

**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 „30“ „ივნისი“ 2025 წ.

ა(ა)იპ საქართველოს გეოფიზიკური  
ასოციაციის თავმჯდომარე აკადემიური  
დოქტორი ნუგზარ ღლონტი



ქ.თბილისში, სპირიდონ კედიას ქუჩა N10ა-ში (ს/კ 01.13.06.008.097,  
01.13.06.008.118, 01.13.06.008.119) მრავალბინიანი საცხოვრებელი სახლის  
მშენებლობისათვის გამოყოფილ ტერიტორიაზე სეისმური პროფილების  
აგება, სეისმურობის დაზუსტება ლოკალური პარამეტრების გათვალის-  
წინებით, საპროექტო შენობისათვის საანგარიშო აქსელეროგრამების  
პაკეტის შერჩევა, დრეკადი და საანგარიშო რეაქციის სპექტრების  
აგება, მიღებული შედეგების წარმოდგენა  
პროგრამა LiraSAPR-ის ფორმატში

(ტექნიკური ანგარიში)

თბილისი 2025

ძირითად შემსრულებელთა სია:

ვახტანგ არაბიძე



აკ. დოქტორი ტექნიკურ მეცნიერებაში,  
საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტის პროფესორი  
ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო  
უნივერსიტეტის მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის  
ინსტიტუტის უფროსი მეცნიერ თანამშრომელი

მალხაზ გიგინეიძე



მეცნიერებათა დოქტორი ფიზიკაში,  
ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის ას. პროფესორი  
ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო  
უნივერსიტეტის მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის  
ინსტიტუტის უფროსი მეცნიერ თანამშრომელი

## სარჩევი

|          |                                                                             |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
|          | შესავალი .....                                                              | 4         |
| <b>1</b> | <b>ექსპერიმენტული კვლევები, ფუმე-გრუნტების</b>                              |           |
|          | <b>სეისმური პროფილების აგება .....</b>                                      | <b>4</b>  |
| 1.1      | სეისმური პროფილირება .....                                                  | 5         |
| 1.2      | ჩატარებული სამუშაოების ანალიზი და შედეგები .....                            | 7         |
| 1.3      | დასკვნა .....                                                               | 13        |
| <b>2</b> | <b>სამშენებლო უბნის სეისმურობის დაზუსტება .....</b>                         | <b>14</b> |
| <b>3</b> | <b>აქსელეროგრამების პაკეტის შერჩევა .....</b>                               | <b>19</b> |
| 3.1      | აქსელეროგრამების შერჩევა ზოგადი პრინციპებით .....                           | 19        |
| 3.2      | აქსელეროგრამების შერჩევა პაკეტისათვის და<br>ნორმირება ერთეულ სიდიდეზე ..... | 22        |
| <b>4</b> | <b>საანგარიშო სპექტრების აგება .....</b>                                    | <b>38</b> |
| <b>5</b> | <b>აქსელეროგრამებისა და რეაქციის სპექტრების ციფრული</b>                     |           |
|          | <b>პაკეტების გადაყვანა პროგრამა „Lira SAPR“ ფორმატში .....</b>              | <b>41</b> |
|          | <b>დასკვნები და რეკომენდაციები .....</b>                                    | <b>44</b> |
|          | <b>ლიტერატურა .....</b>                                                     | <b>46</b> |

## შესავალი

შ.პ.ს. „გრადა წერეთელი“-ს დირექტორის, ქალბატონ ნათია ლაბაძის დაკვეთით ჩვენს მიერ ჩატარებულ იქნა სამუშაოები, რომლებიც ითვალისწინებდა: ქ.თბილისში, სპირიდონ კედიას ქუჩა N10ა-ში (ს/კ 01.13.06.008.097, 01.13.06.008.118, 01.13.06.008.119) მრავალბინიანი საცხოვრებელი სახლის მშენებლობისათვის გამოყოფილ ტერიტორიაზე, სეისმური პროფილების აგებას, სეისმურობის დაზუსტებას ლოკალური პარამეტრების გათვალისწინებით, საპროექტო შენობისათვის საანგარიშო აქსელეროგრამების პაკეტის შერჩევას, დრეკადი და საანგარიშო რეაქციის სპექტრების აგებას, მიღებული შედეგების წარმოდგენას პროგრამა Lira SAPR-ის ფორმატში.

### 1. ექსპერიმენტული კვლევები, ფუძე-გრუნტების სეისმური პროფილების აგება

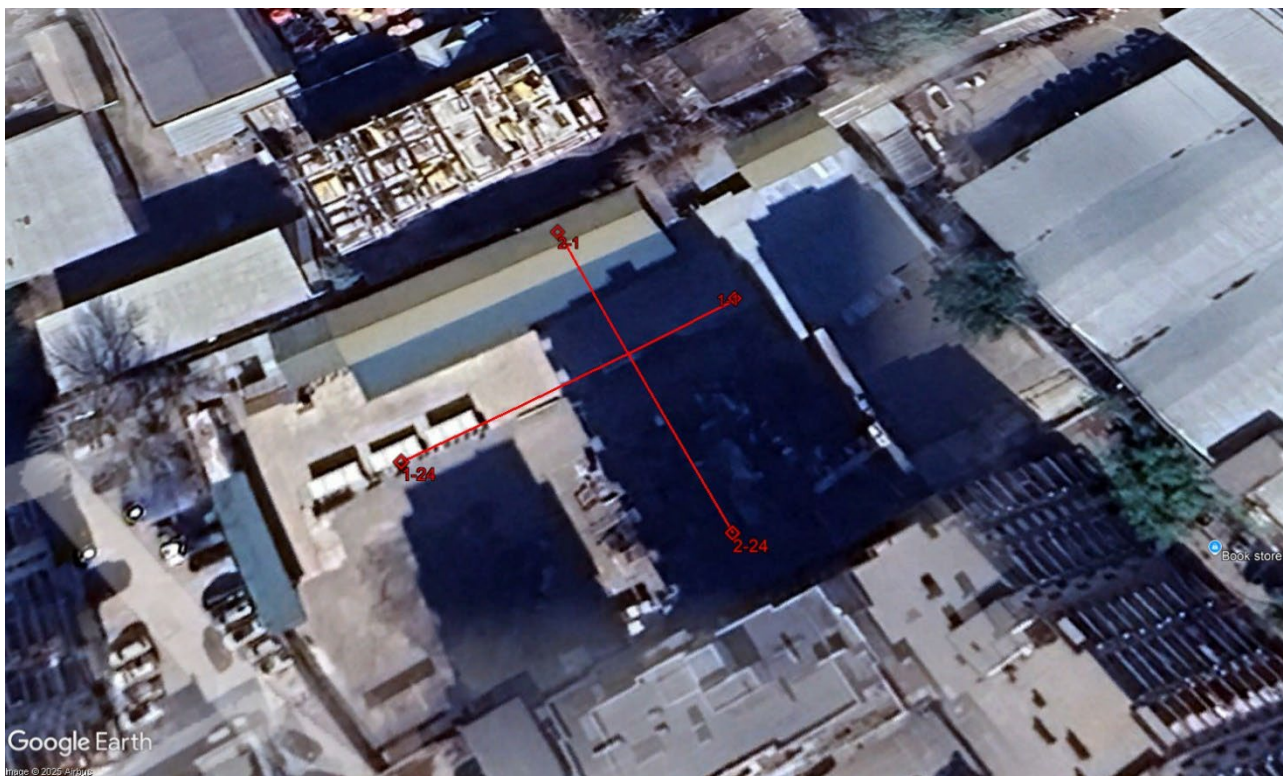
კვლევის ამოცანას წარმოადგენდა ქ.თბილისში, სპირიდონ კედიას ქ.#10ა მრავალბინიანი საცხოვრებელი სახლის სამშენებლო უბნის გეოფიზიკური გამოკვლევა. ანგარიშში წარმოდგენილია შესაბამისი შედეგები.

ჩატარდა სეისმური პროფილირება გარდატეხილი ტალღების მეთოდით 30 მ სიღრმემდე, აიგო შესაბამისი სეისმოგეოლოგიური ჭრილები, განისაზღვრა დრეკადი გრძივი და განივი ტალღების გავრცელების სიჩქარეები. ასევე შეფასდა შესაბამისი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები. ანგარიშში წარმოდგენილია 46 მ სიღრმის 2 სეისმური პროფილის ჭრილი, საერთო სიგრძით 92 მ (ნახ. 1.1). ცხრილ 1.1-ში მითითებულია სეისმური პროფილების დასაწყისი და საბოლოო კოორდინატები WGS 84 სისტემაში აბსოლუტურ სიმაღლეებთან ერთად.

ცხრილი 1.1. სეისმური პროფილების დასაწყისი და საბოლოო კოორდინატები.

#-1 მიუთითებს პირველ გეოფონს ანუ პროფილის დასაწყისს, ხოლო #-24 - 24-ე გეოფონს ანუ პროფილის ბოლოს. H მიუთითებს აბსოლუტურ სიმაღლეებს.

| GPH # | X      | Y       | H,m   |
|-------|--------|---------|-------|
| 1-1   | 482299 | 4620251 | 415.0 |
| 1-24  | 482258 | 4620229 | 414.2 |
| 2-1   | 482276 | 4620262 | 415.2 |
| 2-24  | 482297 | 4620219 | 414.1 |



ნახ.1.1. საკვლევი უბანი და სეისმური პროფილის მდებარეობა.

#-1 მიუთითებს პირველ გეოფონს ანუ პროფილის დასაწყისს,  
ხოლო #-24 - 24-ე გეოფონს ანუ პროფილის ბოლოს.

### 1.1. გეოფიზიკური კვლევები (სეისმური პროფილირება)

*სეისმური პროფილირება გარდატეხილი ტალღების მეთოდით.*

ქანების თვისებების გამოკვლევა საინჟინრო სეისმოძიების პრობლემების გადაწყვეტისათვის ერთ-ერთ უმთავრეს ამოცანას წარმოადგენს. ჩვენი ძირითადი ამოცანა იყო მოცემული უბნის აგებულების შესწავლა და ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების განსაზღვრა გრძივი და განივი დრეკადი ტალღების სიჩქარეების მნიშვნელობების საფუძველზე. ამისათვის ამორჩეულ იქნა გარდატეხილი ტალღების სავსე სეისმური მეთოდი.

გარდატეხილი ტალღების მეთოდი იძლევა საშუალებას განისაზღვროს ზედაპირული და უფრო ღრმა ფენების სიმძლავრეები და მათში დრეკადი ტალღების გავრცელების სიჩქარეები. მეთოდი ემყარება დრეკადი ტალღების წყაროდან ერთ ხაზზე განლაგებულ გეოფონებში P და S ტალღების პირველი შემოსვლების დროების განსაზღვრას. ამრიგად კვლევის ამოცანა იყო ქანების სტრუქტურის განსაზღვრა 30მ სიღრმემდე და გამოყოფილ სტრუქტურულ ელემენტებში შემდეგი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების განსაზღვრა:

|    |                                            |                                      |
|----|--------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1  | <b>Vp m/sec</b>                            | გრძივი ტალღის სიჩქარე                |
| 2  | <b>Vs m/sec</b>                            | განივი ტალღის სიჩქარე                |
| 3  | <b>Vs/Vp</b>                               | სიჩქარეების თანაფარდობა              |
| 4  | <b><math>\rho</math> gr/cm<sup>3</sup></b> | სიმკვრივე                            |
| 5  | <b><math>\mu</math></b>                    | პუასონის კოეფიციენტი                 |
| 6  | <b>Ed Mpa</b>                              | იუნგის დინამიური მოდული              |
| 7  | <b>Gd MPa</b>                              | ძვრის დინამიური მოდული               |
| 8  | <b>Kd Mpa</b>                              | ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული |
| 9  | <b>D Mpa</b>                               | საერთო დეფორმაციის მოდული            |
| 10 | <b><math>\tau</math> Mpa</b>               | სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე            |

**შენიშვნა.** აღნიშნული პარამეტრებიდან 1-3 მიღებულია კვლევის შედეგად, 5-8 გამოთვლილია ცნობილი თეორიული დამოკიდებულებების საფუძველზე, ხოლო 4, 9, 10 მიღებულია ჩვენს ხელთ არსებული ემპირიული კავშირების გამოყენებით.

პარამეტრების გამოთვლილი მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილ 1.2 - 1.3-ში.

**სეისმოპროფილირება** ჩატარდა 10 ჰერციანი გეოფონებით, რომელთა შორის დაშორებაც 2 მეტრს შეადგენდა. სეისმური ტალღების ინდუცირება ხდებოდა 10კგ-იანი უროს პლასტმასის სპეციალურ ფირფიტაზე დარტყმით. გეოფონები და დარტყმები სრულდებოდა Z-Z და Y-Y ორიენტირებით, გამოიყენებოდა 7 დარტყმის წერტილიანი სისტემა, რომელიც მოიცავდა როგორც პროფილის ფარგლებში, ასევე გატანილ დარტყმებს. ასეთი სისტემა მნიშვნელოვანი მანძილით დაშორებული გატანილი დარტყმებით საშუალებას იძლეოდა ინფორმაცია მიგველო 30მ სიღრმემდე. ტალღის ტიპის მიხედვით იცვლებოდა დარტყმის ორიენტირებაც.

ტალღების რეგისტრაცია ხორციელდებოდა ამერიკული **GEOMETRICS** ფირმის **GEODE** მარკის **24** არხიანი საინჟინრო სეისმური სადგურით.

მონაცემების დამუშავება და ინტერპრეტაცია განხორციელდა ამავე ამერიკული **GEOMETRICS** ფირმის ლიცენზირებული პროგრამის **SeisImager** გამოყენებით.

გაკეთდა მიღებული მონაცემების ანალიზი და აიგო შესაბამისი ჰრილები (ნახ. 1.2-1.3).

