

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: 1.2em; font-weight: bold;">GE308</div>					
დოკუმენტის დასახელება: <div style="text-align: center; font-weight: bold;">             საინჟინრო-გეოლოგიური ანგარიში -              გზის გადატანის სამუშაოები              უბანი - 2              მონაკვეთი: კმ 25+380 – კმ 26+820           </div>					
დოკუმენტის ნომერი:		<div style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.1em;">GE308-203-DW-REP-GEO-00009</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	გამოცემულია გამოყენებისთვის	Mustafa Akıncı	Bülent Uygur	Nejat Demirörs

## სარჩევი

შესავალი:	4
1. მეთოდოლოგია: კონცეპტუალური მენტალური მოდელები:	5
1.1 გეოლოგია და კონცეპტუალური მენტალური მოდელირების არსი	5
1.2 ევოლუციის გეოდინამიკური მოდელი:	7
1.2.1 კუნძულთარკალური ეულკანი მი:	8
1.2.2 პროექტის ტერიტორიის სტრუქტურული ევოლუცია:	9
2. ზოგადი გეოლოგია	11
2.1 შუა იურული პორფირიტული სერიები:	11
3. საინჟინრო გეოლოგია	13
3.1 ქანების მასივების მახასიათებლები:	13
3.1.1 ქანების მასალათა თვისებები	13
3.1.2 ქანის მასური თვისებები	14
3.2 გრუნტის წყლების მდგომარეობა	15
3.2.1 ჰიდროგეოლოგიური ტერმინები	15
3.3 საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევები:	16
3.3.1. ზედაპირული კვლევები	16
3.4 ქანების მასივების კლასიფიკაციის ემპირიული სისტემები	16
3.4.1 ზოგადი მოსაზრებები	16
3.4.2 კორელაცია GSI, RMR და Q მნიშვნელობათა შორის:	20
3.5 ქანების ექსკავაციის შედეგად წარმოქმნილი ფერდობების ემპირიული პროექტირება	20
3.5.1 RMR კლასიფიკაციის სისტემა:	21
3.6 ადგილზე არსებულ ქანთა მასივების საინჟინრო მახასიათებლები	23
4. ჯმოთხრილი კლდის ფერდობის პროექტი	24
4.1 ემპირიულად დაპროექტებული კლდის ფერდობები:	24
4.2 ჯმოთხრილი კლდის ფერდობის ანალიზი	28
4.3 ფერდობის დაცვის მექანიზმი (თუ საჭიროა გეოლოგიური კონდიციების შესაბამისად)	33
4.4 დაშლამდე აფეთქების ტექნიკა	34
5. ცხრილის ფორმირების პირობები	34
6. ჯასკვნები და რეკომენდაციები:	36
6.1 დასკვნები:	36
6.2 რეკომენდაციები	37
7. ჯამოყენებული წყაროების ჩამონათვალი	38
8. ჯანართი:	40

## 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. ....	9
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; ამოღებულია საცნობარო დოკუმენტიდან [5]. ....	10
სურათი 3: პროექტის ტერიტორიის შუა იურული პერიოდის ქანების სვეტისებრი გეოლოგიური კვეთა. ....	12
სურათი 4: გენერალიზირებულია RMR კლასიფიკაციის პარამეტრებიდან. შენიშვნა: RMR89-ის შესწორებული ვერსიაში გრუნტის წყლები არის 15 (მშრალი), ხოლო ნაპრაღის ორიენტაციის კორექტირება 0 (ძალიან ხელსაყრელი). ....	18
სურათი 5: ქანებისა და ნაპრაღოვანი კლდის მასების დეფორმაციის პრინციპების მიახლოებული განტოლებები კლდის ფერდობების რუკებისთვის (ე. ჰოეკ და ე.ტ. ბრაუნ, 1980). ....	21
სურათი 6: გათხრილი კლდის ფერდობის დახრილობის მიხედვით კლდის ხარისხის შედარება კლდის სახეობასთან ....	22
სურათი 7: ემპირიული ფერდობის დიაგრამა Q-ფერდობის გამოყენებით. ....	23
სურათი 8: ფორმაციების განზოგადოებული მთის მასივის ხარისხი, რაც GSI გრაფიკზე ნაჩვენებია გადატანილი გზის ამოთხრილ მთის ფერდობს შეადგენს. ....	27
სურათი 9: ამოთხრილი ფერდობის კრიტიკული დახრა და ნაპირების ინტერვალები. ....	28
სურათი 10: კმ 26+060 მარცხენა ფერდობის პლანარული ჩამოშლის ანალიზი ....	31
სურათი 11: კმ 26+060 მარცხენა ფერდობის ამოყირავების ჩამოშლის ანალიზი ნაპრაღის ჩამოშლის ანალიზი. ....	32
სურათი 12: კმ 26 + 060 მარცხენა ფერდობის სოლების ჩამოშლის ანალიზი ....	33
სურათი 13: სურათის მარჯვენა ნაწილში გამოსახული საგები ქანი და ბრეჩიიდან წარმოქმნილი კაჟრის ზომის ფრაგმენტები ენაცვლება ანდეზიტურ პორფირიტს ....	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 25+380კმ - 26+820კმ.

გადასატანი გზის მეორე უბანთან დაკავშირებული 25+380-კმ-26+820 კმ მონაკვეთი ასევე მოიცავს ორ „გვირაბის გეოლოგიურ ანგარიშს“, ქვემოთ მოცემული კილომეტრაჟებით:

- გვირაბი-1 25+588კმ-25+710კმ
- გვირაბი-2 26+720კმ-26+805კმ

ღრივე გვირაბის გეოლოგიური ანგარიში მომზადებულია ცალ-ცალკე, შემკვეთისთვის წარსადგენად, მის მიერ შესწავლისა და დამტკიცების მიზნით. ორი გვირაბის ეს გეოლოგიური ანგარიშები წარმოდგენილია გზის გადატანის სამუშაოების გეოლოგიური ანგარიშის დანართების სახით.

ემ კონკრეტულ გეოლოგიურ ანგარიშში, ექსკავაციის შედეგად წარმოქმნილი ფერდობების და ნაყარის საძირკვლების 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, რომლებიც ღირებულ

ინფორმაციას გვაწვდის საპროექტო ტერიტორიის ქანების ტიპებსა და გეოლოგიურ სტრუქტურაზე.

- გეოტექნიკური მონაცემების საუკეთესო ნიმუშებზე დაკვირვება შესაძლებელია არსებული ქუთაისი-ალპანას გზებთან გამდინარე და შემდეგ რიონის ხეობაში ჩამდინარე შენაკადებში. აღნიშნულ 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.
- ზემოთ აღნიშნული დოკუმენტების სტრუქტურულ-გეოლოგიურ მონაცემებზე დაყრდნობით, რიონის ხეობის გასწვრივ გამოსავალი საგულდაგულოდ იქნა შესწავლილი ნამახვანის ანტიკლინის და შემდგომ ჩრდილო-აღმოსავლეთის მიმართულებით სინკლინის შრეებრიობის ზედაპირების ორიენტირებისთვის.
- საბოლოოდ, საერთაშორისოდ აღიარებული „ქანების მასივების ემპირიული კლასიფიკაციის“ საფუძველზე, შემუშავდა ექსკავაციის შედეგად ფორმირებული ფერდობების „ემპირიული პროექტი“.

## 1. შეთოდოლოგია: კონცეპტუალური მენტალური მოდელები

### 1.1 გეოლოგია და კონცეპტუალური მენტალური მოდელირების არსი

„დროისა 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 ვიზუალიზაციისთვის. 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 გამოსახულებას, ემპირიულ გამოცდილებას და სამეცნიერო და ტექნიკურ ინტუიციას.

#### **გ: მექანიკური ასპექტები**

კლდოვან ნიადაგზე 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-მშენებლობლების უმეტესობა სვეტური ბურღვის საფუძველზე აგებს მუშაობის მოდელს. თუმცა, ჩვენი მიდგომა, "მოდელირების" განმარტების გათვალისწინებით, გავრცელებული ტენდენციებისგან განსხვავებით, მდგომარეობს იმაში, რომ ჭაბურღილიდან აღებული 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 ვკვეცავთ.

## 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 პირდაპირ 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 დაგვჭირდება „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. ამ მიზნის მიღწევის ერთ-ერთი საშუალებაა „ტექტონიკური ფილების თეორიის“ გამოყენება, რომელიც სისტემის შესაბამისი ნაწილების ინტეგრაციის საშუალებას გვაძლევს. თავად ტექტონიკური ფილების თეორია „მაღალი დონის აბსტრაქტული აზროვნების“ გზით ჩამოყალიბდა. ამ თეორიის გამოყენება აუცილებლად მოითხოვს „ვიზუალურ გამოსახვას, ემპირიულ გამოცდილებას და მეცნიერულ ინტუიციას“.

როგორც 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. გვიან პროტეროზულ - ადრე კენოზურ პერიოდში, რეგიონი ტეთისის ოკეანეს და მისი ევრაზიისა და აფრიკა-არაბეთის საზღვრებს მიეკუთვნებოდა. აქ განვითარებული იყო „კუნძულთა რკალების, შიდა რკალური რიფტების, კუნძულთა რკალსუკანა აუზების“ სისტემა, რაც რეგიონის ევოლუციის კოლიზიამდელი ეტაპის მახასიათებლებია [4]. ტექტონიკური ფილების თეორიის თვალსაზრისით, პროექტის ტერიტორია მდებარეობს ტრანსკავკასიურ მასივში, რომელიც პალეოზოლური-ადრეული კაინოზოური ერის „კუნძულოვანი რკალის“ ოროგენეზისია. დიდი კავკასიონი, მეორე მხრივ, წარმოადგენს ნაოჭა-შეცოცებითი სტრუქტურის მქონე კონტინენტთაშორის მთათა სისტემას, რომელიც კოლიზიამდელი „რკალსუკანა აუზიდან“

