

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
ფიზიკის მიმართულება



მეწყრული პროცესების ლაბორატორიული მოდელირება და
ვეივლეტ ანალიზი

ლევან დვალი

ხელმძღვანელები:

ასოცირებული პროფესორი ოლეგ ხარშილაძე

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო
უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდისას სახელობის გეოფიზიკის
ინსტიტუტის მთავარ მეცნიერ თანამშრომელი ნოდარ
ვარამაშვილი

სარჩევი

ანოტაცია.....	Error! Bookmark not defined.
შესავალი.....	4
მეწყერების მიმოხილვა, მეწყერი როგორც გეოფიზიკური საშიშროება.....	5
სტიკ-სლიპის (არათანაბარი ხახუნის) მოდელები: პერიოდული ზემოქმედების მოდელები.....	5
სტიკ-სლიპის ფიზიკა/მექანიკა	7
დიტრიბ-რუინას განტოლება (ხახუნის ძალის სიჩქარეზე და ლოდინის დროზე დამოკიდებულება)	8
ბურიჯ-კნოპოვის მოდელი.....	9
ლაბორატორიული დანადგარები.....	11
დანადგარი ბაზალტის ფილაზე ნიმუშების ჰორიზონტალური გადაადგილების შესასწავლად (ბურიჯ-კნოპოვის დანადგარი)	11
გაწევის ძალის გამზომი მოწყობილობა.....	12
დანადგარი დახრის ცვლადი კუთხის მქონე ბაზალტის ფილაზე ნიმუშების გადაადგილების შესასწავლად (ტრიგერირების დანადგარი)	14
დანადგარი დახრის ცვლადი კუთხის მქონე დახრილ ზედაპირზე ფხვიერი მასალების გადაადგილების შესასწავლად (მეწყერის მოდელირების დანადგარი).....	16
ექსპერიმენტული შედეგების რეგისტრაციის სისტემები	17
ტრიგერირების მოვლენის შესწავლა დახრილ დანადგარებზე მექანიკური ვიბრაციით ზემოქმედების და გაწყლიანების ცვლის პირობებში	18
ჩატარებული ექსპერიმენტები.....	23
მიღებული შედეგების რეგისტრაციის სისტემა	24
დამუშავების მეთოდები	25
მიღებული შედეგები მათი დამუშავება	27
დასკვნა.....	32
გამოყენებული ლიტერატურა.....	33

ანოტაცია

ნაშრომში წარმოდგენილია გარეშე ფაქტორებით ტრიგერირებული მეწყრების ლაბორატორიული და მათემატიკური მოდელირების შედეგები, აღნიშნული სამუშაოების ჩასატარებლად აწყობილი იქნა რამდენიმე ექსპერიმენტული დანადგარი. მეწყრული მოვლენების პროცესში მიმდინარე არათანაბარი ხახუნის (სტიკ-სლიპის) მოვლენების შესასწავლად მომზადდა ზამზარა-ბლოკის და ბურიჯ-კნოპოვის ტიპის დანადგარები, სადაც შესაძლებელია დახრის კუთხის ცვლილება და ექსპერიმენტების ჩატარება გარემოს ტენიანობის და გაწყლიანების ცვლილების პირობებში. ჩატარდა ლაბორატორიული სამუშაოები აკუსტიკური ემისიის საშუალებით მეწყრების კვლევაზე. ჩატარებულია სტიკ-სლიპის პროცესის მათემატიკური და რიცხვითი მოდელირების სამუშაოები. შეფასდა ტრიგერირების პირობები გარეშე პერიოდული ზემოქმედების და ტენიანობის ცვლილების შემთხვევებში. მიღებული შედეგები დამუშავდა სხვადასხვა სპექტრული და უახლესი მონაცემთა ანალიზის მეთოდების საშუალებით.

საკვანძო სიტყვები: გეოფიზიკა, მეწყერი, მეწყრის მოდელირება, ტრიგერირება, სპექტრული ფურიე და ვეივლეტ ანალიზი.

The work presents the results of the laboratory and mathematical modeling of landslides triggered by the non-existent factors, and several experimental devices have been arranged to carry out these works. The spring-block and Burridge-Knopoff type devices, where possible, change of angle and experimentation in the conditions of environmental moisture and wrenching have been created to study the events of the uneven friction (stick-slip) in the process of landslide events. The laboratory works were carried out through the acoustic emission of landslide research. The mathematical and numerical modeling of the stick-slip process has been done. Triggering conditions were evaluated without periodic impact and moisture change. The obtained results were processed by different spectral and advanced data analysis methods.

Keywords: geophysics, landslides, landslide modeling, triggering, spectral fourier and wavelet analysis.

შესავალი

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. მიწისძვრები და მეწყრები რჩებიან ძირითად ბუნებრივ საშიშროებად ადამიანის სიცოცხლისა და ჯანმრთელობისათვის. მეწყერი ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საშიშროებაა ადამიანის ცხოვრების, ეკონომიკისა და ინფრასტრუქტურისათვის. მეწყერი ხშირად ტრიგერირდება მიწისძვრიდან ან მცირე გარე ზემოქმედებისაგან. მაგალითად, 1991-92 წლებში რაჭის მიწისძვრის დროს საქართველოში 20 ათასი მეწყერი გააქტიურდა და რამდენიმე ახალი წარმოიქმნა. 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. საქართველოს შემთხვევაში წარმოდგენილი პროექტის პრაქტიკული მნიშვნელობა ძალზედ დიდია, ვინაიდან განხილვის პროცესში მყოფი რამდენიმე დიდი საინჟინრო პროექტის (კაშხლები, გაზის მიწისქვეშა საცავი და ა. შ.) რეალიზების შემდეგ, შესაძლებელია დედამიწის ქერქში არსებული დამაბულობების შეცვლა. იმის გათვალისწინებით, რომ საქართველო მდებარეობს სეისმურად აქტიურ რეგიონში, აუცილებელია იმის შესწავლა თუ რა შედეგები შეიძლება გამოიწვიონ მეწყრების/სეისმური პროცესის დინამიკაში (როგორცაა ტრიგერირება და სინქრონიზაცია) დამაბულობის ამ მცირე ცვლილებებმა.

საჭიროა მეწყრული და ღვარცოფული პროცესების მომზადების და მიმდინარეობის საფუძვლიანი შესწავლა, რათა მოიძებნოს მათი საშიშროების და რისკის შემცირების გზები.

ფართომასშტაბიანი ექსპერიმენტები და სავლე დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ მეწყერმა შეიძლება გამოავლინოს ნელი და სტაბილური სრიალი, ეპიზოდური სტიკ-სლიპი ან უეცარი აჩქარება.

შემოთავაზებული სამუშაოს მიზანია განავითაროს საბაზისო კვლევები წარმოდგენილი მიმართულებით. მათ შეუძლიათ ნათელი მოჰფინონ მეწყრების გენერაციის ფიზიკურ მექანიზმს, დაგვეხმაროს მეწყრების და სეისმური პროცესის თეორიული მოდელის გაუმჯობესებაში და რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, შეიძლება დაგვეხმაროს კრიტიკული მდგომარეობის მიახლოებისას მეწყერზე და სეისმურ პროცესზე მცირე გარეშე ზემოქმედების გავლენის მექანიზმის საფუძვლების გარკვევაში. ეს შედეგები დაგვეხმარება შემდგომი სამუშაოების წარმართვაში: მეწყრების მონიტორინგის ოპტიმალური მეთოდების შემუშავებაში და მეწყერის საშიშროების შემცირების პრაქტიკული საშუალებების შემუშავებაში.

მეწყერების მიმოხილვა, 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 ზვაში. 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 მეწყერის მომზადების პროცესის დინამიკის ყოვლისმომცველი გამოკვლევა. კერძოდ, ლაბორატორიული ცდებით ჩვენ გვინდა შევაფასოთ გარეშე სუსტი ზემოქმედების ან გავლენის (ანუ, ტენიანობის, სეისმური რყევის, ტემპერატურის და სხვა პარამეტრების ცვლილებით) ეფექტი მეწყერის და სეისმური პროცესის მოხდენის ალბათობაზე. 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. ფართომასშტაბიანი ექსპერიმენტები და სავლელ დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ მეწყერმა შეიძლება გამოავლინოს ნელი და სტაბილური სრიალი, ეპიზოდური სტიკსლიპი ან უეცარი აჩქარება. მიწისძვრები და მეწყერები რჩებიან ძირითად ბუნებრივ საშიშროებად ადამიანის სიცოცხლისა და ჯანმრთელობისათვის. მეწყერი ასევე ერთი მნიშვნელოვანი საშიშროებაა ადამიანის ცხოვრების, ეკონომიკისა და ინფრასტრუქტურისათვის. მეწყერი ხშირად ტრიგერირდება მიწისძვრიდან ან მცირე გარე ზემოქმედებისაგან. ამიტომ მიწისძვრის მახასიათებლების, სტატიკის დინამიკის გაგება, რათა გავიგოთ მეწყერების ფიზიკური ბუნება და შევამციროთ მათი რისკი, მნიშვნელოვანი სამეცნიერო და პრაქტიკული პრობლემაა.

სტიკ-სლიპის (არათანაბარი ხახუნის) მოდელები: პერიოდული

ზემოქმედების მოდება

სეისმური პროცესის და ასევე მასათა მოძრაობის თანამედროვე კონცეფცია ძირითადად ეყრდნობა არამდგრადი ხახუნის მოდელს, რომელიც ვითარდება უკვე არსებულ ტექტონიკურ რღვევაზე ან სრიალის ზედაპირზე. დიტრიხ-რუინას განტოლება ძვრის დამაბულობისათვის აღწერს, ექსპერიმენტების საფუძველზე მიღებულ, სრიალის პრაქტიკულად ყველა მახასიათებელს. გვიჩვენებს, რომ ხახუნის ძალა არ არის მუდმივი სიდიდე და განიცდის დროში რთულ ევოლუციას. განტოლებას არაწრფივი სახე აქვს,

შესაბამისად, სრიალის პროცესი უნდა იყოს ძალიან მგრძობიარე სუსტი გარეგანი ზემოქმედებისადმი, უნდა იყოს ჰისტერეზისის ეფექტი და ა.შ. ბუნებრივია, რომ ხახუნის არამდგრადობები აღძრავს რხევებს, მათ შორის აკუსტიკურ ემისიას. როგორც მოსალოდნელია, აკუსტიკური ემისია აღიმკვრება სრიალის დროს და არ არის უძრავობის ფაზაში. ჩვენ ვთვლით, რომ აკუსტიკურმა გაზომვებმა შეიძლება გამოავლინონ ხახუნის მექანიზმის დეტალები, რომლებიც პირდაპირი გაზომვებით არ დაიკვირვება. დამატებითი ზემოქმედება, რომელიც შეიძლება ბევრად მცირე იყოს ძირითად გამწევ ძალაზე სტიკ-სლიპის პროცესში შეიძლება გამოიწვიოს ტრიგერირება და სინქრონიზაცია, რაც ნიშნავს, რომ ეს მოვლენები ობიექტების არაწრფივი ურთიერთქმედების შედეგია. ხდება სრიალის სიჩქარის და მდგომარეობის განტოლების განზოგადების და ანალიზის მცდელობა.

ხახუნის მოდელი (ცხრილი 1) განვითარდა ამონტონის კანონიდან, სადაც ძვრის დამაბულობა τ ნორმალური დამაბულობის σ_n პროპორციულია, ხახუნის მუდმივი μ კოეფიციენტით. კულონმა კოჰეზიური კონტაქტის გამოსათვლელად შემოიტანა დამატებითი c წევრი. ჰუბერტმა და რუბეიმ შემოგვთავაზეს ფოროვანი წნევის P_p ახსნა. ფუნდამენტური პროგრესი განხორციელდა დიტრიხის ექსპერიმენტებით და რუინას თეორიული ანალიზით, რომელიც გვიჩვენებს, რომ ხახუნის ძალა დამოკიდებულია სიჩქარე-მდგომარეობაზე (ცხრილში V არის მყისი და V_0 - საწყისი სიჩქარე, Θ არის მდგომარეობის პარამეტრი და L არის მახასიათებელი მანძილი).

