

თ. ჭელიძე, ნ. ვარამაშვილი, ზ. ჭელიძე, თ. ქირია,
ნ. ღლონტი, ჯ. ქირია, თ. წამალაშვილი
T. Chelidze, N. Varamashvili, Z. Chelidze, T. Kiria,
N. Ghlonti, J. Kiria, T. Tsamalashvili

მეწყობის მონიტორინგის და
ადრეული შეტყობინების ეკონომიური
ტელემეტრული სისტემის შექმნა

Cost-effective telemetric monitoring and
early warning systems for signaling
landslide initiation

მონოგრაფია

თბილისი
Tbilisi-2018

უკ 550.3 + 624.131:543

ანოტაცია

წიგნში წარმოდგენილია სამუშაოები შესრულდა ევროსაბჭოს დიდი კატასტროფების შეთანხმების გრანტით 2017/08 N 573534 და შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით N 216732.

ღვარცოფის/მეწყრის ადრეული შეტობინების სისტემის (აშს) პროექტის მიზანია, ავტონომიური კვების წყაროს მქონე (მზის ბატარეები), საკმაოდ დაბალფასიანი ზუსტი გეოფიზიკური მონიტორინგის კომპლექსური ტელემეტრული სისტემის შემუშავება, ღვარცოფის/მეწყრის გააქტიურების და ინიცირების სიგნალიზაციისათვის, რადიოსიგნალის ან მობილური ინტერნეტის კავშირის გამოყენებით.

სიზუსტის და დანახარჯების ეფექტურობის, ერთი შეხედვით შეუთავსებელი მოთხოვნების დაკმაყოფილება ბოლო წლებში შესაძლებელი გახდა ახალი ტექნოლოგიების დახმარებით (მაგალითად, MEMS სენსორები, მონაცემთა დამუშავების/გადაცემის ARDUINO-ს მიკროპროცესორული ბაზა ტელემეტრული სისტემის ასაგებად, ნიადაგის ტენიანობის მიკრო რადარ-სენსორები და სხვა ენერგოეფექტური სქემები). შემოთავაზებული აშს ითვალისწინებს მეწყრების/ღვარცოფების გააქტიურების ორი ძირითადი ფაქტორის: ნიადაგის სინოტივისა (როგორც შედარებით გრძელვადიან წინამორბედის) და მასების მექანიკური მოძრაობით გამოწვეული daxrebis/აჩქარების/ვიბრაციების (როგორც მოკლევადიანი წინამორბედების) მონიტორინგს. ამ პრონციპებზე აგებული ადრეული შეტობინების სისტემა გამოცდილია ლაბორატორულ და საველე პირობებში.

განკუთვნილია მეცნიერ მუშაკებისა და ინჟინრებისთვის, ლექტორებისთვის, სტუდენტებისთვის, სამთავრობო და არასამთავრობო ორგანიზაციებისათვის, რომელთა საქმიანობა დაკავშირებულია დედამიწის ფიზიკის, კატასტროფების რისკის შემცირება და სხვა პრობლემებთან.

საკვანძო სიტყვები: გეოფიზიკა, მეწყერი, მეწყრის მოდელირება, ადრეული შეტობინების სისტემები, კატასტროფების რისკის შემცირება.

UDC 550.3 + 624.131:543

Summary

The book presents results of research, carried out in 2017-2018 in the frame of Grant 2017/08 # 573534 of Large Catastrophe Agreement of Council of Europe and Shota Rustaveli

National Science Foundation Project N 216732. The goal of research was developing of landslides/mudflows cost-effective accurate complex Early Warning System (EWS) with telemetric connection for signaling mass-movement activation using radiosignals or Internet connections. The seemingly inconsistent demands for cost-effectiveness and accuracy of system is resolved by usage of new technologies (for example, using MEMS Sensors, ARDUINO based system for data processing and telemetry, micro radar-sensors for soil humidity and economic power sources). The developed EWS is founded on monitoring two main factors of mass-movement initiation: soil humidity (as a long-term precursor) and tilts/acceleration (as a short-term precursors). The Early Warning System, assembled following this concept was tested in laboratory and field conditions.

The book is intended for the scientific workers and engineers, lecturers, students, government and nongovernmental organizations, connected in their activity with the problems of mass-movement physics, disaster risk reduction, etc.

Key words: Geophysics, Landslide, Landslide modeling, Early Warning Systems, Disaster Risk Reduction.

რედაქტორი პროფესორი ვ. აბაშიძე

Editor Professor V. Abashidze

რეცენზენტები: ფიზიკა-მათემატიკის მეცნ. დოქტორი ა. ამირანაშვილი

აკადემიური დოქტორი დ. ოდილავაძე

Reviewers: Phys.-Math. Science doctor A. Amiranashvili

PhD D. Odilavadze

ISSN 1512-1135

სარჩევი

შესავალი	6
1. მეწყრების და ღვარცოფების თეორიული მოდელები	11
2. მეწყრების და ღვარცოფების მონიტორინგის/ადრეული შეტყობინების არსებული სისტემები	28
3. მონიტორინგის/ადრეული შეტყობინების ავტომატური ტელემეტრული სისტემის პროექტის ზოგადი კონცეფცია	38
4. სენსორები და მათი გამოცდა ლაბორატორულ პირობებში	44
5. შეგროვების/პირველადი დამუშავების პლატფორმა	71
6. ეკონომიური ავტონომიური კვების წყარო	74
7. მონაცემთა ანალიზი/განგაშის სიგნალის დონეების დადგენა	76
8. ტელემეტრული გადაცემის სისტემა	79
9. საველე სისტემის აწყობა	87
10. საცდელი ობიექტის შერჩევა და სისტემის დაყენება (გლდანის მეწყერი)	92
11. მონიტორინგის/ადრეული შეტყობინების სისტემის საველე პირობებში მუშაობის შედეგები და ანალიზი	97
12. მეწყრების და ღვარცოფების მიმართ ყველაზე მოწყვლადი	
ობიექტების რუკის შედგენა საქართველოსათვის	100
13. თანამშრომლობა უცხოურ სამეცნიერო ცენტრებთან	106
დასკვნა	108
ლიტერატურა	115

Table of Contents

Introduction	6
1. Theoretical models of landslides and debris flows	11
2. Existing systems for landslides and mudflows	
monitoring / early warning	28
3. General concept of the monitoring / early warning automated telemetry system	38
4. Sensors and their testing in laboratory conditions	44
5. Collection / primary processing platform	71
6. Economic autonomous power source	74
7. Data analysis / alarm signal levels establishing	76
8. Telemetric transmission system	79
9. Assembling of a field system	87
10. Selection of the testing object and system installation (Gldani landslide) .	92
11. Results and analysis of fieldwork of monitoring / early warning System	97
12. Mapping of the most vulnerable objects prone from landslides and mudflows	100
13. Cooperation with foreign scientific centers	106
Conclusion	108
References	115

შესავალი

ყოველ წელს მეწყრები და ღვარცოფები იწვევენ მრავალ უბედურებას მთელი მსოფლიოს მთიან ადგილებში. მეწყრული და ღვარცოფული პროცესების ძლიერ ზეგავლენას პერიოდულად განიცდის ასეულობით დასახლებული პუნქტი, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები, გზები, ნავთობის და გაზსადენების ტრასები და სხვ. სტიქიის საშიშროების არეალში მოქცეულია თითქმის მთელი საქართველო (National Disaster Risk Reduction Strategy of Georgia 2017-2020). ამდენად მასების მოძრაობის პროცესების (ღვარცოფი/მეწყერი) ეფექტური და დაბალფასიანი ადრეული შეტყობინების სისტემის შექმნას პოტენციურად სახიფათო რეგიონებისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს. პრობლემის გადაწყვეტის საკვანძო ელემენტები, როგორც კატასტროფების რისკის შემცირების სენდაის ჩარჩო პროგრამაშია ხაზგასმული (Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030;), არის მეცნიერება და ტექნოლოგიები. სენდაის ჩარჩო პროგრამა გვიხმობს უბედურებების საშიშროების შემცირებისათვის სამეცნიერო-ტექნიკური საქმიანობის გააქტიურებისაკენ და მობილიზაციისაკენ ყველა დონეზე და ყველა რეგიონში არსებული ქსელების და სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტების კოორდინაციის საშუალებით. (Appliance of science key to disaster risk reduction - UNISDR www.unisdr.org/archive/47180)

ბუნებრივია, რომ განსაკუთრებულად მძიმე ვითარებაა შექმნილი მთიან რეგიონებში, სადაც სტიქიის ექსტრემალური გააქტიურების პირობებში არცთუ იშვიათად საჭირო ხდება მოსახლეობის აყრა ისტორიულად დამკვიდრებული საცხოვრებელი ადგილებიდან. ყველაზე საგანგაშო კი ის არის, რომ ამ მოვლენებს ხშირად თან სდევს ადამიანთა მსხვერპლი. სტიქიის ექსტრემალური განვითარების შემთხვევაში ზარალი ასეულ მილიონებს აჭარბებს. საჭიროა მეწყრული და ღვარცოფული პროცესების მომზადების და მიმდინარეობის საფუძვლიანი შესწავლა, რათა მოიძებნოს მათი საშიშროების და რისკის შემცირების გზები.

ბუნებრივი კატასტროფების რისკების შემცირების საქართველოს 2017-2020 ეროვნული სტრატეგიის დოკუმენტში არნიშნულია, რომ „ადრეული შეტყობინების და განგაშის სისტემების შექმნა არსებითია უპირველეს ყოვლისა, მოსახლეობის უსაფრხოებისათვის და, გარდა ამისა, იმისათვის, რომ უზრუნველვყოთ პრევენციის და რეაგირების ეფექტური ქმედებები. ზემოთქმულიდან გამომდინარე საქართველოს მთავრობა თვლის, რომ დიდი მნიშვნელობა აქვს გზების და შესადლებლობების კვლევა შესაბამისი სისტემების განვითარებისათვის მაღალი რისკის არეებში. აუცილებელია

გამომუშავდეს საერთო მიდგომები დას სტანდარტები ადრეული შეტყობინების სისტემებისათვის, რათა მათ გასცენ სიგნალი და შეატყობინონ მოსახლეობას კრიზისული სიტუაციის შესახებ“ (National Disaster Risk Reduction Strategy of Georgia 2017-2020).

საქართველოს ტერიტორია ფართომასშტაბიანი გეოლოგიური პროცესების, მოსახლეობის ზრდის დაინტენსიური მიწათსარგებლობის, ისევე როგორც მსხვილი საინჟინრო ნაგებობების დიდი რაოდენობის გამო, ეკუთვნის ურთულეს, მოწყვლად მაღალმთიან რეგიონებს მსოფლიოში.

აღმოსავლეთ საქართველოში მდ. დურუჯის აუზი არის კლასიკური მაგალითი, რომელიც გვიჩვენებს ღვარცოფების და მათი კატასტროფული შედეგების ინტენსივობას: ბოლო 115 წლის განმავლობაში იყო დიდი ღვარცოფების 31 შემთხვევა; გამოწვეულმა ზარალმა მიაღწია 200 მილიონ აშშ დოლარს.

უახლესი ფართომასშტაბიანი გეომორფოლოგიური კატასტროფები მოხდა 2014 წლის 17 მაისს დარიალის ხეობაში (ღვარცოფი რუსეთ საქართველოს საზღვართან ახლოს) და 2015 წლის 13 ივნისს თბილისში კატასტროფული წყალდიდობა/ღვარცოფი. თბილისში 2015 წლის 13 ივნისის მოვლენამ მოახდინა სტიქიური უბედურებების კასკადირება: ანომალური წყალმოვარდნა/ღვარცოფი - ზოოპარკის დანგრევა - ველური ცხოველების დახოცვა. დაიღუპა 20 ადამიანი, ეკონომიკური ზარალი აღწევს ასეულობით მილიონ აშშ დოლარს. UNDP-ს ბოლო ანგარიშის, „მრავლობითი რისკების ადრეული შეტყობინების სისტემის შექმნა საქართველოში: (UNDP, Nov. 2015)“, მიხედვით, შესაბამისი მოწყობილობის, ადამიანური რესურსების და ფინანსების სიმცირე ქმნის დაბრკოლებას საიმედო და დროული შეტყობინებისათვის.

ამდენად მასების მოძრაობის პროცესების (ღვარცოფი/მეწყერი) მომზადების და ინიცირების მონიტორინგის/ადრეული შეტყობინების ეფექტური და დაბალფასიანი ტელემეტრული კომპლექსური სისტემის შექმნას საქართველოსთვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს. უნდა აღინიშნოს, რომ მსოფლიოში არსებობს გეოდეზიაზე, ექსტენზომეტრებზე, გლობალური პოზიციონირების სისტემაზე (GPS), ლაზერულ და რადარულ ინტერფერომეტრიაზე, ოპტიკურ ბოჭკოვან მეთოდებზე (OFT) და სხვა., მეთოდებზე დაფუძნებული ასეთი სისტემების მწარმოებელი მრავალი ფირმა. ასეთი მოწყობილობების ღირებულება, როგორც წესი, ძალიან მაღალია (ასეულობით ათასი დოლარის რიგის) და თუნდაც ერთი ასეთი სისტემის შექმნა პრაქტიკულად შეუძლებელია განვითარებადი ქვეყნებისათვის. თუ გავითვალისწინებთ, რომ მასათა მოძრაობას უამრავი წყარო აქვს - მხოლოდ

საქართველოში 40 ათასი მეწყრულ/ღვარცოფული პოტენციური წყაროა - ფინანსური ხარჯები დაუძლეველია. ამგვარად, სახიფათო ობიექტების სიმრავლე, ობიექტის ზედაპირის სენსორებით დაფარვის აუცილებლობა, სახიფათო ობიექტების რაოდენობის ზრდა და განვითარებადი ქვეყნების რესურსების სიმცირე, საჭიროებს ეკონომიკურად ეფექტური და იმავე დროს ზუსტი მონიტორინგის/ადრეული შეტყობინების სისტემების დამუშავებას. ქსელური მიდგომა მნიშვნელოვანია, რადგანაც მასათა მოძრაობა საკვლევ მიდამოში, როგორც წესი, ძალზედ მრავალგვარია და მცირე რაოდენობის სენსორებით შეიძლება გამოგვეპაროს სახიფათო მოვლენის დაწყება. მცირეფასიანი მოწყობილობა გვაძლევს საშუალებას: i. საშიშროების პოტენციურ წყაროზე დავაყენოთ სენსორების განშტოებები, რაც ზრდის სისტემის საიმედოობას; ii. თავიდან ავიცილოთ ძლიერი მასათა მოძრაობის შედეგად აშს-ს შესაძლებელი განადგურებით გამოწვეული დიდი ფინანსური დანაკარგები; iii. განადგურებული აშს-ს ქსელის აღდგენის შესაძლებლობა. აღნიშნული ურთიერთსაწინააღმდეგო კონცეფციების (ეფექტური ფასი და სიზუსტე) გაერთიანება შესაძლებელია თანამედროვე მაღალტექნოლოგიური სისტემების გამოყენებით.

ზემოთქმულის გათვალისწინებით იყო წარდგენილი და შესრულდა პროექტი #216732 „მეწყრების მონიტორინგის და ადრეული შეტყობინების ეკონომიური ტელემეტრული სისტემის შექმნა“. პროექტის ფარგლებში პირველად იქნა დაყენებული შემდეგი მიზანი და ამოცანები.

პროექტის მიზანი: ავტონომიური კვების წყაროს მქონე (მზის ბატარეები), საკმაოდ დაბალფასიანი ზუსტი გეოფიზიკური მონიტორინგის კომპლექსური ტელემეტრული სისტემის დამუშავება, ღვარცოფის/მეწყრის გააქტიურების და ინიცირების სიგნალიზაციისათვის რადიოსიგნალის ან ინტერნეტის კავშირის გამოყენებით.

სიზუსტის და დანახარჯების ეფექტურობის, ერთი შეხედვით შეუთავსებელი მოთხოვნების დაკმაყოფილება ბოლო წლებში შესაძლებელი გახდა ახალი ტექნოლოგიების დახმარებით (მაგალითად, MEMS სენსორები და ნიადაგის ტენიანობის სხვადასხვა სენსორები და მცირე ენერგომომხმარების სიგნალების დამუშავების თანამედროვე ციფრულ ელემენტებთან თავსებადი მონაცემების გადაცემის ელემენტები).

აღნიშნული კვლევა ითვალისწინებდა შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტას: i. ეფექტური და დაბალფასიანი ტელემეტრული გეოფიზიკური მონიტორინგის და აშს-ს ქსელის/სისტემის პროტოტიპის განვითარება ავტონომიური კვების წყაროთი (მზის ელემენტი), ღვარცოფის/მეწყრის დაძვრის შესატყობინებლად 15-20 კმ მანძილზე რადიოსიგნალის

გამოყენებით, ან უფრო დიდ მანძილზე ინტერნეტის ან მობილურის გამოყენებით. ქსელური მიდგომა მნიშვნელოვანია, რადგანაც მასათა მოძრაობა საკვლევ მიდამოში, როგორც წესი, ძალზედ მრავალგვარია და მცირე რაოდენობის სენსორებით შეიძლება გამოგვეპაროს სახიფათო მოვლენის დაწყება.

ii. ლაბორატორიულ პირობებისათვის, გადაადგილების, აჩქარების, ვიბრაციის და ნალექების/ნიადაგის ტენიანობის მონიტორინგის სამუშაომოდულის კონსტრუირება თანამედროვე მაღალტექნოლოგიური ელემენტების გამოყენებით.

iii. მოდულის ლაბორატორიული გამოცდები აშს-ს სენსორების ოპტიმალური მგრძობიარობა/სიხშირე/ამპლიტუდის დიაპაზონის დასადგენად.

iv. გადაადგილების, დიფერენციალური აჩქარების, ვიბრაციის და ნალექების/ნიადაგის ტენიანობის გაზომვებზე დაფუძნებული საველე პირობებში მომუშავე აშს ქსელური პროტოტიპის მოდულის აწყობა და ტესტირება.

v. გადაადგილების, დიფერენციალური აჩქარების, ვიბრაციის მოდულის ჩანაწერების შედარება და გრადუირება TROMINO სტანდარტული ხელსაწყობის საშუალებით.

vi. საქართველოს ღვარცოფების/მეწყერების საშიშროების რუკის შედგენა დიდი საინჟინრო ობიექტების (ჰესების, მილსადენების, ძირითადი გზების, მსხვილი სამრეწველო ობიექტების, დიდი დასახლებების) დატანით - ანუ ღვარცოფების/მეწყერების მაღალი რისკის რუკის აგება, სადაც აშს-ს დაყენებას აქვს მაღალი პრიორიტეტი.

vii. ღვარცოფის/მეწყერის ინიცირების ალბათობის გაზრდის კრიტერიუმების დამუშავებასხვადასხვა დონეზე ავარიული სიგნალების გადმოსაცემად (სიწყნარე, ყურადღება, საშიშროება), ნიადაგის ტენიანობის და დიფერენციალური აჩქარებების მონაცემების გამოყენებით. გამარტივებულ ვარიანტში, გრძელვადიანი შეტყობინებისათვის, შეიძლება გამოყენებული იქნას ნალექების საერთო რაოდენობა (მმ) და ნალექების ხანგრძლივობა (საათები).

viii. ნალექების გაფრთხილებას დაემატება აჩქარების/ვიბრაციის მონაცემები მოკლევადიანი განგაშის გადმოსაცემად.

წარმოდგენილი ღვარცოფის/მეწყერის აშს-ს ქსელი მოიცავს მასების მოძრაობის გამომწვევი ორი ძირითადი ფაქტორის მონიტორინგს: ნიადაგის ტენიანობას (შედარებით გრძელვადიანი წინამორბედი) და მექანიკური მოძრაობით გამოწვეული გადაადგილება/აჩქარება/ვიბრაციას (მოკლევადიანი წინამორბედი), თანამედროვე მცირეფასიანი მიკროსენსორების

გამოყენებით, რომლებიც შეიძლება იყოს ერთჯერადი და მასათა მოძრაობისას დაზიანების შემთხვევაში ადვილად მოხდეს მათი ხელახლა დაყენება. შეიძლება ითქვას, რომ ჩვენი მოწყობილობა არის დიაგნოსტიკური სისტემა, რომელიც მუდმივად იღებს ინფორმაციას, ადარებს მათ შეთანხმებულ კრიტერიუმებს (ნიადაგის ტენიანობის და დიფერენციალური აჩქარების კრიტიკულ მნიშვნელობებს) და იღებს გადაწყვეტილებას განგამის ტელემეტრული სიგნალის გაგზავნაზე.

ჩვენ შევძელით აღნიშნული სისტემის კონსტრუირება და ჩავატარეთ სატესტო გამოცდები, რომლებმაც წარმატებით ჩაიარა. წარმოდგენილი ადრეული შეტყობინების სისტემის სიმარტივის, ეფექტურობის და ეკონომიურობის გამო ის საინტერესო უნდა იყოს მეწყრული მოვლენების საშიშროების ქვეშ მყოფი ქვეყნებისათვის. წარმოდგენილ სისტემაზე ჩვენ ავიღეთ პატენტი. ყოველივე ამის გამო ღვარცოფების და მეწყრების დისტანციური კომპლექსური მონიტორინგის და ადრეული შეტყობინების ეკონომური სისტემის პოტენციური ბაზარი შეიძლება მნიშვნელოვნად გაიზარდოს.

თავი 1. მეწყერების და ღვარცოფების თეორიული მოდელები

1.1 პრობლემის აქტუალობა. მეწყერი როგორც გეოფიზიკური საშიშროება

ჩვენ შეგვიძლია განვსაზღვროთ მეწყერი, როგორც გრავიტაციის მიზეზით გამოწვეული, ქანების, ნამტვრევების ან გრუნტის მოძრაობა. მეწყერების უმეტესობა ძალიან მცირეა. დიდმა მეწყერებმა შეიძლება გავლენა მოახდინოს ადგილობრივი წყლების დინებებზე და ადგილობრივ დასახლებებზე. დიდმა ჩამოქცევებმა შეიძლება გამოიწვიოს კატასტროფები და შეცვალოს გეომორფოლოგიური გარემო რამდენიმე კვადრატული კილომეტრის მიდამოში. ზოგიერთი მეწყერი ვითარდება ძალიან ნელა, და სპეციალური აპარატურაა საჭირო რათა გავიგოთ, რომ ისინი, ფაქტობრივად, მოძრავი არიან. სხვა შეიძლება მოძრაობდეს 100 კმ / სთ-ზე სწრაფად. ზოგიერთი მათგანი იწყება ცოცვით, შეუმჩნეველი მოძრაობით, შემდეგ მოულოდნელად აჩქარდება და გადაიზრდება კატასტროფულ ნარჩენების ზვავეში. ზოგიერთი მეწყერი მოძრაობს სითხის მსგავსად. დანარჩენები მარცვლოვანი ნაკადების მსგავსად. ბევრი მეწყერი წყვეტს მოძრაობას უზარმაზარ ტერიტორიებზე დაზიანების მიყენების გარეშე; სხვა შედის ზღვაში და ზიანს აყენებს ასობით კილომეტრის მოშორებით.

წარმოდგენილი პროექტის საბოლოო მიზანი არის: ავტონომიური კვების წყაროს მქონე (მზის ბატარეები), საკმაოდ დაბალფასიანი ზუსტი გეოფიზიკური მონიტორინგის კომპლექსური ტელემეტრული სისტემის დამუშავება, ღვარცოფის/მეწყერის გააქტიურების და ინიცირების სიგნალიზაციისათვის რადიოსიგნალის ან ინტერნეტის კავშირის გამოყენებით.

ფართომასშტაბიანი ექსპერიმენტები და სავლე დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ მეწყერმა შეიძლება გამოავლინოს ნელი და სტაბილური სრიალი, ეპიზოდური სტიკ-სლიპი ან უეცარი აჩქარება. მეწყერები რჩებიან სერიოზულ ბუნებრივ საშიშროებად ადამიანის სიცოცხლისა და ჯანმრთელობისათვის. მეწყერი ასევე ერთი მნიშვნელოვანი საშიშროებაა ადამიანის ცხოვრების, ეკონომიკისა და ინფრასტრუქტურისათვის. დედამიწის ზედაპირი არის დინამიური, არა სტატიკური და რელიეფი იცვლება დროში ამინდის და ზედაპირული პროცესების: ეროზიის, დანალექის გადატანის და დალექვის, გამო. ამ ცვლილებებმა შეიძლება მნიშვნელოვანი ზიანი მიაყენოს სამოქალაქო საინჟინრო პროექტებს. მეწყერი მნიშვნელოვანი ბუნებრივი

გეომორფული პროცესია, რომელიც აყალიბებს მთიან ტერიტორიებს და ახდენს ნალექების გადანაწილებას [59].

პრობლემის აღწერა

მეწყერი ითვლება ერთ-ერთ ყველაზე დამანგრეველ ბუნებრივ პროცესად; ის აზიანებს და ხშირად მთლიანად ანადგურებს ადამიანთა დასახლებებს და გავლენას ახდენს ეკონომიკურ საქმიანობაზე, განსაკუთრებით მთაში. ცნობილია, რომ დედამიწის მოსახლეობის 10%-ზე მეტი ცხოვრობს მთებში ან მთისწინა რეგიონებში [60]. მეწყერი ძალზედ გავრცელებულია კავკასიაში. წარსულში ან ახლახან მომხდარი ყველაზე გიგანტური მეწყერები დაკავშირებულია მიწისძვრებთან და ვულკანურ ამოფრქვევებთან, თუმცა ძლიერმა ნალექმა და ადამიანის საქმიანობამ ასევე შეიძლება გამოიწვიოს მასების მოძრაობები, რასაც მიაქვს ნიადაგი და დანალექი მთის ფერდობებიდან და ახდენს უარყოფით ზეგავლენას უზარმაზარ მთიან ტერიტორიებზე [21,123,11,44,2,1].



ნახ.1.1. 1988 წლის მეწყერი (ფოტო გადაღებულია 2003). მთიანი აჭარა, მდინარე სხალთას ხეობა

ნახ.1.2. დაახლოებით 110 წლის მეწყერი/მთიანი აჭარა, სხალთას ხეობა)

ბევრია შემთხვევა როდესაც მთის მოსახლეობა აქტიურად სახლდება არა მარტო უძველესი მეწყერების შემონატანებზე და რელიეფზე, არამედ საკმაოდ ბოლო პერიოდებშიც. ამის მკაფიო მაგალითებია აჭარის მთიან რეგიონში. 1988 წლის 15 აპრილს მთის ფერდობიდან ფხვიერი ნალექების დიდი მასების უეცარმა ჩამოსვლამ ჩაკეტა მდინარის კალაპოტი. რამდენიმე

წუთში, მეორე მეწყერმა დაფარა მდინარის სხვა ნაწილი და დამარხა სოფელ წაბლანას ნაწილი მოსახლეობასთან ერთად მოტანილი თიხებით და ნამტვრევებით. მასა მოწყდა მთის ფერდობიდან 1800 მ სიმაღლეზე, ჩამოსვლის სიმაღლე დაახლოებით 400 მ, ხოლო მოძრაობის მანძილმა გადააჭარბა 3 კმ. მდინარე ჩაიკეტა დაახლოებით 15-20 მ სიმაღლის კაშხლით. საბედნიეროდ, კაშხალის ეროზია მიმდინარეობდა ნელი ტემპით, ამიტომ არ მოხდა კატასტროფული წყალდიდობა. სულ მეწყერის მოცულობამ (შედგებოდა ძირითადად შერეული ქვის ფრაგმენტებიდან, ნამსხვრევებიდან და თიხისაგან) შეადგინა დაახლოებით 104 მილიონი კუბური მეტრი. დაახლოებით მოცულობის ნახევარი შეერია მდინარეში და ჩაირეცხა. ნაწილი შემდეგ იქნა ამოღებული მდინარიდან, სახლების ამოღებისას.

მეწყერული კატასტროფების ადამიანთა მსხვერპლის სტატისტიკა და შეფასება ერთმანეთს არ შეესაბამება, ერებს შორის ეკონომიკური განსხვავების და ბევრ სახელმწიფოში მონაცემების შეგროვების გაუმჯობესებული ტენდენციების გამო. გარდა ამისა, სტიქიის სტატისტიკაში, მეწყერის მსხვერპლი და დაზიანებები, ხშირად შერწყმულია მასთან დაკავშირებულ სხვა საშიშროებებთან. [98, 99,124,96,8,9].

[124,87,78,79,80,81]. პრაქტიკულად ყველა სახის მეწყერი ასოცირდება სხვადასხვა პარამეტრების და მაგნიტუდის მიწისძვრასთან [79,80,74]. გარდა დიდი რაოდენობით ახალი მეწყერის გამოწვევისა, მიწისძვრას ასევე შეუძლია მოახდინოს ნელი მეწყერის გააქტიურება. [64]. ბევრი უძლიერესი ქვათაცვენა, ზვავი და მოვარდნები, მათ შორის დიდი ადამიანური დანაკარგებით, გამოწვეული იყო სეისმური ბიძგით [124,125,126,69,70]. მეწყერი ხდება სხვადასხვა გეომექანიკური და გეოლოგიური პარამეტრების პირობებში, გამოწვეული სხვადასხვა დატვირთვით და ტრიგერირების პროცესებით. ისინი ხშირად დაკავშირებული არიან სხვა მნიშვნელოვან ბუნებრივ კატასტროფებთან, როგორცაა მიწისძვრა, წყალდიდობა და ვულკანური ამოფრქვევები.

"ექსტრემალური ეგზოგენური გეოლოგიური პროცესებიდან, მეწყერები და ღვარცოფები საქართველოში ყველაზე ხშირია, რაც საფრთხეს უქმნის მოსახლეობას და ქვეყნის ეკონომიკას. დროდადრო ამ მოვლენების (ხშირად კატასტროფული) გავლენას განიცდის ათასობით დასახლება, ასევე სასოფლო-სამეურნეო მიწები, გზები, მილსადენები, მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზები, ჰიდროტექნიკური და სამელიორაციო ნაგებობები, სამთო ტურისტული კომპლექსები და ა.შ. მე -20 საუკუნის ბოლო ათწლეულამდე ექსტრემალური მეწყერის გრავიტაციული პროცესების წარმოქმნა ძირითადად იყო ციკლური, ადგილობრივი გეოლოგიური და

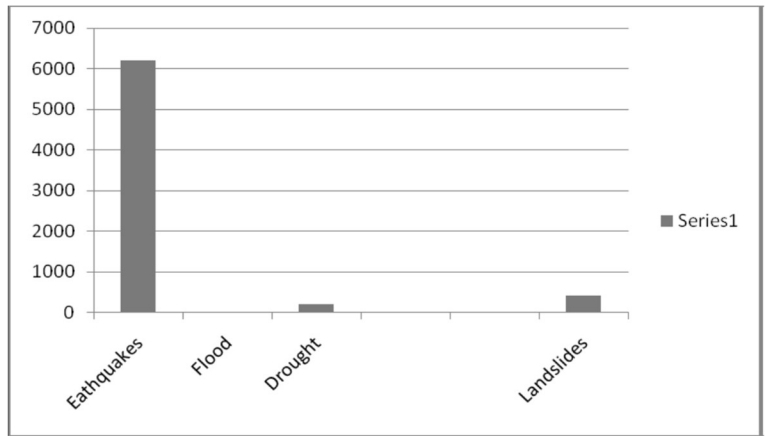
კლიმატური პირობების გათვალისწინებით 3-5 ან 8-11 წლამდე ინტერვალებით. 1990-იანი წლების დასაწყისიდან ამ პროცესების ინტენსივობა თითქმის ყოველწლიურად იზრდებოდა საშუალო ფონურ დონეზე მაღლა, ხოლო ექსტრემალურ მოვლენებს შორის ინტერვალები მნიშვნელოვნად შემცირდა. შედეგად, უფრო და უფრო მეტი ტერიტორიები, დასახლებები და ინფრასტრუქტურული ობიექტები ექცევა მათი პოტენციური ზემოქმედების ზონაში.

მეწყურული პროცესები ხდება საქართველოს ყველა კლიმატურ / გეომორფოლოგიურ ზონაში, რომელიც იწყება შავი ზღვის სანაპიროდან და მთავრდება მაღალი ალპური ზონით. დღესდღეობით, არსებობს 50 000-ზე მეტი ადგილი მაღალი რისკით და სხვადასხვა დონის დინამიკით. მათი საერთო ფართობი 1,5 მილიონ ჰექტარს აღემატება. დინამიური მეწყერების 70% -ზე მეტი დასახლებული ტერიტორიების, სასოფლო-სამეურნეო და ინფრასტრუქტურული ობიექტების ზონებშია. 2000-მდე დასახლება 200 000-ზე მეტი მოსახლეობით, ასევე ძირითადი გზები, ნავთობისა და გაზის მილსადენები და დიდი ჰიდროტექნიკური რეზერვუარები პირდაპირი საფრთხის ზონაშია. ინფრასტრუქტურული ობიექტების ჯამური 25% რისკის ზონაშია. 1,5 მილიონზე ჰექტარზე მეტი მიწის ნაკვეთი მაღალი რისკის მქონე რეგიონებშია, რაც ქვეყნის ტერიტორიის 22% წარმოადგენს. დღეისათვის, 53,000 უბანი სრიალის დინამიკის რისკის პროცესშია. სავარაუდოა, რომ მეწყერსაშიში უბნების 70% სოფლის მოსახლეობის მიერ არის დაკავებული. ბოლო 40 წლის განმავლობაში მეწყერის გამო ათეულობით სოფელი მიტოვებულია. რაჭა-ლეჩხუმში, აჭარაში, ზემო იმერეთში და სამეგრელოს მთისწინეთში კლიმატის ცვლილების ეფექტი, ხშირ მიწისძვრებთან და ანთროპოლოგიური ფაქტორების გააქტიურებასთან ერთად, ხდება მეწყერის რაოდენობის გაზრდის მიზეზი.

ღვარცოფი არის კიდევ ერთი ბუნებრივი მოვლენა, რომელიც შეიცავს საქართველოს მოსახლეობის და საინჟინრო ობიექტების ფიზიკური უსაფრთხოების რისკს. ღვარცოფები გვხვდება საქართველოს ყველა კლიმატურ / მორფოლოგიურ ზონებში და ყველა სახის გეოლოგიურ სტრუქტურაში. მათი განმეორების სიხშირე, მოცულობა, ენერჯია, ფორმირების პირობები და გეოლოგიური ხასიათი მნიშვნელოვნად განსხვავდება კონკრეტული ტერიტორიების რელიეფისა და გეოლოგიური სტრუქტურის მგრძობელობის მიხედვით. დღეისათვის საქართველოს ტერიტორიაზე, მცირე მდინარეებზე და ძირითადად დიდი მდინარეების პირველი სამი შენაკადზე, გამოიყოფა 3000-მდე პოტენციური ღვარცოფი (საერთო ფართობი 2 მილიონი ჰექტარია). პრაქტიკულად, მცირე

მდინარეების ხეობებში მდებარე ყველა დასახლება (მოსახლეობა და ინფრასტრუქტურა), ასევე ცივ-გომბორი და საგურამო-იალნოს ქედები და კახეთის მთისწინეთი, ღვარცოფის საფრთხის ქვეშ მყოფი ზონებია. სხვა მაღალი რისკის ზონებია: თბილისი, ყვარელი, თელავი, საგარეჯო, ლაგოდეხი, ონი, ბორჯომი, მასტილია, ლენტეხი, ადიგენი, მცხეთა, ცაგერი და სხვა. პერიოდულად, 532 მდინარე ღვარცოფად ტრანსფორმაციის პოტენციალით შეიძლება დაემუქროს გზებს, ხაზოვან სარწყავ ნაგებობებს და სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს. ამ ქალაქებში ღვარცოფების გამო, 1500 კმ-ზე მეტი საავტომობილო გზა, 300 კილომეტრი რკინიგზა, ნავთობსადენი და სარწყავი სისტემები რისკის ქვეშ არიან. საშუალო წლიური მატერიალური ზიანი დაახლოებით 120 მილიონ ლარს შეადგენს (54.5 მილიონი ევრო). ("საქართველოს ეროვნული კატასტროფის რისკის შემცირების სტრატეგია 2017-2020").

შემოთავაზებული კვლევებს აქვს დიდი სამეცნიერო და პრაქტიკული მნიშვნელობა [53,127,128,105,20,15]. საქართველოს შემთხვევაში პროექტის პრაქტიკული მნიშვნელობა ასევე აშკარაა. 2011 წლის ზაფხულის ტრაგიკული მოვლენების, მეწყერის და წყალდიდობის, შედეგად რიკოთის უღელტეხილზე დაიღუპა ექვსი ადამიანი. ასეთივე უბედურებით ხასიათდება იმავე წლის ზაფხული საქართველოში. ბევრი სხვა კატასტროფები მოხდა მცხეთა-მთიანეთის, კახეთისა და შიდა ქართლის რეგიონებში. ზოგადად, მეწყერი მიწისძვრის შემდეგ საქართველოში ეკონომიკური დანაკარგების ყველაზე დიდი წყაროა - მასზე მოდის 1988-2007 წლების სართო დანაკარგების 7-8%. საქართველოში 200 000 ადამიანზე მეტი ცხოვრობს მეწყერსაშიშ ზონებში [111].

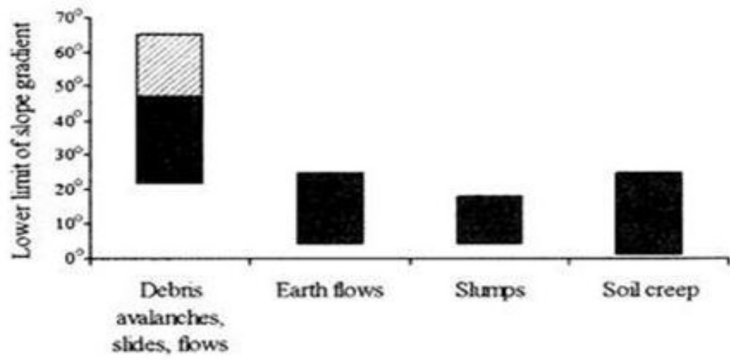


ნახ.1.3. კატასტროფების შემთხვევები და ეკონომიკური დანაკარგები საქართველოში 1988-2007 წლებში მილიონ ამერიკულ დოლარებში

შემოთავაზებული სამუშაოს მიზანია ეფექტური და დაბალფასიანი ტელემეტრული გეოფიზიკური მონიტორინგის და აშს-ს ქსელის/სისტემის პროტოტიპის განვითარება ავტონომიური კვების წყაროთი (მზის ელემენტი), ღვარცოფის/მეწყერის დაძვრის შესატყობინებლად 15-20 კმ მანძილზე რადიოსიგნალის გამოყენებით, ან უფრო დიდ მანძილზე ინტერნეტის ან მობილურის გამოყენებით.

ზოგადი საფუძვლები

ფერდობზე მასების მოძრაობის კლასიფიცირების მრავალი გზაა [123,44] და შეიძლება შემდეგნაირად დავყოთ კატეგორიებად: მეწყერების გამომწვევი ბუნებრივი ფაქტორები: გეომორფოლოგიური ფაქტორები; ჰიდროლოგიური ფაქტორები; სეისმურობა; ვულკანური აქტიურობა. მიუხედავად იმისა, რომ ფერდობის დახრის გრადიენტი მნიშვნელოვანადაა დაკავშირებული მეწყერის ინიცირებასთან (ნახ.1.4), გარემოს სხვა დინამიური ფაქტორებიც თამაშობენ მნიშვნელოვან როლს.

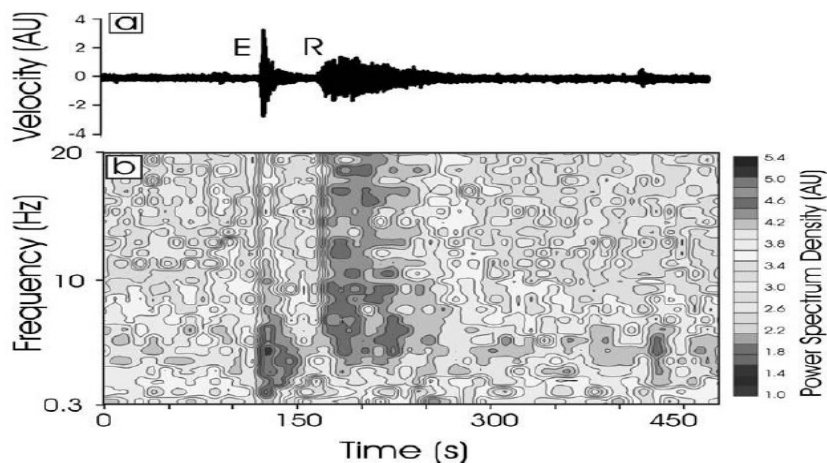


ნახ.1.4. სხვადასხვა ტიპის მეწყერების დახრის გრადიენტის ქვედა ზღვარი მსოფლიოს სდვასხვა ადგილიდან. დაშტრიხული ნაწილი წარმოადგენს მხოლოდ ერთ ტერიტორიას ინდოეთში.

ჰიდროლოგიური ფაქტორები. ფერდობის ჰიდროლოგია ახდენს ძირითად კონტროლს მეწყერის ინიცირებაზე. ნალექის და თოვლის დაგროვების (და დნობის) სივრცითი მოდელი მჭიდროდაა დაკავშირებული მეწყერის ინიცირებასთან [29,30,102,74]. რიცხვითი მოდელირება აჩვენებს, რომ ძლიერი წვიმების დროს მომხდარი მეწყერების რაოდენობა და მეწყერების ტრიგერირებაში წვიმების ფარდობითი მნიშვნელობა დამოკიდებულია საშუალო და მაქსიმალურ საათობრივ ინტენსივობაზე, რომელიც ასევე მოქმედებს მეწყერის მოხდენაზე.

სეისმურობა. მიწისძვრით გამოწვეული მეწყერი ნაკლებად გასაგებია ვიდრე წვიმით გამოწვეული მეწყერი, რადგან წვიმის წვლილი მეწყერის მოვლენაში უფრო იოლად განისაზღვრება, ვიდრე მიწისძვრის დროს მიწის მოძრაობის წვლილი. ამჟამად, მიწისძვრით გამოწვეულ მეწყერთან დაკავშირებული რამდენიმე საუკეთესო ინფორმაცია არის მიღებული მეწყერების მოხდენის რეტროსპექტული ანალიზით სხვადასხვა მაგნიტუდის და პარამეტრების მიწისძვრების მოხდენის პერიოდის განმავლობაში [64,69,70,111]. რაჭის (1991) მიწისძვრით გამოწვეული მსხვერპლის უმეტესობა გამოწვეული იყო მიწისძვრით ინდუცირებული მეწყერით, რომელმაც მთლიანად დაფარა სოფელი ხახიეთი.

