელი შესაბამისობაში უნდა მოდიოდეს ქვემოთ ნახსენებ რაოდენობრივ მაჩვენებელთან - ქანის მასალის სიმტკიცის ზღვართან ერთდროულად კუმშვაზე.

#### **ბ: რაოდენობრივი მახასიათებლები**

ქანის მასალის პარამეტრებიდან ყველაზე მნიშვნელოვანია სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე და დეფორმაციის მოდულები (Ed). თუმცა, როგორც ზემოთ არის ახსნილი, დაუზიანებელი ქანის სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე განისაზღვრება დარღვეული ზედაპირების მდგომარეობით; აქედან გამომდინარე, ეს პირდაპირ არის დაკავშირებული ქანის მასურ თვისებებთან.

##### **3.1.2 ჭანის მასური თვისებები**

მასური თვისებების საერთო სპექტრში, არაერთგვაროვნებებს უპირატესი წილი უჭირავს და ქანის მასივების გეომეტრიული თვისებების მთავარ ნაწილს წარმოადგენს. ამ თვისებათა შორის, რაოდენობრივი მახასიათებლები ხარისხობრივთან შედარებით პრიორიტეტულია, როგორც ქვემოთ არის წარმოდგენილი.

#### **ა: ხარისხობრივი მახასიათებლები**

ამ სფეროს შეიძლება მივაკუთვნოთ „შემცველი ქანის“ აღწერილობა, როგორც ნაპრალის ანალიზის ნაწილი და „შემთხვევითი ნაპრალები“.

#### **ბ: რაოდენობრივი თვისებები**

ყველა ეს თვისება დაკავშირებულია „რღვევებთან“ და სტრუქტურებთან, რომლებიც ქვემოთ არის დახასიათებული:



- გავრცობა და დახრილობა, განსაკუთრებით შრეებიობის ზედაპირებისა და ნაპრალების. თუმცა, ასევე არ არის გამორიცხული სხვა რღვევები, როგორიცაა ნაპრალი და ნაწევის სიბრტყე.
- ნაპრალის ანალიზი: ინტერვალი, ორიენტაცია, განშრევა.
- ნაპრალის სიმჭიდროვე.

გაბატონებული გეოლოგიური პირობების შესაბამისად, ქანის მასალისა და ქანის მასური თვისებების აღწერისას გამოყენებულია “BS5930:1999, ISRM: 2014 და ქანების კლასიფიკაციის უნიფიცირებული სისტემა: 1984”.

### 3.2 გრუნტის წყლების პირობები

#### 3.2.1 ჰიდროგეოლოგიური ტერმინები

გვირახის ტრასის შემადგენელი ქანების ფორმაციების გრუნტის წყლების მდგომარეობა განხილული იქნება შემდეგი ჰიდროგეოლოგიური ტერმინების გამოყენებით: „აკვიფერი, აკვიტარდი, აკვიკლუდი და აკვიფუჯი“. ამ ეტაპზე კი, საჭიროებისამებრ, ქანების ფორმაციებთან მიმართებაში გამოვიყენებთ პირველადი და მეორადი შეღწევადობის ცნებებს. თუმცა, თავდაპირველად, საჭიროა, გავიხსენოთ ისეთი ცნებები, როგორებიცაა „ფორები და შეღწევადობა“, რომლებიც გადამწყვეტ როლს თამაშობს გრუნტის წყლების მოძრაობაში.

„შეღწევადობა“ ეწოდება ქანების მასივის მიერ წყლის გატარების უნარს. ეს პარამეტრი დამოკიდებულია არა მარტო ფორიანობაზე, არამედ ფორების ზომებზე ან რღვევებზე და მათ ურთიერთკავშირზე. ამ თვალსაზრისით, საკითხის არსი მდგომარეობს „ფორების ურთიერთკავშირში“, რომელიც მოიცავს დაურღვეველი ქანის ფორებს და ქანის მასივის რღვევებს, დაწყებული შრეებიობის სიბრტყითა და ნაპრალებით და დამთავრებული უთანაბრო ნაპრალებით, რომლებიც საბოლოოდ დიდი ზომის სტრუქტურებს მოიცავს, როგორებიცაა ნაოჭები და ნაწევი. ამ წინაპირობების საფუძველზე, ზემოთ ჩამოთვლილი ჰიდროლოგიური ტერმინები მოკლედ არის განმარტებული.

**Aquifer/აკვიფერი:** ფორიანი და გამტარი ფენა, რომლიც წყლის მნიშვნელოვანი რაოდენობას ატარებს (მაგ. ქვიშა / ხრეშოვანი დარღვეული ქანები).

**Aquiclude/აკვიკლუდი:** გაუმტარი ფენა, რომელსაც არ შეუძლია მნიშვნელოვანი რაოდენობით წყლის გატარება (მაგ., ჰერმარცვლოვანი ალევროლიტურ-თიხიანი ქანები, კრისტალური დაურღვეველი ქანები).

**Aquitard/აკვიტარდი:** ფენა, რომელიც აკავებს, მაგრამ ხელს არ უშლის წყლის გასვლას მომიჯნავე აკვიფერიდან ან აკვიფერში.

ჩვენ მიერ განსახილველი საგზაო გვირაბების გრუნტის წყლების მდგომარეობა ამ ჰიდროგეოლოგიური პარამეტრების მიხედვით უნდა განისაზღვროს

### 3.3 საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევები

#### 3.3.1. ზედაპირული კვლევები

ქოგორც ზემოთ აღინიშნა, რთული რელიეფი და უხვი მცენარეული საფარი არ იძლევა ასაგები გზის მთელი მონაკვეთის გაყოლებაზე, ნაბიჯ-ნაბიჯ, კვლევების ჩატარების შესაძლებლობას. ომ მხრივ, არსებული ქუთაისი-ალპანას გზის კლდოვანი ფერდობები ქანების მდგომარეობასთან დაკავშირებულ ძალზე მნიშვნელოვან გეოტექნიკურ მონაცემებს გვთავაზობს. ლარდა ამისა, არსებულ გზაზე ზედა მაღლობიდან მომდინარე შენაკადები, რომლებიც არსებულ გზას კვეთს. ჟმირ შემთხვევაში შიშველ ქანებზე მიეძინება.

#### 3.3.2. ზედაპირქვეშა ზონის კვლევები

ჯამხლის ძირის შესასწავლად ორი ჭაბურღილი, DSK-6 and DSK-7 დაპროექტდა და გაიბურღა. შათი მდებარეობა მომცემულია დანართში-1, ხოლო კერნის აღწერილობა და კერნის ფერადი ყუთები მოცემულია დანართში-2.

### 3.4 ქანების მასივების ემპირიული კლასიფიკაციის სისტემები

#### 3.4.1 ზოგადი მოსაზრებები

ქანების მასივების კომპლექსურობა, რაც განპირობებულია: (ა) მათი ფორმირების რეჟიმით (ბ) შემდგომი ტექტონიკური აქტივობებით; გ) შესაბამისი წყვეტილობებით და (დ) გრუნტის წყლების მდგომარეობით, განაპირობებს "ქანების მასივების მახასიათებლებისადმი" განსხვავებული მიდგომების არსებობას. როგორც ზემოთ აღინიშნა, ქანების მასივების აღწერისთვის ძირითადად გამოიყენება "თვისობრივი და რაოდენობრივი" ასპექტები. ყველა ეს წინაპირობა ცხადყოფს, რომ ქანების მასივი არ არის „ლაბორატორიულად შექმნილი შერეული პროდუქტი“ მისი ცვალებადი საინჟინრო თვისებებიდან გამომდინარე, რომელსაც ძირითადად განსაზღვრავს ზემოთ მოყვანილი გეოტექნიკური ასპექტები. ზემოთქმულიდან გამომდინარე, აუცილებელი გახდა, შეგვემუშავებინა გარკვეული

მეთოდები, რომლებიც გვირავის გამაგრებისა და ფერდობის ემპირიული პროექტებისთვის ქანთა მასივების ემპირიულ საინჟინრო ქცევას აღწერდა.

რამდენადაც სხვადასხვა ტიპის კლასიფიკაციების/მახასიათებლების სისტემები სხვადასხვა პარამეტრებზე ამახვილებს ყურადღებას, ხშირად რეკომენდირებულია, ქანთა კლასიფიკაციისას, სულ მცირე, ორი მეთოდი მაინც გამოვიყენოთ (ჰოუკი, 2000). ეს პირობა ასევე ვალიდურია ექსკავაციის შედეგად წარმოქმნილი ფერდობების ემპირიულ მონაცემებზე დაყრდნობით პროექტირების შემთხვევაში. ამრიგად, მოცემულ ანგარიშში, ჩვენი გეოტექნიკური კვლევები ორ კლასიფიკაციაზე დაყრდნობით განხორციელდება. კერძოდ: ბინიავსკის ქანების მასივის რეიტინგი (RMR89) და გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსი (GSI), ჰოუკი და სხვები. (1995). რაც შეეხება „ნორვეგიული გეოტექნიკური ინსტიტუტის ინდექსს (NGI), Q-სისტემა, ბარტონი და სხვები (1974)“, მკითხველის კომფორტისთვის, მხოლოდ კლასიფიკაციის პარამეტრები იქნება განხილული.

(i) ქანის ხარისხის მაჩვენებელი (RQD%)

(ii) წყვეტილობებს შორის დაშორებები

(iii) წყვეტილობების მდგომარეობა

(iv) გრუნტის წყლის პირობები

(v) რეიტინგის კორექტირება წყვეტილობების ორიენტაციისთვის

აღსანიშნავია, რომ თავდაპირველი კლასიფიკაციის პარამეტრები სამუშაოების პრაქტიკული მიმდინარეობისას სწორდება, განსაკუთრებით GSI კლასიფიკაციაზე გადაყვანის უზრუნველსაყოფად. თავდაპირველი კლასიფიკაციის პარამეტრები წარმოდგენილია მე-4 სქემაში ცხრილის სახით. ცხრილის ნაცრისფრად მონიშნულ ნაწილში სათაურით „გრუნტის წყალი და რეიტინგის კორექტირება წყვეტილობების ორიენტაციისთვის“ წარმოდგენილი პარამეტრები 1989 წელს იქნა განახლებული GSI კლასიფიკაციასთან შესაბამისობაში მოსაყვანად. ჩასწორების შედეგად, გაჩნდა “RMR89 “. ეს საკითხი შემდგომ იქნება დეტალურად განხილული.

