

**ს ა ქ ა რ თ ვ ე ლ ო ს
გეოფიზიკური ასოციაცია**

60 თბილისი , მ. ალექსიძის ქ.
ტელ. 233-28-67; ფაქსი: 233-28-67
E-mail: Tamaz.chelidze@gmail.com



**GEORGIAN
GEOPHYSICAL ASSOCIATION**

1 Alexidze str. - Tbilisi 0160 - Georgia
Phone: (995 32) 233-28-67; Fax/phone: (995 32)
233-28-67; E-mail: Tamaz.chelidze@gmail.com

ვამტკიცებ **2021 წ.**
ა(ა)იპ საქართველოს გეოფიზიკური
ასოციაციის თავმჯდომარე
აკადემიკოსი თამაზ ჭელიძე

**საქართველოში ბახვი 1 ჰესის მშენებლობის ადგილის გეოფიზიკური
კვლევა და სეისმური საშიშროების შეფასება**

(ანგარიში)

ძირითადი შემსრულებლები:

ნინო წერეთელი – აკადემიური დოქტორი, ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის

ნ. წერეთელი

სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. წოდინას სახ. გეოფიზიკის
ინსტიტუტის სექტორის ხელმძღვანელი, მთავარი
მეცნიერ თანამშრომელი

ოთარ ვარაზანაშვილი – აკადემიური დოქტორი, ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის

ო. ვარაზანაშვილი

სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. წოდინას სახ. გეოფიზიკის
ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი

თამარ შუბლაძე – ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო

თ. შუბლაძე

უნივერსიტეტის მ. წოდინას სახ. გეოფიზიკის
ინსტიტუტის სპეციალისტი

ნაზი ტულუში – ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო

ნ. ტულუში

უნივერსიტეტის მ. წოდინას სახ. გეოფიზიკის
ინსტიტუტის სპეციალისტი

ლაშა ლუდუშაური – ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო

ლ. ლუდუშაური

უნივერსიტეტის მ. წოდინას სახ. გეოფიზიკის
ინსტიტუტის სპეციალისტი

სბრევიატურები

AF – Active Fault

ANAS-GIA – Institute of Geology of Azerbaijan

ASS – Area Seismic Source

EMME – Earthquake Model of Middle East

GEM – Global Earthquake Model

GMPE – Ground Motion Prediction Equation

IGTSU – M. Nodia Institute of Geopgysicsi of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University. Georgia

IIEES – International Institute of Earthquake Engineering and Seismology. Iran

ILIAUNI – Sciences and National Seismic Monitoring Center of Ilia State University

ISC – International Seismological Centre

KOERI – Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute. Turkey

MOS – Operative Seismological Catalogue of the Geophysical Survey of RAS, Obninsk

MSK – Medvedev-Sponheuer-Karnik scale

NSSP – Armenian National Survey for Seismic Protection

PGA – Peak Ground Acceleration

PGAH – Horizontal Peak Ground Acceleration

RSSC – ANAS Republican Seismic Survey Center of Azerbaijan National Academy of Sciences

SA – Spectral Acceleration

SAH – Horizontal Spectral Acceleration

შინაარსი

1. შესავალი
- 1.1 საკვლევი რაიონის გეოგრაფიული მდებარეობა და გეომორფოლოგიური პირობები
- 1.2 პოტენციური მიწისძვრების შემთხვევაში გრუნტის მოძრაობის დონეების დადგენა ჰესის პროექტირებისა და მშენებლობისათვის
2. მშენებლობის ადგილის გამოკვლევა გეოფიზიკური მეთოდებით
- 2.1 გრუნტის რეზონანსული სიხშირეების დადგენა სეისმური ხმაურის გაზომვით
- 3 მშენებლობის ადგილის სეისმური საშიშროების შეფასება
- 3.1 ძირითად მონაცემთა ბაზები და კომპონენტები
 - 3.1.1 მიწისძვრის კატალოგები
 - 3.1.2 მიწისძვრის მაგნიტუდის სკალის ჰომოგენიზაცია
 - 3.1.3 მიწისძვრის კატალოგის სტატისტიკური ანალიზი: კატალოგების გაწმენდა და სისრულე
 - 3.1.4 საკვლევი რაიონის სეისმურობა
- 3.2 საკვლევი რაიონის აქტიური რღვევები და სეისმოგენური კერების ზონები
 - 3.2.1 აქტიური რღვევები
 - 3.2.2 სეისმოგენური კერების ზონები
 - 3.2.2.1 აქტიური რღვევებისა და ფონური სეისმურობის მოდელი
 - 3.2.2.2 სეისმური კერების არეების მოდელი და მაქსიმალური მაგნიტუდა
- 3.3 გრუნტის რხევების მახასიათებელი მოდელი
- 3.4 ლოგიკური ხე და ცთომილების მოდელი
- 3.5 სეისმური საშიშროების ალბათური შეფასება
- 3.6 სეისმური საშიშროების დეაგრეგაცია მოცემული ადგილისთვის
- 3.7 სეისმური საშიშროების დეტერმინისტული შეფასება
- 3.8 მშენებლობის ადგილისთვის აქსელეროგრამების პაკეტის შერჩევა
4. დასკვნები
5. ლიტერატურა

1. შესავალი

მოცემული ანგარიში მომზადებულია სეისმური საშიშროების შეფასების შედეგების წარმოსადგენად, რაც აუცილებელია სეისმომდეგი ჰიდროკვანძის (ბახვი 1 ჰესი) დაპროექტებისა და მშენებლობისათვის დასავლეთ საქართველოში, გურიის მხარეში, მდ. ბახვისწყლის ხეობაში (რომელიც ერთვის მდ. სუფსას, ხოლო ეს უკანასკნელი - შავ ზღვას).

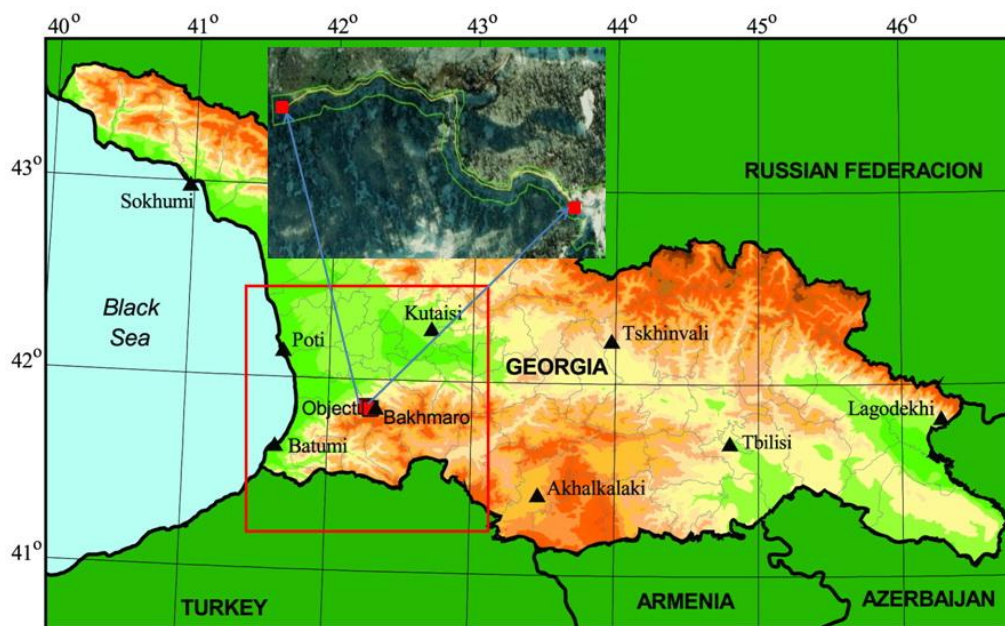
ბახვი 1 ჰესის სამშენებლო მოედანი მდებარეობს ჩოხატაურისა და ოზურგეთის მუნიციპალიტეტების საზღვარზე, მდ. ბახვისწყლის ხეობის ზედა ნაწილში. ჰესის საპროექტო დერეფანი მოიცავს ხეობის დაახლოებით 4 კმ სეგმენტს. ხეობის ვარდნა ზედა - სათავო ნაგებობასა და ქვედა - ელექტროსადგურის შენობას შორის ქმნის ხელსაყრელ პირობებს ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობისთვის.

სეისმური საშიშროების შეფასება განხორციელდა ბახვი 1 ჰესის ორი სამშენებლო უბნისთვის - სათავო ნაგებობა და ელექტროსადგური.

1.1 საკვლევი რაიონის გეოგრაფიული მდებარეობა და გეომორფოლოგიური პირობები

საქართველოს ტერიტორიის გეომორფოლოგიური დარაიონების სქემის მიხედვით, საკვლევი რაიონი მიეკუთვნება სამხრეთი საქართველოს მთიანეთის ზონის საშუალო სიმაღლის მთა-ხეობებიანი რელიეფის ქვეზონას, რომელიც განვითარებულია მესამეული ასაკის ვულკანოგენურ ნაოჭა სტრუქტურებზე. აღნიშნული ქვეზონა წარმოადგენს მესხეთის ქედის დასავლეთ დაბოლოებას, რომელიც დასერილია მერიდიანული მიმართულების ქედებითა და მათ შორის არსებული მდინარეთა ხეობებით. აღნიშნულ ქვეზონაში მრავლადაა განვითარებული ეროზიულ-დენუდაციური, მეწყრული და ღვარცოფული პროცესები.

მდინარე ბახვისწყალი, რომელზეც დაგეგმილია ბახვი 1 ჰესის მშენებლობა, სათავეს იღებს მესხეთის ქედის ჩრდილო-დასავლეთ კალთაზე. როგორც ითქვა, მდინარე ბახვისწყალი არის მდინარე სუფსის მარცხენა შენაკადი, სიგრძე - 42 კმ და იგი იერთებს 90-ზე მეტ პატარა შენაკადს. ჰესის მშენებლობის ადგილი მოიცავს მდ. ბახვისწყლის ხეობის ზედა ნაწილს. მდ. ბახვისწყალი ძირითადად მოედინება V-ს ფორმის ხეობაში, ზოგ ადგილას კი ქმნის ძალიან ვიწრო კანიონისებურ ხეობას და კლდეკარებს. ხასიათდება ფერდობების ციცაბო დახრილობით. ტერიტორიის გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობას იღებენ პალეოგენური ასაკის ლავური ბრექჩიები და ბაზალტური შედგენილობის შრეებრივი ტუფები. ეს კლდოვანი ქანები, უმეტეს შემთხვევაში გადაფარულია მეოთხეული ასაკის დელუვიური, დელუვიურ-კოლუვიური და დელუვიურ-პროლუვიური წარმოშობის საფარი გრუნტებით.



ნახ. 1.1 საკვლევი ობიექტისა და რაიონის გეოგრაფიული მდებარეობა და საზღვრები

საქართველოს ამ ნაწილის სეისმურობის გათვალისწინებით, აგრეთვე დიდი კაშხლების საერთაშორისო კომისიის რეკომენდაციების შესაბამისად (ICOLD, 2010) საკვლევ რაიონად დადგინდა ტერიტორია (ნახ. 1.1), რომლის საზღვრები 70 კმ-ით არის დაშორებული ობიექტიდან (ობიექტი - ბახვი 1 ჰესის სამშენებლო მოედანი).

გეოტექტონიკური თვალსაზრისით ობიექტის გარემომცველი საკვლევი რაიონი მოიცავს კავკასიის რვა ტექტონიკური ერთეულის ნაწილებს: უშუალოდ ობიექტი მდებარეობს აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-შეცოცებით მთიან სარტყელში (დასავლეთის სეგმენტი); ჩრდილოეთიდან მას ესაზღვრება რიონის დეპრესია (ფორლანდი), ოდიშის დეპრესია („ფიგიბექ“ აუზი) და საქართველოს ბელტი; სამხრეთიდან ესაზღვრება ჯავახეთის ვულკანური ზეგანი და აღმოსავლეთ პონტიდები; ხოლო დასავლეთიდან - გურიის დეპრესია („ფიგიბექ“ აუზი) და შავი ზღვის ღრმული.

საკვლევი რაიონისთვის დამახასიათებელია დედამიწის ქერქის რთული ბლოკური აგებულება. იგი მოიცავს ზემოთ აღნიშნული გეოტექტონიკური ერთეულების ყველა ძირითად სეისმურად აქტიურ ზონებს. კერძოდ აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-შეცოცებითი მთიანი სარტყლის და გურიის დეპრესიის მაღალი სეისმური აქტივობა (როგორც ისტორიულ წარსულში, ასევე თანამედროვე პერიოდში) განსაზღვრავს საკვლევი რაიონის მნიშვნელოვან სეისმურობას.

1.2 პოტენციური მიწისძვრების შემთხვევაში გრუნტის მოძრაობის დონეების დადგენა ჰესის პროექტირებისა და მშენებლობისათვის

ბახვი 1 ჰესი მიეკუთვნება მცირე ჰესების კატეგორიას. ჰესების სეისმური უსაფრთხოების შეფასების თანამედროვე მსოფლიო პრაქტიკა დაფუძნებულია რეკომენდაციებზე, რომლებიც ჩამოყალიბებული იქნა დიდი კაშხლების საერთაშორისო კომისიის (ICOLD) კაშხლების პროექტირების სეისმური ასპექტების

კომიტეტის (COSAODD) მიერ (ICOLD Bulletin, 1989; 2010, 2016). ეს რეკომენდაციები სრულად ვრცელდება მცირე ჰესებზეც (იხ. მაგ., Wieland, 2008).

ICOLD-ის რეკომენდაციების შესაბამისად, ძირითადი სეისმური დატვირთვები ახალი ჰიდროკვანძის პროექტებისთვის ან არსებულის უსაფრთხოების შეფასებისთვის მიიღება მოსალოდნელი მიწისძვრების ორი დონის მიხედვით:

- პირველი (შედარებით დაბალი) დონის მიწისძვრა არის ექსპლოატაციის პერიოდის მიწისძვრას - OBE (Operating Basis Earthquake) და შეიძლება ველოდოთ ობიექტის ექსპლოატაციის მთელი ვადის განმავლობაში. OBE-ს დროს არ უნდა მოხდეს ობიექტის დაზიანება ან/და ფუნქციონირების შეწყვეტა. ასეთი დონის მიწისძვრის გადაჭარბების ალბათობა 50% ან 20%-ს (განმეორებადობის პერიოდი 145 ან 475 წელი) შეადგენს 100 წლის განმავლობაში (ICOLD, 2010).
- მეორე (უფრო მაღალი) დონის მიწისძვრას უწოდებენ მაქსიმალურ საანგარიშო მიწისძვრას – MDE (Maximum Design Earthquake) და მისთვის დამახასიათებელია გრუნტის რხევების მაქსიმალური დონე, რომელზეც ობიექტი უნდა იყოს გათვლილი (Adamo et al., 2020). თუმცა ეს ტერმინი ICOLD-ის ბიულეტენი 72-ის მეორე განახლებულ გამოცემაში შეიცვალა ტერმინით - უსაფრთხოების შეფასების მიწისძვრა – SEE (Safety Evaluation Earthquake) (ICOLD, 2010). SEE დონის მიწისძვრა არის მოვლენა, რომლის დროსაც ჰესი უნდა განაგრძობდეს ფუნქციონირებას ისე, რომ შეინარჩუნოს მთლიანობა და უსაფრთხოება. თუ მივიღებთ მხედველობაში ჰესების კლასიფიკაციას სიდიდის მიხედვით და მათი კრიტიკული ელემენტების უსაფრთხოების კლასს, მაშინ SEE შესაბამისად იქნება შემდეგი:
 - (a) ექსტრემალური ან მაღალი შედეგების მომტანი (დაზიანების შემთხვევაში) კაშხლები. SEE-ს შესაბამისი გრუნტის რხევები უნდა შეფასდეს 0.84 კვანტილის დონეზე, თუ დეტერმინისტული მიდგომაა გამოყენებული და საშუალო წლიური გადაჭარბების ალბათობა - AEP (Annual Exceedance Probability) უნდა იყოს არანაკლებ $1/10\,000$ (ანუ 100 წელში დაახლოებით 1% გადაჭარბების ალბათობა და განმეორების პერიოდი 10 000 წელი), თუ ალბათური მიდგომაა გამოყენებული.
 - (b) საშუალო შედეგების მომტანი კაშხლები, SEE გრუნტის რხევები უნდა შეფასდეს 0.5- 0.84 კვანტილის დონეზე, თუ დეტერმინისტული მიდგომაა გამოყენებული და უნდა ჰქონდეს საშუალო AEP არანაკლებ $1/3000$ (ანუ 100 წელში დაახლოებით 3.3% გადაჭარბების ალბათობა და განმეორების პერიოდი 3000 წელი), თუ გამოიყენება ალბათური მიდგომა.
 - (c) დაბალი შედეგების მომტანი კაშხლები, SEE გრუნტის რხევები უნდა შეფასდეს 0.5 კვანტილის დონეზე, თუ დეტერმინისტული მიდგომაა გამოყენებული და უნდა ჰქონდეს საშუალო AEP არანაკლებ $1/1000$ (ანუ 100 წელში დაახლოებით 10% გადაჭარბების ალბათობა და განმეორების პერიოდი 1000 წელი), თუ გამოიყენება ალბათური მიდგომა.

კაშხლის ავარიის შედეგები ყველაზე გავრცელებული კატეგორიაა და ასევე ცნობილია, როგორც საშიშროების პოტენციალის კლასიფიკაცია ან საშიშროების რეიტინგი. ICOLD ბიულეტენ 72-ში წარმოდგენილია რისკის კლასიფიკაციის მარტივი კონცეფცია საშიშროების პოტენციალთან მიმართებაში ოთხი პარამეტრის გამოყენებით, კერძოდ (i) კაშხლის სიმაღლე, (ii) წყალსაცავის ტევადობა, (iii) ადამიანების პოტენციური რაოდენობა, რომელიც შეიძლება დაზიანდეს და (iv) სხვა პოტენციური შედეგები (ცხრილი 1.1).

ცხრილი 1.1 ICOLD-ის კაშხლების კლასიფიკაციის სისტემა

Risk Factor	Extreme	High	Moderate	Low
Contribution to risk (weighting points)				
Capacity (hm ³)	> 120 (6)	120-1 (4)	1-0.1 (2)	<0.1 (0)
Height (m)	> 45 (6)	45-30 (4)	30-15 (2)	<15 (0)
Evacuation Requirements (No. of persons)	> 1 000 (12)	1 000-100 (8)	100-1 (4)	None (0)
Potential Downstream Damage	High (12)	Moderate (8)	Low (4)	None (0)

ცხრილი 1.2 განსაზღვრავს რისკის კლასს / შედეგებს (რეიტინგს), გამოთვლილს რისკის ერთიანი ფაქტორის საფუძველზე და არის შემდეგი:

ცხრილი 1.2 ერთიანი რისკის ფაქტორის განსაზღვრა

Total Risk Factor	Risk Class (Risk Rating)
0-6	I (Low)
7-18	II (Moderate)
19-30	III (High)
31-36	IV (Extreme)

ICOLD-ის კაშხლების კლასიფიკაციით ბახვი 1 ჰესის კაშხალი, თავისი პარამეტრებით, მიეკუთვნება დაბალი შედეგების მომტან კაშხლებს.

ჰესის კრიტიკული ელემენტების ანალიზისთვის საჭირო ტიპიური შემავალი სეისმური პარამეტრები მოიცავს აქსელეროგრამებს, გრუნტის პიკურ აჩქარებებს ან/და სპექტრალურ აჩქარებებს, რომლებიც დადგენილია ალბათური ან/და დეტერმინისტული მიდგომებით (ICOLD, 2010).

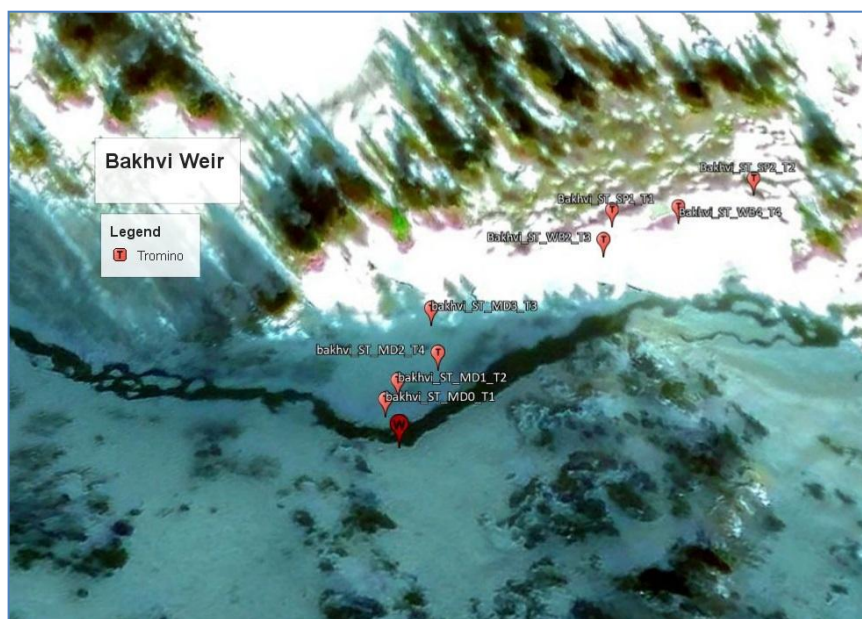
2. მშენებლობის ადგილის გამოკვლევა გეოფიზიკური მეთოდებით

2021 წლის 17-20 ოქტომბერს ბახვი 1 ჰესის მშენებლობის ადგილზე ჩატარდა გეოფიზიკური კვლევა - პასიური წყაროების ანალიზი წერტილოვანი გაზომვებით. ჩატარებული კვლევის მიზანს წარმოადგენდა მშენებლობის ადგილის გრუნტების რეზონანსული სიხშირეების დადგენა, რომელთა გავლენაც სეისმურ საშიშროებაზე

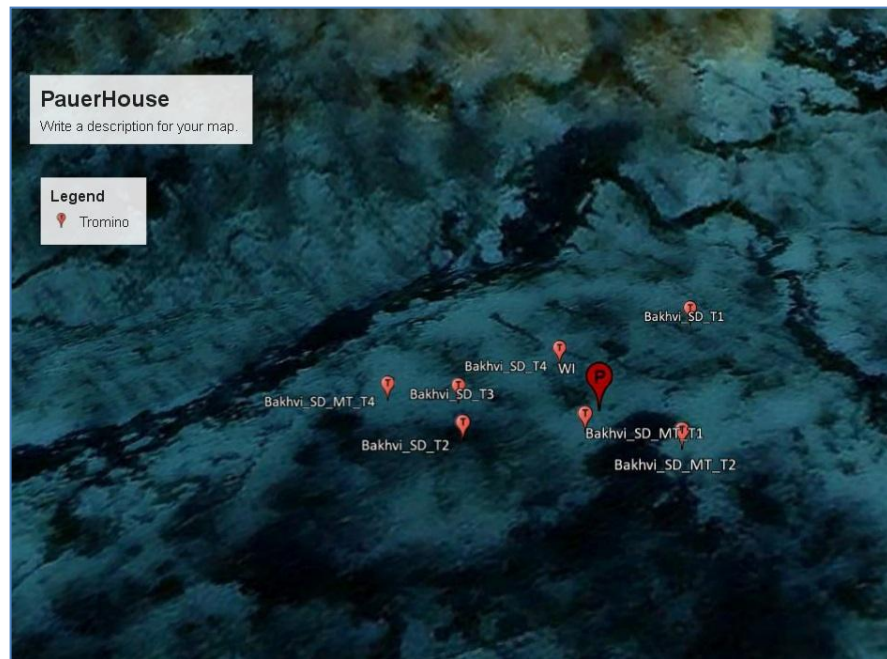
მნიშვნელოვანია. გრუნტის რეზონანსული სიხშირეების ცოდნა ასევე მნიშვნელოვანია ნაგებობების დაპროექტებისას, რათა არ მოხდეს მათი ძირითადი სიხშირის გრუნტის რეზონანსულ სიხშირესთან თანხვედრა. პასიური ჩანაწერები ამავდროულად გვაძლევენ ინფორმაციას უშუალოდ გრუნტის თვისებებზე. დამატებითი ინფორმაციის არსებობის შემთხვევაში (ჭაბურღილის მონაცემები) პასიური ჩანაწერი საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ სიჩქარული მოდელი ზედა ფენებში.

განხორციელდა გარემოს ვიზრაციის გაზომვა 14 წერტილში სეისმური ხმაურის წერტილოვანი რეგისტრაციის მეშვეობით. მათგან 8 გაზომვა ჩატარდა ბახვი 1 ჰესის სათავო ნაგებობის ტერიტორიაზე. ოთხი გაზომვა ჩატარდა უშუალოდ ჭაბურღილებთან SP2, Sp1, WB4 და WB2 (იხ. ანგარიში მდ. ბახვიწყლის ხეობის გეოლოგიური აგებულება), ხოლო დანარჩენი ოთხი - დაგეგმილი კაშხლის ფერდობზე (ნახ. 2.1 a). ექვსი გაზომვა ჩატარდა ბახვი 1 ჰესის ელექტროსადგურის ტერიტორიაზე (ნახ. 2.1 b). ცხრილ 2.1-ში მოცემულია წერტილოვანი გაზომვების კოორდინატები.

a)



b)



ნახ. 2.1 a) ბახვი 1 ჰესის სათავო ნაგებობასთან ჩატარებული გეოფიზიკური გაზომვების რუკა. ხმაურის გაზომვა ცალკეულ სადგურებზე აღნიშნულია წითელი სიმბოლოებით; b) ბახვი 1 ჰესის ელექტროსადგურთან ჩატარებული გეოფიზიკური გაზომვების რუკა. ხმაურის გაზომვა ცალკეულ სადგურებზე აღნიშნულია წითელი სიმბოლოებით

ცხრილი 2.1 წარმოდგენილია ბახვი 1 ჰესის სამშენებლო ტერიტორიაზე ჩატარებული გაზომვების კოორდინატები. 1-8 წერტილი მდებარეობს ბახვი 1 ჰესის სათავო ნაგებობის ტერიტორიაზე, 9-14 წერტილი კი - ელექტროსადგურის ტერიტორიაზე. მწკრივები გამოიყოფა ერთი ფერით, როდესაც გაზომვები დაჯგუფებულია გეოგრაფიული სიახლოვის მიხედვით.

ID	Name	comments	X	Y	H
01	Bakhvi_ST_SP1_T1	SP1 BH	275353.08	4638213.65	1772
02	Bakhvi_ST_SP2_T2	SP2 BH	275386.7	4638208.27	1774
03	Bakhvi_ST_WB2_T3	WB2 BH	275346.8	4638191.89	1757
04	Bakhvi_ST_WB4_T4	WB4 BH	275367.79	4638208	1770
05	bakhvi_ST_MD0_T1		275286	4638176	1722
06	bakhvi_ST_MD1_T2		275287	4638177	1723
07	bakhvi_ST_MD2_T4		275307	4638198	1726
08	bakhvi_ST_MD3_T3		275307	4638207	1730
09	Bakhvi_SD_T3		272261	4639133	1398
10	Bakhvi_SD_T2		272262	4639125	1318
11	Bakhvi_SD_T4		272275	4639138	1396
12	Bakhvi_SD_T1		272294	4639143	1397
13	Bakhvi_SD_MT_T4		272251	4639136	1400

14	Bakhvi_SD_MT_T1		272278	4639123	1392
----	-----------------	--	--------	---------	------

სეისმური ხმაურის რეგისტრაციისა და გრუნტების საკუთარი რხევების ჩასაწერად გამოყენებული იყო სეისმოგრაფი Tromino 3G (ნახ. 2.2).



ნახ. 2.2 Tromino 3G

Tromino სადგურები ერთიანი სისტემაა, რაც ნიშნავს, რომ სენსორი და მონაცემთა რეგისტრატორი ინტეგრირებულია ერთ უნიკალურ კორპუსში.

ხელსაწყოს აღწერილობა:

- 3 ველოსიმეტრული არხი დინამიური ინტერვალით ± 1.5 მმ/წმ, სუსტი ვიბრაციების რეგისტრაციისთვის;
- 3 ველოსიმეტრული არხი დინამიური ინტერვალით ± 5 მმ/წმ, ძლიერი ვიბრაციების რეგისტრაციისთვის;
- 3 აქსელერომეტრული არხი;
- სენსორის სიხშირეთა ინტერვალი 0.1-300 ჰც;
- GPS და რადიო გადაცემის მოდული, სინქრონიზაციისთვის.
- სამი არხი ორიენტირებულია: ჩრდილოეთი-სამხრეთით (N-S), აღმოსავლეთი-დასავლეთით (E-W) და ვერტიკალურად (Up-Down).
- ხელსაწყოს რეზოლუცია -128.

ინსტალაციის დროს, ითხრებოდა მცირე ორმოები სენსორების ადგილზე განთავსებისთვის, სიფრთხილის ზომები იყო მიღებული სენსორების დაყენებისას სათანადო შეჭიდულობის უზრუნველსაყოფად. ასევე, მიღებული იყო ზომები, რომ არ მომხდარიყო სენსორების განთავსება უშუალოდ კომუნიკაციებზე ან ხმაურის წყაროებზე.

ფუძე-გრუნტების (კლდოვანი გრუნტების) რხევის პერიოდისა და სიხშირის განსაზღვრისათვის შეგროვდა გარემოს ვიბრაციის ორმოცდახუთი წუთის ჩანაწერი და გამოყენებულ იქნა HVSR მეთოდი (Nakamura, 1989; Lunedei and Malischewsky, 2015; Sanchez-Sesma, 2017).

მიღებული მონაცემები ანალიზურად დამუშავდა პროგრამით: Grilla.

2.1 გრუნტის რეზონანსული სიხშირეების დადგენა სეისმური ხმაურის გაზომვით

რათა შეფასდეს გრუნტის საკუთარი რხევები საჭიროა განისაზღვროს ფუნდამენტური / რეზონანსული სიხშირეები. სეისმური მიკროვიბრაციების (ხმაურის) ჩაწერის შედეგად, ჰორიზონტალური და ვერტიკალური სპექტრული თანაფარდობით, დგინდება რეზონანსული სიხშირეები. ეს მეთოდი ცნობილია, როგორც HVSR – Horizontal and Vertical Spectral Ratio. ეს არის ჩანაწერის კომპონენტების სპექტრების თანაფარდობა 20-წამიანი ბიჯით, რათა მთელი ჩანაწერის მანძილზე განისაზღვროს სიხშირეების პიკები, შესაბამისი ამპლიტუდები და პერიოდის მახასიათებლები (მაგ., Nakamura, 1989; Lunedei and Malischewsky, 2015; Sánchez-Sesma, 2017). ჰორიზონტალური სპექტრები გამოთვლილ იქნა ჩრდილოეთ და აღმოსავლეთ კომპონენტებიდან, როგორც: $\sqrt{(\text{north}^2 + \text{east}^2)}$ თითოეული დროითი ფანჯრისთვის HVSR-ის გამოთვლამდე. შემდეგ, ჩვენ გავთვალეთ საშუალო HVSR თითოეული სადგურისთვის.

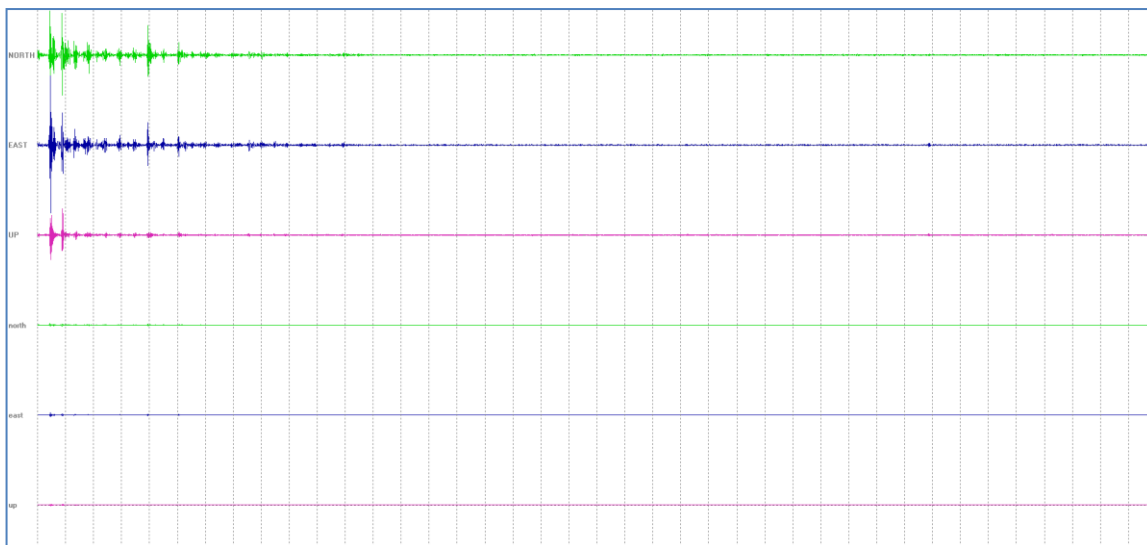
სპექტრების თანაფარდობამდე ხდება ფურიეს სპექტრების გაგლუვება სამკუთა 10% გლუვი ფუნქციის გამოყენებით საბოლოოდ ვღებულობთ სიხშირეებს პიკური ამპლიტუდით (f_0 და f_1), რომლებიც იძლევა ინფორმაციას შრეების რეზონანსულ სიხშირეზე. f_0 - ფუძე-გრუნტის სიხშირეა, რითაც გამოისახება კორელაცია დანალექი ფენის ჩაწოლის სიღრმეს (დანალექი ფენის სისქე), რეზონანსულ სიხშირესა და განივი სეისმური ტალღის სიჩქარეს შორის $f_0 = V_s / 4h$, როდესაც გარემო ერთგანზომილებიანია, სადაც f_0 - რეზონანსული სიხშირე, V_s - განივი სეისმური ტალღის სიჩქარე, h - დანალექი ფენის სისქე.

თითოეული დაკვირვების წერტილის მონაცემები (ჩანაწერები და მათი ანალიზი) წარმოდგენილია ნახ. 2.3 და 2.4-ზე.

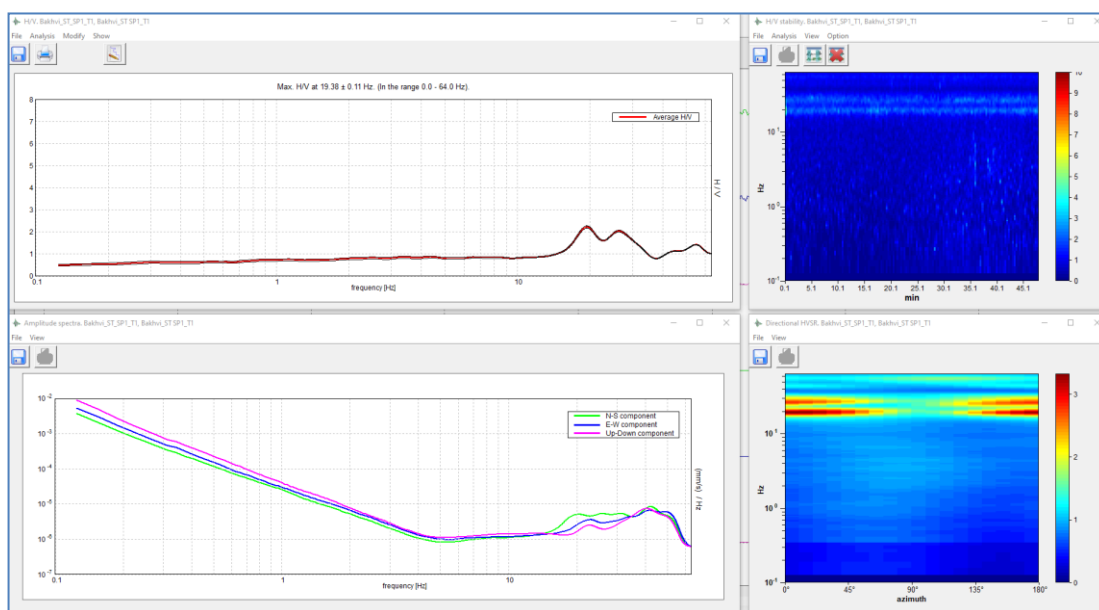
ნახ. 2.3 ბახვი 1 ჰესის სათვე ნაგებობასთან ჩატარებული სეისმური ხმაურის გაზომვები: a), c), e), g), i), k), m), o) ჩანაწერები შესაბამის წერტილზე, b_1), d_1), f_1), h_1), j), l), n), p) ჩანაწერების ანალიზი. კერძოდ: HVSR წირის გრაფიკი; ჩანაწერის N-S, E-W და ა Up-Down კომპონენტების ფურიე-სპექტრის სიხშირულ-ამპლიტუდური მრუდი 10% გაგლუვებით; HVSR მდგრადობა და HVSR ის აზიმუტალური მიმართულება; b-2), d_2), f_2), h_2) - N-S, E-W და Up-Down კომპონენტების ფურიე-სპექტრის სიხშირულ-ამპლიტუდური მრუდი გაგლუვების გარეშე.