ცხრილი 1

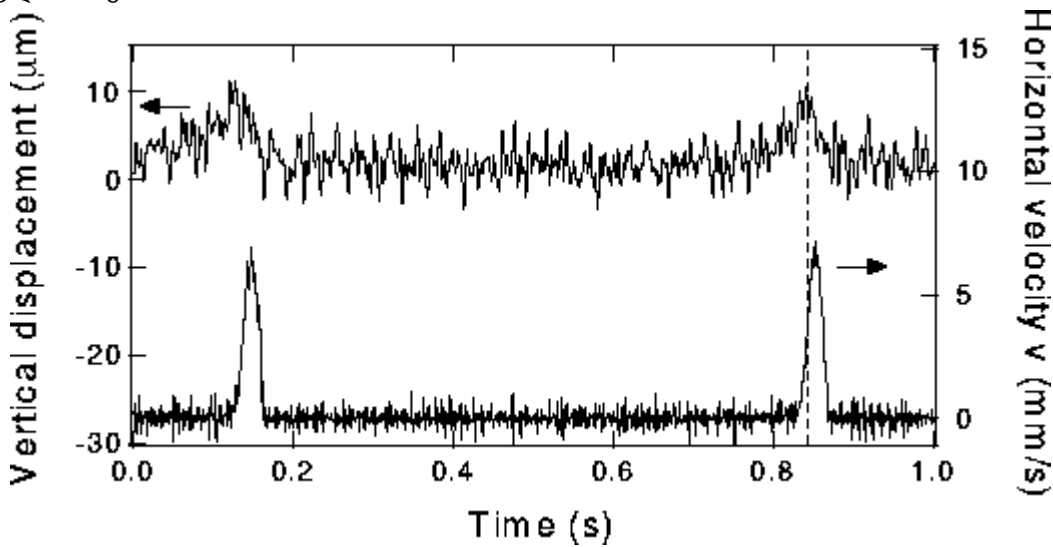
დროის ისარი ↓	Amonton, 1699	$\tau = \sigma_n \mu$
	Coulomb, 1773	$\tau = c + \sigma_n \mu$
	Hubbert and Rubbey, 1959	$\tau = c + \mu(\sigma_n - P_p) = c + \sigma_n \mu_{eff}$
	Dietrich, 1972, Ruina, 1983	$\tau = [\sigma_n \mu + a \ln(V/V_0) + b \ln(V_0 \Theta / L)] \sigma_{eff};$ $d\Theta/dt = 1 - (V\Theta/L)$

ცხრილში წარმოდგენილი ბოლო ფენომენოლოგიური გამოსახულება ძვრის დამაბულობისათვის აღწერს, ექსპერიმენტების საფუძველზე მიღებულ, სრიალის პრაქტიკულად ყველა მახასიათებელს: გვიჩვენებს, რომ ხახუნის ძალა არ არის მუდმივი სიდიდე და განიცდის დროში რთულ ევოლუციას. განტოლებას არაწრფივი სახე აქვს, შესაბამისად, სრიალის პროცესი უნდა იყოს ძალიან მგრძობიარე სუსტი გარეგანი ზემოქმედებისადმი, უნდა იყოს ჰისტერეზისის ეფექტი და ა.შ. გეოფიზიკოსებს ბევრი მონაცემი დაუგროვდათ სეისმურ და ზოგადად გეოფიზიკური მოვლენების რეჟიმზე მცირე გარე ზემოქმედების მნიშვნელოვან გავლენაზე, კერძოდ ბირთვული აფეთქებების, ძლიერი მიწისძვრების, სამთო საქმიანობის და წყალსაცავები დატვირთვის, თოვლის დნობის, ძლიერი ელექტრული იმპულსების და მიმოქცევების.

სტიკ-სლიპის ფიზიკა/მექანიკა

ზედაპირის ფიზიკიდან კარგადაა ცნობილი, რომ ხახუნის (ადგეზია) ძალა F_f არის ძირითადად ელექტრომაგნიტური ბუნების მოლეკულათაშორისი და ზედაპირთაშორისი ძალების შედეგი: i. წმინდა ელექტროსტატიკური (კულონის) ძალები, ii. პოლარიზაცია დიპოლური მომენტების ინდუცირების შედეგად და iii. კვანტურ-მექანიკური ძალები. ხახუნი იწვევს ენერჯის გადაცემას და გაბნევას. მოძრაობის კინეტიკური ენერჯია გარდაიქმნება სითბურ ენერჯიად. სრიალის დროს არასტაბილურობას ადგილი აქვს, როდესაც ხახუნი სისტემას აძლევს მეტ ენერჯიას, ვიდრე შეიძლება გაიზნეს სტაციონალური პროცესის დროს.

უნდა აღინიშნოს, რომ სრიალის გასწვრივ ლატერალურ მოძრაობას ყოველთვის უსწრებს მცირე ვერტიკალური მოძრაობები, რომლებიც აუცილებელია ხორკლების გადასალახად; მისი სიდიდე დამოკიდებულია ზედაპირის ხორკლიანობაზე და ნორმალურ დაძაბულობაზე.



ზედა ფილის ვერტიკალური წანაცვლების D_v და ტანგენციალური სიჩქარის V_t დროზე დამოკიდებულება

როგორც ჩანს, პერკოლაციის თეორიას, კერძოდ შემხები ფრაქტალური ზედაპირების ტანგენციალური წანაცვლების პერკოლაციური მოდელით შეიძლება აიხსნას ხახუნის კოეფიციენტის სტატიკურიდან კინეტიკურისაკენ გადასვლა, მოხახუნე ფრაქტალური ზედაპირების საკონტაქტო წერტილების კრიტიკული რაოდენობის მიღწევისას. ეს დაშვება დასტურდება გასრიალების წინამორბედი მცირე ვერტიკალური წანაცვლების ექსპერიმენტული მონაცემებით (მოცემულია ზედა გრაფიკზე), საიდანაც ჩანს, რომ საკონტაქტო წერტილების რაოდენობა n მცირდება კრიტიკულ n_c მნიშვნელობამდე, რაც შესაძლებელს ხდის მაკროსკოპულ ტანგენციალურ წანაცვლებას. რღვევის პერკოლაციური

მოდელის მსგავსი მათემატიკური ფორმალიზმი შეიძლება დამუშავდეს სრიალის პროცესისათვის.

დიტრიხ-რუინას განტოლება (ხახუნის ძალის სიჩქარეზე და ლოდინის დროზე დამოკიდებულება)

ამონტონ-კულონის კანონის მიხედვით, ჩვეულებრივ მდგომარეობაში კინეტიკური ხახუნის ძალა F_{kin} არაა დამოკიდებული სრიალის სიჩქარეზე. როდესაც ერთი ფილა სრიალებს მეორეზე, გამყოფ ზედაპირზე ხდება ფაქტიური კონტაქტების მრავალჯერადი ფორმირება და გაწყვეტა. როდესაც ფაქტიური კონტაქტი ფორმირდება ის ფიქსირდება ლოკალურად. დროთა განმავლობაში წერტილის გარშემო იზრდება დრეკადობის ენერგია და საბოლოოდ კონტაქტი ტყდება და ხდება ლოკალური გასრიალება. წერტილის გარშემო დაგროვილი ენერგია თავისუფლდება და განიბნევა. წარმოიშვება კინეტიკური ხახუნის ძალა. სისტემა იმეორებს სტიკ-სლიპის ლოკალურ მოძრაობა, თუნდაც ის მთლიანობაში სტაციონალურად მოძრაობდეს. სიჩქარის მასშტაბი, რომელიც განსაზღვრავს კინეტიკური ხახუნის ძალას, არის ლოკალური სრიალის სიჩქარე, რომელიც ბევრად დიდია მოძრავი ფილის სრიალის სიჩქარეზე. შედეგად, ჯამური კინეტიკური ხახუნის ძალა არაა დამოკიდებული ჩვეულებრივ მდგომარეობაში ფილის სრიალის სიჩქარეზე. თუმცა ბევრი მყარი სხეულისათვის კინეტიკური ხახუნის ძალა დამოკიდებულია სიჩქარეზე. მაგალითად, ქანებს შორის კინეტიკური ხახუნი ლოგარითმულადაა დამოკიდებული სიჩქარეზე. სიჩქარეზე დამოკიდებულება არაა ძალიან მნიშვნელოვანი და ჩვეულებრივ მდგომარეობაში დიდ როლს არ თამაშობს, მაგრამ გარკვეულ შემთხვევებში ძალიან მნიშვნელოვანია. ცნობილია ასევე, რომ მაქსიმალური სტატიკური ხახუნის ძალა ლოდინის დროსთან ერთად ლოგარითმულად იზრდება. ეს გამოწვეულია კონტაქტის ფაქტიური ფართობის ლოგარითმული ზრდით, რაც არის ფაქტიური საკონტაქტო წერტილების პლასტიკური დეფორმაციის შედეგი.

ლოდინის დროზე სტატიკური ხახუნის ძალის დამოკიდებულებას მჭიდრო კავშირი აქვს კინეტიკური ხახუნის ძალის სიჩქარესთან დამოკიდებულებასთან. როგორც აღნიშნული იყო, როდესაც ერთი მყარი სხეული მუდმივი სიჩქარით სრიალებს მეორეზე, ლოკალური სტიკ-სლიპის მოძრაობა ხდება რეალურ საკონტაქტო წერტილებზე და ხდება მათი მრავალჯერადი გადაწყობა. როდესაც კონტაქტი ფორმირდება ლოდინის დრო იზრდება უძრაობის პერიოდში და ამის შემდეგ იზრდება ამ კონტაქტებზე სტატიკური ხახუნის ძალა. რეალური საკონტაქტო წერტილების მიწებების საშუალო დრო, რასაც ჩვენ კონტაქტის დროს ვეძახით, სრიალის სიჩქარის უკუპროპორციულია. აქედან გამომდინარე, ხახუნის კინეტიკური ძალა მცირდება ლოგარითმულად სრიალის სიჩქარესთან დამოკიდებულებით.

ეს მექანიზმი, სრიალის დიდი სიჩქარეებისათვის, ამცირებს ხახუნის კინეტიკურ ძალას. მაგრამ, კინეტიკური ხახუნის ძალის სიჩქარეზე დამოკიდებულების ნიშანი დამოკიდებულია მდგომარეობაზე. არსებობს ფაქტორები, რომლებიც იწვევენ სიჩქარის ზრდასთან ერთად

კინეტიკური ხახუნის ლოგარითმულ ზრდას. ეს არის სითბური აქტივაციის პროცესი. როდესაც ორი მყარი სხეული სრიალებს ერთმანეთზე, ხდება რეალური კონტაქტების ფორმირება და მსხვრევა. თერმული ფლუქტუაციის მცირე ტემპერატურა, მცირე სიჩქარის შემთხვევაში ხელს უწყობს ფაქტიური კონტაქტების მსხვრევას და ამცირებს კინეტიკურ ხახუნის ძალას. მაღალი სრიალის სიჩქარის შემთხვევაში თერმული ფლუქტუაცია არაეფექტურია, რადგან მაღალი სიჩქარე ამტვრევს რეალურ კონტაქტებს ძალით და კინეტიკური ხახუნის ძლა იზრდება.

ხახუნის ძალის ასეთი ქცევა კარგად აღიწერება ძირითადი კანონით, რომელიც შემოთავაზებულია დიტრიხის და რუინას მიერ. მას ასეთი სახე აქვს:

$$\mu = \mu_0 + A \ln \left(1 + \frac{V}{V_0} \right) + B \ln \left(1 + \frac{\theta}{\theta_0} \right),$$

სადაც μ არის ხახუნის კოეფიციენტი, V სრიალის სიჩქარე და θ მდგომარეობის მუდმივა. A, B, μ_0, V_0 და θ_0 გარკვეული მუდმივებია. განტოლების ლოგარითმული ფუნქციის ცვლადში დამატებულია 1, რათა ავიცილოთ ფუნქციის განშლადობა. ჩვენ განვიხილავთ შემთხვევას, როდესაც ეს შეიძლება უგულვებელვყოთ. მდგომარეობის ფუნქციის θ დროში ევოლუცია მოცემულია შემდეგნაირად

$$\frac{d\theta}{dt} = 1 - \frac{\theta V}{D_c},$$

სადაც D_c არის მუდმივა სიგრძის განზომილებით. წარმოდგენილი განტოლების ამონახსნს შემდეგი სახე აქვს

$$\theta(t) = \int_0^1 \exp \left\{ -\frac{x(t) - x(t')}{D_c} \right\} dt',$$

სადაც დროის ათვლა იწყება მყარი სხეულების კონტაქტის დაწყებიდან. როგორც ზედა განტოლებიდან ჩანს $\theta(t)$ არის კონტაქტის ასაკი და D_c არის მეხსიერების მანძილი. სისტემიდან იშლება ინფორმაცია, როდესაც $x(t) - x(t')$ გადააჭარბებს D_c -ს.

სტაციონალური სრიალის შემთხვევაში მდგომარეობის მუდმივა არ უნდა შეიცვალოს.

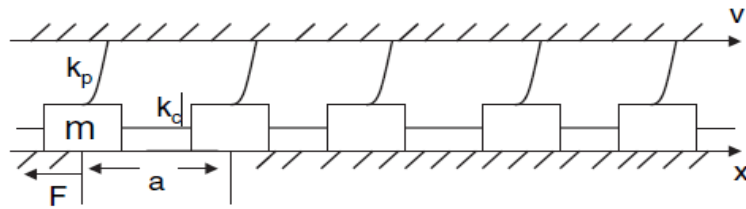
ჩვენ მივიღებთ $\theta = \frac{D_c}{V}$. ამას თუ ჩავსვავთ (21) განტოლებაში, მივიღებთ ხახუნის კოეფიციენტის დროზე დამოკიდებულების გამოსახულებას

$$\mu = \text{const.} + (A - B) \ln(V),$$

აქ $(A - B)$ - ს ნიშანი განსაზღვრავს კინეტიკური ხახუნის ძალის სიჩქარეზე დამოკიდებულებას. როდესაც $(A - B) > 0$ ხახუნის ძალას აქვს სიჩქარის ზრდის ქცევა, ხოლო როდესაც $(A - B) < 0$ ადგილი აქვს სიჩქარის შემცირების ქცევას.