გეომექანიკური კლასიფიკაციის სისტემა (ზინაფსკის მიხედვით, 1989)

ა. კლასიფიკაციის პარამეტრები და მათი რეიტინგები									
პარამეტრი			მნიშვნელობათა დიაპაზონი						
1	დაურღვეველი ქანის სიმტკიცე	სიმტკიცის ინდექსი წერტილოვანი დატვირთვისას	>10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	აქ უზღოვებია დაბალი ერთეობიანი კომპრესიული ძალით ტესტირება		
		ერთელობიანი კომპრესიული ძალა	> 250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	<1Mpa
	რეიტინგი		15	12	7	4	2	1	0
2	კერნის ხარისხი RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	რეიტინგი		20	17	13	8	3		
3	მანძილი უთანაბრობებს შორის		>20	0.6-20	200-600მმ	60-200მმ	<60mm		
	რეიტინგი		20	15	10	8	5		
4	უთანაბრობების მდგომარეობა (იხილე ე)		ძალიან უხეში ზედაპირები	ოდნავ უხეში ზედაპირები	ოდნავ უხეში ზედაპირები	სხლეტის სარკვეები	რბილი შემცველი ქანი >5მმ		
			არა უწყვეტი	განვალკეება <1მმ	განვალკეება <1მმ	ან	სქელი		
			განშრეების გარეშე გამოუფრთხილები შემცველი ქანი	ოდნავ გამოფრთხილები შემცველი ქანი	ძალზე გამოფრთხილები შემცველი ქანი	შემცველი ქანი < 5მმ სისქის	ან		
						ან	დაშორება 1-5 მმ		
	რეიტინგი		30	25	20	10	უწყვეტი		
5	გრუნტის წყალი	10მ გვირგზის სიგრძე (l/m)	None	<10	0.1-0.2	25-125	>125		
		(საერთო წყალი) / (ძირითადი მ)	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		საერთო მდგომარეობა	სრულად მშრალი	ნოტიო	სველი	მკონავე	გამდინარი		
	რეიტინგი		15	10	7	4	0		
ბ. წვეტილობების ორიენტაციის რეიტინგის კორექტირება (იხ ე)									
გაგრძელებისა და დახრილობის ორიენტაციები			ძალიან ხელსაყრელი	ხელსაყრელი	საშუალო	არახელსაყრელი	ძალიან ხელსაყრელი		
რეიტინგები	გვირაბები და შახტები		0	-2	-5	-10	-12		
	ფუნდამენტები		0	-2	-7	-15	-25		
	ფერდობები		0	-5	-25	-50			
გ. ქანების მასივის კლასები საერთო რეიტინგებიდან გამომდინარე									
რეიტინგი			100<---81	80<---61	60<---41	40<---21	<21		
კლასის ნომერი			I	II	III	iv	v		
აღწერა			ძალიან კარგი ქანი	კარგი ქანი	საშუალო ქანი	ცუდი ქანი	ძალიან ცუდი ქანი		
დ. ქანების მასივების მნიშვნელობა									
კლასის ნომერი			I	II	III	iv	v		
აწვევის საშუალო დრო			20 წელი. 15 მ მანძ.	1 წელი 10მ მანძ.	1 კვირა. 5მ მანძ.	10 სთ. 2.5მ მანძ.	30 წელი 1მ მანძ.		
ქანების მასივის შეჭიდულობა (kP a)			>400	300-400	200-300	100-200	<100		
ქანების მასივის ხახუნის კუთხე (deg)			>45	35-45	25-35	15-25	<15		
ე. მითითებული წვეტილობის მდგომარეობის კლასიფიკაციისთვის									
წვეტილობის სიგრძე (მდგრადობა)			<10	1-3 მ	3-10მ	10-20 მ	>20მ		
რეიტინგი			6	4	2	1	0		
დადილობა (აბერატურა)			None	<0.1მმ	0.1-1.0 მმ	1-5მმ	>5მმ		
რეიტინგი			6	5	4	1	0		
უსწორმასწორობა			ძალიან უსწორმასწორო	უსწორმასწორო	ოდნავ უსწორმასწორო	გლუვი	პრილა		
რეიტინგი			6	5	3	1	0		
შეცემა (შემცველი ქანი)			None	მკვრივი შემავესებელი <5მმ	მკვრივი შემავესებელი >5მმ	რბილი შემავესებელი <5მმ	რბილი შემავესებელი >5მმ		
რეიტინგი			6	4	2	2	0		
გამოფრთხევა			გამოუფრთხილები	ოდნავ გამოფრთხილები	საშუალოდ გამოფრთხილები	ძლიერ გამოფრთხილები	დამოლილი		
რეიტინგი			6	5	3	1	0		
ვ. წვეტილობის გაგრძელებისა და დახრილობის ორიენტაციის ეფექტი გვირაბების გაყვანაში									
გვირაბის ღერძის პერპენდიკულარული დარტყმა					გვირაბის ღერძის პარალელური დარტყმა				
დახრა Dip 45-90			დახრა Dip 20-25		Dip 45-90		Dip 20-45		
ძალიან ხელსაყრელი			ხელსაყრელი		ძალიან ხელსაყრელი		საშუალო		
საწინააღმდეგო დახრა Dip 45-90			საწინააღმდეგო დახრა Dip 20-25		Dip 0-20 დარტყმის მიუხედავად				
საშუალო			არახელსაყრელი		საშუალო				

**სურათი 4:** განზოგადებულია RMR კლასიფიკაციის პარამეტრებიდან. შენიშვნა: RMR89 შესწორებული ვერსია მიღებულია გრუნტის წყლების რეიტინგით 15 (მშრალი), და ნაპრალის ორიენტაციის კორექტირებით 0 (ძალიან ხელსაყრელი)

**ბ: ნორვეგიის გეოტექნიკური ინსტიტუტის ინდექსი (NGI), Q-სისტემა, ბარტონი და სხვ. (1974)**

ფაქტობრივად, Q კლასიფიკაცია თავდაპირველად შემუშავებულ იქნა „მასივების საინჟინრო კლასიფიკაცია გვირაბების პროექტირებისთვის“ ფარგლებში. სოუკმა და ბრაუნმა ეს კლასიფიკაცია მიუსადაგეს ექსკავაციის შედეგად წარმოქმნილი ფერდობების პროექტირებას, სიმტკიცის ძირითადი კავშირების მიახლოებით განტოლებებზე დაყრდნობით. ჟანების მასივების კლასიფიკაციის ძირითადი პარამეტრები ქვემოთ რის მოყვანილი.

$$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) \times \left( \frac{J_r}{J_a} \right) \times \left( \frac{J_w}{SRF} \right), \text{ სადა:}$$

$RQD$  = ქანის ხარისხის მაჩვენებელი (%)

$J_n$  = ნაპრალების ჯგუფის რაოდენობა

$J_r$  = ნაპრალების უსწორობათა რაოდენობა

$J_a$  = ნაპრალების ცვლის რაოდენობა

$J_w$  = ნაპრალების შემცირების რაოდენობა

$SRF$  = სიმტკიცის შემცირების რაოდენობა

სიმარტივისა და პრაქტიკულობისთვის, Q კლასიფიკაციის დეტალები არ იქნება განხილული; ამის სანაცვლოდ, Q მნიშვნელობები გამოთვლილი იქნება RMR89 და GSI კლასიფიკაციებიდან.

**გ: ჰოუკის და სხვ. მიერ შემუშავებული გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსი (GSI), (1995).**

1980 წლებში, ჰოუკი და ბრაუნი „ქანის სიმტკიცის პარამეტრების“ მისაღებად RMR კლასიფიკაციას იყენებდნენ. თუმცა, პროცესში აღმოაჩინეს, რომ RMR89 არ მოიცავდა ქანების ყველა ტიპს, 1980 წლებში, ჰოუკი და ბრაუნი „ქანის სიმტკიცის პარამეტრების“ მისაღებად RMR კლასიფიკაციას იყენებდნენ. თუმცა, პროცესში აღმოაჩინეს, რომ RMR89 არ მოიცავდა ქანების ყველა ტიპს, მაგალითად, შრეებრივ ან გახლეჩილ ქანებს და, შესაბამისად, ნაპრალოვანი ქანების მასივებისთვის საკუთარი გეოლოგიური სიმტკიცის ინდექსი (GSI) შეიმუშავეს. ემპირიული კლასიფიკაციის ეს სისტემა ქანთა მასივების ისეთ ხარისხობრივ მახასიათებლებს ეფუძნება, როგორცაა „სტრუქტურა“ და „უთანაბრობათა ზედაპირების მდგომარეობა“; ამგვარად, ის ქანების მასივის სტრუქტურის ვიზუალურ მხარეს ასახავს და უზრუნველყოფს სხვადასხვა გეოლოგიურ პირობებში ქანების მასივის



სიმტკიცის შემცირების შეფასების სისტემას. გამოყენებულია კლასიფიკაციის საბოლოო ვერსია (Hoek, E., Carter, T.G., Diedderichs, M.S., 2013).

### 3.4.2 ზორელაცია GSI, RMR და Q მნიშვნელობათა შორის

ჰოაკისა და ბრაუნის თანახმად, (1997 წ.) ისეთი კლდოვანი მასებისთვის რომლებიც უძლებენ დატვირთვას ( $GSI > 25$ ,  $RMR > 23$ ), GSI- ის ღირებულება შეიძლება შეფასებულ იქნას კლდოვანი მასის რეიტინგის RMR მნიშვნელობიდან, როგორც:

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

ამ კორელაციაში  $RMR_{89}$  არის ძირითადი RMR მნიშვნელობა (Bieniawski- ს 1989 წლის ვერსია) (1989), სადაც მიწისქვეშა წყლების რეიტინგი შეადგენს 15 -ს (მშრალი) და შემაერთებლის ორიენტაციისთვის განსაზღვრულია 0 მნიშვნელობა (ძალიან ხელსაყრელი).

უხარისხო კლდეების მასებისთვის, GSI შეიძლება შეფასდეს Q მნიშვნელებიდან (Barton et al., 1974) შემდეგი რელევანციის გამოყენებით:

$$GSI = 9 \ln (Q') + 44 \text{ (სინგი და გეოლი, 1999) სადაც}$$

$Q'$  = გვირაბის გაყვანის ხარისხის მოდიფიცირებული ინდექსი

$$Q' = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) \times \left( \frac{J_r}{J_a} \right)$$

კლდის მასის ძალიან დაბალი ხარისხისთვის ( $RMR < 25$ ), GSI- ს შორის კორელაცია აღარ არის საიმედო, აქედან გამომდინარე, RMR კლასიფიკაცია არ უნდა იქნას გამოყენებული ასეთი კლდოვანი მასების GSI მნიშვნელობების შესაფასებლად (Hoek and Brown, 1997).

როგორც ჰოუკი და ბრაუნი გვთავაზობენ [4], RMR და GSI კლასიფიკაციებს შორის შემდეგი ურთიერთკავშირი უნდა გამოვიყენოთ ერთიდან მეორეზე გადაყვანისას.

1990-ის შემდგომი:

(ა)  $GSI = RMR_{89} - 5$

(ბ)  $RMR_{89} = 9 \ln (Q') + 44$  [მიწისქვეშა წყლების შეფასებად აღებული იქნა (15), ხოლო შეუსაბამოების ორიენტაციად (0)], სადაც;

$$Q' = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) \times \left( \frac{J_r}{J_a} \right)$$

### 3.5 ქანების ექსკავაციის შედეგად წარმოქმნილი ფერდობების ემპირიული პროექტირება

ამჟამად RMR და Q კლასიფიკაციის სისტემები ქანების ექსკავაციის შედეგად წარმოქმნილი ფერდობების ემპირიული პროექტირებისთვის გამოიყენება. თუმცა, ამ კლასიფიკაციათა შორის, RMR<sub>89</sub> კლასიფიკაცია დაურღვეველი ქანების მასივების სიმტკიცის ძირითადი კავშირების საფუძველზე განვითარდა, და, აქედან გამომდინარე, უფრო ფართედ გამოიყენება.