Bakhvi_ST_SP1_T1: გაზომვა ჩატარებულია SP1 ჰაბურლილთან

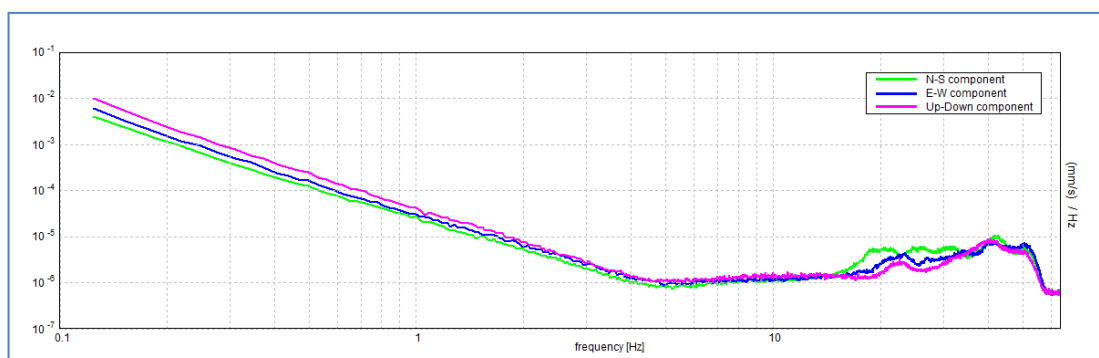
a)



b_1)



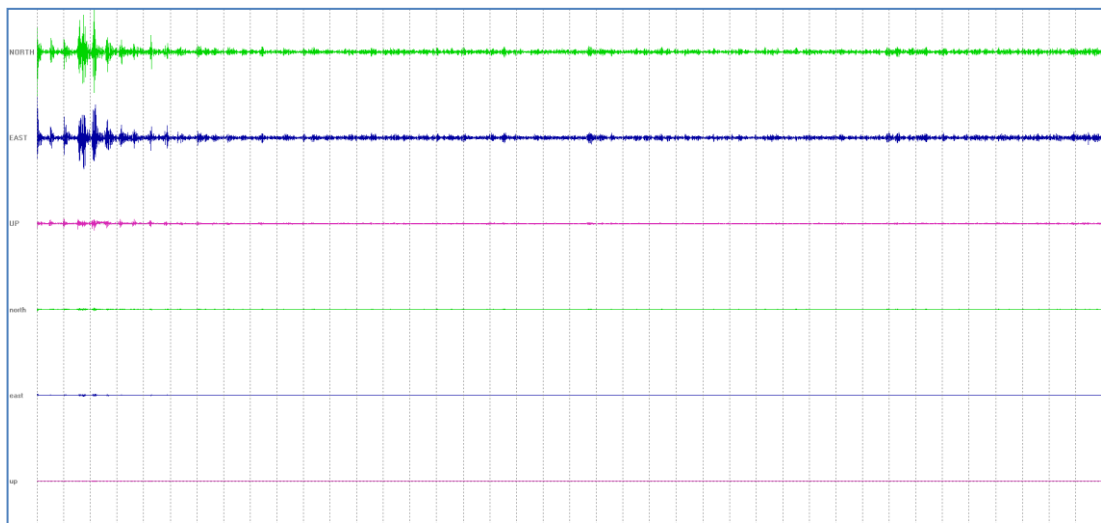
b_2)



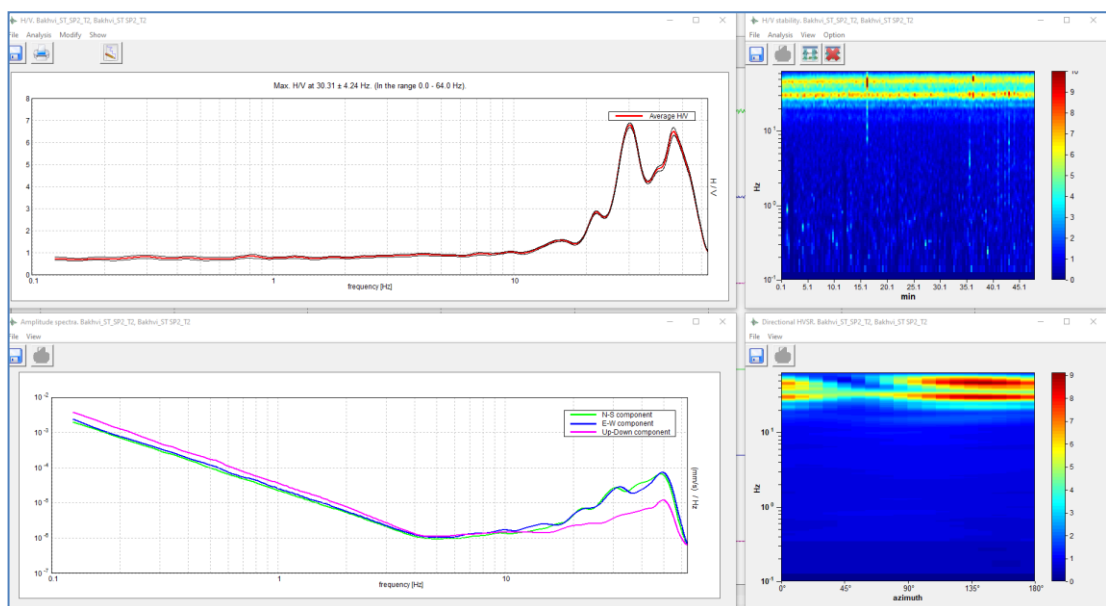
ჩანაწერის ანალიზი SP1 ჯაბურდითან Bakhvi_ST_SP1_T1 წერტილში გვიჩვენებს რომ HVSR მრუდის პიკური მნიშვნელობა დაიკვირვება 19.38 ჰც სიხშირეზე. თუ განვიხილავთ HVSR მრუდის ცალკეული კომპონენტების სპექტრს დავინახავთ, რომ მრუდის პიკური მნიშვნელობების შესაბამისი სიხშირეების დიაპაზონში, ჰორიზონტალური კომპონენტები ერთმანეთს არ ემთხვევა, თუმცა ვერტიკალური კომპონენტის მნიშვნელობა მინიმალურია. მისი ამპლიტუდაა 2.04, რაც ძალიან ახლოსაა ერთთან. შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ გრუნტი წარმოადგენს კლდეს.

Bakhvi_ST_SP2_T2: გაზომვა ჩატარებულია SP2 ჯაბურდითან

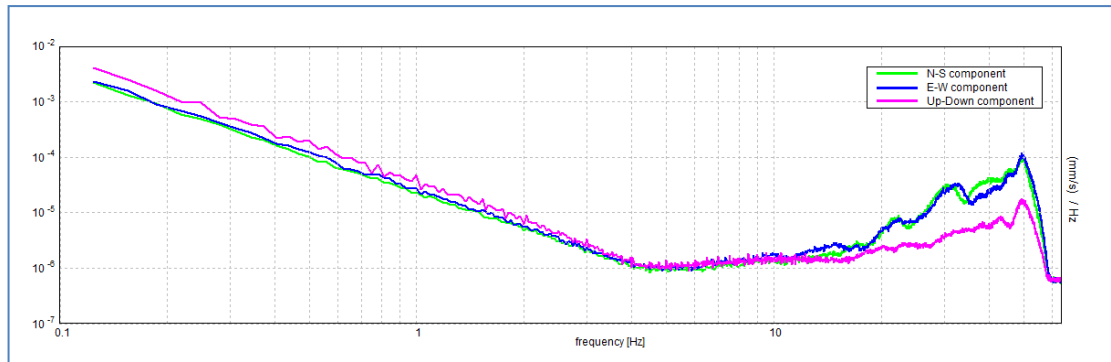
c)



d-1)



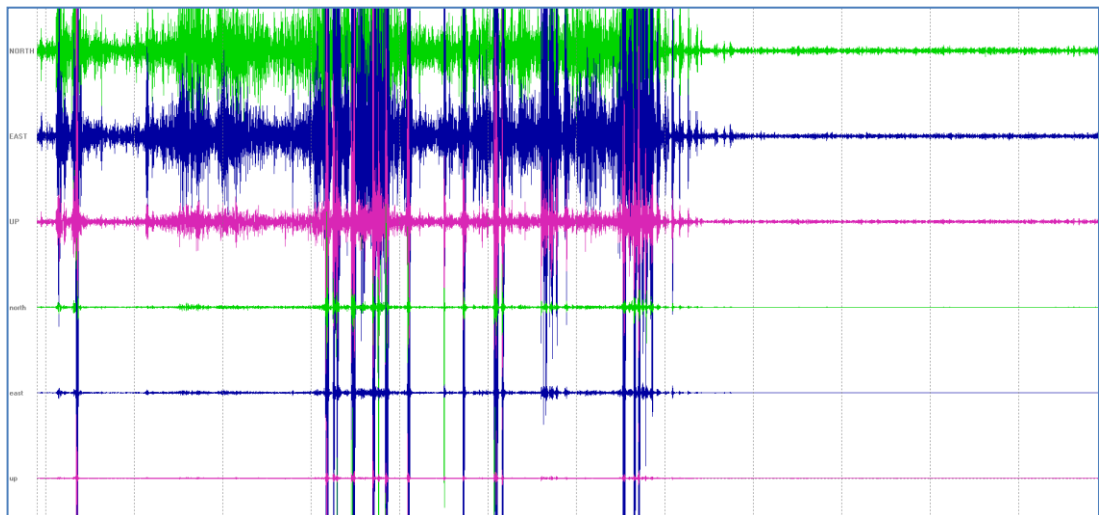
d_2)



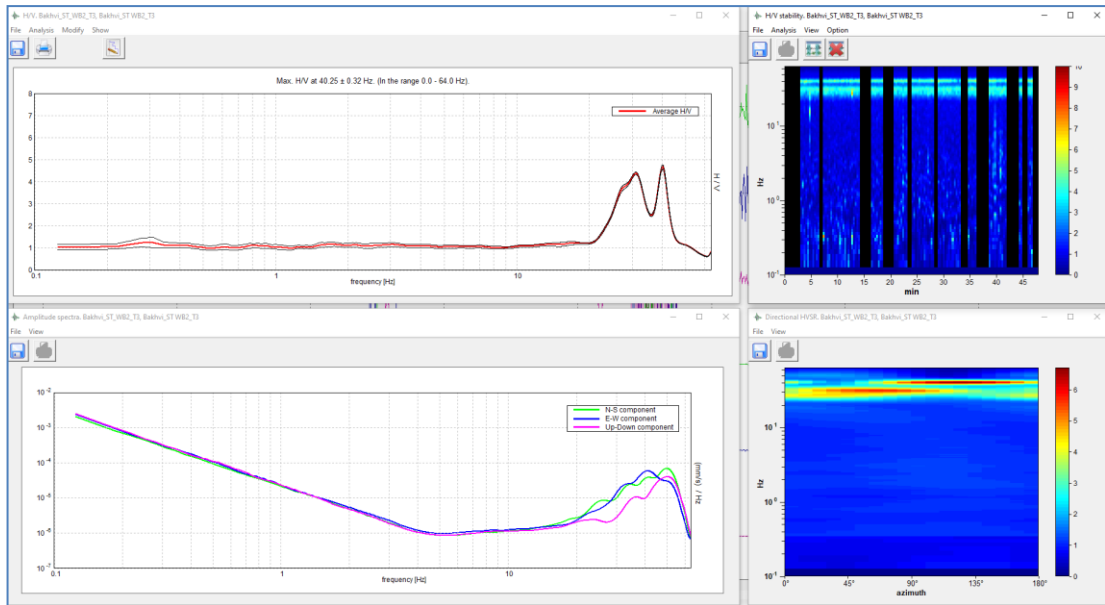
ჩანაწერის ანალიზი SP2 ჭაბურღილთან Bakhvi_ST_SP2_T2 წერტილში გვიჩვენებს რომ პირველი პიკური მნიშვნელობა დაიკვირვება 30.31 ჰერცზე. სეისმური ხმაურის ჩამწერი კომპონენტების ცალკეული სპექტრის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ NS და EW მდგენელების სპექტრი ერთმანეთს ემთხვევა პიკური მნიშვნელობის შესაბამის სიხშირეზე, თუმცა ვერტიკალური სპექტრი არ არის ამ წერტილში მინიმალური რაც მიგვითითებს იმაზე, რომ ეს სიხშირე არ შეესაბამება ფენის ფუნდამენტის სიხშირეს და გამოწვეულია სხვა მიზეზით. მეორე პიკი სიხშირეზე 22.09 ($A_0=2.81$) ასევე არ შეესაბამება ფუნდამენტურ სიხშირეს. აქაც შეგვიძლია ვთქვათ, რომ კლდოვანი ქანები გამოდის ზედაპირზე. მიღებული შედეგი არ შეესაბამება გეოლოგიურ ანგარიშში მოყვანილ ჭაბურღილის მონაცემებს, რომლის მიხედვით 0-4 მ დაიკვირვება მეოთხეული დანალექი.

Bakhvi_ST_WB2_T3: გაზომვა ჩატარებულია WB2 ჭაბურღილთან

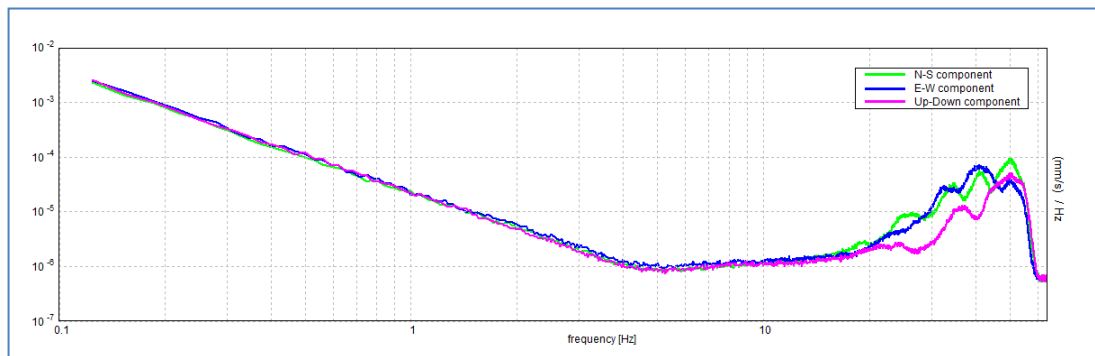
e)



f_1)



f_2)



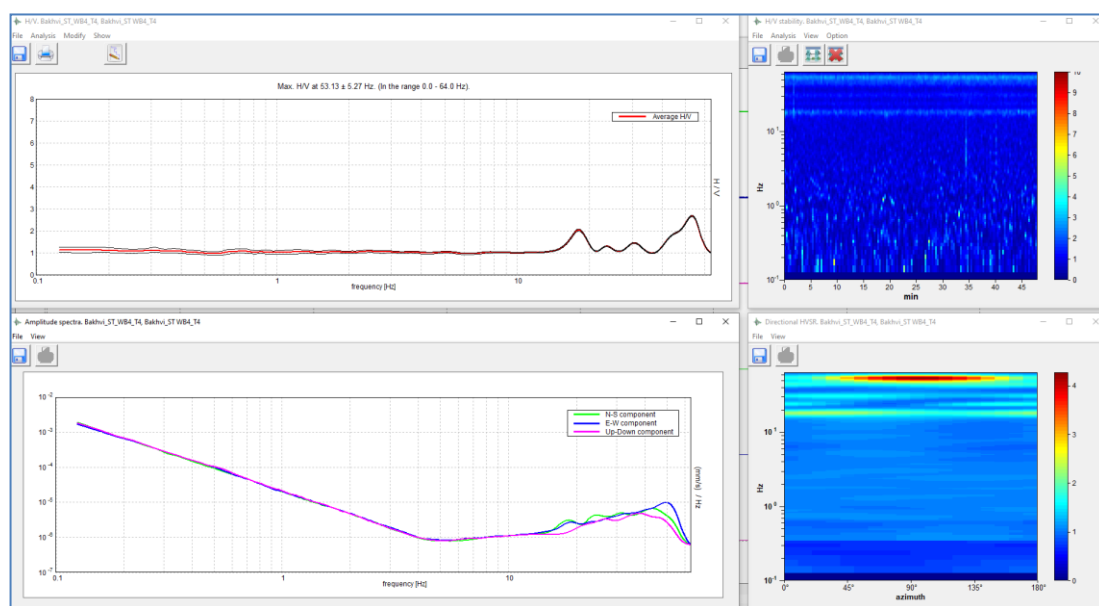
ჩანაწერის ანალიზი WB2 ჭაბურღილთან Bakhvi_ST_WB2_T3 წერტილში გვიჩვენებს, რომ HVSR მრუდის პიკური მნიშვნელობა დაიკვირვება 40.25 ჰერცზე, თუმცა მრუდის ვიწრო ფორმა, მიუთითებს, რომ ის არ შეესაბამება ფენის ფუნდამენტურ სიხშირეს. ასევე არ შეესაბამება ფენის ფუნდამენტურ სიხშირეს HVSR მრუდის მეორე პიკი 31 ჰერცზე, რადგან ჩანაწერის Up-Down კომპონენტების ფურიესპექტრის სიხშირულ-ამპლიტუდური მრუდი ამ სიხშირეზე არ უჩვენებს მის მინიმალურ მნიშვნელობას. დანარჩენ სიხშირულ დიაპაზონზე კი არ დაიკვირვება HVSR მრუდის პიკური მნიშვნელობები, რაც მიგვიითებს იმაზე რომ გრუნტი წარმოადგენს კლდეს. მიღებული შედეგი კარგ თანაფარდობაშია WB2 ჭაბურღილის მონაცემთან, რომლის მიხედვითაც კლდოვანი ქანები გამოდის ზედაპირზე.

Bakhvi_ST_WB4_T4: გაზომვა ჩატარებულია WB4 კაბურდილთან

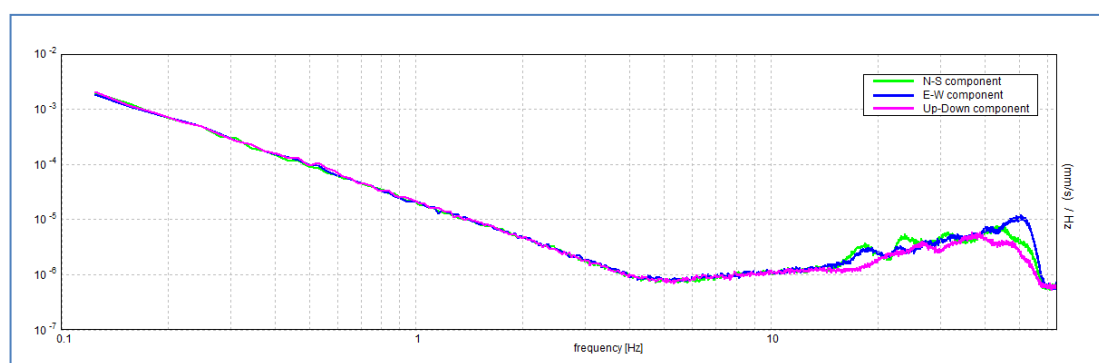
g)



h_1)



h_2)

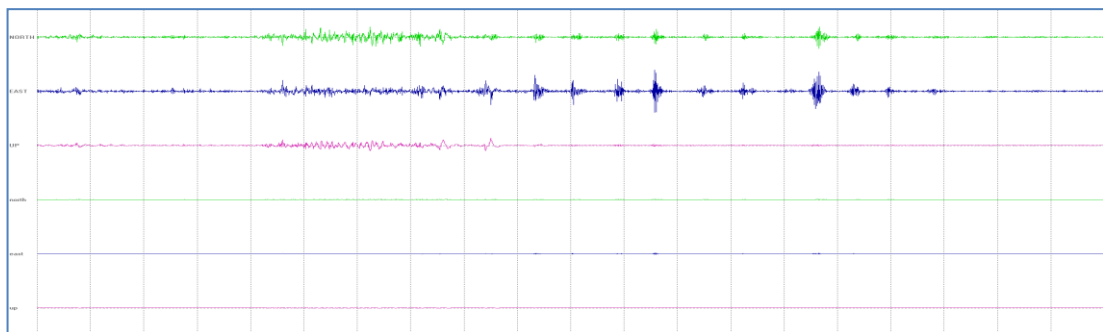


ჩანაწერების ანალიზი WB4 ჭაბურღილთან Bakhvi_ST_WB4_T4 წერტილში გვიჩვენებს, რომ მაღალ სიხშირეზე დანაკვირვები HVSR მრუდის პიკი არ შეესაბამება ფუნდამენტურ სიხშირეს. მეორე პიკი დაიკვირვება 18.03 ჰერცზე, რომელიც არის გამოშატეული ფენის ფუნდამენტური სიხშირის, თუმცა მრუდის ამპლიტუდის მნიშვნელობა აქ 2-ის ტოლია, რაც ნიშნავს, რომ კლდოვანი ქანი გამოდის ზედაპირზე. მიღებული შედეგი არ შეესაბამება WB4 ჭაბურღილის მონაცემებს, რომლის მიხედვით 0-5.6 მ დაიკვირვება მეოთხეული დანალექი. WB4 ჭაბურღილთან მიღებული ჩანაწერები მსგავსია SP1 ჭაბურღილთან მიღებული ჩანაწერის, რომელმაც ასევე არ ასახა ჭაბურღილის მონაცემებით გამოყოფილი 4 მ სიმძლავრის ფენა რომელიც შეესაბამება დანალექს. ზოგადად სეისმური ხმაურის წერტილოვანმა ჩანაწერებმა არ ასახა გეოლოგიურ ანგარიშში მოყვანილი ჭაბურღილის მონაცემები ზედა ფენაში 0-5 მ SP1, SP2 და WB4 წერტილებისთვის.

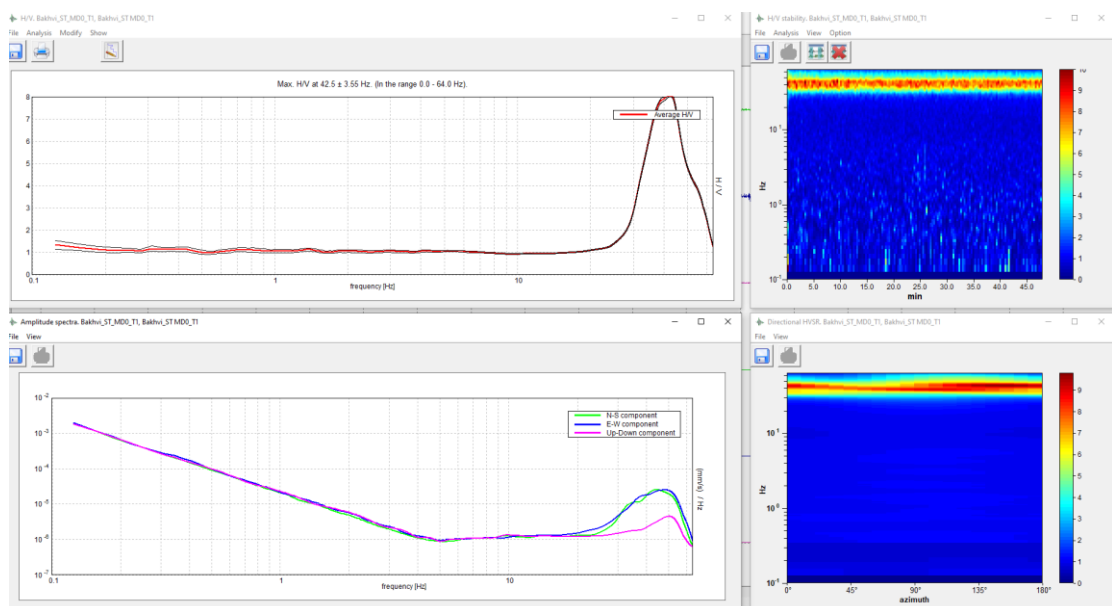
შემდეგი ოთხი ჩანაწერი Bakhvi_ST_MD0_T1, Bakhvi_ST_MD1_T2, Bakhvi_ST_MD2_T4 და Bakhvi_ST_MD3_T3 გაკეთებულია უშუალოდ დაგეგმილი კაშხლის გასწვრივ ფერდობზე (ნახ. 2.1 ა).

Bakhvi_ST_MD0_T1

i)



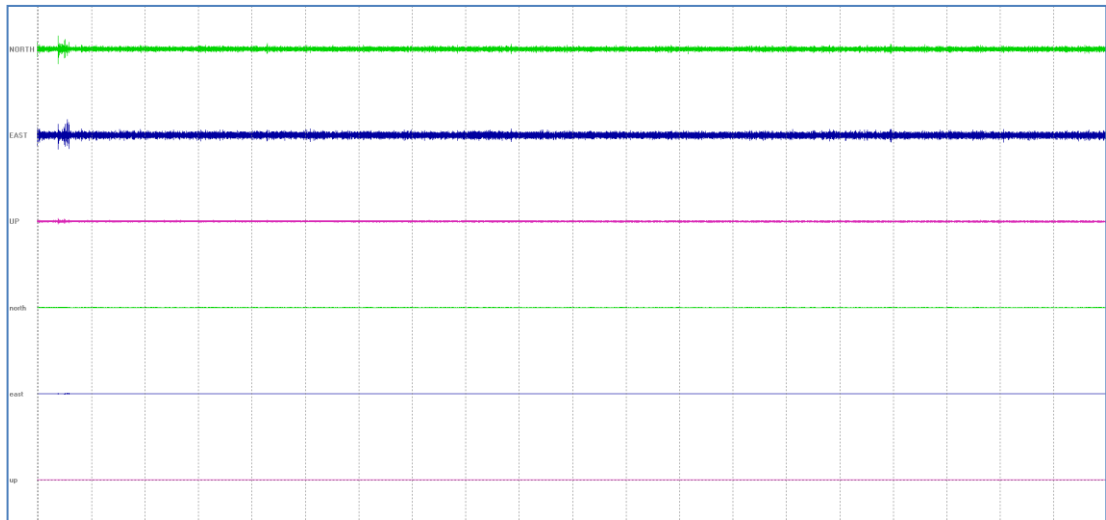
j)



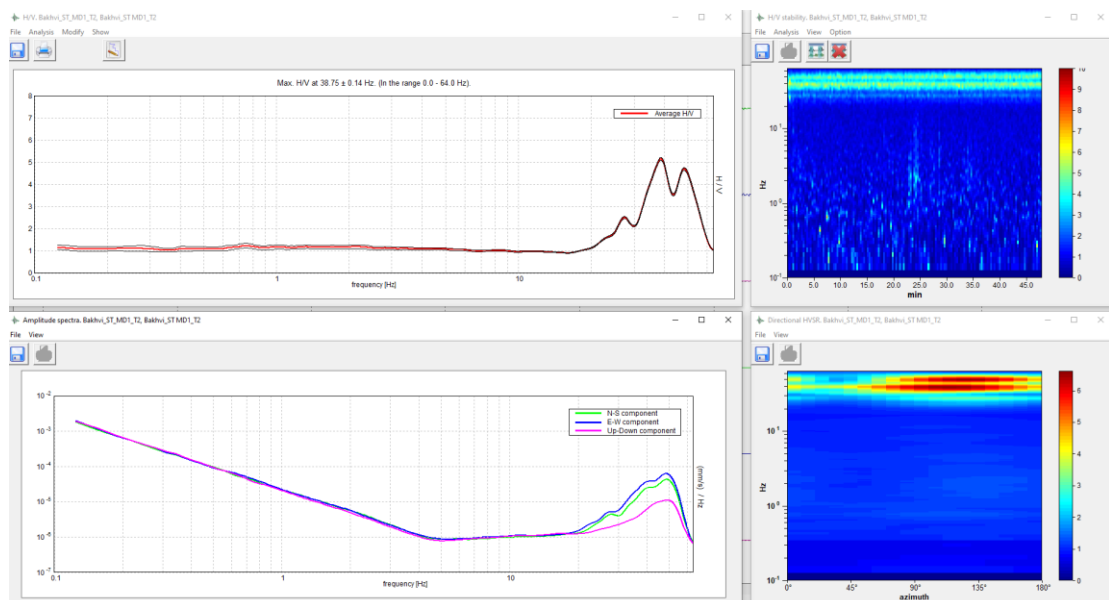
ჩანაწერის ანალიზი Bakhvi_ST_MD0_T1 წერტილში გვიჩვენებს, რომ HVSR მრუდის პიკური მნიშვნელობა დაიკვირვება მაღალ სიხშირეზე 42.5 ჰც და ის არ შეესაბამება ფუნდამენტურ სიხშირეს ვინაიდან Up-Down კომპონენტების ფურიე-სპექტრის სიხშირულ-ამპლიტუდური მრუდი ამ წერტილში არ არის მინიმალური. დარჩენილი მთელი სიხშირული სპექტრის გასწვრივ HVSR მრუდის პიკური მნიშვნელობა არ დაიკვირვება, რაც ნიშნავს რომ გრუნტი წარმოადგენს კლდეს.

Bakhvi_ST_MD1_T2

k)



l)

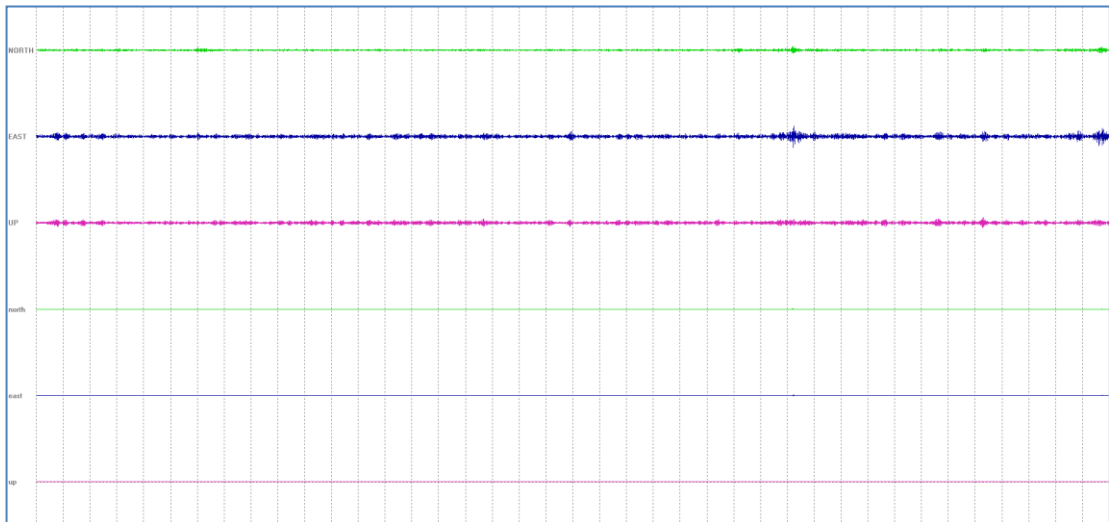


ჩანაწერის ანალიზი Bakhvi_ST_MD1_T1 წერტილში გვიჩვენებს რომ HVSR მრუდის პიკური მნიშვნელობა დაიკვირვება მაღალ სიხშირეზე 38.75 ჰც და ის არ შეესაბამება ფუნდამენტურ სიხშირეს ვინაიდან Up-Down კომპონენტების ფურიე-სპექტრის სიხშირულ-ამპლიტუდური მრუდი ამ წერტილში არის მზარდი.

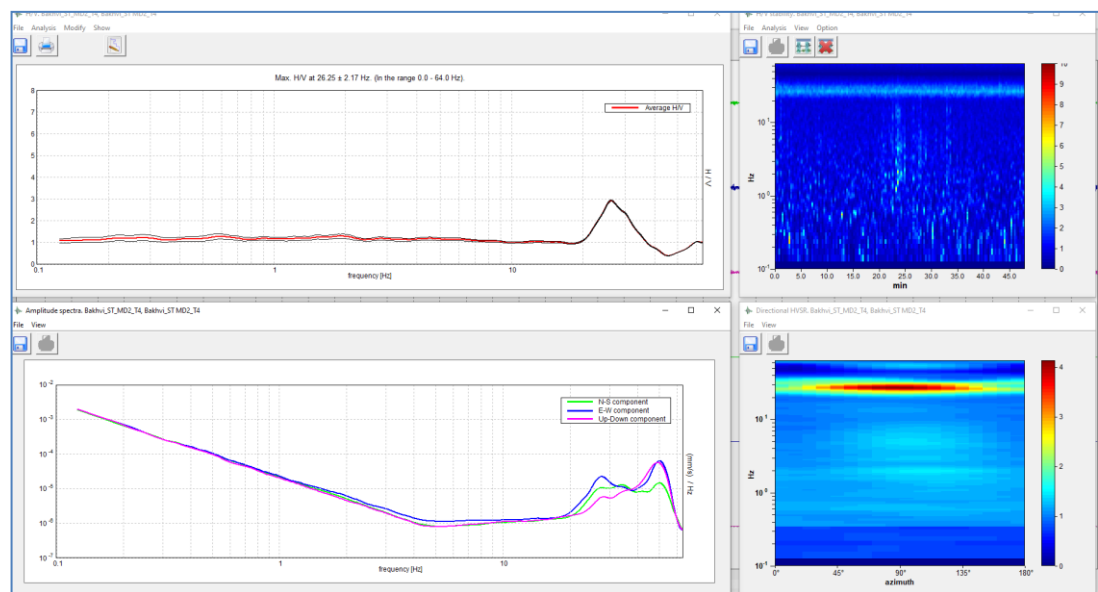
ანალოგიური ვითარებაა HVSR მრუდის მომდევნო პიკზე 28.3 ჰც. დარჩენილი მთელი სიხშირული სპექტრის გასწვრივ HVSR მრუდის პიკური მნიშვნელობა არ დაიკვირვება, რაც ნიშნავს, რომ გრუნტი წარმოადგენს კლდეს.

Bakhvi_ST_MD2_T4

m)



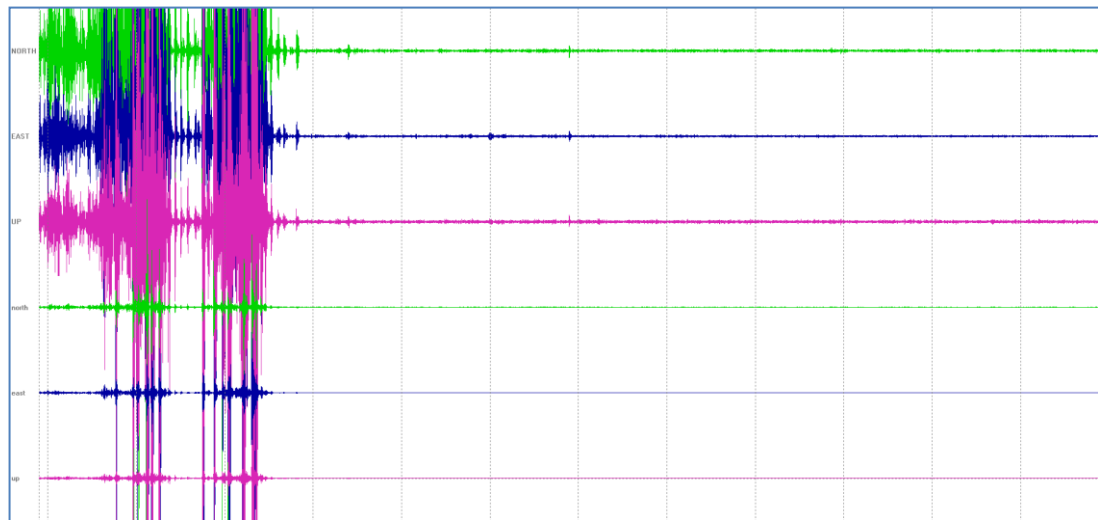
n)



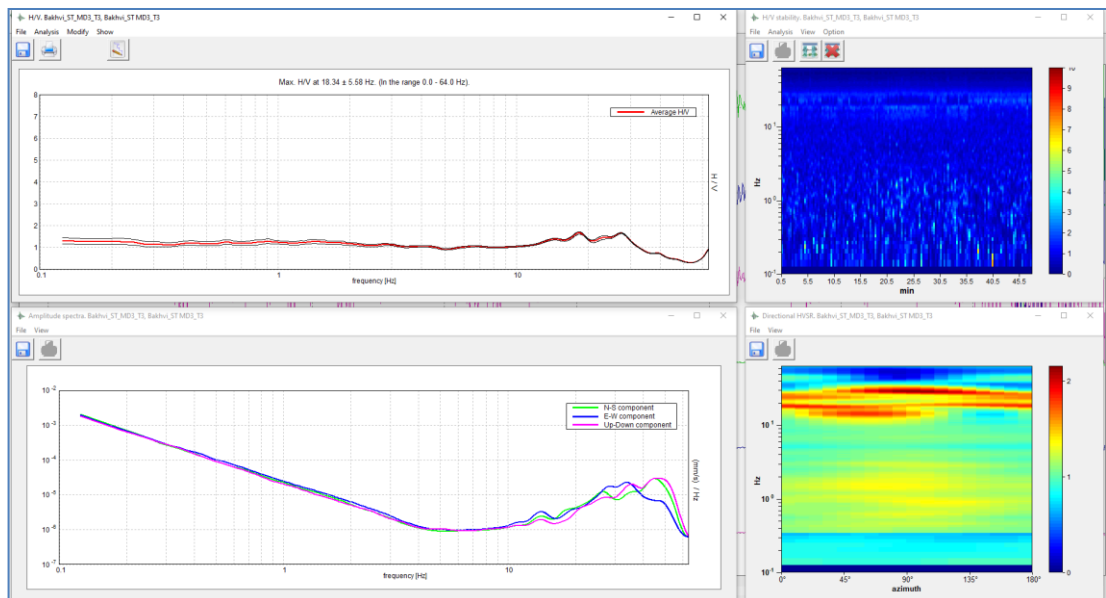
ანალოგიური ვითარებაა Bakhvi_ST_MD2_T4 წერტილში. აქაც დანაკვირვები პიკური სიხშირეები არ შეესაბამება ფუნდამენტურ სიხშირეს. დარჩენილი მთელი სიხშირული სპექტრის გასწვრივ HVSR მრუდის პიკური მნიშვნელობა არ დაიკვირვება, რაც ნიშნავს რომ გრუნტი წარმოადგენს კლდეს.