ვულკანური აქტივობა. ვულკანური ამოფრქვევები მთლიანად დაკავშირებული ტექტონიკური ფილების საზღვრებთან. კალდერას კოლაფსთან დაკავშირებულ პროცესებს შეუძლია გამოიწვიოს მეწყერი ან თუნდაც ლაპარი ვულკანის ფერდობზე [59]. ფალასპერლა და სხ. [50] მიხედვით 2002 წლის 30 დეკემბერს კოლაფსის ჩაწერა მხოლოდ მეწყერების სახით მოხდა. სეისმური მონიტორინგის მუდმივ სადგურები კრატერთან ახლოს (<2 კმ) იძლეოდნენ ინფორმაციას 2002-2003 წლების ლავის ამოფრქვევების შესახებ. მეწყერებს, ქვათაცვენას და ნამსხვრევები ნაკადებს აქვთ ტიპური სეისმური ხელწერა, რაც საშუალებას იძლევა გამოირჩეს ეს სიგნალები მიწისძვრებისა და აფეთქებების რყევებისაგან. მაგალითად, ქვათაცვენის ეპიზოდის წინამორბედი აფეთქების დროის სერიები და შესაბამისი სპექტროგრამა ნაჩვენებია ნახ. 1.5-ზე.



ნახ.1.5. (ა) სეისმოგრამა და (ბ) ვერტიკალური კომპონენტის ჩანაწერების დროითი სერიის შედარებითი სპექტროგრამა, 27 აგვისტო 2004.აფეთქების

რყევა (E) ცოტა ხნით წინ უსწრებს ქვათაცვენის ეპიზოდს (Falsaperla et al. 2006)

მიწისძვრით გამოწვეული ყველაზე დამანგრეველი მეწყერი მოხდა პერუში 1970 წელს. 1970 წლის 31 მისს პერუს სანაპიროდან 25 კმ მანძილზე ოკეანეში მოხდა ძლიერი მიწისძვრა. მიწისძვრის ბიძგებმა ეპიცენტრიდან 130კმ დაშორებით, სამხრეთ ამერიკის ერთ-ერთ უმაღლეს მწვერვალზე ჰუასკარანზე მოარყია ქანები და ყინული. ამან გამოიწვია გიგანტური მეწყერი, რომლის სიჩქარე და ზომები იზრდებოდა და მიაღწია 200კმ/სთ. მან ქვებით, ტალახით და ყინულით ამოავსო მთისწინა ხეობა, ნაწილობრივ გაანადგურა ქალაქი რანრაპირჩა, მთიდან 12 კმ დაშორებით. მეწყერის ნაწილი გადავიდა ქედის მეორე მხარეს და გაანადგურ სოფელი იუნგაი. მსხვერპლის საბოლოო რიცხვი იყო 67 000 დაღუპული ადამიანი და 800 000 უსახლკარო. საქართველოს შემთხვევაში მეწყერების და ღვარცოფების ადრეული შეტყობინების სისტემების კვლევის მნიშვნელობა ცხადია, რადგანაც ქვეყანა მდებარეობს მთა-გორიან და სეისმურად აქტიურ რეგიონში.

აღმოსავლეთ საქართველოში მდ. დურუჯის აუზი არის კლასიკური მაგალითი, რომელიც გვიჩვენებს ღვარცოფების და მათი კატასტროფული შედეგების ინტენსივობას: ბოლო 115 წლის განმავლობაში იყო დიდი ღვარცოფების 31 შემთხვევა; გამოწვეულმა ზარალმა მიაღწია 200 მილიონ აშშ დოლარს. უახლესი ფართომასშტაბიანი გეომორფოლოგიური კატასტროფები მოხდა 2014 წლის 17 მაისს დარიალის ხეობაში (ღვარცოფი რუსეთ საქართველოს საზღვართან ახლოს) და 2015 წლის 13 ივნისს თბილისში კატასტროფული წყალდიდობა/ღვარცოფი. თბილისში 2015 წლის 13 ივნისის მოვლენამ მოახდინა სტიქიური უბედურებების კასკადირება: ანომალური წყალმოვარდნა/ღვარცოფი - ზოოპარკის დანგრევა - ველური ცხოველების დახოცვა. დაიღუპა 20 ადამიანი, ეკონომიკური ზარალი აღწევს ასეულობით მილიონ აშშ დოლარს.

მეწყერი, როგორც გეოფიზიკური საშიშროება

მეწყერების კვლევის ძირითადი მოტივაცია არის საშიშროების პრევენცია და რისკის შემცირება. მეწყერების უმეტესობა მცირეა და მათი დამანგრეველი პოტენციალი შეზღუდულია. თუმცა, დიდი მეწყერი შეიძლება იყოს ძალიან კატასტროფული. მეწყერებმა ზოგჯერ შეიძლება დიდი წვლილი შეიტანონ კატასტროფების მსხვერპლთა მთლიან რაოდენობაში. ჩინეთში, სიჩუანის

პროვინციაში, 1786 წელს მოხდა ძლიერი მიწისძვრა. გამოწვეულმა მეწყერმა ადგილობრივი მდინარე დააგუბა 10 დღის განმავლობაში. შემდეგ გაირღვა კაშხალი. შედეგად დაიტბორა დაბლობი 1400 კმ მანძილზე და დაიხრჩო 100 000 ადამიანი. ვაიონტის ტრაგედია (ჩრდილოეთი იტალია, 1963) იყო კაშხალზე წყლის გადმოსვლის შედეგი, რაც გამოიწვია წყალსაცავში უზარმაზარი მეწყრის ჩავარდნამ. ყველა მეწყერიდან, საშუალო გათვლებით, წელიწადში საშუალოდ ნორვეგიაში კვდება 5-7 ადამიანი, იტალიაში 18, აშშ-ში 25-50, ნეპალში 186, იაპონიაში 170 და ჩინეთში 140-150 [129]. საბედნიეროდ, ეს არ არის ძალიან მძიმე მსხვერპლი სხვა ბუნებრივი კატასტროფებთან ან ავტოკატასტროფებთან შედარებით. თუმცა, მეწყრის უარყოფითი შედეგები არ შემოიფარგლება მხოლოდ მსხვერპლით, არამედ მოიცავს სახლების და ინფრასტრუქტურის განადგურებას, დაზიანების ზონაში პროდუქციის დაკარგვას, ადგილობრივი წყლის რესურსების არაპროგნოზირებად ცვლილებებს და სახნავი ან საცხოვრებელი მიწის ნაკვეთების შემცირებას.

მეწყრების ტიპები

მეწყრის გეომეტრიული მახასიათებლები [50].

ნახაზი 1.5 იმეორებს მეწყრის იდეალიზებულ სქემას [123]. მოძრაობა იწყება შესუსტების ზონიდან დაგროვების ზონისაკენ. მეწყრის გვირგვინი განსაზღვრავს დაძრული მასის უმაღლესი ნაწილების მიმდებარე რეგიონს. სკარპი არის ციცაბო ვარდნამეწყრის ზედაპირსა და მიდამოს რელიეფს შორის. შინაგანი წანაცვლების გამო რამდენიმე უმნიშვნელო ვარდნა (სკარპი) განსაზღვრავს მთავარ მეწყრულ სხეულს. რღვევის ზედაპირი განსაზღვრავს მეწყრის ფუძეს, სადაც მოხდა გასრიალება. ტერფის მასალა მოტანილია დაგროვების ზონაში, რღვევის ზედაპირის საზღვრების გარეთ. მეწყრის მონატანი მთავრდება წვერით, რომელიც არის საზღვარი (როგორც წესი მოღუნული) დაგროვებულ მასალასა და ხელშეუხებელ რელიეფს შორის.

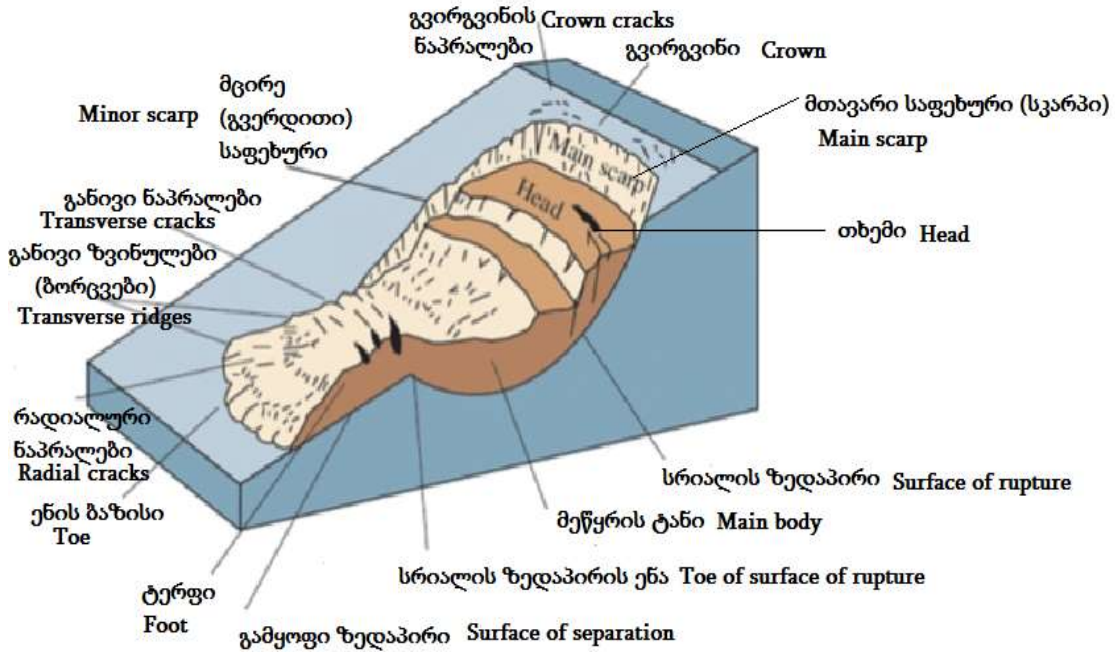
ვარდნა

ვარდნა არის მასალის მოძრაობა მყარი კედლის თავიდან ან კლდიდან. როგორც წესი, ვარდნა შეიცავს შეზღუდული რაოდენობის მასალას, ჩვეულებრივ ქვებს. რელიეფთან კონტაქტი ხდება ტრაექტორიის ბოლო ნაწილში, სადაც ხდება მასალის დამსხვრევა.

გადაყირავება

გადაყირავება არის ვერტიკალური ფილის ტრიალი ფუძესთან განლაგებული მობრუნების წერტილის გარშემო. გადაყირავება არის

ტიპური კომპაქტური ვერტიკალური ფილებისათვის (როგორც წესი, მაგრამ არა აუცილებლად ქვის) რომლებიც განლაგებულია რბილ, არაკონსოლიდირებულ რელიეფზე. მოძრაობა შეიძლება ძალიან ნელი ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში, ფილის კატასტროფული დაცემის კულმინაციით.



ნახ.1.6. როტაციული მეწყურის და განვითარებული გრუნტის მოძრაობის ძირითადი გეომეტრიული ელემენტები. ნახატზე მოცემულია მეწყურის ელემენტების მიღებული დასახელებები (Varnes, 1978)

გადატანითი სრიალი

სრიალი განისაზღვრება, როგორც მასალის მოძრაობა წანაცვლების ზედაპირის გასწვრივ. გადატანითი სრიალისათვის ეს ზედაპირზე ბრტყელია. წანაცვლების ზედაპირის იდენტურობა ინახება და ეს განასხვავებს სრიალს ნაკადისაგან.

ბრუნვითი სრიალი

ბრუნვით სრიალში, გამოყოფილი ზედაპირი დაახლოებით წრიული, კოვზის მსგავსია. გადატანითი სრიალისაგან განსხვავებით, სადაც ბრტყელი ზედაპირი ხშირად წარმოიქმნება შესუსტების ზონიდან, ბრუნვითი სრიალის წრიული ფორმა წარმოიქმნება თავად მეწყურის დაძვრისაგან და მიიღება ძვრის ძაბვების გეომეტრიული განაწილებიდან.

ნაკადი

ნაკადი არის მეწყერი, რომელშიც ინდივიდუალური ნაწილაკები მოძრავ მასაში მოძრაობენ განცალკევებულად. აქ შეიძლება ჩართული იყოს ნებისმიერი მასალა და აქედან გამომდინარე შეიძლება იყოს დამტვრეული ქვა, სხვადასხვა ზომების ნაშალი ნარჩენები. ნაკადი მისი ფიზიკური გაგებით განისაზღვრება, როგორც მასალის უწყვეტი, შეუქცევადი დეფორმაცია, რომელიც მიმდინარეობს მოდებული დამაბულობის საპასუხოდ. ნაკადი ამგვარად ხასიათდება სითხის მსგავსი მოძრაობით. სრიალი შეიძლება გადაიზარდოს ნაკადში თუ ენერგია და/ან დამკრა საკმარისია მასალის გარდასაქმნელად.

განივი გავრცელება

იგი შედგება ქვების და ნიადაგის გვერდითი მოძრაობისაგან, ხშირად დიდი გაფართოებით. ქვების გავრცელების შემთხვევაში, სიჩქარე ხშირად მცირეა (ერთი მეათედი მმ-დან 10 სმ-მდე წელიწადში) და ზოგადად გამოწვეულია კლდოვანი ფილების ქვეშ სიღრმული პლასტიკური მასალით. ნიადაგის გავრცელება შეიძლება იყოს ძალიან სწრაფი, რამდენიმე მეტრი წამში.

კომპლექსური

ეს ზოგადი სახელი გამოიყენება, როდესაც მეწყერი იცვლის ქცევას გავრცელების დროს.

1.3 გრავიტაციული მასათა მოძრაობის ფიზიკური კლასიფიკაცია. ფერდობის მდგრადობა

მოსახერხებელია გრავიტაციული მასების ნაკადების კლასიფიკაცია შემოვიტანოთ უპირატესი ფიზიკური ქცევის და ფიზიკური აღწერილობის საფუძველზე, რომელიც უფრო შესაბამისი ჩანს. კლასები ქვემოთაა ჩამოთვლილი [56].

რეოლოგიური ნაკადები (კოჰეზიური)

ტალახის ღვარცოფი არის ერთგვარი მეწყერი, სადაც დიდი რაოდენობით თიხით მდიდარი ნიადაგი შერეულია წყალთან და ეშვება ქვემოთ ფერდობზე, ხშირად მდინარის კალაპოტის გასწვრივ. ნაკადის ასეთი ტიპი განასახიერებს რეოლოგიურ ნაკადს. რეოლოგიური ნაკადი იდეალურად გამოისახება, როგორც კომპლექსური თვისებების მქონე სითხე. მისი ფიზიკური აღწერა უნდა ეფუძნებოდეს სითხის მექანიკას, არა-ნიუტონის სითხის ტერმინებით განსაზღვრული რეოლოგიური თვისებებით. რეოლოგიური ნაკადის ძირითადი შემადგენელი ნაწილები წარმოადგენენ

წვრილ ნაწილაკებს (განსაკუთრებით თიხის ან ლამის), რომლებიც, როდესაც შეერევიან წყალს, ნაკადს ანიჭებენ შეკრული ქცევის თვისებებს. ბუნებაში რეოლოგიური ნაკადები ჩვეულებრივ შეიცავს ქვიშას, ხრემს და ლოდებს, რამაც რეოლოგიურ ქცევას შესაძლოა მიანიჭოს ხახუნის კომპონენტი. შემადგენლობისაგან დამოკიდებულებით, რეოლოგიურ ნაკადებს შეიძლება ეწოდოს ღვარცოფები (თუ შემადგენლობას აქვს ზომების გარკვეული სპექტრი), ტალახის ღვარცოფები (თუ ძირითადად შედგება წვრილი ნაწილაკებისაგან).

მარცვლოვანი ნაკადები (ხახუნით)

მარცვლოვანი ნაკადები არის მარცვლოვანი მასალის სწრაფი მოძრაობა, სადაც ხახუნი დინამიკაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს. მარცვლოვანი ნაკადის მცირემასშტაბიანი ანალოგი არის დახრილ ზედაპირზე ქვიშის მოძრაობა. თუმცა, ქვიშის ფართომასშტაბიანი ზვავი ძალიან იშვიათია. ბუნებაში, ფართომასშტაბიანი მარცვლოვანი ნაკადები ჩვეულებრივ ვითარდება მთლიანი (დაუმტვრეველი) ქანების ფილისაგან. მაღალი ენერჯიების ზემოქმედება, შინაგანი დეფორმაცია და მტვრევა განსაზღვრავს კლდოვანი მასის სწრაფ დაშლას.

ქვათაცვენა და გადაყირავება

ქვათაცვენა გამოიხატება სიმძიმის ძალის მოქმედებით ბლოკების ცვენაში, რომელიც თავისუფალი ვარდნის ფაზა წარმოადგენს გზის მნიშვნელოვან ნაწილს. ქვათაცვენა არსებითად აღიწერება მყარი სხეულის მოძრაობით, მაგრამ რელიეფის გავლენა შეიძლება გაცილებით რთული პრობლემა იყოს. ბლოკი შეიძლება აირეკლოს მყარი ქანისაგან, ერთმანეთს შეეჯახოს და გაგორდეს რბილ გრუნტზე.

ნელი მეწყერები და ცოცვა

გარკვეული მეწყერები გადაადგილება ძალიან ნელა და ხშირად მათი ყოფნა გამოვლინდება მხოლოდ ნაპრალებით და ჩამოვარდნილი ბლოკებით. ნელი მეწყერების ქცევა ხშირად გაუგებარია. ნელი მეწყერები შეიძლება გვიჩვენებდნენ ქანების ქვეშ თიხის ფენების არსებობას, ზოგჯერ შეიძლება დაკავშირებული იყოს რღვევასთან შესუსტებულ სიბრტყეში. ისინი ხშირად გამოწვეულია კარსტული მოვლენებით ან გაყინვა-დათბობით.

ფერდობის მდგრადობა

გრავიტაციას აქვს ტენდენცია გაასწოროს ფერდობები, თუ არ იქნებოდა ქანების და ნიადაგის კოჰეზია და ხახუნის ძალები. თუმცა, სტაბილურობის პირობებში შეიძლება შეიცვალოს წონასწორობის დროებითი რეგულირების ან გარე შემფოთებების გამო. ამ შემთხვევაში შეიძლება მოხდეს მეწყერის ტრიგერირება.

ფერდობის სტაბილურობა დამოკიდებულია რამდენიმე ფაქტორზე:

1. რა სახის მასალაა ჩართული პროცესებში. მაგალითად, ვულკანური მასალა ძალიან არასტაბილური და ინტენსიური ნალექების შემდეგ გახდეს ღვარცოფების და ლაჰარის წყარო.

2. მასალის გეომეტრია. ფერდობის მიმართულებით დაქანებული ქანების ფენები განსაკუთრებით არასტაბილურია. დახრის კუთხე კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრია.

3. მასების განაწილება ფერდობის გასწვრივ. ფერდობის ზედა ნაწილის დატვირთვას შეიძლება დიდი გავლენა ჰქონდეს სტაბილურობაზე. გარდა ამისა, მიწის მოჭრა ფერდობის ქვედა ნაწილში ხელს უწყობს მოცურებას.

4. წყალი ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი არასტაბილურობის ფაქტორია. ის ამცირებს კოჰეზიას ნიადაგში და ზრდის მარცვლოვანი გარემოს წონას და წყლის ფოროვან წნევას. ფერდობში წყლის გაჟონვის სიჩქარეს შეიძლება ასევე გადამწყვეტი მნიშვნელობა ჰქონდეს. დრამატული არის სწრაფი ნაკადები, რომლებსაც ადგილი აქვს მსოფლიოს მრავალ რეგიონში, სადაც ქანები დაფარულია ნიადაგის სქელი ფენით (თბილისი, ვერეს ხეობა, 2015წელი).

5. გარე იმპულსური ძალები, როგორცაა მიწისძვრა, ტალღები და ვულკანის ამოფრქვევა. საქართველოში ათასობით მეწყერის თითქმის ნახევარი შეიძლება კლასიფიცირდეს როგორც სეისმურად გამოწვეული. 1991 წლის 29 აპრილს რაჭაში მოხდა 7.0 მაგნიტუდის მიწისძვრა. 114 ადამიანი დაიღუპა. ბევრი მეწყერის ტრიგერირება მოხდა 2500 კვადრატული კილომეტრის ეპიცენტრალურ ტერიტორიაზე, რამაც გამოიწვია ბევრი სტრუქტურული დაზიანება და ადამიანების დაღუპვა (მთლიანი მსხვერპლის ნახევარი მეწყერების შედეგია). მიწისძვრამ, ეპიცენტრალურ ზონაში, გამოიწვია ექვსი დიდი მეწყერი, სოფელ ხახიეთის მოვლენის ჩათვლით. მიწისძვრით ტრიგერირებულმა ძალიან დიდი ნამსხვრევების ზვავმა მიწისძვრის 114 მსხვერპლიდან გამოიწვია 50 დაღუპვა. ზვავმა ჩაკეტა ხახიეთისწყლის ხეობა, დაანგრია სოფელი ხახიეთი, დაიღუპა მისი დაახლოებით 50 მოსახლე და ჩამოყალიბდა დაახლოებით 100მ სიმაღლის ბუნებრივი კაშხალი. შეიქმნა 1X2 კვადრატული კილომეტრის ფართობის ტბა. კაშხალი დაირღვა რამდენიმე საათში [22].

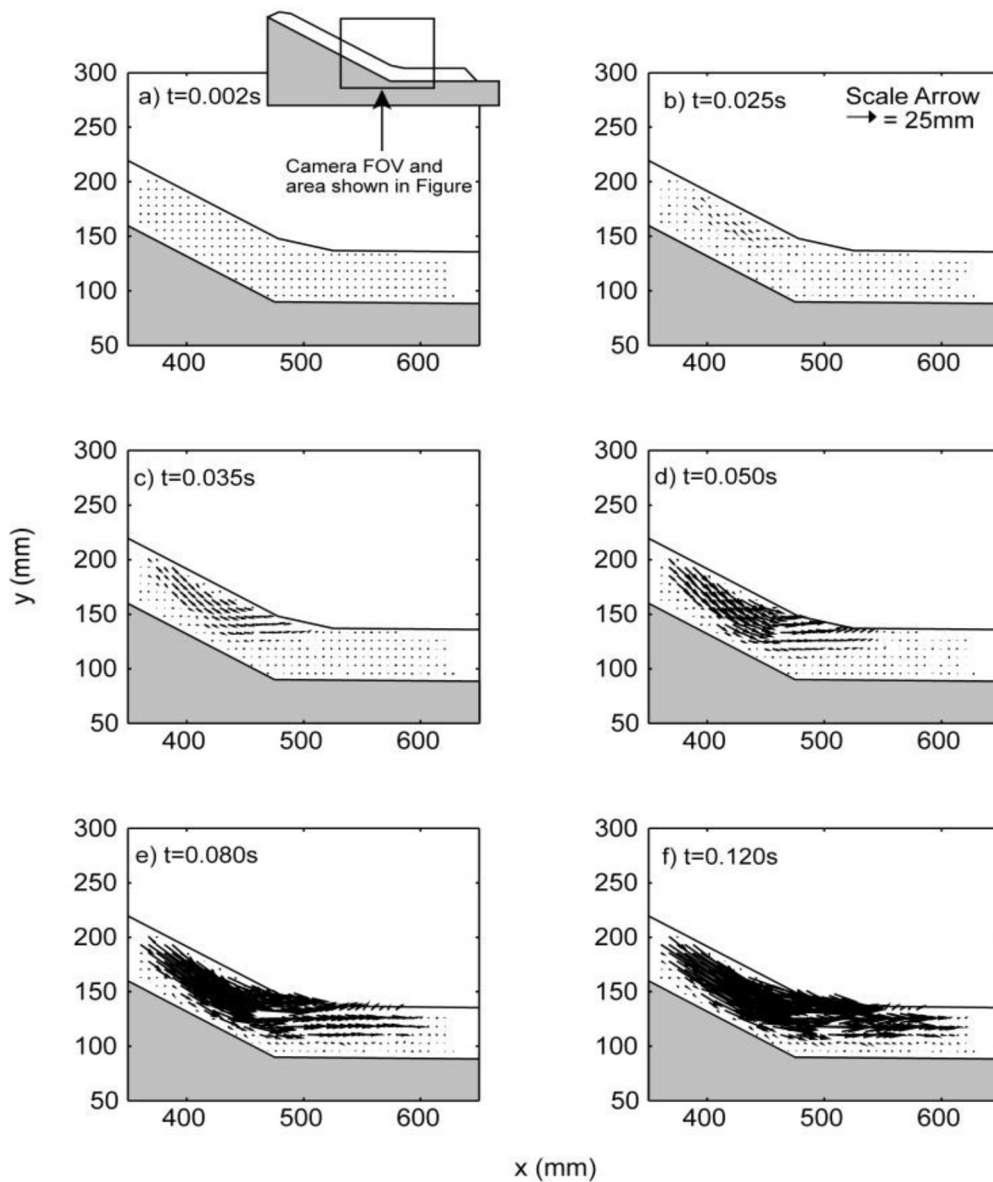
6. მცენარეულმა საფარმა შეიძლება გავლენა მოახდინოს სტაბილურობაზე, მექანიკური კოჰეზიის და წყლის აორთქლების მეშვეობით.

ღვარცოფული ნაკადები შეიძლება წარმოიშვას ცალკეული ფერდობების ჩამოშლით ან მრავალრიცხოვანი მცირე ჩამოქცევებით, რომლებიც ერთდებიან ქვემოთ დინების მიმართულებით. ღვარცოფებში შემადგენელი ნაწილაკები სანტიმეტრიდან მეტრამდე ზომებისაა, ნაკადები ხანდახან ათეულობით მეტრი წამში სიჩქარისაა და ათეულობით კილომეტრზე ვრცელდება. რადგანაც ხდება ნაკადების შენელება, ნსწილკებისაგან ხდება დეპოზიტების დაგროვება, რომელთა სისქე შეიძლება იყოს ათეულიდან 100 მეტრამდე სიღრმის და კილომეტრების სიგრძის. ეს ნაკადები შეიძლება შეიცავდეს $(10^6 - 10^{10}) \text{ მ}^3$ და მეტ მასალას, ხშირად დიდი რაოდენობით წყალს.

არსებული წარმოდგენებით, ნალექიანობით გამოწვეული მეწყრის ჩამოშლა იწყება ზევიდან, ანუ მთავარი სკარპის (ნახ. 1.5). სულ სხვა მოდელი არის წარმოდგენილი ნაშრომში (Beddoe, 2014). ამ ავტორმა ჩაატარა დეტალური კვლევა მეწყრის ფიზიკურ მოდელზე თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით. მისი დასკვნით, მეწყრული სხეული არ წარმოდგენს უსასრულო დახრილ ფენას და დიდი მნიშვნელობა ენიჭება დახრილი ფენის ძირში არსებულ გავაკებულ არეს - ენას, ბაზისს. გავაკების არსებობა იწვევს ჰიდრაულიკური გრადიენტის ცვლას ამ არეში, რის გამო იქ იქმნება წყლით გაჯერებული ზონა. თუ ეს ზონა ძალზე მკვრივი არ არის, ნალექი ან გაჟონვა იწვევს წყალგაჯერებული ენის რღვევას, რაც, თავის მხრივ წარმოქმნის ძვრის დაძაბულობებს. ამ შემთხვევაში უფრო ალბათურია, რომ სწორედ მეწყრის ტანის ძირში შეიქმნება წყალგაჯერებული) გრანულარული მასის გათხევადობის პირობები, ვიდრე მეწყრული სხეულის ზედა მეტად დახრილ და შედარებით მშრალ ნაწილში. ამ ჰიპოთეზის დასამტკიცებლად აგებულ იქნა მეწყრის ფიზიკური მოდელი, რომლის გამჭვირვალე გვერდითი კედლები საშუალებას იძლეოდა მაღალი სიხშირით ფოტოგადაღებისა - 1000 კადრი წამში. სპეციალური ნივთიერების გამოყენებით განხორციელდა ნაწილაკების წანაცვლების ვიზუალიზაცია. მეწყრული პროცესის დასაჩქარებლად მოდელი მოთავსებული იყო ცენტრიფუგაში, რამაც გრავიტაციული ზემოქმედება გააძლიერა 30g-მდე. ამის წყალობით ლაბორატორული მეწყრის ჩამოშლა სწრაფად, წამის მეათედებში სრულდებოდა. ნახ ... შავი ფერით წარმოდგენილია ნაწილაკების სრული წანაცვლების ვექტორები ცდის დაწყებიდან ნახატზე მინიშნებულ დროის მომენტამდე, საიდანაც ჩანს, რომ მართლაც, ენის (ბაზისის) გათხევადობა იწვევს არამკვრივი გრანულარული მასალით წარმოდგენილი ფერდის

რღვევას (წანაცვლების ვექტორები სცდებიან ბაზისის ძველ წონასწორულ ზედაპირს, ანუ იქმნება რღვევები).

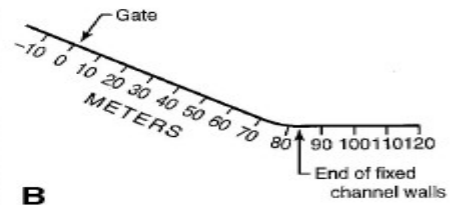
წერილი მოდელის თანახმა, დიდი ყურადღება უნდა მიექცეს სწორედ მეწყრის ბაზისის კვლევას, სადაც ჰიდრავლიკური გრადიენტი შემცირებულია და წყლის დაგროვება გათხევადობას იწვევს. ამ დასკვნას დიდი მნიშვნელობა აქვს აშს-ს სენსორების ადგილბდებარეობის დაგეგმარებაში, ვინაიდან, თუ ბაზისული გათხევადობის მოდელი სწორია, ერთი სენსორი მაინც უნდა განლაგდეს პოტენციური მეწყრის ბაზისურ ნაწილში, სადაც ხდება მეწყრის მომზადება და შესაძლოა მისი წინამორბედების გამოვლენა.



ნახ.1.7. ზესწრაფი კამერით გადაღებული მეწყრის მოდელის განვითარება.

შავი ფერით მოცემულია წანაცვლებები მეწყრის ტანში. პროცესი იწყება მცირე ლოკალიზებული ნაპრალებით ბაზისურ ნაწილში, რის შემდეგ იქვე სწრაფად ვითარდება დიდი მასშტაბის გათხევალება.

ძალზედ საინტერესო ექსპერიმენტული ნაგებობა აქვს შეერთებული შტატების გეოლოგიურ სამსახურს. ეს არის რეალურ მასშტაბებთან მიახლოებული ნაგებობა სადაც მიმდინარეობს მეწყრების, ღვარცოფების, ზვავების მოდელირება. ნახაზის მარჯვენა ნაწილში მოცემულია დანადგარის ვერტიკალური ჭრილი. მანძილები მოცემულია მეტრებში.



ნახ.1.8. შეერთებული შტატების გეოლოგიური სამსახური (USGS), ღვარცოფული არხი [Iverson et al., 1992]. (ა) მიმდინარე ექსპერიმენტის ფოტო, (ბ) ვერტიკალური ჭრილის სქემა.

გეოლოგიური ნივთიერებების მასშტაბები და რეოლოგიური სირთულე, თავისუფალი ზედაპირის მქონე ნაკადის აღწერის მათემატიკურ ამოცანასთან ერთობლიობაში, გეოფიზიკური მასების დინების მოდელირებას და გამოთვლებს მნიშვნელოვან ამოცანად აქცევს.

თავი 2. მეწყერების და ღვარცოფების მონიტორინგის/ადრეული შეტყობინების არსებული სისტემები

რატომ არის აუცილებელი რეალურ დროში მეწყერსაშიში ადგილებიდან მონაცემთა დისტანციური შეგროვება? რეალური დროითი სისტემების საშუალებით მეწყერის აქტივობის დაუყოვნებლივ აღმოჩენა შეიძლება გადაწყვეტი ფაქტორი იყოს უსაფრთხოების თვალსაზრისით დროული გადაწყვეტილებების მისაღებად. ტრადიციული საველე დაკვირვებებისას, მაშინაც კი, თუ ისინი რეგულარულად ტარდება, შეიძლება ვერ დაფიქსირდეს პარამეტრების ცვლილებების მომენტი. რეალურ დროში დისტანციური მონიტორინგის უწყვეტი მონაცემები იძლევა მეწყერის დინამიური ქცევის უკეთ გაგების საშუალებას, რომელიც, თავის მხრივ, ეხმარება ინჟინრებს, რათა შემუშავდეს ეფექტური სისტემები მეწყერის საშიშროების თავიდან ასაცილებლად ან ზიანის შესამცირებლად.

ყოველ წელს მეწყერები და ღვარცოფები იწვევენ მრავალ უბედურებას მთელი მსოფლიოს მთიან ადგილებში (იხ. სპეციალური საკითხი ჟურნალში *Physics and Chemistry of Earth*, vol.25, No.9, pp. 705-797, 2000). პერიოდულად ათასობით დასახლებული ადგილი, გზები, ნავთობისა და ბუნებრივი აირის მიწების მარშრუტები, მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზები და სამეურნეო დანიშნულების მიწები ექცევა საშიში გეოლოგიური პროცესების მძიმე, ზოგჯერ კატასტროფული გავლენის ქვეშ (Jibson, R.W., et al., 1994; Duman et al., 2005; Linz and Hanggi, 1994). მასების ანომალური მოძრაობები პერიოდულად არა მხოლოდ აზიანებს გარემოს, მას ასევე მოსდევს მსხვერპლი. ამიტომ დიდი მნიშვნელობა აქვს, რათა პოტენციურად საშიშ ადგილებში მასების მოძრაობების მონიტორინგისათვის შეიქმნას საიმედო და ეფექტური ადრეული შეტყობინების სისტემები.

საქართველოს ტერიტორია ფართომასშტაბიანი გეოლოგიური პროცესების, მოსახლეობის ზრდის და ინტენსიური მიწათსარგებლობის, ისევე როგორც მსხვილი საინჟინრო ნაგებობების დიდი რაოდენობის გამო, ეკუთვნის ურთულეს, მოწყვლად მაღალმთიან რეგიონებს მსოფლიოში (Grasso and Sornette, 1998; Voisin, et al. 2002, 2004; Stroup, et al. 2007; Bollinger, 2007; Bettinelli et al. 2008). გეომორფოლოგიური საშიშროებებით გამოწვეული წლიური ეკონომიკური ზარალი საქართველოში 100 მილიონი დოლარის რიგისაა (Atlas, ... 2012).

საქართველოში გარემოს ფიზიკური მახასიათებლების და გარე ზემოქმედების გავლენის მნიშვნელობა რეგიონის დინამიკურ

მახასიათებლებზე ცხადია, იმიტომ, რომ ქვეყანა მდებარეობს მთიან და სეისმურად აქტიურ რეგიონში (Gerrard 1990; Klupt 2008). გარდა ამისა, რამოდენიმე დიდი საინჟინრო პროექტი (კაშხლები, დიდი ნავთობსადენები, მიწისქვეშა გაზსაცავი, გეოთერმული სადგურები და ა.შ.) უკვე აშენებულია ან განხილვის სტადიაშია. მაღალი რისკის მეწყერების სტრუქტურის, დინამიკის, ტრიგერირების, ისტორიის და შესაძლო მაგნიტუდის კარგი ცოდნა მნიშვნელოვანი წინაპირობაა რეალური საფრთხის შესაფასებლად და, საბოლოოდ, ადამიანებისათვის წინასწარი გამაფრთხილებელი შეტყობინებების სიტემის შესაქმნელად.

აღმოსავლეთ საქართველოში მდ. დურუჯის აუზი არის კლასიკური მაგალითი, რომელიც გვიჩვენებს ღვარცოფების და მათი კატასტროფული შედეგების ინტენსივობას. იგი პირდაპირ ემუქრება მასების ნაკადის დაგროვების აღმოსავლეთ ნაწილში მყოფ ქალაქ ყვარელს, ისევე როგორც სასოფლო სამეურნეო დანიშნულების ობიექტებს. ბოლო 115 წლის განმავლობაში იყო დიდი ღვარცოფების 31 შემთხვევა; გამოწვეულმა ზარალმა მიაღწია 200 მილიონ აშშ დოლარს. ეკონომიკური სირთულეების გამო ბოლო წლებში პრევენციული საქმიანობა პრაქტიკულად შეწყვეტილია. ამგვარად, ეფექტური ადრეული შეტყობინების/ მონიტორინგის სისტემის შექმნა რეგიონისთვის სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია (Acoustic EWS,..., 2006).

უახლესი ფართომასშტაბიანი გეომორფოლოგიური კატასტროფა მოხდა 2014 წლის 17 მაისს დარიალის ხეობაში, რუსეთ საქართველოს საზღვართან ახლოს. შედეგად 1 მილიონი კუბური მეტრი მოცულობის ღვარცოფი ჩამოვიდა დევდორაკის მყინვარიდან, რის გამოც დაიფარა ძირითადი გზა (საქართველოს სამხედრო გზა) და ლარსის ჰიდროელექტროსადგურის ტერიტორია, დაიღუპა რამდენიმე მუშა. ეკონომიკური ზარალი შეადგენს ათობით მილიონ დოლარს.

ამდენად მასების მოძრაობის პროცესების (ღვარცოფი/მეწყერი) ეფექტური და დაბალფასიანი ტელემეტრული კომპლექსური სიგნალიზაციის შექმნას საქართველოსთვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს.

პროექტის ავტორები ვარაუდობენ მონიტორინგისა და ადრეული შეტყობინების კომპლექსური სისტემის შექმნას, სადაც გამოყენებული იქნება ქანების გამტარობის/ტენიანობის, დიფერენციალური მექანიკური აჩქარების და გრუნტის ვიბრაციის გაზომვები სხვადასხვა რისკის დონის სინალიზაციისათვის.

ღვარცოფი/მეწყრების მონიტორინგის და ადრეული შეტყობინების სისტემის (აშს) მოკლე მიმოხილვა

1. მეწყრის მონიტორინგის ფოტოგრაფიკული ტექნიკა

ფოტოგრაფიკული ტექნიკა მნიშვნელოვანია მალარობის არეში გრუნტის ჩაწოლის ადგილებში ნიადაგის მოძრაობის განსასაზღვრად. ხმელეთის ფოტოგრაფიკა გამოყენებული იქნა საინჟინრო სტრუქტურების მონიტორინგისათვის (Baltsavias, E.P., et al., 1999; Savvaidis P.D., 2003; Bitelli, G., et al., 2004).

2. მეწყრის მონიტორინგის მიწაზე ბაზირებული გეოდეზიური ტექნიკა

მიწაზე ბაზირებული გეოდეზიური ტექნიკა გამოიყენება სტრუქტურების და მეწყრების დეფორმაციების მონიტორინგისათვის (Savvaidis P.D., 2003; Bandelas, A. and Savvaidis P., 1990):

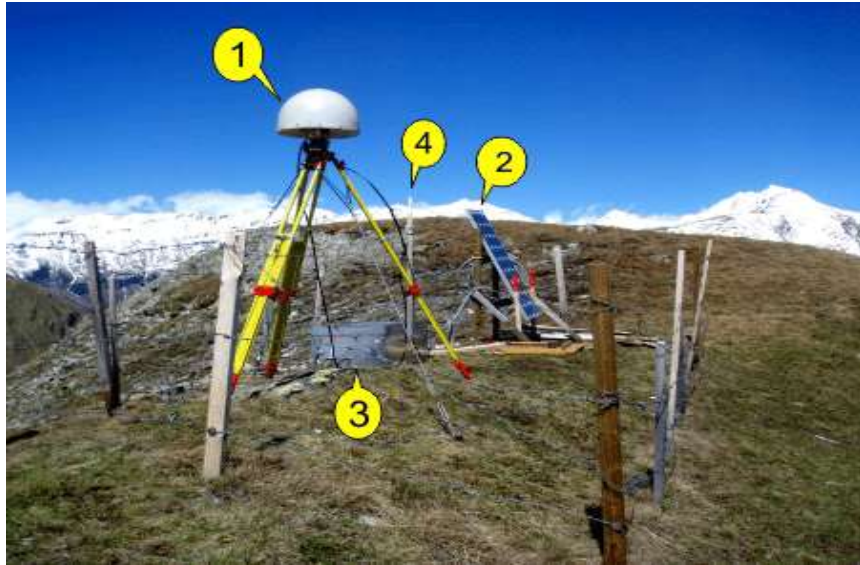
2.1. ტრიანგულარული და ტრილატერალური ჰორიზონტული კონტროლის ქსელები

2.2. ვერტიკალური კონტროლის ქსელები და სიმაღლის განსაზღვრა

2.3. ტოტალური ინსტრუმენტული ბაზები მეწყრის მონიტორინგისათვის

3. მეწყრის მონიტორინგის თანამგზავრებზე ბაზირებული ტექნიკა

გლობალური პოზიციონირების სისტემის (GPS) მუშაობა დაფუძნებულია ორბიტის თანამგზავრების მიერ გამოსხივებული რადიოსიგნალის მიმოსვლის დროის გაზომვაზე (ნახ.1). გაზომვა შეიძლება ჩატარდეს, როგორც ღამით ისე დღისით, სხადასხვა ამინდის პირობებში, რაც ამ გაზომვებს ეკონომიურს ხდის. განსაკუთრებით, როდესაც კვლევის პროცესში ერთდროულად რამოდენიმე მიმღები განლაგებულია საკვლევ დეფორმირებად მასებზე (Brunner, F.K., 2000; Bauer S.J and Weber F.K. (ed.), 1998; Bürgmann, R., et al., 1998; Celebi, M., et al., 1998; Dai, L., et al., 2000; De Heus H., 1997; Ding, X., et al; 2000; Forward, T.A., 2002; Gilli, J.A., et al., 2000; Hofmann-Wellenhof, 1997; Savvaidis P.D., 2003).



ნახ.2.1. GPS უწყვეტი მონიტორინგის სისტემა გრადენბახის მეწყერზე, ავსტრიაში. სადგური იკვებება მზის ბატარეებით (2), შეიცავს GPS ანტენას (1), მონაცემთა გადაცემის სისტემას (4), ელვისგან დაცვას (3) GPS მიმღების ყუთს და მონაცემების შენახვის სარეზერვო მოწყობილობას.

4. მეწყერის მონიტორინგის გეოტექნიკური სისტემა

გეოტექნიკური სენსორები ფართოდ გამოიყენება სტრუქტურების მონიტორინგისათვის. ძირითადი საინჟინრო სენსორები გამოიყენება დეფორმაციის მონიტორინგისათვის. (Baltsavias, E.P., 1999; Savvaidis P.D., 2003; Bock, Y., Williams S., 1997; Corominas, J., 2000; Dunnicliff, J., 1988; Amitrano, D., et al., 2007; Amitrano, D., et al., 2005; Antonello, G., 2004; Inaudi, D., Glišić, B., 2007; Glišić, B., Inaudi, D., 2007).

4.1 ინკლინომეტრები

ეს ინსტრუმენტები დამონტაჟებულია მეწყერში გაბურღილ ჭაბურღილებში. ისინი ზომავენ ჭაბურღილების საწყის სისწორეს, რითაც გამოვლინდება დახრილობის ნებისმიერი ცვლილება ჭაბურღილის ბუდეში.

4.2. ექსტენზომეტრები

ეს ინსტრუმენტი გამოიყენება მანძილის ცვლილებების შესაფასებლად, მიწის ფენების შემჭიდროვების ან გადანაცვლების განსასაზღვრად, საინჟინრო ნაგებობების და მიწისქვეშა გათხრების, კედლების დაახლოების, ქანებში და ხელოვნურ მასალებში დეფორმაციის გასაზომად, გვირაბების გარშემო ქანების ფენებს შორის დაშორების გასაზომად, ფერდობების სტაბილურობის და სტრუქტურების ძირითადი ქანების მიმართ მოძრაობის დასაფიქსირებლად.