## 1.2. ჩატარებული სამუშაოების ანალიზი და შედეგები

საკვლევ ტერიტორიაზე ჩატარდა სეისმური პროფილირება გარდატეხილი ტალღების მეთოდით 30 მ სიღრმემდე ინფორმაციის მიღებით. აიგო შესაბამისი სეისმო-გეოლოგიური ჭრილები, განისაზღვრა დრეკადი გრძივი და განივი ტალღების გავრცელების სიჩქარეები. ასევე შეფასდა შესაბამისი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები. ანგარიშში წარმოდგენილია 46 მ სიგრძის 2 სეისმური პროფილის ჭრილი, საერთო სიგრძით 92 მ (ნახ. 1.1). ცხრილ 1.1-ში მითითებულია სეისმური პროფილების დასაწყისი და საბოლოო კოორდინატები WGS 84 სისტემაში აბსოლუტურ სიმაღლეებთან ერთად.

გეოფიზიკური პარამეტრების მიხედვით გამოყოფილია სხვადასხვა საინჟინრო-გეოლოგიური ელემენტები (ფენები) და დადგენილია მათში  $V_p$ ,  $V_s$  სიჩქარეების მნიშვნელობების განაწილება. შესაბამისი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილ 1.2-1.3-ში (ნახ.: 1.2-1.3).

მიღებულ ჭრილზე გეოფიზიკური მონაცემების მიხედვით უმთავრესად დაიკვირვება ფიზიკური თვისებებით განსხვავებული სამი ფენი (იდენტიფიკაცია განხორციელდა ჩვენს მიერ მიღებული მასალისა და დამკვეთის მიერ მოწოდებული გეოლოგიური ინფორმაციის საფუძველზე):

**ფენი 1** – ნაყარი გრუნტი ბეტონის და კენჭების ჩანართებით თიხნარის შემავსებლით და თიხა ნახევრად მყარი;

**ფენი 2** - ქვიშნარი პლასტიური და ხრეში ქვიშის შემავსებლით, ნაწილობრივ წყალგაჯერებული;

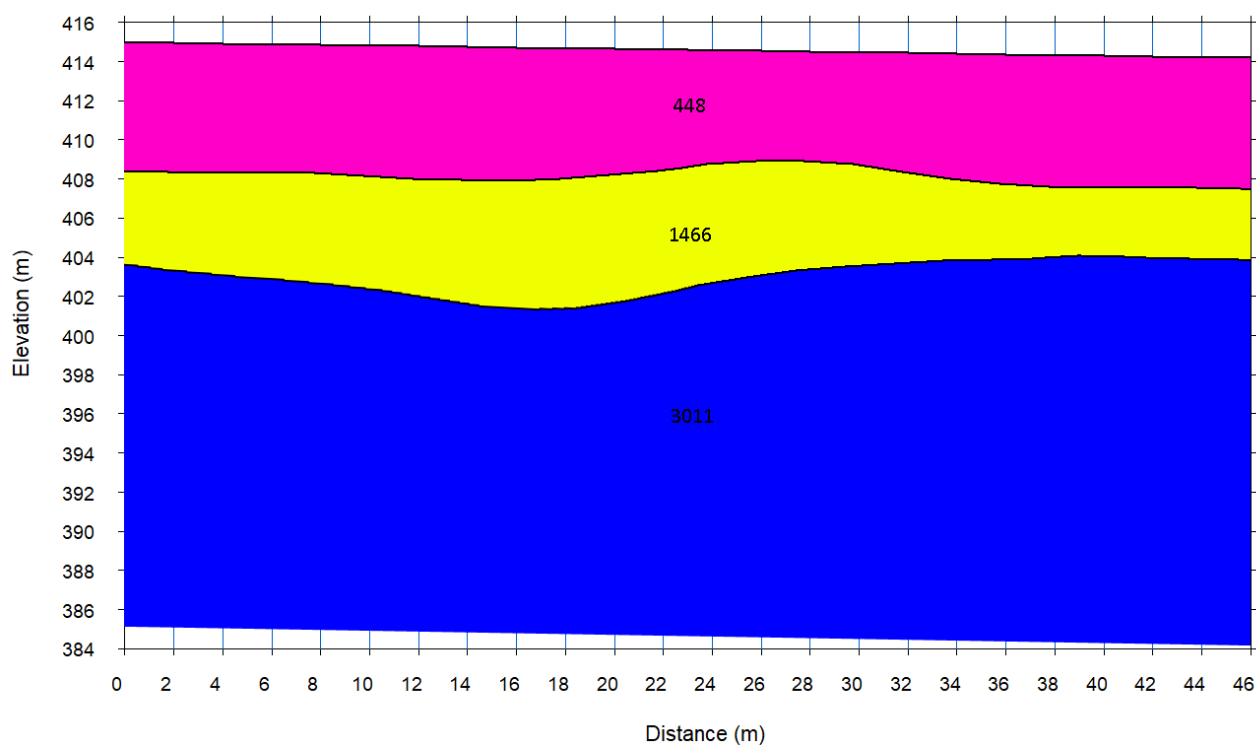
**ფენი 3** - ქვიშაქვები საშუალო სიმტკიცის.

### სეისმური პროფილი #1:

ფენი1 ვრცელდება ზედაპირიდან 6.0 – 7.5 მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების სიჩქარეების შემდეგი გასაშუალოებული მნიშვნელობებით:  $V_P = 448$  მ/წმ;  $V_S = 155$  მ/წმ.

ფენი1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 3.5 – 5.5 მ სიმძლავრის ფენი2, გრძივი და განივი ტალღების სიჩქარეების შემდეგი მნიშვნელობებით:  $V_P = 1466$  მ/წმ;  $V_S = 308$  მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს ფენი3, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 30 მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების სიჩქარეების შემდეგი მნიშვნელობებით:  $V_P = 3011$  მ/წმ;  $V_S = 1243$  მ/წმ.



ნახ. 1.2. სეისმოგეოლოგიური კრილი #1.

ცხრილი 1.2. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები

პროფილი #1-სათვის.

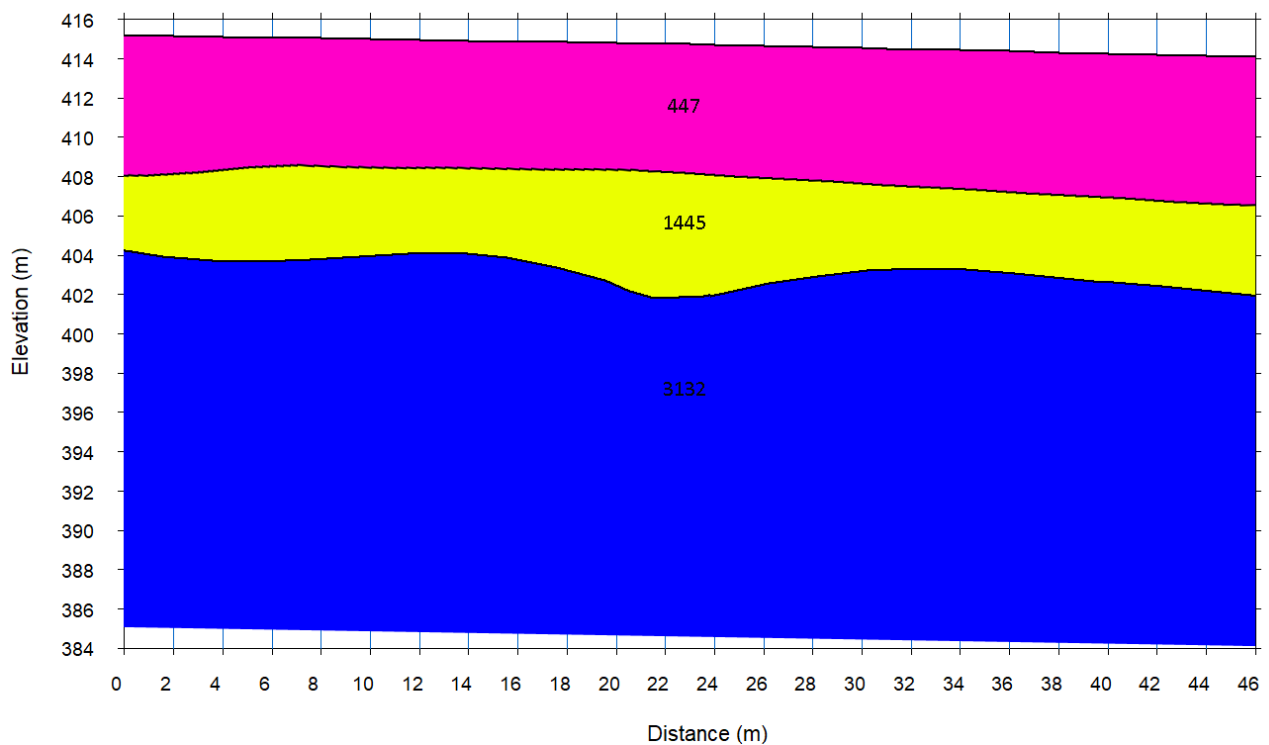
| ფენის N     | პარამეტრი | პარამეტრის აღწერა                           | მნიშვნელობები | სიმძლავრე, მ |
|-------------|-----------|---------------------------------------------|---------------|--------------|
| 1           | Vp m/sec  | გრძივი ტალღის სიჩქარე                       | 448           | 6.5          |
|             | Vs m/sec  | განივი ტალღის სიჩქარე                       | 155           |              |
|             | Vs/Vp     | სიჩქარეების თანაფარდობა                     | 0.35          |              |
|             | ρ gr/cm^3 | სიმკვრივე                                   | 1.48          |              |
|             | μ         | პუასონის კოეფიციენტი                        | 0.43          |              |
|             | Ed Mpa    | იუნგის დინამიური მოდული                     | 100           |              |
|             | Gd MPa    | ძვრის დინამიური მოდული                      | 36            |              |
|             | Kd Mpa    | ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული        | 249.87        |              |
|             | D Mpa     | საერთო დეფორმაციის მოდული                   | 0.85          |              |
|             | τ Mpa     | სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე                   | -             |              |
| 2           | Vp m/sec  | გრძივი ტალღის სიჩქარე                       | 1466          | 4.5          |
|             | Vs m/sec  | განივი ტალღის სიჩქარე                       | 308           |              |
|             | Vs/Vp     | სიჩქარეების თანაფარდობა                     | 0.21          |              |
|             | ρ gr/cm^3 | სიმკვრივე                                   | 1.99          |              |
|             | μ         | პუასონის კოეფიციენტი                        | 0.48          |              |
|             | Ed Mpa    | იუნგის დინამიური მოდული                     | 560           |              |
|             | Gd MPa    | ძვრის დინამიური მოდული                      | 189           |              |
|             | Kd Mpa    | ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული        | 4030.09       |              |
|             | D Mpa     | საერთო დეფორმაციის მოდული                   | 13.36         |              |
|             | τ Mpa     | სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე                   | 9.45          |              |
| 3           | Vp m/sec  | გრძივი ტალღის სიჩქარე                       | 3011          | 19           |
|             | Vs m/sec  | განივი ტალღის სიჩქარე                       | 1243          |              |
|             | Vs/Vp     | სიჩქარეების თანაფარდობა                     | 0.41          |              |
|             | ρ gr/cm^3 | სიმკვრივე                                   | 2.39          |              |
|             | μ         | პუასონის კოეფიციენტი                        | 0.40          |              |
|             | Ed Mpa    | იუნგის დინამიური მოდული                     | 10300         |              |
|             | Gd MPa    | ძვრის დინამიური მოდული                      | 3685          |              |
|             | Kd Mpa    | ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული        | 16711.18      |              |
|             | D Mpa     | საერთო დეფორმაციის მოდული                   | 1414.34       |              |
|             | τ Mpa     | სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე                   | 184.27        |              |
| Vs30, m/sec |           | განივი ტალღის საშუალო სიჩქარე 30მ სიღრმემდე | 418           |              |

### სეისმური პროფილი #2:

ფენი1 ვრცელდება ზედაპირიდან 6.5 – 7.5 მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების სიჩქარეების შემდეგი გასაშუალოებული მნიშვნელობებით:  $V_P = 447$  მ/წმ;  $V_S = 159$  მ/წმ.

ფენი1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 3.5 – 5.5 მ სიმძლავრის ფენი2, გრძივი და განივი ტალღების სიჩქარეების შემდეგი მნიშვნელობებით:  $V_P = 1445$  მ/წმ;  $V_S = 304$  მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს ფენი3, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 30 მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების სიჩქარეების შემდეგი მნიშვნელობებით:  $V_P = 3132$  მ/წმ;  $V_S = 1301$  მ/წმ.



ნახ. 1.3. სეისმოგეოლოგიური კრილი #2.

ცხრილი 1.3. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები

პროფილი #2-სათვის.

| ფენის N     | პარამეტრი | პარამეტრის აღწერა                           | მნიშვნელობები | სიმაღლე, მ |
|-------------|-----------|---------------------------------------------|---------------|------------|
| 1           | Vp m/sec  | გრძივი ტალღის სიჩქარე                       | 447           | 7          |
|             | Vs m/sec  | განივი ტალღის სიჩქარე                       | 159           |            |
|             | Vs/Vp     | სიჩქარეების თანაფარდობა                     | 0.36          |            |
|             | ρ gr/cm^3 | სიმკვრივე                                   | 1.48          |            |
|             | μ         | პუასონის კოეფიციენტი                        | 0.43          |            |
|             | Ed Mpa    | იუნგის დინამიური მოდული                     | 110           |            |
|             | Gd MPa    | ძვრის დინამიური მოდული                      | 37            |            |
|             | Kd Mpa    | ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული        | 245.93        |            |
|             | D Mpa     | საერთო დეფორმაციის მოდული                   | 0.99          |            |
|             | τ Mpa     | სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე                   | -             |            |
| 2           | Vp m/sec  | გრძივი ტალღის სიჩქარე                       | 1445          | 4.5        |
|             | Vs m/sec  | განივი ტალღის სიჩქარე                       | 304           |            |
|             | Vs/Vp     | სიჩქარეების თანაფარდობა                     | 0.21          |            |
|             | ρ gr/cm^3 | სიმკვრივე                                   | 1.99          |            |
|             | μ         | პუასონის კოეფიციენტი                        | 0.48          |            |
|             | Ed Mpa    | იუნგის დინამიური მოდული                     | 540           |            |
|             | Gd MPa    | ძვრის დინამიური მოდული                      | 183           |            |
|             | Kd Mpa    | ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული        | 3900.69       |            |
|             | D Mpa     | საერთო დეფორმაციის მოდული                   | 12.61         |            |
|             | τ Mpa     | სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე                   | 9.17          |            |
| 3           | Vp m/sec  | გრძივი ტალღის სიჩქარე                       | 3132          | 18.5       |
|             | Vs m/sec  | განივი ტალღის სიჩქარე                       | 1301          |            |
|             | Vs/Vp     | სიჩქარეების თანაფარდობა                     | 0.42          |            |
|             | ρ gr/cm^3 | სიმკვრივე                                   | 2.41          |            |
|             | μ         | პუასონის კოეფიციენტი                        | 0.40          |            |
|             | Ed Mpa    | იუნგის დინამიური მოდული                     | 11380         |            |
|             | Gd MPa    | ძვრის დინამიური მოდული                      | 4077          |            |
|             | Kd Mpa    | ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული        | 18193.20      |            |
|             | D Mpa     | საერთო დეფორმაციის მოდული                   | 1659.14       |            |
|             | τ Mpa     | სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე                   | 203.86        |            |
| Vs30, m/sec |           | განივი ტალღის საშუალო სიჩქარე 30მ სიღრმემდე | 411           |            |

გეოფიზიკური კვლევების საფუძველზე განივი ტალღების საშუალო სიჩქარეების მიხედვით გრუნტის ზედა 30 მ ფენში ( $V_{s30}$ ) შეფასდა გრუნტის კატეგორიები, ტიპები და კლასები.