ცხრილი 12 - ქანებისა და ნაპრალოვანი ქანური მასივების სიმტკიცის განმსაზღვრელი მიახლოებითი განტოლებები და მორის მრუდი	კარბონატული ქანები კარგად განვითარებული კრისტალური კლივებით დოლომიტი, კირქვა და მარმარილო	ლითიფიცებული თიხიანი ქანები არგილიტი, ალევროლიტი (თიხაფიქალი და ასპიდური ფიქალი (ნორმალური და კლივებით))	ქვიშიანი ქანები მკვრივი კრისტალური და სუსტად განვითარებული კრისტალური კლივებით ქვიშაქვა და კვარცხენები	წვრიშარცვლოვანი პოლიმინერალური ფულკანური კრისტალური ქანები ანდეზიტი, დოლერიტი, დი აბაზი და რიოლიტი	მსხვილშარცვლოვანი პოლიმინერალური ფულკანური და მეტამორფული კრისტალური ქანები ამფიბოლიტი, გაბრო, გნეისი, გრანიტი, ნორიტი, კვარცხენი დიორიტი
დურღვეული ქანების ნიმუშები ლაბორატორიის ზომის ქანის ნიმუშები, სტრუქტურული დეფექტების გარეშე CSIR რეიტინგი +100, NGI რეიტინგი 500	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{7\sigma_{zn} + 1.0}$ $\tau_n = 0.816(\sigma_n + 0.140)^{0.688}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{10\sigma_{zn} + 1.0}$ $\tau_n = 0.918(\sigma_n + 0.99)^{0.677}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{15\sigma_{zn} + 1.0}$ $\tau_n = 1.044(\sigma_n + 0.67)^{0.692}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{17\sigma_{zn} + 1.0}$ $\tau_n = 0.883(\sigma_n + 0.059)^{0.696}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{25\sigma_{zn} + 1.0}$ $\tau_n = 1.220(\sigma_n + 0.040)^{0.705}$
ბალოან მადლი ხარისხის ქანის მასივი მჭიდროდ შეკბედილი, დაუშლელი ქანი, 1-3 მეტრით დაშორებული გამოვლენილი ნაპრალებით. CSIR რეიტინგი 85, NGI რეიტინგი 100	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{3.5\sigma_{zn} + 0.1}$ $\tau_n = 0.651(\sigma_n + 0.028)^{0.679}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{5\sigma_{zn} + 0.1}$ $\tau_n = 0.739(\sigma_n + 0.020)^{0.682}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{7.5\sigma_{zn} + 0.1}$ $\tau_n = 0.848(\sigma_n + 0.013)^{0.702}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{8.5\sigma_{zn} + 0.1}$ $\tau_n = 0.883(\sigma_n + 0.012)^{0.705}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{12.5\sigma_{zn} + 0.1}$ $\tau_n = 0.998(\sigma_n + 0.008)^{0.712}$
მადლი ხარისხის ქანის მასივი საღი და ოდნავ გამოვლენილი ქანი, მცირედით დაშლილი, 1-დან 3 მეტრამდე დაშორებული ნაპრალებით. CSIR რეიტინგი 65, NGI რეიტინგი 10	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.7\sigma_{zn} + 0.004}$ $\tau_n = 0.369(\sigma_n + 0.006)^{0.669}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{1.0\sigma_{zn} + 0.004}$ $\tau_n = 0.427(\sigma_n + 0.004)^{0.683}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{1.5\sigma_{zn} + 0.004}$ $\tau_n = 0.501(\sigma_n + 0.003)^{0.698}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{1.7\sigma_{zn} + 0.004}$ $\tau_n = 0.525(\sigma_n + 0.002)^{0.698}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{2.5\sigma_{zn} + 0.004}$ $\tau_n = 0.603(\sigma_n + 0.002)^{0.707}$
საშუალო ხარისხის ქანის მასივი რამდენიმე წებოვან ოდნავ გამოვლენილი დაუშლელი ქანი, დაშლილი, 0.3-დან 1 მეტრამდე დაშორებული ნაპრალებით. CSIR რეიტინგი 44, NGI რეიტინგი 1.0	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.14\sigma_{zn} + 0.0001}$ $\tau_n = 0.198(\sigma_n + 0.0007)^{0.662}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.20\sigma_{zn} + 0.0001}$ $\tau_n = 0.234(\sigma_n + 0.0005)^{0.675}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.30\sigma_{zn} + 0.0001}$ $\tau_n = 0.280(\sigma_n + 0.0003)^{0.688}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.34\sigma_{zn} + 0.0001}$ $\tau_n = 0.295(\sigma_n + 0.0003)^{0.691}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.350 + 0.0001}$ $\tau_n = 0.346(\sigma_n + 0.0002)^{0.700}$
დაბალი ხარისხის ქანის მასივი დიდი რაოდენობით გამოვლენილი ნაპრალები 30-მმ დან 500მმ-მდე დაშორებით. ამოვსებული ქანებით / სუფთა ფუჭი ქანი CSIR რეიტინგი 23, NGI რეიტინგი 0.1	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.04\sigma_{zn} + 0.00001}$ $\tau_n = 0.115(\sigma_n + 0.0002)^{0.646}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.05\sigma_{zn} + 0.00001}$ $\tau_n = 0.129(\sigma_n + 0.0002)^{0.655}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.08\sigma_{zn} + 0.00001}$ $\tau_n = 0.162(\sigma_n + 0.0001)^{0.672}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.09\sigma_{zn} + 0.00001}$ $\tau_n = 0.172(\sigma_n + 0.0001)^{0.676}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.13\sigma_{zn} + 0.00001}$ $\tau_n = 0.203(\sigma_n + 0.0001)^{0.686}$
ბალოან დაბალი ხარისხის ქანის მასივი დიდი რაოდენობით მადლი ხარისხით გამოვლენილი ნაპრალები 500მმ-ზე მცირე დაშორებით. ამოვსებული ქანებით / ფუჭი ქანი მინარევებით CSIR რეიტინგი 3, NGI რეიტინგი 0.1	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.007\sigma_{zn} + 0}$ $\tau_n = 0.042(\sigma_n)^{0.534}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.010\sigma_{zn} + 0}$ $\tau_n = 0.050(\sigma_n)^{0.539}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.015\sigma_{zn} + 0}$ $\tau_n = 0.061(\sigma_n)^{0.546}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.017\sigma_{zn} + 0}$ $\tau_n = 0.065(\sigma_n)^{0.548}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{zn} + \sqrt{0.025\sigma_{zn} + 0}$ $\tau_n = 0.078(\sigma_n)^{0.556}$

**სურათი 5:** ქანებისა და ნაპრალოვანი ქანის მასივების სიმტკიცის განმსაზღვრელი მიახლოებითი განტოლებები კლდოვანი ფერდობის დაპროექტებაში (ჰოუკი და ბრაუნე, 1980)

#### 3.5.1 RMR კლასიფიკაციის სისტემა

**ა:** მთავარი დამაბულობების ურთიერთკავშირი დაურღვეველი ქანისა და დარღვეული ქანის მასივებისთვის

ე. ჰოუკმა და ე.ტ. ბრაუნმა შეიმუშავეს სიმტკიცის განმსაზღვრელი ძირითადი პარამეტრების ცხრილი დაურღვეველი ქანისთვის და დარღვეული ქანების მასივებისთვის, რომელიც გამოიყენება „ქანების რღვევის ემპირიულ კრიტერიუმებში“ გამოყენებისთვის როგორც მიწისქვეშა, ისე ღია გათხრების დროს (სქემა 6). მომდევნო წლებში ეს ცხრილი

გამოიყენება ქანების მიწისზედა ჭრის ემპირიული პროექტირებისას, ძირითადი და ნაწევური ძაბვების განსაზღვრის მიზნით.

## ბ: RMR-ის გავითარება ფერდის ქანობებთან მიმართებით

როგორც სქემა 7-შია მოცემული, ფერდობის ცხრილის ძირითადი კომპონენტებია ქანის ხარისხი და ქანის ტიპი. მიუხედავად იმისა, რომ ხარისხის მაჩვენებელი მხოლოდ ერთ CSIR (RMR) საფუძველზეა შეფასებული, პრაქტიკაში ხარისხობრივ-რაოდენობრივი ინტერვალები ძალიან მნიშვნელოვანია და შემდეგნაირად გამოიყენება: (სქემა 6)

ძალიან მაღალი ხარისხის ქანი:	$80 \leq RMR$
მაღალი ხარისხის ქანი:	$60 \leq RMR < 80$
საშუალო ხარისხის ქანი:	$40 \leq RMR < 60$
ცუდი ხარისხის ქანი:	$20 \leq RMR < 40$
ძალიან ცუდი ხარისხის ქანი:	$RMR < 20$

აღსანიშნავია, რომ ქანების მასივების თვისობრივი ასპექტები ვიზუალურ გამოსახავს მოითხოვს, რაც საუკეთესოდ არის გათვალისწინებული GSI ცხრილში. (სქემა 5)

ქანის თვისება				კარბონატული ქანები კარგად განვითარებული კრისტალური კლივებით				ლითოფიციტული თიხიანი ქანები				ქვიშიანი ქანები მკვერივი კრისტალუბით და სუსტად განვითარებული კრისტალური კლივებით				წვრიმარცვლოვანი პოლიმინერალური ველკანური კრისტალური ქანები				მსხვილმარცვლოვანი პოლიმინერალური ველკანური და მეტამორფული კრისტალური ქანები			
				დოლომიტი, კირქვა და მარმარილო				არგილიტი, ალფეროლიტი (თიხაფენილი და ასპიდური ფენილი (ხირმალური და კლივებით)				ქვიშაქვა და კვარციტები				ანდეზიტი,დოლოერიტი,დი აბაზი და რიოლიტი				ამფიბილიტი, გაბრო, გნეისი, გრანიტი, ნორიტი, კვარცული დიორიტი			
				ფერდობის სიმაღლე																			
				50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150					
ფელის ზეგანებზე	დაკრდეველი ქანების ნიშნები ლაბორატორიის ზომის ქანის ნიშნები, სტრუქტურული დადექების კარგე CSIR რეიტინგი +100 NGI რეიტინგი 500	არა	კი	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05					
				1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05	1:05					
	მაღალი მაღალი ხარისხის ქანის მასივი მჭიდროდ შეკიდული, დაუშლილი ქანი, 1-3 მეტრით დაშორებული გამოფენილი წარსაღები. CSIR რეიტინგი 85, NGI რეიტინგი 100	არა	კი	1:05	1:05	1:05	1:05	1:04	1:04	1:05	1:04	1:04	1:05	1:05	1:04	1:05	1:05	1:04					
				1:05	1:04	1:04	1:05	1:04	1:03	1:04	1:04	1:03	1:05	1:05	1:04	1:05	1:05	1:04					
	მაღალი ხარისხის ქანის მასივი საღი და ოდნავ გამოფენილი ქანი, მკვერივით დაშლილი, 1-დან 3 მეტრამდე დაშორებული წარსაღები. CSIR რეიტინგი 65, NGI რეიტინგი 10	არა	კი	1:05	1:04	1:04	1:04	1:03	1:03	1:04	1:03	1:03	1:05	1:04	1:04	1:05	1:05	1:04					
				1:04	1:04	1:03	1:04	1:03	1:02	1:04	1:03	1:03	1:04	1:04	1:03	1:04	1:04	1:04					
	საშუალო ხარისხის ქანის მასივი რამდენიმე წყნა ოდნავ გამოფენილი დაუშლილი ქანი, დაშლილი, 0.3-დან 1 მეტრამდე დაშორებული წარსაღები. CSIR რეიტინგი 44, NGI რეიტინგი 1.0	არა	კი	1:04	1:03	1:03	1:03	1:02	1:02	1:04	1:03	1:02	1:04	1:03	1:03	1:04	1:03	1:03					
				1:04	1:03	1:02	1:02	1:02	2:03	1:03	1:02	1:02	1:03	1:03	1:03	1:03	1:03	1:03					
	დაბალი ხარისხის ქანის მასივი დიდი რამდენობით გამოფენილი წარსაღები 30-80 დან 50000- მდე დაშორებული, ამოცხდილი ქანებით / სუფთა ფუჭი ქანი CSIR რეიტინგი 23, NGI რეიტინგი 0.1	არა	კი	1:03	1:03	1:02	1:02	2:03	3:04	1:03	1:02	1:02	1:03	1:03	1:02	1:03	1:03	1:02					
				1:03	1:02	2:03	3:04	1:01	1:02	2:03	2:03	1:02	1:02	2:03	1:02	1:02	2:03						
	მაღალი დაბალი ხარისხის ქანის მასივი დიდი რამდენობით მაღალი ხარისხით გამოფენილი წარსაღები 5000-ზე მეტი დაშორებული ქანებით / ფუჭი ქანი მისაღებებით CSIR რეიტინგი 3, NGI რეიტინგი 0.1	არა	კი	1:02	2:03	2:03	2:03	3:04	1:01	2:03	2:03	3:04	2:03	2:03	3:04	1:02	2:03	2:03					
				2:03	3:04	1:01	3:04	1:01	1:01	2:03	3:04	1:01	2:03	3:04	3:04	2:03	3:04	3:04					