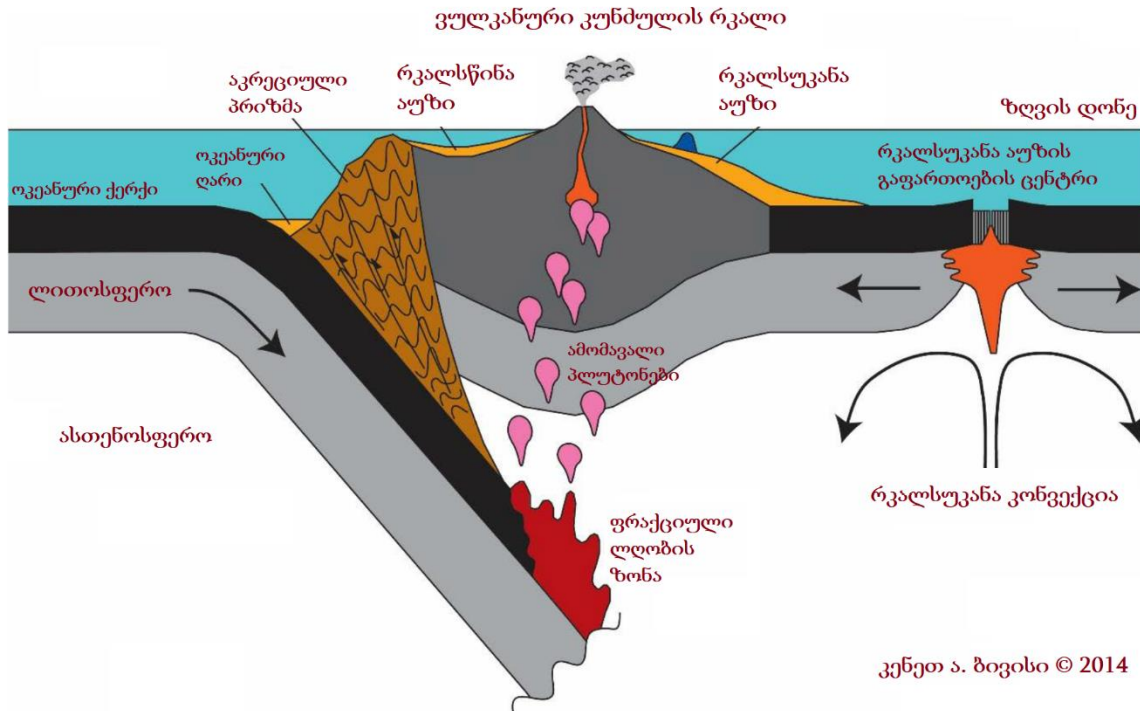
წარმოიშვა, აფრიკა-არაბეთის და ევრაზიის ლითოსფერული ფილების შეჯახების შედეგად. გვირაბის მშენებლობის ამ კონკრეტულ პროექტთან მიმართებით, გეოტექტონიკური ევოლუციის ორი ასპექტია საყურადღებო, როგორც ქვემოთ არის განხილული.

### 1.2.1 კუნძულთარკალური ვულკანი მი

კუნძულთა რკალები ორი ოკეანური ფილის შეჯახებისას (სადაც ერთი ოკეანური ფილა მეორე ოკეანური ფილის ქვეშ ექცევა) ფორმირდება, და შეცოცხებული ფილის ზემოთ ვულკანური კუნძულების ჯაჭვს ქმნის. ქვემოთ მოქცეული ფილა - ოკეანური ფილის განაპირა ნაწილი ქერქსა და ზედა მანტიაში ჩაძირვისას, ოკეანის ფსკერის გაფართოებით გამოწვეული წნეხის ზემოქმედებით, ლღობას 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, ამჟამად 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:** კუნძულთა რკალის ფორმაციაში მონაწილე ტექტონიკური ფილის სქემატური კვეთა; რკალსუკანა აუზი და გაფართოების ცენტრი, სადაც დიდი კავკასიონის ვულკანურ-სედიმენტური ქანების თავდაპირველი დალექვა მოხდა.

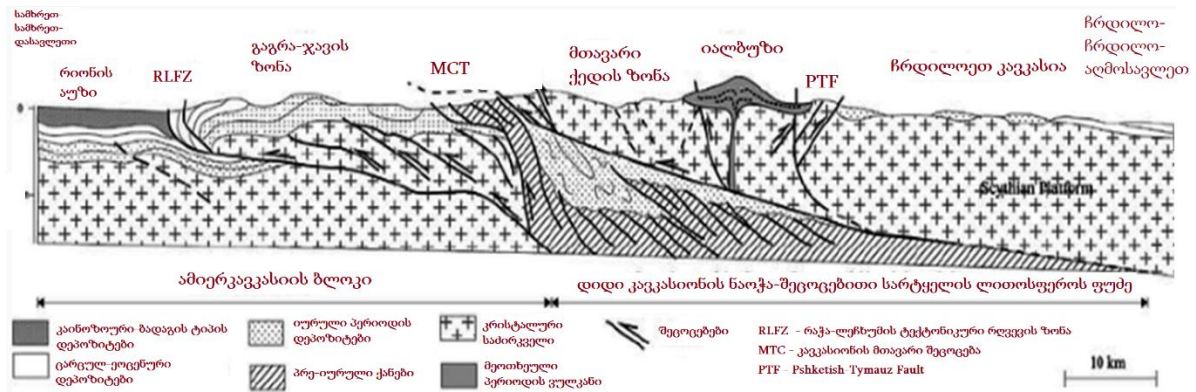
### 1.2.2 პროექტის ტერიტორიის სტრუქტურული ევოლუცია

დიდ და მცირე კავკასიონს შორის მდებარე რიონის აუზი, მიმდინარე ტექტონიკური ინვერსიის შესანიშნავი მაგალითია. რეგიონალური თვალსაზრისით, სტრუქტურულმა ინვერსიამ ტექტონიკური კუმშვის დროს კრისტალური ფუნდამენტის 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. გვირაბის გაყვანასთან მიმართებით, სამხრეთით მიმართული რეგიონალური ტექტონიკური მოძრაობის მნიშვნელოვანი სტრუქტურული ასპექტები შეიძლება შემდეგი სახით შევაჯამოთ:

- მთელი რიონის ხევის გასწვრივ განლაგებული კუნძულთარკალური წარმოშობის შუა იურული პერიოდის პორფირიტული

წყებებზე ნაოჭების გამოკვეთილი განვითარება, რაც ანტიკლინებითა და სინკლინებით არის გამოხატული.

- ასაგები გზის მონაკვეთი ნამახვანის ცნობილი ანტიკლინის ჩრდილო-სამხრეთის ფრთაზე გადის.



**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; ამოღებულია 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 შემოვლითი გზის მთავარ ქანს წარმოადგენს, დამუშავებულია საცნობარო დოკუმენტში [1&2]. აქედან გამომდინარე, მკითხველის კომფორტისთვის, ქვემოთ ნახაზი 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, მათ მოკლე აღწერილობით გამარტივებული ცხრილის სახით არის წარმოდგენილი (ნახაზი 3).

#### ა: ქვედა ბაიოსური წყება (J2b1)

პროექტის ტერიტორიაზე ქვედა ბაიოსური წყების მხოლოდ უკიდურესად ზედა შრე გამოდის ზედაპირზე და ანტიკლინისა და სინკლინის სტრუქტურის მქონე საგებ ქანს წარმოქმნის. ქანის ტიპური გამოსავალი შეიძლება ვნახოთ ლეხიდარის შენაკადსა და სოფელ ბენტქოულას 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, მიკრობრეჩიის, ტუფოგენური ქვიშაქვისგან, ზოგ შემთხვევაში, ავგიტისა და ლაბრადორიტის პორფირიტებით. განსაკუთრებით კარგად განვითარებული შრეებრიობის ზედაპირები გამორჩეული საშუალო ორიენტაციის მაჩვენებლებით - 050/45<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, მიკროზრექია, ტუფოგენური ქვიშაქვა, ადგილებში ავგიტ-ლაბრადორის პორფირიტებით

სურათი 3: პროექტის ტერიტორიის შუა იურული პერიოდის ქანების სვეტისებრი გეოლოგიური კვეთა

### 3. საინჟინრო გეოლოგია

ქანების მასივების საინჟინრო გეოლოგიური ქცევა ძირითადად განისაზღვრება (ა) ქანების მასივების დახასიათებით და (ბ) გრუნტის წყლებით. ეს ტერმინები მოკლედ არის განმარტებული ქვემოთ, ქანების მასივების ემპირიული კლასიფიკაციისთვის საჭირო სტრუქტურული საფუძვლის შექმნის მიზნით.

#### 3.1 ქანების მასივების 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, ნაპრალობა რაოდენობა, ორიენტაცია, ნაპრალობა 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 ელენიშნება. 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 მოცემული.

#### **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 შრეობიობის 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, ქანური მასალისა და ქანის მასური თვისებების აღწერისას გამოყენებულია “BS5930:1999, ISRM: 2014 და ქანების კლასიფიკაციის უნიფიცირებული სისტემა: 1984”.

### 3.2 გრუნტის წყლების მდგომარეობა

#### 3.2.1 ჰიდროგეოლოგიური ტერმინები

გვირაბის 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 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 შრეობიობის სიბრტყითა და ნაპრალებით და დამთავრებული უთანაბრო ნაპრალებით, რომლებიც საბოლოოდ დიდი ზომის სტრუქტურებს მოიცავს, როგორებიცაა ნაოჭები და ნაწევები. ამ წინაპირობების საფუძველზე, ზემოთ ჩამოთვლილი ჰიდროგეოლოგიური ტერმინები მოკლედ არის განმარტებული.

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

**Aquiclude/აკვიკლუდი:** გაუმტარი ფენა, რომელსაც არ შეუძლია მნიშვნელოვანი რაოდენობით წყლის გატარება (მაგ., ჰერილმარცვლოვანი 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. ჟშირ შემთხვევაში შიშველ ქანებზე მიედინება.

### 3.4 ქანების მასივების კლასიფიკაციის ემპირიული 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. ქოგორც 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. ოქედან გამომდინარე, გარდაუვალი გახდა შეგვეშვა ქანთა მასივების ქცევის გარკვეული ემპირიული მეთოდი, გვირაბისა და ექსკავაციის შედეგად წარმოქმნილი ფერდობების ემპირიული პროექტირების მიზნით.