4.3. პიეზომეტრები

პიეზომეტრები ზომავენ მიწისქვეშა წყლების წნევას გეოლოგიურ სტრუქტურებში.

4.4. გეოფონები

ამ მოწყობილობებს შეუძლიათ მოძრაობასთან დაკავშირებული ვიბრაციების გაზომვა. ისინი წარმატებით გამოიყენება ადრეული გაფრთხილების სისტემებში. მათ შეუძლიათ აღიქვან მეწყერის შესაბამისი სიგნალი სიხშირეების, ამპლიტუდის და ვიბრაციის ხანგრძლივობის მიხედვით.

4.5. ტილტმეტრები

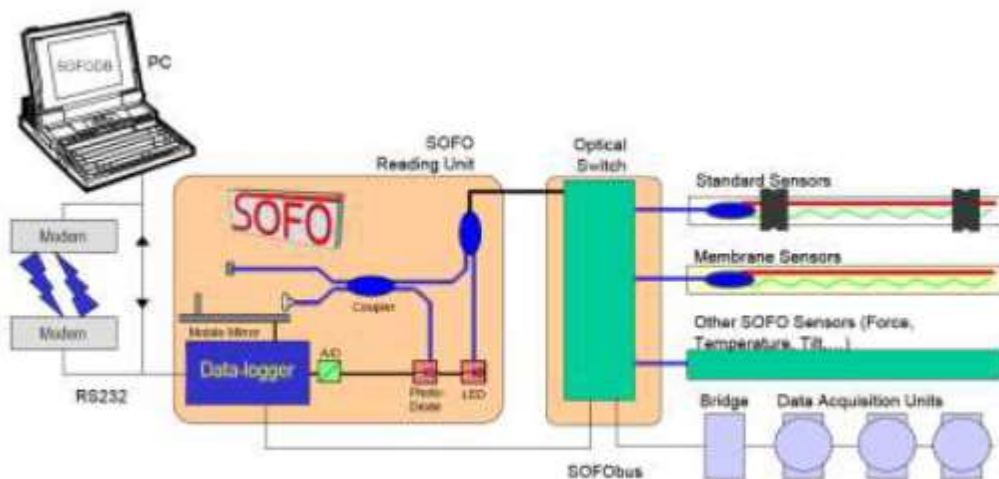
დახრლობის გაზომვა ჩვეულებრივ გაგებულია როგორც გადახრა ჰორიზონტული სიბრტყიდან, ხოლო გადახრა (inclination) არის გაგებული, როგორც გადახრა ვერტიკალური სიბრტყიდან.

4.6. ბზარის მზომები

ბზარის მზომი შეიძლება იყოს ძალიან სასარგებლო ინსტრუმენტი ადრეული დეფორმირებადი მასების მოძრაობის გამოსავლენად. ეს მოწყობილობა ზომავს გადაადგილებას ზედაპირის ორ წერტილს შორის, რომლებიც ერთმანეთს შორდება. ეს შეიძლება იყოს ძალიან მარტივი და იაფი მოწყობილობა, ამიტომ ისინი ხშირად გამოიყენება, შეტყობინების სისტემებში.

4.7. ბოჭკოვანი ოპტიკა

როგორც ე.წ. ჭკვიანი სამოქალაქო სტრუქტურების ნაწილი, მცირე ბოჭკოვანი სენსორები ჩართულია და სივრცულად განაწილებულია მთლიან სტრუქტურაში.



ნახ.2.2. ბოჭკოვანი ოპტიკის ამ სისტემის არქიტექტურა (Smartec SA)

5. გეოფიზიკური მეთოდები

5.1. გეოელექტრული მეთოდი

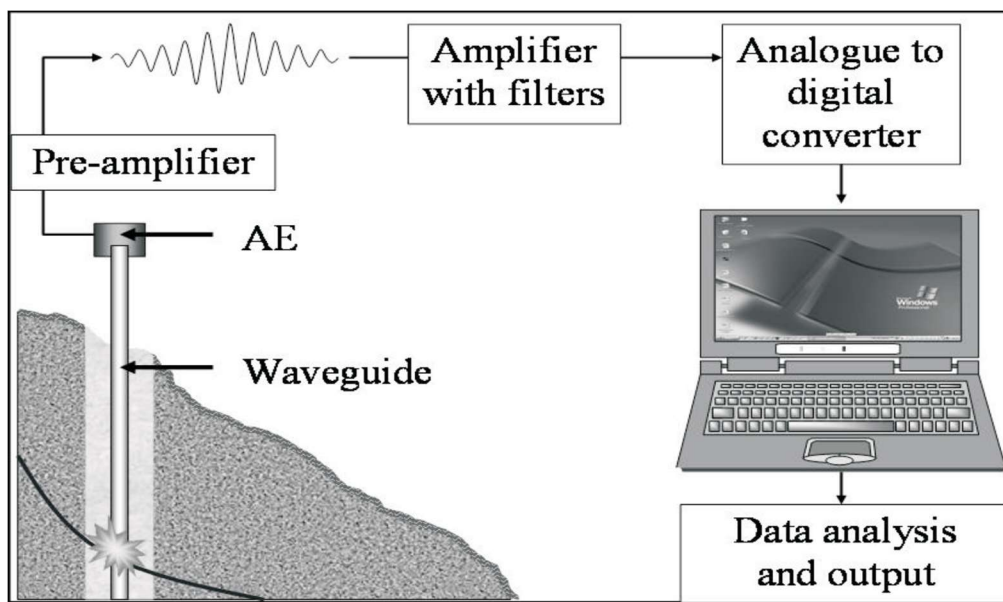
მიწისქვეშა წინალობის განაწილების განსაზღვრა წარმოადგენს (მუდმივი/ცვლადი) გეოელექტრული გაზომვების მიზანს. წინალობის გაზომვები განსაზღვრავს მიწისქვეშა წინალობის კონკრეტულ განაწილებას. ელექტრული წინალობა პირველ რიგში იცვლება ფორიანობის, წყლის გაჟღენთვის ხარისხის, ფორების სითხის გამტარობით და თიხის შემცველობით.

5.2. მიკროსეისმური მონიტორინგი

ფერდობის არასტაბილურობას თან ახლავს დაბზარვის ან რღვევის გავრცელებისას გენერირებული მიკროსეისმური ემისიები (Mainsant et al., 2012). მიკროსეისმები გამოიყენება ფერდობის დეფორმაციის აქტიური არეების მონიტორინგისთვის და რღვევის წინამორბედების აღმოსაჩენად.

5.3. აკუსტიკური ემისია (AE) ის ბუნებრივი მოვლენაა, რომელიც ხდება, როდესაც სხეულზე მოდებულია საკმარისად დიდი დამაბულობა. ყველაზე მნიშვნელოვანი წვლილი აკუსტიკური ემისიის მონიტორინგის თვალსაზრისით შეიტანეს Koerner et al. (1981) და Dixon et al. (2003). საინტერესო სამუშაოები იყო ჩატარებული Chelidze et al., (2002, 2006, 2012).

როდესაც აკუსტიკური რხევა ვრცელდება ნიადაგში, ის კარგავს სიგნალის ამპლიტუდას: ნიადაგში ჩახშობა დიდია, რადგან ეს არის ნაწილაკების (მარცვლოვანი) გარემო და ენერგია იკარგება როდესაც ტალღა მიდის ერთი ნაწილაკის საზღვრებიდან მეორისაკენ. ტალღამტარის გამოყენება უზრუნველყოფს მცირე ჩახშობას აკუსტიკური ემისიის წყაროდან სენსორისაკენ. არასტაბილურ ფერდობზე ტალღამტარის არსებობა, რომელიც როგორც წესი წარმოადგენს რკინის მილს, მნიშვნელოვნად ზრდის აკუსტიკური ემისიის სენსორის მონიტორინგის უნარს.



ნახ.2.3. აკუსტიკური ემისიის მონიტორინგის და შეტყობინების სისტემის კომპონენტები (Dixon et al., 2003)

ფერდობებზე მასების მოძრაობების მონიტორინგის ტრადიციული მეთოდებში შედის ზედაპირის და ზედაპირთან ახლო ფენის დაკვირვების აპარატურა. თუმცა, ბევრ ამ მეთოდს არ ყოფნის მგრძობიარობა რღვევის წინა სუსტი დეფორმაციების აღმოსაჩენად. 40 წელზე მეტია ტარდება კვლევები ნიადაგის მოძრაობის მონიტორინგისათვის აკუსტიკური ემისიის (აე) გამოსაყენებლად. საინტერესო სამუშაოები ჩატარდა თ. ჭელიძის და სხვ. მიერ [40]. ყველაზე მნიშვნელოვანი წვლილი, აე-ს სავლელ დაკვირვებების თვალსაზრისით, შეტანილია კორნერის [78,138] და დიქსონი მიერ [137].

მეწყურულ სხეულში სრიალის დროს გენერირებული აე-ს რეგისტრაცია არ არის ადვილი ამოცანა. როდესაც აკუსტიკური იმპულსი ვრცელდება ნიადაგში, მისი ამპლიტუდა მცირდება, რადგანაც ნიადაგი მარცვლოვანი გარემოა და ენერგია იკარგება მეორეზე გადასვლის. დანაკარგების შესამცირებლად აკუსტიკური ენერგია წყაროდან (სრიალის ზედაპირიდან) სენსორამდის (რომელიც, როგორც წესი მიწის ზედაპირზეა) გადააქვს ტალღამტარს, რაც სტანდარტულ პრაქტიკად იქცა აე-ს კვლევის დროს.

დიქსონმა გამოიყენა ორი ტიპის, პასიური და აქტიური ტალღამტარი. პასიურ ტალღამტარს არ გააჩნია აე-ს დამატებითი წყაროები. შედარებისთვის, აქტიური ტალღამტარი იყენებს აკუსტიკური ტალღების მიმართ მაღალმგრძობიარე მასალას, რომელიც მოთავსებულია ტალღამტარის გარშემო. დასრიალების დროს ხდება ტალღამტარის

დეფორმაცია, ხოლო აკუსტიკური ემისია აღიძვრება ტალღამტარის გარშემო ჩაყრილ მასალაში.

ნახ.2.3-ზე ნაჩვენებია ტიპური აე აპარატურული სისტემის სქემატური წარმოდგენა. აქტიურ ტალღამტარში (ღორღის ნაყარში) აღძრული აე ფოლადის ტალღამტარით მიდის პიეზოელექტრულ სენსორამდის, რომელიც მოთავსებულია ლითონის ტალღამტარის თავზე. შემდეგ აკუსტიკური სიგნალი ძლიერდება წინასწარი გამაძლიერებლის მიერ. საბოლოოდ აე გარდაიქმნება ციფრულ სიგნალად შემდგომი ანალიზისათვის.

5.3. ღვარცოფების და ქვათაცვენის ვიდეომონიტორინგის სისტემის ანალიზი

Terrestrial remote sensing techniques:

- GB-InSAR
- Terrestrial Laser Scanning (TLS)
- **Terrestrial Optical Photogrammetry (TOP)**

Terrestrial Optical Photogrammetry (TOP)

3D topographic reconstruction for:

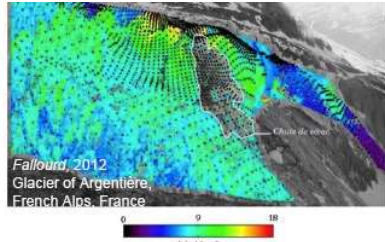
- DSM generation
- Image orthorectification
- Change detection (3D correlation, elevation differences, etc)

Software : Open sources - MicMac (IGN) ; Commercial: Pix4D, Photoscan, SURE ...

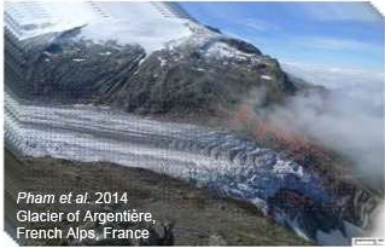
Matching techniques for :

- mapping stable and unstable sectors
- monitor Earth surface processes deformation
- detect and map changes (e.g. rockfall source and deposits areas)
- application to glaciers, volcanoes, landslides

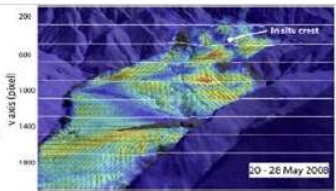
Software : MicMac (IGN, FR), PointCatcher (Lancaster University, UK), dist_corr software (EFIDIR toolbox), COSI-CORR (US), PCL Library ...



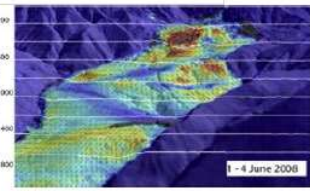
Falourd, 2012
Glacier of Argentiere,
French Alps, France



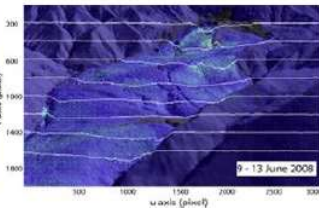
Pham et al. 2014
Glacier of Argentiere,
French Alps, France



Travelletti et al., 2012
Super-Sauze,
French Alps,
France



1 - 4 June 2008



9 - 13 June 2008

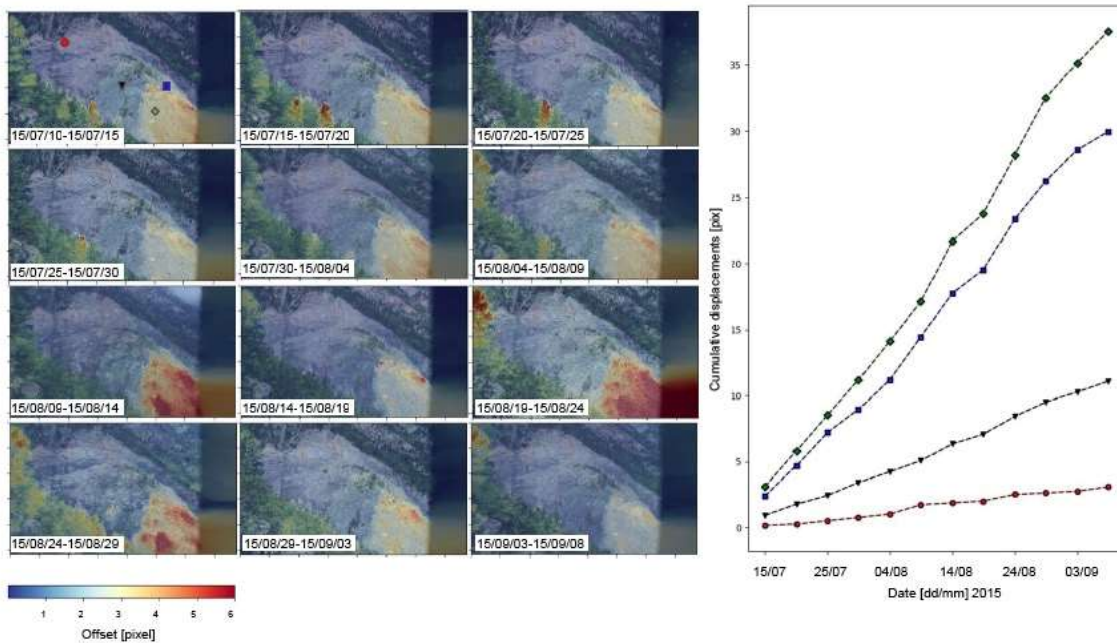
ნახ.2.4. ღვარცოფების და ქვათაცვენის ვიდეომონიტორინგის სისტემა (144).

- Camera CANON + LNS
Operational
Without automatic data transfer
- Camera CANON + Raspberry Pi
Operational
With automatic data transfer
- Surveillance camera + LNS
Site : Aiguilles
Operational
With automatic data transfer



Surveillance camera

ნახ.2.5. ვიდეოსისტემების ტესტირების მაგალითი (144)



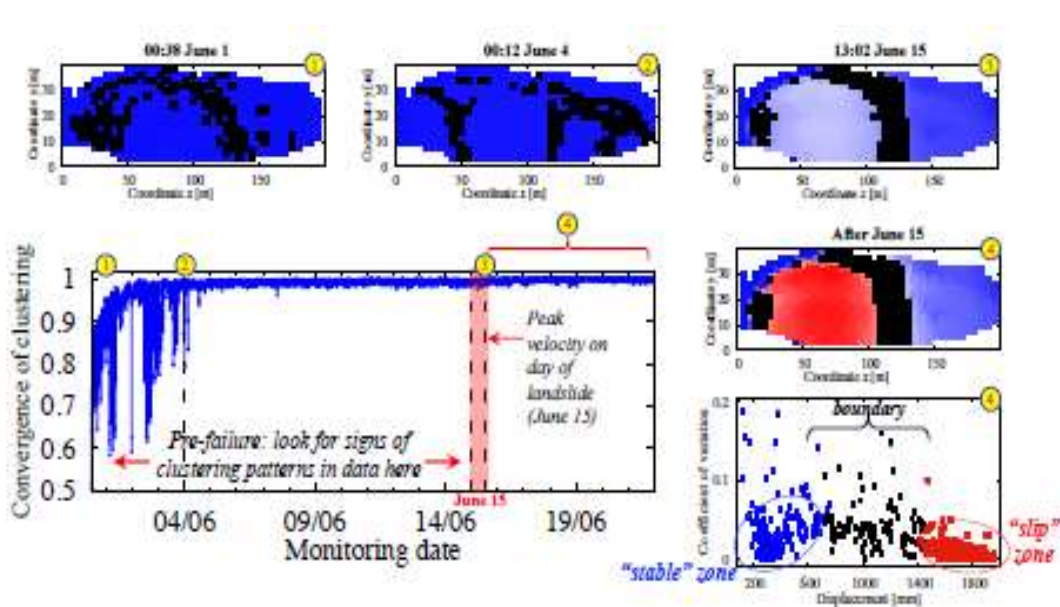
ნახ.2.6. მეწყრების და ქვათაცვენის ვიდეომონიტორინგის სისტემის ანალიზი. შედეგები მიღებულია ერთ-ერთ მეწყრულ უბანზე (144)

ნახაზზე წარმოდგენილია ქვათაცვენის და ღვარცოფის კამერით მონიტორინგის სისტემის ანალიზი (144). ანალიზი გაკეთებულია ერთ-ერთი კონკრეტული ადგილისათვის. გადასაღებ მიდამოზე მონიშნულია რამდენიმე წერტილი (ამ შემთხვევაში ოთხი) და დიაგრამაზე წარმოდგენილია თითოეული მათგანის ჯამური გადაადგილება და კვირების პერიოდში.

ავსტრალიელმა მეცნიერებმა შეიმუშავეს მეწყრების ადრეული პროგნოზირების სისტემური კომპლექსური მიდგომა (Tordesillas A., et al, 2018).

ისინი იყენებენ თავის მოდელს მიწის სარადარო მონაცემებისათვის და აკეთებენ პროგნოზს, სად მოხდება ჩამოქცევა ასეულობით მეტრის ფერდობზე, თითქმის ორი კვირით ადრე.

მოდელი შეიძლება გამოყენებულ იქნას სუბიექტური მეთოდების ნაცვლად ადგილების შერჩევისათვის შემდგომში მეწყერის რისკის შეფასების მიზნით. წარმოდგენილი მიდგომა ასევე ფართოდ გამოიყენება სხვა მონაცემების ანალიზისთვის, რომელიც მონიტორინგს უწევს შესასწავლ ფერდობს. მიმდინარე სამუშაოები დაფუძნებულია ამ დასკვნებზე, მეწყერის რაოდენობრივი შეფასებისათვის კონკრეტული დროის ფარგლებში, კინემატიკის მონაცემების და მეწყერის ცნობილი მიზეზების საფუძველზე.



ნახ.2.7. რადარის კინემატიკური მონაცემების კლასტერული ნიმუშები უზრუნველყოფს მეწყერის სავარაუდო ადგილმდებარეობის ადრეულ პროგნოზს (Tordesillas A., et al, 2018).

თავი 3. მონიტორინგის/ადრეული შეტყობინების ავტომატური ტელემეტრული სისტემის ზოგადი კონცეფცია

ეკონომიურობა Cost-effectiveness

საქართველოს ტერიტორია ფართომასშტაბიანი გეოლოგიური პროცესების (მეწყობის და ღვარცოფების კერების რაოდენობა ჩვენთან 40 000 რიგისა), მოსახლეობის ზრდის, ინტენსიური მიწათსარგებლობისა და მსხვილი საინჟინრო ნაგებობების დიდი რაოდენობის გამო, ეკუთვნის ურთულეს, მოწყვლად მაღალმთიან რეგიონებს მსოფლიოში. პრობლემის გადაწყვეტაში უდიდესი როლი ენიჭება მეცნიერულ კვლევას და ახალი ტექნოლოგიების გამოყენებას, რასაც ხაზს უსვამს სენდაის ჩარჩო შეთანხმება კატასტროფების რისკის შემცირების თაობაზე ([Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030](#); [Appliance of science - key to disaster risk reduction - UNISDR](#)). წარმოდგენილი მეწყობის/ღვარცოფების ადრეული შეტყობინების სისტემის (აშს) პროექტი მიზნად ისახავს ეკონომიური და სანდო გეოფიზიკური მონიტორინგის ტელემეტრული კომპლექსის შექმნას ავტონომური კვებით (მზის ბატარეებით), რომელიც გვამცნობს კატასტროფული მოვლენის მოახლოებას და დაწყებას რადიოსიგნალების ან ინტერნეტის საშუალებით. ამ თითქოს და შეუთავსებელი მოთხოვნების - ეკონომიურობისა და სიზუსტის - დაკმაყოფილება შესაძლო გახდა ბოლო წლებში თანამედროვე მაღალი ტექნოლოგიების წყალობით.

- სადიაგნოზო პარამეტრები Diagnostic Parameters

შემოთავაზებული აშს ითვალისწინებს მეწყობის/ღვარცოფების გააქტიურების ორი ძირითადი ფაქტორის: ნიადაგის სინოტივისა (როგორც შედარებით გრძელვადიან წინამორბედის) და მასების მექანიკური მოძრაობით გამოწვეული წანაცვლების/აჩქარების/ვიბრაციების (როგორც მოკლევადიანი წინამორბედების) მონიტორინგს დაბალფასიანი თანამედროვე მიკროსენსორებით. ფაქტობრივად, ჩვენი დანადგარი წარმოადგენს მიკრო-დიაგნოსტურ სისტემას, რომელიც უწყვეტად აგროვებს ლოკალურ ინფორმაციას, ადარებს მას წინასწარ შემუშავებულ კრიტერიუმებს (სინოტივის და დიფერენციალური აჩქარების კრიტიკულ მნიშვნელობებს) და იღებს გადაწყვეტილებას სხვადასხვა დონის გამაფრთხილებელი სიგნალის დისტანციური გადაცემის შესახებ.

- სენსორები Sensors

ტენიანობის სენსორი - Humidity sensor:

ჩვენ გამოვცადეთ რამდენიმე მეთოდი, მაგალითად, გამტარობის სენსორები. ამგვარი სენსორები მაღალი გრძნობიარობით გამოირჩევა, მაგრამ ისინი არასტაბილურია ელექტროდების ზედაპირის დეგრადაციის/კოროზიის გამო. საბოლოოდ ოპტიმალური აღმოჩნდა მიკრო-რადარული სინოტივის ფიქსირების მეთოდი.

მექანიკური მოძრაობის სენსორები - Mechanical motion sensors:

მიკროელექტრომექანიკური სისტემები“ Microelectromechanical Systems (MEMS)“ წარმოადგენენ მინიატურულ ხელსაწყოებს, რომლებიც შედგება მექანიკური (ზამბარები, მემბრანები, ვიბროსტრუქტურები და ა.შ.) ელექტრული (წინაღობები, ტევადობები, ინდუქტორები და ა.შ.) ინტეგრირებული კომპონენტებისაგან, რომლებიც მუშაობენ ერთობლივად, რათა შეიგრძნონ და გაზომონ გარემოს ფიზიკური თვისებები და ამ ინფორმაციის საფუძველზე კონტროლირებული ზემოქმედება მოახდინონ ამ გარემოზე. MEMS-სენსორები მრავალფუნქციონურია - ისინი იძლევა საშუალებას დავაფიქსიროთ გრუნტის დახრები, ვიბრაციები, აჩქარებები. MEMS-ზე დაფუძნებული ტექნოლოგიები ძალზე ეკონომიურია; MEMS ხელსაწყოები ნაკლებ ენერგიას მოიხმარს და ამავე დროს საკმაოდ სანდოა.

- პირველადი შეგროვების/დამუშავების ანალოგური პლატფორმა Processing Board.

პლატფორმა ახორციელებს სენსორებიდან მოსული მონაცემების შეგროვების და პირველადი დამუშავების ფუნქციას, რაც თავისთავად მოითხოვს მონაცემთა პირველად დროში და ფაზაში თანხვედრილ პროცესირებას, სწრაფქმედებას, დამუშავების უწყვეტობას და მდგრადობას მინიმალური ენერგომოხმარების პირობებში. ამ მიზნის მისაღწევად შემუშავებულ იქნა პროცესირების ანალოგური პლატფორმა, რომელიც არ ახდენს სენსორებიდან შემოსული სიგნალების აციფრვას და შეუძლია დამოუკიდებელი მოდულის სახით იქნას გამოყენებული მომენტალური რადიოფიცირებული განგამის სისტემის ასამოქმედებლად.

- ეკონომიური ავტონომიური კვების წყარო Autonomous low-power source საველე გამოყენებისათვის განკუთვნილი ხელსაწყოების ენერგოუზრუნველყოფის და ავტონომიური კვების სისტემები განსაკუთრებულ ყურადღებას ითხოვენ დიზაინის პროცესში, ვინაიდან აშშ საჭირო არის განთავსდეს ტრადიციული ენერგომომარაგების წყაროებიდან დაშორებით. ენერგოუზრუნველყოფისთვის გამოყენებულ იქნა მონოკრისტალური ტექნოლოგიის მზის პანელები, მაქსიმალური ეფექტური

სიმძლავრის დონის მაკონტროლებელი სამუხტი და ლითიუმ-ფერო-პოლიმერული აკუმულატორების ბლოკი.

- სენსორების ტესტირება/მონაცემთა ანალიზი/განგაშის სიგნალის დონეების დადგენა Sensor testing/Data Analysis/Decision Making

ტენიანობის, დახრების, ვიბრაციის და აჩქარების ჩვენი სენსორების მონაცემების სისწორე შემოწმებული იქნა ლაბორატორულ პირობებში და შედარებული იქნა სტანდარტული პრეციზიული ხელსაწყოების საშუალებით მიღებულ რესულტატებთან. შედეგად შეიქმნა განგაშის რამდენიმე დონის გამომუშავების ალგორითმი (დონე 0 - არცერთი ზემოდ ჩამოთვლილი ფაქტორის სიდიდე არ აღემატება კრიტიკულ დონეს; დონე 1 - ერთ-ერთი ფაქტორის სიდიდე, კერძოდ ტენიანობა აღემატება კრიტიკულ დონეს; სენსორების მიერ დაკვირვებული ფიზიკური ველების პარამეტრების ანალიზი ხდება პროცესირების სისტემაში. მეწყრული მასივის სტაბილური მდგომარეობის შესაბამისი ტრენდებისგან განსხვავებული მონაცემები ჯგუფდება ვარიაციათა სიდიდის(გადახრის ამპლიტუდის) მიხედვით და ნაწილდება 4 დონის ვარიაციების ჯგუფებში. თითოეულ ჯგუფს შეესაბამება წინასწარ შერჩეული დონეების ზღურბლური მნიშვნელობები სტაბილური მდგომარეობის შესაბამისი მნიშვნელობიდან საგანგაშო მნიშვნელობამდე. ციფრული პროცესირების პლატფორმის მეშვეობით შესაძლებელი ხდება დასმული ამოცანის, უბნის გეოლოგიური წინაპირობების და კონკრეტული მეწყრული მასივის პარამეტრების შესაბამისი მნიშვნელობების მინიჭება რომელიმე ფიზიკური ველის ყოველი ვარიაციის შესაბამისი მონაცემისათვის. იმ შემთხვევაში, თუ გრძელვადიანი გაფრთხილების გაცემის ალგორითმი გვაქვს მხედველობაში, გადამწყვეტი როლი მეწყრული მასივის შემადგენელი გრუნტის მოცულობითი ტენიანობის, მეწყრული უბნების დიფერენცირებული დახრილობის და გრუნტის ტემპერატურის ტრენდებს მიენიჭება. შესაბამისად, თუ ამ ველების ვარიაციათა ტრენდმა გადააჭარბა მე-2-ე დონის ზღვარს და გამოიმუშავა მე-3-ე დონე, გაიცემა მეწყერსაშიში მდგომარეობის შესახებ გაფრთხილების ინფორმაცია. თუ ამავე ფიზიკური ველების ვარიაციათა ტრენდში დიფერენციალური დახრილობის პარამეტრმა გადააჭარბა თუნდაც მე-3-ე დონეს, ეს მეწყერის ტანში მიმდინარე კრიტიკული დეფორმაციების მანიშნებლად ჩათვლება და გაფრთხილების ნაცვლად განგაშის წინა მდგომარეობის ინფორმაცია გადაიცემა. რაც შეეხება უშუალოდ მასათა ამოდრავების პროცესების რეალურ დროში ამსახავ მთავარ პარამეტრს, ასეთად შეგვიძლია დიფერენციალური აჩქარებების ვარიაციის

დონე ჩაითვალოს. აღნიშნული პარამეტრით დგინდება მოკლევადიანი განგაშის ინფორმაციის გაცემის აუციებლობა. ვინაიდან მასების აჩქარებული მოძრაობის დაწყების შესახებ ინფორმაცია გადაიცემა რეალურ დროში, სისტემის მიერ განგაშის სიგნალის გამომუშავება და გაცემა შემდგომი რეაგირებისათვის მომენტალურად ხდება. საგანგაშო დონეები აჩქარების მონაცემებში შეიძლება გაიწეროს ვარიაციების სხვადასხვა ამპლიტუდებისათვის, რაც საშუალებას გვადლევს კონკრეტულად შევარჩიოთ თუ რა დონე შეირჩეს გაფრთხილების სიგნალის გამოსამუშავებლად (მაგ. მე-2-ე დონე) და რა დონე ჩაითვალოს საკმარისად განგაშისათვის (მაგ მე-3-ე დონის ზღურბლის გადაკვეთა ჩაითვალოს განგაშის გამოცხადებისათვის საკმარის პირობად). ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, სისტემას საკმაოდ მოქნილი რეაგირების ალგორითმი გააჩნია. რეაგირების პარამეტრების ცვლილება შესაძლებელია როგორც რაოდენობრივი შეფასების პროცესში, შესაბამისი დონეების ზღურბლების ვარირებით, ასევე წამყვანი ფიზიკური მექანიზმის გათვალისწინებით, რაც გულისხმობს ტენიანობის, ტემპერატურის, დახრის თუ აჩქარების ტრენდისათვის პრიორიტეტული წონის მინიჭებას ციფრული პროცესირების ალგორითმში.

- განგაშის სიგნალის გამომუშავება და ტელემეტრია Alarm signal and telemetry

ვინაიდან მეწყრების/ღვარცოფების წყაროები ხშირად საკმაოდ დაცილებულია დასახლებული პუნქტებიდან და, გარდა ამისა, მუდმივი პერსონალის ყოფნა დაკვირვების სადგურებთან დიდ ხარჯებთანაა დაკავშირებული, აუცილებელი ხდება გამომუშავებული სხვადასხვა დონის განგაშის სიგნალების და თუ საჭიროა, პირველადი მონაცემების უწყვეტი ავტომატური დისტანციური გადაცემა უახლოეს საგანგებო სიტუაციების ერთეულთან ან/და შორეულ დიაგნოსტურ ცენტრთან. ეს ფუნქცია ევალეზა სპეციალურ პლატფორმას ARDUINO Mega2560, რომელიც უზრუნველყოფს შემოსული ინფორმაციული ნაკადების დამუშავებას და განგაშის დონის იდენტიფიცირებას. არდუინო არის მიკრო-პლატფორმა, რომლის გამოყენება ძალზე მოხერხებულია. არდუინოს პლატფორმა კითხულობს შემომავალ სიგნალს და აქცევს მას გამომავალ (დამუშავებულ) სიგნალად. ეს კეთდება შესაბამისი ინსტრუქციების შეყვანით პლატფორმის მიკროკონტროლერებში. რამდენიმე წელია Arduino არის ათასობით პროექტის ტვინი დაწყებული სამომხმარებლო ობიექტებიდან და დამთავრებული რთული სამეცნიერო დანადგარებით და რობოტებით.

მათემატიკური გადათვლებით და ცოდნის ბაზით პროგრამულად გაწერილი დასკვნა არდუინოს პლატფორმიდან გადაეცემა Sim808 Module, GSM, GPRS, GPS-ს რომელიც GSM სისტემით მონიტორინგის სერვერს გადასცემს შესაბამის შეტყობინებას ობიექტზე მიმდინარე მდგომარეობის შესახებ, რომელიც მყისიერად აისახება მონიტორზე.

ინოვაციურობა

ჩვენს მიერ შემოთავაზებული კვლევის ინოვაციურობა მდგომარეობს იმაში, რომ იგი ითვალისწინებს ღვარცოფების/მეწყობების რამდენიმე წინამორბედის კომპლექსურ შესწავლას და შესაბამისად გრძელ- და მოკლევადიან შეტყობინების მცირეფასიანი სისტემის დამუშავებას მაღალტექნოლოგიური ელემენტების ბაზაზე. კომპლექსში შემავალი გამტარობის სენსორი ნიადაგის სინოტივეს ზომავს და შეიძლება განიხილებოდეს როგორც შედარებით გრძელვადიანი წინამორბედი, ვინაიდან ცნობილია რომ მასის დაძვრის აუცილებელი პირობაა ნიადაგის მაღალი წყალშემცველობა. ამგვარი სისტემები მასობრივად გამოიყენება აშშ-ში. ამავე დროს უნდა აღინიშნოს რომ მხოლოდ გრუნტის მაღალი სინოტივე ყოველთვის არ იწვევს მასის დაძვრას. ამიტომ სისტემაში შედის ორი დამატებითი სენსორი - აჩქარების და ვიბრაციის - რომლებიც გვაუწყებს უშუალოდ მასის დაძვრის დაწყებას. ამ სენსორების ინფორმაცია გამოიყენება როგორც უშუალოდ დაძვრის მოკლევადიანი წინამორბედი. აღნიშნული სენსორების კომპლექსის გამოყენება სხვადასხვა დონის განგაშის გამოცხადების საშუალებას იძლევა, ანალოგიურად ტერორისტული საშიშროების შესახებ სხვადასხვა დონის გაფრთხილებისა. შესაბამისად, მიიღება სხვადასხვა პრევენციული ზომები. შემოთავაზებული სისტემა ავტომატურია და დისტანციურ გადაცემას ითვალისწინებს, რაც რეალურ დროსთან მიახლოებულ დიაგნოსტიკას გვამძლევს.

აღსანიშნავია, რომ ჩვენი დიაგნოსტიკის მეთოდოლოგია ეფუძნება დიფერენციალურ მიდგომას, რაც მდგომარეობს იმაში, რომ პოტენციური მეწყრის ტანში მოთავსებული სენსორების სიგნალები (ტენიანობა, დახრები, აჩქარებები) დარდება სტაბილურ არეში მოთავსებულ საბაზისო ანუ რეფერენს-სენსორის სიგნალს და პროგრამულად გამომუშავდება მათი სხვაობის მნიშვნელობები დროში. ცხადია, თუ საბაზისო, (სტაბილურ არეში დაყენებული) სენსორის და პოტენციური მეწყრის ტანში მოთავსებული სენსორების სხვაობა (დიფერენციალი) ნულის ტოლია ან ძალზე ახლოა ნულთან, მეწყერი სტაბილურია. თუ საბაზისო და პოტენციურად მოძრავ

არეების სენსორებს შორის ჩნდება სხვაობა, ეს ნიშნავს, რომ გაჩნდა წინაპირობა მეწყრის გააქტიურებისა.

დიფერენციალური მიდგომის ღირსებებია მაღალი მგრძობიარობა მცირე გადახრებისადი და შესაძლო გარეშე ხმაურების გავლენის შემცირება.

ბოლოს, სისტემა შედარებით ეკონომიურია, დაფუძნებულია მაღალტექნოლოგიურ ელემენტებზე, რაც საშუალებას იძლევა მისი ყველა კრიტიკულ უბანში განთავსებისა. ყოველივე ზემოთქმულის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ შემოთავაზებული სისტემა ნამდვილად ინოვაციურია.

წარმოდგენილი კვლევის მეცნიერული დასაბუთება იმაში მდგომარეობს, რომ ჩვენს კომპლექსში შემავალი ფიზიკური ფაქტორები, უშუალოდ დაკავშირებულია ღვარცოფების/მეწყრების მომზადება/ინიციაციასთან: ნიადაგის ტენიანობა და აჩქარება/ვიბრაცია გვიჩვენებს მექანიკურ არამდგრადობასთან სიახლოვეს. ამიტომ:

- i. ნალექები/სინოტივე განიხილება როგორც გრძელვადიანი წინამორბედი, რომლის ზღვრული მნიშვნელობების გადაჭარბება დაბალი დონის განგაშის გამოცხადების საფუძველს იძლევა.
- ii. ვიბრაცია, აჩქარება და დახრები ნიადაგის მოძრაობის აჩქარება სტაბილური მონაკვეთის მიმართ და ნაყარის ამოძრავებით გამოწვეული ვიბრაცია (დაბალი სიხშირის აკუსტიკური რხევების ჩათვლით) ღვარცოფის/მეწყრის დაწყების უშუალო ნიშნებია (ანუ მოკლევადიანი წინამორბედები).
- iii. დიფერენციალური დახრების, ვიბრაციის და აჩქარების მონიტორინგი სტაბილური (რეფერენტული) მიდამოს მიმართ იძლევა წანაცვლებული სხეულის მოძრაობის ფიქსირების სანდო მეთოდს, ვინაიდან ამ შემთხვევაში სისტემის მგრძობიარობა პოტენციური მეწყრის ტანში მიმდინარე პროცესებისადმი მნიშვნელოვნად იზრდება და გამოირიცხება განგაშის გამოუცხადებლობა მეწყრული მასის ერთგვაროვანი მოძრაობის შემთხვევაში.

თავი 4. სენსორები და მათი გამოცდა ლაბორატორულ პირობებში

ლაბორატორული ექსპერიმენტების ჩასატარებლად იყო შექმნილი რამოდენიმე დანადგარი ბაზალტის ფილაზე ნიმუშების ჰორიზონტალური გადაადგილების შესასწავლად, დანადგარი დახრის ცვლადი კუთხის მქონე ბაზალტის ფილაზე ნიმუშების გადაადგილების შესასწავლად და დანადგარი დახრის ცვლადი კუთხის მქონე დახრილ ზედაპირზე ფხვიერი მასალების გადაადგილების შესასწავლად.

4.1 დანადგარი ბაზალტის ფილაზე ნიმუშების ჰორიზონტალური გადაადგილების შესასწავლად (ბურიჯ-კნოპოვის დანადგარი)

განვიხილოთ დანადგარი ბაზალტის ფილაზე ნიმუშების ჰორიზონტალური გადაადგილების შესასწავლად. იგი წარმოადგენს კუთხოვანი ფოლადის პროფილისგან შეკრულ სივრცულ კონსტრუქციას, რომელიც დამონტაჟებულია მყარი ფიზიკური ლაბორატორული მაგიდის ზედაპირზე. კონსტრუქციის შიგნით თავისებურ, მერქან-ბურბუშელის ფილისა და 5 სანტიმეტრის სისქის პოროლონისგან შექმნილ შუასადებზეა მოთავსებული ბაზალტის ბრტყელ-პარალელური ფილა, რომლის ზომებია 140 x 30 სანტიმეტრზე, ხოლო სისქე 20 მილიმეტრია. მასზე სეისმოგადამწოდების დასამაგრებლად ბაზალტის ფხვნილის შესავსებიანი ეპოქსიდის წებოთი მიწებებულია ხუთი თითბერის ქანჩი M 8 x 1 ხრახნით. სამი მათგანი სიმეტრიულად არის განლაგებული ზედა მხარის ერთ ბოლოში, ხოლო დანარჩენი ორი იქვე, ფილის გვერდით ვიწრო მხარეზე.

ფილის თავზე დამონტაჟებულია დურალუმინის მიმმართველი საქაჩი ურიკის გადასადგილებლად. ურიკას გააჩნია დიდი რაოდენობის პრეციზიული ბურთულსაკისარი, რის გამოც იგი თავისუფლად და პრაქტიკულად უხმოდ გადაადგილდება მიმმართველში.



სურ.4.1. დანადგარი ბაზალტის ფილაზე ნიმუშების ჰორიზონტალური გადაადგილების შესასწავლად. საქაჩი ურიკა ჩამიკიდული ნიმუშებით.

ტრიგერირების დანადგარი

განვიხილოთ დანადგარი დახრის ცვლადი კუთხის მქონე ბაზალტის ფილაზე ნიმუშების გადაადგილების შესასწავლად. დანადგარი განკუთვნილია სხვადასხვა ფილებზე და სხვადასხვა მასალებით სტიკ-სლიპის მოვლენის შესასწავლად. კონსტრუქცია წარმოადგენს კუთხოვან ფოლადისაგან დამზადებულ ლითონის კონსტრუქციას, რომლის ერთი მხარე სახსართ არის დამაგრებული მაგიდაზე დამაგრებულ ჩარჩოზე, ხოლო მეორეზე ამწე კვანძია მოთავსებული. მოძრავი ჩარჩო გათვალისწინებულია ორი ზომის - 30 და 40 სანტიმეტრის სიგანის ბაზალტის ფილების დასამაგრებლად. მათი დასაშვები სიგრძე 140 სანტიმეტრამდეა, ხოლო სისქე 25 მილიმეტრი და მეტი [115].



ნახ.4.2. დანადგარი დახრის ცვლადი კუთხის მქონე ბაზალტის ფილაზე ნიმუშების გადაადგილების შესასწავლად.

ა.

ბ.



გ)

დ)



ნახ.4.3. ა) ლაბორატორიული მოდელი გამწევი ძალის გარეშე ექსპერიმენტების სერიის ჩასატარებლად, ბ) და გ) ექსპერიმენტი ერთფილიანი მოდელისათვის გამწევი ძალის გარეშე. ფილაზე მიმაგრებულია CB-20 ტიპის სეისმური ვიბრატორი, დ) ექსპერიმენტი სამფილიანი, ბურიჯ-კნოპოვის, მოდელისათვის, გამწევი ძალის გარეშე

აეწყო დანადგარი, ტრიგერირების და სტიკ-სლიპის მოვლენის შესასწავლად ერთი ფილით და ბურიჯ-კნოპოვის მოდელით, გამწევი ძალის გარეშე (ნახ.4.2). აღნიშნული დანადგარით შესაძლებელია მეწყრების ტრიგერირების და სტიკ-სლიპის პროცესის შესწავლა ბაზალტის ფილებს შორის სხვადასხვა გარემო პირობებში, გამწევი ძალის მოდების გარეშე. ხდებოდა ფილების ჩამოსრიალების დროს აღძრული აკუსტიკური ემისიის რეგისტრაცია. ამ მიზნით, დიდი ფილის ზედა და ქვედა კუთხეებში დამაგრებული იყო პიეზოგადამწოდები.