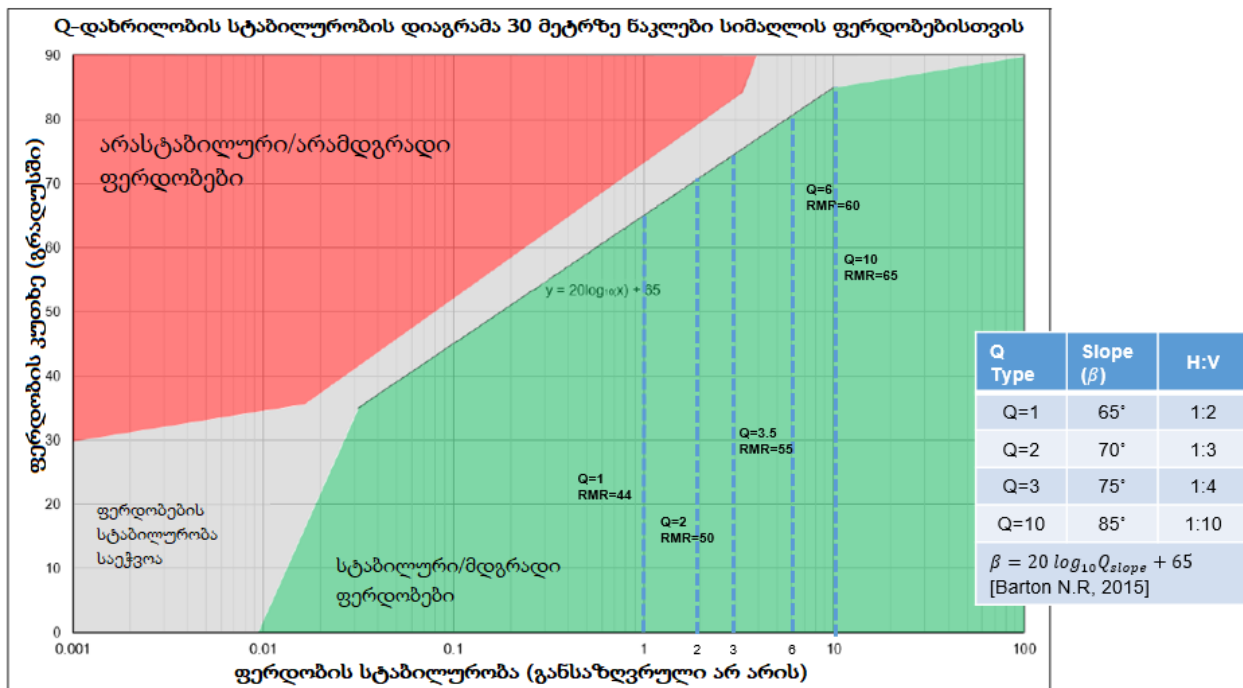
სურათი 6: კლდის ფერდობის ქანის ხარისხისა და ქანის ტიპის ურთიერთკავშირი

### 3.5.2 ჟერდობის ემპირიული პროექტირება Q-დახრილობის გამოყენებით

სამხრეთ-აღმოსავლეთ აზიაში, ავსტრალიაში, ცენტრალურ ამერიკასა და ევროპაში ჩატარებული კვლევების შედეგად მოპოვებული მონაცემებზე დაყრდნობით, Q-დახრილობასა და მრავალწლოვან სტაბილურ ჟერდობებს შორის მარტივი ურთიერთდამოკიდებულება იქნა გამოვლენილი. Q-დახრილობა ისეა პროექტირებული, რომ გვთავაზობს სტაბილურ ჟერდობთა კუთხეებს, რომლებიც დამატებით ტექნიკურ მხარდაჭერას არ საჭიროებს. მაგალითისთვის, 40-450, 60-650 და 80-850, შესაბამისი, დაახლოებით 0.1, 1.0 10-ის ტოლი Q-დახრილობის მნიშვნელობებით. ფაქტობრივად, როგორც RMR89, ისე Q-დახრილობა ერთიდაიმავე ჟერდის ქანობების გვაძლევს; ამგვარად, სიმარტივისთვის, ამ კონკრეტულ პროექტში RMR89 კლასიფიკაცია არის გამოყენებული. მე-6 სქემაში გამოყენებული ცალკეული Q მნიშვნელობები შეიძლება Q-ინტერვალებში  $Q' = e^{(RMR-44)/9}$  ფორმულის დახმარებით გადავიყვანოთ.

#### ემპირიული ჟერდობის ნახაზი მაგარი და რბილი ქანებისთვის Q-დახრილობის

ნიკ ბარტონი და ასოციაციები, ოსლო, ნორვეგია



სურათი 7: ემპირიული ჟერდობის დიაგრამა Q-ჟერდობის გამოყენებით

### 3.6 ადგილზე არსებულ ქანთა მასივების საინჟინრო მახასიათებლები

გასაყვანი გზის მარშრუტის კმ 25+380 - კმ 26+820 მონაკვეთის გეოტექნიკური მდგომარეობა, რომლებიც ტექტონკის, ქანების მასათა მახასიათებლებისა და გრუნტის წყლების მდგომარეობის თვალსაზრისიდან გამომდინარე განისაზღვრა, შემდეგია:

- გასაყვანი გზის მარშრუტი განლაგებულია ნამახვანის ანტიკლინის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ფრთაზე და ნაწილობრივ დინების წინააღმდეგ სინკლინის უბანზე. ქანების ფორმაცია ძირითადად შედგება ტუფური ქვიშაქვის საშუალო და სქელი ფენისგან, და ადგილებში მსხვილმარცვლოვანი ბრექჩიით გადაფარული მასიური ანდეზიტური პორფირიტებისგან.
- საშუალო და სქელი ტუფური ქვიშაქვის ფენების ტიპური გამოსავალი გამოკვეთილი შრეებრიობის სიბრტყეებით გვხვდება დინების წინააღმდეგ ქვედა ნამახვანის კაშხლის ტერიტორიაზე და ფორმაციის ყველა მასურ მახასიათებელს ავლენს.
- ზემოთ მოყვანილი დოკუმენტების სტრუქტურულ-გეოლოგიურ მონაცემებზე დაყრდნობით, რიონის ხეობის გასწვრივ არსებული გამოსავლები ზედმიწევნით იქნა შესწავლილი, ნამახვანის ანტიკლინის გაყოლებაზე და მომდევნო ჩრდილო-აღმოსავლეთის მიმართულებით გაგრძელებულ სინკლინზე არსებული შრეებრიობის სიბრტყეების ორიენტაციების განსაზღვრის მიზნით.
- ჭუთაისი-ალპანას არსებულ გზაზე შემჩნეული ზოგიერთი შენაკადები შიშველ ქანებზე მიეძინება. ოქ მხოლოდ მცირე ზომის კოლუვიური ნალექების უბნებია წარმოდგენილი, რომლებიც წარმოიშვა მაღლობიდან ჩამონატანი მსხვილმარცვლოვანი ბრექჩიიდან. ეს გვაფიქრებინებს, რომ გზის გაყოლებაზე არსებულ ზედა მაღლობებზე მხოლოდ მცირე რაოდენობის მსხვილმარცვლოვანი ბრექჩიაა წარმოდგენილი.
- უსაყვანი გზის მარშრუტთან დაკავშირებული საუკეთესო გეოტექნიკური მონაცემები მოიპოვება ჭუთაისი-ალპანას არსებული გზის გაყოლებით მიმდინარე და რიონის ხეობაში ჩამდინარე შენაკადებში. ომ შენაკადებზე დაკვირვებებმა გვიჩვენა, რომ ანდეზიტური პორფირიტიდან წარმოქმნილი კოლუვიური ნალექების სისქე საკმაოდ უმნიშვნელოა.



- ყველა შენაკადი, რომელიც არსებულ გზას კვეთს, გვამლევს საფუძველს ვივარაუდოთ, რომ გამდინარე წყალი წარმოიშობა უმაღლესი ზეგანების დილუვიური, პროლუვიური და კოლუვიური ნალექებისგან.

#### 4. ძხრილის კლდოვანი ფერდობის პროექტირება

##### 4.1 ემპირიულად დაპროექტებული კლდოვანი ფერდობები

ქუთაისი-ალპანას გზაზე წარმოებულ საველე დაკვირვებებზე დაყრდნობით, რომლებიც, საერთო სურათის შესაქმნელად, დანართებში [1&2] წარმოდგენილ გეოლოგიურ რუკებთან შეჯერებით განხორციელდა, მოხდა იმ ქანთა ფორმაციების ინტერპრეტაცია, რომლებიც სავარაუდოდ შეგვხდება პროექტის მიმდინარეობისას. შესაბამისად, გადასატანი გზის გასწვრივ გაჭრილი კლდის ფერდის ქანობები შეფასებულ იქნა შემდეგი ასპექტების გათვალისწინებით: (ა) ქანის ხარისხი GSI და RMR კლასიფიკაციების სისტემების მიხედვით და (ბ) განსაკუთრებით შრეებრიობის ზედაპირების ორიენტაცია სტრუქტურული გეოლოგიის ჭრილში. ქვემოთ მოკლედ არის აღწერილი შედარებით მაღალი კლდოვანი ფერდობების ეს გეოტექნიკური ინტერპრეტაცია.