ჯამდენადაც 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. უმრიგად, მოცემულ ანგარიშში, ჩვენი გეოტექნიკური კვლევები ორ კლასიფიკაციაზე დაყრდნობით განხორციელდება. ზერძოდ: 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 ინტერვალი

(iii) წყვეტილობების მდგომარეობა

(iv) გრუნტის წყლის პირობები

(v) წყვეტილობების ორიენტაციის რეიტინგის კორექტირება

უდსანიშნავია, რომ თავდაპირველი კლასიფიკაციის პარამეტრები სამუშაოების პრაქტიკული მიმდინარეობისას სწორდება, განსაკუთრებით GSI კლასიფიკაციაზე გადაყვანის უზრუნველსაყოფად. თავდაპირველი კლასიფიკაციის პარამეტრები წარმოდგენილია მე-4 ნახაზში ცხრილის სახით. ცხრილის ნაცრისფრად მონიშნულ ნაწილში სათაურით „გრუნტის წყალი და წყვეტილობების ორიენტაციის რეიტინგის კორექტირება“ წარმოდგენილი პარამეტრები 1989 წელს იქნა განახლებული და GSI კლასიფიკაციასთან შესაბამისია. ჩასწორების შედეგად, აქტუალური გახდა “RMR<sub>89</sub> “. ეს საკითხი შემდგომ იქნება დეტალურად განხილული.

გეომექანიკური კლასიფიკაციის სისტემა (ზინიასკის 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 უმჯობესია დაბალი ერთეობრივი 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	სხლუტის სარკვეები	რბილი შემცველი ქანი >5მმ		
			არა უწყვეტი	განცალკევება <1მმ	განცალკევება <1მმ	ან	სქელი		
			განშრევის გარეშე გამოუფრთხილებელი შემცველი ქანი	ოდნავ გამოფრთხილებელი შემცველი ქანი	ძალზე გამოფრთხილებელი 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. 50 მანძ.	10 სთ. 2.50 მანძ.	30 წელი 1მ მანძ.		
ქანების მასივის შეკიდულობა (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 შემაკვსებელი <5მმ	მკვრივი შემაკვსებელი >5მმ	რბილი შემაკვსებელი <5მმ	რბილი შემაკვსებელი >5მმ		
რეიტინგი			6	4	2	2	0		
გამოფრთხევა			გამოუფრთხივე	ოდნავ გამოფრთხილები	საშუალოდ გამოფრთხილები	ძლიერ გამოფრთხილები	დამოლილი		
რეიტინგი			6	5	3	1	0		
ვ. წვეტილობის გაგრძელებისა და დახრილობის ორიენტაციის ეფექტი გვირაბების გაყვანაში									
გვირაბის ღრძის პერპენდიკულარული დარტყმა					გვირაბის ღრძის 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:** გენერალიზირებულია RMR კლასიფიკაციის პარამეტრებიდან. შენიშვნა: RMR89-ის შესწორებული ვერსიაში გრუნტის წყლები არის 15 (მშრალი), ხოლო ნაპრალის ორიენტაციის კორექტირება 0 (ძალიან ხელსაყრელი).

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

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

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

$RQD$  = 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  $RMR_{89}$  და GSI კლასიფიკაციებიდან.

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

1980 წლებში, ჰოუკი და ბრაუნი „ქანის სიმტკიცის პარამეტრების“ მისაღებად  $RMR$  კლასიფიკაციას იყენებდნენ. თუმცა, პროცესში აღმოაჩინეს, რომ  $RMR_{89}$  არ მოიცავდა ქანების ყველა ტიპს, 1980 წლებში, ჰოუკი და ბრაუნი „ქანის სიმტკიცის პარამეტრების“ მისაღებად  $RMR$  კლასიფიკაციას იყენებდნენ. თუმცა, პროცესში აღმოაჩინეს, რომ  $RMR_{89}$  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

ჰოუკისა და ბრაუნის მიხედვით, (1997) კომპეტენტური ქანების მასივებისთვის ( $GSI > 25$ ,  $RMR > 23$ ), GSI მნიშვნელობა შეიძლება გამოითვალოს RMR-დან, როგორც:

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

ამ კორელაციაში RMR<sub>89</sub> ძირითადი RMR მნიშვნელობას წარმოადგენს (ბინიავსკის 1989 წლის ვერსია), სადაც გრუნტის წყლების რეიტინგი არის 15 (მშრალი), ხოლო ნაპრაღის ორიენტაციის კორექტირება 0 (ძალიან ხელსაყრელი).

დაბალი ხარისხის ქანების მასივებისთვის, GSI შეიძლება გამოითვალოს Q მნიშვნელობებიდან (ბარტონი და სხვ. 1974 წ.), შემდეგი თანაფარდობის გამოყენებით

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

$Q'$  = გვირაბის გაყვანის ხარისხის მოდიფიცირებული ინდექსი

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

თუმცა, ძალიან დაბალი ხარისხის ქანების მასივებისთვის ( $RMR < 25$ ), GSI მნიშვნელობათა შორის კორელაცია სანდო უკვე არ არის, ამგვარად, RMR კლასიფიკაცია ამგვარი ქანების მასივების GSI მნიშვნელობათა განსაზღვრისას არ უნდა გამოვიყენოთ (ჰოუკი და ბრაუნი, 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)  $RMR_{89} = 9 \ln(Q') + 44$  [გრუნტის წყლის რეიტინგი აღებულია (15) ხოლო უთანაბრობათა ორიენტაცია შემცირებულია (0)], სადაც:

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

### 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, ალვეროლიტი (თიხაფიქალი და ასპიდური ფიქალი (ნორმალური და კლივებით))	ქვიშიანი ქანები მკვრივი კრისტალური და სუსტად განვითარებული კრისტალური კლივებით ქვიშაქვა და კვარცხენები	წვრიმარცვლოვანი პოლიმინერალური ფულკანური კრისტალური ქანები ანდეზიტი, დოლორიტი, დი აბაზი და რიოლიტი	მსხვილმარცვლოვანი პოლიმინერალური ფულკანური და მეტამორფული კრისტალური ქანები ამფიბოლიტი, გაბრო, გნეისი, გრანიტი, ნორიტი, კვარცხენი დიორიტი
ძმურდეველი ქანების წიშუშები ლაბორატორიის ზომის ქანის წიშუშები, სტრუქტურული დეფექტების გარეშე CSIR რეიტინგი +100 NGI რეიტინგი 500	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{7\sigma_{2n} + 1.0}$ $\tau_n = 0.816(\sigma_n + 0.140)^{0.688}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{10\sigma_{2n} + 1.0}$ $\tau_n = 0.918(\sigma_n + 0.99)^{0.677}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{15\sigma_{2n} + 1.0}$ $\tau_n = 1.044(\sigma_n + 0.67)^{0.692}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{17\sigma_{2n} + 1.0}$ $\tau_n = 0.886(\sigma_n + 0.059)^{0.696}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{25\sigma_{2n} + 1.0}$ $\tau_n = 1.220(\sigma_n + 0.040)^{0.705}$
ბალოან მადლი ხარისხის ქანის მასივი მჭიდროდ შეკუმშული, დაუმუშავი ქანი, 1-3 მეტრით დაშორებული გამოვლენილი ნაპრალებით. CSIR რეიტინგი 85, NGI რეიტინგი 100	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{3.5\sigma_{2n} + 0.1}$ $\tau_n = 0.651(\sigma_n + 0.028)^{0.679}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{5\sigma_{2n} + 0.1}$ $\tau_n = 0.739(\sigma_n + 0.020)^{0.682}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{7.5\sigma_{2n} + 0.1}$ $\tau_n = 0.848(\sigma_n + 0.013)^{0.702}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{8.5\sigma_{2n} + 0.1}$ $\tau_n = 0.883(\sigma_n + 0.012)^{0.705}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{12.5\sigma_{2n} + 0.1}$ $\tau_n = 0.998(\sigma_n + 0.008)^{0.712}$
მადლი ხარისხის ქანის მასივი საღი და ოდნავ გამოვლენილი ქანი, მცირედით დაშლილი, 1-დან 3 მეტრამდე დაშორებული ნაპრალებით. CSIR რეიტინგი 65, NGI რეიტინგი 10	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.7\sigma_{2n} + 0.004}$ $\tau_n = 0.369(\sigma_n + 0.006)^{0.669}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{1.0\sigma_{2n} + 0.004}$ $\tau_n = 0.427(\sigma_n + 0.004)^{0.683}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{1.5\sigma_{2n} + 0.004}$ $\tau_n = 0.501(\sigma_n + 0.003)^{0.698}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{1.7\sigma_{2n} + 0.004}$ $\tau_n = 0.525(\sigma_n + 0.002)^{0.698}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{2.5\sigma_{2n} + 0.004}$ $\tau_n = 0.603(\sigma_n + 0.002)^{0.707}$
საშუალო ხარისხის ქანის მასივი რამდენიმე წებო ოდნავ გამოვლენილი დაუმუშავი ქანი, დაშლილი, 0.3-დან 1 მეტრამდე დაშორებული ნაპრალებით. CSIR რეიტინგი 44, NGI რეიტინგი 1.0	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.14\sigma_{2n} + 0.0001}$ $\tau_n = 0.198(\sigma_n + 0.0007)^{0.662}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.20\sigma_{2n} + 0.0001}$ $\tau_n = 0.234(\sigma_n + 0.0005)^{0.675}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.30\sigma_{2n} + 0.0001}$ $\tau_n = 0.280(\sigma_n + 0.0003)^{0.688}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.34\sigma_{2n} + 0.0001}$ $\tau_n = 0.295(\sigma_n + 0.0003)^{0.691}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.350 + 0.0001}$ $\tau_n = 0.346(\sigma_n + 0.0002)^{0.700}$
დაბალი ხარისხის ქანის მასივი დიდი რაოდენობით გამოვლენილი ნაპრალები 30-მ და 500მ-მდე დაშორებით. ამოვსებული ქანებით / სუფთა ფუჭი ქანი CSIR რეიტინგი 23, NGI რეიტინგი 0.1	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.04\sigma_{2n} + 0.00001}$ $\tau_n = 0.115(\sigma_n + 0.0002)^{0.646}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.05\sigma_{2n} + 0.00001}$ $\tau_n = 0.129(\sigma_n + 0.0002)^{0.655}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.08\sigma_{2n} + 0.00001}$ $\tau_n = 0.162(\sigma_n + 0.0001)^{0.672}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.09\sigma_{2n} + 0.00001}$ $\tau_n = 0.172(\sigma_n + 0.0001)^{0.676}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.13\sigma_{2n} + 0.00001}$ $\tau_n = 0.203(\sigma_n + 0.0001)^{0.686}$
ბალოან დაბალი ხარისხის ქანის მასივი დიდი რაოდენობით მადლი ხარისხის გამოვლენილი ნაპრალები 500მ-ზე მცირე დაშორებით. ამოვსებული ქანებით / ფუჭი ქანი მიწარეცხი CSIR რეიტინგი 3, NGI რეიტინგი 0.1	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.007\sigma_{2n} + 0}$ $\tau_n = 0.042(\sigma_n)^{0.534}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.010\sigma_{2n} + 0}$ $\tau_n = 0.050(\sigma_n)^{0.539}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.015\sigma_{2n} + 0}$ $\tau_n = 0.061(\sigma_n)^{0.546}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.017\sigma_{2n} + 0}$ $\tau_n = 0.065(\sigma_n)^{0.548}$	$\sigma_{1n} = \sigma_{2n} + \sqrt{0.025\sigma_{2n} + 0}$ $\tau_n = 0.078(\sigma_n)^{0.556}$

სურათი 5: ქანებისა და ნაპრალოვანი კლდის მასების დეფორმაციის პრინციპების მიახლოებული განტოლებები კლდის ფერდობების რუკებისთვის (ე. ჰოვ და ე.ტ. ბრაუნ, 1980).

