


 <p>University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna</p>	 <p>TRUMER Schutzbauten</p>	 <p>Baugeologisches Büro Bauer</p>
---	---	---

<p>Baugeol. Büro Bauer GmbH, Domagkstr. 1 a, 80807 მიუნხენი, გერმანია</p>	<p>Baugeologisches Büro Bauer GmbH Domagkstraße 1 a 80807 მიუნხენი www.baugeologie.de</p>
<p>სს საქართველოს განახლებადი ენერჯის კომპანია 10 მედეა ჯუღელის ქუჩა 0179 თბილისი საქართველო</p>	<p>საკონტაქტო პირი: დოქ. პიტერ ნეიმანი ქრისტოფ ვიჩერტი ტელეფონი: +49-89-36040-467 ფაქსი: +49-89-36040-100 ელ-ფოსტა: Peter.Neumann@baugeologie.de</p>

მესტიაჭალა ჰესის პრიორიტეტული პროექტები საბოლოო ანგარიში საველე კვლევის და გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების შეფასების შესახებ, 2020

<p>გამომცემლები</p>	<p>დოქ. სვენ ფუქსი ბუნებრივი რესურსების და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების უნივერსიტეტი Institute of Mountain Risk Engineering Peter-Jordan-Straße 82 1190 ვენა / ავსტრია</p> <p>დიპლ. ინჟ მარკუს ჰაიდნი Trumer Schutzbauten GmbH Maria Buehel-Straße 7 5110 ობერნდორფი / ავსტრია</p> <p>დოქ. პიტერ ნეიმანი მეც. მაგ. ქრისტოფ ვიჩერტი Baugeologisches Büro Bauer GmbH Domagkstraße 1a 80807 მიუნხენი/გერმანია</p>
<p>თარიღი:</p>	<p>2020 წლის 10 დეკემბერი</p>

 <p>ZAID-1890567/T02</p>	<p>Raiffeisenbank München Nord eG Konto: 25 803 22, BLZ: 701 694 65 IBAN: DE52701694650002580322, SWIFT: GENODEF1M08</p>	<p>Geschäftsführer: Markus Bauer, Anton Braun, Dr. Florian Rauh Amtsgericht München: HRB 157644 St.Nr.: 143/118/30024, UID/VAT: DE814419103</p> <p style="text-align: right;">Seite 1 von 136</p>
---	--	---

შეჯამება და დასკვნები

საბოლოო ანგარიში მესტიაჭალა 1 ჰესის წყალსაკრების საველე კვლევის და გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების შეფასების შესახებ წარმოადგენს გეომეცნიერული შეფასების შედეგებს GRPC-ს და სამუშაო ჯგუფს შორის ძირითადი ხელშეკრულების შესაბამისად.

ანგარიში მოიცავს განმარტებით შენიშვნებს გეომეცნიერების და მეთოდოლოგიის შესახებ მე-2 თავში და დეტალურ მონაცემებს ჩვენი საველე კამპანიებიდან, ფოტო-ილუსტრაციებთან ერთად, რომელიც გეოგრაფიულად არის სტრუქტურული მურყვამის („შენაკადი“), მესტიაჭალას და ჭალათის მთავარი ხეობების შესაბამისად (თავი 3-5). გეოლოგიური და ანაშრეების ზონების სქემატური რუკები 1:25,000 მასშტაბით (დანართები 1 - 2), ასევე თანდართულია ხეობების გეომორფოლოგიური დეტალური რუკები 1:12,000 მასშტაბით (დანართები 3 - 5), წარმოადგენს მასების გადანაცვლების აღწერის და სტაბილურობის პარამეტრებს 2019 და 2020 წლებში. ერთიანი ნომენკლატურა გამოიყენება ანაშრეების და დანალექების / ლითოლოგიური ზონებზე. აღნიშნული მონაცემების ინტერპრეტაცია და ექსტრაპოლაცია (მოვლენის ანალიზი), არსებული და მომავალი გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები შეფასდა და შეტანილია ხეობების გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების დეტალურ რუკებში 1:12,500 მასშტაბით, სადაც დიფერენცირებულია ქანების ცვენის და ჩამოშლის პროცესები გაფართოებულ ფარგლებში (დანართი 6-7).

შედეგად, განხორციელდა გეოფიზიკური და ნაშალის ნაკადის მოდელირება, ასევე შერჩეული მოვლენის კატეგორიების ქანების ცვენის მოდელირება (თავები 6 - 8). 8 - 9 დანართებში ასახულია შესაბამისი დეტალური რუკები და ნაწილები. მაღალი გარჩევადობის **ზემოქმედების ანალიზი** გლაციალურ კვლევასთან კომბინაციით (თავი 9) განაპირობებს ჰესი 1-ის გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების გარემოებების ზუსტ შეფასებას (თავი 10), რომელსაც ფუნდამენტალური მნიშვნელობა აქვს შემდგომი რისკის შეფასების პროცედურებისთვის. და ბოლოს, ასახულია მონიტორინგის მოთხოვნები გეოლოგიური საფრთხის გარემოების დინამიკის შემოწმებისთვის (თავი 11), რომელიც ასევე შეიძლება გამოყენებული იქნას შესაძლო მომავალი გაფრთხილების სისტემებისთვის. ტექნიკურ-ეკონომიკური კონცეფციები შედეგების სტრუქტურული შერბილებისთვის თან ერთვის წინამდებარე ანგარიშს (თავი 12). როგორც მონიტორინგს, ასევე შერბილებას გადაწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ჰესის უსაფრთხოების დონის გაზრდისთვის.

კვლევის შედეგები შეიძლება შეჯამდეს შემდეგი სახით. გამოკვლეული ჰესის წყალსაკრები მესტიის ჩრდილოეთით იჭრება კავკასიონის მთავარ ქედზე ციცაბო რელიეფით, სუსტი გეოლოგიური ზონებით, ფერდობების მყინვარული უფრო მკვეთრი დახრილობით, მყინვარების და მარადყინულოვანი ქანების უკუქცევით, რაც მნიშვნელოვან მეტეოროლოგიურ ფაქტორთან ერთად განაპირობებს განსაზღვრულ საფრთხეებს მთიან რეგიონში. ექსტრემალური ფიზიკური პირობები ბუნებრივია და

წარმოადგენს სხვადასხვა გეოლოგიური რისკების სიჭარბეს, რისი ტენდენციაც ახასიათებს წყალსაკრებს. შედეგად საერთო რისკის დონე მნიშვნელოვნად მაღალია და არ შემცირდება ბუნებრივი პროცესებით უახლოეს მომავალში.

დოკუმენტურად შედგენილი საფრთხის სიტუაციის განმარტება რთულია რისკის მართვის, ბიზნეს გადაწყვეტილებების, შერბილების და სხვა კონტექსტში. თუმცა ჩვენი მონაცემების იერარქიული ორგანიზების შემდეგ პოტენციური საფრთხის მოცულობების (მასშტაბები), დარღვევების დაკავშირებული ალბათობების (სიხშირე), რეგიონული გავრცელების და ზემოქმედების მოდელირების შესაბამისად, ნათელი ხდება გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების საერთო არქიტექტურა. გამარტივებისთვის, ჩვენ გამოვყავით მოვლენების ორი ჯგუფი. ერთი მხრივ არსებობს უამრავი, ხშირად მაღალი სიხშირის პროცესები შეზღუდული მოცულობებით სხვადასხვა და პროგნოზირებად ლოკაციებში. ჩვენ მათ ვუწოდებთ „1 ჯგუფის მოვლენები“. აღნიშნული სხვადასხვა ტიპის საფრთხეების ჰეტეროგენული ჯგუფი მოიცავს ქანების ცვენას და ძვრებს დაბალიდან დიდ მოცულობამდე ($m^3 - 100s$ of m^3), ჩამოშლა და მსგავსი პროცესები $100s$ $t - 1000s$ of m^3 მოცულობით, გრუნტის ძვრები და ზვავები. ყველა აღნიშნულ პროცესს აქვს საერთო, რომ ისინი წარმოადგენენ განსაზღვრულ მოცულობას, შეიძლება ადგილობრივად იქნას შეფასებული სათანადოდ ზუსტად (გაშვების და გადმოსვლის ზონები) და შერბილებული სათანადო ძალისხმევებით. ცნობილი მაგალითია ქანების ცვენის ზონა ჩრდილო-დასავლეთით მესტიაჭალის ხეობის ფლანგზე, რომელიც სათავეს იღებს ჩრდილოეთ გალერეადან. ჩვენ შესაბამისად წინ გადავდგით ნაბიჯი და დავადგინეთ მაღალი სიხშირით ბლოკების ჩამოცვენა სტატისტიკურად და განვახორციელეთ მოდელირება გალერეას ზონაში და გავითვალისწინეთ ახალი წყალმიმღები, რაც ქანების ცვენისგან დაცვის ზომების შემუშავების წინაპირობაა. სხვა მაგალითებია ღვარცოფული ნაკადების ზონები ან ზვავები, სხვადასხვა ღარების და ტრანშეების თანხლებით მესტიაჭალას ორივე ფლანგზე, ადგილობრივად გავლენას ახდენს ჰესის სტრუქტურებზე. „1 ჯგუფის მოვლენები“ ხასიათდება სიხშირის ფართო დიაპაზონით 11-30 წლიდან - წელიწადში რამდენჯერმე. შეჯამებისთვის, აღნიშნული მოვლენები წარმოადგენს მუდმივი ეროზიის და შერბილების სახეს ტექნიკური ზომებით, მაგ, ქანების ცვენისგან მოქნილი დამცავი ზღუდეებით ან დამცავი დამბებით, შესაძლებლობის ფარგლებში.

მოცემულ ფონზე, 2019 წლის ივლისში მასების გადანაცვლებასთან დაკავშირებით კატასტროფამ - სხვა მეწყერთან ერთად რეგიონში - მიუთითა ნაკლები სიხშირის, მაგრამ უფრო მაღალი მოცულობის და მასშტაბების მოვლენები („2 ჯგუფის მოვლენები“) სერიოზულ საფრთხეს უქმნის ჰესის მთლიან სტრუქტურას. 2 ჯგუფის მოვლენები მოიცავს უცაბედი ღვარცოფული წყალმოვარდნის მსგავს პროცესებს მცინვარებში პოტენციური წყლის გარღვევის შემდეგ, მაგ. ლეხზირის ან ჭალაათის მცინვარებში, ან მაღალი მასშტაბის რთულ პროცესებს, როგორცაა მურყვამის ხეობიდან წარმოქმნილი პროცესი, რომელშიც მონაწილეობდა სხვადასხვა ტიპის გრავიტაციული ძვრები

/მეწყერები. გარდა ამისა ჩვენ ასევე შევიტანეთ პოტენციური გაფართოებული ქანების ჩამოშლა მეორე ჯგუფის მოვლენებში. მოცულობითი და აშკარად არასტაბილური ქანის კოშკები დადგენილია მიმდებარე გალერეას დასავლეთ ნაწილში (დაახლოებით 10,000 m³ მეტი). ყველა სხვა აღნიშნული მაღალი მასშტაბის საფრთხეები, რომელიც უმეტეს შემთხვევაში მოიცავს რამდენიმე 100,000 m³ მოცულობას, შეუძლებელია ზუსტი და სწორი ვადების და მექანიკური ქვევის პროგნოზირება. თუმცა ცხადია, რომ ისინი შესაძლოა წარმოიქმნას და ჩვენ უნდა ვივარაუდოთ 30 წელზე ნაკლები სიხშირის ინტერვალი დადგენილ საშიშ ზონებში.

მოვლენის ანალიტიკური მონაცემების საფუძველზე ჩვენ შევაჯამეთ მნიშვნელოვანი გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები ჰესი 1-ის სტრუქტურული ელემენტებისთვის, როგორც მოცემულია ქვემოთ ცხრილში. ფერები / შტრიხები, ასევე სიხშირის კლასიფიკაციები განმარტებულია სურათზე 2 – 6 მთავარი ანგარიშის მე-2 თავში.

ცხრილში წარმოდგენილია ჰესი 1 წყალსაკრებში მოვლენის ანალიზის შედეგები (EF 1: >30 წელი / EF 2: 1-30 წელი (EF 2.1: 11- 30 წელი / EF 2.2: 1-10 წელი) / EF 3: ≤ 10 მოვლენა წელიწადში / EF 4: >10 მოვლენა წელიწადში).

Geohazard types and classification Location / HPP element	„Group 2 Events“ low frequency / high magnitude extreme events				„Group 1 Events“ permanent erosion processes			
	flash flood	high magnitude compound event	very large	large	rock fall medium	minor	debris flow	snow avalanche
Intake 1 (original position)	EF 2 several 100,000 m ³	EF 2 several 100,000 m ³						
Intake 1 (alternative new position)	EF 2 several 100,000 m ³				EF 2.1 up to 100 m ³	EF 3 up to 10 m ³	EF 2 several 1,000 m ³	annual
Transit area (pensiock, gallery)	EF 2 several 100,000 m ³	EF 2 several 100,000 m ³	EF 2.1 unstable rock towers; up to 12,000m ³		EF 2 up to 100 m ³	up to 2.5 m ³ EF 4 up to 10 m ³ EF 3	EF 2 several 100 m ³	annual
Powerhouse HPP1	EF 2 several 100,000 m ³	EF 2 several 100,000 m ³						

/გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები და კლასიფიკაცია, ადგილმდებარეობა / ჰესის ელემენტი; წყალმიმღები 1 (თავდაპირველი პოზიცია); წყალმიმღები 1 (ალტერნატიული ახალი პოზიცია); ტრანზიტის ზონა (სადაწნეო მილსადენი, გალერეა); ელექტროსადგური (ჰესი). „2 ჯგუფის მოვლენები“: დაბალი სიხშირის / მაღალი მოცულობის ექსტრემალური მოვლენები; ღვარცოფული წყალმოვარდნა, მაღალი მასშტაბის რთული მოვლენა. „1 ჯგუფის მოვლენები“: პერმანენტული ეროზიული პროცესები; ქანების ცვენა: მეტად დიდი, დიდი, საშუალო, მცირე. ჩამონაშალი, ზვავი/.

გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების სცენარის დაზუსტების და ჰესი 1-ის ექსპოზიციის შემცირების მიზნით, ერთი მხრივ ზემოქმედების ანალიზი და მეორე მხრივ საქმიანობის მონიტორინგი არსებითი ინსტრუმენტებია დაგეგმარებაში. აღნიშნული მიზნებისთვის

ჩვენ გამოვთვალეთ და განვახორციელეთ აღნიშნული საფრთხეების მოდელირება, რომლებიც პირდაპირ ზემოქმედებას ახდენენ სამშენებლო სამუშაოებზე მაღალი სიხშირის (მცირე / საშუალო ქანების ცვენის მოდელირება) ან კატასტროფული შედეგები (მაღალი მასშტაბის ღვარცოფული ნაკადის მოდელირება) ჩვენი კონტრაქტის შესაბამისად.

ცხრილში წარმოდგენილია გამოყენებული მეთოდები, პროგრამული უზრუნველყოფა და ზემოქმედების ანალიზის ადგილმდებარეობა s.l. ჰესი 1-ის წყალსაკრებში.

	ღვარცოფული წყალმოვარდნა მაღალი სიმძლავრის რთული მოვლენები	ქანების ცვენა		ღვარცოფული ნაკადი	ზვავი
		მალიან დიდი - დიდი	საშუალო - მცირე		
ზემოქმედების ანალიზი შერჩეულ ლოკაციებში	მურყვამის შენაკადი; ღვარცოფული ნაკადის მოდელირება; მურყვამის აშრევა; დისტანციური / დრონით განსაზღვრა; (გეომექანიკური ინტერპრეტაცია) მესტიაჭალა -ლესხურის ხეობა; ღვარცოფული ნაკადის მოდელირება; წყალმიმღების ადგილმდებარეობა; კუთრი ელექტრონიკის კვების მოდელირება. Res20 გალერეას ადგილმდებარეობა; კუთრი ელექტრონიკის კვების მოდელირება. Res20.	ტრანზიტული ზონები M-R3b და M-R5b; დისტანციური / დრონით განსაზღვრა (გეომექანიკური ინტერპრეტაცია).	გალერეა / ზონა M-D4; მოვლენის 5.4. მ3 ქანების ცვენის მოდელირება GeoRock 2D ახალი წყალმიმღების ადგილმდებარეობა / ზონა M-D6; მოვლენის 8.5. მ3 ქანების ცვენის მოდელირება. GeoRock 2D	-	-

პროექტის პრიორიტეტებზე და გამოვლენილ მთავარ საფრთხეებზე ფოკუსირებით შესაძლებელია შემდეგი დასკვნების გამოტანა:

დასკვნა 1: 2019 წლის კატასტროფის ახლო გაშვების ზონა არ აღწევს ნახევრად სტაბილურ მდგომარეობას, პირიქით კვლავ რჩება ქანების მოწყვეტის მაღალ აქტიურ ზონად უკუქცევითი მურყვამის მცინვარის ქვეშ. ჩვენ განმეორებით მოვლენას ველოდებით 100s - 10,000s m3 მომდევნო წლებში, პოტენციურად მაღალი სიმძლავრით (ქანების ჩამოქცევა - 100,000s m3) 30 წლიან დიაპაზონში. ასეთმა მაღალი მოცულობის მოვლენამ შესაძლოა გამოიწვიოს კატასტროფების კასკადი 2019 წლის მოვლენასთან შედარებით, მიაღწიოს მესტიაჭალას ხეობამდე. ასევე ლესხურის მცინვარის ფრონტი აქტიურია და წარმოქმნის ღვარცოფული წყალმოვარდნის საფრთხეს. მცინვარის კვლევამ გამოავლინა მცინვარის მნიშვნელოვანი უკუქცევა მომდევნო დეკადებში, რაც განაპირობებს პოტენციურ მაღალი ინტენსიურობის მოვლენებს.

ასეთი მაღალი მოცულობის „2 ჯგუფის მოვლენების“ ეფექტი ჰესის მთლიან ინფრასტრუქტურაზე, რომელიც აღწევს წყალმიმღებიდან ელექტროსადგურამდე, ფასდება მნიშვნელოვნად, როგორც ჩვენ ვიხილეთ 2019 წლის გამოცდილებიდან. ღვარცოფული ნაკადის მოდელირება განაპირობებს ზემოქმედების შედეგებს, რომელიც ასახავს ნაკადის სიმაღლის სხვადასხვა ხარისხს, წნევას და სიჩქარეს მესტიაჭალას ხეობის ნაწილებში.

ცხრილში წარმოდგენილია მურყვამის შენაკადის ღვარცოფული ნაკადის მოდელირება (2 ჯგუფის მოვლენები) - მაქსიმალური მოდელირებული მაჩვენებლები.

	დანალექის სიმაღლე [მ]	ნაკადის წნევა [kN/m ²]	ნაკადის სიჩქარე [m/s]
ყოფილი წყალმიმღები1	18.0-20.0	აღემატება 700	აღემატება 13
ახალი წყალმიმღები 1	4.0-მდე	Up to 60	Up to 6

ცხრილში წარმოდგენილია მესტიაჭალას ხეობის ღვარცოფული ნაკადის მოდელირება (2 ჯგუფის მოვლენები) - მაქსიმალური მოდელირებული მაჩვენებლები.

ჰესის ადგილმდებარეობა	ნაკადის სიმაღლე [m]	ნაკადის წნევა [kN/m ²]	ნაკადის სიჩქარე [m/s]
ახალი წყალმიმღები 1	3.0 – 3.5 ფარგლებში	60 – 70 ფარგლებში	8 – 10 ფარგლებში
ღია სადაწნეო მილსადენი	2.0 – 3.5 ფარგლებში	110 – 125 ფარგლებში	11 – 13 ფარგლებში
გალერეა	2.2 – 3.1 ფარგლებში	110 – 135 ფარგლებში	11 – 13 ფარგლებში
დაკიდული ხიდი	5.2 – 6.6 ფარგლებში	120 – 250 ფარგლებში	9 – 11 ფარგლებში
ჰესი	4.0 – 7.0 ფარგლებში	f 100 – 140 ფარგლებში	8 – 10 ფარგლებში

დასკვნა 2: დასავლეთის მესტიაჭალას ხეობის ქანური ფერდობი (დალრაკორას მასივი) ჰგავს აქტიურ მოწყვეტის ზონას, როგორც დადასტურდა გამოვლენილი ცვლილებებით 2019 – 2020 წლებს შორის. შესაძლოა წარმოიქმნას მცირე, საშუალო და ასევე დიდი ქანების ჩამოშლა, ასევე მცირე ღვარცოფული ნაკადები. ჩვენ მოვახდინეთ მაღალი სიხშირის ქანების ჩამოშლის მოდელირება ორ ლოკაციაზე და წარმოვადგინეთ ყველა რელევანტური მონაცემი (საპროექტო მოვლენის სტატისტიკური მონაცემები, ენერჯის კლასები, რღვევის სიმაღლეები და სხვა), რომელიც საჭიროა დამცავი ზღუდეების შერბილების გეგმის შედგენისთვის. გარდა ამისა ქანების კომპლექსები, რომლებიც ხასიათდება დიდი ან ძალიან დიდი მოცულობით ქანების ჩამოშლის ტენდენციით, გამოვლენილია ორ ზონაში. ვინაიდან არ არსებობს ფუნდამენტალური მონაცემები, ალბათობის და ზემოქმედების შეფასება მხოლოდ მიახლოებით არის შესაძლებელი დღესდღეობით.

დასკვნა 3: მთლიანი ზემოქმედების ანალიზის მოდელირების შედეგები (რომელიც შეჯამებულია მე-10 თავის ცხრილებში) შეიძლება გამოყენებული იქნას რისკის შეფასებისთვის, გადაწყვეტილების მიღების ან კონტროლების წინასწარ ეტაპზე შემუშავებისთვის. ჩვენ ასევე ვიძლევიტ რეკომენდაციას ხელმეორედ შემოწმდეს არსებული შერბილების სტრუქტურების სტატისტიკა და პროექტი. თუმცა დეტალური

დაგეგმვისთვის სხვა სამუშაოებთან ერთად საჭიროა დამატებით განსაზღვრული მოდელირება.

დასკვნა 4: წარმოდგენილია დეფორმაციის აქტივობის მონიტორინგის და შექენის კონცეპტუალური სტრუქტურა, რომელსაც სავსებით არსებითი მნიშვნელობა აქვს საფრთხის და რისკის შეფასების შემოწმების და შესწორებისთვის და რომელიც ასევე წარმოადგენს შესაძლო გაფრთხილების სისტემების საწყის წერტილს. აღნიშნული ძირითადად მოიცავს კვლავ აქტიური 2019 წლის მურყვამის ხეობის მოწყვეტის ზონის მაღალი სიზუსტის კვლევას, მთლიანი წყალსაკრების რეგულარულ დისტანციურ კვლევას (სატელიტზე დაფუძნებული შეფასება) და შერჩეული ლოკაციების ადგილზე შემოწმებებს ყოველწლიურად სტაბილურობის და აქტივობის ცვლილებების შეფასების მიზნით. მხოლოდ ამ საშუალებებით არის შესაძლებელი ფარული საფრთხეების და რისკების, ასევე ცვლილებების გამოვლენა და შესაბამისად დაგეგმვის, მონიტორინგის ან შერბილების ადაპტირება, მაგ. ამჟამად არააქტიური დვარცოფული ნაკადის არხები ან შიშველი ქანის მასები.

დასკვნა 5: წარმოდგენილი მაღალი გარჩევადობის გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების გამოსახულებების საფუძველზე, შედგენილია ფუნდამენტალური კონცეფციები რისკის შემცირებისთვის, GRPC მიერ გათვალისწინებული რეაბილიტაციის გადაწყვეტილების შემთხვევაში. ზოგადად, ფართო „2 ჯგუფის მოვლენების“ სათანადოდ შერბილება შეუძლებელია მთლიანობაში, კერძოდ, თუ გათვალისწინებული უნდა იქნას ეკონომიკური შეზღუდვები. თუმცა, დამცავმა ან გამაგრებებმა ზომებმა სადაწნეო მილსადენის, ჩამოზავებისგან დამცავი გალერეას და შემდგომ ქვემოთ მარჯვენა გვერდითი არხის ნაპირების, წყალგადასაშვები კაშხლის, ქვიშასაჭერის და ელექტროსადგურის გასწვრივ რეგულარულ კვლევასთან, ასევე გაფრთხილების სისტემებთან ერთად, შესაძლოა მნიშვნელოვნად გაზარდოს უსაფრთხოება. მთავარი საკითხები არის ადგილის და წყალმიმღების ტიპის შერჩევა (მაგ. ტიროლოური კაშხალი), შესაძლოა დაცული იყოს ფსკერული ნარიყის დამცავი ბადეებით ან სადაწნეო მილსადენის დაცვით და ფართო ინფრასტრუქტურით გვერდითი ნაპირის ეროზიით გამოწვეული ზიანისგან დასაცავად ბლოკის ან რკინაბეტონის კედლის საყრდენის გამოყენებით. არხის ფსკერის გამორეცხვა შეიძლება თავიდან იქნას აცილებული ქვედა სარტყელით. სედიმენტების შემაკავებელი და წყალშემაკავებელი დამბებით შესაძლებელი იქნება ზემოქმედებების შემცირება ჰესის ქვედა ბიეფის სტრუქტურებზე. მიუხედავად ამისა, კონკრეტულ ფარგლებში მიღებული უნდა იქნას წყალგადასაშვები კაშხლის და ქვიშასაჭერი წყალმიმღების ზიანი, მოსალოდნელი პროცესის მასშტაბების გათვალისწინებით. მაღალი სიხშირის ქანების ჩამოშლა („1 ჯგუფის მოვლენები“) შეიძლება შერბილდეს დამცავი ზღუდეებით ან ბარიერებით, რომელიც გამოცდილია ჩვენი მოდელირებებით ამჟამად აქტიურ ზონებში. დამატებითი შერბილების

მოთხოვნები ღვარცოფულ ნაკადებთან ან ქანების ჩამოშლასთან დაკავშირებით გვერდითი მოწყვეტის ზონებიდან ან არხებიდან უნდა გამოვლინდეს მომავალი მონიტორინგის საფუძველზე, როგორც აღწერილია ზემოთ.

შეჯამების სახით, შერბილების და შესაბამისად ჰესის რეაბილიტაციის ტექნიკურ-ეკონომიკური განხორციელებადობა დამოკიდებულია რისკის შეფასებაზე და საბოლოოდ რისკის მიღებაზე კლიენტის, ინვესტორების და ორგანოების მიერ. მიუხედავად ამისა, რისკის დონე რჩება მნიშვნელოვნად მაღალი რადგან შესაძლებელია ისეთი გრანდიოზული მოვლენების განმეორება, როგორცაა 2019 წლის კატასტროფა და შესაძლოა წარმოიქმნას ახალი რისკები მნიშვნელოვანი და სწრაფი ცვლილებების გამო მაღალმთიან გარემოში და მისი დაბალანსების ფაქტორები, როგორცაა მარადეინულოვანი ქანების დეგრადაცია, მყინვარის უკუქცევა და სხვები.

სარჩევი	გვერდი
1. შესავალი -----	10
1.1. მოტივაცია და დავალება -----	10
1.2. ანგარიშის მიზნები და გეგმა -----	10
 2. გეომეცნიერული ისტორია და მეთოდოლოგია -----	 12
2.1. გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების მდგომარეობის შესავალი -----	12
2.2. გეოლოგია და ტექტონიკა -----	13
2.3. სეისმოლოგია -----	15
2.4. გეომორფოლოგია და მყინვარები -----	15
2.5. მეთოდოლოგია და მონაცემთა შექმნა -----	16
2.6. გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების დამუშავება და გამოყენებული კლასიფიკაცია -----	18
 3. მურყვამის ხეობის აღრიცხული მდგომარეობა („შენაკადი“) -----	 21
3.1. საერთო მონაცემები -----	21
3.2. მასების გადანაცვლების აღწერა -----	21
 4. მესტიაჭალას და ქვედა ლეხზარის ხეობის აღრიცხული მდგომარეობა -----	 25
4.1. საერთო მონაცემები -----	25
4.2. მასების გადანაცვლების აღწერა -----	25
4.2.1. ქანების ჩამოშლა -----	25
4.2.2. ღვარცოფული ნაკადი -----	31
4.2.3. არხის ფსკერი -----	33
4.3. შემავალი მონაცემები ქანების ჩამოშლის მოდელირებისთვის კონკრეტულ საშიშ ზონებში --	34
4.3.1. ქანების ჩამოშლის საშიში ზონები -----	34
4.3.2. დამახასიათებელი ქანების ჩამოშლის ბლოკის ზომები -----	35
4.3.3. დასკვნა ქანების ჩამოშლის საფრთხის შესახებ -----	35
 5. ჭალათის ხეობის აღრიცხული მდგომარეობა -----	 36
5.1. საერთო მონაცემები -----	36
5.2. მასების გადანაცვლების აღწერა -----	37
5.2.1. ქანების ჩამოშლა -----	37
5.2.2. ღვარცოფული ნაკადი -----	41
 6. კუთრი წინაღობის ელექტრული ტომოგრაფია და ინტერპრეტაცია -----	 44
6.1. კვლევის სფერო და ფარგლები -----	44
6.2. კუთრი წინაღობის ელექტრული ტომოგრაფიის მეთოდი -----	44
6.2.1. კუთრი ელექტროწინაღობა და მისი ზემოქმედების ფაქტორები -----	44
6.2.2. საზომი მოწყობილობა -----	46
6.3. ERT -ის შედეგები მესტიაჭალას ხეობაში -----	48
6.3.1. მონაცემთა შეგროვება -----	48

6.3.2. მონაცემთა დამუშავება -----	48
6.4. ERT -ის შედეგების შეფასება და გეოლოგიური ინტერპრეტაცია -----	51
6.4.1. გრძივი ხეობის განივკვეთია „მესტიაჰალას გალერეა“ -----	52
6.4.2. განივკვეთები ზემოქმედების ზონაში 1 წყალმიმღებთან -----	52
7. მაღალი სიმძლავრის ღვარცოფული ნაკადების მოდელირება -----	54
7.1. შესრულებული მოდელირებების მიმოხილვა -----	54
7.2. მოდელირების ინსტრუმენტის შესავალი r.avaflow -----	54
7.3. 2019 წლის მოვლენის უკუ გამოთვლები -----	54
7.3.1. მოვლენის აღწერა -----	54
7.3.2. მონაცემთა გამომუშავება მოდელირებასთან დაკავშირებით -----	55
7.3.3. მოდელირების საწყისი მონაცემები -----	55
7.3.4. მოდელირების შედეგები -----	56
7.3.4.1. დანალექი -----	56
7.3.4.2. სიჩქარე -----	57
7.3.4.3. წნევა -----	58
7.4. ჰიპოთეტური ღვარცოფული ნაკადის მოდელირება მესტიაჰალას ხეობაში -----	59
7.4.1. მოვლენის აღწერა -----	59
7.4.2. მოდელირების საწყისი მონაცემები -----	60
7.4.3. მოდელირების შედეგები -----	61
7.4.3.1. წნევა -----	61
7.4.3.2. ნაკადი სიმაღლე -----	62
7.4.3.3. ნაკადის სიჩქარე -----	64
7.4.3.4. დროის ინტერვალი -----	65
7.5. დასკვნები -----	66
8. ქანების ჩამოშლის მოდელირება და ქანის ფერდობის სტაბილურობის შეფასება -----	67
8.1. ქანების ჩამოშლის მოდელირება -----	67
8.1.1. ქანების ჩამოშლის მოდელირების მეთოდი GeoRock 2D -----	67
8.1.1.1. საერთო ინფორმაცია -----	67
8.1.1.2. GeoRock 2D -----	68
8.1.2. საწყისი მონაცემები -----	68
8.1.3. ქანების ჩამოშლის საშიში ზონა: M-D4 -----	69
8.1.3.1 ქანების ჩამოშლის ტრაექტორია: M-D4 t_1 -----	70
8.1.3.2 ქანების ჩამოშლის ტრაექტორია: M-D4 t_2 -----	72
8.1.4. ქანების ჩამოშლის საშიში ზონები: M-D6 -----	74
8.1.5. დასკვნები ქანების ჩამოშლის მოდელირებებზე -----	76
8.2. ქანის ფერდობის მდგრადობა -----	77
8.2.1. მოწყვეტის ზონა 2019 (T-R1 - T-R6) -----	77
8.2.1.1. საინჟინრო გეოლოგია -----	77
8.2.1.2. მოწყვეტის ზონის აქტივობა -----	78
8.2.1.3. მოვლენის ანალიზი და საფრთხის მდგომარეობა -----	79

8.2.1.4. მოსაზრება ზემოქმედების ანალიზზე -----	81
8.2.2. ქანის კომპლექსი მესტიაჭალას დასავლეთ ფერდობზე (M-R3b and M-R5b) -----	82
8.2.2.1. საინჟინრო გეოლოგია და საფრთხის მდგომარეობა -----	82
8.2.2.2. მოსაზრება ზემოქმედების ანალიზზე -----	83.
9. მცინვარის კვლევა -----	85
9.1. წინაისტორია -----	85
9.2. მესტიაჭალას მცინვარები -----	85
9.2.1. ჭალათის მცინვარი -----	86
9.2.2. ლეხზირის მცინვარი (ჩრდილოეთ ლეხზირის მცინვარი და ლეხზირის მცინვარი) -----	90
9.2.3. მურყვამის მცინვარი -----	92
9.2.4. ბანგურიანის მცინვარი -----	93
9.3. კლიმატის ცვლილებები ზედა სვანეთის რეგიონში -----	93
9.4. მცინვარების უკან დახვევის შედეგები ფერდობის მდგრადობაზე -----	95
9.5. მოსაზრება -----	96
10. დასკვნები გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების მდგომარეობის შესახებ-----	97
10.1. გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების განხილვა ჰესი 1-ის სამშენებლო სამუშაოებისთვის ----	98
10.1.1. წყალმიმღები 1 თავდაპირველ პოზიციაზე-----	98
10.1.2. ალტერნატიული წყალმიმღები 1 ახალ პოზიციაზე-----	100
10.1.3. სატრანზიტო ზონა (სადაწნეო მილსადენი, გალერეა) -----	102
10.1.4. ელექტროსადგური ჰესი 1 -----	104
10.2. გეოლოგიური რისკების მნიშვნელობა მესტიის მუნიციპალიტეტისთვის-----	106
11. მონიტორინგი -----	107
11.1. ტექნიკური მოწყობილობები - უახლესი: InSAR -----	107
11.2. საგუშაგო პოსტის მონიტორინგი და სიგნალიზაციის სისტემა-----	108
11.2.1. კონცეფცია -----	108
11.2.2. საგუშაგო პოზიციები და სამუშაო -----	110
11.2.3. შემუშავების დრო -----	111
11.3. წლიური შემოწმებები ინსპირირებული ONR 24810 სახელმძღვანელოს საფუძველზე ---	112
11.3.1. დისტანციურად ზონდირებული ცვლილების გამოვლენის მაგალითები-----	112
11.3.2. ადგილზე წლიური დაკვირვება -----	113
12. შერბილების ზომების ეფექტურობის და განხორციელებადობის განხილვა -----	114
12.1. ტექნიკური შერბილების ზომები და კონცენფციები -----	114
12.1.1. ქანების ჩამოშლისგან დაცვა-----	114
12.1.2. დაცვა დიდი ან ძალიან დიდი მოცულობით ქანების ჩამოშლისგან -----	117
12.1.3. ღვარცოფული ნაკადისგან და ღვარცოფული წყალმოვარდნისგან დაცვა -----	118
13. პერსპექტივა -----	120
14. მითითებები -----	121

დანართები

დანართი 1 გეოლოგიური სქემატური რუკა, მასშტაბი 1 : 25,000

დანართი 2 ჩამოშლის ზონის სქემატური რუკა, მასშტაბი 1 : 25,000

დანართი 3 გეომორფოლოგიური რუკა - ჩამონათვალი ჭალათი, მასშტაბი 1 : 12,000

დანართი 4 გეომორფოლოგიური რუკა - ჩამონათვალი მესტიაჭალა, მასშტაბი 1 : 12,000

დანართი 5 გეომორფოლოგიური რუკა - ჩამონათვალი შენაკადი, მასშტაბი 1 : 12,000

დანართი 6 მესტიაჭალა ჰესი 1 - ქანების ჩამოშლა, გეოლოგიური რისკების რუკები, მასშტაბი 1 : 12,500

დანართი 7 მესტიაჭალა ჰესი 1 - ნაკადური პროცესები, გეოლოგიური რისკების რუკები, მასშტაბი 1 : 12,500

დანართი 8 ღვარცოფული ნაკადის მოდელირების რუკები

დანართი 9 კუთრი წინაღობის ელექტრო ტომოგრაფია (ERT)

დანართი 10. 2019 წლის ივლისში ჩამოშლის ზონის მონიტორინგი.

1. შესავალი

1.1. მოტივაცია და დავალება

საქართველოს განახლებადი ენერჯის კომპანია (GRPC) გადასცა კონსორციუმს BBB-TRUMER-BOKU-CRP გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების დეტალური შეფასება მესტიაჭალა ჰესის ტერიტორიაზე (პრიორიტეტული პროექტები, იხილეთ 2020 წლის 2 მარტის კონტრაქტი). კოვიდ-19 პანდემიის რთული სიტუაციის მიუხედავად, საველე კამპანია განხორციელდა 2020 წლის 10 – 24 აგვისტოს შორის პერიოდში, და მისიის დროს მოპოვებული იქნა მნიშვნელოვანი შედეგები. კლიენტის მოთხოვნის საფუძველზე, 2020 წლის 9 ოქტომბერს წარდგენილი იქნა შუალედური ანგარიში შეფასებული გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების წინასწარი კაბინეტური შეფასების და საველე კვლევების საფუძველზე.

წინამდებარე საბოლოო ანგარიში ცვლის შუალედურ ანგარიშს და დამატებით მოიცავს დეტალური დამუშავების შედეგებს გეოფიზიკაში, მოდელირებაში, სიმულაციაში, დრონის გამოსახულების და სხვა ფაქტორების შეფასებაში. შუალედური ანგარიშის გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების შეფასება განახლებულია მაღალი გარჩევადობის ზემოქმედების ანალიზის შედეგებით, რომელიც განხორციელდა ღვარცოფული ნაკადის მოდელირების და ქანების ჩამოშლის მოდელირების გამოყენებით. დამატებით წარმოდგენილია პერსპექტივა შესაძლო შერბილების ზომების და მათი ზემოქმედების შესახებ უსაფრთხოების დონეზე, GRPC მოთხოვნის საფუძველზე.

1.2. ანგარიშის მიზნები და გეგმა

წინამდებარე ანგარიშის მიზნები ითვალისწინებს მიმოხილვას მასების გრავიტაციული გადანაცვლების პროცესების და ფერდობის არასტაბილურობის შესახებ მთლიან წყალსაკრებში, ასევე არსებული გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების კატეგორიებად დაყოფას პრიორიტეტულ პროექტებთან დაკავშირებით. გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების აღწერა მოიცავს მასების გრავიტაციული გადანაცვლების პროცესების განსხვავებას, მათი დადგომის შეფასებულ ალბათობებს (სიხშირე) და მასშტაბებს (მოცულობებს), ასევე ზემოქმედების ანალიზს.

მე-2 თავში აღწერილია გეომეცნიერული სტრუქტურა და საფრთხის საერთო მდგომარეობა და მეთოდოლოგია. ჩვენი 2020 წლის კამპანიის საველე აღწერილობები უკეთ განმარტებისთვის სტრუქტურირებული იქნება გეოგრაფიულ დონეზე:

- [თავი 3] გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების არსებული მდგომარეობა მურყვამის ხეობაში / „შენაკადი“ (წყალმიმღები 1...);

- [თავი 4] გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების არსებული მდგომარეობა მესტიაჭალას და ქვედა ლეხზირის ხეობაში (წყალმიმღები 1, წყალმიმღები 1-ის ალტერნატიული პოზიცია, სადაწნეო მილსადენი, გალერეა, ელექტროსადგური) და
- [თავი 5] გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების არსებული მდგომარეობა ჭალათის ხეობაში (ელექტროსადგური ...).

შემდგომი თავები მოიცავს დეტალურ დამუშავებას, რომელიც იწყება მეოთხეული მესტიაჭალას ხეობის დანალექის და მისი განლაგების ქანების ტოპოგრაფიის გეოლექტრული კვლევების შეფასებით (თავი 6), რომელიც წარმოადგენს მასშტაბური კატასტროფული მასების გადანაცვლების პროგრამული უზრუნველყოფის მოდელირების წინაპირობას მე-7 თავში. მე-8 თავი მოიცავს ქანის ფერდობის მდგრადობის შეფასებას და ქანების ჩამოშლის მოდელირებას, ხოლო მე-9 თავში ასახულია გლაციალური პროცესების ზემოქმედება ღვარცოფულ ნაკადზე ან ქანების ჩამოშლის აქტივობაზე.

შემდგომ მე-10 თავში განხორციელდა გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების ყოვლისმომცველი შეფასება ყველა აღნიშნული შედგის კომბინაციით და ინტერპრეტაციით მასების გრავიტაციული გადანაცვლების ბუნებრივი პროცესების ალბათობების, ინტენსიურობის და ზემოქმედების თვალსაზრისით. ეს ეტაპი ითვალისწინებს ფუნდამენტალურ პარამეტრებს რისკის მომავალი შეფასებისთვის, რომელიც არ არის ამ კვლევის ნაწილი.

რისკის ანალიზის დამატებითი მხარდაჭერის შესაბამისად, ჩვენ განვიხილეთ მონიტორინგის მნიშვნელობა და ალბათობები (თავი 11) და შევაფასეთ მომავალი პერსპექტივები შესაძლო შერბილების ტექნოლოგიების და მათი ეფექტურობის შესახებ რისკის შემცირებაში (თავი 12), რომელიც ხელს უწყობს ტექნიკური და ბიზნეს გადაწყვეტილებების მიღებას მომავალში. აღნიშნული კვლევა საბოლოოდ დასრულდება სამომავლო პერსპექტივით პროექტის შესახებ (თავი 13).

2. გეომეცნიერული ისტორია და მეთოდოლოგია

“საქართველო არის ქვეყანა, რომელზეც ხშირად ახდენს ზემოქმედებას გრავიტაციული საფრთხეები. ქვეყნის მამულებით მეწყერული საფრთხეების რუკის (...) შესაბამისად (გაფრინდაშვილი და van Westen), ქვეყნის დიდი ნაწილები კლასიფიცირებულია საშუალოდან მაღალი ათვისებადობის ზონებად ღვარცოფული და ნაშალი ნაკადების მიმართ. საქართველოს საქსტატის ეროვნული სტატისტიკის ბიურომ (2019) 1995 წლიდან 2018 წლამდე პერიოდში დათვალა 10.700-ზე მეტი მეწყერული და 3,000 ღვარცოფის შემთხვევა, რომელმაც გამოიწვია 50 – 93 ფატალური დასასრული, ასევე დააზიანა უამრავი შენობა და დასახლება. საქართველოს კონკრეტული შემთხვევის ანალიზის შესაბამისად (მსოფლიო ბანკი 2006), ინტენსიურმა ნალექებმა განაპირობა დაახლოებით 85% ღვარცოფული ნაკადის შემთხვევა. ჰიდრომეტეოროლოგიური ფაქტორების შესაბამისად, მასების გადანაცვლების საფრთხეების საქართველოში ტიპურად ინიცირებულია მიწისძვრებით (გაფრინდაშვილი და van Westen). სეისმური აქტივობა წარმოიქმნება საქართველოს მდებარეობის გამო აფრიკა-არაბეთის და ევრაზიის ფილების კონვერგენციის ზონაში (ვარაზანაშვილი და სხვები 2012). კვლევა ფოკუსირებულია კონკრეტულად ღვარცოფული ნაკადის კატასტროფებზე ცენტრალურ კავკასიონზე, საქართველოსა და რუსეთის სასაზღვრე რეგიონში, სადაც სიმაღლე ზღვის დონიდან 5,000 m. a.s.l. აღწევს (...). დიდ კავკასიონში, ღვარცოფული ნაკადები ძირითადად დაკავშირებულია მყინვარებთან. ფართომასშტაბიანი მოვლენები ინიცირებულია მყინვარების უკან დახევით, რაც ხელს უწყობს შესაძლო ღვარცოფული ნაკადების, მყინვარული ტბის გადმოსვლით წყალმოვარდნების ან ყინულოვანი ქანების ზვავების წარმოქმნას” (WARMEDINGER, 2020, p. 30/31).

2.1. გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების მდგომარეობის შესავალი

2019 წლის ივლისის კატასტროფული მოვლენა იყო რთული პროცესი, რომელმაც გამოიწვია მასების გადანაცვლების სხვადასხვა ტიპის კასკადი, რომელიც წარმოიშვა მურყვამის და მესტიაჰალას ხეობაში მიმდინარე პროცესების რთული ურთიერთქმედებით (იხილეთ მოვლენის შემდგომი ანგარიში, 2019). იმ შემთხვევაშიც კი, თუ აღნიშნული მაღალი სიმძლავრის რთული მოვლენა იყო საგანგებო ხასიათის დადგომის და მოცულობის თვალსაზრისით, საერთო დისპოზიცია მსგავს მოვლენებთან და/ან მთლიანი ტერიტორიის მოვლენათა კასკადთან დაკავშირებით არის მაღალი და შესაბამისად, შეუძლებელია მათი გამორიცხვა. ჩვენ განვიხილეთ აღნიშნული საკითხები შემდეგ თავებში. გარდა ამისა მთლიან ტერიტორიაზე უწყვეტად მიმდინარეობს ქანების მცირე გრავიტაციული გადანაცვლება (მცირე ღვარცოფული ნაკადები და ქანების ჩამოშლა, ასევე გრუნტის და კლდის ქანების ჩამოშლა). მრავალი წლის განმავლობაში სატელიტური გამოსახულებების ანალიზით დადასტურდა, რომ იმ შემთხვევაშიც კი თუ რამდენიმე წლიანი აქტივობის ფარგლებში შესაძლებელია გადანაცვლება ადგილობრივად და ამ სახით, აქტიური კალაპოტი შესაძლოა გახდეს არააქტიური ვინაიდან სხვა კალაპოტები იწყებს ნგრევას. მასების გრავიტაციული გადანაცვლების მუდმივი „ფონური ხმაური“ მიმდინარეობს მთლიან წყალსაკრებში, აქტივობის დიაპაზონი (სიხშირე და მოცულობა) იცვლება ლოკაციებს შორის. წინამდებარე ანგარიშში, ასეთი მაღალი სიხშირის პროცესები შეჯამებულია „1 ჯგუფის მოვლენებში“ კატასტროფული მაღალი მასშტაბის მოვლენებისგან („2 ჯგუფის მოვლენები“) განსხვავებით.

მასების გადანაცვლების გამოკვლევული ზონის დისპოზიცია ზოგადად მაღალია ისეთი ფაქტორების გამო, როგორცაა:

- ძლიერი რელიეფი ახალგაზრდა ნაოჭა-რღვევით სარტყელში, ექსტენსიური ჩამოშლის ზონებით;
- ქანის მასივები მექანიკურად სუსტი ზონებით (მრავალი ცვენა/რღვევა);
- არახელსაყრელი სტრუქტურული გეოლოგია ან ლითოლოგია.

განმაპირობებელი ფაქტორები არის ძალიან ეფექტური მთიან გარემოში და ძირითადად მოიცავს:

- სეზონური და დღიური გაყინვა-გადნობის ციკლები;
- სეისმური აჩქარება;
- ძლიერი ნალექი და თოვლის დნობა;
- მყინვარების და მარადყინულოვანი ქანების ზოგადი უკან დახევა.

მცინვარის წლიური უკანდახევა რეგიონში მერყეობს 10-დან 20 მ-მდე და ყველაზე მნიშვნელოვან ზემოქმედებას ახდენს გადაყირავებული ქანის კედლების მექანიკური ბალანსის ცვლილებების გამო (ასევე იხილეთ მცინვარის კვლევა მე-9 თავში). ეს ზემოქმედება საკმაოდ ცხადი ხდება მაღალი მოცულობის მასების გადანაცვლების ზრდასთან დაკავშირებით ფართო რეგიონში ბოლო წლებში ან დეკადებში. ასეთი მეწყერების შეჯამების მცდელობა წარმოდგენილია DOKUKIN ET AL. (2020) მიერ. ერთი მაგალითი დასავლეთ ლეხზირის მცინვარის წყალსაკრებიდან მითითებულია 2-4 სურათზე, და შეადგენს ქანების და ყინულის რამდენიმე 100,000მ³. ძალიან მასშტაბური ქანი-ყინულის-ზვავი, რომელიც შეფასდა 1.2 - 1.5 მილიონ მ³-მდე, ჩამოიშალა 2019 წლის აპრილში ბაშყარას მცინვართან რუსეთ-საქართველოს საზღვარზე რამდენიმე კილომეტრში ჩრდილოეთით (DOKUKIN ET AL. 2020).

ჩვენს 2020 წლის 9 აპრილის ანგარიშში_01 დოკუმენტურად შევადგინეთ მიმდინარე აქტივობა შენაკადის ჩამოშლის ზონაში საშუალო და დიდი ქანების ჩამოშლის და ნაშალის აკუმულირებით. 2020 წლის 10 ივნისის ანგარიშში_02 ჩვენ წარმოვადგინეთ გაშვების ზონის დაკვირვების მონაცემები მასების გრავიტაციული გადანაცვლების აქტივობის, სიხშირის და სიმძლავრის განსაზღვრის მიზნით.