ბურიჯ-კნოპოვის მოდელი

ცნობილია, რომ ბურიჯის და კნოპოვის მიერ შემოთავაზებული მოდელით, რომელიც არის ზამზარა-ბლოკის სახეობა, შეიძლება გავიმეოროთ გუტენბერგ-რიხტერის კანონი. მოდელი ნაჩვენებია ნახაზზე.



ბურიჯ-კნოპოვის მოდელის სქემატური წარმოდგენა

ზედა ფილა მოძრაობს მუდმივი v სიჩქარით. ბლოკი, რომლის მასაა m , წრფივი k_p სიხისტის მქონე ზამბარით შეერთებულია ზედა ფილასთან. ბლოკები ერთმანეთთან ასევე შეერთებულია წრფივი k_c სიხისტის მქონე ზამბარებით. ხახუნის ძალა მოქმედებს ქვედა ბლოკსა და თითოეულ ბლოკს შორის. ბუნებრივი კატასტროფების მოდელირებისათვის აუცილებელი პირობაა სიჩქარის შემცირების ქცევა. მოდელის მოძრაობის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე

$$m\ddot{x}_i = k_p(vt - x_i) + k_c(x_{i+1} + x_{i-1} - 2x_i) - \phi(\dot{x}_i) \quad (2.5)$$

აქ x_i არის i -ური ბლოკის კოორდინატი. განზომილებისგარეშე განტოლების მისაღებად

საჭიროა დროის ერთეულის $\sqrt{\frac{m}{k_p}}$ და სიგრძის ერთეულის $\frac{\phi_{stat}^{max}}{k_p}$ შემოღება, სადაც ϕ_{stat}^{max} სტატიკური ხახუნის ძალის მაქსიმუმია, და გავზომოთ დრო და სიგრძე ამ ერთეულებში. მაშინ მოძრაობის ნორმალიზებულ განტოლებას ექნება სახე

$$\ddot{x}_i = (vt - x_i) + l^2(x_{i+1} + x_{i-1} - 2x_i) - \phi(\dot{x}_i) \quad (2.6)$$

სადაც $l = \sqrt{\frac{k_c}{k_p}}$ არის სიხისტის უგანზომილებო პარამეტრი და x_i, t, v და $\phi(\dot{x}_i)$ არიან ნორმალიზებული უგანზომილებო სიდიდეები. მიწისძვრების და ასევე ხშირად მეწყრების შემთხვევაშიც დატვირთვის სიჩქარე ძალიან მცირეა კატასტროფის სიჩქარესთან შედარებით. ამიტომ ჩვენ ვიღებთ ზღვარს $v \rightarrow 0$. კარლსონის და სხ., მიხედვით $\phi(\dot{x}_i)$ -ს აქვს სახე

$$\phi(\dot{x}_i) = \frac{1 - \sigma}{1 + \frac{2\alpha\dot{x}_i}{1 - \sigma}} \quad (2.7)$$

$\dot{x}_i > 0$ - თვის, და სტატიკური ხახუნის ძალის მაქსიმუმი დატვირთვის მიმართულებით არის ერთეული და საპირისპირო მიმართულებით $-\infty$. ეს ნიშნავს, რომ არცერთი ბლოკი არ მოძრაობს დატვირთვის საწინააღმდეგო მიმართულებით. σ არის განსხვავება სტატიკური ხახუნის მაქსიმალურ ძალასა და სიჩქარის ნულოვან ზღვარში კინეტიკურ ხახუნის ძალას შორის. α არის კინეტიკური ხახუნის ძალის სიჩქარის შემცირების ქცევის ზომა. გამოთვლებისას გამოყენებული იყო $l = \sqrt{60}$, $a = 1$, $\sigma = 0.01$ და $\alpha = 4$.

ლაბორატორიული დანადგარები

ლაბორატორიული 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.

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 ლაბორატორიული 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. ბაზალტის ფილა დამზადებულია მარნეულის საბადოების მცირე ფოროვან მასალისგან. 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.



სურ.1. დანადგარი ბაზალტის ფილაზე ნიმუშების ჰორიზონტალური გადაადგილების შესასწავლად

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

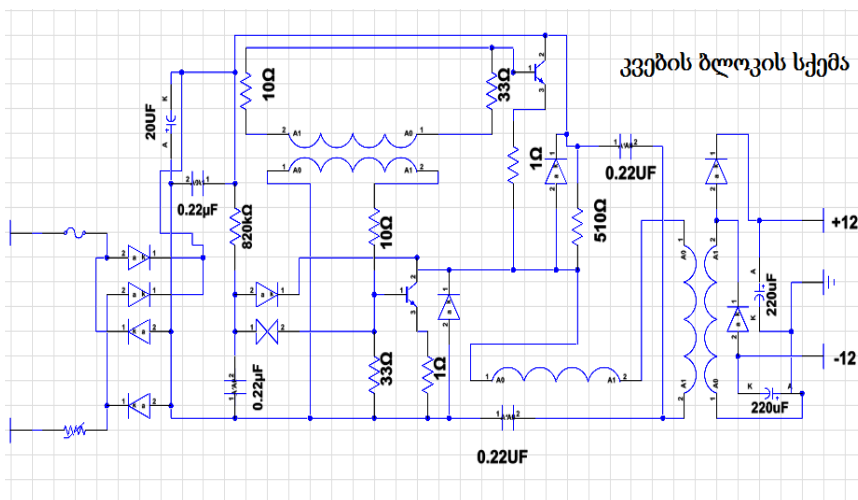
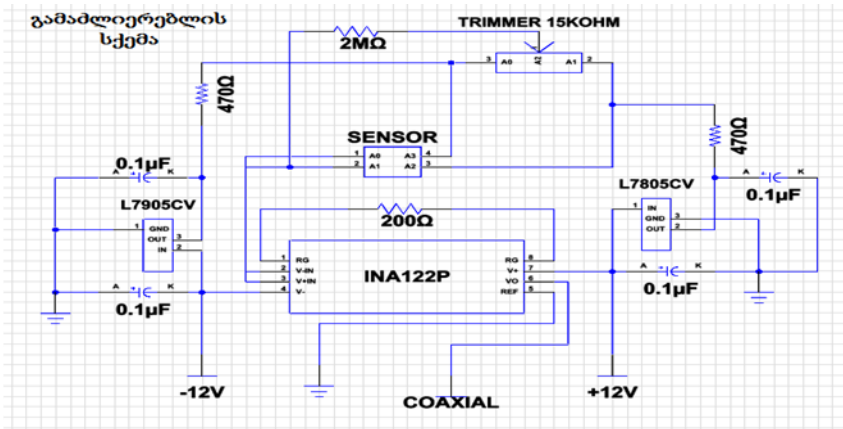


სურ.2. საქაჩი ურიკა ჩამიკიდული ნიმუშებით.

გაწვევის ძალის გამზომი მოწყობილობა

რედუქტორიდან საქაჩი ძალის პარალელურობის და ჰორიზონტალურობის უზრუნველსაყოფად, დამონტაჟებულია გასწვრივი განაჭრებიანი სპეციალური ფერმა, რომელზედაც დამაგრებულია ორი ბურთულსაკისრიანი ტექსტოლიტის ჭოჭონაქი. ექსპერიმენტის საჭიროებებიდან გამომდინარე, შესაძლებელია ჭოჭონაქების გადაადგილება და ახალ ადგილას სწრაფი და საიმედო ფიქსირება. საქაჩი მოწყობილობა, ხმაურის და ვიბრაციის თავიდან ასაცილებლად, ცალკე სადგამზეა დამონტაჟებული და დამატებითი სამსაფეხურიანი კბილანა რედუქტორით აღჭურვილ საავიაციო ელექტროძრავა-რედუქტორს წარმოადგენს. გაქაჩვის სიჩქარის რეგულირება და სტაბილობა მიიღწევა T3C-14 ტიპის კვების სტაბილიზირებული წყაროთი. დანადგარზე აგრეთვე ელექტრონული კვარცის სასწორის ბაზაზე შექმნილი ელექტრონული დინამომეტრებია დამონტაჟებული. ორიგინალური ელექტრონული დინამომეტრის შესაქმნელად იყო გამოყენებული სამრეწველო ელექტრონული სასწორის სენსორი - გარდაქმნელი, რომელიც მექანიკურ დატვირთვას გარდაქმნის მის პროპორციულ მუდმივ ელექტრულ დამაბულობად. ვინაიდან გამოსავალი ძაბვის სიდიდე ძალიან მცირეა, პიკოსკოპით მისი რეგისტრაციისთვის საჭირო გახდა წრფივი გამაძლიერებლის შექმნა. გამაძლიერებელი შეიქმნა სპეციალიზირებული INA

122P ტიპის მიკროსქემის ბაზაზე. გამაძლიერებელი მოთავსებულია ეკრანირებულ კორპუსში. იქვე იყო განლაგებული სენსორის კვებისთვის საჭირო ორი სპეციალიზირებული L7905CV და L7805CV ტიპის ძაბვის გარდაქმნელი, რომლებიც კვების ბლოკიდან მიღებულ სტაბილიზირებულ +12 და -12 ვოლტ ძაბვას გარდაქმნიდნ ასევე სტაბილიზირებულ +5 და -5 ვოლტ ძაბვაში. ქვემოთ მოყვანილია გამაძლიერებლის და კვების წყაროს სქემები [136,163].



ნახ.3. ციფრული დინამომეტრის გამაძლიერებლის და კვების ბლოკის სქემები.

ერთერთი დინამომეტრი საქაჩი ურიკის წინ არის დამონტაჟებული და არეგისტრირებს იმ ძალას, რომელიც საქაჩოა მოვდოთ ერთი ან რამოდენიმე მცირე ზომის ბაზალტის ფილას მოდებული ურიკის გადასაადგილებლად. მეორე დამონტაჟებულია საქაჩი ვერტიკალურ მონაკვეთზე დიდი ფილის ზედაპირზე მცირე ზომის ბაზალტის ფილების გადასაადგილებლად.

დანადგარი დახრის ცვლადი კუთხის მქონე ბაზალტის ფილაზე ნიმუშების გადაადგილების შესასწავლად (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 [135].



სურ.4. დანადგარი დახრის ცვლადი კუთხის მქონე ბაზალტის ფილაზე ნიმუშების გადაადგილების შესასწავლად.

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



სურ.5. ლაზერული მანძილმზომი და დახრისმზომი. გრუნტის და მასალების ტენიანობის გამზომი.

დინამიური რეჟიმის გამოყენებისას დახრის კუთხის 0-დან 47°-მდე უწყვეტი ცვლა სხვადასხვა სიჩქარით ხდება. მართვა ხელით ხორციელდება. დახრილობის კუთხის კონტროლი ხდებოდა ორიგინალური ლაზერული მანძილმზომი/დახრილმზომით Leica DISTO™ D8. მას შეუძლია მანძილების უკონტაქტო გაზომვა 0,050-დან 200 მეტრ მანძილამდე ± 1 მმ სიზუსტით, ფართობების და მოცულობების გამოთვლა, გაზომვების შედეგების დამახსოვრება (BLUETOOTH®), დახრილობის კუთხის გაზომვა - $0.1^\circ / +0.2^\circ$ სიზუსტით. 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.



სურ.6. სამაგრი წერტილები ბაზალტის ფილაზე (მარცხენაზე დამაგრებულია დაბალსიხშირული სეისმომომღები)

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

განვიხილოთ დანადგარი დახრის ცვლადი კუთხის მქონე დახრილ ზედაპირზე ფხვიერი მასალების გადაადგილების შესასწავლად [135,136]. 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.

ექსპერიმენტების ჩატარებისას გამოიყენებოდა რიგი სამრეწველო და ორიგინალური ხელსაწყო-მოწყობილობისა - ბაზალტის ფილებში რხევების აღძვრისთვის გამოიყენებოდა CB-5, CB-20, СПЗД-56 ტიპის მოდიფიცირებული დაბალსიხშირიანი ვერტიკალური სეისმომიმღებები. მათი კვება ხორციელდებოდა FG-100 DDS Function Generator ან სპეციალური ფორმის სიგნალების მქონე Г6-34 ტიპის გენერატორით, რომელიც უზრუნველყოფდა 0,001 ჰც-დან 1 მჰც-მდე სიხშირულ დიაპაზონში ხერხისებრი, სინუსოიდალური და სამკუთხა სიგნალების გამომუშავებას.