საკვლევი ტერიტორიაზე მიღებული იქნა განივი ტალღების გასაშუალოებული მნიშვნელობები და შესაბამისად შეფასდა გრუნტის კატეგორიები, ტიპები, კლასები როგორც საქართველოში მოქმედი ნორმების მიხედვით, ასევე საერთაშორისო ნორმების (IBC 2006, EUROCODE 8, ASCE 7) მიხედვით.

ამ უბნისათვის განივი ტალღების სიჩქარეების გასაშუალოებული მნიშვნელობა ზედა 30 მ ფენში ( $V_{s30}$ ) მიღებული იქნა **415 მ/წმ** (ყველაზე არახელსაყრელი 5 მეტრიანი ფენისათვის შეადგინა **306 მ/წმ**). აღნიშნული მნიშვნელობა საქართველოში მოქმედი ნორმების მიხედვით შეესაბამება **გრუნტის II კატეგორიას**, ხოლო საერთაშორისო ნორმების მიხედვით განისაზღვრა შემდეგნაირად: **EUROCODE 8 - B ტიპი, IBC 2006 და ASCE 7 – C კლასი**. დეტალურად სიჩქარეების მნიშვნელობები და შესაბამისი კატეგორიები (ტიპები, კლასები) თითოეული პროფილის უბანზე მოცემულია ცხრილ 1.4–ში.

ცხრილი 1.4. განივი ტალღების სიჩქარეების საშუალო მნიშვნელობები და შესაბამისი გრუნტის კატეგორიები (კლასები, ტიპები) თითოეული პროფილის უბნისათვის.

| Prof. N | $V_{s30}$ m/sec<br>( $V_s$ ) | Geo Stand.<br>(DN 01.01-09) | IBC<br>2006 | ASCE - 7 | EUROCODE 8 |
|---------|------------------------------|-----------------------------|-------------|----------|------------|
| 1       | 418 (308)                    | II (II)                     | C           | C        | B          |
| 2       | 411 (304)                    | II (II)                     | C           | C        | B          |

### 1.3. დასკვნა

საკვლევ ტერიტორიაზე ჩატარდა სეისმური პროფილირება გარდატეხილი ტალღების მეთოდით 30 მ სიღრმემდე ინფორმაციის მიღებით. აიგო შესაბამისი სეისმოგეოლოგიური ჭრილები, განისაზღვრა დრეკადი გრძივი და განივი ტალღების გავრცელების სიჩქარეები. ასევე შეფასდა შესაბამისი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები. ანგარიშში წარმოდგენილია 46 მ სიგრძის 2 სეისმური პროფილის ჭრილი, საერთო სიგრძით 92 მ (ნახ. 1.1). ცხრილ 1.1-ში მითითებულია სეისმური პროფილების დასაწყისი და საბოლოო კოორდინატები WGS 84 სისტემაში აბსოლუტურ სიმაღლეებთან ერთად.

გეოფიზიკური პარამეტრების მიხედვით გამოყოფილია სხვადასხვა საინჟინრო-გეოლოგიური ელემენტები (ფენები) და დადგენილია მათში  $V_p$ ,  $V_s$  სიჩქარეების მნიშვნელობების განაწილება. შესაბამისი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილ 1.2-1.3 –ში (ნახ.: 1.2-1.3).

მიღებულ ჭრილზე გეოფიზიკური მონაცემების მიხედვით უმთავრესად დაიკვირვება ფიზიკური თვისებებით განსხვავებული სამი ფენი (იდენტიფიკაცია განხორციელდა ჩვენს მიერ მიღებული მასალისა და დამკვეთის მიერ მოწოდებული გეოლოგიური ინფორმაციის საფუძველზე): ფენი1 – ნაყარი გრუნტი ბეტონის და კენჭების ჩანართებით თიხნარის შემავსებლით და თიხა ნახევრად მყარი; ფენი2 – ქვიშნარი პლასტიური და ხრეში ქვიშის შემავსებლით, ნაწილობრივ წყალგაჯერებული; ფენი3 – ქვიშაქვები საშუალო სიმტკიცის.

გეოფიზიკური კვლევების საფუძველზე განივი ტალღების საშუალო სიჩქარეების მიხედვით გრუნტის ზედა 30 მ ფენში ( $V_{s30}$ ) შეფასდა გრუნტის კატეგორიები, ტიპები, კლასები, როგორც საქართველოში მოქმედი ნორმების მიხედვით, ასევე საერთაშორისო ნორმების მიხედვით (IBC 2006, EUROCODE 8, ASCE 7).

ამ უბნისათვის განივი ტალღების სიჩქარეების გასაშუალოებული მნიშვნელობა ზედა 30 მ ფენში ( $V_{s30}$ ) მიღებული იქნა **415** მ/წმ (ყველაზე არახელსაყრელი 5 მეტრიანი ფენისათვის შეადგინა **306** მ/წმ). აღნიშნული მნიშვნელობა საქართველოში მოქმედი ნორმების მიხედვით შეესაბამება **გრუნტის II კატეგორიას**, ხოლო საერთაშორისო ნორმების მიხედვით განისაზღვრა შემდეგნაირად: **EUROCODE 8 - B ტიპი, IBC 2006 და ASCE 7 - C კლასი**. დეტალურად სიჩქარეების მნიშვნელობები და შესაბამისი კატეგორიები (ტიპები, კლასები) თითოეული პროფილის უბანზე მოცემულია ცხრილ 1.4-ში.

## 2. სამშენებლო უბნის სეისმურობის დაზუსტება

სამშენებლო ტერიტორიის ამგები ფუძე-გრუნტების ძირითადი საინჟინრო-სეისმოლოგიური პარამეტრების და სამშენებლო ტერიტორიის საანგარიშო სეისმურობის დაზუსტების საკითხების შესწავლისას გამოყენებული იქნა:

1. შ.პ.ს. „თბილისეკსპროექტი“-ს მიერ 2024 წელს ჩატარებული საინჟინრო გეოლოგიური კვლევები: „ქ.თბილისი, სპირიდონ კედიას ქუჩა #10ა, ნაკვ. # 01.13.06.008.097/118/119-ში მრავალბინიანი საცხოვრებელი სახლის პროექტი. საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევების ტექნიკური ანგარიში“, თბილისი 2024წ. [2.1];
2. კირიაკ ზავრიევის სამშენებლო მექანიკის და სეისმომდეგობის ინსტიტუტის 1974 წლის სამეცნიერო-ტექნიკური ანგარიში თემაზე: „ქ.თბილისის ტერიტორიის სეისმური მიკროდარაიონება“ [2.2].

სამშენებლო მოედნის სეისმურობის დაზუსტება ხორციელდება სეისმური სიხისტეების მეთოდით, რომელიც გულისხმობს სეისმურობის დაზუსტებას, ეტალონური გრუნტის აკუსტიკური სიხისტის შედარებით საკვლევი გრუნტის სიხისტესთან და იანგარიშება შემდეგი ფორმულით [2.3, 2.4, 2.5]:

$$I = I_0 + \Delta I \quad (2.1)$$

სადაც,  $I$  არის დაზუსტებული ბალიანობის მნიშვნელობა;  $I_0$  - ეტალონური გრუნტის ბალიანობა, რომელიც განისაზღვრება სეისმური მიკროდარაიონებით;  $\Delta I$  - ბალიანობის ნამატი, რომელიც განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$\Delta I = \Delta I_\delta + \Delta I_\varphi \quad (2.2)$$

სადაც,  $\Delta I$  - იგივეა რაც (2.1)-ში;  $\Delta I_\delta$  - სეისმურობის ნაზრდი სამშენებლო მოედანზე არსებული გრუნტის თვისებების ცვლილებების გამო ეტალონურთან შედარებით;  $\Delta I_\varphi$  - სეისმურობის ნაზრდი გამოწვეული გრუნტის წყალგაჯერებულობის გამო.

$\Delta I_\delta$  სიდიდის მნიშვნელობა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$\Delta I_\delta = 1.67 \lg (V_0 \times \rho_0 / V_i \times \rho_i) \quad (2.3)$$

სადაც,  $V_0$  და  $\rho_0$  არის ეტალონური გრუნტისათვის შესაბამისად დრეკადი განივი (ან გრძივი) ტალღის სიჩქარე და სიმკვრივე,  $V_i$  და  $\rho_i$  არის საკვლევი გრუნტისათვის შესაბამისი სიჩქარე და სიმკვრივე.

რაც შეეხება წყალგაჯერებით გამოწვეულ ნაზრდს, იგი ქვიშებისათვის, პლასტიკური და დენადი თიხაქვიშებისათვის და თიხებისათვის იანგარიშება ფორმულით:

$$\Delta I_{\text{ფ}} = 1,0 \times E^{-0.04h^2} \quad (2.4)$$

სადაც  $h$  – გრუნტის წყლის მდებარეობის საანგარიშო დონეა მეტრებში.

[2.2] ნაშრომის მიხედვით ქ. თბილისის სეისმური მიკროდარაიონებითი სამუშაოების შესრულებისას ეტალონურ გრუნტად მიღებულ იქნა ქვიშაქვები არგილიტების მონაცვლეობით, რომელიც ხასიათდება შემდეგი დინამიური მახასიათებლებით: გრძივი ტალღის გავრცელების სიჩქარე  $V_{p0}=2000$  მ/წმ;  $V_{s0}=800$  მ/წმ; სიმკვრივე  $\rho_0=2400$  კგ/მ<sup>3</sup>, ხოლო მათი სეისმურობა დღეისათვის შეფასებულია 7 ბალით.

სამშენებლო ნორმების პნ 01.01-09 [2.6], ცხრილი 1-ის მე-2 შენიშვნის შესაბამისად „სამშენებლო მოედნის არაერთგვაროვანი გრუნტების შემთხვევაში, თავისი სეისმური თვისებებით, ისინი მიეკუთვნებიან უფრო არახელსაყრელ გრუნტის კატეგორიას, თუ გრუნტის 10 მ-იან შრის ფარგლებში (დაგეგმარების ნიშნულიდან) არახელსაყრელი შრე ხასიათდება 5 მ-ზე მეტი სისქით“.

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით სამშენებლო მოედანზე საკვლევი გრუნტისათვის  $V_i$  და  $\rho_i$  -ის გასაშუალოებული მნიშვნელობები დადგენილია [2.1]-ის და წინამდებარე ანგარიშის პირველ თავში აღწერილი სიდიდეების გასაშუალოებული სტატისტიკური მახასიათებლების მიხედვით და შესაბამისად შეადგენს: 30 მეტრიანი შრისათვის -  $V_{p30}=1456 \pm 11$  მ/წმ;  $V_{s30}=414 \pm 4$  მ/წმ;  $\rho_{30}=2049 \pm 5$  კგ/მ<sup>3</sup>; ყველაზე არახელსაყრელი 5 მეტრიანი შრისათვის -  $V_p = 1236 \pm 20$  მ/წმ;  $V_s = 306 \pm 2$  მ/წმ;  $\rho = 1985 \pm 5$  კგ/მ<sup>3</sup>.

საინჟინრო-გეოლოგიური მონაცემების [2.1] სტანდარტული სტატისტიკური დამუშავების მიხედვით გრუნტის წყლის მდებარეობის საანგარიშო დონე შეადგენს:

$h = 6.96 \pm 0.36$  მეტრს.

აღნიშნული სიდიდეების გათვალისწინებით (უმცირესის) ბალანობის ნამატი ეტალონური ბალანობა 7-ისათვის შეადგენს

$$\Delta I = 1.67 \lg [(2000 \times 2400) / ((1236 \pm 20) \times (1985 \pm 5))] + \\ + 2.718281828^{(-0.04 \times (6.96 \pm 0.36)^2)} = 0.633265 \pm 0.013658 (+ 1 \text{ ბალი})$$

ან

$$\Delta I = 1.67 \lg [(800 \times 2400) / ((306 \pm 2) \times (1985 \pm 5))] + \\ + 2.718281828^{(-0.04 \times (6.96 \pm 0.36)^2)} = 0.980934 \pm 0.004197 (+ 1 \text{ ბალი})$$

სამშენებლო ტექნიკური რეგლამენტის „სეისმომედეგი მშენებლობა“ [2.6] მე-3 მუხლის მე-15 პუნქტის მიხედვით, იმავე დოკუმენტის 1-ლი და მე-2 დანართებში განსაზღვრული საანგარიშო ბალი და პიკური ჰორიზონტალური აჩქარების მნიშვნელობები მიეკუთვნება საშუალო (მე-II კატეგორიის) სეისმური თვისებების გრუნტებს, რომლებისათვისაც გრუნტების პარამეტრები  $V_{p0}=500-700$  მ/წმ,  $V_{s0}=250-350$  მ/წმ და  $\rho_0=1700-1800$  კგ/მ<sup>3</sup> [2.3, 2.4, 2.5], ხოლო საწყისი ბალანობა 8. თუ ბალანობის ნამატს დავითვლით საშუალო გრუნტებისათვის მივიღებთ, რომ

$$\Delta I = 1.67 \lg [(600 \pm 100) \times (1750 \pm 50) / ((1236 \pm 20) \times (1985 \pm 5))] + \\ + 2.718281828^{(-0.04 \times (6.96 \pm 0.36)^2)} = -0.336789 \pm 0.013658 (- 0 \text{ ბალი})$$

ან

$$\Delta I = 1.67 \lg [(300 \pm 50) \times (1750 \pm 50) / ((306 \pm 2) \times (1985 \pm 5))] + \\ + 2.718281828^{(-0.04 \times (6.96 \pm 0.36)^2)} = 0.069715 \pm 0.004197 (+ 0 \text{ ბალი})$$

აკუსტიკური სიხისტეების მეთოდით სამშენებლო ტერიტორიაზე ანგარიშით მიღებული ბალანობის ნაზრდმა შეადგინა: ეტალონური ბალანობა 7-ისათვის  $\Delta I = 0.980934 \pm 0.004197 (+ 1 \text{ ბალი})$ , ხოლო ეტალონური ბალანობა 8-ისათვის  $\Delta I = 0.069715 \pm 0.004197 (+ 0 \text{ ბალი})$ , ესეიგი დაზუსტებული ბალანობის მნიშვნელობა და შესაბამისად საანგარიშო სეისმურობა სამშენებლო მოედნისათვის შეადგენს **I = 8** ბალს.