#### 3.5.1 RMR კლასიფიკაციის სისტემა

ა: სიმტკიცის განმსაზღვრელი ძირითადი პარამეტრების ცხრილი დაურღვეველი ქანისთვის და ნაპრალოვანი ქანების მასივებისთვის

ე. ჰოვუმა და ე.ტ. ბრაუნმა შეიმუშავეს სიმტკიცის განმსაზღვრელი ძირითადი პარამეტრების ცხრილი დაურღვეველი ქანისთვის და ნაპრალოვანი ქანების მასივებისთვის, რომელიც იყენებს „ქანების სიმტკიცის ემპირიულ კრიტერიუმებს“ როგორც მიწისქვეშა, ისე ღია ექსკავაციების დროს (ნახაზი 6). მომდევნო წლებში ეს ცხრილი

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

### ბ: RMR-ის ცვლილება დახრის კოეფიციენტთან მიმართებით

როგორც გრაფა 7-შია მოცემული, ფერდობის ცხრილის ძირითადი კომპონენტებია ქანის ხარისხი და ქანის ტიპი. მიუხედავად იმისა, რომ ხარისხის მაჩვენებელი მხოლოდ CSIR (RMR) საფუძველზეა შეფასებული, პრაქტიკაში ხარისხობრივ-რაოდენობრივი ინტერვალები ძალიან მნიშვნელოვანია და შემდეგნაირად გამოიყენება: (ნახაზი 4)

ძალიან მაღალი ხარისხის ქანი:  $80 \leq RMR < 100$

მაღალი ხარისხის ქანი:  $60 \leq RMR < 80$

საშუალო ხარისხის ქანი:  $40 \leq RMR < 60$

საშუალო ხარისხის ქანი:  $20 \leq RMR < 40$

აღსანიშნავია, რომ ქანების მასივების თვისობრივი ასპექტები ვიზუალურ გამოსახავს მოითხოვს, რაც საუკეთესოდ არის გათვალისწინებული GSI ცხრილში. (ნახაზი 7)

ქანის თვისება			კარბონატული ქანები კარგად განვითარებული კრისტალური კლივაჟით			ლითონიფიციებული თიხიანი ქანები			ქვიშიანი ქანები მკვეთრი კრისტალუბით და სუსტად განვითარებული კრისტალური კლივაჟით			წვრიმარცვლოვანი პოლიმინერალური ველკანური კრისტალური ქანები			მსხვილმარცვლოვანი პოლიმინერალური ველკანური და მეტამორფული კრისტალური ქანები			
			დოლომიტი, კირქვა და მარმარილო			არგილიტი, ალვეროლიტი (თიხაფიქალი და ასპიდური ფიქალი (ნორმალური და კლივაჟით))			ქვიშაქვა და კვარციტები			ანდეზიტი,დოლოერიტი,დი აბაზი და რიოლითი			ამფიბოლიტი, გაბრო, გნეისი, გრანიტი, ნორიტი, კვარცული დიორიტი			
			ფერდობის სიმაღლე															
			50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150	
დაბრდველი ქანების ნიშნუბი ლაპორატორიის ზომის ქანის ნიშნუბი, სტრუქტურული დეფექტების გარეშე CSIR რეიტინგი +100 NGI რეიტინგი 500	წვლის ზემოქმედება	არა	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	
			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	
		არა	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	
			კი	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
		არა	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	
			კი	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
		არა	1:04	1:03	1:03	1:03	1:02	1:02	1:04	1:03	1:02	1:04	1:03	1:02	1:04	1:03	1:03	1:03
			კი	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
		არა	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	1:02	1:03	1:02
			კი	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	1:02	2:03
		ძალიან დაბალი ხარისხის ქანის მასივი დიდი რაოდენობით მაღალი ხარისხით გამოფიქტული ნაპრალები 5088-ზე მეტი დამორტყმული, ამოვსებული ქანებით / ფუჭი ქანი მინარკებით CSIR რეიტინგი 3, NGI რეიტინგი 0.1	არა	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
				კი	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

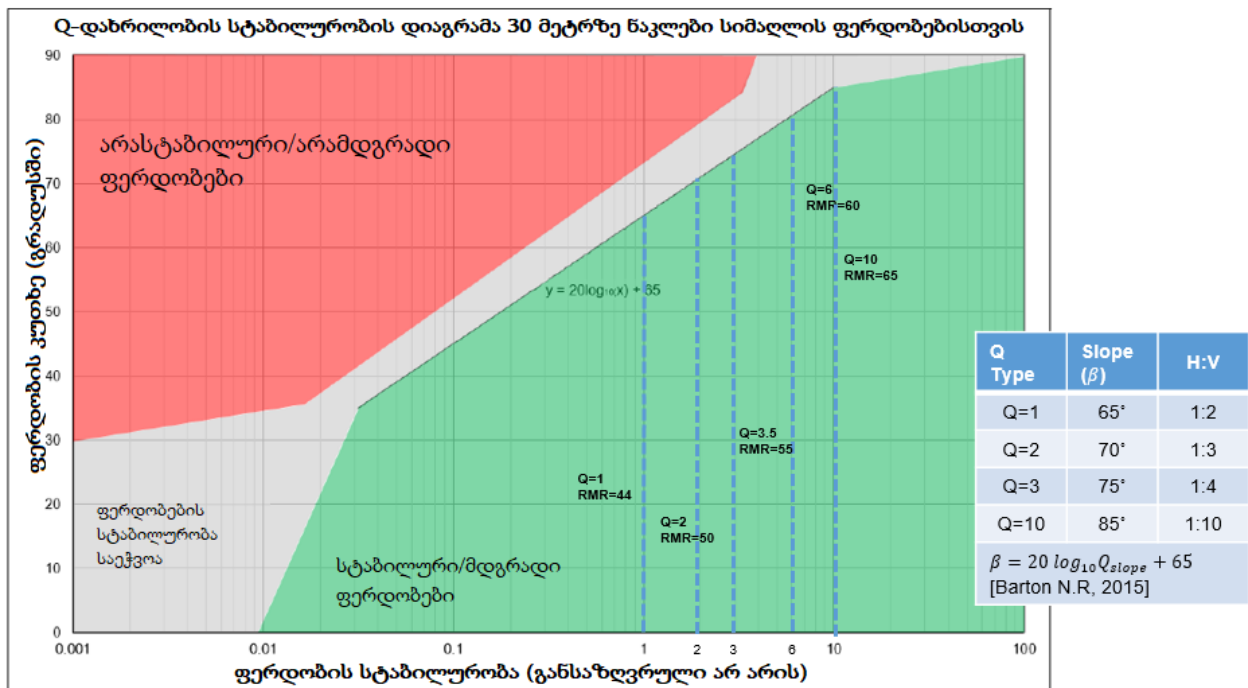
**სურათი 6:** გათხრილი კლდის ფერდობის დახრილობის მიხედვით კლდის ხარისხის შედარება კლდის სახეობასთან

სამხრეთ-აღმოსავლეთ აზიაში, ავსტრალიაში, ცენტრალურ ამერიკასა და ევროპაში ჩატარებული კვლევების შედეგად შეგროვებული მონაცემებზე დაყრდნობით, Q-

ფერდობსა და მრავალწლოვან სტაბილურ ფერდობებს შორის მარტივი ურთიერთდამოკიდებულება იქნა გამოვლენილი. Q-ფერდობის დახრის კუთხე სტაბილური უნდა იყოს და არ საჭიროებდეს დამატებით ტექნიკურ მხარდაჭერას. მაგალითისთვის, 40-45°, 60-65° და 80-85° და შესაბამისი, დაახლოებით 0.1, 1.0 10-ის ტოლი Q მნიშვნელობებით. ფაქტობრივად, როგორც RMR<sub>89</sub>, ისე Q-დახრილობა ერთიდაიმავე დახრის კოეფიციენტებს გვაძლევს; ამგვარად, სიმარტივისთვის, ამ კონკრეტულ პროექტში RMR<sub>89</sub> კლასიფიკაცია არის გამოყენებული. მე-7 გრაფაში გამოყენებული ცალკეული Q მნიშვნელობები შეიძლება Q-ინტერვალებში იქნეს გადაყვანილი,  $Q' = e^{(RMR-44)/9}$  ფორმულის დახმარებით.

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

ნიკ ბარტონი და ასოციაციები, ოსლო, ნორვეგია



სურათი 7: ემპირიული ფერდობის დიაგრამა Q-ფერდობის გამოყენებით

### 3.6 ადგილზე არსებულ ქანთა მასივების საინჟინრო მახასიათებლები

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

- გასაცვანი გზის მარშრუტი განლაგებულია ნამახვანის ანტიკლინის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ფრთაზე და ნაწილობრივ დინების წინააღმდეგ სინკლინის უბანზე. ქანების ფორმაცია ძირითადად შედგება ტუფური ქვიშაქვის საშუალო და სქელი ფენისგან, ზოგ შემთხვევაში გვხვდება მასიური ბრექჩიით გადაფარული ანდეზიტური პორფირიტი.
- საშუალო და სქელი ტუფური ქვიშაქვის ფენების ტიპური გამოსავალი გამოკვეთილი შრეებრიობის სიბრტყეებით გვხვდება დინების წინააღმდეგ ქვედა ნამახვანის კაშხლის ტერიტორიაზე და ფორმაციის ყველა მახასიათებელს გვიჩვენებს.
- 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 ორიენტაციისთვის.
- ქუთაისი-ალპანას არსებულ გზაზე შემჩნეული ზოგიერთი შენაკადები შიშველ ქანებზე მიედინება. აქ მხოლოდ მცირე ზომის კოლუვიური ნალექების უბნებია წარმოდგენილი, რომლებიც წარმოიშვა მაღლობიდან ჩამონატანი ბრექჩიიდან. ეს გვაფიქრებინებს, რომ გზის გაყოლებაზე არსებულ ზედა მაღლობებზე მხოლოდ მცირე რაოდენობის ბრექჩიაა წარმოდგენილი.
- გასაცვანი გზის მარშრუტთან დაკავშირებული საუკეთესო გეოტექნიკური მონაცემები მოიპოვება ქუთაისი-ალპანას არსებული გზის გაყოლებით მიმდინარე და რიონის ხეობაში ჩამდინარე შენაკადებში. ამ შენაკადებზე დაკვირვებებმა გვიჩვენა, რომ ანდეზიტური პორფირიტიდან წარმოქმნილი კოლუვიური ნალექების სისქე საკმაოდ უმნიშვნელოა.
- ყველა შენაკადი, რომელიც არსებულ გზას კვეთს, გვაძლევს საფუძველს ვივარაუდოთ, რომ გამდინარე წყალი წარმოიშობა უმაღლესი ზეგანების დილუვიური, პროლუვიური და კოლუვიური ნალექებისგან.

