

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მამუკა ნაცვლიშვილი

ხობი 2 ჰესი-ს ჰიდროტექნიკური კომპლექსის მშენებლობის
საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების ანალიზი და შეფასება

სადოქტორო პროგრამა გეოლოგია

შიფრი 0532.1.3

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2023 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტი
გამოყენებითი გეოლოგიის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელები:

ასოც. პროფ. ლ. გორგიძე

ასოც. პროფ. გ. ტლაშაძე

რეცენზენტები: გმმკ. ზ. ცომაია

პროფესორი გ. მელიქაძე

დაცვა შედგება 2023 წლის „10“ ოვლის „14:00“ საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური
ფაკულტეტის სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე,
კორპუსი III, აუდიტორია 437

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას №77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,

ასოცირებული პროფესორი

დ. თევზაძე

შესავალი

ნაშრომის აქტუალობა: საქართველოში არსებულ ბუნებრივ ენერგორესურსებს შორის უდიდესი წილი მოდის ჰიდროენერგორესურსზე. რაც ყველაზე მნიშვნელოვანია, აღნიშნული რესურსი მუდმივად განიცდის განახლებას და მისი გარდაქმნა ელექტროენერგიად ნაკლებ ზიანს აყენებს დედამიწის ეკოსისტემას, ვიდრე ამ მიზნით თბოენერგეტიკული რესურსების გამოყენება. ჩვენი სახელმწიფოს ზრდა-განვითარების ტემპებმა დღის წესრიგში დააყენა ენერგეტიკული რესურსების რაციონალური ათვისება-გამოყენების აუცილებლობა. აქედან გამომდინარე აქტუალური გახდა დიდი და მცირე სიმძლავრის ელექტროსადგურების მშენებლობის აუცილებლობა, რაც გარკვეულწილად უზრუნველყოფს მზარდი მოთხოვნილების დაკმაყოფილებას. საქართველოს მდინარეები ზოგადად კარგ საშუალებას იძლევა მათზე დაპროექტდეს და აშენდეს სხვადასხვა სიმძლავრის ჰიდროელექტროსადგურები, გამონაკლის არც დასავლეთ საქართველოს მდინარეები წარმოადგენენ, რომლებიც სათავეს ჰიფსომეტრულად ზედა, მთიან არეში იღებენ და დინებისას მაღალი კინეტიკური ენერგიით ხასიათდებიან.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობა კლასით საკმაოდ რთული საინჟინრო-ნაგებობაა, რომელიც სრულ ჰამრმონიაში უნდა იყოს იმ გეოლოგიური გარემოსთან სადაც ის განთავსდება. ბინარული სისტემის უსაფრთხოებისთვის დიდი მნიშვნელობა აქვს მისი ერთ-ერთი კომპონენტის გეოლოგიური გარემოს დეტალურ კვლევას, მის ანალიზს და შეფასებას.

კვლევის მიზანი და ამოცანები:

სადისერტაციო თემის ძირითად მიზანს წარმოადგენდა ხობი 2 ჰესი-ს ჰიდრო-ტექნიკური ნაგებობების კომპლექსის საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების შეფასება.

კვლევის მიზნიდან გამომდინარე სამუშაოების ძირითად ამოცანებს შეადგენდა:

- კვლევების საწყის სტადიაზე მოძიებული იქნა საკვლევო ჰიდროტექნიკური ობიექტის განლაგებისა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე წინა წლებში ჩატარებული გეოლოგიური და საინჟინრო-გეოლოგიური სამუშაოების შედეგები, რომლებიც ფიქსირდება ფონდურ და ლიტერატურულ წყაროებში;
- ხობი 2 ჰესი-ს ჰიდროტექნიკური კომპლექსის განთავსების არეალზე განხორციელდა სხვადასხვა მასშტაბის გეოლოგიური აგეგმა;
- ჩატარებული კვლევის შედეგების ანალიზი და შეფასება;
- არსებული გეოდინამიკური ვითარების შეფასება;
- ჰიდროტექნიკური ნაგებობების განლაგების უზნებზე ლითოლოგიური სახესხვაობების საინჟინრო-პერტოლოგიური შესწავლა;
- სადერევაციო გვირაბის დეტალური გეომექანიკური აღწერა;
- გვირაბში გამოვლენილი ქანების სტრუქტურული ელემენტების განსაზღვრა და ანალიზი;
- კლდოვანი მასივის რეიტინგის შეფასება;
- გვირაბში პოტენციურად საშიში უზნების გამოვლენა და დამცავი ღონისძიებების შემუშავება.

მეცნიერული სიახლე და გამოყენების სფერო:

კვლევების პროცესში განხორციელდა ხობი 2 ჰესი-ს ნაგებობათა კომპლექსის ტერიტორიის გეოლოგიური და საინჟინრო-გეოლოგიური აგეგმვა. აღნიშნული ტერიტორია საკმაოდ რთული რელიეფით ხასიათდება და პირველად განხორციელდა მსგავსი კვლევები. აგეგმვის მიზანი იყო ლითოლოგიურ-სტრატეგრაფიული, სტრუქტურულ-ტექტონიკური, საინჟინრო-ჰიდროგეოლოგიური და გეოდინამიკური პირობების დადგენა. აგეგმვისას დაფიქსირდა სხვადასხვა შედგენილობის, გენეზისის და ასაკის, საფარი გრუნტების და კლდოვანი ქანების საზღვრები, მათი გავრცელების სავარაუდო სისქეები, არსებული და პოტენციურად საშიში გეოლოგიური მოვლენების გავრცელების ფარგლები. გამოვლინდა მიწისქვეშა წყლების ბუნებრივი გამოსავლები წყაროების სახით, დადგინდა მათი დებიტი. აგეგმვისას დადგინდა კლდოვანი ქანების სტრუქტურული ელემენტები. დაფი-

ქსირდა ყველა ტექტონიკური რღვევა, რომლებიც დაიკვირვებოდა კლდოვანი ქანების გაშიშვლებებში. კოორდინატთა UTM სისტემაში აღებულ იქნა სხვადასხვა ლითოლოგიური სახესხვაობების და გეოლოგიური მოვლენების არეალები. მოხდა მათი ფოტოდოკუმენტირება.

სადერივაციო გვირაბის განლაგების ზონის ამგები კლდოვანი მასივის შეფასებაში შეტანილი იქნა ახალი კომპონენტი, რაც გავლენას ახდენს მასივის კლასიფიკაციაზე. კერძოდ აღნიშნული კომპონენტით ისაზღვრება ცვლილებები, რაც იწვევს გარკვეული დროის განმავლობაში გვირაბის კლდოვანი მასივის შესუსტებას, ქანებიდან მონთმორილონიტიანი თიხური მასის გამოძევების ხარჯზე. კერძოდ: გვირაბის ამგებ კლდოვან მასივში ყოველ 100 მეტრიან ინტერვალში მოხდა ზედაპირული და ამობურღული კლდოვანი ქანის ნიმუშების დამუშავება ეთილენგლიკოლის ხსნარში. ქანში არსებული მონთმორილონიტიანი თიხური მასა იშლება და გამოიდევენება ქანის მოცულობიდან, რაც იწვევს ქანის სიმტკიცის დაქვეითებას ფორების მოცულობის გაზრდის ხარჯზე. ამ ტიპის კვლევა ინოვაციურია და აუმჯობესებს კლდოვანი მასივის შეფასების სისტემას და იძლევა საშუალებას გამოვლინდეს პოტენციურად სუსტი უბნები, რათა დაიგეგმოს და განხორციელდეს შესაბამისი გამაგრებითი სამუშაოები.

აღნიშნულმა კვლევითმა კომპონენტმა და მეცნიერულმა სიახლემ საშუალება მოგვცა წინასწარ მომხდარიყო ქანების შესუსტებით გამოწვეული რისკების პროგნოზირება, როგორცაა გვირაბის თალიდან და კედლებიდან ცალკეული მასების ჩამოცვენა-ჩამოქცევები, რისი გათვალისწინებითაც შემუშავდა გვირაბის დროებითი და მუდმივი გამაგრების კონსტრუქციები.

გარდა ამისა, საინტერესო და ხაზგასასმელია კიდევ ერთი ფაქტორი, რომელიც გაანალიზდა აღნიშნულ ნაშრომში. კერძოდ გვირაბის გაყვანისას მასში არსებული რღვევები და ნაოჭა სტრუქტურები შედარდა გეოლოგიური აგეგმვის პროცესში გამოვლენილ რღვევებთან და წინასწარ შედგენილ სტრუქტურულ ჭრილებთან. აღსანიშნავია, რომ გვირაბის გაყვანისას გამოვლენილი ფაქტიური ვითარება მაღალი ხარისხით არის თანხვედრილი წინასწარი კვლევებით მიღებულ პროგნოზულ მონაცემებთან.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:

სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს შესავლს, 3 თავს, 11 ქვეთავს, დასკვნებსა და გამოყენებული ლიტერატურის სიას. ლიტერატურის სიაში მითითებულია 47 დასახელების ნაშრომი ქართულ, ინგლისურ და რუსულ ენებზე. ნაშრომის საერთო მოცულობა შეადგენს 104 ნაბეჭდ გვერდს და ახლავს 19 ცხრილი, 13 ნახაზი, 2 დიაგრამა და 12 ფოტოსურათი.