სამშენებლო ტექნიკური რეგლამენტის „სეისმომედეგი მშენებლობა“ [2.6] მე-3 მუხლის მე-16 პუნქტის მიხედვით, ვინაიდან სამშენებლო უბნის სეისმურობა არ იცვლება, ამიტომ იმავე დოკუმენტის 1-ლი დანართით განსაზღვრული მაქსიმალური ჰორიზონტალური აჩქარების მნიშვნელობა, რომელიც ქ. თბილისისათვის შეადგენს 0.17g-ს, უნდა დარჩეს უცვლელი ან დაკორექტირდეს შემდეგი ფორმულით [2.4, 2.5]:

$$\lg A/A_0 = [1.67 \lg [(V_0 \times \rho_0)/(V_i \times \rho_i) + 1,0 \times E^{-0.04h^2}]/3.3 \quad (2.5)$$

$$A/A_0 = 10^{[1.67 \lg [(V_0 \times \rho_0)/(V_i \times \rho_i) + 1,0 \times E^{-0.04h^2}]/3.3} \quad (2.6)$$

სადაც, A საკვლევი უბნის გრუნტის მაქსიმალური აჩქარების მნიშვნელობა;  $A_0$  - იგივე ეტალონურ გრუნტში (ქ. თბილისისათვის 0.17 g);  $V_0$  და  $\rho_0$  არის [2.2, 2.3, 2.4, 2.5]-ში მითითებული ეტალონური და საშუალო გრუნტების პარამეტრები: ეტალონური ბალიანობა 7-ისათვის -  $V_{P0}=2000$  მ/წმ,  $\rho_0=2400$  კგ/მ<sup>3</sup>; ეტალონური ბალიანობა 8-ისათვის -  $V_{P0}=500-700$  მ/წმ,  $V_{S0}=250-350$  მ/წმ,  $\rho_0=1700-1800$  კგ/მ<sup>3</sup>,  $h = 6.96 \pm 0.36$  მეტრი, ხოლო  $V_i$  და  $\rho_i$  არის საკვლევი გრუნტისათვის შესაბამისად გრძივი ან განივი ტალღის სიჩქარე და სიმკვრივე და შეადგენს:  $V_P = 1236 \pm 20$  მ/წმ;  $V_S = 306 \pm 2$  მ/წმ;  $\rho = 1985 \pm 5$  კგ/მ<sup>3</sup> ე.ი.

ეტალონური ბალიანობა 7-ისათვის

$$\lg A/A_0 = \{1.67 \lg [(2000 \times 2400) / ((1236 \pm 20) \times (1985 \pm 5))] + 2.718281828^{(-0.04 \times (6.96 \pm 0.36)^2)} / 3.3\} = 0.191898 \pm 0.004139$$

ან

$$\lg A/A_0 = \{1.67 \lg [(800 \times 2400) / ((306 \pm 2) \times (1985 \pm 5))] + 2.718281828^{(-0.04 \times (6.96 \pm 0.36)^2)} / 3.3\} = 0.297253 \pm 0.001272$$

ეტალონური ბალიანობა 8-ისათვის

$$\lg A/A_0 = \{1.67 \lg [(600 \pm 100) \times (1750 \pm 50) / ((1236 \pm 20) \times (1985 \pm 5))] + 2.718281828^{(-0.04 \times (6.96 \pm 0.36)^2)} / 3.3\} = -0.102057 \pm 0.004139$$

ან

$$\lg A/A_0 = \{1.67 \lg [(300 \pm 50) \times (1750 \pm 50) / ((306 \pm 2) \times (1985 \pm 5))] + 2.718281828^{(-0.04 \times (6.96 \pm 0.36)^2)} / 3.3\} = 0.021126 \pm 0.001272$$

შესაბამისად

ეტალონური ბალიანობა 7-ისათვის

$$A = 10^{[0.191898 \pm 0.004139]} \times 0.085\text{g} = [1.555672 \pm 0.014825] \times 0.085\text{g} = 0.13223 \pm 0.00126\text{ g}$$

ან

$$A = 10^{[0.297253 \pm 0.001272]} \times 0.085\text{g} = [1.982689 \pm 0.005806] \times 0.085\text{g} = 0.16853 \pm 0.00049\text{ g}$$

ეტალონური ბალიანობა 8-ისათვის

$$A = 10^{[-0.102057 \pm 0.004139]} \times 0.17\text{g} = [0.790610 \pm 0.007534] \times 0.17\text{g} = 0.13440 \pm 0.00128\text{ g}$$

ან

$$A = 10^{[0.021126 \pm 0.001272]} \times 0.17\text{g} = [1.049851 \pm 0.003074] \times 0.17\text{g} = 0.17847 \pm 0.00052\text{ g}$$

ანალიზის შედეგად მივიღეთ, რომ კორექტირებული ჰორიზონტალური აჩქარების მნიშვნელობა შეადგენს **0.179 g-ს (1.756 მ/წმ²)**.

ტოპოგრაფიული რუკის (გეგმის) ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სამშენებლო მოედნიდან მდინარე მტკვრის მიმართულებით რელიეფის დახრა შეადგენს 1 – 3° -ს, რაც არ აღემატება 15°-ს, ამიტომ რელიეფის (ტოპოგრაფიული) გაძლიერების კოეფიციენტის გათვალისწინება აუცილებელი არ არის (პნ 01.01-09 მუხლი 3, პ17 [2.6], EN 1998-5. 2004. A დანართი, პუნქტი A.2 [2.7]).

ე.ი. ვღებულობთ, რომ საანგარიშო ჰორიზონტალური აჩქარების მნიშვნელობა შეადგენს **0.179 g-ს (1.756 მ/წმ²)**.

(მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტში 2021 წელს შედგენილი ახალი საშიშროების რუკების დანართი #3-ის მიხედვით, ქ. თბილისის მოცემული უბნისათვის პიკური ჰორიზონტალური აჩქარების მნიშვნელობა სეისმური საშიშროების გადაჭარბების 10 და 2 %-იანი ალბათობისათვის 50 წ მოლოდინის დროისთვის და 475 და 2475 წ. განმეორებადობის პერიოდისთვის შეადგენს შესაბამისად: **0.327** და **0.617 g-ს**.

დედამიწის ფიზიკის ინსტიტუტის მიერ 2019 წელს შედგენილი ახალი საშიშროების რუკების დანართის მიხედვით, მოცემული უბნისათვის პიკური ჰორიზონტალური აჩქარების მნიშვნელობა სეისმური საშიშროების გადაჭარბების 10 და 2 %-იანი ალბათობისათვის 50 წ მოლოდინის დროისთვის და 475 და 2475 წ. განმეორებადობის პერიოდისთვის შეადგენს შესაბამისად: **0.290** და **0.600 g-ს**.

ორივე დოკუმენტი ოფიციალურად მიღებული არ არის).

### 3. აქსელეროგრამების პაკეტის შერჩევა

#### 3.1 აქსელეროგრამების შერჩევა ზოგადი პრინციპებით

სამშენებლო ობიექტისათვის საანგარიშო აქსელეროგრამების პაკეტის შერჩევას ძირითადად ახორციელებენ შესასწავლი ტერიტორიის სეისმოლოგიური მონაცემების, ჩამწერი სეისმომეტრიული სადგურების მონაცემების, ტერიტორიის ლოკალური პატამეტრების და საპროექტო შენობების მოდალური მახასიათებლების მიხედვით.

ნახ. 3.1-ზე ილუსტრაციის მიზნით წარმოდგენილია აქსელეროგრამის შერჩევა მოსალოდნელი მიწისძვრის ისეთი კრიტერიუმებით, როგორიცაა: მიწისძვრის სახელი; ქვეყანა; რეგიონები; თარიღი; ეპიცენტრალური კოორდინატები; ფოკალური სიღრმე; მაგნიტუდა; ეპიცენტრალური ინტენსივობა; მიწისძვრის მექანიზმი.

**Earthquake criteria**   [Station criteria](#)   [Waveform criteria](#)

Earthquake Name: ☐ Achaia

Earthquake Country: ☐ Albania

Flinn-Engdahl Region: ☐ Adriatic Sea

Date (dd/mm/yyyy): ☐ 11/03/1933 - 26/11/2018

Epicentre Latitude: ☐ 0.00 ° - 90.00 ° (N is positive)

Epicentre Longitude: ☐ -180.00 ° - 180.00 ° (E is positive)

Focal Depth: ☐ 0 km - 700 km

Magnitude: ☐ 0 - 9 (any scale)

Epicentral Intensity: ☐ I - I (any scale)

Fault Mechanism: ☐ normal

ნახ. 3.1 აქსელეროგრამის შერჩევა მიწისძვრის კრიტერიუმებით.

ნახ. 3.2-ზე ილუსტრაციის მიზნით წარმოდგენილია აქსელეროგრამის შერჩევა ჩამწერი სეისმომეტრიული სადგურის ისეთი კრიტერიუმებით, როგორიცაა: ჩამწერი სადგურის ნომერი; ლოკაციის კოორდინატები; შენობის ტიპი; ლოკალური გეოლოგია; 30 მეტრიანი ფენის განივი ტალღის საშუალო სიჩქარე.

**Station criteria** [Earthquake criteria](#) [Waveform criteria](#)

Station Name: ☐ 31km (A380 road) ▼

Station Country: ☐ Albania ▼

Location Latitude: ☐ 0.00 ° - 90.00 ° (N is positive)

Location Longitude: ☐ -180.00 ° - 180.00 ° (E is positive)

Building Type: ☐ unknown ▼

Local Geology: ☐ unknown ▼

Vs<sub>30m</sub>: ☐ 0 m/s - 3000 m/s

ნახ. 3.2 აქსელეროგრამის შერჩევა სეისმური სადგურის მონაცემებით.

ნახ. 3.3-ზე ილუსტრაციის მიზნით წარმოდგენილია აქსელეროგრამის შერჩევა მიწისძვრის ტალღების ისეთი კრიტერიუმებით, როგორიცაა: ეპიცენტრალური და ჰიპოცენტრალური მანძილი; კუთხის აზიმუტი; ლოკალური ინტენსივობა; პიკური ჰორიზონტალური აჩქარება, პიკური ვერტიკალური აჩქარება.

**Waveform criteria** [Earthquake criteria](#) [Station criteria](#)

Epicentral-Distance: ☐ 0 km - 600 km

Fault-Distance: ☐ 0 km - 600 km

Source-Station Azimuth: ☐ 0 ° - 360 °

Local Intensity: ☐ I ▼ - I ▼

PHA: ☐ 0 m/s<sup>2</sup> - 30 m/s<sup>2</sup>

PVA: ☐ 0 m/s<sup>2</sup> - 30 m/s<sup>2</sup>

ნახ. 3.3 აქსელეროგრამის შერჩევა მიწისძვრის ტალღების კრიტერიუმებით.

ჩვენ შემთხვევაში საინჟინრო-გეოლოგიური მონაცემები აღებულია საინჟინრო გეოლოგიური კვლევების დასკვნიდან [2.1], ხოლო სიჩქარეები წინამდებარე ნაშრომის 1-ლი და მე-2 თავებიდან.

როგორც ზევით ავღნიშნეთ აქსელეროგრამების შერჩევისას (განსაკუთრებით მაღალი შენობებისათვის) მნიშვნელოვანია მოდელი „შენობა-გრუნტი“-ს მოდალური მახასიათებლების ცოდნა.

ცნობილია, რომ ერთნაირ სეისმოლოგიურ უბნებზე განთავსებული სხვადასხვა ფერდობისა და გეოლოგიური სტრუქტურის მქონე ფუძე-გრუნტებზე განთავსებული ნაგებობები მიწისძვრის დროს ღებულობს სხვადასხვა რეაქციას, შესაბამისად უმნიშვნელოვანესია ნაგებობების დინამიკური მახასიათებლების ცოდნა სამშენებლო მოედანზე არსებული ფუძე-გრუნტების გათვალისწინებით.

როდესაც უცნობია „ნაგებობა-ფუძე-გრუნტი“ მოდელის მოდალური ანალიზის შედეგები: დომინანტური რხევების პერიოდები, ფორმები, მასათა განაწილება და სხვა, მაშინ უნდა ვისარგებლოთ მიახლოებითი მაჩვენებლებით, როგორც ფუძე-გრუნტებისათვის, ასევე დასაპროექტებელი შენობისათვის.