#### 4. წმოდხრილი კლდის ფერდობის პროექტი

##### 4.1 ემპირიულად დაპროექტებული კლდის ფერდობები

საველე სამუშაოებიდან გამომდინარე, რომლებიც ჩატარდა ქუთაისი-ალპანას არსებულ გზის მონაკვეთზე, რომელიც თანაფარდობაში მოდის ქვემოთ მოცემულ გეოლოგიურ

რუკებთან რათა დავინახოთ უფრო ფართო სურათი, კლდოვანი ფორმირებები რომლებიც მოსალოდნელი იყო რომ იქნებოდა აღმოჩენილი არის განმარტებული. შემდგომში აღმოჩენილი კლდის ფერდობის კოეფიციენტები გადაადგილების გზასთან ერთად არის შეფასებული შემდეგი მონაცემების გათვალისწინებით: ა) კლდის ხარისხი GSI და RMR სისტემების გათვალისწინებით ბ) მიმართულება, კემოდ კი ქანების, სტრუქტურული გეოლოგიის გათვალისწინებით. ქვემოთ არის მოცემული მცირე ინფორმაცია, რომელიც შეეხება აღმოჩენილი კლდის ფერდობის გეოტექნიკურ ინტერპრეტაციას.

**(i) კმ 25+380 – 25+550**

კლდის ტიპი (J2b2 5) & (J2b2 6): საშუალო ზომის ტუფის ქვიშაქვის ფენები შერეული ანდეზიტის პორფირიტთან და ზოგიერთ ადგილებში გადახურული ქვანახშირით.

ქანების მიმართულება: მდებარე ანტიკლინის კიდურის ჩრდილო-არმოსავლეთით, მიედინება რა ვერტიკალურად, მიმართულებით 050/40 გზის მოწყობის მიმართულებით; რაც ხელსაყრელია სტაბილურობისთვის.

GSI=50-60→; RMR=55-65: (საშუალოდ კარგი ხარისხის კლდე)

ამოთხრილი კლდის პროექტის კოეფიციენტი - 1:3 (H.V)

**(ii) კმ 25+550-კმ 25+850**

კლდის ტიპი (J2b2 5) & (J2b2 6): საშუალო ზომის ტუფის ქვიშაქვის ფენები შერეული ანდეზიტის პორფირიტთან და ზოგიერთ ადგილებში გადახურული ქვანახშირით.

ქანების მიმართულება: მდებარე ანტიკლინის კიდურის ჩრდილო-არმოსავლეთით, მიედინება რა ვერტიკალურად, მიმართულებით 045/45 გზის მოწყობის მიმართულებით; რაც ხელსაყრელია სტაბილურობისთვის.

GSI=60-70→; RMR=65-75: (საშუალოდ კარგი ხარისხის კლდე)

ამოთხრილი კლდის პროექტის კოეფიციენტი - 1:3 – 1:4 (H.V)

**(iii) კმ 25+850-კმ 25+115**

ქანების მიმართულება: მდებარე ანტიკლინის კიდურის ჩრდილო-არმოსავლეთით, მიედინება რა ვერტიკალურად, მიმართულებით 050/45 გზის მოწყობის მიმართულებით; რაც ხელსაყრელია სტაბილურობისთვის.

GSI=50-60→; RMR=55-65: (საშუალოდ კარგი ხარისხის კლდე)

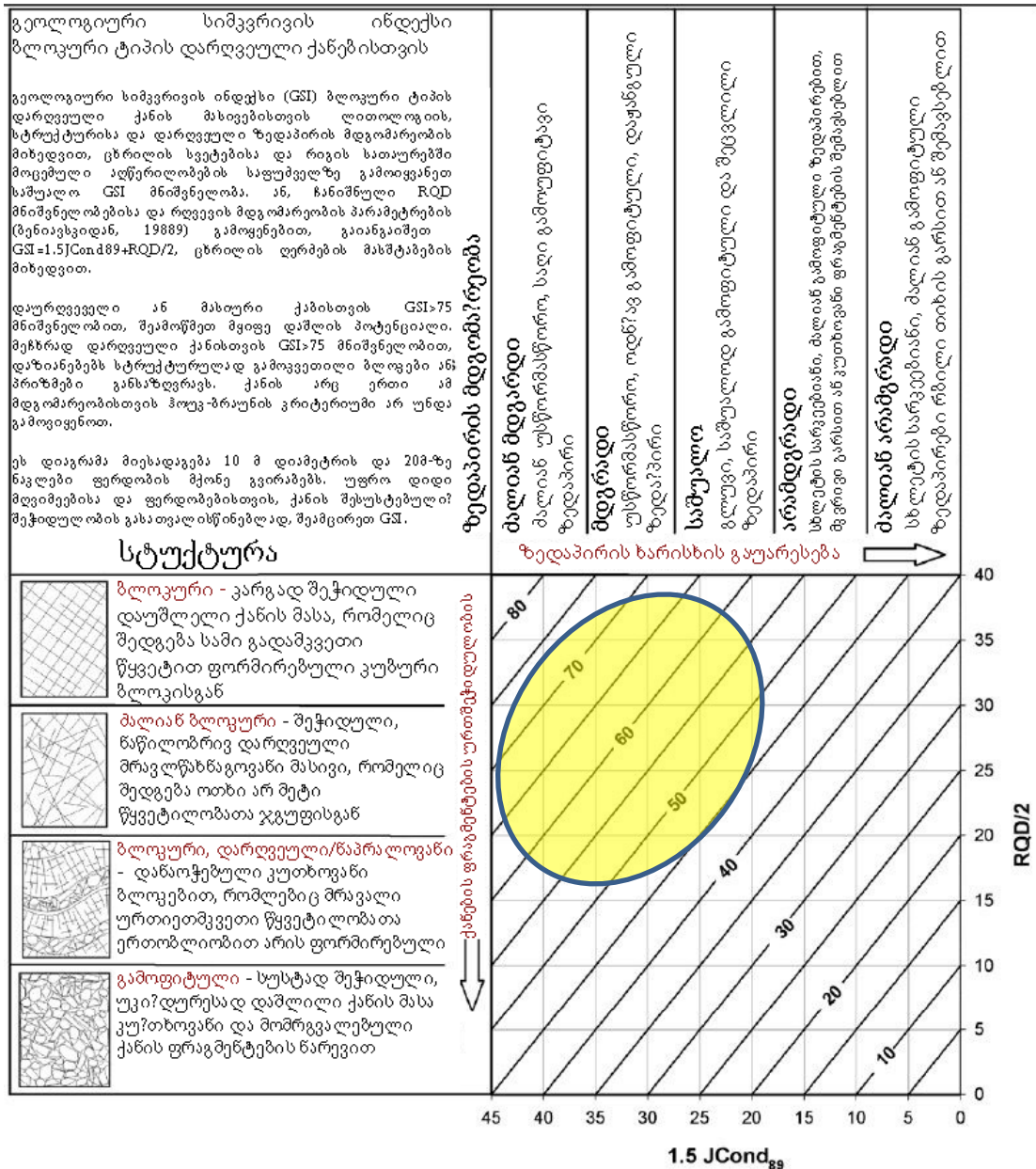
ამოთხრილი კლდის პროექტის კოეფიციენტი - 1:2 – 1:3 (H.V)

**(iv) კმ 26+115-კმ 26+820**

ქანების მიმართულება: მდებარე ანტიკლინის კიდურის ჩრდილო-აღმოსავლეთით, მიედინება რა ვერტიკალურად, მიმართულებით 050/45 გზის მოწყობის მიმართულებით; რაც ხელსაყრელია სტაბილურობისთვის.

$GSI=55-65 \rightarrow ; RMR=60-70$ : (საშუალოდ კარგი ხარისხის კლდე)

ამოთხრილი კლდის პროექტის კოეფიციენტი - 1:3 (H.V)



რღვევის მდგომარეობის კლასიფიკაციის ცხრილი

რღვევის სიგრძის (მედეგობის) კოეფიციენტი	<1მ	1-დან 3მ	3-დან 10მ	10-დან 20მ	20მ-ზე მეტი
გაყოფის (პერტურა) კოეფიციენტი	None	<0.1 მმ	0.1 - 1.0 მმ	1-5მმ	5მმ-ზე მეტი
ხორცოვანობის კოეფიციენტი	მალიან ხორცოვანი	ხორცოვანი	ოდნავ ხორცოვანი	გლუვი	სლიპინა
შევეების (მარღვის თიხა) კოეფიციენტი	None	მყარი შემავსებელი <5მმ	მყარი შემავსებელი >5მმ	რბილი შემავსებელი <5მმ	რბილი შემავსებელი >5მმ
გამოფიტვის კოეფიციენტი	გამოფიტვა	ოდნავ გამოფიტული	საშუალოდ გამოფიტული	მალიან გამოფიტული	დაშლილი

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

ამოთხრილი ფერდობი				
ინტერვალი კმ		ჩამოჭრილი ფერდობი (H/V)	მარცხ. ფერდობი	მარჯვენა ფერდობი
დაწყება	დასრულება		მაქს. სიმაღლე (მ)	
25+260	25+578	1/3	25,12	10,53
25+578	25+710	გვირაბი - 1		
25+710	25+850	1/3	19,44	18,27
25+850	26+115	1/2	37,46	2,57
26+115	26+330	1/3	30,28	-
26+330	26+470	1/4	14,82	-
26+470	26+560	1/3	28,63	9,45
26+560	26+700	1/2	14,18	-
26+700	26+720	1/3	7,89	8,48
26+720	26+805	გვირაბი - 2		
26+805	26+855	1/3	31,57	9,77

ნაპირების ინტერვალები			
ინტერვალი კმ		მარცხენა ნაპირი MaxH (m)	მარჯვენა ნაპირი MaxH (m)
26+190	26+270	1,09	24,83
26+640	26+690	8,09	27,45

სურათი 9: ამოთხრილი ფერდობის კრიტიკული დახრა და ნაპირების ინტერვალები

## 4.2 ლათხრილი კლდის ფერდობის ანალიზი

კლდის გათხრების დროს აღმოჩენილ ფერდობებში, ჩამოშლები ხშირად ვითარდება შეუსაბამობებთან ერთად შემდეგი ფორმებით:

- ფერდობის ჩამოშლა
- დაშლა
- ნაპრალის ჩამოშლა

პროექტის ადგილი მდებარეობს დაახლოებით N-S მიმართული კომპრესიულ ტექტონიკებში, რომელიც იწვევს გარკვეული ქანების წარმოშობას რაც გამოიხატება ანტიკლინებში და სინკლინებში.