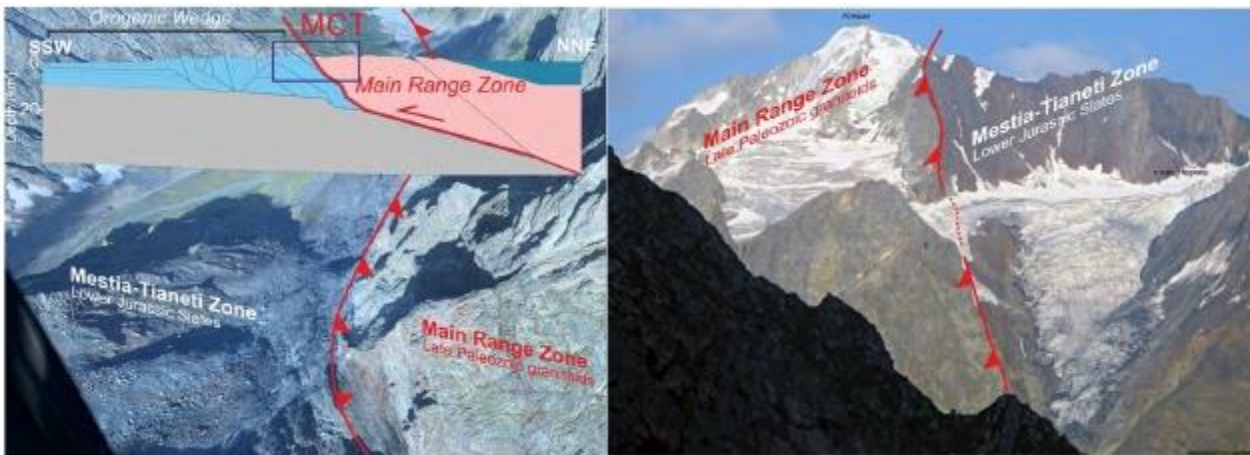
2.2. გეოლოგია და ტექტონიკა

სვანეთის რეგიონი გეოლოგიურად მდებარეობს დიდი კავკასიონის ნაოჭა-რღვევით სარტყელში, რომელიც წარმოადგენს ახალგაზრდა ალპური მთიანეთის ქედს, რომელიც ხასიათდება ლითოლოგიური ქანების რღვევის ფორმირებით, ინტენსიური დანაოჭებით და დეფორმაციით, ასევე ჩვეულებრივი და ნაოჭა ძვრებით. აქტიური რღვევის ზონები განვითარდა რთული რეგიონული ძაბვის ველის შესაბამისად და ანაწევრებს მთის ქედს ბლოკებად. ხეობები, უღელტეხილები, მდინარეები და მცინვარები მიყვება შესუსტების ზონებს, როგორცაა შენაკადი ან მესტიაჭალას ხეობა. დეტალები გეოლოგიური ისტორიის და სტრუქტურის შესახებ შეიძლება მოპოვებული იქნას სხვადასხვა ლიტერატურიდან, როგორცაა VASEY ET AL. (2020).

მდინარე მესტიაჭალას წყალსაკრები იყოფა ორ ტექტონიკურ ერთეულად: ძირითადად მასიური და კომპაქტური კრისტალური ქანების ჩრდილოეთ კომპლექსი, როგორცაა გრანიტები, გრანოდიორიტები, გნეისები, ამფიბოლიტები და ფიქლები, რომელთა ასაკი მერყეობს გვიანი პრეკემბრიული პერიოდიდან – მეზოზურ პერიოდად (მთავარი გავრცელების ზონა), რომელიც გადანაცვლებულია ფირფიტოვანი სქელი რიგიდან სქელი დაშრევებული მუქი ფიქლებით მესტია-თრიალეთის ზონაში. აღნიშნული ძირითადად შედგება იურიული ასაკის მუქი ფიქლებისგან გამოკვლეულ ზონებში და ზოგადად ჩაღრმავებულია ჩრდილოეთით. რღვევის კონტაქტი არის მეტრული ან მეტი

სისქის საერთო ზონა, რომელიც მიმართულია აღმოსავლეთიდან დასავლეთისკენ და ღრმავდება ჩრდილოეთით კრისტალური ქანების ქვეშ (სურათი 2.-1). ლიტერატურაში ეს რღვევა მითითებულია როგორც მთავარი კავკასიური რღვევა (MCT).

გეოლოგია, ქანის ტიპები და სტრუქტურული პირობები შესაძლოა მიღებული იქნას გეოლოგიური რუკიდან 1:50,000 მასშტაბით, ასევე ჩვენი დეტალური გეოლოგიური რუკიდან 1:25,000 მასშტაბით 1 დანართში. დამატებითი ინფორმაცია მესტიაჭალა ჰესის წყალსაკრებ ზონაში აღწერილია გეოლოგიურ ანგარიშში შპს გეოინჟინერინგის მიერ (2015).



სურ. 2-1. მარცხნივ: გამოსახულება ვერტმფრენიდან, ჩანს MCT შენაკადში ჩამოშლის ზონა 2019 წ.). ჩანართი ასახავს გამარტივებულ ეკიზურ კვეთას სვანეთის დიდი კავკასიონის მთავარი ერთეულებით Vasey et al. 2020). ცისფერი მართკუთხედი ასახავს მესტიაჭალა ჰესი 1-ის პოზიციას. მარჯვნივ: ხედი ჩრდილო-დასავლეთით (გამოსახულება მოპოვებულია <https://pereval.online/object/2812#image-2>).

საკვლევ ზონაში წარმოდგენილია შემდეგი ქანები და ფორმაციები (ცხრილი 2-1). ტიპიური ქანის გამოვლენა მესტიაჭალა ჰესი 1-ის წყალსაკრებში ნაჩვენებია 2-2 სურათზე.

ცხრილი. 2-1: ლითოლოგიური კომპლექსი და მათი სტრატეგრაფიული სტრუქტურა მესტიაჭალა ჰესი 1-ის წყალსაკრებში გეოლოგიური რუკის (1:50,000 მასშტაბით) და შპს გეოინჟინერინგის და სხვა წყაროების შესაბამისად.

	გეოლოგიური ასაკი	ფორმაციები / ქანების კომპლექსი სახელმწიფო გეოლოგიური რუკის შესაბამისად 1:50,000	ქანის ტიპები ჰესი 1 წყალსაკრები მოცემული კვლევის შესაბამისად
--	------------------	---	--

ძვრების შემდგომი სედიმენტაციური სისტემები და ვულკანიზმი	მეოთხეული - ნეოგენური	Q ალუვიური და გლაცოგენური დეპოზიტები (არ არის დიფერენცირებული აქ). ΦN ვულკანური დაიკები და ძარღვები	სხვადასხვა დანალექები (იხილეთ თანდართული გეოლოგიური და გეომორფოლოგიური რუკები)
მთავარი ქედის ზონა	მეზოზოური	ინტრუზივები (უშბას მასივის პლუტონური ქანები): β ₁ შუა იურიული გაბრო-დიაბაზები, დიაბაზი - პორფირიტები და გრანიტოიდები	სხვადასხვა პლუტონური ქანები (როგორც დანალექები ჭალათის ხეობაში)
	გვიანი პალეოზოური	ინტრუზივები (გრანიტული და გნეისური ქანები); γ ₁ C ₁₂ -C ₂ – ადრეული და შუა - ნახშირბადოვანი პორფირიტული გრანიტები. . γD ₃ -C ₁₁ – გვიანი დეკონური და ადრეული ნახშირბადოვანი პლაგიოგრანიტები და კვარცის დიორიტები	გნეისები გრანიტები
	ადრეული პალეოზოური პროტეროზოული	სამირკველი (მეტამორფული და მიგმატური ქანები): O-S ₁ dI ორდოვიციული -სილურული Dolrinskaya Suite, კრისტალის ფიქლები, ამფიბოლიტები , და მიგმატიტები	ამფიბოლიტები, ფილიტები
მესტია - თიანეთის ზონა	მეზოზოური	J ₁₂ ms ₂ – ქვედა იურიდიული Zedamuashi sub-suite. ალევრიტები, ფიქლები, ასპიდური ფიქლები, ქვიშაქვები (350-500 m).	არგილიტები / ფიქლები კვარციტები



სურ. 2-2: ტიპური ქანის გაშიშვლება. მარცხნივ: ქვედა იურიდიული ფიქლები (Zedamuashi Member) გამოხატული აშრევეებით გალერეას ლოკაციაზე. მარჯვნივ: გვიანი პალეოზოური ლენტური გნეისები მესტიაჭალას ხეობაში.

ჩვენი საველე კვლევების განმავლობაში, ჩვენ დოკუმენტურად შევადგინეთ ლითოლოგიური და მათი საინჟინრო-გეოლოგიური თვისებები, როგორცაა ძალა, გამოფიტვა და აგებულება. ასევე დოკუმენტურად იქნა შედგენილი წყვეტების სტრუქტურები (მაგ. დაშრევა, დანაწევრება, ბზარები, რღვევები), რომელიც წარმოდგენილია ფართო კონტურების სახით სატელიტურ გამოსახულებაზე და ბზარების ან დაშრევების სახით გამიშვლებულ ქანზე. მთავარი ტიპები და მიმართულებები მითითებულია 1 დანართზე. აღნიშნული მონაცემები შეტანილია ქანის ფერდობების სტაბილურობის მოსაზრებებში, რადგან ასეთი წყვეტები წარმოადგენს კრიტიკული ძვრების სიბრტყეებს, მაგ. აშრევა, რომლის გასწვრივ დაიწყო 2019 წლის ივლისის მოვლენა. მთავარი წყებები უკვე წარმოდგენილია ჩვენს 2019 წლის მოვლენის შემდგომ ანგარიშში. შენიშვნა: დეტალური საინჟინრო გეოლოგიური კლასიფიკაციები, ასევე ჩატარდა პეტროგრაფიკული, სტრუქტურული და გეომექანიკური კვლევები და მათი შედეგები დოკუმენტურად იქნა დამოწმებული, თუმცა არ წარმოადგენს ამ დოკუმენტის მთავარ საგანს. ინფორმაცია მიწოდებული იქნება საჭიროების შემთხვევაში საფრთხის შეფასების თვალსაზრისით.

2.3. სეისმოლოგია

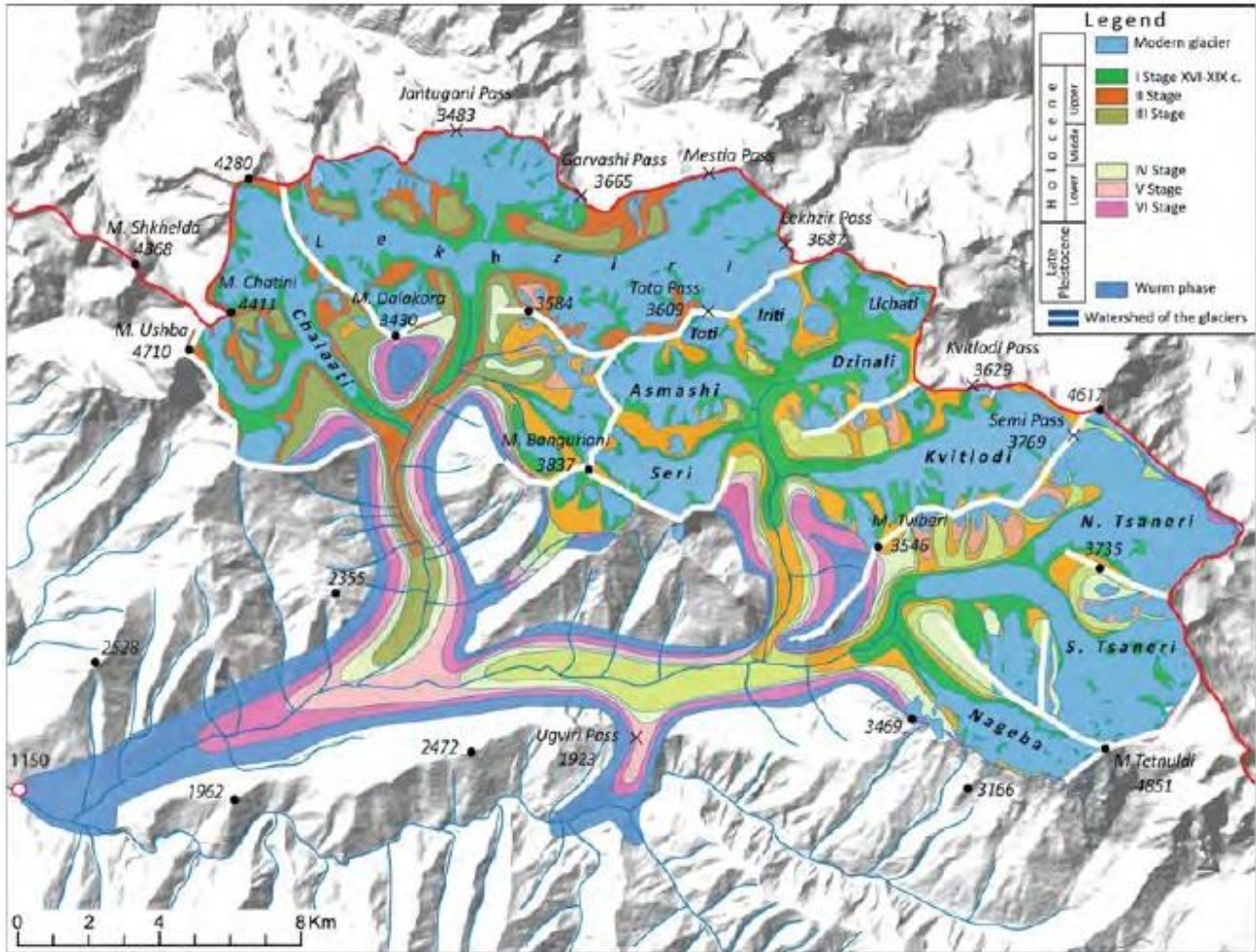
დიდი კავკასიონის ნაოჭა-რღვევითი სარტყელი არის აქტიური ოროგენი. ფართო გვერდითი რღვევის სისტემები და ძვრები/ბზარები, როგორცაა მთავარი კავკასიური რღვევა (MCT) წარმოადგენს განმეორებითი მიწისძვრების წყაროს, რომელიც ასახავს ტექტონიკური დამაბულობის მოხსნას. დეტალური სეისმური საფრთხის ანალიზი წარმოდგენილია შპს გეოინჟინერინგის მიერ (2015).

ჩვენს მოვლენის შემდგომ ანგარიშში (2019) ჩვენ აღვნიშნეთ ჩვენს მიერ დაკვირვებული 2019 წლის 25 ივლისის სეისმური მოვლენები. ცხადია, რომ ასეთი ფაქტორები ხშირად განმეორდება და გაზრდის მომავალში ქანებში ბზარების წარმოქმნის საფრთხეს.

2.4. გეომორფოლოგია და მცინვარები

საკვლევი ობიექტი მდებარეობს მაღალმთიან გარემოში და შედეგად მასზე ზემოქმედებას ახდენს პერიგლაციალური პირობები და მცინვარის უკანდახევა (სურათი 2 – 3). მცინვარის უკანდახევის საშუალო მაჩვენებელი 8.1 ma-1 აღრიცხულია 1985 - 2000 წლებს შორის (STOKES et al. 2006). ყინულის ზედაპირის მორენების საფარი ცნობილია, რომ მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მცინვარულ მასების ბალანსზე ძირითადად მისი ზემოქმედებით აბლაციაზე, თუმცა ასევე როგორც მასების გრავიტაციული გადანაცვლების სხვადასხვა პროცესების მიმართ მიდრეკილი მასალის წყაროები.

მცინვარები და გეომორფოლოგია შეფასდა 2020 წლის საველე კამპანიის დროს არსებული სამეცნიერო ლიტერატურის და სატელიტური გამოსახულების მოსამზადებელი კაბინეტური ანალიზის, ასევე ჰესის დაგეგმვის და სამშენებლო ფაზის დროს შედგენილი ანგარიშების საფუძველზე.



სურ. 2-3: გვიანი პლეისტოცენური და თანამედროვე მცინვარები მულხურას და მდინარე მესტიაჟალას ხეობებში (ტიელიძე 2017 წ.).

2.5. მეთოდოლოგია და მონაცემთა შეგენა

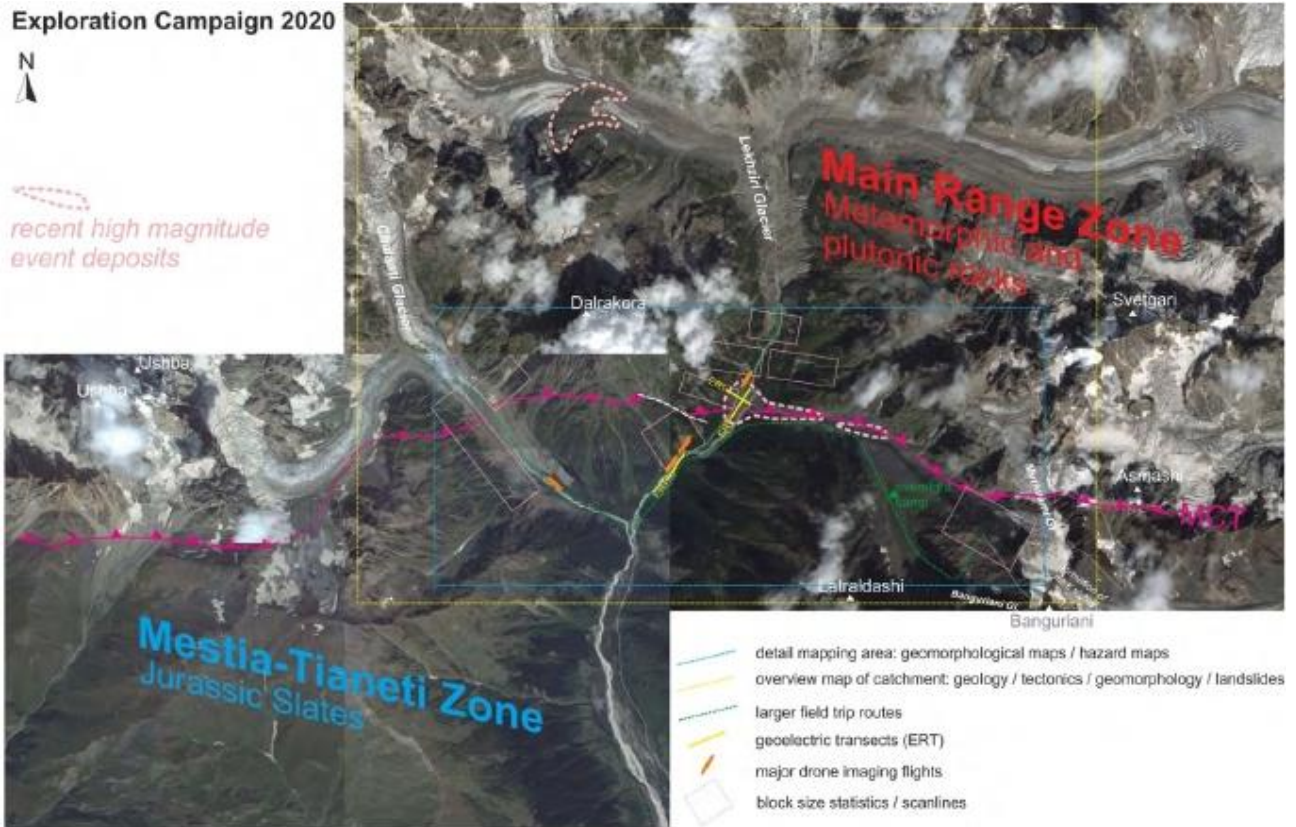
ჩვენს 2020 წლის გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების შეფასებაში გამოვიყენეთ სხვადასხვა მულტიდისციპლინარული კვლევის ეტაპი და მეთოდები. საველე სამუშაოები / მიზნები (ლოკაციები გამოსახულია 2-4 სურათზე).

- ხეობების და ფერდობების გეომორფოლოგიური / გეოლოგიური / სტრუქტურული რუკის შედგენა.
- დრონის გამოსახულებების კამპანიები;
- მასშტაბური საველე გასვლები - ჟალაათი - მურყვამი და ნაწილობრივ ლეხზირის ხეობები;

- ჩამოშლის ზონის გამოკვლევა 2019 წ. - ახალი შედეგები მდგრადობა/სტაბილურობის გარემოებებიდან.
- ქანების ჩამოშლის ზონების გამოკვლევა მესტიაჰალას ხეობაში.
- ქანების ჩამოშლის მოვლენის ზომების განსაზღვრა (ბლოკის ზომის სტატისტიკური მონაცემები).
- ქანების ჩამოშლის სავალი ნაწილების განსაზღვრა და აქტივობის გამიჯვნა.
- ხეობის დანალექების, ალუვიური კონუსების და მასების გადანაცვლების დანალექების დახასიათება.
- მაღალი გარჩევადობის გეოელექტრული განივ-კვეთები, აუზის მორფოლოგიის დაკვირვება.
- ჰიდროლოგიური გაზომვები;
- გლაციოლოგიური კვლევა.

კაბინეტური / ლაბორატორიული სამუშაოები / შეფასება:

- დინამიური სატელიტური გამოსახულების ანალიზი – დისტანციური გეოლოგია / გეომორფოლოგია (Pléiades სატელიტური გამოსახულება, 2014 წლის 6 სექტემბერი და 2019 წლის 31 აგვისტო, SPOT6 მოვლენა, 2017 წლის 1 აგვისტო).
- ღვარცოფული ნაკადის მოდელირება პროგრამული უზრუნველყოფით r.avafLOW;
- ქანების ჩამოშლის მოდელირება პროგრამული უზრუნველყოფით GeoRock 2D;
- დიდი ქანების ჩამოქცევა – გეომექანიკური მოდელის მიდგომა;
- მყინვარის კვლევა;
- ფოტო არქივის შეფასება (ვერტმფრენიდან აგეგმვა, 2019 წლის 27 აგვისტო და სხვა) და RP Global-ის ქვე-კონტრაქტით გაფორმებული კონსულტანტების დოკუმენტაცია და US Aid, ასევე არსებული სამეცნიერო პუბლიკაციები.



სურ. 2-4: სამუშაო ზონის სატელიტური გამოსახულებები, სადაც ასახულია მთავარი კავკასიური რღვევის MCT კვალი მთავარი ტექტონიკური ერთეულებით, ასევე კარტოგრაფიის ზონა (ცისფერი კონტურებიანი ხაზი), მათ შორის სოციალური საკვლევი ობიექტები (ქვედა მარცხენა გამოსახულება მოპოვებულია: <https://pereval.online/object/1963#image-9>).

საერთო შენიშვნები:

ლოკაციები ტექსტში წარმოდგენილია UTM კოორდინატებით (ზონა 38T) ორიენტაციისთვის. გარდა ამისა ჩვენ მივუთითეთ ჩამოშლის (გაშვების) და დაღეჟვის ზონები, ასევე ღვარცოფული ნაკადის ზონები რიგითი ნომრებით თანდართულ რუკებზე.

ცხრ. 2-2: ნომენკლატურა და აბრევიატურები, რომლებიც გამოყენებულია წინამდებარე ანგარიშში და თანდართულ რუკებში.

	მთავარი ლოკაცია / ხეობა		დაღეჟვის ზონები		გაშვების / ჩამოშლის ზონები
T-	შენაკადი	-D	ქანების ჩამოშლის დაღეჟვის ზონა	-R	მასების ნაკადების გაშვების ზონა
M-	მესტიაჭალა	-df	ღვარცოფული ნაკადის გამოსვლის ზონა	- ყინუ ლი	მყინვარის ყინულის ნაშთები
C-	ჭალათი	-	-	-	-

2.6. გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების დამუშავება და გამოყენებული კლასიფიკაცია

გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების დამუშავება, მათი კლასიფიკაცია და ამ კვლევის განსაზღვრებები ხორციელდება ეროვნული და საერთაშორისო საფრთხესთან დაკავშირებული რისკის მართვის წესების შესაბამისად.

დამუშავება: გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების შეფასება (სურ. 2-5) უფრო ფართო გაგებით მოიცავს ორ მთავარ ეტაპს, კერძოდ მოვლენის ანალიზს, ჩვენს შემთხვევაში 2019 და 2020 წლების საველე შეფასებების და კარტოგრაფიის შედეგს და შემდგომ ზემოქმედების ანალიზს კონკრეტული საფრთხეების მოდელირების შედეგად (ე.ი. მაღალი სიმძლავრის ღვარცოფული ნაკადის მოდელირება). ვინაიდან მოვლენის ანალიზი განსაზღვრავს მნიშვნელოვან სცენარებს და მათი დადგომის შესაბამის ალბათობას, ასევე მოცულობებს გაზრდილი რისკით, ფაქტობრივი საფრთხის ინტენსიურობა და საფრთხის ფარგლები განსაზღვრულია ზემოქმედების ანალიზში.

მოვლენის ანალიზი

ზემოქმედების ანალიზი

საველე და დისტანციური

გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების ანალიზი s,1

სურ. 2-5: გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების შეფასების სქემა.

მაღალმთიან გარემოში სხვადასხვა საფრთხეების წყაროებით, აქცენტი უნდა გაკეთდეს მოვლენის საველე ანალიზის დროს შეგროვებულ და დისტანციურად გაზომილ მონაცემებზე. ჩვენი გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების შეფასების დიდი ნაწილები ეფუძნება აღნიშნულ მოვლენის ანალიზის ეტაპს (ასევე ჩვენს პრეზენტაციას 2020 წლის 9 ოქტომბრის შუალედურ ანგარიშში). თუმცა, მოვლენის ანალიზში განსაზღვრულ კონკრეტულ საფრთხეებზე უნდა ჩატარდეს დამატებითი ზემოქმედების ანალიზი, რომელშიც ფარგლები და ინტენსიურობა დადგენილია რიცხობრივი მოდელირებით და სიმულაციებით. კონტრაქტის შესაბამისად ჩვენ აღნიშნული განვახორციელეთ მაღალი სიმძლავრის კასკადურ მოვლენებთან დაკავშირებით, როგორცაა მოვლენები შენაკადიდან და, მაღალი სიხშირის არხზე დაფუძნებულ (ღვარცოფული ნაკადი) პროცესებთან და ქანების ჩამოშლასთან დაკავშირებით. ინტენსიურობა განისაზღვრება ნაკადის სიღრმის, ნაკადის სიჩქარის და ღვარცოფული ნაკადების დროებით ჩამოყალიბებაზე ან ბლოკების ძვრის და გადმოვარდნის სიმძლავრეებზე.

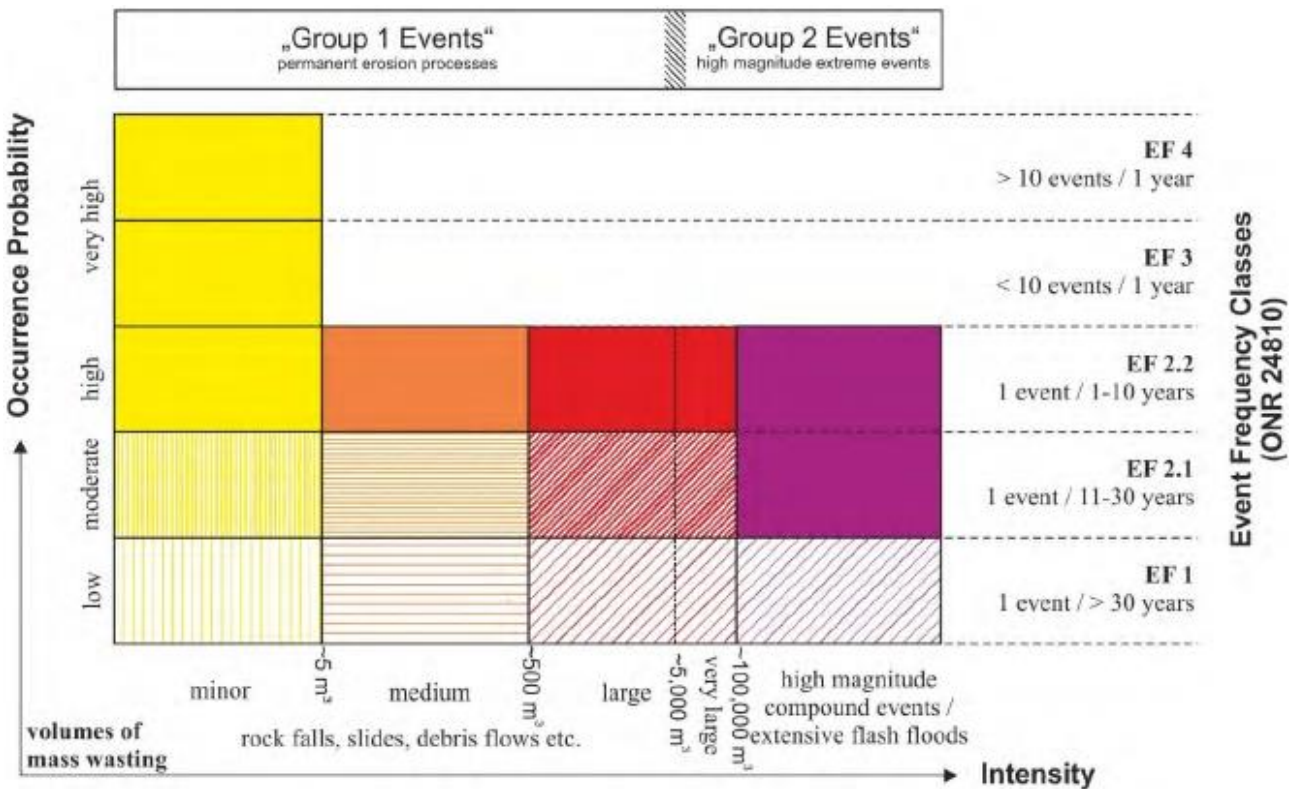
აღნიშნულ კვლევებს არსებითი მნიშვნელობა აქვს რადგან, მაგალითად მაღალი სიმძლავრის განმაპირობებელმა მოვლენამ საწყის ზონაში შესაძლოა უცილობლად არ

გამოიწვიოს განსაკუთრებული ზარალი რისკის ქვეშ მდგარ ელემენტთან, რომელიც მდებარეობს გამოსვლის ზონაში.

გამოყენებული კლასიფიკაცია: ზოგადად, გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების რეიტინგები, რომლებიც მიღებულია დაკვირვებული და დოკუმენტურად შედგენილი მოვლენების სიხშირეების და მასშტაბების / ინტენსიურობის, ასევე შესაძლოა მომავალი მოვლენების კომბინაციის შედეგად. მიახლოებითი დადგომის ალბათობები (დაბალი . . . ძალიან მაღალი) მიუთითებს აქტივობის ინდიკატორების შეფასებას (მაგ. გამოუფიტავი ბლოკები, დაქანებული ხეები) და დალექვის ფაქტორები (მაგ. ღია ბზარები, ბზარების ორიენტაცია . . .), რადგან ხელმისაწვდომი არ იყო მონაცემები დაკვირვების ჩანაწერების და მოვლენის ჩამონათვალის აღწერის შესახებ. ალბათობები მითითებულია რამდენადაც მეცნიერულად დასაბუთებულია.

მომდევნო ნაწილში აღნიშნული ალბათობები გამოხატულია განმეორების სიხშირეების სახით ავსტრიის კოდექსის ONR 24810 გათვალისწინებით. აღნიშნული კოდექსი არის საფრთხის შეფასების, შერბილების ზომების შედგენის და განხორციელების ხშირად გამოყენებული და საიმედო სახელმძღვანელო.

ქვემოთ წარმოდგენილი ფერები და ხელმოწერები (სურ. 2-6) გამოიყენება გეოლოგიური საფრთხეების ზონების მითითების და დახასიათების მიზნით წყალსაკრებში, როგორც წარმოდგენილია 6 დანართის და 7 დანართის გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების რუკებში.



სურ 2-6: გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების მატრიცა მასების გრავიტაციული გადანაცვლების პროცესებთან დაკავშირებით დიფერენცირებული მოცულობით (ინტენსიურობა) და ქანების ჩამოშლის, ღვარცოფული ნაკადების და უფრო დიდი გრავიტაციული გადანაცვლების პროცესების სიხშირესთან დაკავშირებით (ღვარცოფული წყალმოვარდნის მსგავსი მოვლენები და მაღალი მასშტაბის რთული მოვლენები, როგორც იყო 2019 წელს). კლასიფიკაცია ეფუძნება ONR 24810 მცირე შესწორებებით.

პრეზენტაციები რუკებზე:

ჩვენი ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია გეგმებში და რუკებში.

- ⇒ გეომეცნიერული მონაცემთა ბაზა (დანართი 1 - დანართი 5 და დანართი 9): 1 დანართში და 2 დანართში ჩვენ წარმოვადგინეთ მთლიანი წყალსაკრების სქემატურ რუკებზე 1:25,000 მასშტაბით, სადაც ასახულია გეოლოგია, ტექტონიკა, მნიშვნელოვანი მეწყერები და ძირითადი ჩამოშლის ზონის კლასიფიკაცია. 3 -5 დანართებში ასახულია გეომორფოლოგიური რუკის შედეგის დეტალური შედეგები მთავარ ხეობებში: ჭალაათი, მესტიაჭალა და შენაკადი. 9 დანართში მოცემულია მესტიაჭალას ხეობის გეოფიზიკური კვლევის შედეგები.
- ⇒ გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების რუკები (დანართი 6, დანართი 7 და დანართი 8): დანართი 6 და დანართი 7 წარმოადგენს მოვლენის ანალიზის შედეგებს, განსხვავებულ ქანების ჩამოშლის და ნაკადების პროცესებს მთლიან გამოკვლეულ ზონაში. 8 დანართში წარმოდგენილია ღვარცოფული ნაკადის მოდელირების დეტალურ რუკებს (ზემოქმედების ანალიზი) კონკრეტული ზონებისთვის.

მომდევნო თავებში (3-5 თავები), ჩვენ შევაჯამეთ ჩვენი მთავარი მონაცემები მასების გადანაცვლების შესახებ და წარმოვადგინეთ აღწერილობა.



6. კუთრი წინაღობის ელექტრული ტომოგრაფია და ინტერპრეტაცია

გეოფიზიკური მეთოდები გამოყენებულია გეოტექნიკურ კვლევებში მნიშვნელოვან პერიოდში. პირდაპირ ძიებისგან განსხვავებით, მაგ. გაბურღვით, გეოფიზიკური ძიების საერთო პრინციპი ითვალისწინებს მონაცემთა შეგროვებას, რომელიც გავლენას არ ახდენს გრძელ დისტანციებზე. მესტიაჭალას ხეობაში „კუთრი წინაღობის ელექტრული ტომოგრაფიის“ (ERT) გეოტექნიკური მეთოდი იქნა გამოყენებული ორ-განზომილებიანი სახით, რომელიც იძლევა ხაზოვან შედეგებს განივკვეთზე.

6.1. კვლევის სფერო და ფარგლები

ERT გაზომვების შედეგები უნდა ითვალისწინებდეს ქვემოთ ჩამოთვლილ ინფორმაციას გეოლოგიური პირობების უკეთ გაგებისთვის, რომელიც გამოიყენება მომავალი რთული პროცესის მოვლენების მოდელირებისთვის.

2019 წლის ივლისის მოვლენა იყო რთული პროცესი, რომელმაც გამოიწვია მასების გადანაცვლების სხვადასხვა ტიპის კასკადი. ამ მოვლენის, მისი პროცესების და ქცევის ადეკვატურად ასახვის მიზნით მოდელში (თავი 7) ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი საწყისი მონაცემი არის შესუსტებული ქანის მასივის საერთო მოცულობა. პირველი

მიახლოებითი შეფასება განხორციელდა სატელიტური გამოსახულების დისტანციური ანალიზით. მოცულობის შესახებ მიღებული ინფორმაციის შესამოწმებლად ორი ორთოგონალური განივკვეთი (“წყალმიმღები 1, SW-NE” და “წყალმიმღები 1, SE- NW”) განხორციელდა მთავარი დანალექის ზედა ნაწილში შენაკადი / მურყვამის ხეობის გასწვრივ. მოვლენის დანალექების სისქის გარდა, აღნიშნული განივკვეთების დამატებით უზრუნველყოფს ინფორმაციას მყარი ქანის ზედაპირის სიღრმის შესახებ და მოსაზრებებს დამატებითი პროცესების შესახებ ზემოქმედების განმავლობაში.

მეორე მთავარი საკითხი, როგორცაა ღვარცოფული ნაკადის მოდელირების შემავალი პარამეტრი, რომელიც ეხება არსებული დანალექების განმეორებით მობილიზების შესაძლებლობას. მყარი ქანის ზედაპირის სიღრმე და მისი ტოპოგრაფია გამოსვლის ხაზზე, ასევე პოტენციურად ხელახლა მობილიზებული სედიმენტების ტიპები საჭიროა გეოლოგიური პირობების უკეთ გაგებისთვის და შერჩეული მოდელის პარამეტრების შემოწმებისთვის. ზემოაღნიშნულის დადასტურების მიზნით, მესამე განივ-კვეთი („მესტიაჭალა, გალერეა“) განხორციელდა მესტიაჭალას ხეობის გასწვრივ.

6.2. კუთრი წინაღობის ელექტრული ტომოგრაფიის მეთოდი

6.2.1. კუთრი ელექტროწინაღობა და მისი ზემოქმედების ფაქტორები

ომის კანონის შესაბამისად ელექტროდენი არის გამტარი საშუალება ძაბვის პირდაპირ პროპორციულად. კონკრეტული ელექტროწინაღობა ამ ფორმულაში განიხილება პროპორციულობის კოეფიციენტად. კონკრეტული მასალის წინაღობა დამოკიდებულია იონების მობილიზების უნარზე, რომელსაც თავის მხრივ გადააქვს ელექტრონები. მასალის წყლის შემცველობას და ფოროვანი წყლების მარილიანობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს. მასალის ფიზიკური თვისებებიდან გამომდინარე (ასეთ შემთხვევაში ქვედა ფენის მასალები) მას შეუძლია შეინახოს მეტი ან ნაკლები წყალი, ვინაიდან მისი ქიმიური თვისებები დამატებით გავლენას ახდენს ფოროვანი წყლის ქიმიურ შემადგენლობაზე. ამისგან განსხვავებით ჰაერით შევსებული ფოროვანი სივრცე მოქმედებს იზოლატორის სახით. ქანის შემდეგი თვისებები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კუთრი წინაღობის ზემოქმედებისას (SAMOUËLIAN et al. 2005).

გრანულომეტრული განაწილება: ვინაიდან გრანულომეტრული შემადგენლობა მცირდება, მასალის კუთრი ზედაპირი იზრდება (მაგ. თიხოვან ქვედაფენას აქვს ძალიან

დიდი კუთრი ზედაპირი). ეს ნიშნავს, რომ მეტი წყალი შემოიფარგლება და წინაღობა შემცირდება.

ფორიანობა და ფორის გეომეტრია : აღნიშნული თვისებები განსაზღვრავს კოეფიციენტს ჰაერსა და წყალს შორის ქვედა ფენაში. ზოგადად ფორიანობა ხელს უწყობს წყლის გაჯერებას (დაბალი წინაღობა) თუმცა თუ კონკრეტულ დონეს გადააჭარბებს, ფორიანი წყლის შემცველობა მცირდება და ფორიანი სივრცე ივსება ჰაერით (მაღალი წინაღობები, ანალოგიური ეფექტი შეიძლება გამოიწვიოს არახელსაყრელმა გეომეტრიამ.

დაკავშირებადობა: კარგი კავშირის შემთხვევაში ფორის სივრცეებს შორის, შესაძლებელია წყლის სრული გაჯერება. შემდეგ მცირდება წინაღობა.

დაბზარვის ხარისხი: დაბზარვის ხარისხი მყარი ქანის ფორმაციებში და გრუნტის წყლებით შევსებული ფრაქტურების პროცენტულობა ჰაერთან მიმართებით, მეტად მნიშვნელოვანია გაზომილი წინაღობებისთვის.

ფორიანი და ნაპრალოვანი წყლის მარილიანობა: მეტი ან ნაკლები იონები არის ხელმისაწვდომი ელექტრონების გადასატანად, რაც დამოკიდებულია ფორიანი წყლის წარმოშობაზე (ატმოსფერული ნალექები, მდინარის ინფილტრაცია, ტბა ან მარილიანი წყალი, ტრანსპორტირება სხვადასხვა ქანის ფორმაციებზე და სხვა), გადატანის დროზე წყალშემცველი ჰორიზონტით და წყალშემცველი მასალის ქიმიურ თვისებებზე (მაგ. მინერალობა, ეროზიის შესაძლებლობა და სხვა). შედეგად ელექტროწინაღობა შემცირდება ან გაიზრდება.

ტემპერატურა: ტემპერატურის მატებისას, სითხის წებვადობა (ფორიანი წყალი) მცირდება და შესაბამისად იზრდება იონების მოძრაობა. შედეგი არის დაბალი წინაღობა.

სხვადასხვა ქანების და სედიმენტების წინაღობები მითითებულია 6-1 ცხრილში. მყარი ქანები ტიპურად ხასიათდება მაღალი წინაღობებით, შესაბამისად წინაღობა დამოკიდებულია დაბზარვის ხარისხზე და გრუნტის წყლებით შევსებული ფრაქტურების პროცენტულ მაჩვენებელზე. შედეგად აღნიშნული ქანის ტიპები შესაძლოა ასახავდეს წინაღობის მაჩვენებლების ფართო სპექტრს.

ცხრილი. 6-1: სხვადასხვა ქანების და სედიმენტების წინაღობები (მილსომი 2003, ტელფორდი და სხვები 1990).

ქანის მასალა	წინაღობის დიაპაზონი [Ωm]
მიწისზედა/გრუნტის წყალი, მტკნარი გრუნტის წყლები	10 – 100
ნიადაგის ზედა ფენა	50 – 100
თიხა	1 – 100
ფხვიერი ქვიშა	500 – 1000
ხრეში	100 – 600
გამოფიტული ნიადაგი	100 – 1000

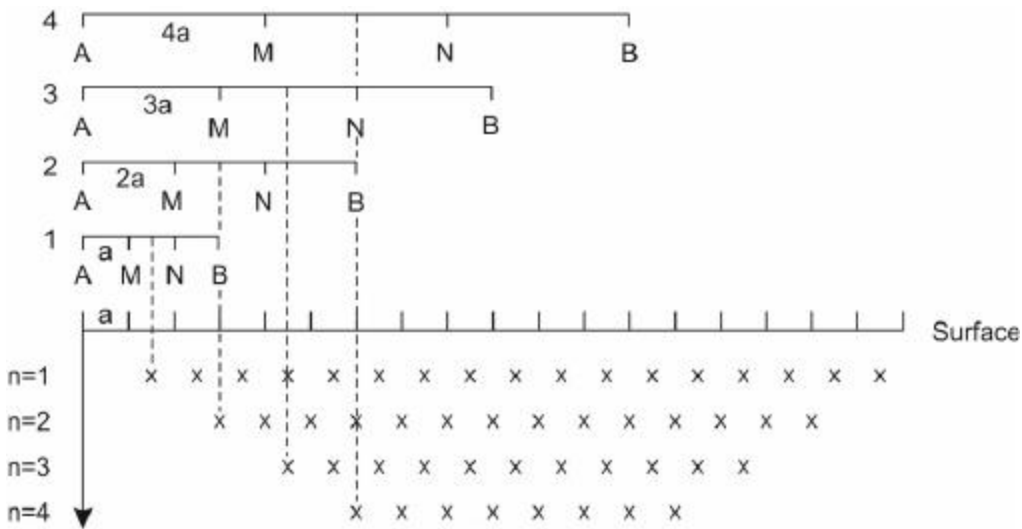
ფიქალი	500 – 500,000
კვარციტი	500 – 800,000
გრანიტი	200 – 100,000

6.2.2. საზომი მოწყობილობა

გეოელექტრული გაზომვები ეფუძნება წინაღობის სხვაობას სხვადასხვა ქვედა ფენის მასალებს შორის. კონკრეტულ წერტილში წინაღობის განსაზღვრისთვის, პოტენციალი შენარჩუნებულია წერტილოვანი (დენის) ელექტროდებით, რომელიც იწვევს DC (მუდმივი დენი) ნაკადს მიწაში. ეს პოტენციალი იზომება ორი სხვა (პოტენციური) ელექტროდით, რომელიც გეომეტრიულად არის განთავსებული. გაზომილი მაჩვენებლების საფუძველზე გამოითვლება მოჩვენებითი წინაღობის მაჩვენებელი.

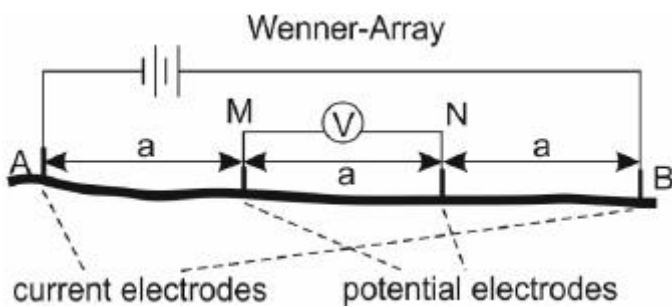
ერთ-განზომილებიანი (1-D) კვლევის შემთხვევაში მხოლოდ ოთხი ელექტროდი გამოიყენება. რადგან ოთხი ელექტროდის ცენტრი რჩება მუდმივი, მხოლოდ დენის ელექტროდები ან როგორც დენის, ასევე პოტენციური ელექტროდები (დამოკიდებულია შერჩეულ მწკრივზე) მოძრაობს ეტაპობრივად ორივე მხარეს. რაც უფრო ფართოდ არის დაშორებული ელექტროდები მით უფრო ღრმად აღწევს ელექტროველი მიწაში და იქმნება ვერტიკალური პროფილი სექციის დაახლოებით შუაში (ETZELMÜLLER et al. 2003).

ორ-განზომილებიანი (2-D) პროფილის შექმნით, შემუშავდება 1-D მეთოდი, 60 ელექტროდის ან მეტი ელექტროდის გამოყენებით ერთდოულად. მაკონტროლებელი ერთეული ავტომატურად ჩაირთვება სხვადასხვა ელექტროდების კონფიგურაციებს შორის. როგორც ნაჩვენებია 6-1 სურათზე, ოთხი ელექტროდის თითოეული მწკრივი თანდათანობით უნდა გადაადგილდეს საზომ პროფილზე გაზომვის სერიების განმავლობაში, ხოლო თითოეული ელექტროდი გამოყენებული იქნება როგორც დენის (A და B) ასევე პოტენციური ელექტროდი (M და N). თითოეული ეტაპით, მონაცემთა წერტილი შეიქმნება ზუსტად ოთხი ელექტროდის შუაში. შედგენადობის სიღრმე იცვლება მანძილის ცვლილებით ელექტროდებს შორის. მაქსიმალური სიღრმე დაახლოებით შეადგენს მაქსიმალური (დენის) ელექტროდის ინტერვალის ერთ მეექვსედს. სათანადო პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით (ასეთ შემთხვევაში Res2DInv- პროგრამული უზრუნველყოფა) შეგროვებული მონაცემების ინვერსია აწარმოებს ქვედა ფენის წინაღობის 2-D სექციას (SCHROTT et al. 2008).



სურ. 6-1: „ვენერის“ წყობის საზომი მოწყობილობის სქემატური ესკიზი, ერთიანი ელექტროდის ინტერვალით, დენის ელექტროდებით A და B და პოტენციური ელექტროდებით M და N. ელექტროდის ინტერვალის ზრდით $n = 1-4$ იზრდება მონაცემთა წერტილის შეღწევადობის სიღრმე. მონაცემთა წერტილის ჰორიზონტალური პოზიცია ყოველთვის არის იმ ელექტროდების ცენტრში, რომლებიც გამოიყენება (მოდიფიცირებული SAMOUËLIAN et al. 2005: 181, სურ. 4).

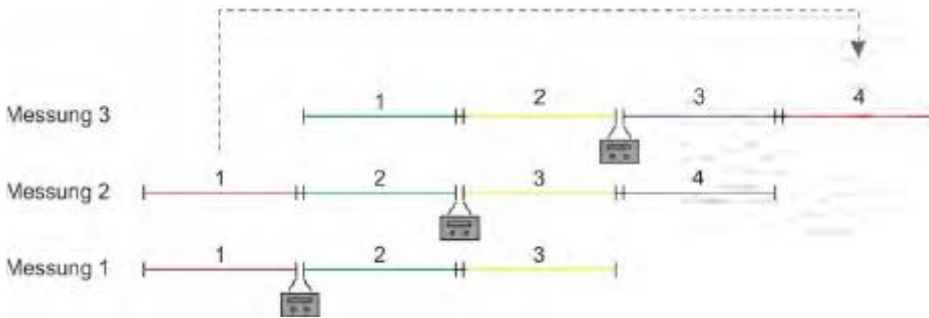
გეომეტრიკებში არსებობს სხვადასხვა ელექტროდის წყობა სხვადასხვა გეომეტრიული ფაქტორებით. თითოეული წყობა შეიძლება გამოყენებული იქნას სხვადასხვა შეკითხვაზე პასუხის გასაცემად. ეგრეთ წოდებული „ვენერის“ წყობა (სურ. 6-2) ასახავს სათანადო სიგნალი - ხმაურის კოეფიციენტს და იმავდროულად ხელსაყრელია ჰორიზონტალური შრეების და სტრუქტურების გამოსავლენად. ამიტომ იქნა გამოყენებული მოცემულ შემთხვევაში.



სურ. 6-2: „ვენერის“ წყობის სქემატური განლაგება დენის ელექტროდებით A და B, პოტენციური ელექტროდებით M და N და ელექტროდის ინტერვალებით (მოდიფიცირებული HACK 2000: 440, სურ. 11).

