

ვარძიის კომპლექსური მონიტორინგი

მიხეილ ელავილი, ნიკოლოზ ვაჩივილი, გიორგი ბასილია, ღავით ჩხაიძე, ღავით ყვავაძე, გიორგი კირიჭიაძე, ლუკა აღიკავილი

ვარძიის კავლის კომპლექსური მონიტორინგის კონცეფცია

ვარძია წარმოადგენს კულტურის უნიკალურ ძეგლს – კლდეში ნაკვეთ ქალაქს რომელიც თავის თავში აერთიანებს როგორც ხუროთმოძღვრების ძეგლს, ასევე რთულ ბუნებრივ-გეოლოგიურ კომპლექსს. მსგავსი ძეგლები განსაკუთრებით მოწვევადია და მათი რესტავრაცია-კონსერვაცია კომპლექსურ მიდგომას საჭიროებს.

ვარძია გამოკვეთილია ვულკანურ ქანებში (ტუფები, ტუფობრეჩიები და ტუფო-კონგლომერატები) და მოიცავს რამდენიმე ჰექტარ ფართობს, იგი შედგება ისტორიულად ჩამოყალიბებული 2 ნაწილისაგან – ვარძიის მონასტრისა და უფრო ადრინდელი ხანის (X-XII საუკუნეები) კლდის სოფლის ანაწურისაგან. I ეტაპზე, გიორგი III-ის მეფობის წლებში (1156-1184), შემუშავდა გეგმა და გამოიკვეთა პირველი სენაკები ეკლესიითურთ. II ეტაპზე (1184-1185) არსებული გეგმა ნაწილობრივ შეიცვალა. თამარ მეფის მითითებით ჩატარდა მონასტრის ცენტრის რეკონსტრუქცია, კლდეში გამოკვეთეს ლეთისმშობლის მიძინების დიდი დარბაზული ტაძარი სტოაპორტიკით. III ეტაპზე (1185-1203) დამთავრდა სათავსებისა და მონაზონთა სენაკების, აგრეთვე თავდაცვით და საირიგაციო ნაგებობათა გამოკვეთა.

ვარძიის ამგებ ქანებში მიმდინარე ეროზიული პროცესების გამო ძეგლი ნგრევის მუდმივი პრობლემების წინაშე დგას. მოქმედებს ისეთი ფაქტორები როგორცაა ქანების ზედაპირული გამოფიტვა, ტექტონიკა (აქტიური

რღვევები და მიწისძვრები), განსხვავებული ამგები გეო-ლითოლოგიური შრეების ურთიერთქმედება, ძირითადი ნაპრალების არსებობა და მასთან ასოცირებული რთული ბლოკური სტრუქტურა, ზედაპირული ჩამონადენი წყლის ნაკადები, ძირითად ქანებში ინფილტრირებული გრუნტის წყლების მოქმედება, მიკრობზარების რთული სტრუქტურა და სხვა. აღსანიშნავია, რომ 1283 წელს მომხდარმა მიწისძვრამ დიდი ზიანი მიაყენა ვარძიას. ამ სტიქიური უბედურების შემდეგ მონასტრის ნაწილობრივ აღ-

დგენას უკავშირდება მშენებლობის მეოთხე ეტაპი, ათაბაგ ბექა ჯაყელციხისჯვარელის დროს (1285 – 1306). მის დროს ააგეს ორთაღიანი ნაგებობა სტოაპორტიკის გასამაგრებლად და ორსართულიანი მოჩუქურთმებული სამრეკლო.

გასულ ათწლეულებში ტექნოლოგიების განვითარებასთან და გარემოს მაფორმირებელ პროცესებზე აკუმულირებულ სულ უფრო მეტ ცოდნასთან ერთად მკვიდრდება იმის გაგება, რომ გარემოს კომპლექსური მონი-



ტორინგი აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ისეთი პრინციპული საკითხების გადასაჭრელად, როგორიცაა:

- გარემო პროცესების მოდელირება, მოკლე და გრძელვადიანი პროგნოზირება
- ბუნებრივი კატასტროფების სწორი მართვა და პრევენცია
- ბუნებრივი რესურსების შეფასება და მართვა
- მაკრო და მიკროკლიმატის მონიტორინგი
- მნიშვნელოვანი ობიექტების უსაფრთხო ფუნქციონირება
თითოეული ჩამოთვლილი საკითხი თავის მხრივ მრავალ ქვე-მიმართულებას მოიცავს. სწორედ კომპლექსური – მულტიდისციპლინარული კვლევები, რომლებიც მეცნიერების რამდენიმე, ხშირად მომიჯნავე დარგს აერთიანებს, იძლევა პასუხებს ადამიანის და გარემოს თანაცხოვრების მნიშვნელოვან საკითხებზე. შესაბამისად, სულ უფრო მეტი მოთხოვნა ჩნდება ერთდროულად

დავაკვირდეთ რამდენიმე სხვადასხვა ტიპის მოვლენას და მოვახდინოთ მათი გადაცემა დროის რეალურ მონეტში – ონლაინ რეჟიმში.

ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის „კულტურული მემკვიდრეობის და გარემოს კვლევის ცენტრში“, კულტურული მემკვიდრეობის დაცვის ეროვნული სააგენტოს დაფინანსებით გასული წლიდან დაიწყო მუშაობა ვარძიის კომპლექსური მონიტორინგის ქსელის შექმნაზე. სამუშაოს პირველ ეტაპზე შემუშავდა ვარძიის კომპლექსური მონიტორინგის აღნიშნული კონცეფცია, რომლის დეტალების დაზუსტება და საბოლოო ტექნიკური რეალიზაცია ახლაც მიმდინარეობს. ჩვენს მიერ შემუშავებული სქემა შემდეგი პარამეტრების მონიტორინგს მოიცავს:

ლოკალური მეტეო სადგური შემდეგი კომპონენტებით, კომპლექსის მიმდებარე ტერიტორიაზე ადგილობრივი მეტეო პირობების შესასწავლად:

- ტემპერატურის სენსორი
- ტენიანობის სენსორი
- ქარის სიჩქარის და მიმართულებების სენსორი

- ატმოსფერული წნევის სენსორი
- მზის გამოსხივების სენსორი (პირანომეტრი)
- ნალექის რაოდენობის სენსორი

მიკრობიძგების და ფონური ვიზრაციის სეისმური მონიტორინგის ქსელი ვარძიის ქვაბულებში

- სამკომპონენტიანი აქსელეროგრაფები

მიკროკლიმატის მონიტორინგის სენსორები ქვაბულებში

- ტემპერატურის სენსორი
- ჰაერის ტენიანობის სენსორი
- ქანის ტენიანობის სენსორი
- კლდის ტემპერატურის სენსორი

ვარძიის ქარაფის დეფორმაციის მონიტორინგი

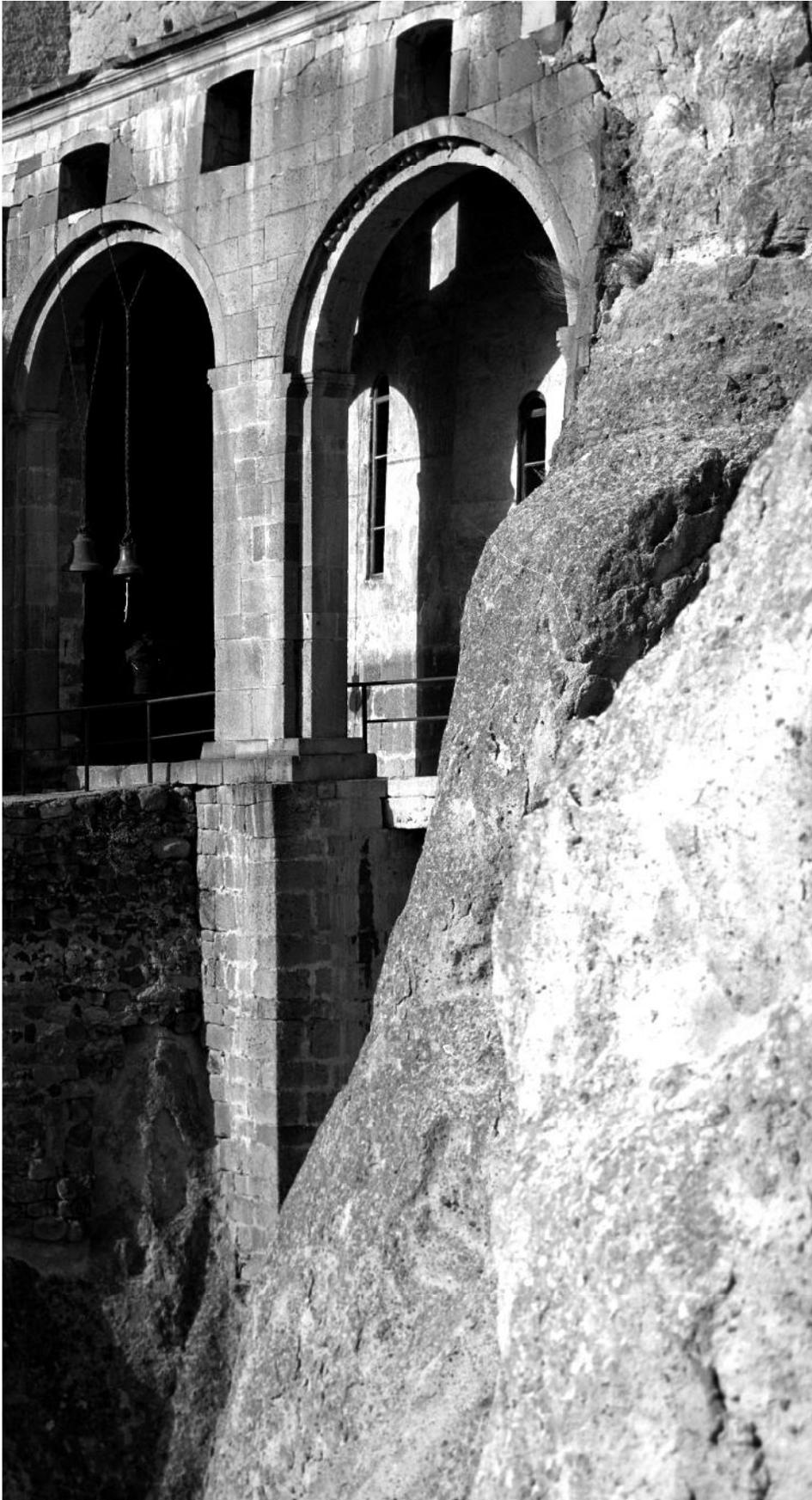
- რადარული სკანერი

ვებ-კამერა

- ძეგლის მდგომარეობის მიმდინარე ფოტო ინფორმაციის მისაღებად ზემოჩამოთვლილი კომპლექსუ-