ნაშრომის მოკლე შინაარსი

თავი 1. მოცემულია ლიტერატურული მიმოხილვა. საქართველოს ტერიტორიის დიდი ნაწილის ინტენსიური შესწავლა მე-20 საუკუნის დასაწყისიდან დაიწყო. მათ შორისაა ჩხოროწყუს რაიონი. რაიონის გეოლოგიური აგებულება სხვადასხვა წლებში შესწავლილია სხვადასხვა ავტორისა და ავტორთა ჯგუფის მიერ.

განსაკუთრებით ინტენსიური შესწავლა განხორციელდა გასული საუკუნის 60-70-იან წლებში. ამ მხრივ აღსანიშნავია ჯანელიძისა (Джанелидзе, 1969) და ს. ბუკიას (Букия & Абамелик, 1970) შრომები.

რაიონის გეოლოგიური აგებულების შესწავლაში ასევე აღსანიშნავია შ. გეგუჩაძის (Гегუჩაძე, Гвинерия, Калинина, & Бераძე, 1976) მიერ ჩატარებული კვლევები.

აფხაზეთის აღმოსავლეთით მდ, მდ, ენგური - ლიახვის შუამდინარეთში, გაგრა-ჯავის ზონის ფარგლებში ვულკანოგენურ-დანალექი სერია შეისწავლა ზ. ფაილოძემ (Паилодзе, 1986), რომელმაც ლითოლოგიურ-პეტროგრაფიული ნიშნებით ბაიოსური სერია დაანაწილა გარკვეული ნივთიერი შემადგენლობის სამ ჰორიზონტად.

თავი 2. გადმოცემულია საკვლევია რაიონის ზოგადი გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური პირობები.

2.1 კლიმატი. ხობი 2 ჰესი-ს კომპლექსი კლიმატური დარაიონების სქემის (პნ 01.05, 2008) მიხედვით მთლიანად განთავსებულია III^ბ ქვერაიონში. კლიმატური მახასიათებლები აღებულია ახლომდებარე მეტეოპუნქტ „ხობის“ სადგურიდან. მონაცემების მიხედვით (სიმაღლე ზღვის დონიდან 1010 მ.) ცხრილებში მოყვანილ ძირითად კლიმატურ მახასიათებლებს საფუძვლად უდევს მრავალწლიანი დაკვირვების შედეგები.

2.2 გეომორფოლოგია. ხობი 2 ჰესი-ს განთავსების ტერიტორია (მთიანი სამეგრელო) მდებარეობს ცენტრალური კავკასიონის სამხრული ფერდობის პერიფერიულ ნაწილში და ოროგრაფიულად ერთ-ერთი გასწვრივი - ეგრისის (სამეგრელოს) ქედით არის წარმოდგენილი. ქედის სამხრეთულ კალთებშია ჩაჭრილი მდ. მდ. მაგანას, ხობისწყალის, ტეხურის და სხვ. ხეობები. მდ.

ხოზისწყალი სათავეს იღებს ეგრისის ქედის სამხრეთ კალთაზე, 2326 მ სიმაღლეზე, მთა ჭითაგვალასა და მთა ლეკუმურამ - დუდის მიდამოებში (Maryashvili, 1971).

გეომორფოლოგიური თვალსაზრისით საინტერესოა განსახილველ ტერიტორიაზე მდ. ხოზისწყალის კალაპოტის პროფილი. დასაწყისში მას აქვს სუბმერიდიანული მიმართულება, შემდეგ, ნოხორეს ხევის მიდამოებში, მდინარე მკვეთრად უხვევს 90⁰-იანი კუთხით და მიმართულება ხდება სუბგანედური, მინერალური წყლის - ლუგელას გამოსავლის აღმოსავლეთით მდინარე იწყებს მოხვევას სამხრეთისაკენ და სოფ. მუხურის მიდამოებში მისი მიმართულება კვლავ სუბმერიდიანული ხდება. მდ. ხოზისწყლის კალაპოტის ამგვარი მორფოლოგიური ცვლილებები დაკავშირებული უნდა იყოს ერთი მხრივ ნეოტექტონიკურ მოძრაობებთან. კერძოდ ამ მიდამოებში განვითარებულ სუბგანედურ რღვევებთან, მეორე მხრივ კი - შედარებით ნაკლებადმტკიცე ქანების მორიგეობასთან..

2.3 გეოლოგიური აგებულება. ხობი 2 ჰესი-ს ჰიდროტექნიკური კომპლექსის ტერიტორიისა და მდ, ხოზისწყლის ხეობის გეოლოგიურ აგებულებაში სხვადასხვა ასაკისა და გენეზისის ლითოლოგიური სახესხვაობები ფიქსირდება. მასში მონაწილეობას იღებენ მეოთხეული, ოლიგოცენ-მიოცენური, ეოცენური და პალეოცენური ნალექები, ასევე ცარცული და იურული ნალექები. განსახილველი მონაკვეთის გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობენ შუა და ზედაიურული, ცარცული და მეოთხეული ასაკის ფიქლებიანი, ვულკანოგენურ-ტერიგენული და დანალექი ქანების კომპლექსები (Вахания & Папава, 1954), (Авалишвили, Шириашვილი, & Копадзе, 1955).

რაც შეეხება უშუალოდ, ხობი 2 ჰესი-ს კომპლექსის ცალკეული ნაგებობების განთავსების ტერიტორიას, სარეკონსტრუქციო, გეოლოგიური და საინჟინრო-გეოლოგიური აგეგმვისა და საძიებო გამონამუშევრების ლითოლოგიური ჭრილების საფუძველზე, რაიონის გეოლოგიურ რუკაზე მოცემული სხვადასხვა ასაკის ცალკეული წყებებიდან დაფიქსირდა მხოლოდ გარკვეული ნაწილი, რომელთა დახასიათება მოყვანილია ნაშრომში (Keleptrishvili, Tlashadze, Gorgidze, & Natsvlishvili, 2022).

2.4. ტექტონიკა. საქართველოს ტერიტორიის ტექტონიკური დარაიონების სქემის მიხედვით (გამყრელიძე, 2000), საკვლევ ტერიტორია მთლიანად გავრცელებულია კავკასიონის ნაოჭა (ნაოჭა-შარიაჟული) სისტემის გაგრა-ჯავის ზონის ნაოჭა პორფირიტული იურის ქვეზონის ფარგლებში. აღნიშნულ ქვეზონას ჩრდილოეთიდან ესაზღვრება ჩხალთა-ლაილის (ნაოჭა-ქერცლოვანი) ზონის ლაილის (ქერცლოვან-ანტიკლინორული) ქვეზონა, ხოლო სამხრეთიდან გაგრა-ჯავის ზონის ამზარამუხურის (განაპირა დისლოკაციების) ქვეზონა.

საკვლევ რაიონში დაიკვირვება ნალექების დეფორმაციები, გამოხატული როგორც პლიკატური, ასევე დიზუნქტიური დისლოკაციებით. ნაოჭები შეკუმშულია, მათი ამგები ფრთები მცირედ ასიმეტრიულია, გავრცელების მიმართულება ემთხვევა საერთო კავკასიურს. ზოგიერთი ნაოჭი გართულებულია მეორადი ნაოჭებით და რღვევებით.

2.5. ნაპრალოვნება. საინჟინრო-გეოლოგიური აგეგმვის პერიოდში ცალკეული ნაგებობის ფარგლებში გაზომილ იქნა ნაპრალო სისტემები (Gudmundsson, 2011). აგეგმვის ფარგლებში გაიზომა 250-ზე მეტი ნაპრალო, რომელიც დატანილ იქნა შმიდტის თანაბარფართობიან ბადეზე.

რეგიონალური ორიენტაციის ნაპრალოვნების გამოსავლენად შედგენილ იქნა ჯამური დიაგრამადიაგრამა (Рац, Погребиский, & Чернышев, 1974), რომელზედაც ნათლად ჩანს, რომ ღერძული სიბრტყის კლივაჟი საკმაოდ მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ნაპრალოვნებაში და გავრცელებულია ჩ.დ. 280° - 310° მიმართულებით, ამ ნაპრალებს გააჩნია ციცაბო დახრა როგორც ჩრდილო-აღმოსავლეთით (75° - 85°), ასევე სამხრეთ-დასავლეთით (190° - 210°), ნაპრალები სწორი და გაპრიალებული ზედაპირით არის წარმოდგენილი, მათ გასწვრივ რღვევებიც ვითარდება.

2.6. ჰიდროგეოლოგიური პირობები. ხობი 2 ჰესი-ს ჰიდროტექნიკური კომპლექსი საქართველოს ჰიდროგეოლოგიური დარაიონების სქემის მიხედვით (ბუაჩიძე, ზაუტაშვილი, & მხეიძე, 2011) მდებარეობს კავკასიონის ნაოჭა სისტემის ოლქში. კერძოდ: მისი სამხრეთ ფერდობის დასავლეთ დაძირვის ჰიდროგეოლოგიურ ინტერმასივში.

გეოლოგიური აგეგმვის ფარგლებში საკვლევ ტერიტორიაზე და გვირაბის გაყვანის დროს დაფიქსირებულ იქნა ცალკეული ზედაპირული და მიწისქვეშ არსებული წყალგამოვლინებები ცალკეული წყაროებისა და ნაპრალოური წყლების სახით, ისინი დაკავშირებულია ცალკეული ასაკის წყალშემცველ კომპლექსებთან:

- მეოთხეული ასაკის ალუვიურ წარმონაქმნებთან;
- მეოთხეული ასაკის დელუვიურ-კოლუვიურ წარმონაქმნებთან;
- ზედა ცარცულის ასაკის ვულკანოგენურ-დანალექ ნალექებთან;
- ბაიოსის პორფირიტულ ნალექებთან.