ასაწევი მოწყობილობა განკუთვნილია დახრის სხვადასხვა კუთხის დროს როგორც სტაციონარულ, ასევე დინამიურ რეჟიმში ექსპერიმენტების ჩასატარებლად.



ნახ.4.4. ლაზერული მანძილმზომი და დახრისმზომი. გრუნტის და მასალების ტენიანობის გამოზომი.

დინამიური რეჟიმის გამოყენებისას დახრის კუთხის 0-დან 47°-მდე უწყვეტი ცვლა სხვადასხვა სიჩქარით ხდება. მართვა ხელით ხორციელდება. დახრილობის კუთხის კონტროლი ხდებოდა ორიგინალური ლაზერული მანძილმზომ/დახრილმზომით Leica DISTO™ D8. დანადგარზე დაყენებული ფილა აღჭურვილია სეისმოგადამწოდების დასამაგრებელი განკუთვნილი სამაგრი წერტილებით - ორ-ორი სიმეტრიულად კუთხეებში, ვიწრო მხარეებთან ოთხ-ოთხი სანტიმეტრი ბოლოებიდან, ორი სიმეტრიულად ცენტრში (სამ-სამი სანტიმეტრი გვერდიდან) და აგრეთვე ზედა მხრიდან.

დანადგარი დახრის ცვლადი კუთხის მქონე დახრილ ზედაპირზე ფხვიერი მასალების გადაადგილების შესასწავლად (მეწყრის მოდელირების დანადგარი)

განვიხილოთ დანადგარი დახრის ცვლადი კუთხის მქონე დახრილ ზედაპირზე ფხვიერი მასალების გადაადგილების შესასწავლად [115,116]. იგი წარმოადგენს ფოლადის კარკასს, რომელზედაც დამონტაჟებულია მოსაბრუნებელი მაგიდა, რომელსაც შეუძლია იბრუნოს ჰორიზონტალური ღერძის გასწვრივ და ხელით მოქმედებაში მოსაყვანი დახრის შეცვლის მექანიზმი. მექანიზმი საშუალებას იძლევა მდორედ (წყნარად, ნელა) სამუშაო მაგიდის დახრილობა ჰორიზონტისადმი 0°-დან 80°-დე კუთხით მდორედ ვცვალოთ და აგრეთვე ვიმუშაოთ დახრის ნებისმიერი ფიქსირებული კუთხით. მაგიდის ტვირთამწეობა 100 კგ-ს აღემატება. მაგიდის ზედა მხარეზე ერთიდან ოთხ ღარამდე შეიძლება იყოს დამონტაჟებული. ღარები გამჭვირვალე პლასტმასიდან არის დამზადებული, მათ გლუვი ძირი და კედლები აქვთ. ღარის გაბარიტებია - სიგრძე დაახლოებით 125 სმ, შიდა სიგანე 230 მმ, ხოლო სიმაღლე - 90 მმ.



ნახ.4.5. დანადგარი დახრის ცვლადი კუთხის მქონე დახრილ ზედაპირზე ფხვიერი მასალების გადაადგილების შესასწავლად.

ჩატარდა ექსპერიმენტები მეწყრის მოდელირებისათვის. მშრალი ქვიშა დაიყარა სასრიალო არხში. ხდებოდა ტენიანობის გაზომვა. დახრის კუთხის გაზრდის შემდეგ, დაახლოებით 25.4° - ზე, მშრალი ქვიშა იწყებდა სრიალს.

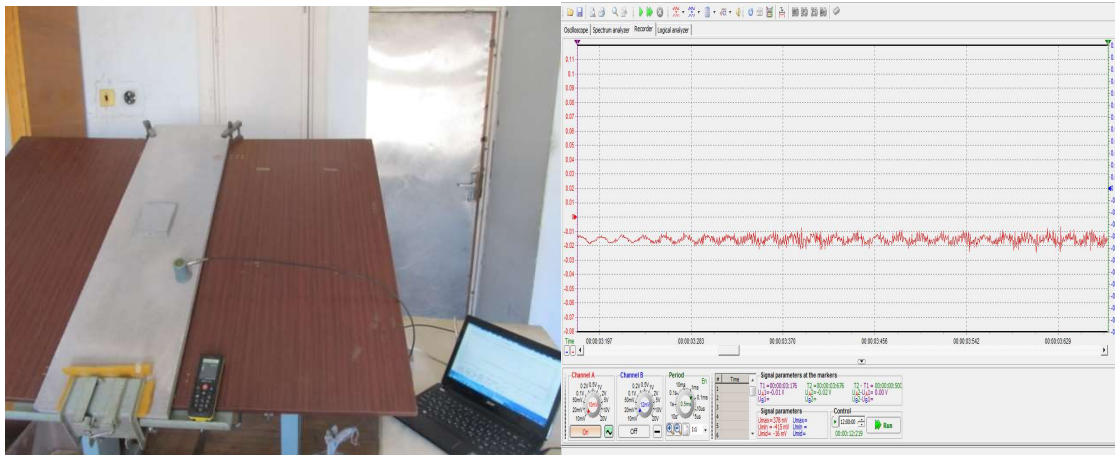
ექსპერიმენტების სხვა სერიაში ხდებოდა ქვიშის დატენიანება და სრიალის პარამეტრების (დასრიალების კუთხის) შესწავლა.



ნახ.4.6. მეწყრის მოდელირების ლაბორატორიული დანადგარი ტენიანობის და დახრილობის საზომი მოწყობილობებით

ექსპერიმენტის დაფაზე არხის გარდა ხდებოდა ბაზალტის ფილის დამაგრება (ნახ.4.7), რომელზეც ტარდებოდა ტრიგერირების მოდელირების ექსპერიმენტები. დაფის დახრილობის ცვლილებით დიდ ფილაზე ხდებოდა მასზე მოთავსებული მცირე ფილის დასრიალება. ტენიანობის საზომით იზომებოდა ბაზალტის ზედაპირის ტენიანობა, რომელიც მნიშვნელოვანია ტრიგერირების პროცესში. ხდებოდა ასევე დაფის დახრილობის კუთხის გაზომვა. აგრეთვე ხდებოდა მცირე ფილის დასრიალების დროს აღძრული აკუსტიკური იმპულსების რეგისტრაცია. დასრიალების კუთხე დამოკიდებულია ზედაპირის ტენიანობაზე. დიდი და პატარა ფილების ზედაპირების ტენიანობა (დიდის მნიშვნელოვნად მეტი იყო მცირეს ზედაპირის ტენიანობაზე) განსხვავდებოდა ერთმანეთისაგან, ამიტომ დასრიალების კუთხეც დიდისათვის $\sim 28.1^\circ$, ხოლო მცირე ფილისათვის $\sim 25.5^\circ$.





ნახ.4.7. ტრიგერირების ექსპერიმენტები: ა) ფილის ზედაპირის ტენიანობის და დახრილობის გაზომვა, ბ) მცირე მოსრიალე ფილა, გ) დიდი მოსრიალე ფილა, დ) ფილის ერთ-ერთი დასრიალების ჩანაწერის ფრაგმენტი ორარხიან ოსცილოსკოპზე

ექსპერიმენტების ჩატარებისას გამოიყენებოდა რიგი სამრეწველო და ორიგინალური ხელსაწყო-მოწყობილობისა - ბაზალტის ფილებში რხევების აღძვრისთვის გამოიყენებოდა CB-5, CB-20, СИЗД-56 ტიპის მოდიფიცირებული დაბალსიხშირიანი ვერტიკალური სეისმომომღებები. პროექტის განხორციელებისას აჩქარების გასაზომად შეირჩა MESM ტიპის სენსორები. ისინი პროექტის ამოცანებისათვის საკმარისი მგრძობიარობის მქონე, შედარებით იაფი და ენერგეტიკულად ეკონომიური მოწყობილობებია. ამის გამო MESM ტიპის სენსორებმა ფართო გამოყენება ჰპოვეს ავტონომიური კვების პირობებში მომუშავე პორტატიულ და მობილურ მოწყობილობებში, განსაკუთრებით ისეთ მოწყობილობებში, რომელთა მუშაობის ალგორითმი ითვალისწინებს აჩქარებული მოძრაობების მრავლობითი კომპონენტის ერთდროულ გაზომვას, დამუშავებას, რეალურ დროში გადაწყვეტილების მიღებას და შესაბამისი ბრძანებების გამომუშავებას. აღნიშნული ტიპის აქსელერომეტრების ფართო სპექტრში ფიგურირებენ როგორც ციფრული გამოსასვლელის მქონე ხელსაწყოები, ასევე მოწყობილობები ანალოგური გამოსასვლელით. ანალოგური გამოსასვლელი საშუალებას იძლევა ავცდეთ ციფრული დამუშავების რთულ პლატფორმებს და შევიძუშაოთ მაქსიმალურად საიმედო და მარტივი, ანალოგური დამუშავების ელექტრონული გადაწყვეტები, რაც ფრიად მნიშვნელოვანია ძნელად მისადგომი ადგილმდებარეობის მქონე არამომსახურებადი აპარატურის პროექტირებისას.

პროექტში გამოყენებულ იქნა მზა მოდული MA7163 ტიპის MEMS სენსორით. აღნიშნული მოდული საშუალებას გვაძლევს გავზომოთ მასის გადაადგილების აჩქარების ერთდროულად სამივე კომპონენტი X, Z და Y მიმართულებებით და რეზულტატი მივიღოთ მოწყობილობის გამოსასვლელზე ანალოგურ ფორმატში რეალურ დროში. მრავლობითი აქსელერომეტრების (3 და მეტი) გამოსაკვლევ ფართზე ინსტალაციის შემთხვევაში, შესაძლებელი ხდება მათი ლოკაციის მიხედვით მასათა გადაადგილებისას აჩქარებების სხვაობის დაკვირვება, რაც შესაძლებელია მოხდეს მხოლოდ მასათა სხვადასვა ფრაგმენტის სხვადასხვა აჩქარებით გადაადგილების შემთხვევაში. მსგავსი შემთხვევა მოსალოდნელია დაფიქსირდეს მეწყერის აჩქარებული მოძრაობის დაწყებისთანავე და შესაბამისად, დიფერენციალური აჩქარების პარამეტრების განსაზღვრა პროექტის ამოცანის მთავარ მიზანს წარმოადგენს.

პროექტის განსახორციელებლად შერჩეული მოდული MA7163 ტიპის MEMS სენსორით უზრუნველყოფს არა მარტო აჩქარების სამი კომპონენტის გაზომვას, არამედ დახრილობის ფუნქციასაც სამი კომპონენტის ანალოგური გამოსასვლელით. მეწყერის სხვადასხვა ადგილზე დამონტაჟებული სენსორები საშუალებას მოგვცემენ დავაფიქსიროთ აქტიური მონაკვეთების დახრების ცვალებადობა დროში ერთმანეთის მიმართ. მეწყერსაშიში გარემოს სხვადასხვა უბნებში არასტაბილური მასების მიერ დახრების ცვლა ჰორიზონტის მიმართ მეწყერის მომზადების პროცესის შესახებ ინფორმაციის ერთერთი წყაროა და გამოყენებულ იქნება მეწყერის მოწყვეტის რისკის რეგულარული შეფასებისათვის. სხვადასხვა წერტილში დაკვირვებული დახრის პარამეტრების დიფერენცირებით შესაძლებელია რისკის შემქმნელ მასათა განლაგების ფორმის ცვლილებების ანომალური პროცესების დეტექტირება. ასევე აღსანიშნავია, რომ მეწყერის აქტიური გადაადგილების აჩქარებული პროცესი აუცილებლად დაფიქსირდება უბნების დახრის კუთხის პარამეტრების მკვეთრ ვარიაციებში.

მეწყერული პროცესების მოდელირების, სენსორების ტესტირების დიდმასშტაბიანი ექსპერიმენტული დანადგარი.

იმისათვის რომ მეწყერული პროცესების მოდელირების ექსპერიმენტები უფრო მიახლოებული ყოფილიყო რეალურ სავსე პირობებთან, ჩვენს მიერ დამზადებული იქნა დიდმასშტაბიანი ექსპერიმენტული დანადგარი. დანადგარი წარმოადგენს დიდი ზომის (240x60x60 სმ³) კიუვეტს, რომელიც

დამზადებულია წყალგამძლე მასალისაგან. იგი დამონტაჟებულია მსხვილი ხის კოჭების პლატფორმაზე.



ნახ.4.8. მეწყრული პროცესების მოდელირების დიდმასშტაბიანი დანადგარი

მეწყრის მონიტორინგის აკუსტიკური სისტემა. ტრადიციული თვალსაზრისით მეწყერი შეიძლება მოხდეს ძალიან ციცაბო ფერდობებზე, მაღალმთიან რეგიონებში, როგორცაა საქართველო, რაც ზუსტად არ ასახავს ამ პრობლემის ბუნებას. გასაკვირია ის ფაქტი, რომ მეწყერი შეიძლება მოხდეს პრაქტიკულად მსოფლიოს ნებისმიერ წერტილში. რა თქმა უნდა მთიანი რეგიონები ამ მხრივ უფრო დიდი საფრთხის წინაშე დგანან. მეწყრების ასეთი ფართო გეოგრაფიული გავრცელების მიზეზი მათი გამშვები მექანიზმების მრავალფეროვნებაშია: ჭარბი ნალექი, მიწისძვრები, ვულკანები, ტყის ხანძრები და ადამიანის გარკვეული სახიფათო საქმიანობა არის ზოგიერთი ძირითადი მიზეზი, რომელმაც შეიძლება გამოიწვიოს მეწყერი. ამიტომ, მეწყრის თვისებების, სტატიკის და დინამიკის გაგება, რათა გამოვლინდეს მისი ფიზიკური ბუნება, მეწყრის პროგნოზირებისათვის ან მასების მოძრაობის რისკის შემცირებისათვის, წარმოადგენს მნიშვნელოვან სამეცნიერო და პრაქტიკულ პრობლემას.

მეწყერის მზადების ფაზის აკუსტიკური ფონის შესწავლა. აკუსტიკური ემისიის ზონდი წარმოადგენს უჯანგავი ფოლადის სქელკედლიან მილს, რომლის სიგრძე შეიძლება შერჩეული იქნას შესასწავლი ჭრილის სიღრმის მიხედვით, საბაზო გადამწოდზე შესაბამისი რაოდენობის სექციების ჩახრახნვით. ზონდის სექციები 1.5მ-ის სიგრძისაა, ასე რომ შესაძლებელია მათი რაოდენობის ცვლილებით სხვადასხვა სიღრმის ზონდის მიღება.

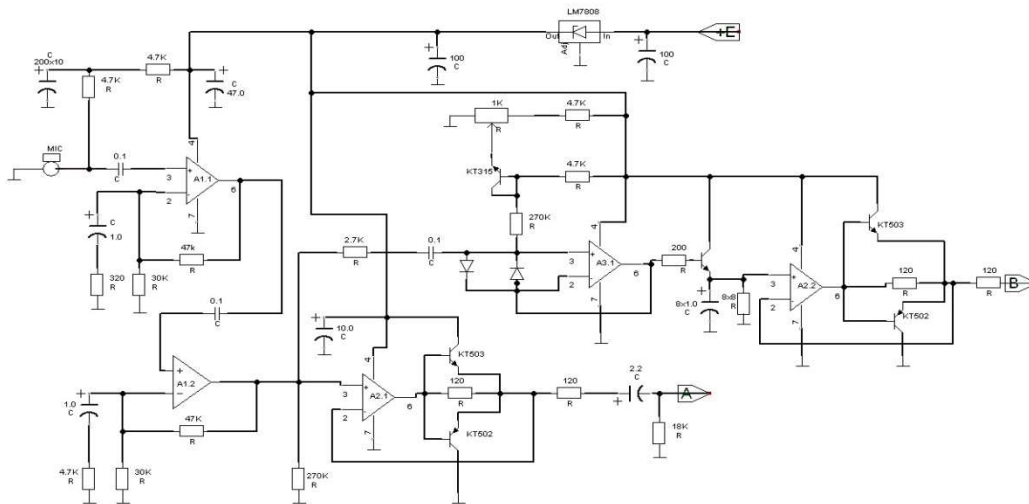


ნახ.4.9.უქანგავი ფოლადის მილები აკუსტიკური სიგნალის გადაცემისათვის და აკუსტიკური სენსორი

მილის დიამეტრი 20მმ-ს შეადგენს, ხოლო კედლის სისქე 2.0მმ-ის ტოლია. ზედაპირული აკუსტიკური ტალღების კარგვის გარეშე გადმოცემისთვის სექციების შემაერთებელი ხრახნები მაქსიმალური სიზუსტით არის შესრულებული, ეს მჭიდრო კონტაქტს განაპირობებს, რაც უზრუნველყოფს სექციებს შორის აკუსტიკური ტალღის ენერჯის კარგვების გარეშე გადაცემას.

ზონდის ზედა ნაწილში განთავსებული კაფსულა-მიკროფონი, გამაძლიერებლის, ფილტრის და ინტეგრატორის სქემები, ანუ მთელი ელექტრონული მოდული, მოთავსებულია ჰერმეტიკულ ყუთში, რომელიც იცავს მათ გარემოს გავლენისგან. ამავდროულად ზონდის ტანთან ჰერმეტიზაცია შესრულებულია რბილი რეზინის შალითით, რათა არ მოხდეს ზონდის ზედაპირის დემპფირება და შესაბამისად გადაცემული აკუსტიკური ტალღების ამპლიტუდის კარგვა.

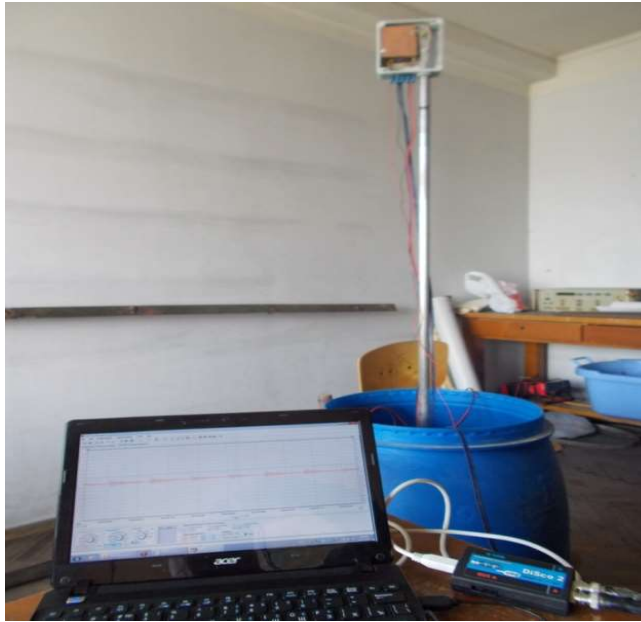
ელექტრონული სქემა შეიცავს მცირეხმაურიან გამაძლიერებელს, სიგნალის Waveform გამოსასვლელ ბუფერულ გამაძლიერებელს, პრეცეზიულ პიკდეტექტორ-ინტეგრატორს და დატალოგერის DC Voltage გამოსასვლელს. სიგნალის პიკური ამპლიტუდური მნიშვნელობის დეტექტირების შემდგომ გამოყენებული ინტეგრატორი იმახსოვრებს შემოსული სიგნალის მაქსიმალურ დონეს წუთში 5%-იანი შემცირების სიზუსტით, რაც საშუალებას იძლევა წუთში თითო ანათვალის დატალოგერზე დაფიქსირებით მივიღოთ საკმაოდ ზუსტი ინფორმაცია აკუსტიკური ხმაურის დონის ცვლილებების შესახებ.



ნახ.4.10. ელექტრული მიკროფონის (აკუსტიკური სენსორის) გამაძლიერებლის სქემა

სიგნალის გამოსასვლელი A საშუალებას იძლევა მაღალი ხარისხის ანალოგურ/ციფრული გარდამქმნელის გამოყენების შემთხვევაში უწყვეტად ჩავიწერთ აკუსტიკური შემფოთებების ფორმა დროის რეალურ მასშტაბში. გამოსასვლელი A შეიძლება მივაწოდოთ USB ჩამწერ ოსცილოგრაფულ მოდულს, რომლის შესასვლელი ADC ანალოგურ-ციფრული მოდული გათვლილია 100კჰც-მდე სიხშირის სპექტრის მქონე სიგნალები რეგისტრაციაზე.

ექსპერიმენტული ნაწილი ჩვენი კვლევის მიზანი არის აკუსტიკური ემისიის ჩაწერის საშუალებით მეწყრის ნელი მოძრაობის (ცოცვის) რეგისტრაცია და მონიტორინგი [114,135]. ამ მიზნით ჩვენ ავაწყვეთ სპეციალური მოწყობილობა (ნახ.6.4). პლასტიკური კასრი ივსება მეწყერული ნიადაგით, ხოლო კასრის ცენტრში ცილინდრულად ჩაყრილია ღორღი. ცილინდრის დიამეტრი დაახლოებით არის 15 სმ, ხოლო ღორღის საშუალო დიამეტრი დაახლოებით 7 მმ. ღორღის ცენტრში განთავსებულია სქელკედლიანი ფოლადის მილი, რომელიც ხრეშში წარმოქმნილ აკუსტიკურ იმპულსებს გადასცემს აკუსტიკურ სენსორს. დანადგარში დეფორმაცია ხორციელდება მექანიკური დომკრატის დახმარებით.



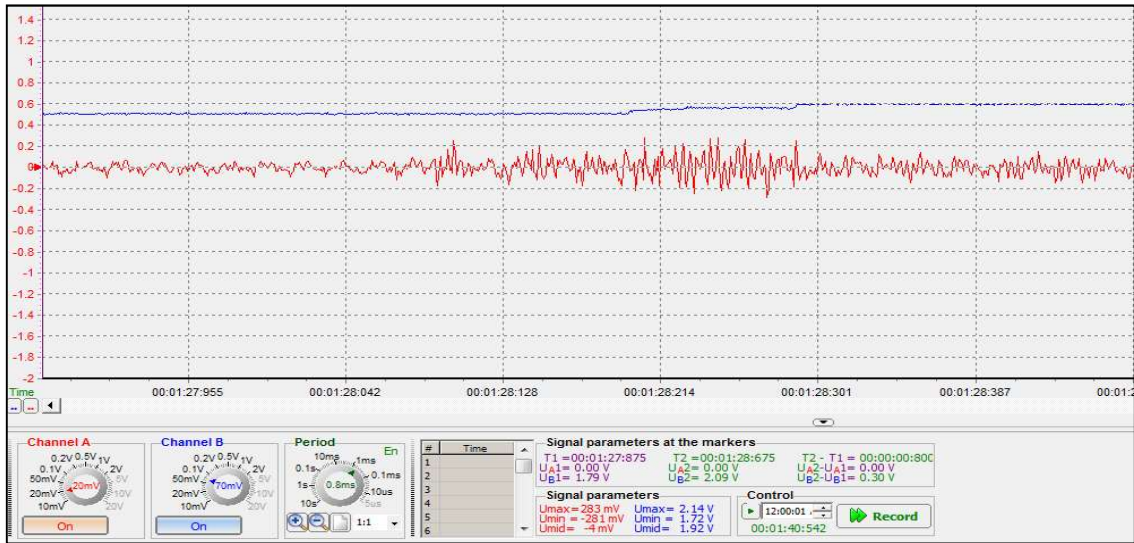
ნახ.4.11. მეწყრის ცოცვის მოდელირება და თანმხლები აკუსტიკური ემისიის რეგისტრაცია USB ოსცილოსკოპის საშუალებით

აკუსტიკური მონიტორინგის მიზანია მეწყრის გააქტიურებამდე, გეოლოგიური სხეულების წინასწარი გადაადგილების დროს, აღძრული აკუსტიკური სიგნალების ჩაწერა. აკუსტიკური სენსორის გარშემო მოთავსებული ღორღის წანსცვლებისას აღძრული აკუსტიკური სიგნალის ჩაწერის მსგავსი ტექნიკა ადრე შემუშავებული იყო ლოუგბოროს (Loughborough) უნივერსიტეტის გუნდის მიერ, მაგრამ ეს მოითხოვს შედარებით ღრმა ჭაბურღილს ქვემოთ მოცურების ზედაპირამდის. ეს პროცედურა საკმაოდ ძვირია. ჩვენი მიზანი იყო აღნიშნული მეთოდის იაფი ვერსიის შემუშავება. იდეა მდგომარეობს იმაში, რომ გამოყენებული იქნას სხვადასხვა სიღრმეზე განლაგებული ორი მგრძნობიარე აკუსტიკური ზონდი, ერთი ღრმად და მეორე ზედაპირთან ახლოს. პირველი ზონდი ძირითადია. ხოლო მეორის როლია ზედაპირული სიგნალების გამოყოფა, რომლებიც ამ შემთხვევაში განიხილება, როგორც ხმაური.

მეწყრული ნიადაგის მცირე გადაადგილების დროს აღძრული აკუსტიკური იმპულსების რეგისტრაცია ხდება აკუსტიკური სენსორის საშუალებით, რომელიც შეერთებულია USB ოსცილოსკოპთან (ნახ.4.11), რომლის საშუალებითაც დამუშავების სპეციალური კომპიუტერული პროგრამის გამოყენების შემდეგ ინფორმაცია იგზავნება კომპიუტერში.

შედეგების ანალიზი. ექსპერიმენტული მოწყობილობა აღწერილია ზემოთ (ნახ.4.11). აკუსტიკური სენსორის და ოსცილოსკოპის საშუალებით ხდება

აკუსტიკური ემისიის ტალღური ფორმის და ძაბვის პიკური ამპლიტუდური მნიშვნელობის (ინტეგრატორის და პიკდეტექტორის გამოსასვლელი) უწყვეტი ჩაწერა. ერთი ჩანაწერის ფრაგმენტები ნაჩვენებია ნახ.6.12-ზე.



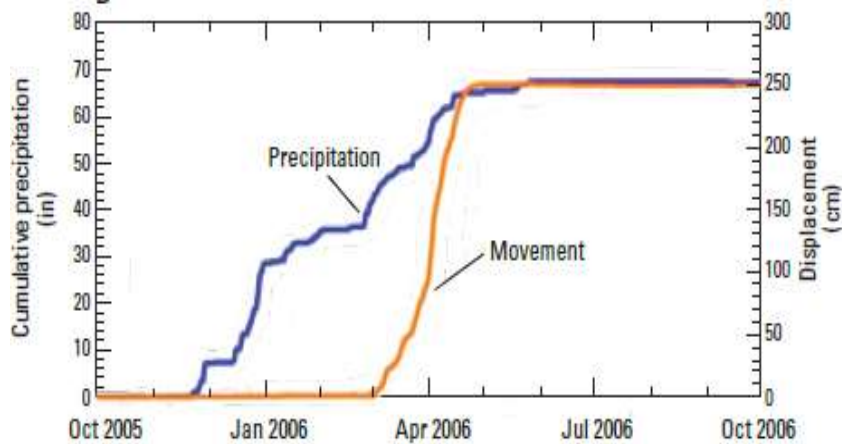
ნახ.4.12. აკუსტიკური სიგნალის დონის (DC) და ტალღური ფორმის ჩანაწერი USB ოსცილოსკოპის გამოყენებით; x-ღერძი არის დრო წამებში, y-ღერძი არის აკუსტიკური სიგნალის ამპლიტუდა ვოლტებში.

კუმშვის და ძვრის დეფორმაციის დროს აღძრული სიგნალი უმნიშვნელო იყო. თითოეული მცირე წანაცვლების რეგისტრაციისათვის საჭიროა მონაცემების ფაილის (~10⁵ მონაცემი წამში) უფრო ღრმა დამუშავება და / ან ხრეშის სიმკვრივის გაზრდა. ღორღის სიმკვრივის გაზრდამ უნდა გამოიწვიოს მცირე წანაცვლების დროს აკუსტიკური იმპულსების რაოდენობის და დეტექტირების ეფექტურობის ზრდა. გრაფიკი 4.12 გვიჩვენებს შემთხვევას, როდესაც ექსპერიმენტული დანადგარიდან ხდება დამაბულობის სწრაფი მოხსნა [114,140].

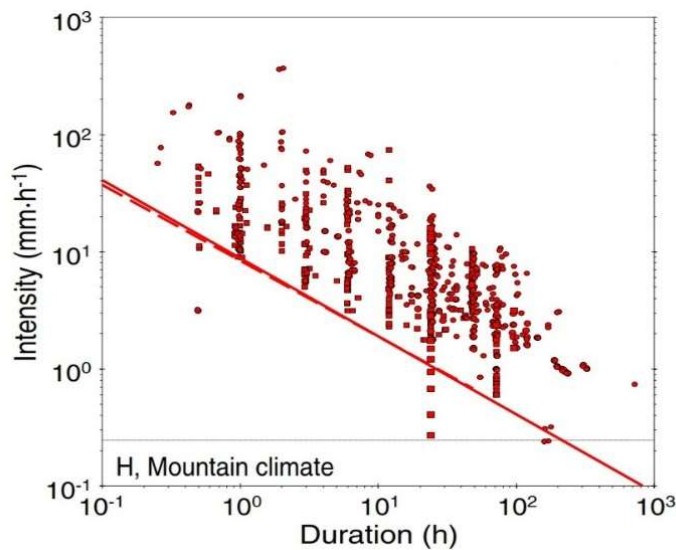
ჩვენი ექსპერიმენტის ერთ-ერთი მიზანი იყო დანადგარის ოპტიმიზაცია, რათა მომხდარიყო მისი გამოყენება მეწყრულ მიდამოში. ჩვენ ვვარაუდობთ, რომ ამ მიმართულებით შეიძლება დამუშავდეს მეწყრის სრიალის დაწყების წინასწარი შეტყობინების აკუსტიკური სისტემა.

ნალექების გავლენა და ტენიანობის სენსორი. ცნობილია, რომ მეწყრების/ღვარცოფების გააქტიურება მჭიდროდ არის დაკავშირებული ნალექების ინტენსივობასთან (Guzetti et al, 2007, 2008; Baum et al, 2010; Baum,

Godt, 2010;...). საველე მონაცემები ნათლად მოწმობენ, რომ მეწყრის გააქტიურებას როგორც წესი, წინ უსწრებს უხვი ნალექების მოსვლა: ნახ...-ზე წარმოდგენილია კალიფორნიაში (აშშ) მიღებული ნალექიანობაზე და მეწყრის წანაცვლებაზე საველე დაკვირვებების შედეგები. აშკარაა, რომ ვიდრე ხანგრძლივი წვიმების გამო ჯამური ნალექის ინტენსივობამ არ მიაღწია 101 სმ მეწყრის წანაცვლება არ დაიკვირვებოდა. მხოლოდ ამ ინტენსივობის მიღწევის შემდეგ დაიწყო მეწყრის სწრაფი მოძრაობა - ერთ თვეში მან წანაცვლა 2.50 მეტრით.



ნახ.4.13. ნალექიანობა და მეწყრის მოძრაობა კალიფორნიაში.
<http://landslides.usgs.gov/monitoring/hwy50/yearly.php>



ნახ.4.14. წვიმების ინტენსივობის და მათი ხანგრძლივობის კავშირი მეწყრების მოხდენასთან (წერტილები) მთიანი რეგიონებისათვის მთელს მსოფლიოში (Guzetti et al, 2007).

ძლიერი წვიმების შემდეგ, გარკვეული შეყოვნების შემდეგ მასების მოძრაობა იწყება ანუ ნალექი ასრულებს ტრიგერის როლს. დაყოვნება აიხსნება იმით, რომ წყალმა უნდა შეაღწიოს ნიადაგში გარკვეულ სიღრმემდე, კერძოდ, სტაბილური მეწყრის სრიალის ზედაპირემდე და გაჟღინოს იქ მდებარე ქანები. ეს მკვეთრად ზრდის სრიალის ზედაპირთან განლაგებული ქანების ძვრადობას ორი მექანიზმის წყალობით: წყალგაჯერებული ქანები ადვილად დეფორმირდება დრეკადი მოდულების შემცირების გამო და, გარდა ამისა, პოროვანი წყლის მომატებული წნევა ამცირებს ძვრის კრიტიკულ დაძაბულობას (კულონის კანონი). ვინაიდან წყლის ჩაღწევას სრიალის ზედაპირამდე საკმაოდ დიდი დრო სჭირდება, გრუნტის ტენიანობა უნდა განიხილებოდეს, როგორც გრძელვადიანი წინამორბედი.

ტენიანობის ფაქტორის გათვალისწინება შესაძლოა ორი გზით: 1. დავადგინოთ სტატისტიკური კავშირი მეწყრების/ღვარცოფების მორდენასა და ნალექების ინტენსივობასა და ხანგრძლივობის შორის. ამისათვის შესაძლოა გამოვიყენოთ მსოფლიოში მიღებული სტატისტიკური კავშირები ნალექიანობასა და მეწყრების მოხდენის შორის. მაგალითად, ნახ... მოცემულია წვიმების ინტენსივობის და მათი ხანგრძლივობის კავშირი მეწყრების მოხდენასთან (წერტილები) მთიანი რეგიონებისათვის მთელს მსოფლიოში (Guzetti et al, 2007). ნახატიდან ჩანს, რომ არსებობს წვიმების ინტენსივობის/ხანგრძლივობის კრიტიკული მნიშვნელობები (წითელი ხაზი), რომლის გადამეტება აუცილებელია მეყრული პროცესის გააქტიურებისათვის. პრიციპში შესაძლო იყო აშს-ს კომპლექსში ნალექის სენსორი დაგვემატებია და ამგვარი დიაგრამის საშუალებით დავადგინოთ გრუნტის სინოტივის გრძელვადიანი განგაშის დონეები.

ამ მეთოდს გარკვეული ხარვეზები ახასიათებს: გლობალური სტატისტიკური შეფასებების გამოყენება შესაძლოა ვერ იყოს გამართლებული ლოკალურ პირობებში, ხოლო ლოკალური სტატისტიკის დადგენა საკმაოდ ხანგრძლივ დაკვირებებს მოითხოვს.

ამიტომ ჩვენ ვარჩიეთ, შევისწავლოთ ლაბორატორული ცდებით მოცემული მეწყრის მასალის ძვრადობის დამოკიდებულება მის წყალშემცველობაზე და მეწყრის ტანში განთავსებული ტენიანობის სენსორების საშუალებით დავადგინოთ, რამდენად ახლოა მასების ძვრადობა ლაბორატორული ცდებით დადგენილ კრიტიკულ ტენიანობასთან. ამისათვის გამოვიყენება სხვადასხვა სახის სენსორები, რომლებიც ზომავენ წყალშემცველობაზე დამოკიდებულ გრუნტის თვისებებს: გამტარებლობას, ფოროვანი წყლის წნევას (პიეზომეტრები), გრუნტის მექანიკურ ან დიელექტრულ თვისებებს. ჩვენს მიერ გამოცდილი გამტარობის სენსორები,

როგორც წესი, არასტაბილურია ელექტროდების კოროზიის გამო. პიეზომეტრების გამოყენება საკმაოდ რთულია. ასევე გამოვცადეთ ტენიანობის შეფასების მექანიკური მეთოდი, რომელიც ეყრდნობა ულტრაბგერითი ტალღების ამპლიტუდების სხვაობას ურთიერთ-პერპენდიკულარული მიმართულებებით გავრცელების შემთხვევაში. სითხეში (და სითხით გაჯერებულ ქანებში) ორივე მიმართულებით ამპლიტუდები ერთი და იგივე (ან მცირედ განსხვავებული) უნდა იყოს, ხოლო მშრალ ქანში - საკმაოდ განსხვავებული. ულტრაბგერითი ტენიანობის სენსორები საკმაოდ სტაბილურია, მაგრამ მათი განთავსება გრუნტში სხვა სენსორებთან ერთად რთულია - კერძოდ, გართულებულია ამ სენსორის გერმეტიზაცია. ამიტომ ჩვენი არჩევანი შეჩერდა დიელექტრულ მეთოდზე, ვინაიდან ამ შემთხვევაში არა არის საჭირო სენსორის გრუნტთან უშუალო კავშირი და სისტემა შეიძლება გერმეტიზებული იყოს, რაც მის სტაბილურობას უზრუნველავს.

ჩვენს მიერ შერჩეული ტენიანობის სენსორის ბაზას წარმოადგენს მაღალი სიხშირის (2.7 გიგაჰერცი) მიკრო-რადარული ბლოკი. მიკრო-რადარის მიერ გამოსხივებული მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური (ემ) სიგნალი შთაინთქმება გარემოს მიერ. შთაინთქმის ინტენსივობა დამოკიდებულია გარემოს დიელექტრულ შემთვისებლობაზე (მუდმივაზე) ϵ : ვინაიდან წლის დიელექტრულ შემთვისებლობა ($\epsilon = 80$) გაცილებით უფრო დიდია, ვიდრე მშრალი ფოროვანი ქანისა ($\epsilon = 2-5$), მიკრო-რადარის მაღალი სიხშირის სიგნალი ძლიერ შთაინთქმება მაღალი ტენიანობის ქანებში, ანუ რადარის სიგნალი უკუპროპოციულია ქანის ტენიანობისა. ნახ. ნაჩვენებია ტენიანობის მიკრო-რადარული სენსორის მოდული.

მიკროტალღური რადარული მოდული

რადარული მოდულის მიერ მეწყერსაშიში გრუნტის მასაში შექმნილი მიკროტალღური ველის ინტენსივობა საგრძნობლად დამოკიდებულია გრუნტის ტენიანობაზე. მოდული აკონტროლებს არეკლილი და შთაინთქმული გამოსხივების თანაფარდობის პარამეტრს, რომელიც შეიცავს ინფორმაციას გარემოს ელექტრომაგნიტური თვისებების შესახებ. მეწყრული ზონის გრუნტის გაწყლოვანების ზრდასთან ერთად ანარეკლი კომპონენტი იზრდება და შესაბამისად იცვლება რადარული მოდულის გამოსასვლელი ძაბვა. თავად რადარული მიკროტალღური მოდული ნაბეჭდ დაფას წარმოადგენს, რომელზეც განთავსებულია მიკროტალღური სიხშირის გენერატორი(2.4გჰც სიხშირულ დიაპაზონში) და მისისვე შემედგენელი

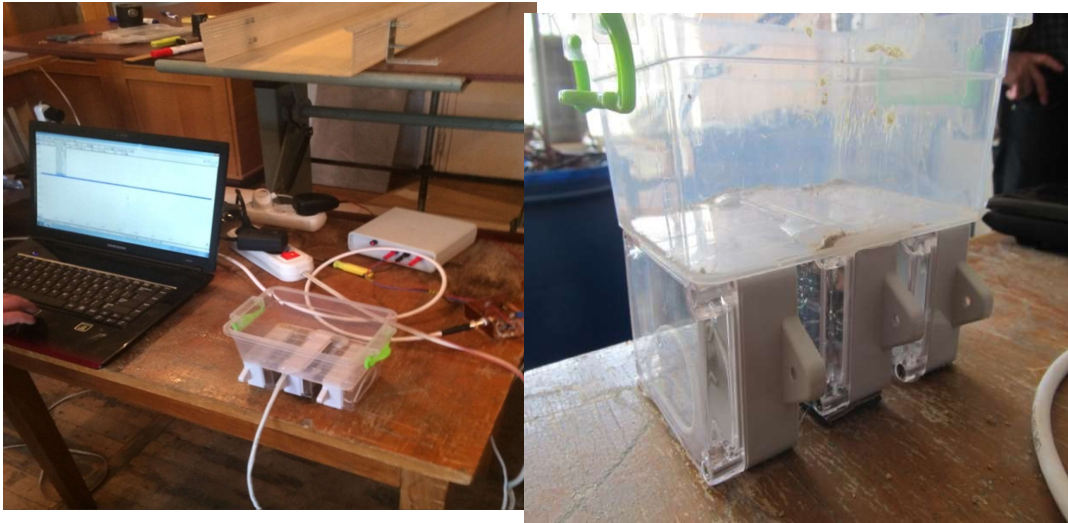
კომპონენტები, როგორცაა გამტარი ბილიკები, ამავედროულად მიმღებ და გამსხივებელ ელემენტებად გამოიყენება.



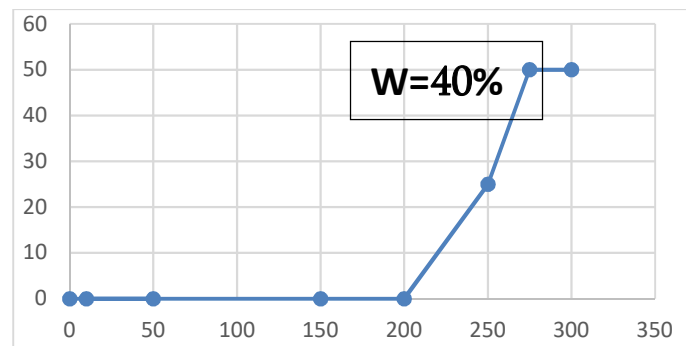
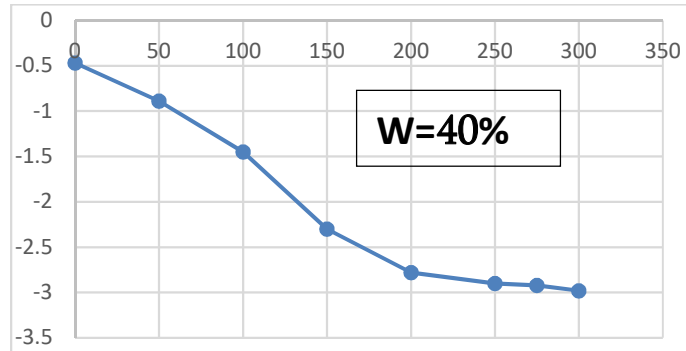
4.15. მიკრო-რადარული სენსორის მოდული

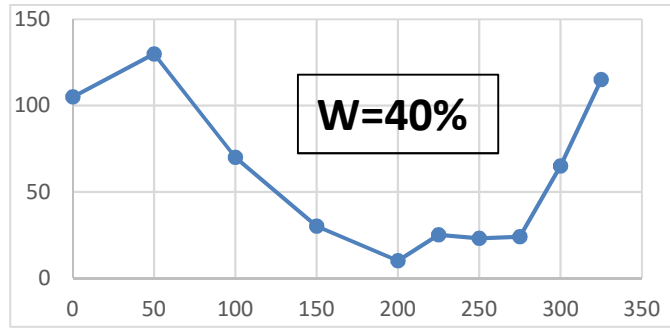
მიკრო-რადარული სენსორის გამოცდა მოხდა ლაბორატორულ პირობებში ორ ნიმუშზე: კვარცის სილაზე და გლდანის მეწყრის მასალაზე. შედეგები მოყვანილია ქვემოთ, ნახ.4.17-ზე.