მესტიაჰალას ხეობაში, გამოყენებული იქნა მოწყობილობა „ABEM Terrameter LS2 წინააღობისთვის და IP გამოსახულებისთვის” ოთხი კაბელით (თითოეული კაბელის სიგრძე შეადგენდა 100 მ) და 81 ელექტროდი (მაქსიმალური ელექტროდის მანძილი შეადგენდა 5 მ-ს). ეს წყობა ითვალისწინებს 400 მ სიგრძის გაზომვის ჩატარებას. თუ უფრო გრძელი განივკვეთი იქნება საჭირო, გამოიყენება ეგრეთწოდებული „საერთო სიღრმის“ მეთოდი. პირველი გაზომვის შემდეგ

მხოლოდ სამი კაბელით და მეორე გაზომვის შემდეგ ოთხივე კაბელით, პირველი კაბელი გამოირთვება და ხელახლა შეერთდება ბოლო კაბელის ბოლოში (სურ. 6-3). ამ სახით შესაძლებელია უსასრულო განივკვეთის გაგრძელება.



სურ. 6-3: “საერთო სიღღმის” გაზომვის სქემატური ესკიზი.

6.3. ERT -ის შედეგები მესტიაჭალას ხეობაში

6.3.1. მონაცემთა შეგროვება

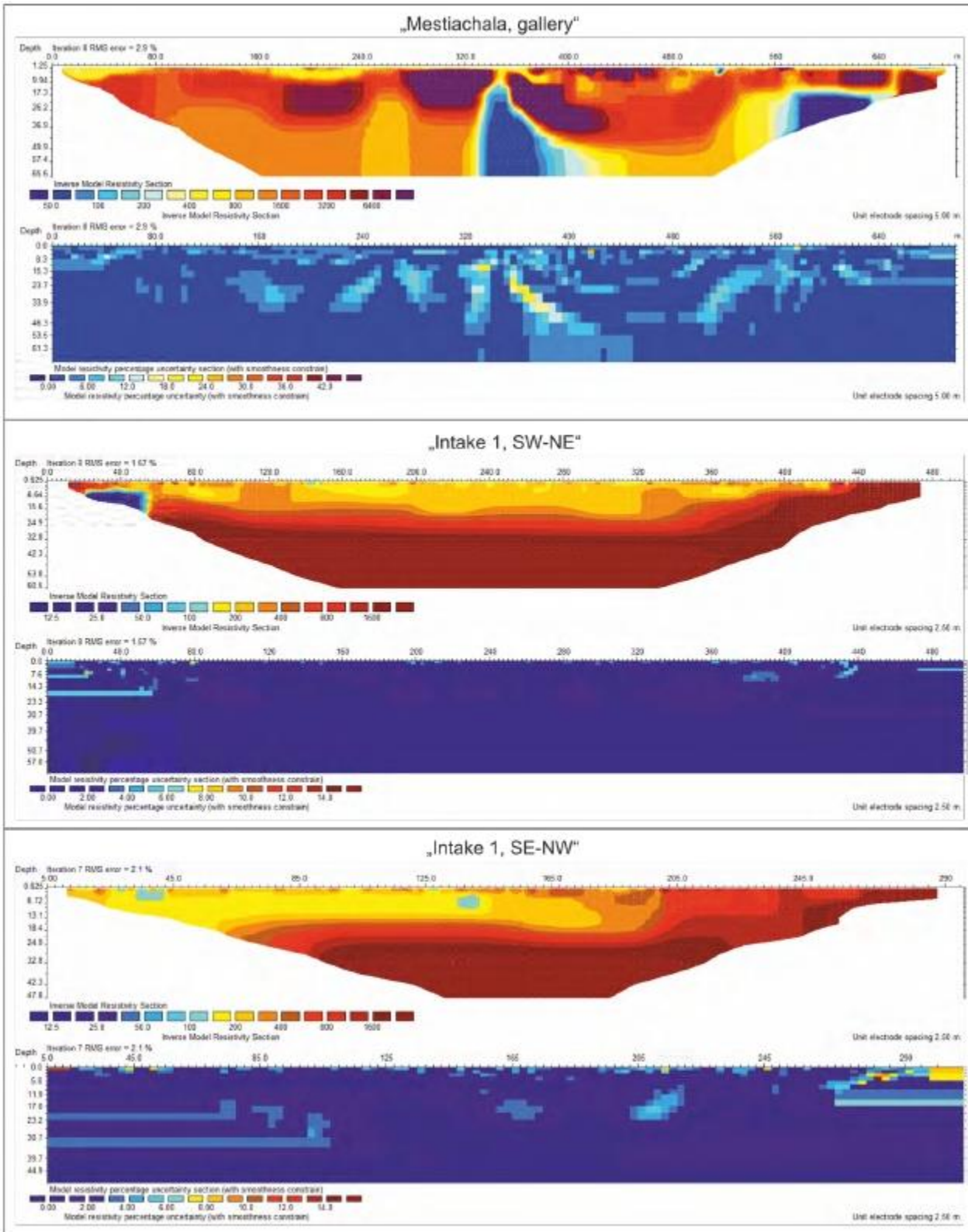
2020 წლის აგვისტოში საველე მივლინების დროს მესტიაჭალას ხეობაში განხორციელდა სამი გეოელექტრული განივ-კვეთი, რომელთა სიგრძეები შეადგენდა 300 მ, 500 მ და 700 მ. განივ-კვეთების ადგილმდებარეობა და შედეგები ინვერსიის პროცესის შემდეგ გამოსახულია 9 დანართში და ასევე შეიძლება იხილოს სურათზე 6-5 და სურათზე 6-6. ცხრილში 6-2 ასახულია სამი გეოელექტრული განივკვეთის საბაზო ინფორმაცია.

ცხრილი. 6-2: გეოელექტრო განივკვეთები მესტიაჭალას ხეობაში

ID	კოორდინატები (UTM ზონა 38T)		ელექტროდის მინიმალური ინტერვალი (a) [m]	განივკვეთის სიგრძე [m]	განივკვეთის მაქს. სიღრმე [m]	მონაცემთა წერტილების რაოდენობა
	დაწყება აღმ/ ჩრდ [m]	დასრულება აღმ/ ჩრდ [m]				
მესტიაჭალაგალერეა	316,551 / 4,775,792	319,972 / 4,776,323	5	ca. 700	ca. 65.6	786
წყალმიმღები 1, SW-NE	317,630 / 4,776,905	317,905 / 4,777,311	5	ca. 500	ca. 60.8	561
წყალმიმღები 1, NE-SW	317,897 / 4,777,078	317,680 / 4,777,250	5	ca. 300	ca. 47.8	210

6.3.2. მონაცემთა შეგროვება

მონაცემთა რედაქტირება (მაგ. არასწორ მონაცემთა კოორდინატების გამორიცხვა) და ინვერსიის პროცესი განხორციელდა Res2Dinv-პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით. როგორც აღწერილია 2.2. თავში, გეოლოგიური პირობები მესტიაჭალას ხეობაში მოსალოდნელია, რომ მნიშვნელოვნად არაერთგვაროვანი იქნება (მაგ. ხეობის დანალექები განსხვავდება დალექვის გენეზისით და აქედან გამომდინარე პეტროგრაფული შემადგენლობით და გრანულომეტრული შემადგენლობით, მყარი ქანით მიახლოებითი ტოპოგრაფიით სედიმენტების ქვეშ). აღნიშნული არაერთგვაროვანი პირობები განაპირობებს მცდარ მონაცემებს. შესაბამისად, სამივე განიკვეთისთვის შერჩეული იქნა „მტკიცე ინვერსიის“ პარამეტრი. მყარი შეზღუდვების განსაზღვრით, ინვერსია ნაკლებ სენსიტიურია მნიშვნელოვნად მცდარი მონაცემთა წერტილებისთვის, თუმცა შესაძლოა ჰქონდეს უფრო მაღალი მოჩვენებითი წინაღობის RMS (საშუალოკვადრატული ფესვი) ცდომილება.



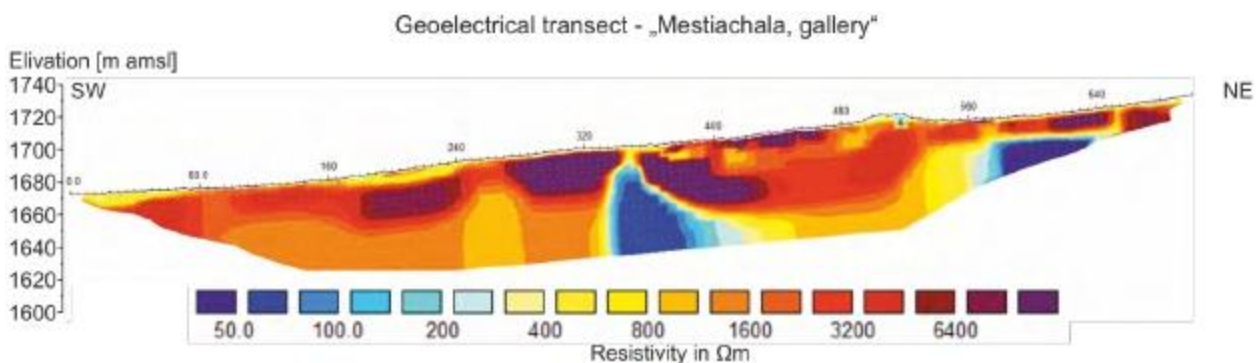
სურ. 6-4: გეოლექტრული განივკვეთების გამოსახულება “მესტიაჭალა, გალერეა”, “წყალმიძღები 1, SE-NW” და “წყალმიძღები 1, SW-NE” მყარი ინვერსიების შემდეგ: “ინვერსიული მოდელის კუთრი წინაღობის ნაწილის” რუკა ტოპოგრაფიის გარეშე ზემოთ და “მოდელის კუთრი წინაღობის პროცენტული მაჩვენებლის გაურკვევლობის ნაწილის” რუკა ქვემოთ.

რვა იტერაციის შემდეგ (განივკვეთები „მესტიაჭალა, გალერეა“ და „წყალმიმღები, SW-NE“) და შვიდი იტერაციის შემდეგ (განივკვეთი „წყალმიმღები 1, SE-NW“), შესაბამისად, მიღწეული იქნა საშუალო RMS ცდომილება: 1.6 % - 2.9 %. სურათზე 6-4 გამოსახულია სამი განივკვეთი “ინვერსიული მოდელის კუთრი წინაღობის ნაწილის“ და “მოდელის კუთრი წინაღობის პროცენტული მაჩვენებლის გაურკვევლობის ნაწილი”. თითოეული განივკვეთის ზედა ნაწილი ასახავს ინვერსიის შედეგებს და ქვედა - ბლოკის გაურკვევლობების შესაბამის განაწილებას. უკეთ შედარებისთვის ტოპოგრაფია გამოირიცხა.

6-4 სურათისგან განსხვავებით, 6-5 სურათი და 6-6 სურათი ასახავს წინაღობის მოდელებს, მათ შორის ტოპოგრაფიულ მონაცემებს.

განივკვეთი “მესტიაჭალა, გალერეა” გადის მდინარე მესტიაჭალას ოროგრაფიულ მარჯვენა მხარეს და ძირითად მიყვება სამშენებლო გზას. დაახლოებით 560 მ სიგრძის შემდეგ განივკვეთი აღწევს გალერეას და გადის მდინარის დონეზე.

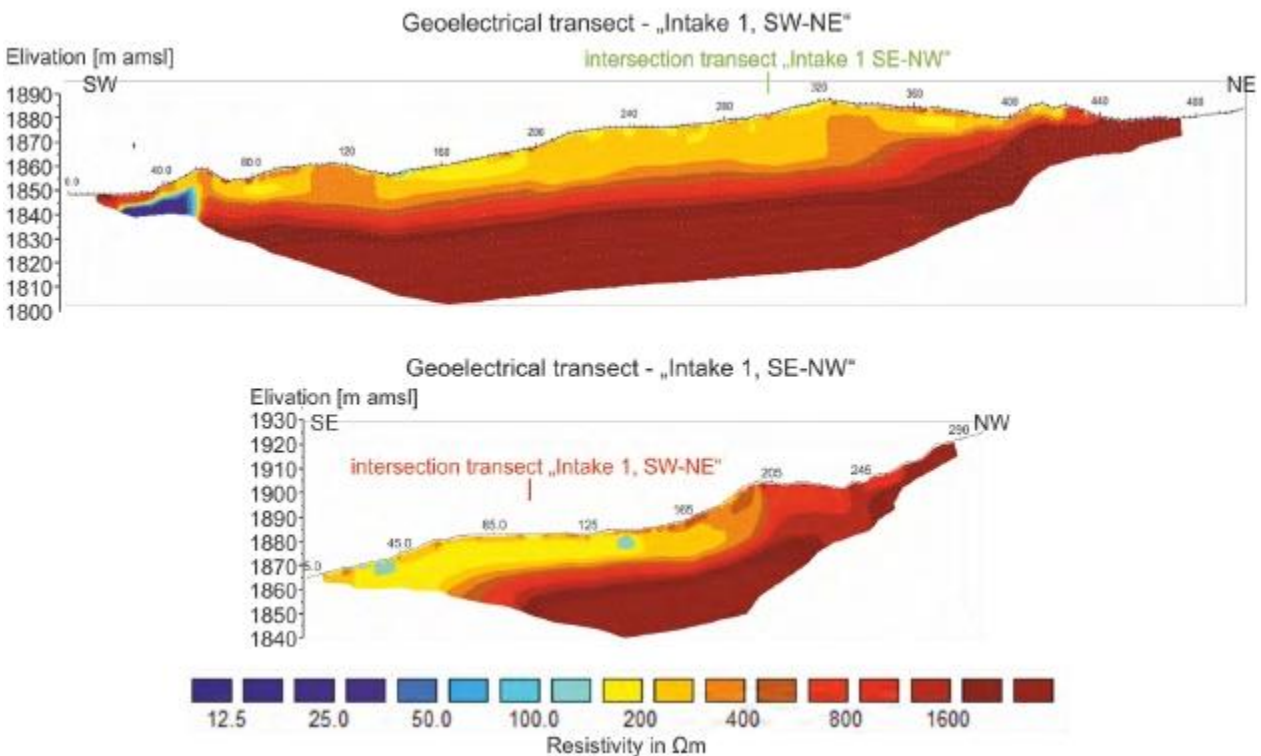
მოდელის წინაღობის მაჩვენებელი (სურ. 6-5) იცვლება 19 Ωm - 140,000 Ωm შორის. კუთრი წინაღობის განაწილების საფუძველზე პროფილის ფარგლებში შესაძლოა განსხვავებული იყოს სხვადასხვა ზონები. დაბალი წინაღობის მქონე ზონები 20 Ωm და დაახლოებით 300 Ωm შორის, წარმოდგენილია მოცისფრო ფერით. ორი ზონა მდებარეობს პროფილის უფრო ღრმა ნაწილში, ასევე შუა ნაწილში 320 მ-ს და 410 მ-ს შორი, როგორც ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილში 560მ-ს და 650 მ-ს შორის. საშუალო წინაღობები 300 Ωm და დაახლოებით 1600 Ωm შორის განსაზღვრულია ყვითელი - ნარინჯისფერ ფერებში და ასევე შესაძლებელია მათი ნახვა პროფილის უფრო ღრმა ნაწილში დაბალი წინაღობის ზონებს შორის. აღნიშნული უფრო ღრმა ნაწილები გამიჯნულია ზედა ფენებისგან მკაფიო საზღვრით. პროფილის დაჩრდილული ნაწილი ზედაპირს და დაახლოებით 10მ-დან 50მ-მდე სიღრმეს შორის, ხასიათდება მეტად არაერთგვაროვანი წინაღობებით 50 Ωm და 140,000 Ωm შორის (ცისფერი - იისფერი).



სურ. 6-5: გეოელექტრული განივკვეთის წინაღობის მოდელი „მესტიაჭალა, გალერეა“. წინაღობის კონტურის მაჩვენებლები განსაზღვრულია ლოგარითმული ინტერვალებით.

განივკვეთი “წყალმიმღები 1, SW-NE” იწყება ქვიშასაჭერის გვერდით, აღწევს მოვლენით ნალექებს დაახლოებით 30 მ-ზე. დეპოზიტების ჩრდილოეთ საზღვარი დაახლოებით შეადგენს 440 მ-ს. განივკვეთი “წყალმიმღები 1, SE-NW” იწყება მდინარის კალაპოტის და წყალმიმღები 1-ის მიახლოებითი პოზიციის ახლოს. განივკვეთი გადის მოვლენით დეპოზიტებს და აღწევს თავდაპირველ ფერდობის დეპოზიტებს დაახლოებით 240 მ სიგრძეზე განივკვეთის გასწვრივ. ორივე განივკვეთი ერთობლივად იკვეთება მეტ-ნაკლებად ორთოგონალურად. პოზიციები ასახულია 6-6 სურათზე და რუკებზე მე-9 დანართში.

ორივე მოდელი ასახავს წინალობის განაწილებას, რომელიც ხასიათდება უფრო მაღალი გვერდითი ჰომოგენურობით „მესტიაჭალა, გალერეა“ განივკვეთთან შედარებით. საერთო წინალობის მაჩვენებლები მერყეობს 12 Ωm და 320,000 Ωm შორის. დაბალი წინალობები ასევე წარმოდგენილია მოლურჯო ფერში, თუმცა ამ შემთხვევაში მერყეობს 12 Ωm და დაახლოებით 150 Ωm შორის. მხოლოდ ერთი ზონა უნდა იქნას მოცემული, რომელიც ხასიათდება აღნიშნული თვისებებით. ის მდებარეობს 20 მ და 55 მ პოზიციებს შორის განივკვეთის გასწვრივ “წყალმიმღები 1, SW-NE”. მაღალი წინალობები განსაზღვრულია 1,600 Ωm მეტით (მუქი წითელი) და გამოვლენილია ორივე პროფილის უფრო ღრმა ნაწილებში. აღნიშნული ზონები დაბალი და მაღალი წინალობის მაჩვენებლებით დაფარულია შრეებით, რომელთა საშუალო წინალობის მაჩვენებლები მერყეობს 150 Ωm და 1,600 Ωm შორის (ყვითელი - წითელი ფერები).



სურ 6-ნ: გეოელექტრული განივკვეთების „წყალმიმღები 1, SW-NE“ და „წყალმიმღები 1, SE-NW“. წინაღობის მოდელი. წინაღობის კონტურის მაჩვენებლები განსაზღვრულია ლოგარითმული ინტერვალებით. განივკვეთების გადაკვეთა ხდება ორთოგონალურად მონიშნულ ლოკაციებზე.

6.4. ERT -ის შედეგების შეფასება და გეოლოგიური ინტერპრეტაცია

გეოელექტრული გაზომვების ინტერპრეტაცია ზოგადად იწყება დაკალიბრების პროცესით. ნიადაგის კვლევიდან დამატებითი ინფორმაციის არარსებობის გამო მესტიაჭალას ხეობაში განხორციელდა გაზურღვითი სამუშაოები ან დაკალიბრების გაზომვები ქანის ნიმუშებზე, დეტალური გეოლოგიური რუკების შედგენა განივკვეთებზე. გეოელექტრულად გაზომილი ზედაპირული მასალების წინაღობები შედარდა მონაცემებთან გეოლოგიური რუკების შედგენის პროცესში. ეს განზომილება შემდეგ შეიძლება გადატანილი იქნას ქვედა ფენის ERT შედეგებში. აღნიშნული შედეგები და გეოლოგიური ინტერპრეტაცია განივკვეთების გასწვრივ აღწერილია მომდევნო თავებში და გამოსახულია 9 დანართში.

6.4.1. გრძივი ხეობის განივკვეთია „მესტიაჭალას გალერეა“

მესტიაჭალას ხეობა შევსებულია კოლუვიური და ალუვიური სედიმენტებით, რომლებიც წარმოადგენენ გარშემო იურიული და პალეოზური ქანის ფორმაციების გამოფიტვის პროდუქტს. წარმოშობიდან და ტრანსპორტირების პროცესიდან გამომდინარე პეტროგრაფული შემადგენლობა და მრავალი შრეების გრანულომეტრული შემადგენლობის განაწილება მნიშვნელოვნად განსხვავებულია. ეს მრავალფეროვნება წარმოდგენილია ჰეტეროგენული კუთრი წინაღობის განაწილებაში პროფილის ზედა ნაწილში. მყარ ქანზე სედიმენტების საზღვარი მდებარეობს 10 მ-დან 50 მ-მდე სიღრმეში (შეფასებული ქვედა საზღვარი მონიშნულია ტეხილი ხაზით).

გაბნეული დაბალი წინაღობები 800 Ωm -მდე დიდი ალბათობით წარმოადგენს მდინარის დანალექებს მაღალფრაგმენტული თიხის ფიქლების ფერდობის ჩამონაშალით ან მცირე გრანულულოვანი შემადგენლობით. ზონები, რომელთა წინაღობები მერყეობს დაახლოებით 600 Ωm - 3,000 Ωm შორის შეიძლება ჩაითვალოს ცუდად დახარისხებულ მდინარის სედიმენტებად ან ფერდობის ნაშალად თიხის ფიქლების და გრანიტის კომპონენტების ნარევით. უფრო მაღალი წინაღობები შესაძლოა წარმოდგენილი იყოს უფრო მეტად ბლოკური მასალისთვის და/ან ძირითადად გრანიტული კომპონენტებისთვის. ნაწილობრივ ფორიანი წყლის შემცველობა შესაძლოა დაბალი იყოს (მაგ. ლოკაცია მდინარის დონის ზემოთ).

მესტიაჭალას ხეობის ამ ნაწილში, თიხის ფიქლები და კვარციტი მონაცვლეობითი თანმიმდევრობით გამოდის გარემომცველ ქანის ზედაპირებზე. აქედან გამომდინარე

აღნიშნული ფორმაციები ასევე სავარაუდოდ განლაგებულია ხეობის სედიმენტების ქვეშ. წინაღობები დაახლოებით 50 Ωm - 300 Ωm შორის წარმოადგენს მესტიაჰალას თიხის ფიქლებს, 800 Ωm - 1,600 Ωm მაჩვენებლებს შორის კვარციტისთვის. ზონები, რომელთა წინაღობები მერყეობს 300 Ωm და 800 Ωm შორის განიმარტება თიხის ფიქლების და კვარციტის უფრო მჭიდრო მონაცვლეობითი თანმიმდევრობით.

6.4.2. განიკვეთები ზემოქმედების ზონაში 1 წყალმიმღებთან

ზემოქმედების ზონაში განხორციელდა ორი ერთობლივი ორთოგანული კვეთის ERT განიკვეთები. აღნიშნული განიკვეთების გასწვრივ გამოვლინდა მეტნაკლებად ჰომოგენური ზედა ფენა, რომლის წინაღობები მერყეობდა 100 Ωm - 300 Ωm შორის და განმარტებული იქნა 2019 წლის დეპოზიტებად. დეპოზიტები ძირითადად მოიცავს თიხის ფიქლებს პირიტის მაღალი წილით. გრანიტის კომპონენტები იშვიათობაა აღნიშნული დეპოზიტების ძირითად მასაში. დეპოზიტების გვერდით საზღვრებზე წინაღობები შეადგენს დაახლოებით 1,200 Ωm. აღნიშნული ნაწილები (განიკვეთი “წყალმიმღები 1, SE-NW” მონაკვეთში დაახლოებით 200 m და 265 m შორის და განიკვეთი “წყალმიმღები 1, SW-NE” მონაკვეთში დაახლოებით 425 m და 440 m შორის) განიმარტება რემობილიზებულ დელუვოზონად და მდინარის დეპოზიტებად (ძირითადად გრანიტები და გნეისები) ზემოქმედების დროს. მოვლენასთან დაკავშირებული დეპოზიტების სისქე აღწევს დაახლოებით 5 m - 25 m-ს. ორივე განიკვეთი წარმოადგენს სინკლინარულ სტრუქტურებს გვერდით საზღვრებზე მთავარ დეპოზიტებსა და რემობილიზებულ სედიმენტებს შორის, რომლებიც შეიქმნა ზემოქმედების დროს: როდესაც ჩამოცვენილი და ჩამოშლილი მასები ეჯახება ხეობის ძირში არსებულ დეპოზიტებს.

ქვედა ქანების მთავარი ნაწილის წინაღობები ორივე განიკვეთის გასწვრივ მერყეობს 300 Ωm - 100,000 Ωm შორის. აღნიშნული ნაწილები განიმარტება პალეოზურ გნეისებად გარემომცველი გეოლოგიური ფორმაციების შესაბამისად. წინაღობის წრფივი ზრდა გნეისების პირველ 10მ - 20 მ-ს შორის შეიძლება განიმარტოს გამოფიტულ ზედა ფენად.

განიკვეთის “წყალმიმღები 1, SW-NE” ქვედა ქანის სამხრეთ-დასავლეთით მეტად დაბალი წინაღობით (10 Ωm - 100 Ωm) გამოვლინდა ხეობის სედიმენტების ქვეშ. „მესტიაჰალა, გალერეა“ განიკვეთის მსგავსად ეს ნაწილი განიმარტება იურიულ თიხის ფიქლებად, ხოლო გაშიშვლებების ნახვა შესაძლებელია მდინარის კალაპოტის სიახლოვეს. ვინაიდან მთავარი კავკასიური რღვევა (MCT) წარმოადგენს საზღვარს იურიულ და პალეოზურ ქანის ფორმაციებს შორის, MCT შეიძლება განთავსდეს მეტნაკლებად ვერტიკალურად ხსენებული განიკვეთის დაახლოებით 55 მ სიგრძის შემდეგ.

7. მაღალი სიმძლავრის ღვარცოფული ნაკადების მოდელირება

7.1. შესრულებული მოდელირებების მიმოხილვა

მოდელირების კვლევის ფარგლებში, განხორციელდა ორი სხვადასხვა მოდელირება:

პირველი მოდელირების მიზანი იყო 2019 წელს მურყვამის შენაკადში პოლიმინერალური ქანი-ყინულის ზვავის და შემდგომ ღვარცოფული ნაკადის მოვლენის უკუ-გამოთვლა და ამ სახითკვალის გასწვრივ, ასევე მესტიაჭალას ხეობის პირთან ქანის ჩამონაშალის სახით წარმოქმნილი მოცულობების ადგილზე შეფასების ხელშეწყობა.

მეორე მოდელირების მიზანი იყო მესტიაჭალას ხეობაში ჰიპოთეტური ღვარცოფული ნაკადის მოცულობების, წნევის და სიჩქარის მაჩვენებლების წარმოდგენა, 1 - 30 წელიწადში (1 - 100 წელიწადში) საანგარიშო ხარჯის საფუძველზე. მოდელირების შედეგები მიუთითებს შესაძლო ზემოქმედებებზე ჰესი 1-ის ინფრსტრუქტურებზე.

7.2. მოდელირების ინსტრუმენტის შესავალი r.avaflow

პროგრამული უზრუნველყოფა r.avaflow არის მოქნილი და მრავალფუნქციური, GIS-დაფუძნებული ხელმისაწვდომი გამოთვლის პლატფორმა გეომორფული მასების ნაკადის მოდელირებისთვის. r.avaflow-ს დეველოპერებმა ფოკუსირება მოახდინეს ბოლო მოდელის მოდელირების ინსტრუმენტის შემუშავებაზე ღვარცოფული ნაკადის, თოვლის ზვავების, გადაადგილებასთან დაკავშირებით და პროცესების ჯაჭვზე, რომელიც მოიცავს ერთზე მეტ კომპონენტს (რთული მოვლენა). სხვა არსებული პროგრამული უზრუნველყოფის პაკეტების უმეტესობისგან განსხვავებით, ეს ინსტრუმენტი წარმოადგენს ორი და სამ-ფაზიანი ნაკადის მოდელს და ითვალისწინებს მასალის წატაცებას და დალექვას გზის გასწვრივ (MERGILI 2014-2020). მიუხედავად ამისა უნდა აღინიშნოს, რომ ამ შემთხვევაშიც კი, თუ საუკეთესო მოდელები წარმოადგენს მხოლოდ მიახლოებულ და საერთო მოსაზრებას (MERGILI და PUDASAINI 2014-2020), რაც თავის მხრივ ნიშნავს, რომ სიფრთხილით უნდა იქნას ინტერპრეტირებული მოდელირების შედეგები და შევსებული ადგილზე სავსე კვლევებით და დისტანციურად განსაზღვრული მონაცემებით, იმისათვის, რომ საერთო მონაცემები იყოს საიმედო და ასახავდეს რეალობას საუკეთესო გზით.

7.3. 2019 წლის მოვლენის უკუ გამოთვლები

7.3.1. მოვლენის აღწერა

2019 წლის 25 ივლისს, ქანი-ყინულის ზვავი ჩამოიშალა მესტიაჭალას ხეობის მურყვამის შენაკადში (იხილეთ 2020 წლის შუალედური ანგარიშის ნაწილი 3.3.). სატელიტური გამოსახულებები და ადგილზე შემოწმებები ასახავდა, რომ დროის მოკლე მონაკვეთში ორი მყარი მასა ჩაეშვა მურყვამის შენაკადში. ეს დასტურდება ორი ფენის მკაფიოდ შესამჩნევი დანაშრევებით მესტიაჭალას ხეობის და შენაკადის შესართავზე და დრონის გამოსახულებით, რომელიც განხორციელდა 2020 წლის საველე კამპანიის დროს. მოწყვეტილი მასები დაეჯახა მურყვამის მყინვარის ენას, ღვარცოფული ნაკადის სახით შენაკადის ქვემოთ გადაადგილებული ყინულის მნიშვნელოვანი ოდენობა დაზვავდა. ზოგი მასალა დაილექა გზის გასწვრივ ქვემოთ დაშვებისას და ჩამოშლილი მასის დიდი ნაწილი დაილექა მთავარი ხეობის და შენაკადის შესართავთან, გაანადგურა ჰესის 1-ის წყალმიმღების ინფრასტრუქტურა, შესართავის გარშემო ტერიტორიაზე.

7.3.2. მონაცემთა გამომუშავება მოდელირებასთან დაკავშირებით

გამოყოფის ზონების ზუსტი ლოკაციის და მათი მოცულობების განსაზღვრის სტანდარტული პროცესი არის მოქმედი ციფრული მოდელი (DEM) DEM-დან მოვლენამდე. ვინაიდან მოქმედი DEM არ იყო ხელმისაწვდომი და არსებულ DEM მოდელს 2007 წლიდან ჰქონდა 12.5 მეტრი სივრცითი გარჩევადობა, მოდელირების შედეგების საერთო სიზუსტე სიფრთხილით უნდა იქნას განმარტებული და ასახული საველე კვლევის შედეგების მიხედვით. ვინაიდან თანამედროვე და მაღალი გარჩევადობის DEM არ არის ხელმისაწვდომი, რომელიც მოიცავს მურყვამის ხეობას, გამოყოფის ზონები და მათი მოცულობები უნდა შეფასდეს დრონის და სატელიტური გამოსახულებების ანალიზის და საველე კამპანიის დროს მოპოვებული სხვა ინფორმაციის საფუძველზე. გამოყოფის ზონებისთვის, საერთო მოცულობა შეფასდა დაახლოებით 1.6 მილიონ მ³. ეს მოცულობა დაიყო 1.3 მილიონ მ³ მთავარი გამოყოფის ზონისთვის (T-R1 სურათზე. 3-5) და დანარჩენი მეორე გამოყოფის ზონისთვის (T-R2 სურათზე. 3-5). ვინაიდან ტერიტორიის ანალიზის შედეგად მიღებულია დაშვება, რომ მცირე ტერიტორია გამოყოფილი იყო კონკრეტული დროის ინტერვალში პირველი გამოყოფის შემდეგ, 120 წამიანი დროის ინტერვალით განხორციელდა აღნიშნულ მოდელში. გამოყოფის ზონები შეფასდა და განისაზღვრა გეოინფორმაციის პროგრამული უზრუნველყოფის ArcGIS გამოყენებით და შემდეგ განხორციელდა მოდელირების ინსტრუმენტში.

7.3.3. მოდელირების საწყისი მონაცემები

მოდელირება r.avaflow პროგრამით ეფუძნება ტოპოგრაფიას, რომელიც წარმოდგენილია DEM საფუძველზე და თავდაპირველ პირობებს და მოდელის პარამეტრებს (MERGILI et al. 2020: 99). DEM მოდელთან დაკავშირებით, 12.5 m გადაწყვეტის ციფრული მოდელი (DEM) წარმოდგენილია მიწის სადაზვერვო თანამგზავრით, გამოყენებული იქნა

ხმელეთის სადაზვერვო თანამგზავრი (ALOS) იაპონიის აეროკოსმოსური კვლევის სააგენტოდან. აღნიშნული სატელიტური პროგრამის მიზანია სხვა საკითხებთან ერთად კატასტროფის მონიტორინგი. თანამგზავრი აღჭურვილია დისტანციური ინსტრუმენტებით. PALSAR (ფაზირებული მასივის ტიპი L-დიაპაზონის სინთეზური აპერტურის რადარი) ინსტრუმენტი შესაფერისია დღის და ღამის განმავლობაში მიწაზე დაკვირვებისთვის, ამინდის მიუხედავად (იაპონიის აეროკოსმოსური კვლევის სააგენტო 2008). DEM შეიქმნა ინტერფერომეტრული სინთეზური აპერტურის რადარის (InSAR) გამოყენებით (ARAMBERI et al. 2020: 1). DEM მოიცავს ინტერესის მთლიან ტერიტორიას. DEM მაღალი გარჩევადობა უპირატესობა იქნებოდა მასების გადანაცვლების მოდელირებისთვის, თუმცა სხვა მონაცემები არ იყო ხელმისაწვდომი დამუშავების დროს.

მოდელის პარამეტრების მაჩვენებლები შერჩეული იქნა არსებული ლიტერატურიდან, სხვა კვლევის ზონებისთვის r.avaflow პროგრამული უზრუნველყოფით წინა მოდელირებების გამოცდილების შესაბამისად და ადაპტირებული იყო მესტიაჰალას ტერიტორიის პირობებთან. შერჩეული პარამეტრების მაჩვენებლები შეჯამებულია ცხრილში 7-1.

ქანი-ყინულის ჩამოშლის ჰიდრაულიკური ხახუნი ძირითადად ხასიათდება მყარი მასალის საბაზისო ხახუნით და გარემომცველი წინაღობის კოეფიციენტით. აღნიშნული გარემომცველი წინაღობის კოეფიციენტით განიხილება ჰაერის წინაღობა.

საბაზო ხახუნის კუთხე წარმოადგენს გადამწყვეტ პარამეტრს მოდელირებისთვის. შენაკადში ადგილობრივი პირობების გამო, მეწყერის სატრანზიტო ზონის გასწვრივ, საბაზო ხახუნის კუთხისთვის შეფასდა ორი სხვადასხვა მაჩვენებელი. ორი სხვადასხვა მაჩვენებლის გამოყენებით სატრანზიტო ზონის დაყოფით, მიღებული იქნა ოპტიმალური მოდელირების შედეგები.

ყინულის წატაცება განისაზღვრება წატაცების კოეფიციენტის გამოყენებით. ეს კოეფიციენტი გამოიყენება საბაზო მასალის წატაცების კოეფიციენტის მისაღებად.

ცხრ. 7-1: მოდელის პარამეტრები; შენაკადი

პარამეტრი	ერთეული	მაჩვენებელი
მყარი მასალის სიმკვრივე (მარცვლის სიმკვრივე)	kg/m ³	2,700
ყინულის მასალის სიმკვრივე	kg/m ³	1,000

შიდა ხახუნის კუთხე	გრადუსი	35
საბაზო ხახუნის კუთხე	გრადუსი	14; 12
გარემომცველი წინაღობის კოეფიციენტი	-	0.02
წატაცების კოეფიციენტი	-	10^{-7}

7.3.4. მოდელირების შედეგები

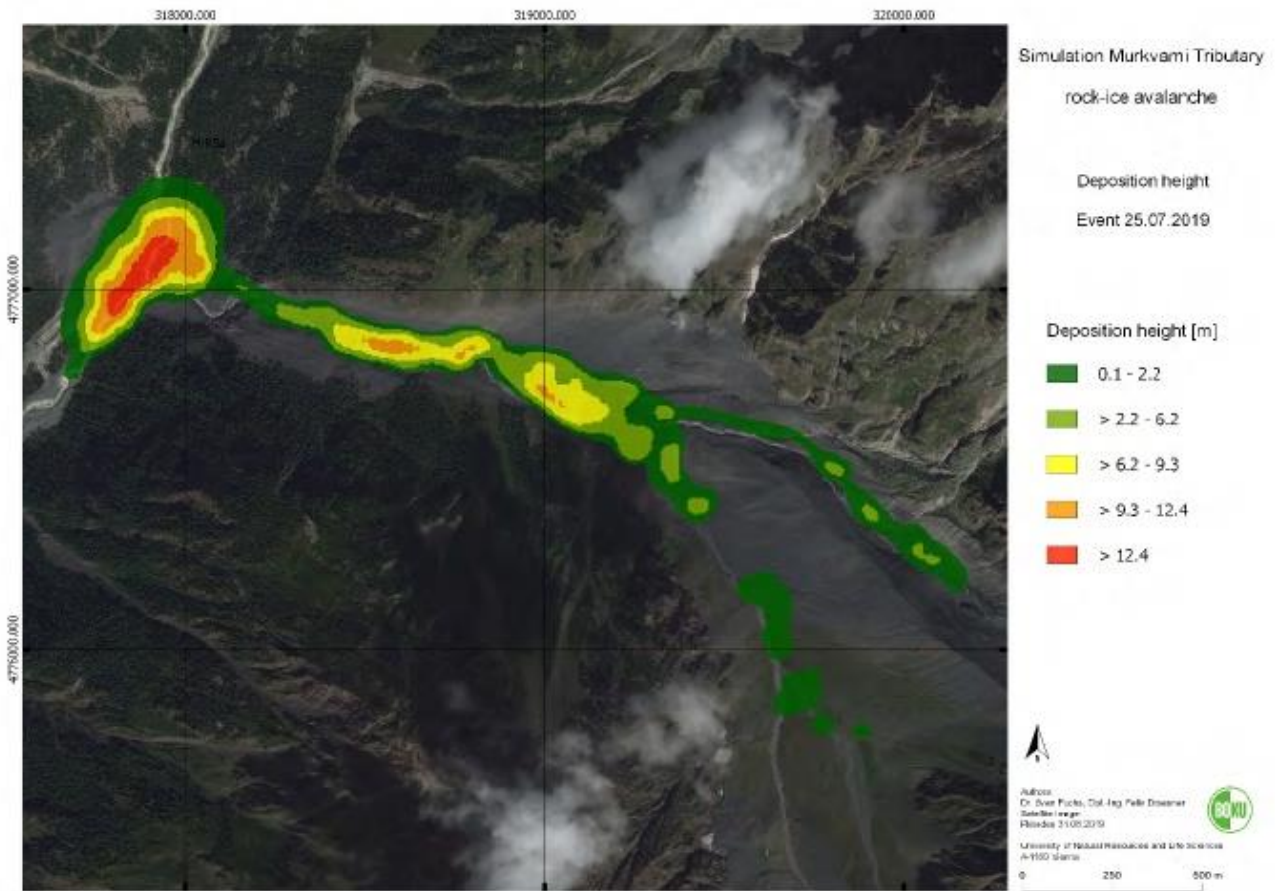
მასების გადანაცვლების უკუგამოთვლის მიზანი იყო ადგილზე დაკვირვებული პირობების მოდელირება (სატელიტური გამოსახულების / რუკის შედგენის შეფასებით ადგილზე) შეძლებისდაგვარად ზუსტად. განხორციელდა პარამეტრის ოპტიმიზაცია მაღალი შეთანხმებისთვის ყველაზე მნიშვნელოვანი დაკვირვებული გამომავალი პარამეტრების ზემოქმედების ზონას და შეტანილ მოცულობებს შორის. ვინაიდან არ არსებობს მოწმეთა ანგარიშები და მონიტორინგის სადგურები, მოდელირება წარმოადგენს ინფორმაციას მასების გადანაცვლების მხოლოდ სავარაუდო (ფრონტალური) სიჩქარეების და გადაადგილების დროის შესახებ.

7.3.4.1. დანალექი

სურათზე 7-1 მასების გადანაცვლების დალექვის სიმაღლეები მოცემულია მთლიანი ტრაექტორიის გასწვრივ. შუა მორენას ქვემოთ (რომელიც ყოფს მურყვამის და ბანგურიანის ხეობებს) განთავსებულია უფრო დიდი დალექვის ზონები, რაც ნაწილობრივ გამოწვეულია ნაკლები დახრილობით მოცემულ ტერიტორიაზე. ასევე შედგენილი იქნა მსგავსი დალექვის ზონების რუკა ქანი-ყინულის ჩამოშლის სატრანზიტო მარშრუტის გასწვრივ მურყვამის შენაკადში სავლე კვლევის დროს 2020 წლის 16 აგვისტოს. გთხოვთ გაითვალისწინეთ, რომ მოდელის სივრცული დაფარვა ზუსტად არ ემთხვევა შემოწმებულ დაფარვას ლანდშაფტში, რომელიც წარმოადგენს ძირითადი DEM-ის ქვედა გარჩევადობის არტეფაქტს. ამ სახით მოდელირების შედეგები ასახავს სათანადო სიზუსტით ასახავს დაკვირვებულ დალექვის ზონებს. მოდელირებული დალექვის სიმაღლეები, რომელიც შეადგენს დაახლოებით 10 მეტრს შეესაბამება სავლე გაზომვებს კვლევის დროს. შუა მორენას სამხრეთ-დასავლეთის დანალექები ასახულია და შეესაბამება შუა მორენას გადმოსვლას მოვლენის დროს, აღნიშნული დანალექების მაქსიმალური სიმაღლე შეადგენს 2.2 მეტრს.

დანალექების მაქსიმალური სიმაღლე მიღებული იქნა მესტიაჭალას ხეობის შესართავთან, სადაც წარმოდგენილია 2019 წლის მოვლენის მთავარი ნაწილი. დანალექების სიმაღლემ მიაღწია 18-20 მეტრს (მათ შორის ფოროვანი სივრცე), რომელიც

შეესაბამება გეოელექტრო კვლევებიდან მიღებულ შედეგებს, ასევე საველე კვლევის დროს ადგილზე შესრულებული გაზომვების შედეგებს.

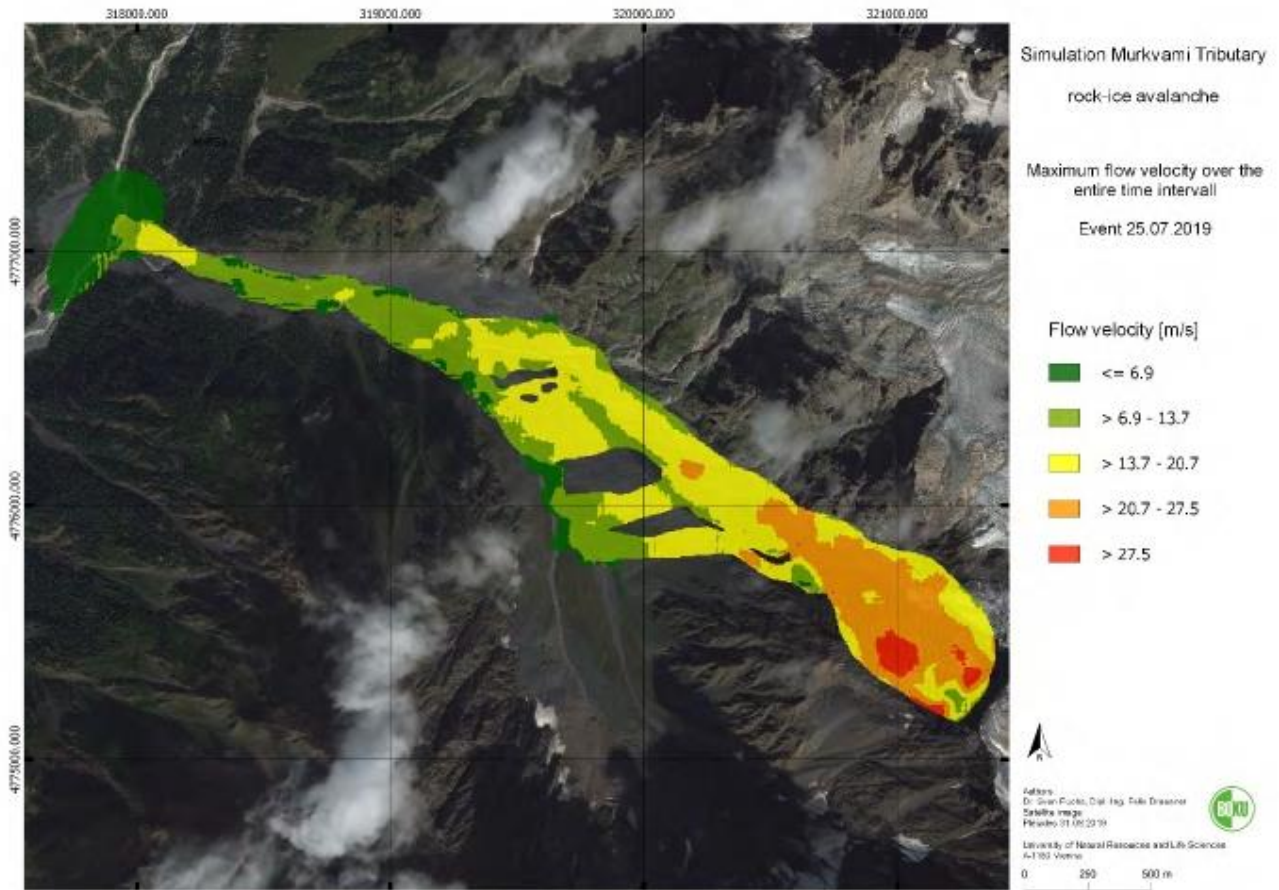


სურ 7-1: მურყვამის შენაკადის მოდელირება ; დალექვის სიმაღლე

7.3.4.2. სიჩქარე

სურათზე 7-2 ნაჩვენებია ნაკადის მაქსიმალური სიჩქარე მასების გადანაცვლების მთლიანი დროის ინტერვალში. თავდაპირველი ქანების ჩამოშლის სისწრაფე სწრაფად გაიზარდა მათი ჩამოშლის შემდეგ და მოძრაობდა ქვემოთ ფრონტალური სიჩქარით, რომელიც აღემატებოდა 27.5 მ/წ-ს. მყინვარის ენასთან მიღწევისას სიჩქარე შეადგენდა 20.7 და 27.5 მ/წ-ს, ასევე ყინულის წატაცება ნაკადში. მზარდი მანძლით გამოყოფის ზონიდან მასების გადანაცვლების სიჩქარე შემცირდა ნაკლები დახრილობის გამო. სანამ შენაკადი ეჯახება მთავარ ხეობას, დახრილობის კუთხე კვლავ მნიშვნელოვნად იზრდება და შედეგად გამოვლენილია სიჩქარის განახლებული ზრდა.

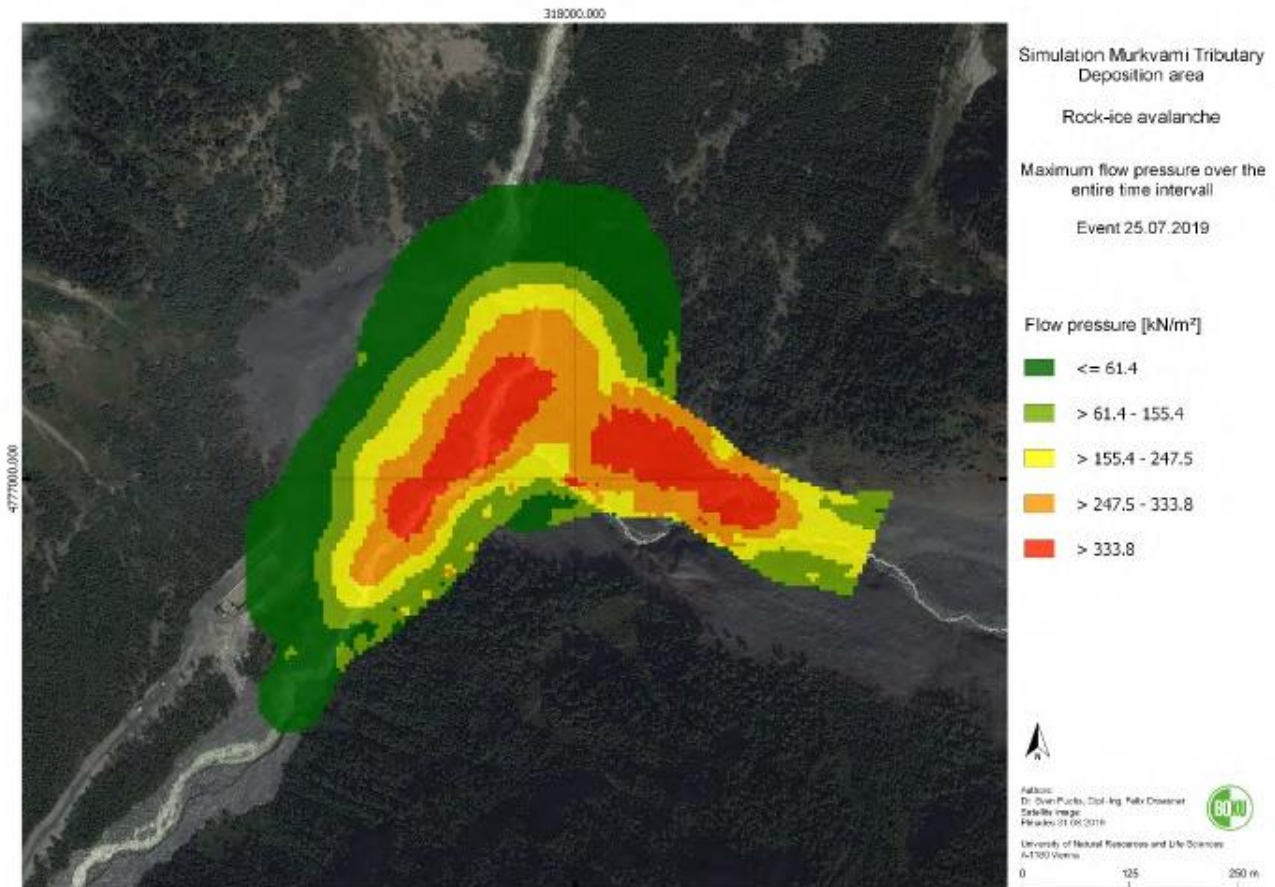
მასების გადანაცვლებამ მიაღწია საშუალო სიჩქარეს, რომელიც შეადგენს 15 მ/წ-ს (54 კმ/სთ), შესაბამისად, გაშვების შემდეგ შენაკადის პირთან საბოლოო დალექვის ზონამდე მასალის მიღწევას სჭირდება 240 წამი (4 წუთი).