ფუძე-გრუნტების რეზონანსული რხევების პერიოდის განსაზღვრა შესაძლებელია შემდეგი ფორმულით [3.1]

$$T_{რეზ, n} = 4 * H / [V_s * (2n-1)] \quad (3.1)$$

სადაც,  $T_{რეზ}$  საკვლევ უბანზე გრუნტის რეზონანსული რხევების პერიოდია, წმ;  $H$  - ფენის (შრის) სიმაღლე მ;  $V_s$  განივი სეისმური ტალღის გავრცელების სიჩქარე, მ/წმ;  $n$  - რხევის ფორმა. საკვლევი გრუნტისათვის შესაბამისად განივი სეისმური ტალღის სიჩქარე შეადგენს  $V_s = 306 \pm 2$  მ/წმ.

$$T_{რეზ, 1} = 4 * 30 / [(306 \pm 2) * 1] = 0.392161 \pm 0.001282 \text{ წმ}$$

$$T_{რეზ, 2} = 4 * 30 / [(306 \pm 2) * 3] = 0.130720 \pm 0.000427 \text{ წმ}$$

საპროექტო შენობების სართულიანობა (ავტოსადგომის ჩათვლით) შეადგენს მაქსიმუმ 19 - ს, ამიტომ დომინანტური რხევების პერიოდი მიიღება მიახლოებითი ფორმულით

$$T_1 = (0.1 \div 0.125) * N \quad (3.2)$$

სადაც,  $T_1$  - შენობის საკუთარი რხევების პირველი პერიოდია, წმ;  $N$  - შენობაში სართულშუა გადახურვების რიცხვი;  $(0.1 \div 0.125)$  კოეფიციენტები აიღება გრუნტის არაწრფივი სეისმური თვისებების გათვალისწინებით. შესაბამისად

$$T_1 = (0.1 \div 0.125) \times 19 = 1.90000 \div 2.37500 \text{ წმ}$$

აქსელეროგრამების პაკეტის შერჩევა (მიწისძვრების ჩანაწერების დომინანტური პერიოდების მიხედვით) განხორციელდა გრუნტების რეზონანსული და შენობების საკუთარი რხევების პერიოდების აღნიშნულ სპექტრალურ ზოლში.

### 3.2 აქსელეროგრამების შერჩევა პაკეტისათვის და ნორმირება ერთეულ სიდიდეზე

საანგარიშო აქსელეროგრამების პაკეტის შერჩევისათვის გამოყენებულ იქნა, ინტერნეტის ქსელში მოძიებული რესურსები, კერძოდ - ბერკლის უნივერსიტეტის „Pacific Earthquake Engineering Research Center: NGA Database“, გაერთიანებული ევროპის პროექტის „Internet-Site for European Strong-Motion DataBase“ და იტალიური აქსელერომეტრიული არქივის - Italian Accelerometric Archive მონაცემთა ბანკში არსებული აქსელეროგრამები. ქვემოთ მოყვანილია ინტერნეტ საიტები სადაც შესაძლებელია ძლიერი მიწისძვრების ჩანაწერების მოძიება და შერჩევა.

International Strong Motion Databases

Global databases: [PEER Strong Motion Database](#), [COSMOS Consortium of Organizations for Strong Motion Observation Systems](#), [Center for Engineering Strong-Motion Data](#)

National databases: [Strong-Motion Sismograph Networks \(K-NET, KiK-net\) \(Japan\)](#), [Strong Motion Database of Turkey](#), [Italian Accelerometric Archive](#), [Euroseistest database \(Greece\)](#), [Unified Hellenic Accelerogram Database \(Greece\)](#), [Swiss National Strong Motion Network](#), [Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering \(Greece\)](#), [Guerrero Accelerograph Network \(Mexico\)](#), [GeoNet \(New Zealand\)](#).

კვლევების შედეგად მონაცემთა ბაზებიდან მოძიებულ იქნა ორმოცამდე სამკომპონენტო ჩანაწერი.

საინჟინრო-სეისმომეტრული ინფორმაციის დამუშავების და გამოყენების სახელმძღვანელოებში და რეკომენდაციებში [3.2] დეტალურადაა აღწერილი სამუშაო მეთოდოლოგია და ამიტომ მათ აღწერას აქ არ მოვიყვანთ.

ავლნიშნავთ მხოლოდ აქსელეროგრამების ნორმირების პროცესს: სამკომპონენტიანი აქსელეროგრამების  $X$  და  $Y$  მდგენელების კვადრატები ჯამდება და მიღებული შედეგიდან ამოიღება კვადრატული ფესვი ( $\text{SQRT}(X^2+Y^2)$ ). მიღებული შედეგებიდან იღებნება მაქსიმალური მნიშვნელობა და ამ სიდიდეზე იყოფა თითოეული ჩანაწერი ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  მდგენელები). გამოთვლები ჩატარდა ლიცენზირებული პროგრამების SeismoSignal 2021-ის, SeismoSpect 2021-ის და PRISM-2025-ის გამოყენებით.

მშენებარე მრავალსართულიანი შენობებისათვის, ტერიტორიის საინჟინრო-სეისმოლოგიური პარამეტრებისა და შენობის დინამიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით, საბოლოოდ შერჩეულ იქნა შემდეგი აქსელეროგრამები:

- 1979 წლის 15 აპრილის „Montenegro“-ს მიწისძვრის სამკომპონენტიანი ჩანაწერი;
- 1986 წლის 13 სექტემბრის „Kalamata“-ს მიწისძვრის სამკომპონენტიანი ჩანაწერი;
- 1988 წლის 7 დეკემბრის „Spitak“-ის მიწისძვრის სამკომპონენტიანი ჩანაწერი;
- 1990 წლის 5 მაისის „Potenza“-ს მიწისძვრის სამკომპონენტიანი ჩანაწერი;
- 1999 წლის 17 აგვისტოს „Izmit“-ის მიწისძვრის სამკომპონენტიანი ჩანაწერი;
- 2002 წლის 25 აპრილის „Tbilisi“-ს მიწისძვრის სამკომპონენტიანი ჩანაწერი;
- 2003 წლის 1 მაისის „Bingol“-ის მიწისძვრის სამკომპონენტიანი ჩანაწერი.

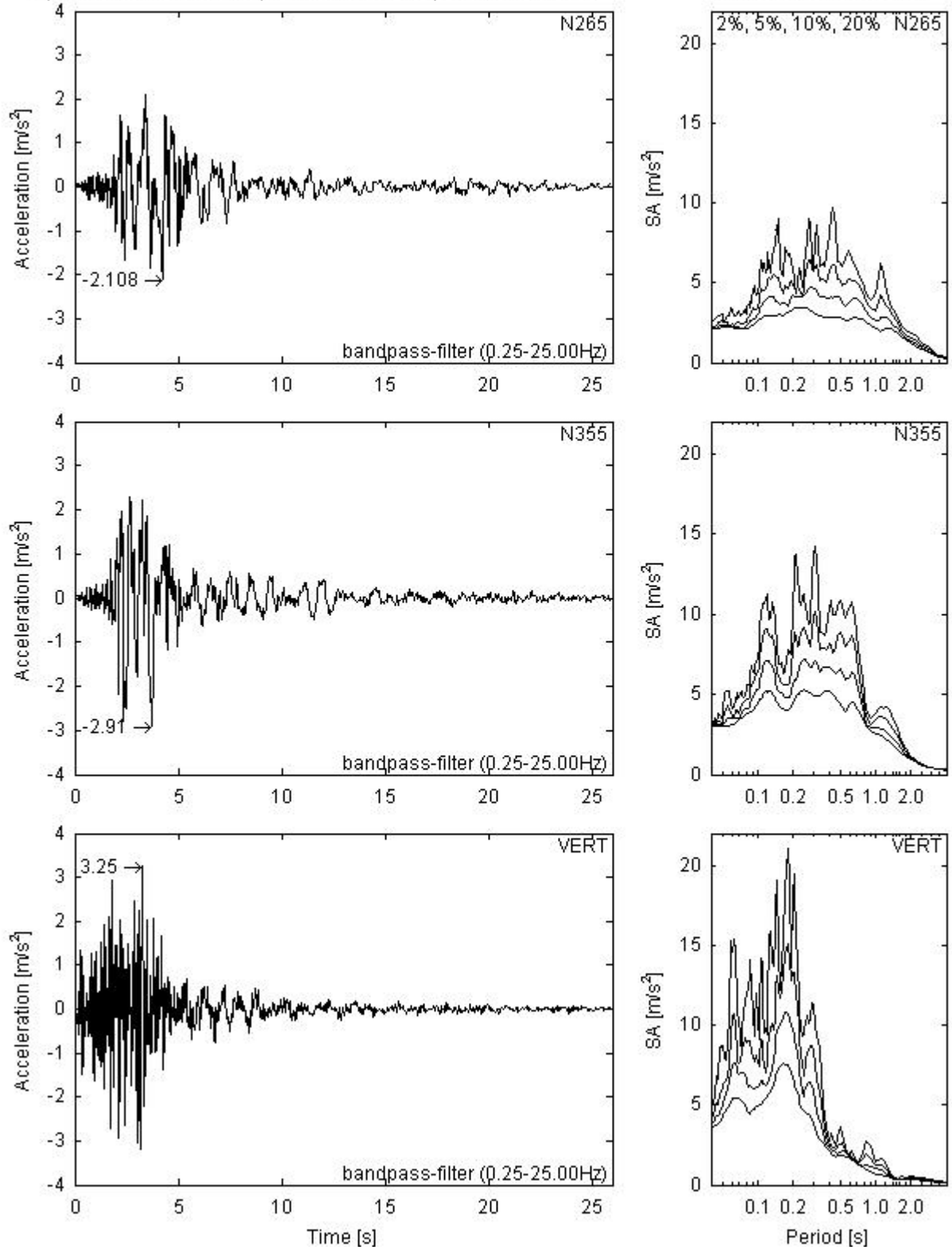
ქვევით ნახ. 3.4-3.10-ზე მოყვანილია მიწისძვრის ორიგინალი ჩანაწერები და შესაბამისი სპექტრები, ნახ. 3.11-3.17-ზე კი შერჩეული აქსელეროგრამებისათვის გამოთვლილი ნორმირებული ჩანაწერები და ნორმირებული სპექტრები. გაანგარიშების დროს, ნორმირებული აქსელეროგრამები უნდა გამრავლდეს საანგარიშო აჩქარების მნიშვნელობაზე -  **$0.179 \text{ g} \approx 1.756 \text{ მ/წმ}^2$**  (დამატებითი კოეფიციენტების შერჩევა დამოკიდებულია ანალიზის ტიპზე). აღნიშნული აქსელეროგრამების ორიგინალური და ნორმირებული ჩანაწერები ციფრული სახით მოცემულია ელექტრონულ ვერსიაში, რომელიც თანერთვის წინამდებარე ანგარიშს.

earthquake: Kalamata, 13.09.1986 17:24:34UTC, magnitude: 5.9Mw, fault mechanism: normal

station: Kalamata-Prefecture, building-type: structure related free-field, local geology: stiff soil

epicentral distance: 10km, fault distance: 0km, instrument: SMA-1

waveform code: 000413



Stavarakakis, G., Kalogeras, I. and Drakopoulos, J. (1993)

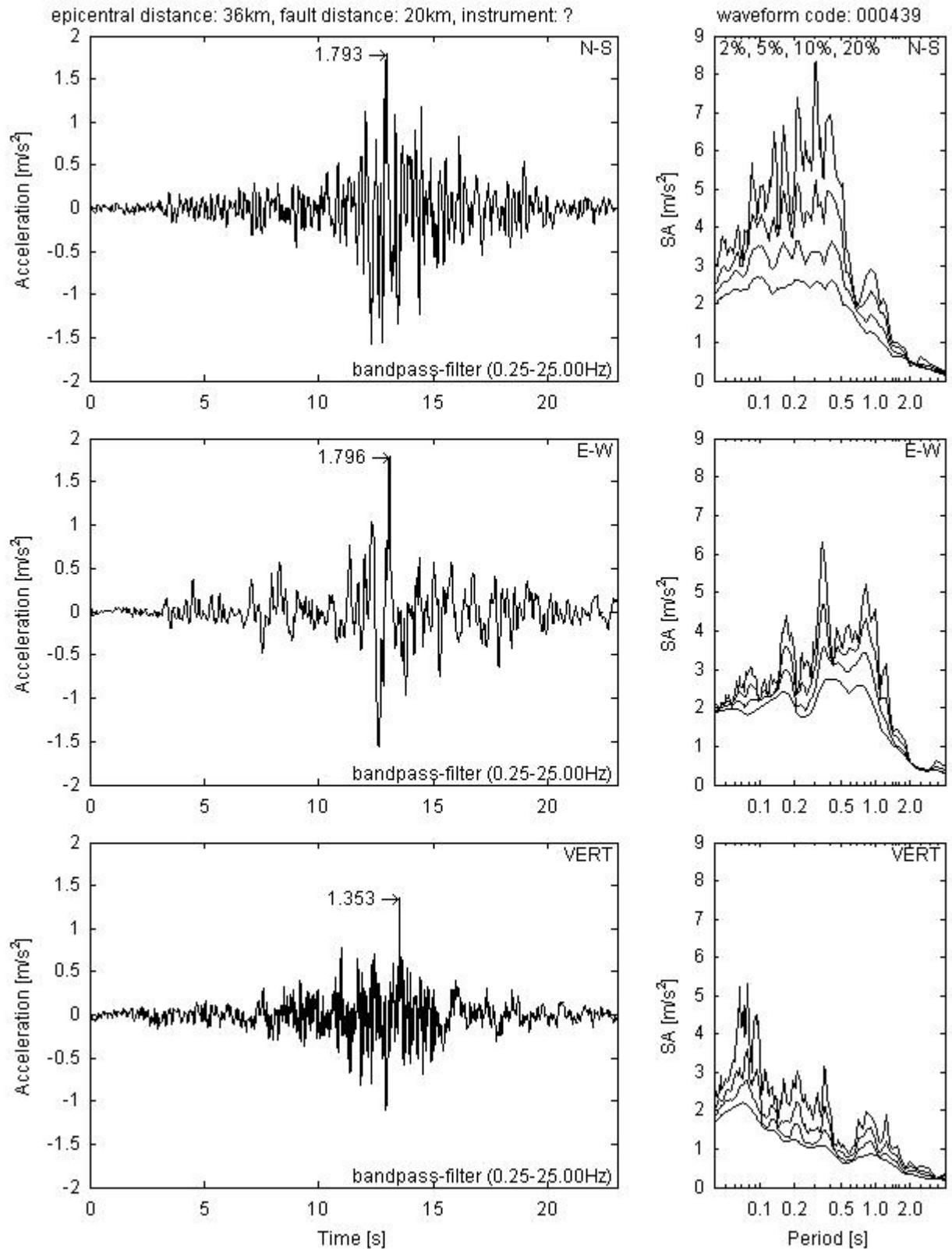
ნახ. 3.4. 1986 წლის 13 სექტემბრის „Kalamata“-ს მიწისძვრის

ჩანაწერები და შესაბამისი სპექტრები.

earthquake: Spitak, 07.12.1988 07:41:24UTC, magnitude: 6.7Mw, fault mechanism: thrust

station: Gukasian, building-type: free-field, local geology: soft soil

epicentral distance: 36km, fault distance: 20km, instrument: ?