Bakhvi_ST_MD3_T3

o)



p)



ჩანაწერის ანალიზი წერტილში Bakhvi_ST_MD3_T3 გვიჩვენებს რომ HVSR მრუდის პიკური მნიშვნელობა ნაკლებია 2-ზე მთელი სპექტრის გასწვრივ, რაც ნიშნავს რომ გრუნტი წარმოადგენს კლდეს.

ზოგადად ბახვი 1 ჰესის სათავო ნაგებობის სამშენებლო ტერიტორია ერთგვაროვანია და კლდოვანი გრუნტები გამოდის ზედაპირზე.

რათა განსაზღვრულიყო სანდოობა და ინტერპრეტირებადობა ჩანაწერების ცალკეულ სპექტრებზე (N-S, E-W და Up-Down კომპონენტების ფურიე-სპექტრის სიხშირულ-ამპლიტუდური მრუდი) ვაწარმოეთ დაკვირვება. კერძოდ, მოვახდინეთ მათი დამლაგებლების გარეშე.

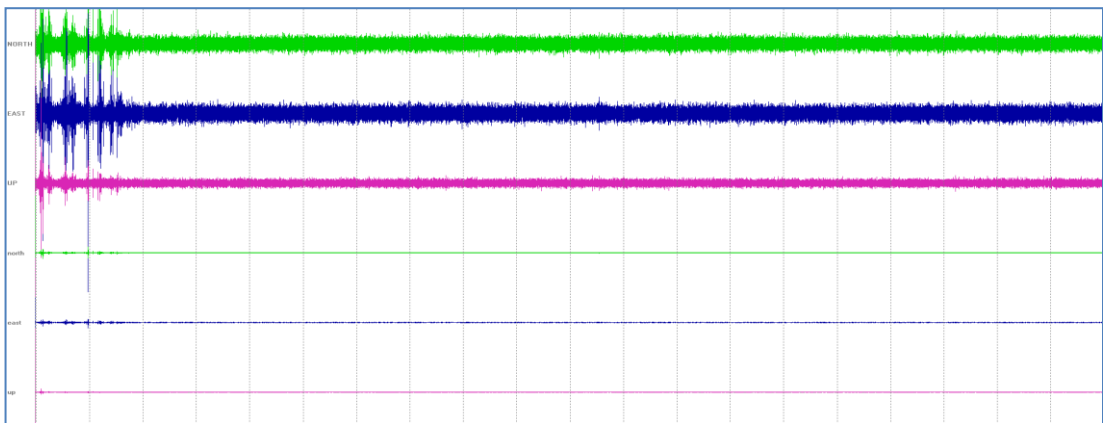
ამ ანალიზმა ცხადყო, რომ არანაირი სამრეწველო ხმაური არ დაიკვირვება, რადგან სიხშირეებზე ჩვენ ვაკვირდებით სპექტრების პიკურ მნიშვნელობებს,

რომლებიც ამოვარდნილი არ არის სეისმური ხმაურის ჩამწერი კომპონენტების საერთო სპექტრიდან. ნახ. 2.3 b-2) d_2), f_2) h_2) წარმოდგენილია მაგალითისთვის რამდენიმე ჩანაწერის N-S, E-W და Up-Down კომპონენტების ფურიე-სპექტრის სიხშირულ-ამპლიტუდური მრუდი გაგლუვების გარეშე.

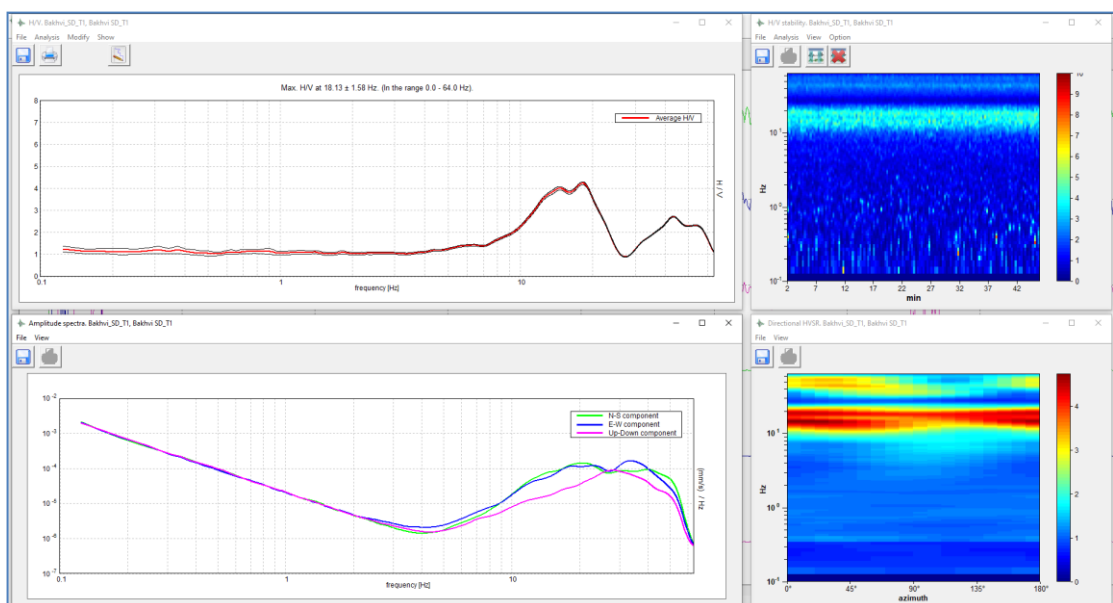
ნახ. 2.4 ბაზვი 1 ჰესის ელექტროსადგურის ტერიტორიაზე ჩატარებული სეისმური ხმაურის გაზომვები: a) c), e) g) i) k) ჩანაწერები შესაბამის წერტილზე, b_1), d_1), f_1), h_1), j), l), ჩანაწერების ანალიზი. კერძოდ: H/V წირის გრაფიკი; ჩანაწერის N-S, E-W და Up-Down კომპონენტების ფურიე-სპექტრის სიხშირულ-ამპლიტუდური მრუდი 10% გაგლუვებით; H/V მდგრადობა და HVSR ის აზიმუტალური მიმართულება; b-2), d_2), f-2), h_2) N-S, E-W და Up-Down კომპონენტების ფურიე-სპექტრის სიხშირულ-ამპლიტუდური მრუდი გაგლუვების გარეშე.

Bakhvi_SD_T1

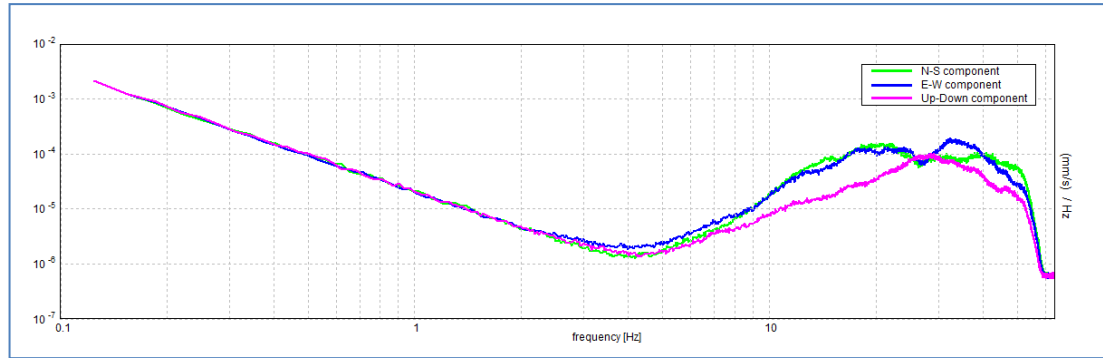
a)



b_1)

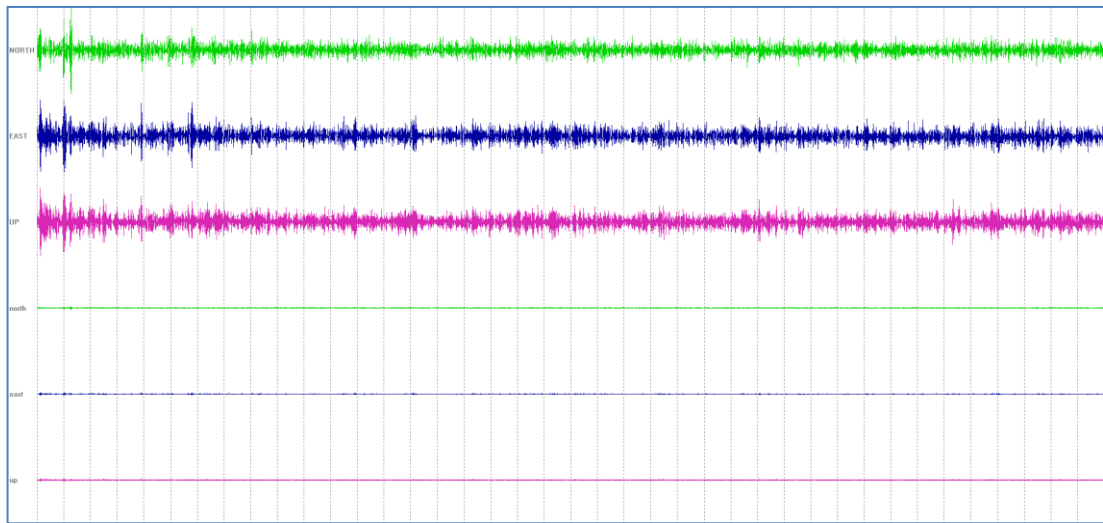


b_2

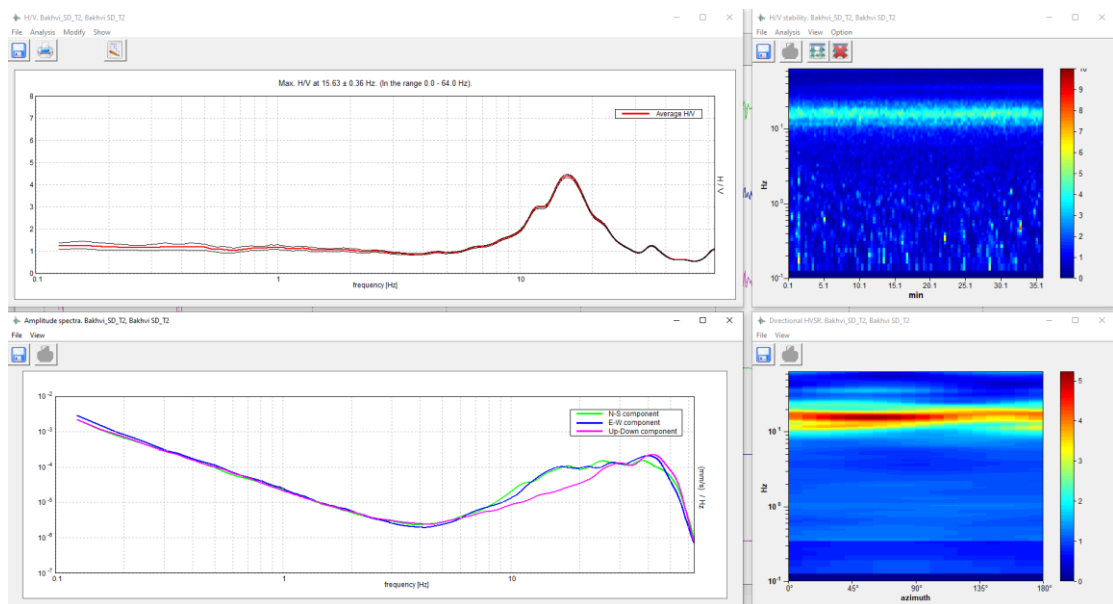


Bakhvi_SD_T2

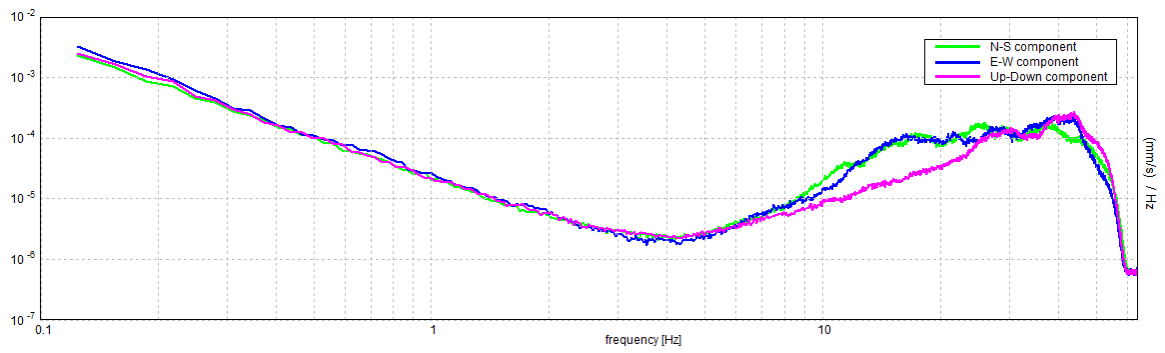
c)



d_1)

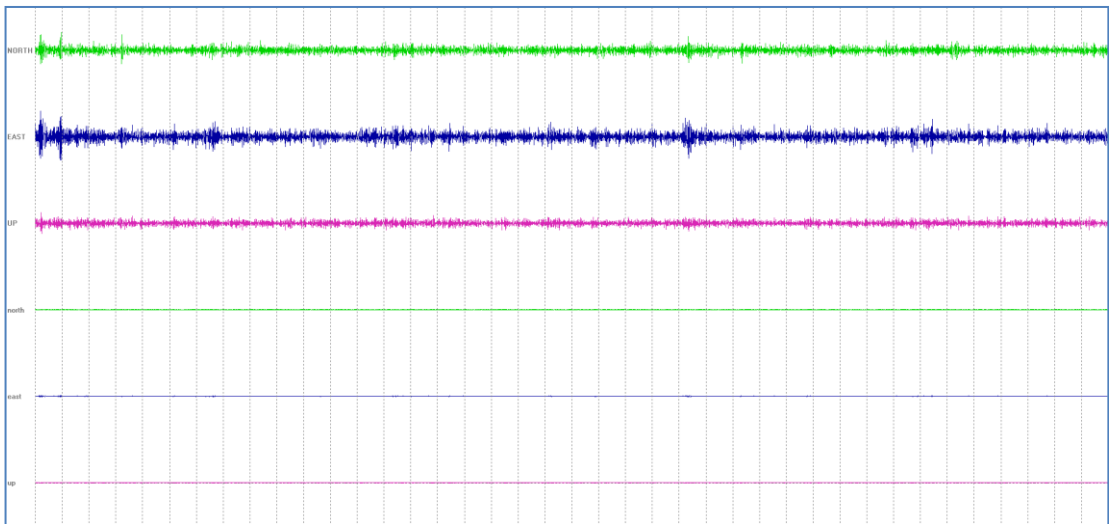


d_2)

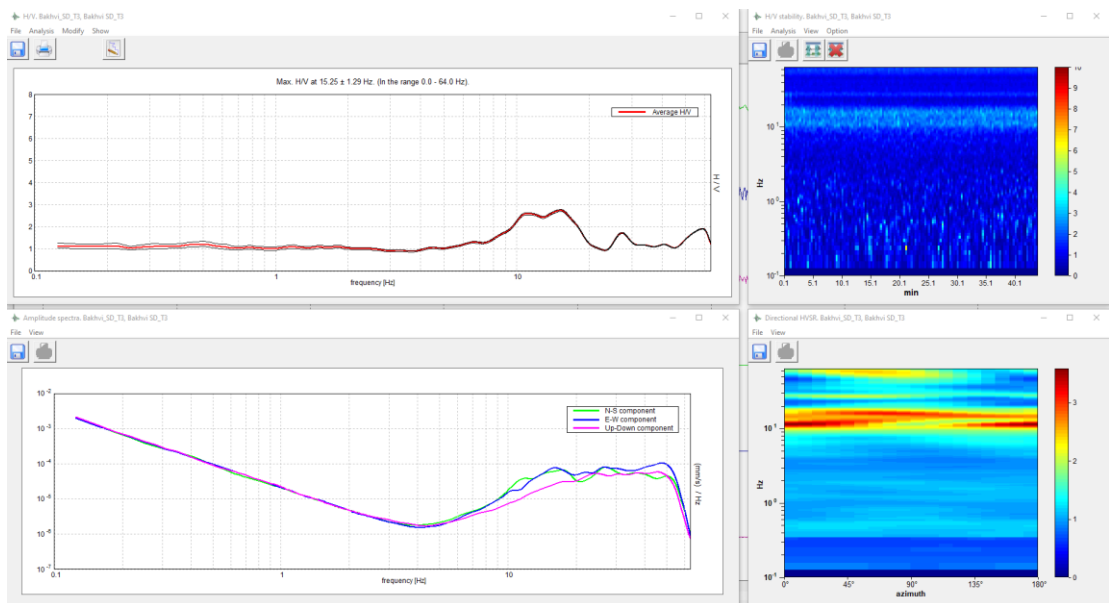


Bakhvi_SD_T3

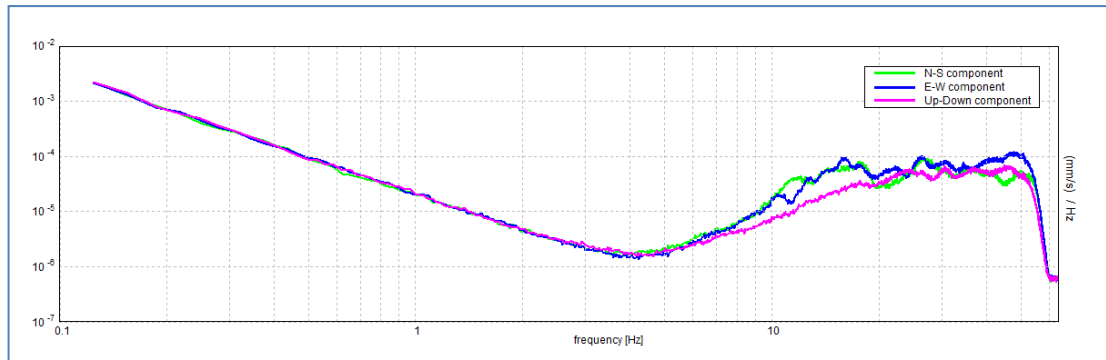
e)



f_1)

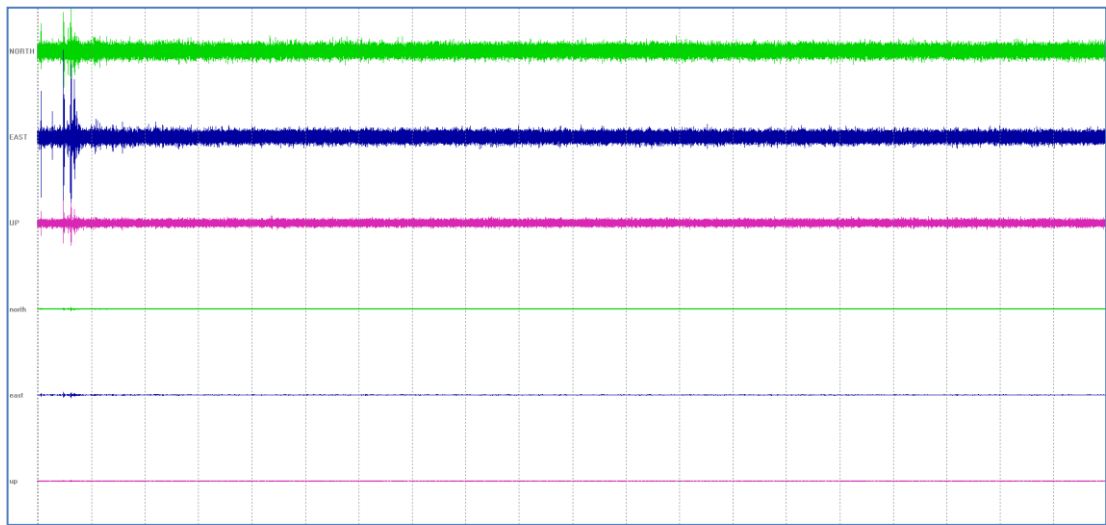


f_2)

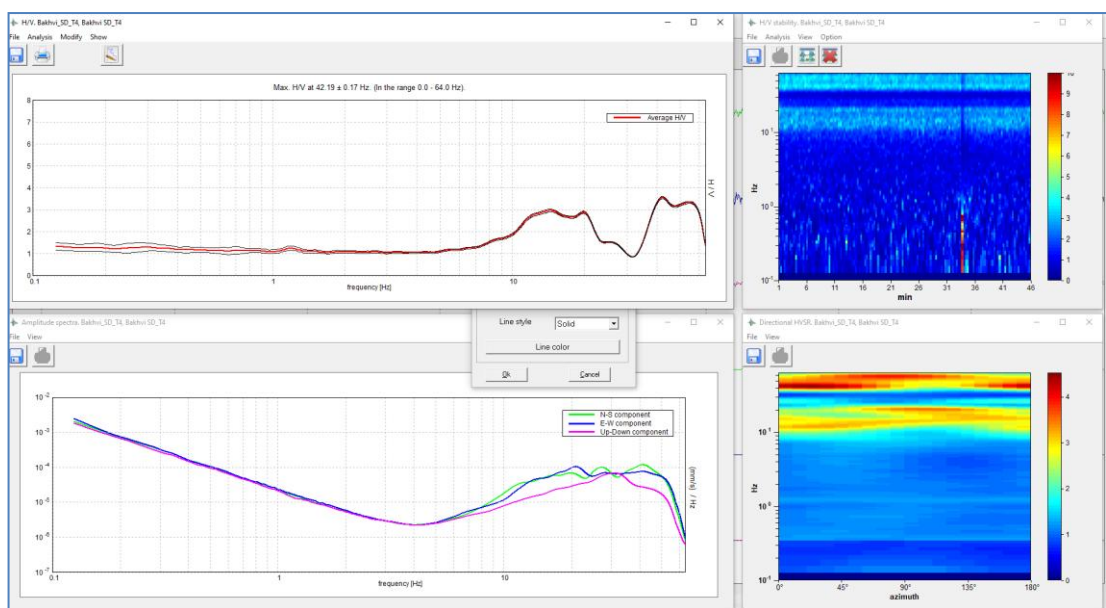


Bakhvi_SD_T4

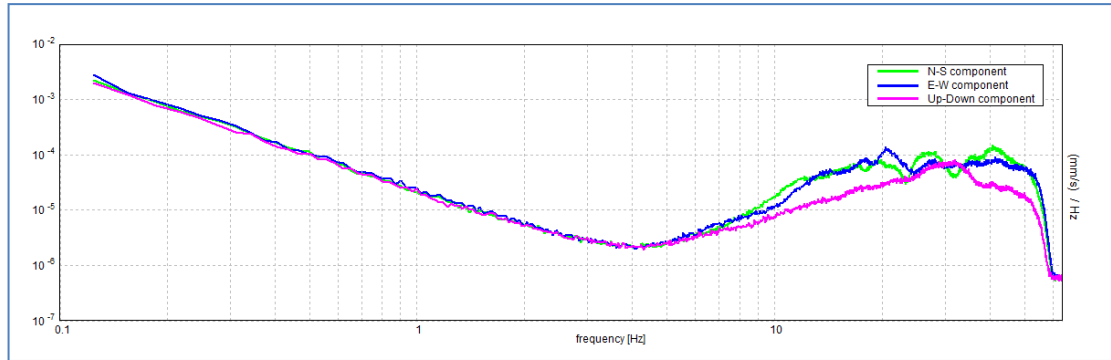
g)



h_1)

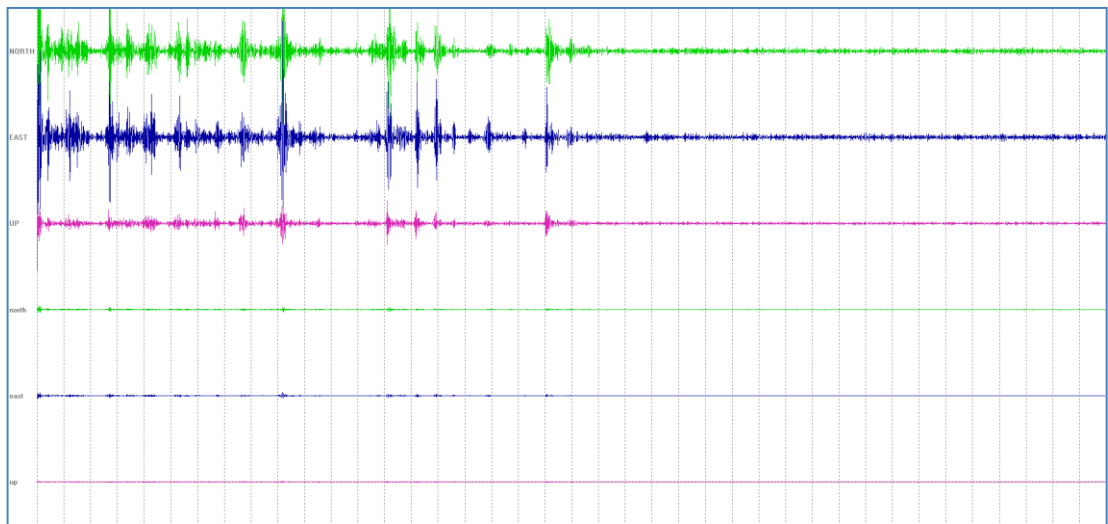


h_2)

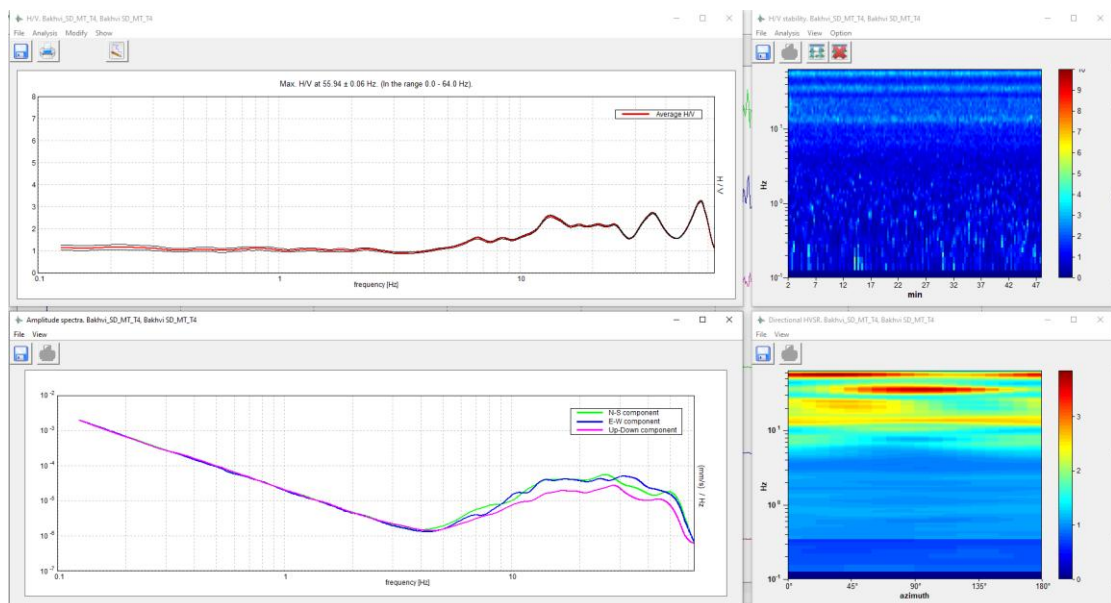


Bakhvi_SD_MT_T4

i)

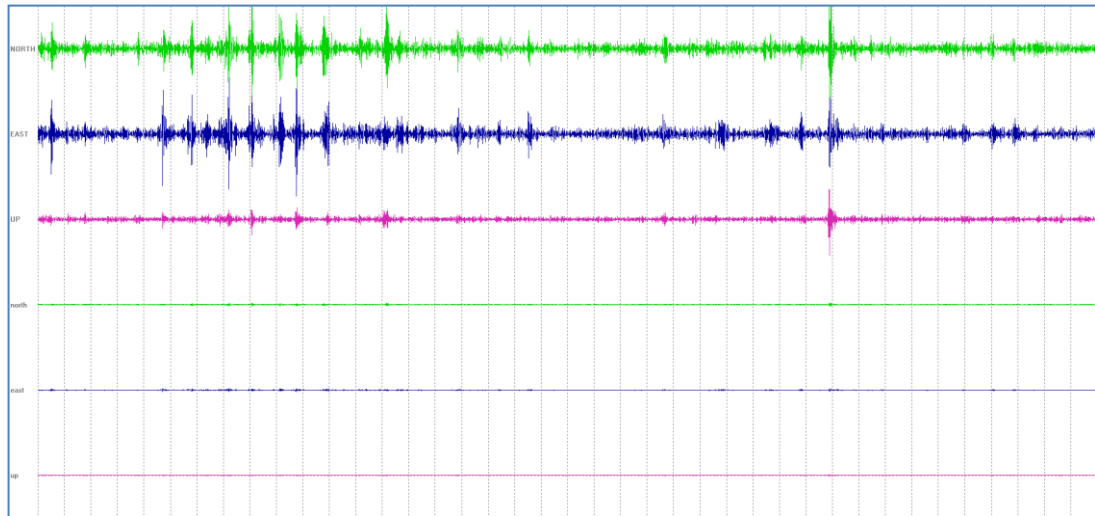


j)

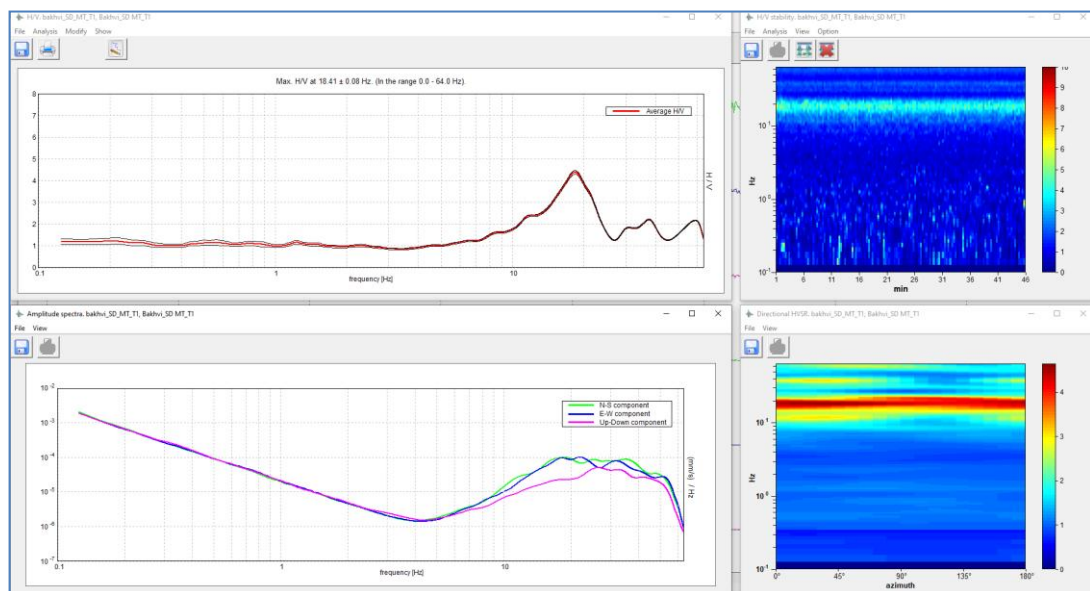


Bakhvi_SD_MT_T1

k)



l)



გაზომვები ექვსივე წერტილში აჩვენებს HVSR მრუდის ერთმანეთთან ახლო მაქსიმალურ მნიშვნელობებს მაღალი სიხშირეების ვიწრო დიაპაზონში 13.31 – 18.41 ჰც, რაც შეესაბამება 0.05-0.08 წმ პერიოდებს. HVSR მრუდები ხასითდება უბან-უბან ფორმათა ერთგვაროვნებით. თუ განვიხილავთ HVSR მრუდის ცალკეული კომპონენტების სპექტრს დავინახავთ, რომ მრუდის პიკური მნიშვნელობების შესაბამისი სიხშირეების დიაპაზონში, ჰორიზონტალური კომპონენტები ერთმანეთს ემთხვევა, ხოლო ვერტიკალური კომპონენტის მნიშვნელობა კი მინიმუმისკენ მიდის. რაც მიგვანიშნებს, რომ გარემო ერთგანზომილებიანია და გამოსახული პიკური მრუდი ცალსახად აფიქსირებს ფუძე-გრუნტის ზემოთ არსებული ფენის რეზონანსული სიხშირის დიაპაზონს. სიხშირეების ასეთი მაღალი მნიშვნელობა მიანიშნებს, რომ გამყოფი საზღვარი ფუძე-გრუნტსა და ზედაპირულ ფენას შორის ახლოს არის ზედაპირთან.

ზოგადად ბახვი 1 ჰესის ელექტროსადგურის სამშენებლო ტერიტორია ერთგვაროვანია, სადაც უნდა ველოდეთ კლდოვანი გრუნტებს ზედაპირთან ახლოს.

რათა განსაზღვრულიყო სანდოობა და ინტერპრეტირებადობა HVSR მრუდების, ასევე ცალკეულ სპექტრებზე (N-S, E-W და Up-Down კომპონენტების ფურიე-სპექტრის სიხშირულ-ამპლიტუდური მრუდი) მოხდა დაკვირვება. ამ ანალიზმა ცხადყო, რომ სამრეწველო ხმაური არავითარ გავლენას არ ახდენს გაზომვებზე. როგორც ვხედავთ იგივე სიხშირეებზე ჩვენ ვაკვირდებით სპექტრების პიკურ მნიშვნელობებს რომლებიც ამოვარდნილი არ არის სეისმური ხმაურის ჩამწერი კომპონენტების სპექტრიდან

ყველა f სიხშირე (რომელზეც დაიკვირვება მაქსიმალური ამპლიტუდა, განისაზღვრება, როგორც "automatic peacking") და f_0 (ყველაზე დაბალი პიკი $A_0 > 2$), მოცემულია ცხრილ 2.2-ში.

ცხრილი 2.2 შეჯამება ძირიადი პიკის f_0 -ისა თითოეული HVSR-თვის; f_0 (final) პიკი უდრის f_0 -ს, გარდა იმ შემთხვევისა, როდესაც ამპლიტუდის მნიშვნელობა 2-ზე დაბალია. ამ შემთხვევას, ჩვენ მივანიჭეთ კლასიფიკაცია - პიკის არარსებობა. მწკრივები გამოიყოფა ერთი ფერით, როდესაც გაზომვები დაჯგუფებულია გეოგრაფიული სიახლოვის მიხედვით

ID	Name	f_0 (automatic peacking)	$f_0 + \text{st.dev.}$	$f_0 - \text{st.dev.}$	f_0 (final)	A_0
01	Bakhvi_ST_SP1_T1	-			-	2.04
02	Bakhvi_ST_SP2_T2	22.09	22.19	21.99	-	<2
03	Bakhvi_ST_WB2_T3	-			-	≤ 2
04	Bakhvi_ST_WB4_T4	18.03	19.46	16.6	-	≤ 2
05	bakhvi_ST_MD0_T1	-			-	<2
06	bakhvi_ST_MD1_T2	-			-	<2
07	bakhvi_ST_MD2_T4	-			-	<2
08	bakhvi_ST_MD3_T3	-			-	<2
09	Bakhvi_SD_T3	15.25	16.54	13.96	15.25	2.85
10	Bakhvi_SD_T2	15.63	15.99	15.27	15.63	4.4
11	Bakhvi_SD_T4	14.34	16.43	12.25	14.34	2.9
12	Bakhvi_SD_T1	18.13	19.71	16.55	18.13	4.2
13	Bakhvi_SD_MT_T4	13.31	14.65	11.97	13.31	2.57
14	Bakhvi_SD_MT_T1	18.41	18.49	18.33	18.41	4.4

ამდენად, საკვლევ ობიექტზე სეისმური ხმაურის ჩანაწერების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ბახვი 1 ჰესის სათავო ნაგებობის სამშენებლო ტერიტორია წარმოდგენილია ფუძე-გრუნტებით და აქ სეისმური ხმაურის ჩანაწერი შეესაბამება კლდეს, რაც საშუალებას გვაძლევს სეისმური საშიშროება შევაფასოთ კლდისთვის. ამ შემთხვევაში გაძლიერების კოეფიციენტი იქნება 1.

სეისმური ხმაურის ჩანაწერებმა ბახვი 1 ჰესის ელექტროსადგურის მშენებლობის ტერიტორიაზე გვიჩვენა, რომ ტერიტორია ერთგვაროვანია, ფენა მთელი მოედნის გასწვრივ ხასიათდება მაღალი სიხშირეებით ვიწრო დიაპაზონში 13.31-18.41 ჰც, რაც შეესაბამება პერიოდის დიაპაზონს 0.05-0.08 წმ და რომ ფუძე-გრუნტები იმყოფება ზედაპირთან ახლოს. სამწუხაროდ ამ ტერიტორიისთვის არ გვაქვს ჭაბურღილების მონაცემები, რათა შევაფასოდ სიჩქარული მოდელი. ელექტროსადგურის ტერიტორიისთვისაც სეისმური საშიშროება გაითვლება კლდისთვის, თუ მშენებლობისას ნაგებობის ფუნდამენტი დაიყვანება ფუძე-გრუნტებამდე.

