



## აკუსტიკური მეთოდები გეოდინამიკურ და გეომექანიკურ ამოცანებში

ვარამაშვილი ნ., ჭელიძე თ., ჭელიძე ზ., გიგზებერია მ., ლლონტი ნ.

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
 მიხეილ ნოდას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

*ანოტაცია:* სხვადასხვა პროცესების მიმდინარეობისას აღძრული აკუსტიკური ტალღების რეგისტრაციით და ანალიზის საშუალებით შესაძლებელია ჩვენთვის საინტერესო მოვლენებზე მნიშვნელოვანი დასკვნების გაკეთება. აქტიური (ასევე პასიური) მეთოდებით შესაძლებელია გარემოს, შენობა-ნაგებობების, ცოცხალი ორგანიზმების გამოკვლევა მათი დაზიანების გარეშე. ჩვენს ნაშრომში წარმოდგენილია ჩვენს მიერ აკუსტიკური მეთოდების გამოყენება მეწყრული პროცესების მონიტორინგისა და პროგნოზისათვის. ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა მცირე დანახარჯებით შეიქმნას მეწყრის მონიტორინგისა და ადრეული შეტყობინების სისტემა. ნაშრომში ასევე წარმოდგენილია, ჩვენს მიერ, ულტრაბგერითი გაშუქების და ტომოგრაფიის მეთოდებით, სხვადასხვა შენობა-ნაგებობების კედლების მექანიკური მახასიათებლების, დაზიანების ხარისხის შესწავლის შედეგები.

*საკვანძო სიტყვები:* აკუსტიკა, მეწყერი, ლემბის ტალღები, გრძივი ტალღა, განივი ტალღა, ტომოგრაფია

### შესავალი

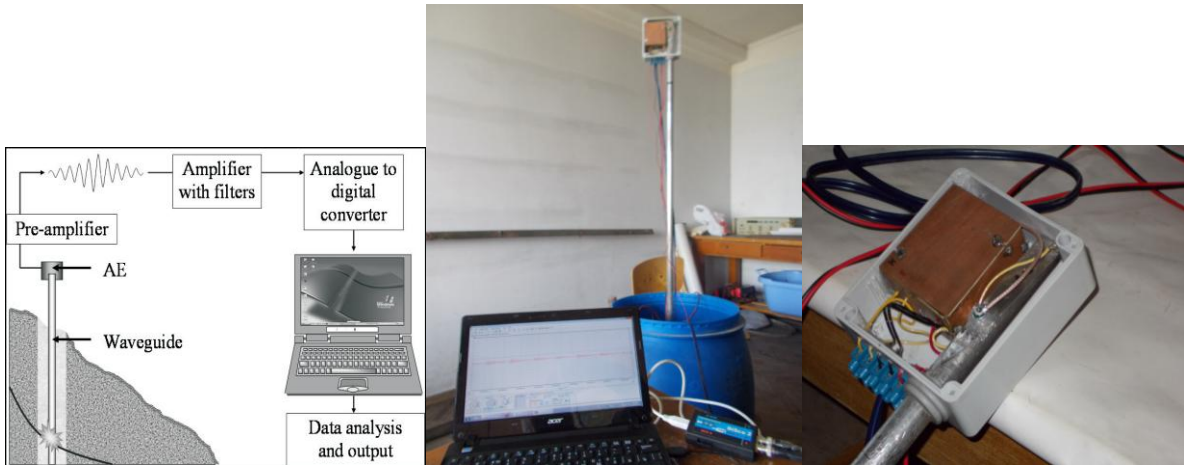
აკუსტიკური მეთოდები წარმოადგენს საკმაოდ მძლავრ იარაღს გეოფიზიკურ ძიებაში, საინჟინრო და სამედიცინო კვლევებში. ზღვებში და ოკეანეებში აკუსტიკური ტალღების საშუალებით შესაძლებელია ინფორმაციის გადაცემა და მიღება დიდ მანძილებზე, მცირე დანაკარგებით [5]. ჩვენს სამეცნიერო კვლევებში აკუსტიკას ვიყენებთ რამდენიმე სფეროში. მოცემულ ნაშრომში წარმოდგენილი გვაქვს აკუსტიკური მეთოდების საშუალებით ჩატარებული სამეცნიერო-გამოყენებითი კვლევები გეოდინამიკის და გეომექანიკის მიმართულულებებში [1].