მარცვლოვანი მასის დაძვრისათვის წყალშემცველობის კრიტიკული მნიშვნელობის დასადგენად ჩატარებული იქნა ექსპერიმენტები, გარკვეული მოცულობის მარცვლოვანი გარემოს დენადობის შესასწავლად, სხვადასხვა გაწყლიანების და სხვადასხვა დახრილობის შემთხვევაში. ავიღეთ 750 მლ მშრალი ქვიშა, მოვათავსეთ ცელოფანში და შემდეგ ერთი მხრიდან ღია ყუთში. ქვიშა არ გამოდის ყუთის საზღვრებიდან. შემდეგ ქვიშას ვამატებთ 50 მლ წყალს, კარგად ვურევთ და ვიმეორებთ ექსპერიმენტს. ქვიშა ისევ არ გამოდის ყუთის საზღვრებიდან. გარკვეულ გაწყლიანებამდე ქვიშა სველი ქვიშა უფრო კონსოლიდირებულია ვიდრე მშრალი. დაახლოებით 250 მლ წყლის დამატებისას ქვიშა გამოდის საზღვრებიდან, 275-300 მლ წყლის დამატებისას ქვიშა გამოედინება მაქსიმალურ მანძილზე. ნახ.4.17-ზე წარმოდგენილია ქვიშის გამოდინების მანძილის დამოკიდებულება გაწყლიანებაზე.



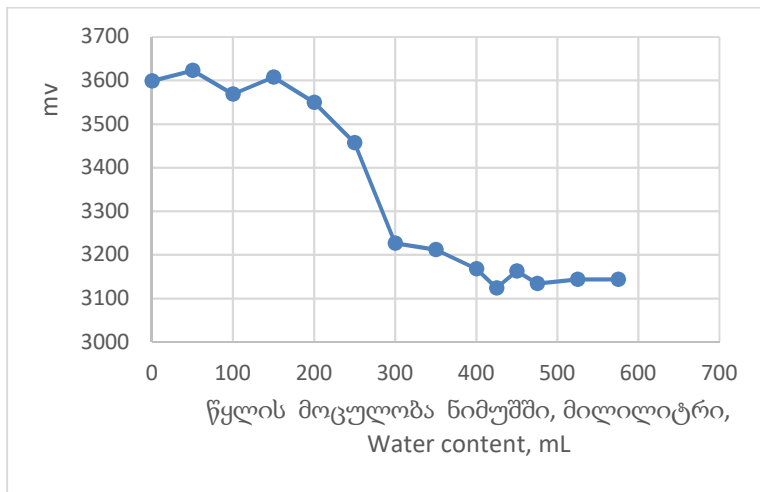
ნახ.4.16. ტენიანობის გამზომი მიკრო რადარის ტესტირების
ექსპერიმენტები





ნახ.4.17. y-ღერძზე - კვარცის სილის გეორადარის ველის ინტენსივობა ვოლტებში (1), ჰორიზონტულ სიბრტყეზე წანაცვლება, მმ (2) და დახრილ სიბრტყეზე წანაცვლება, მმ (3); x-ღერძზე - ნიმუშში წყლის მოცულობის სიდიდე, მილილიტრებში. W=40% არის ნიმუშში წყლის მოცულობითი წილი, რომელზეც როგორც რადარის სიგნალი, ასევე ძვრადობა განიცდის მკვეთრ ცვლილებას.

მოყვანილი შედეგები მოწმობს, რომ შერჩეული ტენიანობის სენსორი კარგად რეაგირებს გარემოს წყალშემცველობის ცვლაზე, რომელიც, თავის მხრივ, მჭიდროდ არის დაკავშირებული მასალის ძვრადობაზე.



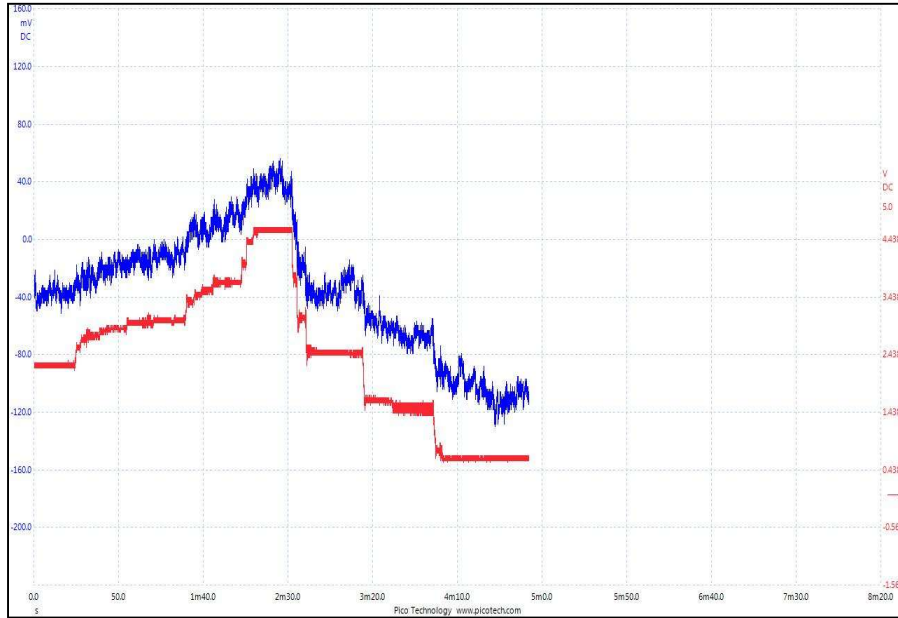
ნახ.4.18. - გლდანის მეწყრის დამახასიათებელი გრუნტში გეორადარის ინტენსივობის დამოკიდებულება ნიმუშებში წყლის მოცულობაზე; y-ღერძზე - კვარცის სილის გეორადარის ინტენსივობა მილივოლტებში, x-ღერძზე - ნიმუშში წყლის მოცულობის სიდიდე, მილილიტრებში.

აღსანიშნავია დამახასიათებელი გრუნტში გეორადარის ველის ინტენსივობის არაწრფივი დამოკიდებულება ნიმუშში წყლის მოცულობაზე. ეს, შესაძლოა, მიუთითებს ნიმუშში გარკვეულ წყალშემცველობის მიღწევისას

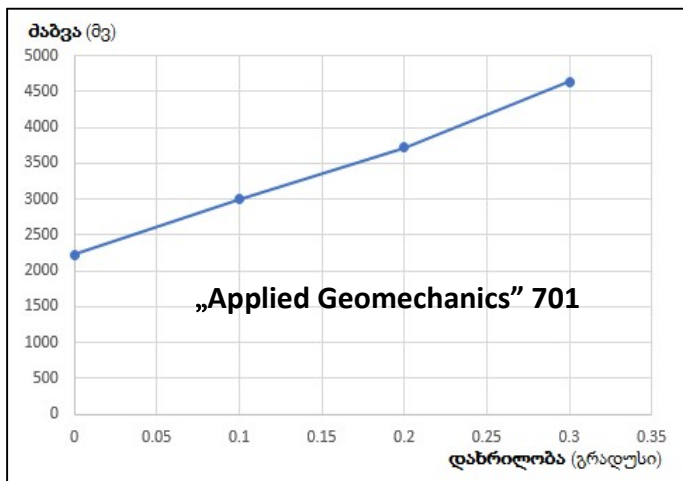
ფოროვანი წყლის ფაზურ გადასვლაზე ბმული მდგომარეობიდან (მცირე ტენიანობის პირობებში) თავისუფალ მდგომარეობაში (მაღალი ტენიანობის პირობებში). ცნობილია, რომ ბმული წყლის დიელექტრული მუდმივა მცირეა თავისუფალი წყლის მუდმივასთან შედარებით. შესაბამისად, კრიტიკული ტენიანობის მიღწევის შემდეგ გარემოს შთანთქმის კოეფიციენტი მკვეთრად იზრდება

მექანიკური წინამორბედები: დახრები და აჩქარებები.

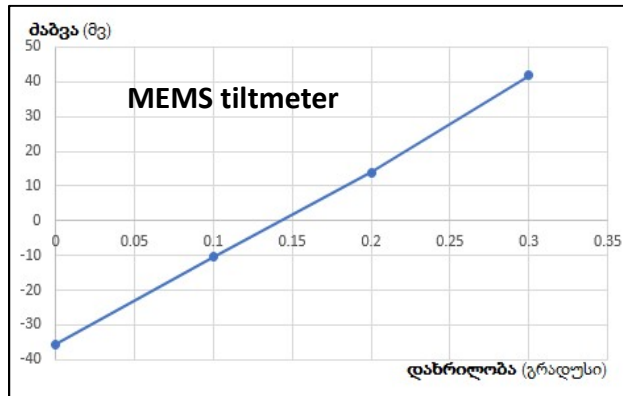
დახრები: ცნობილია, რომ მეწყრის გააქტიურება იწვევს მისი შემადგენელი ნაწილების დახრების არათანაბარ ცვალებადობას (Travellei et al, 2012), ანუ ზედაპირული გრუნტის დახრების ცვლილება მასების დაძვრის მზადების სანდო ნიშანია. ამიტომ ეს ფაქტორი გათვალისწინებულია ჩვენს მულტი-სენსორულ სისტემაში. ქვემოთ აღწერილია, როგორ მოხდა MEMS-სენსორის ბაზაზე დახრილმზომის ფუნქციის განხორციელება. MEMS სენსორული მოწყობილობებიდან მიღებული მონაცემების თანმდევნი მუდმივი ძაბვის მდგენელის გამოყოფის მეშვეობით დამუშავების პლატფორმა ადგენს ასევე გრუნტის დახრის ტრენდებს მეწყერსაშიში უბნისათვის და გამოიმუშავებს შესაბამის ძაბვებს გაფრთხილების ან განგაშის რეჟიმის მართვისათვის. დახრილმზომის ფუნქციის უზრუნველყოფისათვის MEMS სენსორის გამოსასვლელი სიგნალი გაივლის დაბალი სიხშირეების გამტარ ფილტრს, რის შედეგადაც ფილტრის გამოსასვლელზე გრუნტის დახრის პროპორციული სიგნალი მიიღება. აღნიშნული ფილტრი გამოყოფს და ატარებს სიგნალის მუდმივ მდგენელსა და ინფრადაბალსიხშირულ კომპონენტს, რომელთა სიხშირე 0,5-1,0ჰც-ს არ აღემატება. სენსორული მოწყობილობების გამომუშავებული სიგნალები რომელთა მნიშვნელობების ცვლილების სიხშირე აღემატება 0,5-1,0ჰც-ს, გადიან შესაბამის ფილტრს და მუშავდებიან ცალკე გამოყოფილი არხით, რომლის გამოსასვლელზე ფორმირებული ძაბვის მნიშვნელობა კარგად ასახავს გრუნტის აჩქარებული მოძრაობის პროცესებს და გამოიყენება მოკლევადიანი განგაშის გამოცხადების პრიორიტეტულ პარამეტრად.



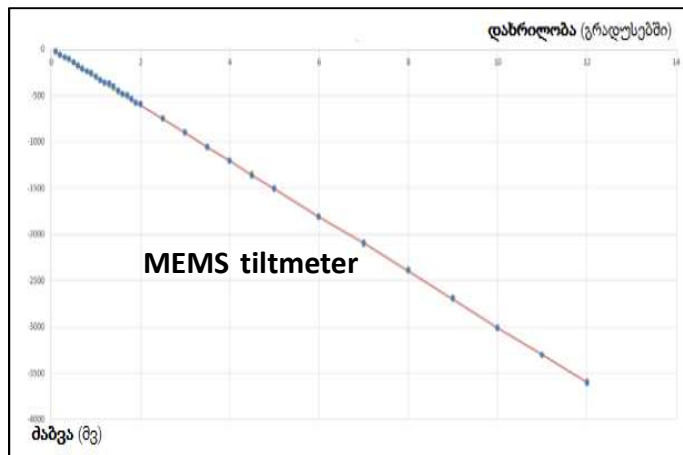
ნახ.4.19. ქარხნული „Applied Geomechanics” 701-აშშ (წითელი) და ჩვენს მიერ დამზადებული დახრისმზომის (ლურჯი) შედარება: ექსპერიმენტის ჩანაწერი პიკოსკოპზე.



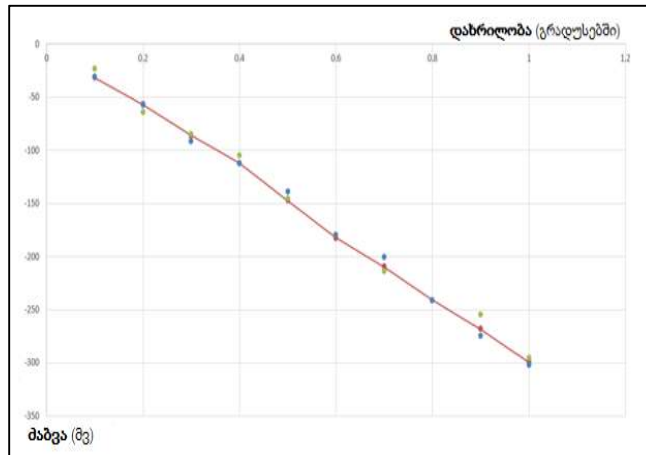
ნახ.4.20. პრეციზიული დახრისმზომით „Applied Geomechanics” 701 გაზომილი დახრები



ნახ.4.21. MEMS ბაზაზე გაკეთებული (ჩვენს მიერ დამუშავებული გამაძლიერებლით და ფილტრით) დახრისმზომით გაზომილი დახრები



ნახ.4.22. MEMS ბაზაზე ჩვენს მიერ დამზადებული დახრისმზომის ბლოკის (ჩვენს მიერ დამზადებული გამაძლიერებრით და ფილტრებით) გამოცდა დახრების დიდ დიაპაზონში 0-12°



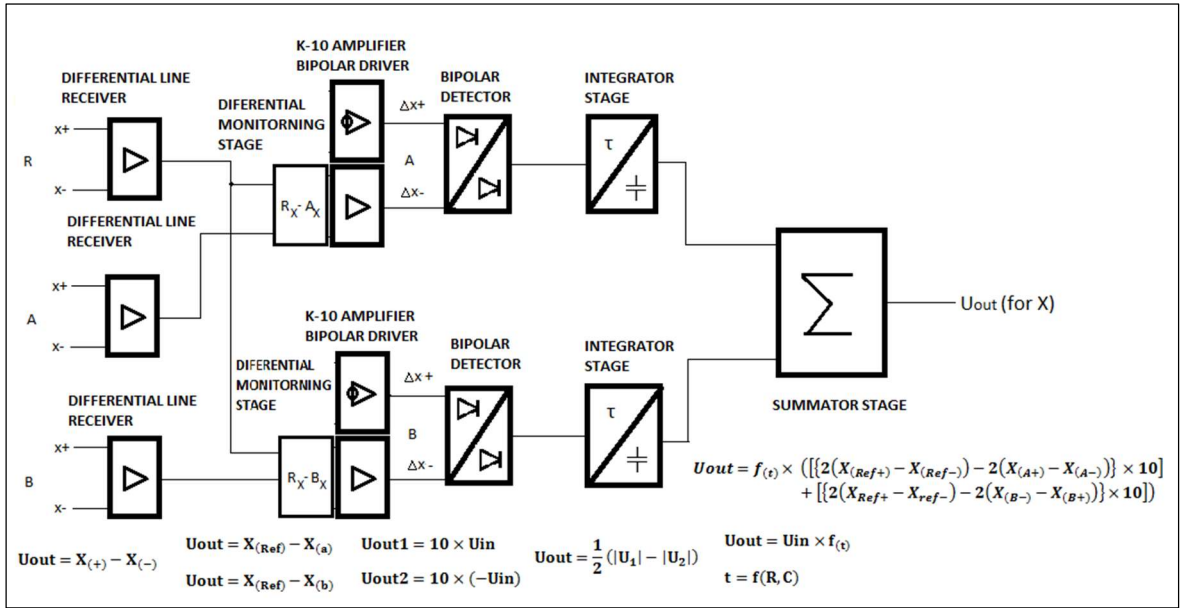
ნახ.4.23. MEMS ბაზაზე ჩვენს მიერ დამზადებული დახრისმზომის გრადუირების სრული დიაპაზონიდან გამოყოფილია მცირე ფრაგმენტი 0-1°, სადაც უფრო მკაფიოდ ჩანს დახრილობის სვლა და მონაცემების გაბნევა (ჩატარებულია 5 ექსპერიმენტისაგან შემდგარი სერია).

აჩქარებები. სტანდარტული სენსორების მოდიფიკაცია

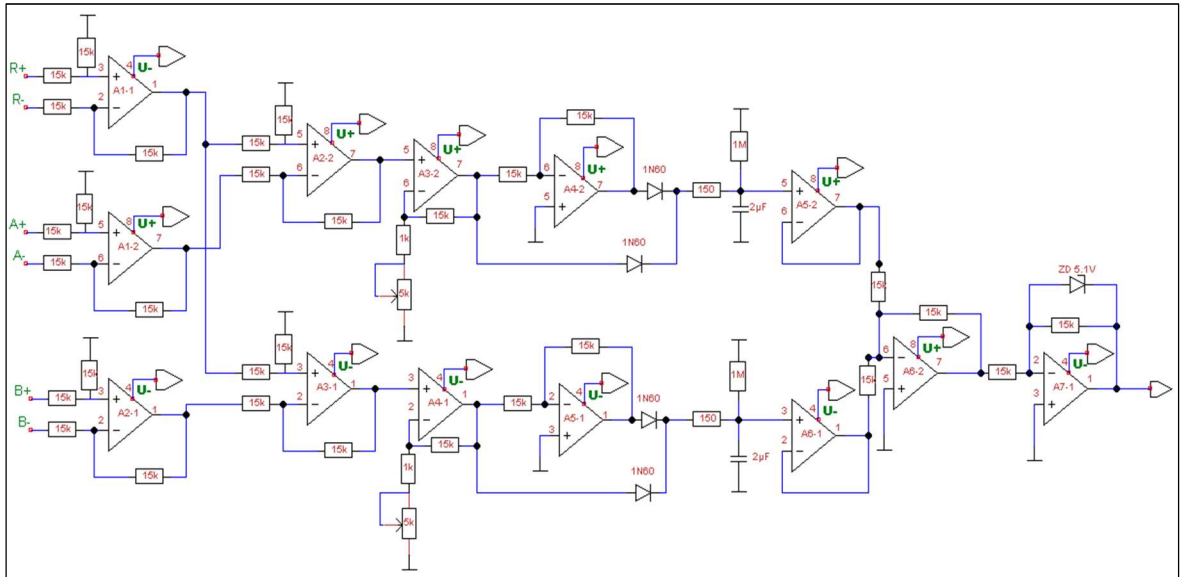
სტანდარტული MEMS აჩქარების სენსორები შედარებით დაბალი მგრძობიარობა და მნიშვნელოვანი საკუთარი ხმაური აქვთ. ამიტომ ანალოგური დამუშავების პლატფორმაში გათვალისწინებულ იქნა გამაძლიერებლები და ფილტრები, რომელთა მთავარი ფუნქციაა სენსორებიდან მოსული სიგნალების დიფერენციალური, ბალანსური სახით მიღება, შემომავალი სინფაზური ხმაურების დახშობა და დასაკვირვებელი სიგნალების სიხშირული სპექტრიდან სასარგებლო ზოლის გამოყოფა.. ქვემოთ მოგვყავს MEMS-აქსელერომეტრის x-მდგენელის ანალოგური დამუშავების პლატფორმის ბლოკ- (ნახ.4.24.) და ელექტრონული (ნახ.4.25.) სქემები.

დამუშავების პლატფორმა შეიცავს შესასვლელი სიგნალების მიმდებ დიფერენციალურ ბალანსურ გამაძლიერებელს, რომელიც გამოყენებულია სენსორებიდან დამუშავების მოდულამდე გამოყენებულ გრძელ სადენებზე ზედდებული ხმაურის დასახშობად. მიმღები ბალანსური გამაძლიერებლების გამოსასვლელებიდან არაბალანსური სიგნალები გადაეწოდება რეალურ დროში მომუშავე შედარებისა და მასშტაბური გაძლიერების მოდულებს. ეს მოდულები ასევე დაბალი სიხშირეების გამტარ ფილტრს წარმოადგენენ 200ჰც-ზე უფრო მაღალი სიხშირეებისათვის. შედარების შემდგომ ხდება დიფერენცირებული სიგნალების პიკ დეტექტირება და მოქმედი დონის მცირევადიანი დამახსოვრება

ინტეგრატორის მეშვეობით. ეს დამახსოვრების ფუნქცია საჭიროა ანალოგური პლატფორმის მომდევნო, ციფრული და მიკროპროცესორული მოდულების შეუფერხებელი მუშაობისათვის.

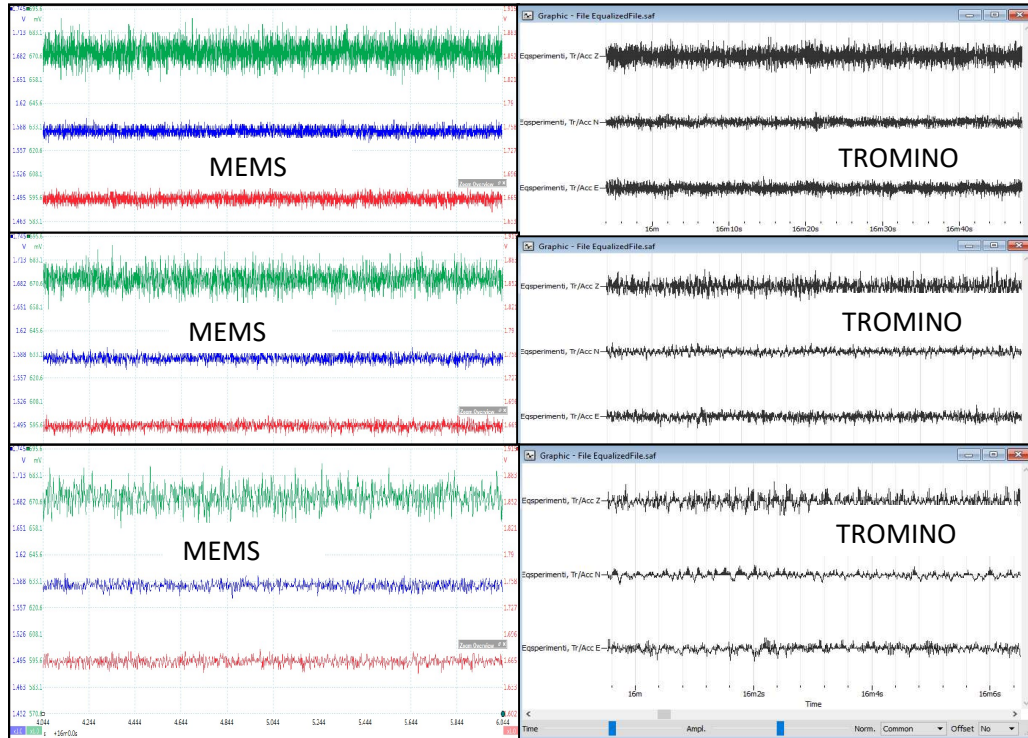


ნახ.4.24. MEMS-აქსელერომეტრის x-მდგენლის ანალოგური დამუშავების პლატფორმის ბლოკ-სქემა.



ნახ.4.25. MEMS-აქსელერომეტრის x-მდგენელის ანალოგური დამუშავების პლატფორმის ელექტრონული სქემა.

ნახ.4.26-ზე მოცემულია ჩვენს მიერ მოდიფიცირებული MEMS და სტანდარტული TROMINO (იტალია) აქსელერომეტრების ჩანაწერები ერთსა და იმავე პირობებში. ზედა, შუა და ქვედა რიგებში მოყვანილია ჩანაწერები შესაბამისად მცირე, საშუალო და დიდ გამლაზე.



ნახ.4.26. MEMS და TROMINO აქსელერომეტრებით ერთსა და იმავე პირობებში აჩქარებების ჩანაწერების შედარება სხვადასხვა გამლაზე.

ვიზუალური შედარება ცხადყოფს, რომ ჩანაწერების ფორმა ძალზე მსგავსია. MEMS ჩანაწერები უფრო ხმაურიანია, ვინაიდან ჩვენ ავერიდეთ ხმაურის მკვეთრად შემცირების ელექტრონულ ელემენტებს, რომლებიც ენერჯის ზედმეტ ხარჯვას გამოიწვევდა.

მულტი-სენსორების სქემა.

როგორც ადრე აღვნიშნეთ, ჩვენს აშს-ში გათვალისწინებულია გრუნტის რამდენიმე პარამეტრის დაკვირვების საფუძველზე განგაშის სიგნალის გამომუშავება. შესაბამისად, სხვადასხვა პარამეტრების - სინოტივის, დახრების

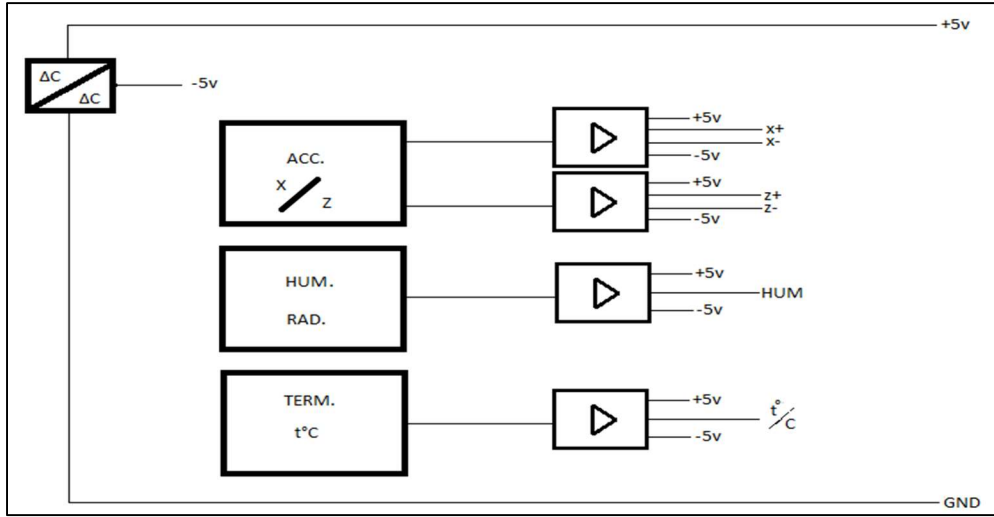
და აჩქარებების სენსორები გაერთიანებულია ერთ მულტი-სენსორში, რომლის ბლოკ- (ნახ.4.28.) და ელექტრონული (ნახ.4.29.) სქემები მოყვანილის ქვემოთ.



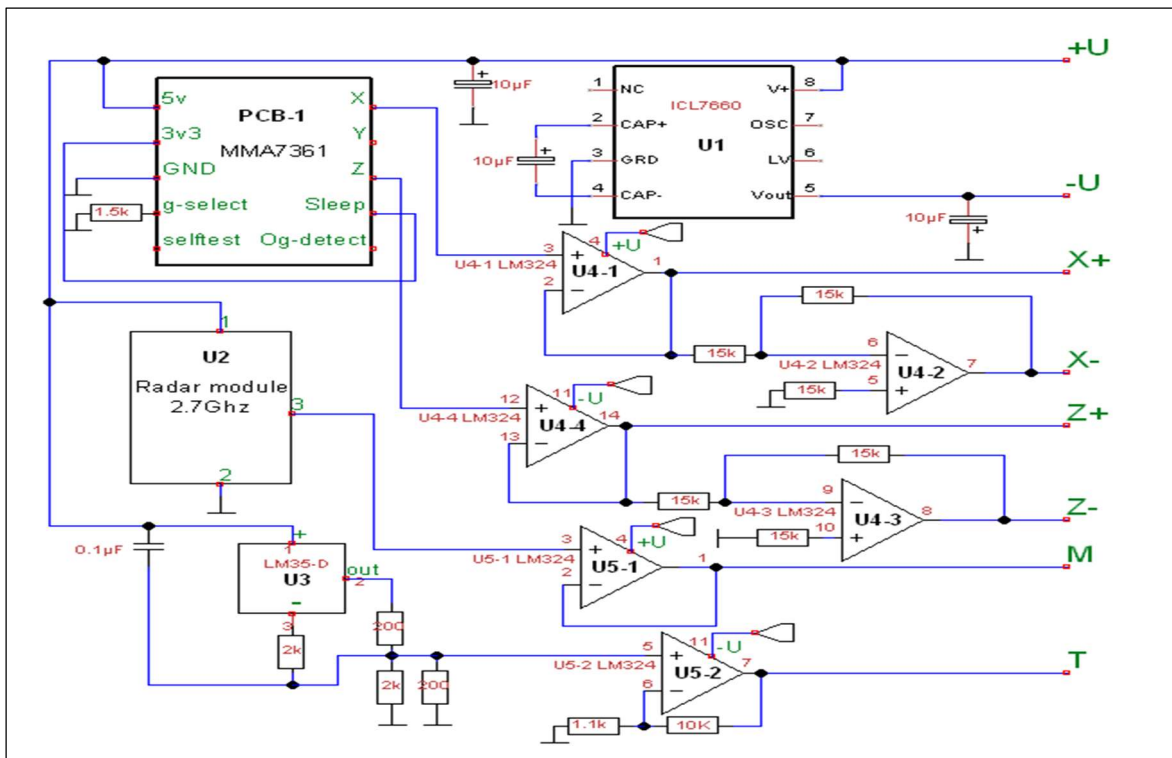
ნახ.4.27. ინსტალაციისთვის მომზადებული სენსორების უბანი .

დახრილზომის ფუნქციის განხორციელება

სენსორული მოწყობილობებიდან მიღებული მონაცემების თანმდევნი მუდმივი ძაბვის მდგენელის გამოყოფის მეშვეობით დამუშავების პლატფორმა ადგენს ასევე გრუნტის დახრის ტრენდებს მეწყერსაშიში უბნისათვის და გამოიმუშავებს შესაბამის ძაბვებს გაფრთხილების ან განგაშის რეჟიმის მართვისათვის. დახრილზომის ფუნქციის უზრუნველყოფისათვის MEMS სენსორის გამოსასვლელი სიგნალი გაივლის დაბალი სიხშირეების გამტარ ფილტრს, რის შედეგადაც ფილტრის გამოსასვლელზე გრუნტის დახრის პროპორციული სიგნალი მიიღება. აღნიშნული ფილტრი გამოყოფს და ატარებს სიგნალის მუდმივ მდგენელსა და ინფრადაბალსიხშირულ კომპონენტს, რომელთა სიხშირე 0,5-1,0ჰც-ს არ აღემატება. სენსორული მოწყობილობების გამომუშავებული სიგნალები რომელთა მნიშვნელობების ცვლილების სიხშირე აღემატება 0,5-1,0ჰც-ს, გადიან შესაბამის ფილტრს და მუშავდებიან ცალკე გამოყოფილი არხით, რომლის გამოსასვლელზე ფორმირებული ძაბვის მნიშვნელობა კარგად ასახავს გრუნტის აჩქარებული მოძრაობის პროცესებს და გამოიყენება მოკლევადიანი განგაშის გამოცხადების პრიორიტეტულ პარამეტრად.

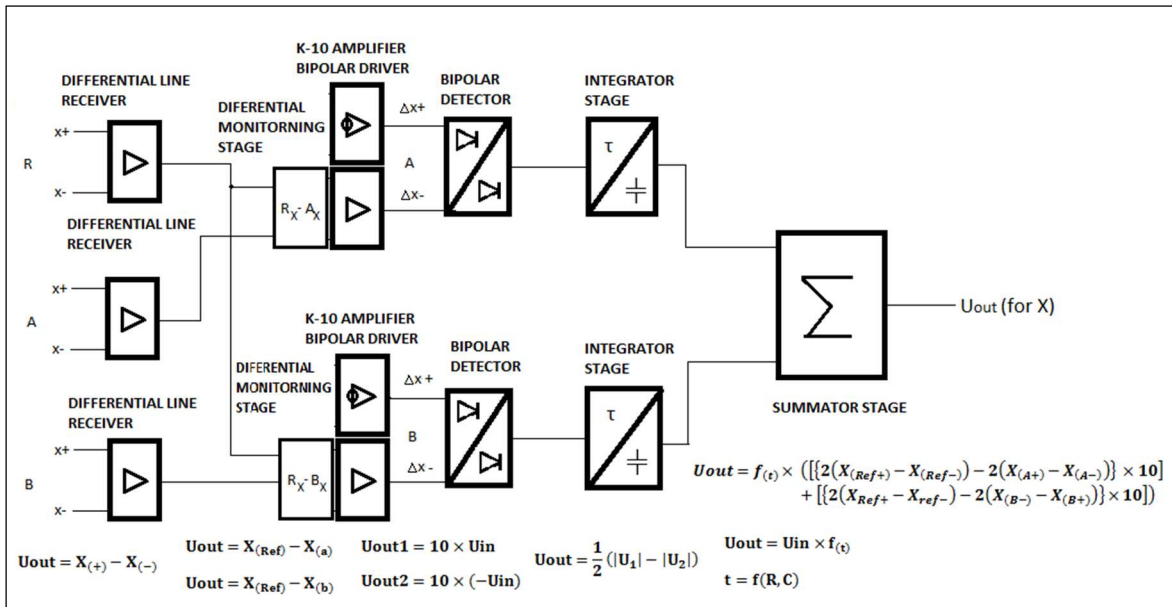


ნახ.4.28. მულტი-სენსორების ბლოკ-სქემა



ნახ.4.29. მულტი-სენსორების ელექტრონული სქემა

თავი 5. შეგროვების/პირველადი დამუშავების პლატფორმა

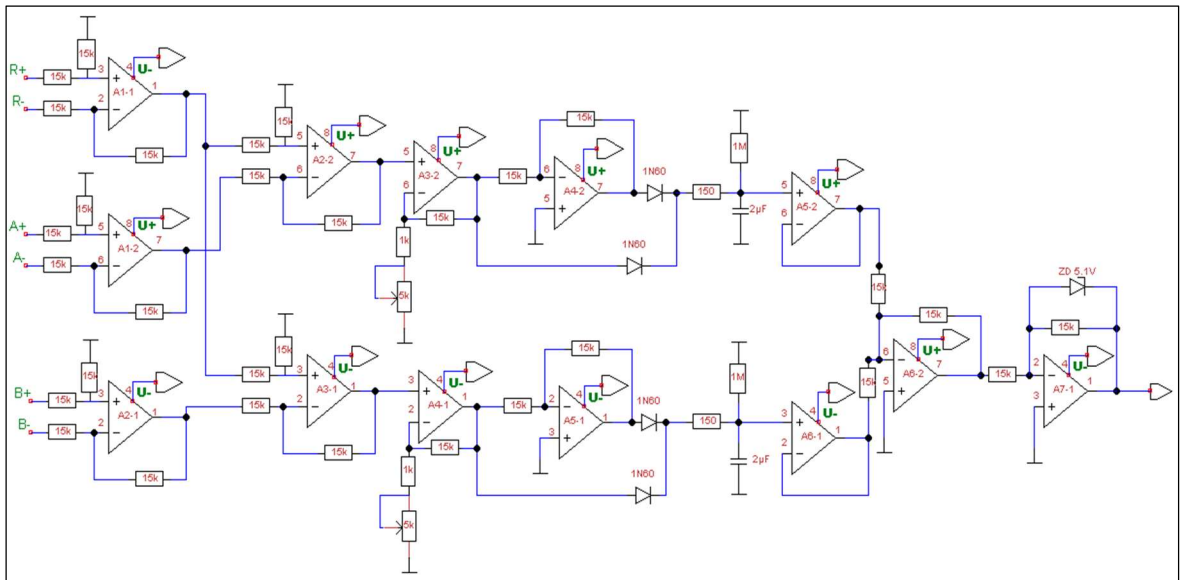


ნახ.5.1. ანალოგური პროცესირების პლატფორმა, ბლოკ სქემა X კომპონენტისათვის.

დამუშავების საბაზო მოდულის გამოსასვლელი სიგნალები წარმოადგენენ სენსორების განთავსების არეში მოქმედი ფიზიკური ველების ვარიაციის შესაბამისი მონაცემების ფილტრაციის, გაძლიერების და დეტექტირების შედეგად მიღებულ ელექტრულ ძაბვებს.

$$U_{out} = f(t) \times \left\{ \left[\frac{1}{2}(X_{(ref+)} - X_{(ref-)}) - \frac{1}{2}(X_{(a+)} - X_{(a-)}) \right] \right. \\ \left. + \left[\frac{1}{2}(X_{(ref+)} - X_{(ref-)}) - \frac{1}{2}(X_{(b+)} - X_{(b-)}) \right] \right\}$$

დამუშავების საბაზო მოდულის შემსვლელი სიგნალების ფორმატი ბალანსურია და მათი მიწოდებისათვის სენსორების მოდულიდან საბაზო დამუშავების მოდულამდე UTP ტიპის კაბელი გამოიყენება. ამ ტიპის კაბელი საკმაოდ იაფია და შეიცავს ეკრანით დაცულ ხვეულ ბალანსურ წვერებს, რაც კაბელზე აღძრული გარე ელექტრომაგნიტური ხმაურის კომპენსაციას აადვილებს. საყრდენი სენსორის და მეწყერსაშიმ მასებში განთავსებული სენსორების გამომუშავებული სიგნალების შედარება ხორციელდება რეალურ დროში.



ნახ.5.2. ანალოგური პროცესირების პლატფორმა, ელექტრონული სქემა X კომპონენტისათვის.

პროცესირების სიტემა ახდენს თითოეული სენსორიდან მიღებული სიგნალის ამპლიტუდის, ფაზის და სპექტრული მახასიათებლის დიფერენცირებას საყრდენი სენსორის ინფორმაციასთან მიმართებაში.

ანომალური ტრენდის შემთხვევაში, თუ დაკვირვებული სხვაობა აღემატება უზნის ხმაურის ბუნებრივ ტრენდულ მონაცემს, სიტემა გამოიმუშავებს გაფრთხილებას ან განგაშის შესაბამის ინფორმაციას, რომელიც შეიძლება გადაიცეს GSM მონაცემების სახით და მომენტალურად განთავსდეს დაშორებულ სერვერზე განთავსებულ მონაცემთა ბაზაში, გაიგზავნოს SMS მოკლე ტექსტური შეტყობინებების სახით და მიეწოდოს საგანგებო სიტუაციების მართვის სტრუქტურებს ან გადაიცეს კოდირებული დაცვის მქონე რადიოსიგნალების სახით უახლოეს დასახლებულ პუნქტში, სადაც დამონტაჟებული იქნება რადიოსიხშირული მიმღები-დეკოდერი და ლოკალური ხმოვანი თუ ტექსტური განგაშის უზრუნველყოფის მოწყობილობა.

მოყვანილ სურათზე გამოსახულია მეწყრული ზონის ბუნებრივი დახრის მიმართულებასთან თანხვედრილი, აჩქარების X კომპონენტის დამუშავების სქემა 3 სენსორიანი სისტემისათვის. ანალოგიური სქემა ახდენს აჩქარების Z კომპონენტის დამუშავებას.

ამავე სენსორული მოწყობილობებიდან მიღებული მონაცემების თანმდევნი მუდმივი ძაბვის მდგენელის გამოყოფის მეშვეობით

დამუშავების პლატფორმა ადგენს ასევე გრუნტის დახრის ტრენდებს მეწყერსაშიში უბნისათვის და გამოიმუშავებს შესაბამის ძაბვებს გაფრთხილების ან განგაშის რეჟიმის მართვისათვის.

დიფერენციალური აქსელერომეტრის და დახრილმზომის ფუნქციებს გარდა სისტემა გრუნტის გაწყლოვანების და ტემპერატურის მონიტორინგის საშუალებასაც იძლევა. ეს ფუნქციები მოწყობილობაში უზრუნველყოფილია რადარული მიკროტალღური მოდულის და ნახევარგამტარული თერმომგრძნობიარე წრფივი სენსორის გამოყენებით.

რადარული მოდულის მიერ მეწყერსაშიში გრუნტის მასაში შექმნილი მიკროტალღური ველის ინტენსივობა საგრძნობლად დამოკიდებულია გრუნტის ტენიანობაზე. მოდული აკონტროლებს არეკლილი და შთანთქმული გამოსხივების თანაფარდობის პარამეტრს, რომელიც შეიცავს ინფორმაციას გარემოს ელექტრომაგნიტური თვისებების შესახებ. მეწყრული ზონის გრუნტის გაწყლოვანების ზრდასთან ერთად ანარეკლი კომპონენტი იზრდება და შესაბამისად იცვლება რადარული მოდულის გამოსასვლელი ძაბვა. გრუნტის გაწყლოვანების პარამეტრის ზვრული მნიშვნელობები გამოიყენება სიტემის მის მიერ მეწყერსაშიში სიტუაციის შესახებ გაფრთხილების სიგნალის გამოსამუშავებლად, როგორც წინასწარი გაფრთხილების ძირითადი კომპონენტი. შესაბამისი სიგნალის არსებობა დამორეზულ სერვერზე, ან SMS შეტყობინებებში არ გულისხმობს დასახლებული პუნქტების რადიოფიცირებული სისტემით განგაშის გამოცხადებას, თუ ამავდროულად არ შეინიშნება დახრილმზომის და აქსელერომეტრის მონაცემთა ანომალია.

ასევე არ გამოიწვევს განგაშის სიგნალს გრუნტის დახრილობის ნელი ცვლილებები, თუ მათი ამპლიტუდა ზღვრულ მნიშვნელობას არ გადააჭარბებს.

თავი 6. ეკონომიური ავტონომიური კვების წყარო

დამუშავების საბაზო მოდულის სქემის გეგმარებისა და კომპონენტების შერჩევის პროცესში დიდი ყურადღება დაეთმო მოდულის მიერ ენერჯის მინიმალური მოხმარების უზრუნველყოფას. სენსორებიდან შემოსული მრავლობითი სიგნალების ფილტრაციის, გაძლიერების, ჯამური და დიფერენციალური მნიშვნელობების პიკური ვარიაციების დეტექტირების ამოცანის შესრულების დროს ანალოგური დამუშავების პლატფორმა საშუალოდ 40 მა-მდე დენს მოიხმარს 12 ვ მუდმივი ძაბვის კვების წყაროდან. დამუშავების მოდულზე მიერთებულ 3 სენსორთან ერთად სისტემის ენერგომოხმარება არ აღემატება 50 მა-ს 12 ვ მუდმივი ძაბვის წყაროდან. საველე გამოყენებისათვის განკუთვნილი ხელსაწყოების ენერგო-უზრუნველყოფის და ავტონომიური კვების სისტემები განსაკუთრებულ ყურადღებას ითხოვენ დიზაინის პროცესში. ენერგოუზრუნველყოფისთვის გამოყენებულ იქნა მონოკრისტალური ტექნოლოგიის მზის პანელი. მონოკრისტალური პანელების ეფექტურობა და ღირებულება ოპტიმალურ ფარდობას იძლევა ჩვენი პროექტისათვის. ნაკლებად მზიანი დღეების განმავლობაში არასაკმარისი სიმძლავრის მიერ შექმნილი პრობლემებიდან სისტემის დავზღვევისათვის გამოყენებულ იქნა 150ვტ სიმძლავრის მონოკრისტალური მზის პანელი. მოდელი RPG-150W(Vmp-17,64V,Imp-8,51A,Voc-21,60V, Isc-9,53A). დიდი სიმძლავრის მზის პანელი საშუალებას გვაძლევს სწრაფად დავმუხტოთ სისტემის ავტონომიური კვებისათვის გამოყენებული აკუმულატორები იმ პერიოდში, სანამ მზიანი ამინდია, ან დღის განათებული დროა.