3 მშენებლობის ადგილის სეისმური საშიშროების შეფასება

3.1 ძირითად მონაცემთა ბაზები და კომპონენტები

3.1.1 მიწისძვრის კატალოგები

მიწისძვრის კატალოგების შედგენის ძირითადი წყაროა ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდიაშვილის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის (თსუგი) მიწისძვრების მონაცემთა ბაზა. მიწისძვრის ეს კატალოგი შეიცავს უძველესი დროიდან 2021 წლამდე პერიოდის 90559-ზე მეტ მიწისძვრას მინიმალური მაგნიტუდით $M \geq 0$. კატალოგი მოიცავს $40.0^{\circ}\text{E}-50.0^{\circ}\text{E}$ და $39.0^{\circ}\text{N}-44.0^{\circ}\text{N}$ შორის არსებულ ვრცელ არეს, საქართველოს მთელი ტერიტორიის, აგრეთვე მისი მიმდებარე თურქეთის, სომხეთის, ირანის, აზერბაიჯანისა და ჩრდილოეთ კავკასიის ტერიტორიებს, რაც იძლევა საშუალებას შეფასდეს სეისმური საშიშროება საქართველოს საზღვრის მახლობლად მდებარე რაიონებში. ამ მონაცემთა ბაზიდან, 45 727 მოვლენა ეკუთვნის საქართველოს ტერიტორიას. საზღვრისპირა რაიონებში მიწისძვრების მდებარეობის განსაზღვრას უზრუნველყოფდნენ ლოკალური წყაროები, შედგენილი ძირითადად რეგიონის სხვადასხვა ქვეყნის სეისმური ქსელების მონაცემების საშუალებით. აღმოსავლეთ თურქეთისთვის საქართველოს საზღვრის მახლობლად მდებარე მიწისძვრების კატალოგი მოამზადა კანდილის ობსერვატორიამ და მიწისძვრის კვლევის ინსტიტუტმა. ირანისთვის მიწისძვრის კატალოგს უზრუნველყოფდა მიწისძვრის ინჟინერიისა და სეისმოლოგიის საერთაშორისო ინსტიტუტი (IIEES), ხოლო სომხეთისთვის კატალოგი აღებული იქნა ნაშრომიდან Sargsyan et al. (2017); აზერბაიჯანისთვის მიწისძვრების კატალოგი მოგვარდა აზერბაიჯანის გეოლოგიის ინსტიტუტმა, ჩრდილოეთ კავკასიის კატალოგი განახლდა საერთაშორისო მონაცემებზე დაყრდნობით (ISC). გარდა ნაციონალური სააგენტოებისა 2006 წლიდან კატალოგი ასევე შევსებულია ISC მონაცემებით, მათ შორის საქართველოს ტერიტორიისათვისაც $M \geq 3$ მაგნიტუდის მქონე მიწისძვრებისთვის, რადგან 2010 წლიდან სამწუხაროდ ნაციონალური მონაცემები, კერძოდ ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის (ილიაუნი) მიერ მიღებული საქართველოს მიწისძვრების ჩანაწერების მონაცემები სხვა უნივერსიტეტებში მოღვაწე ქართველი მეცნიერებისთვის არ არის ხელმისაწვდომი.

ცხრილ 3.1-ში მოყვანილია თსუგი-ს კატალოგში მონაწილე ყველა სააგენტო, წყარო და შესაბამისი პერიოდები.

ცხრილი 3.1. ყველა სააგენტო და წყარო, რომელიც იძლევა ინფორმაციას მიწისძვრის კატალოგებისა და მონაცემების შესახებ

პერიოდი (წლები)	რეგიონი	სააგენტოები, რომლებიც იძლევიან კატალოგებს	სააგენტოები და სხვა წყაროები, რომლებიც იძლევიან მონაცემებს
1900-მდე	საქართველო	TIF	Shebalin (1997); Kondorskaya and Shebalin (1982); Varazanashvili et al. (2018)
„	კავკასია	EMME	Shebalin (1997); Kondorskaya and Shebalin (1982) Zare et al. (2014)
1900 - 1979	კავკასია და მიმდებარე ტერიტორია	TIF	IGTSU, RSSC- ANAS , NSSP, RAS, ISC
1980 - 1990	საქართველო	TIF	IGTSU/ SMCIG, , RSSC- ANAS , NSSP
„	აზერბაიჯანი	Baku	IGTSU/ SMCIG, RSSC- ANAS , NSSP
„	სომხეთი	Yer	IGTSU/ SMCIG, RSSC- ANAS , NSSP
„	ჩრ. კავკასია	NCA	IGTSU/ SMCIG, RSSC- ANAS , NSSP, RAS
„	თურქეთი, ირანი	TIF	IGTSU/ SMCIG, RSSC- ANAS , NSSP, ISC
1991 - 2006	საქართველო	TIF	IGTSU, SMCIG
„	აზერბაიჯანი	EMME	Zare et al. (2014)
„	სომხეთი	EMME	Zare et al. (2014)
„	ჩრ. კავკასია	EMME	Zare et al. (2014)
„	თურქეთი, ირანი	EMME	Zare et al. (2014)
2006 - 2010	საქართველო	TIF	ILIAUNI
2010 - 2020	საქართველო	TIF	ILIAUNI/ ISC (MI>3)
2006 - 2020	აზერბაიჯანი	TIF	ISC, ANAS-GIA
„	ჩრ. კავკასია	TIF	ISC
„	სომხეთი	TIF	ISC, Sargsyan et al. (2017)
„	თურქეთი	TIF	KOERI, ISC
„	ირანი	TIF	<u>IIIES</u> , ISC

საქართველოში ისტორიული მიწისძვრების მონაცემები ემყარება ისტორიულ დოკუმენტებს, ინტენსივობა ეპიცენტრში ფასდება MSK სკალის გამოყენებით, ხოლო მაგნიტუდის შეფასება ეფუძნება Ms და ინტენსივობას შორის არსებულ კორელაციურ განტოლებებს (Varazanashvili et al., 2011, 2018). ისტორიული მიწისძვრების სრული მონაცემთა ბაზა და შესაბამისი პარამეტრების სწორი განსაზღვრა გადამწყვეტია სეისმური საშიშროების შეფასებისთვის. იგი ასევე ერთადერთი უნიკალური ინფორმაციაა სხვადასხვა მეთოდებით სეისმური საშიშროების შეფასების სანდოობის შემოწმებისთვის. საქართველოს ისტორიული მიწისძვრების კატალოგი მოიცავს პერიოდს ძვ. წ. აღ. 1250 წლიდან 1900 წლამდე და $M_s \geq 3.8$ მაგნიტუდის ზომიერ და ძლიერ მიწისძვრებს.

მიწისძვრის ადგილმდებარეობისა და მაგნიტუდასთან დაკავშირებული ცთომილებები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სეისმური საშიშროების შეფასებაზე. ინსტრუმენტული ადგილმდებარეობის შეფასების ცდომილებები დაკავშირებულია სეისმური სადგურების განაწილებასთან და სიჩქარულ მოდელებთან. საქართველოში მიწისძვრების ინსტრუმენტულმა მონიტორინგმა XX საუკუნის დასაწყისში აიღო სტარტი. სეისმური ქსელის განვითარების მიხედვით ინსტრუმენტული დაკვირვების პერიოდი შეიძლება დაიყოს ხუთ დროით პერიოდად:

- I. 1900-1935 წწ.
- II. 1936-1955 წწ.
- III. 1956-1995 წწ.
- IV. 1996-2005 წწ.
- V. 2006-2020 წწ.

I პერიოდის განმავლობაში, საქართველოში, მართალია წყვეტილად, მაგრამ მთლიანობაში 6 სეისმური სადგური მუშაობდა. ისინი თავდაპირველად აღჭურვილი იყო დაბალი მგრძნობიარობის ოპტიკური და მექანიკური ხელსაწყოებით, რომლებსაც არ ჰქონდათ დაცხრომა. ამ პერიოდის განმავლობაში, რეგისტრირებული $M_s \geq 2.9$ მაგნიტუდის დამოუკიდებელი მიწისძვრების წლიური რაოდენობა იყო მინიმალური, ხოლო მთელს ტერიტორიაზე ეპიცენტრების განსაზღვრის საშუალო სიზუსტე შეადგენდა 30 კმ (Kondorskaya and Shebalin, 1982).

II პერიოდში მოქმედებდა 10 სეისმური სადგური. ამ დროის განმავლობაში სადგურები აღჭურვილი იყო შედარებით მგრძნობიარე სეისმოგრაფებით. ამ პერიოდში, $M_s \geq 2.9$ მაგნიტუდის დამოუკიდებელი მიწისძვრების წლიური რაოდენობა ოდნავ გაიზარდა, ხოლო მთელ ტერიტორიაზე ეპიცენტრის განსაზღვრის საშუალო სიზუსტე შეადგენდა 25 კმ (Kondorskaya and Shebalin, 1982).

III პერიოდში, მოქმედი სეისმური სადგურების რაოდენობა თანდათანობით გაიზარდა 40-მდე. განხორციელდა მათი უნიფიცირება, ანუ ისინი აღიჭურვა კირნოსის სისტემის მაღალმგრძნობიარე ანალოგური ტიპის სეისმოგრაფებით (SKM-3, SK, SKD) (Papalashvili, 1981). ამ პერიოდის მიწურულს, $M_s \geq 2.9$ მაგნიტუდის დამოუკიდებელი მიწისძვრები გახდა წარმომადგენელი საქართველოს ტერიტორიის უმეტეს ნაწილში. აგრეთვე ეპიცენტრის განსაზღვრის საშუალო სიზუსტე, ქვეყნის მთელ ტერიტორიაზე დაახლოებით 15 კმ გახდა, ხოლო ცალკეულ რეგიონებში (მაგალითად, ჯავახეთის ზეგანი, ენგურჰესის რაიონი) სეისმური სადგურების შედარებით მაღალი კონცენტრაციის გამო, იგი შემცირდა 5-10 კმ-მდე (Kondorskaya and Shebalin, 1982).

IV პერიოდში, საქართველოში მომხდარი პოლიტიკური და სოციალურ-ეკონომიკური ცვლილებების გამო, მოქმედი სეისმური სადგურების რაოდენობა მკვეთრად შემცირდა 10-მდე, ხოლო $M_s \geq 2.9$ მაგნიტუდის დამოუკიდებელი მიწისძვრების წლიური რიცხვი, მნიშვნელოვნად შემცირდა წინა პერიოდთან შედარებით. დაკვირვებული მონაცემების მცირე რაოდენობიდან გამომდინარე,

შეგვიძლია მხოლოდ ვივარაუდოთ, რომ მთელი საქართველოს მასშტაბით ეპიცენტრის განსაზღვრის საშუალო სიზუსტე დაახლოებით 15 კმ იყო.

V პერიოდში, ძველი ქსელი შეიცვალა ახალი ციფრულით. ამ პერიოდში მუშა სადგურების რაოდენობა, ოფიციალური მონაცემებით, 25-მდე გაიზარდა.

მიწისძვრის ადგილმდებარეობისა და მაგნიტუდასთან დაკავშირებული ცთომილებები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სეისმური საშიშროების შეფასებაზე. ინსტრუმენტული ადგილმდებარეობის შეფასების ცდომილება დაკავშირებულია სეისმური სადგურების განაწილებასთან და სიჩქარულ მოდელებთან.

2000 წლიდან თსუგი მუშაობს $M_s \geq 3.5$ მაგნიტუდის მიწისძვრების ადგილმდებარეობის სიზუსტის გასაუმჯობესებლად. მიწისძვრების კინემატიკური პარამეტრების გადაანგარიშების მეთოდები ინსტრუმენტული და ისტორიული პერიოდებისთვის მოცემულია შემდეგ ნაშრომებში: Tsereteli et al. (2012, 2016); Zare et al (2014); Varazanashvili et al. (2018). აქ მოკლედ აღწერილია ეპიცენტრის გადაანგარიშების ძირითადი ეტაპები:

- მიწისძვრების ამოსავალი მონაცემები გადაანგარიშდა უშუალოდ სეისმომოგრაფიებიდან და ძველი ბიულეტენებიდან.
- ზოგიერთ სადგურზე განხორციელდა შესწორებები P და S ტალღების შემოსვლის დროზე.
- მიწისძვრების ჰიპოცენტრული პარამეტრების გამოთვლა მოხდა HYPO-71 პროგრამისა და (Lee and Larh, 1975) საუკეთესო ხელმისაწვდომი სიჩქარული მოდელების გამოყენებით (Sikharulidze et al., 2004).

ამ სამუშაოს საფუძველზე, 1956 წლის შემდეგ მომხდარი $M_s \geq 3.5$ მიწისძვრებისთვის სიღრმისა და ეპიცენტრის კოორდინატების შეფასების ცთომილება შემცირდა 2-3 კმ-მდე.

3.1.2 მიწისძვრის მაგნიტუდის სკალის ჰომოგენიზაცია

კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი საკითხია მიწისძვრის კატალოგების ჰომოგენიზაცია მომენტის მაგნიტუდის (M_w) მიხედვით, რადგან გრუნტის მოძრაობის პროგნოზირების (GMP) უმეტესი მოდელი მიიღებულია M_w -თვის.

2003 წლამდე, საქართველოში და მთელ კავკასიის რეგიონში, მცირე და ზომიერი მიწისძვრების ენერგეტიკული პარამეტრები შეფასებული იყო ენერგეტიკული კლასის (K) მიხედვით, ხოლო ძირითადად ზომიერი და ძლიერი მიწისძვრებისთვის ($M_s \geq 4.5$) ზედაპირული ტალღების მაგნიტუდის (M_s) მიხედვით. როდესაც შეუძლებელი იყო M_s -ის უშუალო განსაზღვრა, მოვლენების სიდიდე შეფასდა

$$M_s = 0.56K - 2.20 \quad (3.1)$$

განტოლების გამოყენებით, დაფუძნებული Rautian (1964) და Rautian and Khalturin (1978) ნაშრომებზე. ზოგჯერ მიღებული იქნა $M_b \equiv M_{pv}$ (მაგნიტუდა, გამოთვლილი p-

ტალღების ვერტიკალური კომპონენტის მიხედვით). განხილული რეგიონისთვის, M_{pv} და M_s შორის არსებობს ემპირიული კორელაციური დამოკიდებულება:

$$M_{pv}=0.63M_s+2.50 \quad (3.2)$$

ამრიგად, 2003 წლამდე, საქართველოში და კავკასიაში მიწისძვრების კატალოგები გაერთიანებული იყო M_s -ის მიხედვით.

2003 წლიდან, საქართველოს სეისმური ქსელის რეორგანიზაციის გამო, რეგისტრირებული მიწისძვრებისთვის გამოთვლილი იყო მხოლოდ ლოკალური მაგნიტუდის (M_L) მნიშვნელობები (ნაკლებად M_d და M_b -ის მნიშვნელობები). M_w გათვლილი იყო მხოლოდ მიწისძვრებისთვის, რომელთა M_L იყო 4.5-ზე მეტი (Adamia et al., 2017; Tsereteli et al., 2016).

საქართველოს კატალოგი პირველად გაერთიანებული იქნა M_w მიხედვით EMME (ახლო აღმოსავლეთის მიწისძვრის მოდელი) პროექტის ფარგლებში, რომელიც ემყარება რეგიონულ კორელაციურ განტოლებებს, მოცემულს ნაშრომში Zare et al. (2014). ცხრილი 3.2 წარმოდგენილია ყველა ენერგეტიკული პარამეტრი, რომლის მიხედვითაც ფასთებოდა მიწისძვრის მაგნიტუდები სხვადასხვა პერიოდში.

ცხრილი 3.2 ყველა ტიპის მაგნიტუდა, რომელიც ისაზღვრებოდა სხვადასხვა პერიოდში

პერიოდი	მაგნიტუდა	რეგიონი
1996 -მდე	M_s (I), (MSK 64)	კავკასია და მიმდებარე რეგიონები
1960 -1996	M_s (I), M_s/M_{LH}	კავკასია და მიმდებარე რეგიონები
1960 - 2003	K, M_s/M_{LH} , $M_R(K)$, M_{PV}/M_b , M_c , M_d ,	კავკასია
2003 - 2006	K, M_L/M_I	საქართველო
2006 - 2010	M_L , M_w	საქართველო
2010 - 2020	M_L , M_w , M_{PVA}	საქართველო
2003 - 2020	K, M_{LH} , M_{PV}/M_b , M_R , M_w , M_d , M_L	აზერბაიჯანი, სომხეთი
2003 - 2020	M_b , M_L , M_s , M_w	თურქეთი, ირანი
2003 - 2020	M_{PVA} , M_{LH} , M_w M_L	ჩრ. კავკასია

ახლახან, M_w და K-ს, M_w და M_b შორის კავშირი მიღებულ იქნა აზერბაიჯანის მონაცემებით, 85 მიწისძვრისთვის M_w 3.6 - 6.5 და K 9.6 - 14.2 დიაპაზონში (Onur et al., 2019):

$$M_w=0.5673 K-1.8244 \quad 9.5 \leq K \leq 14.2 \quad (3.3)$$

$$M_w=1.3913M_b -.9334 \quad M_b \geq 3.5 \quad (3.4)$$

ეროვნულ მონაცემებზე დაყრდნობით, მიღებული იქნა დამოკიდებულება M_L და K (Tibaldi et al., 2020) ასევე M_w და M_L შორის (Tsereteli et. al 2021)

$$M_L=0.5494 K-1.9308 \quad (3.5)$$

$$M_w = 1.0322M_L + 0.1694 \quad 3.0 < M_L \leq 4.72 \quad (3.6)$$

განტოლება (1) და (3) საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ დამოკიდებულება M_w და M_s -ს შორის

$$M_w = 1.02114M_s + 0.4448 \quad 3.1 \leq M_s \leq 4.5. \quad (3.7)$$

ცხრილ 3.3 და 3.4-ში მოცემულია ყველა ის კორელაციური დამოკიდებულება რომელიც გამოყენებული იქნა კატალოგის ჰარმონიზაციისთვის.

ცხრილი 3.3. კორელაციური დამოკიდებულებები, მიღებული ნაციონალურ მონაცემებზე

$M_s(M_R) = 0.56K - 2.2$ (3.1)		Rautian (1964)
$M_{PV} = 0.63M_s + 2.5$ (3.2)		Rautian (1964)
$M_c = M_s$ (3.3)		Rautian et al. (1978)
$M_w = 0.5673K - 1.8244$ (3.3a)	$8.5 (9.5) \leq K \leq 12.2$	Onur et al. (2019)
$M_w = 1.3913M_b - 1.9334$ (3.4)	$M_b \geq 3.5$	Onur et al. (2019)
$M_L = 0.5494K - 1.9308$ (3.5)		Tibaldi et al. (2020)
$M_w = 1.0322M_L + 0.1694$ (3.6)	$2.73 (3.0) < M_L \leq 4.72$	Tsereteli et. al. (2021)
$M_w = 0.8095 M_L + 1.3003$ (3.6a)	$4.72 < M_L$	Kadiroglu et al. (2016)
$M_w = 0.66M_s + 2.11$ (3.7a)	$(2.8) 4.5 < M_s < 6.2$	Zare et al. (2014)
$M_w = 0.93M_s + 0.45$ (3.7b)	$6.2 \leq M_s \leq 8.2$	
$M_w = 0.7947M_d + 1.3420$ (3.11)	$3.5 \leq M_d \leq 7.4$	Kadiroglu et al. (2016)

ცხრილი 3.4. ჩვენს მიერ გამოყვანილი კორელაციური დამოკიდებულებები

$M_w = 1.02114M_s + 0.4448$ (3.7)	$2.5 (3.1) \leq M_s \leq 4.5$	გამოყვანილი ამ სამუშაოსთვის
$M_L = 0.8058M_{PVA} - 0.0655$ (3.8)	$M_{PVA} \geq 4$	გამოყვანილი ამ სამუშაოსთვის
$M_L = 0.1169M_{PVA} + 2.7138$ (3.8a)	$M_{PVA} < 4$	
$M_w = 0.83174M_{PVA} + 0.10179$ (3.9)	$4 \leq M_{PVA} \leq 5.93$	გამოყვანილი ამ სამუშაოსთვის
$M_w = 0.65229M_{PVA} + 1.24728$ (3.10)	$M_{PVA} > 5.93$	

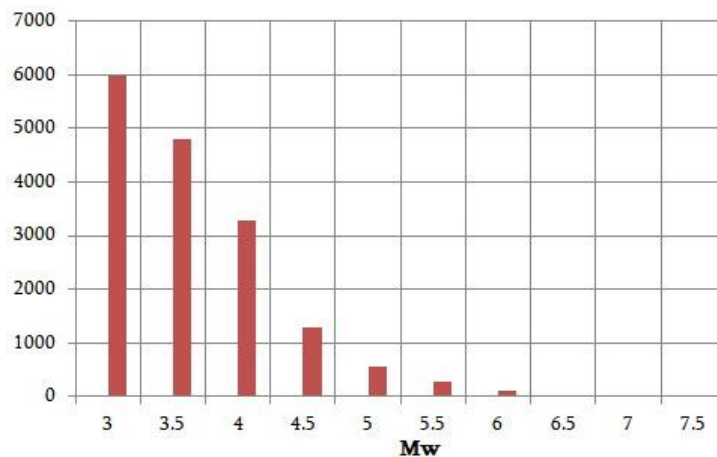
ფრჩხილებში მოთავსებული რიცხვები უჩვენებს მაგნიტუდის იმ დონეს რომლისთვისაც გამოყვანილი იყო შესაბამისი ფორმულები, ხოლო რიცხვები ბრჩხილებს გარეთ მიუთითებს მაგნიტუდის იმ დონეს, რომლისთვისაც გამოყენებული იქნა ჩვენს მიერ კორელაციური განტოლებები.

2003 წლის ზოგიერთი მიწისძვრა პირდაპირ შეფასდა M_w -ით ნაშრომში Barth et al. (2007) მოცემული მომენტის ტენზორის ინვერსიის მეთოდის გამოყენებით. ცხრილ 3.3 და 3.4-ში მოყვანილი კორელაციური ფორმულების საშუალებით მოხდა კატალოგის ჰარმონიზაცია M_w -ს მიხედვით.

საბოლოო კატალოგი შეიცავს 19 531 მიწისძვრას მოცემული ტერიტორიისთვის მაგნიტუდით M_w მეტი 2.7-ზე. ნახ. 3.1 და ცხრილი 3.5 გვიჩვენებს M_w განაწილებას მიწისძვრების რაოდენობის მიხედვით 0.5 ბიჯის ფარგლებში.

ცხრილი 3.5. მიწისძვრების რაოდენობა M_w -ს 0.5 ბიჯის ფარგლებში

$M_{wmin} \leq$	$< M_{wmax}$	M_w	N
2.75	3.25	3.0	5994
3.25	3.75	3.5	4799
3.75	4.25	4.0	3293
4.25	4.75	4.5	1286
4.75	5.25	5.0	559
5.25	5.75	5.5	272
5.75	6.25	6.0	99
6.25	6.75	6.5	27
6.75	7.25	7.0	26
7.25	7.75	7.5	6



ნახ. 3.1 მიწისძვრების რაოდენობის განაწილება მაგნიტუდის მიხედვით (ბიჯების გათვალისწინებით)

მიღებული განაწილება საშუალებას გვაძლევს კატალოგის სტატისტიკური ანალიზისას განვიხილოთ კატალოგი მაგნიტუდა $M_w=2.75$ -დან.

3.1.3 მიწისძვრის კატალოგის სტატისტიკური ანალიზი: კატალოგების გაწმენდა და სისრულე

სეისმური საშიშროების შეფასებასთან დაკავშირებული ნებისმიერი კვლევისთვის, Cornell (1968) მიერ დადგენილი კლასიკური ალბათური მიდგომის თანახმად, რეგიონისთვის შედგენილი მიწისძვრების კატალოგის გაწმენდა გახდა სტანდარტული პრაქტიკა. ითვლება, რომ თითოეულ სეისმურ კერაში მიწისძვრის წარმოშობა ხდება პუასონის პროცესის მსგავსად, მომავალი მიწისძვრების წარმოშობის შესაფასებლად გამოყენებულ კატალოგს უნდა ჩამოშორდეს დამოკიდებული მოვლენები, ანუ უნდა მოცილდეს ძირითადი მოვლენის მიერ გამოწვეული ფორ- და აფტერშოკები, ასევე მიწისძვრის გუნდები. ამ მიზნისთვის

გამოყენებული იყო რამდენიმე მეთოდი. საქართველოსთვის შედგენილი ამოსავალი კატალოგი, გაწმენდილი იყო Gardner and Knopoff (1974), Grunthal (1985), Uhrhammer (1986) სივრცულ-დროითი ფანჯრების გამოყენებით, რომელიც რეალიზებული იყო კომპიუტერული პროგრამა ZMAP-ში (Wiemer et al., 2001). გარდა ამისა, მოდელის არჩევაში დასახმარებლად, ჩვენ შევამოწმეთ, რამდენად მიჰყვება მიღებული კატალოგები პუასონის პროცესს Tsereteli et. al 2020). საბოლოოდ, უფლებამოსილ კატალოგად ჩვენ მივიჩნიეთ Gardner and Knopoff (1974) და Grunthal (1985) მეთოდით გაწმენდილი კატალოგი. მათგანაც საბაზისო კატალოგად შევარჩიეთ Gardner and Knopoff (1974) მეთოდით გაწმენდილი კატალოგი. შედეგი მოცემულია ცხრილ 3.6-ში

ცხრილი 3.6 მიწისძვრების მთლიანი რაოდენობა $M_w \geq 3.0$ და მიწისძვრების რაოდენობა მაგნიტუდის ბინებში 0.5 ბიჯით Gardner and Knopoff (1974)-ის მეთოდით გაწმენდილი კატალოგისთვის

$\leq M_w <$	2.75-3.25	3.25-3.75	3.75-4.25	4.25-4.75	4.75-5.25	5.25-5.75	5.75-6.25	6.25-6.75	6.75-7.25	7.25-7.75	ჯამური რაოდენობა
M_w	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	
GK	2140	3166	1269	621	330	181	75	22	21	6	7831

მიწისძვრის აქტივობისა თუ სეისმური პროდუქტიულობის შეფასებამდე, გასათვალისწინებელია მიწისძვრის კატალოგის სისრულე სხვადასხვა მაგნიტუდის ზღვრული მნიშვნელობისთვის დროის მიხედვით. Gardner and Knopoff (1974) მეთოდით გაწმენდილი 1900 წლის შემდგომი პერიოდის კატალოგის სისრულე გამოკვლეულ იქნა სხვადასხვა მაგნიტუდური ბინებისა და დროითი ფანჯრებისთვის, Stepp (1972) მიერ შემოთავაზებული მეთოდოლოგიის გამოყენებით, ხოლო 1900 წ.-მდე პერიოდის სისრულე შეფასდა ისტორიული მოსაზრებების საფუძველზე (ცხრილი 3.7).

ცხრილი 3.7 Gardner and Knopoff (1974) მეთოდით გაწმენდილი კატალოგის სისრულის შეფასება

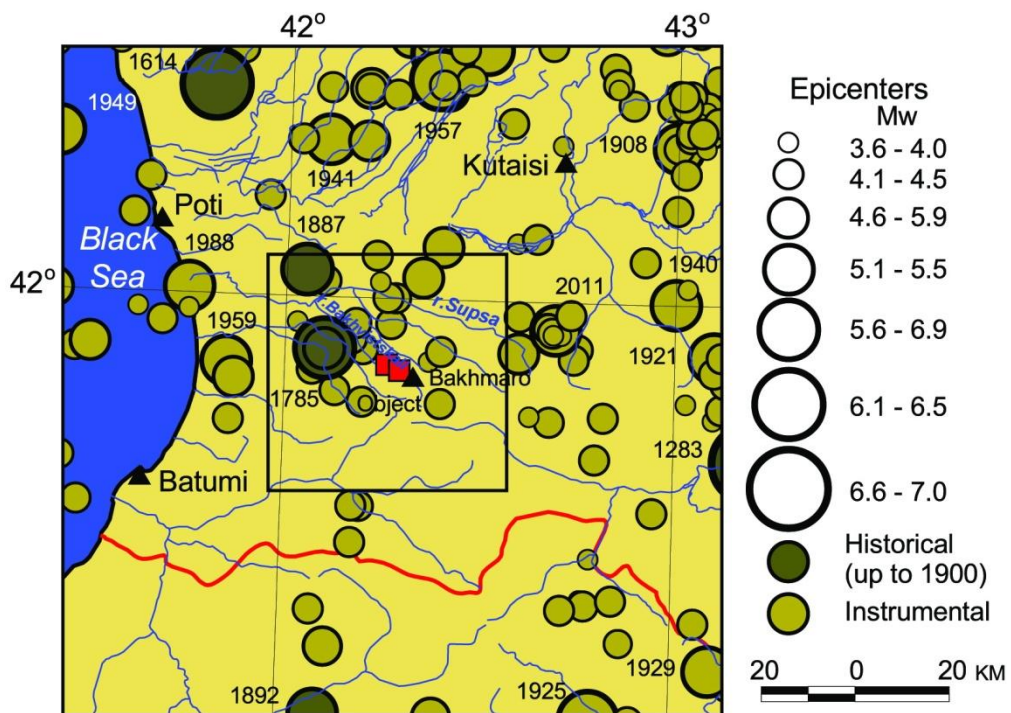
დრო	1960	1950	1950	1930	1900	1900	1900	1100
M_w მაგნიტუდის ბინი	3.3-3.7	3.8-4.2	4.3-4.7	4.8-5.2	5.3-5.7	5.8-6.2	6.3-6.7	6.8-7.2

3.1.4 საკვლევი რაიონის სეისმურობა

ზევით აღნიშნული მონაცემთა ბაზის საფუძველზე, პირველ რიგში, აგებულ იქნა მთელი საკვლევი რაიონისა და ობიექტის გარშემო 25 კმ რადიუსის მქონე ახლო ზონის ეპიცენტრების რუკები (იხ. ნახ. 3.2, 3.3). ისინი პრაქტიკულად გვიჩვენებენ მოცემულ ტერიტორიებზე სხვადასხვა მაგნიტუდის მიწისძვრების განაწილებას. ამ

რუკებზე დატანილია უძველესი დროიდან 2021 წლამდე კატალოგირებული ყველა მიწისძვრა. მიწისძვრებისთვის მაგნიტუდით $M_w > 5$ მითითებულია მათი წარმოშობის წელი.

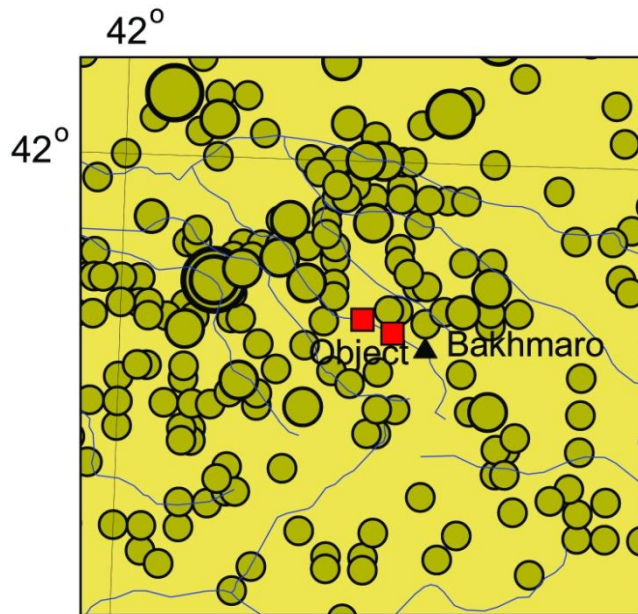
მიღებული რუკების ერთობლივმა ანალიზმა გვიჩვენა სეისმოლოგიური ვითარება, რომელიც შეიქმნა საკვლევ რაიონში. კერძოდ, ზომიერი და ძლიერი მიწისძვრების ეპიცენტრების რუკის მიხედვით (ნახ. 3.2) მთელი საკვლევ რაიონი დაფარულია მიწისძვრის ეპიცენტრებით, მაგრამ სხვადასხვა სიმკვრივით. ეპიცენტრების ყველაზე დიდი კონცენტრაციის არეები აღინიშნება რაიონის ჩრდილოეთ ნაწილში, რომელიც დაკავშირებულია შესაბამის ტექტონიკურ ერთეულებთან. აქვეა კონცენტრირებული ძლიერი ისტორიული მიწისძვრების (წარმოშობილი 1900 წ.-მდე) ეპიცენტრები, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ საკვლევ რაიონის ბევრი უბანი დაკვირვებების მთელი ისტორიული პერიოდის განმავლობაში იყო სეისმურად აქტიური და ამჟამად მნიშვნელოვანი პოტენციური სეისმურობა გააჩნიათ. უნდა აღინიშნოს, რომ რაიონის სეისმურობაში ძლიერი ისტორიული მიწისძვრების წვლილის განხილვა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ობიექტის ტერიტორიის სეისმურობის ანალიზის დროს.



ნახ. 3.2 ზომიერი და ძლიერი მიწისძვრების ($M_w > 3.5$) ეპიცენტრების რუკა

მოცემული ობიექტის ახლო ზონა მთლიანად დაფარულია სუსტი მიწისძვრების ($M_w \leq 3.5$) ეპიცენტრებით (ნახ. 3.3). საყურადღებოა, რომ უშუალოდ ობიექტთან, 5 კმ რადიუსში, ფიქსირდება ინსტრუმენტული პერიოდის ბევრი სუსტი მიწისძვრა, რაც მიუთითებს ამ ლოკალური არის თანამედროვე სეისმურ აქტივობაზე. ახლო ზონაშივეა დაფიქსირებული სამი ისტორიული მიწისძვრა (1785 წ., 1870 წ., 1887 წ.),

რომელთაგან ერთ-ერთს 7.5 MSK ინტენსივობის ეფექტი შეიძლება ჰქონოდა მშენებლობის ადგილზე.



ნახ. 3.3 საკვლევი ობიექტის ახლო ზონაში ყველა დაფიქსირებული მიწისძვრის ეპიცენტრების რუკა

ზომიერი და ძლიერი მიწისძვრების ეპიცენტრების, აგრეთვე დანაკვირვები და თეორიული იზოსეისტების რუკების ანალიზმა ცხადყო, რომ ობიექტის ტერიტორიაზე 5 და მეტი MSK ინტენსივობით გამოვლინდა ან გამოვლინდებოდა საქართველოსა და თურქეთის ტერიტორიაზე მომხდარი ბევრი ძლიერი და უძლიერესი მიწისძვრა: თმოგვის 1088 წ. ($M_w \approx 6.5$, $I_{obj} \approx 5.0$); სამცხის 1283 წ. ($M_w \approx 7.0$, $I_{obj} \approx 6.0$); ცაიშის 1614 წ. ($M_w = 6.0$, $I_{obj} = 5.5$); შემომქმედის 1785 წ. ($M_w = 5.7$, $I_{obj} = 7.5$); ლანჩხუთის 1887 წ. ($M_w = 5.4$, $I_{obj} = 5.0$); ახალქალაქის 1899 წ. ($M_w = 6.1$, $I_{obj} = 5.0$); ტყიბულის 1908 წ. ($M_w = 5.0$, $I_{obj} = 5.0$); 1915 წ. ($M_w = 5.0$, $I_{obj} = 5.0$); არდაჰანის 1925 წ. ($M_w = 6.0$, $I_{obj} = 5.0$); ტაბაწყურის 1940 წ. ($M_w = 6.0$, $I_{obj} = 5.5$); აჭარა-გურიის 1959 წ. ($M_w = 5.5$, $I_{obj} = 6.0$); ასკანის 1996 წ. ($M_w = 5.0$, $I_{obj} = 5.0$). შავი ზღვის 2012 წ. ($M_w = 5.3$, $I_{obj} = 5.0$).

ამრიგად, დანაკვირვები სეისმურობის ანალიზიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ საკვლევი რაიონი დაფარულია მიწისძვრის ეპიცენტრებით, მაგრამ სხვადასხვა სიმკვრივით. ზომიერი და ძლიერი ინსტრუმენტული მიწისძვრების ეპიცენტრების ($M_w > 3.5$) ყველაზე დიდი კონცენტრაცია დაიკვირვება რაიონის ჩრდილოეთ ნაწილში, აქვეა კონცენტრირებული ძლიერი ისტორიული მიწისძვრების ეპიცენტრები, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ საკვლევი რაიონის ბევრი უბანი დაკვირვებების მთელი ისტორიული პერიოდის განმავლობაში იყო სეისმურად აქტიური და ამჟამად მნიშვნელოვანი პოტენციური სეისმურობა გააჩნიათ. ინსტრუმენტულ პერიოდში ობიექტის სიახლოვეში მომხდარი ბევრი სუსტი მიწისძვრა მეტყველებს ამ ლოკალური არის თანამედროვე აქტივობაზე. გარდა ამისა, 5-დან 7.5-მდე MSK

ინტენსივობით გამოვლინდა ობიექტის ტერიტორიაზე საქართველოში და თურქეთში მომხდარი ბევრი ძლიერი და უძლიერესი მიწისძვრა.

ქვემოთ მოცემულია: ზოგიერთი ისტორიული მიწისძვრის დეტალური აღწერა (Varazanashvili et al., 2011) და MSK სკალით ინტენსივობის შეფასება; ამ მონაცემების მოკლე ანალიზი; მიწისძვრების საბოლოო პარამეტრები მათი განსაზღვრის სიზუსტეების მითითებით. გარდა ამისა, წარმოდგენილია რუკები, რომელზეც დატანილია იზოსეისტები, სეისმოდისლოკაციები, მეწყრები, ეკლესიები, ციხესიმაგრეები, დასახლებული პუნქტები MSK ინტენსივობით, მიწისძვრის ეპიცენტრი, აქტიური რღვევები, აგრეთვე საკვლევი ობიექტის ფარდობითი მდებარეობა.