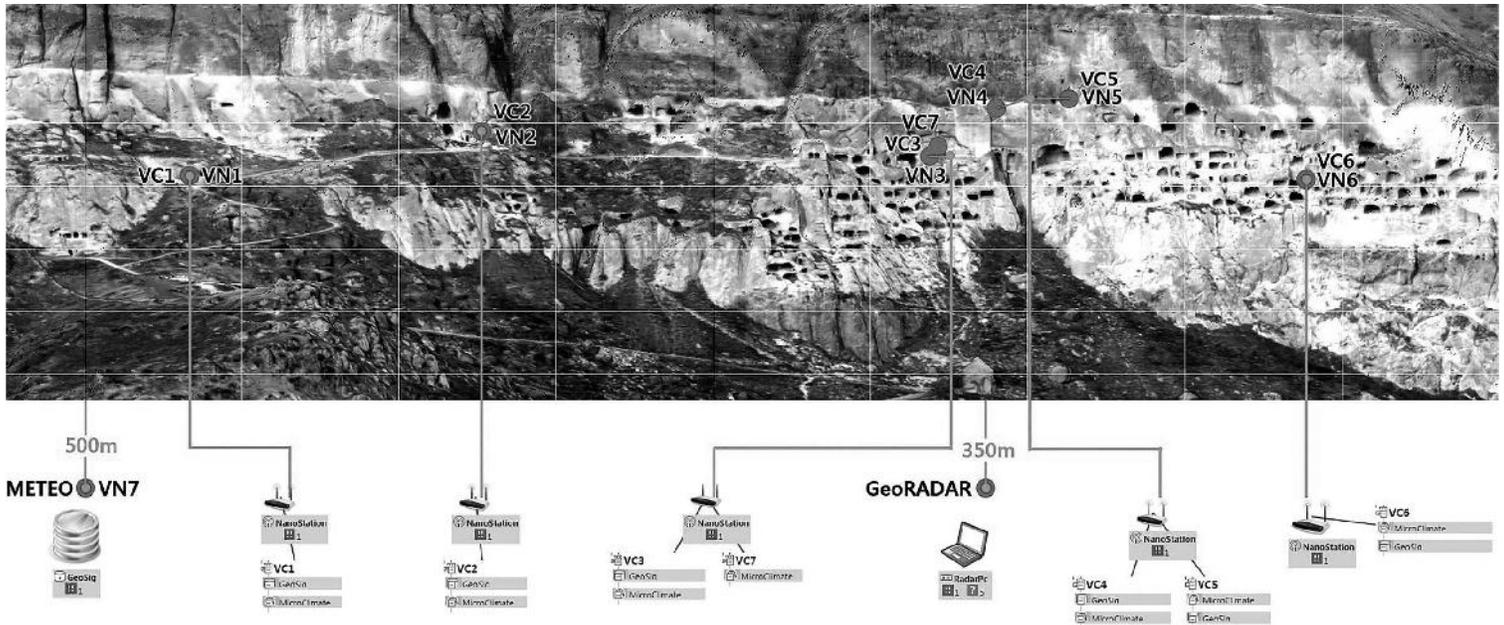




რი მონიტორინგის მეთოდებისა და აპარატურის საშუალებით, რომელიც გამოყენებული იქნება კვლევისა და ექსპერიმენტისთვის, მოხდება ისტორიული ძეგლის მრავალმხრივი შესწავლა. ერთი მხრივ გადაიჭრება წმინდა ტექნიკური საკითხი მსგავსი კომპლექსური მონიტორინგის წარმოებისა, თანაც ისეთ რთულ გარემოში როგორც კლდეში ნაკვეთი ძეგლი წარმოადგენს. მეორე მხრივ დაგროვდება უნიკალური მასალა ძეგლის მდგომარეობის შესახებ, რომელიც თავის მხრივ სხვადასხვა პარამეტრს მოიცავს. მიღებული მასალის ანალიზის საფუძველზე მოხდება ძეგლზე სხვადასხვა გარემო პირობების ზეგავლენის შეფასება და მათ შორის წამყვანი ფაქტორების გამოვლენა. ასევე შეფასდება ძეგლის მიმდინარე მდგომარეობა, სახიფათო უბნების და პროცესების იდენტიფიცირება და შემდგომი დაცვის მიზნით რეკომენდაციების შემუშავება.

აღსანიშნავია, რომ ჩვენს მიერ შემუშავებული ვარძიის კომპლექსური მონიტორინგის ქსელი არ წარმოადგენს ერთჯერად ტექნიკურ თუ კონცეფციურ გადაწყვეტილებას, იგი თავისთავად კვლევით და განვითარებად მოდელს წარმოადგენს და სამომავლოდ არსებული ინფრასტრუქტურის გაფართოებით შესაძლებელი იქნება, როგორც დამატებითი მონიტორინგის წერტილების შემოერთება, ასევე დასაკვირვებელი პარამეტრების რაოდენობის გაზრდა.

მნიშვნელოვანია აღნიშნული ტექნოლოგიების აპრობირება და ტესტირება საქართველოს პირობებში. ეს საშუალებას მოგვცემს აღნიშნული მიდგომები მაქსიმალურად გამოვიყენოთ სხვა მსგავსი ძეგლების კვლევა-პრეზერვაციის პროექტებში.



სქემაზე მოცემულია ვარძიის კომპლექსური მონიტორინგის წერტილების განლაგება ვარძიის ქარაფზე და ქსელის კონფიგურაცია

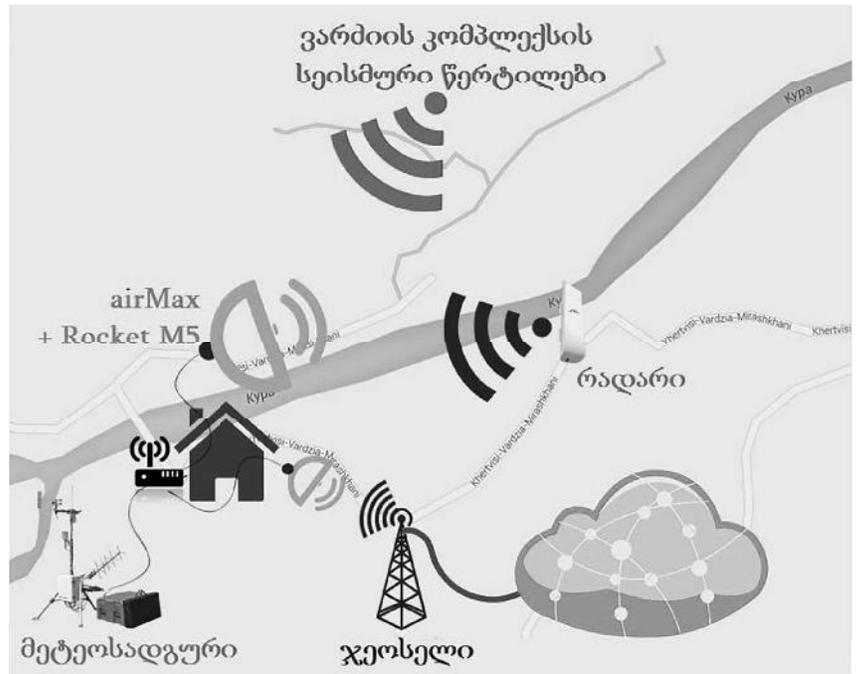
**ქსელის კონფიგურაცია,
დაკვირვების ნარტილების
განლაგება, მონაცემთა
შეგროვება და გადმოცემა**

ვარძიის კომპლექსზე ჩატარებული ექსპედიციების დროს მოხდა საკვლევი ტერიტორიის შესწავლა. განისაზღვრა აპარატურის ინსტალაციის წერტილები და მათი განლაგების სქემა. ჩატარდა კომპლექსის შემოვლა სეისმური მონიტორინგის აპარატურის ინსტალაციის ადგილების შესარჩევად. 9 სავარაუდო ინსტალაციის ადგილის და განაწილების საბოლოო სქემატური შესწავლის შემდეგ გამოინახა 7 ოპტიმალური წერტილი, ფიზიკური განლაგების, ელექტრო კვების მიწოდების პირობების, მონაცემთა გადმოცემისათვის ხილვადობის და უსაფრთხოების პირობების გათვალისწინების მიხედვით. განხორციელდა ელექტროენერჯის მიწოდების მოსაწყობად არსებული ინფრასტრუქტურის შესწავლა და განისაზღვრა სავარაუდო საჭიროებები.

შერჩევისას გათვალისწინებული იქნა ვარძიის გეოლოგიური აგებულება, რათა მონიტორინგის სფეროში მოხვდეს ყველა ძირითადი გეოლოგიური ფორმაცია (იხ. სქემა ქვემოთ)

ვარძიის ლოკალური ქსელის აწყობაში ერთ-ერთ უმთავრეს საკითხს მონაცემთა გადმოცემის ორგანიზება წარმოადგენს, რაც ქსელური კავშირის დამყარებასა (დაკვირვების ყველა წერტილთან) და გლობალური კავშირის ცენტრში მონაცემთა მოგროვებას გულისხმობს. დაკვირვების

წერტილებთან ლოკალური კავშირისათვის გადაწყდა უკაბელო WiFi ქსელის გამოყენება, ოღონდ 5.8 გჰც სიხშირის გამოყენებით, რაც უფრო შორ მანძილებზე გადაცემას უზრუნველყოფს, ამავე დროს მინიმუმამდე იქნა დაყვანილი საკაბელო გაყვანილობა, რაც ასევე მნიშვნელოვან



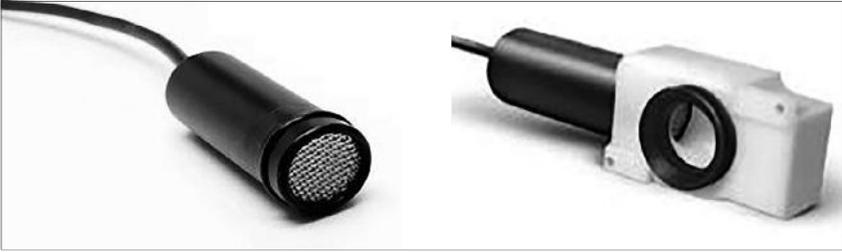
საკითხს წარმოადგენს ისტორიული ძეგლების მონიტორინგისას.