თავი 3. მოცემულ თავში განხილულია ჰიდროტექნიკური კომპლექსის სამშენებლო მოედნის საინჟინრო-გეოლოგიური პირობები. ხობი 2 ჰესი-ს ჰიდროტექნიკური კომპლექსი რამოდენიმე ნაგებობისგან შედგება. კერძოდ სათავე ნაგებობა, სადერივაციო გვირაბი, სადაწნეო მილსადენი და ჰესის შენობა. ქვემოთ მოკლედ მიმოვიხილავთ თითოეული მათგანის საინჟინრო-გეოლოგიურ პირობებს (ტლაშაძე, გორგიძე, & ნაცვლიშვილი, 2023).

3.1. სათავე ნაგებობა. ხობი 2 ჰესი-ს სათავე ნაგებობის განთავსების ტერიტორია და უშალოდ შენობის ქვაბული, სტრატეგრაფიულად აგებულია შუა იურული ასაკის ე. წ. ხოჯალის წყების მეორე ქვეწყების პირველი დასტის ქანებით.

აგეგმვისას ქვაბულის სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილში დაფიქსირდა ორი მსხვილი რღვევა. პირველი მსხვილი ტექტონიკური ნაპრალის დაქანების აზიმუტია $200-220^{\circ}$, დახრის კუთხე 65° . ნაპრალის საშუალო სიგანე 0.50 მ-მდეა და შემავსებელი წარმოადგენს მოყავისფრო გათიხებულ მასალას, ნაწილობრივ კალციტს და გამოფიტული ქანის ნატეხებს. ნაპრალის ზედაპირი ტალღოვანი და გლუვია და იშვიათად პრიალა. მეორე რღვევა შედარებით უფრო განიერია და მისი სისქე ცვალებადობს 0.20-დან 2.50 მ-მდე, შემავსებელი წრმოდგენილია თიხით, კალციტით და, ასევე, გამოფიტული ქანის ნატეხებით - ღორღით და ხვინჭით. დაქანების აზიმუტი - 330° , დახრის კუთხე 70° . შემავსებელი წარმოადგენს ნამსხვრევ, თიხის შემავსებლიან, კალციტიზირებულ მასალას.

ქანების ნაპრალიანობის გამოკვლევის საფუძველზე, ქვაბულის სხვადასხვა მხარეს, გამოიყო ნაპრალოთა 3 სისტემა.

სამშენებლო უბნისთვის, კლდოვანი მასივის ხარისხის მაჩვენებლის საშუალო მიზნელობა $Q=13.20$;

კლდოვანი მასივის ჯამური რეიტინგი (RMR) შეადგენს 68-ს, რის მიხედვითაც მასივი კლასიფიცირდება, როგორც B კლასის - „კარგი“ .

კლდოვანი ქანების სიმტკიცე გამოცდილია როგორც ერთღერძა კუმშვით, ასევე წერტილოვანი დატვირთვით

ტუფოქვიშაქვა:

- სიმკვრივე (ρ) საშუალო _ 2.52 გრ/სმ³;
- სიმტკიცე ერთღერძა კუმშვაზე გამოცდით, σ - მნიშვნელობა იცვლება 71.5 მპა-დან 121.9 მპა-მდე, ხოლო საშუალო მნიშვნელობა $\sigma=99.67$ მპა;

კრისტალოკლასტური ტუფი და ტუფობრექჩიები:

- სიმკვრივე (ρ) საშუალო - 2.55 გრ/სმ³;
- სიმტკიცე ერთღერძა კუმშვაზე გამოცდით, σ - მნიშვნელობა იცვლება - 47.9 მპა-დან 152.4 მპა-მდე, ხოლო საშუალო მნიშვნელობა $\delta=80.44$ მპა.

3.2 სადერევაციო გვირაბი. ხობი 2 ჰესი-ს ჰიდროტექნიკური კომპლექსის საინჟინრო ნაგებობებს შორის ყველაზე რთულ ნაგებობას, რა თქმა უნდა, სადერევაციო გვირაბი წარმოადგენს.

სადერევაციო გვირაბის სიგრძე 6658 მეტრია. გვირაბის გაყვანის მიმართულე-ბა სამხრეთ-დასავლეთ ჩრდილო-აღმოსავლეთია, მისი დახრილობის საწინააღმდე-გოდ. ჰიფსომეტრულად გვირაბის პორტალებს შორის სხვაობა 115 მ-მდეა. გვირაბის განივი კვეთი წრიულია და დიამეტრი 3.5 მ-ია მისი განლაგება ზედაპირიდან 10 მ-დან 850 მ-მდეა. გვირაბის გაყვანა განხორციელდა TBM გვირაბის გამყვანი დანადგარით.

სადერევაციო გვირაბის ტრასის გასწვრივ შეღების ხევიდან მინერალური წყლის - ლუგელას გამოსავლამდე და მის ქვემო დაღმავალი მიმართულებით დაახლოებით 1.5 კმ-მდე მონაკვეთში ჩატარდა გეოლოგიური აგეგმვითი სამუშაოები. საინჟინრო გეოლოგიური აგეგმვისას განხორციელდა ცალკეული კლდოვანი მასივის რეიტინგის შეფასება. კლდოვანი ქანის მასივის კლასიფიკაციისთვის, RMR სისტემის დახმარებით, გამოიყენება შემდეგი პარამეტრები:

- კლდოვანი ქანის მასალის წინააღმდეგობა ერთღერძა კუმშვაზე;

- კლდოვანი ქანის ხარისხის ინდექსი (RQD);
- აშლილობებს (წყვეტებს) შორის მანძილი;
- წყვეტების მდგომარეობა;
- გრუნტის წყლის პირობები;
- წყვეტების მიმართულება.

საინჟინრო-გეოლოგიური აგეგმვის შედეგად შედგა სტრუქტურულ-გეოლოგიური რუკა, აიგო საპროექტო გვირაბის ლითოლოგიური დეტალური ჭრილი იგივე მასშტაბში.

სადერივაციო გვირაბის გაყვანის პარალელურ პროცესში ხდებოდა გვირაბის კედლების და თაღური ნაწილის გარეცხვა და მათი დეტალური გეომექანიკური აღწერა. გვირაბის მთელ სიგრძეზე ფიქსირდება სხვადასხვა სიმძლავრის და სხვადასხვა სიმტკიცის კლდოვანი ქანები. ქანების სახესხვაობების დადგენის მიზნით მოხდა მათი პეტროგრაფიული შესწავლა.

გვირაბის აღწერა მოხდა ცალკეული პიკეტების მიხედვით. მონაკვეთზე განისაზღვრა პიკეტურად ქანების წოლის ელემენტები, ამოიბურღა გვირაბის კედლებიდან ნიმუშები ცალკეული სახესხვაობების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების განსასაზღვრად.

გვირაბის კლდოვანი მასივის ხარისხის შეფასება რამდენიმე ფაქტორის გათვალისწინებით მოხდა კერძოდ:

- ქანების სიმტკიცის მახასიათებლები;
- ნაპრაღთა ხარისხი და მათი ორიენტაცია;
- გამოფიტვის ხარისხი;
- წყალმოდენის ხარისხი;
- ჯამური რეიტინგი გეომექანიკური კლასიფიკაციით;
- ხარისხის მაჩვენებელი.

გვირაბის გაყვანილი მონაკვეთების მთელ სიგრძეზე დაფიქსირებულია სხვადასხვა სიგანის რღვევის ზონები და მსხვილი (მეტი >50სმ) ტექტონიკური ნაპრაღები. მსხვილი ტექტონიკური ნაპრაღები, რომლებიც ძირითადად დაკავშირებულია გვირაბის თაღთან და კედლებთან ძირითადად შევსებულია თიხოვანი კალციტით.

გვირაბის თალიდან და კედლებიდან ხდება ქანის ცალკეული ბლოკების და ნატეხების ჩამოვარდნა-ჩამოცვენა. ამ ნაპრალებთანაა დაკავშირებული წყალგამოვლინებები, რომელსაც მოყვება თიხოვანი და მტვროვან-ქვიშოვანი ნაწილაკების გამორეცხვა. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ნაპრალების გახსნას თან სდევს წყლის ნაკადის მატება-გადანაწილება და წნევის შემცირება.

გვირაბის მთელ სიგრძეზე გეომექანიკური აღწერის შედეგების მოყვანა რატექმა უნდა შეუძლებელია, ამიტომ დეტალურად ვერ მიმოვიხილავთ მთელი გვირაბის ტრასის გეოლოგიურ პირობებს. მაგალითისთვის განვიხილავთ ერთ-ერთ მონაკვეთს, თავისი საინჟინო-გეოლოგიური თავისებურებებით: პკ4+200-დან – პკ4+400-მდე.

მონაკვეთი (69) პკ 4+200-დან პკ 4+400-მდე (სიგრძე 200 მ).

გვირაბის პკ4+200-დან პკ4+400-მდე მონაკვეთი ლითოლოგიურად აგებულია მომწვანო მუქი ნაცრისფერი, მტკიცე და საშუალო სიმტკიცის წვრილნატეხოვანი და საშუალონატეხოვანი ტუფობრექციებით. ამ ინტერვალში პკ4+363.5-დან პკ4+378 გვირაბის თალურ ნაწილში ფიქსირდება აგრეთვე მომწვანო მუქი ნაცრისფერი ზომიერად მტკიცე (საშუალო სიმტკიცის) და მტკიცე ტუფოქვიშაქვები.