სურ 7-2: მურყვამის შენაკადის მოდელირება; ნაკადის სიჩქარე

7.3.4.3. წნევა

სურ. 7-3 ასახავს მაქსიმალურ წნევას მასების გადანაცვლების მთლიანი დროის ინტერვალში. ნაკადის მაქსიმალური წნევა დაახლოებით $1,000 \text{ kN/m}^2$ მაჩვენებლით მიღწეული იქნა ციცაბო მონაკვეთში დანალექებამდე, რომლებიც განთავსებულია მესტიაჭალას ხეობაში (E318,137/N4,777,017). ყოფილი წყალმიმღების ადგილმდებარეობა (E317,873/N4,777,062) ასევე ასახავს ნაკადის მაღალ წნევას - 500 kN/m^2 . ნაკადის წნევა თანდათანობით მცირდება ჩრდილოეთ-დასავლეთის მიმართულებით მზარდი მანძილით არსებული არხის მიმართულებით.



სურ. 7-3: შენაკადის მოდელირება; ნაკადის წნევა.

7.4. ჰიპოთეტური ღვარცოფული ნაკადის მოდელირება მესტიაჭალას ხეობაში

7.4.1 მოვლენის აღწერა

2019 წელს შენაკადიდან მასების გადანაცვლების დანალექებმა მხოლოდ მოკლედ დააგუბა მთავარი არხი, ლეხზირიდან. ვინაიდან საველე კვლევის განმავლობაში მხოლოდ მცირე დაგუბების შემთხვევა იქნა გამოვლენილი, შეიძლება ჩაითვალოს, რომ მდინარის ნაკადი დაგუბდა დალექილი მასალის მიუხედავად უშუალოდ ბლოკირების შემდეგ. შედეგად დანალექების მცირე ნაწილი გადაირეცხა წინა ხაზის გასწვრივ, ხოლო დალექილი მასალის დიდი ნაწილი არ იქნა მობილიზებული. ეს ასევე დადასტურდა საველე კვლევის და არსებული სატელიტური გამოსახულების შეფასების დროს. წყალმომღები 1-ს და ჰესი 1-ს შორის დალექილი მასალა ადასტურებდა, რომ ღვარცოფული ნაკადის ქანის შემცველობა ძირითადად წარმოიშობა მდინარის კალაპოტის ღრმა ეროზიიდან ან გვერდითი ეროზიიდან. გვერდითი ეროზია განსაკუთრებით გამოვლინდა არხის ოროგრაფულ მარჯვენა მხარეს. ჩამოხვავებისგან დამცავი გალერეა გადაირეცხა ფუნდამენტის არარსებობის გამო. გალერეას ჩრდილოეთით მოხდა ფერდობის ეროზია და გააშიშვლა ჰესის სადაწნეო მილსადენი

(სურ 7-4). შემდეგი მოდელირების მიზანია წარმოადგინოს 1-30 წელიწადში (1 – 100 წელიწადში) საანგარიშო ხარჯი HYDROCONSULT ანგარიშის შესაბამისად (2015), რომელიც იწვევს ღვარცოფულ ნაკადს იმგვარად, რომ მოცულობები, სიჩქარეები და წნევა შეიძლება შეფასდეს ჰესის ინფრასტრუქტურასთან დაკავშირებით. იმ ფაქტის დადასტურებით, რომ Hydroconsult ანგარიშში არ არის ექსტრემალური მაჩვენებლები, 1-30 წელიწადში ხარჯი შეიძლება გასაგები იყოს ადგილზე გარემოებებში. აღნიშნულის გათვალისწინებით გამოიყენება 1-100 წელიწადში საანგარიშო ხარჯი შედარების მიზნით, რომელიც მოცემულია ფრჩხილებში შემდეგ ნაწილებში. მესტიაჰალას ხეობის არსებული ტომოგრაფია გამოყენებული იქნა მოდელირების საფუძვლად.



სურ. 7-4: გამიშვლებული სადაწნეო მილსადენი მდებარეობს პირდაპირ არხის მოხრილ მონაკვეთში, ეს ადგილი განსაკუთრებით ექვემდებარება შესაძლო ეროზიას (რესინგერის ფოტო 2020).

7.4.2. მოდელირების საწყისი მონაცემები

DEM-თან დაკავშირებით, გამოყენებული იქნა კლიენტის მოწოდებული 1.0 m გარჩევადობის ციფრული მოდელი (DEM). მაღალი გარჩევადობის DEM შეიქმნა დრონით ზაფხულში 2020 წელს. DEM მოიცავს ზონას ყოფილი წყალმიმღებიდან ჰესი 1-ის ელექტროსადგურამდე. ჰესი 1-ის სამხრეთით, ასევე ჰალათის ხეობის და მურყვამის ხეობის ტერიტორიები არ შედის DEM მოდელში.

მოდელის პარამეტრების მაჩვენებლები შერჩეული იყო არსებული ლიტერატურიდან, სხვა კვლევის ზონებისთვის r.avaflow პროგრამული უზრუნველყოფით წინა მოდელირებების გამოცდილების შესაბამისად და ადაპტირებული იყო მესტიაჰალას ტერიტორიის პირობებთან. შერჩეული პარამეტრების მაჩვენებლები შეჯამებულია ცხრილში 7-2.

საბაზო ხახუნის კუთხე წარმოადგენს გადამწყვეტ პარამეტრს მოდელირებისთვის და შერჩეულია ადგილობრივი პირობების გამო მესტიაჰალას ხეობაში.

1-30 წელიწადში 91-100 წელიწადში) საანგარიშო ხარჯი 104.9 m³/s (143.1 m³/s) ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობის დროს შესრულებულ კვლევებში არსებული მონაცემების საფუძველზე (HYDROCONSULT 2015: 4). ხარჯი დაიყო 2/3 და 1/3 სხვადასხვა წყლის მოცულობების გამოთვლისთვის ლეხზირის წყალსაკრებიდან და შენაკადიდან. უფრო მაღალი ხარჯი [2/3 => 69.93 m³/s (95.4 m³/s)] წარმოიშობა ყოფილი წყალმიმღები 10ის ჩრდილოეთით ლეხზირის წყალსაკრებიდან და უფრო დაბალი ხარჯი [1/3 => 34.97 m³/s (47.7 m³/s)] წარმოიშობა მურყვამის შენაკადიდან. აღნიშნული ორი ხარჯი ერთდება E317,896/N4,777,026 და იწვევს 1-30 წელიწადში (10100 წელიწადში) საანგარიშო ხარჯს HYDROCONSULT (2015) შესაბამისად. ფხვიერი მასალა არხში წარმოდგენილია წატაცების სახით. ვინაიდან მოდელირების მიზანი იყო ნაკადის პირობების გამოვლენა ჰესის კრიტიკულ კონსტრუქციებზე, განსაკუთრებული ყურადღება დაეთმო ზონას არსებული ჩამოხვავებისგან დამცავ გალერეას გასწვრივ, გამიშვლებული სადაწნეო მილსადენის ზონას და ზონას ჰესი 1-ის ელექტროსადგურის გარშემო. მოდელირება ხორციელდება სანამ ფხვიერი მასალა წატაცებისთვის მთლიანად არ იქნება გადარეცხილი.

ცხრ 7-2: მოდელის პარამეტრები; მესტიაჰალა

პარამეტრი	ერთეუ	მაჩვენებელი
მყარი მასალის სიმკვრივე (მარცვლის სიმკვრივე)	kg/m ³	2,700
შიდა ხახუნის კუთხე	გრადუს	35
საბაზო ხახუნის კუთხე	გრადუს	9
გარემომცველი წინალობის კოეფიციენტი	-	0.02
წატაცების კოეფიციენტი	-	10 ⁻⁷

7.4.3. მოდელირების შედეგები

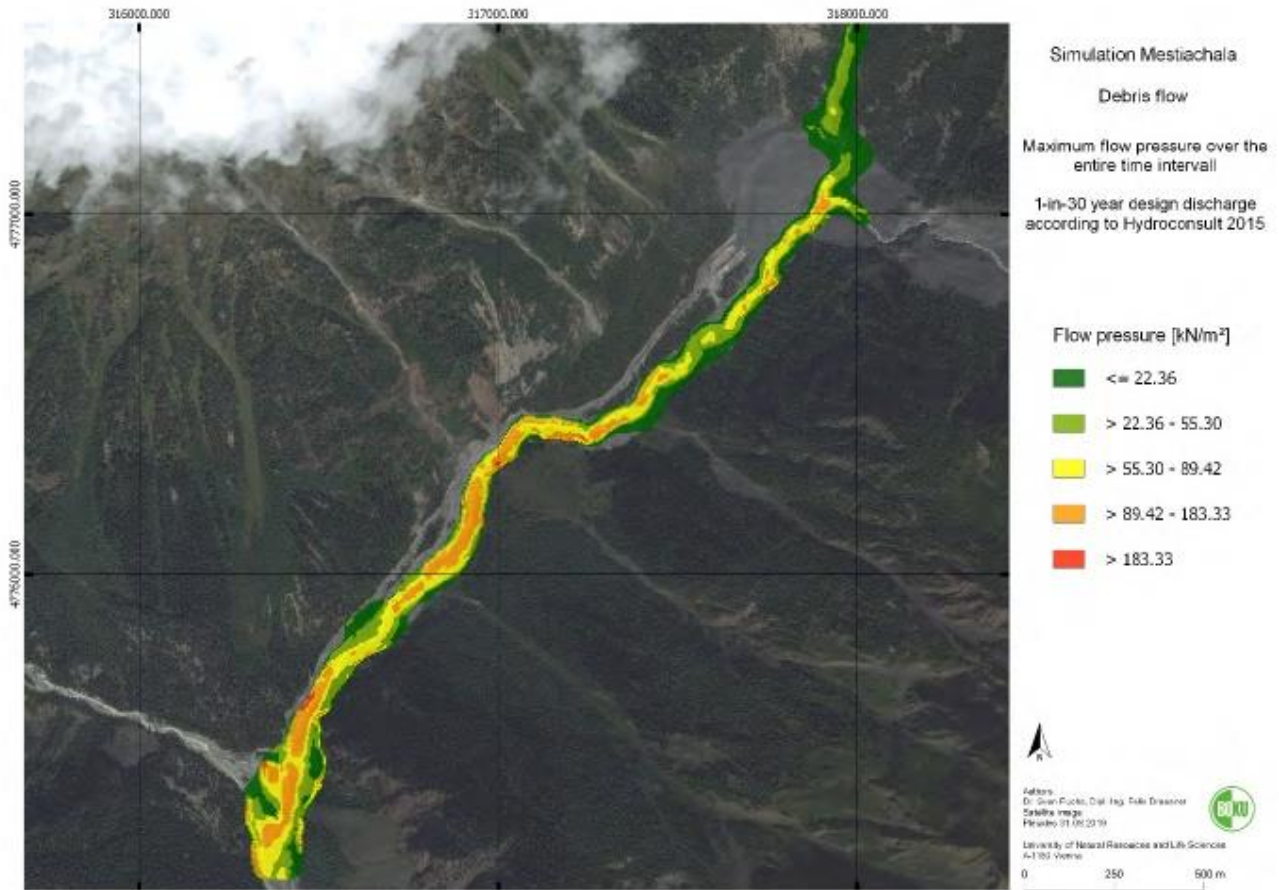
7.4.3.1. წნევა

სურათი 7-5 ასახავს წნევის მაქსიმალურ წნევას ღვარცოფული ნაკადის მთლიანი დროის ინტერვალში. მკაფიოდ ჩანს, რომ კონსტრუქციები განსაკუთრებით ნაკადის გზაზე, ასევე მიმართულების მოულოდნელი ცვლილებები უფრო მაღალი წნევის ქვეშ, აღწევს 350 kN/m^2 მაჩვენებელს. გაშიშვლებული სადაწნეო მილსადენის ტერიტორიები, ჩამოზავებისგან დამცავ გალერეას ახლოს, ასევე ჰესი 1-ის ელექტროსადგურის გარშემო დეტალურად არის გაანალიზებული.

2019 წლის კატასტროფის შედეგად გალერეას აღრიცხული ზიანის გამო, არსებობდა ნაკადის მნიშვნელოვნად მაღალი წნევის მტკიცებულება, რომელიც ზემოქმედებას ახდენს აღნიშნულ მონაკვეთებზე. მოდელირების შედეგები ადასტურებს იმ დაშვებებს, რომ განსაკუთრებით აღნიშნულ მონაკვეთებში მაღალი წნევა 170 kN/m^2 (180 kN/m^2) ოდენობით მოქმედებს არხის ძირზე და ფერდობზე გალერეას გვერდით. გარდა ამისა ყრილზე გაშიშვლებულ სადაწნეო მილსადენთან გავლენას ახდენს განსაკუთრებით მაღალი წნევა.

მოდელირება ასახავს, რომ არხის ძირი გალერეას სამხრეთით (E316,925, N4,776,230 – E316,825, N4,776,010) განსაკუთრებით ექვემდებარება ძლიერ წნევას დაახლოებით 250 მ სიგრძეზე. წნევა მცირდება მაღალი წნევის არხის ფსკერის სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილში.

დამატებით მნიშვნელოვანი ზრდა აღინიშნა კონსტრუქციის გვერდით კიდული ხიდი) უმალოდ ელექტროსადგურის წინ, განსაკუთრებით ოროგრაფიულ მარჯვენა მხარეს. შესაძლოა წარმოიქმნას მაღალი წნევა, რომელიც აღემატება 300 kN/m^2 (400 kN/m^3). აღნიშნული მაღალი წნევა მოსალოდნელია ტოპოგრაფიის (არხის ფსკერის ოდნავ მარცხნივ) გამო და შესაბამისად დადასტურებული იქნა მოდელირების საფუძველზე. კაშხლის დატბორვისას, ვლინდება წნევის მცირე შემცირება. წნევის შემცირება ძირითადად გამოწვეულია დატბორვით, რაც ასევე დასტურდება უშუალო ზრდით კაშხლის ქვემოთ. ტოპოგრაფია ელექტროსადგურის გარშემო უფრო ბრტყელია, რაც იწვევს ნაკადის გავრცელებას უფრო ფართო ტერიტორიაზე შესაბამისად ნაკადის წნევის შემცირებით.

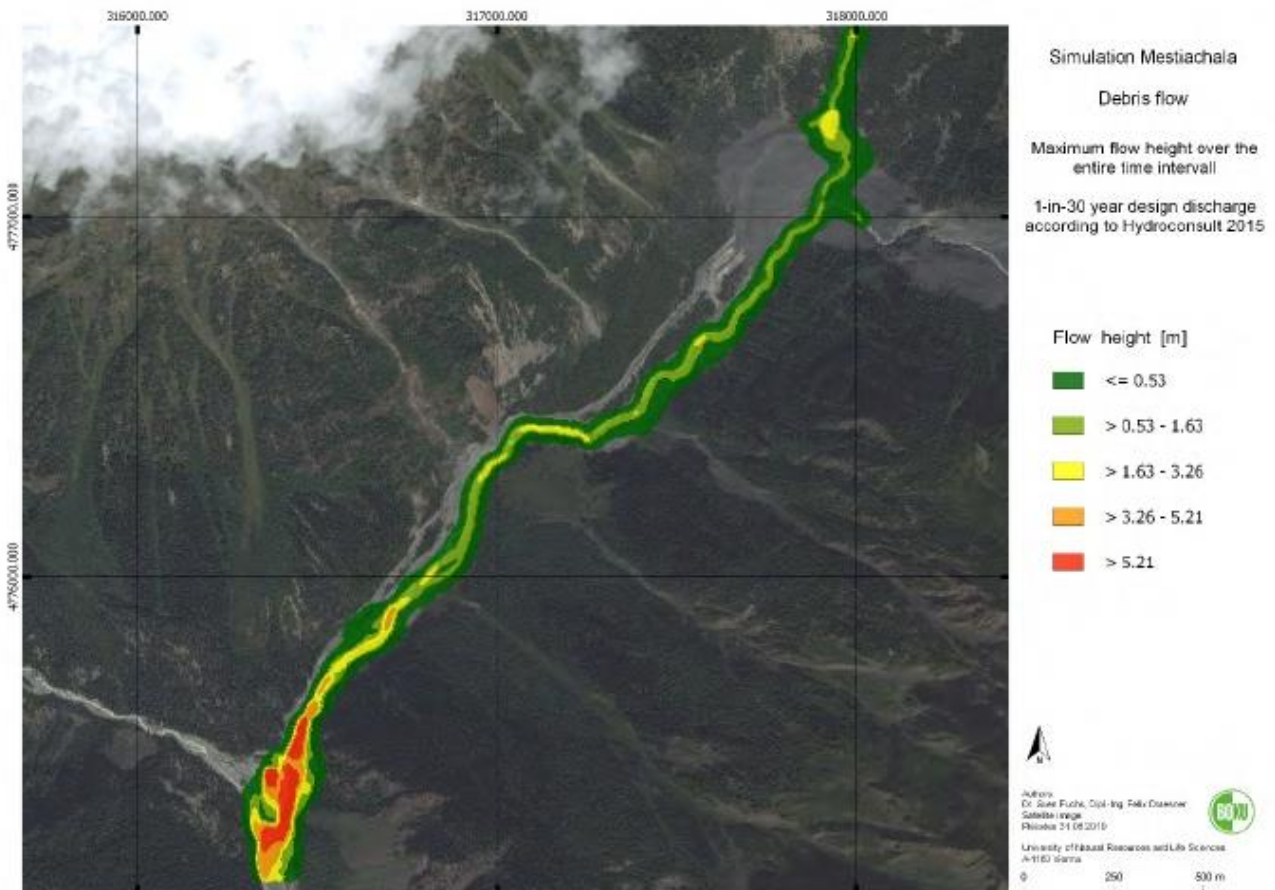


სურ 7-5: მოდელირება მესტიაჭალას ხეობა; ნაკადის წნევა

7.4.3.2. ნაკადის სიმაღლე

სურათზე. 7-6 ასახულია ნაკადის მაქსიმალური სიმაღლეები ღვარცოფული ნაკადის მოდელირების მთლიანი პერიოდის განმავლობაში. დალექვის ზონის ჩრდილოეთით გამოვლინდა მცირე დაგუბება საველე კვლევის დროს, რომელიც ასევე მოპოვებულია მოდელირების შედეგების საფუძველზე. 1-30 წელიწადში საანგარიშო ხარჯი მოსალოდნელია მოახდენს დალექვის ზონის მხოლოდ მცირე მასალის მობილიზებას. როგორც საველე კვლევის დროს იქნა გამოვლენილი, ღვარცოფული ნაკადით მობილიზებული მასალის უმეტესი ნაწილი წარმოშობილია ყოფილ წყალმიმღებ 1-ს და ჰესი 1-ს შორის. ნაკადი თანდათანობით გადარეცხავს მასალას და შექმნის ღვარცოფულ ნაკადს. დალექვის ზონას და მკვეთრ მობრუნებას შორის ზვავისგან დამცავი გალერეას მიმართულებით, ნაკადი სიმაღლე მერყეობს 0.1 მეტრიდან 2.0 მეტრს შორის (2.5 მეტრი) (მაქსიმუმ). გაშიშვლებული სადაწნეო მილსადენის გვერდით ნაკადის სიმაღლე შეადგენს 3.2 მეტრს (3.8 მეტრი) არხის შეკუმშვის გამო. გალერეას ოროგრაფული მარჯვენა მხარეს მაქსიმალური ნაკადის სიმაღლე 2.3 მეტრი (2.9 მეტრი) არის მოდელირებული. ნაკადის სიმაღლეები მნიშვნელოვნად იზრდება შეკუმშვამდე კიდულ ხიდთან, ნაწილობრივ მყარი მასალის მოცულობის ზრდის გამო ნაკადში. კაშხლის

შემდეგ ნაკადის გვერდითი გაფართოება იზრდება აღმოსავლეთით და დასავლეთით, ავსებს ქვიშასაჭერს და პარკინგის ზონას. ნაკადის სიმაღლეები, რომელიც აღემატება 5.5 მეტრს (6.5 მეტრს) იზომება მოდელირების განმავლობაში. უნდა აღინიშნოს, რომ ღრმა ეროზია - 2 მეტრამდე - მოდელირებული იქნა კაშხლის შემდეგ. პირდაპირ კაშხლის გარშემო გამოითვალა დაბალი სიმაღლეები, რადგან ღრმა ეროზია შეუძლებელია მოცემულ მომენტში. კაშხლის შემდეგ ნაკადის მონაკვეთი ვრცელდება ბრტყელი ტოპოგრაფიის გამო და იწვევს ნაკადის უფრო დაბალ სიჩქარეს და შესაბამისად ზრდის ნაკადის სიმაღლეებს დროთა განმავლობაში. ნაკადის სიმაღლეების ზრდა ასევე გამოწვეულია მყარი მასალების გაზრდილი შემცველობით, რომელიც თანდათანობით გაიზარდა მოცემულ მომენტამდე. ქვიშასაჭერი E316,361, N4,775,427 -ზე ივსება ნაკადით მას შემდეგ, რაც ნაკადის სიმაღლე მიაღწევს გარშემო კედელს (ასევე იხილეთ სურათი 7-6).

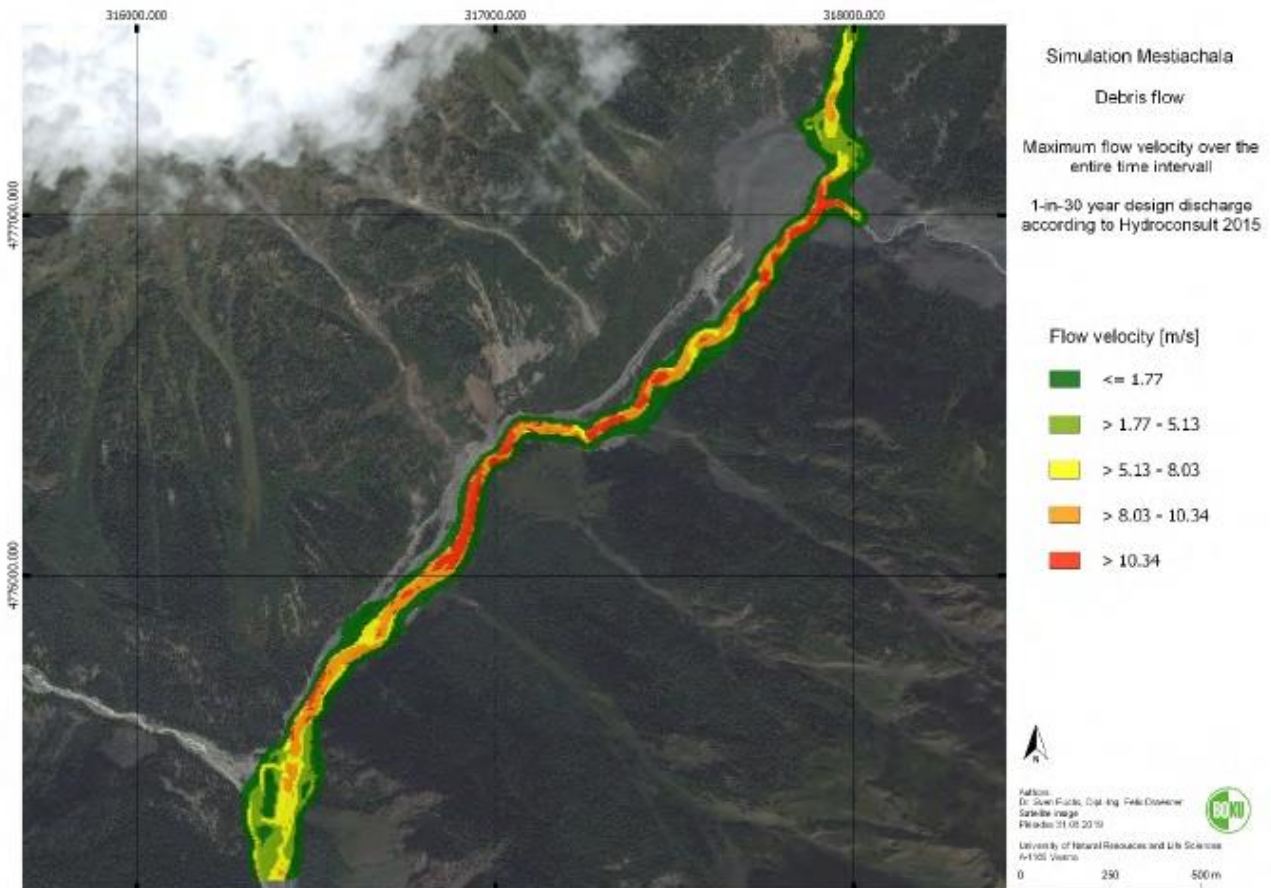


სურ 7-6: მოდელირება მესტიაჭალას ხეობა. ნაკადის სიმაღლე.

7.4.3.3. ნაკადის სიჩქარე

სურათზე 7-7 ასახულია ნაკადის მაქსიმალური სიჩქარე ღვარცოფული ნაკადის მოდელირების მთლიანი დროის ინტერვალში. მაჩვენებლები 15 მ/წ (16 მ/წ) მიიღწევა მაღალი ხარჯით, მურყვამის ხეობიდან შესართავის ქვემოთ. ნაკადის მაღალი სიჩქარეები

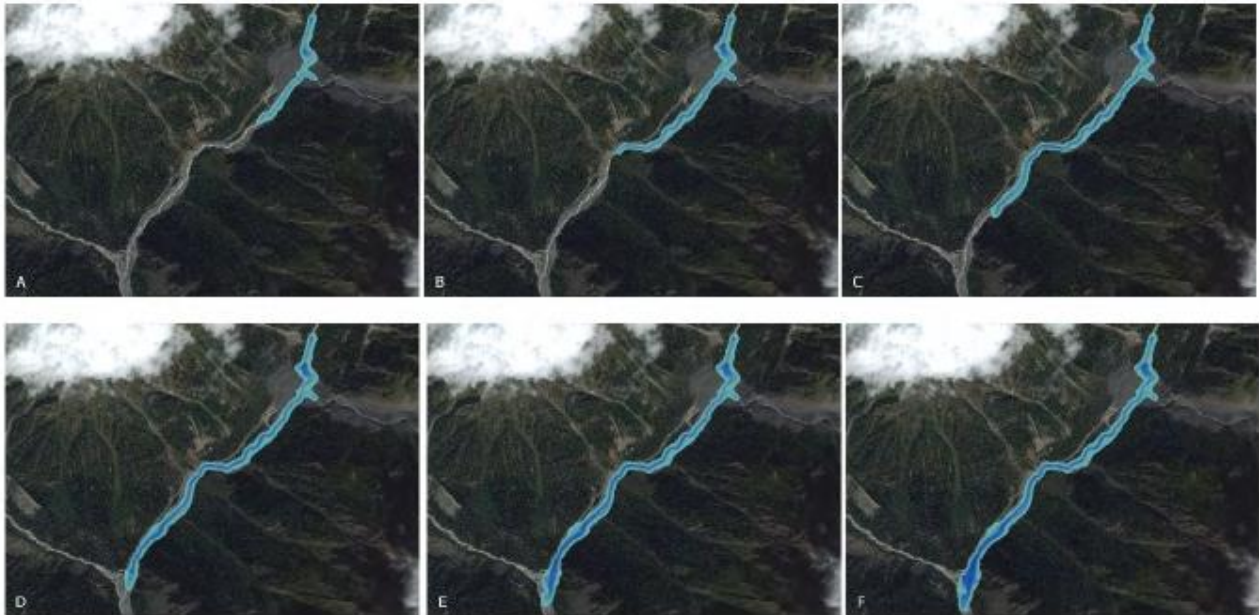
იწვევს სედიმენტების წატაცების ზრდას მურყვამის ხეობის შესართავის ხარჯს (E317,896, N4,777,026) და ოროგრაფიული მარჯვენა მონაკვეთს შორის E317,249, N4,776,370-ზე. აღნიშნულ პოზიციებს და გაშიშვლებულ სადაწნეო მილსადენს შორის (E317,048, N4,776,420) ნაკადის სიჩქარეები იცვლება 8.4 და 11.0 მ/წ შორის (მაჩვენებლები, როგორც 1-100 წელიწადში საანგარიშო ხარჯი), კვლავ იზრდება ამ ლოკაციის შემდეგ. აღსანიშნავია, რომ ნაკადის სიჩქარე მცირდება კაშხლის შემდეგ, ბრტყელი და ფართო ტოპოგრაფიის გამო განივ-კვეთის გვერდითი გავრცელების გამო.



სურ 7-7: მესტიაჭალას ხეობა; ნაკადის სიჩქარე

7.4.3.4. დროის ინტერვალი

სურათზე. 7-8 ასახულია ღვარცოფული ნაკადის განვითარება დროის განმავლობაში. თითოეული რიგი ასახავს თანმიმდევრულ სიტუაციას თანმიმდევრული დროის ინტერვალებით - 100 წამის ინტერვალით. სხვადასხვა რიგიდან შეიძლება იმის ნახვა, რომ ნაკადი არის ძალიან სწრაფი დასაწყისში და თანდათანობით კარგავს სიჩქარეს. ღვარცოფული ნაკადი აღწევს ელექტროსადგურს 380 წამის (6 წუთი და 20 წამი) შემდეგ. დატბორვა ქვიშასაჭერში პროგნოზირებულია 480 წამის შემდეგ .



სურ. 7-8: მესტიაჭალას ხეობა; ღვარცოფული ნაკადის განვითარება დროთა განმავლობაში; A=სიტუაცია 100 წამის შემდეგ; B=სიტუაცია 200 წამის შემდეგ; C=სიტუაცია 300 წამის შემდეგ; D=სიტუაცია 400 წამის შემდეგ; E=სიტუაცია 500 წამის შემდეგ; F=სიტუაცია 600 წამის შემდეგ.

7.5. დასკვნები

ცხრილში. 7-3 და ცხრილში. 7-4 შეჯამებულია მოდელირებული მაჩვენებლები კონკრეტულ ლოკაციებზე. აღნიშნული მაჩვენებლები იძლევა მოდელირებული მოვლენების განმავლობაში მომხდარი ზემოქმედებების მითითებას. წყალმიმღები 1-ის შესაძლო ახალი ლოკაციისთვის, ორივე მოდელირებიდან ზემოქმედებები წარმოდგენილია ქვემოთ.

ცხრ. 7-3: მაქსიმალური მოდელირებული მაჩვენებლები; მურყვამის შენაკადის მოდელირება

	ნაკადის სიმაღლე	ნაკადის წნევა	ნაკადის სიჩქარე
ყოფილი წყალმიმღები 1	18.0-20.0 m-მდე	აღემატება 700	აღემატება 13 მ/წმ
ახალი წყალმიმღები 1	4.0 m-მდე	60 kN/m ² -მდე	6 მ/წმ.-მდე

ცხრ. 7-4: მაქსიმალური მოდელირებული მაჩვენებლები, მესტიაჭალას ხეობის მოდელირება

	ნაკადის სიმაღლე	ნაკადის წნევა	ნაკადის სიჩქარე
ახალი წყალმიმღები 1	3.0 – 3.5 m ფარგლებში	60 – 70 kN/m ² ფარგლებში	8 – 10 m/s ფარგლებში
გამიშვლებული სადაწნო მილსადენი	2.0 – 3.5 m ფარგლებში	110 – 125 kN/m ² ფარგლებში	11 – 13 m/s ფარგლებში
გალერეა	2.2 – 3.1 m	110 – 135 kN/m ² ფარგლებში	11 – 13 m/s ფარგლებში
კიდული ხიდი	5.2 – 6.6 m თაროებში	120 – 250 kN/m ² ფარგლებში	9 – 11 m/s ფარგლებში
ჰესი	4.0 – 7.0 m	100 – 140 kN/m ² ფარგლებში	8 – 10 m/s ფარგლებში

დადასტურებულია, რომ პროგრამული უზრუნველყოფით r.avaflow შესაძლებელია რთული მასების გადანაცვლების პროცესი საკვლევ ზონაში და შედეგები შეესაბამება სხვა ტექნიკურ მეთოდებს (მაგ. გეოდექტრო) და სატელიტური გამოსახულების ინტერპრეტაციას, ასევე მიწაზე დაფუძნებული საველე კვლევების შედეგებს. მოდელირების შედეგების საფუძველზე შეიძლება შეფასდეს თუ როგორ ვითარდება ღვარცოფული ნაკადი და ნაკადის სიმაღლეების, ნაკადის სიჩქარეების და ნაკადის წნევის რა მაჩვენებლები არის მოსალოდნელი. მოდელირებული შედეგები წარმოადგენს საორიენტაციო მაჩვენებლებს შესაძლო შედარებითი მოვლენისთვის. თუმცა, ვინაიდან აღნიშნული შედეგები არის მოდელირებული შედეგები, ისინი ხშირ შემთხვევაში ასახავს რეალობას კონკრეტულ წერტილზე, რაც ნიშნავს, რომ ნებისმიერი სახის შერბილების დაგეგმვა და განხორციელება და დამატებითი სიღრმისეული კვლევები არის საჭირო. ზოგადად, ნებისმიერი სახის მოდელის გამოყენებით ნებისმიერი სახის საფრთხის პროგნოზირებისთვის, ექვემდებარება მრავალის სახის გამარტივებებს და ამ სახით მხოლოდ მიახლოებითი შეფასებები შეიძლება გაკეთდეს, რომელიც შესაძლოა დაექვემდებაროს გაურკვევლობებს სიზუსტესთან და სისწორესთან დაკავშირებით.

8. ქანების ჩამოშლის მოდელირება და ქანის ფერდობის სტაბილურობის შეფასება

ამ თავში აღწერილია ქანების ჩამოშლის აქტიური ზონები, რომელიც პირდაპირ გავლენას ახდენს ჰესი 1-ის სტრუქტურებზე. აღნიშნული „1 ჯგუფის მოვლენები“ (მცირე ჩამოშლები ან საშუალო ზომის ქანის ჩამოშლის ყველაზე ქვედა დიაპაზონი) საკმაოდ ხშირად დგება და უნდა შერბილდეს რომელიმე საშუალებით (იხილეთ თავები 4.3. და 12.1.1.). გარდა ამისა ჩვენ დეტალურად განვიხილეთ ფერდობის უფრო ფართო არასტაბილურობა, რომელმაც შესაძლოა გამოიწვიოს საშუალო ან დიდი მოცულობით ქანების ჩამოშლა ან გავლენა მოახდინოს, როგორც „2 ჯგუფის მოვლენები“, ე.ი. ძალიან დიდი მოცულობით ქანების ჩამოშლა, როგორც ერთიანი მოვლენა ან კასკადური მოვლენის ნაწილი.

8.1. ქანების ჩამოშლის მოდელირება

ზოგადად ქანის გაშიშვლებების დიდი ნაწილი წყალსაკრებში მიდრეკილია ქანების და ლოდების ჩამოშლაზე. თითქმის მთლიანი ფერდობები პოტენციური ჩამოშლის ზონებია. თუმცა დადგომის ალბათობა და მოცულობები განსხვავებულია. ორი მაღალ-აქტიური ჩამოშლის ზონა განისაზღვრა M-D4 და M-D6 ზე, რომელიც სივრცულად ფარავს ჰესის სტრუქტურებს *(თავი 4.3.). სავსე კვლევის გარდა, აღნიშნული გამოკვლევული იქნა პროგრამული უზრუნველყოფის მოდელირებებით პოტენციური პროცესის ინტენსიურობის და ჩამოშლის ზონების შემოწმების, ასევე შესაძლო შერბილების ალტერნატივების შეფასების მიზნით, რომლებიც ეკონომიკური თვალსაზრისით განხორციელებადია. მიუხედავად ამისა, ასევე სხვა ჩამოშლის და დალექვის ზონებმა შესაძლოა საფრთხე შეუქმნას ჰესის ობიექტებს, როგორცაა M-D8, თუმცა ისინი არ იყო მოდელირებული, რადგან შეფასდა ნაკლებ აქტიურად, ნაწილობრივ უფრო ტყის ეფექტური დაცვის გამო (იხილეთ თავი 4.3.1.). ნებისმიერ შემთხვევაში ჩვენი შედეგები ვერ შეცვლის საბოლოო ანგარიშს დაცვის ზომებთან დაკავშირებით მოცემულ მდგომარეობაში.

8.1.1. ქანების ჩამოშლის მოდელირების მეთოდი GeoRock 2D

8.1.1.1. საერთო ინფორმაცია

ლოდების ვარდნის ტრაექტორია კლდოვანი ფერდობების გასწვრივ დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, რომელიც რიცხობრივად უნდა იქნას გამოხატული მოდელში. ლოდების ტრაექტორიები დამოკიდებულია ფერდობის გეომეტრიაზე, ლოდის ფორმაზე და მის საწყის სიჩქარეზე, როდესაც მოწყდება ფერდობს და ასევე ენერჯის დაკარგვაზე ფერდობზე ზემოქმედებების დროს მოძრავი ნაწილაკების პარაბოლური ტრაექტორიის

გამო. მოძრავი ლოდები შესაძლოა დაცურდეს, დაგორდეს ან გადმოვარდეს, რაც დამოკიდებულია მათ ფორმაზე (ბრტყელი ან მრგვალი) და ფერდობის დახრილობაზე.

ზემოქმედებების გამო გაფანტული ენერგია ზოგადად განსხვავებულია, იცვლება მოძრაობის მახასიათებლებით და დამოკიდებულია ლოდის მექანიკურ მახასიათებლებზე და მასალებზე, რომლებიც წარმოდგენილია ტრაექტორიის გასწვრივ (კლდე, ნიადაგი, მცენარეულობა) და გავლენას ახდენს ლოდების მოძრაობაზე. ფერდობის გეომეტრია, გარდა ამისა და აქედან გამომდინარე გაშიშვლებული მასალების ბუნება დროებით ცვალებადია. ეს იწვევს ფერდობის ვერტიკალური და ჰორიზონტალური პროფილის ცვლილებას მცენარეული ჯაჭვის და ნაკლებ-ციცაბო ზონებში ჩამონაშალის აკუმულირების, გამოფიტვის შედეგად.

გადაადგილების ტრაექტორიების ანალიზისთვის, ჩვენ უნდა მივუთითოთ გამარტივებული მოდელები, რომელთა მიზანია ფერდობის ბუნებრივი მდგომარეობის ასახვა შეძლებისდაგვარად ზუსტად. შედეგად, ნებისმიერი დაცვის ზომის გეოტექნიკური პროექტი ეფუძნება რაოდენობრივ ექსპერიმენტებს, რომელიც იძლევა მოვლენის სხვადასხვა ასპექტების ძიების და მთავარი ფაქტორების შეცნობის შესაძლებლობას, რომელიც გავლენას ახდენს ვარდნის ტრაექტორიაზე კონკრეტულ სიტუაციაში.

აღნიშნულმა საკითხებმა შესაძლოა გამოიწვიოს კონკრეტული მოდელირების გაურკვევლობები, აქედან გამომდინარე მოდელირების შედეგები უნდა დამოწმდეს საველე დაკვირვების გზით.

8.1.1.2. GeoRock 2D

ორ-განზომილებიანი ქანების ჩამოშლის მოდელირებები განხორციელდა GeoRock პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით, რომელიც ეფუძნება კონცენტრირებულ მასას ან C.R.S.P. მოდელებს (GEOSTRU INDEX 2014). ლოდების გეომეტრიის გათვალისწინებით (სფერო, ცილინდრი ან დისკი) მოდელირება მუშავდება CRSP მოდელის გამოყენებით (Colorado Rockfall Simulation Program) რომელიც შეიმუშავა by ფაიფერმა და ბოუვენმა (1989 წ). მოდელის საიმედოობა შემოწმდა რაოდენობრივი შედეგების და ადგილზე გამოცდებიდან მიღებული შედეგების შედარებით (GEOSTRU INDEX 2014).

8.1.2. საწყისი მონაცემები

ქანების ჩამოშლის მოდელირებისთვის რამდენიმე საწყისი მონაცემი არის საჭირო. ფერდობის ძირითადი გეომეტრია შეფასდა ორი ციფრული მოდელის (DEM) კომბინაციით სხვადასხვა სივრცული გარჩევადობით. მდინარის კალაპოტის არსებულ DEM მოდელის გარჩევადობა შეადგენს 0.5მ-ს და ხეობის გვერდების DEM მოდელის გარჩევადობა შეადგენს 12 მ-ს. ვინაიდან 12 m გარჩევადობა იწვევს გაურკვეველობებს მოდელირებაში, სიფრთხილით უნდა იქნას განმარტებული მოდელირების შედეგები. ორივე DEM მოდელის გაერთიანების შემდეგ შეირჩა კვეთები ჩვენი საველე ინტერპრეტაციის შესაბამისად და გამოყენებული იქნა 2D-ქანების ჩამოშლის მოდელირებისთვის. მოდელირება განხორციელდა 30 თანმიმდევრული განმეორებებით. კომპიუტერით მოდელირებაში, გათვალისწინებული იქნა ჩამოშლის ზონა, აქტიური ბლოკის გეომეტრია, მასალის თვისებები სატრანზიტო ზონაში და დალექვის ზონაში, ასევე საპროექტო ბლოკების ზომა. როგორც 4.3. თავშია აღწერილი დამახასიათებელი საპროექტო ბლოკი ქანების ჩამოშლის მოვლენასთან დაკავშირებით განისაზღვრა 5.4 m³ და M-D6-ზე - 8.5 m³. რიცხობრივად აღნიშნული საპროექტო ბლოკის მოდელირება განხორციელდა ცილინდრული ფორმით, რომლის სიმკვრივე შეადგენს 2,650 kg/m³, იწვევს 14,245 კგ მასას M- D4-თვის და 22,487 კგ-ს M-D6-თვის, შესაბამისად (იხილეთ ცხრილი. 8-1). მასალის თვისებები განისაზღვრა მიახლოებითი პარამეტრებით, რომელიც მოპოვებულია ადგილზე საველე კვლევებში.

ცხრილი. 8-1: ლოდის მახასიათებლები

	M-D4 t_1	M-D4 t_2	M-D6 t_2
ლოდის ფორმა	ცილინდრი	ცილინდრი	ცილინდრი
ლოდის მიახლოებითი მოცულობა	5.4 m ³	5.4 m ³	8.5 m ³
სიმკვრივე	2,650 kg/m ³	2,650 kg/m ³	2,650 kg/m ³
დიამეტრი	1.95 m	1.95 m	2.45 m
ცილინდრის სიმაღლე	1.80 m	1.80 m	1.80 m
მასა	14,245 kg	14,245 kg	22,487 kg
მოდელირების რაოდენობა	30	30	30

8.1.3. ქანების ჩამოშლის საშიში ზონა: M-D4

გალერეას ჩრდილოეთით 20 მ-დან 80 მ-მდე ტერიტორია ხასიათდება ქანების ჩამოშლის მაღალი აქტივობით მიმდებარე ფერდობებიდან. პოტენციური ქანების ჩამოშლის ტრაექტორიების ზუსტად განსაზღვრის მიზნით საშიში ზონა (M- D4) დაიყო რამდენიმე განივკვეთად. საველე კვლევებიდან ჩვენი მონაცემების შესაბამისად, შემდეგი ორი

განივკვეთი შეირჩა პოტენციურ ქანების ჩამოშლის ტრაექტორიებად (M-D4 t_1 და M-D4 t_2, იხილეთ სურათი. 8-1 და სურათი. 8-2). ტრაექტორია 1 წარმოიშობა ციცაბო კლდის კედლიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთ მიმართულებით. ერთიანი კლდის ლოდები 5.4 m³ მოცულობით შეფასდა რომ მოწყდებოდა მყარი ქანის ზედაპირიდან, რომელიც ასახულია წითელი შეფერილობის ნაშალის კონუსებით 8-1 სურათზე მარცხნივ. ნაშალის კონუსები სათანადოდ არის დახარისხებული, დაწყებული წვრილმარცვლოვანი მასალიდან მსხვილმარცვლოვანით დამთავრებული. კონუსის ქვედა ბოლო დაფარულია ბუჩქნარით. აღნიშნული მახასიათებლები შეტანილია ქანების ჩამოშლის მოდელირებაში ხორკლიანობის და მასალის თვისებების თვალსაზრისით. სურ. 8-1 მარჯვენა მხარეს გამოვლენილია მეორე ჩამონაშალის კონუსი, რომელიც წარმოიშობა ხეობის გვერდის ჩრდილოეთით და დალექილია მოცულობითი მონაცრისფრო ჩამონაშალის კონუსის სახით. ორივე ჩამონაშალის კონუსს შორის მეორე ტრაექტორია (M-D4 t_2) შეფასდა, რომ საფრთხეს უქმნიდან გზას. ორივე ტრაექტორია შეფასდა ცალკე კომპიუტერით მოდელირებისას.



სურ 8-1: M-D4 ტრაექტორიები 1 და 2; ხედი - NNW

სურ. 8-2: სატელიტური გამოსახულება M-D4 ტრაექტორიები

8.1.3.1. ქანების ჩამოშლის ტრაექტორია: M-D4 t_1

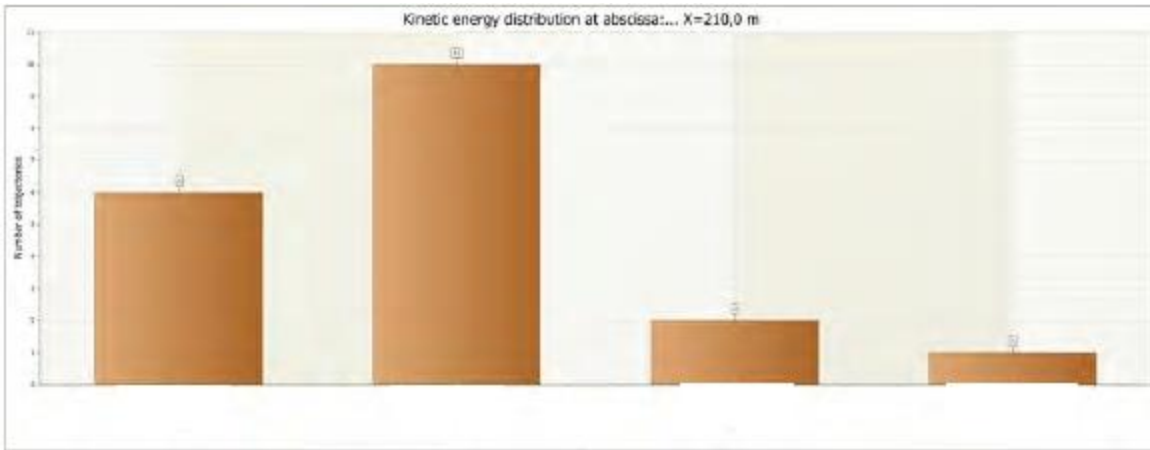
A: მოდელირება ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერის განთავსების გარეშე

ერთიანი ქანების ჩამოშლის მოვლენის მოდელირება M-D4 t_1-ზე გამოითვალა ლოდის მახასიათებლებით, რომლებიც შეჯამებულია ცხრილში 8-2. შედეგები ვიზუალურად წარმოდგენილია სურათზე. 8-4. მიუხედავად იმისა, რომ რამდენიმე ლოდი უკვე შეჩერებულია ჩამონაშალის კონუსის ზედა ნაწილზე, სხვა ლოდებმა მიაღწიეს გზამდე და შესაბამისად საფრთხეს უქმნის ინფრასტრუქტურას, სადაწნეო მილსადენს და მომუშავე პერსონალს. ცხრილში. 7-2 წარმოდგენილია საპროექტო ლოდის დამახასიათებელი მაჩვენებლები ((HpMax) მაქსიმალური სიმაღლე, (Vmax) მაქსიმალური სიჩქარე, (Emax)

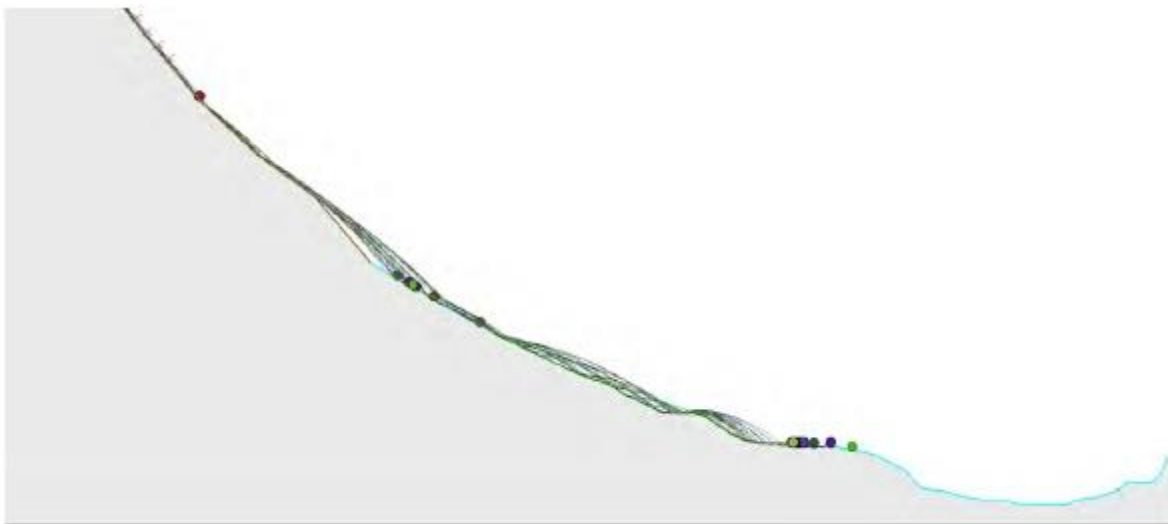
მაქსიმალური ენერგია) გზაზე ზემოქმედების დროს $x = 210$ m პოზიციაზე. დამატებით სურათზე. 8-3 წარმოდგენილია გზის პოზიციაზე ენერგიის განაწილების ჰიქტოგრამა.