ყველა მაღალი კლდის ნაწილები რომლებიც არის მიღებული მხედველობაში მდებარეობს ნამახვანის ანტიკლინის ჩრდილოეთ ფერდობზე. სადაც ციცაბო მდაბლობები ან ძირითადი ქანები მდებარეობს თითქმის გზის სავალი ნაწილების პარალელურად. ეს სტრუქტურული დამახასიათებელი ნიშანი გვთავაზობს, რომ ფერდობის ჩამოშლა, დაშლა და ნაპრალის შეიძლება მოხდეს ადგილობრივად უმნიშვნელო არასტაბილურობების სახით, რომლებიც შეიძლება გადაჭრილ იქნას დამატებითი ზომების მიღებით.

კინემატიკური ანალიზი ტარდება პლანარული, ჩამოშლითი და ნაპრალური ჩამოშლის მოვლენებისთვის ცალკე-ცალკე. რადგან ციცაბო მდაბლობი არ მდებარეობს აღნიშნულ მონაკვეთზე, არის 2 შეუსაბამობა რომელიც ვითარდება ზოგადი სტრუქტურული ტექტონიკის პერპენდიკულარულად. ამიტომ შეყვანილი მონაცემები შეიცავს იმ სტრუქტურის ზოგად მონახაზს, რომელიც აკონტროლებს ტერიტორიის მექანიზმს და იმ მოცემულ ორ შეუსაბამობას.

არის კრიტიკულად მნიშვნელოვანი გატხრების დროს აღმოჩენილი კლდის ნაწილი რომელიც იქნა გამოკვლეული და დადგინდა რომ არის 37.5 მ სიმაღლის. პრაქტიკაში გამოკვლევებმა დაადასტურა რომ პლანარული ჩამოშლები ხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ციცაბო მდაბლობის დახრის კუთხის მიმართულება არის განლაგებული გარკვეული კუთხით იმ კლდის მიმართ, რომელიც განლაგებულია დახრის მიმართულებით. ტიპიურად 20- დან 30 გრადუსამდე საზომი ერთეული გამოიყენება ემპირიულ გამოთვლებზე დაყრდნობით (გუდმანი 1980, ჰუდსონ და ჰარისონი 1997).შემავალი მონაცემები:

განსაკუთრებული ინტერესის არეში წყვეტების ორიენტაცია:

ფენების სიბრტყის ორიენტაცია			
კმ	მაქსიმალური სიმაღლე	ვარდნის ოდენობა	ვარდნის მიმართულება
26+060	38 მ	47	55
		77	320
		70	54

ამოთხრილი ფერდობის ორიენტაცია:

ამოთხრილი ფერდობის ორიენტაცია			
კმ	მაქსიმალური სიმაღლე	ფერდობის მოც	ფერდობის მიმართ.
26+060	38m	70	180

RMR is assumed as 60 to be on safe side

ხახუნის კუთხე ( $\varphi$ ):

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

შეჭიდულობა ( $c$ ):

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

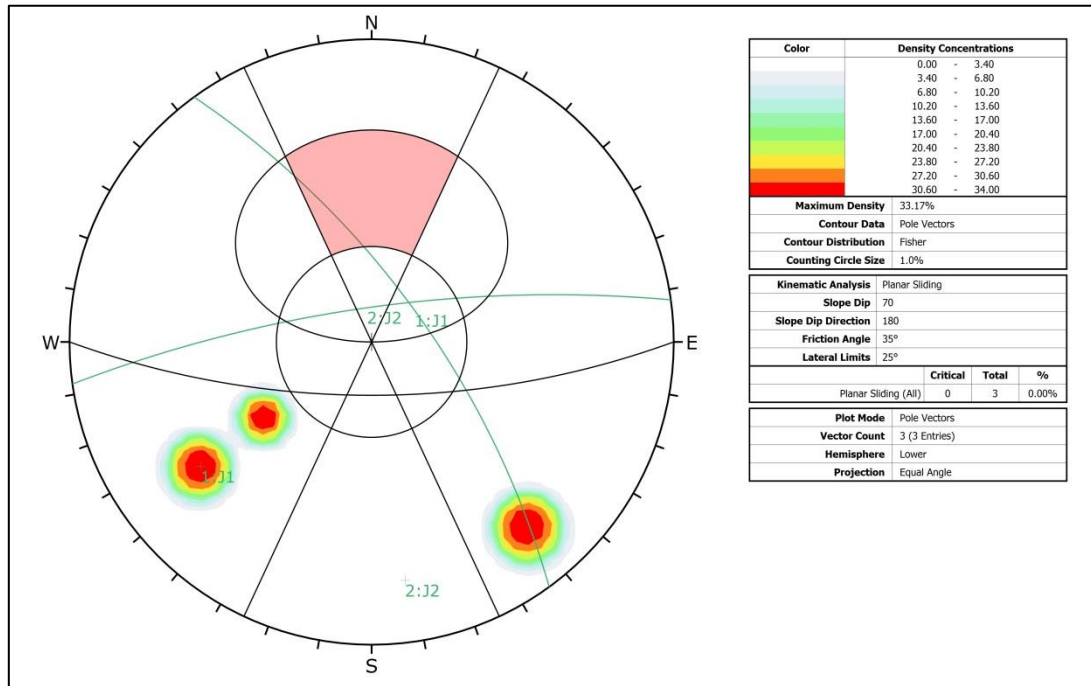
სლანარული ჩამოშლის ანალიზი

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

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

$\Psi_f$  = კლდის კუთხე;  $\psi_p$  = შეუსაბამობის დახრის კუთხე ;  $\Phi$  = ხახუნის კუთხე;  $\alpha_p$  = შეუსაბამობის დახრის მიმართულება;  $\alpha_f$  = კლდის დახრის მიმართულება).

ამ კონდიციების გათვალისწინების შედეგად არ ვიღებთ პლანარულ ჩამოშლას, მოცემულ ციცაბო მდაბლობის მიმართულებასა და განსაზღვრული ფერდობის კოეფიციენტთან ერთად ორივე გათხრების დროს აღმოჩენილ კრიტიკულად მნიშვნელოვან კლდის ფერდობზე.

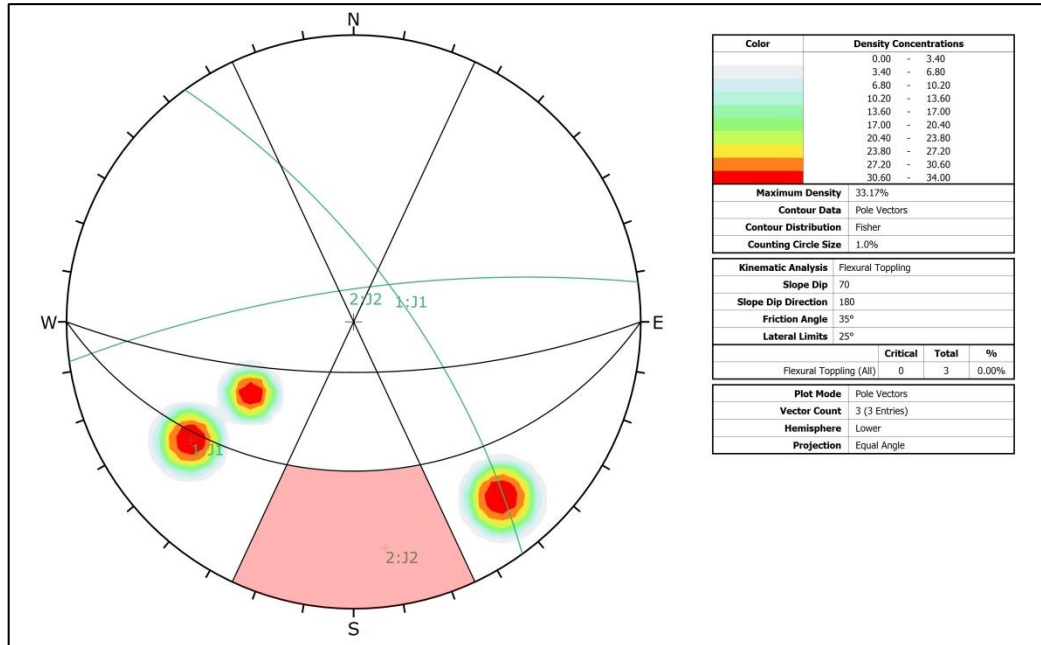


ფერი	სიმკვრივის კონცენტრაცია		
	0.00	-	3.40
	3.40	-	6.80
	6.80	-	10.20
	10.20	-	13.60
	13.60	-	17.00
	17.00	-	20.40
	20.40	-	23.80
	23.80	-	27.20
	27.20	-	30.60
	30.60	-	34.00
მაქს. სიმკვრივე	33.17%		
კონტურის მონაცემები	პოლარული ვექტორები		
კონტურის განაწილება	ფიშერი		
თვლის წრის ზომა	1.0%		
კინემატიკური ანალიზი	პლანარული სრიალი		
ფერდობის ვარდნა	70		
ფერდობის ვარდნის მიმართულება	180		
ხახუნის კუთხე	35°		
ლატერალური ზღვრები	25°		
	კრიტიკული	სრული	%
პლანარული სრიალი (სულ)	0	35	0.00%
გრაფიკის რეჟიმი	პოლარული ვექტორები		
ვექტორის რაოდ.	3 (3 შესვლა)		
ნახევარსფერო	ქვედა		
პროექცია	თანაბარი კუთხე		

სურათი 10: კმ 26+060 მარცხენა ფერდობის პლანარული ჩამოშლის ანალიზი

## ჩამოშლების ანალიზი

ჩამოშლების კინემატიკური ანალიზი გვამცნობს რომ ნაკლებია ალბათობა იმისა, რომ მოხდეს ჩამოშლა იმ კრიტიკულად მნიშვნელოვან გათხრების დროს აღმოჩენილ კლდის ფერდობებზე, განსაზღვრული კლდის ფერდობის კოეფიციენტის და დაბლობის მიმართულების გათვალისწინებით.