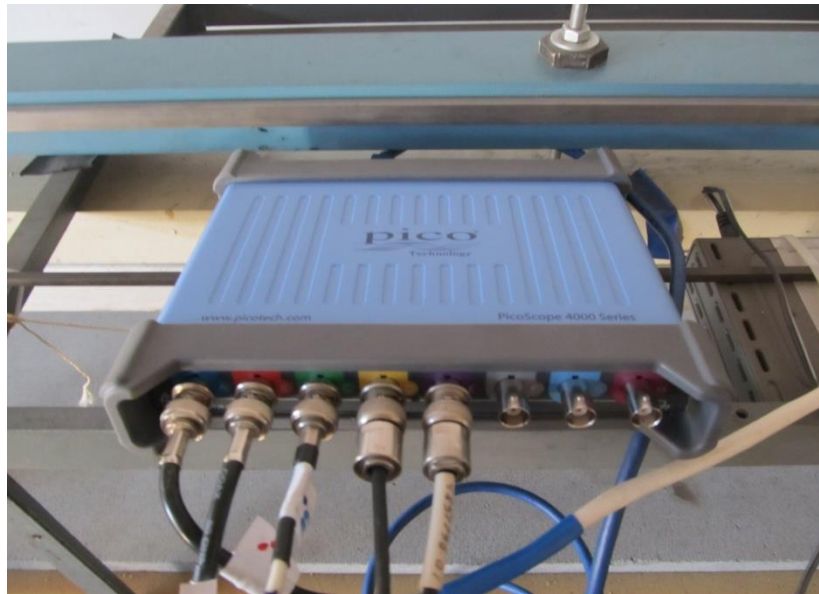


სურ.7. დანადგარი დახრის ცვლადი კუთხის მქონე დახრილ ზედაპირზე ფხვიერი მასალების გადაადგილების შესასწავლად.

ექსპერიმენტული შედეგების რეგისტრაციის სისტემები

ინფორმაციის მიმღებების როლში გამოიყენებოდა მათი გაჩენის ადგილიდან დრეკადი მექანიკური ტალღების ელექტრულ სიგნალში აკუსტიკური ემისიის გარდაქმნელები. კერძოდ П111-0,1-П31MC ტიპის პიეზოგადამწოდები, MXR9500G/M ტიპის სამღერძიანი აქსელერომეტრები, CB-5, CB-20, СПЗД-56 ტიპის დაბალსიხშირული სეისმომიმღებები, აგრეთვე ელექტრონული დინამომეტრები. ყველა შეერთება ეკრანირებული მავთულით იყო შესრულებული.

ბუნებრივია, მიღებული სიგნალების რეგისტრაციისთვის, შენახვისა და დამუშავებისთვის გამოიყენებოდა როგორც ერთარხიანი, ასევე სამარხიანი ელექტრონული გამამლიერებლები, აგრეთვე Picoscope 3000 Series და Picoscope 4000 Series სისტემები, რომელიც იძლევა შესაძლებლობას სრულად გამოვიყენოთ თანამედროვე პერსონალური კომპიუტერების დიდი შესაძლებლობები გაძლიერების, გაზომვების, სიგნალის რეგისტრაციის და დამუშავების საკითხებში როგორც უნივერსალური მაღალსიხუსტიანი მრავალარხიანი მულტიმეტრი და აგრეთვე ინფორმაციის შესანახად.



სურ.8. რვა არხიანი PicoScope 4824

და აგრეთვე უფრო სრულყოფილი PicoScope 4824, რომელიც წარმოადგენს რვა არხიან USB ოსცილოგრაფს სიგნალების ნებისმიერი ფორმის ჩაშენებული გენერატორით. ოსცილოგრაფის გატარების ზოლი 20 მჰც-ია, დისკრედიტაციის სიჩქარე 60 მეგა გამორჩევა წამში დროის რეალურ მასშტაბში, ჩაშენებული მეხსიერების მოცულობაა 256 მეგა გამორჩევა და ვერტიკალური გარჩევიუს უნარი 12 ბიტია. Picoscope 4824 გააჩნია 8 ანალოგური არხი და მაღალი გარჩევის უნარი, რაც საშუალებას იძლევა ერთდროულად შეასრულოს როგორც სიმძლავრის, ვიბრაციების, ულტრაბგერების, აუდიო და ვიდეოსიგნალების ანალიზი, ასევე

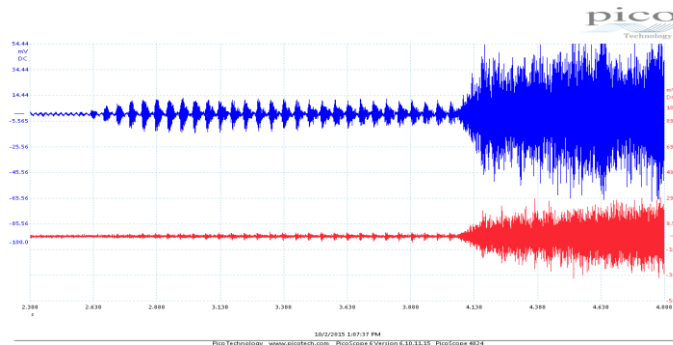
პრეციზიული გაზომვები. PicoScope 4824 ძირითადი თავისებურობაა სიგნალების ნებისმიერი ფორმის ჩაშენებული გენერატორი 14 ბიტანი ვერტიკალური გარჩევის უნარით, მაღალსიჩქარიანი USB 3.0 ინტერფეისი, დისპლეის გაყოფის ფუნქცია სიგნალების ფორმის გამარტივებული შედარებითი ანალიზისათვის, 256 მეგა გამორჩევის მოცულობის ჩაშენებული სეგმენტირებული (10000 სეგმენტი) მეხსიერების ბუფერი, სინუსური და იმპულსური ფორმის სიგნალების დამახინჯების დაბალი დონე. პიკოსოპი აღჭურვილია აგრეთვე მიმდევრობითი დეკოდირების ფუნქციით და ტრიგერის გაფართოებული ფუნქციებით. მისი პროგრამული უზრუნველყოფა შეთავსებადია ყველაზე გავრცელებულ ოპერაციულ სისტემებთან და უზრუნველყოფს სხვადასხვა გრაფიკულ, ტექსტურ და ბინარულ ფორმატებში გამოსახულ მონაცემების ექსპორტირებას. ამის გარდა მისაწდომია რედაქტირების და ახალი ფორმის სიგნალების შექმნის ფუნქცია სიგნალების ნებისმიერი ფორმის გენერატორის ჩაშენებული გრაფიკული რედაქტორის გამოყენებით.

ტრიგერირების მოვლენის შესწავლა დახრილ დანადგარებზე მექანიკური ვიბრაციით ზემოქმედების და გაწყლიანების ცვლის პირობებში

გრავიტაციული ძალის ზეგავლენით ბურიჯ-კნოპოვის და ზამბარა-მცოცის მოდელის სტიკ-სლიპის და ტრიგერირების მოვლენების შესასწავლად აწყობილი იქნა ლაბორატორიული მოწყობილობა, სადაც შესაძლებელია სრიალის სიბრტყის დახრის ცვლილება (ნახ.7.17). ეს მოწყობილობა გრავიტაციული ძალების გავლენით მეწყრის სტიკ-სლიპის პროცესის ტრიგერირების შესწავლის საშუალებას იძლევა ბაზალტის მოსრიალე ფილებს შორის არსებულ სხვადასხვა პირობებში და მათი სხვადასხვა დახრისას. პროცესის შესასწავლად ხდებოდა სრიალის დროს აღძრული აკუსტიკური ემისიის რეგისტრაცია ბაზალტის მასიურ ფილაზე ზედა და ქვედა წერტილებში დამაგრებული პიეზო სენსორების საშუალებით. ტრიგერირების პროცესის შესასწავლად ერთ-ერთ მოსრიალე ფილაზე მიმაგრებული იყო სეისმური ვიბრატორი, რომლის საშუალებითაც კრიტიკული დახრის კუთხეზე ვსაწავლობდით ტრიგერირების პროცესს. მოსრიალე ბლოკი ჩერდებოდა რაღაც დროის განმავლობაში უძრავ ფილაზე, რომელიც დახრილი იყო კრიტიკულზე ოდნავ ნაკლები კუთხით (არ ხდებოდა ჩამოსრიალება). მატრიგერირებელი ზემოქმედება ხორციელდებოდა სეისმური ვიბრატორის საშუალებით, რომელიც მიმაგრებული იყო მოძრავ ან უძრავ ფილაზე. სეისმური ვიბრატორები უძრავ ფილაზე ნებისმიერი კონფიგურაციით 8 წერტილში შეგვიძლია მივამაგროთ. ინფორმაციის ჩაწერა ხდებოდა 8-არხიანი ოსცილოსკოპის საშუალებით. ხდებოდა დახრის კუთხის გაზომვა [135,136,162,164].

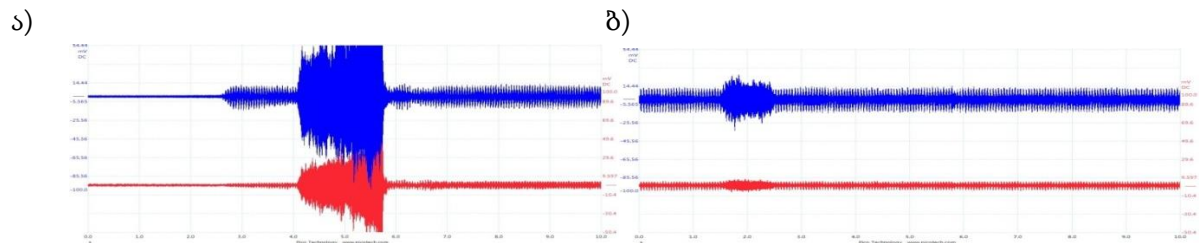


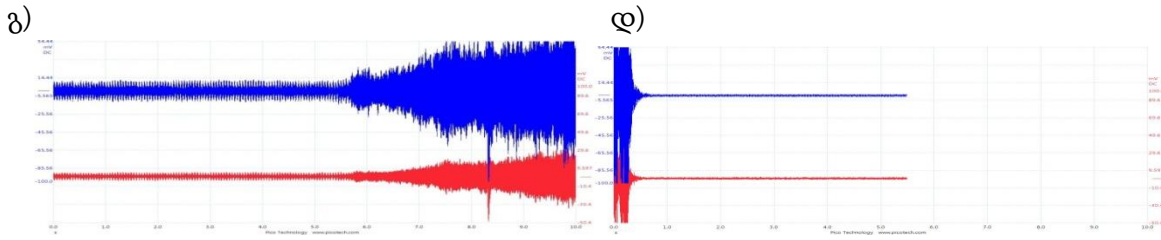
სურ.9. ბურიჯ-კნოპოვის ექსპერიმენტების გრავიტაციული ძალის გავლენის პირობებში ერთ-ერთ მოსრიალე ფილაზე მიმაგრებულია სეისმური ვიბრატორი.



სურ.10. აკუსტიკური ემისიის ჩანაწერი ტრიგერირების შემთხვევაში დახრილ ლაბორატორიულ მოდელზე

გრავიტაციული ძალის გავლენით, ერთი და სამი ფილით, ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები წარმოდგენილია ნახ.7.18-ზე. დასრიალების კრიტიკული კუთხე ერთ და სამ ფილიანი მოდელებისათვის განსხვავებულია. კრიტიკულ კუთხესთან ახლოს სტაბილურ მდგომარეობაში დასრიალების ტრიგერირება ხდება სეისმური ვიბრატორის საშუალებით. კერძოდ, სისტემა მიგყავს და ვტოვებთ კრიტიკული კუთხესთან ახლოს 45 წუთის განმავლობაში. ამის შემდეგ, ფილაზე მიმაგრებულ სეისმურ ვიბრატორზე მოვდებთ 20 ჰც სიხშირის 1,6 ვ ძაბვას. შემდეგ ინფორმაცია იწერება 8-არხიანი ოსცილოსკოპის საშუალებით. როგორც ნახ.7.19-დან ჩანს ექსპერიმენტის განმავლობაში რამდენიმე შუალედური გასრიალება მოხდა. ფილების დაცურების დაწყება გამოწვეულია სეისმური ვიბრატორის ზემოქმედებით. სეისმური ვიბრატორი თამაშობს ტრიგერის როლს სრიალის გამოწვევაში.