აკუმულატორების ბატარეის შერჩევისას მთავარი ყურადღება გამახვილებულ იქნა LI-FE-PO ლითიუმფეროპოლიმერულ ტექნოლოგიაზე. ამ ტექნოლოგიით დამზადებული ბატარეები მომგებიანია როგორც დამუხტვა განმუხტვის სამუშაო ციკლების რაოდენობით (ბატარეის სიცოცხლის დიდი ვადით), ასევე წონით (საველე პირობებში ტრანსპორტირებისათვის) და განმუხტვის ძაბვის მრუდის ოპტიმალური პარამეტრებით. ჩვენ გამოვიყენეთ 12ვოლტიანი LI-FE-PO ბატარეები 10ამპ/სთ ტევადობით, ბატარეის კორპუსშივე ჩაშენებული განმუხტვის გადამეტებისაგან დაცვის წრედით და ზედმეტი ძაბვით დამუხტვისაგან დაცვის წრედით. მოდელი-12 V 10Ah LiFEPO4 Rechargeable Batteries SLA - Dakota Lithium.

იმისათვის, რომ მზის პანელის გამომუშავებული ენერგია ოპტიმალურად მოხმარდეს ბატარეის სწრაფ დამუხტვას, გამოყენებული იქნა MPPT Charger

მაქსიმალური სიმძლავრის წერტილის მაკონტროლებელი დამმუხტი მოდული. მოდული- LTC3780 10A DC 5V-32V to 1V-30V Automatic Step Up Down Regulator Charging Module. ამ მოდულის საშუალებით შესაძლებელია სხვადასხვა ტიპის პანელების გამომუშავებული ენერჯის ოპტიმიზირებულად მიმართვა სხვადასხვა ტიპის აკუმულატორის ბატარეებში დენის სტაბილიზაციის, ძაბვის სტაბილიზაციის და MPPT ძაბვის წერტილის პარამეტრების რეგულირების საშუალებით. აქვე მოყვანილია ენერგომომარაგების მოდულის აღწერილი სქემა, მზის პანელის, სამუხტი კონტროლერის მოდულის და აკუმულატორის ბატარეის ფოტოები (ნახ.6.1, 6.2).



ნახ.6.1. 50-ვატიანი მზის პანელი.(RPG-150W)



ნახ.6.2. მარცხნივ: 7-10 ამპერ დენზე გათვლილი იმპულსური გარდამქმნელი, დამუხტვის კონტროლის მოდული მაქსიმალური სიმძლავრის წერტილის რეგულირების ფუნქციით აკუმულატორების ბატარეის მზის პანელიდან სამუხტად.(LTC3780 10A DC 5V-32V to 1V-30V Automatic Step Up Down Regulator Charging Module). მარჯვნივ: აწყობილი ენერგოუზრუნველყოფის მოდული ორი აკუმულატორის ბატარეით (სისტემის ხანგრძლივი მუშაობის დროის მისაღწევად)

თავი 7. ლაბორატორულ მონაცემთა ანალიზი/განგაშის სიგნალის დონეების დადგენა

სისტემის მიერ დაკვირვებული ფიზიკური ველების მიმდინარე პარამეტრები მუშავდება რეალურ დროში, ანალოგური პროცესირების პლატფორმის მეშვეობით, და მიღებული ინფორმაციული მონაცემები მიეწოდება ციფრული დამუშავების მოდულს, რომელიც ენერგოეფექტურ მიკროპროცესორულ მოწყობილობას წარმოადგენს. მასში გამოყენებული „არდუინო-მეგა2560“ მიკროკონტროლერის მოდული იძლევა საშუალებას შეიქმნას და შეინახოს მიმდინარე ტრენდების შესაბამისი ციფრული მონაცემები რამოდენიმე საათის გამნმავლობაში. თუ აღნიშნული მონაცემების სერვერზე გადატანა გახდა საჭირო, იმ შემთხვევაში, როდესაც სისტემა აფიქსირებს ანომალურ ან საგანგაშო სიტუაციას, მიკროკონტროლერთან მიერთებული GSM მონაცემთა გადამცემი მოდული იწყებს ანომალური მოვლენის წინამორბედი დროის პერიოდის დროს ჩაწერილი მონაცემების სერვერზე ატვირთვას. ასევე, ნებისმიერ დროს შესაძლებელია გასული საათის განმავლობაში ჩაწერილი მონაცემების სერვერზე გამოძახება და შესწავლა. ეს შეიძლება საჭირო გახდეს ანომალური მოვლენების განვითარების გარეშე, რადგან სისტემის ფუნქციონირების მიმდინარე პარამეტრების და მეწყერული უბნის ბუნებრივი ხმაურის ტრენდის რეგულარული კონტროლი საშუალებას გვაძლევს მოვახდინოთ რისკის შეფასების თუ განგაშის სიგნალების შესაბამისი ანომალური ზღურბლების უფრო ზუსტი განსაზღვრა.

როგორც დაგეგმილი იქნა, პროექტის განხორციელების საწყის ეტაპზე, სენსორებიდან მიღებული ინფორმაციის პირველადი დამუშავებისათვის მოწყობილობაში გამოყენებულია ანალოგური პროცესირების სიტემა, რომელიც ახდენს თითოეული სენსორიდან მიღებული სიგნალის ამპლიტუდის, ფაზის და მუდმივი ძაბვის მდგენელის მახასიათებლის დიფერენცირებას საყრდენი სენსორის ინფორმაციასთან მიმართებაში. ანომალური ტრენდის შემთხვევაში, თუ დაკვირვებული სხვაობა აღემატება უბნის ხმაურის ბუნებრივ ტრენდულ მონაცემს, სიტემა გამოიმუშავებს გაფრთხილების ან განგაშის შესაბამს ინფორმაციას, რომელიც გადაიცემა GSM მონაცემების სახით და მომენტალურად განთავსდება დაშორებულ სერვერზე განთავსებულ მონაცემთა ბაზაში. ასევე, GSM პლატფორმა გამოყენებული იქნება, რათა გაიგზავნოს SMS მოკლე ტექსტური შეტყობინებები და მიეწოდოს საგანგებო სიტუაციების მართვის

სტრუქტურებს. მოწყობილობის მიერ განგაშის სიგნალის გამომუშავების შემთხვევაში, ინფორმაცია გადაიცემა, კოდირებული დაცვის მექანიზმით რადიოსიგნალების სახით, უახლოეს დასახლებულ პუნქტში, სადაც დამონტაჟებული იქნება რადიოსიხშირული მიმღები-დეკოდერი და ლოკალური ხმოვანი თუ ტექსტური განგაშის უზრუნველყოფის მოწყობილობა. ერთ მოწყობილობას შეუძლია ერთდროულად რამოდენიმე ასეთი პუნქტის მომსახურება.

გრუნტის გაწყლოვანების პარამეტრის ზვრული მნიშვნელობები გამოიყენება სისტემის მიერ მეწყერსაშიში სიტუაციის შესახებ გაფრთხილების სიგნალის გამოსამუშავებლად, როგორც წინასწარი გაფრთხილების ძირითადი კომპონენტი. შესაბამისი სიგნალის არსებობა დაშორებულ სერვერზე, ან SMS შეტყობინებებში არ გულისხმობს დასახლებული პუნქტების რადიოფიცირებული სისტემით განგაშის გამოცხადებას, თუ ამავდროულად არ შეინიშნება დახრილობის და აქსელერომეტრის მონაცემთა ანომალია. ასევე, არ გამოიწვევს განგაშის სიგნალს გრუნტის დახრილობის ნელი ცვლილებები, თუ მათი ამპლიტუდა ზღვრულ მნიშვნელობას არ გადააჭარბებს. თუ რა დონის ანომალია უნდა იყოს დაკვირვებული სისტემის მიერ სხვადასხვა დონის განგაშის ან გამაფრთხილებელი ინფორმაციის გამოსამუშავებლად, შეიძლება გაწერილი იყოს შემდგომი დამუშავების ციფრული პლატფორმის შიდა მეხსიერებაში. ციფრული დამუშავების პლატფორმა ორგანიზებულია „არდუინო-მეგა2560“ მიკროკონტროლერის ბაზაზე, რაც საშუალებას გვაძლევს მივაბათ სისტემას ისეთი კომპონენტები, როგორცაა GPS ან GSM ქსელის საათი რეალური დროის კორექტირებისათვის, GSM მონაცემთა დაშორებულ სერვერზე გადაცემის არხი, SHDS ფლემ მეხსიერების ბარათი, მონაცემთა მასივის ჩაწერისათვის და მრავალი სხვა. სისტემის პარამეტრების და სხვადასხვა ველების ანომალიების მიმართ გამომუშავებული სიგნალების შესაბამისი მგრძობიარობის ზღურბლების ოპერატიულად ცვლა შეიძლება განხორციელდეს „არდუინო-მეგა2560“ მიკროკონტროლერის USB ინტერფეისის გამოყენებით.

ერთ-ერთი რთულ პრობლემას წარმოადგენს განგაშის დონეების დაგენა გრუნტის ტენიანობის, დახრების და აჩქარებების დაკვირვებული მონაცემების გამოყენებით.

Table of alarm grades of tilts, humidity and acclerations

Tilts, sum of tilt modules of two sensors, located in the active zone, relative to the horizontal level (reference sensor)		
Alarm Grades	Voltage, mV	Tilt α , degrees
grade 0	$V \leq 1000$ mV	$2.5^\circ \leq$
grade 1	1000 mV $\leq V \leq 2500$ mV	$2.5^\circ \leq \alpha \leq 5^\circ$
grade 2	2500 mV $\leq V \leq 3500$ mV	$5^\circ \leq \alpha \leq 7^\circ$
grade 3	3500 mV $\leq V \leq 4500$ mV	$7^\circ \leq \alpha \leq 9^\circ$
grade 4	4500 mV $> V$	$\alpha > 9^\circ$

Volumetric humidity, % (summary value for three sensors)- ARDUINO readings		
Grades	Voltage, mV	Volumetric humidity, W %
grade 0	3550 mV $\geq V$	$W \leq 20\%$
grade 1	3500 mV $\leq V \leq 3550$ mV	$20\% \leq W \leq 23\%$
grade 2	3400 mV $\leq V \leq 3500$ mV	$23\% \leq W \leq 26\%$
grade 3	3200 mV $\leq V \leq 3400$ mV	$26\% \leq W \leq 30\%$
grade 4	$V < 3200$ mV	$30\% > W$

Accelerations, a in units of g.		
Grades	Voltage, mV	g
grade 0	$V \leq 800$ ∂g	$a \leq 0.025$ g
grade 1	800 $\partial\text{g} \leq V \leq 1500$ ∂g	0.025 g $\leq a \leq 0.05$ g
grade 2	1500 $\partial\text{g} \leq V \leq 3000$ ∂g	0.05 g $\leq a \leq 0.1$ g
grade 3	3000 $\partial\text{g} \leq V \leq 4000$ ∂g	0.1 g $\leq a \leq 0.133$ g
grade 4	4000 $\partial\text{g} \leq V \leq 5000$ ∂g	0.133 g $\leq a$

თავი 8. ტელემეტრული გადაცემის სისტემა

ქსელის მონაცემების გადაცემის პარამეტრების განსაზღვრა

ადრეული შეტყობინების სისტემის შემუშავების დასაწყისშივე ჩვენი მიზნები დაიყო ორ ნაწილად. 1. ადრეული სმს შეტყობინების (ძირითადი სავალდებულო) სისტემის შექმნა და 2. იგივე ბაზაზე დამატებითი დეტალური მონიტორინგის (მონაცემთა დაგროვების და ასევე უწყვეტი გაგზავნის) სისტემის შექმნა. მთავარი მიზანი ამ პროცესში იყო შეგვექმნა ადრეული შეტყობინების ტელემეტრული სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფთდა მეწყერსაშიშ ლოკაციაზე განთავსებული ჩვენი აპარატურის მხრიდან სმს შეტყობინების გაგზავნას შესაბამის ორგანოებთან შესაბამისი რეაგირების მიზნით.

პირველ და მეორე მიზნებზე შეიძლება ითქვას, რომ მეორე გახლავთ 1-ის ფუნქციონალური გაფართოება სამეცნიერო წრეებისთვის განკუთვნილი, რათა მოპოვებული იყოს უნიკალური ინფორმაცია მეწყერსაშიშში ზონებიდან. მეორე მიზნის მიღწევა შედარებით საფრთხილო აღმოჩნდა ტექნიკური თვალსაზრისით. მუშაობის პროცესში გარკვეული წინააღმდეგობები გამოჩნდა ინტერნეტთან წვდომის თვალსაზრისით, რამაც გამოიწვია გარკვეული პროგრამული და აპარატურული კორექტირებები.

სისტემის მიერ დაკვირვებული ფიზიკური ველების მიმდინარე პარამეტრები მუშავდება რეალურ დროში, ანალოგური პროცესირების პლატფორმის მეშვეობით, და მიღებული ინფორმატიული მონაცემები მიეწოდება ციფრული დამუშავების მოდულს, რომელიც ენერგოეფექტურ მიკროპროცესორულ მოწყობილობას წარმოადგენს. მასში გამოყენებული „არდუინო-მეგა2560“ მიკროკონტროლერის მოდული იძლევა საშუალებას შეიქმნას და შეინახოს მიმდინარე ტრენდების შესაბამისი ციფრული მონაცემები რამოდენიმე საათის გამნავლობაში. თუ აღნიშნული მონაცემების სერვერზე გადატანა გახდა საჭირო, იმ შემთხვევაში, როდესაც სისტემა აფიქსირებს ანომალურ ან საგანგაშო სიტუაციას, მიკროკონტროლერთან მიერთებული GSM მონაცემთა გადამცემი მოდული იწყებს ანომალური მოვლენის წინამორბედი დროის პერიოდის დროს ჩაწერილი მონაცემების სერვერზე ატვირთვას. ასევე, ნებისმიერ დროს შესაძლებელია გასული საათის განმავლობაში ჩაწერილი მონაცემების სერვერზე გამოძახება და შესწავლა. ეს შეიძლება საჭირო გახდეს ანომალური მოვლენების განვითარების გარეშე, რადგან სისტემის ფუნქციონირების მომდინარე პარამეტრების და მეწყერული უბნის ბუნებრივი ხმაურის

ტრენდის რეგულარული კონტროლი საშუალებას გვაძლევს მოვახდინოთ რისკის შეფასების თუ განგაშის სიგნალების შესაბამისი ანომალური ზღურბლების უფრო ზუსტი განსაზღვრა.

გადაცემის პლატფორმის შერჩევა; გაფრთხილების დონის შეტყობინების გავრცელებისათვის ქსელური და მობილური პლატფორმის გამოყენების ოპტიმალური შერჩევა

როგორც დაგეგმილი იქნა, პროექტის განხორციელების საწყის ეტაპზე, სენსორებიდან მიღებული ინფორმაციის პირველადი დამუშავებისათვის მოწყობილობაში გამოყენებულია ანალოგური პროცესირების სიტემა, რომელიც ახდენს თითოეული სენსორიდან მიღებული სიგნალის ამპლიტუდის, ფაზის და მუდმივი ძაბვის მდგენელის მახასიათებლის დიფერენცირებას საყრდენი სენსორის ინფორმაციასთან მიმართებაში. ანომალური ტრენდის შემთხვევაში, თუ დაკვირვებული სხვაობა აღემატება უბნის ხმაურის ბუნებრივ ტრენდულ მონაცემს, სიტემა გამოიმუშავებს გაფრთხილების ან განგაშის შესაბამის ინფორმაციას, რომელიც გადაიცემა GSM მონაცემების სახით და მომენტალურად განთავსდება დაშორებულ სერვერზე განთავსებულ მონაცემთა ბაზაში. ასევე, GSM პლატფორმა გამოყენებული იქნება, რათა გაიგზავნოს SMS მოკლე ტექსტური შეტყობინებები და მიეწოდოს საგანგებო სიტუაციების მართვის სტრუქტურებს. მოწყობილობის მიერ განგაშის სიგნალის გამომუშავების შემთხვევაში, ინფორმაცია გადაიცემა, კოდირებული დაცვის მქონე რადიოსიგნალების სახით, უახლოეს დასახლებულ პუნქტში, სადაც დამონტაჟებული იქნება რადიოსიხშირული მიმღები-დეკოდერი და ლოკალური ხმოვანი თუ ტექსტური განგაშის უზრუნველყოფის მოწყობილობა. ერთ მოწყობილობას შეუძლია ერთდროულად რამოდენიმე ასეთი პუნქტის მომსახურება.

გრუნტის გაწყლოვანების პარამეტრის ზვრული მნიშვნელობები გამოიყენება სიტემის მიერ მეწყერსაშიში სიტუაციის შესახებ გაფრთხილების სიგნალის გამოსამუშავებლად, როგორც წინასწარი გაფრთხილების ძირითადი კომპონენტი. შესაბამისი სიგნალის არსებობა დაშორებულ სერვერზე, ან SMS შეტყობინებებში არ გულისხმობს დასახლებული პუნქტების რადიოფიცირებული სისტემით განგაშის გამოცხადებას, თუ ამავდროულად არ შეინიშნება დახრილმზომის და აქსელერომეტრის მონაცემთა ანომალია. ასევე, არ გამოიწვევს განგაშის სიგნალს გრუნტის დახრილობის ნელი ცვლილებები, თუ მათი ამპლიტუდა ზღვრულ მნიშვნელობას არ გადააჭარბებს. თუ რა დონის ანომალია უნდა იყოს დაკვირვებული სისტემის მიერ სხვადასხვა დონის განგაშის ან

გამაფრთხილებელი ინფორმაციის გამოსამუშავებლად, შეიძლება გაწერილი იყოს შემდგომი დამუშავების ციფრული პლატფორმის შიდა მეხსიერებაში. ციფრული დამუშავების პლატფორმა ორგანიზებულია „არდუინო-მეგა2560“ მიკროკონტროლერის ბაზაზე, რაც საშუალებას გვაძლევს მივაბათ სისტემას ისეთი კომპონენტები, როგორცაა GPS ან GSM ქსელის საათი რეალური დროის კორექტირებისათვის, GSM მონაცემთა დაშორებულ სერვერზე გადაცემის არხი, SHDS ფლემ მეხსიერების ბარათი, მონაცემთა მასივის ჩაწერისათვის და მრავალი სხვა. სისტემის პარამეტრების და სხვადასხვა ველების ანომალიების მიმართ გამომუშავებული სიგნალების შესაბამისი მგრძობიარობის ზღურბლების ოპერატიულად ცვლა შეიძლება განხორციელდეს „არდუინო-მეგა2560“ მიკროკონტროლერის USB ინტერფეისის გამოყენებით.

სენსორები: მეწყერსაშიშ ლოკაცაზე ანათვალების მისაღებად Arduino mega 2560-ს დავუერთეთ ჩვენს მიერ შექმნილი ზემოქმობიარე მულტისენსორები, რომლებიც მაღალი სიზუსტით ზომავს გარემოს აჩქარებებს, დახრებს, ტენიანობას და ტემპერატურას. აღნიშნული მონაცემების დაფიქსირება მიმდინარეობს უწყვეტად და იგზავნება მთავარ პლატფორმისკენ წინასწარ მომზადებულ ანალოგურ მიმღებ პორტებზე. ინფორმაცია ანალოგურ ფორმატში შესაბამის მიმღებებზე კი მიმდინარეობს მიღებული სიგნალები ლოგირება და რეგისტრაცია წამში 4 მონაცემის სახით, ხოლო შემდეგ კი ვექტორულ ნაკადებად შესაბამისი დროის ფიქსირებით მიეწოდება მთავარი პლატფორმის ბუფერს დასამუშავებლად. საბოლოოდ, აღნიშნული ნაკადი ავტომატურად გადის ლოგიკურ შემოწმებას განგაშის დონესთან დაკავშირებით. ამავდროულად ოპერატიულ მეხსიერებაში დაგროვილი მონაცემები იწერება მონაცემთა მატარებელში შემდგომი გამოყენებისთვის. განგაშის დონის მიხედვით, სისტემა მუშაობს შემდეგი ორი პრინციპით:

1. **სტაბილურობა:** მონაცემთა რეგისტრაციის “Reg” → მეხსიერებაში ჩაწერის -- “Write” → გაუგზავნელი ინფორმაციის მომზადების → SD ready → Send

მართვის მპლატფორმა: რეალურ დროში მონიტორინგის სისტემის



ამოცანა ტექნიკურად გადავწყვიტეთ Arduino mega 2560-ის ბაზაზე.

სურ 8.1. არდუინო mega 2560

გადაცემის სისტემა: ვინაიდან, მონიტორინგის ლოკაციაზე მოუხერხებელია საკაბელო ინტერნეტით სარგებლობა, ჩვენ მონაცემთა გადაცემისთვის ვსარგებლობთ მობილურ ინტერნეტს. კერძოდ, ვიყენებთ GSM sim900-ს, რომელიც მორგებულია ჩვენს მიერ არჩეულ მთავარ პლატფორმას და ექვემდებება მოხერხებულ მართვას. ამავდროულად არის ენერგოეკონომიური და გადაცემის პროცესში ახასიათებს მდგრადი მუშაობა.



სურ 8.2. SIMCOM SIM900 Module Quad Band Wireless GSM/GPRS Shield

1. Quad-Band 850/ 900/ 1800/ 1900 MHz
2. GPRS multi-slot class 10/8
3. GPRS mobile station class B
4. Compliant to GSM phase 2/2+
Class 4 (2 W (AT) 850/ 900 MHz)
Class 1 (1 W (AT) 1800/1900MHz)
5. Control via AT commands (GSM 07.07 ,07.05 and SIMCOM enhanced AT Commands)
6. Short message service
7. Free serial port selection
8. All SIM900 pins breakout
9. RTC supported with SuperCap
10. Operation temperature: -40 ~ +85

Specifications:

PCB size:71.4mm X 66.0mm X 1.6mm

Indicators:PWR, status LED, net status LED

Power supply:9~20V, compatible with Arduino

Communication Protocol:UART

RoSH:Ye

Application Ideas

M2M (Machine 2 Machine) Applicatoions.

Remote control of appliances.

Remote Weather station or a Wireless Sensor Network.

Vehicle Tracking System with a GPS module.

სერვერი: მონაცემების რეალურ დროში ასატვირთად, ავირჩიეთ ღრუბელი, რომელზეც არის ინსტალირებული შესაბამის ბაზა postgresql. კონკრეტულად ავირჩიეთ heroku.com კომპანია. უწყვეტად ანათვალეების გადაცემა და ასეთი სასერვერო ინფრასტრუქტურა გარანტიას გვაძლევს დავაკვირდეთ მონაცემებს, ასევე გავაანალიზოთ დიდი მონაცემები და გადავამოწმოთ სისტემის მდგრადობა. ამავდროულად ეს მონაცემთა ბაზა გვაძლევს დაუკავშირდეთ მას სხვა სკრიპტებით, რომლებიც აგვიგებენ გრაფიკეს რეალურ დროში და მონიტორინგისთვის იქნება კარგი საშალება. ამ დროს სისტემა ძირითადად მუშაობს მონაცემთა დაგროვების და პერიოდული გადაცემის რეჟიმში.

ხელსაწყოს ლოგიკის პროგრამული ნაწილი

საკმარისია რომელიმე სენსორის მნიშვნელობამ გადააჭარბოს წინასწარ გაწერილ მნიშვნელობას, მყისიერად ირთვება განგაშის ალგორითმი, რომლის დროსაც ფასდება ყველა პარამეტრი (აქსელერაცია x ; აქსელერაცია z; დახრა t; ტენიანობა h).

სენსორთა ანათვალეების ინტერვალები მოცემული პროგრამირების ენა C-ზე. ეს არის ლოგიკური დასკვნების გაკეთების ინტერვალები.

```
const int X_COEFF [] = {800, 1500, 3000, 4000};  
const int Z_COEFF [] = {800, 1500, 3000, 4000};  
const int T_COEFF [] = {1000, 2500, 3500, 4500};  
const int H_COEFF [] = {2800, 3000, 3200, 3550};
```

იმის და მიხედვით ანათვალი თითოეული სენსორისთვის რომელ ინტერვალში ვარდება, გამომომუშავდება 0,1,2,3 ან 4 მნიშვნელობა თითოეულისთვის. ცხადია, დროის ნებისმიერ მომენტში სისტემას აქვს სისტემის მდგომარეობის შესატყვისი გამომუშავებული 5 ციფრი, სადაც მაგალითად 0000 გვეუბნება, რომ არის სრული სიწყნარე და არცერთ სენსორზე არ ფიქსირდება რაიმე ანომალური მნიშვნელობა. ეს ის შემთხვევაა, როცა არ ირთვება განგამის დონე და პროგრამა არ გადადის ექსტრემალური მუშაობის რეჟიმზე. სისტემა დაპროგრამებულია ისე, რომ მდგომარეობის შესახებ გამომუშავებული ნებისმიერი კომბინაცია (1000 ან 0001, ...2344) სმს-ის სახით იგზავნება ცენტრში, გარდა იმ შემთხვევისა, როცა ოთხი ციფრის კომბინაცია განსახვავდება 0000-სგან.

სისტემის მუშაობის სქემა 1-ს (რეგისტრაციის “Reg” → მეხსიერებაში ჩაწერის --“Write” → გაუგზავნელი ინფორმაციის მომზადების → SD ready → Send) ემატება მონიტორინგის სერვერზე მონაცემთა ინტენსიური გადმოგზავნის პროცედურა. ხდომილების წინამორბედი გაუგზავნელ მონაცემებს ემატება ოპერატიულ მეხსიერებაში დაგროვილი მონაცემები და მიმდინარეობს მათი გაგზავნა, რითაც გროვდება უნიკლური ამომწურავი ინფორმაცია ჩვენს ბაზებში.

სერვერი: მონაცემების რეალურ დროში ასატვირთად, ავირჩიეთ ღრუბელი, რომელზეც არის ინსტალირებული შესაბამის ბაზა postgresql. კონკრეტულად ავირჩიეთ heroku.com კომპანია. უწყვეტად ანათვალეების გადაცემა და ასეთი სასერვერო ინფრასტრუქტურა გარანტიას გვაძლევს დავაკვირდეთ მონაცემებს, ასევე გავაანალიზოთ დიდი მონაცემები და გადავამოწმოთ სისტემის მდგრადობა. ამავდროულად ეს მონაცემთა ბაზა გვაძლევს დაუკავშირდეთ მას სხვა სკრიპტებით, რომლებიც აგვიგებენ გრაფიკეს რეალურ დროში და მონიტორინგისთვის იქნება კარგი საშუალება.

გადაცემის პლატფორმის შერჩევა; გაფრთხილების დონის შეტყობინების გაგრძელებისათვის ქსელური და მობილური პლატფორმის გამოყენების ოპტიმალური შერჩევა

როგორც დაგეგმილი იქნა, პროექტის განხორციელების საწყის ეტაპზე, სენსორებიდან მიღებული ინფორმაციის პირველადი დამუშავებისათვის მოწყობილობაში გამოყენებულია ანალოგური პროცესირების სიტემა, რომელიც ახდენს თითოეული სენსორიდან მიღებული სიგნალის ამპლიტუდის, ფაზის და მუდმივი ძაბვის მდგენელის მახასიათებლის დიფერენცირებას საყრდენი სენსორის ინფორმაციასთან მიმართებაში. ანომალური ტრენდის შემთხვევაში, თუ დაკვირვებული სხვაობა აღემატება უზნის ხმაურის ბუნებრივ ტრენდულ მონაცემს, სიტემა გამოიმუშავებს გაფრთხილების ან განგაშის შესაბამის ინფორმაციას, რომელიც გადაიცემა GSM მონაცემების სახით და მომენტალურად განთავსდება დაშორებულ სერვერზე განთავსებულ მონაცემთა ბაზაში. ასევე, GSM პლატფორმა გამოყენებული იქნება, რათა გაიგზავნოს SMS მოკლე ტექსტური შეტყობინებები და მიეწოდოს საგანგებო სიტუაციების მართვის სტრუქტურებს. მოწყობილობის მიერ განგაშის სიგნალის გამომუშავების შემთხვევაში, ინფორმაცია გადაიცემა, კოდირებული დაცვის მქონე რადიოსიგნალების სახით, უახლოეს დასახლებულ პუნქტში, სადაც დამონტაჟებული იქნება რადიოსიხშირული მიმღები-დეკოდერი და ლოკალური ხმოვანი თუ ტექსტური განგაშის უზრუნველყოფის მოწყობილობა. ერთ მოწყობილობას შეუძლია ერთდროულად რამოდენიმე ასეთი პუნქტის მომსახურება.

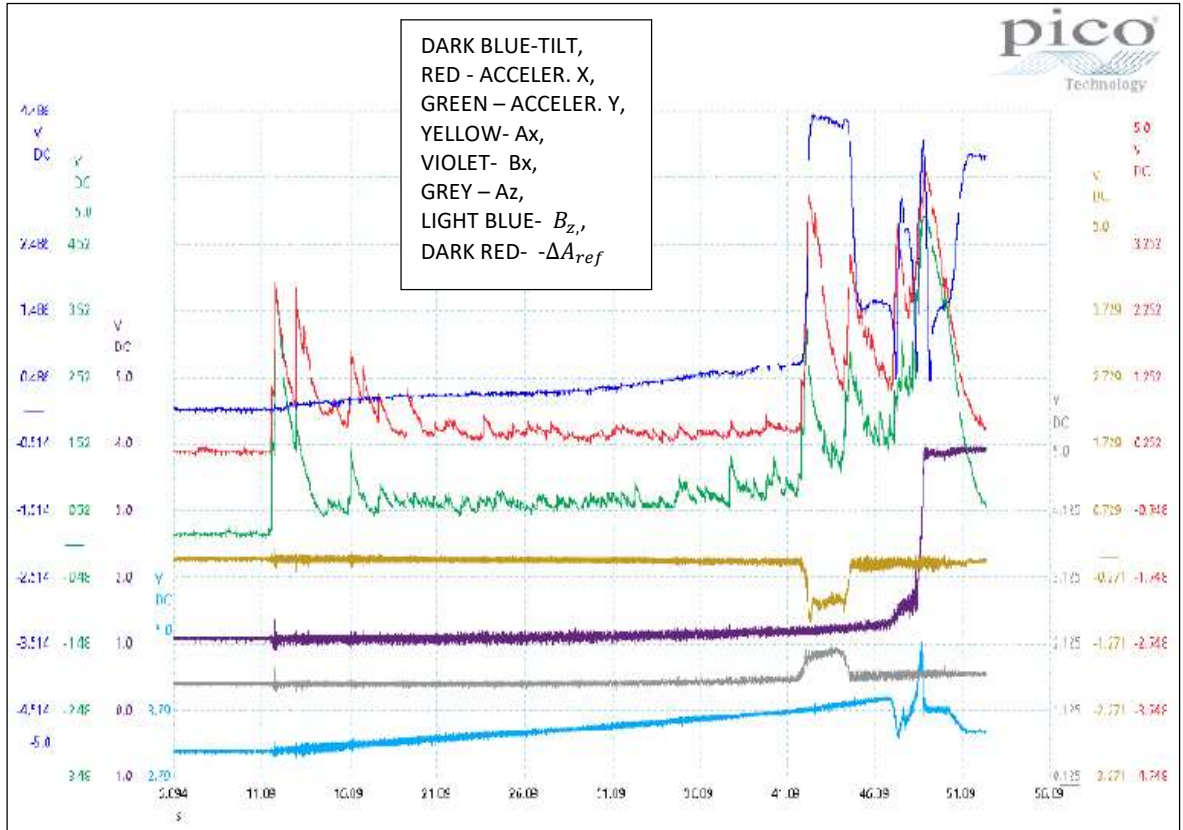
გრუნტის გაწყლოვანების პარამეტრის ზვრული მნიშვნელობები გამოიყენება სიტემის მიერ მეწყერსაშიში სიტუაციის შესახებ გაფრთხილების სიგნალის გამოსამუშავებლად, როგორც წინასწარი გაფრთხილების ძირითადი კომპონენტი. შესაბამისი სიგნალის არსებობა დაშორებულ სერვერზე, ან SMS შეტყობინებებში არ გულისხმობს დასახლებული პუნქტების რადიოფიცირებული სისტემით განგაშის გამოცხადებას, თუ ამავდროულად არ შეინიშნება დახრილმზომის და აქსელერომეტრის მონაცემთა ანომალია. ასევე, არ გამოიწვევს განგაშის სიგნალს გრუნტის დახრილობის ნელი ცვლილებები, თუ მათი ამპლიტუდა ზღვრულ მნიშვნელობას არ გადააჭარბებს. თუ რა დონის ანომალია უნდა იყოს დაკვირვებული სისტემის მიერ სხვადასხვა დონის განგაშის ან გამაფრთხილებელი ინფორმაციის გამოსამუშავებლად, შეიძლება გაწერილი იყოს შემდგომი დამუშავების ციფრული პლატფორმის შიდა მეხსიერებაში. ციფრული დამუშავების პლატფორმა ორგანიზებულია „არდუინო-მეგა2560“

მიკროკონტროლერის ბაზაზე, რაც საშუალებას გვაძლევს მივაბათ სისტემას ისეთი კომპონენტები, როგორცაა GPS ან GSM ქსელის საათი რეალური დროის კორექტირებისათვის, GSM მონაცემთა დაშორებულ სერვერზე გადაცემის არხი, SHDS ფლემ მებსიერების ბარათი, მონაცემთა მასივის ჩაწერისათვის და მრავალი სხვა. სისტემის პარამეტრების და სხვადასხვა ველების ანომალიების მიმართ გამომუშავებული სიგნალების შესაბამისი მგრძნობიარობის ზღურბლების ოპერატიულად ცვლა შეიძლება განხორციელდეს „არდუინო-მეგა2560“ მიკროკონტროლერის USB ინტერფეისის გამოყენებით.

თავი 9. საველე სისტემის აწყობა და გამოცდა ლაბორატორულ პირობებში

ცხადია, ველზე დაყენების წინ აშს უნდა გამოიცადოს ლაბორატორულ რეგულირებად პირობებში, რათა გამოვლინდეს და გასწორდეს სისტემის ნაკლოვანებები. ამგვარი გამოცდები ჩატარდა როგორც მცირე ზომის მეწყრის მოდელზე, ასევე შედარებით დიდი ზომის (2 მ სიგრძის და 0.6 მ სიგანის) გობზე, რომლის დახრის კუთხე იცვლებოდა 0-დან 30 გრადუსამდე (ნახ.4.8). გობში მოთავსებული იყო მარცვლოვანი მასა (კვარცის სილა), რომელშიდაც ჩაფლული იყო ორი მულტისენსორი. მესამე მულტისენსორი ასრულებდა რეფერენტულის როლს და ის ფიქსირებული იყო ჰორიზონტულ სიბრტყეზე. დაკვირვებები ტარდებოდა დიფერენციალური სქემით, ანუ ფიქსირდებოდა მასაში მულტისენსორების მაჩვენებლების სხვაობა რეფერენტულის მიმართ, კერძოდ იზომებოდა დახრები, დიფერენციალური და აბსოლუტური აჩქარებების x - და y -კომპონენტები. ცდებით დადგინდა, რომ გობის დახრის კუთხის ზრდასთან ერთად დაიკვირვება სენსორების მაჩვენებლების ჯერ მცირე გადახრები, ხოლო გარკვეული კუთხის მიღწევასთან ერთად ვითარდება მარცვლოვანი მასის ერთობლივი ჩამოშლა, რასაც მოყვება დახრების და აჩქარებების წონასწოროულიდან დიდი გადახრები.

ტიპური ექსპერიმენტული შედეგები მოყვანილია ნახ.9.1., სადაც ჩანს, რომ გობის დახრის კრიტიკულ მნიშვნელობასთან მიახლოებისას სენსორების მაჩვენებლები მკვეთრად იცვლება. მოდელირებული მეწყრის სტრუქტურა მსგავსია ბუნებრივ სურათთან (ნახ.4.8.): დაიკვირვება crown, main scarp, head (ნახ.4.8). გარდა ამისა, მასის მთლიანი ჩამოშლის წინ შეინიშნებოდა ე.წ. წინამორბედები, ანუ წონასწორობი მაჩვენებლებიდან დახრების და აჩქარებების გადახრები, რაც ძალზე მნიშვნელოვანია კრიტიკული მდგომარეობის პროგნოზირებისათვის.



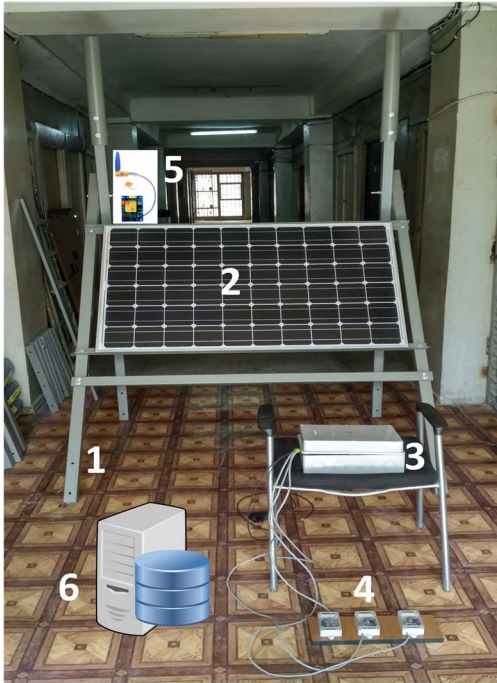
ნახ.9.1. სენსორების ჩანაწერები მოდელირებული მეწყრის დროს.

ნახ.9.1-ზე წარმოდგენილია სენსორებიდან პიკოსკოპზე მიღებული ჩანაწერები, როდესაც სენსორები მოთავსებულია ქვიშაში, ხოლო ეტალონური (reference) სენსორი იატაკზე უძრავად არის დამაგრებული (ლურჯი-დახრის არხის გამოსასვლელი ძაბვა X (დაცურების თანმხვედრი მიმართულებით), წითელი-დიფერენციალური აქსელერერაციის არხის გამოსასვლელი ძაბვა X მიმართულებით, მწვანე-დიფერენციალური აქსელერერაციის არხის გამოსასვლელი ძაბვა Z მიმართულებით, ყვითელი-A სენსორის პირდაპირი გამოსასვლელი ძაბვა (X მიმართულებით დახრის და აჩქარების ფუნქცია, ფილტრაციის, დაყოფის და გაძლიერების გარეშე), იისფერი- B სენსორის პირდაპირი გამოსასვლელი ძაბვა (X მიმართულებით დახრის და აჩქარების ფუნქცია, ფილტრაციის, დაყოფის და გაძლიერების გარეშე), ნაცრისფერი- A სენსორის პირდაპირი გამოსასვლელი ძაბვა (Z, ვერტიკალური მიმართულებით დახრის და აჩქარების ფუნქცია, ფილტრაციის, დაყოფის და გაძლიერების გარეშე) ცისფერი- B სენსორის პირდაპირი გამოსასვლელი ძაბვა (Z, ვერტიკალური

მიმართულებით დახრის და აჩქარების ფუნქცია, ფილტრაციის, დაყოფის და გაძლიერების გარეშე), მუქი წითელი- ეტალონური უძრავი სენსორის R და ერთერთი მოძრავი სენსორის A დიფერენცირებული დახრა და აჩქარება ACC.TILT(R)-ACC.TILT (A).

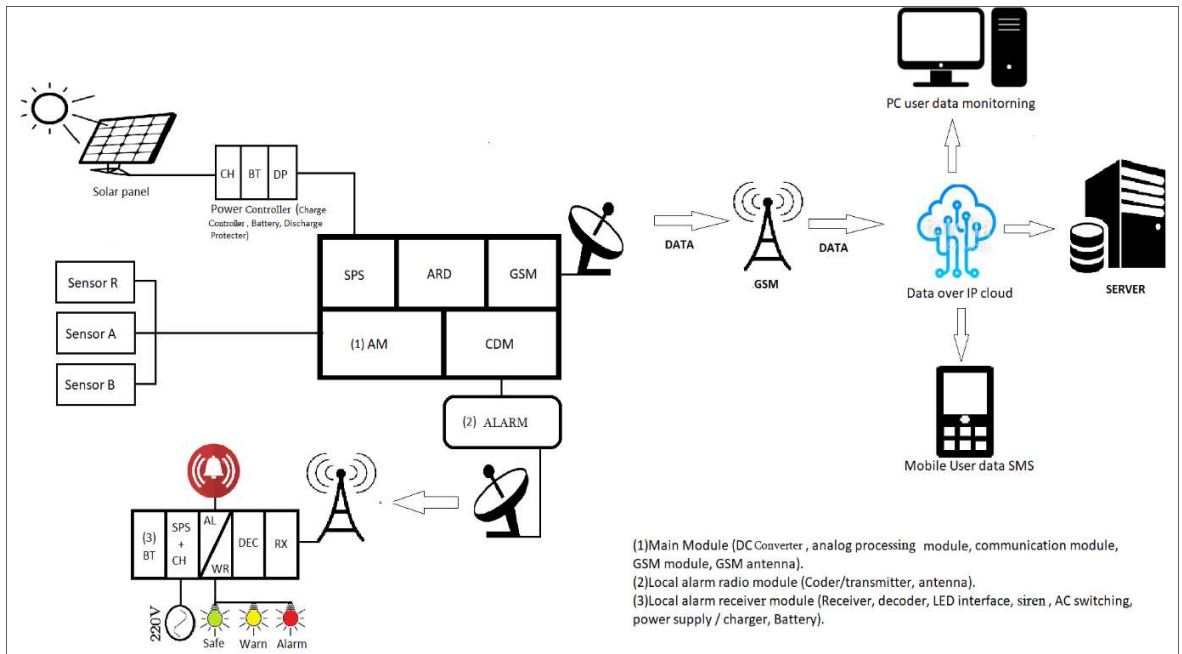


ნახ.9.2. ლაბორატორიული ექსპერიმენტები მიკრორადარის საშუალებით მეწყრული გრუნტის (გლდანის მეწყერი) ტენიანობის გაზომვისათვის



ადრეული შეტყობინების
 სისტემა
 “Watchdog”:
 საველე ვერსია
 1- კარკასი
 2- მზის ბატარეები
 3 – შემკრები ბლოკი
 4 - სენსორები
 5 – გადამცემი ბლოკი GPS
 -ანტენით
 6 - დიაგნოსტიკური ცენტრის
 სერვერი

ნახ.9.3. ადრეული შეტყობინების სისტემის საველე ვერსია



ნახ.9.4. ადრეული შეტყობინების სისტემის ბლოკ-სქემა

მთავარი მოდული წარმოადგებს რამოდენიმე მოდულის ერთობლიობას. SPS (smart power supply) - კვების გამანაწილებელი სისტემა, ARD (Arduino platform) - არდუინოს პლატფორმა, მონაცემების ციფრული დამუშავების და სისტემის მართვის პლატფორმა, GSM - ინფორმაციის გაზავნის მოდული, AM (amplifier modulator) - მონაცემების წინასწარი დამუშავების სისტემა, CDM - იღებს გადაწყვეტილებას ლოკალური განგაშის შესახებ და აგზავნის კოდირებულ შეტყობინებას გაფრთხილების დონის ან განგაშის შესახებ. GSM მოდული წარმოადგენს ინფორმაციის გაზავნის საშუალებას, რომელიც დაყენებულია არდუინოს მოდულზე და აგზავნის ინფორმაციას. ეს ინფორმაცია ლოკალური შეტყობინების გარდა იგზავნება GSM მოდულის საშუალებით ღრუბელ ანუ Cloud სერვერზე, რომელიც შემოსულ ინფორმაციას ანაწილებს, როგორც პერსონალურ კომპიუტერზე, ისე სერვერზე არსებულ ბაზაში და იგზავნება მობილურ ტელეფონზე ტექსტური შეტყობინების სახით საჭიროების შემთხვევაში.