მეტეოსადგურის ინსტალაციის წერტილის მახლობლად არსებულ კოტეჯზე სექტორული ანტენა AM-V5G დამონტაჟდა, რომელიც მიერთდა მაღალი სიმძლავრის მქონე გადამცემ Nanostation Rocket M5-ზე. აღნიშნული ტექნოლოგიით შეიქმნა 120 გრადუსიანი დაფარვის ზონა, რომელშიც მოექცა ვარძიის კომპლექსის მთლიანი ფასადი. მიკრობიძგების საზომი აპარატურის ყოველი წერტილიდან მოხდა ვარძიის წინა ფასადზე Nanostation M5 მოდელი რადიოგადამცემის ინსტალაცია. ყველა გადამცემის ანტენა მიმართულია ერთი წერტილისკენ. ამ წერტილიდანვე ხდება ქსელის ინტერნეტთან მიერთება, ინტერნეტთან მიერთებისთვის გამოიყენება Ericsson W25 ტიპის ინტერნეტ რუტერის საშუალებით. კავშირის სტაბილურობისათვის კოტეჯის სახურავზე დამონტაჟებულია სპეციალური მიმართული ანტენა.

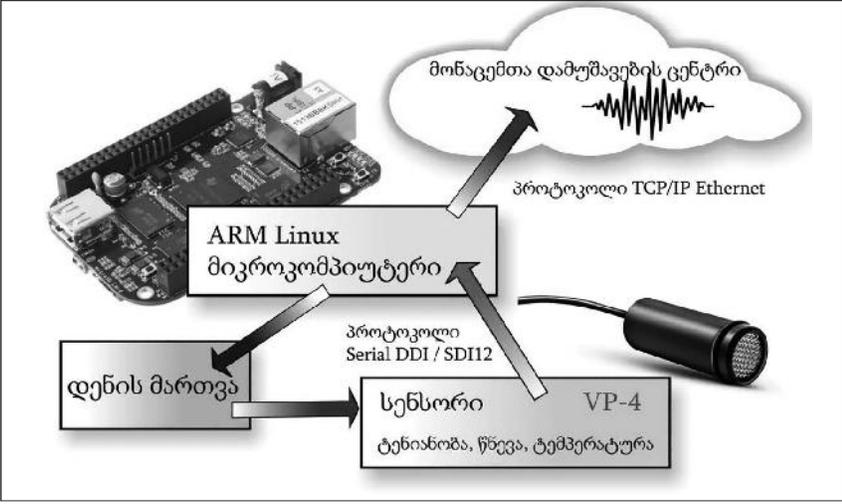
ვარძიის ქვაბულაში მიკროკლიმატის მონიტორინგის ქსელი და მატეოროლოგიური დაკვირვება

გრუნტის ნყლები, ტენიანობა, ცვლილება ტემპერატურულ რეჟიმში მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ავზის ამგებ გეოლოგიურ ქანებზე და იწვევს მათ ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების და რიგ შემთხვევებში კი, ქიმიურ შემადგენლობაში ცვლილებას. ტენიანობა კვლევან კედლებში განსაკუთრებულად დამაზიანებელ ზეგავლენას ახდენს. ეს გაშრობა-დასველების და გაყინვის განმეორებადი ციკლებით მიმდინარე პროცესია. საჭიროა ტენიანობის რეჟიმის მონიტორინგი ქვაბულებზე კლიმატის ზეგავლენის შესწავლის მიზნით.

ვარძიის გამოქვაბულებში განხორციელდა მიკროკლიმატის მონიტორინგის სისტემის ინსტალაცია, რომელიც საშუალებას მოგვცემს მუდმივ რეჟიმში დავაკვირდეთ ზემოაღნიშნულ პარამეტრებს, შევისწავლოთ მათი გავლენა ვარძიის ქანის ეროზიის პროცესზე და შევიმუშაოთ ძეგლის



Decagon-ის ახალი ინტეგრირებული სენსორი VP-4 Humidity temperature atmospheric pressure and vapor pressure sensor რომელსაც გააჩნია სამი მონაცემის გაზომვის შესაძლებლობა, ეს პარამეტრებია: ტენიანობა, ტემპერატურა და ორთქლის წნევა.



სენსორისა და მონაცემთა გადმოცემა. დაგროვების მოდულის ჩართვის ლოგიკური სქემა

კონსერვაციის ეფექტური ღონისძიებები. კვლის მასაში ტენიანობისა და ტემპერატურის ცვლილებები ასევე უნდა კორელირდეს მეტეოროლოგიურ მონაცემებთან, (ნალექის რაოდენობა და ჰაერის ტემპერატურა). ასევე უნდა გაკეთდეს გარეთ დამონტაჟებულ მეტეოსადგურთან მიმართებით მონაცემთა შედარება.

მონაცემები სენსორიდან გადმოცემა მიკროკომპიუტერში, სადაც ხდება მათი დაგროვება მეხსიერების

ბარათზე. მიკროკომპიუტერში დაინსტალირებულია Linux ოპერაციული სისტემა, რომელიც მართავს შემოსულ ინფორმაციას და ინახავს მას. ოპერაციულ სისტემაში ამუშავებულია ფაილური სერვერი, რომელიც ქსელის საშუალებით ჩანერილი ინფორმაციის გადმონერის საშუალებას იძლევა. მონყობილობაში არსებული პროგრამა მონაცემთა დამუშავების ცენტრში ავტომატურად აგზავნის მიღებულ პარამეტრებს. პროგრამას



მიკროკლიმატის მონიტორინგის სენსორების ინსტალაცია ვარძიის ქვაბულებში

ასევე გააჩნია ფუნქცია მონაცემთა დამუშავების ცენტრში თავად ატივითოს დაგროვებული მონაცემები.

მიკროკომპიუტერი Ethernet პორტის საშუალებით ჩართულია არსებულ უკაბელო შიდა ქსელში, რომელიც მიერთებულია ინტერნეტთან Ericsson W25 ტიპის როუტერის საშუალებით.

ყოველი წერტილისთვის, ქვაბულის სიდიდის მიხედვით, დაყენებულია კლდის ტენიანობის და ტემპერატურის გაზომვის ერთი ან ორი სენსორი, ხოლო ყოველი წერტილისთვის ჰაერის ტემპერატურის, წნევის და ტენიანობის ერთი სენსორი.

ჯამში დაინსტალირდა 7 ჰაერში და 11 ქანში ტემპერატურის, ტენიანობის და ორთქლის წნევის გამზომი სენსორი.



1. მიკრობიძგვზა და ფონური ვიბრაციზა დაკვირვების კსელი

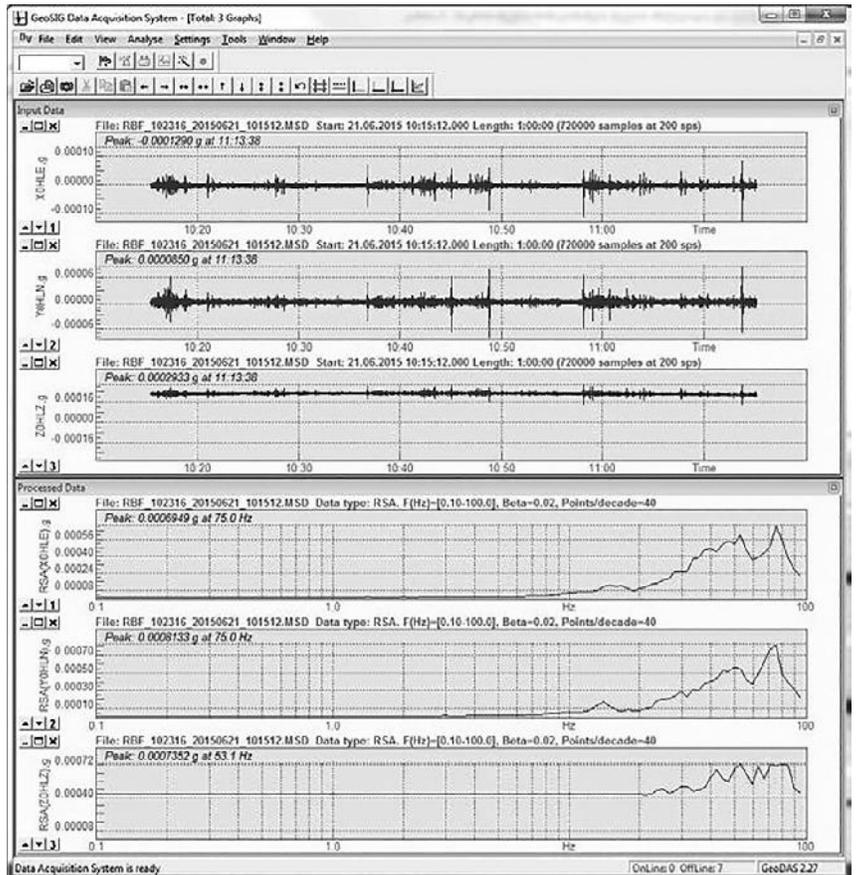
ვარძიის ძეგლზე ფონური სეისმური ვიბრაციის და მიკრობიძგვების მონიტორინგისთვის შერჩეულია შვეიცარიული კომპანია GeoSIG-ის წარმოების აქსელერომეტრი GMSplus.

მონაცემთა გადაცემისთვის ის იყენებს ქსელურ კავშირს. სისტემას გააჩნია მონაცემთა მიმდინარე რეჟიმში დამუშავების შესაძლებლობაც და მომხდარი მოვლენის შესახებ მონაცემთა ცენტრში ინფორმაციის და ბიძგის პარამეტრების შეტყობინების საშუალება.

სისტემა არ საჭიროებს ყოველდღიურ მომსახურებას და გარე დენის გათიშვის შემთხვევაში 24 საათი მუშაობს ავტონომიურად.

სისტემაში ჩაშენებულია ე.წ. „ჭკვიანი ადაპტირებადი საათი“ (IARTC) ტემპერატურის თვით კომპენსაციით, რაც ზრდის შიდა დროისა და შესაბამისად მონაცემთა სიზუსტეს. დროითი კორექცია შესაძლებელია როგორც GPS სისტემით, ასევე NTP პროტოკოლის გამოყენებით ინტერნეტის ან შიდა ქსელის შემთხვევაში. აპარატურის კონფიგურაციის პარამეტრების განერა, გამოცდა, მონაცემთა გადმოტვირთვა ასევე შესაძ-

შვეიცარიული კომპანია GeoSIG-ის წარმოების აქსელერომეტრი GMSplus



ფონური ჩანანერი და სპექტრული ანალიზი: სადგური VN6

ლებელია ადგილობრივად, ლეპტოპის საშუალებით. ურთიერთდაკავშირებული ყოველი ასეთი სადგურისგან შექმნილი ქსელი როგორც ერთიანი სისტემა დროითი სინქრონიზაციის და ასევე მინისძვრის ტრიგერის მხრივ მუშაობს.

აღსანიშნავია, რომ ქსელის ოპერირებისას აპარატურისთვის მინიმუმდროვანია დროითი სიზუსტის ფაქტორი. ამ მიზნით მეშვიდე ნერტილის ინსტალაცია მოხდა მეტეოსადგურის მიმდებარე ტერიტორიაზე. აღნიშნული ნერტილი უზრუნველყოფილია GPS – გლობალური პოზიციონების სისტემით, რომელიც მიერთებულია მონიტორინგის მონყობილობაზე GMSPlus. შერჩეულ ადგილას გახსნილი ცის დიდი ფართობი უზრუნველყოფს მაღალი სიზუსტის დროით სინქრონიზაციას GPS მიმღებში.