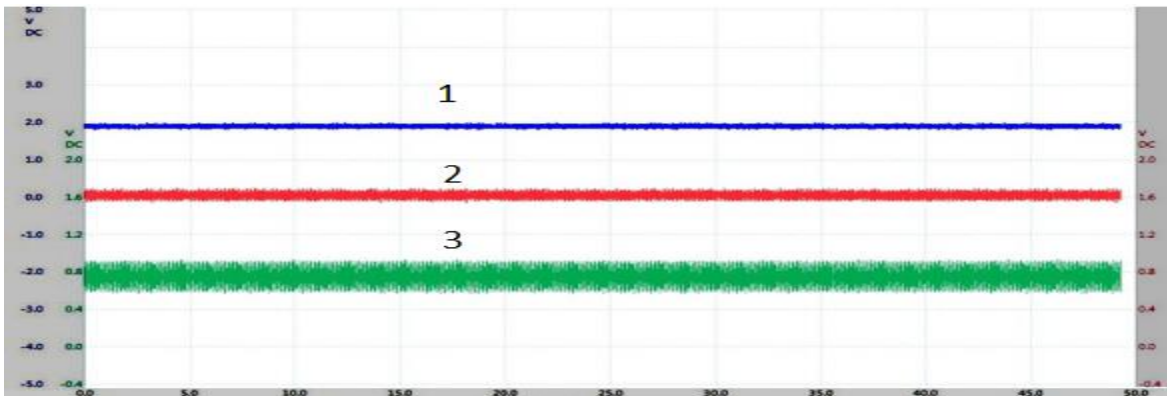


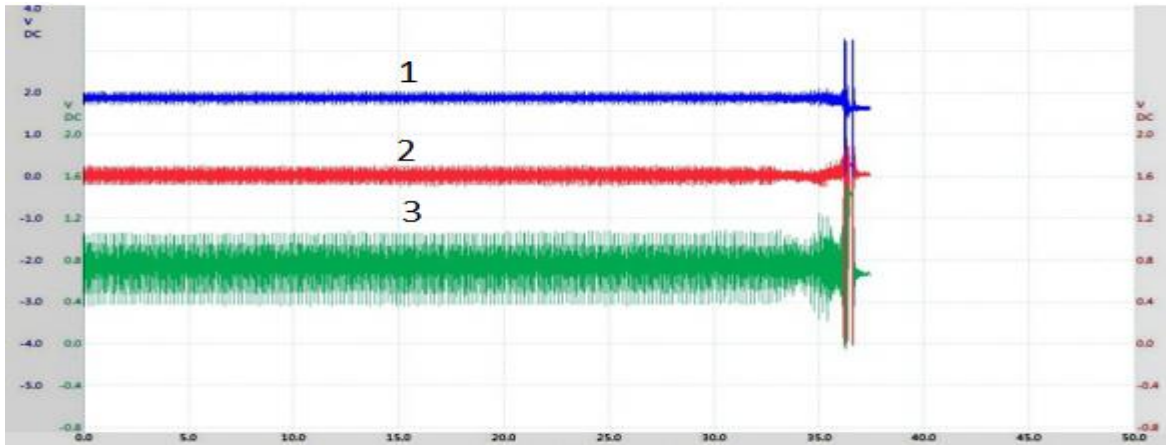


სურ.11. ა) აკუსტიკური ემისიის ჩანაწერი ერთი ფილის მოდელისათვის, ბ), გ), დ) აკუსტიკური ემისიის ჩანაწერი სამფილიანი მოდელისათვის

განვახორციელეთ ექსპერიმენტების ერთი სერია დახრილ ფიქსირებულ დანადგარზე, ტრიგერირების წყაროს (ვიბრატორი) სხვადასხვა პოზიციისათვის. პერიოდული გარე ზემოქმედება მოდებული იყო ფიქსირებულ (უძრავ) ფილაზე. ზემოქმედებას ახდენენ სეისმური ვიბრატორები, რომლებიც მოთავსებულია უძრავი ფილის გარე ზედაპირის 6 სხვადასხვა წერტილში და უკანა ზედაპირის 2 სხვადასხვა წერტილში. ვიბრატორზე მოდებული სიგნალის სიხშირე იცვლებოდა 1, 2, 3, 4, 5 Hz სიდიდით. ვიბრატორზე მოდებული მაქსიმალური ძაბვა იყო ~ 8 V. როდესაც სეისმური ვიბრატორი მოდებულია უძრავი ფილის ზედა ზედაპირზე (ფილის დახრის კუთხე 26.65°), მოძრავი ფილა იწყებს სრიალის 5 Hz სიხშირეზე, სეისმური ვიბრატორის ჩართვიდან რამდენიმე (1-2) წუთის შემდეგ. რაც უფრო დიდხანს არის უძრავ მდგომარეობაში ზედა ფილა, მით უფრო დიდი ხნის განმავლობაში არის საჭირო სეისმური ვიბრატორის ზემოქმედება მის დასასრიალებლად. როდესაც სეისმური ვიბრატორი მოსრიალე ფილიდან საკმაოდ შორს არის მოთავსებული, ტრიგერირების პერიოდი მკვეთრად მატულობს (5-10 წუთი). როდესაც სეისმური ვიბრატორი მიმაგრებულია უძრავი ფილის უკანა ზედაპირზე, რამდენიმე ათეული წუთიც არაა საკმარისი სრიალის ტრიგერირებისათვის.

a.



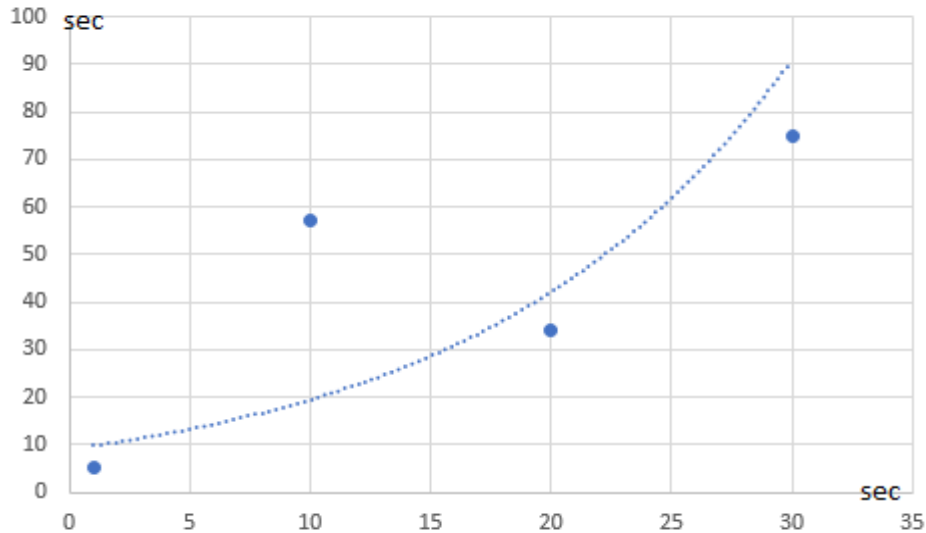


სურ.12. აქსელერომეტრის 3 კომპონენტის ჩანაწერი (1 - მოძრაობის გასწვრივ, 2 – მოძრაობის პერპენდკულარულად, 3 – ვერტიკალური მდგენელი): a) სეისმური ვიბრატორი მოთავსებულია უძრავი ფილის უკანა ზედაპირზე (სრიალი არ გვაქვს), b) სეისმური ვიბრატორი მოთავსებულია უძრავი ფილის ზედა ზედაპირზე.

ჩვენ ასევე აღმოვაჩინეთ, რომ გარემოს (ოთახის) h ტენიანობის და შესაბამისად მოსრიალე ზედაპირების ტენიანობის ცვლილება, ცვლის სრიალის კრიტიკულ კუთხეს 26.65° -დან $h \approx 28\%$ ტენიანობი დროს 28.90° -მდე $h \approx 35\%$ ტენიანობის შემთხვევაში. ექსპერიმენტების შედეგები ფუნდამენტურად იგივე იყო, მაგრამ მნიშვნელოვნად შეიცვალა (გაიზარდა) სრიალის კრიტიკული კუთხე, შეიძლება წყლის ფენის დამატებითი ზედაპირული დაჭიმულობის გამო.

ნახ.7.20 გვიჩვენებს, რომ როდესაც ვიბრატორი მიმაგრებულია უძრავი ფილის ზედა და უკანა ზედაპირზე, მოსრიალე ფილაზე მიმაგრებული აქსელერომეტრი გვიჩვენებს სრიალის ინიცირებისათვის საჭირო შემფოთების სხვადასხვა ამპლიტუდას. როგორც ჩანს, ზედა ზედაპირზე მოდებული ძლიერი შემფოთება იწვევს სრიალს, ხოლო უკანა ზედაპირზე მოდებული ისეთივე ზემოქმედება არ იწვევს ტრიგერირებას.

დაბოლოს, ჩვენ ჩავატარეთ ექსპერიმენტების სერია 28.90° კუთხით (კრიტიკული დახრის კუთხესთან ახლოს) დახრილ უძრავ ფილაზე, სხვადასხვა ექსპოზიციის (პარკირების) დროისათვის (1, 10, 20, 30 წუთი). ექსპერიმენტების შედეგები (ნახ.7.21) გვიჩვენებს, რომ მოსრიალე ფილის ექსპოზიცია დროს ზრდა იწვევს ტრიგერირების დროის ზრდას, თუმცა ეფექტი არ არის კარგად გამოხატული. მომავალი ექსპერიმენტები, უფრო დიდი ექსპოზიციის დროით, აუცილებელია საიმედო შედეგების მისაღებად.



სურ.13. უძრავი ფილის ლოდინის დროის (ჰორიზონტული ღერძი) შედარება ტრიგერირების (ვიბრაციის) ხანგრძლივობასთან, რომელიც აუცილებელია სრიალის ინიცირებისათვის (ვერტიკალური ღერძი). ექსპოზიციის ოთხი სხვადასხვა დრო. წყვეტილი მრუდი არის ექსპონენციალური ტრენდლაინი.

გარდა ამისა, აუცილებელია ისეთი ფაქტორების სისტემატური გავლენის შესწავლა, როგორებიცაა ტენიანობა, სრიალის ზედაპირის პირობები, ტრიგერირების სიგნალის ამპლიტუდა და ა.შ., რათა მივიღოთ მეწყრის მექანიკური ვიბრაციებით გააქტიურების მეტნაკლებად სრული სურათი.

ამ სამუშაოში ჩვენ ექსპერიმენტულად შევისწავლეთ ზამბარა-ბლოკის და ბურიჯ-კნოპოვის სტიკ-სლიპის დინამიკა ჰორიზონტალურ და დახრილ უძრავ ფილებზე. ჩვენ ვიკვლევდით არასტაბილურობებს სრიალის თანმხლები აჩქარებების და აკუსტიკური ემისიის ჩაწერის საშუალებით. გარდა ამისა, ჩვენ ვახდენდით გარე პერიოდულ მექანიკურ დატვირთვას სეისმური ვიბრატორების საშუალებით, რომლებიც მიმაგრებული იყო უძრავ ფილაზე რამდენიმე ადგილას ცალკე ან ერთობლივად, რათა შეგვესწავლა ზემოქმედების გავლენა მოსრიალე ფილის მოძრაობაზე. მეწყრის მარტივ მოდელში ტრიგერირების ეფექტი დამოკიდებულია ზამბარის სიხისტეზე, დახრის კუთხეზე, ვიბრატორების რაოდენობაზე და ლოკაციაზე, ტრიგერირების სიგნალის ამპლიტუდაზე, სრიალის ზედაპირის ტენიანობაზე. რაც უფრო დიდი მანძილია ვიბრატორსა და მოსრიალე ფილას შორის, მით უფრო მეტი დროა საჭირო ტრიგერირებისათვის. სეისმური ვიბრატორის უძრავი ფილის უკანა ზედაპირზე მოთავსების შემთხვევაში ტრიგერირებას საერთოს არა აქვს ადგილი. მოსრიალე ფილის უძრაობის დროის ზრდასთან ერთად იზრდება ტრიგერირების დრო. ვფიქრობთ, რომ სეისმური ვიბრატორის ზედა ზედაპირზე დამაგრების შემთხვევაში აღიმკვრება ინტენსიური ზედაპირული ტალღები, რომელიც (როგორც მიწისძვრის შემთხვევაში) იწვევენ მოსრიალე ფილის შემფოთებას და ტრიგერირებას (სრიალს). სეისმური ვიბრატორის უძრავი ფილის უკანა ზედაპირზე დამაგრების შემთხვევაში, მოსრიალე ფირფიტამდე შემფოთებები მცირე

ამპლიტუდით აღწევს და მათ არ შეუძლიათ გამოიწვიონ სრიალი. ჩვენ ვაჩვენებთ ასევე, რომ ტრიგერირების ეფექტი ასევე დამოკიდებულია მოსრიალე ფილაზე, ვიბრაციის ზემოქმედების მოდებამდე, ექსპოზიციის (პარკირების) დროზე: ეს ტესტი ახდენს მეწყრის გააქტიურების იმიტაციას სეისმური ტალღებით.

იმისათვის, რომ უკეთესად შევისწავლოთ ტრიგერირების ფიზიკური მექანიზმი ჩვენ გვჭირდება ტრიგერირების უფრო ძლიერი წყარო და ცდების განხორციელება სხვადასხვა ექსპერიმენტულ პირობებში.

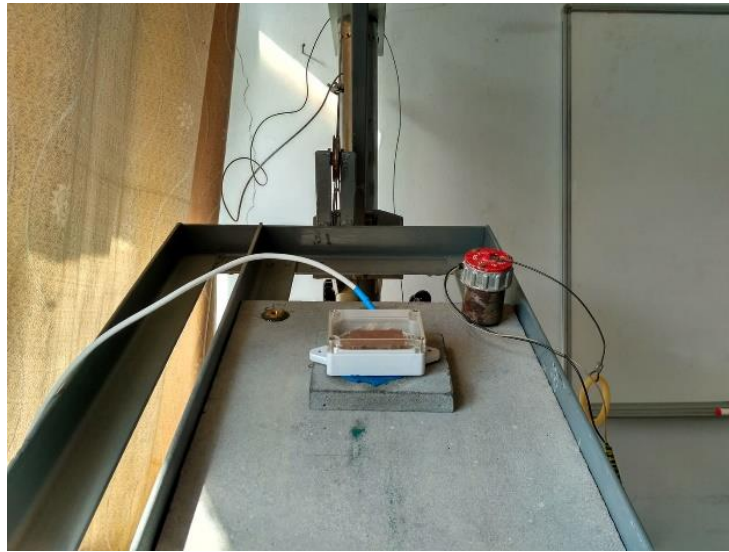
ჩატარებული ექსპერიმენტები

ექსპერიმენტები ჩატარდა მ.ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტში სეისმური პროცესების კვლევის ლაბორატორიაში. განხილული იყო დახრის ცვლადი კუთხის მქონე დანადგარი ბაზალტის ფილაზე ნიმუშების გადაადგილების შესასწავლად. დანადგარი განკუთვნილია სხვადასხვა ფილებზე და სხვადასხვა მასალებით სტიკ-სლიპის მოვლენის შესასწავლად. დანადგარი წარმოადგენს კუთხოვან ფოლადისაგან დამზადებულ ლითონის კონსტრუქციას, რომლის ერთი მხარე სახსართ არის დამაგრებული მაგიდასთან მიბმულ 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.