##### (i) კმ 34+807 - კმ 35+200

ეს მონაკვეთი სოფელ მექვანაზე გადის და გრუნტის უდიდესი ნაწილი შედგება მთიდან წამოსული დილუვიური ნალექების აკუმულაციით შექმნილი ნიადაგოვანი მასისგან. გასაჭრელი ფერდობი განისაზღვრა ემპირიული გამოცდილების საფუძველზე.

გაჭრილი კლდის ფერდობის კოეფიციენტი  $\rightarrow 1:1$  (H:V)

##### (ii) კმ 35+200 - კმ 36+850

ქანის ტიპი (J2b2-5) & (J2b2-6): საშუალოდ დაშრევებული ტუფური ქვიშაქვა, შერეული ადგილებში მსხვიმარცვლოვანი ბრექჩიით გადაფარული ანტეზიტის პორფირიტთან.

შრეებრიობის ზედაპირების ორიენტაცია: სინკლინის სამხრეთ-დასავლეთ ფრთაზე მდებარე, მდინარის დინების მიმართულებით და დაახლოებით გზის მარშრუტის მიმართულებით 040/45 ორიენტაციით გადახრილი; ხელსაყრელი სტაბილურობისთვის.

GSI=55-60  $\rightarrow$  RMR=61-65: (კარგი ხარისხის ქანი)

გაჭრილი კლდის ფერდის ქანობი  $\rightarrow 1:3$  (H:V)

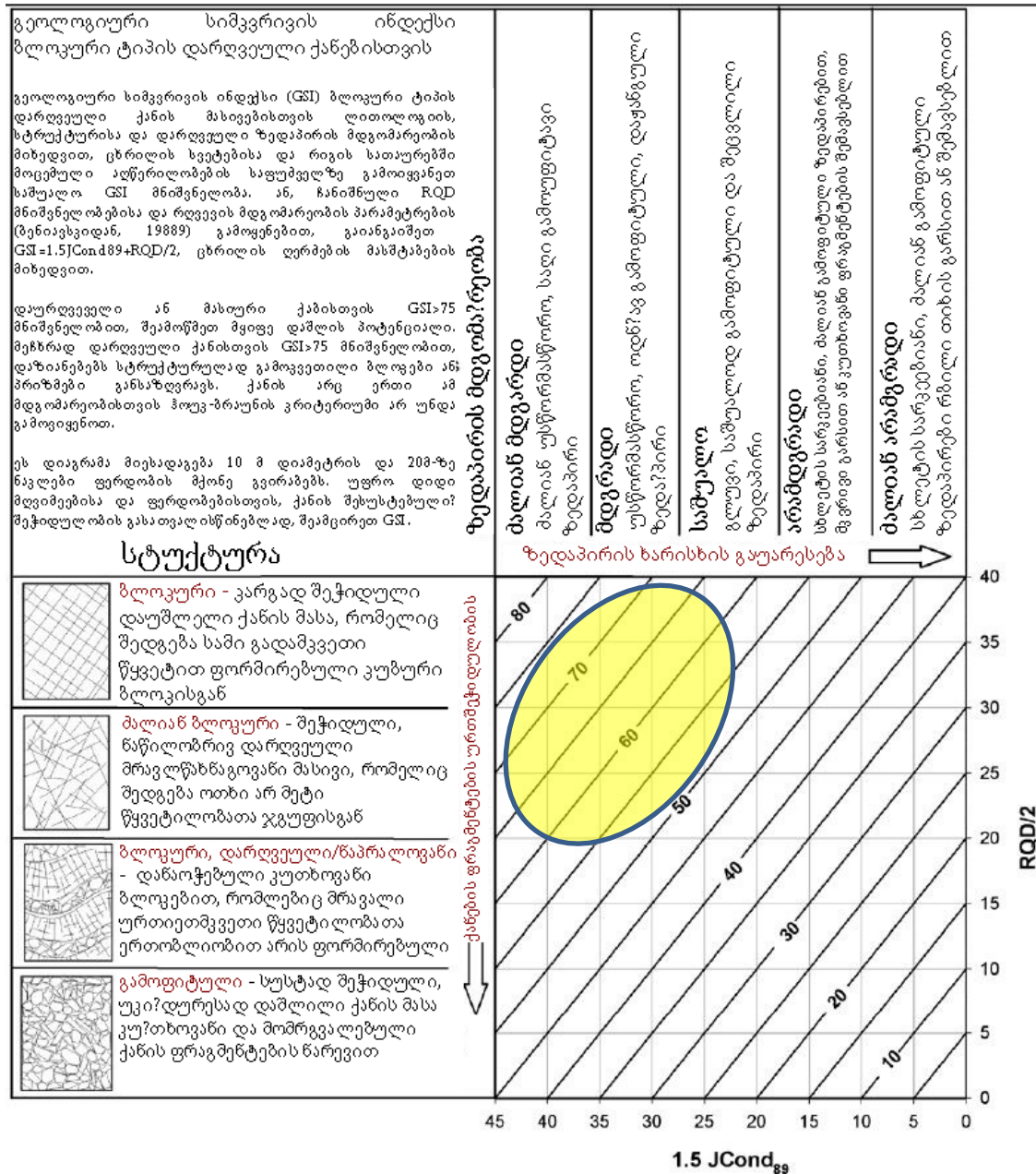
##### (iii) კმ 36+850 - კმ 37+000

ქანის ტიპი (J2b2-5) & (J2b2-6): საშუალოდ დაშრევებული ტუფური ქვიშაქვა, შერეული ადგილებში მსხვიმარცვლოვანი ბრექჩიით გადაფარული ანტეზიტის პორფირიტთან.

შრეებრიობის ზედაპირების ორიენტაცია: სინკლინის სამხრეთ-დასავლეთ ფრთაზე მდებარე, მდინარის დინების მიმართულებით და დაახლოებით გზის მარშრუტის მიმართულებით 040/45 ორიენტაციით გადახრილი; ხელსაყრელი სტაბლურობისთვის.

GSI=60-70 → RMR=65-75: (კარგი ხარისხის ქანი)

გაჭრილი კლდის ფერდის ქანობი → 1:3 (H:V)



რღვევის მდგომარეობის კლასიფიკაციის ცხრილი

რღვევის ხიზრბის (მედეგობის) კოეფიციენტი	<18 6	1-დან 3მ 4	3-დან 10მ 2	10-დან 20მ 1	20მ-ზე მეტი 0
გაგოფის (პერტურა) კოეფიციენტი	None 6	<0.1 მმ 5	0.1 - 1.0 მმ 4	1-5მმ 1	5მმ-ზე მეტი 0
ხორცილობის კოეფიციენტი	მალიან ხორცლიანი 6	ხორცლიანი 5	ოდნავ ხორცლიანი 3	გლუვი 1	სლიზინა 0
შეხების (პარდის თიხა) კოეფიციენტი	None 6	მყარი შემავსებელი <5მმ 4	მყარი შემავსებელი >5მმ 2	რბილი შემავსებელი <5მმ 1	რბილი შემავსებელი >5მმ 0
გამოფიტვის კოეფიციენტი	გამოფიტული 6	ოდნავ გამოფიტული 5	საშუალოდ გამოფიტული 3	მალიან გამოფიტული 1	დაშლილი 0

**სურათი 8:** ფორმაციების განზოგადოებული მთის მასივის ხარისხი, რაც GSI გრაფიკზე ნაჩვენებია გადატანილი გზის ამოთხრილ მთის ფერდობს შეადგენს



**სურათი 9:** ქუთაისი-ალპანას გზის ამჟამინდელი მდგომარეობა კმ 37+180 - კმ 37+380 მონაკვეთზე: აღსანიშნავია სინკლინის სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილზე, დინების საწინააღმდეგოდ გადახრილი შრეებრიობის ზედაპირების ორიენტაცია, რაც ძალზე ხელსაყრელ პირობებს ქმნის სტაბილურობისთვის.

#### (iv) კმ 37+000 – კმ 37+820

ქანის ტიპი (J2b2-5) & (J2b2-6): მძლარად დაშრევებული და მასიური ტუფური ქვიშაქვა, შერეული მასიურ ანდეზიტის პორფირიტებთან.

შრეებრიობის ზედაპირების ორიენტაცია: ანტიკლინის სამხრეთ-დასავლეთ ფრთაზე განთავსებული, დინების საწინააღმდეგოდ, დაახლოებით გზის პროფილის მიმართულებით 040/70 ორიენტაციით გადახრილი; ხელსაყრელი სტაბილურობისთვის. ამჟამად, მიუხედავად იმისა, რომ ფერდობების აგების დროს დაბალი ხარისხის ასაფეთქებელი ტექნოლოგიები იყო გამოყენებული, ჯერ კიდევ სტაბილურია, რაც მეტწილად გზის პროფილთან მიმართებით შრეებრიობის ზედაპირების ორიენტაციით არის განპირობებული (სქემა 10).

GSI=70-80→ RMR=75-85: (კარგი ან ძალიან კარგი ხარისხის ქანი)

გაჭრილი კლდის ფერდის ქანობი →1:5 (H:V)



(v) კმ 37+820 – კმ 38+150

ქანის ტიპი (J2b2-5) & (J2b2-6): საშუალოდ დაშრევებული ტუფური ქვიშაქვა, შერეული მასიურ ანდეზიტის პორფირიტებთან.

შრეებრიობის ზედაპირების ორიენტაცია: ანტიკლინის სამხრეთ-დასავლეთ ფრთაზე განთავსებული, დინების საწინააღმდეგოდ, დაახლოებით გზის პროფილის მიმართულებით 050/70 ორიენტაციით გადახრილი; ხელსაყრელი სტაბილურობისთვის.

GSI=50-55 → RMR=55-60: (საშუალოდ კარგი ხარისხის ქანი)

გაჭრილი კლდის ფერდის ქანობი → 1:2 (H:V)

შენიშვნა: ეს მონაკვეთი ადგილზე იქნება გამოკვეთილი, ფერდის ქანობის 1:2-1:3 (H:V) მნიშვნელობით ჩანაცვლების შესაძლებლობის დადგენის მიზნით.

(vi) კმ 38+150 – კმ 40+530

საველე დაკვირვებამ ცხადყო, რომ გრუნტი შედგება მთიდან წამოსული დილუვიური ნალექების აკუმულაციით შექმნილი ნიადაგოვანი მასისგან. გასაჭრელი ფერდობი განისაზღვრა ემპირიული გამოცდილების საფუძველზე.