აღნიშნული სადგური ჩართულია ლოკალური ქსელის შეკრების ნერტილში. GPS სისტემის საშუალებით მე-7 სადგური ახდენს დროის ზუსტ სინქრონიზაციას სატელიტების საშუალებით. გვირაბებში განლაგებული 6 სადგური კი მიმართავს მეშვიდეს, და სპეციალური ქსელური პროტოკოლის საშუალებით (Network Time Protocol) ახდენს დროის სიზუსტის გასწორებას საკუთარ საათებში. ამავე დროს მინისძვრების ჩანაწერები და მათი ვარძიაზე გავლენის ანალიზისათვის მნიშვნელოვანია, გვექნდეს ენ “free field“ ჩანაწერები გაკეთებული ვარძიის სიახლოვეს, მაგრამ არა უშუალოდ მის კონსტრუქციაში. შესაბამისად მეშვიდე სადგურის VN7-ის გარეთ ინსტალაციის მეორე მიზანია ვარძიის კომპლექსის ფონური ხმაურის, იქ დაფიქსირებული მიკრობიძვრების გამორჩევა გარე ზოგადი ფონისგან. შესაბამისად 6 სადგურის მონაცემები უნდა შედარდეს მეშვიდე სადგურთან.

რადარი

მიმდინარე დეფორმაციის და ნგრევის პროცესი მუდმივ ინსტრუმენტულ მონიტორინგს საჭიროებს, რათა ერთი მხრივ განსაკუთრებით კრიტიკულ უბნებზე განხორციელდეს დროული რეაგირება, ხოლო



IBIS-ის გეო-რადარის სისტემა ოთხი ძირითადი მოდულისაგან შედგება

მეორე მხრივ ჩატარდეს საკონსერვაციო გამამაგრებელი ღონისძიებები და მიმდინარე პროცესის სწორი ანალიზი. ამ ტიპის მონიტორინგისათვის აპრობირებულ აპარატურას წარმოადგენს გეორადარი, რომლის მეშვეობითაც ხდება ზედაპირის სკანირება ელექტრომაგნიტური გამოსხივებით და მილიმეტრის რიგის ცვლილებების დადგენა ზედაპირში. ვარძიაში რადარის ინსტალაცია განხორციელდა 2012 წლის აპრილის თვეში, შესაბამისად სკანირებაც ამ პერიოდიდან დაიწყო და მას მერე მიმდინარეობს უწყვეტ რეჟიმში.

1. რადარის კომპლექტი

კომპლექტში შედის გადამცემი, მიმღები და ანტენები. იგი გამოიყენება რათა გამოიზუსტავოს, გამოსახივოს, მიიღოს და დაამუშავოს მითითებული სიხშირის შესაბამისად მოდულირებული მიკროტალღები. კომპლექტი აღჭურვილია კვების წყაროთი და USB საკომუნიკაციო პორტით სავსე კომპიუტერთან მისაერთებლად. ზედა ნაწილში მოთავსებული სამაგრი ობიექტზე ზუსტად მიმართვის მიზნით ოპტიკური ტელესკოპი დამაგრების საშუალებას იძლევა. რადარის წინა მხარეზე დამაგრებულია ორი, მარტივი ტალღის გადამცემი კონექტორი (waveguide connector). ყოველ მათგანზე დამაგრებულია მიკროტალღური ანტენა. ხელსაწყო გათვლილია სავსე პირობებში სამუშაოდ. მას გააჩნია IP65 დაცვის დონე, რაც იმას ნიშნავს, რომ

იგი ქვიშაგამძლეა და ყველა მხრიდან დაცულია წყლის ნაკადისგან.

2. მართვის და ჩანერის მოდული

სისტემის მუშაობის სამართავად და მიღებული მონაცემების ჩასაწერად გამოიყენება სავსე პორტაბელური კომპიუტერი, შემდეგი პროგრამებით IBIS-L CONTROLLER და IBIS-S CONTROLLER. პროგრამა გაზომვების პარამეტრების დაყენების საშუალებას იძლევა და მომხმარებელს დამუშავებულ სიგნალს აწოდებს.

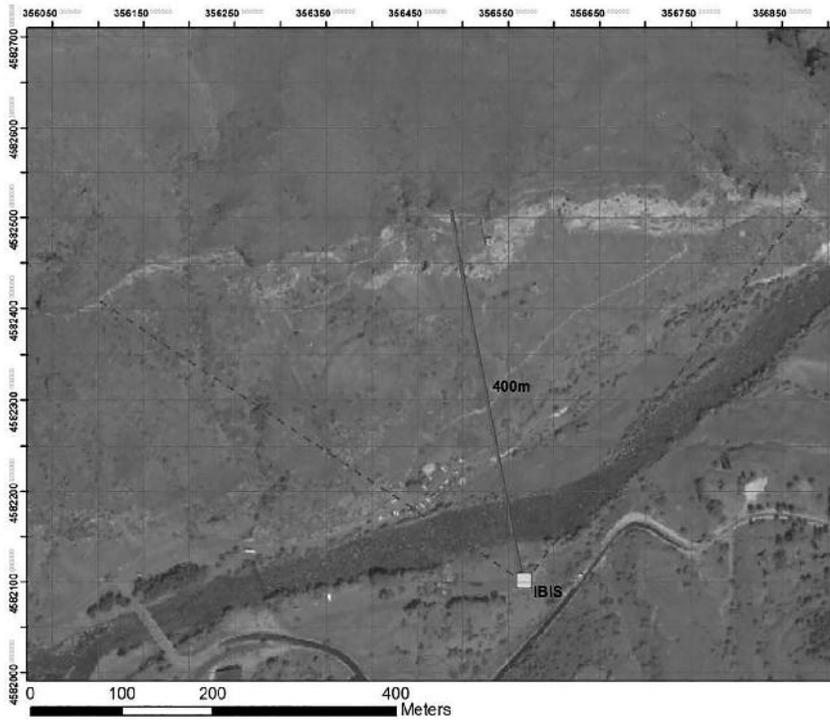
3. საზოგადო სკანერი (ვერსია IBIS-L)

საზოგადო სკანერის შემადგენელი ნაწილებია ნაბიჯური ძრავი და ორმეტრიანი რელსი, რომელზეც რადარი მოძრაობს. სამფეხაზე მოძრავი თავია დამონტაჟებული, რომელიც რადარის გამოსხივების ნებისმიერი მიმართულებით მიზრუნების საშუალებას იძლევა.

4. კვების მოდული

დამოუკიდებელი კვების წყაროს წარმოადგენს სისტემის ვერსიაზე (IBIS-L ან IBIS-S) მორგებული ტევადობის ორი, 12-ვოლტიანი აკუმულატორით. სისტემისთვის კვების მიწოდება ასევე შეიძლება ცვლადი დენით ან მზის ელემენტის მეშვეობით.

რადარის ინსტალაცია განხორციელდა სპეციალურად მომზადებულ რკინის კონსტრუქციაში რომელიც ბეტონის პოსტამენტზე დამაგრდა. ასევე გამოყენებულია სპეციალური რკინის



რადარის განლაგების გეომეტრია ვარძიის კომპლექსთან მიმართებაში

მაგია დასამონტაჟებლად, რომელზეც თავის მხრივ დამონტაჟდა რადარის მიმართველი რელსის კონსტრუქცია. შესაბამისად მივიღეთ რადარის მაქსიმალური სტაბილურობა და გამოირიცხა ხელოვნური რხევები ან რაიმე სახის მნიშვნელოვანი დეფორმაციები. რკინის ოთახის კონსტრუქცია თავის მხრივ წარმოადგენს კარგ დაცვას როგორც მეტეოროლოგიური ფაქტორებისაგან ასევე ვანდალიზმისაგან. მნიშვნელოვანია რადარის გეოგრაფიული განლაგება ვარძიის ძეგლთან მიმართებაში. ქვემოთ მოყვანილ ნახაზზე ნაჩვენებია რადარის განლაგების და სკანირების არეალის სქემატური გამოსახულება. მანძილი რადარიდან სკანირებულ ზედაპირამდე 400-500 მეტრის დიაპაზონში ვარირებს, რაც კარგ თანხვედრაშია რადარის ტექნიკურ მახასიათებლებთან.

წინასწარი შედეგები და დასკვნა

ვარძიის ძეგლის კომპლექსური მონიტორინგი საშუალებას გვაძლევს ისტორიული ძეგლი მრავალმხრივ შე-

ვისწავლოთ – ამ მხრივ პირველადი შედეგები უკვე გვაქვს. ამავე დროს გროვდება უნიკალური მასალა ძეგლის მდგომარეობის შესახებ, რომელიც თავის მხრივ სხვადასხვა პარამეტრს მოიცავს. მიღებული მასალის ანალიზის საფუძველზე შეფასდება სხვადასხვა გარემო პირობების ზეგავლენით ვარძიის ძეგლის მდგომარეობა და დადგინდება ნამყვანი ფაქტორები. ასევე შეფასდება ძეგლის მიმდინარე ყოფიერება, მოხდება სახიფათო უბნების და პროცესების იდენტიფიცირება და შემდგომი დაცვის მიზნით შემუშავდება რეკომენდაციები.

პროექტს ასევე გააჩნია ტექნოლოგიური ღირებულებაც, ვინაიდან ერთი მხრივ გადაიჭრება წმინდა ტექნიკური საკითხი მსგავსი კომპლექსური მონიტორინგის წარმოებისა, თანაც ისეთ რთულ გარემოში როგორსაც კლდეში ნაკვეთი ძეგლი წარმოადგენს. დაგროვილი გამოცდილება საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ მსგავსი სხვა კომპლექსებისა თუ სხვა ძეგლების მონიტორინგისთვის მზა გადაწყვეტილებების ნაკრები და შევიმუშაოთ გარემოს კომპლექსური

მონიტორინგის ქსელის ერთიანი კონცეფცია.