სურ.14. დანადგარი დახრის ცვლადი კუთხის მქონე ბაზალტის ფილაზე ნიმუშების გადაადგილების შესასწავლად.

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

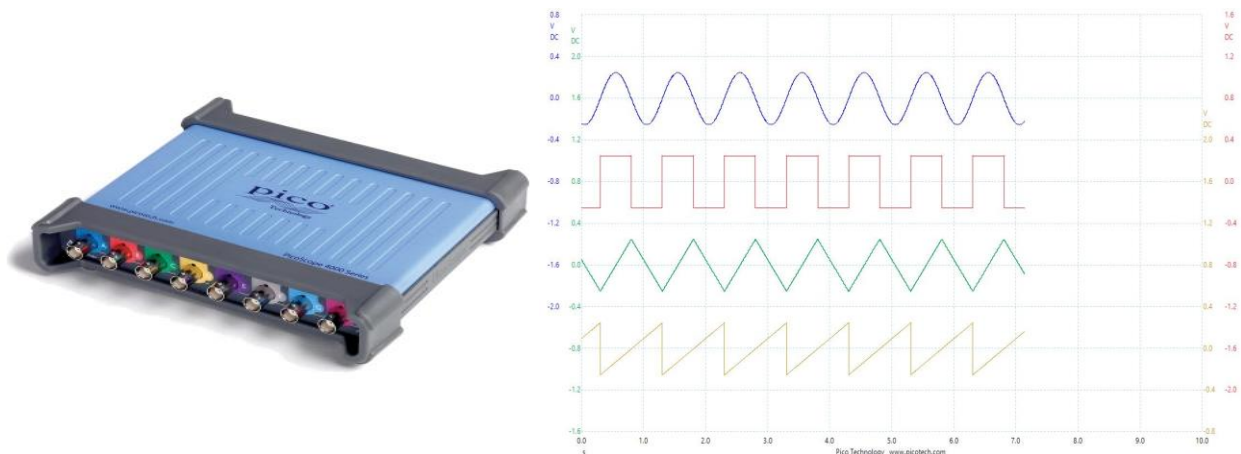


სურ.15.დახრილ სიბრტყეზე ჩატარებული ექსპერიმენტი

ჩემს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტები მდგომარეობდა შემდეგში: დახრილ ზედაპირზე, რომელიც წარმოადგენს ბაზალტის დიდ ფილას, რომელზეც გრავიტაციული ძალის მეშვეობით სრიალდებოდა მცირე ზომის ბაზალტის ფილა, რომელზეც დამაგრებული იყო სამ არხიანი აქსელერომეტრი(სურათი). მიღწეული იყო დასრიალებისათვის კრიტიკული კუთხე (26.7 გრადუსი). დასრიალების გამორჩევა ხდებოდა დიდ ბაზალტის ფილაზე დამაგრებული სეისმური ვიბრატორის მეშვეობით სიხშირით 5Hz, მაქსიმალური ამპლიტუდით(20V ძაბვის დროს).

მიღებული შედეგების რეგისტრაციის სისტემა

უფრო სრულყოფილი PicoScope 4824, რომელიც წარმოადგენს რვა არხიან USB ოსცილოგრაფს სიგნალების ნებისმიერი ფორმის ჩაშენებული გენერატორით. ოსცილოგრაფის გატარების ზოლი 20 მჰც-ია, დისკრედიტაციის სიჩქარე 60 მეგა გამორჩევა წამში დროის რეალურ მასშტაბში, ჩაშენებული მეხსიერების მოცულობაა 256 მეგა გამორჩევა და ვერტიკალური გარჩევიუს უნარი 12 ბიტია. Picoscope 4824 გააჩნია 8 ანალოგური არხი და მაღალი გარჩევის უნარი, რაც საშუალებას იძლევა ერთდროულად შეასრულოს როგორც სიმძლავრის, ვიბრაციების, ულტრაბგერების, აუდიო და ვიდეოსიგნალების ანალიზი, ასევე

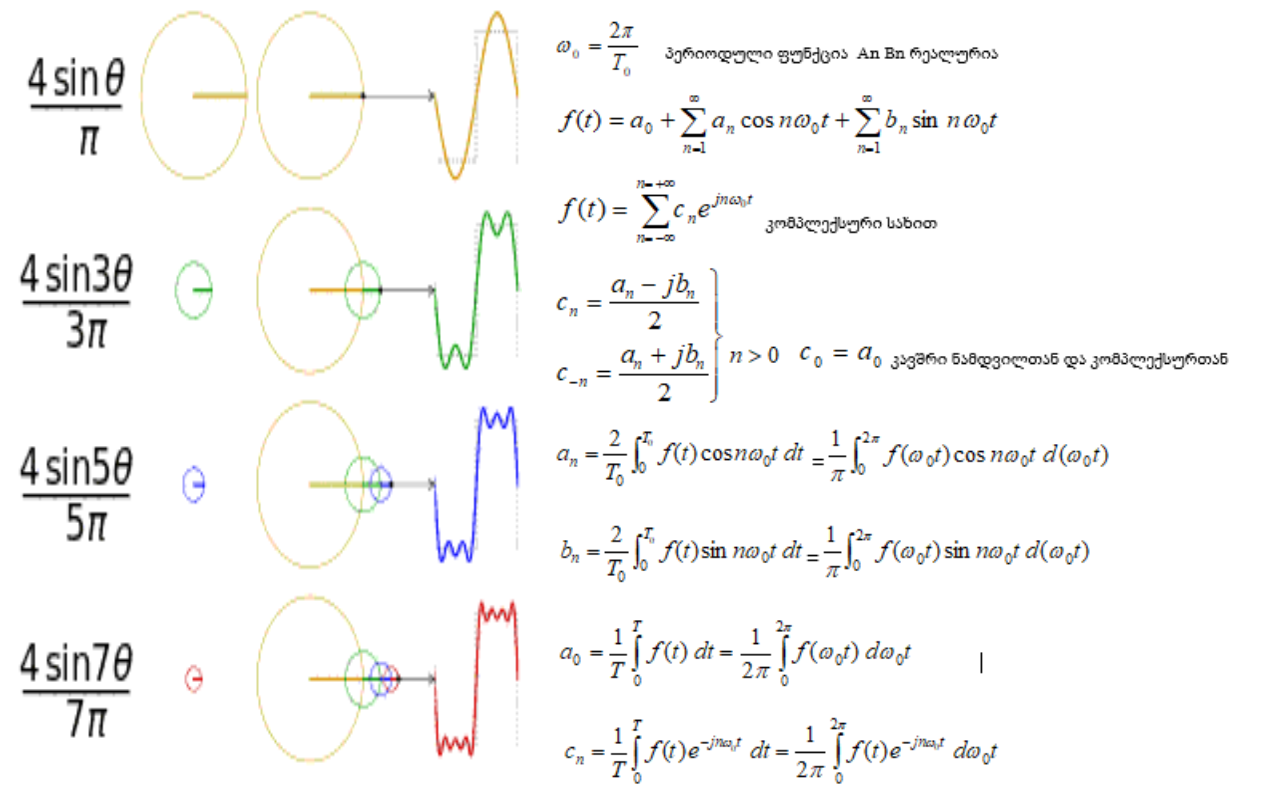


სურ.16 პიკოსკოპი და ვიზუალიზაციისთვის ეკრანზე გამოტანილი 4 ტიპის სიგნალი.

პრეციზიული გაზომვები. PicoScope 4824 ძირითადი თავისებურობაა სიგნალების ნებისმიერი ფორმის ჩაშენებული გენერატორი 14 ბიტანი ვერტიკალური გარჩევის უნარით, მაღალსიჩქარიანი USB 3.0 ინტერფეისი, დისპლეის გაყოფის ფუნქცია სიგნალების ფორმის გამარტივებული შედარებითი ანალიზისათვის, 256 მეგა გამორჩევის მოცულობის ჩაშენებული სეგმენტირებული (10000 სეგმენტი) მეხსიერების ბუფერი, სინუსური და იმპულსური ფორმის სიგნალების დამახინჯების დაბალი დონე. პიკოსოპი აღჭურვილია აგრეთვე მიმდევრობითი დეკოდირების ფუნქციით და ტრიგერის გაფართოებული ფუნქციებით. მისი პროგრამული უზრუნველყოფა შეთავსებადია ყველაზე გავრცელებულ ოპერაციულ სისტემებთან და უზრუნველყოფს სხვადასხვა გრაფიკულ, ტექსტურ და ბინარულ ფორმატებში გამოსახულ მონაცემების ექსპორტირებას. ამის გარდა მისაწდომია რედაქტირების და ახალი ფორმის სიგნალების შექმნის ფუნქცია სიგნალების ნებისმიერი ფორმის გენერატორის ჩაშენებული გრაფიკული რედაქტორის გამოყენებით.

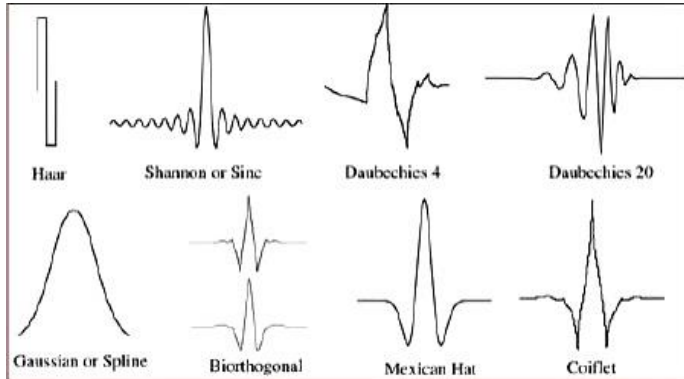
დამუშავების მეთოდები

დამუშავების მიზანი იყო მიღებული სიგნალების სპექტრალური ანალიზი. სპექტრალური ანალიზის კლასიკური მეთოდია ფურიეს სპექტრალური ანალიზი, სადაც სიგნალის გაშლა მწკრივებად ხდება ჰარმონიული ფუნქციების საშვალეებით (sin, cos),



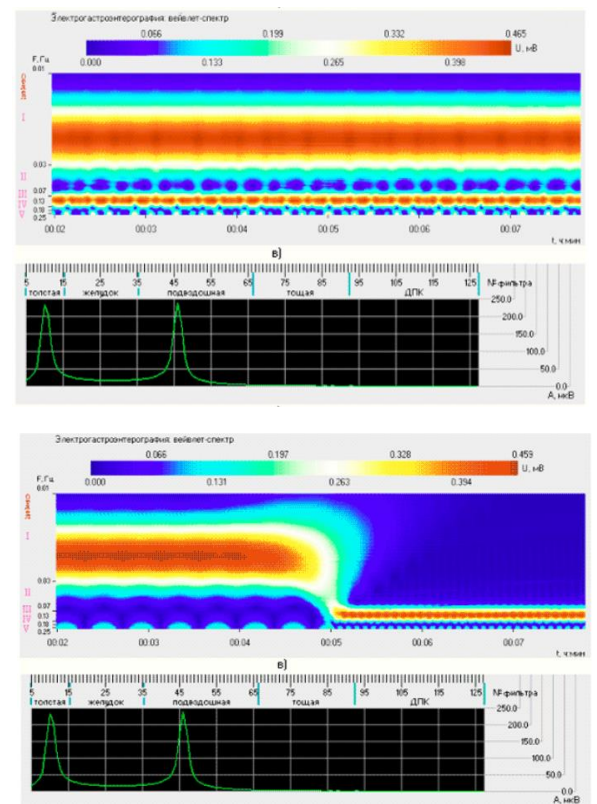
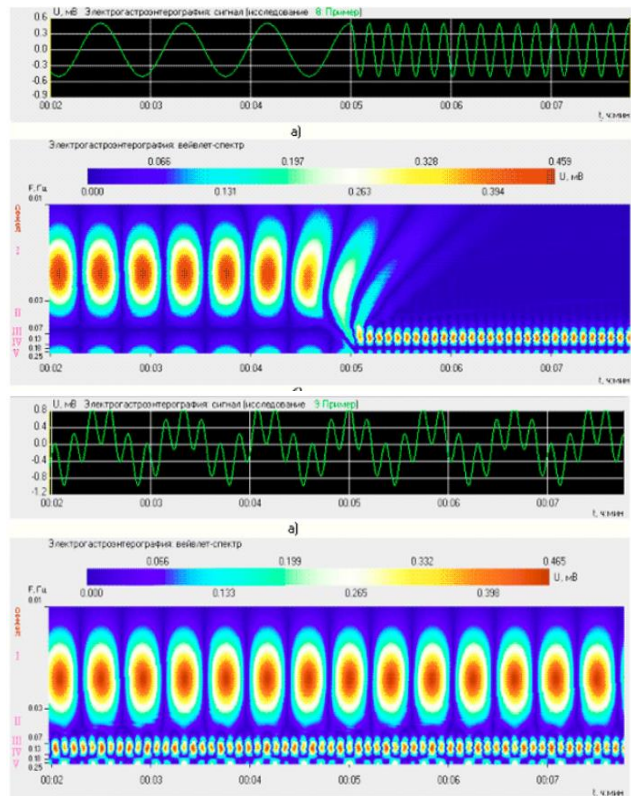
სურ.17. ა) ფურიე ანალიზისთვის დამახასიათებელი ოსცილაციები ბ) ზოგადი ფუნქციები

მაგრამ ამ მეთოდს გააჩნია ბევრი ნაკლი მაგ: საჭიროა დიდი დროითი მწკრივების მოცემა, ასევე ძალიან არამგრძობიარეა სიგნალების მცირე მაშტაბიანი ცვლილების მიმართ (სურათი). ახასიათებს გიფსის მოვლენა ან ფუნქციების ნახტომებზე იძლევა დამატებით ოსცილაციებს, ძირითადი ნაკლი არის არასტაციონალური სიგნალების სისუსტე.