ცხრილი. 8-2: მოდელირების შედეგი ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერის განთავსების გარეშე გზის პოზიციაზე ($x=210$ m).

X_b [m]	Y_b [m]	H_{pMax} [m]	V_{max} [m/s]	E_{max} [KJ]
210	21.05	0.5	9	1,050



სურ. 8-3: კინეტიკური ენერგიის განაწილება გზაზე ($x = 210$ m)



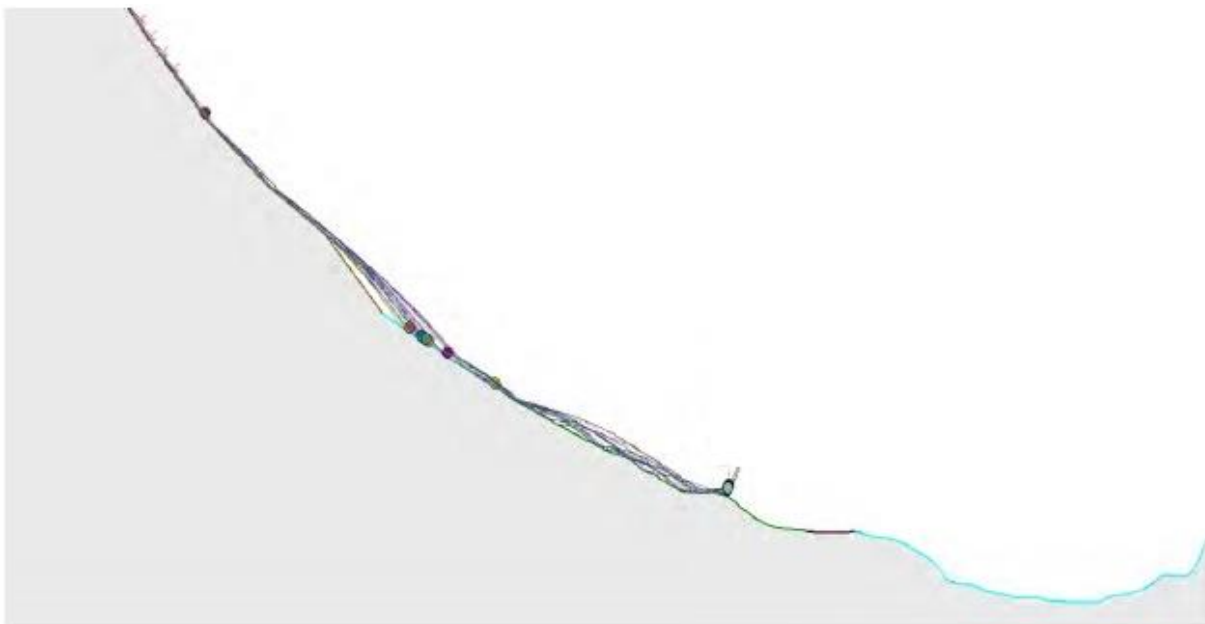
სურ 8-4: M-D4 t_1 მოდელირების შედეგის ვიზუალიზაცია ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერის განთავსების გარეშე

B: მოდელირება ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერის განთავსებით $x = 194$ m პოზიციაზე

დამცავი სტრუქტურის იდეალური ადგილის განსაზღვრას კრიტიკული მნიშვნელობა აქვს და დამოკიდებულია სხვადასხვა ფაქტორებზე, როგორცაა (საპროექტო) ლოდის ნახტომის სიმაღლე და მისი დანარჩენი ენერგია გათვალისწინებულ პოზიციაზე. ამ სახით, ჩვენი მკაცრი რეკომენდაციაა დამცავი საშუალების განთავსება ზედა გზის მონაკვეთის უახლოეს კიდეზე ($x = 194$ m). მოდელირებამ აჩვენა, რომ ყველა საპროექტო ლოდის შეჩერება შესაძლებელია ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერით მინიმუმ შემდეგი მოცემულობით: 2,000 kJ at $x = 194$ m (იხილეთ სურათი. 8-5). ცხრილში 8-3 წარმოდგენილია საპროექტო ლოდის დამახასიათებელი მაჩვენებლები ((HpMax) მაქსიმალური სიმაღლე, (Vmax) მაქსიმალური სიჩქარე, (Emax) მაქსიმალური ენერგია) ბარიერზე ზემოქმედების დროს.

ცხრილი. 8-3: მოდელირების შედეგი ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერით გზის პოზიციაზე ($x=194$ m).

X_b [m]	Y_b [m]	HpMax [m]	V_{max} [m/s]	E_{max} [KJ]
194,318	28.988	1.404	12.153	1,629.819



სურ. 8-5: M-D4 t_1 მოდელირების შედეგის ვიზუალიზაცია ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერით გზის წინა ნაწილში.

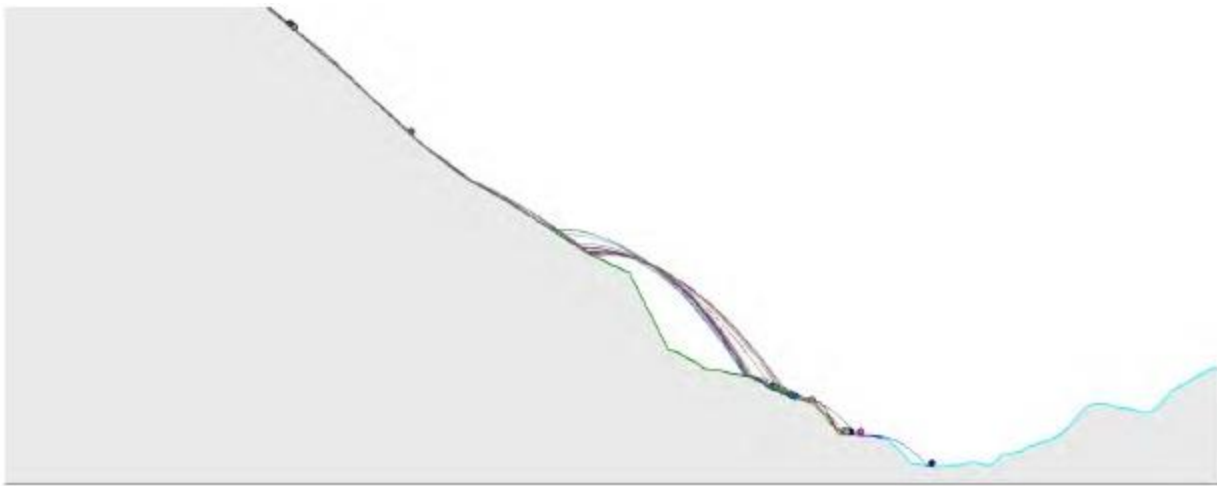
8.1.3.2. ქანების ჩამოშლის ტრაექტორია: M-D4 t_2-

A: მოდელირება ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერის განთავსების გარეშე

მეორე ქანების ჩამოშლის მოვლენა M-D4 (M-D4 t₂)-ზე გამოითვალა ლოდის მახასიათებლებით, რომლებიც შეჯამებულია 8-4 ცხრილში და შედეგები ვიზუალურად წარმოდგენილია სურათზე. 8-6. მიუხედავად იმისა, რომ რამდენიმე საპროექტო ლოდმა არ მიაღწია გამოკვლეული გზის მონაკვეთს, სხვა ლოდებმა მიაღწიეს გზამდე და შესაბამისად საფრთხეს უქმნის ინფრასტრუქტურას, სადაწნეო მილსადენს და მომუშავე პერსონალს. ცხრილში. 8-4 წარმოდგენილია საპროექტო ლოდის დამახასიათებელი მაჩვენებლები ((HpMax) მაქსიმალური სიმაღლე, (Vmax) მაქსიმალური სიჩქარე, (E_{max}) მაქსიმალური ენერგია) გზაზე ზემოქმედების დროს $x = 2870$ m პოზიციაზე.

ცხრილი. 8-4: მოდელირების შედეგი ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერის განთავსების გარეშე გზის პოზიციაზე ($x=287m$).

X _b [m]	Y _b [m]	HpMax [m]	V _{max} [m/s]	E _{max} [KJ]
287	20	3.8	17	2,664



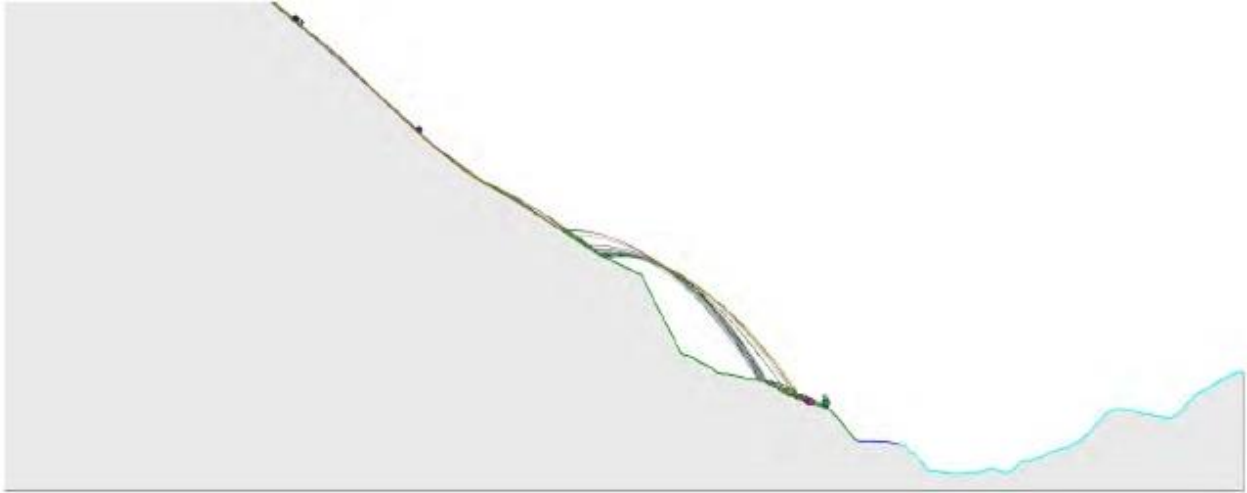
სურ 8-6: M-D4 t₂ მოდელირების შედეგის ვიზუალიზაცია ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერის განთავსების გარეშე

B: მოდელირება ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერის განთავსებით $x = 278$ m პოზიციაზე

მოდელირებამ აჩვენა, რომ ყველა საპროექტო ლოდის შეჩერება შესაძლებელია ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერით მინიმუმ შემდეგი მოცემულობით: 2,000 kJ, პოზიციაზე $x = 278$ m. შედეგები ვიზუალური სახით წარმოდგენილია სურათზე 8-7 და ცხრილში 8-5 წარმოდგენილია საპროექტო ლოდის დამახასიათებელი მაჩვენებლები ((HpMax) მაქსიმალური სიმაღლე, (Vmax) მაქსიმალური სიჩქარე, (E_{max}) მაქსიმალური ენერგია) ბარიერზე ზემოქმედების დროს.

ცხრილი. 8-5: მოდელირების შედეგი ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერით გზის პოზიციაზე ($x=278m$).

X_b [m]	Y_b [m]	H_{pMax} [m]	V_{max} [m/s]	E_{max} [KJ]
277.688	29.462	0.958	12.777	1,724.671



სურ. 8-7: M-D4 t_2 მოდელირების შედეგის ვიზუალიზაცია ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერის განთავსებით გზის წინა ნაწილში.

8.1.4. ქანების ჩამოშლის საშიში ზონები: M-D6

2019 წლის მოვლენის შედეგად დალექვის ჩრდილოეთით ადგილი აქვს ქანების მნიშვნელოვან ჩამოშლას, რაც საფრთხეს უქმნის დაგეგმილი ახალი წყალმიმღები 1-ის პოზიციას. საველე კვლევებიდან ჩვენი მონაცემების შესაბამისად, შემდეგი ორი განიკვეთი შეირჩა პოტენციურ ქანების ჩამოშლის ტრაექტორიებად (M-D6 t_1 და M-D6 t_2, იხილეთ სურათი. 8-8 და სურათი 8-9) და შესრულდა ქანების ჩამოშლის შესაბამისი მოდელირებები. ტრაექტორია 1 გადის ჭრილს, სადაც ასევე მდებარეობს M-df5 ნაკადი. მეორე ტრაექტორია (M-D6 t_2) შეფასდა, რომ მოწყდებოდა ციცაბო ქანის ზედაპირიდან M-D6 t_1 მარჯვნივ, რომელიც კვეთს ტრაექტორია 1-ს გამოსვლით დაბალ პლატოზე დაგეგმილი ახალი წყალმიმღების ახლოს. კომპიუტერით მოდელირება განხორციელდა მხოლოდ M-D6 t_2 დაკავშირებით, რადგან უფრო ახლოს არის დაგეგმილ ახალ წყალმიმღებთან 1. ლოდის მახასიათებლები მოდელირებისთვის შეჯამებულია ცხრილში 8-1.



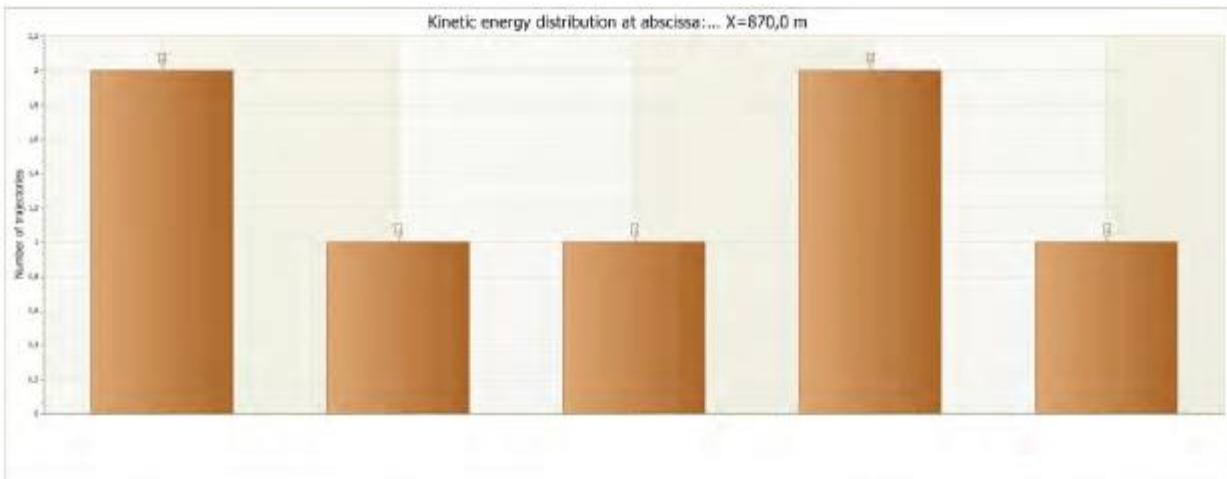
სურ. 8-8: M-D6 ტრაექტორიები 1 და 2. ხედი NW. ტრაექტორიები ს.



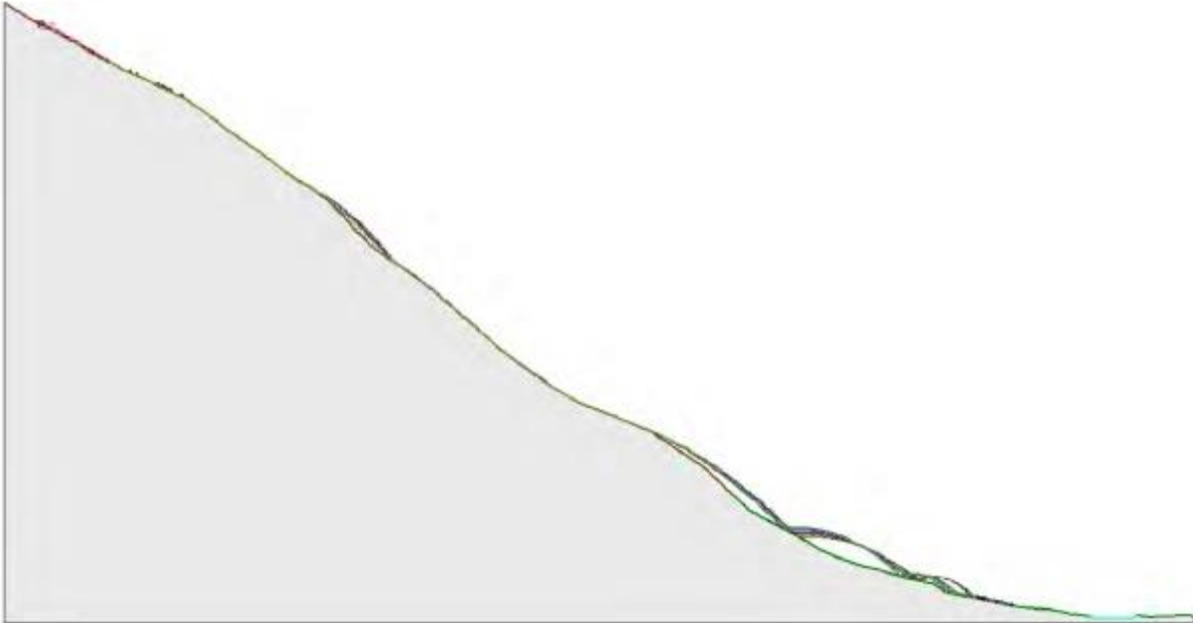
სურ. 8-9: სატელიტური გამოსახულება M-D6 1 და 2 ტრაექტორიები ს.

A: მოდელირება ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერის განთავსების გარეშე

რადგან დღემდე არ არის განსაზღვრული ახალი წყალმიმღები 1-ის სტრუქტურის ზუსტი ლოკაცია, $x = 870$ m პოზიცია იქნა შერჩეული დემონსტრირების მიზნებისთვის. ამ პოზიციასთან ახლოს მოდელირების შედეგებმა მიუთითა, რომ რამდენიმე ლოდი დაეცა მიწაზე და ასხლტა. შემდეგ, ენერჯის დონე ამ წერტილი წინ ძალიან მაღალია, რამდენიმე 1,000 kJ შეადგენს. ამის შემდეგ ენერჯის დიდი ნაწილი გაიფანტა და დანარჩენი ენერჯის ჰისტოგრამა ვიზუალიზებულია $x = 870$ m-ზე სურათზე 8-10. ქანების ჩამოშლის მოდელირებამ M-D6 t₂ (სურ 8-11) დაკავშირებით წარმოადგინა მტკიცებულება ქანების ზემოქმედებასთან დაკავშირებით $x = 870$ m პოზიციაზე, ენერჯის დონით - 2,450 kJ-მდე. საფრთხე გათვალისწინებული უნდა იყოს შესაბამისი პოზიციის დახურვისას ახალი წყალმიმღები 1-ის სტრუქტურისთვის.



სურ 8-10: კინეტიკური ენერჯის განაწილება ($x = 870$ m) პოზიციაზე



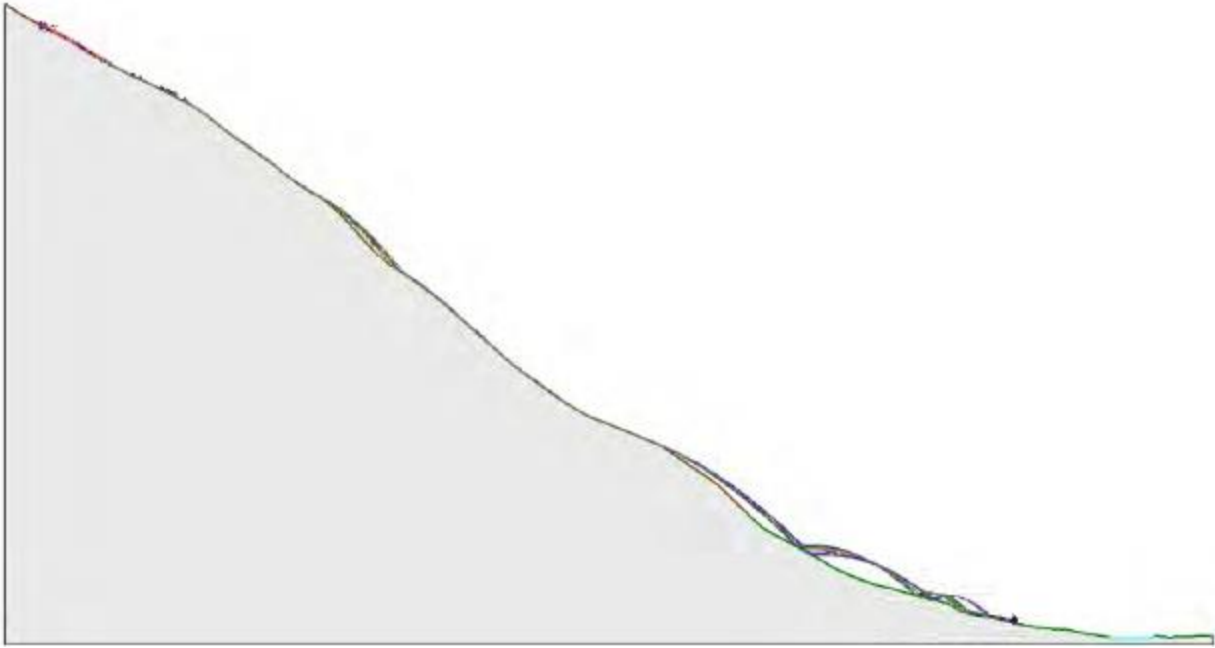
სურ 8-11: M-D6 t_2 მოდელირების შედეგები ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერის განთავსების გარეშე

B: მოდელირება ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერის განთავსებით M-D6 t_2 (x = 881 m) პოზიციაზე

მოდელირებამ დაადასტურა, რომ (სურათი 8-12) ყველა საპროექტო ლოდის შეჩერება შესაძლებელია ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერით მინიმუმ შემდეგი 2,000 kJ, პოზიციაზე x = 881 m. ცხრილში 8-6 წარმოდგენილია საპროექტო ლოდის დამახასიათებელი მაჩვენებლები ((HpMax) მაქსიმალური სიმაღლე, (Vmax) მაქსიმალური სიჩქარე, (Emax) მაქსიმალური ენერჯია) ბარიერზე ზემოქმედების დროს.

ცხრილი. 8-6: მოდელირების შედეგი ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერით გზის პოზიციაზე (x=881m).

X _b [m]	Y _b [m]	HpMax [m]	V _{max} [m/s]	E _{max} [KJ]
881.509	23.298	2.844	8.406	1,047.536



სურ 8-12: M-D6 t_2 მოდელირების შედეგის ვიზუალიზაცია ქანების ცვენისგან დამცავი ბარიერის განთავსებით.

8.1.5 დასკვნები ქანების ჩამოშლის მოდელირებების შესახებ

ცხრილში. 8-7 შეჯამებულია მოდელირებული ზემოქმედების მაჩვენებელი ორ ლოკაციაზე. ახალი წყალმიმღები 1-ის შესაძლო ადგილმდებარეობისთვის, წარმოდგენილია მხოლოდ მიახლოებით შეფასებული დიაპაზონი. გთხოვთ გაითვალისწინეთ, რომ დარტყმის/შეჯახების ენერჯის დონე მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია ზემოქმედების ადგილზე და შესაბამისად გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს შესაბამისი ადგილმდებარეობის შერჩევას.

ცხრილი. 8-7: მოდელირებული ქანების ჩამოშლის დარტყმის / შეჯახების ენერჯიები

	დარტყმის / შეჯახების ენერჯია ბარიერის განთავსების გარეშე	დარტყმის / შეჯახების ენერჯია ბარიერის ხელსაყრელ ლოკაციაზე
გამიშვლებული სადაწნეო მილსადენი	1,050 - 2,664 kJ	1,630 - 1,725 kJ
დაგეგმილი ახალი წყალმიმღები 1	2,450 kJ up to several 1,000 kJ	1,048 kJ

8.2. ქანის ფერდობის მდგრადობა

დანართი 2 ასახავს კლდის ფერდობების საერთო სტაბილურობის კლასიფიკაციას ჰესი 1-ში 1 : 25,000 მასშტაბით, სატელიტური და დრონის გამოსახულებების, ასევე საველე კვლევების საფუძველზე. არამდგრადი კლდის ფერდობები საერთო დამახასიათებელი თვისებაა მთიან გარემოში, რომელიც დიდი ალბათობით იზრდება კლიმატის ცვლილებების ეფექტების შედეგად.

შენიშვნა: შეუძლებელია ყველა პოტენციური კლდის ფერდობის რღვევის გამოვლენა ასეთ დიდ წყალსაკრებში ან მთლიანი ტერიტორიის დეტალური გეოტექნიკური შეფასება. ასეთი პროგრამული უზრუნველყოფით მხარდაჭერილი მოდელირება მოითხოვს დამატებით რესურსებს (მაგ. ადგილის მოდელი და სხვა) და სცილდება კონტრაქტის ფარგლებს და კვლევის მიზნებს. თუმცა შესაძლებელია ზემოქმედების ანალიზი, გამოცდილების (ემპირიული მაჩვენებლები) და წინა მოვლენების ანალიზის საფუძველზე.

ძირითადად, ყველა კლდი ფერდობზე მცირე და საშუალო ქანის მასების გრავიტაციული გადანაცვლება არის წარმოდგენილი (მცირე 100s - მ3). თუმცა შეიძლება განისაზღვროს ორი ზონა, რომლებსაც მნიშვნელოვანი მაღალი მოცულობა აქვთ რისკის ქვეშ და/ან უშუალოდ ახდენს ზემოქმედებას ჰესი 1 ობიექტებზე.

გამოყოფის ზონები: T-R1 – T-R6 (ჩამოშლის ზონა 2019 წლის მოვლენისას s.l.)

გამოყოფის ზონები: M-R3b და M-R5b (არასტაბილური ქანის კომპლექსები და ფერდობი, მესტიაჭალას დასავლეთ გვერდი).

შეუძლებელია მთლიანად გამოირიცხოს შემდგომი პოტენციური უფრო ფართო არასტაბილურობები, რომელიც გათვალისწინებული უნდა იქნას ტერიტორიის სკოპინგში და მომავალ სკოპინგში.

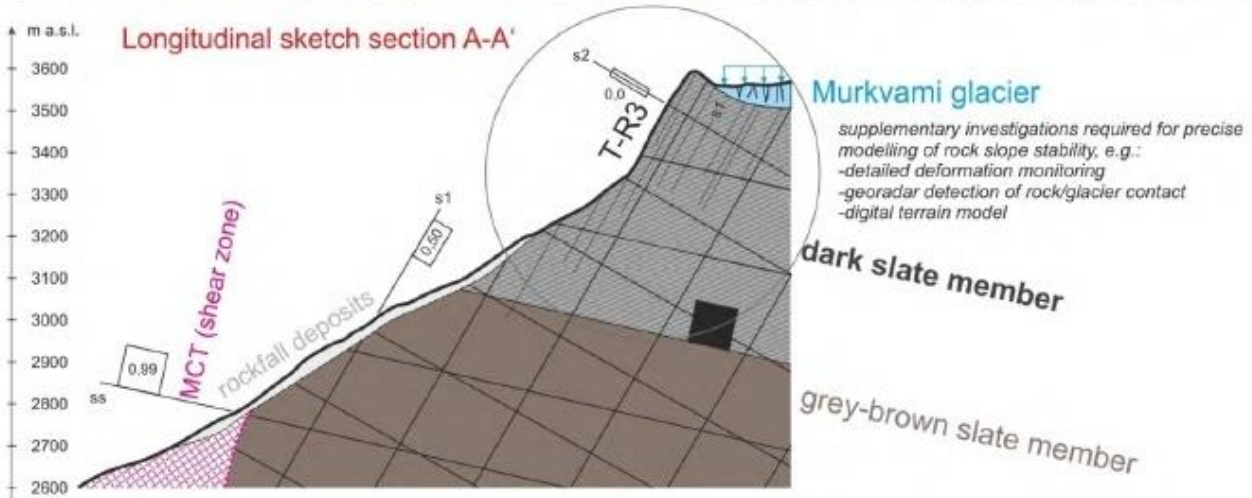
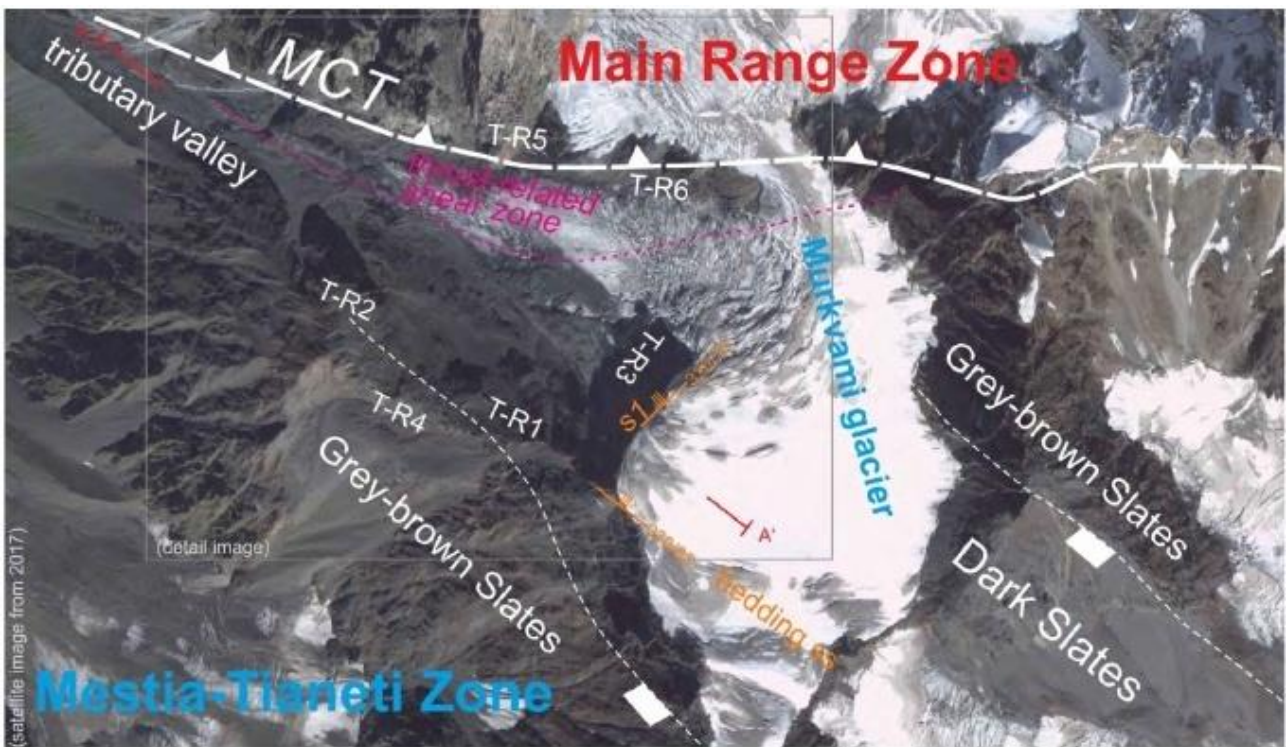
8.2.1. მოწყვეტის ზონა 2019 (T-R1 - T-R6)

8.2.1.1. საინჟინრო გეოლოგია

2019 მოვლენის s.l. ჩამოშლის ზონა მოიცავს რამდენიმე ზონას, რომელიც ტენდენციურია გამოყოფისკენ (T-R1 to T-R6), და მისი დეტალურად ნახვა შესაძლებელია ქვემოთ გამოსახულებაზე (მაგ. სურათი 8-15, ასევე იხილეთ თავი 3.2). გეოლოგია მნიშვნელოვნად არახელსაყრელია. მესტია-თიანეთის ზონის ქვედა იურიული ქანების მთლიანი რიგი, რომელიც შედგება სხვადასხვა ფიქლის კომპონენტებისგან, ღრმავდება ჩრდილო-აღმოსავლეთით და ირიბად იკვეთება ციცაბო MCT ბზარის ზონით. კრიტიკული კლდის ზედაპირები (განს. T-R3 და T-R1) მდებარეობს რამდენიმე 100 მ

სისქის შედარებით სუსტი მუქი ფიქლის კომპონენტში, რომელიც ხასიათდება წვრილმარცვლოვანი აშრეებით და ინტენსიური დანაწევრებით. 2019 წლის მოვლენის მასალის უმრავლესობა წარმოქმნილია აღნიშნული მუქი ფიქლის კომპონენტებიდან. გარდა ამისა დანაწევრება მეტად არის გამოხატული და წარმოადგენს მთავარ მოწყვეტის ადგილს (ს 1).

დაკიდული მურყვამის მყინვარის ენა ფარავს MCT-ს კვეთის ზონას, იურული ფიქლები და კრისტალური ქანები (ძირითადად გნეისები) ქმნის ფხვიერი ქანის მასების ნარევს, შემცირებული ძალით. აქ განთავსებულია მოწყვეტის ზონები T-R5 და T-R6.



სურ 8-13: გეოლოგიის მიმოხილვა მურყვამის ზონაში (სატელიტური გამოსახულება 2017 წლიდან მოპოვებული: <https://pereval.online/object/2812#image-12>). გრძივი კვეთი ქანების ჩამოშლის ტრაექტორიის გასწვრივ. ~

8.2.1.2. მოწყვეტის ზონის აქტივობა

მთლიანი გამოყოფის ზონა ხასიათდება მაღალი აქტივობით (მცირედან დიდი მოცულობით ქანების ჩამოშლა და აქტიური ბზარები/ნაპრალეები; იხილეთ ჩამონაშალის შლეიფები თოვლიან ველებზე სურათზე 8-14) როგორც დასკვნა გაკეთდა ჩვენი წინა კვლევებიდან (იხილეთ ანგარიში_02). ეს ნიშნავს, რომ მოწყვეტის ზონა აშკარად არ მისულა ნახევრად სტაბილურ მდგომარეობამდე 2019 წლის ივლისის შემდეგ, არამედ მოსალოდნელი უნდა იყოს მომავალი მოვლენები. მკაცრად რეკომენდებულია მონიტორინგი (იხილეთ თავი 11).



სურ. 8-14: აქტივობის ინდიკატორები. მარცხნივ: მოწყვეტის ზონის მიმოხილვა ვერტმფრენიდან 2019 წლის აგვისტოში. მარჯვნივ: 2019 წლის ოქტომბერში Google earth გამოსახულება: კლდის კოშკის ჩამოქცევა 10/2019; 1: უახლოესი მომავლის მოვლენა; A და B: ბზარები აქტიური ჩამონაშალის გამოყოფით, C: ახალი ბზარების განვითარება (შემდგომი განმარტებებისთვის ასევე იხილეთ ანგარიში 02).

8.2.1.3. მოვლენის ანალიზი და საფრთხის მდგომარეობა

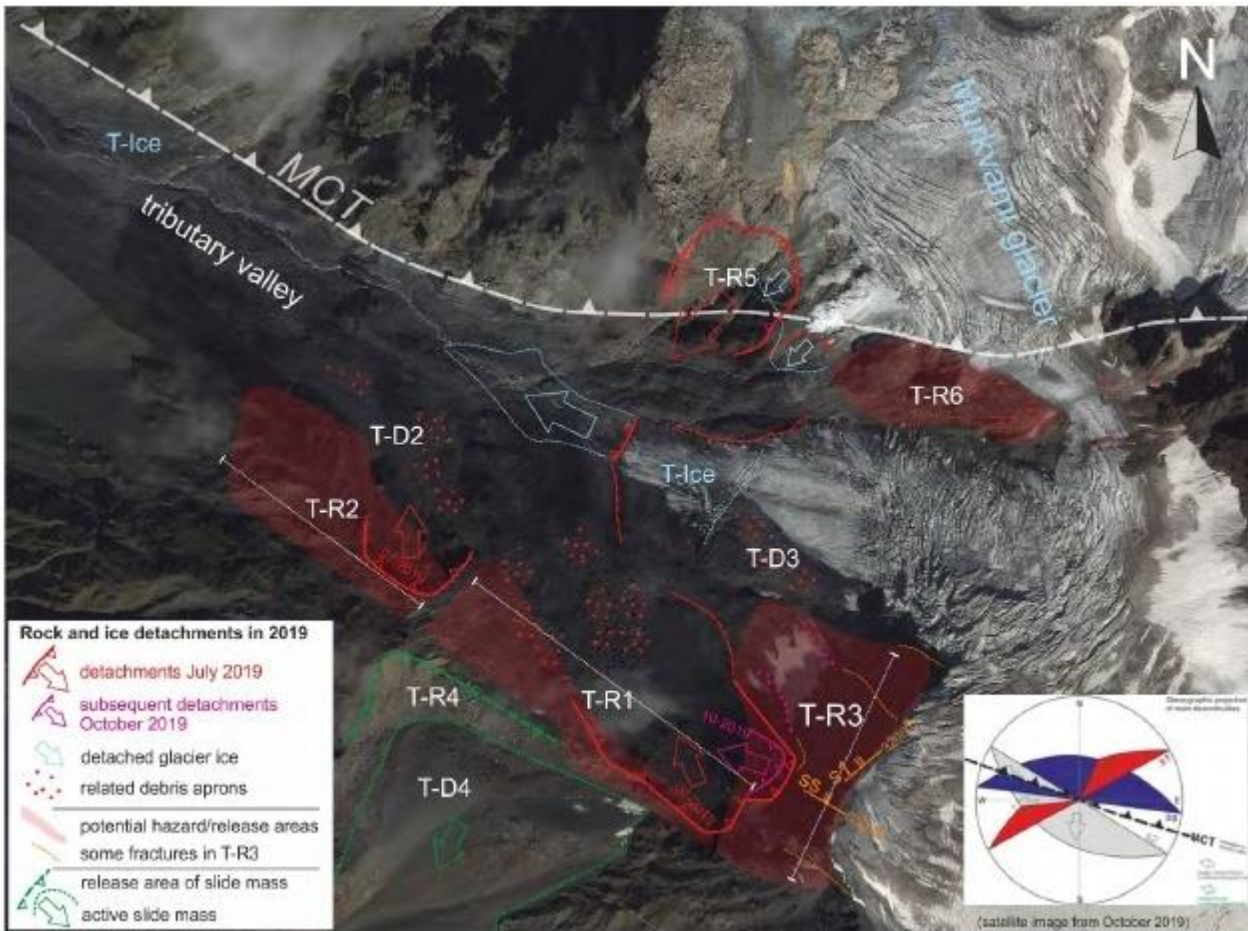
მოვლენის შემდგომი სატელიტური გამოსახულებები (ოქტომბერი, 2019 წ.) ასევე 2020 წლის აგვისტოს დრონის გამოსახულებები ასახავს ქანის მასების და მყინვარის ყინულის ჩამოშლის ზონებს (2019 წლის ივლისი) დეტალურად. მნიშვნელოვანი მოწყვეტის ზონა განისაზღვრა T-R1 და მეორე ტალღაში T-R2 მიახლოებით გამოთვლილი მოცულობებით 1,300,000 m³ და შესაბამისად 300,000 m³ (იხილეთ თავი 7). წითელი ველები ასახავს პოტენციურ მომავალ გამოყოფის ზონებს, რომელიც ჩვენ განვსაზღვრეთ T-R3 და T-R6 როგორც სავარაუდოდ ყველაზე საშიშ ზონებად.

პოტენციური მოწყვეტის ზონა T-R3/T-R1 მოიცავს ციცაბო და გლუვ ქანის ზედაპირს მყინვარის კიდის ქვემოთ, რომელიც გავს ერთ-ერთ ცნობილ რეგიონულ განშრეკებებს ქვედა იურულ ფიქალის ფორმაციებში. აღნიშნული წყვეტა არის სუსტი კვეთა (კვეთის

სიბრტყე) შემცირებული სიმტკიცით ძვრაზე. სხვა წყვეტებთან გადაკვეთის შესაბამისად (განს. თავდაპირველი დანალექი ქანების შრეულობა ss), შესაძლოა განვითარდეს სხვადასხვა ზომების ჩამოშლის პრიზმები.

გარდა ამისა, კედლის სამხრეთ ნაწილი უფრო მეტად ციცაბო გახდა ქანის მასების მოცილებით მოწყვეტის გამო T-R1 ზონაში. მთლიანი “კლდის ბურჯი” სამხრეთ-დასავლეთ ქვედა ნაწილში სცილდება და ირეცხება (იხილეთ პროცესები T-R1- და 2 და T-R4 ზონებში). დრონის გამოსახულებები მკაფიოდ მიუთითებდა დიდი ვერტიკალური ბზარების, ასევე სავარაუდო ძვრისგან ბზარების განვითარებას კედლის ძირში. აღნიშნული ბზარები შედარებით ახლად გამოიყურება და უნდა ვივარაუდოთ, რომ აქტიურია. შესაბამისად ქანის მასა მიდრეკილია გაძლიერებული გამოფიტვის ზემოქმედებისკენ (გაყინვა-გადნობის ციკლები, ნალექიანობა და გამდნარი წყლის შეჭრა მურყვამის მყინვარში) და ქანების ძვრისას სიმტკიცის შემცირებისკენ წყვეტების გასწვრივ.

პოტენციური მოწყვეტის ზონა T-R6 მდებარეობს MCT საბოლოო ძვრის ზონაში, რომელიც განხილული უნდა იქნას, როგორც ფხვიერი ქანის მასების მექანიკურად სუსტი ნარევი.

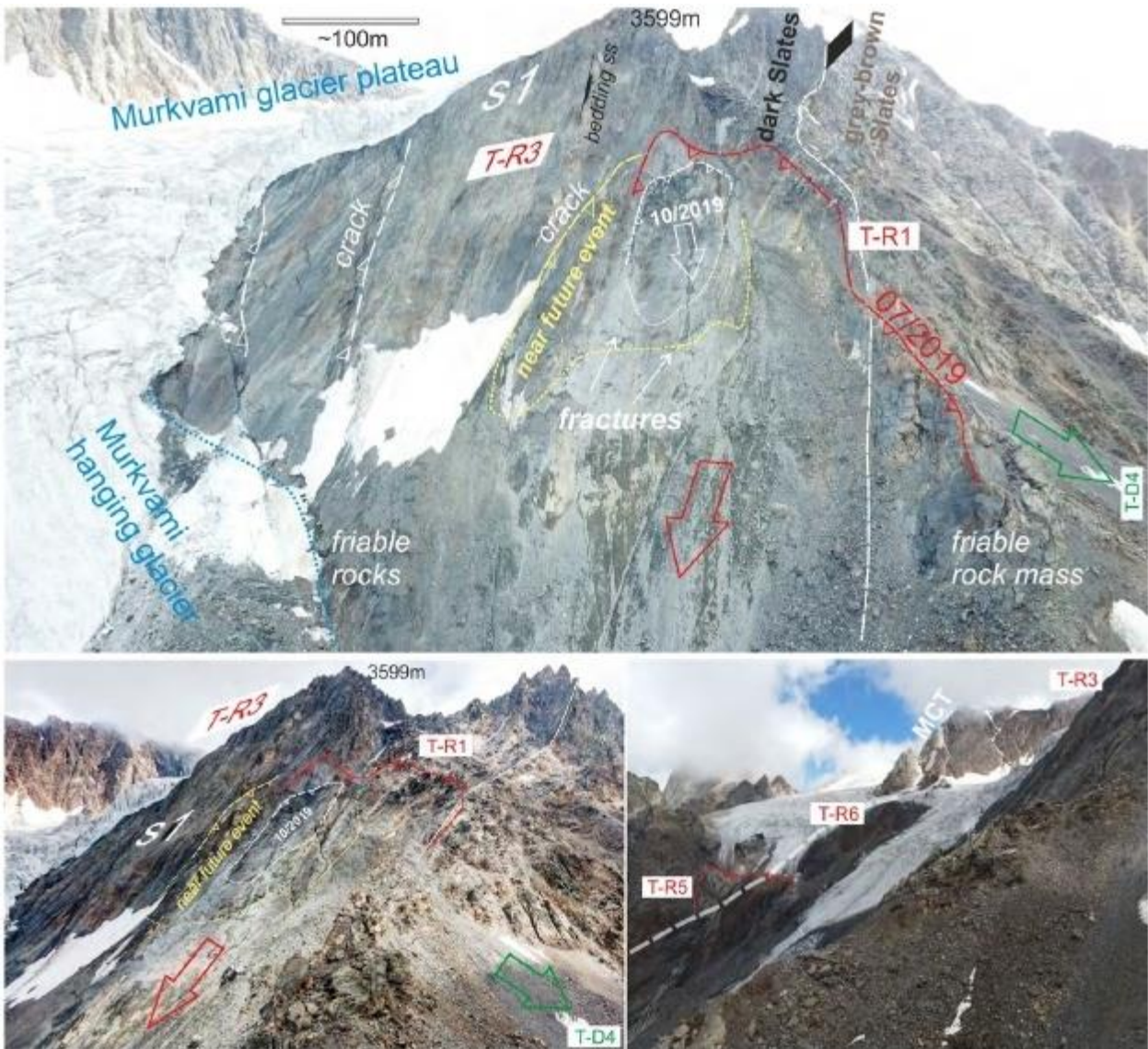


სურ. 8-15: 2019 მოვლენის მთლიანი მოწყვეტის ზონის მიმოხილვა (ანგარიშის_02 საფუძველზე).

T-R1 - T-R6 ზონებში ქანების ჩამოშლის განმეორების ალბათობა შედარებით მაღალია. შემდეგი ფაქტორების გათვალისწინებით, უნდა ვივარაუდოთ მომავალი კლდის ფერდობის ჩამოშლა მომდევნო 30 წლის განმავლობაში (EF 2: 1-30 years):

- ადგილი რღვევის და ბიძგების ზონაში ახელსაყრელ გეოლოგიურ პირობებში (სუსტი მუქი ფიქალის კომპონენტი);
- გადაყირავებული კედელი მჭიდრო განშრევებით და დატვირთული პლატოს მყინვარით;
- აბსოლუტური სიმაღლე მარადყინულოვანი ქანების უკანდახევის ფარგლებში (იხილეთ თავი 9.4.).
- ქანების ჩამოშლის აქტივობის მაღალი დონე და ჩამონაშალის აქტიური გამოყოფა ბზარებიდან;
- კლდის ბურჯის დაკარგვა მთის ძირში, რომელიც ყოფს ქანის მასას T-R1;
- დაკიდული ყინულის მოსალოდნელი ყინულის მოწყვეტა და ჩამოშლა.

მაქსიმალური მოცულობები (მოცულობა) შეიძლება შეფასდეს დაახლოებით 500,000 მ³-მდე T-R3 / T-R1 ზონიდან და 300,000 მ³ -მდე T-R6 ზონიდან. ეს არის მაიხლოებითი რიცხვი, რადგან არ არსებობს დეტალური მონაცემები (მაგ. DTM). მცირე ქანების ჩამოშლა რამდენიმე 100s -10,000s მ³ მასშტაბით შესაძლოა ნებისმიერ დროს მოხდეს, როგორც 2019 წლის ოქტომბერში. უახლოეს მომავალში მოვლენა, რომელიც მოსალოდნელია მომდევნო წლებში, მითითებულია სურათზე 8-16, მაიხლოებითი მოცულობა შეადგენს 50,000 მ³ (ძალიან დიდი მოცულობით ქანის ჩამოშლა).



სურ. 8-16: ზედა და ქვედა, მარცხნივ: T-R3 და T-R1 გამოყოფის ზონების მიმოხილვა გეომექანიკური პირობით და უახლესი მოწყვეტის გეომეტრია. ქვეშა მარჯვნივ: ზედი ჩრდილოეთით MCT ძვრის ზონაზე T-R5 და T-R6-ით გაითვალისწინეთ T-R3 დახრილობა.

8.2.1.4. მოსაზრება ზემოქმედების ანალიზზე

ძალიან დიდი ან მაღალი მასშტაბის ქანის ჩამოშლის ზემოქმედება გათვალისწინებული უნდა იყოს ეგრეთწოდებული მაღალი მასშტაბის რთული მოვლენების კონტექსტში (იხილეთ თავი 7). ქანების ჩამოშლა s.s. ზემოქმედებას მოახდენს შენაკადის / მურყვამის ხეობაზე და პირდაპირ გავლენას არ მოახდენს ჰესი 1 სტრუქტურებზე. თუმცა ქანების ჩამოშლის მოვლენა შესაძლოა იყოს ერთ-ერთი განმაპირობებელი ფაქტორი მასების გადანაცვლების კასკადისა, როგორც 2019 წლის ივლისში.