მთავარი მოდული და სენსორები ობიექტზე იკვებებიან ლითიუმის ბატარეებიდან, ხოლო ლითიუმის ბატარეები იკვებებიან მზის პანელებიდან (solar panel), რომლებსაც შესწევთ ძალა ამუშაონ სისტემა 60 საათი მზის პანელის დაზიანების/დენის მიწოდების შეწყვეტის შემთხვევაში.

ლოკალურ ადგილას, ამ შემთხვევაში სოფელი/ქალაქში, როგორც უკვე ვახსენეთ განთავსებულია მიმღები, ანუ რესივერი, დემიფრატორი ანუ დეკოდერი, ლედ ინდიკატორები და სირენა, რომელიც იკვებება 220 ვოლტზე, გააჩნია კვების ბლოკი და დამოუკიდებელი კვების წყარო, იგივე ბატარეები.

**თავი 10. საცდელი ობიექტის შერჩევა, აშს-ს დაყენება,
გამოცდა და ნაკლოვანებების გამოსწორება.**

საცდელ ობიექტად შერჩეულ იქნა ქ. თბილისში თემქა-ში დამეწყრილი უბანი - შემდგომში, გლდანის მეწყერი (ნახ.10.4). მეწყრის გაჩენა/გააქტიურება დაკავშირებულია ანთროპოგენულ ფაქტორთან: გასული საუკუნის 70-იან წლებში მდინარე ხევძმარის მარცხენა ნაპირზეგაყვანილ იქნა ტრამვაის ხაზი. მშენებლობის დროს ფერდის საფუძველში მოხდა მნიშვნელოვანი გამოჭრები, რამაც გაააქტიურა მეწყრული მოვლენები. 1984-89 წლებში ფერდობის ზედა ნაწილში აშენდა სამი 16-სართულიანი კორპუსი. ფერდობის ძირში გაჩენილი მეწყერი სწრაფად განვითარდა და ერთ-ერთ კორპუსს (#5-ს) თავიდან 30 მეტრამდე მიუახლოვდა, ხოლო შემდეგ ახალი მეწყრული ბლოკის წარმოშობის გამო, 1992 წლისათვის ეს მანძილი 17 მ-დე შემცირდა, რამაც აშკარა საფრთხე შეუქმნა #5 კორპუსს. განხორციელდა გარკვეული დაცვითი ზომები, რომლებმაც შეზღუდეს მეწყრის გავრცელება, მაგრამ ის კვლავ წარმოადგენს საშიშროებას მოსახლეობისათვის.

ამიტომ მეწყრის ზონა საკმაოდ დეტალურად იქნა შესწავლილი: გაიზურდა 6 ჭაბურღილი (19, 7, 7.5, 26.5, 8 და 17 მეტრამდე), დეტალურად შესწავლილია გრუნტის საინჟინრო-გეოლოგიური მახასიათებლები და რაოდენობრივად შეფასებულია მეწყრული ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი K_y ფორმულით:

$$K_y = \frac{\sum P(\cos\alpha - m\sin\alpha)tg\varphi + Cl + \sum P\sin\alpha''}{\sum P\sin\alpha' + \sum Pm\cos\alpha}$$

სადაც K_y - ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი

P - საანგარიშო ბლოკის წონა- ტ

α' - ბლოკის დახრის კუთხე ჰორიზონტთან, გრად

α'' - ბლოკის დახრის კუთხე პირიქით, გრად

m - უბნის სეისმურობის კოეფიციენტი

φ - გრუნტის შინაგანი ხახუნის კუთხე, გრად

C - გრუნტის შეჭიდულობის ძალა, თ/მ2

l - ბლოკის ძირის სიგრძე, მ

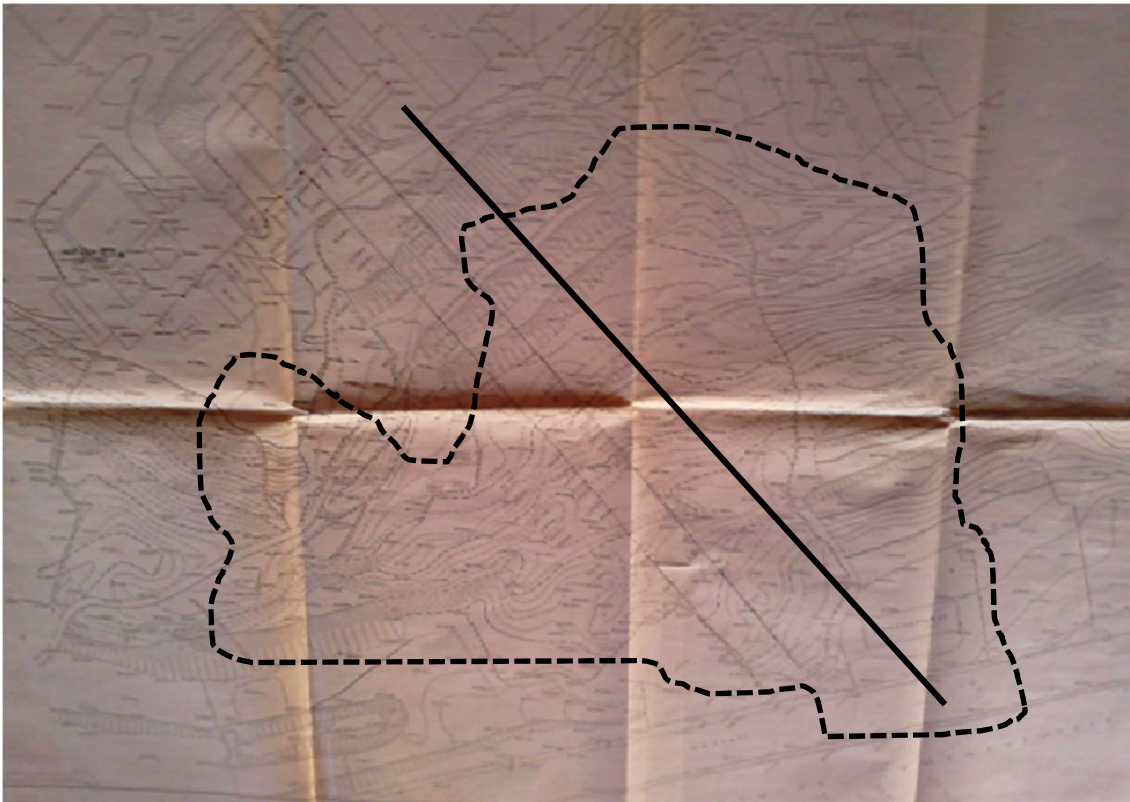
ფორმულის მიხედვით 17 მეტრიანი ზოლი მდგრადობას ინარჩუნებს 6-დან 8 ბალიანი მიჭისძვრების მიმართ არასრულ წყალგაჟღენთვის პირობებში, მაგრამ სრული წყალგაჟღენთვის შემთხვევაში ფერდი არამდგრადი ხდება 6-

ბალიანი რყევების მიმართაც კი. ნახ.10.2. წარმოდგენილია მეწყრის ზონის რუკა, ხოლო ნახ.10.3. მეწყრის ტანის გეოლოგიური ჭრილი #2, სადაც დატანილია ჭაბურღილების მონაცემებიც. ამ მასალების მიხედვით, ჭრილებში გამოიყოფა 2 ძირითადი გეოლოგიური ელემენტი: წყალგაუხეხილი ნაყარის და თიხების წყება სისქით 5-დან 10 მ-დე და ნახევრადმარი თიხების წყება 10-დან 30 მ. სიღრმემდე. ამ ბოლო წყების ზედა საზღვარი ფაქტობრივად ცოცვის სიბრტყეს წარმოადგენს (ნახ.10.4).

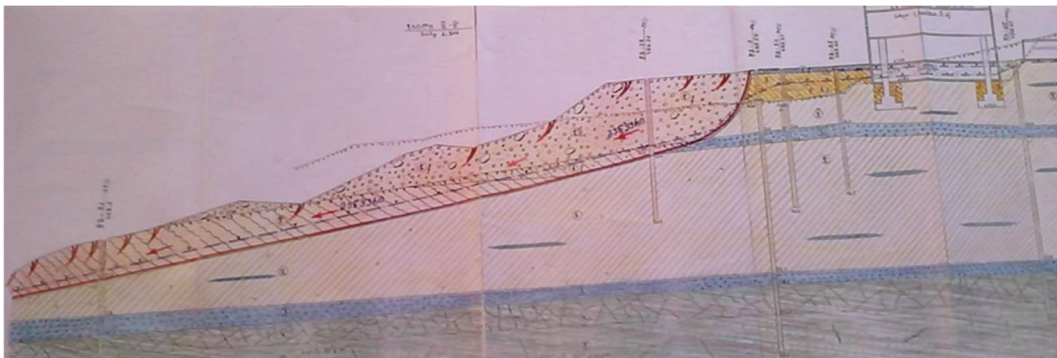
ბოლო წლებში მეწყრის აქტიურობა გარკვეულად იზრდება ჭარბი ნალექიანობის პირობებში. ამიტომ ჩვენი აშს-ს დაყენება გლდანის მეწყრის ზონაში გამართლებულია. ნახ.10.1. მოცემულია Google-ს დისტანციური ფოტო, სადაც მკვეთრად ჩანს მეწყრის ზონა. ვარსკვლავებით აღნიშნულია შემკრები სადგურის რეფერენს-სენსორით და მეყრის ტანში განლაგებული სენსორების ადგილმდებარეობა.



ნახ.10.1. მოცემულია Google-ს დისტანციური ფოტო, სადაც მკვეთრად ჩანს მეწყრის ზონა. ვარსკვლავებით აღნიშნულია შემკრები სადგურის რეფერენს-სენსორით და მეყრის ტანში განლაგებული სენსორების ადგილმდებარეობა



ნახ.10.2. წვეტილი ხაზი - მეწყრის კონტური, წრფე - პროფილი II-II'



ნახ.10.3. ჭრილი პროფილი II-II'-ის გასწვრივ



ნახ.10.4. გლდანის მეწყერი (შემელობის ქუჩაზე).

ნახ.10.4-ს პირველ სურათზე მოცემულია მეწყრის ხედი ქვევიდან. სურათზე, მეწყრის ზემოთ ჩანს პლატოზე აშენებული კორპუსები. ქვედა სურათზე ნაჩვენებია ნაპრალები მეყრის ტანში.



ნახ.10.5. ადრეული შეტყობინების სისტემის მონტაჟის პროცესი გლდანის მეწყერზე (შეშელიძის ქუჩაზე).

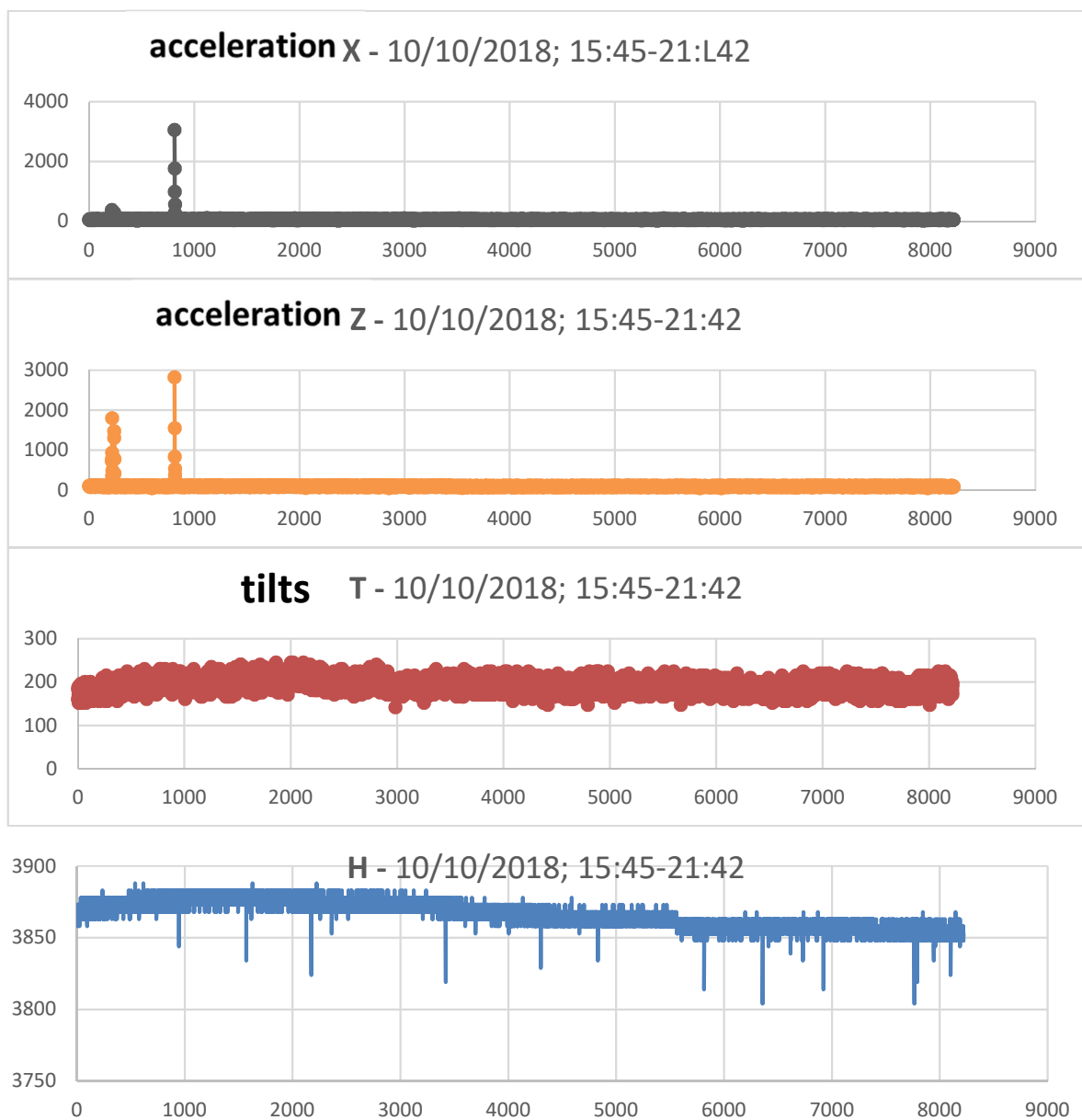
**თავი 11. მონიტორინგის/ადრეული შეტყობინების სისტემის
საველე პირობებში მუშაობის შედეგები და ანალიზი.**

ქვემოთ ტაბულაში მოცემულია აშს-გამოსავალზე რეალურ დროში მიღებული ინფორმაცია: მარცხნიდან მარჯვნივ - მონაცემის ნომერი, დაკვირვების მომენტი (წელი, თვე, რიცხვი, საათი, წუთი, წამი), განგამის დონე, x, y-აჩქარების კომპონენტები, დახრები t, ტენიანობა h, კვება e

**ცხრილი. 11.1. აშს სისტემის მონაცემები რეალურ დროში: x, y
აჩქარების კომპონენტები, დახრები t, ტენიანობა h, კვება e**

	id	created at	logic	x	z	t	h	e
0	1	2018-10-11 11:49:27.297000+00:00	0000	59	93	171	3873	4592
1	2	2018-10-11 11:49:27.299000+00:00	0000	59	103	166	3883	4567
2	3	2018-10-11 11:49:27.300000+00:00	0000	73	88	181	3873	4587
3	4	2018-10-11 11:49:27.300000+00:00	0000	59	83	171	3873	4577
4	5	2018-10-11 11:49:27.300000+00:00	0000	68	98	161	3883	4592
5	6	2018-10-11 11:49:27.301000+00:00	0000	68	83	161	3873	4582
6	7	2018-10-11 11:49:27.301000+00:00	0000	68	83	152	3883	4582
7	8	2018-10-11 11:49:27.302000+00:00	0000	64	88	176	3878	4562
8	9	2018-10-11 11:49:27.302000+00:00	0000	64	93	176	3883	4582
9	10	2018-10-11 11:49:27.302000+00:00	0000	83	98	176	3878	4587
10	11	2018-10-11 11:49:27.303000+00:00	0000	10	103	186	3873	4582
11	12	2018-10-11 11:49:27.303000+00:00	0000	73	98	186	3873	4587
12	13	2018-10-11 11:49:27.303000+00:00	0000	68	117	171	3878	4597
13	14	2018-10-11 11:49:27.304000+00:00	0000	68	103	176	3873	4572
14	15	2018-10-11	0000	83	103	171	3883	4582

		11:49:27.304000+00:00						
15	16	2018-10-11 11:49:27.304000+00:00	0000	68	88	176	3878	4582
16	17	2018-10-11 11:49:27.305000+00:00	0000	59	103	166	3873	4592
17	18	2018-10-11 11:49:27.305000+00:00	0000	78	93	161	3883	4567
18	19	2018-10-11 11:49:27.305000+00:00	0000	59	88	181	3878	4582
19	20	2018-10-11 11:49:27.306000+00:00	0000	64	93	161	3873	4587
20	21	2018-10-11 11:50:15.787000+00:00	0000	73	103	186	3883	4592
21	22	2018-10-11 11:50:15.788000+00:00	0000	59	93	171	3878	4572
22	23	2018-10-11 11:50:15.788000+00:00	0000	68	98	176	3873	4592
23	24	2018-10-11 11:50:15.788000+00:00	0000	73	103	171	3878	4587
24	25	2018-10-11 11:50:15.788000+00:00	0000	59	98	161	3878	4592
25	26	2018-10-11 11:50:15.789000+00:00	0000	68	64	127	3888	4357
26	27	2018-10-11 11:50:15.789000+00:00	0000	68	93	176	3873	4465
27	28	2018-10-11 11:50:15.789000+00:00	0000	73	93	176	3878	4597
28	29	2018-10-11 11:50:15.789000+00:00	0000	88	88	166	3878	4597
29	30	2018-10-11 11:50:15.789000+00:00	0000	64	93	171	3883	4597
30	31	2018-10-11 11:50:15.790000+00:00	0000	68	93	176	3873	4592
31	32	2018-10-11 11:50:15.790000+00:00	0000	64	93	166	3878	4597
32	33	2018-10-11 11:50:15.790000+00:00	0000	49	98	156	3873	4587
33	34	2018-10-11 11:50:58.149000+00:00	0000	73	103	186	3883	4592

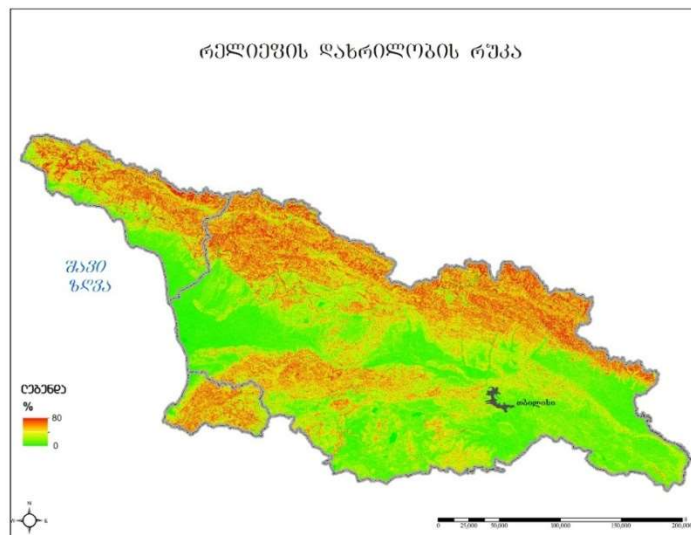


ნახ.11.1. გლდანის მეწყერზე აჩქარებების x და y -მდგენელების, დახრების და სინოტივის დროში ცვალებადობის დიფერენციალური ჩანაწერის მაგალითი 2018 წ. 10 ოქტომბრის 15:45-21:42 საათებში. x -ღერძზე მოცემულია დრო წამებში. აჩქარებების ჩანაწერზე ორი იმპულსური გადახრა დაკავშირებულია საბაზისო სენსორთან სიმძიმის საგამოცდო დაგდებასთან.

თავი 12. საქართველოს მეწყერების და ღვარცოფების მიმართ ყველაზე მოწყვლადი ობიექტების რუკა

რუკის შედგენის მიზანია საქართველოში ყველაზე დიდი რისკის (მოწყვლადობის) მატარებელი ლოკაციების გამოვლენა, სადაც პირველ რიგში არის საჭირო აშს სადგურების დაყენება. საქართველოში აღრიცხულია 40 000-ზე მეტი მას-მომდრობის წყარო და შესაბამისად, მეწყერ/ღვარცოფის მაღალი საშიშროების ფართი ძალზე დიდია. ცხადია, რომ პრაქტიკულად შეუძლებელია ყველგან აშს სადგურების დაყენება. ამიტომ ჩვენ შევარჩიეთ მეწყერ/ღვარცოფის მაღალი საშიშროების არეებში მაღალი რისკის მქონე ობიექტები (კაშხლები, მილსადენები, მაგისტრალური გზები, მჭიდრო დასახლებები), რათა გამოვავლინოთ ის ლოკაციები, სადაც პირველ რიგშია მიზანშეწონილი აშს-ს განლაგება. რუკა შედგენილია იმავე სტანდარტით, რომელიც გამოყენებულია პან-ევროპული მეწყერ/ღვარცოფის საშიშროების რუკის შექმნისას (Günther et al, 2013), ანუ შემდეგი მონაცემთა ბაზების გამოყენებით:

1. DTM (Digital Terrain Model, რელიეფის ციფრული მოდელი) – საქართველოს ტერიტორიის რელიეფის ციფრული მოდელი (ამოღებულია თანამგზავრი ასტერის მისიიდან (ASTER: თანამრდროვე სითბური ემისია და არეკვლა კოსმოსში) (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/>). From DTM data one of the main factors - the terrain's slope model was compiled (Fig. 12.1).



ნახ. 12.1. საქართველოს რელიეფის დახრების მოდელი - რისკის ერთ-ერთი ფაქტორი.

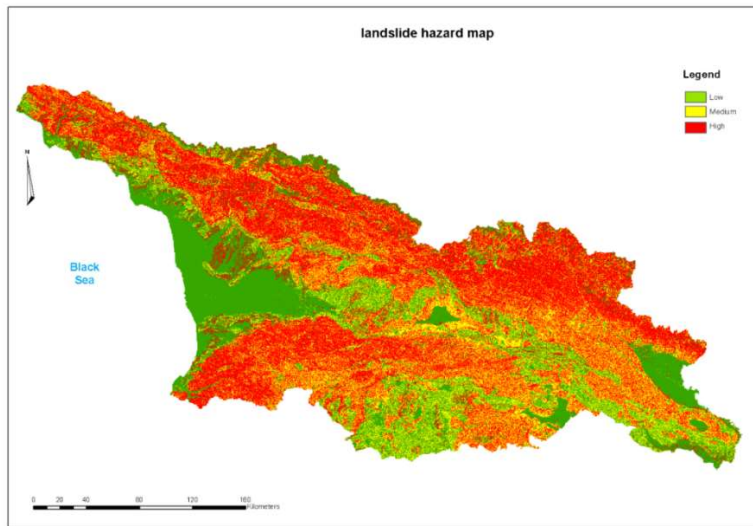
1. საქართველოს ტერიტორიის მდინარეების ქსელი (მონაცემების ბაზა ამოღებულია 1:50 000 ტოპოგრაფიული რუკიდან)
2. საქართველოს საინჟინრო გეოლოგიური სტრუქტურების რუკა (მონაცემთა ბაზა შეიქმნა საქართველოს 1:200 000 მასშტაბის საინჟინრო გეოლოგიურ რუკაზე დაყრდნობით)
3. საქართველოს აქტიური ტექტონიკური რღვევების მონაცემთა ბაზა (შეიქმნა საქართველოს 1:200 000 მასშტაბის გეოლოგიური რუკიდან)
4. მიწათსარგებლობის მონაცემთა ბაზა (Terra modis dataset) (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>)
5. მეწყრული შემონატანის მონაცემთა ბაზები, შედგენილი სხვადასხვა წყაროებიდან (დაახლოებით 500 შემთხვევა)

მონაცემთა შერწყმისა და დამუშავების შემდეგ, შემდგომი ნაბიჯი არის ფაქტორების რუკების პარამეტრიზირება. ამ მიზნისთვის ჩატარდა სხვადასხვა ფაქტორების რუკების ანალიზი. ამ მიზნისთვის გამოყენებულია საექსპერტო შეფასებები და ცოდნა. თითოეული ფაქტორის რუკა კლასიფიცირებულია და თითოეულ კლასში შეფასდა მნიშვნელობები 0-დან 100-მდე, სადაც 0 -ია ამ კლასში მასათა მოძრაობა არარსებობს, ხოლო 100 - ფორმირების ყველაზე მაღალი მნიშვნელობაა, რომელმაც უნდა განაპირობოს მასათა მოძრაობა.

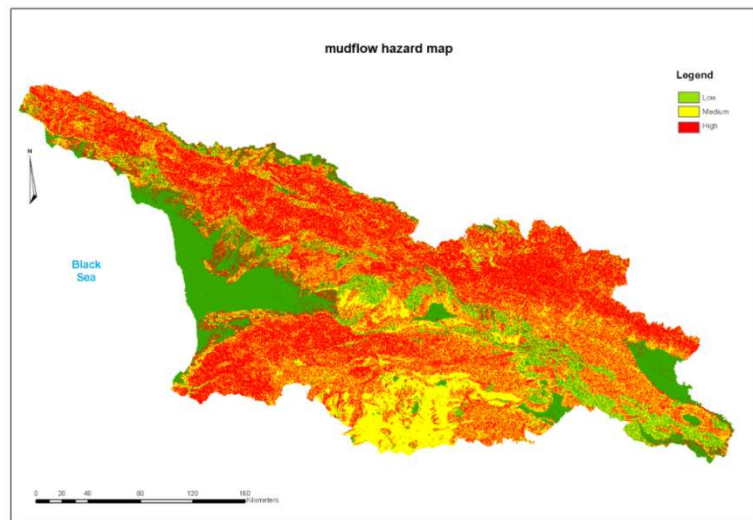
პარამეტრული რუკები გადაკეთდა რასტრის ტიპის რუკებში 30 მ გარჩევადობით და მეთოდოლოგია შემოწმებულია ყველა (9) პარამეტრის გამოყენებით. შერჩეული პარამეტრული რუკების შერწყმა განხორციელდა Arc-Gis-ის საშუალებით. რუკები შერწყმულია თითოეული პარამეტრის სხვადასხვა ტიპის წონის გამოყენებით. ცხრილში 2 მოდელების რიცხვი ნაჩვენებია მეწყრების პარამეტრების წონების მაჩვენებლებთან ერთად.

ცხრილი 2. მეწყრების ფაქტორების წონების პარამეტრიზაციის მოდელი (%).

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Geology	20%	20%	20%	25%	20%	20%	20%	20%	20%
2	SLOPE	18%	18%	20%	20%	20%	20%	20%	18%	18%
3	Land_Use	15%	15%	15%	10%	10%	20%	10%	15%	15%
4	Soil	12%	12%	15%	15%	15%	10%	10%	12%	17%
5	Fault	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
6	RIVER	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
7	Dem	10%	10%	10%	10%	10%	5%	5%	15%	10%
8	ASPECT	5%				5%	5%	5%		5%
9	Water erosion	10%	15%	10%	10%	10%	10%	20%	10%	5%
	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100

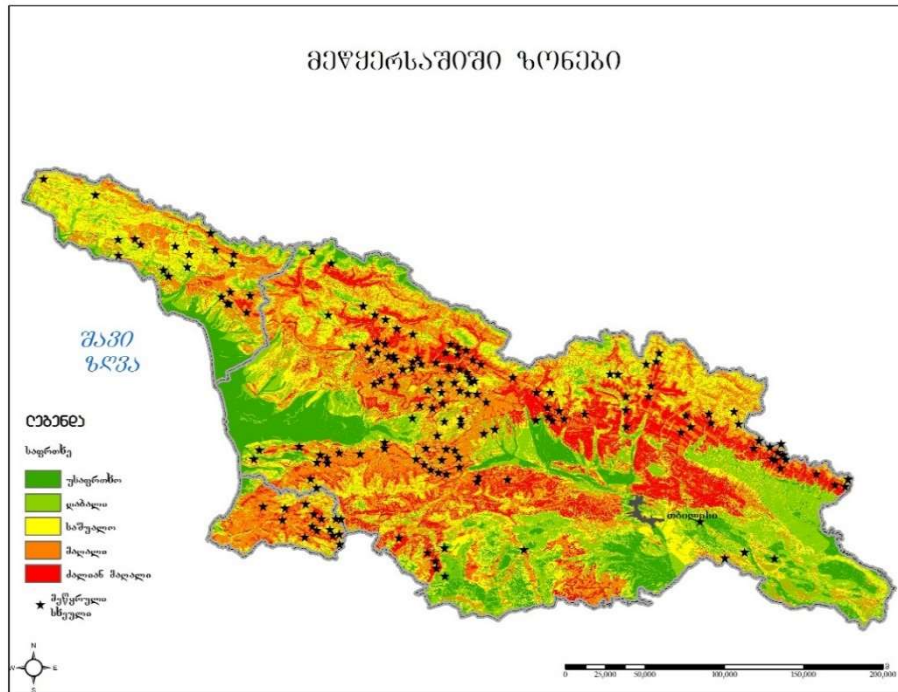


ნახ. 12.2. საქართველოს მეწყრებით მოწყვლადობის რუკა



ნახ.12.3. საქართველოს ღვარცოფებით მოწყვლადობის რუკა

მიღებული პროგნოზული რუკები 12.2, 12.3 ადრინდელებზე გაცილებით უფრო დეტალურია და კარგ კორელაციაშია მომხდარი მოვლენების მონაცემებთან (სურათი 12.4).



ნახ.12.4. მეწყერების მოწყვლადობის რუკა მომხდარი მეწყერების მონაცემთა ბაზებთან კომბინაციაში

საქართველოს გარემოს დაცვის სამინისტროს მიერ დადგენილია განსაკუთრებით მაღალი რისკის მქონე 6 მეწყერული ზონა, სადაც პირველ რიგში არის მიზანშეწონილი აშს-ის განლაგება (ტერიტორიები უკიდურესად ინტენსიური მეწყერულ-გრავიტაციული და ღვარცოფული პროცესებით და მათი ზოგადი შეფასება (საქართველოს ეროვნული კატასტროფის რისკის შემცირების სტრატეგია, National Disaster Risk Reduction Strategy of Georgia, 2017-2020, www.preventionweb.net/files/54533_drrstrategy2017annex1eng.pdf):

i.მდინარე დევდორაკის ხეობა - მდინარე თერგის მარცხენა შენაკადი (დარიალის სექცია), (ყაზბეგის მუნიციპალიტეტი). პერიოდულად, ღვარცოფები მთლიანად ან ნაწილობრივ აზიანებს საკვანძო საერთაშორისო გზას, ყაზბეგის საბაჟო გამშვებ პუნქტს, მოქმედ და მშენებარე ჰიდროელექტროსადგურებს, 700-1200 მმ დიამეტრის "ჩრდილოეთ-სამხრეთის" მაგისტრალურ გაზსადენს და მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზების ანძებს. ღვარცოფებს ხშირად ეწირებიან ადამიანები, ხოლო თანმხლები ეკონომიკური დანაკარგები ათობით მილიონ

ლარს აღწევს.

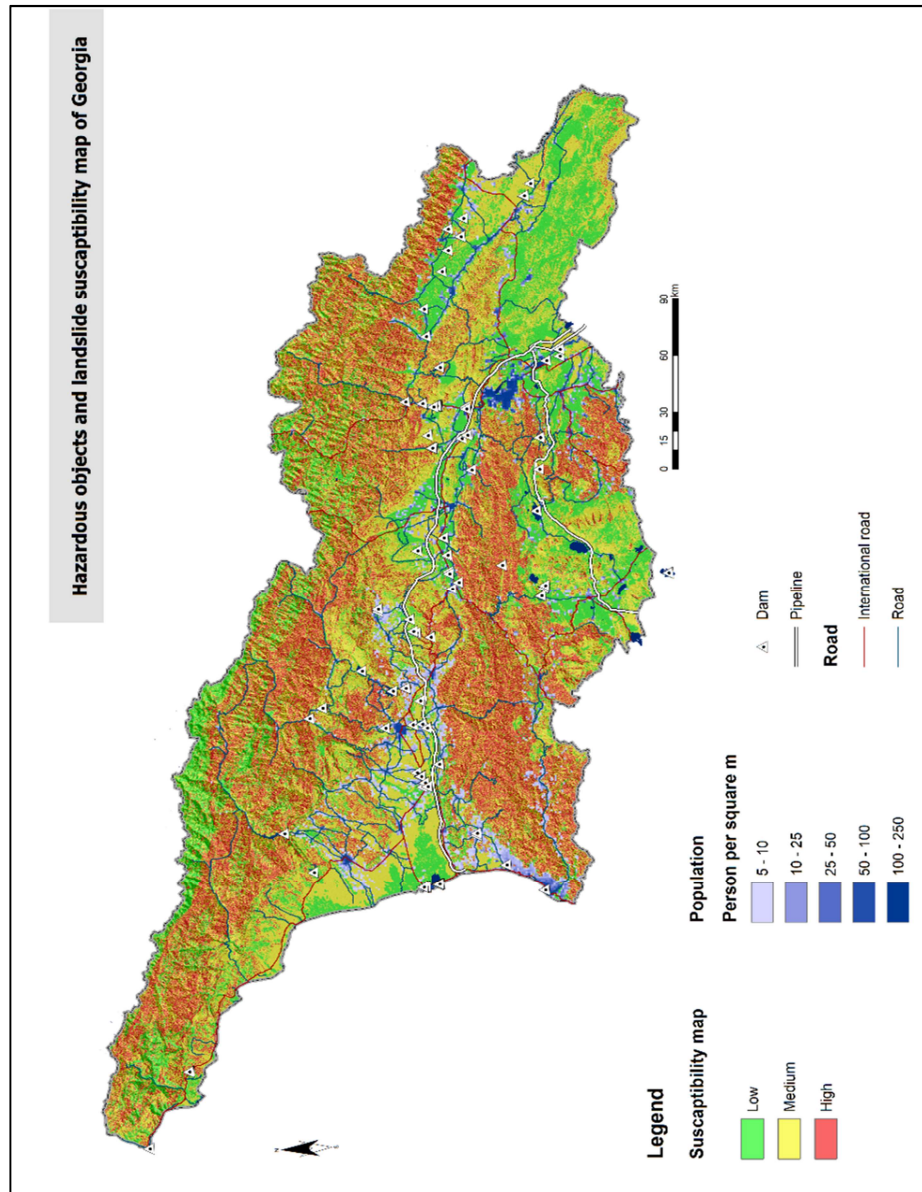
ii. მდინარე დურუჯი, მდინარე ალაზნის მარცხენა შენაკადი (ყვარლის მუნიციპალიტეტი). უკიდურესად დამანგრეველი ღვარცოფების წარმოქმნა განპირობებულია ნალექების ინტენსივობით და ხანგრძლივობით, ასევე ხეობის ზედა ნაწილში მდინარის კალაპოტის დროებითი დაბლოკვით. სტატისტიკის მიხედვით, ამ ტიპის ღვარცოფი შეიძლება მოხდეს ყოველწლიურად ან 5-10 წლის განმავლობაში ერთხელ. ღვარცოფების ჩამოყალიბება ხდება მდ. დურუჯის აუზში და ემუქრება ქალაქ ყვარელის მოსახლეობას და ინფრასტრუქტურას, თელავის-ლაგოდეხის საავტომობილო მაგისტრალს და გაზსადენს.

iii. გომბორის მთის უღელტეხილის მეწყერები - მდინარე გომბორულასა და მდინარე თურდოს და ღვარცოფების ნაკადებს შორის (საგარეჯოს და თელავის მუნიციპალიტეტები). თბილისსა და თელავს შორის გზა, ასევე სოფლების გომბორის, ვერონასა და კობაძეების მოსახლეობა და ინფრასტრუქტურა მუდმივი საფრთხის ქვეშაა. პერიოდულად თელავის წყალმომარაგების სისტემის სათავე ნაგებობა და მოსახლეობა წყალს რამდენიმე დღის განმავლობაში არ იღებენ.

iv. მდ. იორი - ანთოკის ხეობის, თვალხევის და ჩაილურის ხეობის მარცხენა შენაკადები (საგარეჯოს მუნიციპალიტეტი). ღვარცოფები ემუქრება ქალაქ საგარეჯოს და საგარეჯოს რაიონის სოფლებს - ანთოკისა და ჩაილურის მოსახლეობასც და სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს და თბილისი-თელავის საავტომობილო მაგისტრალს. წარსულში ნაკადმა გზა რამდენჯერმე გადაკეტა.

v. მეწყერი ხოკო, ენგურის წყალსაცავი (ჯვარის მუნიციპალიტეტი). ხოკოს მეწყერი უშუალო საფრთხეს უქმნის მდინარე ენგურის წყალსაცავს და ზუგდიდი-მესტიის ავტომაგისტრალს (S-7). წყალსაცავის მდგრადობას. მეწყერის ფართომასშტაბიანმა გააქტიურებამ შეიძლება დამანგრეველი პროცესები გამოიწვიოს.

vi. მუხათგვერდის სასაფლაოს ტერიტორია (თბილისის მერია). მეწყერული პროცესები აქტიურია. მეწყერული პროცესები პერიოდულად საფრთხეს უქმნის სასაფლაოს ნაწილს და ზიანს აყენებს ერთადერთ მისასვლელ გზას.



ნახ.14.5. საქართველოს მეწყერების და ღვარცოფების მიმართ ყველაზე მოწყვლადი ობიექტების (კაშხლების, მილსადენების, საერთაშორისო მაგისტრალების, გზების, და მჭიდროდ დასახლებული რაიონების) რუკა.

თავი 13. თანამშრომლობა უცხოურ სამეცნიერო ცენტრებთან

შოთა რუსთველის ფონდის გრანტთან ერთდროულად მუშავდებოდა (2016-2017) მეწყერების/ღვარცოფების ადრეული შეტყობინების სისტემების შექმნისადმი მიძღვნილი გრანტი: „Cost-effective technology of mass-movement EWS” ევროპის საბჭოსთან არსებული დიდი კატასტროფების შეთანხმების (EUR-OPA, <https://www.coe.int/en/web/europarisks/home>) ფარგლებში ქართულ-ევროპული სპეციალიზირებული ცენტრის „მაღლივი კაშხლების გეოდინამიკური რისკები“ მიერ (გრანტი Ref. No:CA/2017/08 FIMS PO No:537534). ამ პროექტის შესრულებაში ჩვენი პარტნიორი იყო გეომორფოლოგიური საშიშროებების ევროპული ცენტრი (European Centre on Geomorphological Hazards, CERG, სტრასბურგი, საფრანგეთი). ჩატარებული სამუშაოების გასაცნობად 2018 წ. 16-18 ოქტომბერს თბილისში ჩამოვიდა დიდი კატასტროფების შეთანხმების აღმსარულებები მდივანი, ბ-ნი ჯანლუკა სილვესტრინი. მან მოინახულა ცენტრის ბაზა მ. ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტში, მოისმინა ინფორმაციები სამუშაოების შესახებ და დაათვალიერა გლდანის მეწყერზე დაყენებული ჩვენი ადრეული შეტყობინების სისტემა.



ნახ.13.1. დიდი კატასტროფების შეთანხმების აღმსარულებები მდივანი, ბ-ნი ჯანლუკა სილვესტრინის ვიზიტი გლდანის მეწყერზე დაყენებულ აშს-ზე.

მიღებული შედეგები წარმოდგენილი იყო EUR-OPA-ს შეთანხმების შეხვედრაზე (2018 წ. 5-7 ნოემბერი, ზაგრები, ქორვატია) და მაღალი შეფასება დაიმსახურეს.

მონიტორინგის და ადრეული შეტყობინების ეკონომიური ტელემეტრული სისტემის ღირებულება

ჩვენი აშს-ში (ერთ სადგური) შემავალი კომპონენტების ფასი სენსორების და გადაცემის სისტემის (არდუინოს) ჩათვლით 500 \$ რიგის არის; საველე კონსტრუქციის ფასი მზის ბატარეების და აკუმულატორების ჩათვლით ასევე 500 \$ რიგისაა. ჯამური საველე სისტემის ერთი სადგურის ღირებულება დაახლოებით 1000 \$ აღწევს.

ირლანდიაში შემუშავებული წყალდიდობების ადრეული შეტყობინების სისტემის მხოლოდ კომპონენტების ღირებულება შეადგენს 120 000 ევროს

(www.environment-agency.gov.uk).

ავტორები მადლობას უხდებიან პროექტის ყველა მონაწილეს: დავით ჭედიას, ზვიად მაღრაძეს, დიმიტრი ამილახვარს, ლევან დვალს და ნინო თანიაშვილს, რომლებმაც დიდი წვლილი შეიტანეს წარმოდგენილი სამუშაოს შესრულებაში.

ავტორები ასევე მადლობას უხდებიან პროფესორ ემილ წერეთელს მნიშვნელოვანი კონსულტაციებისათვის.

14. დასკვნა

წარმოდგენილი სამუშაოს საბოლოო მიზანი არის მეწყრის და ღვარცოფის ადრეული შეტყობინების სისტემის შექმნა თანამედროვე მიკროელექტრომექანიკური სისტემების (MEMS) ბაზაზე.

ღვარცოფის/მეწყრის მოძრაობის მონიტორინგის და პროგნოზირებისათვის არსებობს მრავალი მეთოდი: ფოტოგრაფმეტრული, მიწაზე ბაზირებული და თანამგზავრებზე ბაზირებული გეოდეზიური; გეოტექნიკური (ინკლინომეტრები, ექსტენზომეტრები, პიეზომეტრები, დახრილმზომები, ბზარის მზომები, ოპტიკურ-ბოჭკოვანი სისტემები, GPS); გეოფიზიკური (გეოელექტრული გაზომვები, მიკროსეისმური კვლევები, აკუსტიკური ემისია) და ა.შ. განშტოებადი რენტაბელური აშს სისტემის შესაქმნელად უმეტესი მათგანი ძალიან ძვირია.

ჩვენი კვლევის ერთ-ერთი მიზანი არის აკუსტიკური ემისიის ჩაწერის საშუალებით მეწყრის ნელი მოძრაობის (ცოცვის) რეგისტრაცია და მონიტორინგის პირობების შემუშავება. ამ მიზნით ჩვენ ავაწყვეთ სპეციალური მოწყობილობა. პლასტიკური კასრი ივსება მეწყერული ნიადაგით, ხოლო კასრის ცენტრში ცილინდრულად ჩაყრილია ღორღი. ღორღის ცენტრში განთავსებულია სქელკედლიანი ფოლადის მილი, რომელიც ხრეშში წარმოქმნილ აკუსტიკურ იმპულსებს გადასცემს აკუსტიკურ სენსორს. დანადგარში დეფორმაცია ხორციელდება მექანიკური დომკრატის დახმარებით. აკუსტიკური მონიტორინგის მიზანია მეწყრის გააქტიურებამდე, გეოლოგიური სხეულების წინასწარი გადაადგილების დროს, ადრეული აკუსტიკური სიგნალების ჩაწერა.