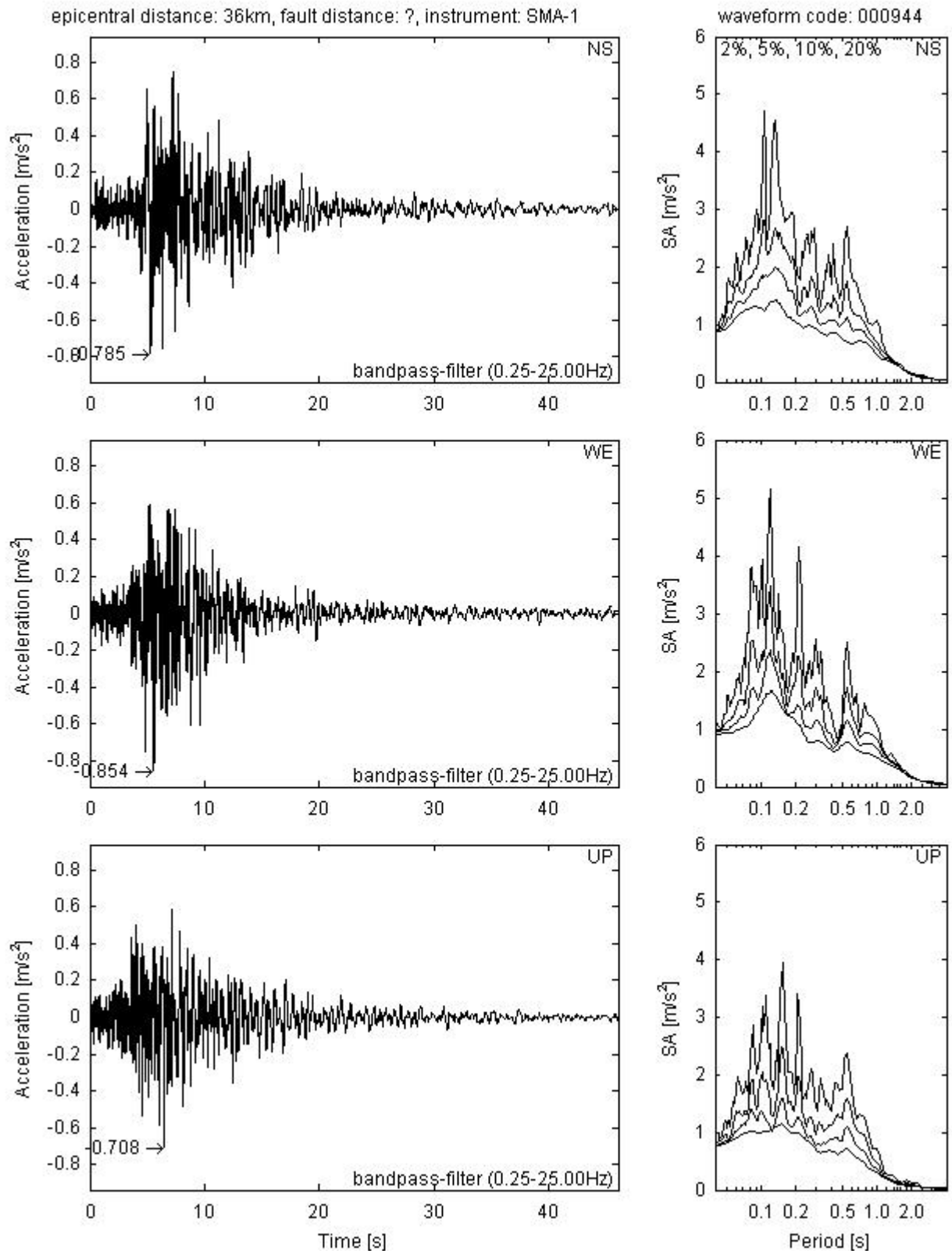


Sobolev, G., Tyupkin, Yu., Frolov, I., Sergeva, N., Arefiev, S., Govorov, A., Rogozhin, E., Tatevasyan, R., Zhizhii

ნახ. 3.5. 1988 წლის 7 დეკემბრის „Spitak“-ის მიწისძვრის

ჩანაწერები და შესაბამისი სპექტრები.

earthquake: Potenza, 05.05.1990 07:21:17UTC, magnitude: 5.8Mw, fault mechanism: strike slip  
 station: Rionero in Vulture, building-type: free-field, local geology: stiff soil  
 epicentral distance: 36km, fault distance: ?, instrument: SMA-1



Ambraseys, N., Smit, P., Berardi, R., Rinaldis, D., Cotton, F. and Berge, C. (2000)

ნახ. 3.6. 1990 წლის 5 მაისის „Potenza“-ს მიწისძვრის

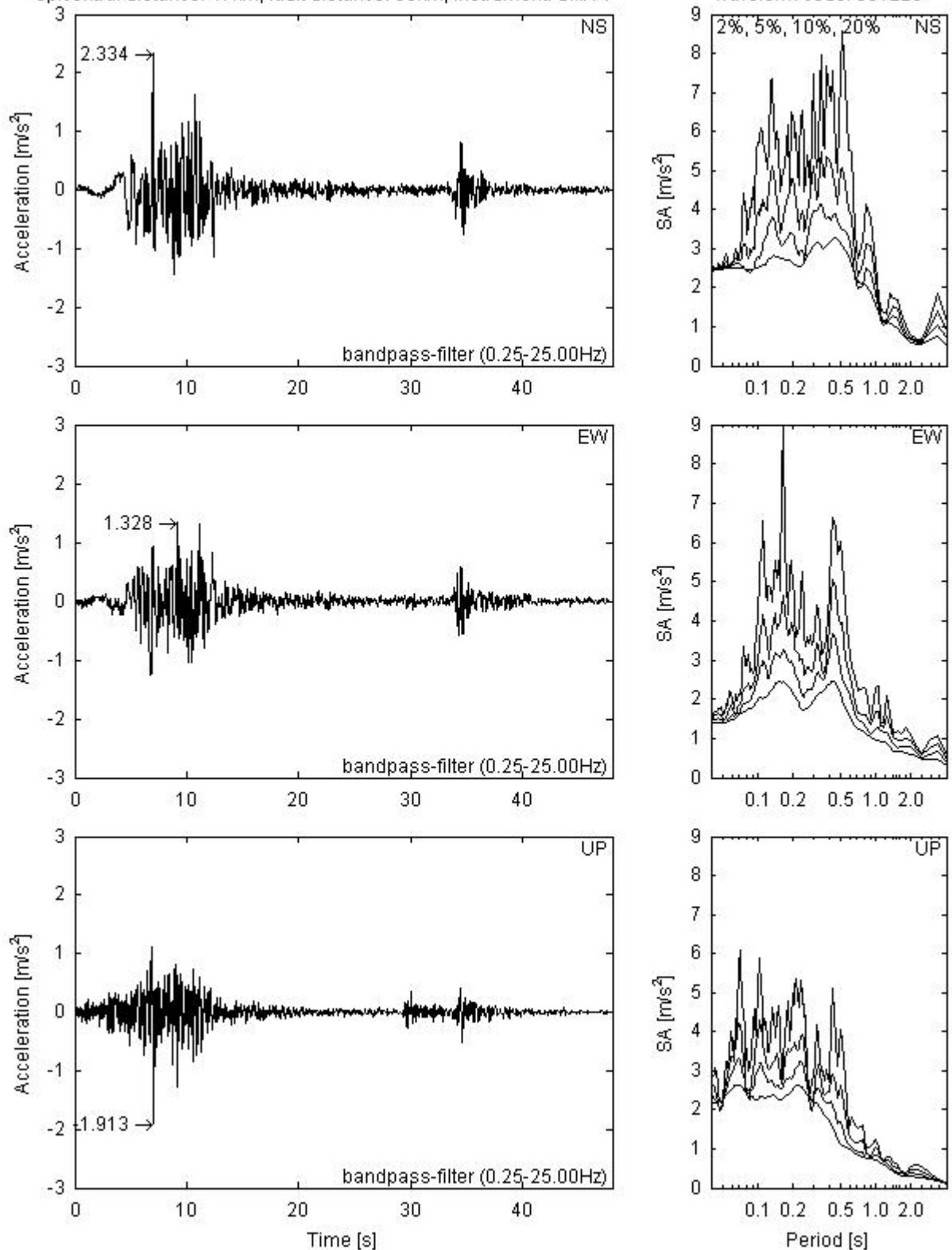
ჩანაწერები და შესაბამისი სპექტრები.

earthquake: Izmit, 17.08.1999 00:01:40UTC, magnitude: 7.6Mw, fault mechanism: strike slip

station: Gebze-Tubitak Marmara Arastirma Merkezi, building-type: structure related free-field, local geology:

epicentral distance: 47km, fault distance: 30km, instrument: SMA-1

waveform code: 001228

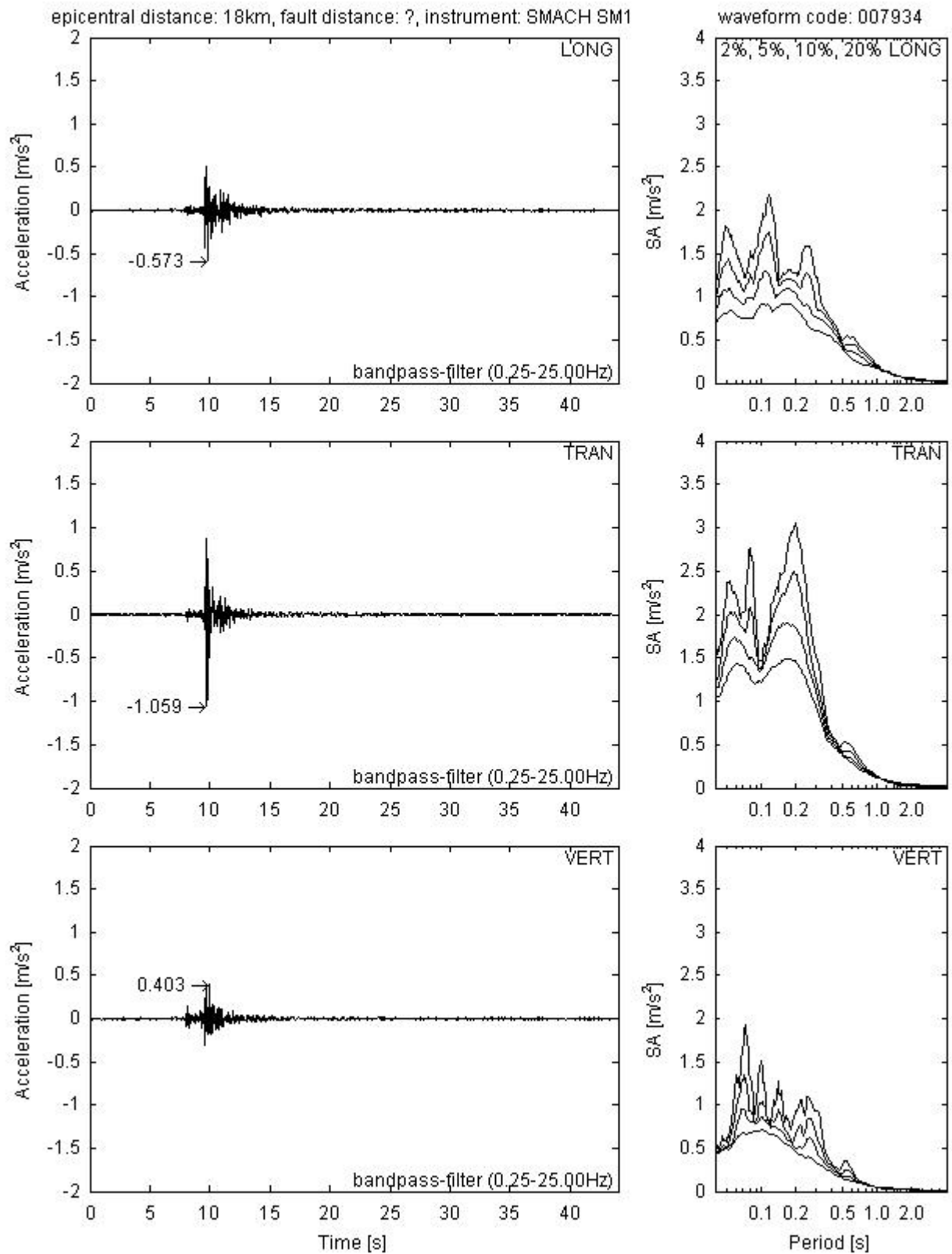


General Directorate of Disaster Affairs

ნახ. 3.7. 1999 წლის 17 აგვისტოს „Izmit“-ის მიწისძვრის

ჩანაწერები და შესაბამისი სპექტრები.

earthquake: Tbilisi, 25.04.2002 17:41:22UTC, magnitude: 4.8Mw, fault mechanism: oblique  
 station: Tbilisi-Seismic Observatory, building-type: structure related free-field, local geology: rock  
 epicentral distance: 18km, fault distance: ?, instrument: SMACH SM1