ძირითადად კლდის კედლის სტაბილურობის უფრო დეტალურად გამოკვლევა შესაძლებელია ქანების მექანიკური პროგრამული მოდელირებით, რომელიც უნდა

გამყარდეს მონიტორინგის მონაცემებით და ადგილის მაღალი გარჩევადობის მოდელით. თუმცა აღნიშნული მონაცემები დღემდე არ არის ხელმისაწვდომი. ამ კონტექსტში ჩვენ ასევე გვსურს ხაზი გავუსვათ მურყვამის მცინვარის ზემოქმედებას, მის დატვირთვას და მისი ქვედა ფენის მდგომარეობას ციცაბო კლდის ზედაპირის T-R3 საერთო სტაბილურობის საფუძველზე, რომლის გამოკვლევა შესაძლებელია გეორადარით.

8.2.2. ქანის კოშკები მესტიაჭალას დასავლეთ ფერდობზე (M-R3b and M-R5b)

8.2.2.1. საინჟინრო გეოლოგია და საფრთხის მდგომარეობა

დასავლეთ მესტიაჭალას ხეობის გასწვრივ ფხვიერი ქანის კოშკები აღინიშნება, რომელიც შესაძლოა გახდეს ფართო ან ძალიან ფართო მოცულობით ქანების ჩამოშლის წყარო, რომელიც აღწევს ხეობის ძირს და ჰესის სტრუქტურებს (გალერა, სადაწნეო მილსადენი).



სურ 8-17: არასტაბილური ქანის კოშკები დასავლეთ ფერდობზე გალერეას ზემოთ (M-R3b). გაზომილი ქანის მოცულობა მერყეობს 2,500m³ და 10,500 m³ შორის (ძირითადად კლასი: დიდი მოცულობით ქანების ჩამოშლა).

კლდის კოშკები M-R3b-თან მდებარეობს გალერეას ზემოთ და ასახავს მთის დაყოფის აშკარა ნიშნებს. დრონის გამოსახულებით დეტალური ცნობები იქნა მოპოვებული სტრუქტურული მდგომარეობის შესახებ (სურ. 8-17). მეტნაკლებად ვერტიკალური ან ციცაბოდ დახრილი განშრეველები (მეტწილად s1 და s2) წარმოადგენს მოწყვეტის ზონებს, რომლის გასწვრივ ქედი არის დაბზარული. ბზარები ნაწილობრივ ახალი ჩანს და მიუთითებს აქტიურ დეფორმაციაზე. გამოსახულებაზე ასევე შეიძლება შენიშნოთ ჩაღრმავება.

უნდა ვივარაუდოთ, რომ აღნიშნული კომპლექსის სოლისებრი ნაწილები ან მთლიანად კომპლექსი შესაძლოა მოწყდეს და ჩამოიშალოს, რაც გამოიწვევს ქანების ჩამოშლას დიდი მოცულობებით დაახლოებით 1,000s of m³ მდე. ჩვენ მიახლოებით შევაფასეთ სიხშირის კლასი 1-30 წლებით (EF 2). უფრო ზუსტი დაშვება შესაძლებელია მხოლოდ მონიტორინგის მონაცემების და დეტალური DTM წარდგენის საფუძველზე.

M-R3b ქანის მასები დიდი ალბათობით გადის ხრამზე, დალექვის ზონის მიმართულებით M-D3 გალერეასთან. დეტალები შეგიძლიათ იხილოთ გამოსახულებებში, სურათზე 4-2 - სურათზე. 4-5.

მეიფე ქანის ფერდობი მდებარეობს M-R5b როგორც ნაჩვენებია შემდეგ სურათზე (სურათი 8-18). დამატებითი დეტალები შეგიძლიათ იხილოთ სურათზე 4-8 და სურათზე 4-9. გეომექანიკური მდგომარეობა ხასიათდება ძლიერ დანაწევრებული/დაბზარული ქანებით, აშკარა განშრევებით /ზზარებით, რომელიც ღრმავდება აღმოსავლეთით, მესტიაჭალას ხეობის გვერდის პარალელურად. ეს არის ტიპური რღვევის ორიენტაცია რეგიონში.

უნდა ვივარაუდოთ, რომ ეს ზონა არის აქტიური გამოყოფის ზონა წლიური მცირე მოვლენებით, მაგრამ ასევე შესაძლოა ფართო ან ძალიან ფართო ქანების ჩამოშლის მოვლენით 1-30 წლის დიაპაზონში (EF 2). უფრო ზუსტი დაშვებები შესაძლებელია მხოლოდ მონიტორინგის მონაცემების და დეტალური DTM წარდგენის საფუძველზე.



სურ. 8-18: არასტაბილური კომპლექსი დასავლეთ ფერდობზე (M-R5b). გაზომილი ქანის მოცულობა მერყეობს 5,000m³ და 12,000 m³ შორის (ძირითადად კლასი: ფართო მოცულობით ქანის ჩამოშლა). გაითვალისწინეთ დახრილი ბზარი ფერდობის პარალელურად.

8.2.2.2. მოსაზრება ზემოქმედების ანალიზზე

პოტენციური მოვლენები დიდი ან ძალიან დიდი მოცულობის ქანების ჩამოშლის მასშტაბით, გარკვევით ახდენს ზემოქმედებას მესტიაჭალას ხეობის ძირზე და ჰესი 1-ის სტრუქტურებზე, რამდენადაც შესაძლებელია ვივარაუდოთ ტოპოგრაფიიდან და გამოცდილებიდან (ქანის მასების სტაბილურობა უფრო დეტალურად შეიძლება გამოკვლეული იქნას პროგრამული უზრუნველყოფის მოდელირებით ადგილის მაღალი გარჩევადობის მოდელის საფუძველზე. ეს არის დეტალური კვლევა და არა ამ კონტრაქტის ნაწილი, თუმცა კონტროლების შემუშავების საკითხი).

ქანების ჩამოშლა M-R3b-დან დიდი ალბათობით ზემოქმედებას მოახდენს გალერეას თავზე. იურული ფიქლების ქანის მასები დაშლის ბლოკურ მასებს, რომელიც გადავა გალერეაზე. უნდა ვივარაუდოთ მაქსიმუმ 10,000 მ³ მოცულობა. გალერეასთან დაკავშირებით რეკომენდებულია დამატებითი ზომების მიღება (იხილეთ თავი 11).

მცირე ქანების ჩამოშლა M-R5b-დან არ მიაღწევს გზამდე შედარებით ფართო ტყიანი დანალექი ზონის გამო (M-D5). თუმცა დიდი ან ძალიან დიდი მოცულობა (12,000 მ³-მდე), რომელიც მოიცავს ფიქლებს და კრისტალურ ლითოლოგიებს, დაანგრევს და გამოიწვევს ლოდების ცვენას 10 მ³ ან მეტი ბლოკებით. ჩამოცვენილი მასების ნაწილი მიაღწევს გზამდე და მესტიაჭალას მდინარემდე და არ იქნება დაჭერილი M-D5-ში.

9. მყინვარის კვლევა

მცინვარის კვლევა ეფუძნება 2020 წლის აგვისტოში საველე კვლევის დროს შეგროვებულ მონაცემებს, ასევე დიდი კავკასიონის მცინვარების ლიტერატურულ მიმოხილვას, კერძოდ მცინვარებს მდინარე მესტიაჭალას წყალსაკრებში.

დეტალური კვლევა ჩატარდა ჭალათის ხეობაში. სხვა მცინვარები შეფასდა დისტანციურად მნიშვნელოვანი სივრცითი ფარგლების და გაუვალი ადგილის გამო. შესაძლებლობის ფარგლებში განხორციელდა დრონის გადაღებები. გარდა ამისა სატელიტური გამოსახულებები გამოყენებული იქნა შეფასებისთვის (Pleiades სატელიტური გამოსახულება, 2014 წლის 6 სექტემბრით და 2019 წლის 31 აგვისტოთი დათარიღებული, SPOT6 მოვლენა, 2017 წლის 1 აგვისტო), ასევე GIS პროგრამული უზრუნველყოფა.

9.1. წინაისტორია

მცინვარების ქმნის ლანდშაფტს და წარმოადგენს მნიშვნელოვან მტკნარი წყლის რესურსებს, ასევე წყლით მომარაგებას მთის მდინარეებისთვის. გარდა ამისა, მცინვარები ასევე შესაძლოა იყოს პოტენციური წყარო ბუნებრივი საფრთხეებისთვის. მცინვარის უკანდახევის შედეგად არხის პროცესებისთვის ფსკერული ნარიყის სახით იმ დროისათვის არსებული მასალა თანდათანობით გამოიყოფა (მაგ. ღვარცოფული ნაკადი). მცინვარის უკანდახევა შეცვლის პირობებს დედამიწის ზედაპირზე და გამოიწვევს კრიოსფეროს და მათი საშიში ზონების ცვალებადობას და (ZEMP და HAEBERLI 2007: 116). მცინვარების მაქსიმალური გავრცელება დიდ კავკასიონში მცირე გამცინვარების პერიოდი 1810 წელს. მცირე გამცინვარების პერიოდი გაგრძელდა 1650 წლიდან 1850 წლამდე კავკასიის რეგიონში (ტიელიძე და სხვები 2015b: 75).

9.2. მესტიაჭალას მცინვარები

მცინვარის კვლევა აღწერს მცინვარების უკანდახევას და გამომდინარე შედეგებს ჰესი 1-თვის მდინარე მესტიაჭალას წყალსაკრებ ზონაში.

სამი დიდი მცინვარი დომინირებს მესტიაჭალას აუზში (ტიელიძე და სხვები 2015: 74 f.) და მოიცავს საერთო გლაციაარული ზონის 86.56%-ს წყალსაკრებ ზონაში (ტიელიძე, 2017: 39):

- ლეხზირის მცინვარი: ლეხზირის მცინვარი არის რთული ხეობის მცინვარი ორი მთავარი ნაკადით, რომელიც ერთდება E318,000, N4,782,00. ისინი მარაგდება გარშემო მთის წედის ფერდობებით. უმაღლესი სიმაღლის ნიშნულებს წარმოადგენს მწვერვალი ბაშილთაუ (4248 მ asl), მწვერვალი მესტიათაუ (4036 მ asl),

ულუყარა (4,302 მ asl). ლეხზირის მყინვარი არის ერთ-ერთი უდიდესი საქართველოში, ზედაპირის ფართობი დაახლოებით 23.3 km² შეადგენს.

- ჩრდილოეთ ლეხზირის მყინვარი: ჩრდილოეთ ლეხზირის მყინვარი არის წრიული მყინვარი. მყინვარი მარაგდება მთა ჯანთულანის (4,012 მ asl), მთა გუმაჩის (3,823 მ asl), მთა Chienghietau-Chana (4,019 მ asl) და მთა Latsgha (3,946 მ asl) ფერდობებით. ჩრდილოეთ ლეხზირის მყინვარის არსებული ზედაპირის ფარგლები შეადგენს დაახლოებით 6.3 კმ-ს.
- ჭალაათის მყინვარი: ჭალაათის მყინვარი არის რთული ხეობის მყინვარი, ორი მთავარი ნაკადით, რომელიც ერთდება E313,600, N4,777,700. ისინი მარაგდება მწვერვალის უშბის (4,700 მ asl), მწვერვალის ჩათინის (4,412 მ asl) და მწვერვალის ბჟედუხის (4,270 მ asl) ფერდობებით. მყინვარის არსებული ზედაპირის ფართობი დაახლოებით შეადგენს 8.6 km².

აღნიშნული სამი დიდი მყინვარის გარდა, ორი მყინვარი მესტიაჰალას ხეობის ოროგრაფიული მარცხენა გვერდზე უნდა ჩაითვალოს, რომ მდებარეობს შენაკადში:

- მურყვამის მყინვარი, რომლის არსებული ზედაპირის ფართობი დაახლოებით შეადგენს 1.5 km²
- ბანგურიანის მყინვარი რომლის არსებული ზედაპირის ფართობი დაახლოებით შეადგენს 0.3 km².

9.2.1. ჭალაათის მყინვარი

ჭალაათის მყინვარი ერთ-ერთი ყველაზე ცნობილი მყინვარია საქართველოში და ტურისტული ღირშესანიშნაობების მნიშვნელოვანი ადგილი მესტიის რეგიონში. მყინვარის ენა ადვილად მისაწვდომია რადგან ბოლო სადგური მდებარეობს შედარებით დაბალ სიმაღლეზე.

სურათი 9-1 ასახავს მყინვარის უკანდახევას 1887 წლიდან 2011 წლამდე. აშკარაა, რომ მყინვარმა შეავსო მთლიანი ხეობა და მიაღწია გვერდითი მორენების სიმაღლეს (ე.წ. „1850“ მორენები წინასწარ ანგარიშში, რომელიც ჩანს მარჯვენა ფოტოზე). ფხვიერი მასალა, რომელიც არ არის დაფარული მყინვარის უკანდახევით, ნათლად ჩანს მარჯვენა ფოტოზე. მიმდინარე მყინვარის უკანდახევა თანდათანობით აჩენს სხვადასხვა გრანულომეტრული შემადგენლობის ფხვიერ მასალას, რომელიც შესაძლოა მობილიზდეს შემდგომი ეროზიის და რემობილიზაციის შედეგად და შესაძლოა საფრთხე შეუქმნას ჰესი 1-ის სტრუქტურებს (იხილეთ თავი 5 დამატებითი დეტალებისთვის).

ორი პიკი მარცხნივ წარმოადგენს სამხრეთ უშბას (4,700 მ asl) და ჩრდილოეთ უშბა (4,698 მ asl).



სურ. 9-1: მარცხნივ: ჭალაათის მყინვარი 1887 (DECHY 1905: 313),

მარჯვნივ: ჭალაათის მყინვარი 2011 (ტიელიძე 2019: 73

მყინვარის ენის მაქსიმალური ფარგლები დაახლოებით შეადგენს 1810, ზღვის დონიდან 1,620 მ სიმაღლეზე (ტიელიძე და სხვები 2015: 76). 1887 წელს მყინვარმა მიაღწია ზღვის დონიდან 1,628 მ-ს (DECHY 1905: 314). ვინაიდან ჰესი 1-ის სიმაღლე დაახლოებით შეადგენს 1,645 მ-ს ზღვის დონიდან, ცხადი გახდა, რომ ჭალაათის მყინვარის ფარგლები ჰესი 1-ის არსებული ლოკაციის ქვემოთ არის. 1911 წელს მყინვარის ენამ მიაღწია 1,650 მ-ს ზღვის დონიდან, ოდნავ ზემოთ ჰესი 1-ის ლოკაციიდან და მყინვარის ზედაპირის ფართობი შეადგენდა 12.2 km² (პოდოზერსკი 1911). მორენული მასალა მოიცავდა გნეისის გრანიტებს, სიენიტს წვრილმარცვლოვანი შემადგენლობით (შპატი და ამფიბოლიტი) და პეგმატიდები სხვადასხვა გრანულომეტრული შემადგენლობის მქონე კვარცის ჩანართებით (DECHY 2005).

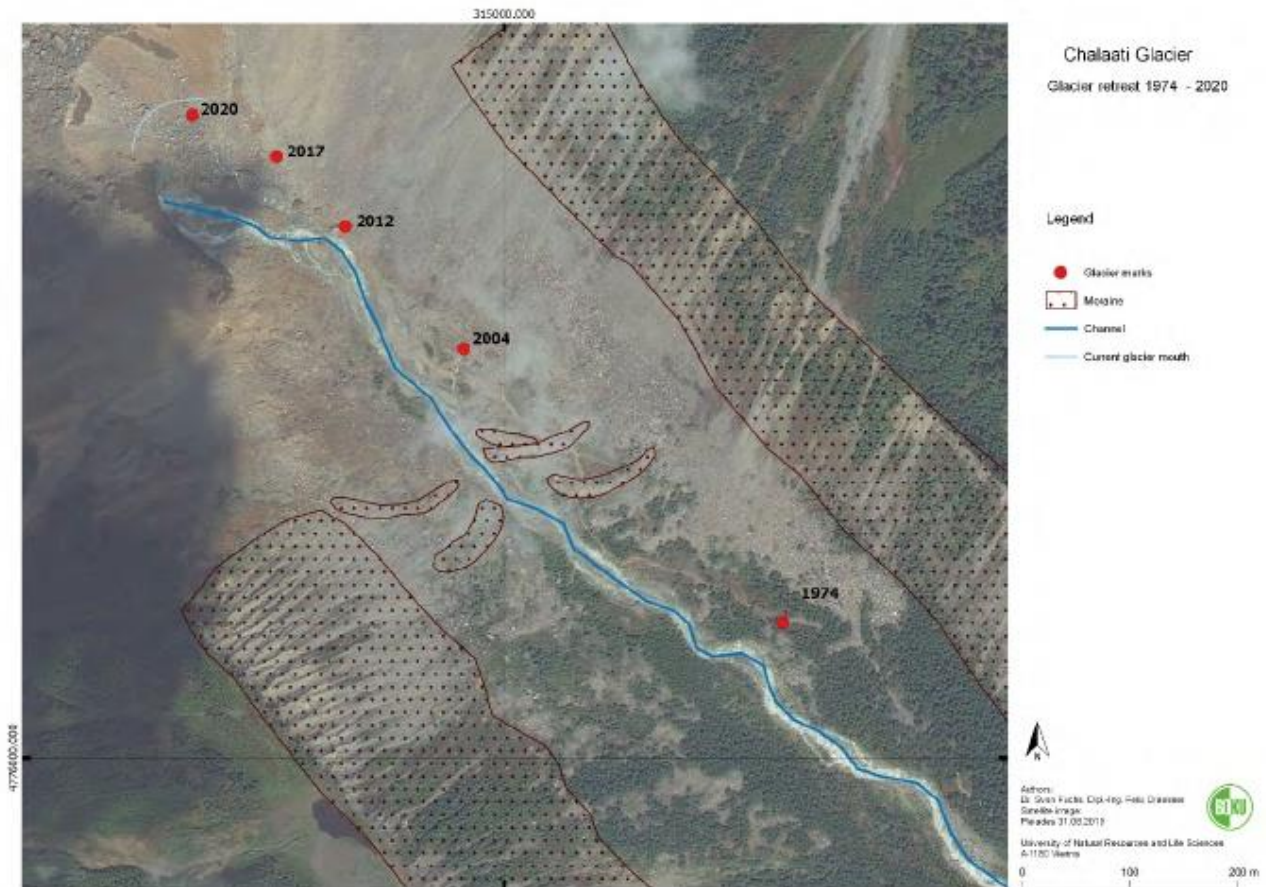
გვერდითი მორენები ხეობის მარცხენა და მარჯვენა კიდეზე ქმნის 1810 წელს მყინვარის სისქის ვიზუალურ შთაბეჭდილებას. აღნიშნული მორენები მოიცავს ფხვიერ მასალას, რომელიც თანდათანობით ტრანსპორტირდება ქვემოთ არხის ძირის მიმართულებით ეროზიული პროცესების შედეგად და შესაძლოა შემდგომ მობილიზდეს მაღალი ხარჯის პერიოდების განმავლობაში ალუვიური / მდინარის ნარიყის ან ღვარცოფული ნაკადების

გადატანის თვალსაზრისით. სურათი 9-2 გადაღებულია დრონით და ასახავს მცინვარის პირს, ჩამონაშალით დაფარულ მცინვარის ენას და ფხვიერ მასალას, რომელიც წარმოადგენილია ორივე ფერდობზე (ჩრდილოეთი და სამხრეთი).



სურ 9-2: ჭალათის მცინვარის ბოლო სადგური (© Sebastian Resinger)

2020 წლის 14 აგვისტოს საველე კვლევის განმავლობაში, ისტორიული მცინვარის დონეების და ბოლო სადგურის ნიშნები აღირიცხა GPS მოწყობილობის გამოყენებით. ნიშნები განისაზღვრა გეოგრაფიის ინსტიტუტის, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიერ და განთავსებულია საფეხმავლო ბილიკის გასწვრივ ჰესი 1-ს და მცინვარის პირს შორის. აღრიცხული წერტილები გადატანილი იქნა GIS პროგრამაში სივრცე-დროითი მცინვარის უკანდახევის მაჩვენებლების ანალიზისთვის. გვერდითი მორენები წარმოადგენს ინფორმაციას მცინვარის ყოფილი სისქის შესახებ ხეობაში და ტერმინალური მორენების პოზიციები იძლევა ინფორმაციას იმ პერიოდების შესახებ, როდესაც არ დომინირებდა უკანდახევა ან წინსვლა და აქედან გამომდინარე მცინვარის ენა სტაბილურ მდგომარეობაში იყო. აღნიშნული მონაცემები ვიზუალიზებულია სურათზე 9-3.



სურ. 9-3: ჭალაათის მყინვარის უკანდახევის რუკა 1974-2020

მყინვარის აღრიცხული დონეების საფუძველზე შესაძლებელია უკანდახევის და შემცირების შეფასება. გათვალისწინებული უნდა იქნას, რომ აღრიცხული სამარშრუტო ორიენტირები მხოლოდ მიახლოებით შეესაბამება შესაბამისი წლის მყინვარის ზუსტ დონეებს. თითოეული წლის განმავლობაში გამოვლენილი იქნა მხოლოდ ერთი ნიშანი, შესაბამისად შეუძლებელია მყინვარის უდაბლესი წერტილის ადგილმდებარეობის აბსოლუტური სიზუსტით დადგენა. გარდა ამისა, აღრიცხვის ზუსტი თარიღი არ არის მითითებული და შესაბამისად გათვალისწინებული უნდა იქნას ± 20 მ დევიაცია. ამ სახით შესაძლებელია მყინვარის უკანდახევის მიახლოებითი შეფასება.

ლიტერატურის მიმოხილვიდან მიღებული ინფორმაციის ადგილზე სავსე დაკვირვების მონაცემებთან შედარებით, გამოვლინდა ორი სხვადასხვა წერტილი მყინვარის ბოლო სადგურის და პირის ახლანდელ გეოგრაფიულ პოზიციასთან დაკავშირებით. ამის მიზეზი შესაძლოა 9-2 სურათზე ნაჩვენები ყინულის მასის სხვადასხვა ინტერპრეტაციის გამო. ხოლო ტელიძის 2020 წლის ინფორმაციით ყინულის მასა წარმოდგენილია მკვდარ ყინულად, სავსე კვლევის პროცესში განმარტებული იქნა აქტიური ყინულის ენის სახით. პოტენციური საფრთხეების შეფასებისთვის, რომელიც წარმოიშობა აღნიშნულ ლოკაციაზე, საკითხი არის თუ არა

მცინვარის პირი და გარშემო ყინული მკვდარი ყინული ან მცინვარის კვლავ აქტიური ნაწილი, შესაძლოა არ იქნას გათვალისწინებული. ვინაიდან ყინულის მასა მნიშვნელოვნად დაფარულია ჩამონაშალით, საჭიროა სიღრმისეული ანალიზი, რომელიც არ იყო შესაძლებელი დროებითი შეზღუდვების გამო 2020 წლის აგვისტოს საველე ვიზიტის დროს.

შეგროვებული მონაცემების შესაბამისად, მცინვარმა უკან დაიხია ბოლო 46 წლის განმავლობაში (1974-2020) წელიწადში საშუალოდ of 15.9 მეტრი სიგრძით. საერთო ცვლილება სიმაღლეში 1974 წელსა (1,824 მ asl) და 2020 წელს (1,880 მ asl) შორის შეადგენს 56 მეტრს. 1974 და 2004 წლებს შორის უკანდახევა მოხდა 13 მეტრ სიგრძეზე წელიწადში. 2004 და 2012 წლებს შორის უკანდახევა ფასდება 20 მეტრით წელიწადში. 2012 და 2017 წლებს შორის უკანდახევა შეფასდა დაახლოებით 18 მეტრით წელიწადში და ბოლო სამი წლის განმავლობაში მცინვარის უკანდახევა მოხდა 30 მეტრი სიგრძით წელიწადში. მონაცემები ადასტურებს, რომ მცინვარის უკანდახევა ჭალათის ხეობაში მნიშვნელოვნად გაიზარდა ბოლო ორი ათწლეულის განმავლობაში. ეს ტენდენცია დასტურდება ტიელიძის და სხვების ანალიზით (2020 წ.).

თუ ასეთი ტენდენცია გაგრძელდა, მომდევნო 30 წლის განმავლობაში მოსალოდნელია მცინვარის უკანდახევა მინიმუმ 500 მეტრით. შედეგად მასალის 100,000 მ³ ხელმისაწვდომი გახდება პოტენციური ფსკერული ნარიყის სახით ეროზიისთვის და რემობილიზაციისთვის არხში. აღნიშნული მასალა კონკრეტულად ხელმისაწვდომი გახდება ძლიერი ნალექების პერიოდებში, ასევე იმ შემთხვევაში, თუ ქვეგლაციალური წყლიანი ღრუები მოულოდნელად იქნება გამოშვებული, თუმცა აღნიშნული პროცესების მტკიცებულება შეფასების დროს არ იქნა გამოვლენილი.

9.2.2. ლეხზირის მცინვარი (ჩრდილოეთ ლეხზირის მცინვარი და ლეხზირის მცინვარი)

ლეხზირის მცინვარი საქართველოს უდიდესი მცინვარია (ტიელიძე 2015b: 74). მცინვარს ჰქონდა ჯვრის ფორმა, 2012 წლის დაყოფამდე, ორი მთავარი ნაკადით აღმოსავლეთ და დასავლეთ ნაწილიდან (ლეხზირის აქტიური მცინვარი, რომელიც არის რთული ხეობის მცინვარი) და ცენტრალური, ჩრდილოეთის ნაკადი (ჩრდილოეთ ლეხზირის მცინვარი, ტიპური წრიული მცინვარი). დეჩის შესაბამისად (1905: 315), 1887 წელს მცინვარის ენა შეწყდა 1,734 მ-ზე ზღვის დონიდან. 1890 წელს მცინვარის ზედაპირის ფართობი შეადგენდა 38.49 km² (ტიელიძე 2017: 100). თუმცა სხვა ისტორიული მონაცემები მიუთითებს, რომ მცინვარის პირის სიმაღლე შეადგენდა 1,730 მ-ს ზღვის დონიდან 1911 წელს და რომ მცინვარი ფარავდა დაახლოებით 40.8 km² ფართობს (პოდოზვესკი 1911). შედეგად მაქსიმალური განფენილობა მეოცე საუკუნის მიწურულს, დაახლოებით შეადგენდა 40 km² და მცინვარის ენამ მიაღწია დაახლოებით 1,730 მ სიმაღლეს ზღვის

დონიდან. 1960 წელს მყინვარის ზედაპირის ფართობი შეადგენდა 35.96 km² და მყინვარის პირი დასრულდა 1,970 მ სიმაღლეზე ზღვის დონიდან (ტიელიძე 2017: 41).

1960 – 1985 წლებს შორის მყინვარის ენის უკანდახევის ტემპი წელიწადში შეადგენდა დაახლოებით 17.1. მეტრს, მთლიანობაში 240 მეტრს (ტიელიძე 2017: 104). 2014 წელს ლეხზირის მყინვარის ზედაპირის ფართობი შეფასდა 23.26 km² და ჩრდილოეთ ლეხზირის მყინვარის ზედაპირის ფართობი შეადგენდა 6.27 km². ლეხზირის მყინვარის პირი მდებარეობდა 2,320 მ სიმაღლეზე ზღვის დონიდან (ტიელიძე 2015: 41). 2020 წელს ლეხზირის მყინვარების დანარჩენი ფართობი ერთად შეადგენს 30 km² -ზე ნაკლებს.

შესაბამისად გლაციალური ზონა შემცირდა 25 პროცენტით გასული საუკუნის განმავლობაში. მყინვარის ენამ გადაინაცვლა ზემოთ თითქმის 600 მეტრმყინვარის ენამ გადაინაცვლა ზემოთ თითქმის 600 მეტრით. ეს ტენდენცია გაგრძელდება მომდევნო ათწლეულებში, დიდი ალბათობით აჩქარებული დეგლაციაციით (მყინვარის უკანდახევა). უკანდახევა თანდათანობით გამოყოფს ფხვიერ მასალას, რაც ხელმისაწვდომი გახდება ტიპიური მაღალმთიანი მასების გრავიტაციული გადანაცვლებისთვის (როგორცაა ღვარცოფული ნაკადი) და შემდგომ მოახდენს გვერდითი ხეობის გვერდების დესტაბილიზაციას. მოსალოდნელია მყინვარის უკანდახევა მინიმუმ 500 მეტრით მომდევნო 30 წელიწადში (როგორც განხილულია ჭალაათის მყინვართან დაკავშირებით). შედეგად, მასალის 100,000 m³ ხელმისაწვდომი გახდება ეროზიისთვის და რემობილიზაციისთვის და ამ სახით ხელს შეუწყობს პოტენციური ფსკერული ნარიყის გაზრდას არხში. საფრთხის პოტენციალის გაზრდა შესაძლოა კონკრეტულად დაკავშირებული იყოს გარეშე განმაპირობებელ ფაქტორებთან, როგორცაა ძლიერი ნალექების პერიოდები. გარდა ამისა ქვეგლაციალური წყლიანი ღრუების მოულოდნელად გაშვებამ ასევე შესაძლოა ხელი შეუწყოს ხარჯის ზრდას და შედეგად სედიმენტების გადატანის ტემპის ზრდას. რადგან აღნიშნულთან დაკავშირებით ადგილზე არანაირი მტკიცებულება არ იქნა მოპოვებული, სავლელე კვლევის დროს (მყინვარზე ასვლა შეუძლებელი იყოარკვეული მტკიცებულება კონკრეტულად აღმოსავლეთ ლეხზირის ხეობის მყინვარიდან (ზედაპირული წრიული კონუსები ყინულის მასაზე).



სურ. 9-4: ლეხზირის მყინვარი, მყინვარის პირი რთული ხეობის ტიპის მყინვარიდან, რომელიც წარმოიშობა ორი მთავარი აღმოსავლეთ და დასავლეთის ნაკადიდან. ჩრდილოეთ ლეხზირის მყინვარი ჩანს უკანა ფონზე და ცენტრალურ ნაწილში მდებარეობს ქვედაფენის შემცირება © Sebastian Resinger

2018 წელს, მკვდარი ყინულის დიდი რაოდენობა ჩავარდა არხში ლეხზირის მყინვარის პირის ქვემოთ დაახლოებით 400 მეტრზე, რამაც გამოიწვია ჭარბი ხარჯი. მთავარი მიზეზი იყო მეტეოროლოგიური ფაქტორები, რომელმაც გამოიწვია მკვდარი ყინულის ინტენსიური დნობა ზაფხულის თვეებში, როგორც წარმოადგინა საქართველოს გარემოსდაცვის ეროვნულმა სააგენტომ (დღის წესრიგი 2018). ასეთი ეპიზოდები დამახასიათებელია საშუალოზე მაღალი ტემპერატურის პერიოდებში და კონკრეტულად ადგილი აქვს ზაფხულის თვეებში. აღნიშნული მაღალი მოვლენები, საბოლოოდ დაკავშირებულია ყინულის მასებით არხის ბლოკირების შედეგად, რამაც შესაძლოა გამოიწვიოს ფსკერული ნარიყის შემდგომი მობილიზება და საფრთხე შეუქმნას ჰესის ინფრასტრუქტურას.

E318,248, N4,779,038 ზე მყინვარის პირის ქვემოთ, არხის მიმართულებით მდებარეობს ქვედაფენა, რომელიც შედგება ვიწრო გასასვლელისგან. აღნიშნული შემოზღუდვა წარმოადგენს ვიწრო გასასვლელს, შემაკავებელი ქვედაფენით საშუალო ხარჯის პირობების განმავლობაში, თუმცა მნიშვნელოვნად დიდი არ არის მაღალი ხარჯის

მოვლენის შემთხვევაში. ეს დადასტურებული იქნა სავსე ვიზიტის დროს, ასევე მაღალი გარჩევადობის სატელიტური გამოსახულების ანალიზის საფუძველზე (იხილეთ სურათი 9-4).

9.2.3. მურყვამის მყინვარი

მურყვამის მყინვარის შესახებ მხოლოდ მცირე მონაცემებია ხელმისაწვდომი (სურათი 9-5). GIS ანალიზმა აჩვენა, რომ არსებული ზედაპირის ფართობი შეადგენს დაახლოებით 1.5 km²-ს. 1960 და 1985 წლებს შორის უკანდახევის მაჩვენებელი დაახლოებით შეადგენდა 21.4 მეტრს წელიწადში, რაც მთლიანობაში შეადგენს 300 მეტრს 25 წელიწადში (ტიელიძე 2017: 104). უნდა ვივარაუდოთ, რომ მყინვარის უკანდახევა უნდა შედარდეს მეზობელ მყინვარებს - ჭალაათი და ლეხზირი. არსებობს მტკიცებულება, რომ მყინვარის სტაბილიზების ფაქტორი შემცირდება და შედეგად ეროზიისა და რემობილიზაციისთვის ხელმისაწვდომი იქნება ფხვიერი მასალის მზარდი მოცულობა, რაც საფრთხეს უქმნის ჰესის კონსტრუქციებს კერძოდ რთული მოვლენის დადგომის შემთხვევაში. ასეთი მოვლენების შესახებ დეტალები იხილეთ 3 – 7 თავებში.



სურ. 9-5: მურყვამის მყინვარი (© Sebastian Resinger)

9.2.4. ბანგურიანის მყინვარი

ჩამონაშალით დაფარული ბანგურიანის მყინვარი მდებარეობს მურყვამის მყინვარის სამხრეთით, მურყვამის ხეობის სამხრეთ შენაკადის ხეობაში და ზედაპირის ფართობი

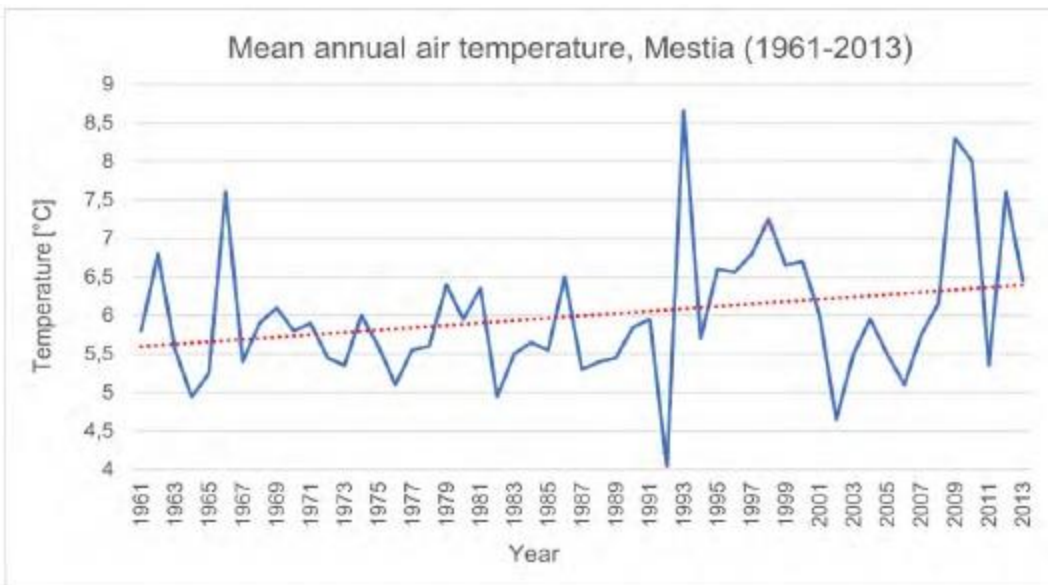
დაახლოებით შეადგენს 0.3 km² -ს (სურ. 9-6). სხვა მყინვარებთან შედარებით მესტიაჭალას ხეობაში, წყალსაკრები საკმაოდ პატარაა. უნდა ვივარაუდოთ, რომ აღნიშნული მყინვარის შემდგომი უკანდახევა გაგრძელდება და ფხვიერი მასალის მზარდი რაოდენობა ხელმისაწვდომი გახდება, როგორც ყინულის მასის ჩამონაშალის საფარიდან, ასევე გრუნტის და გვერდითი მორენებიდან. შენაკადის დახრილობის გამო ხეობა საკმაოდ მცირეა, ბანგურიანის მყინვარი შეფასდა ნაკლებ რელევანტურად, როგორც მომავალი საფრთხის შემცველი მოვლენების წყარო, რამაც შესაძლოა საფრთხე შეუქმნას ჰესის ობიექტებს.



სურგ. 9-6: ჩამონაშალით დაფარული ბანგურიანის მყინვარი (© Sebastian Resinger)

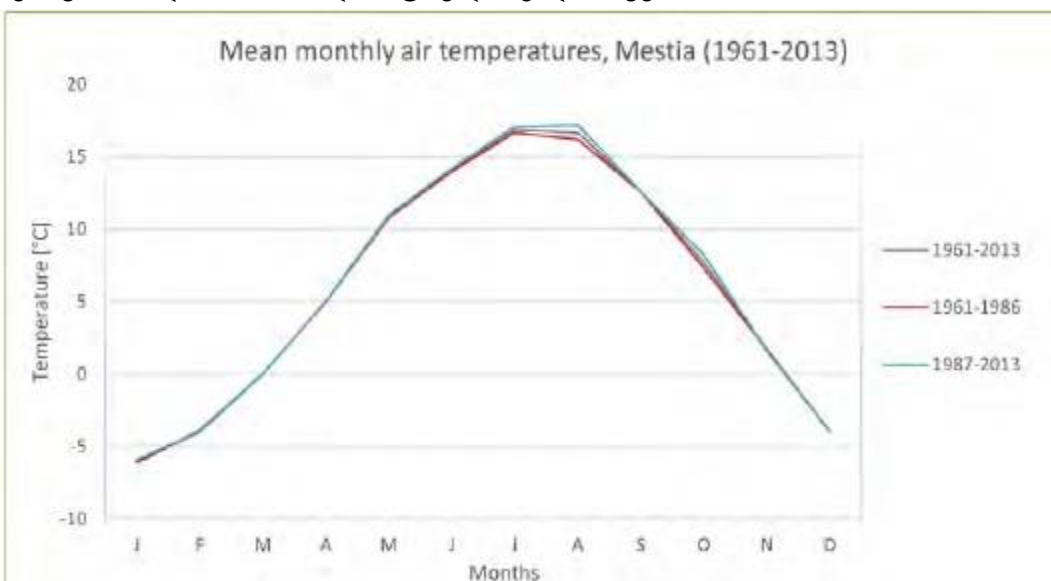
9.3. კლიმატის ცვლილებები ზედა სვანეთის რეგიონში

მესტიის მეტეოროლოგიურ სადგურზე (1,440 მ asl), საშუალო წლიური ჰაერის ტემპერატურა 1961 – 2013 წლებში მითითებული იყო 6 °C (ტიელიძე 2015a: 398). როგორც ნაჩვენებია სურათზე 9-7 წითელი წერტილოვანი ხაზებით, ვლინდება მატების ტენდენცია უფრო თბილი წლიური ჰაერის ტემპერატურის მიმართულებით.



სურ. 9-7: ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა აღრიცხულია მესტიის მეტეოროლოგიურ სადგურში 1961 – 2013 წლებს შორის პერიოდში, წითელი წერტილოვანი ხაზი ასახავს წრფივ ტენდენციას (ტიელიძე 2015c.)

სურათზე 9-8, საშუალო თვიური ჰაერის ტემპერატურა ასახულია სხვადასხვა პერიოდებისთვის, რომელიც აღრიცხულია მესტიის მეტეოროლოგიურ სადგურში (1,440 მ ზღვის დონიდან). მსხვილი შავი ხაზი ასახავს საშუალო თვიურ ჰაერის ტემპერატურას 1961-2013 წლებს შორის პერიოდებში, წითელი მსხვილი ხაზი - 1961-1986 წლებს შორის პერიოდში, და ცისფერი მსხვილი ხაზი 1987-2013 წლებს შორის პერიოდებში. ვინაიდან აღნიშნული ხაზები მსგავს ნიმუშებს წარმოადგენს, ცხადი გახდა, რომ აგვისტოს და ოქტომბრის მაჩვენებლები უმნიშვნელოდ გაიზარდა დროთა განმავლობაში, რაც იწვევს მცინვარის დნობის ზრდას (ტიელიძე და სხვები 2015: 319).



სურ. 9-8: საშუალო ყოველთვიური ჰაერის ტემპერატურა მესტიაში 1961-2013, 1961-1986, და 1987-2013 წლებს შორის პერიოდებში. (ტიელიძე და სხვები. 2015: 319)

არსებობს მხოლოდ რამდენიმე კვლევა კლიმატის ცვლილების შესახებ სვანეთის რეგიონში და კონკრეტულად მცინვარების განვითარებაზე მომდევნო ათწლეულებში. თუმცა ცხადია, რომ მაღალმთიან რეგიონებზე მზარდ ზემოქმედებას მოახდენს გლობალური დათბობა (WYMANN VON DACH et al. 2017: 10).

UNDP საქართველოს შესაბამისად (2015), შესაძლოა ვივარაუდოთ, რომ წლიური საშუალო ტემპერატურა რეგიონში გაიზარდება დაახლოებით 4 °C-ით 2100 წლისთვის. 2050 წლისთვის ზრდა სავარაუდოდ იქნება 1.2 °C by 2050, და 2050 წლიდან 2100 წლამდე 2.8 °C . კლიმატის პროგნოზების შესაბამისად, საშუალო წლიური ტემპერატურის ზრდა უფრო სწრაფად მოხდება 21 საუკუნის მეორე ნახევარში. გასული საუკუნის განმავლობაში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა გაიზარდა დაახლოებით 0.6 °C-ით.

1890 და 1965 წლებს შორის, ყინულით ზედაპირის ფართობი მდინარე ენგურის აუზში შემცირდა 13%-ით (332 km² - 288 km²). აღნიშნულ პერიოდში, საშუალო წლიური ტემპერატურა გაიზარდა 0.3 °C-ით. მსგავსი დაკავშირებული შემცირება (288 km² - 251 km²) აღინიშნა 1961 – 2010 წლებს შორის, ტემპერატურის ანალოგიური ზრდით. ლეხზირის მცინვარის მონაცემებთან შედარებით, რომლის ფართობი დაახლოებით შეადგენდა 40 km² -ს 1911 წელს და ოდნავ ქვემოთ 30 km² -ს 2020 წელს (დაახლოებით 25% შემცირება) და ჭალაათის მცინვარის მონაცემებთან შედარებით, რომლის ფართობი 1911 წელს შეადგენდა 12.2 km²-ს და 8.6 km² -ს 2014 წელს (დაახლოებით 30% შემცირება), მთლიანი მდინარე ენგურის აუზის მაჩვენებლები საკმაოდ კარგად არის წარმოდგენილი.

მიმდინარე გლობალური დათბობის და გასულ საუკუნეში დათბობის მიმართ მცინვარების დაგვიანებული რეაქციის გამო, მოსალოდნელია რომ ყინულით დაფარული ტერიტორია შემცირდება 57%-ით 2100 წლისთვის (251 km² -დან 108 km²-მდე, UNDP საქართველო 2015: 37).

9.4. მცინვარების უკან დახევის შედეგები ფერდობის მდგრადობაზე

გასული ათასწლეულის განმავლობაში მცინვარების მუდმივი წინსვლის და უკანდახევის გამო, მაღალი კავკასიონის ხეობები უფრო ციცაბო გახდა და გამოფლატულ/გამორეცხილია. შეიქმნა ციცაბო მაღალმთიანი ქანის კედლები, როგორცაა 2019 წლის მოწყვეტის ზონა მურყვამის ხეობაში, რომლებიც ხშირად ხასიათდება კიდული მცინვარებით და ფირნული ველებით, ასევე მრადყინულოვანი

ქანებით (გორბუნოვი 1978; ლარი და სხვები 2019). მე-19 საუკუნეში მცირე გამყინვარების პერიოდიდან საერთო დათბობის გამო ასეთი ფერდობების სტაბილურობაზე მნიშვნელოვანი ზემოქმედება მოახდინა რიგმა პროცესებმა, რამაც გამოიწვია ქანების ჩამოშლის გააქტიურება, რაც აღვნიშნეთ (იხილეთ თავი 2.1.).

1. ქანის კედლების განტვირთვა: შენარჩუნებულია ფერდობების ნახევრად სტაბილური მდგომარეობა სანამ მყინვარე კვლავ ფარავს კლდის ფერდობებს და ქმნის ბუნებრივ საყრდენს. 1960 წელს ხეობა შუა მორენებიდან კლდის კედლამდე კვლავ ჩაიხერგა მურყვამის მყინვარის ყინულით. როგორც კი მყინვარი უკან იხევს იცვლება მექანიკური ბალანსი და განტვირთვის შედეგად, იწყება ძალების და წნევის ხელახლა გადანაწილება. ახალი ბზარები წარმოიქმნება და ძველი ბზარები ფართოვდება (ERISMANN & ABELE 2001: 125f). ზუსტად აღნიშნული მოხდა მურყვამის მოწყვეტის ზონაში და კვლავ გრძელდება, რადგან გეოლოგიურად მხოლოდ მცირე დროის ინტერვალი გავიდა.
2. მექანიკური და თერმული ეროზია: წინა ყინულით დაფარული ქანები დაუცველია მექანიკური და თერმული ეროზიისგან. გაყინვის ფრონტის შეღწევამ მანამდე გამდნარ ან გაუყინავ მასალში შესაძლოა გამოიწვიოს ქანების რღვევის გააქტიურება ყინულის წარმოქმნით ბზარებში და ნაპრალებში. დამატებით სტრესი (გათბობა / გაცივების ციკლები), ასევე გაყინვა / დნობის ციკლები ზრდის ადგილობრივი სტრესის კონცენტრაციებს. აღნიშნული მუდმივი დალილობის ციკლები ამცირებს ინტაქტური ქანის ხიდების ოდენობას, იზრდება ქანების ჩამოშლის სიხშირე და მცირდება კლდის ფერდობის საერთო სტაბილურობა. აღნიშნული პროცესები შეინიშნება ჭალათის მყინვარის პირის ახლოს, სადაც ტერიტორიები მიდრეკილია ქანის და ლოდების ცვენისკენ (თავი 5.2.1.) ან მურყვამის ხეობაში და სავარაუდოდ არის კლდის დესტაბილიზაციის ერთ-ერთი მიზეზი, რომელიც ჩამოიქცა 2019 წლის ივლისში.
3. სხვა მოვლენა, რომელიც უკავშირდება მყინვარის უკანდახევას და კლიმატის ცვლილებას, არის მარადყინულოვანი ქანების უკანდახევა: მცირე გამყინვარების პერიოდიდან ქვედა მარადყინულოვანი ქანების ზღვარი შეფასდა, რომ გაიზარდა ვერტიკალურად დაახლოებით 1 მ / წელში სხვადასხვა ლიტერატურული წყაროების შესაბამისად ევროპის ალპური რეგიონების შესახებ. ბევრი მოწყვეტის ზონა მდებარეობს შეფასებული მარადყინულოვანი ქანების განაწილების ქვედა საზღვრის სიმაღლეზე, სადაც სავარაუდოდ არსებობს თბილი და დეგრადირებადი მარადყინულოვანი ქანები არსებობს. დიდ კავკასიონში აღნიშნება მარადყინულოვანი გრუნტი, მნიშვნელოვანი სისქით (1.5–2.5 მ.-მდე) ზღვის დონიდან 3,000- 3,200 მეტრზე მეტ სიმაღლეზე, ძირითადად შემოიფარგლება ჩრდილოეთ გაშიშვლების ფერდობებით (LURIE და სხვები 2019). 2019 წლის მოწყვეტის ფარგლები მერყეობს 3,200 მ-ს და 3,500 მ-ს შორის და დიდი

ალბათობით მასზე გავლენას ახდენს აღნიშნული პროცესი. კრაუტბლატერის და სხვების მიხედვით (2012) ქანის მექანიკური თვისებებით დეგრადირებად მარადყინულოვან ქანებში შესაძლებელია დესტაბილიზაციის ადრეული ეტაპები და უფრო მნიშვნელოვანი გახდეს ნორმაზე მაღალი სტრესისთვის, ე.ი. ქანის ფერდობის ჩამოშლის უფრო მაღალი მასშტაბები.

ყველა აღნიშნული აქტიური პროცესი გაგრძელდება ფართომასშტაბიანი ქანების სტაბილურობის დარღვევით მოწყვეტის ზონაში და მთლიან წყალსაკრებში, რაც ამცირებს ძალებს ქანების მასებში და შესაბამისად იწვევს რეალურ დროში რღვევებს სხვადასხვა მასშტაბებით.

9.5. მოსაზრება

მესტიაჭალას ხეობის წყალსაკრებში მყინვარებზე ზემოქმედებას ახდენს გლობალური დათბობა. მომავალ ათწლეულებში მყინვარების უკანდახევა გაგრძელდება, ეს იწვევს უფრო მეტი პოტენციური ფსკერული ნარიყის გამოყოფას მთის საშიში პროცესებისთვის, როგორცაა ღვარცოფული ნაკადები ან ქანი-ყინულის ზვავები. მყინვარის დნობა განსაკუთრებით მწვავეა ზაფხულის თვეებში. შესაბამისად საშუალო ტემპერატურის მატება აღნიშნულ პერიოდში იწვევს მყინვარის უკანდახევის ზრდას მომდევნო დეკადებში. განსაკუთრებით ძლიერი ნალექების მოვლენებმა, ასევე პოტენციური სუბგლაციალური წყლის ღრუების მოულოდნელმა გაშვებამ შესაძლოა მოახდინოს ფხვიერი მასალის მობილიზება და მნიშვნელოვანი საფრთხე შეუქმნას ჰესის ინფრასტრუქტურას.