აღნიშნული მონაცემების საფუძველზე გამოიყო ნაპრალთა ერთმანეთისგან განსახვავებული 3 სისტემა (ოჯახი):

I-სისტემა: დაქანების აზიმუტი 60°, დახრის კუთხე 58°. სიგანე 0.1-1.0 მმ, ნაპრალებს შორის საშუალო მანძილი 0.19 მ; ხილული სიგრძე >3 მ. ნაპრალების ზედაპირი გლუვი, ტალღოვანი, ზოგან სუსტად ხორკლიანი, ტალღოვანი, ზოგან გლუვი, ნაპრალების შემავსებელი მტვროვან-ქვიშიან-თიხიანი. ზოგიერთი ნაპრალი კალმატიზირებულია მინერალური მარილებით ძირითადად კალციტით.

II-სისტემა: დაქანების აზიმუტი 230°, დახრის კუთხე 55°. სიგანე 0.1-1.0 მმ, ნაპრალებს შორის საშუალო მანძილი 0.46 მ; ხილული სიგრძე 3 მ-მდე. ნაპრალების ზედაპირი ტალღოვანი, გლუვი, ზოგან სუსტად ხორკლიანი შემავსებელი მტვროვან-ქვიშიანი, ზოგან თიხიანი.

III-სისტემა: დაქანების აზიმუტი 330°, დახრის კუთხე 65°. სიგანე 0.1-5 მმ, ნაპრალებს შორის საშუალო მანძილი 0.98 მ; ხილული სიგრძე 1 მ-მდე. ნაპრალების ზედაპირი სუსტად ხორკლიანი, ტალღოვანი, შემავსებელი მტვროვან-ქვიშიანი,

ზოგან თიხიანი. ზოგი ნაპრალი ნაწილობრივ კალმატიზირებულია მინერალური მარილებით. აღნიშნული სისტემების ნაპრალების გარდა, ამ მონაკვეთში ბევრია სხვადასხვა ორიენტაციის ქაოტური ნაპრალები.

გვირაბის პკ 4+200-დან პკ 4+400-მდე მონაკვეთი მიწის ზედაპირიდან დაახლოებით 200მ სიღრმეზე მდებარეობს. გვირაბიდან აღნიშნულ მონაკვეთზე არსებული ორი სახესხვაობის (ტუფობრექიები და ტუფოქვიშაქვიები) ნიმუშზე განისაზღვრა სიმკვრივე და სიმტკიცე კუმშვაზე, იუნგის მოდული და პუასონის კოეფიციენტი.

სადერევაციო გვირაბის ლითოლოგიური სახესხვაობების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მახასიათებელთა საშუალო სიდიდეები შეადგენს:

ტუფობრექია:

- სიმკვრივე - $\rho=2.61$ გრ/სმ³;
- სიმტკიცის ინდექსი წერტილოვან დატვირთვაზე - $I_{s50}=3.07$ მპა. სიმტკიცის მიხედვით ქანები კლასიფიცირდება, როგორც **მტკიცე (R=4)**.

ტუფოქვიშაქვა:

- სიმკვრივე - $\rho=2.66$ გრ/სმ³;
- სიმტკიცის ინდექსი წერტილოვან დატვირთვაზე - $I_{s50}=4.30$ მპა. სიმტკიცის მიხედვით ქანები კლასიფიცირდება, როგორც **მტკიცე (R=4)**.

მონაკვეთის ფარგლებში კლდოვანი მასივის მახასიათებლებია:

- კლდოვანი მასივის ჯამური რეიტინგი გეომექანიკური კლასიფიკაციის მიხედვით $RMR=48-50$;
- ხარისხის მაჩვენებელი $Q=5.99-7.97$ რის მიხედვითაც მასივის არის **C** კლასის (დამაკმაყოფილებელი).

აღსანიშნავია, რომ გვირაბში აღებული ნიმუშების სიმტკიცის მაჩვენებლები გაცილებით მაღალია ვიდრე კვლევის საწყის ეტაპზე აღებული ნიმუშები. ეს გარკვეულწილად კანონზომიერია მისი სიღრმული განლაგების გამო.

აღნიშნულ პიკეტებზე პორტატული დანადგარის საშუალებით გვირაბის კედლებიდან და თალიდან კლდოვანი მასივის რეიტინგის შეფასებისთვის ამობურღული იქნა 2-2,5მ სიგრძის მცირე დიამეტრის ($d=52$ მმ) ჭაბურღილები.

აღნიშნული მცირე სიღრმის ჭაბურღილებიდან აღებულ ნიმუშებზე ბუნებრივ ნაპრალოთ ზედაპირების გასწვრის განისაზღვრა ძვრის პარამეტრები, რომლის დიაპაზონი იცვლება ფარგლებში:

ტუფობრექია:

- შეჭიდულობა $c=190-720$ კპა;
- შინაგანი ხახუნის კუთხე $\varphi=19.22-36.47^\circ$.

ტუფოქვიშაქვა:

- შეჭიდულობა $c=210-560$ კპა;
- შინაგანი ხახუნის კუთხე $\varphi=21.5-30.2^\circ$.

ქანების კლდოვანი მასივის რეიტინგის (RMR), ხარისხის მაჩვენებლის (Q), წყალმოდენის ხარისხის, მსხვილი ტექტონიკური ნაპრალებისა და ტექტონიკური ღრვევების მიხედვით გვირაბის მთელ სიგრძეზე მოხდა მასივის კლასის შეფასება. ამის გათვალისწინებით მაგალითად გვირაბი პკ 0+183 დან პკ 2+671-მდე დაიყო 39 ცალკეულ მონაკვეთად. ისინი სირთულის მიხედვით იყოფა 3 ურთიერთ განსხვავებულ ჯგუფად:

I - ჯგუფი ყველაზე უფრო რთული მონაკვეთები, მასივის IV კლასი (ცუდი). მონაკვეთების საერთო სიგრძე 129 მ-ია, $RMR=32.5$, $Q=2.2$. აღნიშნული მონაკვეთები ხასიათდებიან ტექტონიკურად ძლიერ დაშლილ ზონებად. კლდოვანი მასივის რეიტინგი ცვალებადობს $RMR=32.5 - 40$ -მდე, ხოლო ხარისხის მაჩვენებელი $Q=1.32\div 3.9$;

II - ჯგუფის მონაკვეთების საერთო სიგრძე 1390,7 მ შეადგენს. საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების მიხედვით აღნიშნული მონაკვეთები კლასიფიცირდა როგორც დამაკმაყოფილებელი (III კლასი). კლდოვანი მასივის რეიტინგი - $RMR=44-55.2$, ხოლო მასივის ხარისხი იცვლება ფარგლებში - $Q=4.5\div 9.9$;

III - ჯგუფის მონაკვეთების ჯამური სიგრძე 1133 მ-ია და კლასიფიცირდა როგორც კარგი (II კლასი). კლდოვანი მასივის რეიტინგი - $RMR=61$ -დან 68 -მდე, ხოლო მასივის ხარისხი იცვლება ფარგლებში - $Q=15\div 17$.

უნდა აღინიშნოს რომ სადერივაციო გვირაბის 6.7 კმ-ზე მასივის კლასების პროცენტული გადანაწილება შემდეგნაირია:.

- I - ჯგუფი - 30-35%;

- II - ჯგუფი - 55-60%;
- III - ჯგუფი დაახლოებით 10%.

აღნიშნული მონაცემები კიდევ ერთხელ ადასტურებს გეოლოგიური გარემოს სირთულეს და ცვალებადობას.

გვირაბის აღნიშნულ მონაკვეთზე დაფიქსირდა 5 რღვევის ზონა და 67 მსხვილი ტექტონიკური ნაპრალი, წინასაპროექტო კვლევის მასალების მიხედვით (შპს "გეოტექსერვისი", 2010), გვირაბის ტრასის აღნიშნულ მონაკვეთზე მოსალოდნელი იყო 4 ტექტონიკური რღვევის გადაკვეთა. რაც აგეგმვის მაღალ ხარისხზე და დეტალურობაზე მიუთითებს.

მთლიანი გვირაბის ამგები ქანების კლდოვანი მასივის რეიტინგი (RMR) და ხარისხის მაჩვენებელი (Q) მოცემულია ცხრილი 1-ში.

ხობი 2 ჰესი-ს გვირაბი მთლიანად იურულ ნალექებში გადის, რომელიც ძირითადად წარმოდგენილია ტუფოგენებით. გვირაბის ორივე კედელზე დაფიქსირებული ცალკეული დასტები ტუფებით, ტუფობრეჭიებით, ტუფოქვიშაქვებით და პორფირიტებითაა წარმოდგენილი.

გვირაბის კედლებიდან კლდოვანი ქანის სხვადასხვა სახესხვაობებიდან აღებული იქნა ნიმუშები და მოხდა მათი სიმტკიცის მაჩვენებლების განსაზღვრა. აღნიშნული კლდოვანი ქანები სხვადასხვა სივრცული ორიენტაციის და გავრცელების ურთიერთგადამკვეთი ნაპრალობითაა სიტემებით ხასიათდება. აღნიშნული ნაპრალობის სისტემების მეტი ნაწილი შევსებულია კალციტით, გამოფიტული მასალით, თიხით და სხვ. აღნიშნულ ნაპრალებში წყლის ნაკადის მოძრაობა იწვევს წვრილი მასალის გამოტანას, წყლის ნაკადების გაზრდას და სხვ. სადერივაციო გვირაბის კედლების მდგრადობის შეფასებისთვის განხორციელდა ქანების კლასიფიცირება მდგრადობაზე და და ასევე მოხდა მათი დამუშავება ეთილენგლიკოლის ხსნარით, რაც ქანიდან მონტმორილონიტი თიხის გამოძევებას უწყობს ხელს.