### აკუსტიკა გეოდინამიკაში

ტრადიციული თვალსაზრისით მეწყერი შეიძლება მოხდეს ძალიან ციცაბო ფერდობებზე, მაღალმთიან რეგიონებში, როგორცაა საქართველო, რაც ზუსტად არ ასახავს ამ პრობლემის ბუნებას. მეწყერი შეიძლება მოხდეს პრაქტიკულად მსოფლიოს ნებისმიერ წერტილში. რა თქმა უნდა მთიანი რეგიონები ამ მხრივ უფრო დიდი საფრთხის წინაშე დგანან. რამდენიმე ათწლეულია რაც ტარდება კვლევები ნიადაგის მოძრაობის მონიტორინგისათვის აკუსტიკური ემისიის (აე) გამოსაყენებლად.

მეწყრულ სხეულში სრიალის დროს გენერირებული აე-ს რეგისტრაცია არ არის ადვილი ამოცანა. როდესაც აკუსტიკური იმპულსი ვრცელდება გრუნტში, მისი ამპლიტუდა მცირდება, რადგანაც გრუნტი მარცვლოვანი გარემოა და ენერგია იკარგება ერთი მარ-

ცვლიდან მეორეზე გადასვლისას. დანაკარგების შესამცირებლად აკუსტიკური ენერგია წყაროდან (სრიალის ზედაპირიდან) სენსორამდის (რომელიც, როგორც წესი მიწის ზედაპირზე) საჭიროა გადავიდეს ტალღამტარით (უჟანგავი ფოლადის მილით)[1,3,4]. ასეთი მეთოდი სტანდარტულ პრაქტიკად იქცა აე-ს კვლევის დროს.



ა.

ბ.

გ.

ნახ.1. (ა) აკუსტიკური ემისიის მონიტორინგის სისტემის კომპონენტები (Dixon et al., 2003), (ბ)მეწყერის ცოცვის მოდელირება და თანმხლები აკუსტიკური ემისიის რეგისტრაცია USB ოსცილოსკოპის საშუალებით და (გ) აკუსტიკური სენსორი

ნახ.1(ა)-ზე ნაჩვენებია ტიპიური აე აპარატურული სისტემის სქემატური წარმოდგენა. აქტიურ ტალღამტარში (ღორღის ნაყარში) აღძრული აეფოლადის ტალღამტარით მიდის პიეზოელექტრულ სენსორამდის, რომელიც მოთავსებულია ლითონის ტალღამტარის თავზე [2]. შემდეგ აკუსტიკური სიგნალი ძლიერდება წინასწარი გამამლიერებლის მიერ. საბოლოოდ აე გარდაიქმნება ციფრულ სიგნალად შემდგომი ანალიზისათვის.

ჩვენი კვლევის მიზანი არის აკუსტიკური ემისიის ჩაწერის საშუალებით მეწყერის ნელი მოძრაობის (ცოცვის) რეგისტრაცია და მონიტორინგი. ამ მიზნით ჩვენ ავაწყვეთ სპეციალური მოწყობილობა (ნახ.1(ბ)). პლასტიკური კასრი ივსება მეწყერული გრუნტით, 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 [3,4].

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 ძირითადად.

ხოლო მეორის როლია ზედაპირული სიგნალების გამოყოფა, რომლებიც ამ შემთხვევაში განიხილება, როგორც ხმაური.

მეწერული გრუნტის მცირე გადაადგილების დროს აღძრული აკუსტიკური იმპულსების რეგისტრაცია ხდება აკუსტიკური სენსორის საშუალებით, რომელიც შეერთებულია USB ოსცილოსკოპთან (ნახ.1(გ)), რომლის საშუალებითაც დამუშავების სპეციალური კომპიუტერული პროგრამის გამოყენების შემდეგ ინფორმაცია იგზავნება კომპიუტერში [3].

### აკუსტიკა გეომექანიკურ ამოცანებში

აკუსტიკურ (ულტრაბგერით) მეთოდებს ფართო გამოყენება აქვს ქვის, ხის, რკინაბეტონის, რკინის კონსტრუქციების და ნაგებობების მექანიკური პარამეტრების შესასწავლად. ულტრაბგერითი აპარატურით, კონსტრუქციების და ნაგებობების დაზიანების გარეშე შესაძლებელია მათში სიცარიელების, ბზარების ლოკაცია და მათი დაზიანების ხარისხის შეფასება-შესწავლა. ჩვენი ერთ-ერთი სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა თისელის ეკლესიის ფაქტიური მდგომარეობის შესწავლა Pundit ფირმის PROSEQ მარკის ულტრაბგერითი ხელსაწყო (ნახ.2) საშუალებით.