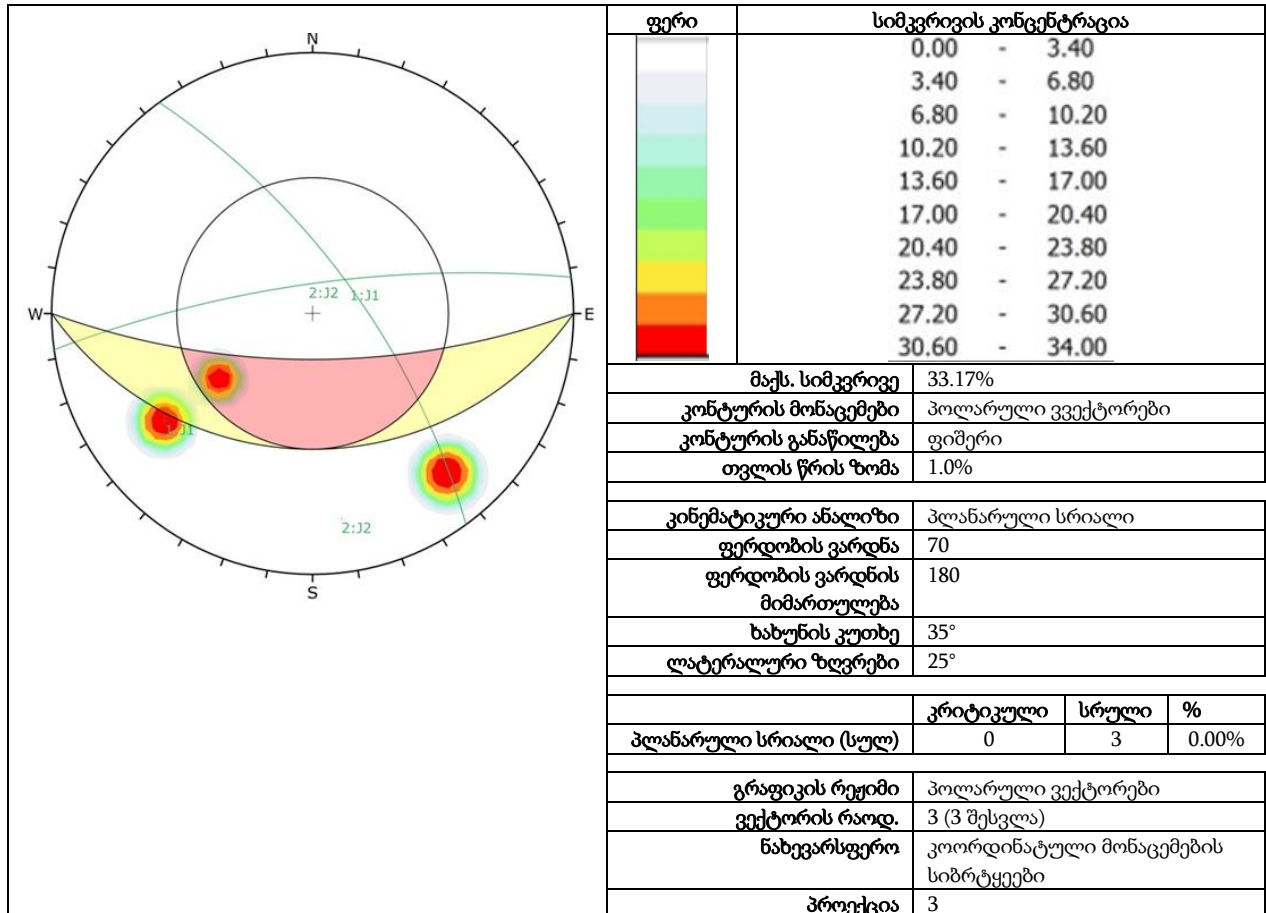


ფერი	სიმკვრივის კონცენტრაცია
	0.00 - 3.40
	3.40 - 6.80
	6.80 - 10.20
	10.20 - 13.60
	13.60 - 17.00
	17.00 - 20.40
	20.40 - 23.80
	23.80 - 27.20
	27.20 - 30.60
	30.60 - 34.00
მაქს. სიმკვრივე	33.17%
კონტურის მონაცემები	პოლარული ვექტორები
კონტურის განაწილება	ფიშერი
თვლის წრის ზომა	1.0%
კინემატიკური ანალიზი	პლანარული სრიალი
ფერდობის გარდნა	70
ფერდობის გარდნის მიმართულება	180
ხახუნის კუთხე	35°
ლატერალური ზღვრები	25°
	კრიტიკული სრული %
პლანარული სრიალი (სულ)	0 3 0.00%
გრაფიკის რეჟიმი	პოლარული ვექტორები
ვექტორის რაოდ.	3 (3 შესვლა)
ნახევარსფერო	ქვედა
პროექცია	თანაბარი კუთხე

სურათი 11: კმ 26+060 მარცხენა ფერდობის ამოყირავების ჩამოშლის ანალიზი

### ნაპრაღის ჩამოშლის ანალიზი

ჩამოშლების კინემატიკური ანალიზი გვამცნობს რომ ნაკლებია ალბათობა იმისა, რომ მოხდეს ჩამოშლა იმ კრიტიკულად მნიშვნელოვან გათხრების დროს აღმოჩენილ კლდის ფერდობებზე, განსაზღვრული კლდის ფერდობის კოეფიციენტის და დაბლობის მიმართულების გათვალისწინებით.



სურათი 12: კმ 26 + 060 მარცხენა ფერდობის სოლების ჩამოშლის ანალიზი

### 4.3 ფერდობის დაცვის მექანიზმი (თუ საჭიროა გეოლოგიური კონდიციების შესაბამისად)

როგორც მიწისქვეშა, ასევე ღია გათხრების დროს ძალიან წარმატებით გამოიყენება ტორკრეტირების, ანკერჰანჭიკისა და ფოლადის ბადი ან ფოლადის ბოჭკოს კომბინაცია. ღია გათხრების დროს ყველაზე ეფექტურად გამოიყენება შემდეგი კომბინაცია:

- ანკერჰანჭიკები (დაჭიმული ან დაჭიმვის გარეშე) განსაზღვრული ინტერვალით ( $s=2.0\text{მ}$ ) და სიგრძით ( $L=4.0\text{მ}$ ), რომლებიც იცვლება გეოლოგიური პირობების მოთხოვნის შესაბამისად

- როკრეტის ორი ფენა (7.5სმ+5.0სმ) სისქის, არმირებული ფოლადის ბადით/ან ფოლადის ბოჭკოთი, რომლებიც იცვლება გეოლოგიური პირობების მოთხოვნის შესაბამისად

შეგახსენებთ, რომ ყველაზე ეფექტური გამოყენება მოითხოვს ფერდობებზე ატმოსფერული პირობების თავიდან აცილებას. ამ თვალსაზრისით, ტორკრეტებისა და ფოლადის ბადო ან / ფოლადის ბოჭკოს გამოყენება უნდა მოიცავდეს: (ა) კლდის ყველა დარტყმის სიბრტყესა და საფეხურს, და (ბ) უნდა ფართოვდებოდეს გათხრების ყველა მაღალ წერტილში დამაგრებული საფეხურის უკან. ჭვემოთ მოცემულია ძალიან მაღალი გათხრების დროს მსგავსი ნიშნულების ზოგიერთი მაგალითის გამოყენების ტიპური ფოტო.

#### 4.4 დაშლამდე აფეთქების ტექნიკა

კლდის ზედაპირი მოითხოვს რომ კლდის ნაჭრების უმეტესობას, რომლებიც არის მიღებული მხედველობაში დაჭირდება „აფეთქება“. საერთაშორისოდ აღიარებული ფაქტია რომ „დაშლამდე“ აფეთქების ტექნიკა არის შეუცვლელი კლდის ფერდობებში ხვრელების ამოსაჭრელად რათა შენარჩუნებულ იქნას:

- მინიმალური რღვევები კლდის მასებში
- კლდის ნაწილის სიგლუვე გარეგნული იერსახის შენარჩუნებით
- დამხმარე საშუალებების ნაკლები მოთხოვნილება

აღსანიშნავია რომ კლდის მასის დეფორმაციის მოდული ( $E_m$ ) განსხვავდება 1:2.5 კოეფიციენტისგან როდესაც კლდის მასა არის ამოთხრილი კონტროლირებადი ( $D=0.1$ ) და სუსტი სიძლიერის ( $D=0.8$ ) აფეთქებებით. შესაბამისად კლდის ფერდობის სიძლიერის პარამეტრები ( $c$  და  $\phi$ ) არსებითად განსხვავდება გამოყენებული აფეთქების ტექნიკიდან გამომდინარე.

### 5. წხრილის ფორმირების პირობები

გზის ამ მონაკვეთზე ძირითადად ოთხი თხრილი გვხვდება 20 მეტრის სიმაღლის  $h \geq 20m$ ; ქვემოთ მათი ფორმირების პირობები არის წარმოდგენილი. აღსანიშნავია რომ გარემოებითი ინტერპრეტაციები ექვემდებარება გადასინჯვას მშენებლობის ადგილზე აღმოჩენილი გარემოებების შესაბამისად.

**კმ 26+200-კმ 26+270**

თხრილი რომელიც მდებარეობს მცირე ზომის ბორცვზე, რომლის გარჩევაც შეუძლებელია ქუთაისი ალპანას მაგისტრალზე და რომლის საძირკველი სავარაუდოდ არის ეროზიის გამძლე. ეს მტკიცებულება გულისხმობს თხრილის ფუნდამენტში კოლუვიურ დანალექებს დაახლოებით 1-2 მ სისქის, რომლებიც შეიძლება ფარავდეს ქანებს.