ცხრილი 1. RMR, Q და მასივის კლასი

№№	მონაკვეთის დასაწყისი, პკ	მონაკვეთის ბოლო, პკ	მონაკვეთის სიგრძე, მ	სიმტკიცის ხარისხი, Q	რეიტინგი RMR	მასივის კლასი
1	18.3	70.0	51.7	4.5	52.0	3
2	70.0	127.0	57.0	6.5	52.0	3
3	127.0	205.0	78.0	5.7	48.0	3
4	205.0	290.0	85.0	8.7	52.5	3
5	290.0	339.0	49.0	3.3	32.5	4
6	339.0	401.0	62.0	8.3	53.5	3
7	401.0	710.0	309.0	7.8	51.0	3
8	710.0	793.0	83.0	9.2	46.0	3
9	793.0	1053.0	260.0	15.7	65.5	2
10	1053.0	1062.0	9.0	9.0	47.0	3
11	1062.0	1227.0	165.0	15.5	65.0	2
12	1227.0	1237.0	10.0	9.5	47.0	3
13	1237.0	1400.0	163.0	15.5	68.5	2
14	1400.0	1448.0	48.0	9.4	54.5	3
15	1448.0	1460.0	12.0	16.0	63.0	2
16	1460.0	1467.0	7.0	8.9	44.0	3
17	1467.0	1489.0	22.0	16.8	63.0	2
18	1489.0	1513.0	24.0	9.9	52.0	3
19	1513.0	1577.0	64.0	15.9	61.5	2
20	1577.0	1598.0	21.0	8.8	50.0	3
21	1598.0	1627.0	29.0	15.8	64.0	2
22	1627.0	1635.0	8.0	9.6	42.0	3
23	1635.0	1655.0	20.0	15.9	63.0	2
24	1655.0	1715.0	60.0	9.6	55.0	3
25	1715.0	1792.0	77.0	16.0	63.0	2
26	1792.0	1825.0	33.0	16.2	62.0	2
27	1825.0	1947.0	122.0	8.9	55.2	3
28	1947.0	1963.0	16.0	3.9	40.0	4
29	1963.0	1991.0	28.0	9.5	54.0	3
30	1991.0	2085.0	94.0	16.0	68.0	2
31	2085.0	2152.0	67.0	16.5	65.5	2
32	2152.0	2186.0	34.0	1.6	23.5	4
33	2186.0	2423.0	237.0	7.0	47.0	3
34	2423.0	2445.0	22.0	2.2	32.5	4
35	2445.0	2536.0	91.0	8.4	50.2	3
36	2536.0	2659.0	123.0	15.5	61.6	2
37	2659.0	2667.0	8.0	1.3	30.0	4
38	2667.0	2671.0	4.0	14.9	62.0	2



მასივის კლასი II კარგი



მასივის კლასი III დამაკმაოფილებელი



მასივის კლასი IV ცუდი

აღნიშნული ცდების ჩატარების უზრუნველყოფისთვის ნიმუშების აღება ხდებოდა როგორც კედლიდან ამობურღვით, ასევე მონატეხების სახით, როგორც მარცხენა, ასევე მარჯვენა კედელზე 50-100 მ-იანი ბიჯით. ამობურღული მცირე დიამეტრის (დიამეტრი 56 მმ) ცილინდრული ფორმის ნიმუშები გამოცდილ იქნა სიმტკიცეზე ერთლერძა დატვირთვისას. ამობურღული ნიმუშების გვერდით ასევე აღებულ იქნა ორ-ორი პარალელური ნიმუში - კლდოვანი მასივიდან მონატეხების სახით. მასივიდან მოტეხილ ერთ ნიმუშზე ხდებოდა ქანის მდგრადობის ინდექსის განსაზღვრა, ხოლო მეორე ნიმუში თავსდებოდა ეთილენგლიკოლის ხსნარში. ხსნარში დამუშავების შემდეგ ხდებოდა სიმტკიცეზე ხელმეორედ გამოცდა და მისი სიდიდის ცვლილების განსაზღვრა.

კლდოვანი ქანის მდგრადობის განსაზღვრა მოხდა ASTM D4644 სტანდარტის შესაბამისად. წყლიან ბარაბანში გრუნტის ცვეთა მოდელირებული ვარიანტია გვირაბში წყლის ნაკადის მოძრაობის. წყლის ენერგია და ხახუნის ძალა იწვევს გვირაბის კედლებზე ქანების ცვეთას. ბარაბანში მოთავსებული კლდოვანი ქანი 10-10 წუთის განმავლობაში ტრიალებს წყლიან ბარაბანში თანაბარი სიჩქარით. ცდის ჩატარების პერიოდში ქანი განიცდის ცვეთას და მდგრადობის ინდექსი გამოითვლება ფორმულით

$$I = [W - c] / (B - C) \times 100$$

სადაც:

B - ბარაბანისა და გამომშრალი გრუნტის წონა პირველ ციკლამდე;

W - ბარაბანისა და გამომშრალი გრუნტის წონა მეორე ციკლის შემდგომ;

C - ბარაბანის წონა.

გვირაბში გამოვლენილ კლდოვან ქანების სხვადასხვა სახესხვაობებზე ჩატარდა 40-ზე მეტი აღნიშნული ცდა. ცხრილ 2-ში მოცემულია ქანების კლასიფიკაცია მდგრადობაზე სხვადასხვა პიკეტზე ჩატარებული ცდის მონაცემების მიხედვით.

ცხრილი 2. ქანების კლასიფიკაცია მდგრადობაზე

#	პკ+	ტენიანობა, W %	საწყისი წონა, გ	მუშაობის შემდეგ წონა, გ	% 'აღწილი ფენის	კლასი	იხილეთ	ფოტო	ქანის დასახელება
1	პკ 0+500	4.0	452.50	420.50	92.93	II	საშუალოდ მაღალი მდგრადობის		პელიტური ტუფი
2	პკ 0+600	3.8	489.50	437.00	89.27	II	საშუალოდ მაღალი მდგრადობის		პელიტური ტუფი
3	პკ 0+910	1.3	519.00	515.50	99.33	I	მაღიან მაღალი მდგრადობის		ტუფოქვიშაქვა
4	პკ 1+008	2.5	500.00	426.00	85.20	I	საშუალოდ მაღალი მდგრადობის		ტუფოქვიშაქვა
5	პკ 1+502	2.0	466.50	461.00	98.82	I	მაღიან მაღალი მდგრადობის		ტუფოქვიშაქვა
6	პკ 1+598	2.1	479.00	268.00	55.95	III	დაბალი მდგრადობის		ტუფი

მდგრადობის ინდექსის განსაზღვრის პარალელურად მოხდა ნიმუშების დამუშავება ეთილენგლიკოლის ხსნარში (NZTA T20, 2020). ამ ტიპის ცდა პირველად ისლანდიაში ჩატარდა კანადურ-ბრიტანული კომპანიის „ატკინსის“ (Atkins) მიერ და ის ძალიან ეფექტურია ისეთი რთული საინჟინრო ნაგებობის მშენებლობის დროს როგორსაც წარმოადგენს გვირაბები.

ხსნარში მოთავსებული კლდოვანი ქანის ნატეხები, მასში თიხის და განსაკუთრებით მონტმორილონიტიანი თიხის შემცველობის არსებობის შემთხვევაში, კარგავენ აღნიშნულ ფრაქციას. ქანის 40 ნატეხი (წონით 40-60 გრამი) თავსდება ეთილენგლიკოლის ხსნარში 20 დღის განმავლობაში. გამოდევნილი თიხური მასის ხარჯზე ხდება ქანის სიმტკიცის მაჩვენებლების მკვეთრი შემცირება. ხსნარი გაცილებით მალე გამოადევნებს თიხურ მასალას ვიდრე ნაპრალოვანი წყლები. ეს კი საშუალებას იძლევა გვირაბში გამოვლინდეს პოტენციურად სუსტი უბნები. აღნიშნულ უბნებზე მოსალოდნელია გაძლიერდეს წყალმოდენა და კედლების ჩამონგრევის საფრთხე გაიზარდოს.

პოტენციურად საშიში უბნების გამოვლენის მიზნით გვირაბში ყოველ 100 მ-იანი ბიჯით, გვირაბის ორივე მხარეს კედლებზე შახმატური წესით, ქანების სხვადასხვა სახესხვაობებზე ჩატარდა 100-ზე მეტი ცდა.

აღნიშნული ცდის ჩატარების შემდეგ ხსნარში ჩადებული 40-ვე ნატეხი, საგულდაგულოდ ირეცხება და თავსდება საშრობ ღუმელში. ნატეხებზე ბუნებრივ მდგომარეობაში განისაზღვრა სიმტკიცე წერტილოვანი დატვირთვით და მოხდა სტატისტიკურად მათი საშუალო მაჩვენებლის განსაზღვრა. მიღებული შედეგები შედარებულ იქნა ცილინდრული ფორმის ამობურღული ნიმუშების სიმტკიცით მნიშვნელობებთან. ცალკეულ პიკეტებზე მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილ 4-ში.