გაჭრილი კლდის ფერდის ქანობი → 1:1 (H:V)

ამოთხრილი ფერდობი				
ინტერვალი კმ		ჩამოჭრილი ფერდობი (H/V)	მარცხ. ფერდობი	მარჯვენა ფერდობი
დაწყება	დასრულება		მაქს. სიმაღლე (მ)	
34+270	35+200	1/1	17,37	1,62
35+200	37+000	1/3	36,7	10,44
37+000	37+820	1/5	36,36	-
37+820	38+150	1/2	29,58	1,71
38+150	40+530	1/1	32,33	8,76

ნაპირების ინტერვალები			
ინტერვალი კმ		მარცხენა ნაპირი MaxH (m)	მარჯვენა ნაპირი MaxH (m)
38+890	38+990	4,35	19,32

სურათი 10: გასაჭრელი კლდის ფერდებისა და ყრილების კრიტიკული ინტერვალები



#### 4.2 გაჭრილი კლდის ფერდობის ანალიზი

კლდის გათხრის შედეგად წარმოქმნილ ფერდობებში, წყვეტილობების გასწვრივ (მაგ: შრეებრიობის ზედაპირები და ნაპრალები) შემდეგი სახის რღვევები შეიძლება წარმოიშვას:

- სიბრტყითი რღვევა
- ჩამოშლა
- სოლისებრი რღვევა

პროექტის ტერიტორია მდებარეობს დაახლოებით N-S მიმართული კომპრესიულ ტექტონიკურ ზონაში, რამაც ანტიკლინებითა და სინკლინებით გამოხატული ნაოჭა სერიების ფორმირება გამოიწვია. პროექტით გათვალისწინებული ყველა მაღალი კლდეების ჭრილი ნამახვანის ანტიკლინის ჩრდილოეთ ფრთაზე რჩება, სადაც შრეებრიობის ზედაპირები ან ძირითად ნაპრალთა რიგები გზის პროფილის თითქმის პარალელურად არის გადახრილი. სტრუქტურის ეს თავისებურება გვაძლევს საფუძველს ვივარაუდოთ, რომ „სიბრტყითი რღვევები, ჩამოშლები და სოლისებრი რღვევები“ შეიძლება მხოლოდ მცირე ადგილობრივი არასტაბილურობების სახით წარმოიშვას, რისი მოგვარებაც გამაგრებებით იქნება შესაძლებელი.

სიბრტყითი რღვევისა და ჩამოშლისთვის კინემატიკური ანალიზი ცალ-ცალკე განხორციელდა. რამდენადაც შერჩეულ განივი კვეთებში წყვეტები ძირითადად შრეებრიობის ზედაპირების სახით გვხდება, სოლისებრი რღვევის ჩამოყალიბების ალბათობა არ არსებობს, თუ არ ჩავთვლით უმნიშვნელო მცირე ადგილობრივ რღვევებს.

განხორციელდა ორი, 37მ და 36მ ინტერვალზე განლაგებული კრიტიკული კლდის ფერდობის ანალიზი. კინემატიკური ანალიზისთვის, ხახუნის 35°-იანი კუთხის სიდიდე იქნა შერჩეული. პრაქტიკული დაკვირვებებით, სიბრტყითი რღვევები წარმოიქმნება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ფერდობის გადახრის მიმართულებასა და ფერდობის პირის გადახრის მიმართულებას შორის კუთხე კონკრეტულ დიაპაზონშია მოქცეული. როგორც წესი, ემპირიულ გამოცდილებაზე დაყრდნობით, გამოიყენება 20-30 გრადუსს შორის მნიშვნელობები (გუდმანი 1980, ჰადსონი და ჰარისონი 1997).

### საწყისი მონაცემები:

შრეებრიობის ზედაპირების ორიენტაცია:

ნალექის ფენების ორიენტაცია:			
კმ	მაქსიმალური სიმაღლე	დახრილობის ზომა	დახრილობის მიმართულება
36+360	37	30	195
37+020	36	28	188

ამოჭრილი ფერდობის ორიენტაცია:

გათხრილი ფერდობის ორიენტაცია:			
კმ	მაქსიმალური სიმაღლე	ფერდობის ზომა	ფერდობის მიმართულება
36+360	37	60	125
37+020	36	78	140

ხახუნის კუთხე ( $\varphi$ ):

$$\varphi = 0.5 \times RMR + 5; (\varphi = 35^\circ)$$

შეჭიდულობა ( $c$ ):

$$c = 5 \times RMR \text{ (kPa)}; (c = 300 \text{ kPa})$$

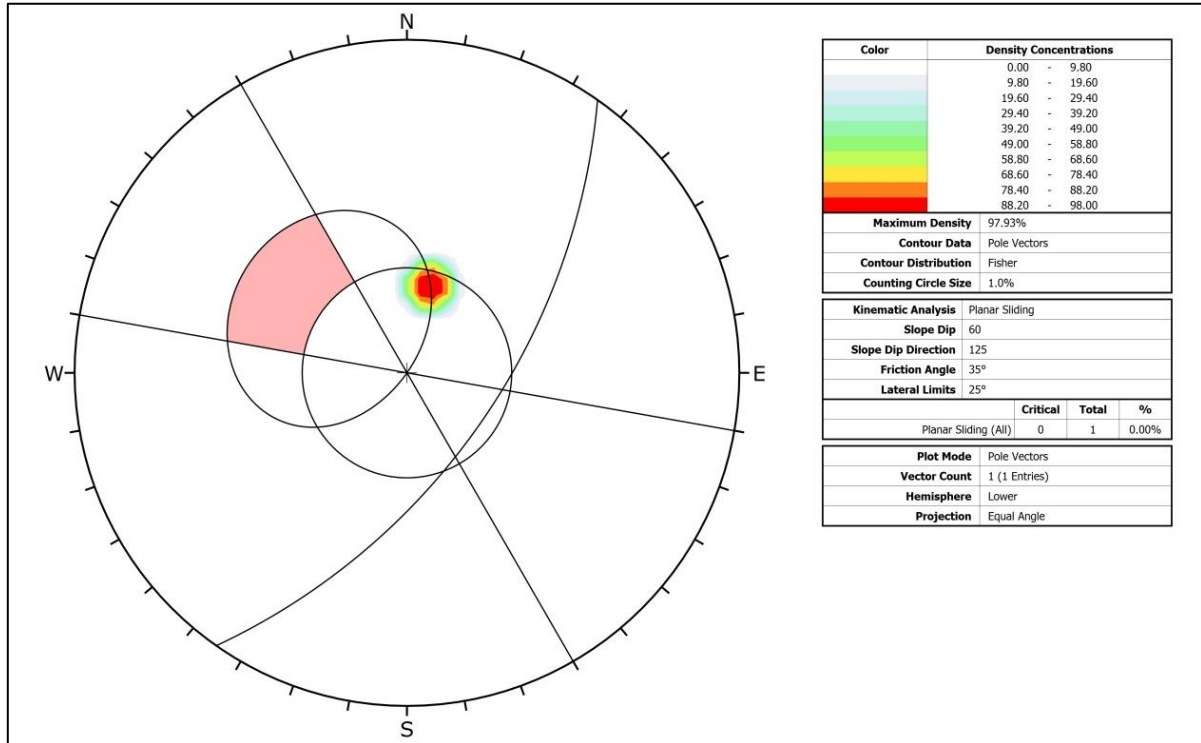
სიბრტყითი რღვევის ანალიზი

$$1) \Psi_f > \psi_p > \Phi \quad (\text{Eq. 1})$$

$$2) \alpha_p = \alpha_f \pm 25^\circ \quad (\text{Eq. 2})$$

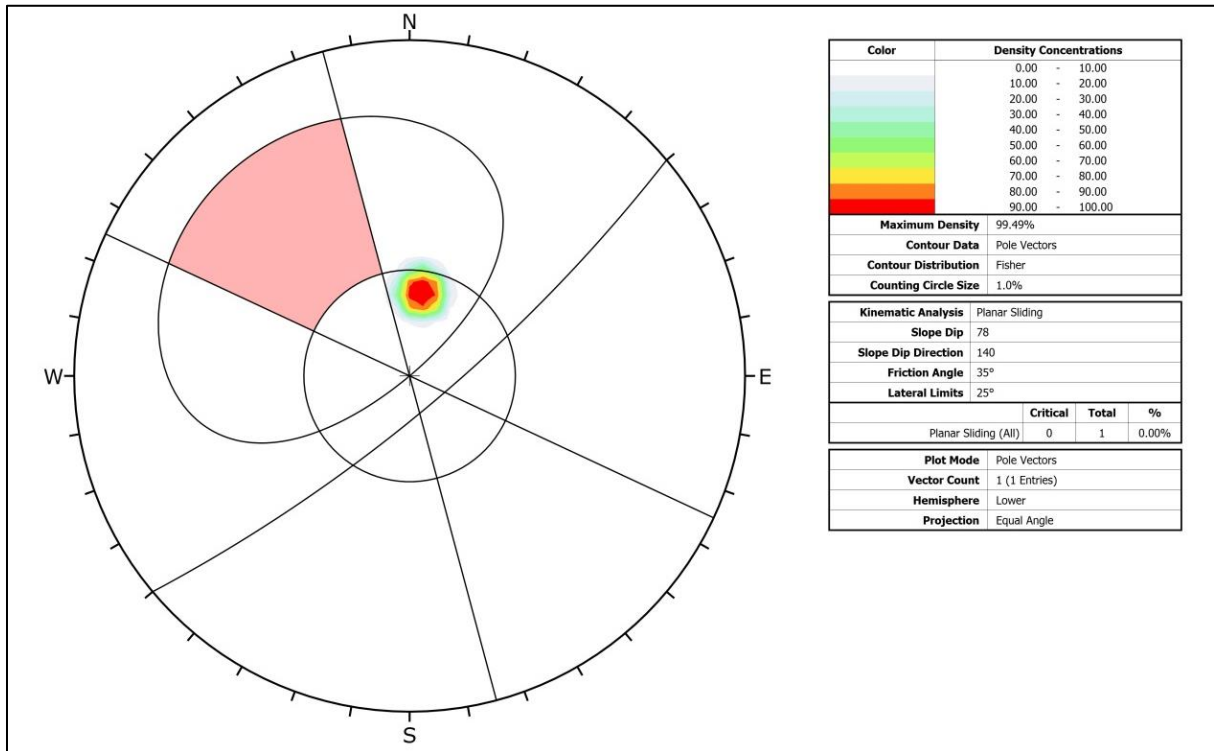
$\Psi_f$  = ფერდობის კუთხე;  $\psi_p$  = შეუსაბამობის დახრილობის კუთხე;  $\Phi$  = ხახუნის კუთხე;  $\alpha_p$  = შეუსაბამობის დახრილობის მიმართულება;  $\alpha_f$  = ფერდობის დახრილობის მიმართულება


ამ პირობების გათვალისწინებით, ფერდზე მოცემული შრეებრიობის ზედაპირების ორიენტაციისა და გამოკვეთილი ფერდის ქანობების პირობებში, არც ერთ კრიტიკულ კლდის ფერდზე სიბრტყითი რღვევა არ არის მოსალოდნელი.