ნახ.2. ა. PUNDIT PL-200 და PL-200PE ულტრაბგერითი დეფექტოსკოპი ბ. სამუშაოები თისელის ტაძარში

აღნიშნული ულტრაბგერითი ხელსაწყო შესაძლებლობებიდან გამომდინარე ეკლესიის სხვადასხვა უბანზე ჩატარდება შემდეგი სახის დაკვირვებები:

ნაგებობების კედლებზე ამორჩეული იქნა უბანები სადაც მოხდა ქვების და კირდუღაბების მექანიკური მახასიათებლების შესწავლა. გარდა ამისა, ძირითადი ტაძრის სამხრეთის პილასტრზე და ასევე მიმდებარე კედელზე, ხელსაწყო საშუალებით, გატარდა პროფილების ურთიერთგადამკვეთი ქსელი ერთმანეთისა 0,1 მ დაშორებით. თითოეული პროფილის გატარებისას ხელსაწყო გადაადგილდებოდა 0,1 მ-ის ბიჯით. ვინაიდან P და S ტიპის დრეკადი ტალღების სიჩქარეები თეორიულ და ემპირიულ კავშირში არის 1) პუნქტში მოყვანილ პარამეტრებთან, შეიძლება ვიმსჯელოთ გამოკვლეული უბნის ფარგლებში შესუსტებული, გამოფიტული და შედარებით შელახული ზონების არსებობაზე. 1) ხელსაწყო გრძივი ( P ) განივი ( S ) ტიპის დრეკადი ტალღების გენერირება და მიღებისათვის

განკუთვნილი სენსორების გამოყენებით ნაგებობის კედლების ვიზუალურად შენახული და შესუსტებულ უბებზე შესრულდა გაშუქების სამუშაოები, შედეგად დადგინდა :

ჩვენს ხელთ არსებული სენსორების საშუალებით კარგ ეფექტს ვიღებთ დაახლოებით 0,4 მ-ის ბაზაზე( მანძილი გამომსხივებლის და მიმღებს შორის) გაშუქებისას. ეს დამოკიდებულია ქვის და კირდულაბის მდგომარეობაზე.

მიღებული მასალებით განსაზღვრული იქნა P და S ტიპის დრეკადი ტალღების გავრცელების სიჩქარეები, როგორც კედლის შემადგენელი ბაზალტისა და ტუფის ქვების ბლოკებში, ასევე ამ ბლოკებისა და მათ შორის არსებული შემავსებელი დულაბის კომპლექსში. ამ სიჩქარეების საფუძველზე განისაზღვრა ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრები:

$\rho$  - სიმკვრივე;  $\nu$ - პუასონის კოეფიციენტი; E -იუნგის დინამიური მოდული;

G - ძვრის მოდული; K - ყოველმხრივი კუმშვის მოდული;

ჩატარებული სამუშაოების შედეგების საფუძველზე მოხდა თისელის ეკლესიის კედლების ქვების, გრკვეული არეების და გაშიშვლებული კირდულაბის უბნების გეოფიზიკური გამოკვლევა და ჯამური ანგარიშის შედეგადა, რომელიც შეიძლება იყოს სახელმძღვანელო საფუძველი სპეციალისტებისთვის მომავალი სარესტავრაციო ან საკონსერვაციო სამუშაოების განსახორციელებლად.

## ლიტერატურა

1. ვარამაშვილი ნ., ჭელიძე თ., დევიძე მ., ჩიხლაძე ვ. გარეშე ფაქტორებით ტრიგერირებული მეწყრების ლაბორატორიული და მათემატიკური მოდელირება. სავლე კვლევები. მიხეილ ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. LXVIII, მონოგრაფია, 2017.

2. 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, 156, 2, 2003, 83-95

3. Varamashvili N., Chelidze T., Chelidze Z., Chikhladze V., Tefnadze D. Acoustic pulses detecting methods in granular media. Journal of Georgian Geophysical Society, v. 16, 2013.

4. Varamashvili N., Chelidze Z., Chelidze T. Acoustic pulses generated by landslide activation: laboratory modeling. Journal of Georgian Geophysical Society, v. 17, 2014.

5. Heutschi K. Lecture Notes on Acoustics I. Swiss Federal Institute of Technology, ETH Zurich, 2016.

## ACOUSTICAL METHODS IN GEODYNAMICAL AND GEOMECHANICAL PROBLEMS

**Varamashvili N., Chelidze T., Chelidze Z., Gigiberia M., Ghlonti N.**

**Summary:** *By recording and analyzing the acoustic waves that have arisen in the process of various processes, one can make important conclusions about events of interest to us. Active (also passive) methods can be used to study the environment, buildings, living organisms, without damaging them. In our work, we use acoustic methods for monitoring and predicting landslide processes. This method allows you to create landslide monitoring and early private systems with low costs. The paper also presents the results of our study of the mechanical characteristics of the walls of various buildings and the quality of damage to buildings using ultrasound sounding and tomography.*