ცხრილში და დიაგრამებზე (დიაგრამა 1, დიაგრამა 2) მოყვანილი შედეგების მიხედვით ჩანს, რომ ცალკეულ უბნებზე ფიქსირდება სიმტკიცის მაჩვენებლების შემცირება, ზოგჯერ მკვეთრადაც. აღნიშნულმა ცდებმა საშუალება მოგვცა გამოგვეყო სუსტი და პოტენციურად საშიში უბნები. ამ უბნებზე მასების ჩამოცვენა-ჩამოქცევის თავიდან აცილების მიზნით მოხდა გვირაბის სამაგრების გაძლიერება ძლიერი არმირების ხარჯზე.

ცხრილი 3. ეთილენგლიკოლის დაჩქარებული გამოფიტვის ცდა

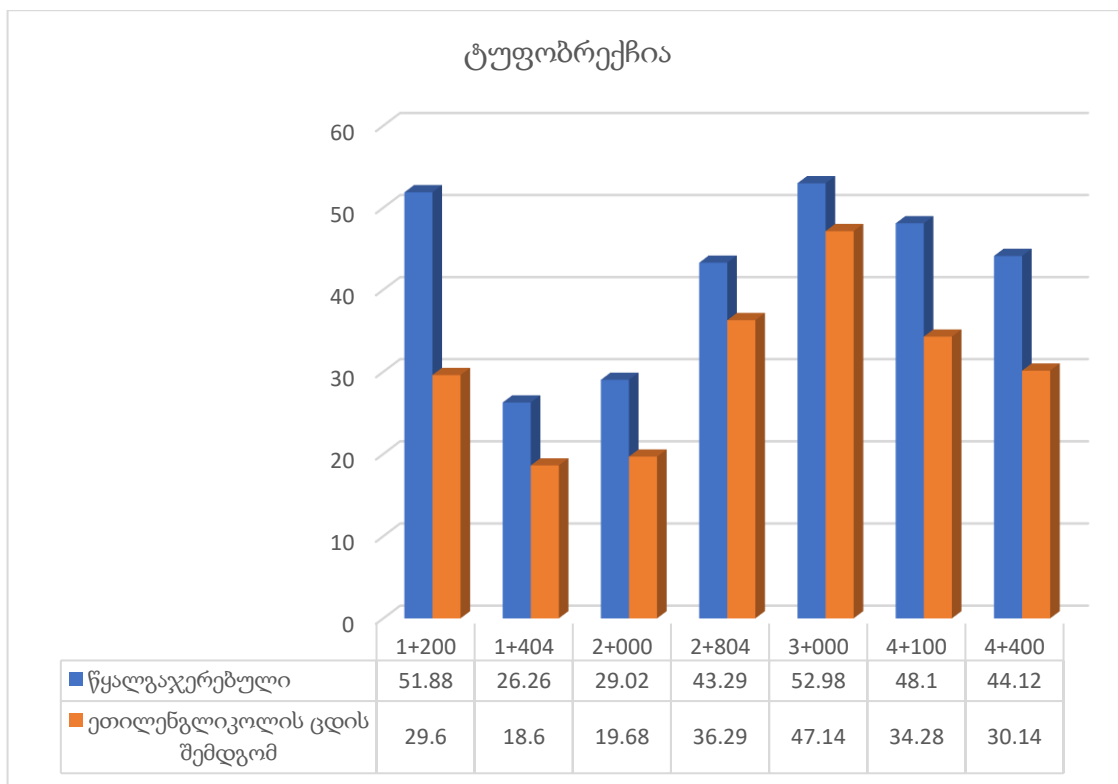
№	ნიმუშის №	ადგილმდებარეობა	საწყისი წონა, გ	წონა ცდის შემდეგ, გ	ქანის დასახელება
1	N1	PK 0+500	1815.00	1769.00	პელიტური ტუფი
ფოტო					
ცდის დაწყებამდე			ცდის დასრულებისას		
					
№	ნიმუშის №	ადგილმდებარეობა	საწყისი წონა, გ	წონა ცდის შემდეგ, გ	ქანის დასახელება
1	N1	PK 1+008	1878.91	1721.62	ტუფოქვიშაქვა
ფოტო					
ცდის დაწყებამდე			ცდის დასრულებისას		
					

ცხრილი 4. სიმტკიცეთა შედარებითი ცხრილი

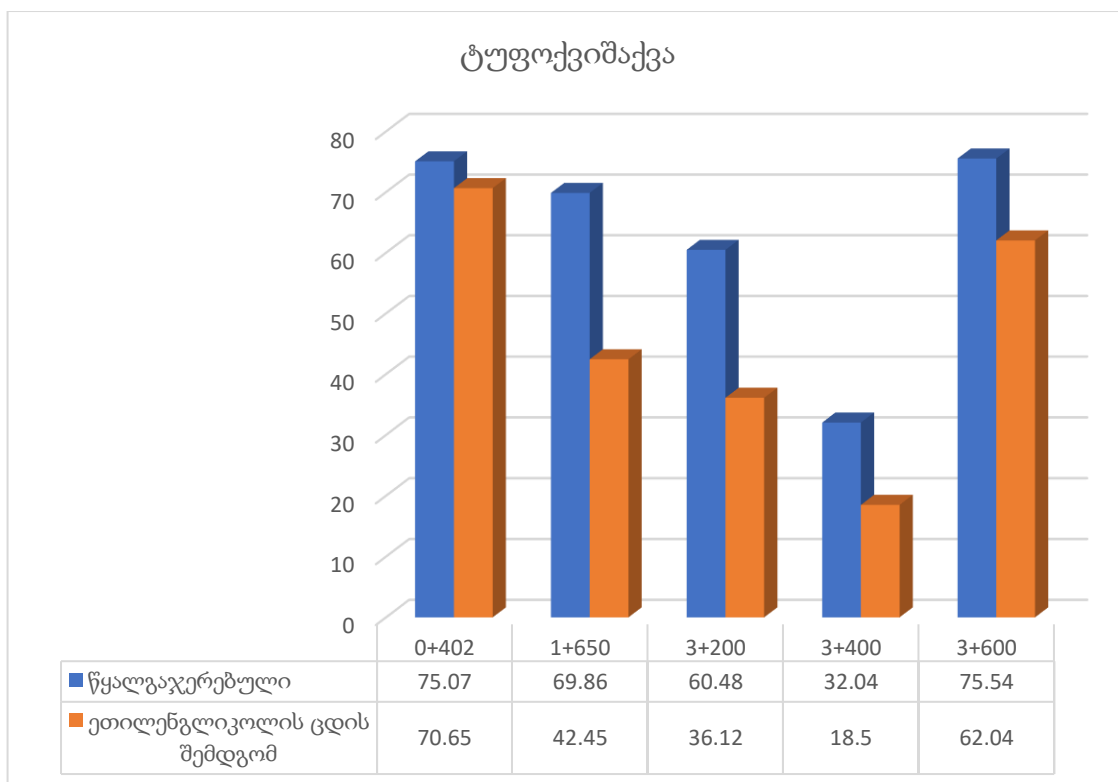
პიკეტი	სიმტკიცე ერთღერძა კუშვაზე ბუნებრივი, მპა	სიმტკიცე ერთღერძა კუშვაზე, წყალგ. მპა	სიმტკიცე კუშვაზე (ეთილენგლიკოლი), მპა	ქანის დასახლება
0+201	117.79	66.73	64.79	ტუფი
0+402	126.96	75.07	70.65	ტუფოქვიშაქვა
0+600	51.21	40.48	23.80	პელიტური ტუფი
1+200	74.45	51.88	29.60	ტუფობრექია
1+404	58,71	26.21	18.60	ტუფობრექია
1+650	88,07	69.86	42.45	ტუფოქვიშაქვა
2+000	30.74	29.02	19.68	ტუფობრექია
2+450	104.66	79.24	70.22	ტუფალევროლითი
2+804	92.84	43.29	36.29	ტუფობრექია
3+000	64.65	52.98	47.14	ტუფობრექია
3+200	99.19	60.48	36.12	ტუფოქვიშაქვა
3+400	41.94	32.04	18.50	ტუფოქვიშაქვა
3+600	93.25	75.54	62.04	ტუფოქვიშაქვა
4+100	72.50	48.10	34.28	ტუფობრექია
4+400	60.76	44.12	30.14	ტუფობრექია

აღნიშნული პრევენციული სამუშაოების ჩატარებამ მინიმუმამდე დაიყვანა გაუთვალისწინებელი მოვლენები გვირაბში, რაც პირდაპირ აისახა გვირაბის გაყვანის დროზე და ხარჯებზე.

დიაგრამა 1. ტუფობრექიების სიმტკიცეთა ცვლილება



დიაგრამა 2. ტუფოქვიშაქვების სიმტკიცეთა ცვლილება



3.3 სადაწნეო მილსადენი. სადაწნეო მილსადენი სადერევაციო გვირაბის სამხრეთ-დასავლეთ პორტალს უერთდება და მისი განთავსების ტერიტორია წარმოადგენს მდინარე ხობისწყლის მარჯვენა ციცაბო ფერდობს. მილსადენის სიგრძე გვირაბის პორტალიდან ჰესის შენობამდე 300 მ-ია.

კვლევების საწყის ეტაპზე, ფერდობზე ჩატარდა 1:500 მასშტაბის საინჟინრო-გეოლოგიური აგეგმვა, რის საფუძველზეც შედგა უბნის საინჟინრო-გეოლოგიური რუკა.