10. დასკვნები გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების მდგომარეობის შესახებ

წინა თავებში აღწერილი მონაცემები (მოვლენის ანალიზი), ასევე მოდელირება/სიმულირების შედეგები განხილულია გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების სცენარებში ჰესის პრიორიტეტებთან და სამშენებლო სამუშაოებთან დაკავშირებით. ასევე განხილულია საერთო გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები მუნიციპალიტეტისთვის. აღნიშნული შედეგები წარმოადგენს რისკის ქვეშ მყოფი მოსახლეობის, ობიექტების და ქონების ზემოქმედების და მოწყვლადობის ანალიზის წინაპირობებს, რომელიც უნდა განხორციელდეს რისკის შეფასების შემდგომ ეტაპებზე.

რუკაზე (სურ. 10-1) მიუთითებს რისკის ქვეშ მყოფი სტრუქტურული ელემენტების მიახლოებით პოზიციებს.



სურ 10-1: ჰესი 1 კონსტრუქციების ლოკაციების რუკა: A = HPP, B = კიდული ხიდი C = გალერეა, D = გამიშვლებული სადაწნეო მილსადენი, E = ყოფილი წყალმიმღები 1, F = ალტერნატიული წყალმიმღები 1-ის სავარაუდო პოზიცია.

10.1. გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების განხილვა ჰესი 1-ის სამშენებლო სამუშაოებისთვის

10.1.1. წყალმიმღები 1 თავდაპირველ პოზიციაზე

მიუხედავად იმისა, რომ 2019 წლის მოვლენა აღმოჩნდა ექსტრაორდინარული მასშტაბით და დაწყებისას, ჩვენი კვლევა მკაფიოდ ადასტურებს, რომ მთლიანი პროცესის ზონა კვლავ მაღალ-აქტიურია და ამ სახით მომავალში შესაძლოა ადგილი ჰქონდეს მსგავს მეგა-მოვლენებს ან კასკადურ მოვლენებს (იხილეთ მაგ. აღწერილობები 3, 7 და სხვა თავებში). გარდა ამისა 2019 წლის მოვლენის დანარჩენ დეპოზიტებს შენაკადში, აქვს რემობილიზაციის პოტენციური პოტენციალი მაღალი ხარჯის პერიოდებში და ამ სახით, მოსალოდნელია, რომ ისინი ზემოქმედებას მოახდენენ წყალმიმღები 1-ის თავდაპირველ ლოკაციაზე. საფრთხე შენაკადიდან კვლავ მაღალი რჩება და ღვარცოფული ნაკადის მოდელირებამ გამოავლინა ნაკადის სიმალეების, ნაკადის სიჩქარეების, ასევე ტრანსპორტირების დროის და მოცულობების მაჩვენებლები იმ დიაპაზონში, რომელმაც შესაძლოა ზემოქმედება მოახდინოს ჰესის სტრუქტურებზე.

გარდა ამისა, კონკრეტული ღვარცოფული ნაკადის აქტიურობა მოსალოდნელი იქნება ლეხზირის წყალსაკრებიდან (როგორც 2018 წლის აგვისტოს მოვლენა). გარდა ამისა, მაღალი ხარჯის ეპიზოდები სედიმენტების გადატანით - საბოლოოდ ყინულის მნიშვნელოვანი მოცულობებით - გამოიწვევს მაღალი ინტენსიურობის ეროზიას 2019 წლის დეპოზიტებში. მოდელირების შედეგები ადასტურებს საფრთხეს ჰესის სტრუქტურისთვის.

ცხრილში 10.1. შეჯამებულია გამოვლენილი გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენს წყალმიმღები 1-ის თავდაპირველ პოზიციაზე.

საფრთხის ტიპი	მოვლენის ანალიზი			ზემოქმედების ანალიზი
	ადგილი / დაფარვა	შესაძლო მოცულობები / და/ან საპროექტო მოვლენა	ალბათობა / სიხშირე	მოვლენის მოდელირების კონკრეტული შედეგები/მაჩვენებლები
მაღალი მასშტაბის რთული მოვლენა შენაკადიდან დანალექი მასალის რემობილიზაცია / კასკადური პროცესი / ქანის ჩამოშლის შესაძლებლობა მურყვამის მყინვარის ქვემოთ	შენაკადი ხეობის ფსკერის გასწვრივ, მესტიაჭალას ხეობა	რამდენიმე 100,000 მ ³ -მდე (შესაძლოა 2019 წლის მოვლენის მასშტაბით)	EF2: 1 მოვლენა 1-30 წელიწადში	განხორციელებული მოდელირება (იხილეთ თავი 7.3.) მაკადის სიჩქარე > 13 მ/წ დალექვის სიმაღლე ≤ 18 მ - 20 მ ნაკადის წნევა > 700 kN/m ² წყალმიმღები 1 სრულად ზემოქმედების ქვეშ
„ღვარცოფული წყალმოვარდნა“ ლესხირის ხეობიდან. მაღალი ხარჯი, დამოკიდებული საერთო მოცულობაზე და მცურავი ყინულის ოდენობაზე.	ლესხირის ხეობის მონაკვეთი, შენაკადის პირთან 2019 წლის დანალექების მობილიზების პოტენციალი	რამდენიმე 100,000 მ ³ -მდე	EF2: 1 მოვლენა 1-30 წელიწადში	განხორციელებული მოდელირება (იხილეთ თავი 7.4.) მაკადის სიჩქარე > 12 მ/წ - 15 მ/წ დალექვის სიმაღლე ≤ დაახლოებით 1 მეტრი. ნაკადის წნევა > 120 kN/m ² - 140 kN/m ² . წყალმიმღები 1 სრულად ზემოქმედების ქვეშ.

ცხრილი. 10-1: მნიშვნელოვანი გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენს წყალმიმღები 1-ის ლოკაციაზე (თავდაპირველი პოზიცია).

10.1.2. ალტერნატიული წყალმიმღები 1 ახალ პოზიციაზე

წყალმიმღები 1-ის ახალი ადგილმდებარეობა გათვალისწინებულია ძველი ლოკაციის ჩრდილოეთით შენაკადში / მურყვამის ხეობაში წარმოქმნილი გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების თავიდან ასაცილებლად. ვინაიდან წყალმიმღები 1-ის რელოკაცია ზრდის უსაფრთხოების დონეს აღნიშნული შესაძლო მოვლენებისთვის, გათვალისწინებული უნდა იქნას სხვა ასპექტები:

ღვარცოფული ნაკადის აქტიურობა მეტად კრიტიკულია. როგორც განხილულია 10.1.1. თავში, მაღალი ხარჯის ეპიზოდები სედიმენტების გადატანით - საბოლოოდ ყინულის მნიშვნელოვანი მოცულობებით - მოსალოდნელია ლესხირის წყალსაკრებიდან (როგორც 2018 წლის მოვლენა), გამოიწვევს მაღალი ინტენსიურობის ეროზიას 2019 წლის დეპოზიტებში. ჩვენი მოდელირების შედეგები ადასტურებს, რომ წყალმიმღები 1-ის

ახალ ადგილმდებარეობაზე მნიშვნელოვანი ზემოქმედება მოხდება, თუმცა ტექნიკური შერბილება განხორციელებადია (იხილეთ თავი 12).

გარდა ამისა, ყურადღება უნდა მიექცეს ღვარცოფული ნაკადის არხს, მასალების დალექვით 1850 წლიდან გვერდითი მორენებიდან (იხილეთ ასევე თავი 4.2. M-df6). მომავალი მოვლენების შემთხვევაში, რომელიც გადააჭარბებს მორენის თხემს, გამოიწვევს მნიშვნელოვან კვეთას და ასევე მოსალოდნელია რამდენიმე 1,000 მ³ მოცულობის არაკონსოლიდირებული მასალის ჩამოტანა ახალი წყალმიმღები 1-ის მშენებლობის ზონაში. მიუხედავად იმისა, რომ ამჟამად მორენის თხემი კვლავ ინტაქტურია და არა ამოკვეთილი, მომავალში გამორიცხული არ არის ასეთი საფრთხის სცენარი და გათვალისწინებული უნდა იყოს რისკის შეფასებაში და მონიტორინგის დროს, განსაკუთრებით იმის გამო, რომ არ არსებობს აქტივობის მონაცემები გამოყოფის ზონაში.

გარდა ამისა, აღნიშნულ ადგილზე გავლენას მოახდენს ქანების ჩამოშლა, რომელიც ძირითადად ილექება M-D6 ზონაში და შესაძლოა ასევე M-D8 ზონაში, რომელიც ამჟამად ითვლება მცირე საფრთხედ (ასევე იხილეთ თავი 4.2.). M-D6 ქანების ჩამოშლის მოდელირება იძლევა ინფორმაციას / წარმოდგენას ტრაქტორიების და ენერჯების შესახებ (იხილეთ თავი 8.1.). შესაძლებელია შერბილება ქანების ჩამოშლისგან დამცავი ზღუდეების გამოყენებით.

გარდა ამისა, ღვარცოფული ნაკადები და თოვლის ზვავები ზომიერი დადგომის ალბათობით და საშუალო მასშტაბიტ მოსალოდნელია ხეობის დასავლეთ ნაწილიდან (M-df5).

ცხრილში 10.2 შეჯამებულია გამოვლენილი გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები, რომელიც გავლენას ახდენს წყალმიმღები 1-ის ახალ დაგეგმილ პოზიციაზე.

საფრთხის ტიპი	მოვლენის ანალიზი			ზემოქმედების ანალიზი
	ადგილი / დაფარვა	შესაძლო მოცულობები / და/ან საპროექტო მოვლენა	ალბათობა / სიხშირე	მოვლენის მოდელირების კონკრეტული შედეგები/მაჩვენებლები
მაღალი მასშტაბის რთული მოვლენა შენაკადიდან დანალექი მასალის რემობილიზაცია / კასკადური პროცესი / ქანის ჩამოშლის შესაძლებლობა	შენაკადი ხეობის ფსკერის გასწვრივ, მესტიაჰალას ხეობა	რამდენიმე 100,000 მ ³ -მდე (შესაძლოა 2019 წლის მოვლენის მასშტაბით)	EF2: 1 მოვლენა 1-30 წელიწადში	განხორციელებული მოდელირება (იხილეთ თავი 7.3.) ნაკადის სიჩქარე > 6 მ/წ დალექვის სიმაღლე ≤ 4 მ ნაკადის წნევა > 60 kN/m ²

მურყვამის მყინვარის ქვემოთ				ზემოქმედება დამოკიდებულია ზუსტ პოზიციაზე.
„ღვარცოფული წყალმოვარდნა“ ლეხზირის ხეობიდან. მაღალი ხარჯი, დამოკიდებული საერთო მოცულობაზე და მცურავი ყინულის ოდენობაზე.	ლეხზირის ხეობის მონაკვეთი, შენაკადის პირთან 2019 წლის დანალექების მობილიზების პოტენციალი	რამდენიმე 100,000 მ ³ -მდე	EF2: 1 მოვლენა 1-30 წელიწადში	განხორციელებული მოდელირება (იხილეთ თავი 7.4.) მაკადის სიჩქარე > 8 მ/წ - 10 მ/წმ დალექვის სიმაღლე ≤ 3.0 – 3.5 მ ნაკადის წნევა > 60 - 70 kN/m ² . ახალი წყალმიმღები 1 სრულად ზემოქმედების ქვეშ.
ღვარცოფული ნაკადი	ოროგრაფული მარცხენა 1850, გვერდითი მორენა (M-df6)	რამდენიმე 1,000 მ ³	სიხშირე 1-30 წელიწადში (EF2)	(მოდელირების გარეშე)
ღვარცოფული ნაკადი	ოროგრაფული მარჯვენა (M-df5)	საშუალო ღვარცოფული ნაკადი რამდენიმე 100 მ ³	სიხშირე 1-10 დაახლოებით 30 წლამდე (EF2.1. EF 2.2.)	ახალი წყალმიმღები დიდი ალბათობით არ იქნება ზემოქმედების ქვეშ
თოვლის ზვავი	ოროგრაფული მარჯვენა (M-df5)	-	წლიურად	განხორციელებული მოდელირება M-D6 (საპროექტო ბლოკები = 8.5. მ ³ , იხილეთ თავი 4.3. და 8.1.).
მცირე - საშუალო მოც. ქანების ჩამოშლა	მთავარი საფრთხე დასავლეთ გვერდიდან. დალექვის ზონა M-D6 (M-D8 აღმოსავლეთ მხარეს, ითვლება მცირე საფრთხედ)	10 მ ³ -მდე საშუალო ღვარცოფული ნაკადი 100 მ ³ -ზე მეტი მოცულობით	რამდენჯერმე წელიწადში (EF 3) სიხშირე 11 - 30 წელიწადში (EF 2.1.)	სავალმა გზამ შესაძლოა მიაღწიოს ახალ წყალმიმღებამდე. დარტყმის /შეჯახების ენერგია = 2,450 kJ რამდენიმე 1,000 kJ-მდე.

ცხრილი. 10-2: გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენს წყალმიმღები 1-ის ადგილმდებარეობაზე (ახალი პოზიცია).

10.1.3. სატრანზიტო ზონა (სადაწნეო მილსადენი, გალერეა)

როგორც 2019 წლის მოვლენის დროს აღმოჩნდა, მესტიაჭალას მთლიანი ხეობა ჰესი 1-ს და წყალმიმღები 1-ს შორის, სედიმენტების და წყლის მაღალი მოცულობის ზემოქმედების ქვეშ მოექცა. ამ ტიპის და მოცულობის მოვლენა მომავალში შესაძლოა ნებისმიერ დროს კვლავ დადგეს, რომელიც წარმოიშობა ლეხზირის ხეობიდან (ღვარცოფული ნაკადი, ღვარცოფული წყალმოვარდნა) ან შენაკადში / მუყვამის ხეობაში (მეწყერები, კასკადური მოვლენები).

დამატებით, 2019 წლის მოვლენის დეპოზიტები მურყვამის ხეობაში და დეპოზიტები შენაკადი პირთან მიდრეკილია რემობილიზაციისკენ მაღალი გადმოშვების შემთხვევაში. შედეგად მოსალოდნელია გვერდითი ეროზია განსაკუთრებით საფრთხეს შეუქმნის სადაწნეო მილსადენს.

ჩვენი ზემოქმედების ანალიზის შედეგები (ღვარცოფული ნაკადის მოდელირება) მიუთითებდა, ზომიერი საფრთხეს სადაწნეო მილსადენისთვის და გალერეასთვის, რომელიც შესაძლოა შერბილდეს შესაბამისი პერმანენტული ზომებით (იხილეთ თავი 12).

ქანების ჩამოშლის მნიშვნელოვანი საშიში ზონები მდებარეობს ჰესი 1-ს და წყალმიმღები 1-ს შორის დასავლეთ ფერდობების გასწვრივ, სპეციალური ფოკუსირებით M-D3 - M-D5-ზე გალერეას გარშემო და შემდგომ ჩრდილოეთით. M-D4-ში სამშენებლო გზის ხლოს განთავსებული იყოს სხვადასხვა ახალი ლოდები, დაახლოებით 5 m³ მოცულობით. სხვა დალექვის ზონები ამჟამად ნაკლებ აქტიურია, როგორცაა M-D1. ქანების ჩამოშლილს მოცულობები მნიშვნელოვნად განსხვავდება (იხილეთ თავი 4 და 8.1.).

გარდა ამისა, არასტაბილური ქანის კომპლექსი 2,500 m³ და 12,000 m³ მოცულობებს შორის (პოტენციურად დიდი მოცულობიდან ძალიან დიდი მოცულობის ქანების ჩამოშლა) გამოკვლეული იქნა გალერეას ზემოთ დაახლოებით 450 მ-ზე (M-R3b და M-R5b), რომელიც გათვალისწინებული უნდა იყოს რისკის შეფასებაში, დაგეგმვაში და მონიტორინგში.

ღვარცოფული ნაკადის აქტივობას, რომელიც იწყება ჭებიდან სადაწნეო მილსადენის გვერდით, მხოლოდ მცირე მნიშვნელობა აქვს ხეობის ფსკერზე და შემდეგ მდინარე მესტიაჭალაში მასალის მნიშვნელოვანი მოცულობის მიწოდებისთვის. ამ სახით იმ შემთხვევაშიც კი თუ აქტიურობას მაღალი მნიშვნელობა მიენიჭება, ეფექტები უმნიშვნელო იქნება.

ცხრილში. 10.3 შეჯამებულია გამოვლენილი გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების, რომელიც გავლენას ახდენს სადაწნეო მილსადენზე და გალერეაზე.

საფრთხის ტიპი	მოვლენის ანალიზი			ზემოქმედების ანალიზი
	ადგილი / დაფარვა	შესაძლო მოცულობები / და/ან საპროექტო მოვლენა	ალბათობა / სიხშირე	მოვლენის მოდელირების კონკრეტული შედეგები/მაჩვენებლები
მაღალი მასშტაბის რთული მოვლენა შენაკადიდან (მაღალი მოცულობის ხარჯის კომბინაციით ლეზირის ხეობიდან)	შენაკადი ხეობის ფსკერის გასწვრივ, მესტიაჭალას ხეობა	რამდენიმე 100,000 მ ³ -მდე (შესაძლოა 2019 წლის მოვლენის მასშტაბით)	EF2: 1 მოვლენა 1-30 წელიწადში	განხორციელებული მოდელირება (იხილეთ თავი 7.) ნაკადის სიჩქარე 11-13 მ/წმ ნაკადის სიმაღლე 2.0 – 3.5 მ

დანალექი მასალის რემობილიზაცია / კასკადური პროცესი / ქანის ჩამოშლის შესაძლებლობა მურყვამის მყინვარის ქვემოთ				ნაკადის წნევა = 110 - 135 kN/m ²
„ღვარცოფული წყალმოვარდნა“ ლეხზირის ხეობიდან. მაღალი ხარჯი, დამოკიდებული საერთო მოცულობაზე და მცურავი ყინულის ოდენობაზე.	ლეხზირის ხეობის მონაკვეთი, შენაკადის პირთან 2019 წლის დანალექების მობილიზების პოტენციალი	რამდენიმე 100,000 მ ³ -მდე	EF2: 1 მოვლენა 1-30 წელიწადში	განხორციელებული მოდელირება (იხილეთ თავი 7.4.) ნაკადის სიჩქარე 11-13 მ/წმ ნაკადის სიმაღლე 2.0 – 3.5 მ ნაკადის წნევა > 60 - 70 kN/m ² . ნაკადის წნევა = 110 - 135 kN/m ²
ღვარცოფული ნაკადი	ზვავის ტრანშეებთან დაკავშირებით (M-df1 და M-df7-9)	რამდენიმე 1,000 მ ³	სიხშირე 1- 30 წელიწადში (EF2)	(მოდელირების გარეშე)
თოვლის ზვავი	გალერეა (M-D3 / M-D5a)	-	წლიურად	(მოდელირების გარეშე)
მცირე - საშუალო მოც. ქანების ჩამოშლა	მონაკვეთი გალერეას და წყალმიმღებ 1-ს შორის (M-D 3 – M-D5a)	მცირე ლოდები 2,5 მ ³ -მდე	მინიმუმ 10 მოვლენა si წელიწადში (EF4)	განხორციელებული მოდელირება M-D4 (საპროექტო ბლოკი = 5.4. მ ³ , იხილეთ თავი 4.3. და 8.1.) სავალმა გზამ შესაძლოა მიაღწიოს გალერეამდე და სადაწნეო მილსადენამდე. დარტყმის / შეჯახების ენერგია = 1,050 – 2,664 kJ-მდე.
		10 მ ³ -მდე (იხილეთ საპროექტო ბლოკი, თავი 4.3.)	რამდენჯერმე წელიწადში (EF4)	
		საშუალო ღვარცოფული ნაკადი რამდენიმე 100 მ ³ -მდე შესაძლებლობით	ერთხელ 1-30 წელიწადში (EF2)	
მცირე - საშუალო მოც. ქანების ჩამოშლა	მონაკვეთი გალერეას და წყალმიმღებ 1-ს შორის (M-D 3 – M-D5b) სავალმა გზამ შესაძლოა მიაღწიოს გალერეამდე და სადაწნეო მილსადენამდე.	არასტაბილური ქანის კოშკები 2,500 მ ³ -დან 12,000 მ ³ -მდე.	მოსალოდნელია სიხშირე 11 – 30 წელიწადში (EF2.1.)	ზემოქმედება გალერეას ზედა ნაწილზე (M-D2-M-D3) /ერთიანი ქანის ბლოკების ზემოქმედება სამშენებლო გზაზე M-D5. (დაშვებები ეფუძნება მოვლენის ანალიზს, მოდელირების გარეშე).

ცხრილი. 10-3: გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები, რომელიც გავლენას ახდენს სადაწნეო მილსადენზე და გალერეაზე.

10.1.4. ელექტროსადგური ჰესი 1

ელექტროსადგურზე და დაკავშირებულ სტრუქტურებზე შესაძლოა გავლენა მოახდინოს მაღალი მასშტაბის ღვარცოფულმა ნაკადმა და ღვარცოფული წყალმოვარდნის მსგავსი მოვლენები, რომელიც წარმოიშობა მესტიაჭალაში, ლეხზირის და მურყვამის ხეობებში. 2019 წლის მოვლენის მსგავსი მოვლენა შესაძლოა მოსალოდნელი იყოს მაღალი გაშვების პერიოდებში.

ჩვენი ზემოქმედების ანალიზი (მოდელირება) ადასტურებს მნიშვნელოვან ზემოქმედებებს არხის ნაპირის მიმდებარე სტრუქტურებზე და კაშხალზე, ნაკადის ქცევიდან და გვერდითი დაგროვებიდან გამომდინარე პარკინგის ადგილად გამოყენებულ ტერიტორიაზე (ოროგრაფული მარცხენა გვერდი). შეფასდა, რომ შესაძლებელია, თუმცა ნაკლები ალბათობით, დატბორვა, რომელიც პირდაპირ ზემოქმედებას მოახდენს ელექტროსადგურზე, რაც დამოკიდებულია არსებული ბლოკის კედლების ეფექტურობაზე მარჯვენა არხის ნაპირის გასწვრივ, იხილეთ დეტალები 7 თავში.

გარდა ამისა, გათვალისწინებული უნდა იყოს გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები ჭალათის ხეობიდან. ორი მთავარი პროცესი პირდაპირ ან არაპირდაპირ საფრთხეს უქმნის ელექტროსადგურის ტერიტორიას, რომელიც უპირველესად მოიცავს ქანების ჩამოშლას ხეობის ნაპირებიდან, რაც ქმნის მნიშვნელოვანი მოცულობით ფხვიერ მასალას და მეორე რიგში უკვე ჩამოტანილი ღვარცოფული ნაკადის მასალების და/ან ახალი ღვარცოფული ნაკადების რემობილიზაციას მარცხენა ხეობის ნაპირიდან. მცინვარის ენის მოსალოდნელი უკანდახევის გამო, ყინულის მასებით ამჟამად დაბლოკილი დამატებითი მასალა ხელმისაწვდომი გახდება მობილიზაციისთვის. ასეთი პროცესები შესაძლოა გარდაიქმნას მაღალი მასშტაბის მოვლენებში და პირდაპირ მოახდინოს ზემოქმედება ჰესზე. აღნიშნული სცენარები, რომელიც წარმოიქმნება მარჯვენა ან მარცხენა ხეობის გვერდიდან ან ორივე მათგანიდან, დღემდე არ არის შეფასებული პროცესის მოდელის გამოყენებით, რადგან საჭიროა მონაცემები ჰიდროლოგიური მდგომარეობის შესახებ ხეობაში. თუ ასეთი შემთხვევები მცირე მასშტაბიანია, მასალა შესაძლოა ხელახლა იქნას დალექილი შედარებით ბრტყელი ხეობის ფსკერის გასწვრივ (დაბალი დახრილობა), თუმცა სიღრმისეულ კვლევებს არსებითი მნიშვნელობა აქვს, თუ მეტი რაოდენობრივი პროგნოზები მოითხოვება.

ცხრილში. 10.4 შეჯამებულია გამოვლენილი გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენს ელექტროსადგურზე და დაკავშირებულ სტრუქტურებზე.

საფრთხის ტიპი	მოვლენის ანალიზი			ზემოქმედების ანალიზი
	ადგილი / დაფარვა	შესაძლო მოცულობები / და/ან საპროექტო მოვლენა	ალბათობა / სიხშირე	მოვლენის მოდელირების კონკრეტული შედეგები/მაჩვენებლები
მაღალი მასშტაბის რთული მოვლენა შენაკადიდან (მაღალი მოცულობის ხარჯის კომბინაციით ლეზირის ხეობიდან) დანალექი მასალის რემობილიზაცია /	შენაკადი მესტიაჭალას ხეობა. შესაძლოა ელექტროსადგურის სიახლოვეს	რამდენიმე 100,000 მ3-მდე (შესაძლოა 2019 წლის მოვლენის მასშტაბით)	EF2: 1 მოვლენა 1-30 წელიწადში	განხორციელებული მოდელირება (იხილეთ თავი 7.) ნაკადის სიჩქარე 8-11 მ/წმ ნაკადის სიმაღლე 4.0 – 7.05 მ

კასკადური პროცესი / ქანის ჩამოშლის შესაძლებლობა მურყვამის მყინვარის ქვემოთ				ნაკადის წნევა = 100 - 250 kN/m ²
„ღვარცოფული წყალმოვარდნა“ ლეხზირის ხეობიდან. მაღალი ხარჯი, დამოკიდებული საერთო მოცულობაზე და მცურავი ყინულის ოდენობაზე.	ლეხზირის ხეობის მონაკვეთი, შენაკადის პირთან 2019 წლის დანალექების მობილიზების პოტენციალი	რამდენიმე 100,000 მ ³ -მდე	EF2: 1 მოვლენა 1-30 წელიწადში	განხორციელებული მოდელირება (იხილეთ თავი 7.4.) მაკადის სიჩქარე 8-11 მ/წმ ნაკადის სიმაღლე 4.0 – 7.05 მ ნაკადის წნევა = 100 - 250 kN/m ²
ღვარცოფული ნაკადი	ჭალაათის ხეობა, მყინვარის ბოლო სადგურის გარშემო (მყინვარის პირის ჩრდილოეთით).	რამდენიმე 100,000 მ ³ -მდე მოცულობა თუ დალეკილი მოცულობები მობილიზდება მყინვარის უკანდახევის გამო და ქვე-გლაციალური წყლის გარღვევის გამო	მოსალოდნელი სიხშირე 11- 30 წელიწადში (EF2.2) ადგილობრივად უფრო მაღალი (EF2.3)	დიდი ალბათობით ზემოქმედებული ელექტროსადგური (მოდელირების გარეშე)
სხვადასხვა მოცულობის ქანების ჩამოშლა	ჭალაათის ხეობის გვერდები, მყინვარის ბოლო სადგურის და სხვ. გარშემო არსებულ პოზიციებზე	დამატებითი მასალა ღვარცოფული ნაკადის პროცესებში	წლიურად	დიდი ალბათობით ზემოქმედებული არ არის ელექტროსადგური (მოდელირების გარეშე)

ცხრილი. 10-4: გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენს ელექტროსადგურის და დაკავშირებული სტრუქტურების ადგილმდებარეობაზე.

10.2. გეოლოგიური რისკების მნიშვნელობა მესტიის მუნიციპალიტეტისთვის

მესტიაჭალას ხეობის გამოკვლეული წყალსაკრები მეტად მიმზიდველი და ხშირად მონახულებული რეკრეაციული ზონაა. გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების მდგომარეობა ასევე ეხება რეგიონის შესაბამის ორგანოებს (მესტიის მუნიციპალიტეტი) და ტურისტული ბრენდებისთვის და მოითხოვს განხილვას მუნიციპალური რისკის შეფასების კონტექსტში. ჯამში, ჩვენ მოვახდინეთ შემდეგი სცენარების და შედეგების დიფერენცირება:

გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები „1 ჯგუფის მოვლენებიდან“; აღნიშნული გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები მოიცავს ქანების ჩამოშლას, ადგილობრივი ქანების და თოვლის ზვავებს ან ღვარცოფულ ნაკადებს გვერდითი ჭებიდან, რომელმაც შესაძლოა გავლენა მოახდინოს საფეხმავლო ბილიკებზე. გვსურს ფოკუსირება მოვახდინოთ შემდეგ ლოკაციებზე:

- საფეხმავლო ბილიკი ჰესის სამშენებლო გზის გასწვრივ მესტიაჭალას ხეობის დასავლეთ გვერდზე. აღნიშნული გადის ქანების ჩამოშლისკენ მიდრეკილ ზონებში (M-D3, M-D4, M-D5 and M-D6),

- საფეხმავლო ბილიკები მესტიაჭალას ხეობის აღმოსავლეთ გვერდზე. აქ შესაძლოა ადგილი ჰქონდეს ქანების ჩამოშლას და სხვა მასების გადანაცვლებას. ქანების ჩამოშლის აქტივობა დაბალია დასავლეთ რკალთან შედარებით, მაგ. M-D9-ში პარკინგის და მომიჯნავე საფეხმავლო გზის გარშემო. დამატებით გვერდითი ჭები მიუთითებს თოვლის ზვავის აქტიურობას.
- საფეხმავლო ბილიკებზე ჭალათის ხეობის ჩრდილოეთ გვერდზე განმეორებით მოახდინა ზემოქმედება ჩამოცვენილმა ქანებმა და მნიშვნელოვანი ზომის ლოდებმა; გამოვლინდა რამდენიმე ახალი ბლოკი. საფრთხე წარმოიქმნება ჩამოცვენილი ბლოკებისგან, რომელიც წარმოიშობა ციცაბოზე და გაშიშვლებულ 1850 მორენებზე და ითვლება მაღალ რისკად.

გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები „2 ჯგუფის მოვლენებიდან“; მაღალი მასშტაბის მასების გრავიტაციული გადანაცვლების კატეგორიის მოვლენები შესაძლოა დაიწყოს მოულოდნელად, წინასწარი შეტყობინების გარეშე. ასეთი ინტენსივობის მოვლენებმა შესაძლოა გამოიწვიოს ინფრასტრუქტურის სერიოზული განადგურება, როგორცაა კიდული ხიდი ან ქვემოთ განთავსებული მტკნარი წყლის მილი. ასეთი ზიანი შესაძლოა დადგეს აღნიშნული პროცესის მოულოდნელი დაწყებით, ასევე გათვალისწინებული უნდა იყოს გაფრთხილების კონცეფცია და ხეობის ევაკუაცია.

11. მონიტორინგი

წინამდებარე ანგარიშში მკაფიოდ არის ასახული, რომ მესტიაჰალას წყალსაკრები არის ტერიტორია, სადაც სხვადასხვა გეოლოგიურმა, მორფოლოგიურმა და გლაციოლოგიურმა პროცესებმა, მეტეოროლოგიურ მოვლენებთან ერთად შესაძლოა შექმნას სხვადასხვა მასშტაბის და დადგომის ინტერვალების მქონე ბუნებრივი კატასტროფების ფართო ვარიაციები. ჩვენ წარმოვადგენთ აღნიშნული პროცესების შემდგომ ინსტრუმენტულ მონიტორინგს, შემდეგი მიზეზების გამო:

- ჩვენი მოკლე საველე ვიზიტების მონაცემების შემოწმება და დამოწმება და დისტანციური შეგროვება.
- კვლევა აქტიური რეგიონების და აქტიური პროცესების ხარისხის და რაოდენობის შესახებ .
- ინსტრუმენტებით აღჭურვა მონიტორინგისთვის შესაძლოა ბირთვული მნიშვნელობის იყოს მომავალი გაფრთხილების სისტემისთვის.
- შესაძლებელია ხელი შეუწყოს ზღვრების დადგენას მომავალი გაფრთხილების სისტემისთვის.

აღნიშნული ფაქტები და მიზეზები ართულებს მარტივი სისტემური გადაწყვეტისთვის მონიტორინგთან და/ან ადრეული გაფრთხილების სისტემებთან დაკავშირებით. კრიტიკული მნიშვნელობის შეკითხვები, რომელიც უნდა განისაზღვროს პირველ ეტაპზე, მოიცავს შემდეგს:

რა არის სისტემის ფუნქცია ან მიზანი? is	→	მაგ, მოვლენის გამოვლენა და მონაცემების შეგროვება.
რა პარამეტრები და მაჩვენებლები უნდა განისაზღვროს?	→	მაგ, გადაადგილებების ან მოცულობის დონე
სად უნდა განთავსდეს სისტემა?	→	მაგ. მოწყვეტის ან ტრანზიტის ზონა
რა ქმედებები არის გამიზნული?	→	მაგ. გაფრთხილება, სიგნალიზაცია ან შეზღუდული წვდომა.
ვინ მოახდენს სისტემის მართვას და ექსპლუატაციას?	→	მაგ. ადგილობრივი ან დისტანციური კონტროლი

აღნიშნულ მნიშვნელოვან შეკითხვებზე პასუხის გაცემის და შესაძლებლობების შეფასების მიზნით, საჭიროა ამ საკითხის განხილვა ყველა დაინტერესებულ პირთან. აქედან გამომდინარე შეკითხვაზე სრული პასუხის გაცემა შეუძლებელია ჩვენი ჯგუფის მიერ და შესაბამისად ეს თავი ფოკუსირებულია საერთო კონცეფციებზე და იდეებზე,

რომელიც შესაძლოა პოტენციური გადაწყვეტა იყოს მთლიანი წყალსაკრების გრძელვადიანი მონიტორინგისთვის.

11.1. ტექნიკური მოწყობილობები - უახლესი: InSAR

შენაკადი ხეობა წარმოადგენს მაღალ აქტიურ მეწყერულ ზონას, რომელიც დადასტურებული უნდა იყოს ასევე რეკონსტრუქციის სამუშაოების დროს, შესაძლო მომავალი სამეცნიერო კამპანიების დროს და შემდეგ. „2 ჯგუფის მოვლენებისთვის“, რომლის პრევენცია შეუძლებელია ტექნიკური (პასიური) დამცავი სტრუქტურებით, რეკომენდებულია მონიტორინგის სისტემები.

გაფრთხილების სისტემების ოფციონები შენაკადის ხეობაში მურყვამის მყინვარის ქვემოთ

2020 წლის 26 მარტის კონფერენციაზე, „ჰიდროდიაგნოსტიკის“ მხარდაჭერით შეფასდა და განხილულ იქნა არსებული მაღალი რისკის მდგომარეობა 2019 წლის მოწყვეტის ზონაში, ასევე ტექნიკური გაფრთხილების ზომები. BOKU, TRUMER და BBB საექსპერტო ცოდნის კომბინაციით ჩვენ გამოვყავით სხვადასხვა მიდგომები უსაფრთხოებასთან დაკავშირებით სამშენებლო სამუშაოების დროს და ყოველდღიური საქმიანობის დროს რისკის მიღების თვალსაზრისით.

ხელმისაწვდომია ქვემოთ ჩამოთვლილი ტექნიკური ზომები, თუმცა ისინი შედარებით ხარჯიანია და რთულია დაპროექტება და ადგილზე დამონატყება. განიხილება შემდეგი:

- სახმელეთო InSAR კვლევა (რადიოლოკაციური აგეგმვა)
- სატელიტური InSAR კვლევა (რადიოლოკაციური აგეგმვა))
- ლიდარული აგეგმვა (მოწყვეტის ზონის ხმელეთით ან დრონით ლაზერული სკანირების აგეგმვა).

აღნიშნულ სისტემებს აქვთ სხვადასხვა სიზუსტე და გამოყენებადობა, ასევე სხვადასხვა „პლუსი და მინუსი“, რომელიც შეჯამდა „ჰიდროდიაგნოსტიკის“ მიერ ცალკე.

შეთავაზებული სისტემა:

სახმელეთო InSAR. (= ჩვენი ჯგუფის რეკომენდაცია, ასევე შესაძლებელია სხვა სისტემები, რომელიც განხილული იქნა წინა შეხვედრებზე).

შეთავაზებული ადგილმდებარეობა და ექსპედიცია

10 დანართში ჩვენ წარმოვადგინეთ ორი სხვადასხვა პოზიცია სახმელეთო InSAR-თან დაკავშირებით. ორივე მათგანისთვის არსებითი მნიშვნელობა აქვს ვერტმფრენს. ჩრდილოეთ ადგილი მეტად საეჭვოა, ზემოქმედების და რთული წვდომის გამო, რადგან შესაძლოა რთული იყოს ვერტმფრენის დაჯდომა. სამხრეთ ადგილი უფრო შესაფერისია. გამოცდილი მთამსვლელები შეძლებენ ბანგურიანის მყინვარის გადაკვეთას და ადგილამდე ფეხით მისვლას, თუმცა ჩვენი გამოცდილებიდან გამომდინარე ჩვენი მკაცრი რეკომენდაციაა ვერტმფრენის გამოყენება, რადგან ამით შესაძლებელი იქნება დროის დაზოგვა და მოწყობილობის ტრანსპორტირება.

გაითვალისწინეთ, რომ ასევე სხვა ზონებიც არის გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების ქვეშ და საჭიროა საერთო ინფორმირებულობის ამაღლება.

11.2. საგუშაგო პოსტის მონიტორინგი და სიგნალიზაციის სისტემა

ყველაზე საიმედო და ხელსაყრელი თანამედროვე ავტომატური გაფრთხილების სისტემა შესაძლოა ვერ განხორციელდეს ხარჯების და დროის გამო. აქედან გამომდინარე შესაბამისი ალტერნატივა შესაძლოა იყოს კვლევა „მარტივი“ საგუშაგო სისტემით. ამ სისტემის განხორციელება შესაძლებელია სწრაფად და მარტივად და შესაძლებელია სამშენებლო სამუშაოების, საშიში ზონებში მომუშავე მუშახელის და ყოველდღიური საქმიანობების დაცვა.

11.2.1. კონცეფცია

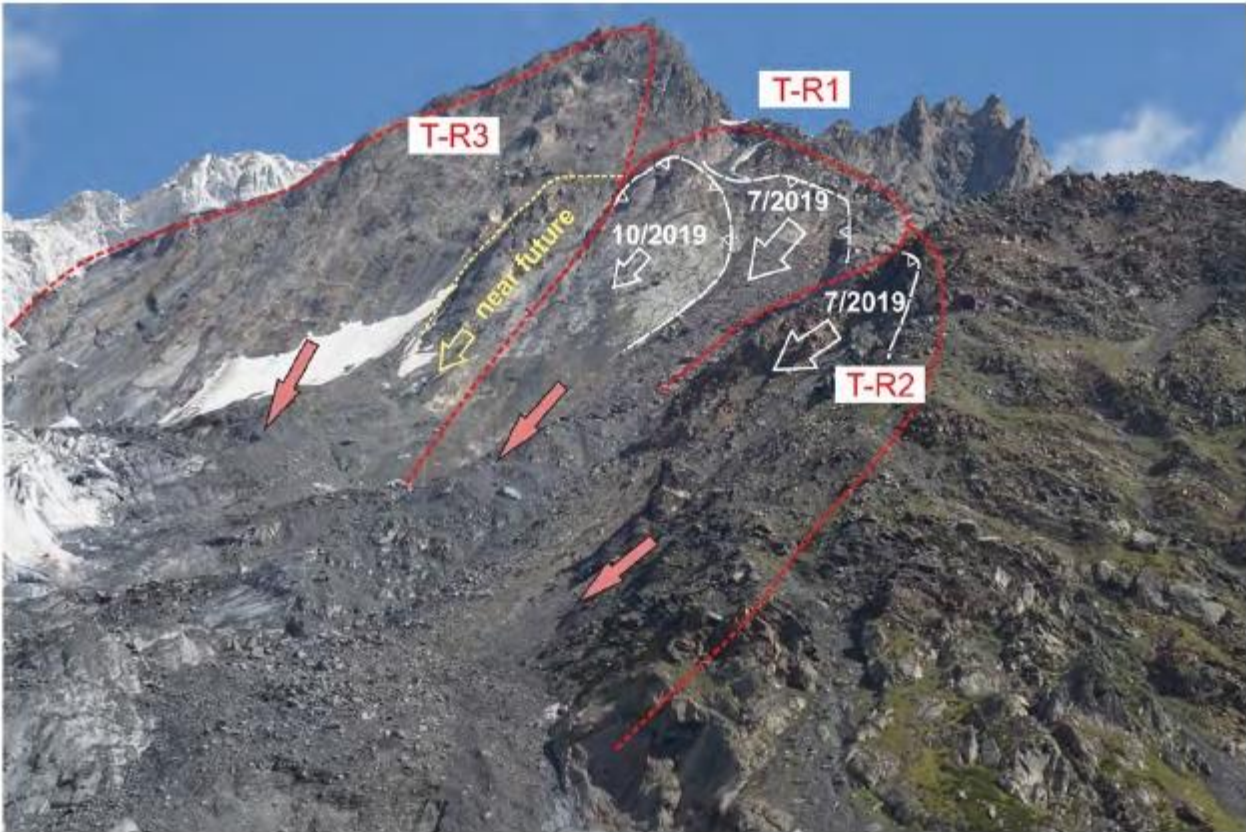
შეთავაზებული საგუშაგო მონიტორინგის და სიგნალიზაციის სისტემის მიზანია განსაზღვრული საშიში ზონის მუდმივი დაკვირვება, რომელი ზონაც ნაჩვენებია სურათზე 11-1 და სურათზე 11-2 შენაკადის ხეობაში, უსაფრთხოების დაცვით. 2019 წლის ივლისის და შემდგომი მთლიანი ჩამოშლა ასახულია 10 დანართში, ჩვენი ბოლო შეფასების შესაბამისად. ფართომასშტაბიანი მოვლენის აღმოჩენის შემთხვევაში, აღნიშნული დაცვა იქნება პასუხისმგებელი გადასცეს გაფრთხილება სამშენებლო ობიექტის უსაფრთხოების ხელმძღვანელს, პორტატული რადიო მოწყობილობით. უსაფრთხოების ხელმძღვანელი პასუხისმგებელი იქნება გააქტიუროს გაფრთხილების და შეფასების პროტოკოლი. ყველა მუშახელის, შიდა და გარეშე პერსონალის, რომელიც იმყოფება ობიექტზე, ეფექტური გაფრთხილების უზრუნველყოფის მიზნით, საჭიროა უსაფრთხოების ტექნიკის ინსტრუქტაჟი. ჩვენი რეკომენდაციაა აკუსტიკური გაფრთხილების სისტემის დამონტაჟება, როგორცაა სირენა, თითოეულ სამშენებლო ობიექტზე (ელექტროსადგური და წყალმიმღები), რომელიც შეიძლება გააქტიურდეს და

გაკონტროლდეს უსაფრთხოების ხელმძღვანელის მიერ. გარდა ამისა უნდა აგანისაზღვროს საევაკუაციო მარშრუტი შემადგენელ ადგილზე და ეცნობოს უსაფრთხოების ტექნიკის ინსტრუქტაჟის დროს. გარდა ამისა უსაფრთხოების ხელმძღვანელმა დაუყოვნებლივ უნდა აცნობოს მესტიის ადგილობრივ ხელისუფლებას აღმოჩენილი მოვლენის შესახებ.

საშიში ზონები, რომელიც საჭიროებს მონიტორინგს, ნაჩვენებია სურათზე 11-2. სამი მთავარი გამოყოფის ზონა (T-R1-3) მოიცავს იმ მოწყვეტის ზონებს, სადაც მოსალოდნელია მომავალი მოვლენები ფერდობიდან. წითელი ისარი აღნიშნავს ტრანზიტის ზონას, სადაც დიდი ალბათობით ცალკეული ქანების ჩამოშლის მოვლენები იქნება ხილული და შესაძლებელი იქნება შეტყობინება უფრო დიდი მასშტაბის მოვლენის დადგომამდე. აქედან გამომდინარე საშიშ ზონებზე 1-3 დაკვირვება უნდა მოხდეს ტელესკოპით ან ბინოკლით საგუშაგო პუნქტიდან დღის განმავლობაში. გარდა ამისა მცირე შემთხვევები, როგორცაა ცალკეული ქანების ცვენა ან მტვრის ღრუბლები, რომელიც ჩნდება საშიში ზონაში ან შენაკადის ხეობის სხვა მონაკვეთებში, დოკუმენტურად უნდა იქნას დამოწმებული მოვლენის დოკუმენტაციაში, რომელიც წარმოდგენილია 10 დანართში.



სურ 11-1: ფოტო, სადაც ასახულია საერთო საშიში ზონის ხედი დაკვირვებისთვის. ასევე იხილეთ სურათი 8-15 მთლიანი ზონისთვის.



სურ 11-2: ფოტოზე ასახულია სამი მთავარი გაშვების (მოწყვეტის) ზონა (T-R1, T-R2, T-R3) სადაც მოსალოდნელია მომავალი მოვლენების დადგომა. ფოტო გადაღებულია 2019 წლის აგვისტოში. ჩვენ მივუთითეთ 2019 წლის ივლისის გამოყოფის ზონა. 2019 წლის ოქტომბრის ახალგზარდა მოწყვეტის ზონა ასევე ასახულია, ასევე პოტენციური მომდევნო საშუალო - დიდი მოვლენა (10.000s m3-მდე).

11.2.2. საგუმზაგო პოზიციები და სამუშაო

აღნიშნული კონცეფციის საბაზო იდეა არის მუდმივი საგუმზაგო პუნქტის მოწყობა შენაკადის ხეობის ქვედა ნაწილში ლოკაციაზე, რომელიც ნაჩვენებია სურათზე 11-3. ამ პოზიციიდან საშიში ზონა ჩანს და მოვლენის შემთხვევაში საგუმზაგო პუნქტის ადგილმდებარეობა შეიძლება ჩაითვალოს უსაფრთხო ადგილად 2019 წლის მოვლენის ხილული მტკიცებულებების საფუძველზე. მესტიაჭალას ხეობაში სამშენებლო ობიექტის დღის სამუშაოების დროს ან ნებისმიერ ადგილზე, სადაც ელექტროსადგური 1-ს და საშიშ ზონას შორის მუშაობს ადგილობრივი თუ უცხოელი პერსონალი, საგუმზაგო პოსტზე სამუშაოდ უნდა შეირჩეს პირი, რომელსაც გავლილი ექნება ტრენინგი და ინსტრუქტაჟი.



სურ. 11-3: ფოტოზე ასახულია საგუშაგო პოსტის შეთავაზებული ადგილი (ყვითელი სამკუთხედი).

11.2.3. შემუშავების დრო

„მესტიაჭალა ჰესის საველე კვლევის, საფრთხის ანალიზის და შერბილების კონცეფციის“ შესახებ ჩვენი კონტრაქტის ფარგლებში, BOKU უნივერსიტეტმა ვენაში განახორციელა 2019 წლის მოვლენის კომპიუტერული მოდელირება (იხილეთ თავი 7). ჩვენ აღნიშნული მოვლენა განვიხილეთ, როგორც ჩვენი საპროექტო მოვლენა მონიტორინგის და გაფრთხილების სისტემისთვის, რომელიც განაპირობებს შემდეგ შედეგებს, რომლებიც წარმოადგენს უკუგამოთვლილ ფორმას 2019 წლის მოვლენასთან დაკავშირებით.

- ნაკადის სიჩქარე აღწევს მაჩვენებლებს, რომელიც აღემატება $v = 27 \text{ m/s}$, საშუალო სიჩქარე დაახლოებით შეადგენს 60 კმ/სთ-ს .
- ქანის მასის მოცულობა დაახლოებით შეადგენდა $1,600,000 \text{ m}^3$
- ტრანზიტის დრო მოწყვეტიდან შეთავაზებულ საგუშაგო პოსტამდე შეადგენდა $t = 200$ წმ-ს.
- ტრანზიტის დრო მოწყვეტიდან წყალმიმღებამდე შეადგენდა $t = 240$ წმ-ს.

მოდელირება განხორციელდა 12.5 m ციფრული მოდელის საფუძველზე.

მოდელირების შედეგების საფუძველზე ცხადი გახდა, რომ მოზადების დრო ძალიან მოკლეა. თუ შევაფასებთ, რომ უსაფრთხოების დაცვა შეატყობინებს მოვლენის შესახებ 30 წამის განმავლობაში მოწყვეტიდან და გაფრთხილებას გაუგზავნის უსაფრთხოების ხელმძღვანელს, წყალმიმღები 1-ის ადგილზე / ელექტროსადგურზე ეფექტური გაფრთხილებისა და ევაკუაციისთვის დარჩება 2-3 წუთი.

10 დანართში ჩვენ წარმოვადგინეთ საგუშაგო დაცვის მიერ მითითებული მოვლენების დოკუმენტაციის ფურცელი. დამატებით ასევე საჭიროა სხვა მონაცემების აღრიცხვა, თუ შესაძლებელია, მაგ ქანების ჩამოშლის შესახებ მეზობელი ფერდობებიდან შენაკადის ხეობის გასწვრივ ან მესტიაჰალას ხეობის მოპირდაპირე მხრიდან. სიგნალიზაციის სისტემა რეკომენდებულია უსაფრთხოების გაუმჯობესების მიზნით რეკონსტრუქციასთან დაკავშირებით!