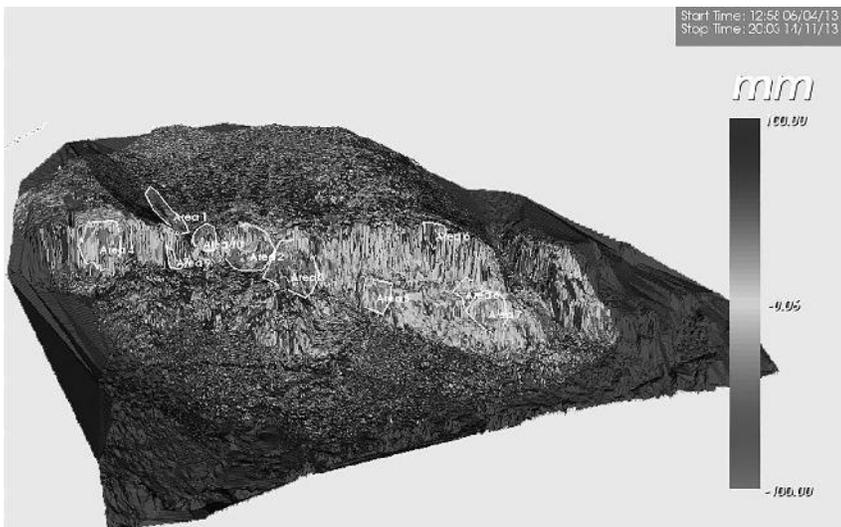
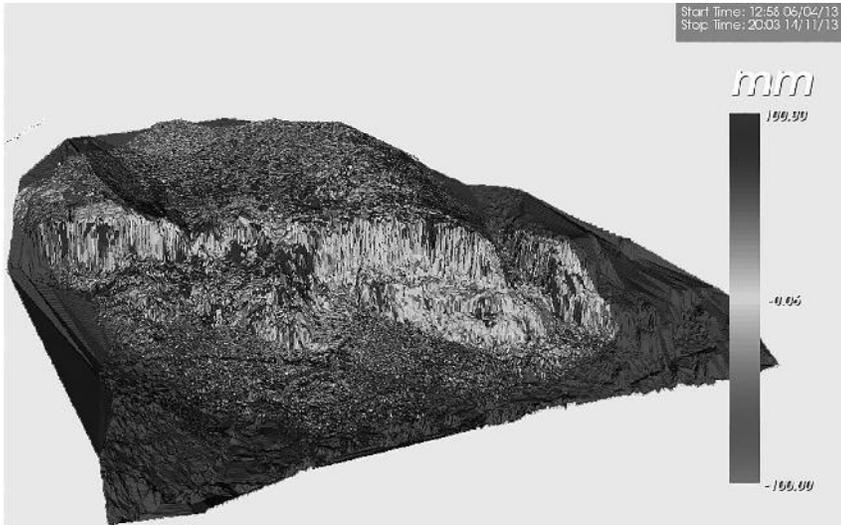
ასევე აღსანიშნავია, რომ ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ვარძიის კომპლექსური მონიტორინგის ქსელი არ წარმოადგენს ერთჯერად ტექნიკურ თუ კონცეფციურ გადაწყვეტილებას, იგი თავისთავად ექსპერიმენტალურ მოდელს წარმოადგენს და სამომავლოდ არსებული ინფრასტრუქტურის გაფართოებით შესაძლებელი იქნება, როგორც დამატებითი მონიტორინგის წერტილების შემოერთება, ასევე დასაკვირვებელი პარამეტრების რაოდენობის გაზრდა.

რადარის მონაცემების დამუშავება. გადაადგილების და სიჩქარის რუკები

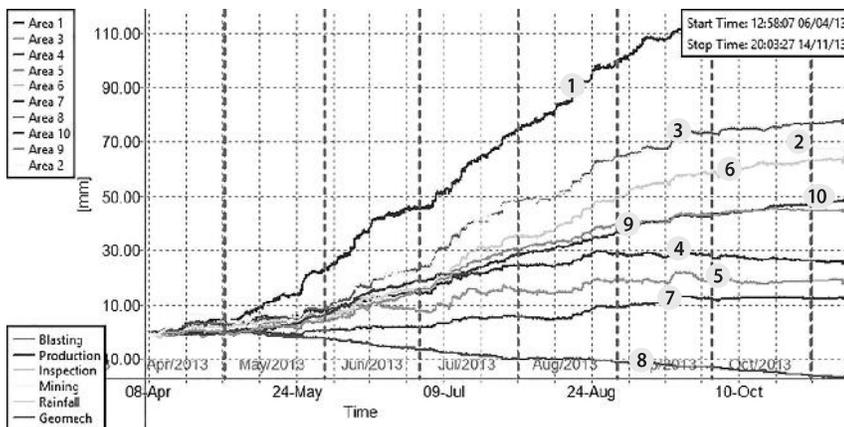
მონაცემების პირველადი დამუშავების შემდეგ, აიგო სიჩქარისა და გადაადგილების რუკები. გადაადგილება გამოსახულია მმ-ში, ხოლო სიჩქარე – მმ/სთ-ში (შესაძლებელია სხვა ერთეულოვანი სისტემის გამოყენებაც – საერთაშორისო ან US customary). სიჩქარე იანგარიშება როგორც გადაადგილების წარმოებული რადარიდან წამოსული სიგნალი წარმოსახვითი ხაზის მიმართ. უარყოფითი მნიშვნელობა ნიშნავს რომ გადაადგილება ხდება სენსორის მიმართულებით, ხოლო დადებითი ნიშნულით გადაადგილება კი პირიქით სენსორის საწინააღმდეგო მიმართულებით. იგივე მიდგომაა სიჩქარული რუკის ინტერპრეტაციისას. გაზომილი მნიშვნელობები იზომება ყოველთვის რადარიდან წამოსული სიგნალის წარმოსახვითი ხაზის გასწვრივ.

რუკების აგება, როგორც სიჩქარის, ასევე დეფორმაციულის (გადაადგილების), სხვადასხვა დროითი პერიოდებისთვის შესრულდა. პირველ ვარიანტში მოხდა ერთიანი წლიური რუკების აგება, ანუ აგებული იქნა 2013, 2014 და 2015-წლების პირველი ნახევარის ერთიანი დეფორმაციული და სიჩქარული სურათები. უშუალოდ აქ იმ ნაწილს განვიხილავთ, რომელიც ჩვენი აზრით შეიცავს საინტერესო ინფორმაციას.

როგორც მიღებული რუკებიდან



ვარძიის ქარაფზე 2013 წლის აკუმულირებული გადაადგილებების რუკა (ა) და ამავე რუკაზე იდენტიფიცირებული აქტიური უბნები (ბ)



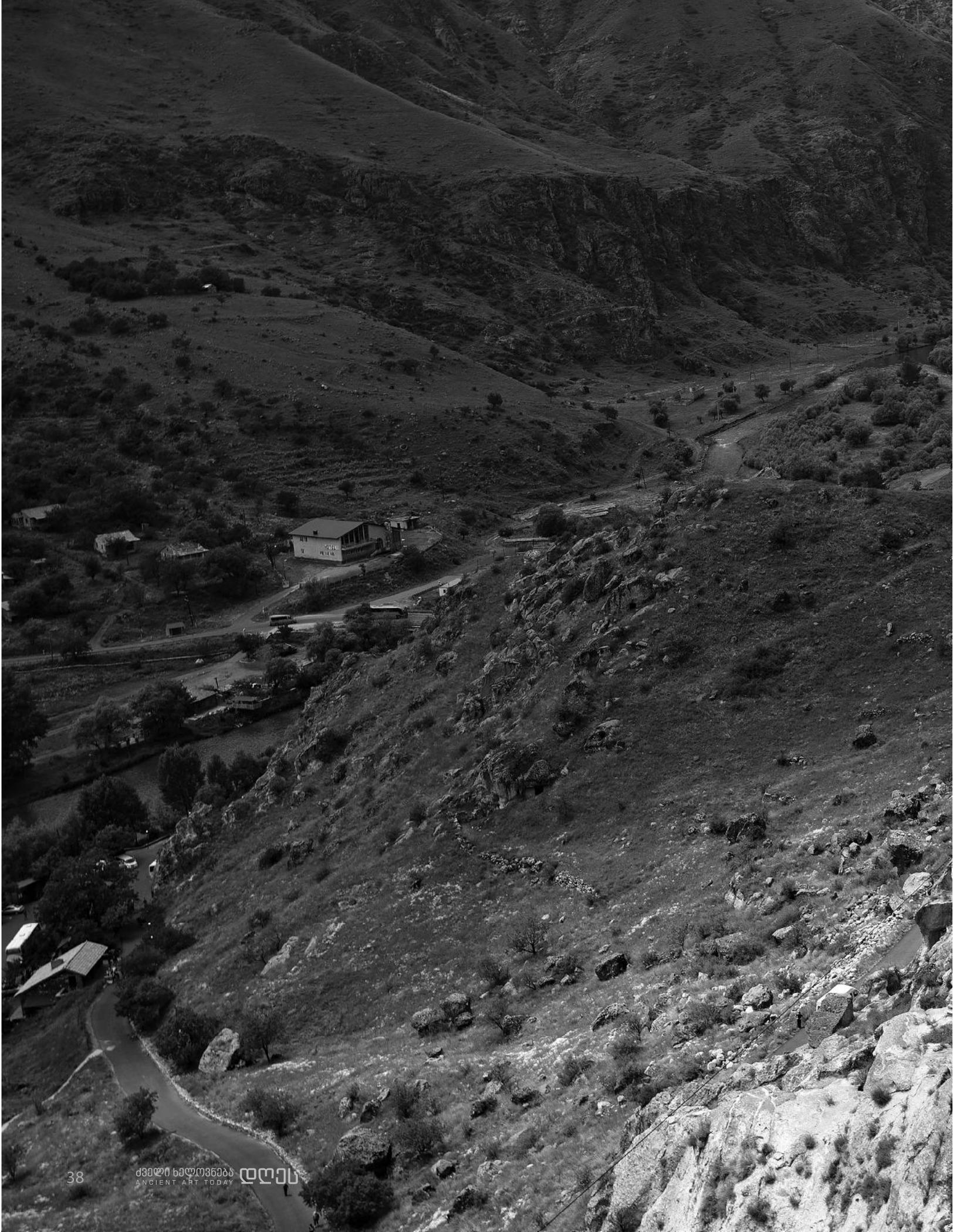
2013 წლის რუკაზე შერჩეული ზონებისთვის აგებული გადაადგილების კუმულატიური მრუდების ერთიანი გრაფიკი

ჩანს დადებითი გადაადგილებები (ლურჯად) გაცილებით უფრო მეტად დაიკვირვება, რაც სავარაუდოდ მასალის ჩამოშლით ან ტრანსპორტირებით არის გამოწვეული, შესაბამისად ჩამოშლის შემდეგ იზრდება მანძილი რადარსა და სკანირებად ზედაპირს შორის. ამრიგად, დადებით გადაადგილებას ერთმნიშვნელოვანი ახსნა აქვს და ან მყისიერ ჩამოშლას ან დროში უფრო გაგრძელებულ ეროზიულ პროცესებს უკავშირდება.