პორტალიდან ჰესის შენობის მიმართულებით, როგორც საინჟინრო-გეოლოგიური რუკიდან ჩანს, ფერდი ზედა ნაწილში 400-600 მ ნიშნულებს შორის მდებარეობს, აგებულია მცირე სიმძლავრის (3.0-6.0 მ) მეოთხეული თიხებით დაფარული ხოჯალის წყების მეორე ქვეწყების პირველი დასტით (პირველი დასტა (Jzhdz¹) ლითოლოგიურად წარმოდგენილია თხელ - და საშუალოშრეებრივი ტუფების, ტუფოქვიშაქვების და სქელშრეებრივი ტუფობრექჩიების მორიგეობისაგან.

სადაწნეო მილსადენის ზედა პორტალური ნაწილი განთავსებული იქნა მეწყრულ ფერდზე, რომელსაც საფუძვლად უდევს გვირაბის პორტალურ ნაწილთან კონგლომერატები, ხოლო ჰესის მიმართულებით ანდეზიტები განფენები ბალიშა განწვევებით (ლავური განფენი).

კვლევის საწყის ეტაპზე, ფერდობის მეწყრული ნაწილის კვლევა განხორციელდა მცირე სიღრმის ჭაბურღულებით (6 მ-მდე სიღრმის) და შურფებით. ფერდობი წარმოდგენილია ყავისფერი, ნახევრადმყარი, სუსტად კარბონატული თიხებით. აღნიშნული ფენისთვის განისაზღვრა ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები, ასევე გრანულომეტრიული შედგენილობა და ორგანული ნივთიერებების შემცველობა. რბილი გრუნტების ფიზიკური და მექანიკური თვისებების განსაზღვრა განხორციელდა BS 1377-2:1990 სტანდარტების გამოყენებით, ხოლო აღწერა ჩატარებულია ASTM D 2487-93.

მშენებლობის ბოლო ეტაპზე მოხდა აღნიშნული მეწყრული სხეულის თიხოვანი ნაწილის მოხსნა აღმავალი მომართულებით.

მშენებლობის სტადიაზე მილსადენის საყრდენებისთვის მოხდა ჭაბურღილების ბურღვა და შესწავლილი იქნა კერნის ნიმუშები.

ჭაბურღილებიდან აღებულ ნიმუშებზე განისაზღვრა ძვრის პარამეტრები ბუნებრივ ნაპრაღთა ზედაპირების გასწვრივ. მიღებული შედეგების მნიშვნელობები იცვლება ფარგლებში:

- შეჭიდულობა $c=0.13-0.38$ მპა;
- შინაგანი ხახუნის კუთხე $\varphi=15.9^{\circ}-29.44^{\circ}$.

3.4 ჰესის შენობა. ჰესის შენობის სამშენებლო მოედანი მდებარეობს მდინარე ხობისწყლის ჭალაში, მისი მარჯვენა შენაკადის გვალაშარას შესართავის მიმდებარედ.

სამშენებლო უბანზე ჩატარდა 1:500 მასშტაბის საინჟინრო-გეოლოგიური აგეგმვა. ჰესის შენობის სიახლოვეს ფიქსირდება 2 ტექტონიკური რღვევა, რომელიც ჰესის შენობის სქემატურ გეგმაზეა დატანილი.

ჰესის მიმდებარედ ნაპრაღიანობის და ქანების სიტკიცის მონაცემების განსაზღვრის მიზნით შესწავლილი იქნა რამოდენიმე ნაჩენი. დაფიქსირდა 4 ურთიერთგადამკვეთი სისტემა.

ზემოთ აღნიშნული მონაცემებიდან გამომდინარე, სამშენებლო უბნისათვის კლდოვანი მასივის ხარისხის მაჩვენებლის საშუალო მნიშვნელობა $Q=12.40$, კლდოვანი მასივის ჯამური რეიტინგი (RMR) შეადგენს 36-ს, რის მიხედვითაც მასივი კლასიფიცირდება, როგორც B კლასის - "კარგი".

ჰესის განთავსების უბანზე მცირე სიღრმის 3 ჭაბურღილი (5-6მ) იქნა გაყვანილი და ამოღებულ იქნა 4 შურფი. შურფები (სიღრმით 0.4-1.5მ) გაყვანილია ალუვიური ნალექებში. ის წარმოდგენილია ძირითადად ლოდებით (>3მ) და კაჭარით სხვადასხვა მარცვლოვანი ქვიშის შემავსებლით (სნ და წ 1.02.07, 1987).

ჭაბურღილებიდან მიღებული კლდოვანი ქანი კერნის ხარისხის მაჩვენებლის და ნაპრაღთა მახასიათებლების მიხედვით მოხდა ჯამური რეიტინგის შეფასება ტუფობრეჩქიების მასივისთვის, რომლის შედეგები მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილ 5-ში.

ცხრილი 5. ჰესის შენობის RQD და RMR განსაზღვრა

ჰესის შენობა														
ტუფობრეჭია მუქი მწვანე, რუხი, სხვადასხვა შემადგენლობის ჩანართებით														
ინფორმაცია ნაპრალების შესახებ														
№	დაბრის კუთხე	დაქანება	ნაპრალებს შორის საშუალო მანძილი	ზედაპირის სიბრტყე	ზედაპირის სიღრმე	ლიობი	შემგებელი		ნაპრალის სიგრძე	ამბლტულდა	გამოფიტვა	სიმტკიცე	გაწვლვანება	კლდეანი ქანის ხარისხის მაჩვენებელი - RQD (%)
							ზუდაპირის სიღრმე	ზუდაპირის სიღრმე						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	32	055	500	U	R	2-5	SA	CL	5	5	MW	S	D	
2	42	230	400	U	R	1-3	SA		8-10	3-5	MW	S	D	50
3	78	340	350	P	R	5-10	SA	CL	4-6	2-3	MW	S	D	
კლდეანი მასივის კლასიფიკაცია - RMR														
სიმკვრივე	კლდეანი ქანის ხარისხის მაჩვენებელი - RQD (%)	ნაპრალებს შორის საშუალო მანძილი	ნაპრალების მდგომარეობა			გრუნტის წყლები	ჯამური რეიტინგი	კლდეანი მასივის კლასი						
			სიგრძე	ლიობი	ზუდაპირის სიღრმე									
15	13	10	3	0	5	2	3	15	66	II - კარგი ქანი				

3.5 საინჟინრო-ჰიდროგეოლოგიური პირობები. ჰიდროტექნიკური კომპლექსის საინჟინრო პირობების შეფასებისას ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს საინჟინრო-ჰიდროგეოლოგიური პირობები. კომპლექსის მიმდებარე ტერიტორიაზე საკმაოდ ინტენსიურად ფიქსირდება ნაპრალოვანი წყლების გამოსავლები. ზოგიერთი მათგანის გამოვლინება სეზონურია, ხოლო ნაწილი გარკვეულ დებიტს ინარჩუნებს მუდმივად. თითოეული საინჟინრო ნაგებობის ტერიტორიაზე ხდებოდა გრუნტის (ნაპრალოვანი) წყლების სინჯების აღება და მათი ლაბორატორიული შესწავლა. ქვემოთ მოკლედ მიმოვიხილავთ მათ ქიმიზმს და აგრესიულობის ხარისხს (სნ და წ 2.03.11, 1985).

სათავე ნაგებობის სამშენებლო ქვაბულის ჩრდილოეთი კედლის ძირში მომდინარე წყაროდან აღებული იქნა წყლის სინჯები. ჩატარდა მათი სრული ანალიზი. სინჯებში განისაზღვრა ძირითადი კათიონების და ანიონების შემცველობა. დადგინდა სხვადასხვა მარკის და სხვადასხვა ბეტონის მიმართ აგრესიულობა (ნაცვლიშვილი, 2023).

სადერივაციო გვირაბის გაყვანისას მუდმივად ხდებოდა გვირაბის კედლებიდან და თაღის გაწყლიანება. ეს ყოველივე შეიმჩნეოდა ზოგჯერ წვეთვის, ზოგჯერ მცირე ნაკადების, ხოლო ცალკეულ შემთხვევებში საკმაოდ დებიტის მქონე წყალგამოვლინებებით. აღნიშნული წყალგამოვლინებები დაკავშირებულია მსხვილ ტექტონიკურ ნაპრალებთან და ნაპრალოვანი ურთიერთგადამკვეთ სისტემებთან.

ვინაიდან გვირაბში წყალმოდენები თითქმის ყველა პიკეტზე ფიქსირდებოდა მიზანშეწონილი იყო მათი ქიმიური შედგენილობის შესწავლა და აგრესიულობის ხარისხის განსაზღვრა. ცალკეულ შერჩეულ პიკეტებზე მოხდა გვირაბში გამოვლენილი წყლების შესწავლა. სულ შესწავლილ იქნა 50-ზე მეტი წყლის სინჯი.