ჩვენს ექსპერიმენტებში საქმე გვაქვს მოკლე და არასტაციონალურ სიგნალებთან, ამიტომ სპექტრალური ანალიზის თანამედროვე მეთოდებიდან წარმატებული მეთოდი არის ვეივლეტ ანალიზი. ვეივლეტი ნიშნავს მოკლე ტალღას. ვეივლეტ ანალიზი კარგად მუშაობს მრავალ მაშტაბიან არასტაციონალური სივრცული

ველებების შესწავლისათვის მათ შორის ტექტონიკური სიგნალის შესწავლისათვის. კარგად გამოიყენება ასევე დროითი სიგნალებისათვის, რომლის სპექტრალური შემადგენლობა დროში იცვლება. ასეთია სეისმური სიგნალები. ვეივლეტში ძირითადი სპექტრალური ანალიზისთვის გამოყენებულია ფუნქციები, რომლებიც ხასიათდებიან სივრცული ან დროითი სიხშირით, ლოკაციის ადგილით ფიზიკურ სივრცეში ასევე დროში. ვეივლეტ ანალიზი საბაზისო ფუნქციებად იყენებს არა საბაზისო არამედ მცირე მოკლე ტალღებს რამდენიმე რხევით. სურათზე ნაჩვენებია ეს ფუნქციები, რომლებსაც დედა ფუნქციები ეწოდება ხოლო მათი ტრანსფორმირების შედეგად მიიღება შვილი ფუნქციები. სურათზე მოცემულია პოპულარული ვეივლეტ ფუნქციები.

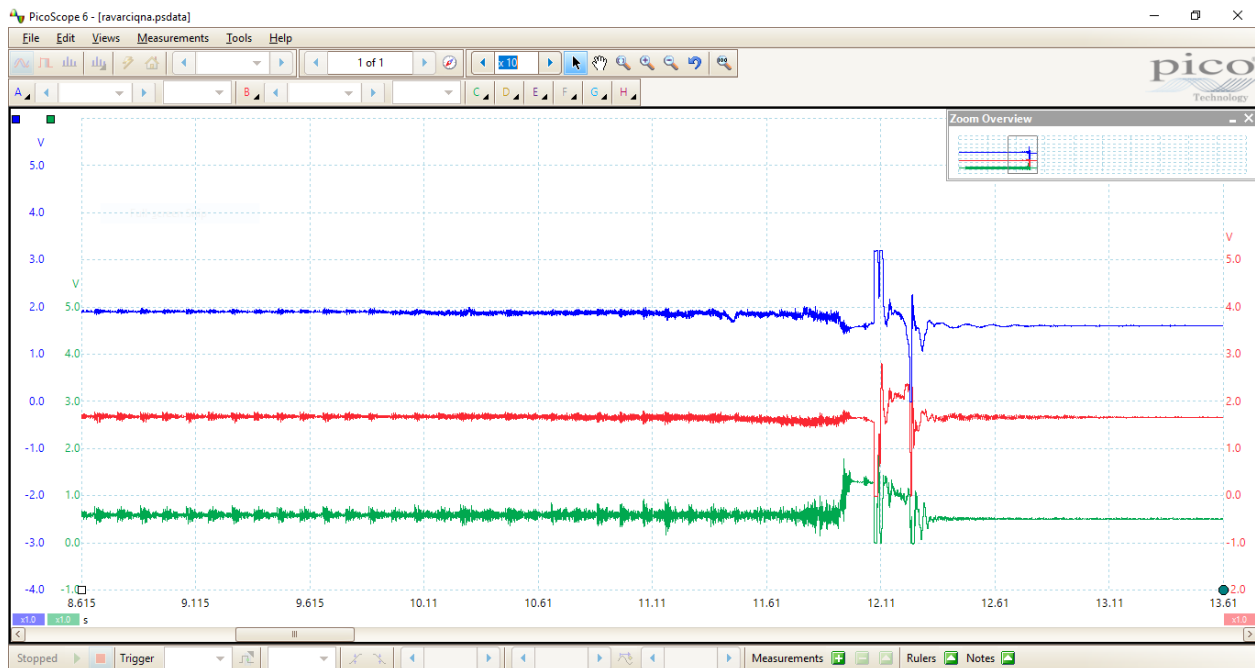


სურ.18. სხვადასხვა ფუნქციები და შესაბამისი ვივლენტ სპექტრები.

მიღებული შედეგები მათი დამუშავება

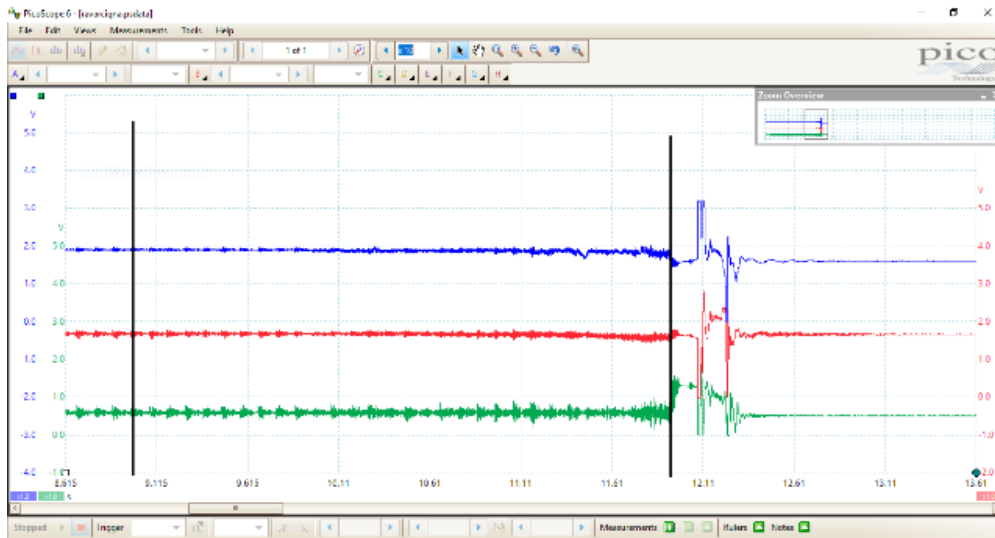
როგორც ზემოთაა აღნიშნული მონაცემთა რეგისტრაცია ხდებოდა pico scope -ის საშუალებით.

სურათზე ნაჩვენებია სამარხიანი აქსელერომეტრის ძაბვის ჩანაწერი (x,y,z). სურათზე გამოკვეთილად ჩანს სეისმური ვიბრატორის ხმაური რომელიც ახდენს სისტემის



სურ.19. ლურჯი x ღერძი, წითელი y ღერძი, მწვანე z ღერძი

წონასწორობიდა გამოყვანას. ექსპერიმენტის დაწყებიდან 9.8 წამიდან 11 წამამდე ხდება ძლიან მცირე წანაცვლებები რომელიც თვალთ თითქმის შეუმჩნეველი იყო. დაახლოებით 11.36 წამზე მოხდა ფილის ადგილიდან დაძვრა და დამუხრუჭება ე.წ. სტიკ-სლიპის ეფექტი ხოლო 11.76 წამიდან კი ფილა ადგილიდან მოწყდა და დასრიალდა დასრიალების დამთავრება მოხდა დაახლოებით 11.9 წამზე. დანარჩენილი ჩანაწერი არ გავითვალისინე რადგან აქ აქსელერომეტრის სიმაღლიდან ვარდნა მოხდა. მიღებული ჩანაწერის მონაცემების შენახვა მოხდა txt ფორმატის ფაილში და შემდგომში კი დამუშავება.

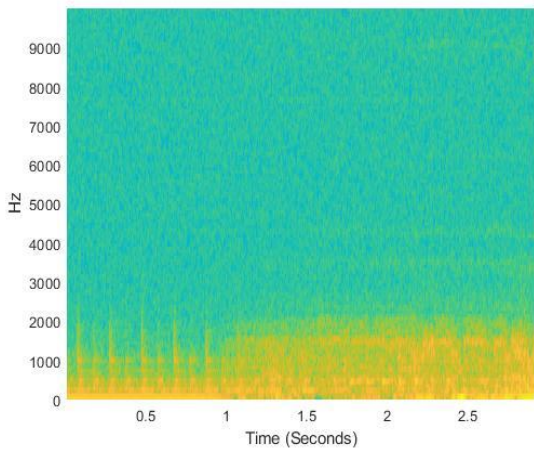


სურ.20 პიკოსკოპის ჩანაწერი მოცემული ექსპერიმენტისათვის.

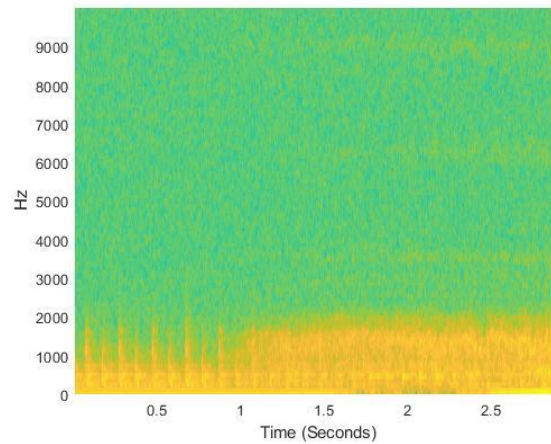
მიღებული შედეგები დავამუშავე მხოლოდ 9-11.92 წამამდე, რადგან სხვა უბნებზე გამოჩეულად მნიშვნელოვანი არაფერი ხდებოდა. (სურათზე)

შედეგების დამუშავება მოცემული ექსპერიმენტისთვის მოვახდინე სპექტრალური ანალიზის გამოყენებით, როგორც ფურიე ისევე ვივლეტ სპექტრალური ანალიზის მეშვეობით.

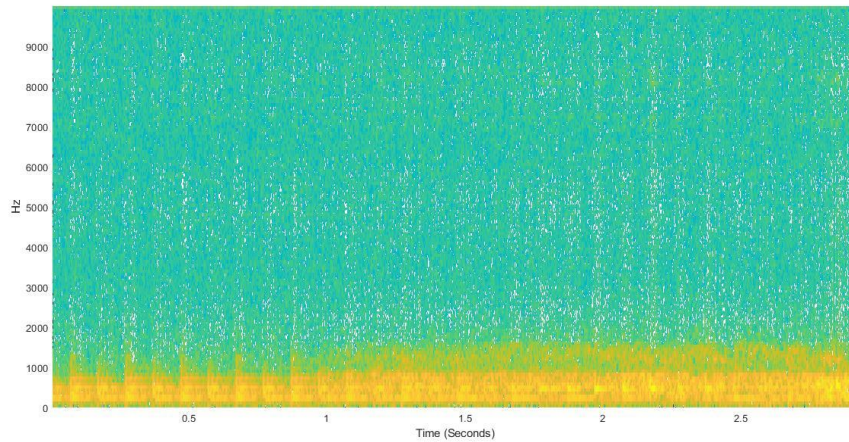
ფურიეს სპექტრალური ანალიზი x,y და z ღერძებისათვის შემდეგნაირად გამოიყურება