11.3. წლიური შემოწმებები ინსპირირებული ONR 24810 სახელმძღვანელოს საფუძველზე

2019 წლის და 2020 წლის საველე კვლევებმა მკაფიოდ გამოავლინა ფაქტობრივი მდგომარეობა წყალსაკრებში. თუმცა შესაძლებელია მხოლოდ არსებული საფრთხეების კადრების წარმოდგენა. ცხადია მთლიანი წყალსაკრები ექვემდებარება მაღალ დინამიურ ცვლილებებს, რომელიც შეიძლება გამოვლინდეს მხოლოდ უწყვეტი მონიტორინგით. აქედან გამომდინარე ჩვენ საგუშაგო სიგნალიზაციის სისტემის გარდა გთავაზობთ წყალსაკრების წლიური მონიტორინგის პროცედურას, რომელიც ასევე გათვალისწინებულია ავსტრიის სტანდარტებში ONR 24810. წლიური დაკვირვებიდან მოპოვებული შედეგები შეიძლება შედარდეს 2019 და 2020 წლების საველე კამპანიებიდან მიღებულ სათანადო საბაზო მონაცემებს.

11.3.1. დისტანციურად ზონდირებული ცვლილების გამოვლენის მაგალითები

სატელიტური დისტანციური მონიტორინგის მეთოდები: სატელიტურ გამოსახულებაზე, რომელიც მიღებულია 2019 წლის მოვლენამდე, ჩვენი ექსპერტების მიერ გამოვლენილი იქნა რამდენიმე მცირე მოვლენა. აღნიშნული მოვლენები შესაძლოა აღიარებული იქნას უფრო მასშტაბური მოვლენის ნიშნებად, რადგან ხშირ შემთხვევაში მცირე მოვლენების მზარდი აქტიურობა შესაძლოა მიუთითებდეს უფრო ფართო მასების გრავიტაციული გადაწველების პროცესების დასაწყისს მოწყვეტის ან გამოყოფის ზონებში.

ანალოგიური გზით, წლიური შემოწმების დროს გამოვლენილი ახალი მოწყვეტის ზონები ან მცირე-საშუალომოცულობით ქანების ჩამოშლა და ღვარცოფული ნაკადი წარმოადგენს უფრო მასშტაბური მოვლენის განვითარების დამადასტურებელ საბუთს. წყალსაკრებში აღნიშნული ცვლილებების მონიტორინგი შესაძლებელია სატელიტური

გამოსახულებების წლიურად განხორციელებული დისტანციური კვლევით. 2020 წლის ანგარიშში „ჰიდროდიაგნოსტიკამ“ წარმოადგინა მსგავსი ტექნიკური გადაწყვეტები, როგორცაა სატელიტური InSAR (რადარი) ანალიზი (ასევე იხილეთ თავი 11.1). ასევე შესაძლებელია სხვა სატელიტური დისტანციური მონიტორინგის მეთოდები.

კონკრეტული ზონები, რომელიც მოითხოვს მაღალი გარჩევადობის ცვლილების მიმართულებას, განახლებული სატელიტური გამოსახულების საფუძველზე, მოიცავს შემდეგს:

- მოწყვეტის ზონა მურყვამის მყინვარის ქვემოთ (T-R1 – T-R6);
- ლეხზირის მყინვარის ფრონტი - სედიმენტებით შევსებული ხეობა წყალსაკრებში M-df6 (მასშტაბური ღვარცოფული ნაკადების საფრთხე).
- ჭალათის ხეობა და მყინვარის ფრონტი.
- მესტიაჭალას ხეობის დასავლეთ გვერდი (დალრაკორას მასივი), მათ შორის M-R3b, M-R5b, M-R5a და M-R6.

UAS ფოტოგრამეტრია: კონკრეტული საშიშ ზონების ცვლილების მიმართულება უნდა აღირიცხოს UAS ფოტოგრამეტრიის გამოყენებით. მარტივი ინდივიდუალური შემოწმების გარდა, დრონის ვიდეომასალა (4k video) შეიძლება ტრანსფორმირდეს ქანის მოწყვეტის 3D ფოტოგრამეტრიულ მოდელში. აღნიშნული დაკავშირებული უნდა იყოს გეოდეზიური კვლევის მონაცემებთან, რაც გააუმჯობესებს სიზუსტეს. ეს მოდელი ხელს უწყობს გეოლოგიური თვისებების ანალიზს, როგორცაა ბზარების სერიები, ცვენა და სხვა და შესაბამისად ბლოკის ზომების განსაზღვრას. პერიოდულად დრონის გამოყენებით (მაგ. წლიურად) შესაძლებელია გამოითვალოს მოწყვეტების გააქტიურება და გამოვლინდეს მაღალი დეფორმაციის ზონები, ამ სახით შესაძლებელია განახლდეს საფრთხის შეფასება და გაიცეს გაფრთხილებები.

UAS კვლევის საშიშნე ზონებია მაგალითად გამოყოფის ზონები T-R3b და T-Ra და 5b. კვლევა შეიძლება ჩატარდეს ყოველწლიურად ადგილზე სავსე შემოწმებების დროს (იხილეთ 11.3.2).

11.3.2. ადგილზე წლიური დაკვირვება

დისტანციური მონიტორინგის საფუძველზე წლიურად შესრულებული კვლევების გარდა ჩვენ გთავაზობთ სავსე დაკვირვებას ექსპერტთა ჯგუფის მიერ. ჯგუფის შემადგენლობაში უნდა შედიოდნენ კვალიფიციური ექსპერტები, რომელთაც გააჩნიათ ადგილობრივი ცოდნა და ინფორმაცია მთლიანი წყალსაკრების მოვლენის ისტორიის შესახებ (მინიმუმ გეოლოგი და გეომორფოლოგი).

12. შერბილების ზომების ეფექტურობის და განხორციელებადობის განხილვა

ამ თავში ჩვენ წარმოვადგინეთ რისკის შერბილების ძირითადი მოსაზრებები ამ კვლევის ახალი შედეგების გათვალისწინებით. არსებითად საფრთხის პოტენციური და შესაბამისად ჰესის სტრუქტურებთან დაკავშირებული რისკები უნდა ჩაითვალოს მაღალ რისკებად და მოსალოდნელია სხვადასხვა მასშტაბის მოვლენების დაადგომა მომავალ წლებში და ათწლეულებში. ჩვენი მოდელირების და სიმულირების შედეგები ასახავს სხვადასხვა ტიპის მოვლენების შესაძლო ზემოქმედებებს, რომელიც ამარტივებს რისკის შეფასებას, გადაწყვეტილების მიღებას და ტექნიკური შერბილების კონცეფციების ტექნიკურ-ეკონომიკურ კვლევას რისკის მართვის პროცესში.

შენიშვნა: თუმცა რისკის შერბილების დაგეგმვა, და კერძოდ სხვადასხვა ტექნიკური დაცვის სტრატეგიების განხორციელება მოითხოვს დამატებით სიღრმისეულ კვლევებს საფრთხის მასშტაბების და ინტენსიურობის შესახებ ჰესის სხვადასხვა ობიექტზე (როგორცაა წყალმიმღები 1 (ახალი პოზიცია), ზვავისგან დამცავი გალერეა, ჰესი 1 ელექტროსადგური), რომლებიც ექვემდებარება საფრთხის სხვადასხვა სცენარებს. არსებული მონაცემების, ასევე წინა თავებში განხილული შეზღუდვების გათვალისწინებით, კვლავ რჩება საფრთხის სხვადასხვა სცენარების გაურკვევლობები. აქედან გამომდინარე ჩვენი რეკომენდაციები არ შეიძლება ჩაითვალოს ზუსტ ინსტრუქციებად, თუ როგორ უნდა მოხდეს რისკის ქვეშ მყოფი ინდივიდუალური ელემენტების დაცვა, და ვერ უზრუნველყოფს ინდივიდუალური დამცავი სტრუქტურების სამშენებლო პროექტის ძირითად პრინციპებს. აღნიშნულისგან განსხვავებით, შედეგები ხელს უწყობს გადაწყვეტილების მიღებას სხვადასხვა შერბილების კონცეფციების შესაძლებლობების (და საჭიროებების) შესახებ და აქედან გამომდინარე წარმოადგენს საწყის წერტილს შერბილების პროექტის სიღრმისეული კვლევების ჩატარებისთვის.

12.1. ტექნიკური შერბილების ზომები და კონცენფციები

შერბილების ყოვლისმომცველი გეგმა იწყება ოპტიმალური ლოკაციების შერჩევით, ე.ი. შენობის შერჩევა შეძლებისდაგვარად გეოლოგიური რისკ-ფაქტორებისგან მიუწვდომელ ადგილზე (ახალი წყალმიმღების პოზიციის შერჩევა) და უწყვეტი „მონიტორინგი“ გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების შესახებ ცოდნის განახლების და მომავალი მოვლენების შესახებ საფრთხილების მიზნით (იხილეთ თავი 11). საბოლოოდ სტრუქტურული ზომები უზრუნველყოფს მასების გადანაცვლების და/ან ზემოქმედების შერბილების პრევენციას. ჰესი 1-ის სტრუქტურებთან დაკავშირებით გათვალისწინებული უნდა იყოს შემდეგი ზომები.

12.1.1. ქანების ჩამოშლისგან დაცვა

როგორც აღწერილია მე-8 თავში რამდენიმე ზონა, რომელიც მიდრეკილია ქანების ჩამოშლისკენ, წარმოადგენს მუდმივ საფრთხეს ელექტროსადგურის ინფრასტრუქტურისთვის და მომუშავე პერსონალისთვის. კერძოდ აღნიშნული ზონები მოიცავს M-D3, M-D4, ასევე M-D6. საველე კვლევებიდან და მონაცემთა შეგროვებიდან შესაძლებელია დასკვნის გამოტანა, რომ აღნიშნულ ზონებში ხშირად აქვს ადგილი ქანების ჩამოშლას (EF3, ONR 24810 შესაბამისად). საველე კვლევების დროს მოპოვებული მონაცემებით განხორციელდა ქანების ჩამოშლის მოდელირებები, რითაც ხაზი გაესვა მოქმედების საჭიროებას. გარდა ამისა ქანების ჩამოშლის მოდელირებით მოხდა ქანების ჩამოშლისგან დამცავის ბარიერის ეფექტურობის ვიზუალიზაცია. მიუხედავად ამისა ნებისმიერი მოდელირებამ შესაძლოა წარმოადგინოს მეტი ან ნაკლებ ფარგლებში არსებული რეალობის და გაურკვევლობების მხოლოდ გამარტივებული მოდელი. როგორც ანგარიშის დასაწყისშია განხილული, ძირითადი ციფრული მოდელი წარმოადგენს კონკრეტულ გაურკვევლობებს და შესაბამისად შედეგები სიფრთხილით უნდა იქნას ინტერპრეტირებული.

ახალი წყალმიმღები 1-ის სტრუქტურის სამშენებლო ფაზის განმავლობაში თანამშრომლებს ექმნებათ ქანების ჩამოშლის საფრთხე M-D6-დან. აქედან გამომდინარე არსებითი მნიშვნელობა არ აქვს წყალმიმღები სტრუქტურის დაცვას, არამედ ასევე რისკიან ზონებში მომუშავე პერსონალის დაცვას. ქანების ჩამოშლისგან დამცავი ბარიერის მოწყობა M-D6-თან უნდა დასრულდეს ახალი წყალმიმღები 1-ის სტრუქტურის მშენებლობამდე. ტექნიკური ქანების ჩამოშლისგან დამცავი ზღუდეების მაგალითები ნაჩვენებია სურათზე 12-1 და სურათზე 12-2. იმ შემთხვევაში, თუ ჩამოშლილი მასა დაეჯახება ახალი წყალმიმღები 1-ის სტრუქტურას ან სადაწნეო მილსადენს, უზრუნველყოფილი აღარ იქნება ელექტროსადგურის მუშაობა. შესაბამისად დამცავი სტრუქტურის გაუმართაობა დაკავშირებულია მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ზარალთან.

ONR 24810 შესაბამისად, აღნიშნული „მაღალი ეკონომიკური შედეგები“ მოითხოვს კლასიფიკაციას შედეგის კლასის 3 სახით (მწვავე, CC3). CC3 კონცეფციის დამოწმებისთვის, გამოყენებული უნდა იქნას უსაფრთხოების ფაქტორი 1.15. როგორც დატვირთვისთვის, ასევე წინაღობისთვის. ამ კონცეფციის შესაბამისად ჩვენ გთავაზობთ ტექნიკური ქანების ჩამოშლისგან დამცავი ზღუდეებს მინიმუმ 2,000 kJ წინააღობით ორივე საშიში ზონისთვის (მაგალითად “TSV-2000 ZD H4”, იხილეთ სურათი 12-3 და სურათი 12-4). სისტემამ უნდა გამოიყენოს ფოლადის კომპონენტები და ფოლადის მავთულის ტროსები, რომელიც დამზადებულია მაღალი ხარისხის მასალისგან, მაქსიმალურად მკაცრი ხარისხის უზრუნველყოფის პროგრამის შესაბამისად. სისტემა უნდა შემოწმდეს და სერტიფიცირდეს ETAG 27 მიხედვით, ევროპის ტექნიკური

ატესტაციის ETA-14/0357 შესაბამისად. შესაბამისი სისტემის დამახასიათებელი მაჩვენებლები შეჯამებულია ცხრილში 12.1. ზუსტი ლოკაცია, სამუშაო სიმაღლე, ასევე გამაგრება უნდა განისაზღვროს მომდევნო ეტაპზე. ლოკაციაზე M-D6 გათვალისწინებული უნდა იყოს დამატებითი დატვირთვა ჩამოზვავებული თოვლისგან. ზამთრის განმავლობაში ბარიერი ამოივსება თოვლით, რომელიც ზეწოლას ახდენს აღნიშნულ პოსტებზე, იწვევს გარღვევის ელემენტების გააქტიურებას და გააფართოებს დეფორმირებად ქსელს, თუ სწორად არ იქნება გაზომილი. შესაბამისად გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს გახანგრძლივების მიზეზებს, აღნიშნული დატვირთვის გათვალისწინებისთვის. შესაბამისი სისტემის ზოგი დამახასიათებელი მაჩვენებლები თოვლის დატვირთვის შესახებ, შეჯამებულია ცხრილში 12-2.



სურ. 12-1: ტექნიკური ჩამოშლისგან დამცავი ზღუდე (2,000 kJ) კაშხლის ნაპირზე. სურათი 12-2: ტექნიკური ჩამოშლისგან დამცავი ზღუდე (2,000 kJ) ბუნებრივ ფერდობზე.

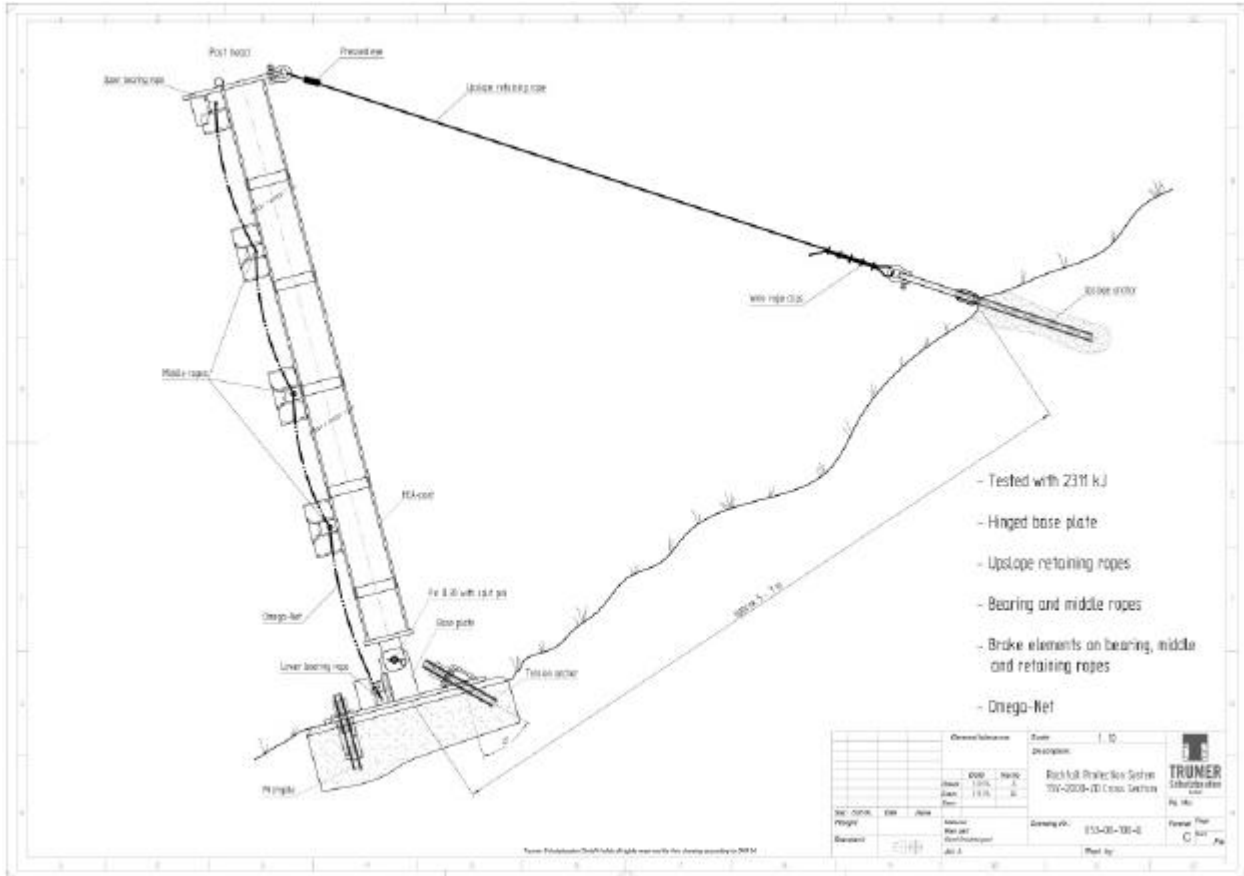
ცხრილი. 12-1: TSV-2000 ZD H4 დამახასიათებელი მაჩვენებლები

მოდელი	TSV-2000-ZD h4
სტილი	კიდული სისტემა
ენერჯის კლასი	5
მაქსიმალური ენერჯის დონე (სერტიფიცირებული)	2,000 kJ
დამტკიცებული სიმაღლეები	4.0 - 5.0 m
კოლონის ინტერვალი	მაქს. 10 m
სერტიფიკაცია	ETAG 27 სერტიფიცირებული
მაქსიმალური გაგრძელება	5.83 m
ნარჩენი სიმაღლის კლასი	A (> 50 %)

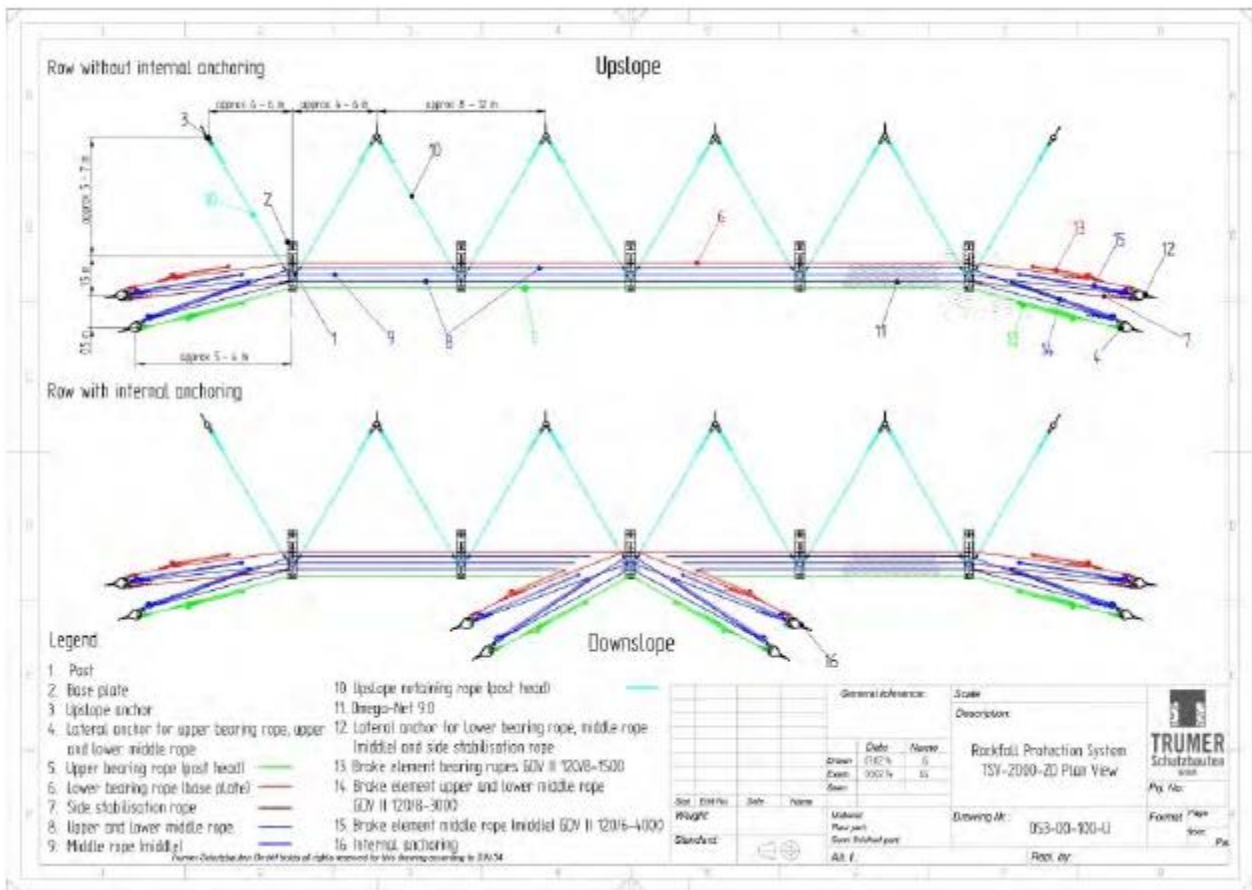
ცხრილი. 12-2: TSV-2000 ZD H4 დამახასიათებელი მაჩვენებლები პლუს დამატებითი თოვლის დატვირთვის განზომილება

მოდელი	TSV-2000-ZD h4+S
სტილი	კიდული სისტემა
ენერჯის კლასი	5
მაქსიმალური ენერჯის დონე (სერტიფიცირებული)	2,000 kJ

დამტკიცებული სიმაღლეები	4.0 - 5.0 m
კოლონის ინტერვალი	მაქს 8 m
სერტიფიკაცია	ETAG 27 სერტიფიცირებული
მაქსიმალური გაგრძელება	5.83 m
ნარჩენი სიმაღლის კლასი	A (> 50 %)



სურ. 12-3: TSV-2000 ZD H4 განივ-კვეთი



სურ. 12-4: TSV-2000 ZD H4 ხედი

12.1.2. დაცვა დიდი ან ძალიან დიდი მოცულობით ქანების ჩამოშლისგან

ქანების ჩამოშლისკენ მიდრეკილი ზონები, რომელიც პირდაპირ გავლენას ახდენს ჰესი 1-ზე, მდებარეობს მესტიაჟალას ხეობის ფერსოსთან (მაგ M-R3b, M-R5a და 5b, M-R6). მცირე ან საშუალო მოვლენების დადგომა და მისი შესაძლო კონტროლოები განხილულია წინა თავებში. თუმცა გათვალისწინებული უნდა იქნას უფრო მასშტაბური დღევანდები (დიდი ან ძალიან დიდი მოცულობით ქანების ჩამოშლა ან ჩამოცვენა) ჩვენი საფრთხის შეფასების შედეგების შესაბამისად. აღნიშნული დაკავშირებული იყო 1-30 წელიწადში დადგომის ალბათობასთან. ზემოქმედება აღწერილია თავში 8.2.2.2.

გამოყოფის ზონები M-R3b და M-R5b საკმაოდ ფართოა და მდებარეობს ხეობის ძირიდან მაღლა. ტექნიკური გამაგრების ზომები მეტად რთული შესასრულებელია, თუმცა საჭიროა საფრთხეების დარეგულირება. მინიმალური მოთხოვნაა გათვალისწინებული იქნას ზომების ქვემოთ მითითებული კომბინაცია.

ყველა კრიტიკული მოწყვეტის ზონის მონიტორინგი / კვლევა (იხილეთ თავი 11.3):

- უწყვეტი დისტანციური ზონდირება აქტიურობის და ახალი არასტაბილურობების გამოვლენის ცვლილებასთან დაკავშირებით.

- მოწყვეტის ზონების UAS ფოტოგრამეტრია და თუ შესაძლებელია ავტომატური ზზარების მზომების დამონტაჟება.

შესაძლო სტრუქტურული დაცვის ზომები:

- დიდი მოცულობით ქანების ჩამოშლის ზემოქმედება M-D3 გალერეას ზემოთ (ჩამოშლა M-R3b-დან): გალერეას დაცვა **დამცავი გრუნტის სიზრქით**, რომელიც ამცირებს ჩამოცვენილი ქანის მასების დარტყმის / შეჯახების ენერგიას (დემპირება). შესაძლებელია პოტენციური ზიანის შემცირება გალერეაზე.

- დიდი მოცულობით ქანების ჩამოშლის ზემოქმედება M-D5 (ჩამოშლა M-R5a და 5b)-დან: გამოსვლის ზონა არის ტყიანი ნარიყის კონუსი, რომელიც დაიჭერს ჩამოცვენილი და ჩამოშლილი ქანის მასებს. უსაფრთხოება შეიძლება გაიზარდოს **ზღუდის მოწყობით** M-D4-ს მსგავსად, რომელიც მოითხოვს ქანის მასების ქცევის მოდელირებას.

12.1.3. ღვარცოფული ნაკადისგან და ღვარცოფული წყალმოვარდნისგან დაცვა

როგორც წინამდებარე ანგარიშის მე-7 თავშია ნაჩვენები, ღვარცოფული ნაკადის ეფექტები და დაკავშირებული პროცესები ჰესი 1-ის ინფრასტრუქტურასთან დაკავშირებით ითვლება მნიშვნელოვნად. ქვემოთ თავში ფოკუსი კეთდება მესტიაჭალას ხეობის გასწვრივ განთავსებულ ობიექტებზე.

ახალი წყალმიმღები 1 მოითხოვს არა მხოლოდ კარგად შერჩეულ პოზიციას ქანების ჩამოშლის ან ღვარცოფული ნაკადების გამოსვლის ზონების შესახებ, არამედ ასევე მდგრად საპროექტო კონცეფციას. გათვალისწინებული უნდა იყოს სისტემები, როგორცაა ტიროლური კაშხლის ტიპის წყალმიმღები. გარდა ამისა ფსკერული ნარიყის უსაფრთხოების ბადეები გაზრდის წყალმიმღების უსაფრთხოებას. შესაძლო ლოკაციები იშვიათია თუმცა ჩრდილოეთით ლეხზირის ვიწრო ხეობის მონაკვეთის გამოკლებით.

სადაწნეო მილსადენი დიდი საფრთხის ქვეშ დგას გვერდითი ნაპირის ეროზიის გამო ზვავისგან დამცავი გალერეას ჩრდილოეთით და დაცული უნდა იყოს გრძივი ბლოკის კედლით (გალერეას გასწვრივ უკვე აგებულთან შედარებით) ან რკინაბეტონის კედლით, რომელიც დამატებით აღჭურვილია პოტენციური მაღალი დარტყმის ძალების ზონებში, რომლებიც დარეგულირებულია დარტყმის ძალების და ნაკადის სიმაღლეების შესაბამისად. ნებისმიერ შემთხვევაში, უნდა მოხდეს არხის შემდგომი დახრილობის პრევენცია, რადგან ეს ახდენს გვერდითი ნაპირის დესტაბილიზაციას, რომელიც გამოიწვევს სადაწნეო მილსადენის შემდგომ ეროზიას.

ანალოგიურად, ნაკადის მონაკვეთი გალერეას გასწვრივ დაცული უნდა იყოს იმგვარად რომ მოხდეს გალერეას ფუნდამენტის გამორეცხვის პრევენცია. საველე კვლევის დროს არსებული გრძივი ბლოკის კედელი ზედაპირულად შეფასდა. შეთავაზებული შერბილების ზომები ფოკუსირებული უნდა იყოს აღნიშნული სტრუქტურის სტაბილურობის ხელახლა შეფასებაზე ნაკადის შეფასებული ზემოქმედების (წნევა, ნაკადის სიმაღლე და სიჩქარე) გათვალისწინებით. გარდა ამისა უნდა მოხდეს არხის კალაპოტის კონსოლიდაცია იმგვარად, რომ შესაძლებელი იყოს შემდგომი გვერდითი დახრილობის პრევენცია რომელიც საბოლოოდ იწვევს გვერდითი ბლოკის კედლის დესტაბილიზაციას. შეთავაზებული ზომები მოიცავს **ქვედა სარტყელებს** და არხის დამატებით გამაგრებებს ფოკუსირებული წერტილების შექმნის მიზნით გრძივ პროფილში, შესაბამისი ზომის ბუნებრივი ბლოკებით (რომელიც დარეგულირებულია ნაკადის სიჩქარის და ეროზიის პოტენციალის მიხედვით) ან ბეტონით.

ანალოგიურად, უნდა შეფასდეს ქვედა არხის მონაკვეთები კიდულ ხიდსა და კაშხალს შორის ჰესი 1-ის გვერდით, გრძივი ბლოკის კედლის შესაძლო დესტაბილიზაციასთან დაკავშირებით, ასევე უნდა შეფასდეს მოდელირების შედეგები, რომელიც მიუთითებს მნიშვნელოვან ნაკადის სიმაღლეებს, ნაკადის სიჩქარეებს და ასევე წნევას. არხის დახრილობიდან ან გვერდითი არხის აწევიდან გამომდინარე, რომელიც გამოწვეულია ფერდობის შემცირებით, ეფექტები შესაძლოა გახდეს პრობლემა ელექტროსადგურისთვის. კაშხალი და წყალმიმღები ქვიშასაჭერთან დიდი ალბათობით განადგურდება, რადგან შეუძლებელია მათი დაცვა ქანების ჩამოშლის მასშტაბური მოვლენის ზემოქმედებისგან. სედიმენტების შეკავება სათადარიგო/შემაკავებელი რეზერვუარით ან სედიმენტების დოზირება კაშხლების შემოწმებით შესაძლოა გახდეს აღნიშნული ზემოქმედებების შემცირების შესაძლებლობა და ასეთი კონსტრუქციებისთვის შესაფერისი ზონები მდებარეობს არხის მონაკვეთში წყალმიმღები 1-ს და კიდული ხიდს შორის.

ჭალათის ხეობიდან შესაძლო საფრთხეები ელექტროსადგურისა და ჭალათის წყალმიმღებისთვის დაკავშირებულია დაბალი სიხშირის, თუმცა მაღალი მასშტაბის ქანების ღვარცოფული ნაკადის მოვლენებთან. ზოგადად რეკომენდებულია **მდინარის კალაპოტის შეცვლა** ჭალათის წყალმიმღებსა და მდინარე მესტიაჭალას შესართავს შორის იმგვარად, რომ მიღწეული იყოს არსებული მთავარი ხაზის ყრუ კუთხე და გვერდითი მარცხენა ნაპირი (დაცული ბლოკის კედლით) ჰიდრავლიკურად უფრო დაბალანსებული გახდება.

13. პერსპექტივა

როგორც ზემოთ აღინიშნა, გამოკვლევულ ზონაში წარმოდგენილია სხვადასხვა გეოლოგიური რისკ-ფაქტორები და რისკის დონე მნიშვნელოვნად მაღალია. შერბილების და შესაბამისად ჰესის რეაბილიტაციის ტექნიკურ-ეკონომიკური განხორციელებადობა დამოკიდებულია რისკის შეფასებაზე და საბოლოოდ რისკის მიღებაზე GRPC-ს, ინვესტორების და ორგანოების მიერ.

ჰესი 1-ის რეაბილიტაციის შესახებ გადაწყვეტილების მიღების შემთხვევაში, აუცილებელია რისკის ყოვლისმომცველი შეფასება უსაფრთხოების ზომებთან დაკავშირებით ინვესტიციების მოცულობის დადასტურების მიზნით. წინამდებარე ანგარიშში მოცემულია წინასწარი გეომეცნიერული მონაცემთა ბაზა, რომელშიც ჩვენ ასევე მივუთითეთ შესაძლო ტექნიკური შერბილების ზომები, რომელიც სავაუდოდ არსებითად გაზრდის სტრუქტურების და ჰესის ექსპლუატაციის და პერსონალის უსაფრთხოების დაცვის დონეს. აღნიშნული მოიცავს შემდეგს:

- ქანების ჩამოშლისგან დაცვა მაღალი სიხშირის „1 ჯგუფის მოვლენების“ მიხედვით (თავი 12.1.1)
- ეროზიისგან დაცვა ღვარცოფული ნაკადის / ღვარცოფული წყალმოვარდნის „2 ჯგუფის მოვლენების“ მიხედვით (თავი 12.1.3)
- მოთხოვნები მონიტორინგთან და რეგულარულ კონტროლთან, ასევე დამატებით ექსპლორაციასთან დაკავშირებით (მაგ. თავი 11).
- რეკომენდაციები უსაფრთხოებასთან დაკავშირებით რეკონსტრუქციის დროს საგუშაგოს მონიტორინგის გზით.

მეტი რეგიონული დეტალური და შემოწმებული მონაცემების მოპოვების მიზნით არსებითი მნიშვნელობა აქვს უწყვეტი მონიტორინგის პროგრამას. ეს ხელს შეუწყობს დაცვის ზომების ეკონომიკურ დაგეგმვას, თუმცა მნიშვნელოვანი იქნება ასევე (აღრეული) გაფრთხილების სისტემების დაპროექტებისა და ექსპლუატაციისთვის.

მიუხედავად ამისა, რისკის დონე მაღალი რჩება რადგან შესაძლებელია ისეთი მასშტაბური მოვლენები განმეორებადობა, როგორც იყო 2019 წლის კატასტროფა, აღნიშნულთან დაკავშირებით ჩვენ მივუთითეთ 30 წლიანი განმეორების პერიოდი, ასევე შესაძლო ფიზიკური ზემოქმედება (ნაკადის სიმაღლეების და სხვა). ასევე შესაძლოა გამოვლინდეს „2 ჯგუფის მოვლენების“ სხვა წყაროები, მაგ. ახალია ქტიური ღვარცოფული ნაკადის არხების განვითარება. ამ მიზეზით რისკის გამოვლენის და შერბილების წინაპირობები არის რეგულარული შემოწმება და მაღალი გარჩევადობის მონიტორინგი. მცირე მოვლენები გავლენას მოახდენს ჰესზე, თუმცა სათანადოდ შეიძლება შერბილდეს (მაგ ჩამოშლისგან დამცავი ზღუდეები). „2 ჯგუფის მოვლენების“ განმავლობაში ჰესის სტრუქტურებისთვის შესაძლო ზიანი შეიძლება შემცირდეს ზემოაღნიშნული ზომებით, თუმცა მთლიანად არ იქნება აცილებული ასეთი ზიანი.

14. მითითებები

სამეცნიერო ლიტერატურა:

ა. არაბამერი, ტეჰენბახერი ჯ.პ., TIEFENBACHER J.P., ტ. ბიანკი., ბ. პრადან და BUI D.T. (2020): გრუნტის ეროზიის მგრძნობელობის აგეგმვის მორფომეტრული ანალიზი ორიგინალური GIS-დაფუძნებული მოდელის გამოყენებით. დისტანციურ ზონდირება, 2020, 12, 874; doi:10.3390/rs12050874.

მ.დ. დოკუკინი, რ. ხ. კალოვი, ს.ს. ჩერნომორეცი; ა.ვ. გიარგიევიდა მ.მ. ხაძიევი (2020): თოვლი-ყინულის ზვავი ბაშყარას მყინვარზე ადილსუს გასასვლელში (ცენტრალური კავკასია) 2019 წლის 24 აპრილს. Криосфера Земли, 2020, т. XXIV, № 1, с. 64–70; doi:10.21782/KZ1560-7496-2020-1(64-70).

ტ. ერისმანი; გ. აბელი (2001): ქანების რღვევის და ჩამოშლის დინამიკა. – xvi, 316 ბერლინი (Springer- Verlag).

ბ. ეცელმიულერი, ი. ბერტლინგი; რ.ს. ოდეგარდი., 2003. ერთგანზომილებიანი DC-წინალობის სიღრმე, როგორც ინსტრუმენტი მარადყინულოვანი ქანების კვლევებში სამხრეთ ნორვეგიის მთიან ტერიტორიებზე. Zeitschrift für Geomorphologie. N.F., Supplementband 132, 19–36.

გ. გაფრინდაშვილი, კ.ჯ. ვან ვესტენი. 2016. მეწყერის საფრთხის შექმნის და რისკის რუკა საქართველოსთვის. ბუნებრივი კატასტროფები 80 (1), 69–101.

საქსტატი 2019. საქართველოს ბუნებრივი რესურსები და გარემოს დაცვა 2018: სტატისტიკური პუბლიკაცია. საქართველოს ეროვნული სტატისტიკის ბიურო, თბილისი.

ა.პ. გორბუნოვი, (1978): მარადმყინვარი ქანების კვლევები მაღალმთიან რეგიონებში. არქტიკული და ალპური კვლევა 10:283-294.

კ. ჰაგელი, ს. ზგრავენ–ოსვალდი, წ. ჰებერლი, ა კააბი, ა. პოლკოჟი, ი. გალუსკინი, სგ ევანსი (2005). 2002 წლის ქანის/ყინულის ზვავი კოლკაში/კარმადონში, რუსეთის კავკასია: ზვავის წარმოქმნის და გადადგილების შეფასება, QuickBird თანამგზავრული გამოსახულების გამოყენება. ბუნებრივი საფრთხეების და მიწის სისტემის მეცნიერება 5 (2):173-187. doi:https://doi.org/10.5194/nhess-5-173- 2005.

HYDROCONSULT (2015): მესტიაჭალა 2 ჰესი, მდინარე ზედა ენგურის აუზი. საბაზო პროექტი - ჰიდრავლიკური გამოთვლები. - გრაცი.

იაპონიის აეროკოსმოსური კვლევის სააგენტო (მიწის დაკვირვების კვლევის და გამოყენების ცენტრი) (2008): ALOS მონაცემთა მომხმარებლების სახელმძღვანელო. რედაქტირება C.

მ. კაპესი, მ. კეილერი, von Elverfeldt K, ტ. გლეიდი (2012) მრავალსაფრთხიანი რისკის ანალიზის სირთულეები: განხილვა. ბუნებრივი საფრთხეები 64 (2):1925-1958. doi:<https://doi.org/10.1007/s11069-012-0294-2>.

ჯ. კემენი, (2003), სრიალა შეჭიდულობის დროზე დამოკიდებული შემცირება ქანის ხიდების გამო წყვეტების გასწვრივ: ბზარების წარმოქმნის მექანიკის მიდგომა, Rock Mech. Rock Eng., 36(1), 27–38. doi:10.1007/s00603-002-0032-2.

რ. ხაზარაძე, კ. ხარაძე, კ. წიქარიშვილი, გ. ჩართოლანი (2018), კავკასიის უძველესი გამყინვარება. გეოლოგიის ღია ჟურნალი 8 (1):56-64. doi:<https://doi.org/10.4236/ojg.2018.81004>.

მ. კრაუტბატერი, დ. ფანვი, ფკ გუნზელი (2012): რატომ გახდა მარადყინულოვანი ქანები არასტაბილური: ქანი-ყინულის მექანიკური მოდელი დროში და სივრცეში, მიწის ზედაპირის პროცესები და რელიეფი, 38, 876- 887.

პმ ლარი, ვდ პანოვი, სვ პანოვა (2019): დიდი კავკასიონის კრიოსფერო. მთიანი ტერიტორიების მდგრადი განვითარება 11:182-190.

ს. ლუკასი S (2011) ყინულის ბირთვიანი მორენები: სინგხი VP, პ. სინგხი, Haritashya UK (eds) თოვლის, ყინულის და მყინვარების ენციკლოპედია. Springer, Dordrecht, pp 616-619. doi:<https://doi.org/10.1007/978-90-481-2642-2>.

მ. მელორი (1973), ქანების მექანიკური თვისებები დაბალ ტემპერატურაზე, დოკუმენტი წარდგენილი იქნა მე-2 საერთაშორისო კონფერენციაზე მარადყინულოვანი ქანების შესახებ. Int. Permafrost Assoc., იაკუცკი, რუსეთი.

მ. მერგილი (2014-2020): r.avafLOW - მასების ნაკადის მოდელირების ინსტრუმენტი. r.avafLOW 2.1 Background. <https://www.avafLOW.org/background.php>

მ. მერგილი, ს.პ. პუდასაინი (2014-2020): r.avaflow - მასების ნაკადის მოდელირების ინსტრუმენტი. r.avaflow 2.2 პროგრამული უზრუნველყოფა.
<https://www.avaflow.org/software.php>

მ. მერგილი, ს.პ. პუდასაინი; ა. ემერი, ჯ-ტ ფიშერი; ა. გოჩაჩინი და ჰ. ფრეი (2020): 1941 წლის GLOF პროცესის ჯაჭვის რეკონსტრუქცია პალკაკოჩას ტბაზე (კორდილერა ბლანკა, პერუ). Hydrol. Earth Syst. Sci., 24, 93–114, 2020.

ჯ. მილსომი (2003): საველე გეოფიზიკა. გეოლოგიური საველე სახელმძღვანელოს სერიები. – მე-3 გამოცემა, 233 pp., სუსექსი (უაილი). ჯ.ბ. მარტონი; რ. პიტერსონი და ჯ-გ ოზუფი (2006), მთის ქანების ბზარები ყინულის სეგრეგაციით ცივ რეგიონებში, მეცნიერება 314, 1127–1129. doi:10.1126/science.1132127.

Østrem G (1959) ყინულის დნობა მორენის თხელი ფენის ქვეშ და ყინულის ბირთვების არსებობა მორენების ქედზე. Geografiska Annaler 41 (4):228-230. doi:<https://doi.org/10.1080/20014422.1959.11907953>.

კ.ი. პოდოზერსკი (1911): კავკასიონის მთის ქედის მყინვარები: Zap. KORGO, 14, 1 (რუსულად).

SAMOUËLIAN, A., COUSIN, I., TABBAGH, A., BRUAND, A. & RICHARD, G. (2005): Electrical resistivity survey in soil science: a review. – Soil and Tillage Research (2): 173–193.

ლ. შროტი; SASS, O. (2008): საველე გეოფიზიკის გამოყენება გეომორფოლოგიაში: ინდივიდუალური კვლევებით წარმოდგენილი უპირატესობები და შეზღუდვები. – გეომორფოლოგია (1-2): 55–73.

კ.რ. სტოკესი; ს.დ. გერნი; მ. შაჰგედანოვა და ვ. პოპოვინი (2006): მე-20 საუკუნის ბოლოს ცვლილებები მყინვარის ფარგლებში კავკასიის მთებში, საქართველო / რუსეთი - გლაციოლოგიის ჟურნალი 52: 99–109.

ლ.გ. ტიელიძე; გ. ლომინაძე და ნ. ლომიძე (2015a): მყინვარების ცვალებადობა ბოლო ნახევარი საუკუნის განმავლობაში მდინარე ენგურის მთავარ წყალსაკრებში, კავკასიონის მთები, საქართველო. გეომეცნიერების საერთაშორისო ჟურნალი, 2015, 6, 393-401.

ლ.გ. ტიელიძე; გ. ლომინაძე და ნ. ლომიძე (2015b): მყინვარების უკანდახევის და კლიმატის ცვლილების ეფექტი გასული ერთი საუკუნის განმავლობაში მდინარე

მესტიაჭალას აუზში, კავკასიონის მთები, საქართველო. – მიწის მეცნიერებები, 2015, 4(2), 72-79.

ლ.გ. ტიელიძე; ნ. ჩიხრაძე და დ. სვანაძე (2015c): მცინვარების ოდენობის და ფარგლების ცვლილება მდინარე დოღრას აუზში 1911-1960-2014 წლებში, კავკასიონის მთები, საქართველო. გამოვლენილი ძველი ტოპოგრაფიული რუკებიდან და Landsat სატელიტური გამოსახულებიდან. – კლიმატის ცვლილების ამერიკული ჟურნალი, 2015, 4, 217-225.

ლ.გ. ტიელიძე; (2016): მცინვარის ცვლილება ბოლო საუკუნის განმავლობაში, კავკასიონის მთები, საქართველო. გამოვლენილი ძველი ტოპოგრაფიული რუკებიდან და Landsat და ASTER სატელიტური გამოსახულებიდან. კრიოსფერო, 2016, 10, 713–725.

ლ.გ. ტიელიძე; (2017): საქართველოს მცინვარები - თბილისი. (= ფიზიკური გარემოს გეოგრაფია).

ლ. ტიელიძე, Wheate RG (2018) დიდი კავკასიის მცინვარის აღწერა (რუსეთი, საქართველო და აზერბაიჯანი). კრიოსფერო 12 (1):81-94. doi:<https://doi.org/10.5194/tc-12-81-2018>

ლ.გ. ტიელიძე; ო.ნ. სოლომინა; ვ. ჯომელი; ე.ა. დოღოვა; ი.ს. ბუშუევა; ვ.ნ. მიხალენკო და რ. ბრაუმი (2020): ჭალათის მცინვარის ცვლილება (საქ. კავკ) მცირე გამცინვარების პერიოდიდან, დენდროლოგიური და ბერილის -1- მონაცემების საფუძველზე . – IN: ყინული და თოვლი, 2020, 60 (3), 453–470.

ვ.მ. ტელფორდი; ლ.პ. გელდარტი; რ.ე. შერიფი და დ.ა. კეისი 1990, გამოყენებითი გეოფიზიკა, კემბრიჯის უნივერსიტეტის პრესა, კემბრიჯი, 770 pp.

UNDP საქართველო (გაერთიანებული ერების განვითარების პროგრამა საქართველო) (2015): ზედა სვანეთის ადაპტაციის სტრატეგია კლიმატის ცვლილებასთან დაკავშირებით. – თბილისი.

ო. ვარაზანაშვილი; ნ. წერეთელი; ა. ამირანაშვილი; ე. წერეთელი; ე. ელიზბარაშვილი; ჯ. დოლიძე; ლ. ქალდანი; მ. სალუქვაძე; ს. ადამია; ნ. არევაძე; ა. გვენეტაძე 2012. მოწყვლადობა, საფრთხეები და სხვადასხვა რისკის შეფასება საქართველოში. ბუნებრივი საფრთხეები 64 (3), 2021–2056.

დ.ა. ვასეი; ე. კაუგილი; ს.მ. როესკე; ნ.ა. ნიემი; ტ. გოდოლაძე; ი. სხირტლაძე და ს. გოგოლაძე (2020). დიდი კავკასიონის ევოლუცია და მთავარი კავკასიური ბზარის ფორმირება. ტექტონიკა, 38. <https://doi.org/10.1029/2019TC005828>.

VON DECHY M. (1905): Kaukasus. Reisen und Forschungen im kaukasischen Hochgebirge. in drei Bänden. – Berlin.

ლ. ვარმედინგერი (2020): ღვარცოფული ნაკადის რისკის ანალიზი ახალდაბაში, საქართველოში. – M.Sc.-თეზისი, TU მიუნხენი.

ანგარიშები:

დღის წესრიგი (2018): წყალდიდობის საფრთხეები აღმოიფხვრა სვანეთში, სადაც მყინვარი ნაწილობრივ დაირღვა. ონლაინ: <https://agenda.ge/en/news/2018/1648> (25.10.2020).

BOKU-TRUMER-BBB (2019): მესტიაჭალა ჰესი, 25 ივლისის კატასტროფა. მოვლენის შემდგომი ანგარიში.- ანგარიში, 08.09.2020.

BOKU-TRUMER-BBB (2019): კვლევის სამუშაოების დაწყება და მოთხოვნები მონიტორინგთან და გაფრთხილებასთან დაკავშირებით 2019 წლის კატასტროფის ზონაში ახალი აქტიურობის საფუძველზე. ანგარიში 01 – მიმდინარეობა, მოთხოვნები და რეკომენდაციები.- 09.04.2020.

BOKU-TRUMER-BBB (2019): მონიტორინგის / გაფრთხილების სისტემა 2019 წლის აქტიურ კატასტროფის ზონაში. ანგარიში 02 – სახელმძღვანელო მითითებები და ეტაპები რეალიზაციასთან დაკავშირებით, რეკომენდაციები. - 10.05.2020.

BOKU-TRUMER-BBB (2020): მესტიაჭალა ჰესი, პრიორიტეტული პროექტები. შუალედური ანგარიში სავლე კვლევის და გეოლოგიური რისკ-ფაქტორების შეფასების შესახებ.- შუალედური ანგარიში, 09.10.2020.

გარემოს დაცვის ეროვნული სააგენტო (2019) მესტიაჭალას მდინარის კალაპოტის მოვლენის ანგარიში: შედეგები, დასკვნები და რეკომენდაციები.

შპს „გეოინჟინერინგი“ (2015): გეოტექნიკური კვლევა „მესტიაჭალა 1-ის“ ჰიდროელექტროსადგურის სამშენებლო ობიექტთან დაკავშირებით, საქართველო. ტექნიკური ანგარიში.

შპს „გეოინჟინერინგი“ (2015): გეოტექნიკური კვლევა „მესტიაჭალა 2-ის“ ჰიდროელექტროსადგურის სამშენებლო ობიექტთან დაკავშირებით, საქართველო. ტექნიკური ანგარიში.

სახელმძღვანელები:

EOTA (2008): სახელმძღვანელო ევროპის ქანების ჩამოშლისგან დამცავი კომპლექტის ტექნიკური ნებართვის შესახებ (ETAG 27), თებერვალი 2008.

ONR 24810:2017-02 ტექნიკური დაცვა ქანების ჩამოშლისგან – პირობები და განსაზღვრებები, მოქმედებების, შედეგები, პროექტი, მონიტორინგი და ტექნიკური მომსახურება. - ავსტრიის სტანდარტების ინსტიტუტი, ვენა.