1785 წელი, შემომქმედის მიწისძვრა

„შემომქმედის ქრონიკა მთავრდება 1753 წლით. მასალები ამ ქრონიკის შესახებ დიმიტრი ბაქრაძეს მისცა იქაურმა მღვდელმა. ბაქრაძე ამ ქრონიკას მიაწერს მღვდელ გიორგი დუმბაძეს. ხელნაწერების ინსტიტუტში ნაპოვნია სხვა ქრონიკა, რომელიც წააგავს შემომქმედის ქრონიკას, მაგრამ მას აქვს მინაწერი – გაბრიელ მახარაძე. „ქრონიკა უეჭველია გურიაშია შედგენილი“. შესაძლებელია, წინა შემომქმედის ქრონიკა განაგრძო გაბრიელ მახარაძემ. მახარაძის ქრონიკაშია: „1785 წლის მაისი, საშინელი მიწისძვრა და სახლები დაინგრა“ (Zhordania, 1967).

„ამ მიწისძვრის შედეგად გურიაში დაინგრა ბევრი სახლი და მათ შორის ტაძარი სოფ. შემომქმედში (Zhordania, 1967). შემომქმედის სამონასტრო კომპლექსი მდებარეობს მდ. ბჟუჟის მარცხენა ნაპირზე სოფ. შემომქმედის მიდამოებში (ოზურგეთის რაიონი). კომპლექსის ძირითადი ნაგებობები აშენებულია 150 მ სიმაღლის მაღლობზე, კლდოვან საფუძველზე (ტუფოგენური ქანები). მიწისძვრის შემდგომ ტაძარი აღდგენილ იქნა. რესტავრაციის კვალი შემორჩენილია ამოვსებული ნაპრალებისა და კედლის წყობის შეცვლილი ბლოკების სახით. მთავარი ნაგებობის მინაშენის სამხრეთ-დასავლეთ კედელში დაიკვირვება 1 და 3 სმ სიგანის გამჭოლი ნაპრალები. ასეთივე ნაპრალები აღინიშნება მოპირდაპირე კედელშიც. ისინი ქვევიდან ზევით მიემართებიან და იკარგებიან გუმბათის ქვიან წყობაში, თუმცა ყველაზე უფრო მსხვილი ნაპრალები იქაც დაიკვირვება, თითქოს ორად ყოფენ მთელ ნაგებობას სამხრეთ-დასავლეთიდან ჩრდილო-აღმოსავლეთისაკენ. დეფორმაციის ხასიათის მიხედვით მიწისძვრის ინტენსიობა შეადგენდა არანაკლებ 8 ბალს“ (Khromovskikh et al., 1979).

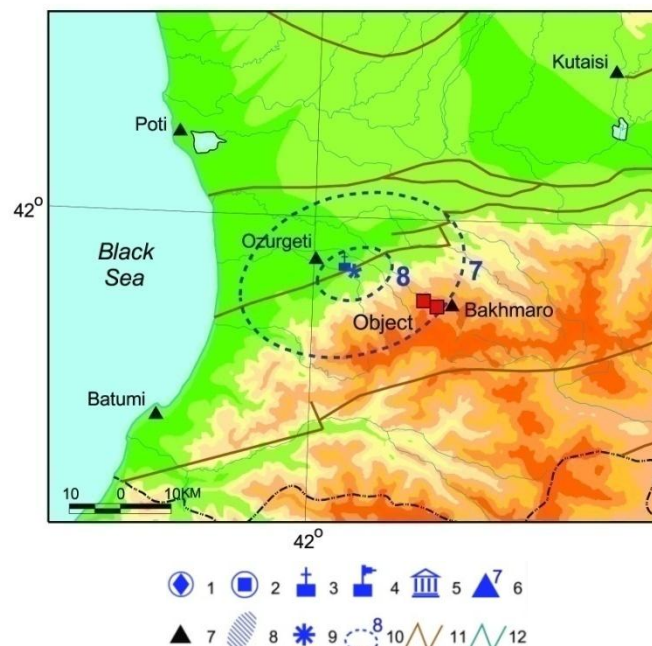
აღნიშნულ წყაროებზე დაყრდნობით ჩატარებული ანალიზის შედეგად განისაზღვრა ამ ისტორიული მიწისძვრის (ნახ. 3.4) ძირითადი პარამეტრები: თარიღი – 1785 წ. მაისი ($\Delta t = \pm 1$ თვე); ეპიცენტრის კოორდინატები – $\varphi = 41.90^\circ$, $\lambda = 42.10^\circ$ ($\Delta E = \pm 0.2^\circ$); სიღრმე

– $h=10$ კმ ($h=5-20$ კმ); მაგნიტუდა – $M_w=5.6$ ($\Delta M_w=\pm 0.5$); ინტენსივობა ეპიცენტრში – $I_0=8$ ($\Delta I_0=\pm 1$).

წყაროები:

Zhordania, T. 1967. Chronicle. Book 3. Metsniereba Publ. House, Tbilisi. (in Georgian)

Khromovskikh, V.S., Solonenko, V.P., Semenov, R.M., Zhilkin, V.N. 1979. Paleoseismogeology of the Great Caucasus. Nauka Publ. House, Moscow, p. 37 (in Russian)



ნახ. 3.4 1785 წლის შემომქმედის მიწისძვრის ინტენსივობის განაწილების რუკა. პირობითი ნიშნები: 1 - სეისმოდისლოკაცია; 2 - მეწყერი; 3 - ეკლესია; 4 - ციხესიმაგრე; 5 - სასახლე; 6 - დასახლებული პუნქტი MSK ინტენსივობით; 7 - სოფლები და ქალაქები; 8 - არე MSK ინტენსივობით; 9 - მიწისძვრის ეპიცენტრი; 10 - იზოსეისტი; 11 - აქტიური რღვევა; 12 - მდინარე

1887 წელი, ლანჩხუთის მიწისძვრა

„1887. ივლისი, 16; 17.5 სთ. მიწისძვრა დასავლეთ საქართველოში. განმეორდა $\frac{1}{4}$ საათის შემდეგ, მეორე ბიძგი პირველზე სუსტი იყო. შეტყობინებები ადგილებიდან: ბათუმი. მიწისძვრა უფრო იგრძნობოდა სანაპიროს გასწვრივ; მოსახლეობის ნაწილი სახლებიდან გამოიქცა და გარკვეული დროის განმავლობაში ვერ ბედავდა უკან დაბრუნებას, მიუთითებენ მიმართულებას E-W. ფოთი. იყო მიწისძვრა. მიწისძვრის მიმართულება E-W. ახალ-სენაკი. იყო მიწისძვრა. ნიადაგის რხევებს ჰქონდათ მიმართულება E-W. ოზურგეთი. იგრძნობოდა მიწისძვრა. ჭალადიდი. იგრძნობოდა სამი ბიძგი. სოფ. ნიგოთი. იყო მიწისძვრა. ქუთაისი. მიწისძვრა იყო უფრო ძლიერი, ვიდრე სხვა პუნქტებში“ (Bius, 1948).

„1887. ივლისი, 17; 19 სთ. წინა მიწისძვრის განმეორება. ის გრძელდებოდა 8-10 წმ. ფოთი. იყო მიწისძვრა. ლანჩხუთი. იყო 2 ბიძგი, მეორე 2 წმ შემდეგ პირველიდან,

რომელმაც გამოიწვია დაზიანებები; ვაგონები ერთმანეთს ეჯახებოდნენ. სუფსა. დაზიანდა სადგურის შენობა. ყველაზე ძლიერად მიწისძვრა იგრძნობოდა სადგურების სუფსა და საჯავახოს ახლოს. ნატანებიდან საჯავახოში მიმავალი მატარებელი იძულებული იყო გაჩერებულიყო, ვინაიდან ვაგონებმა დაიწყეს აქეთ-იქით ქანაობა. საჯავახო. მიწისძვრა ძლიერად იგრძნობოდა, ჩამოინგრა სახურავი. ახალ-სენაკი, ქუთაისი, ოჩამჩირე, ჩურუკსუ, ნიგოითი – იყო მიწისძვრა“ (Bius, 1948).

„... (Mushketov, Orlov, 1893) -ის მიხედვით, შესაძლებელია 2 ბიძგი 17 სთ 45 წთ და 18 სთ 50 წთ; მეორე (შესაძლო) ბიძგი (Bius, 1948)-თან 17.VII შეცდომაა...“ (New Catalog..., 1982).

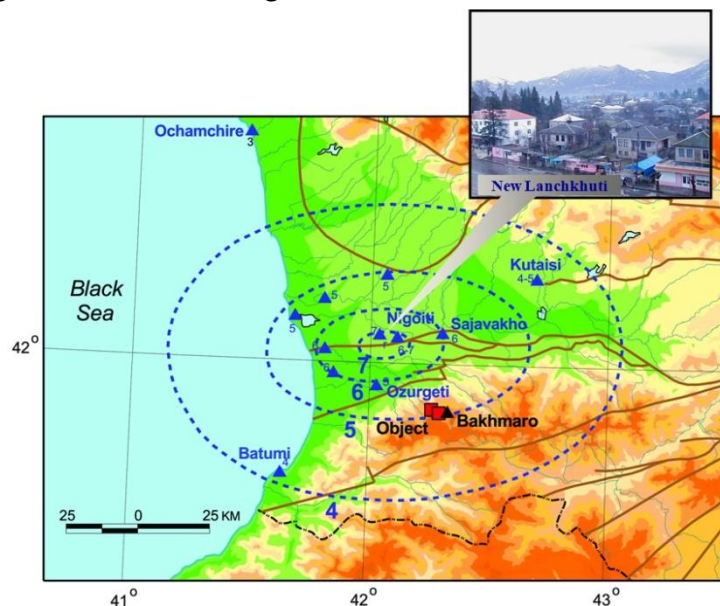
ი. მუშკეტოვისა და ა. ორლოვის ნაშრომზე (1893) დაყრდნობილი ე. ბიუსის ეს მონაცემები, გარკვეული კორექტირების შემდგომ (New Catalog..., 1982), იძლევა საშუალებას, რომ მივიღოთ ამ მიწისძვრის საკმარისად სანდო იზოსეისტების რუკა (იხ. ნახ. 3.5) და ე. ი. მისი ძირითადი პარამეტრებიც: თარიღი – 1887 წ. 16 ივლისი 17 სთ 45 წთ ($\Delta t = \pm 1$ სთ); ეპიცენტრის კოორდინატები – $\varphi = 41.05^\circ$, $\lambda = 44.05^\circ$ ($\Delta E = \pm 0.1^\circ$); სიღრმე – $h = 12$ კმ ($h = 6-24$ კმ); მაგნიტუდა – $M = 5.4$ ($\Delta M = \pm 0.5$); ინტენსივობა ეპიცენტრში – $I_0 = 7$ ($\Delta I_0 = \pm 0.5$).

წყაროები:

Bius, Ye. I. 1948. Seismic conditions of the Trans-Caucasus, part I. Acad. Scf. GSSR, Tbilisi, p. 60. (in Russian)

New Catalog of Strong Earthquakes in the USSR. 1982. NOAA, USA, p. 88.

Mushketov, I.V., Orlov, A.P., 1893. Catalog of earthquakes in the Russian Empire. Notes, Russian Geog. Soc., St. Petersburg, vol. 26. (in Russian)



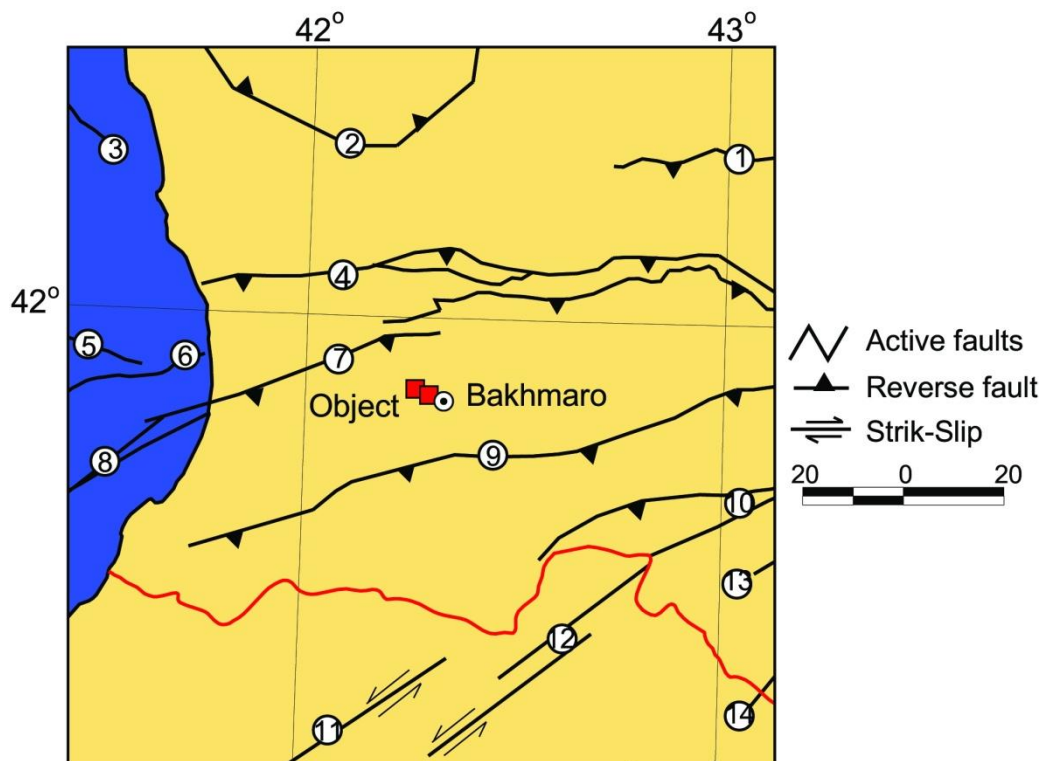
ნახ. 3.5 1887 წლის ლანჩხუთის მიწისძვრის ინტენსივობის განაწილების რუკა. პირობითი ნიშნები იგივეა, რაც ნახ. 3.4-ზე

3.2 საკვლევი რაიონის აქტიური რღვევები და სეისმოგენური კერების ზონები

მოცემული რაიონის სეისმურობის დეტალური გამოკვლევა შეუძლებელია სეისმოტექტონიკური პირობების კანონზომიერებათა შესწავლის გარეშე. ასეთი შესწავლის უშუალო რეზულტატს წარმოადგენს სეისმოგენური კერების ზონების გამოყოფა. ამ ამოცანის გადასწყვეტად აუცილებელია მონაცემები საკვლევი რაიონის აქტიური რღვევების შესახებ.

3.2.1 აქტიური რღვევები

რაიონი, რომელსაც ვიხილავთ ამ ანგარიშში მოიცავს 14 მსხვილ, აქტიურ რღვევას ან რღვევათა ზონას (რზ), გამოვლენილს გეოლოგიური, გეოფიზიკური, მორფოლოგიური და სეისმოლოგიური მონაცემების საფუძველზე (ნახ. 3.7). აქ მოცემულია საქართველოს (G) და თურქეთის (T) რღვევების (რღვევათა ზონების) ჩამონათვალი, გადანომრილი 1-დან 14-მდე N-S მიმართულებით: ტყიბულის (G1), ოდიშის (G2), ოდიშის ზღვის (G3), სურამის (G4), გურიის ზღვის (G5), ნატანების (G6), ოზურგეთის (G7), ოზურგეთის ზღვი (G8), ქედას (G9), აწყურის (G10), ჭოროხის (T11), ფოსხოვის (T12), ბაკურიანის (G13), ტაბაწყური დასავლეთის (G14). ქვემოთ მოყვანილია მათი მოკლე აღწერები Adamia et al. (2008), Kocygit et al. (2001) და Danciu et al. (2018)-ის მიხედვით.



ნახ. 3.7 საკვლევი რაიონის აქტიური რღვევები ან რღვევების ზონები

G1 ტყიბულის რზ

ტყიბულის რზ მდებარეობს საქართველოს ბელტის ცენტრალურ ნაწილში ძირულის მასივის ჩრდილოეთით. მისი მიმართებაა WSW-ENE. რღვევა სუბვერტიკალურია.

რღვევით ზედაცარცული-პალეოგენური კირქვები და მერგელები აგრეთვე ნეოგენური ზღვიური მოლასები ტექტონიკურ კონტაქტშია შუა იურულ ვულკანოგენურ და ქვანახშირის შემცავ ტერიგენულ ნალექებთან. აღმოსავლეთისკენ ტყიბულის რზ ერწყმის რაჭა-ლეჩხუმის რზ-ს. რღვევის გასწვრივ წანაცვლების საშუალო სიჩქარე შეადგენს 0.17 მმ/წ. რღვევის სიბრტყე ეცემა 85° კუთხით.

G2 ოდიშის რზ

ეს რზ მდებარეობს დასავლეთ საქართველოში, რიონის დაბლობის ჩრდილოეთ ნაწილში, შემოსაზღვრულია კავკასიონის სამხრეთ ფერდის წინამთებით. რღვევათა ეს სისტემა წარმოდგენილია რკალური სტრუქტურებით – ტექტონიკური ქერცლებით, რომელიც შემოსაზღვრულია რღვევა-განვითარებადი ნაოჭების სერიით დასავლეთიდან, სამხრეთიდან და აღმოსავლეთიდან და დიდი რღვევით ჩრდილოეთიდან. სტრუქტურა მკაფიოდ არის გამოხატული რელიეფში და ქმნის ციცაბო ტექტონიკურ ფერდობებს კულისისებურად განლაგებული ანტიკლინების გარეთა ფრთებზე. ოდიშის რღვევები ნათლად ჩანს და ადვილად იშიფრება აერო- და კოსმოსურათებზე რკალური მორფოსტრუქტურის სახით (Devdariani et al., 1988). საერთოდ რღვევების დაქანება ციცაბოა. ამ რკალური სტრუქტურის სიღრმული აგებულება შესწავლილია ბურღილებით და სეისმური პროფილებით. რღვევები არ აღწევენ მიწის ზედაპირამდე და გამოსახული არიან რღვევა-განვითარებადი ნაოჭებით. კინემატიკურად ისინი შესხლეტვების კატეგორიას მიეკუთვნებიან. რღვევის გასწვრივ წანაცვლების საშუალო სიჩქარე შეადგენს 0.10 მმ/წ. რღვევის სიბრტყის დაქანება შეადგენს 60° .

G3 ოდიში ზღვის რღვევა

ოდიში ზღვის რღვევა აღმოსავლეთი შავი ზღვის საქართველოს ჩრდილო სანაპიროს მიუყვება ხმელეთიდან ~10-30 კმ დაშორებით. მისი მიმართება არის SE-NW ($\sim 300^{\circ}$), სიგრძე – რამოდენიმე ასეული კმ. რღვევის გასწვრივ წანაცვლების საშუალო სიჩქარე (slip rate) შეადგენს 0.35 მმ/წ.

G4 სურამის რზ

სურამის რზ (აჭარა-თრიალეთის ფრონტული შეცოცება) ქმნის აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის ჩრდილო საზღვარს, რომლითაც იგი გამოყოფილია კოლხეთის (რიონის) დაბლობის (დასავლეთი საქართველო) და მტკვრის დაბლობისაგან (აღმოსავლეთი საქართველო), იგი ასევე არის აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის ტექტონიკური საზღვარი რიონისა და მტკვრის ფორლანდებთან. დასვლეთისკენ ფრონტული შეცოცება გრძელდება შავი ზღვის ღრმულში აღმოსავლეთისკენ იგი გადაფარულია მტკვრის როფის მოლასური შეცოცებით. ამ რღვევით აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყლის ცარცული და პალეოგენური ფორმაციები შესხლეტილია ზედა ნეოგენურ ქანებზე (Meffert, 1932;

Gamkrelidze, 1949; Geology of the USSR, 1964). რღვევა მკაფიოდ არის გამოსახული რელიეფში და ადვილად დაიკვირვება სატელიტურ ფოტოსურათებზე (Devdariani et al., 1988). ბალანსურ ჭრილებში ქართლის აუზის ფრონტულ შეცოცებაში რამპული ანტიკლინის დუპლექსის რეკონსტრუქციის განხორციელება ხერხდება (Alania et al., 2001). ზოგადად რღვევა თითქმის განედურია (EW მიმართება), თუმცა შავ ზღვაში რზ ილუნება და აქვს SW გავრცელება (Gorshkov, 1983). რღვევის სიბრტყე დახრილია SE-კენ 40° -ით. კინემატიკურად რზ ძირითადად შესხლეტვას მარცხენა ნაწევის კომპონენტით მის დასავლურ კიდეში (გურია). მიწისძვრის კერის მექანიზმები კარგ შესაბამისობაშია რღვევის კინემატიკასთან (გეოლოგიური მონაცემები). GPS გაზომვები (McClusky et al., 2000) მიუთითებენ NE გადაადგილებაზე სიდიდით შესაბამისად 4.1 N/1.6 E მმ/წ (ვანი) და 5.8 N/1.1 E მმ/წ (ნიჩბისი).

G5 გურია ზღვის რღვევა

ეს რღვევა იწყება საქართველოს სანაპიროსთან, ქ. ფოთის სამხრეთით 20 კმ-ზე. მისი მიმართებაა SE 100° – NW 280° , სიგრძე რამოდენიმე ასეული კილომეტრია. ეს რღვევა შესაძლოა აჭარა-თრიალეთის რიფტული აუზის ჩრდილო საზღვარს წარმოადგენდეს. საქართველოს შავი ზღვის შეღწეზე რღვევა სეისმოპროფილებით არის აღმოჩენილი. ANADARCO ნავთობის კორპორაციის მონაცემების მიხედვით რღვევით გაწყვეტილია პალეოგენური და ნეოგენური ნალექები. რღვევის გასწვრივ წანაცვლების საშუალო სიჩქარე შეადგენს 0.40 მმ/წ.

G6 ნატანების რღვევა

კომპანია ANADARKO-ს მიერ ჩატარებული სეისმოპროფილირების და სხვა გეოფიზიკური კვლევის შედეგად შავი ზღვის საქართველოს შეღწეზე და მის გაგრძელებაზე დასავლეთისაკენ დადგინდა NW და SW მიმართების რღვევების მარაოსებური სისტემის არსებობა. მათგან ერთ-ერთი, NW მიმართების რღვევა აღწერილია ზემოთ – გურია ზღვის რღვევის სახელით, კოლხეთი ჩრდილოეთ რღვევა მისი განშტოებაა ისევე, როგორც კოლხეთი სამხრეთ და ნატანების რღვევა. სამივე რღვევა თითქმის იმეორებს შავი ზღვის აჭარის სანაპიროს კონფიგურაციას. მათი სიგრძე ჯამში მრავალ ათეულ კმ-ს აღემატება. რღვევებით გაწყვეტილია პალეოგენური და ნეოგენური ნალექები. რღვევის გასწვრივ წანაცვლების საშუალო სიჩქარე შეადგენს 0.40 მმ/წ.

G7 ოზურგეთის რზ

იგი აჭარა-თრიალეთის ფრონტული შეცოცების (სურამის რზ) ერთ-ერთი სამხრეთული შტოა. დასავლეთისკენ ის გაიდევნება შავი ზღვის აუზში და მიემართება თურქეთის სანაპიროს გასწვრივ. რღვევა ქმნის გურიის როფის სამხრეთულ საზღვარს. როფი ამოვსებულია ნეოგენურ-მეოთხეული ნალექებით. ამ რღვევით აჭარის შუა ეოცენური ბაზალტური ქანები ტექტონიკურ კონტაქტშია

გურიის „პულ აპარტ“ აუზის ნეოგენურ ზღვიურ მოლასებთან. რღვევა თვალსაჩინოა რელიეფში და ჩანს სატელიტურ ფოტოსურათებზე (Devdariani et al, 1988). რღვევის მიმართება SW-NE, დახრილია SE 80° კუთხით. რღვევა კინემატიკურად შესხლეტვას მარცხენა ნაწევის კომპონენტით, რაც დასტურდება მიწისძვრების კერის მექანიზმის გაშიფრვით. შავი ზღვის აუზში რღვევა გადევნებულია რეფრაგირებული ტალღების მონაცემებით (Gorshkov, 1983). რღვევის გასწვრივ წანაცვლების საშუალო სიჩქარე შეადგენს 0.17 მმ/წ.

G8 ოზურგეთი ზღვის რღვევა

ეს რღვევა ხმელეთზე ოზურგეთის რღვევის სახელით ცნობილი სტრუქტურის გაგრძელებაა შავი ზღვის საქართველოს შეღწევა. მისი მიმართება დასაწყისში SW 250°-ია. დასავლეთისკენ მიმართება იცვლება და არის თითქმის დასავლური, პარალელური თურქეთის ამ ნაწილის სანაპიროსადმი. რღვევით გაწყვეტილია ნეოგენური ნალექები. რღვევის გასწვრივ წანაცვლების საშუალო სიჩქარე შეადგენს 0.01 მმ/წ.

G9 ქედას რზ

ქედას რღვევის ზონა აჭარა-თრიალეთის მთიანი სარტყლის უკიდურეს დასავლეთ ნაწილშია განლაგებული, SW-NE მიმართებისაა და ირიბად კვეთს აღნიშნულ ტექტონიკურ ერთეულს შავი ზღვის სანაპიროდან ქართლის აუზამდე (ამიერკავკასიის ფორლანდი). დასავლეთისკენ გრძელდება შავ ზღვაში თურქეთის სანაპიროს გასწვრივ. რღვევა კუმშვითი (შესხლეტვის) სტრუქტურაა მარცხენა ნაწევური კომპონენტით. მისი NE დაბოლოება ერწყმის სურამის რზ. რღვევა მოქცეულია შუა ეოცენურ ვულკანურ ქანებში, თუმცა რღვევის ზონის NE ნაწილში და მის გასწვრივ არის უფრო ძველი ქანების გამოსავლებიც: ზედა ცარცულ-პალეოცენური ვულკანური და კარბონატული ნალექები. ისინი აგებენ SW-NE მიმართების ანტიკლინს. რღვევის გასწვრივ წანაცვლების საშუალო სიჩქარე შეადგენს 0.36 მმ/წ. რღვევის სიბრტყის დაქანება შეადგენს 70°.

G10 აწყურის რზ

აწყურის რღვევის ზონა აჭარა-თრიალეთის მთიანი სარტყლის ფარგლებშია, ქედას რზ-ის სამხრეთით, ასევე SW-NE მიმართებისაა, წარმოადგენს კუმშვით სტრუქტურას (შესხლეტვა) მარცხენა ნაწევური კომპონენტით. რღვევის ზონა გაიდევნება პალეოგენურ ვულკანოგენურ და ტერიგენულ ქანებში, აგრეთვე ზედა ცარცულ კარბონატულ და ვულკანურ ქანებში. რღვევის ამ სისტემის SW ნაწილი თურქეთის ტერიტორიაზეა, ხოლო NE ბოლო მიემართება აჭარა-თრიალეთის ფრონტული შეცოცებისკენ (სურამის რზ) და ერწყმის მას. აწყურია რღვევების SE ფრთები. რღვევის გასწვრივ წანაცვლების საშუალო სიჩქარე შეადგენს 0.18 მმ/წ. რღვევის სიბრტყის დაქანება შეადგენს 70°.

T11 ჭოროხის და T12 ფოსხოვის რღვევები

ჭოროხის, ფოსხოვის და კელკიტის რღვევები წარმოადგენენ თურქეთის ტერიტორიაზე მდებარე SW-NE მიმართების კელკიტ-ჭოროხი რზ-ის სეგმენტებს. კელკიტ-ჭოროხი რზ არის 600 კმ სიგრძის და 10 კმ სიგანის 45° - 85° მიმართების მარცხენა ნაწევების ზონა. იგი თურქეთ-საქართველოს საზღვრის ორივე მხარეზეა და კვეთს პრე-ოლიგოცენური ასაკის ფუნდამენტის ქანებს, აგრეთვე ოლიგოცენურ-მეოტხეული ასაკის ქანებს კავკასიაში, აღმოსავლეთ პონტიდებში და ანატოლიის პლატოზე და როგორც უკვე ითქვა შედგება რამოდენიმე სეგმენტისაგან. ჭოროხის და კელკიტის რღვევები, ხასიათდება მსგავსი მორფოლოგიური და სტრუქტურული ნიშნებით. როგორც სეგმენტები, ისინი ქმნიან მარცხენა საფეხურს გაჭყლებილი აუზის NE ბოლოში. ამ აუზის ჩრდილოეთიდან შემომსაზღვრელი რღვევა, რომლის მიმართებაა 50° , გრძელდება NE-კენ ქ. ფოსხოვის გავლით თურქეთ-საქართველოს სასაზღვრო ზოლში. კელკიტ-ჭოროხის რზ-ის ეს ნაწილი არის ფოსხოვის რღვევა (Kocyigit et al., 2001). ჭოროხის და ფოსხოვის რღვევების გასწვრივ წანაცვლების საშუალო სიჩქარე შეადგენს 0.32 და 1.41 მმ/წ შესაბამისად.

G13 ბაკურიანის რზ

ეს რღვევათა ზონა წარმოადგენს რღვევების სისტემას, რომელიც გადაჭიმულია მდ. მტკვრის სათავემდე ჩრდილო-აღმოსავლეთ თურქეთში და სამხრეთ საქართველოს მომიჯნავე ნაწილში. ჩრდილოეთით E-ის რღვევები განლაგებულია სუბაერალური ნეოგენ-მეოტხეული ვულკანური კლდეების უბანში, რომლებიც ფართოდ არის განვითარებული ჯავახეთის ზეგნის ფარგლებში. საქართველოში რღვევები კინემატიკურად წარმოდგენილია ციცაბო შესხლეტვებით, რომლებიც გადახრილია ჩრდილოეთით. შესხლეტილი ჩრდილოეთის ნაწილი შედგება შუა ეოცენური ვულკანური ქანებით და იმყოფება ტექტონიკურ კონტაქტში ზედა ეოცენურ ნატეხ ტერიგენულ დანალექ ქანებთან. აქ რღვევითი ზონის მიმართულება სუბგანედურია. სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით, თურქეთისკენ, რღვევის განფენილობა თანდათან იცვლება სუბგანედურიდან სამხრეთ-დასავლურისკენ. შესხლეტები იცვლება მარცხენა ნაწევებით, რომლებიც აქ უერთდება თერჩან-ასკალის (თურქეთი) რღვევის ზონას. თანახმად Kocyigit et al. (2001), ეს რღვევითი ზონა შედგება მრავალრიცხოვანი, პარალელური მოკლე სეგმენტებისგან. ისინი კვეთენ ზედაცარცულ ოფიოლიტურ მელანჟებს, ოლიგოცენ-მიოცენურ დანალექებს, აღმოსავლეთ-დასავლეთის მიმართულების რღვევებს და ნაოჭების ღერძებს, ქვედამეოტხეულ ტრავერტინებს და გადაადგილებენ მათ მარცხნივ 4 კმ-ზე. გვარდა ამისა, ზოგიერთი მდინარეები და მათი შენაკადები პლიოცენ-მეოტხეული დროის განმავლობაში გაღუნულია ან გადაადგილებულია მარცხნივ 5.5 კმ-ზე (Kocyigit et al., 2001). სოფ. ახალციხის სამხრეთით (ურაველის ხეობა) საქართველო-თურქეთის სახელმწიფო საზღვრამდე ბაკურიანის რღვევა მიემართება ჩრდილო-აღმოსავლეთ –

სამხრეთ-დასავლეთით და კვეთს გოდერძის ზედამიოცენურ და ქვედაპლიოცენურ სუბაერალურ ვულკანურ ფორმირებებს. ბაკურიანის რღვევათა ზონა მტკვრის რღვევის სეგმენტით, რომელიც მდებარეობს თურქეთში, დაკავშირებულია დუმლუს და კობანდედის რღვევით ზონებთან. რღვევის სიბრტყის დაქანება შეადგენს 80°.

G14 ტაბაწყური დასავლეთის რღვევა (ტაბაწყურის რზ)

ტაბაწყურის რზ მდებარეობს ახალქალაქის პლატოს დასავლეთ ნაწილში, ის ძირითადად გადის გვიანპლიოცენურ-მეოთხეული ასაკის ბაზალტური ლავების ფარგლებში. ის შედგება ორი ტოტისაგან. აღმოსავლეთის ტოტი, NE-SW მიმართულების გაჭიმულია ტაბაწყურის ტბიდან ხოზაპინის ტბამდე. ტაბაწყურის აღმოსავლეთ რღვევის გაგრძელებას თურქეთის ტერიტორიაზე წარმოადგენს ჩილდირის რღვევა. დასავლეთის ტოტი - ასევე NE-SW მიმართულების მიდის თურქეთის სახელმწიფო საზღვრამდე. რზ-ს სამხრეთ-აღმოსავლეთი ნაწილი აღწევს თურქეთამდე, სადაც დაიკვირვება მაღალი სეისმური აქტივობა. თურქეთის ფარგლებში, საქართველო-თურქეთის საზღვართან ახლოს, რზ გადის გვიანცარცული და შუაეოცენური კარბონატებისა და ვულკანური ფორმირებების ფარგლებში. კინემატიკა – მარცხენა ნაწევი. რღვევები სუბვერტიკალურია.

3.2.2.1 აქტიური რღვევებისა და ფონური სეისმურობის მოდელი

აქტიური რღვევის (AF) კერის მოდელი საქართველოსთვის პირველად შემუშავდა EMME პროექტის მსვლელობისას (Sesetyan et al., 2018, Giardini et al., 2018).

აქტიური რღვევების შესახებ მონაცემების ხარისხის დონე შეესაბამება A კლასს (იხ. Danciu et al., 2018), ე.ი. მოიცავს რღვევის სრულ გეომეტრიას და წანაცვლების გრძელვადიან სიჩქარეს, ინფორმაციას, რომელიც გამყარებულია ისტორიული და ინსტრუმენტული დაკვირვებებით და სავსე გეოლოგიური კვლევებით. AF მონაცემთა ბაზა (შედგენილია Gulen et al., 2014) შეიცავს ინფორმაციას 30-ზე მეტ პარამეტრზე, როგორცაა რღვევის დასახელება, რღვევის იდენტიფიკაცია, რღვევის ტრასა, რღვევის ტიპი, წანაცვლების, დაცემისა და დახრის საშუალო მნიშვნელობები, რღვევის სიგრძე, ქვედა და ზედა სეისმოგენური სიღრმე, ჰორიზონტალური და ვერტიკალური წანაცვლების სიჩქარე და საშუალო ასეისმური წანაცვლების სიჩქარე.

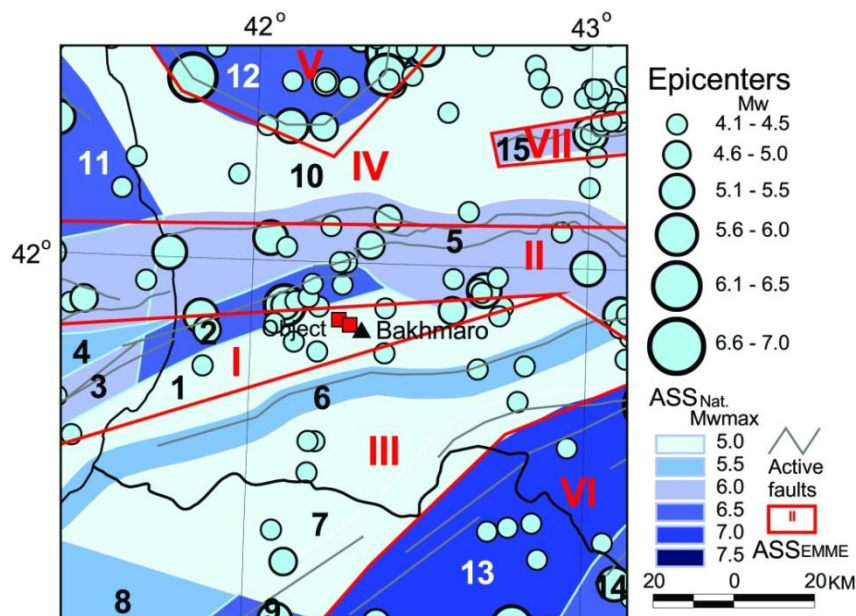
აქტიური რღვევების წანაცვლების სიჩქარე განისაზღვრება გეოლოგიური დაკვირვებებით სტრატეგრაფიული მარკერების გადაადგილებაზე. აქტიური რღვევების სეისმური აქტივობა ხასიათდება Anderson and Luco (1983) მოდელი 2-ით, რომელიც დაფუძნებულია რღვევების წანაცვლების ხანგრძლივი დროის სიჩქარეზე, რომელიც დეტალურადა არის აღწერილი Danciu et al. (2018). მიწისძვრის განმეორების ორმაგად გათვალისწინების თავიდან ასაცილებლად, აქტიური რღვევების გარშემო განისაზღვრა ასიმეტრიული ბუფერული ზონები. ასეთ ბუფერულ ზონებში, აქტიური რღვევების მაგნიტუდურ-სიხშირული განაწილების ქვედა საზღვარად მითითებულია Mw 5.5 მაგნიტუდამდე, ხოლო ფონური

სეისმურობა ითვალისწინებს მიწისძვრის გაგლუვებულ სპეციფიკურ რაოდენობას 5.5-მდე (Danciu et al., 2018). ფონური სეისმურობის დონეები გათვლილია მიწისძვრის გაწმენდილი კატალოგისა და მაკროზონების სისრულის ინტერვალთ, გამოყენებულია Frankel (1995)-ის გაგლუვების ალგორითმი, ზოლის სიგანით 20 კმ.