ფერი	სიმკვრივის კონცენტრაცია		
	0.00	-	9.80
	9.80	-	19.60
	19.60	-	29.40
	29.40	-	39.20
	39.20	-	49.00
	49.00	-	58.80
	58.80	-	68.60
	68.60	-	78.40
	78.40	-	88.20
	88.20	-	98.00
მაქს. სიმკვრივე	97.93%		
კონტურის მონაცემები	პოლარული ვექტორები		
კონტურის განაწილება	ფიშერი		
თვლის წრის ზომა	1.0%		
კინემატიკური ანალიზი	სიბრტყითი ჩამოშლა		
ფერდობის ვარდნა	60		
ფერდობის ვარდნის მიმართულება	125		
ხახუნის კუთხე	35°		
ლატერალური ზღვრები	25°		
	კრიტიკული	სრული	%
პლანარული სრიალი (სულ)	0	1	0.00%
გრავიტის რეჟიმი	პოლუსური ვექტორები		
ვექტორის რაოდ.	1 (1 მნიშვნელობა)		
ნახევარსფერო	ქვედა		
პროექცია	ტოლი კუთხეები		

სურათი 11: კმ 36+360 მარცხენა ფერდობის სიბრტყითი რღვევის ანალიზი



ფერი	სიმკვრივის კონცენტრაცია	
	0.00	- 10.00
	10.00	- 20.00
	20.00	- 30.00
	30.00	- 40.00
	40.00	- 50.00
	50.00	- 60.00
	60.00	- 70.00
	70.00	- 80.00
	80.00	- 90.00
	90.00	- 100.00
მაქს. სიმკვრივე 99.49%		
კონტურის მონაცემები	პოლუსური ვექტორები	
კონტურის განაწილება	ფიშერი	
თვლის წრის ზომა	1.0%	

კინემატიკური ანალიზი	სიბრტყეობივი ჩამოშლა
ფერდობის ვარდნა	78
ფერდობის ვარდნის მიმართულება	140
ხახუნის კუთხე	35 <sup>o</sup>
ლატერალური ზღვრები	25 <sup>o</sup>

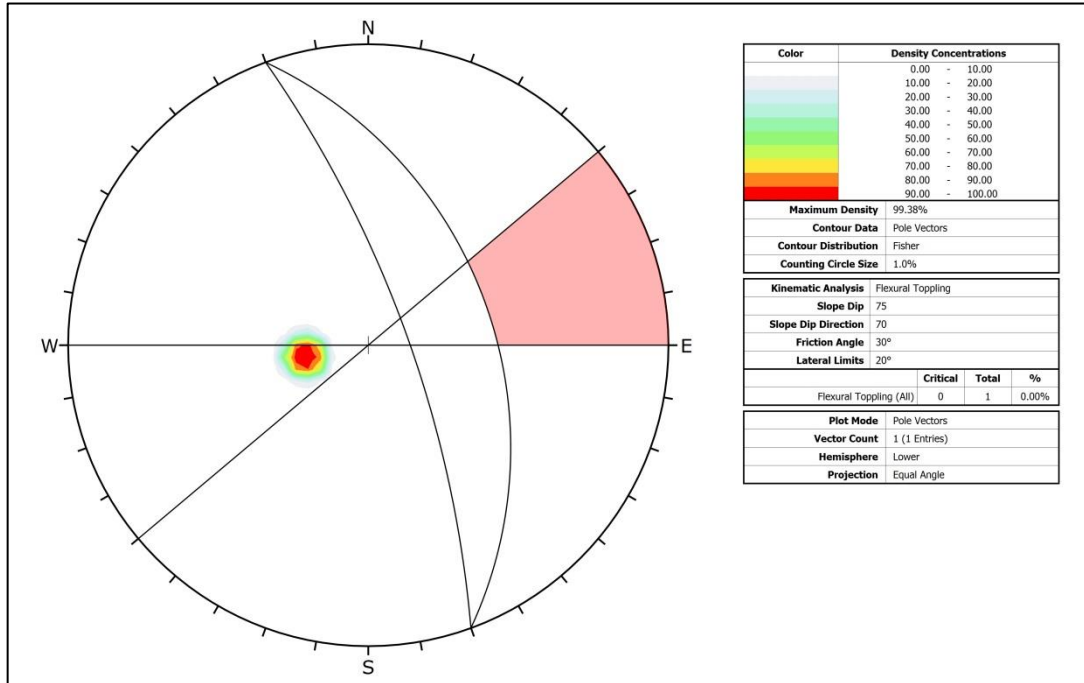
	კრიტიკული	სრული	%
პლანარული სრიალი (სულ)	0	1	0.00%

გრაფიკის რეჟიმი	პოლუსური ვექტორები
ვექტორის რაოდ.	1 (1 მნიშვნელობა)
ნახევარსფერო	ქვედა
პროექცია	ტოლი კუთხე

სურათი 12: კმ 37+020 მარცხენა ფერდობის სიბრტყითი რღვევის ანალიზი

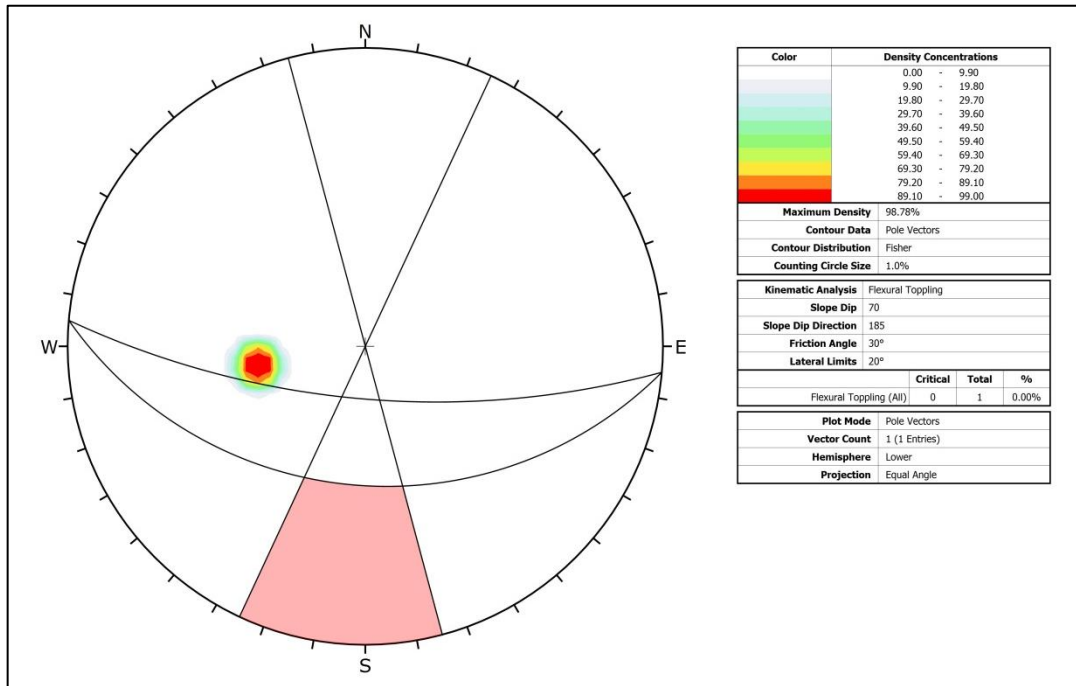
## ჩამოშლითი რღვევის ანალიზი

ჩამოშლითი რღვევის კინემატიკურმა ანალიზმა გამოავლინა, რომ არც ერთ კრიტიკულ ფერდობზე, რომლებიც გამოკვეთილი ფერდის ქანობითა და განშრეგების ორიენტაციით ხასიათდებიან, ჩამოშლითი ტიპის რღვევა მოსალოდნელი არ არის.



ფერი	სიმკვრივის კონცენტრაცია		
	0.00	-	10.00
	10.00	-	20.00
	20.00	-	30.00
	30.00	-	40.00
	40.00	-	50.00
	50.00	-	60.00
	60.00	-	70.00
	70.00	-	80.00
	80.00	-	90.00
	90.00	-	100.00
მაქს. სიმკვრივე		99.38%	
კონტურის მონაცემები		პოლუსური ვექტორები	
კონტურის განაწილება		ფიშერი	
თვლის წრის ზომა		1.0%	
კინემატიკური ანალიზი		ფლექსურული ჩამოშლა	
ფერდობის გარდნა		75	
ფერდობის გარდნის მიმართულება		70	
ხახუნის კუთხე		30°	
ლატერალური ზღვრები		20°	
		კრიტიკული	სრული
პლანარული სრიალი (სულ)		0	1
		%	
		0.00%	
გრაფიკის რეჟიმი		პოლუსური ვექტორები	
ვექტორის რაოდ.		1 (1 მნიშვნელობა)	
ნახევარსფერო		ქვედა	
პროექცია		ტოლი კუთხე	

სურათი 13: კმ 36+360 მარცხენა ფერდობის ჩამოშლითი რღვევის ანალიზი



ფერი	სიმკვრივის კონცენტრაცია		
	0.00	-	9.90
	9.90	-	19.80
	19.80	-	29.70
	29.70	-	39.60
	39.60	-	49.50
	49.50	-	59.40
	59.40	-	69.30
	69.30	-	79.20
	79.20	-	89.10
	89.10	-	99.00
მაქს. სიმკვრივე		98.78%	
კონტურის მონაცემები		პოლუსური ვექტორები	
კონტურის განაწილება		ფიშერი	
თვლის წრის ზომა		1.0%	
კინემატიკური ანალიზი		ფლექსურული ჩამოშლა	
ფერდობის ვარდნა		70	
ფერდობის ვარდნის მიმართულება		180	
ხახუნის კუთხე		30°	
ლატერალური ზღვრები		20°	
		კრიტიკული	სრული
პლანარული სრიალი (სულ)		0	1
		%	
		0.00%	
გრაფიკის რეჟიმი		პოლუსური ვექტორები	
ვექტორის რაოდ.		1 (1 მნიშვნელობა)	
ნახევარსფერო		ქვედა	
პროექცია		ტოლი კუთხე	

სურათი 14: კმ 37+020 მარცხენა ფერდობის ჩამოშლითი რღვევის ანალიზი



#### 4.3 ფერდობის დაცვის პროექტირება

როგორც მიწისქვეშა, ის ღია გათხრებისას, ტორკეტბეტონის, შტანგების და ფოლადის ბადის ან ფოლადის ბოჭკოს კომბინაციები დიდი წმატებით გამოიყენება. ღია გათხრებისას, ნახსენები კომბინაციის შემდეგი სახით გამოიყენება ყველაზე ეფექტური:

- შტანგები (გამაგრებული ან გამაგრების გარეშე) ( $s=1.5\text{მ}$ ) სპეციფიური დაშორებებითა და ( $L=4.0\text{მ}$ ) სიგრძის, ექვემდებარება გადახედვას გეოლოგიური პირობების მიხედვით.
- ტორკეტბეტონის ორი ფენა ( $7.5\text{სმ}+5.0\text{სმ}$ ) სისქის, არმირებული ფოლადის ბადით/ან ფოლადის ბოჭკოთი, ექვემდებარება გადახედვას გეოლოგიური პირობების მიხედვით.

უნდა აღინიშნოს, რომ მაქსიმალურად ეფექტური გამოყენებისთვის, გათვალისწინებული უნდა იყოს ფერდობებზე ატმოსფერული პირობების ზეგავლენა. ამ თვალსაზრისით ტორკეტბეტონის და ფოლადის ბადის ან ბოჭკოს გამოყენება უნდა მოხდეს: (ა) კლდის ყველა ზედაპირზე, ასევე ტერასებსა და (ბ) უნდა გასცდეს მოწინავე შტოლნს, რომელიც თხრილის თავში აიგება. ქვემოთ მოცემულია დაცვის ამგვარი საშუალებების ამსახველი მაღიან მაღალი გათხრების სამაგალითო ფოტოები.