გვირაბში გამოვლენილი ნაპრალოვანი წყლები უმეტესწილად ჰიდროკარბონატულ-კალციუმ-მაგნიუმია. ქიმიური ანალიზის შედეგების მიხედვით, აღებულ წყალში არ არის აღმოჩენილი ბეტონებისადმი აგრესიული სულფატ-იონი და გარემო არ არის აგრესიული არც ერთი მარკის ბეტონების მიმართ. რკინაბეტონის კონსტრუქციების არმატურის მიმართ წყლები ავლენენ სუსტ და საშუალო აგრესიას პერიოდულად დასველების შემთხვევაში, ხოლო არ არიან აგრესიულები წყალში მუდმივად ყოფნისას. გარემოს აგრესიული ზემოქმედების ხარისხი ნახშირბადიან

ფოლადზე, გრუნტის წყლის დონის დაბლა იმ ქანებისთვის რომელთა ფილტრაციის კოეფიციენტი $>0.1\text{მ/დღ.ღ-ზე}$ საშუალოა.

დასკვნა

- 1) ჰიდროტექნიკური ნაგებობების განთავსების ტერიტორიაზე პირველად განხორციელდა 1:10000 მასშტაბის საინჟინრო-გეოლოგიური აგეგმვა, რის საფუძველზეც შედგა რუკა;
- 2) საკვლევი ტერიტორიის აგეგმვის შედეგად დაფიქსირდა 16 სხვადასხვა განვრცობის რღვევა, რომელთაგანაც 12 ახალია და ნაპრალოთა 6 ჯგუფი:
 - მთავარი კლივაჟის ნაპრალები;
 - კავკასიური მიმართების თანხვედრილი რეგიონალური სხლეტვის ნაპრალები;
 - მოწყვეტის გარდი-გარდმო ნაპრალები;
 - შრეებრიობის თანხვედრილი ნაპრალები;
 - შრეებრიობის გამკვეთი გაჭიმვის ნაპრალები;
 - ლოკალურ გამართულებელ ნაოჭებთან დაკავშირებული სხლეტვის ნაპრალები;
- 3) ნაპრალოთა სიხშირისა და სიგანის მონაცემების ანალიზის საფუძველზე განისაზღვრა ნაპრალოთა თითოეული ჯგუფისთვის დრულობა და ბლოკურობა;
- 4) კლდოვან ქანებში ძირითადად ფიქსირდება ნაპრალოთა 3 სისტემა:
 - I-სისტემა: დაქანების აზიმუტი 60° , დახრის კუთხე 58° ;
 - II-სისტემა: დაქანების აზიმუტი 230° , დახრის კუთხე 55° ;
 - III-სისტემა: დაქანების აზიმუტი 330° , დახრის კუთხე 65° .
- 5) გვირაბის აღნიშნულ მონაკვეთზე დაფიქსირდა 7 რღვევის ზონა და 80-ზე მეტი ტექტონიკური ნაპრალი;
- 6) გვირაბის მთელ სიგრძეზე განისაზღვრა კლდოვანი მასივის რეიტინგი, Q ხარისხი და გასანისაზღვრა მასივის კლასი, რომლის მიხედვითაც ის 3 ტიპად იყოფა: კარგი, დამაკმაყოფილებელი და ცუდი.
- 7) სადერივაციო გვირაბის მასივის კლასების პროცენტული გადანაწილება შემდეგნაირია:
 - I - ჯგუფი - 30-35%;
 - II - ჯგუფი - 55-60%;
 - III - ჯგუფი - 10%.

- 8) გვირაბის ამგები კლდოვანი ქანების სიმტკიცის დადგენისთვის გამოყენებულ იქნა ინოვაციური მეთოდი, კერძოდ, აღებული ნიმუშები დამუშავდა ეთილენგლიკოლის ხსნარში, რის შედეგად გვირაბში დადგინდა პოტენციურად სუსტი და საშიში უბნები.
- 9) ჰიდროტექნიკური კომპლექსის განთავსების ტერიტორიაზე და გვირაბში გამოვლენილი ნაპრალოვანი წყლები ჰიდროკარბონატულ-კალციუმ-მაგნიუმ-მანია, ქიმიური ანალიზის შედეგების მიხედვით, არააგრესიული (სნ და წ 2.03.11, 1985);
- 10) სამშენებლო ნორმების და წესების (სნ და წ 1.02.07, 1987) მიხედვით ხობი 2 ჰესი-ს ტერიტორია სირთულის მიხედვით ხასიათდება როგორც რთული.

აპრობაცია

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი საკითხები მოხსენების სახით გაშუქდა საქართველოს მინერალოგიური საზოგადოების მე-8 საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკულ კონფერენციაზე (თბილისი, 20-21 ოქტომბერი 2022 წ.) და კოლოკვიუმებზე.

პუბლიკაციები

1. ტლაშაძე გ., გორგიძე ლ., **ნაცვლიშვილი მ.** „ხობი 2 ჰესი“-ს ჰიდროტექნიკური კომპლექსის სათავე ნაგებობის და ჰესის შენობის სამშენებლო მოედანის ამგები გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები, დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერებები და პლანეტოლოგია. ISSN 1512-0996. DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2023-1-75-85>; უაკ 626/627; 2023 წ. №1 (527). გვ. 75-85.
2. **ნაცვლიშვილი მ.** „ხობი 2 ჰესი“-ს ჰიდროტექნიკური კომპლექსის სამშენებლო მოედნის საინჟინრო-ჰიდროგეოლოგიური პირობები. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, საერთაშორისო საინჟინრო აკადემია, საქართველოს საინჟინრო აკადემია. DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0287>; №1, vol. 97, 2023 წ. გვ. 103-107.
3. Sh. Keleprishvili, G. Tlashadze, L. Gorgidze, **M. Natsvlishvili**. GEOLOGICAL REVIEW OF “KHOBI 2 HPP” HYDROTECHNICAL COMPLEX; THE DEVELOPMENT OF MINING AND GEOLOGY IS THE PRECONDITION FOR THE REVIVAL OF ECONOMY; 8th International Scientific-Practical Conference on Up-to-date Problems of Mining and Geology; 20-21 October, 2022, Tbilisi; Technical University; pp. 57-60; (BOOK OF ABSTRACTS).
4. **M. Natsvlishvili**. Description of Engineering-Geological Conditions of "Khobi 2 HPP" Construction Diversion Tunnel (from pk 4+200 to pk 4+500) and Assessment of Surrounding Massif. Work of GTU. Earth and Planetary Sciences. ISSN 1512-0996. DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2023-1-86-95>; UDC 624.131.1; 2023; №1 (527). pp. 86-95.

Resume

Analysis and Assessment of Engineering-Geological Conditions of khobi 2 HPP Hydrotechnical Complex Construction

For the progress and well-being of the country, the economy development is greatly important, in this development it is necessary to use various energy resources. In this regard, our country is rich in hydropower resources, which are renewable in time and ecologically gives less damage to the environment. In this point of view, during the last decade, a lot of projects have been implemented in our country for HPPs with different capacities. Several HPPs were given into operation: Bakhvi HPP, Bjuja HPP, Sashuala HPP cascade, Dariali HPP and others. The construction of these HPPs significantly increased the energy resources of the country. The large rivers of West Georgia are quite plentiful of water and they allow construction of HPPs with large power. By this point of view, the construction of Khobi 2 HPP is important which is planned to be put into operation by the end of 2023.

Hydrotechnical facility, by its side, belongs to the group of engineering constructions being quite complex. Therefore, it is important to study and evaluate the natural environment in detail in order to ensure its safe construction and operation. Correct analysis of geological, structural-tectonic, geodynamic and hydrogeological conditions of Khobi 2 HPP location area ensures the balance of the binary system. The aim of the investigation was exactly to study these factors in details, using modern methods.

The documentation of studying the engineering-geological conditions of the mentioned territory was practically unavailable in the fund and literary sources. It was conditioned due to its complex relief. At the mentioned territory 1:10000 scale geological and engineering-geological mapping took place for the first time. During mapping distribution limits of various age soils and bedrocks were observed. During mapping existing geological events and current geological processes were observed as well, for reflection of which the UTM coordinate system was used. All of them were given in engineering-geological map.

Engineering-geological investigations were provided by several stages at location areas of Headworks, diversion tunnel, penstock and powerhouse. 6.7km long diversion tunnel was studied in every detail. Both walls of the tunnel and geomechanical description

were performed simultaneously. All fracture systems observed in the tunnel were recorded and measured. Some coarse tectonic faults were observed as well. The section of the tunnel from PK 2+900 to PK 3+200 passes through one of the faults, the degree of complexity of which is quite high. Along the entire length of the tunnel determination of physical-mechanical properties of various soils took place, rock mass rating, strength quality were assessed and mass class was defined by pickets. According to mass class the diversion tunnel was typified. According to that the tunnel was divided into poor, fair and good sections.

A new component was included in the evaluation of rock types identified in the tunnel. Rock samples were treated in ethylene glycol solution, which rapidly releases clay material from the rock composition. The removal of the clay fraction causes the weakening of the crystalline fencing of the rock. Therefore, the stability of the walls and the arch weakens and the risk of collapse increases.

In this way it was possible to monitor the changes in bearing capacity of the rocks in some areas of the tunnel, in the areas where the extraction of clay fraction was intense. Prevention measurements were taken in the observed weak and potentially dangerous areas. It reduced the time and costs of tunneling. The mentioned investigation is novelty in massif assessment and is quite important during construction of such complex engineering structures as the tunnel. During the investigation period, the chemical content and aggressivity of ground (fracturing) waters were evaluated in order to select the type of concrete used in the tunnel support.

During investigations provided at various stages on Khobi 2 HPP study territory determination of physical-mechanical properties of soils and rocks was carried out in accordance with latest equipments and methods. Their laboratory study was performed according to BS, ASTM and ISO standards. The rocks were evaluated according to modern classifications.