3.2.2.2 სეისმური კერების არეების მოდელი და მაქსიმალური მაგნიტუდა

სეისმური მონაცემების ზრდამ და სეისმურობის განაწილების მრავალრიცხოვანმა კვლევებმა აჩვენა სეისმურობის რთული სურათი, რაც მიუთითებს არაერთგვაროვან სეისმურობაზე, რომელიც ხასიათდება კლასტერებით, ჯაჭვებითა და ღრეჩოებით. ამან ხელი შეუწყო სეისმური კერების არეების (ASS) განვითარებას. პირველი ASS გამოიკვეთა სეისმოტექტონიკურ კანონზომიერებათა შესწავლის შემდეგ (Danciu and Giardini 2015) GSHAP პროექტის ფარგლებში (Giardini 1999). საქართველოსთვის უახლესი ASS მოდელი რეგიონულ დონეზე შემოთავაზებული იყო პროექტში „ახლო აღმოსავლეთის მიწისძვრის მოდელი“ (Sesetyan et al., 2018; Giardini et al., 2018) და ნაშრომში Tsereteli et al. (2021) მას შემდეგ, რაც ASS მოდელი განახლებულ იქნა ნაციონალურ დონეზე.

საკვლევი რაიონში გამოყოფილ იქნა ASS-ის 15 ნაციონალური ($ASS_{Nat.}$) და 7 EMME-ს (ASS_{EMME}) მოდელი (იხ. ნახ. 3.8). ისინი დიფერენცირებულია 0.5 ბიჯით აღებულ ექვს მაგნიტუდურ დიაპაზონში ($5.0 \leq M_{wmax} \leq 7.5$). ნახ. 3.8-ზე აგრეთვე დატანილია $M_w > 4.0$ მიწისძვრების ეპიცენტრები, დაფიქსირებული მთელი ისტორიული პერიოდის განმავლობაში და აქტიური რღვევები. უნდა აღინიშნოს, რომ ობიექტის სეისმური საშიშროების გათვლაში გამოყენებული იქნა ASS_{EMME} ზონები, ვინაიდან მათ EMME პროექტის ფარგლებში გავლილი აქვთ საერთაშორისო ექსპერტების ფართო რეცენზირების სტადია.



ნახ. 3.8 საკვლევი რაიონის ASS ზონების რუკა (ნაციონალური და EMME-ს მოდელები)

ყოველი ცალკეული ASS ხასიათდება აქტივობის კოეფიციენტებით a და b Gutenberg-Richter (GR) (1944) კანონის შესაბამისად, რომელიც ASS-თვის აღწერს მიწისძვრების წარმოშობის მაგნიტუდა-სიხშირის განაწილებას თანახმად თანაფარდობისა $\text{Log}_{10}N(M)=a-bM$, სადაც $N(M)$ არის მიწისძვრების საერთო რაოდენობა დროის ერთეულში მაგნიტუდით მეტი ან ტოლი M .

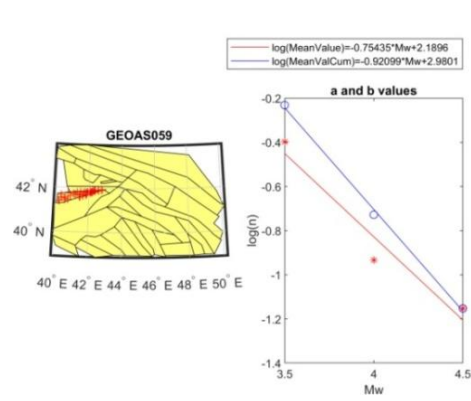
სეისმური აქტივობის კოეფიციენტი a არის მოვლენების რაოდენობის ლოგარითმი მაგნიტუდით $M \geq 0$ და ახასიათებს მოცემული ASS-ის მთლიან სეისმურ პროდუქტიულობას. b არის მაშტაბირების პარამეტრი - მაგნიტუდა-სიხშირის მრუდის უარყოფითი მნიშვნელობა - და არის ძალზედ მნიშვნელოვანი მიწისძვრის ალბათობის შესაფასებლად.

მიწისძვრის განმეორებადობის a და b პარამეტრების დადგენა ხდება დამოუკიდებელი მოვლენებისთვის (მიწისძვრის გაწმენდილი კატალოგი) და ASS-ის სისრულის ინტერვალებისთვის, Gardner and Knopoff (1974) მეთოდით გაწმენდილი კატალოგის გამოყენებით, განტოლების ფორმით. სისრულის ინტერვალები შეფასებულ იქნა ასევე შერჩეული სეისმური კერების არეებისთვის (ASS) Stepp (1972) ის მიერ შემოთავაზებული მეთოდით. მიღებული შედეგები მოყვანილია ცხრილ 3.8 ში.

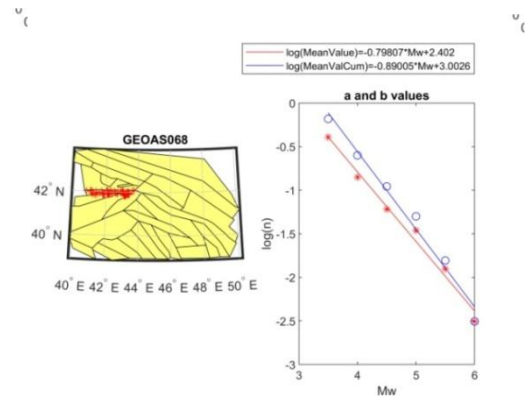
ცხრილი 3.8 კატალოგის სისრულე შერჩეულ ASS_{EMME} ზონებში

#ASS _{EMME}	ASS _{EMME} Name						
I	GEOAS059	Year	1950	1961			
		Mw	4.5	3.5			
II	GEOAS068	Year	1785	1904	1956		
		Mw	5.5	4.5	3.5		
III	TURAS178	Year	1900	1934	1956		
		Mw	5.5	5	3.5		
IV	GEOAS081	Year	1800	1923	1959		
		Mw	5	4	3.5		
V	GEOAS076	Year	1600	1930	1951	1970	
		Mw	5	4.5	4	3.5	
VI	GEOAS080	Year	1088	1261	1805	1910	1955
		Mw	6.5	5.5	5	4.5	3.5
VII	GEOAS067	Year	1900	1962			
		Mw	5	3.5			

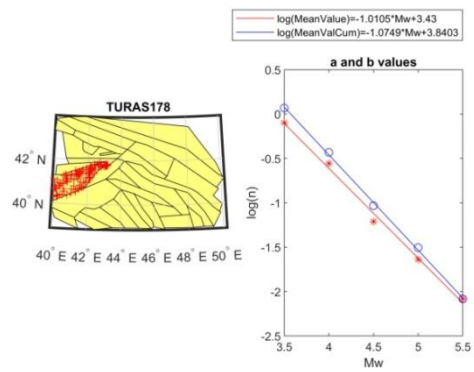
ნახ. 3.9 უჩვენებს გუტენბერგ-რიხტერის განაწილებას შესაბამის ზონებში უმცირეს კვადრატთა მეთოდით. იგივე ზონებისთვის a , b მნიშვნელობები გაითვალა აგრეთვე MLE (The Maximum Likelihood Procedure) მეთოდით (Weichert, 1980). ორი მეთოდით მიღებული განსხვავება გათვალისწინებულია ლოგიკურ ხეში, განმეორებადობის b პარამეტრის ცთომილებაში. საშუალო კვადრატული ცთომილება - 0.05.



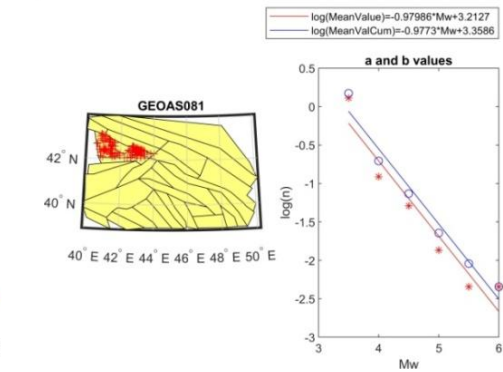
a) ASS I



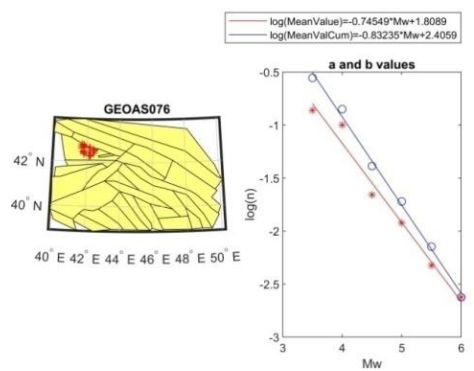
b) ASS II



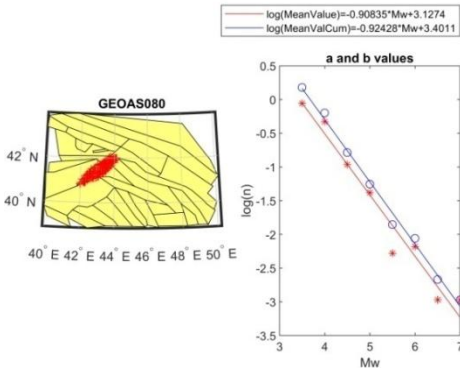
c) ASS III



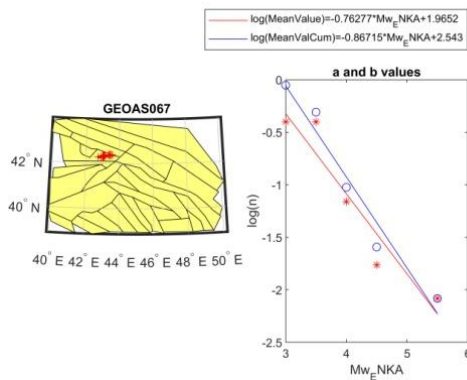
d) ASS IV



e) ASS V



f) ASS VI



g) ASS VII

ნახ. 3.9 a, b, c, d, e, f, g გუტენბერგ- რიხტერის განაწილება
შესაბამის ASS_{EMME} ზონებში

მაქსიმალური მაგნიტუდის (M_{max}) დადგენა PSH-ის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ეტაპია, რადგან იგი აჩვენებს მიწისძვრის სიდიდის ზედა საზღვრს, რომელიც ითვლება შესაძლებლად გარკვეული აქტიური რღვევის ფარგლებში ან სეისმოტექტონიკურ დომენში. ვრცელი ლიტერატურა უზრუნველყოფს M_{max} პარამეტრის შეფასების სხვადასხვა ვარიანტს და პროცედურებს, ანუ ემპირიული კორელაციები რღვევის გეომეტრიასა და მიწისძვრის სიდიდეს შორის (Well and Coppersmith, 1994; Leonard et al., 2010), რღვევების ნაწილების დინამიური კავშირები (Mignan et al., 2015), სტატისტიკური შეფასებები (Kijko and Singh 2011), ისტორიული ჩანაწერები და ანალოგია მსგავს ტექტონიკურ რეგიონებთან (Wheeler 2009), ტექტონიკური შესაძლებლობები და სტატისტიკური შეფასებები (Johnston et al., 1994). ჩვენ M_{max} -ს ვაფასებდით რამდენიმე გზით:

- ისტორიული სეისმური ჩანაწერიდან დანაკვირვები მაქსიმალური მიწისძვრის მიხედვით, ადგილმდებარეობის ცთომილების გათვალისწინებით.
- მაგნიტუდის შეფასების ცთომილების შესაბამისი ნამატით.
- მიწისძვრის განმეორებადობის მრუდის მაგნიტუდის ზედა საზღვრის მიხედვით, რომელიც შეესაბამება 2475 წლის განმეორებით პერიოდს, რადგან PSH-ის შედეგები გადაჭარბების 2%-იანი ალბათობით 50 წლის განმავლობაში, კარგ თანხმობაშია ისტორიულ პერიოდში დაფიქსირებული მაქსიმალური მიწისძვრების განაწილებასთან.
- რღვევების გეომეტრიისა და მაგნიტუდის თანაფარდობების მიხედვით (მაგ., Wells and Coppersmith, 1994).
- მოცემულ ASS-ში მდებარე აქტიური რღვევის სიგრძის (L_{max}) მიხედვით, როდესაც მთელი რღვევის სიგრძის 10% მაინც ხვდება ASS-ში (Shebalin et al., 2000).

საკვლევ რაიონში M_{max} -ის საბოლოო სიდიდეები განსაზღვრულ იქნა ზემოთ აღნიშნული მეთოდებით მიღებული ინდივიდუალური მნიშვნელობების გასაშუალებით. ამ პარამეტრის ეპისტემიური ცთომილება წარმოდგენილია ლოგიკური ხის სტრუქტურით.

შემდგომში მაგნიტუდის მაქსიმალური სიდიდის გასაზრდელად გამოიყენება ნამატის ორი მნიშვნელობა (+0.3 და 0.6) რაც განპირობებულია კატალოგში არსებული მაგნიტუდების განუზღვრელობის გამოსახატავად.

საკვლევი რაიონის ASS-ების მაქსიმალური მაგნიტუდა და a , b პარამეტრები მოცემულია ცხრილ 3.9-ში.

ცხრილი 3.9 ASS ზონების პარამეტრიზაცია

#ASS _{EMME}	ASS _{EMME} Name	Mw _{maxEMME}	a _{EMME}	b _{EMME}	#ASS _{Nat.}	Mw _{maxNat.}
I	GEOAS059	6.8	2.98	0.92	1	5.0
					2	6.0
					3	5.5

					4	6.5
II	GEOAS068	6.8	3.00	0.89	5	6.0
III	TURAS178	6.8	3.84	1.08	6	5.5
					7	5.0
					8	5.5
					9	6.5
IV	GEOAS081	6.8	3.36	0.98	10	7.0
					11	6.5
V	GEOAS076	7.0	2.41	0.83	12	5.0
VI	GEOAS080	7.2	3.40	0.92	13	6.5
					14	6.0
VII	GEOAS067	7.0	2.54	0.87	15	6.5

გამოკვლევებით დადგინდა, რომ უშუალოდ ობიექტის ტერიტორიაზე ყველაზე უფრო მაღალი სეისმური საშიშროება საკვლევ რაიონში გამოყოფილ სამი ASS_{EMME} ზონიდან არის მოსალოდნელი (იხ ცხრილი 3.9). განვიხილოთ ეს ზონები უფრო დეტალურად:

ASS_{EMME} I (მოიცავს #1, 2, 3 და 4 ASS_{Nat} ზონებს)

#1 ASS_{Nat} ზონა, სადაც უშუალოდ ობიექტი მდებარეობს არ არის დაკავშირებული კონკრეტულ რღვევასთან, თუმცა აქ დაფიქსირებულია ბევრი ზომიერი მიწისძვრა: 1953 წ. (Mw=4.8); 1962 წ. (Mw=4.3); 1972 წ. (Mw=4.1); 1976 წ. (Mw=4.3); 2011 წ. (Mw=4.3); 2014 წ. (Mw=4.1); 2016 წ. (Mw=4.2) და სხვ.

#2 ASS_{Nat} ზონა ძალზედ აქტიურ ოზურგეთის რღვევათა ზონას უკავშირდება. მის გასწვრივ, როგორც ისტორიულ წარსულში, ასევე თანამედროვე პერიოდში დაფიქსირდა ბევრი ზომიერი და ძლიერი მიწისძვრა: 1785 წ. (Mw=5.8); 1870 წ. (Mw=4.9); 1959 წ. (Mw=5.5); 1996 წ. (Mw=5.0) და სხვ. ამ ზონის გაგრძელებას ზღვაში

#3 ASS_{Nat} ზონა წარმოადგენს.

#4 ASS_{Nat} ზონა ასევე ზღვაში მდებარეობს და კოლხეთის რზ (საკვლევ რაიონის გარეთ) უკავშირდება. მის ფარგლებში დაიკვირვება მაგ., ისეთი ზომიერი მიწისძვრები როგორიცაა: 1952 წ. (Mw=4.8); 1973 წ. (Mw=4.2) და სხვა.

ASS_{EMME} II (მოიცავს #5 ASS_{Nat} ზონას)

#5 ASS_{Nat} ზონა გამოიყოფა ძირითადად სურამის რზ-ის მაღალი აქტივობის შედეგად, ხოლო ზღვაში, გურიის ზღვისა და ნატანების რღვევების აქტივობის გამო. ამ ASS_{Nat} ზონაში დაიკვირვებოდა ძალიან ბევრი ძლიერი მიწისძვრა: 1887 წ. (Mw=5.4); 1928 წ. (Mw=5.2); 1940 წ. (Mw=5.2); 1953 წ. (Mw=5.3); 1988 წ. (Mw=5.2); 2011 წ. (Mw=5.3).

ASS_{EMME} III (მოიცავს #6, 7, 8 და 9 ASS_{Nat} ზონებს)

#6 ASS_{Nat} ზონა გამოიყოფა ქედას რღვევის აქტივობის გამო. მის გასწვრივ დაფიქსირდა ბევრი ზომიერი მიწისძვრა: 1962 წ. (Mw=4.3); 1982 წ. (Mw=4.3); 1961 წ. (Mw=4.4) და სხვა ბევრი სუსტი (Mw≤3.5) მიწისძვრა.

#7 და #9 ASS_{Nat} ზონები ზოგადად დაკავშირებულია სეისმურად აქტიურ კელკიტ-ჭოროხის რზ-თან, რომლის ერთ-ერთი სეგმენტი ჭოროხის რღვევაა. ამ ASS_{Nat} ზონის

გასწვრივ დაიკვირვება ბევრი ზომიერი ისტორიული და თანამედროვე მიწისძვრა: მაგ., 1892 წ. ($M_w=5.4$); 1934 წ. ($M_w=5.0$); 1988 წ. ($M_w=4.5$); 2003 წ. ($M_w=4.3$) და სხვ.

#8 ASS_{Nat.} არ არის დაკავშირებული კონკრეტულ რღვევასთან, თუმცა აქ დაფიქსირებულია ბევრი ზომიერი და სუსტი მიწისძვრა: მაგ, 1969 წ. ($M_w=4.5$); 1981 წ. ($M_w=4.4$); 1987 წ. ($M_w=4.6$) და სხვ.

3.3 გრუნტის რხევების მახასიათებელი მოდელი

ბოლო წლებში, გრუნტის მოძრაობის მოდელირება განუწყვეტლივ პროგრესირებს, მხოლოდ ერთი მოდელის (Danciu and Giardini, 2015) გამოყენებიდან რამდენიმე მოდელის (Delavaud et al., 2012; Danciu et al., 2018) და/ან საფუძვლიანი მოდელების (Douglas, 2018) გამოყენებამდე. გრუნტის რხევების მოდელების შერჩევა რთული ამოცანაა, თუ გავითვალისწინებთ გრუნტის მოძრაობის პროგნოზირების მოდელების რაოდენობის ზრდას (იხ. გრუნტის მოძრაობის მოდელების ონლაინ კოლექცია <http://www.gmpe.org.uk/>, Douglas and Edwards 2016) და გრუნტის რხევების ჩანაწერების ნაკლებობას საქართველოში. გრუნტის შერჩევა ემყარება რეგიონული (Danciu et al. 2018) და გლობალური მოდელების (Pagani et al. 2018) განვითარების უახლეს შედეგებს.

ამრიგად, შეირჩა ნიადაგის მოძრაობის პროგნოზირების რამდენიმე განტოლება, მათი საიმედოობის გათვალისწინებით, მსგავსი ტექტონიკური და სეისმოგენური პირობებისთვის (მაგალითად, აქტიური არაღრმა ქერქი, ღრმა სეისმურობა, ვულკანური ქერქი). კვლევაში ათვლის წერტილი არის გრუნტის მოძრაობის ლოგიკური ხე EMME14 (Danciu et al., 2018). გრუნტის მოძრაობის მოდელები EMME14-ში, რომლებიც გამოიყენება გრუნტის რხევების ცვალებადობის აღწერისათვის არა ღრმა ქერქის სეისმურობის შემთხვევაში, მოიცავს: Akkar et al. (2014), Chiou and Young (2008), Akkar and Cagnan (2010) and Zhao et al. (2006). ღრმა სეისმურობისთვის შერჩეული მოდელებია: Lin and Lee (2008) and Youngs et al. (1997). ამ მოდელებს წონები დაენიშნათ მგრძნობელობის ვრცელი ანალიზის შემდეგ და აქცენტი გაკეთდა ექსპერტების მიკერძოების აღმოფხვრაზე. უნდა აღინიშნოს, რომ EMME14 ლოგიკური ხე დღეს მოძველებულია იმის გათვალისწინებით, რომ მსოფლიოში პროგნოზირების მოდელების რაოდენობა სწრაფად იზრდება ძლიერი მოძრაობების ახალი მძლავრი მონაცემთა ნაკრების ხელმისაწვდომობის გამო. NGA-West2- ის უახლესი ვერსიები (Bozorgnia et al. 2014) მოიცავს Abrahamson et al. (2014), Boore et al. (2014), Campbell and Bozorgnia (2014), Chiou and Youngs (2014), Idriss (2014). NGA მოდელები ევოლუციურია, რადგან ისინი შექმნილია წინა, ანუ NGA-West1 ვერსიების შეცვლისთვის.

Bindi et al. (2014) შემოთავაზებული იქნა ახალ GMPE-ში მიღებული მონაცემთა ნაკრებიდან, რომელიც ძირითადად შეიცავს იტალიურ მონაცემებს ძლიერი მოძრაობების შესახებ. Cauzzi et al. (2014) ასევე მოგვანაწოდა 2008 წლის GMPE-ს განახლება გაუმჯობესებული ფუნქციონალური ფორმით, რომელიც ითვალისწინებს

დიდი მაგნიტუდების გაჯერებას. Kotha et al. 2016 ნახვა შესაძლებელია Bindi et al. (2014)-ის ევროპულ განახლებაში.

ამრიგად, შეირჩა შემდეგი მოდელები: Akkar et al. (2014) and Kotha et al. (2016) - პან-რეგიონალური მოდელები, Chiou and Youngs (2014) ან NGA West2 მოდელი, Cauzzi et al. (2014) - გლობალური მოდელი (ასევე მოიცავს იაპონური მონაცემებს). წონები შეესაბამება ნორმალურ განაწილებას: Kotha et al. (2016) и Chiou and Youngs (2014) არიან ქვედა და ზედა საზღვრები, შესაბამისად, მათ ეკისრებათ წონა 0.15; გრუნტის მოძრაობის განაწილების ცენტრალური ნაწილი დაფიქსირებულია Akkar et al. (2014) და Cauzzi et al. (2014) თანაბარი წონით 0.35. გრუნტის მოძრაობის ორი მოდელი, ე.ი. Bradley et al. (2013) და Faccioli et al. (2010) შეირჩა და გამოყენებულ იქნა ვულკანური არეებისთვის ჯავახეთის ზეგანზე. ღრმა სეისმური წყაროებისთვის ზოგადად ვიყენებთ მოდელებს Lin and Lee (2008), Abrahamson et al. (2016), Montalva et al. (2017) (Tsereteli et. al 2021) თუმცა მათ ობიექტის სეისმური საშიშროების გათვლაში მონაწილეობა არ მიუღიათ.

3.4 ლოგიკური ხე და ცთომილებების მოდელი

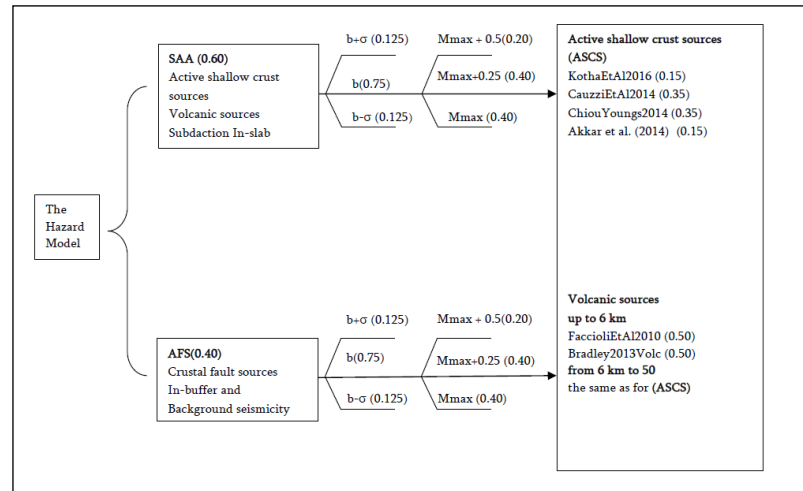
ცთომილება თანდაყოლილია მოდელის აგების პროცესში, დაწყებული მიწისძვრის კატალოგის შექმნითა და ჰარმონიზაციით, აქტიური რღვევების კომპილაციით და დამუშავებით, მიწისძვრის კატალოგის სტატისტიკური ანალიზით, შერჩევის მეთოდებით, სეისმური კერის ფორმისა და მოდელის შერჩევის სუბიექტურობის დადგენით. ლოგიკური ხის სტრუქტურა აქ მიიღება, რათა გაითვალისწინოს ასეთი ცთომილება. როგორც წესი, ცთომილება იყოფა, როგორც ალეოტორული ცთომილება და ეპისტემიური ცთომილება.

ლოგიკური ხის სტრუქტურა მოცემულია ნახ. 3.10 და შედგება ორი ნაწილისგან: სეისმური კერების მოდელის ლოგიკური ხე და გრუნტის მოძრაობის ლოგიკური ხე.

სეისმოგენური კერების ლოგიკური ხე შედგება განშტოების სამი დონისგან: კერების მოდელი, bGR და მაქსიმალური მაგნიტუდები. პირველი განშტოება აღწერს სეისმოგენური კერების ზონების სივრცულ ცვალებადობას (კერძოდ სეისმური კერების არეების განსხვავებას აქტიურ რღვევებთან და ფონურ სეისმურობასთან შედარებით). საწყისი მოდელების დროებითი ცვალებადობა აღწერილია განშტოებებით bGR და Mmax.

PSH მიღებულ იქნა მთელი რიგი რეალიზაციებიდან, ლოგიკური ხის შტოების ოთხი ძირითადი დონის შესაბამისად: სეისმოგენური კერების მოდელები, განმეორებადობის პარამეტრი - b მნიშვნელობა; Mmax და GMPE. ტექტონიკური ზონირების თვალსაზრისით, რაც იწვევს იმ ფაქტს, რომ GMPE-ების საბოლოო ნაკრები ასოცირდება ცალკეულ სეისმურ კერასთან, განიხილებოდა სამი განსხვავებული ტექტონიკური ელემენტი: აქტიური ზედაპირული ქერქის სეისმურ კერები (ASCS), სუბდუქციური და ვულკანური სეისმური კერები. b-ს მნიშვნელობის ცთომილება გაითვალა ყველა მაკროზონისთვის შერჩეული გაწმენდილი

კატალოგებიდან. თუმცა წარმოდგენილ კვლევებში განხილულია მხოლოდ ორი სეისმური კერა - აქტიური ზედაპირული ქერქისა და ვულკანური სეისმური კერები.



ნახ. 3.10 ეპისტემური ცთომილების ლოგიკური ხე სეისმოგენური კერების, განმეორებადობის პარამეტრების, M_{max} -ის და GMPE-თვის

3.5 სეისმური საშიშროების ალბათური შეფასება

OpenQuake პროგრამა (Pagani et al., 2014) გამოყენებული იქნა საქართველოში საშიშროების მოდელის რეალიზაციისათვის. სეისმური საშიშროების შეფასებებზე შეიძლება გავლენა იქონიოს პარამეტრიზაციამ და მოდელის რეალიზაციამ მოდელირების დროს. OpenQuake გამოიყენება ყველა უახლესი რეგიონული საშიშროების გამოთვლის პროექტში (მაგ., EMME14, ESHM13 (Woessner et al 2015) და GEM19 (Pagani et al., 2020), მაგრამ ასევე ეროვნულ მოდელებში (იტალია - Meletti et al., 2019; თურქეთი - Sesetyan et al., 2018; კანადა - Adams et al., 2019; შვეიცარია - Wiemer et al., 2016; ავსტრალია - Allen et al., 2018)

ჩვენ გამოვთვალეთ კონკრეტული გრუნტის მოძრაობის დონეების გადაჭარბების ალბათობები (POE) 100 წლის განმავლობაში PGA და 5% კრიტიკული დაცხრომის სპექტრალური ფსევდო-აჩქარებისთვის (SA 0.1, 0.15,...,4 წმ) მშენებლობის ადგილზე. ცხრილში 3.10 და 3.11 წარმოდგენილია 145, 475 და 975 წელი ფიქსირებული ,განმეორებადობის პერიოდის ანუ 100 წელში 50, 20 და 10% გადაჭარბების ალბათობის გრუნტის რხევების მნიშვნელობები, საკვლევი ადგილის ეტალონური კლდის გრუნტისთვის - $V_{S30}=801$ მ/წმ.

ცხრილი 3.10 საკვლევი ადგილის (სათავო ნაგებობა) სეისმური საშიშროების ალბათური შეფასების შედეგები 145, 475 და 975 წელი ფიქსირებული განმეორებადობის პერიოდისთვის (ორი ჰორიზონტალური კომპონენტის საშუალო გეომეტრიული მნიშვნელობა მშენებლობის ადგილის კლდოვანი გრუნტისთვის, $V_{S30}=801$ მ/წმ)

P , % (T , years)	50 (145)	20 (475)	10 (975)
Ground type (rock)	$V_{S30}=801$ m/s	$V_{S30}=801$ m/s	$V_{S30}=801$ m/s

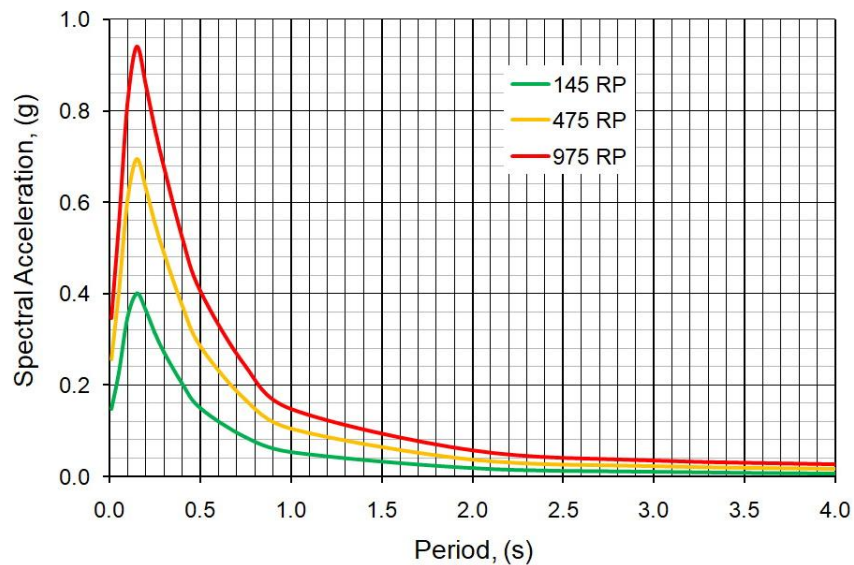
PGAH (g)	0.148	0.256	0.346
5% Damped SAH (g) ($T=0.05$ s)	0.227	0.403	0.552
5% Damped SAH (g) ($T=0.1$ s)	0.347	0.602	0.814
5% Damped SAH (g) ($T=0.15$ s)	0.401	0.694	0.940
5% Damped SAH (g) ($T=0.2$ s)	0.362	0.629	0.853
5% Damped SAH (g) ($T=0.25$ s)	0.316	0.557	0.764
5% Damped SAH (g) ($T=0.3$ s)	0.273	0.489	0.677
5% Damped SAH (g) ($T=0.4$ s)	0.205	0.377	0.528
5% Damped SAH (g) ($T=0.5$ s)	0.150	0.286	0.406
5% Damped SAH (g) ($T=0.75$ s)	0.087	0.168	0.242
5% Damped SAH (g) ($T=1$ s)	0.054	0.104	0.149
5% Damped SAH (g) ($T=2$ s)	0.018	0.038	0.057
5% Damped SAH (g) ($T=3$ s)	0.011	0.023	0.035
5% Damped SAH (g) ($T=4$ s)	0.007	0.017	0.026

ცხრილი 3.11 საკვლევი ადგილის (ელექტროსადგური) სეისმური საშიშროების ალბათური შეფასების შედეგები 145, 475 და 975 წელი ფიქსირებული განმეორებადობის პერიოდისთვის (ორი ჰორიზონტალური კომპონენტის საშუალო გეომეტრიული მნიშვნელობა მშენებლობის ადგილის კლდოვანი გრუნტისთვის, $V_{S30}=801$ მ/წმ)

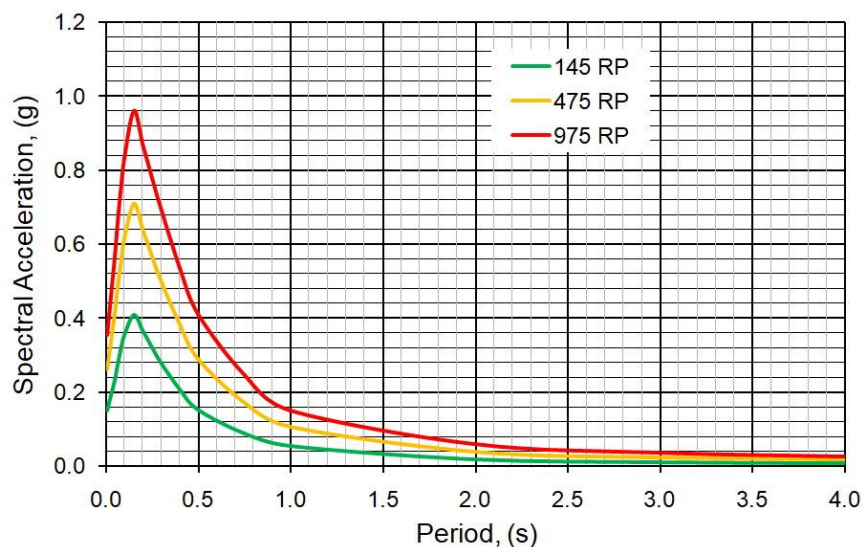
P , % (T , years)	50 (145)	20 (475)	10 (975)
Ground type (rock)	$V_{S30}=801$ m/s	$V_{S30}=801$ m/s	$V_{S30}=801$ m/s
PGAH (g)	0.150	0.261	0.353
5% Damped SAH (g) ($T=0.05$ s)	0.232	0.413	0.566
5% Damped SAH (g) ($T=0.06$ s)	0.260	0.460	0.628
5% Damped SAH (g) ($T=0.07$ s)	0.287	0.504	0.687
5% Damped SAH (g) ($T=0.08$ s)	0.312	0.544	0.739
5% Damped SAH (g) ($T=0.1$ s)	0.354	0.615	0.833
5% Damped SAH (g) ($T=0.15$ s)	0.408	0.708	0.959
5% Damped SAH (g) ($T=0.2$ s)	0.367	0.640	0.871
5% Damped SAH (g) ($T=0.25$ s)	0.320	0.566	0.778
5% Damped SAH (g) ($T=0.3$ s)	0.276	0.497	0.689
5% Damped SAH (g) ($T=0.4$ s)	0.207	0.382	0.536
5% Damped SAH (g) ($T=0.5$ s)	0.151	0.288	0.411
5% Damped SAH (g) ($T=0.75$ s)	0.088	0.169	0.244
5% Damped SAH (g) ($T=1$ s)	0.054	0.105	0.150

5% Damped SAH (g) (T=2 წმ)	0.018	0.038	0.058
5% Damped SAH (g) (T=3 წმ)	0.011	0.023	0.036
5% Damped SAH (g) (T=4 წმ)	0.007	0.017	0.026

გარდა ამისა, ხელმისაწვდომია საშიშროების ერთიანი სპექტრი (UHS), რომელიც ასახავს ერთნაირი ალბათური დონის სპექტრალური აჩქარების მნიშვნელობებს სპექტრალური პერიოდების დიაპაზონისთვის ნახ. 3.11 და 3.12. ახალი ნაგებობებისთვის UHS წარმოადგენს სეისმური პროექტირების დონის განსაზღვრის საფუძველს და გამოიყენება მოცემული მნიშვნელოვანი ნაგებობის შესაბამისი საპროექტო სპექტრების შესაქმელად.



ნახ. 3.11 საშიშროების ერთიანი სპექტრი მოცემული ადგილისათვის (სათავო ნაგებობა) 145, 475 და 975 წელი განმეორებადობის პერიოდებისთვის



ნახ. 3.12 საშიშროების ერთიანი სპექტრი მოცემული ადგილისათვის (ელექტროსადგური) 145, 475 და 975 წელი განმეორებადობის პერიოდებისთვის

3.6 სეისმური საშიშროების დეაგრეგაცია მოცემულ ადგილზე

ალბათური სეისმური საშიშროების დეაგრეგაცია მოიცავს მიწისძვრის ცვლადების დადგენას, ძირითადად მაგნიტუდის, მანძილის და დაცხრომის განტოლების ექსილონის, ლოგიკური ხის სტრუქტურის ყოველი საბოლოო შტოსთვის, რაც საშუალებას გვაძლევს გავიგოთ რომელ მაგნიტიდას და მანძილს შეაქვს მნიშვნელოვანი წვლილი სეისმური საშიშროების კონკრეტული დონის შესაბამისი გრუნტის რხევებში

ალბათური სეისმური საშიშროების შეფასების დროს გრუნტის რხევების ყოველი პარამეტრისთვის გამოითვლება გადაჭარბების საშუალო პროცენტი (აღნიშნული, როგორც $SA(T)$), რომლებსაც გააჩნიათ გადაჭარბების ფიქსირებული ალბათობები. დეაგრეგაციული ანალიზი საზღვრავს იმ განხვავებულ $SA(T)$ მნიშვნელობებს, რომლებსაც შეაქვთ ძირითადი წვლილი ჯამური საშიშროების მრუდში.