**კმ 26+640-კმ 26+690**

როგორც მოცემულია 13 ფოტოზე, შენაკადი სადაც საყრდენი მდებარეობს ჩაედინება არსებულ კლდეზე და და ახეთქებს წამოღებულ რიყის ქვებს ბლოკის ზომის კლდის ფრაგმენტებს, რომელიც წარმოიშობა ვულკანური კლდეების ნაგროვი მასა. ეს მტკიცებულება გვთავაზობს რომ შენაკადის საყრდენში თხრილის დონეზე 2-3მ კოლუვიური დანალექები შეიძლება წარმოიქმნას.



**სურათი 13:** სურათის მარჯვენა ნაწილში გამოსახული საგები ქანი და ბრეჩიიდან წარმოქმნილი კაჟრის ზომის ფრაგმენტები ენაცვლება ანდეზიტურ პორფირიტს

## 6. შასკვნები და რეკომენდაციები

### 6.1 დასკვნები

იმ გეოლოგიური რუკების, რომელებიც მომზადებულია შრომატევადი მუშაობის შედეგად რუსეთის პერიოდში და გეოტექნიკური კონცეპტუალური მოდელის, რომელიც დაარსებულია პროექტის ამ ეტაპზე, გათვალისწინებით შემდეგი დასკვნები შეიძლება იქნას გამოტანილი (ა) ამოთხრილი კლდის ფერდობის ფორმასთან და (ბ) თხრილის საძირკველის კონდიციასთან სიმაღლით 20მ.

- პროექტის არეალი მოიცავს დედამიწის ერთ-ერთ ყველაზე ტექტონურ ზონას, სადაც N-S მიმართული შეკუმშვა ჯერ კიდევ მოქმედებს.
- პროექტის არეალში N-S ტექტონიკური შეკუმშვა გამოიხატება ნამახვანის ანტიკლონით რომელსაც მოყვება სინკლონი. აქედან გამომდინარე არეალი არის როგორც შეკუმშვადი და დამაბული ზემოქმედების ქვეშ, რამაც დიდი ალბათობით შეიძლება მიგვიყვანოს სუსტ ზონებზე სხვადასხვა ლოკაციებზე.
- პროექტის არეალი შედგება იურული პერიოდის ვულკანური-ნალექებისგან წარმოშობილი კლდის ნაწილებისგან რომელიც წარმოიშობა კუნძულის ვულკანური რკალისგან და დაკავშირებულია ოკეანის ფირფიტის საზღვართან.
- ამ არსებულ ინტერვალში აღმოჩენილი კლდის ფერდობის უმეტესობა შედგება ტუფის სილისგან, როცა მცირე ნაწილი შედგება ანდეზიტ პროფირიტისგან. ანტიკლინის და სინკლინის არახელსაყრელი ეფექტის გამოკლებით ორივე კლდის ტიპი გვთავაზობს ფართო დამახასიათებელ ნიშნებს ფერდობის დიზაინისთვის.
- კლდის ფერდობის ემპირიული დიზაინი ეფუძნება RMR<sub>89</sub> და Q კლასიფიკაციის სისტემას, მაშინ როდესაც GSI სისტემა გამოიყენება რომ განისაზღვროს კლდის ფორმაციების საერთო ვიზუალური იმიჯი.
- ამოთხრილი კლდის ფერდობის კოეფიციენტის ცხრილი რომელიც გამოიყენება დიზაინის შექმნის დროს ეფუძნება „კლდის ჩამოშლი კრიტერიუმებს“ (E. Hoek & E.T Brown 1980).
- კინემატიკური ანალიზი ტარდება დამოუკიდებლად თითოეული ამოთხრილი კლდის ფერდობისთვის.
- ამოთხრილი კლდის ფერდობის დიზაინი მოითხოვს „გაყოფის წინა აფეთქების ტექნიკას“; სხვა შემთხვევაში კლდის მასა შეიძლება მნიშვნელოვნად დაზიანდეს და საჭირო გახდეს დამატებითი ზომების მიღება.

- იმ ფაქტის გათვალისწინებით რომ კლდის მასები შეიძლება შეიცავდეს ჰეტეროგენუს კომპრესიული ტექტონიკების ეფექტებიდან გამომდინარე, კლდის ფერდობის ზოგიერთ ნაწილს შეიძლება დაჭირდეს დამატებითი ზომები ბეტონის ფილების სახით, რომლებიც გამაგრებული იქნება ფოლადის ნაჭრებით ან/და steel fiber კლდის ნაწილებით.
- მიუხედავად იმისა რომ თხრილის მიწის ფუნდამენტი მიჩნეულია რომ არის კლდე და სავარაუდოთ დაფარულია კოლოვიური ნალექის თხელი ფენით, ეს შემთხვევა გადახედილი იქნება მშენებლობის და საჭირო შემოწმებითი სამუშაოების ჩატარების შესაბამისად.

## 6.2 რეკომენდაციები

შემდეგი გეოტექნიკური მონაცემების დაცვა მნიშვნელოვნად რეკომენდირებულია პროექტის მშენებლობის ეტაპზე:

პრაქტიკულად გზის იმ მონაკვეთმა რომელიც დაფარულია თხრილების თხელი ფენით და უახლოვდება მაღალი კლდის ფერდობებს, შეიძლება მოგვცეს თავდაპირველი შთაბეჭდილება კლდის ხარისხზე ფერდობების კოეფიციენტებთან დაკავშირებით. გათხრების ეს ეტაპი რეკომენდირებულია მოყვეს სამუშაოებს ისევე როგორც შესაბამისი მშენებარე მაღალი ფერდობის შემოწმებითი სამუშაოები.

თხრილების ფუნდამენტი იქნება შემოწმებული გეოლოგიური კონდიციების შესაბამისად, რომელიც წარბობს მშენებლობის პროცესში.

„გაყოფამდე აფეთქების ტექნიკი“ ხერხი არის განუყოფელი ნაწილი ამოთხრილი კლდის ფერდობის მდგრადობის.

უნდა მოხდეს თითოეული ამოთხრილი კლდის გეოლოგიური დაგეგმარება სანამ მოხდება აღნიშნული დანადგარის აფეთქება, იმისათვის რათა საჭირო ზომების მიღების აუცილებლობა იქნას განსაზღვრული და ზომები მიღებულ იქნას დაუყოვნებლივ.

## 7. წამოყენებული წყაროების ჩამონათვალი

ჩამოთვლილი წყაროები ფართოდ არის გამოყენებული ამ დოკუმენტის მომზადების დროს:

[1] რიონი კასკადის გეოლოგიური რუკა Drw No: N4001-3-13 დათარიღებული 1957 (შკალა 1:2500).

[2] ნამახვანის გეოლოგიური რუკა HPPs Cascade, შკალა: 50 000, ალექსანდრე ჯანელიძე გეოლოგიის ინსტიტუტი, დ. ზაკარაია, ი. შველიძე, 2008.

[3] კავკასიის გეოლოგია: ზედაპირული განხილვა, შოთა ადამია, გურამ ზაქარიძე, ტამარ ჩხოტა, ნინო სადრაძე, ნინო წერეთელი, ალექსანდრე ჭაბუკინი და ალექსანდრე გვენცაძე აპრილი 2011.

[4] სტრუქტურული გეოლოგიის ჟურნალი, აქტიური ტეცტონიკური გეოლოგიის ინვერსია shear folding და back-thrusting რიონის აუზში, საქართველო, მ. ნადია და ა.შ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, მ. ჯავახიშვილი თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, 2017.

[5] პროექტი: ვარგისობის შესწავლა ნამახვანის HPPs კასკადის; დოკუმენტი N: 3, დოკუმენტის დასახელება: გეოლოგიური გეოფიზიკური და გეოტექნიკური გამოკვლევები; დასახელება: ფინალური დოკუმენტი, E.C ჰედროპროჯექტ ინტერნაციონალ ლიმიტედ (რიცხვის გარეშე)

[6] ფაზა 2ა- ძირითადი დიზაინი გეოლოგიური დოკუმენტი, ივლისი 2015, სპ სტუდიო პიეტრანგელი ქონსულტინგ ენჯინიერინგი.

[7] შპს. ჯეო ენჯინიერინგი, საინჟინრო გამოკვლევა, დიზაინი, კონსტრუქცია, გეოტექნიკური კვლევა ნამახვანი HPPსთვის, ტექნიკური ოქმი თბილისი, საქართველო, 2014.

[8] ბრიტანული სტანდარტი, BS 5930: 1999.

[9] კლდის მასების საინჟინრო კლასიფიკაცია გვირაბის დამხმარე დიზაინებისთვის (RMQ), ნ. ბარტონი, რ. ლიენი და ჯ.ლუნდი, 1974.

[10] კლდის მასების კლასიფიკაცია (RMR), სისტემა (გეომექანიკის კლასიფიკაცია) საინჟინრო პრაქტიკაში, ბიენავსკი ზ.ტ, 1989.

[11] გეოლოგიური სიმლიერის ინდექსი შეერთებული მეჩხერი კლდოვანი მასებისთვის (GSI), (ჰეოკ, ე, კარტერ, ტ.გ, დიედერიშ, მ.ს, 2013).

[12] [2] კლდოვანი მასების კლასიფიკაციის სისტემა, სიედ მუნტაზირ აბასი, (TU ბერგაკედმიის გეოტექნიკური ინსტიტუტი ან უპირატესი გეოლოგიის ნაციონალური ცენტრი, პეშავარის უნივერსიტეტი, 01 ნოემბერი 2017),

[13] სვეტიშის აფეთქების ტექნიკა, ავტორი რუნ გუსტაფსონი, გოტენბურგი, შვედეთი, სექტემბერი 1973

[14] გუდმანი, რ.ე. 1980 შესავალი კლდის მექანიზმზე (8 თავი), ტორონტო: ჯონ ვაილი pp 254-287

[15] ჰადსონი, ჯ.ა და ჰარისონ, ჯ.პ. 1997. საინჟინრო კლდის მექანიზმი - საინჟინრო კლდის მექანიზმი - შესავალი პრინციპებში, პერგამონ პრესი.

## 8. შანართი

დანართი - 1: გვირაბი T-1 რეპორტი და დანართი

დანართი - 2: გვირაბი T-2 რეპორტი და დანართი

დანართი - 3: გზის რელოკაციის გეგმა გეოლოგიის ჩათვლით

დანართი - 4: ტიპური ამოთხრილი ფერდობის დამხმარე საშუალება

დანართი - 5: კრიტიკული გადაკვეთის ჭრილი