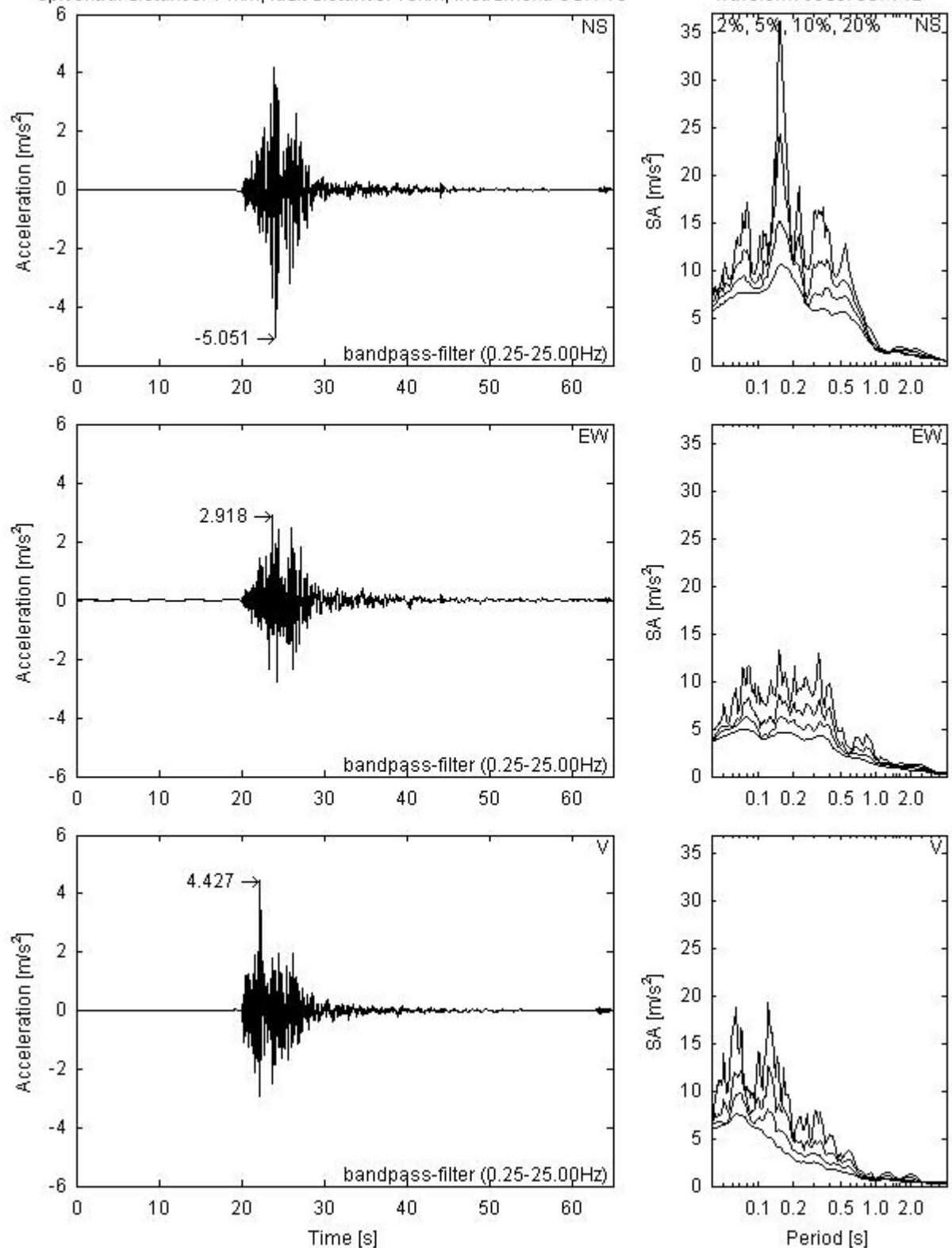
ნახ. 3.8. 2002 წლის 25 აპრილის „Tbilisi“-ს მიწისძვრის  
 ჩანაწერები და შესაბამისი სპექტრები.

earthquake: Bingol, 01.05.2003 00:27:04UTC, magnitude: 6.3Mw, fault mechanism: strike slip

station: Bingol-Bayindirlik Murlugu, building-type: free-field, local geology: rock

epicentral distance: 14km, fault distance: 10km, instrument: GSR-16

waveform code: 007142



General Directorate of Disaster Affairs

ნახ. 3.9. 2003 წლის 1 მაისის „Bingol“-ის მიწისძვრის

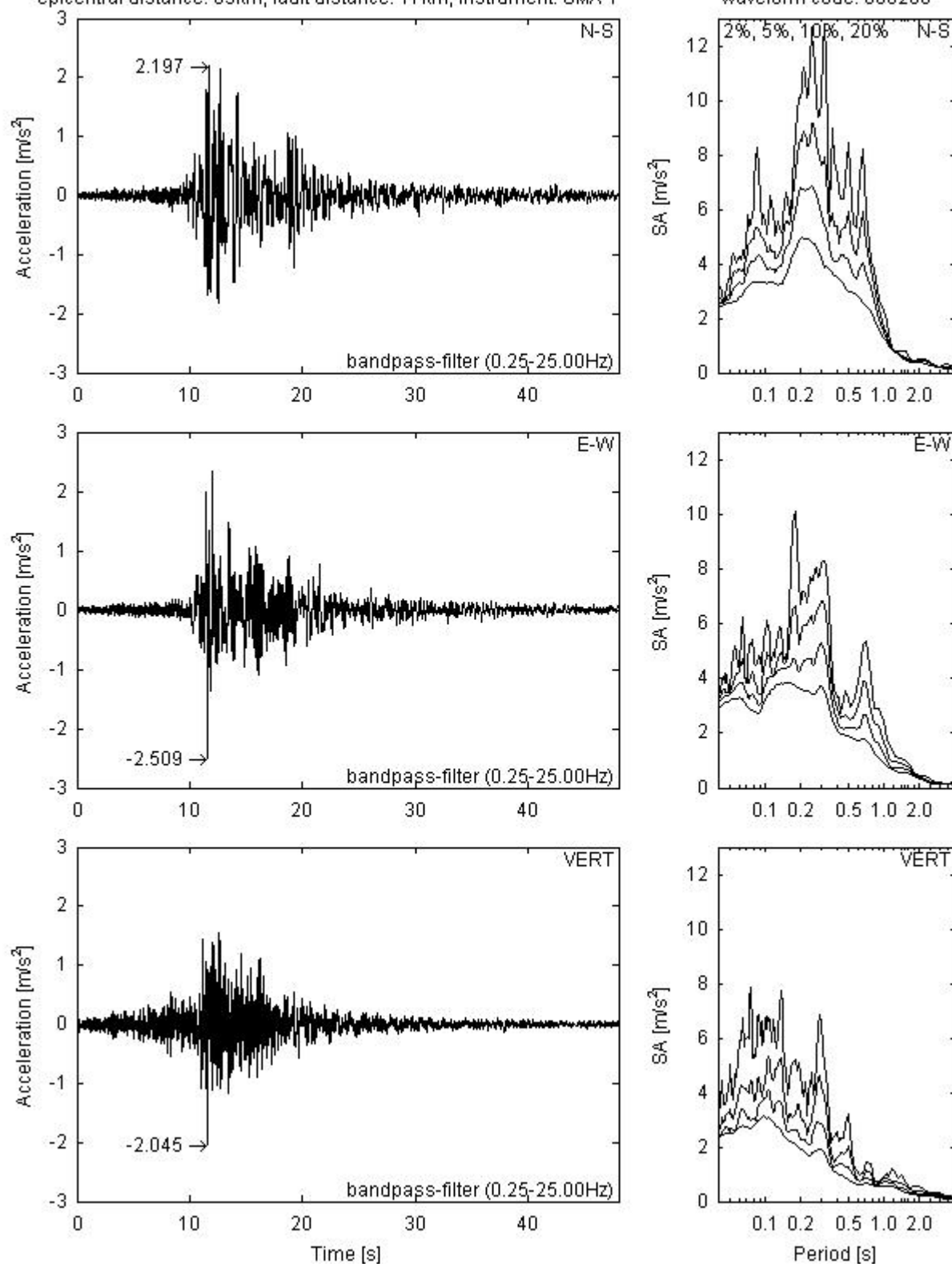
ჩანაწერები და შესაბამისი სპექტრები.

earthquake: Montenegro, 15.04.1979 06:19:41UTC, magnitude: 6.9Mw, fault mechanism: thrust

station: Hercegnovi Novi-O.S.D. Pavicic School, building-type: free-field, local geology: rock

epicentral distance: 65km, fault distance: 17km, instrument: SMA-1

waveform code: 000200

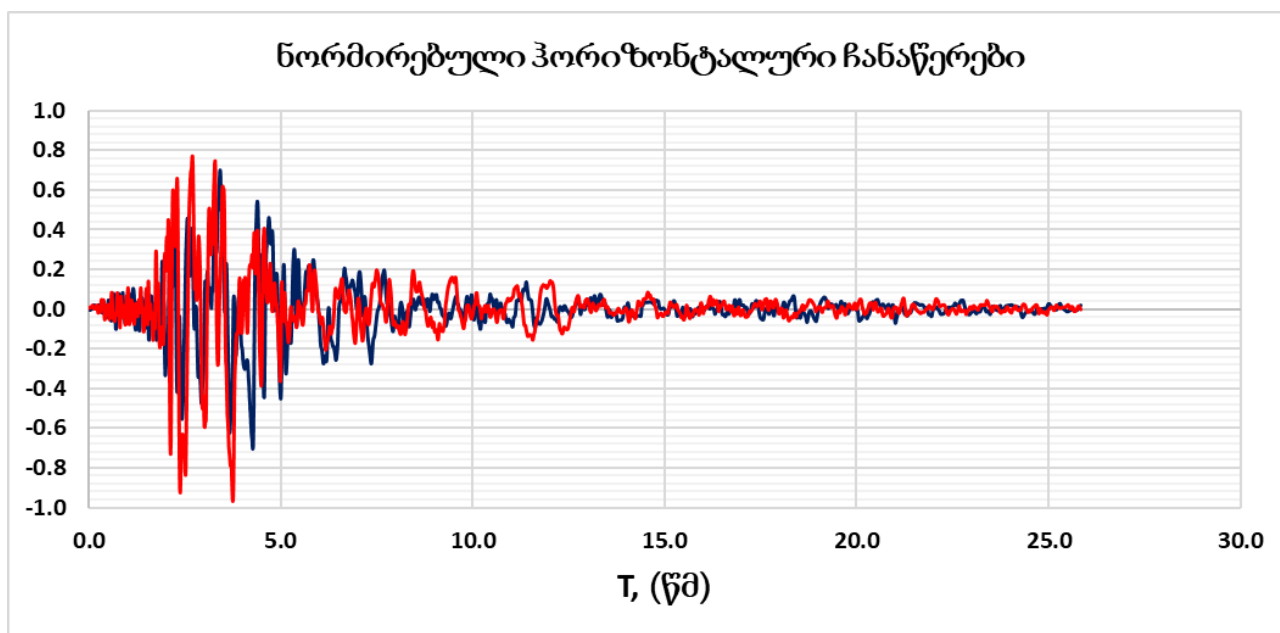


Tosic, M. (1980)

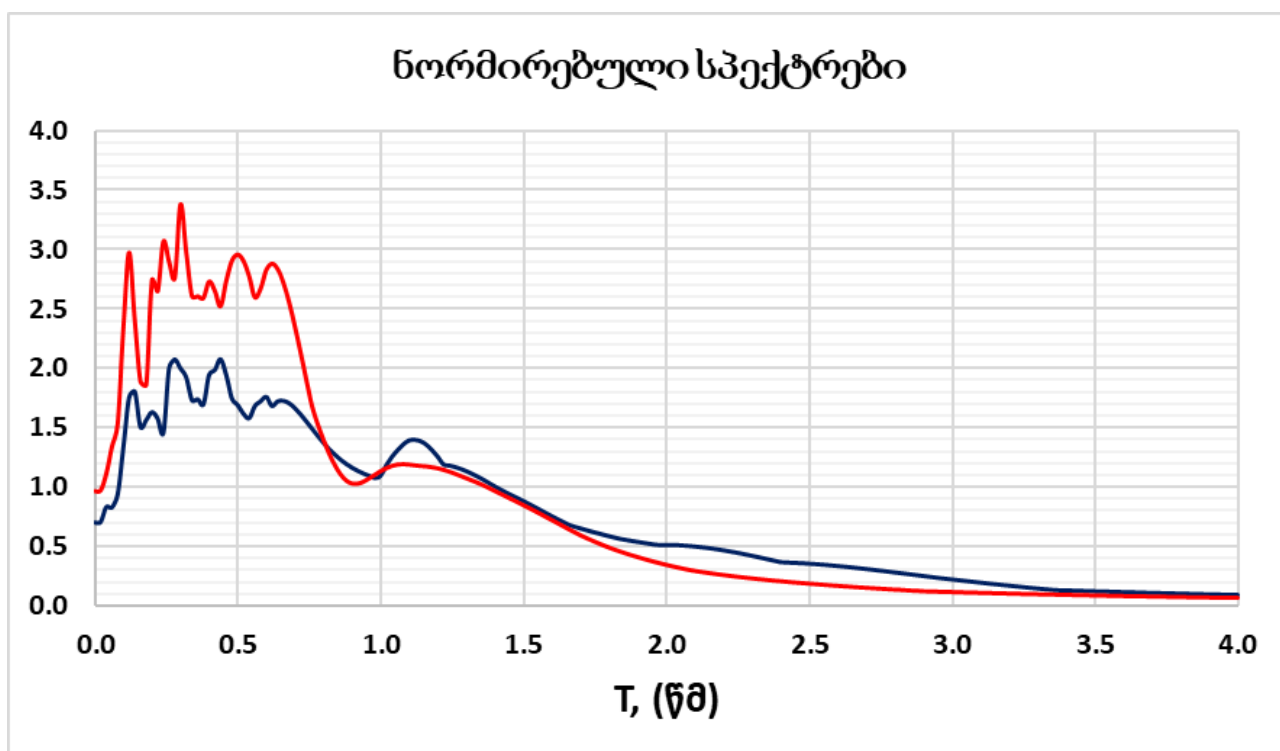
ნახ. 3.10. 1979 წლის 15 აპრილის „Montenegro“-ს მიწისძვრის

ჩანაწერები და შესაბამისი სპექტრები.