უარყოფით გადაადგილებას, რომელიც ასევე დაიკვირვება მიღებულ რუკაზე, შეიძლება რამდენიმე მექანიზმი მივუსადაგოთ. პირველ რიგში ის შეიძლება ასახავდეს პროცესს, როდესაც ქარაფის ფრაგმენტი მოძრაობს ძირითადი ზედაპირის მიმართ (ჩამოცურდება), ამ შემთხვევაში უარყოფითი დეფორმაციის ზონის (ნითლად) თავზე უნდა მივიღოთ დადებითი დეფორმაციის (ლურჯად) ზონა. იგივე სურათი უნდა მოგვცეს ეროზიამ და ჩამოშლამ, ვინაიდან ქარაფის ძირში ჩამოშლილი მასალის აკუმულაციამ კვლავ უნდა მოგვცეს უარყოფითი დეფორმაცია, მის თავზე დადებითი დეფორმაციის (მასალის ჩამოშლის) ზონით.

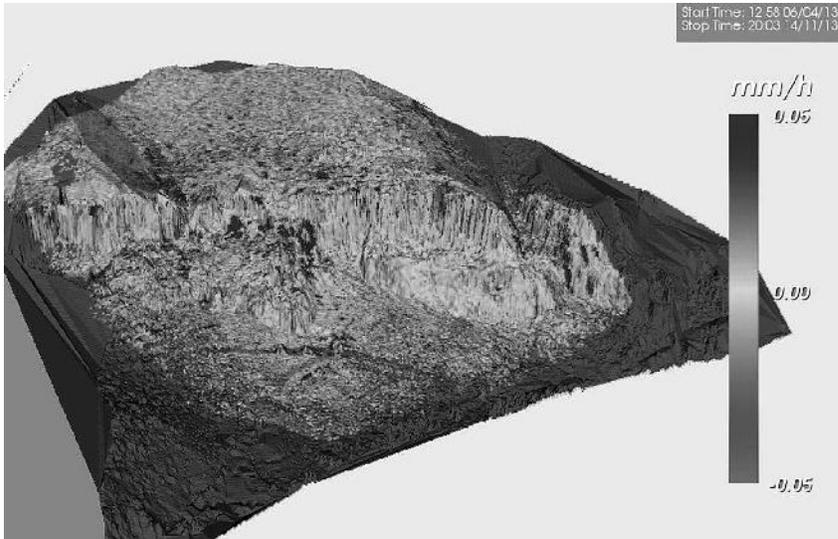
უარყოფითი დეფორმაციის კიდევ ერთი ახსნა, რომელიც ვარძიის შემთხვევაში შეიძლება აქტუალური იყოს, არის პროცესი, როდესაც ქარაფის ფენა ან რამე ფრაგმენტი კარგავს კონტაქტს ძირითად ზედაპირთან და გადმოიხრება. ეს შემთხვევა მეტად კრიტიკულია ვარძიის მონიტორინგის კუთხით, რადგან სახიფათო ზონის იდენტიფიცირების საშუალება უნდა მოგვცეს. ამ შემთხვევაში უარყოფითი დეფორმაციის ზონის თავზე შეიძლება არც დაიკვიროს დადებითი დეფორმაცია, თუმცა გარკვეული დროის მერე ამ უბანზე უნდა ველოდოთ ჩამოშლას ან ჩამონგრევას და შესაბამისად დადებითი დეფორმაციის ზონის გაჩენას.

მიღებულ გადაადგილების რუკაზე მოინიშნა 10 საკვლევი ზონა, რომლებშიც შედარებით ინტენსიური ცვლილებები ფიქსირდება და თითოეული ასეთი ზონისთვის აიგო ზონის ფართობზე გასაშუალოებული გადაადგილების კუმულატიური მრუ-





ფოტო - ზ. ცერცვაძე



ვარძიის ქარაფზე 2013 წლის გადაადგილების სინქარების რუკა



ვარძიის ქარაფზე 2014 წლის აკუმულირებული გადაადგილებების რუკა (ა) და ამავე რუკაზე იდენტიფიცირებული აქტიური უბნები (ბ)

დი, რაც საშუალებას გვაძლევს დავინახოთ თუ როგორ ვითარდებოდა პროცესი დროში.

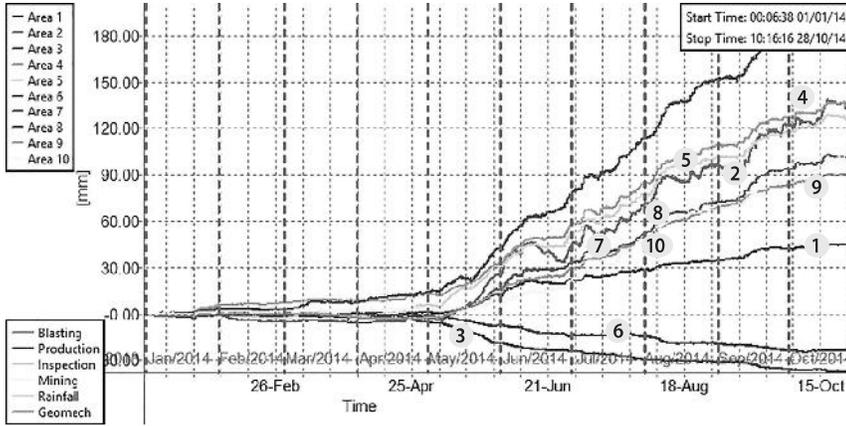
გარკვეული აზრით მსგავს ინფორმაციას გვაძლევს სინქარების რუკაც, სინქარე მოცემულია მმ/სთ ერთეულებში. დადებით/უარყოფით სინქარებს იგივე დატვირთვა აქვს რაც დადებით/უარყოფით დეფორმაციებს.

ანალოგიური რუკები და დროითი სერიები 2014 წლის გადაადგილების რუკისთვისაც აიგო.

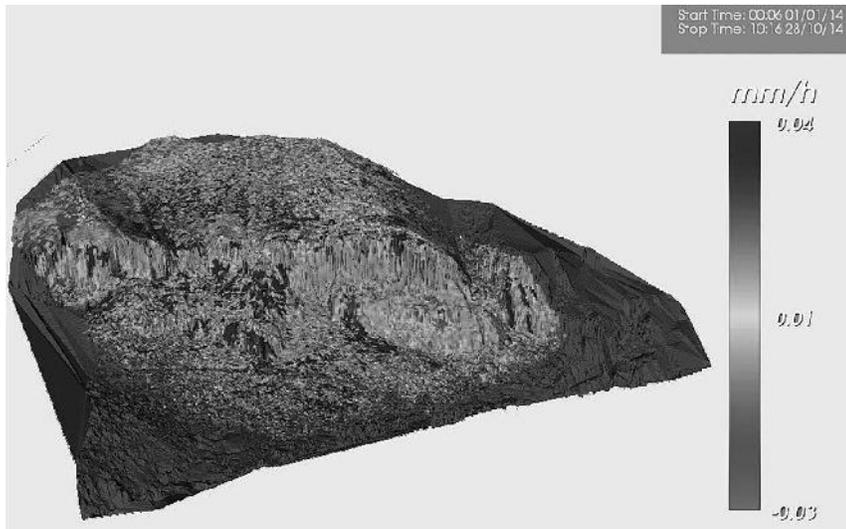
ჩვენს მიერ ვარძიის ქარაფზე მონიშნა 10 საინტერესო უბანი 2013 წლისთვის და 2014 წლისთვის სადაც მნიშვნელოვანი გადაადგილებები ჩანს, მათი უმეტესობა დადებით გადაადგილებას შეესაბამება, ანუ ჩამოშლა/ეროზიას უნდა უკავშირდებოდეს.

ამის კარგ მაგალითს წარმოადგენს ზონა №1 (ზონა №8 2014 წლის სურათზე), რომელიც ვარძიის მარცხენა სეგმენტში არსებულ ძირითად ხევეს შემოსაზღვრავს, ხევის ქვედა ნაწილში მუდმივად დაიკვირვება მასალის ტრანსპორტირება. ზონებში №2 და 3 (შესაბამისად 5 და 4, 2014 წლის სურათზე), სამრეკლოს მიმდებარე უბნებზე მსგავსი სურათი ჩანს, მაგრამ მეტად ხმაურიანი და რაიმე კონკრეტული დასკვნების გაკეთება რთულია, ორივე ზონა ხვდება როგორც მიწის განმედიითი სამუშაოების ზონაში, ასევე ვარძიის დროებითი ხევეების და ნაკადების მოქმედების არეალში, რომლებიც წვიმების დროს აქტიურდება. გადაადგილებების დროითი სერიები ამ უბანზე გვიჩვენებს საშუალოდ 20-30 მმ. გადაადგილებას თვეში.

საინტერესო უბნებს წარმოადგენს უშუალოდ ვარძიის ქარაფზე, მის თითქმის შვეულ უბნებზე დაფიქსირებული გადაადგილებები, უკიდურეს მარცხენა უბანზე ზონა №4 (ზონა 7 – 2014 წლის რუკაზე) და უკიდურეს მარჯვენა სეგმენტში ზონა №6 (ზონა №10 – 2014 წლის რუკაზე). 2014 წლის მონაცემებით ორივე ზონა სტაბილურად ერთნაირ, თვეში დაახლოებით 15-20 მმ. გადაადგილებას გვიჩვენებს, თუმცა 2013 წელს 6 თვის განმავლობაში, ზონა №4-ზე (მარ-



2014 წლის რუკაზე შერჩეული ზონებისთვის აგებული გადაადგილებების კუმულატიური მრუდების ერთიანი გრაფიკი



ვარძიის ქარაფზე 2014 წლის გადაადგილების სიჩქარეების რუკა

ცხენა კიდე) მხოლოდ 30 მმ. გადაადგილება დაფიქსირდა, თანაც ივლისის შემდეგ გადაადგილება დადებითიდან უარყოფითზე შეიცვალა. ხოლო ზონა №6 (მარჯვენა კიდეში) სტაბილურად დადებით გადაადგილებას აჩვენებდა, ოდნავ ნაკლებს ვიდრე 2014 წელს. როგორც ჩანს სწორედ 2014 წელს ამ უბნიდან მცირე (ფხვიერი) მასის ჩამოშლა ხდებოდა, რაც გვაძლევდა დადებით გადაადგილებას. ორივე ეს უბანი, ასევე ფიქსირდება უახლეს, 2015 წლის პირველი ნახევრის გადაადგილების რუკაზე, თანაც გადაადგილების სახე პრინციპულად შეცვლილია. ზონა №4-ის შესაბამისი №6 უბანი 2015 წლის რუკაზე, უარყოფით გადაადგილებას გვიჩვენებს,