წარმოდგენილი სამუშაოს საბოლოო მიზანი იყო ავტონომიური კვების წყაროს მქონე (მზის ბატარეები), საკმაოდ დაბალფასიანი ზუსტი გეოფიზიკური მონიტორინგის კომპლექსური ტელემეტრული სისტემის დამუშავება, ღვარცოფის/მეწყრის გააქტიურების და ინიცირების

სიგნალიზაციისათვის რადიოსიგნალის ან ინტერნეტის კავშირის გამოყენებით. სიზუსტის და დანახარჯების ეფექტურობის, ერთი შეხედვით შეუთავსებელი მოთხოვნების დაკმაყოფილება ბოლო წლებში შესაძლებელი გახდა ახალი ტექნოლოგიების დახმარებით (მაგალითად, MEMS სენსორები და ნიადაგის ტენიანობის სხვადასხვა სენსორები და მცირე ენერგომომხმარების სიგნალების დამუშავების თანამედროვე ციფრულ ელემენტებთან თავსებადი მონაცემების გადაცემის ელემენტები).

პროექტით გათვალისწინებული სამუშაოების შესასრულებლად შეირჩა (MEMSIC)-ტიპის აჩქარების და აკუსტიკური ემისიის სენსორების ოპტიმალური ეკონომიური ვარიანტები ბეჭდური და ინტერნეტის წყაროებით. დამატებით შესწავლილ იქნა (MEMSIC)-ში შემავალი დახრისმზომის სისტემის გამოყენების შესაძლებლობები. დამზადებულია მრავალფუნქციური სენსორის კომპლექსი, რომელიც ზომავს აჩქარებას, დახრებს, სინოტივს. აჩქარების და დახრის სენსორების ჩანაწერები შედარებულია მაღალი ხარისხის საფირმო ხელსაწყოების (TROMINO, TILTMETER 701 APPLIED GEOMECHANICS) ჩანაწერებთან. შედეგები დამაკმაყოფილებელია. ნიადაგის ტენიანობის ორი სხვადასხვა ტიპის სენსორი იქნა დამზადებული და გამოცდილი. აჩქარების და აკუსტიკური ემისიის სენსორები გამოცდილია ბურიჯ-კნოპოვის ლაბორატორულ მოდელზე. ჩანაწერები განხორციელდა მრავალარხიან ოსცილოსკოპზე PICOSCOPE 4824.

მეწყერსაშიში უბნების მონიტორინგისა და მეწყრების გააქტიურების საშიშროების შესახებ განგამის სიგნალის გამომუშავებისა და გავრცელებისათვის შემუშავებული იქნა სისტემა, რომელიც რეალურ დროში, მეწყერსაშიშ უბანზე დაკვირვებული რამოდენიმე ფიზიკური პარამეტრის კომპლექსური დამუშავებისა და გაანალიზების საფუძველზე იღებს გადაწყვეტილებას უბნის მიმდინარე აქტიობის დონის, ან საგანგაშო სიტუაციის შესახებ. სისტემაში გამოყენებული სავლეე გადამწოდები-სენსორები წარმოადგენენ წყალგაუმტარ, დაცულ მოწყობილობას, რომელიც შეიცავს სამკომპონენტო ანალოგური აქსელერომეტრი-დახრილმზომის მინი-მოდულს: MMA7361, გრუნტის გაწყლოვანების რადიოსიხშირული სენსორის მინი-მოდულს: 2.7GHz Radar Sensor და ტემპერატურის წრფივი მზომის ნახევარგამტარულ მინი-მოდულს: LM35.

პროცესირების სიტემა ახდენს თითოეული სენსორიდან მიღებული სიგნალის ამპლიტუდის, ფაზის და სპექტრული მახასიათებლის დიფერენცირებას საყრდენი სენსორის ინფორმაციასთან მიმართებაში. ანომალური ტრენდის შემთხვევაში, თუ დაკვირვებული სხვაობა აღემატება

უბნის ხმაურის ბუნებრივ ტრენდულ მონაცემს, სიტემა გამოიმუშავებს გაფრთხილების ან განგაშის შესაბამის ინფორმაციას, რომელიც შეიძლება გადაიცეს GSM მონაცემების სახით და მომენტალურად განთავსდეს დაშორებულ სერვერზე განთავსებულ მონაცემთა ბაზაში, გაიგზავნოს SMS მოკლე ტექსტური შეტყობინებების სახით და მიეწოდოს საგანგებო სიტუაციების მართვის სტრუქტურებს ან გადაიცეს კოდირებული დაცვის მქონე რადიოსიგნალების სახით უახლოეს დასახლებულ პუნქტში, სადაც დამონტაჟებული იქნება რადიოსიხშირული მიმღები-დეკოდერი და ლოკალური ხმოვანი თუ ტექსტური განგაშის უზრუნველყოფის მოწყობილობა.

მეწყერსაშიში ზონიდან ფიზიკური ველების მიმდინარე პარამეტრების მნიშვნელობების მისაღებად Arduino mega 2560-ს მიერთებულია ანალოგური დამუშავების პლატფორმის გამოსასვლელებთან, სადაც თავს იყრის ჩვენს მიერ შემუშავებული მგძნობიარე სენსორების მოწოდებული, გაძლიერებული, გაფილტრული და წინასწარ დამუშავებული ინფორმაცია. სენსორები მაღალის სიზუსტით ზომავენ მეწყერსაშის უბანზე დაკვირვებულ მიმდინარე მახასიათებელ პარამეტრებს (აჩქარებები, დახრები, ტენიანობა, ტემპერატურა). აღნიშნული მონაცემების ათვლა მიმდინარეობს უწყვეტად და ისინი იგზავნება მთავარი ციფრული დამუშავების პლატფორმისკენ წინასწარ მომზადებულ ანალოგურ მიმღებ პორტებზე. ანალოგურ ფორმატში შემოსული ინფორმაცია ხვდება შესაბამის შესასვლელებზე. ციფრული პლატფორმის ანალოგურ-ციფრული გარდაქმნის არხებში მიმდინარეობს მიღებული სიგნალების ლოგირება და რეგისტრაცია, ხოლო შემდეგ კი შემოსული ინფორმაციის ვექტორულ ნაკადებად ჩამოყალიბება და შესაბამისი დროის მარკერების თანხლებით მიწოდება მთავარი პლატფორმის ბუფერისათვის, ნაკადების დასამუშავებლად.

ვინაიდან, მონიტორინგის სისტემის განთავსება შესაძლოა მოხდეს გლობალური კომუნიკაციებისათვის მიუწვდომელ ადგილზე, შეუძლებელია მონაცემთა გადაცემისათვის საკაბელო ინტერნეტით სარგებლობა. ჩვენს სისტემაში მონაცემთა გადაცემისთვის გამოყენებულია მობილური (GSM მონაცემების ტრაფიკი) ინტერნეტის წვდომა. კერძოდ, ვიყენებთ GSM sim900-ს მოდულს, რომელიც მორგებულია ჩვენს მიერ არჩეულ მთავარ პლატფორმაზე და ექვემდებარება ოპერირებისას მოსახერხებელ მართვას. ამავდროულად არის ენერგოეკონომიური და გადაცემის პროცესში ახასიათებს მდგრადი სამუშაო პარამეტრები. იმისათვის, რომ დაკვირვების სისტემა იყოს კიდევ უფრო მდგრადი და რეზერვირებული, ინფორმაციის კარგების გარეშე, გარანტირებული

მიღებისთვის საჭიროა დამატებითი მექანიზმიები სასერვერო სისტემაში. კერძოდ, იგულისხმება მეხსიერების ბარათის მიერთება მთავარ ციფრულ პლატფორმაზე (Arduino mega 2560) . ამისათვის ვიყენებთ Micro SD(TF) Storage Board -ს, სადაც განვათავსეთ 16 გბ იანი ფლემ მეხსიერება, რითაც უზრუნველყოფილია მონაცემთა ჩაწერის უწყვეტი პროცესი. აღნიშნულ მეხსიერების ბარათზე ჩაწერის პროცესი სავალდებულოა იმისათვის, რომ გადაცემის ტრაფიკის შეყოვნებისას მოხდეს მონაცემთა ლოკალური დაგროვება, ხოლო სრულფასოვანი კავშირის აღდგენის შემდეგ გამოყოფილ სერვერზე მოხდეს დანაკლისი მონაცემების შევსება.

პროექტში განხილული იყო რისკის ოთხი ელემენტი: მოსახლეობა, მილსადენები, კაშხლები და გზები. მოსახლეობის რაოდენობის შეფასება მოხდა მოსახლეობის საყოველთაო აღწერის (2016 წ.) მიხედვით. მილსადენების, გზების და კაშხლების მონაცემები მიღებული იქნა არქივებიდან და ღია წყაროებიდან.

საბოლოო შედეგი გათვლილია თითოეული რეგიონის ჯამური ზარალის რისკისა და რისკის დონის მიხედვით. ეს არის მეწყერული-საფრთხის შემცველი მოვლენების სივრცული ალბათობა სხვადასხვა დონისათვის (დაბალი, ზომიერი და მაღალი მგრძნობიარე სივრცის) ფიზიკური მოწყვლადობის (დაბალი, ზომიერი და მაღალი მგრძნობიარე ტერიტორიები) და რისკის ქვეშ მყოფ ელემენტებთან (თითოეული მგრძნობელობის კლასი).

არსებულ სისტემებთან შედარებით ჩვენი დანადგარი რამდენიმე სიახლით ამოირჩევა:

1. ჩვენი სისტემა გაცილებით დაბალფასიანია ვიდრე არსებული დანადგარები (საბაზისო ელემენტების ფასი 1000 \$ რიგისა)
2. აქტიურ უბანზე მოთავსებული დახრილობის და აჩქარების სენსორების მონაცემების საფუძველზე: შედარება ხდება ეტალონური (reference) სენსორის მონაცემებთან, რის შედეგად გამოიმუშავდება დიფერენციალური სიგნალი, რომლის მიხედვით ფასდება წონასწორული მდგომარეობიდან გადახრა. ეს მნიშვნელოვნად ამცირებს არასასურველი ხმაურების დონეს.
3. ადრეული შეტყობინება გამომუშავდება მულტი-სენსორების მონაცემების საფუძველზე: ბოლო წლებში მიღებული დაკვირვებების მონაცემების საფუძველზე განგაშის ალგორითმი გაყოფილია ორ ნაწილად, გრძელვადიან (ტენიანობის პარამეტრით) და მოკლევადიან (დახრების და აჩქარებების მონაცემებით, რაც ასევე სიახლეს წარმოადგენს).
4. გამოყენებულია დახრების რეგისტრაციის ახალი მეთოდიკა MEMS აქსელერომეტრების (სიგნალის სიხშირული ფილტრაციის?) საშუალებით.

5. გრუნტში ტენიანობის გასაზომად გამოყენებულია ელექტრომაგნიტური, რადიოსიხშირული სენსორი (2.7GHz Radar Sensor)

დასკვნით ეტაპზე ჩატარდა ჩვენი ადრეული შეტყობინების სისტემის ტესტირება რეალურ მეწყრულ უბანზე. საცდელ ობიექტად შერჩეულ იქნა ქ. თბილისში თემქა-ში დამეწყრილი უბანი (გლდანის მეწყერი), რომელიც სერიოზულ საფრთხეს უქმნის საცხოვრებელ კორპუსებს.

მიღებული შედეგები პრინციპულად ადასტურებენ, რომ მეწყრების მონიტორინგის და ადრეული შეტყობინების ეკონომიური ტელემეტრული სისტემა („მოდარაჯე ძაღლი“) იძლევა მეწყრულ სხეულში მიმდინარე პროცესის მონიტორინგის, საშიშროების დონეების დადგენის და ინფორმაციის უწყვეტად და ოპერატიულად გადმოცემის საშუალებას.

Conclusion

The ultimate goal of the present work is to create a landslide and mudflow early warning system on the basis of modern microelectromechanical systems (MEMS). There are many methods for monitoring and predicting mudflow / landslide motion: photometric, geodesic based on ground and satellite; Geotechnical (Inclinometers, Extensometers, Piezometers, Crack Solutions, Optical Fiber Systems, GPS); Geophysical (geoelectric measurements, microseismic studies, acoustic emission), etc. Most of them are very expensive to create a cost-effective set of early warning system.

One of the purposes of our research is the recording of slow movements (the beginning of slip) and the compilation of conditions for monitoring landslides using the acoustic emission record. For this purpose, we assembled a special installation. A plastic barrel is filled with a landslide material, a barrel is cylindrically filled with small stones in the center of the barrel, and in the center there is a thick-walled steel pipe that transmits an acoustic signal that has arisen in the small stones to the acoustic sensor. In the installation, the deformation is effected by means of a mechanical jack. The purpose of acoustic monitoring is to record acoustic signals that arise when geological structures are pre-moved before the landslide activation.

The ultimate goal of the work is to develop autonome power supply (solar batteries), processing low-cost precision geophysical monitoring complex telemetry system, using radio signal or Internet connection for signaling activation and initiation of mudflow / landslide. In recent years, the satisfaction of accuracy and cost efficiency can be achieved with the help of new technologies (eg MEMS sensors and different sensors of soil moisture and economy elements of compatible data with modern digital processing and transfer elements).

By using print and Internet sources were selected optimal economic types of acceleration and acoustic emission sensors (MEMSIC) for the implementation of the project goals. Additional was studied of (MEMSIC) sensors ability as the tilt meters. The multifunction sensor complex is designed to measure acceleration, tilting, moisture. Acceleration and tilt sensors recordings was compared to recordings of the high quality equipment (TROMINO, TILTMETER 701 APPLIED GEOMECHANICS). The results are satisfactory. Two different types of sensors were made and tested. Acceleration and acoustic emission sensors are tested on the Burrige-Knopoff Laboratory model. Records were performed on the multichannel oscilloscope PICOSCOPE 4824.

A system was developed to monitor and generate and transfer an alarm of landslide activations. In real-time, based on the integrated processing and analysis of several physical parameters observed in the hazardous area, it decides the level of activity in the area of hazard situations. The sensors used in the system are waterproof, protected by a device that contains a three-component analog mini-modules accelerometer-tiltmeter: MMA7361, a mini-module of the radio-frequency soil moisture sensor: 2.7 GHz Radar sensor and a mini-module of the linear semiconductor temperature meter: LM35.

The processing system differentiates the signal amplitude, phase and spectral characteristics received from each sensor relating to the base sensor information. By abnormal trend, if the observed difference is greater than site-noise natural to trend data, the system generates a warning or alarm information that can be transmitted by GSM data form and immediately placed on a database to the remote server, send SMS text messages and submitted to the disaster management structures or transmitted coded radio signals for the protection of the nearest settlement, which will be fitted with a radio frequency receiver-decoder and the local sound an text alarm providing device.

For the obtain physical fields current parameters values for the landslide zones the Arduino mega 2560 is connected to the analog processing platform outcoms, where is collected pre-processed, enhanced, filtered information sended from the sensitive sensors. Sensors with high accuracy measures the current characteristic parameters (acceleration, inclinations, humidity, temperature) observed at the landslide area. These data are uninterrupted and they are sent to the main digital processing platform for pre-prepared analog recipient ports. The information entered in the analog format will meet the appropriate ports. Logical signals and logins are being generated in analog-digital transforming channels of the digital platform, and then form the information as vector flows and provide the timeframe for the main platform buffer to process flows.

Because, the monitoring system installing location may be inaccessible to global communications, it is impossible to use the cable internet for data transmission. Internet access to mobile (GSM data traffic) is used for data transfer in our system. In particular, we use the GSM sim900 module, which is adjusted to the main platform chosen by us and is convenient to operate handling. At the same time there is energy efficiency and the data transfer process is characterized by sustainable working parameters. In order to ensure that the monitoring system is more sustainable and reserved, without losing information, additional mechanisms are required in the server system. Specifically, it is meant connect the memory card to

the main digital platform (Arduino mega 2560). For this we use Micro SD (TF) Storage Board, where we have installed 16 GB of flash memory, thus ensuring continuous processing of data. The recording process on this memory card is mandatory in order so that when data is delayed, local data accumulation occurs, and when the complete connection is restored the server will fill the loss of the data.

The project discussed four elements of risk: population, pipelines, dams and roads. The number of population was estimated by the general population census (2016). Pipelines, roads and dams data were obtained from archives and open sources.

The final result is calculated according to the total loss risk and risk level of each region. This is a spatial probability of landslide-threatening events for different levels (low, moderate and high-sensitive areas), with physical vulnerability (low, moderate and high sensitive areas) and risk factors (each sensitive class).

Compared to the existing systems, our equipment distinguished by several innovations:

1. Our system is much less expensive than the existing equipment (the base elements are 1000 \$ range).
2. Comparison of tilt and acceleration sensors placed at the active area with the data of the reference sensor, resulting in a differential signal that will be evaluate a deviation from the equilibrium state. This significantly reduces the level of unwanted noise.
3. Early warning will be based on multiple sensors data: On the basis of observations obtained in recent years, the alarm algorithm is divided into two parts, with long-term (moisture parameters) and short-term (inclination and acceleration data, which also novelty).
4. The new method of inclination registration involving MEMS accelerometer is used (signal frequency filter?).
5. An electromagnetic, radiofrequency sensor (2.7GHz Radar Sensor) were using to measure moisture in the soil.

At the final stage we tested our early warning system in real landslide. For testing object was selected landsliding urban area (Gldani landslide) in Temka in Tbilisi, which poses a serious hazard to residential buildings.

The obtained results are principally proven that the landslide monitoring and economic telemetry early warning system ("watchdog") gives the opportunity to monitor the processes in the landslide body, to determine the level of hazard and to provide information continuously and efficiently transfer.

ლიტერატურა

1. Allen P. Earth surface processes. Blackwell Science, Oxford. 1997
2. Aleotti P, Chowdhury R (1999) Landslide hazard assessment: summary. Rev N Perspect Bull Eng Geol Env. 58:21–44
3. Aleotti, P. 2014. A warning system for rainfall-induced shallow failures, Eng. Geol., 73, 247–265.
4. Alexander D. Natural Disasters. London: UCL Press. 1998
5. Amaral L. A. N. and K. B. Lauritsen. 1996. Energy avalanches in a rice-pile model. Physica A, 231(4), 608–614.
6. Anderson M.G. and Holcombe E. Community-Based Landslide Risk Reduction. The world bank, Washington DC. 2013
7. Atlas of Natural Hazards & Risks of Georgia, Tbilisi, Georgia, 2012.
8. Anthony J. L. and C. Marone. Influence of particle characteristics on granular friction. J. Geophys. Res., 2005, 110, B08409, doi:10.1029/2004JB003399.
9. Baum R, Godt, J, Savage W. 2010. Estimating the timing and location of shallow rainfall induced landslides using a model for transient, unsaturated infiltration. J. Geophys. Res. doi:10.1029/2009JF001321
10. Baum R, Godt J. 2010. Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in the USA. Landslides. 7, 259–272.
11. Barsh D. and Caine N. The Nature of Mountain Geomorphology. Mountain Research and Development, 1984, 4 (4), pp. 287–298.
12. Beddoe R. 2014. Physical modelling of landslides in loose granular soils. PhD thesis. Queen's University, Kingston, Canada
13. Berti M, Martina M, Franceschini, et al. 2012. Probabilistic rainfall thresholds for land-slide occurrence using a Bayesian approach. J. Geophys. Res. Earth, doi:10.1029/2012JF002367
14. Bettinelli P., Avouac J.-P., Flouzat M., Bollinger L., Ramillien G., Rajaure S. and S. Sapkota. Seasonal variations of seismicity and geodetic strain in the Himalaya induced by surface hydrology. Earth Planet. Sci. Lett., 2008, 266, pp. 332–344
15. Bhandari R. K. Some lessons in the investigation and field monitoring of landslides. in Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides, 1988, vol. 3, edited by C. Bonnard, pp. 1435 – 1457.
16. Bhandari R.K. and Kotuwegoda W.P.P.K. Consideration of landslide geometry and runout in a landslide inventory, in Senneset, Kaare. ed., Landslides,

- International Symposium, 7th, Trondheim, June 17-21, Proceedings: Rotterdam, Balkema, 1996, v. 3, pp. 1859-1864.
17. Boettcher M.S. and C. Marone. Effects of normal stress variation on the strength and stability of creeping faults. *J. Geophys. Res.* 2004, 109 (B3), DOI:10.1029/2003JB002824.
 18. Bogucki D. J. Debris slides in the Mt. Le Conte area, Great Smoky Mountains National Park. USA, *Geograf Ann.*, 1976, 58A, pp. 179-191
 19. Bolt B.A., Horn W.L., Macdonald G.A., Scott R.F. Geological hazards: Earthquakes, tsunamis, volcanoes, avalanches, landslides, floods. Springer Verlag, New York, 1975.
 20. Bouchut F., Fernandez-Nieto E. H., Mangeney A., Narbona-Reina G. A two-phase solid-fluid model for dense granular flows including dilatancy effects: comparison with submarine granular collapse experiments. powder and grains, A.A. Baklema Publishers, 2017.
 21. Bouchut F., Fernandez-Nieto E. H., Mangeney A. and Narbona-Reina G. A two-phase two-layer model for fluidized granular flows with dilatancy effects. *J. FLUID MECH.*, 2016, 801.
 22. Brunetti, M. T., Peruccacci, S., Rossi, M., et al. 2010. Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 447–458, doi:10.5194/nhess-10-447-2010, 2010.
 23. Bureau L., Baumberger T. and C. Caroli. Shear response of a frictional influence to a normal load modulation. *Phys. Rev.* 2000, E 62, pp. 6810-6820.
 24. Burridge R. and L. Knopoff. Model and theoretical seismicity, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 1967, 57, pp. 341 – 371.
 25. Calvello M, Piciullo L. 2016. Assessing the performance of regional landslide early warning models: the EDuMaP method. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 16, 103–122.
 26. Campbell A. P. Measurement of movement of an earthflow. *Soil Water*, 1966, 2(3), pp. 23-24.
 27. Campbell R. H. Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, southern California. U.S. Geol. Surv. Prof Pap. 1975, 851, 51.
 28. Cepeda J, Malet J.P, Remaître A. 2011. Empirical estimates of precipitation conditions for landslide triggering in France and Norway. *Geophysical Research Abstracts* 13, EGU2011-10550.
 29. Cepeda, J., Hoeg, K., Nadim, F. 2009. Landslide-triggering rainfall thresholds: a conceptual framework, *Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol.* 43, 69–84.

30. Chelidze, T., Tibaldi, A., Tsereteli, N., Abashidze, V., Varamashvili, N., Chelidze Z. Early warning systems for dam safety: case of large Engury dam, Georgia. Proceedings 5th International Symposium of Dam Safety. Istanbul/Turkey, 29 October – 1 November, 2018, v.2, pp.
31. Corominas J, van Westen CJ, Frattini P, et al. 2014. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Open access. Bull Eng Geol Env IAEG. 73(2):209–263
32. Crozier M.J. 1999. Prediction of rainfall-triggered landslides: A test of the antecedent water status model. Earth Surface Processes and Landforms, 24(9), 825-833.
33. Chau KT. Landslides modeled as bifurcations of creeping slopes with nonlinear friction law. Int J Solids Struct, 1995, 32, pp. 451–3464.
34. Chau KT. Onset of natural terrain landslides modeled by linear stability analysis of creeping slopes with a two-state variable friction law. Int J Numer Anal Methods, 1999, 23, pp. 1835– 1855.
35. Chelidze T., Kolesnikov Yu., Matcharashvili T. Seismological criticality concept and percolation model of fracture. Geophys. J. Int. 2005,164, pp. 125-136.
36. Chelidze T., Varamashvili N., Devidze M., Chelidze Z., Chikhladze V. and T. Matcharashvili. Laboratory study of electromagnetic initiation of slip. Ann. Geophys. 2002, 45, pp. 587-599.
37. Chelidze T., Varamashvili N., Devidze M., Chelidze Z., Chikhladze V. and T. Matcharashvili. Electromagnetic initiation of slip laboratory model. Acta Geophysica polonica. 2004, Vol.52, #1.
38. Chelidze T., Varamashvili N., Chelidze Z. Acoustic Early Warning Telemetric System of Catastrophic Debris Flows in Mountainous Areas. Journal of Georgian Geophysical Society, 2012, v. 15.
39. Cruden D.M., Varnes D.J., Turner A.K., Schuster R.L. (eds). Landslides – in vestigation and mitigation. National Research Council, Washington, D.C ., Transportation Research Board, Specification Report, 1996, 247, pp. 36–75.
40. Dai FC, Lee CF, Ngai YY (2002) Landslide risk assessment and management: an overview. Eng Geol . 64(1):65–87
41. Dalton F. and Corcoran D. Self-organized criticality in a sheared granular stick-slip system. Phys. Rev. 2001, E 63, 061312.
42. Davis R. O., Smith N. R. and Salt G. Pore fluid frictional heating and stability of creeping landslides. Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech., 1990, 14, pp. 427 – 443.

43. De R. and G. Ananthakrisna. Power laws, precursors and predictability during failure. *Europhys. Lett.* 2004, 66, 715.
44. Dieterich J.H. Modeling of rock friction—1. Experimental results and constitutive equations. *J Geophys Res* 1979, 84, pp. 2161–2168.
45. Durville J. L. Study of mechanisms and modeling of large slope movements. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.*, 1992, 45, pp. 25 – 42.
46. Eisbacher G. H. Cliff collapse and rock avalanches in the Mackenzie Mountains, Northwestern Canada. *Can. Geotech. J.*, 1979, 16, pp. 309 – 334.
47. Eisbacher G. H. and Clague J. J. Destructive mass movements in high mountains: hazard and management. *Geol. Survey of Canada*, 1984, 230.
48. Erickson B., Birnir B., Lavallee D. Center for Complex and Nonlinear Science, UC Santa Barbara, 2010, <http://escholarship.org/uc/item/3r5811tp>.
49. Fabio Vittorio De Blasio. *Introduction to the Physics of Landslides*. Springer, 2011.
50. Falsaperla S., Neri M., Pecora E. and Spampinato S. Multidisciplinary study of flank instability phenomena at Stromboli volcano, Italy. *Geophys Res Lett.*, 2006, DOI:10.1029/2006GL025940.
51. Fookes P., Lee E., and Griffiths J. *Engineering Geomorphology, Theory and Practice*. CRC Press., 2007.
52. Froude M, Petley D. Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. 2018. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18, 2161–2181.
53. Gaprindashvili G, Van Westen C. 2015. Generation of a national landslide hazard and risk map for the country of Georgia 2015. *Nat Hazards*. DOI:10.1007/s11069-015-1958-5
54. Gerrard A.J. *Mountain environments*. Belhaven Press, London. 1990, No. of pages: 317. ISBN 1-85293-049-7.
55. Glade T., Crozier M.J. & P. Smith. 2000. Applying probability determination to refine landslide-triggering rainfall thresholds using an empirical "Antecedent Daily Rainfall Model". *Pure & Applied Geophysics* 157, 1059-1079.
56. Gombert J., Bodin P., Savage W., Jackson M.E. Landslide faults and tectonic faults, Analogs?—the slumgullion earthflow, Colorado. *Geology*, 1995, 23, pp. 41–44.
57. Grasso J. and Sornette D. Testing Self-organized Criticality by Induced Seismicity. *J. Geophys. Res.* 103, (B12), 1998, 29, pp. 965-987.
58. Guzzetti F, Peruccacci S, Rossi M, Stark C. 2008. The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides*, 5 (1), 3–17

59. Guzzetti F., Peruccacci S., Rossi M., Stark C.P. 2007. Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorol. Atmos. Phys.* 98: 239-267.
60. Günther A, Van Den Eeckhaut M, Malet J-P, Reichenbach P, Hervás J (2013): European Landslide Susceptibility Map (ELSUS1000) Version 1 Methodology. Technical Note, 14.02.2013. European Soil Portal, <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu>
61. Harp, E. L. and Jibson, R. W. Landslides triggered by the 1994 Northridge, California earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 1996, 86, 1, part B, pp. S319–S332.
62. Highland, L. M., and Bobrowsky, Peter, 2008, *The landslide handbook – A guide to understanding landslides*: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.
63. Hirata T. 1/f Fluctuation and a Many-Body Disk Model of Slip Phenomena. *J. Phys. Soc. Jpn.* 1999, 68, 3195.
64. Hiura H. and Fukuoka H. Fractal structure of spatial distribution of landslides in Hokkaido island, Japan. In: Novosad, S. and Wagner, P. (eds). *Proceedings of the 7th International Conference and Fields Workshop on Landslides in Czech and Slovak Republics, 28 August- 15 September 1993*, Balkema, pp. 29-34.
65. Hurlimann M., Turon E. and J. Marti. Large landslides triggered by caldera collapse events in Tenerife, Canary Islands. *Phys. Chem. Earth A*, 1999, 24(10), pp. 921–924.
66. Israelachvili J.N. Adhesion forces between surfaces in liquids and condensable vapours. *Surf. Sci. Rpt.* 1992, 14, 109.
67. Iverson R. M. Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resources Research*, 2000, v.36, n.7, pp. 1897-1910.
68. Iverson R. M. Regulation of landslide motion by dilatancy and pore pressure feedback. *J. Geophys. Res.* 2005, 110, F02015.
69. Iverson R. M. and Schaeffer D. G. American Geophysical Union, Fall Meeting, abstract #T22B-07, 2009.
70. Jibson R.W., Prentice C.S., Borissoff A., Rogozhin A., Langer C.J. Some observations of landslides triggered by the 29 April 1991 Racha earthquake, Republic of Georgia. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 1994, 84, pp. 963–973.
71. Kawamura H. Spatiotemporal correlations of earthquakes. in *Lecture Notes in Physics*, 2006, vol. 705, *Modelling Critical and Catastrophic Phenomena in Geoscience*, edited by P. pp. 223–257

72. Keefer D.K. Landslides caused by earthquake. *Geol. Soc. Am . Bull.*, 1984, 95, pp. 406-421.
73. Keefer D. K. Rock avalanches caused by earthquakes: source characteristics. *Science*, 1984, 223, pp. 1288–1290.
74. Keefer D.K. Investigating landslides caused by earthquakes - A historical review *Surveys in Geophysics. Surv. Of Geophys.*, 2002, 23, pp. 473-510.
75. Khazai B. and Sitar N. Evaluation of factors controlling. *Eng. Geol.*, 2003, 71, pp. 79–95.
76. Kirschbaum D, Huffman G, Adler R . 2012. Global Distribution of Extreme Precipitation and High-Impact Landslides in 2010 Relative to Previous Years. *J. of Hydrometeorology.v.13*, DOI: 10.1175/JHM-D-12-02.1
77. Kirschbaum D, Stanley T. 2018. Satellite-Based Assessment of Rainfall-Triggered Landslide Hazard for Situational Awareness. *Earth's Future*. doi:10.1002/2017EF000715
78. Korner J. H. The reach and velocity of catastrophic landslides and flowing snow avalanches. *Rock Mech.*, 1976, 8, pp. 225 – 236.
79. Li T. and M. Li. A preliminary study on landslide triggered by heavy rainfall. *Int. Symp. on Erosion, Debris Flow, and Disaster Prevention*, 1985, pp. 317-320, Sept. 3-5, Tsukuba, Japan.
80. Linker M., Dieterich J. H. Effects of variable normal stress on rock friction: Observations and constitutive equations. *J. Geophys. Res.* 1992, 97, 4923.
81. Lomnitz-Adler J., Knopoff L., Martinez-Mekler G. Avalanches and epidemic models of fracturing in earthquakes. *Phys. Rev. A*, 1992, 45, 2211.
82. Lursmanashvili O., Paatashvili T., Gheonjian L., De Rubeis V., Czechowski Z., Teisseyre R. (eds). *Synchronization and Triggering: from Fracture To Earthquake processes*, 2010, pp. 305-323.
83. Matcharashvili T., Chelidze T. complexity in natural structures and dynamics. Tbilisi, 2000, (in Georgian)
85. Matcharashvili T., Chelidze T., Peinke J. Increase of order in seismic processes around large reservoir induced by water level periodic variation. *Nonlinear Dynamics*, 2008, 51, 3, pp. 399-407.
86. Nagel S.R. Instabilities in a sandpile. *Rev. of Mod. Phys.* 1992, 64, 32.
87. Nasuno S., Kudrolli A. and J.P. Gollub. Friction in Granular Layers: Hysteresis and Precursors. *Phys. Rev. Lett.* 1997, 79, 949.
88. Nasuno S., Kudrolli A., Bak A. and Gollub J.P. Time-resolved studies of stick-slip friction in sheared granular layers. *Phys.Rev.E.*, 1998, 58, 2161.

89. National Disaster Risk Reduction Strategy of Georgia 2017-2020 (<http://pprdeast2.eu/wp-content/uploads/2015/08/DRR-Strategy-2017-Annex-1-EN.pdf>)
90. Ocakoğlu F., Gökçeoğlu C. and Ercanoğlu M. Dynamics of a complex mass movement triggered by heavy rainfall: A case study from NW Turkey. *Geomorphology*, 2002, 42 (3-4), pp. 329-341.
91. Ochiai H., Yanase H. and S. Matsuura. Measurements of earthquake motion and pore water pressure at the Yui landslide area. *Proc. 4th Int. Conf. and Field Workshop on Landslides*, Tokyo, Japan, 1985, pp. 203-208.
92. O'Loughlin C. L. and A. J. Pearce. Influence of Cenozoic geology on mass movement and sediment yield response to forest removal. *North Westland, New Zealand. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.* 1976, 14, pp. 41-46.
93. Peinke J., Matcharashvili T., Chelidze T., Gogiashvili J., Nawroth A., Lursmanashvili O., Javakhishvili Z. Influence of periodic variations in water level on regional seismic activity around a large reservoir. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 2006, Volume 156, Issues 1-2, pp. 130-142.
94. Pelletier J.D., Malamud B.D., Blodgett T.B. & Turcotte D.L. Scale-invariance of soil moisture variability and its implications for the frequency-size distribution of landslides. *Engineering Geology*, 1997, 48, pp. 255-268.
95. Perfettini H., Schmittbuhl J., Rice J.R., Persson B.N. *Sliding Friction. Physical Principles and Applications*, 2nd edn., Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2000.
96. Piciullo L, Gariano S, Melillo M, et al. 2017. Definition and performance of a threshold-based regional early warning model for rainfall-induced landslides. *Landslides*. 14, 995–1008
97. Pikovsky A., Rosenblum M. G., Kurth J. *Synchronization*. Cambridge Unt. Press, Cambridge, 2003, 411.
98. Pitman E., Long Le. A two-fluid model for avalanche and debris flows. *Phil. Trans. R. Soc. A.*, 2005.
99. Pudasaini Shiva P., Hutter K. *Avalanche dynamics: dynamics of rapid flows of dense granular avalanches*. Springer, 2006.
100. Pudasaini Shiva P., Fischer J-T. *A new two-phase erosion-deposition model for mass flows*. EGU, Vienna, Austria, 2016.
101. Pudasaini Shiva P. A general two-phase debris flow model. *JGR*, 2012, v. 117.
102. Rabinowitz E. *Proc. Phys. Soc. (London)*, 1958, 71, pp. 668-675.

103. Richardson E. & Marone C. Effect of normal stress vibrations on frictional healing. *J. geophys. Res.*, 1999, 104(B12), pp. 28 859–28 878.
104. Rouai M. and Jaaidi E.B. Scaling properties of landslides in the Rif mountains of Morocco. *Engineering Geology*, 2003, 68, pp. 353-359.
105. Ruina A.L. Slip Instability and State Variable Friction Laws. *J. Geophys. Res.* 1983, 88, 10359.
106. Saito H, Nakayama D, Matsuyama H. 2010. Relationship between the initiation of a shallow landslide and rainfall intensity—duration thresholds in Japan. *Geomorphology*. 118, 167–175.
107. Shaw B.E. Complexity in a spatially uniform continuum fault model. *Geophys. Res. Lett.* 1994, 21.
108. Schaeffer D.G. and Iverson R.M. Steady and intermittent slipping in a model of landslide motion regulated by pore-pressure feedback. *J. Appl. Math.*, 2008, 69, No. 3, pp. 769–786.
109. Scholz C .H. *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*, Cambridge Univ. Press, 1990, p. 438.
110. Starkel L. in *Geomorphology and Climate*, Edited by E. Derbyshire, 1976, pp. 203-246, John Wiley & Sons, New York.
111. Stanley T, Kirschbaum D. 2017. A heuristic approach to global landslide susceptibility mapping, *Nat. Hazards*, doi:10.1007/s11069-017-2757-y.
112. Stanley T, Kirschbaum D, Adler R, Peters-Lidard C, Huffman G, 2017. Approximating Long-Term Statistics Early in the Global Precipitation Measurement Era. *Earth Interactions*. v. 21
113. Svalova V.B. Mechanical-mathematical models of the formation and evolution of sedimentary basins. *Sci. de la Terre, Ser. Inf. Nancy*, 1992, V. 31. pp. 201–208.
114. Svalova V.B. “Sergeevskie chtenia”, 2009, pp. 323-326, (in Russian).
115. Sydle R.C. and Ochiai H. (2004) *Water resources monograph 18*, AGU, Washington, 2004, 312.
116. Tordesillas A., Zhou Z., Batterham R. 2018. A data-driven complex systems approach to early prediction of landslides. *Mechanics Research Communications*. <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2018.08.008>
117. Travelletti, J., Delacourt, C., Bastard, M., et al. 2012. Correlation of multi-temporal ground-based optical images for landslide monitoring: Application, potential and limitations. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 70:39-55.
118. Tsereteli E., et al. *Natural catastrophic event’s risks in Georgia’s mountain areas and problems of reduction*. Tbilisi, 2011.

- 119.Varamashvili N., Chelidze T., Lursmanashvili O. Phase synchronization of slips by periodical (tangential and normal) mechanical forcing in the spring-slider model. *Acta Geophysica*, 2008, 56, pp. 357-371, DO I: 10.2478/s11600-008-0006-1.
- 120.Varamashvili N., Chelidze T., Chelidze Z., Chikhladze V., Tefnadze D. Acoustic pulses detecting methods in granular media. *Journal of Georgian Geophysical Society*, 2013, v. 16.
- 121.Varamashvili N., Chelidze Z., Chelidze T. Acoustic pulses generated by landslide activation: laboratory modeling. *Journal of Georgian Geophysical Society*, 2014, v. 17.
- 122.Varamashvili N., Chelidze T., Devidze M., Chelidze Z., Chikhladze V., Surmava A., Chargazia Kh., Tefnadze D. Mass-movement and seismic processes study using Burridge-Knopoff laboratory and mathematical models. *Journal of Georgian Geophysical Society*, 2015, v. 18.
- 123.Varamashvili N., Chelidze T., Amilakhvari D., Dvali L. Laboratory modeling of landslide and seismic processes triggering. *Journal of Georgian Geophysical Society*, 2016, v. 19.
- 124.Varamashvili N., Devidze M., Chelidze T. (2015) Laboratory models of seismic and mass-movement process triggering. 26th IUGG General Assembly, <http://www.iugg2015prague.com/>.
- 125.Varamashvili N., Chelidze T., Chikhladze V., Chelidze Z., Seismic and mass-movement processes stimulation modeling, Schatzalp Workshop on Induced Seismicity, დავობი, შვეიცარია, 2017 წ., 14-17 მარტი, <http://www.seismo.ethz.ch/en/research-and-teaching/schatzalp-workshop/>.
- 126.Varnes D.J., Schuster RL, Krizek RJ (eds). *Landslides – analysis and control*. National Academic Sciences, Washington, D.C., Transportation Research Board Specifiction Report, 1978, 176, pp. 11–33.
- 127.Voight B. and Pariseau W.G. *Rockslides and Avalanches, I. Natural phenomena*. *Dev. Geotech. Eng.* 1978, V. 144, edited by B.Voight, pp. 1-67, Elsevier, New York.
- 128.Voight B. Materials science laws applied to time forecast of slope failure. in *Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides*, 1988, vol. 3, edited by C. Bonnard, pp. 1471 – 1472.
- 129.Voight B. A. A relation to describe rate-dependent material failure. *Science*, 1989, 243, pp. 200 – 203.

130. Wieczorek G, Glade T. 2005. Climatic factors influencing triggering of debris flows. In: Jakob M. & Hungr O. (Eds): Debris flow hazards and related phenomena.- Springer, Heidelberg 325-362.
131. Wright C. & Mella A. Modifications to the soil pattern of south-central Chile resulting from seismic and associated phenomena during the period May to August 1960, Bull. seism. SOC. Am., 1963, 53, pp. 1367-1402.
132. Yeend W.E. Slow-sliding slumps. Grand Mesa, Colorado: The Mountain Geologist, 1973, v. 10, pp. 25-28.
133. Yokoi Y., Carr J.R. & Watters R.J. Analysis of landslide block development process using its fractal character. J. of the Japan Society of Engineering Geology, 1996, 37(1), pp. 29-38.
134. Zon-Yee Yang and Yen-Hung Lee. The fractal characteristics of landslides induced by earthquakes and rainfall in central Taiwan. IAEG, 2006, Paper Number 48.
135. Savage S. B. & Hutter K. The motion of a finite mass of granular material down a rough incline. J. Fluid Mech. 1989, 199, pp. 177-215.
136. Hutter K., Siegel M., Savage S. B. & Nohguchi Y. Two-dimensional spreading of a granular avalanche down an inclined plane. I. Theory. Acta Mech. 1993 100, pp. 37-68.
137. Dixon N., Hill R. & Kavanagh J. Acoustic emission monitoring of slope instability: Development of an active wave guide system. Institution of Civil Engineers Geotechnical Engineering Journal, 2003, 156, 2, pp. 83-95.
138. Koerner R.M., McCabe W.M., & Lord A.E. Acoustic emission behaviour and monitoring of soils. In Acoustic Emission in Geotechnical Practice, ASTM STP 750, 1981.
139. Varamashvili N., Chelidze T., Devidze M., Chikhladze V., Chelidze Z. Laboratory and mathematical modeling of natural catastrophe. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 2017, 11 (2), (in press)
140. ნ. ვარამაშვილი, თ. ჭელიძე, ზ. ჭელიძე. აკუსტიკური ემისია მეწყრის გააქტიურების დროს. გეოფიზიკის აქტუალური პრობლემები (საერთაშორისო კონფერენცია), თბილისი, 2014.
141. დ. ამილახვარი, ლ. დვალი. მასების მოძრაობის და სეისმური პროცესის ლაბორატორიული მოდელირება. ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. LXVI, 2016
142. ნ. ვარამაშვილი, თ. ჭელიძე, მ. დევძე, ვ. ჩიხლაძე. გარეშე ფაქტორებით ტრიგერირებული მეწყრების ლაბორატორიული და მათემატიკური

მოდელირება. საველე კვლევები. ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. LXVIII, მონოგრაფია, თბილისი, 2017

143. www.youtube.com/watch?v=TzfRhpSMhFE)

144. Mathilde Desrues, David Michéa, André Stumpf, Jean-Philippe Malet. Development of innovative cost-effective autonomous telemetric early warning system for detecting floods, mudflows and rockfall initiation. European Centre on Geomorphological Hazards. M. Nodia Institute of Geophysics . European Centre “Geodynamical Hazards of High Dams. Project 2018-2019, Results 2018

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო
უნივერსიტეტი

IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY

მიხეილ ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, 2018

Mikheil Nodia Institute of Geophysics, 2018