#### 4.4 კონტურული აფეთქების მეთოდი

ქანების მდგომარეობა ცხადყოფს, რომ პროექტის ფარგლებში კლდეების გაჭრის უდიდესი ნაწილი „აფეთქებას“ საჭიროებს. საერთაშორისოდ აღიარებული ფაქტია, რომ “კონტურული” აფეთქების მეთოდი კლდის ფერდობების გაჭრისას შეუცვლელია იმისთვის, რომ უზურნვეყოფილ იქნას:

- მინიმალური რღვევები კლდის მასივში
- ქანების ზედაპირის სიგლუვე გრუნტის ზედმეტად მოცილების გარეშე
- გამაგრებების ნაკლები მოთხოვნილება

უნდა აღინიშნოს, რომ ერთიდაიმავე ქანის მასივზე, ქანური მასა ( $E_m$ ) განსხვავებული იქნება თანაფარდობით  $1:2.5$  იმის მიხედვით, გამოვიყენებთ კონტროლირებად აფეთქების მეთოდს ( $D=0.1$ ) თუ მაღიან დაბალი ხარისხის აფეთქებას ( $D=0.8$ ). ამის მსგავსად, ქანის მასივის სიმკვრივის პარამეტრებიც ( $c$  და  $\phi$ ) მნიშვნელოვანი ხარისხით განსხვავდება გამოყენებული აფეთქების მეთოდის შესაბამისად.

## 5. ჩაყარის ფუნდამენტის პრობები

გადასატანი გზის ამ მონაკვეთზე მხოლოდ ერთი ყრილია აღმოჩენილი დილუვიურ დეპოზიტებზე, რომელიც შედგება დაშლამული თიხის მასალაში შეცემენტებული რიყის ქვის ზომიდან ბლოკური ზომის კირქვის ფრაგმენტებისგან. თიხაც ასევე კირქვისგან წარმოიქმნა. უნდა აღინიშნოს, რომ დილუვიური ნალექები სამხრეთით მიმართული ქანური შლის პროდუქტია, სადაც იურული პერიოდის ქანებზე შეცოცებული უფრო ახალგაზრდა ცარცული კირქვის ფორმაციებზე ნაპრალები გაჩნდა.

## 6. დასკვნები და რეკომენდაციები

### 6.1 დასკვნები

რუსული პერიოდის განმავლობაში მნიშვნელოვანი ძალისხმევის შედეგად მომზადებული გეოლოგიური რუკების გათვალისწინებით, ასევე პროექტის მოცემულ ეტაპზე შემუშავებული კონცეპტუალური გეოტექტონიკური მოდელის საფუძველზე (ა) გათხრების შედეგად წარმოქმნილი ფერდობებსა და (ბ) 20მ-ის ტოლი ან უფრო მაღალი ნაყარების ფუნდამენტის პირობებთან დაკავშირებით შემდეგი დასკვნები იქნა გამოტანილი:

- პროექტის ტერიტორია მდებარეობს დედამიწის ერთ-ერთ ყველაზე აქტიურ ტექტონიკურ ზონაში, სადაც N-S მიმართულების შეკუმშვა ჯერ კიდევ მიმდინარეობს.
- პროექტის ტერიტორიაზე, N-S შეკუმშვა გამოიხატება ანტიკლინებისა და სინკლინების რიგებით. ამგვარად, ტერიტორია იმყოფება როგორც კომპრესიული, ისე მჭიმავი დამაბულობების ზემოქმედების ქვეშ, რაც დიდი ალბათობით ზოგ ადგილებში სუსტი ზონების გამომწვევი იქნება.
- პროექტის ტერიტორია შედგება იურული პერიოდის ვულკანოგენურ-დანალექი ქანებისგან, რომელიც ოკეანესა და ოკეანური ფილებს შორის საზღვართან დაკავშირებული კუნძულთარკალური ვულკანიზმის წარმოშობისაა.
- ამ ინტერვალში გასათხრელი ქანების ფერდობის უდიდესი ნაწილი შედგება ტუფოგენური ქვიშაქვისგან, ხოლო მცირე ნაწილი - ანდეზიტის პორფირიტებისგან. ამას გარდა, გადასატანი გზის მარშრუტზე აღმოჩენილ იქნა ფლიშის მსგავსი ფორმაციები.
- კლდეების ფერდობთა ემპირიული პროექტი ეფუძნება RMR<sub>89</sub> and Q-კლასიფიკაციების სისტემებს, ხოლო GSI სისტემა გამოყენებულია ქანების ფორმაციების ზოგადი ვიზუალური გამოსახვისთვის.
- პროექტირებისას გამოყენებულ იქნა „ქანების რღვევის კრიტერიუმზე“ (ე.ჰოუკი & ე.ტ. ბრაუნი, 1980) დაფუძნებული თხრილის ფერდის ქანობების ცხრილი.
- თვითოეული თხრილის ფერდობებისთვის განხორციელებულ იქნა კინემატიკური ანალიზი.
- თხრილის ფერდობის პროექტირების წარმატებისთვის გამოყენებული უნდა იქნეს „კონტურული აფეთქების მეთოდი“; წინააღმდეგ შემთხვევაში ქანის მასივი

შეიძლება მნიშვნელოვანწილად დაზიანდეს და გამყარების სერიოზული ღონისძიებები დასჭირდეს.

- იმ ფაქტის გათვალისწინებით, რომ ქანის მასივი კომპრესიული ტექტონიკის გამო არაერთგვაროვანია, კლდის ფერდობების ზოგიერთი მონაკვეთს შეიძლება დასჭირდეს გამაგრებები, ფოლადის ბადით და/ან ფოლადის ბოჭკოთი არმირებული ტორკეტბეტონისა და შტანგების გამოყენებით.
- მიუხედავად იმისა, რომ განისაზღვრა, რომ ნაყარების ფუნდამენტის გრუნტი წარმოადგენს ქანს, რომელიც სავარაუდოდ გადაფარულია კოლუვიური ნალექების თხელი ფენით, ეს საკითხი უნდა შემოწმდეს მშენებლობის მიმდინარეობისას და საჭიროების შემთხვევაში შესაბამისი ცვლილებები იქნეს შეტანილი.

## 6.2 რეკომენდაციები

პროექტის მშენებლობის ეტაპზე, რეკომენდირებულია ყურადღების გამახვილება შემდეგ გეოტექნიკურ საკითხებზე:

- მაღალი კლდის ფერდობებთან სიახლოვეს, პრაქტიკულად საგზაო ნაწილზე არაღრმა გათხრები მოგვცემს ფერდის ქანობების კუთხით ქანის ხარისხის შესახებ თავდაპირველ სურათს. რეკომენდირებულია გათხრების ამ ეტაპს მოყვეს ასაგები მაღალი ფერდობის მონაცემების შესაბამისი გადასინჯვა.
- ყრილების ფუნდამენტები მშენებლობის წარმოების პროცესში უნდა გადაისინჯოს გაბატონებული გეოლოგიური პირობების შესაბამისად.
- კონტურული აფეთქების მეთოდის გამოყენება აუცილებელია გაჭრილი კლდის ფერდობების სტაბილურობის უზრუნველსაყოფად.

თითოეული გაჭრილი კლდის პირის გეოლოგიურ რუკაზე მონიშვნა აუცილებლად უნდა დასრულდეს შემდგომი საფეხურის დამუშავების დაწყებამდე, რათა მოხდეს გასამაგრებელი სამუშაოების ჩატარების აუცილებლობის მყისიერი შეფასება და შესაბამისი ზომების მიღება.

## 7. გამოყენებული მასალა

ანგარიშის მომზადების პროცესში, დიდწილად შემდეგ მასალა იქნა გამოყენებული:

[1] რიონის კასკადის გეოლოგიური რუკა ნახ. N4001-3-13 თარიღი 1957 (მასშტაბი 1:2500).

[2] ნამახვანის ჰესების კასკადის გეოლოგიური რუკა, მასშტაბი: 50 000, ალექსანდრე ჯანელიძის გეოლოგიის ინსტიტუტი, დ. ზაქარაია, ი. შველიძე, 2008.

[3] კავკასიონის გეოლოგია: მიმოხილვა, შოთა ადამია, გურამ ზაქარიძე, თამარ ჩხოტუა, ნინო სადრაძე, ნინო წერეთელი, ალექსანდრე ჭაბუკიანი და ალექსანდრე გვენეტაძე, აპრილი 2011.

[4] სტრუქტურული გეოლოგიის ჟურნალი, აქტიური ტექტონიკური ინვერსია, სუფთა სხლეტის დანაოჭება და ზურგის შეცოცება რიონის აუზში, საქართველო, მ. ნოდია და სხვ., გეოფიზიკის ინსტიტუტი, მ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, 2017.

[5] პროექტი: ნამახვანის ჰესების კასკადის გეოლოგიური ანალიზი; ანგარიში No: 3; ანგარიშის სათაური: გეოლოგიური, გეოფიზიკური და გეოტექნიკური კვლევები; სათაური: საბოლოო ანგარიში, E.C Hydroprojekt International Limited (თარიღის გარეშე).

[6] ფაზა 2A – პროექტის მთავარი გეოლოგიური ანგარიში, ივლისი, 2015, SP Studio Pietrangeli Consulting Engineers.

[7] შპს გეოინჟინერია. საქართველოს ნამახვანის ჰესის საინჟინრო კვლევა, პროექტირება, მშენებლობა, გეოტექნიკური ანალიზი; ტექნიკური ანგარიში, თბილისი, საქართველო 2014.

[8] ბრიტანული სტანდარტი, BS 5930: 1999.

[9] ქანის მასების საინჟინრო კლასიფიკაცია გვირაბის გამაგრების პროექტირებისთვის, ნ. ბარტონი, რ.ლინი, ჯ.ლუნდე, 1974.

[10] ქანის მასივის რეიტინგის (RMR) სისტემა (გეომექანიკური კლასიფიკაცია) საინჟინრო პრაქტიკაში, ბინიავსკი. ზ.ტ., 1989.

[11] დარღვეული ბლოკური ქანის მასივის გეოლოგიური სიმკვრივის ინდექსი (GSI), (ჰოუკი, ე., კარტერი, ტ.ჯ., დიდერიქსი, მ.ს., 2013)

[12] [2] ქანის მასივის კლასიფიკაციის სისტემები, საიდ მუნთაზირ აბასი, (TU Bergakademia გეოტექნიკური ინსტიტუტი და პაშავარის უნივერსიტეტის გეოლოგიის განვითარების ეროვნული ცენტრი, 01 ნოემბერი 2017).

[13] აფეთქების შვედური მეთოდი, რენე გუსტაფსონი, გოტენბერგი, შვედეთი, სექტემბერი, 1973.

[14] გუდმანი რ.ე. 1980. ქანების მექანიკის შესავალი (თავი 8), ტორონტო: ჯონ უილი, გვ.254-287.

[15] ჰადსონი ჯ.ა. და ჰარისონი ჯ.პ. 1997. ქანების საინჟინრო მექანიკა - საფუძვლების შესავალი, პერგამონ პრესი.



## 8. შანართები

დანართი - 1: გზის გატანის გეგმა გეოლოგიის ჩათვლით

დანართი - 2: თხრილი ფერდობის ტიპიური გამაგრება

დანართი - 3: კრიტიკული განივი ჭრები

დანართი - 4: ჭაბურღილის დიაგრამები და სურათები