სურ.21.ფურიე x ღერძისათვის



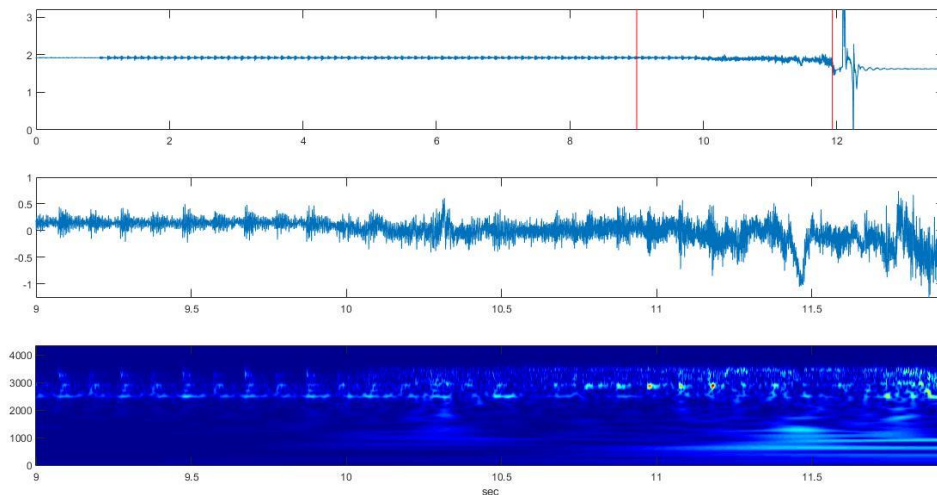
სურ.22.ფურიე y ღერძისათვის



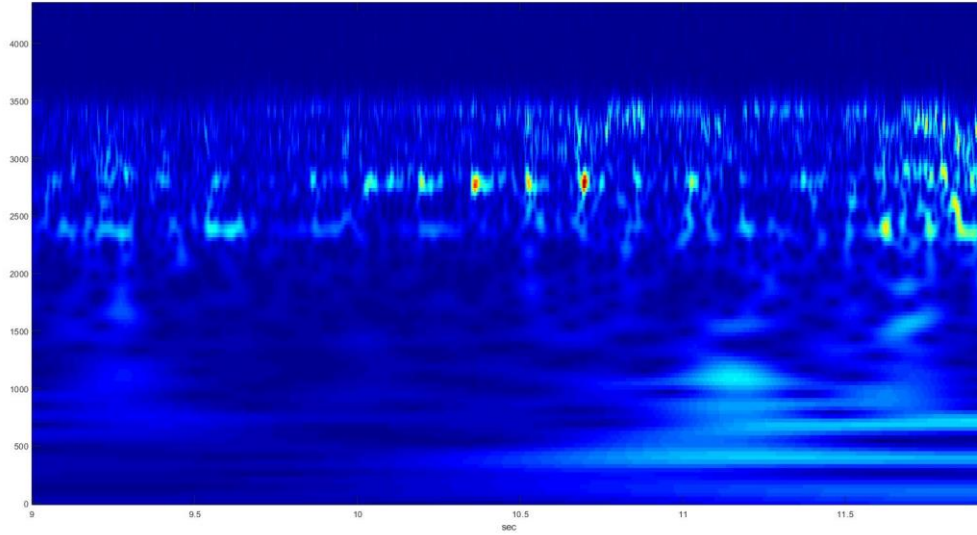
სურ.23 ფურიე z ღერძისათვის

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარეობს რომ ყველა ღერძის შემთხვევაში სისტემის წონასწორობიდან გამოყვანმდე გვაქვს როგორც მაღალი ასევე დაბალი სიხშირის ტალღები , წონასწორობიდან გამოყვანის შემდგომ როგორც მაღალი ისევე დაბალი სიხშირის ტალღები დიდი ინტენსივობით, მაგრამ ძალიან რთული შესამჩნევია ის მომენტი ექსპერიმენტში სადაც მოხდა სტიკ-სლიპის ეფექტი. ამოტომ გამოვიყენე დამუშავების მეორე და უფრო ეფექტური მეთოდი - ვეივლეტ ანალიზი და ავაგე ვეივლეტ სპექტრალი ანალიზის ნახაზები.

ვეივლეტ სპექტრალური სურათები x,y და z ღერძებისთვის.

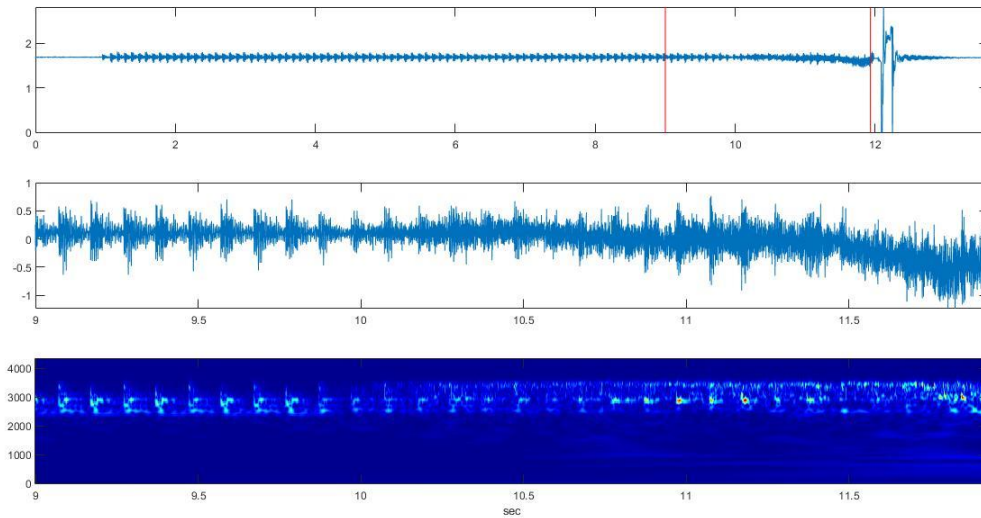


სურ.24. მოცემულია ვეივლეტ ანალიზი x ღერძისთვის სრული ჩანაწერისთვის.

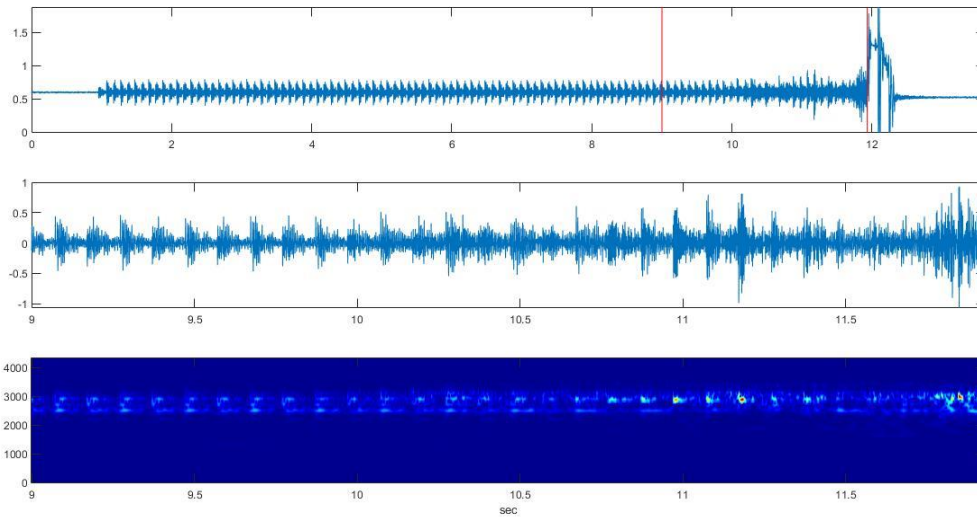


სურ.25. მოცემულია ვეივლეტ ანალიზი ჩემთვის სასურველი მონაცემებისათვის

სურათზე კარგად ჩანს ე.წ. სტიკ-სლიპის მოვწევა სურათიდან ჩანს, რომ სტიკ სლიპის ეფექტის დროს მხოლოდ და მხოლოდ დაბალი სიხშირის ტალღები გვაქვს ხოლო დასრიალების როდს კი, როგორც დაბალი ასევე მაღალი სიხშირის ტალღები.



სურ.26. მოცემულია ვეივლეტ ანალიზი y ღერძისთვის.



სურ.27. მოცემულია ვეივლეტ ანალიზი z ღერძისთვის

დასკვნა

წარმოდგენილი სამუშაოს საბოლოო მიზანი არის მეწყრის მომზადების პროცესის დინამიკის გამოკვლევა. კერძოდ, ლაბორატორიული ცდებით და რიცხვითი მოდელირებით, გვინდა შევაფასოთ გარეშე სუსტი ზემოქმედების ან გავლენის (ანუ, ტენიანობის, სეისმური რყევის, ტემპერატურის და სხვა პარამეტრების ცვლილებით) ეფექტი მეწყრის და სეისმური პროცესის მოხდენის ალბათობაზე. სხვადასხვა ექსპერიმენტების და ლაბორატორიული კვლევების ანალიზის საფუძველზე წარმოდგენილი სეისმური პროცესის და მეწყრების ურთიერთქმედების და მცირე გარეშე ზემოქმედების დინამიკის კვლევები მნიშვნელოვანი პრაქტიკული და ფუნდამენტური სამეცნიერო ღირებულების საგანია. მივიღე მონაწილეობა დანადგარის აწყობაში, სადაც შესაძლებელია არათანაბარი ხახუნის (სტიკ-სლიპის) პროცესის შესაბამისი ექსპერიმენტების ჩატარება ზამბარა-მცოცის მოდელზე. სისტემა შედგება უძრავი და მოძრავი ბაზალტის ბლოკებისაგან. მოძრავ ბლოკს შეუძლია დაახლოებით 80 სმ მანძილზე გადაადგილება. შესაძლებელია გაწევის სიჩქარის ცვლა დიდ დიაპაზონში (0.1-1 მმ/წმ). შესაძლებელია აჩქარების და აკუსტიკური ემისიის რეგისტრაცია. გამწევი ძალის სიდიდის ჩაწერა. ასევე შესაძლებელია მატრიგერირებელი ზემოქმედების მოდება უძრავი ფილის რამდენიმე წერტილში. ასევე აწყობილი იქნა ბურიჯ-კნოპოვის ექსპერიმენტული დანადგარი. ბურიჯ-კნოპოვის დანადგარი წარმოადგენს რამდენიმე ბაზალტის მცირე ზომის ფილას, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებულია ზამბარებით. ეს ფილები შეიძლება ვასრიალოთ დიდი ზომის უძრავ ბაზალტის ფილაზე. თითოეული მცირე ზომის ფილა ზამბარით დაკავშირებულია ზედა პლატფორმასთან, რომელიც შეიძლება ავამოძრავოთ გარკვეული სიჩქარით და მასთან ერთად ავამოძრავოთ მცირე ზომის ფილები. ამ შემთხვევაშიც შესაძლებელი იყო აჩქარების და აკუსტიკური ემისიის რეგისტრაცია, გამწევი ძალის გაზომვა. ასევე შესაძლებელია მატრიგერირებელი ზემოქმედების მოდება უძრავი ფილის რამდენიმე წერტილში. გაკეთდა დახრილი ექსპერიმენტული დანადგარი. აღნიშნულ დანადგარზე ჩატარებულია ექსპერიმენტები უძრავ ბაზალტის ფილაზე მოსრიალე მცირე ბაზალტის ფილებით. შესაძლებელია დანადგარის დახრის კუთხის ცვლა 10°-დან 50°-მდე. ამ შემთხვევაშიც შესაძლებელია აჩქარებების და აკუსტიკური ემისიის რეგისტრაცია. ბაზალტის უძრავ ფილაზე შესაძლებელია მატრიგერირებელი ზემოქმედების მოდება ზედა ზედაპირის 6 წერტილში და უკანა ზედაპირის 2 წერტილში. აწყობილი იქნა ასევე მეწყრის მოდელირების დახრილი დანადგარი. ამ დანადგარზე დახრის კუთხის ცვლილების დიაპაზონია 0°-დან 80°-მდე. დანადგარზე დამონტაჟებულია კიუვეტი, რომელშიც ვათავსებდით ქვიშას ან სხვადასხვა მეწყრულ მასალებს და ვიკვლევდით დასრიალების ტრიგერირების პირობებს. აღმოჩნდა, რომ ზომიერი დასველების პირობებში კრიტიკული დასრიალების კუთხე იზრდება. ჩვენი კვლევის ერთ-ერთი მიზანი არის აკუსტიკური ემისიის ჩაწერის საშუალებით მეწყრის ნელი მოძრაობის (ცოცვის) რეგისტრაცია და მონიტორინგის პირობების შემუშავება.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. 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.
2. Varamashvili N., Chelidze Z., Chelidze T. Acoustic pulses generated by landslide activation: laboratory modeling. *Journal of Georgian Geophysical Society*, 2014, v. 17.
3. 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
4. Varamashvili N., Chelidze T., Amilakhvari D., Dvali L. Laboratory modeling of landslide and seismic processes triggering. *Journal of Georgian Geophysical Society*, 2016, v. 19.
5. Varamashvili N., Devidze M., Chelidze T. (2015) Laboratory models of seismic and mass-movement process triggering. IUGG General Assembly, <http://www.iugg2015prague.com/>.
6. Academy of Sciences, 2017, 11 (2), (in press) 163. ნ. ვარამაშვილი, თ. ჭელიძე, ზ. ჭელიძე. აკუსტიკური ემისია მეწყრის გააქტიურების დროს. გეოფიზიკის აქტუალური პრობლემები (საერთაშორისო კონფერენცია), თბილისი, 2014.
7. დ. ამილახვარი, ლ. დვალი. მასების მოძრაობის და სეისმური პროცესის ლაბორატორიული მოდელირება, ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდუას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომების კრებული, ტ. LXVI, 2016.