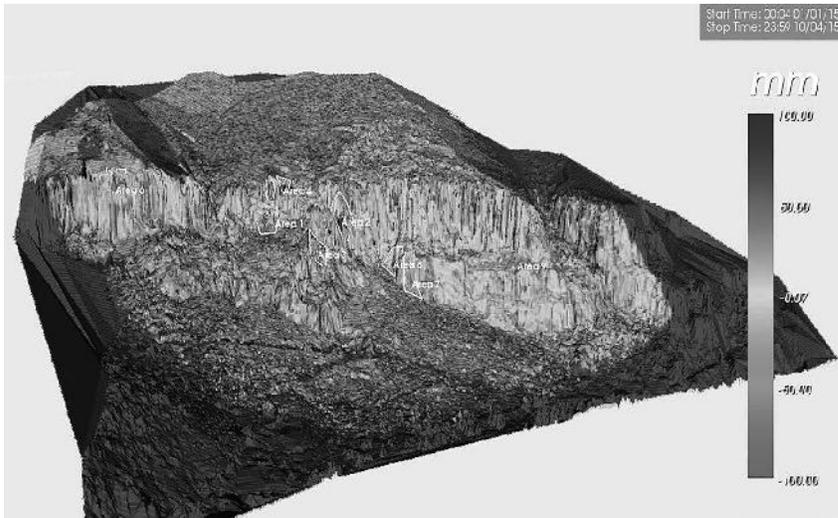
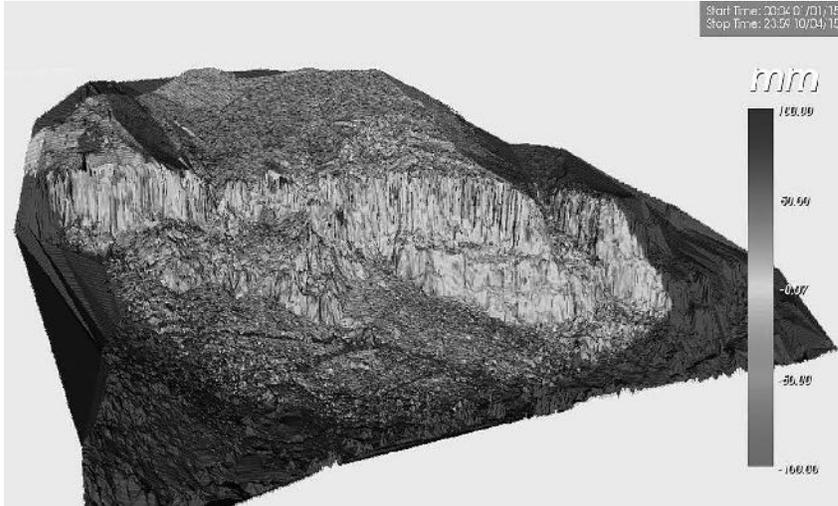
დაახლოებით 2 მმ. თვეში რაც სავარაუდოდ იმაზე მიუთითებს რომ აქ ჩამოშლის პროცესი დასრულდა და დეფორმაციის დაგროვება მიმდინარეობს, ხოლო ზონა №6-ის ადგილზე 2015 წელს ძალიან უმნიშვნელო უარყოფითი დეფორმაცია ჩანს, რაც ასევე ჩამოშლის პროცესის დასრულებაზე მიუთითებს.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ 2013 და 2014 წლის სურათები ვარძიის ქარაფზე გასულ წლებში არსებულ სიტუაციას გვიჩვენებს და საშუალებას გვაძლევს პროცესების დროში განვითარებას დავაკვირდეთ. მნიშვნელოვანია უფრო დეტალურად განვიხილოთ 2015 წლის დასაწყისიდან დანაკვირვები სურათი, რომელიც

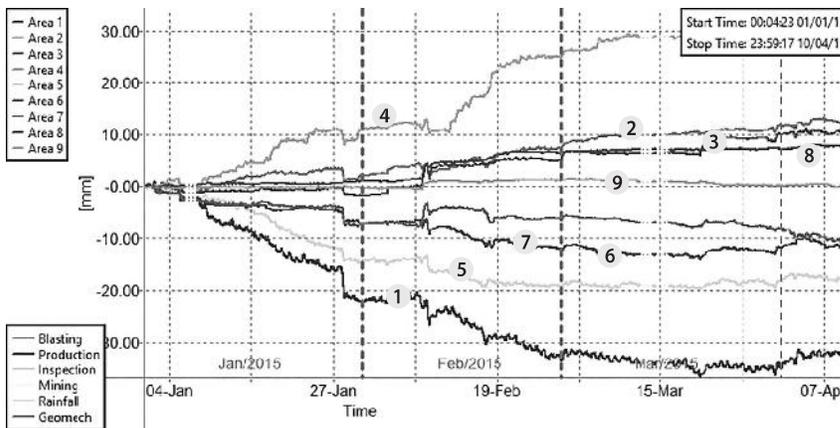
ფაქტობრივად ვარძიის ქარაფზე მიმდინარე სიტუაციას გვაძლევს.

2015 წლის მონაცემებში საინტერესოა ზონა №1, რომელიც მნიშვნელოვან უარყოფით გადაადგილებას გვიჩვენებს იანვარი-თებერვლის თვეებში, ჯამში -40 მმ. (თვეში -20 მმ), ხოლო მარტის თვიდან გადაადგილება წყდება. სწორედ ზამთრის თვეებში არსებული გადაადგილება, გამორიცხავს მცენარეული საფარის გავლენას და როგორც ჩანს ამ პერიოდში ქანში მომხდარ დეფორმაციაზე მიუთითებს და ადგილზე შესწავლას და დაზუსტებას საჭიროებს. აღნიშნული უბანი ასევე კარგადაა გამოხატული 2015 წლის სიჩქარულ რუკაზეც. უშუალოდ ზონა №1-ის თავზე, უფრო მცირე ფართობზე, დაიკვირება დადებითი გადაადგილება (ზონა №4), რაც ცალსახად მასალის ჩამოშლით აიხსნება.

ცალკე განვიხილოთ ვარძიის ორი კრიტიკული უბანი: კელიების ქვეშ არსებული ფერდი და ტურისტული მარშრუტის გამოსასვლელზე არსებული გვირაბის მონაკვეთი. პირველ შემთხვევაში 2013 და 2014 წლების სურათებზე ძირითადად ერთნაირი სურათი დაიკვირვება, როდესაც დადებითი გადაადგილება დომინირებს, რაც ბუნებრივიცაა, ვინაიდან ეს ფერდი ძლიერ გამოფიტულია, ირეცხება და მასალის ჩამოშლა ვიზუალურადაც ადვილად დაიკვირვება. 2013 წელს მცირე უარყოფითი გადაადგილების უბანიც ჩანს, რომელიც მიმდინარე ნგრევის პროცესის ნაწილი უნდა იყოს და, რომლის ეფექტიც გასაშუალოების შემდეგ არცთუ საგრძნობს ხდის ჯამურ დადებით გადაადგილებას. 2014 წელს მხოლოდ დადებით გადაადგილებას ვხედავთ, რომელიც თვეში 20-30 მმ. შეადგენს. 2015 წლის დასაწყისში ჩვენ კვლავ უარყოფითი გადაადგილების ლაქას ვხედავთ, იანვრიდან მარტის მონაკვეთში-10მმ. გადაადგილებით, რაც სავარაუდოდ მიუთითებს დეფორმაციის დაგროვებაზე, რომელიც შემდგომ ჩამოშლაში უნდა გადაიზარდოს და რუკაზე დადებითი გადაადგილება მოგვცეს. აგვისტოს თვეში უკვე დაფიქსირდა ჩამონგრევა აღნიშნულ უბანზე, რაც სამწუხაროდ



ვარძიის ქარაფზე 2015 წლის პირველ ნახევარში აკუმულირებული გადაადგილებების რუკა (ა) და ამავე რუკაზე იდენტიფიცირებული აქტიური უბნები (ბ)



2015 წლის რუკაზე შერჩეული ზონებისთვის აგებული გადაადგილებების კუმულატიური მრუდების ერთიანი გრაფიკი

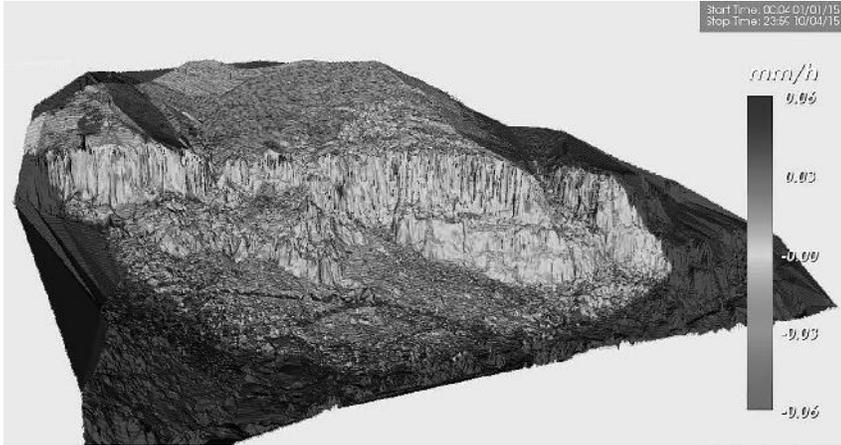
ჩვენს ინტერპრეტაციას ადასტურებს მონაცემთა რეტროსპექტული ანალიზიდან, მიმდინარე ანალიზზე გადასვლის შემდეგ შესაძლებელი უნდა იყოს მსგავსი კრიტიკული უბნების დროული იდენტიფიცირება და ადგილზე ინსპექტირება.

რაც შეეხება გვირაბის მონაკვეთს აქ 2013 და 2014 წლებში დაახლოებით ერთნაირი სურათი გვაქვს: ზედა ნაწილში უარყოფითი გადაადგილება და ქვემოთ დადებითი, ზონები №8 და 7 შესაბამისად (ზონები №3 და 1 2014 წლის რუკაზე). უარყოფითი გადაადგილება თვეში საშუალოდ 6-7 მმ. შეადგენს, დადებითი კი 2013-ში 3 მმ. და 2014-ში 7 მმ. იყო. როგორც ადრე აღვნიშნეთ ზონების მსგავსი განაწილება ცოტა უჩვეულოა და შებრუნებული მოდელი უფრო გასაგები იქნებოდა, დადებითი გადაადგილებით ზედა და უარყოფითი გადაადგილებით ქვედა ნაწილებში. ჩვენს შემთხვევაში დადებითი გადაადგილების ზონა შეიძლება აიხსნას უშუალოდ ქარაფიდან ჩამოყრილი და აკუმულირებული მასალით. ამავე დროს გასარკვევია რა ინტენსივობით მიმდინარეობდა განმედიტი სამუშაოები აღნიშნულ უბანზე, საინტერესოა, რომ ამ უბანზე 2015 წლის დასაწყისისათვის გაცილებით ერთგვაროვანი სურათია, დაიკვირვება მხოლოდ უმნიშვნელო უარყოფითი გადაადგილება ზედა ნაწილში.