დეაგრეგაციული გამოკვლევები მოიცავს შემდეგ კვლევებს: ერთგანზომილებიანი 1-D მაგნიტუდური M ბიჯით, ორგანზომილებიანი 2-D მაგნიტუდისა და მანძილის $M-R$ ბიჯით და სამგანზომილებიანი 3-D მაგნიტუდის, მანძილისა და ექსილონის $M-R-Epsilon$ ბიჯით.

გრუნტის რხევების პარამეტრები, რომლებიც შეიძლება გამოითვალოს კონკრეტულ მოედანზე მიღებული ჩანაწერიდან (მაგ., T პერიოდის სპექტრალური აჩქარება $SA(T)$) მიწისძვრის (M) მაგნიტუდისა და (R) მანძილის გათვალისწინებით, როგორც წესი მოდელირდება, როგორც ლოგნორმალური ცვლადი. ანუ, ლოგარითმი $SA(T)$, რომელსაც ჩვენ ავღნიშნავთ, როგორც $\ln(SA(T))$ და რომელსაც აქვს ნორმალური განაწილება (μ). საშუალოთი და სტანდარტული გადახრით (σ).

$$\ln[SA(T)] = f(M, R, \alpha) + \epsilon \quad (12)$$

აქ α წარმოადგენს რეგრესიის სხვა ცვლადს რომელიც განსხვავდება M და R ცვლადებისაგან (ისეთი როგორიცაა კერის მექანიზმი და გრუნტის პირობები), ხოლო ϵ წარმოადგენს ცთომილებას. ექსილონი (ϵ) არის გრუნტის რხევების პარამეტრების ($SA(T)$) გადახრების საზომი პროგნოზირებული საშუალო მნიშვნელობებიდან (Bazzurro and Cornell, 1999). ექსილონი ისაზღვრება, როგორც სტანდარტული გადახრების რიცხვი, რომელთა საშუალებით დანაკვირვები ლოგარითმული სპექტრალური აჩქარებები განსხვავდებიან გრუნტის რხევების საშუალო ლოგარითმული სპექტრალური აჩქარებებისგან, რომლებიც პროგნოზირებული იყო დაცხრომის განტოლებებით.

ამ პარამეტრების გამოყენება შესაძლებელია აგრეთვე მაკონტროლებელი მოვლენის (სცენარული მიწისძვრის) რეაქციის სპექტრის დასადგენად ან/და ემპირიული (რეალურად ჩაწერილი) ძლიერი მოძრაობის ჩანაწერების შესარჩევად, ნაგებობის დინამიურ ანალიზთვის.

დეაგრეგაციის შედეგები საკვლევი ადგილისთვის (სათავო ნაგებობა, ელექტროსადგური), 145, 475 და 975 წელი განმეორებადობის პერიოდისთვის (RP)

(მოლოდინის დრო 100 წელი) პიკური (PGA), 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.15 და 1 წმ სპექტრალური (SA) აჩქარებისთვის ნაჩვენებია ცხრილ 3.12 და 3.13-ში და ასევე გრაფიკულად არის წარმოდგენილი ნახ. 3.13-ზე.

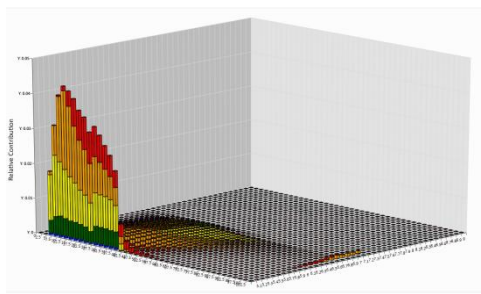
ცხრილი 3.12 დეაგრეგაციის შედეგები საკვლევი ადგილისთვის (სათავო ნაგებობა), 145, 475 და 975 წელი RP-თვის PGA და SA (0.15 და 1 წმ)-თვის

Period (s)	Ground motion (g) 145 years RP	Mean magnitude	Mean distance (km)	Mean epsilon
PGA	0.15	5.1	25	0.75
0.15	0.40	4.9	26	0.90
1.00	0.05	6.1	46	0.58
Period (s)	Ground motion (g) 475 years RP	Mean magnitude	Mean distance (km)	Mean epsilon
PGA	0.26	5.3	23	0.94
0.15	0.69	5.1	23	1.10
1.00	0.10	6.1	43	0.74
Period (s)	Ground motion (g) 975 years RP	Mean magnitude	Mean distance (km)	Mean epsilon
PGA	0.35	5.4	22	1.10
0.15	0.94	5.2	22	1.24
1.00	0.15	6.2	38	0.86

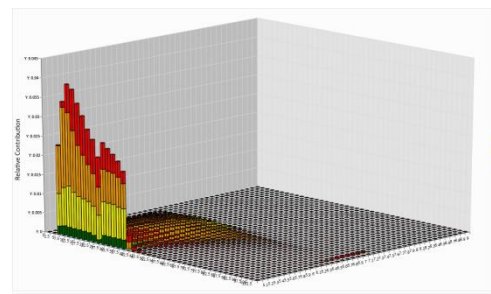
ცხრილი 3.13 დეაგრეგაციის შედეგები საკვლევი ადგილისთვის (ელექტროსადგური), 145, 475 და 975 წელი RP-თვის PGA და SA (0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.15 და 1 წმ)-თვის

Period (s)	Ground motion (g) 145 years RP	Mean magnitude	Mean distance (km)	Mean epsilon
PGA	0.15	5.2	29	0.72
0.05	0.23	5.0	27	0.69
0.06	0.26	4.9	27	0.73
0.07	0.28	4.9	27	0.76
0.08	0.31	4.9	27	0.79
0.15	0.41	5.0	29	0.84
1.00	0.05	6.0	53	0.47
Period (s)	Ground motion (g) 475 years RP	Mean magnitude	Mean distance (km)	Mean epsilon
PGA	0.26	5.3	26	0.92
0.05	0.41	5.1	25	0.91
0.06	0.45	5.1	25	0.94
0.07	0.50	5.1	25	0.99
0.08	0.54	5.1	25	1.01

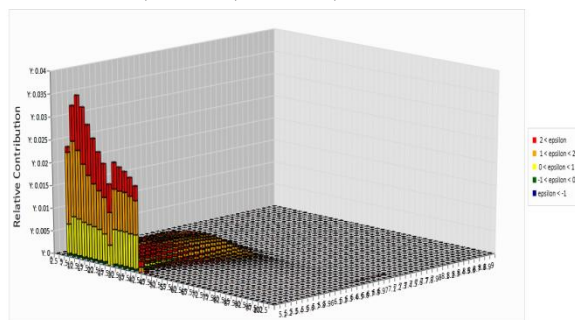
0.15	0.71	5.2	26	1.07
1.00	0.11	6.2	44	0.73
Period (s)	Ground motion (g) 975 years RP	Mean magnitude	Mean distance (km)	Mean epsilon
PGA	0.35	5.5	25	1.03
0.05	0.57	5.2	24	1.04
0.06	0.63	5.2	24	1.11
0.07	0.69	5.2	24	1.13
0.08	0.74	5.1	24	1.15
0.15	0.96	5.3	25	1.21
1.00	0.15	6.2	39	0.86



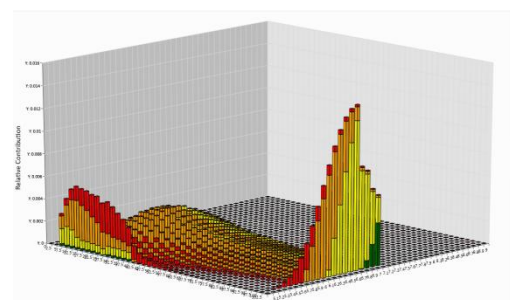
a) PGA (145 RP)



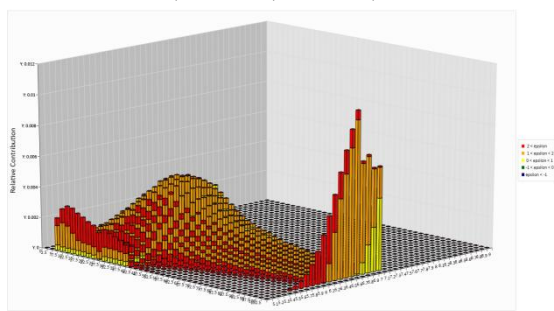
b) PGA (475 RP)



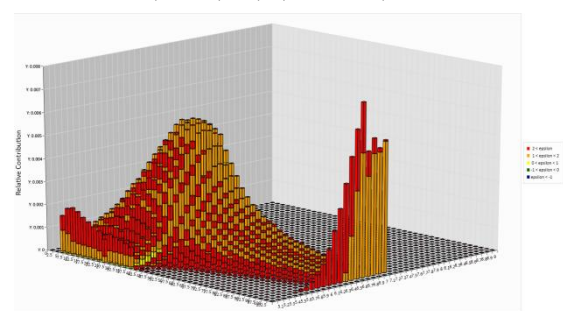
c) PGA (975 RP)



d) SA(1 s) (145 RP)



e) SA(1 s) (475 RP)



f) SA(1 s) (975)

ნახ. 3.13 a, b, c, d, e, f დეაგრეგაციის გრაფიკები საკვლევი ადგილისათვის (ელექტროსადგური), 145, 475 და 975 წელი RP-თვის PGA და SA(1 s)-თვის

ობიექტის სეისმური საშიშროების დეაგრეგაციის შედეგების მიხედვით (იხ. ცხრილი 3.12 და 3.13) მოცემული სეისმური საშიშროების დონეებისთვის პიკური PGA და სპექტრალური SA (0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.15) აჩქარებებში, ძირითადი წვლილი შეაქვს Mw 4.9-5.5 მაგნიტუდის მიწისძვრებს მანძილებზე 22-29 კმ, რაც ობიექტის გარშემო ძირითადად I, II და III ASS_{EMME} ზონებს მოიცავს; ხოლო სპექტრალური აჩქარებისთვის SA (1 წმ) - Mw 6.0-6.2 მაგნიტუდის მიწისძვრებს მანძილებზე 38-53კმ.

3.7 სეისმური საშიშროების დეტერმინისტული შეფასება

სეისმური საშიშროების დეტერმინისტული შეფასება არ განიხილავს დროის ფაქტორს. გრუნტის რხევების შეფასება დაფუძნებულია რაიონის აქტიურ რღვევებზე და სეისმოგენური კერების ზონებზე, თუ ვივარაუდებთ, რომ მიწისძვრების შესაძლო სცენარებს შორის მოხდება უარესი ვარიანტი.

ცხრილი 3.14, 3.15 და ნახ. 3.14, 3.15 წარმოადგენს დეტერმინისტული სეისმური საშიშროების გათვლის შედეგებს გრუნტის პიკური აჩქარებებისა (PGA) და სპექტრალური აჩქარებისთვის (SA), 0.5 კვანტილისათვის, ყოველი ASS-ის უდიდესი მაგნიტუდისთვის, უმოკლეს მანძილზე ობიექტამდე.

ცხრილი 3.14 ობიექტის (სათავო ნაგებობა) სეისმური საშიშროების დეტერმინისტული შეფასება (0.5 კვანტილისთვის)

#ASS	ASS _{EMME} Name	PGA	SA (0.05 s)	SA(0.1 s)	SA(0.15 s)	SA(0.2 s)	SA(0.25 s)	SA(0.3 s)	SA(0.4 s)
I	GEOAS059	0.557	0.736	1.019	1.263	1.249	1.214	1.199	1.006
II	GEOAS068	0.513	0.681	0.943	1.162	1.123	1.144	1.091	0.916
III	TURAS178	0.325	0.432	0.602	0.745	0.721	0.721	0.676	0.573
IV	GEOAS081	0.161	0.211	0.295	0.378	0.361	0.369	0.346	0.295
V	GEOAS076	0.098	0.126	0.174	0.226	0.215	0.224	0.210	0.180
VI	GEOAS080	0.101	0.129	0.175	0.234	0.217	0.236	0.224	0.196
VII	GEOAS067	0.073	0.092	0.127	0.167	0.158	0.168	0.158	0.136

ცხრილის გაგრძელება

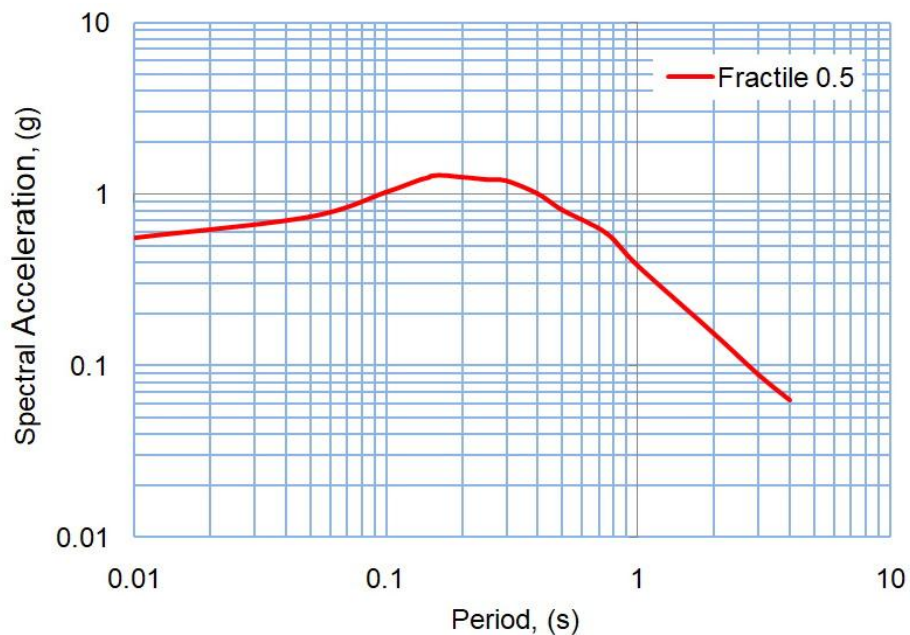
#ASS	ASS _{EMME} Name	SA(0.5 s)	SA(0.75 s)	SA(1 s)	SA(2 s)	SA(3 s)	SA(4 s)	Mw	Distance, km
I	GEOAS059	0.814	0.591	0.380	0.154	0.089	0.063	6.8	2
II	GEOAS068	0.747	0.511	0.337	0.144	0.083	0.059	6.8	6
III	TURAS178	0.480	0.304	0.210	0.098	0.059	0.043	6.8	8
IV	GEOAS081	0.248	0.157	0.109	0.050	0.031	0.023	6.8	25
V	GEOAS076	0.154	0.108	0.077	0.037	0.026	0.019	7.0	42
VI	GEOAS080	0.167	0.113	0.079	0.038	0.027	0.020	7.2	47
VII	GEOAS067	0.117	0.083	0.059	0.028	0.020	0.015	7.0	54

ცხრილი 3.15 ობიექტის (ელექტროსადგური) სეისმური საშიშროების
დეტერმინისტული შეფასება (0.5 კვანტილისთვის)

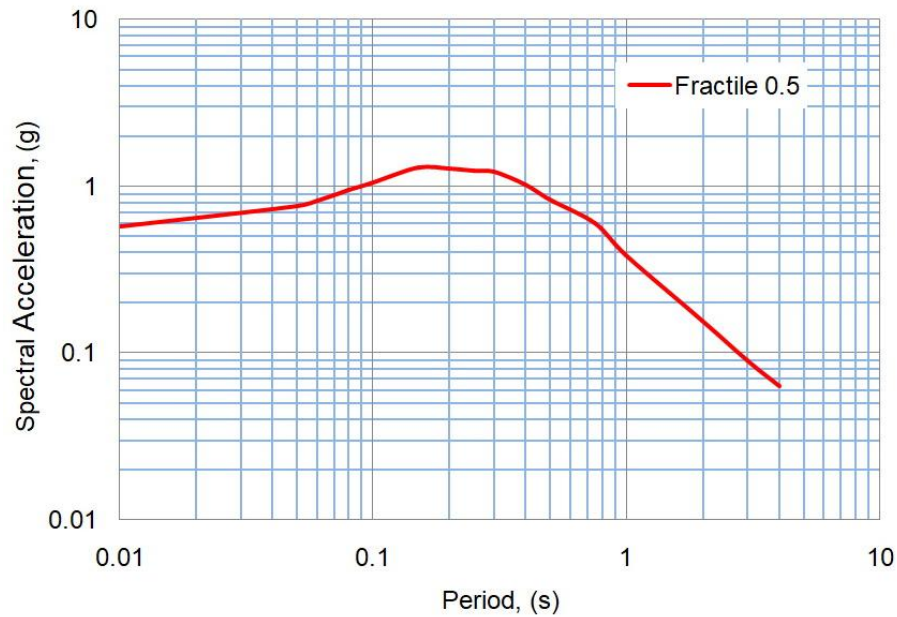
#ASS	ASSEMBLY Name	PGA	SA (0.05 s)	SA(0.1 s)	SA(0.15 s)	SA(0.2 s)	SA(0.25 s)	SA(0.3 s)	SA(0.4 s)
I	GEOAS059	0.569	0.755	1.044	1.289	1.274	1.237	1.220	1.021
II	GEOAS068	0.523	0.699	0.965	1.185	1.146	1.166	1.109	0.930
III	TURAS178	0.331	0.443	0.617	0.760	0.735	0.735	0.688	0.582
IV	GEOAS081	0.165	0.217	0.302	0.385	0.368	0.375	0.352	0.299
V	GEOAS076	0.100	0.129	0.178	0.230	0.219	0.228	0.213	0.182
VI	GEOAS080	0.103	0.133	0.179	0.239	0.222	0.241	0.228	0.199
VII	GEOAS067	0.074	0.094	0.130	0.171	0.161	0.171	0.161	0.138

ცხრილის გაგრძელება

#ASS	ASSEMBLY Name	SA(0.5 s)	SA(0.75 s)	SA(1 s)	SA(2 s)	SA(3 s)	SA(4 s)	Mw	Distance, km
I	GEOAS059	0.824	0.597	0.383	0.155	0.089	0.063	6.8	2
II	GEOAS068	0.756	0.516	0.340	0.145	0.084	0.059	6.8	5
III	TURAS178	0.486	0.307	0.212	0.099	0.060	0.043	6.8	10
IV	GEOAS081	0.251	0.159	0.110	0.050	0.031	0.023	6.8	24
V	GEOAS076	0.156	0.109	0.078	0.038	0.026	0.019	7.0	41
VI	GEOAS080	0.169	0.114	0.080	0.038	0.027	0.020	7.2	49
VII	GEOAS067	0.118	0.084	0.060	0.029	0.020	0.015	7.0	55



ნახ. 3.14 აჩქარების დეტერმინისტული სპექტრი მოცემული ადგილისათვის
(სათავო ნაგებობა), 0.5 კვანტილისთვის



ნახ. 3.15 აჩქარების დეტერმინისტული სპექტრი მოცემული ადგილისათვის (ელექტროსადგური), 0.5 კვანტილისთვის

როგორც საკვლევი ობიექტის (სათავო ნაგებობა, ელექტროსადგური) 0.5 კვანტილის დეტერმინისტული შეფასებებიდან ჩანს (იხ. ცხრილი 3.14 და 3.15) ამ ობიექტისთვის ყველაზე მაღალი სეისმური საშიშროება (0.51-0.57 g PGA) მოსალოდნელია #I და #II ASS_{EMME} ზონებიდან და ასევე #III ASS_{EMME} ზონიდან (0.33 g PGA).

3.8 მშენებლობის ადგილისთვის აქსელეროგრამების პაკეტის შერჩევა

ძლიერი მოძრაობის ჩანაწერების (SM) შერჩევისთვის გამოყენებულ იქნა საერთაშორისო მონაცემთა ბაზებში მოძიებული მასალები, კერძოდ - ევროპის პროექტის მიწისძვრის ჩანაწერები (Internet-site for European Strong-Motion Database, ESM), იტალიური აქსელერომეტრული არქივის (Itaca <http://itaca.mi.ingv.it>) მონაცემთა ბანკში არსებული აქსელეროგრამები და წყნარი ოკეანის გრუნტის მოძრაობის ცენტრის მონაცემთა ბაზები (PEER Ground Motion).

დეაგრეგაციის შედეგებმა გვიჩვენა, რომ საკვლევი ობიექტის ორივე უბნისთვის (სათავო ნაგებობა, ელექტროსადგური) როგორც პიკური ასევე სპექტრალური აჩქარებებით 0.05-0.15 წმ დიაპაზონში სეისმური საშიშროების შერჩეული სამივე დონის შეფასებისას ყველაზე მეტი წვლილი შეაქვთ მიწისძვრებს მაგნიტუდურ დიაპაზონში Mw 4.9-5.5 Rjბ 22-29 კმ მანძილებზე, სადაც Rjბ არის ჯოინერ-ბურის მანძილი ანუ მანძილი ობიექტიდან რღვევის სიბრტყემდე. ხოლო სპექტრალურ აჩქარებაში 1 წმ პერიოდისთვის ყველაზე მეტი წვლილი სეისმური საშიშროების სამივე დონეში შეაქვს მიწისძვრებს მაგნიტუდით 6.0-6.2 მანძილებზე 38-53 კმ.

სეისმური საშიშროების 0.5 კვანტილით დეტერმინისტულმა შეფასებამ სხვადასხვა ზონის მიხედვით გვიჩვენა, რომ #I ASS_{EMME} მაკონტროლებელი ზონის

მაქსიმალური მოსალოდნელი მაგნიტუდა არის 6.8, ხოლო მის მიერ გამოწვეული პიკური აჩქარება 0.57 g. ზონების მიხედვით შეფასებულმა დეტერმინისტულმა შეფასებებმა გვიჩვენა, რომ პიკური აჩქარებები მერყეობს 0.1-0.57 g-ს ფარგლებში 2-50 კმ მანძილის დიაპაზონში, რომელთაც იწვევს მიწისძვრები მაგნიტუდით 6.8-7.2. მიწისძვრის მექანიზმების შესწავლამ ნაშრომებში (Tsereteli et. al, 2016; Tibaldi et. al, 2017 და Tibaldi et. al, 2020) გვიჩვენა, რომ აქ წამყვანი ტიპი მიწისძვრების მექანიზმების არის შეცოცებები, თუმცა, ნაკლები ალბათობით, მაგრამ შესაძლებელია ნაწევი სტრუქტურების წარმოშობაც.

ამ ინფორმაციაზე დაყრდნობით მონაცემთა საერთაშორისო ბაზაში პირველ რიგში მოძიებული იქნა მიწისძვრები მაგნიტუდით 5.0-7.3, $R_{jb}=0-53$ კმ მანძილებზე შესაბამისი სეისმური პირობებისა და გრუნტის თვისებების მქონე რეგიონებიდან. ვინაიდან საკვლევ ობიექტზე სეისმური ხმაურის ჩანაწერების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ბახვი 1 ჰესის სათავო ნაგებობის სამშენებლო ტერიტორია წარმოდგენილია ფუძე-გრუნტებით, ხოლო ელექტროსადგურის სამშენებლო ტერიტორიაზე ფუძე-გრუნტები იმყოფება ზედაპირთან ახლოს, ამიტომ მოძიებული იქნა 7 ჩანაწერი A კატეგორიის გრუნტისთვის (EC8-ით). შეცოცებითი მექანიზმის მქონე მიწისძვრების ჩანაწერები შედარებით მცირეა A კატეგორიის გრუნტზე, ამიტომაც მოვიძიეთ ნაწევი მექანიზმის მქონე მიწისძვრებიც.

მთლიანობაში ESM მონაცემთა ბაზაში მოძიებული იქნა 6 მიწისძვრის (4 შეცოცებითი და ორი ნაწევის მექანიზმით) 21 ჩანაწერი, ეს მიწისძვრები და შესაბამისი ჩანაწერები წარმოდგენილია ცხრილ 3.16-ში

ცხრილი 3.16 ESM მონაცემთა ბაზაში შერჩეული მიწისძვრები და შესაბამისი ჩანაწერები

Data	ESM_ID	Mw	Rep	Rjb/Rrup	Depth	Station	Site A	FPS	PGA sm/s^2
2016 -10 16.02:21:02	GR-2016-0008		53.0	Unknown	19	SRN	1512 m/s	TF	284.18 E
2016-10-15 20:14:48	GR-2016-0006		55.9	unknown	22	SRN	1512 m/s	TF	240.6 N 287.1 E
1979-04-15 06:19:41	ME-1979-0003		19.7	5.6/8.8	04	ULA	Surface geology		209.9 E 172.6 N
			62.9	22.7/24	11	HRZ	Surface geology		249.4 E 211.2 N
1976-09-15 09:21:18	IT-1976-0030		15.8	10.9/12.7	11	SRCO	Surface geology	TF	244.8 E 128.4 N
1999-11-12 16:57:19	TK-1999-0415	7.3	25.9	0.1/4.9		487	Topography	SS	276.9 E 298.2 N
			27.2	0/4.4		CO375			488.9 E 888.4 N
			27.4	0/4.6		C1059	Topography		133.0 E 148.0 N
			-	-		496	Topography		743.0 E

			30.3	0.9/1.1		D0531	Topography		157.0 N
			32.3	3.6/4.6		C1062	Topography		253.0 E
			34.7	6/6.6		C1061	Topography		128.0 E
1999-08-17 00:01:38	TK-1999- 0077	7.6	3.4	7.1/8.4	17	4101	827 m/s	SS	228.0 E 164.0 N

PEER მონაცემთა ბაზაში მოძიებული იქნა 6 მიწისძვრა და მისი შესაბამისი 16 ჩანაწერი. აქედან 6 მიწისძვრის მექანიზმი - შეცოცებითა, ხოლო ერთი კი - ნაწევი. ეს მიწისძვრები და შესაბამისი ჩანაწერები წარმოდგენილია ცხრილ 3.17-ში.

ცხრილი 3.17 PEER მონაცემთა ბაზაში შერჩეული მიწისძვრები და შესაბამისი ჩანაწერები

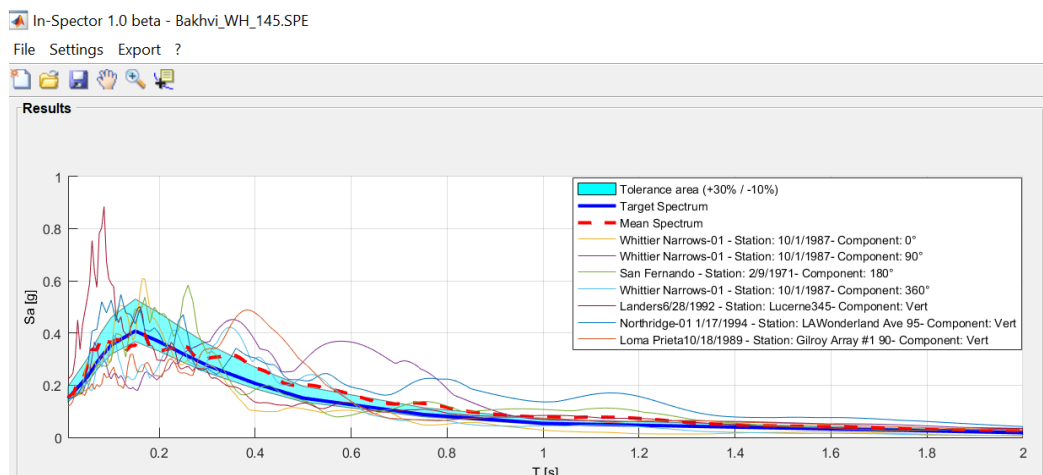
Data	PEER_ID	Mw	Rjb	Rrup	Station	Site A	FPS
Landers 6/28/1992	LANDERS_LCN2 60.AT2	7.3	2	2	H1	1369 m/s	Strike
	LANDERS_LCN3 45.AT2				H2		
San Fernando 2/9/1971	SFERN_PSL180. AT2	6.6	22	22	H1	969 m/s	Reverse
	SFERN_PSL270. AT2				H2		
10/1/1987	RSN680_WHITT IER.A_A- KRE090	6.0	7	18	H1	969 m/s	Reverse Oblique
	RSN680_WHITT IER.A_A- KRE360			-	H2		
	RSN703_WHITT IER.A_A- VAS000		47	50	H1		
	RSN703_WHITT IER.A_A- VAS090				H2		
1989	LOMAP_G01000 .AT2	6.9	9	10	H1	895 m/s	Reverse Oblique
	LOMAP_G01090 .AT2				H2		
1994	NORTHR_WON 095.AT2	6.7	15	20	H1	1222 m/s	reverse
	NORTHR_WON 185.AT2				H2		
	NORTHR_VAS0 00.AT2		23	24	H1	996 m/s	
	NORTHR_VAS0				H2		

	90.AT2						
1978	TABAS_TAB-L1.AT2	7.3	2	2	H1		Reverse
1992	TABAS_TAB-T1.AT2				H2	766 m/s	strike
	LANDERS_LCN2 60.AT2	7.3	2	2	H1		
	LANDERS_LCN3 45.AT2	7.3			H2		

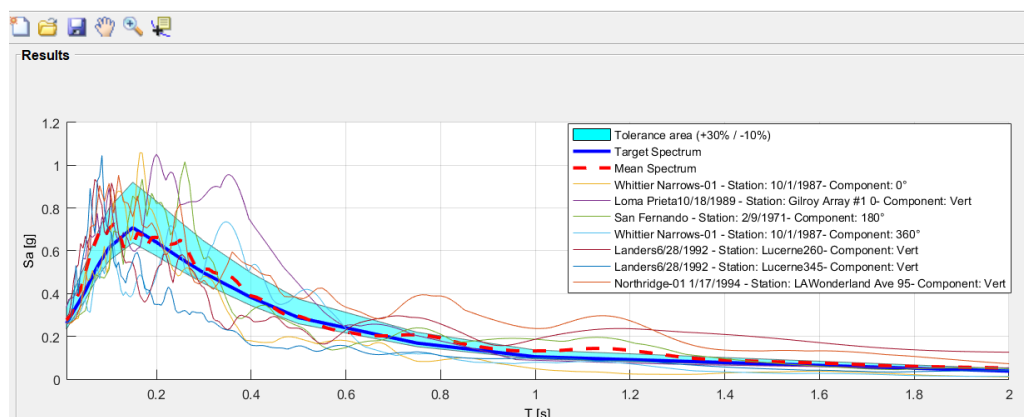
შერჩეული ძლიერი მოძრაობის ჩანაწერების დაკალიბრება მოხდა ერთიანი საშიშროების მრუდების მიხედვით 145, 475 და 975 წელი განმეორებადობის პერიოდით, 50%, 20% და 10% ალბათობის გადააჭარბებით მომდევნო 100 წლის განმავლობაში, დაშვების არით (+30%/-10%), როგორც სათავო ნაგებობის, ასევე ელექტროსადგურის სამშენებლო ტერიტორიისთვის. ამ მიზნით გამოყენებული იყო პროგრამა In-Spector ვერსია 1.0 beta (Acunzo et. al., 2014). ანალიზის შედეგად აღნიშნული ძლიერ მოძრაობის ჩანაწერებიდან შეირჩა PEER მონაცემთა ბაზაში მოძიებული მონაცემები, რომელიც წარმოდგენილია ცხრილ 3.17.

მაგალითისთვის, ნახ. 3.16-ზე წარმოდგენილია ბახვი 1 ჰესის ელექტროსადგურის ტერიტორიისთვის მიღებული შედეგები.

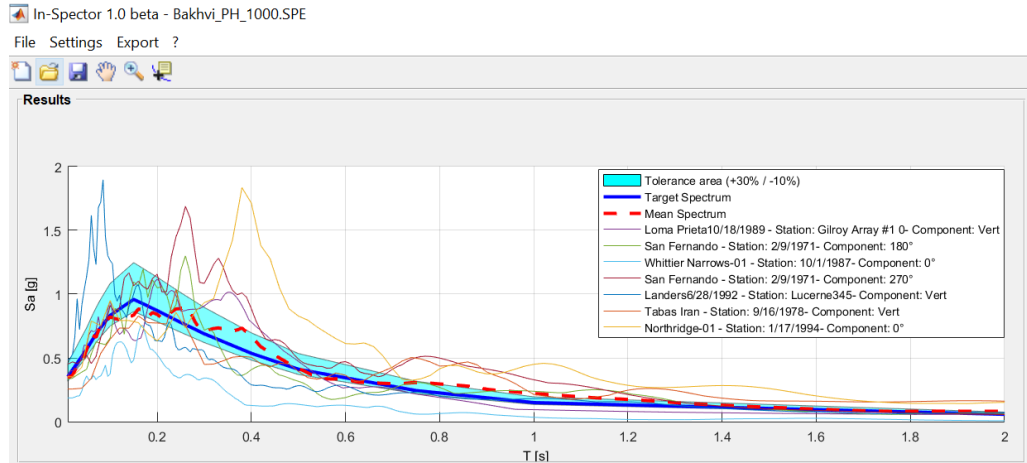
a)



b)



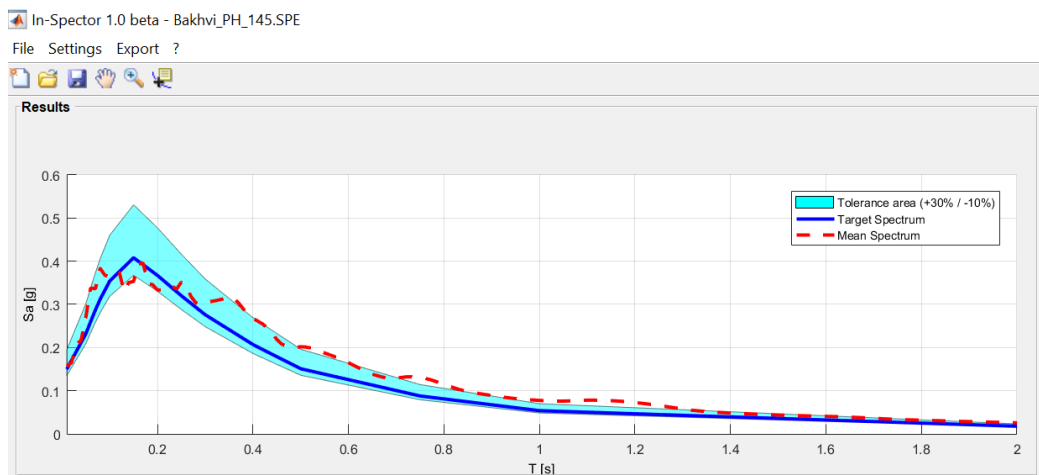
c)



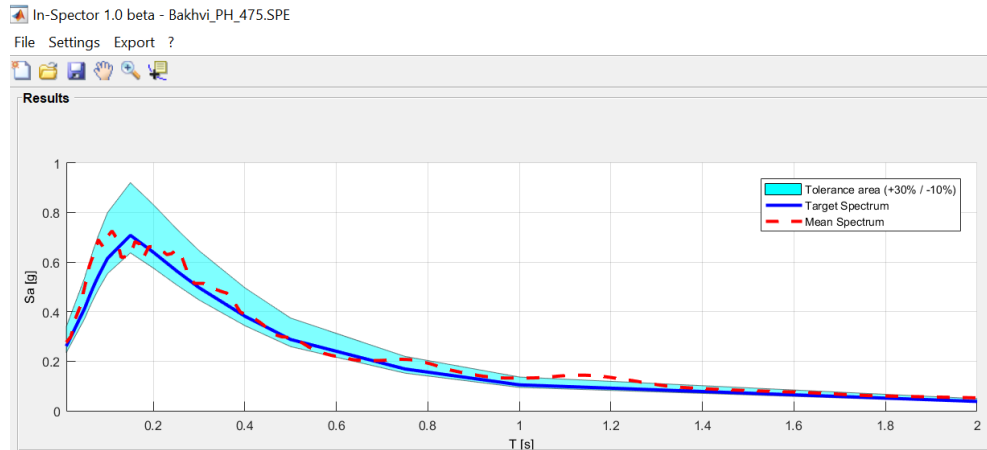
ნახ. 3.16 a) შერჩეული აქსელეროგრამების მრუდი, დაკალიბრებული PSH მრუდზე 50% გადაჭარბების ალბათობით (145 YRP) მომდევნო 100 წლის განმავლობაში; b) შერჩეული აქსელეროგრამების მრუდი, დაკალიბრებული PSH მრუდზე, 20% გადაჭარბების ალბათობით (475 YRP) მომდევნო 100 წლის განმავლობაში; c) შერჩეული აქსელეროგრამების მრუდი, დაკალიბრებული PSH მრუდზე, 10% გადაჭარბების ალბათობით (975 YRP) შემდეგი 100 წლის განმავლობაში ელექტროსადგურის

ბოლოს, გამოთვლილ იქნა საშუალო სპექტრი 145, 475 და 975 წელი განმეორებადობის პერიოდით, 50%, 20% და 10% გადაჭარბების ალბათობით მომდევნო 100 წლის განმავლობაში (ნახ. 3.17 a, b, c), დაშვების არით (+30%/-10%).

a)

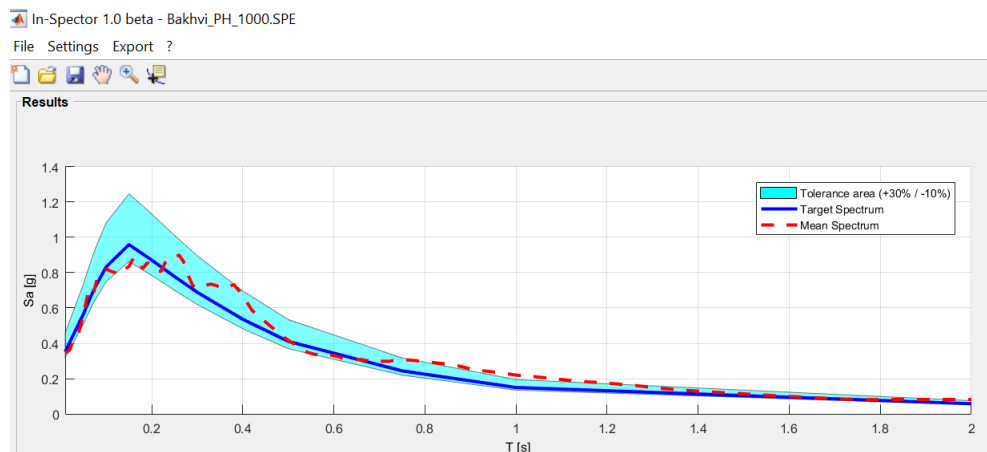


b)



]

c)



ნახ. 3.17 a) შერჩეული აქსელეროგრამების საშუალო სპექტრი 50% გადააქარბების ალბათობის (145 YRP) საშიშროებისთვის, მომდევნო 100 წლის განმავლობაში; b) შერჩეული აქსელეროგრამების საშუალო სპექტრი 20% გადააქარბების ალბათობის (475 YRP) საშიშროებისთვის, მომდევნო 100 წლის განმავლობაში; c) შერჩეული აქსელეროგრამების საშუალო სპექტრი 10% გადააქარბების ალბათობის (975 YRP) საშიშროებისთვის, მომდევნო 100 წლის განმავლობაში, ელექტროსადგურისთვის.