ასევე მრავალწლიანი მონაცემების ანალიზის საფუძველზე გაკეთდა შემდეგი ზოგადი დასკვნები:

საინტერესო ეფექტი დაიკვირვება 2013 და 2014 წლების გადაადგილების რუკებზე -პარილის თვიდან ამპლიტუდა თითქოს სეზონურ ხასიათს ატარებს და მკვეთრად მატულობს (დადებითიც და უარყოფითიც). ამჟამად, იტალიელ კოლეგებთან ერთად მიმდინარეობს აქტიური კონსულტაციები და მიღებული შედეგების ერთობლივი ანალიზის განხილვა, რათა ერთი მხრივ მოხდეს მაქსიმალურად ზუსტი ინტერპრეტაცია და მეორე მხრივ დაიხვეწოს მთელი რიგი ტექნიკური საკითხები.

ამპლიტუდურ რუკაზე არეკლილი სიგნალის საკმაოდ მაღალი მაჩვენებლები მივიღეთ, ეს პირველ რიგში განპირობებულია იმით რომ, ამრეკლი ზე-



ვარძის ქარაფზე 2015 წლის პირველ ნახევარში გადაადგილების სიჩქარეების რუკა

დაპირი კლდოვან ქანს წარმოადგენს და ჩვენს მიერ მოხაზულ ფართობშიც მცენარეული საფარის გავლენა მინიმალურია. ამავე დროს არის დაბალი ინტენსივობის უბნებიც, რომლებიც ძირითადად რადარის სიგნალის ჩრდილითაა განპირობებული, ვარძის ქარაფის რელიეფიდან გამომდინარე.

არსებული რადარის განლაგება არცთუ სახარბიელოა. მანძილი რადარიდან სკანირებულ ზედაპირამდე 400-500 მეტრის დიაპაზონში ვარირებს, რაც კარგ თანხვედრაშია რადარის ტექნიკურ მახასიათებლებთან, თუმცა აღსანიშნავია რომ სკანირებისთვის საინტერესო არეალი რადარიდან მარჯვენა მხარესაა მოქცეული. ამავე დროს, რადარის პოზიციიდან გამომდინარე ქარაფის აშიშვლების თითქმის ვერტიკალურ უბნებს სადაც გამოქვაბულებია გამოკვეთილი რადარის სხივი მართებულთან ახლო კუთხით ეცემა. რაც მგრძობელობის რუკაზე შეგიძლიათ იხილოთ, სამწუხაროდ ამ უბნებზე მგრძობელობის კოეფიციენტი 0.25-0.5 დიაპაზონშია. შესაბამისად ჩვენს მიერ მიღებულ დეფორმაციულ რუკებზე ვერ ხერხდება ამ უბნებში მომხდარი გადაადგილებების მაღალი მგრძობელობით რეგისტრაცია. გამოსავალი მდგომარეობს რადარის სხივის დაცემის კუთხის შეცვლაში, რაც შეიძლება მივიღოთ რადარის ქარაფთან უფრო ახლოს გადატანით. ამ შემთხვევაში ქარაფის თითქმის ვერტიკალურ კედლებს სხივი სავრადოდ 45 გრადუსზე

ნაკლები კუთხით დაეცემა, რაც ერთი მხრივ გაგვიზრდის მგრძობელობას, ხოლო მეორე მხრივ გაზრდის მანძილის რეზოლუციას (range resolution).

სააგენტოს მფლობელობაში არსებული რადარის პროგრამული უზრუნველყოფის ლიცენზია (Stand alone license) საჭიროებს გაუმჯობესებას IBIS Guardianis ახალ 03.00 ვერსიაზე, აუცილებელია Early Warning ფუნქციის

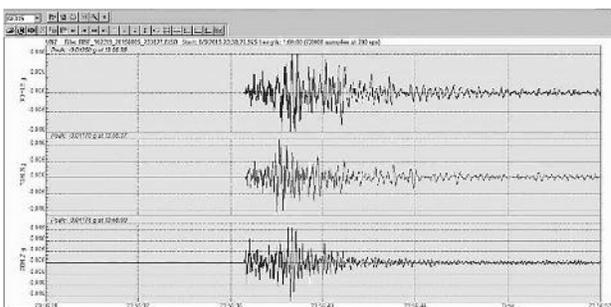
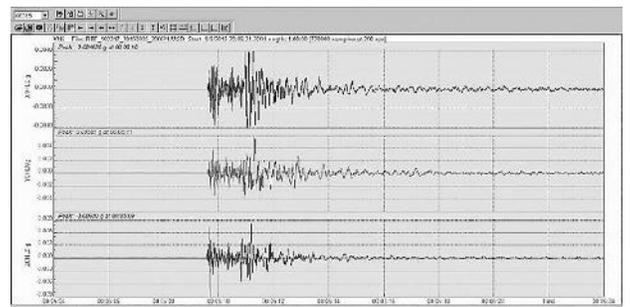
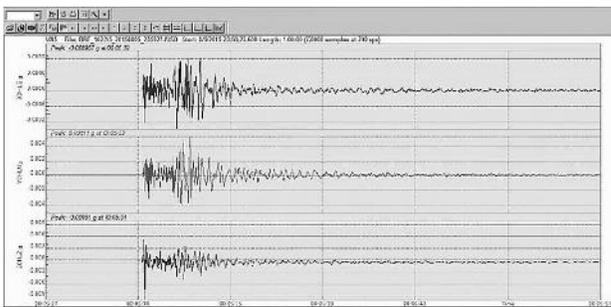
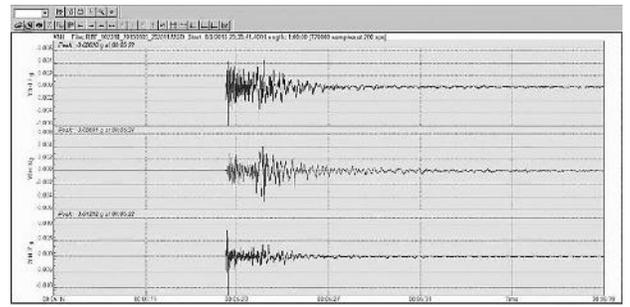
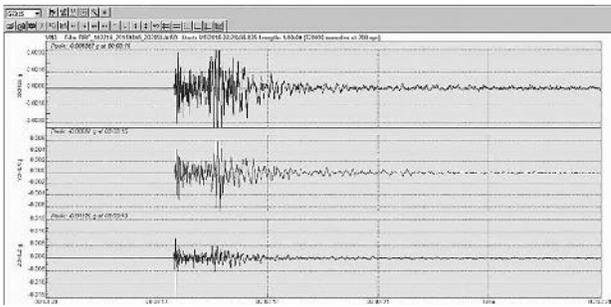
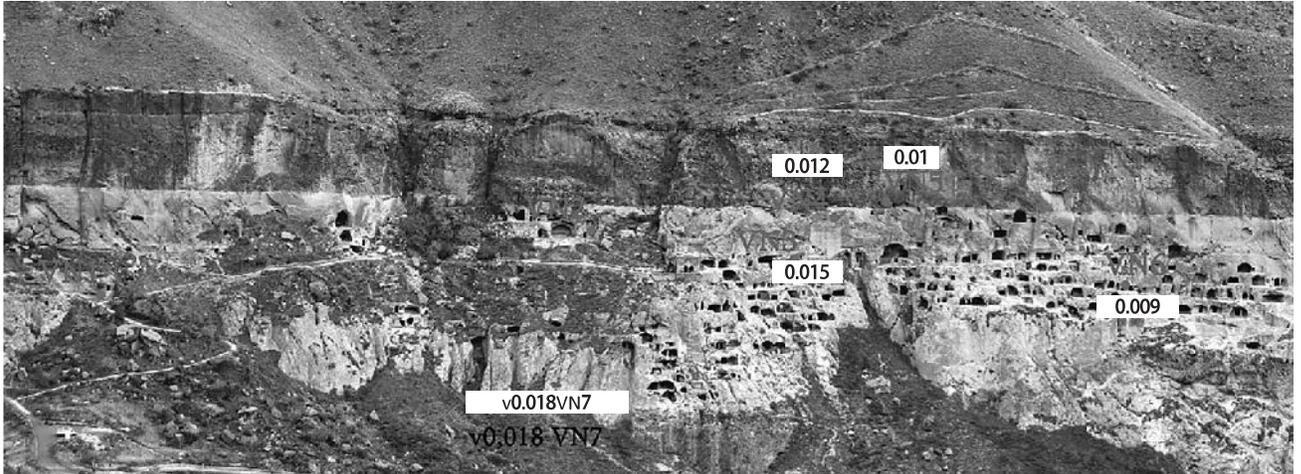
დამატება, რაც საშუალებას მოგვცემს მონაცემები მიმდინარე რეჟიმში დამუშავდეს და სისტემა თავად აცხადებდეს განგაშს კატასტროფული პროცესების განვითარების შემთხვევაში.

2015 წლის 6 აგვისტოს თბილისის დროით ღამის 03 საათსა და 56 წუთზე (UTC 23:56:35) ვარძის კომპლექსიდან 6 კილომეტრის მანძილზე მოხდა 3.4 მაგნიტუდის სიქლიარის მიწისძვრა

5 აგვისტოს თბილისის დროით 11 სთ. 17 წუთზე მოხდა 3.8 მაგნიტუდის სიქლიერის მიწისძვრა ვარძის კომპლექსიდან 30 კილომეტრის დაშორებით, თურქეთის ტერიტორიაზე. ორივე მიწისძვრის რხევები დააფიქსირა ვარძის კომპლექსური მონიტორინგის სისტემაში შემავალმა სეისმურმა აპარატურამ განლაგების შვიდივე წერტილზე. აღსანიშნავია, რომ მომხდარი მიწისძვრების სიძლიერე საშუალოზე ნაკლებია.

ჩვენს მიერ მოხდა ქსელის ჩანაწერების გაანალიზება და ვარძის კომპლექსზე მიწისძვრის ეფექტის გაზომვა.





ვარძის კომპლესზე განთავსებული წერტილებიდან მაქსიმალური აჩქარებაა VN03 – 0,0152 გ.
 ხოლო ვარძის მიმდებარედ მეტეოსადგურთან დაკვირვების წერტილზე VN07 – 0,0177 გ.
 ვარძის ფასადის რადარული სკანირებისას მიწის ან კლდის მასივის ჩამოშლა არ დაფიქსირებულა. დაკვირვების სპეციფიკიდან გამომდინარე ჩატარდება მიწისძვრის მოხდენის შემდეგი 10 დღიანი პერიოდის დეტალური შესწავლა მისი ზემოქმედების დადგენის მიზნით.

ფოტო: ნ. ვაჩიშვილი, გ. კირკიტაძე