შერჩეული აქსელეროგრამები, კალიბრებული აქსელეროგრამები, არაკალიბრებული სპექტრები, კალიბრებული სპექტრები, საშუალო სპექტრები, როგორც სათავო ნაგებობის, ასევე ელექტროსადგურის ტერიტორიისთვის ელექტრონული სახით თან ერთვის ანგარიშს.

4. დასკვნები და რეკომენდაციები

განხორციელდა საკვლევი რაიონისა და მშენებლობის ადგილის სეისმური საშიშროების დეტალური შეფასება. ბაზვი 1 ჰესის კატეგორიის მცირე ჰესებისთვის ICOLD-ის რეკომენდაციების თანახმად, სამშენებლო მოედნის სეისმური საშიშროების შეფასებისთვის შერჩეულ იქნა კლდოვანი გრუნტების ($V_{s30}=801$ მ/წმ)

სეისმური რხევების სამი დონე. პირველი და მეორე (შედარებით დაბალი) დონეების მიწისძვრები არის ექსპლოტაციის პერიოდის მიწისძვრა (OBE) ანუ 100 წელში 50% ან 20% გადაჭარბების ალბათობის (განმეორების პერიოდი 145 ან 475 წელი) შესაბამისი რხევები. OBE გრუნტის რხევების როგორც წესი უნდა ჰქონდეს საშუალო AEP არანაკლებ 1/145. თუმცა თანმხლები ნაგებობები, (სადაწნეო მილსადენები, ელექტროსადგურები, წყალმიმღებები, გვირაბები და ა.შ.) როგორც მინიმუმ, უნდა იყოს დაპროექტებული შენობების ან სხვა ნაგებობების სეისმური კოდის შესაბამისად. მაშასადამე, ექსპლოტაციის პერიოდის მიწისძვრას კონკრეტული ადგილისთვის უნდა ჰქონდეს განმეორებადობის პერიოდი ტოლი, იმის რომელიც მითითებულია სეისმური მშენებლობის კოდექსში, რაც, როგორც წესი, 475 წელს შეადგენს. მესამე (უფრო მაღალი) დონის მიწისძვრას ეწოდება უსაფრთხოების შეფასების მიწისძვრა (SEE). დაბალი შედეგების მომტანი კაშხლებისთვის და ობიექტის კრიტიკული ნაგებობებისთვის, როგორცაა ქვედა წყალგამშვები, წყალსადგების ფარი, მართვის ფარი და ელექტროკვების წყარო ის ფასდება 0.5 კვანტილის დონეზე, თუ დეტერმინისტული მიდგომა გამოყენებული და 100 წელში 10% გადაჭარბების ალბათობის (განმეორების პერიოდი 1000 (975) წელი) შესაბამისი რხევებით, თუ ალბათური მიდგომა გამოყენებული.

სეისმური ხმაურის გაზომვის საფუძველზე ჩატარდა კვლევა ობიექტის მშენებლობის ადგილის გრუნტის რეზონანსული სიხშირეების დადგენის მიზნით, რომელთაც აქვთ მნიშვნელოვანი გავლენა სეისმურ საშიშროებაზე. გრუნტის რეზონანსული სიხშირეების ცოდნა ასევე მნიშვნელოვანია ნაგებობების დაპროექტებისას, რათა არ მოხდეს ნაგებობის ძირითადი სიხშირის გრუნტის რეზონანსულ სიხშირესთან თანხვედრა. სეისმური ხმაურის რეგისტრაციისთვის გამოყენებული იყო სეისმოგრაფი Tromino 3G. საკვლევ ობიექტზე სეისმური ხმაურის ჩანაწერების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ბახვი 1 ჰესის სათავე ნაგებობის სამშენებლო ტერიტორია წარმოდგენილია ფუძე-გრუნტებით და აქ სეისმური ხმაურის ჩანაწერი სეესაბამება კლდეს, რაც საშუალებას გვაძლევს სეისმური საშიშროება შევაფასოთ კლდისთვის. ამ შემთხვევაში გაძლიერების კოეფიციენტი იქნება 1. სეისმური ხმაურის ჩანაწერებმა ბახვი 1 ჰესის ელექტროსადგურის მშენებლობის ტერიტორიაზე გვიჩვენა, რომ ტერიტორია ერთგვაროვანია, ფენა მთელი მოედნის გასწვრივ ხასიათდება მაღალი სიხშირეებით ვიწრო დიაპაზონში 13.31-18.41 ჰც, რაც შეესაბამება პერიოდის დიაპაზონს 0.05-0.08 წმ და რომ ფუძე-გრუნტები იმყოფება ზედაპირთან ახლოს. ამდენად, ელექტროსადგურის ტერიტორიისთვისაც სეისმური საშიშროება გაითვლება კლდისთვის, თუ მშენებლობისას ნაგებობის ფუნდამენტი დაიყვანება ფუძე-გრუნტებამდე.

ჩატარდა საკვლევ რაიონის დანაკვირვები სეისმურობის ანალიზი. დადგინდა, რომ საკვლევ რაიონი დაფარულია მიწისძვრის ეპიცენტრებით, მაგრამ სხვადასხვა სიმკვრივით. ზომიერი და ძლიერი ინსტრუმენტული მიწისძვრების ეპიცენტრების ($M_w > 3.5$) ყველაზე დიდი კონცენტრაცია დაიკვირვება რაიონის ჩრდილოეთ ნაწილში,

აქვეა კონცენტრირებული ძლიერი ისტორიული მიწისძვრების ეპიცენტრები, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ საკვლევი რაიონის ბევრი უბანი დაკვირვებების მთელი ისტორიული პერიოდის განმავლობაში იყო სეისმურად აქტიური და ამჟამად მნიშვნელოვანი პოტენციური სეისმურობა გააჩნიათ. ინსტრუმენტულ პერიოდში ობიექტის სიახლოვეში მომხდარი ბევრი სუსტი მიწისძვრა მეტყველებს ამ ლოკალური არის თანამედროვე აქტივობაზე. გარდა ამისა, 5-დან 7.5-მდე MSK ინტენსივობით გამოვლინდა ობიექტის ტერიტორიაზე საქართველოში და თურქეთში მომხდარი ბევრი ძლიერი და უძლიერესი მიწისძვრა.

საკვლევი რაიონის სეისმოტექტონიკური პირობების კანონზომიერების დადგენის ანუ სეისმოგენური კერების ზონების გამოყოფის მიზნით აღწერილ იქნა მოცემული რაიონის 14 აქტიური რღვევა. ისინი გამოვლენილი იყო გეოლოგიური, გეოფიზიკური, მორფოლოგიური და სეისმოლოგიური მონაცემების საფუძველზე.

კომპლექსური მონაცემებით დადგენილი აქტიური რღვევების ბაზაზე გამოყოფილ იქნა სეისმური კერების არეების (ASS) 15 ნაციონალური და 7 EMME-ს მოდელი და აგებულ იქნა შესაბამისი რუკა, რომელიც საკვლევი რაიონის პოტენციურ სეისმურ შესაძლებლობებს წარმოგვიდგენს. ეს ASS ზონები დიფერენცირებულია 0.5 ბიჯით აღებულ ექვს მაგნიტუდურ დიაპაზონში ($5.0 \leq M_{wmax} \leq 7.5$). ჩატარდა სეისმური კერების არეების პარამეტრიზაცია. ობიექტის სეისმური საშიშროების გათვლაში გამოყენებული იქნა ASS ზონების EMME მოდელი, ვინაიდან მათ EMME პროექტის ფარგლებში გავლილი აქვთ საერთაშორისო ექსპერტების ფართო რეცენზირების სტადია.

ობიექტის სეისმური საშიშროების შეფასება განხორციელდა ალბათური და დეტერმინისტული მიდგომებით, გრუნტის პიკური აჩქარებისთვის (PGA), აგრეთვე სხვადასხვა პერიოდის სპექტრალური აჩქარებებისთვის (SA), ეტალონური კლდის გრუნტისთვის ($V_{s30}=801$ მ/წმ). სეისმური საშიშროების გათვლების დროს გამოყენებული იყო ცნობილი პროგრამა OpenQuake.

გრუნტის რხევების ალბათურმა მნიშვნელობებმა, რომლებიც შეესაბამება 145, 475 და 975 წელი ფიქსირებული განმეორებადობის პერიოდების მქონე ორი ჰორიზონტალური კომპონენტის საშუალო გეომეტრიულ მნიშვნელობას, ეტალონური კლდის გრუნტისთვის ($V_{s30}=801$ მ/წმ), ობიექტის ორი საკვლევი უბნისათვის (სათავო ნაგებობა და ელექტროსადგური), PGA-თვის შეადგინა შესაბამისად (იხ. ცხრილები 3.10 და 3.11): 0.148 g, 0.256 g, 0.346 g (სათავო ნაგებობა) და 0.150 g, 0.261 g, 0.353 g (ელექტროსადგური). გრუნტის რხევების ვერტიკალური კომპონენტი მიღებულია როგორც 2/3 ჰორიზონტალური კომპონენტის. საკვლევი უბნებისთვის აიგო საშიშროების ერთიანი სპექტრი (UHS), რომელიც წარმოადგენს ახალი ნაგებობების სეისმური პროექტირების დონის განსაზღვრის საფუძველს.

ობიექტის სეისმური საშიშროების დეაგრეგაციის შედეგების მიხედვით (იხ. ცხრილი 3.12 და 3.13) მოცემული სეისმური საშიშროების დონეებისთვის პიკური PGA და სპექტრალური SA (0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.15) აჩქარებებში, ძირითადი

წვლილი შეაქვს Mw 4.9-5.5 მაგნიტუდის მიწისძვრებს მანძილებზე 22-29 კმ, რაც ობიექტის გარშემო ძირითადად I, II და III ASS_{EMME} ზონებს მოიცავს; ხოლო სპექტრალური აჩქარებისთვის SA (1 წმ) - Mw 6.0-6.2 მაგნიტუდის მიწისძვრებს მანძილებზე 38-53კმ.

სეისმური საშიშროების დეტერმინისტული შეფასება განხორციელდა ყოველი ASS-ის უდიდესი მაგნიტუდისთვის, უმოკლეს მანძილზე ობიექტამდე, 0.5 კვანტილისთვის. როგორც საკვლევი ობიექტის (სათავო ნაგებობა, ელექტროსადგური) 0.5 კვანტილის დეტერმინისტული შეფასებიდან ჩანს (იხ. ცხრილი 3.14 და 3.15) ამ ობიექტისთვის ყველაზე მაღალი სეისმური საშიშროება (0.51-0.57 g PGA) მოსალოდნელია #I და #II ASS_{EMME} ზონებიდან და ასევე #III ASS_{EMME} ზონიდან (0.33 g PGA).

ობიექტისთვის აქსელეროგრამების პაკეტის შერჩევისთვის გამოყენებულ იქნა საერთაშორისო მონაცემთა ბაზებში მოძიებული მასალები, კერძოდ - ევროპის პროექტის მიწისძვრის ჩანაწერები (Internet-site for European Strong-Motion Database, ESM), იტალიური აქსელერომეტრული არქივის (Itaca <http://itaca.mi.ingv.it>) მონაცემთა ბანკში არსებული აქსელეროგრამები და წყნარი ოკეანის გრუნტის მოძრაობის ცენტრის მონაცემთა ბაზები (PEER Ground Motion). შერჩევის პროცესში გათვალისწინებული იყო ალბათური და დეტერმინისტული სეისმური საშიშროებისა და დეზაგრეგაციის ყველა შედეგი. გარდა ამისა ყურადღება ექცეოდა ჩანაწერების სპექტრებს და შესაბამისი მიწისძვრების კერის მექანიზმებს, რომელებიც მსგავსი იყო საკვლევი რაიონში შესაძლო მიწისძვრების მექანიზმების. მთლიანობაში ESM მონაცემთა ბაზაში მოძიებული იქნა 6 მიწისძვრის (4 შეცოცებითი და ორი ნაწევის მექანიზმით) 21 ჩანაწერი, ხოლო PEER მონაცემთა ბაზაში მოძიებული იქნა 6 მიწისძვრა და მისი შესაბამისი 16 ჩანაწერი. აქედან 6 მიწისძვრის მექანიზმი - შეცოცებითი, ხოლო ერთი კი - ნაწევი. შერჩეული ძლიერი მოძრაობის ჩანაწერების დაკალიბრება მოხდა ერთიანი საშიშროების მრუდების მიხედვით 145, 475 და 975 წელი განმეორებადობის პერიოდით, 50%, 20% და 10% ალბათობის გადააჭარბებით მომდევნო 100 წლის განმავლობაში, დაშვების არით (+30%/-10%). ბოლოს, გამოთვლილ იქნა საშუალო სპექტრები 145, 475 და 975 წელი განმეორებადობის პერიოდით, 50%, 20% და 10% გადააჭარბების ალბათობით მომდევნო 100 წლის განმავლობაში, როგორც სათავო ნაგებობის, ასევე ელექტროსადგურის სამშენებლო ტერიტორიისთვის.

5. ლიტერატურა

- Abrahamson, N.A., Silva, WJ, Kamai, R. 2014. Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions. *Earthq Spectra*, 30(3), 1025–1055.
- Abrahamson, N., Nicohlas, G., Kofi A. 2016. BC hydro ground motion prediction equations for subduction earthquakes. *Earthquake Spectra*, 32(1), 23-44.

- Acunzo, G., Pagliaroli, A., Scasserra, G. 2014. "In-Spector: un software di supporto alla selezione di accelerogrammi naturali spettrocompatibili per analisi geotecniche e strutturali" Atti del convegno GNGTS 2014 - Bologna, 25-27 novembre 2014
- Adamia, Sh., Mumladze, T., Sadradze, N., Tsereteli, E., Tsereteli, N., Varazanashvili, O. 2008. Late Cenozoic tectonics and geodynamics of Georgia (SW Caucasus). *Georgian International Journal of Sciences and Technology* (Nova Science Publisher), 1(1), 77–107.
- Adamia, Sh., Alania, V., Tsereteli, N., Varazanashvili, O., Sadradze, N., Lursmanashvili, N., Gventsadze, A. 2017. Post-collisional tectonics and seismicity of Georgia. *Tectonic Evolution, Collision, and Seismicity of Southwest Asia: In Honor of Manuel Berberian's Forty-Five Years of Research Contributions*, Geological Society of America Special Paper, 525, 535-572.
- Adams, J., Trevor, A., Stephen, H., Michal, K. 2019. Canada's 6th generation seismic hazard model, as prepared for the 2020 national building code of Canada. Paper 192-Mkvp-139, 12th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Quebec City, 2019. <http://earthquakescanada.nrcan.gc.ca/hazard-alea/recpubs-en.php>
- Akkar, S. and Cagnan, Z. 2010. A Local Ground-Motion Predictive Model for Turkey, and Its Comparison with Other Regional and Global Ground-Motion Models. *Bulletin of the Seismological Society of America* (2010) 100 (6): 2978–2995.
- Akkar, S., Sandikkaya, M.A., Bommer, J.J. 2014. Empirical ground-motion models for point- and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East. *Bull. Earthq. Eng.*, 12(1), 359–387.
- Alania, V., Enukidze, O., Koiava, L., Kvaliashvili, L. 2001. Geometry and kinematics evolution of southern part of the Kartli foreland basin. *Georgian Oil and Gas*. No. 4, 70-74.
- Allen, T., Griffin, J., Leonard, M., Clark, D., Ghasemi H. 2018. The 2018 national seismic hazard assessment for australia. Model overview. *Geoscience Australia record* 2018/27. https://d28rz98at9flks.cloudfront.net/123020/Rec2018_027.pdf
- Anderson, J.G., Luco, J.E. 1983. Consequences of slip rate constraints on earthquake occurrence relations. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 73, 471-496.
- Barth, A., Wenzel, F., Giardini, D. 2007. Frequency sensitive moment tensor inversion for light o moderate magnitude earthquakes in eastern Africa. *Geophys Res Lett* 34:L15302. <https://doi.org/10.1029/2007GL030359>
- Bazzurro, P., Cornell, C. A. 1999. Deaggregation of seismic hazard. *Bull. Seism. Soc. Am.* 89, 501–520
- Bindi, D., Massa, M., Luzi, L., Ameri, G., Pacor, F., Puglia, R., Augliera, P. 2014. Pan-European ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5 %-damped PSA at spectral periods up to 30 s using the RESORCE dataset. *Bull. Earthq. Eng.*, 12, 391-430.

- Boore, D.M., Stewart, J.P., Seyhan, E., Atkinson, G.M. 2014. NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV, and 5 % damped PSA for shallow crustal earthquakes. *Earthq. Spectra*, 30(3), 1057–1085.
- Bozorgnia, Y., Abrahamson, N.A., Atik, L.A., Ancheta, T.D., Atkinson, G.M., Baker, J.W., Darragh, R. 2014. NGA-West2 research project. *Earthq. Spectra*, 30(3), 973–987.
- Bradley, B.A., 2013. A summary of the observed ground motions from the 21 July 2013 Mw 6.6 earthquake in Cook Strait, off the coast of Seddon. <https://sites.google.com/site/brendonabradley/>
- Campbell, K.W., Bozorgnia, Y. 2014. NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5 % damped linear acceleration response spectra. *Earthq. Spectra*, 30(3), 1087–1115.
- Cauzzi, C., Faccioli, E., Vanini, M., Bianchini, A. 2014. Updated predictive equations for broadband (0.01-10 s) horizontal response spectra and peak ground motions, based on a global dataset of digital acceleration records. *Bull. Earthq. Eng.*, 13(6), 1587–1612.
- Chiou, B.S.J., Youngs, R.R. 2008. An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthq. Spectra*, 24, 173–215.
- Chiou, B.S.J., Youngs, R.R. 2014. Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthq. Spectra* 30(3), 1117–1153.
- Cornell, C.A. 1968. Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58, 1583–1606.
- Danciu, L., Giardini, D., 2015. Global seismic hazard assessment program-GSHAP legacy. *Ann. Geophys.* 58(1), S0109. doi:10.4401/ag-6734fg
- Danciu, L., Şeşetyan, K., Demircioglu, M., Gülen, L., Zare, M., Basili, R., Elias, A., Adamia, Sh., Tsereteli, N., Yalçın, H., Utkucu, M., Asif Khan, M., Sayab, M., Hessami, Kh., Rovida, A. N., Stucchi, M., Burg, J. P., Karakhanian, A., Babayan, H. Avanesyan, M., Mammadli, T., Al-Qaryouti, M., Kalafat, D., Varazanashvili, O., Erdik, M., Giardini, D. 2018. The 2014 Earthquake Model of the Middle East: seismogenic sources. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3465–3496.
- Danciu, L., Kale, Ö., Akkar, S., 2018. The 2014 Earthquake Model of the Middle East: ground motion model and uncertainties. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3497–3533. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-9989-1>
- Delavaud, E., Cotton, F., Akkar, S., Scherbaum, F., Danciu, L., Beauval, C., Drouet, S., Douglas, J., Basili, R., Sandıkkaya, M.A., Segou, M., Faccioli, E., Theodoulidis, N. 2012. Toward a ground-motion logic tree for probabilistic seismic hazard assessment in Europe. *J. Seismol.*, 16, 451–473.
- Devdariani, E., Zlokhazova, G., Torozov, R. 1988. Cosmotectonic map of Georgia, Scale 1:500000. Department of Geology, Tbilisi. (in Russian)
- Douglas, J., Edwards, B. 2016. Recent and future developments in earthquake ground motion estimation. *Earth Sci. Rev.* 160, 203–219.

- Douglas, J. 2018. Calibrating the backbone approach for the development of earthquake ground motion models. Paper presented at Best Practice in Physics-based Fault Rupture Models for Seismic Hazard Assessment of Nuclear Installations: Issues and Challenges Towards Full Seismic Risk Analysis, Cadarache, France.
- Faccioli, E., Bianchini, A., Villani, M. 2010. New ground motion prediction equations for $t > 1$ s and their influence on seismic hazard assessment. In: Proceedings of the University of Tokyo Symposium on Long- Period Ground Motion and Urban Disaster Mitigation, March 17–18, Tokyo, Japan.
- Frankel, A. 1995. Mapping seismic hazard in the central and eastern United States. *Seismol. Res. Lett.* 66, 8.
- Gamkrelidze, P. 1949. Geological structure of the Achara-Trialeti folded system. Tbilisi, Ac. Sci. Georgia Press, 378.
- Gardner, J.K., Knopoff, L. 1974. Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 64(5), 1363–1367.
- Geology of the USSR. Georgian SSR. 1964. Gamkrelidze P. ed, Moscow, Nedra, v. 10, 1-655.
- Giardini, D. 1999. The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) -1992/1999. *Annali di Geof.*, 42(6), 957–974.
- Giardini, D., Danciu, L., Erdik, M., Sesetyan, K., Demircioglu, M., B., Akkar, S., Gülen, L., Zare, M. 2018. Seismic hazard map of the Middle East. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 16(8), 3567-3570, <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0347-3>
- Gorshkov, A.S. 1983. On marine continuation of the Achara-Trialeti fault system. *Geotectonica*, No. 4, 111-120.
- Grunthal, G. 1985. The updated earthquake catalogue for the German Democratic Republic and adjacent areas statistical data characteristics and conclusions for hazard assessment. In: Proceedings of the 3rd international symposium on the analysis of seismicity and on seismic risk, Prague, 17–22 June 1985, vol I
- Gülen L, Sesetyan K, Adamia S, Sadradze N, Gvencadze A, Karakhanyan A et al. 2014. Earthquake model of the Middle East (EMME) project: active faults and seismic sources second European conference on earthquake engineering and seismology, 2ECEES, 24–29 Aug 2014, Istanbul, Turkey, Abstract No. 3216
- Gutenberg, B., Richter, C.F. 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 34, 184–188.
- ICOLD. 1989. Selecting seismic parameters for large dams. Bulletin 72. ICOLD, Paris.
- ICOLD. 2010. Selecting Seismic Parameters for Large Dams. Guidelines, Revision of Bulletin 72 Committee on Seismic Aspects of Dam Design, ICOLD, Paris.
- ICOLD. 2016. Small Dams: Design, Surveillance and Rehabilitation. Bulletin 157, ICOLD, Paris.
- Idriss, I.M. 2014. An NGA-West2 empirical model for estimating the horizontal spectral values generated by shallow crustal earthquakes. *Earthq. Spectra*, 30(3), 1155–1177.

- Johnston, A.C., Coppersmith, K.J., Kanter, L.R., Cornell, C.A. 1994. The earthquakes of stable continental regions, Volume 1: Assessment of large earthquake potential. *ElectricPower Research Institute, Technical Report TR-102261-V1*, pp. 1-368.
- Kadirioglu FT, Kartal RF, Kiliç T et al. 2018. An improved earthquake catalogue (M=4.0) for Turkey and its near vicinity (1900–2012). *Bull Earthq Eng* 16:3317–3338
- Karakhanian, A.S., Trifonov, V.G., Azizbekian, O.G., Hondkarian, D.G. 1997. Relationship of late Quaternary tectonics and volcanism in the Khonarassar active fault zone, the Armenian Upland. *Terra Nova* 9, 131–134.
- Kijko, A., Singh, M. 2011. Statistical tools for maximum possible earthquake magnitude estimation. *Acta Geophysica*, 59(4), 674–700, doi:10.2478/s11600-011-0012-6
- Koçyğit, A., Yilmaz, A., Adamia, Sh. and S. Kuloshvili. 2001. Neotectonics of East Anatolian plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodynamica Acta* 14, 177–195.
- Kondorskaya and Shebalin (Chief Eds). 1982. New catalogue of strong earthquakes in the USSR from ancient times through 1977. 1982. NOAA, USA, pp. 608.
- Kotha, S.R., Bindi, D., Cotton, F. 2016. Partially non-ergodic region specific GMPE for Europe and Middle-East. *Bull. Earthq. Eng.*, 4(4), 1245–1263.
- Lee, W., Larh, S. 1975. HYPO-71 (Revised), a computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion patting of local earthquakes. U.S. Geological Survey Open File. Report, 75-311.
- Leonard, M. 2010. Earthquake fault scaling: Self-consistent relating of rupture length, width, average displacement, and moment release. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 100, 1971–1988, <https://doi.org/10.1785/0120090189>.
- Lin, P. Sh., Lee, Ch. T. 2008. Ground-motion attenuation relationships for subduction-zone earthquakes in northeastern Taiwan. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 98 (1), 220–240. <https://doi.org/10.1785/0120060002>
- Lunedei, E. and Malischewsky, P. 2015. ‘A review and some new issues on the theory of the H/V technique for ambient vibrations’, in *Perspectives on European 21 Earthquake Engineering and Seismology*, Springer, pp. 371–394.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinge, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M., Veis, G. 2000. Global Positioning System Constrains on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, March 10, vol. 105, No. B3, 1695–5719.
- Meffert, B.F. 1932. Geology of oilbearing area of Achara-Imereti chain. *Trudy Vsesojuznogo geologo-razvedochnogo objedinenija*. 1932, Iss. 180, 3–27. (in Russian)

- Meletti, C., Marzocchi, W., D'amico, V., Luzi, L., Martinelli, F., Pace, B., Rovida, A., Visini, F., and Mps16 Working Group. 2019. MPS19: the updated Italian Seismic Hazard model. *Geophysical Research Abstracts*, 21, EGU2019-7372, 2019 EGU General Assembly 2019.
- Mignan A, Danciu L, Giardini D (2015) Reassessment of the maximum fault rupture length of strike-slip earthquakes and inference on M in the Anatolian Peninsula, Turkey. *Seismol Res Lett* 86(3):890–900
- Montalva, G.A., Bastías, N.,Rodriguez-Marek, A., 2017. Gground-motion prediction equation for the Chilean subduction zone. *Bulletin of the Seismological Society of America* 107 (2), 901-911. <https://doi.org/10.1785/0120160221>
- Nakamura Y. 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst.*, 30-1, 25-30.
- Onur, T., R. Gök, T. Godoladze, I. Gunia, G. Boichenko, A. Buzaladze, N. Tumanova, M. Dzmanashvili, L. Sukhisvili, Z. Javakishvili, E. Cowgill, I. Bodndar, and G. Yetirmishli. 2019. Probabilistic Seismic Hazard Assessment for Georgia, doi:10.2172/1511856.
- Pagani, M., Garcia-Pelaez, J., Gee, R., Johnson, K., Poggi, V., Styron, R., Weatherill, G., Simionato, M., Viganò, D., Danciu, L., Monelli , D., 2018. Global Earthquake Model (GEM) Seismic Hazard Map (version 2018.1 - December 2018), doi.org/10.13117/GEM-GLOBAL-SEISMIC-HAZARD-MAP-2018.1
- Pagani, M., Monelli, D., Weatherill, G., Danciu, L., Crowley, H., Silva, V. et al., 2014 OpenQuake-engine: an openhazard (and risk) software for the Global Earthquake Model. *Seismol Res Lett* 85:692–702. doi:10.1785/0220130087
- Pagani, A., Laurenti, R., Binder, C. 2020. "Sustainability Assessment of the Housing System: Exploring the Interplay between the Material and Social Systems," i Sustainability Assessments of Urban Systems, Claudia R. Binder, Romano Wyss, Emanuele Massaro red., : Cambridge University Press.
- Papalashvili, V.G., 1981. Development of the network of seismic stations in the Caucasus and some issues of generalization of observational material. *Seismological Bulletin of the Caucasus*, Tbilisi 1978, Metsniereba Publ. House, pp. 244-279.
- Rautian, T., 1964. About the determination of the earthquake energy in the distance to 3000 km, In: Riznichenko, Yu. (Ed.), *Experimental seismicity*. Publ. Academy of Sciences of USSR, Moscow, pp. 88-89.
- Rautian, T., Khalturin, V.I., 1978. The use of coda for determination of the earthquake source spectrum. *Bull. Seism. Soc. Am.* 68904–68922.
- Rebai, S., Philip, H., Dorbath, L., Borissoff, B., Haessler, H., Cisternas, A., 1993. Active tectonics in the Lesser Caucasus: coexistence of compressive and extensional structures. *Tectonics* 12 (5), 1089–1114.

- Sánchez-Sesma, F.J. 2017. Modeling and inversion of the microtremor H/V spectral ratio: physical basis behind the diffuse field approach. *Earth, Planets and Space* volume 69, Article number: 92 .
- Sargsyan, G.V., Abgaryan, G.R., Mkhitarian, K.A., Mugnetsyan, E.A., Mazmanian, L.V., Karapetyan, A.R., Suvaryan, L.G., 2017. Seismic conditions of the territory of Armenia and adjacent areas after the 1988 Spitak earthquake. Gyumri, Pub. house of Eldorado, 279 p.
- Sesetyan, K., Danciu, L., Demircioglu, M. B., Giardini, D., Erdik, M., Akkar, S., Gulen, L., Zare, M., Adamia, Sh., Ansari, A., Arakelyan, A., Askan, A., Avanesyan, M., Babayan, H., Chelidze, T., Durgaryan, R., Elias, A., Hamzehloo, H., Hessami, Kh., Kalafat, D., Kale, O., Karakhanyan, A., Khan, M. A., Mamadli, T., Al-Qaryouti, M., Sayab, M., Tsereteli, N., Utkucu, M., Varazanashvili, O., Waseem, M., Yalcin, H., Yilmaz, M.T. 2018. The 2014 Seismic hazard model of the Middle East: overview and results. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3535-3566, doi:10.1007/s10518-018-0346-4.
- Şeşetyan, K., Demircioglu, M.B., Duman, T.Y., Çan, T., Tekin, S., Azak, T.E., Fercan, Ö. Z., 2018. A probabilistic seismic hazard assessment for the Turkish territory-Part I: The area source model. *Bull. Earthq. Eng.*, 16(8), 3367-3397, doi:10.1007/s10518-016-0005-6.
- Shebalin, NV, Tatevosian, RE, 1997. Catalogue of large historical earthquakes of the Caucasus, in: *Historical and prehistorical earthquakes in the Caucasus*. Edited by D. Giardini and S. Balassanian, NATO ASI Series, 2, 201–232.
- Shebalin N. V., Trifonov V. G., Kozhurin A. I., Ulomov V. I., Tatevossian R. E., Ioffe A. I. A unified seismotectonic zonation of Northern Eurasia. *Journal of Earthquake Prediction Research*, v. 8, 2000, 831.
- Sikharulidze, D., Tutberidze, N., Diasamidze, Sh., Bochorishvili, S., 2004. The structure Of the Earth's crust and the upper mantle in Georgia and the adjacent territories. *J. of the Georgian Geophys. Society*, 9A, 12-19.
- Stepp, J.C., 1972. Analysis of the completeness of the earthquake sample in the Puget Sound area and its effect on statistical estimates of earthquake hazard, *Proceedings of the International Conf. on Microzonation for Safer Construction: Research and Application*, Seattle, Washington 64, 1189-1207.
- Tibaldi, A., Alania, V., Bonali, F.L., Enukidze, O., Tsereteli, N., Kvavadze, N., Varazanashvili, O. 2017. Active inversion tectonics, simple shear folding and back-thrusting at Rioni Basin, Georgia. *Journal of Structural Geology*, vol. 96, pp. 35-53, doi: 10.1016/j.jsg.2017.01.005.
- Tibaldi, A., Tsereteli, N., Varazanashvili, O., Babayev, G., Barth, A., Mumladze, T., Bonali, F.L., Russo, E., Kadirov, F., Yetirmishli, G., Kazimova, S., 2020. Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus. *Journal of Asian Earth Sciences*. *Journal of Asian Earth Sciences*. Volume 188. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.104108>
- Trifonov, V.G., Karakhanyan, A.S., Kozhurin, A.I. 1990. The Spitak earthquake as an expression of present tectonic activity. *Geotectonics* 24 (6), 505– 515.

- Tsereteli, N., Tanircan, G., Safak, E., Varazanashvil, O., Chelidze, T., Gvencadze, A., Goguadze, N., 2012. Seismic hazard assessment for Southern Caucasus - Eastern Turkey energy corridors: the example of Georgia. In: Barry DL, Coldewey WG, Reimer DWG, Rudakov DV (eds) *Correlation between human factors and the prevention of disasters*, vol 94. IOS Press, Amsterdam, pp. 96-111.
- Tsereteli, N., Tibaldi, A., Alania, V., Gventsadse, A., Enukidze, O., Varazanashvili, O., Müller, B. I. R. 2016. Active tectonics of central-western Caucasus, Georgia. *Tectonophysics*, 691, 328–344, doi: 10.1016/j.tecto.2016.10.025 S0040-1951(16)30478-4
- Tsereteli, N., Danciu, L., Varazanashvili, O., Sesetyan, K., Qajaia, L., Sharia, T., Svanadze, D., Khvedelidze, I. 2021. The 2020 National Seismic Hazard Model for Georgia (Sakartvelo). *Building Knowledge for Geohazard Assessment and Management in the Caucasus and other Orogenic Regions* (eds. F. L. Bonali, F. P. Mariotto, N. Tsereteli). Springer. Part of the NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security book series (NAPSC). Chapter 8, pp. 131-168.
- Uhrhammer, R., 1986, Characteristics of Northern and Central California Seismicity, *Earthquake Notes*, 57(1), 21.
- Varazanashvili, O., Tsereteli, N., Tsereteli, E., 2011. Historical earthquakes in Georgia (up to 1900): source analysis and catalogue compilation. Monograph, Pub. House MVP, Tbilisi, 81 p.
- Varazanashvili, O., Tsereteli, N., Bonali, F.L., Arabidze, V., Russo, E., Pasquaré Mariotto, F., Gogoladze, Z., Tibaldi, A., Kvavadze, N., Oppizzi, P., 2018. GeoInt: the first macroseismic intensity database for the Republic of Georgia. *Journal of Seismology*, 22(3), 625-667.
- Weichert, D.H., 1980. Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 70(4), 1337-1346.
- Wells, D. L., Coppersmith, K. J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 974-1002.
- Wheeler, R.L., 2009. Methods of M_{\max} estimation east of the Rocky mountains. Open-File Report 2009-1018. Prepared with funding from the U.S. Nuclear Regulatory Commission, <https://doi.org/10.3133/ofr20091018>
- Wieland, M. 2008. Earthquake safety of small dams. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, Vol 30, No. 11.
- Wiemer, S., 2001. A software package to analyse seismicity: ZMAP. *Seismol. Res. Lett.* 72(3), 373-382.
- Wiemer, S., Danciu, L., Edwards, B., Marti, M., Fäh, D., Hiemer, S., Wössner, J., Cauzzi, C., Kästli, P., Kremer, K., 2016. Seismic Hazard Model 2015 for Switzerland (SUIhaz2015). Report. Swiss Seismological Service (SED) at ETH Zurich, doi: 10.12686/a2

- Woessner, J., Laurentiu, L., Giardini, D., Crowley, H., Cotton, F., Grünthal, G., Valensise, G., Arvidsson, R., Basili, R., Demircioglu, M. B., Hiemer, S., Meletti, C., Musson, R. W., Rovida, A. N., Sesetyan, K., Stucchi, M. 2015. The 2013 European Seismic Hazard Model: key components and results. *Bulletin of Earthquake Engineering* volume, 13, 3553–3596.
- Youngs, R.R., Chiou, B.S.J., Silva, W.J., Humphrey, J.R., 1997. Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. *Seismol. Res. Lett.* 68, 58–73.
- Zare, M., Amini, H., Yazdip., Sesetyan, K., Demircioglu, M.B., Kalafat, D., Erdik, M., Giardini, D., Khan, M.A., Tsereteli, N., 2014. Recent developments of the Middle East catalog. *Journal of Seismology*. 18(4), 749-772, doi:10.1007/s10950-014-9444-1
- Zhao, J.X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., Ogawa, H., Irikura, K., Thio, H.K., Somerville, P.G., Fukushima, Y., 2006. Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classifications based on predominant period. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 96, 898-913.