ა)



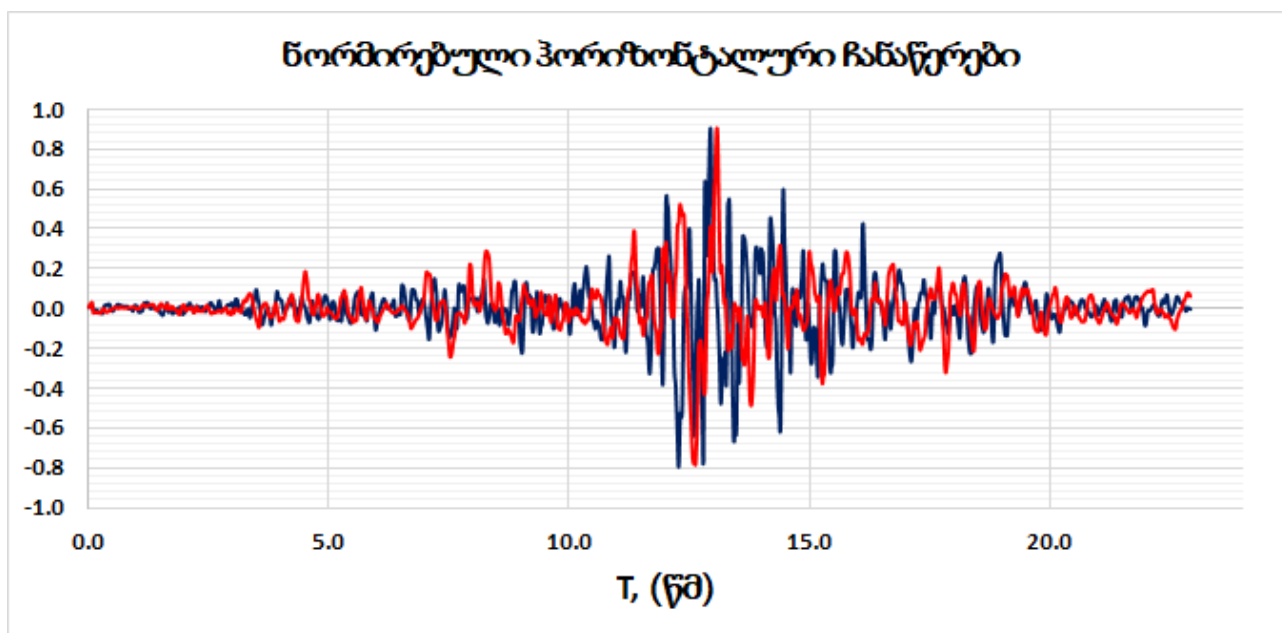
ბ)



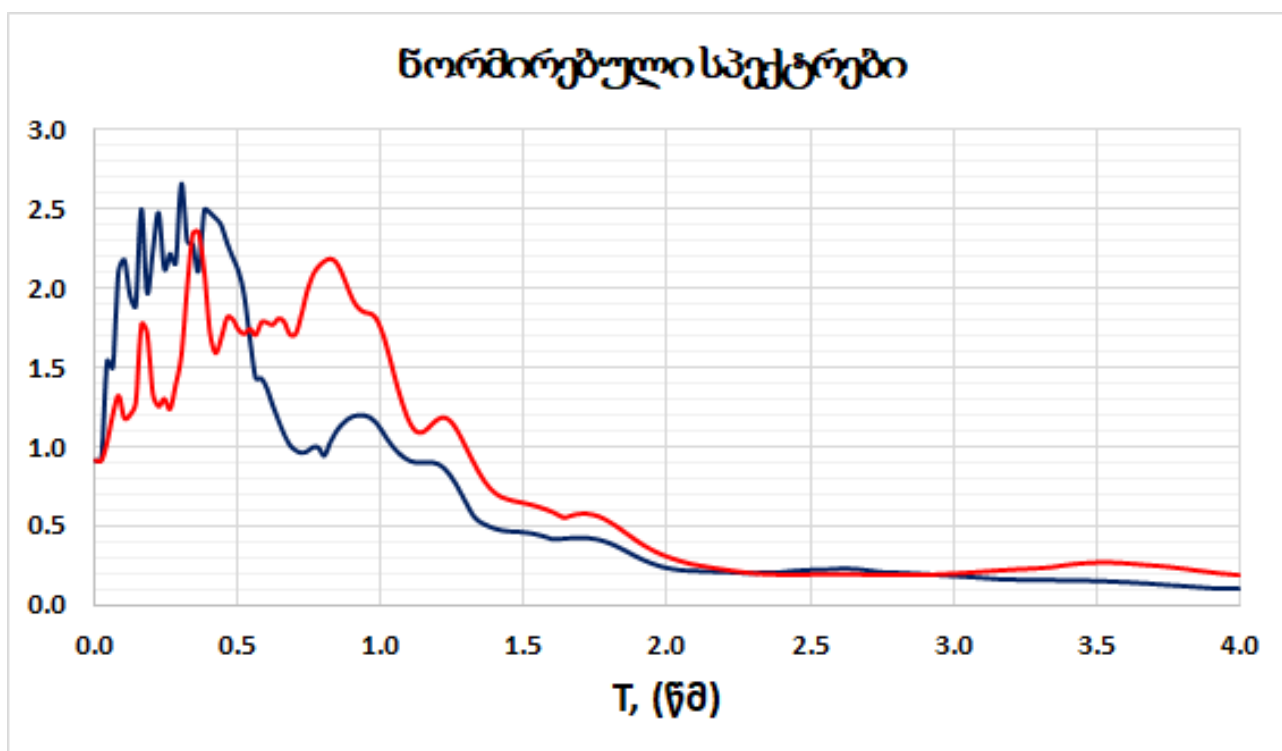
ნახ. 3.11. 1986 წლის 13 სექტემბრის „Kalamata“-ს მიწისძვრის ჩანაწერის:

ა) ნორმირებული ჩანაწერები (X, Y); ბ) ნორმირებული სპექტრები (X, Y).

ა)



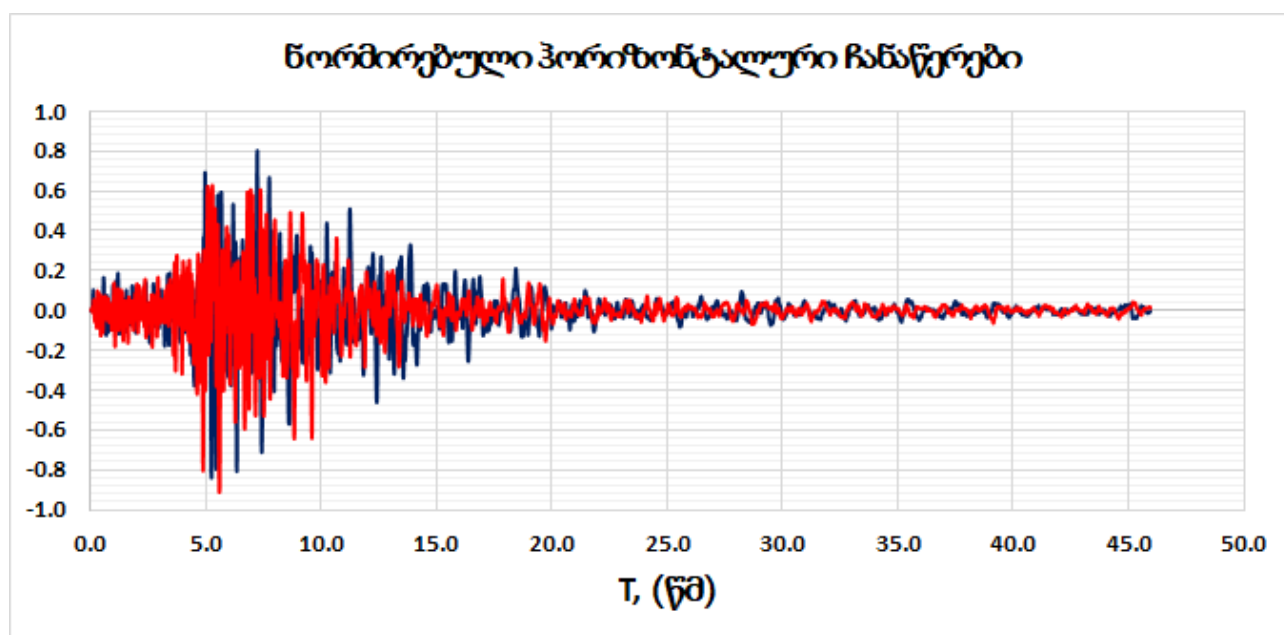
ბ)



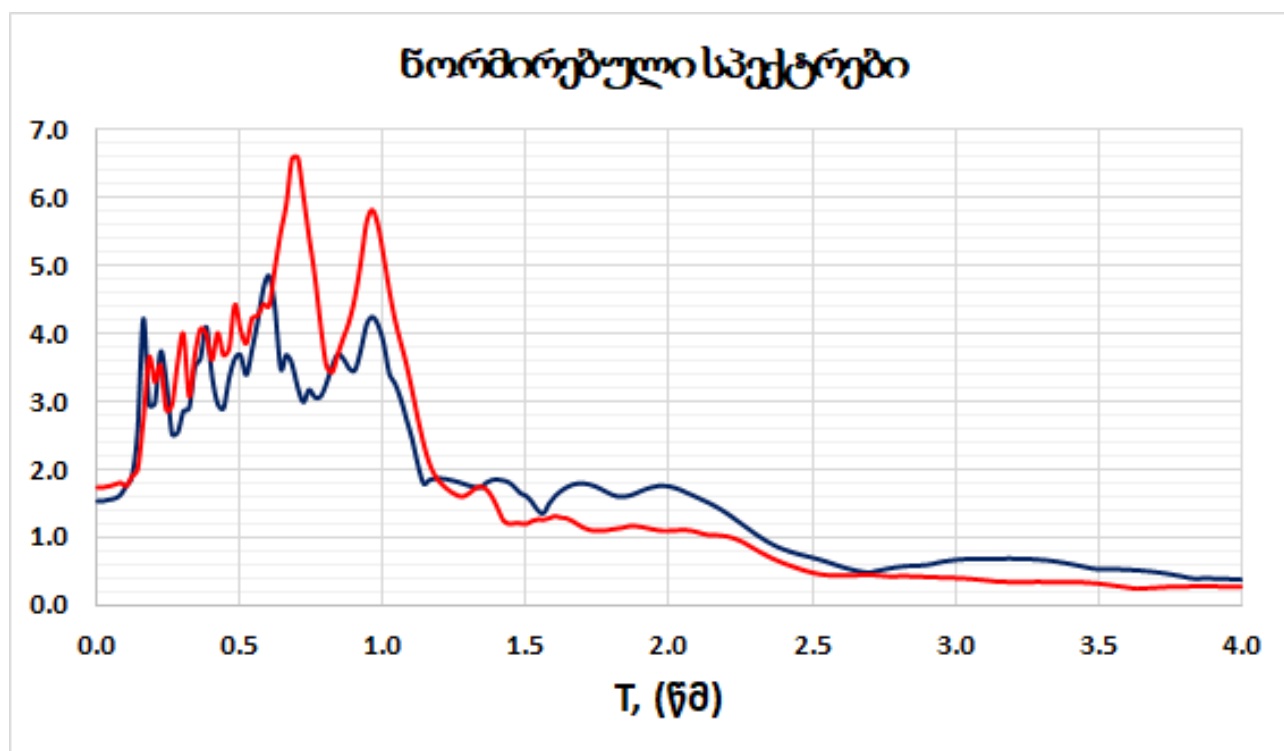
ნახ. 3.12. 1988 წლის 7 დეკემბრის „Spitak“-ის მიწისძვრის ჩანაწერის:

ა) ნორმირებული ჩანაწერები (X, Y); ბ) ნორმირებული სპექტრები (X, Y).

ა)



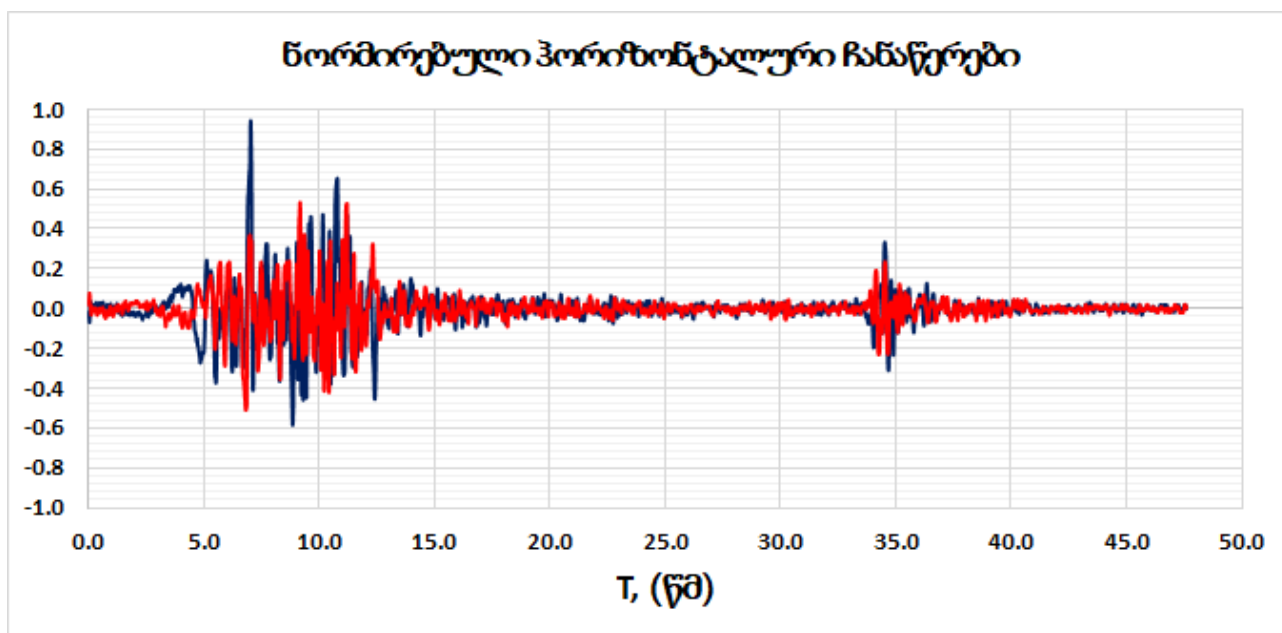
ბ)



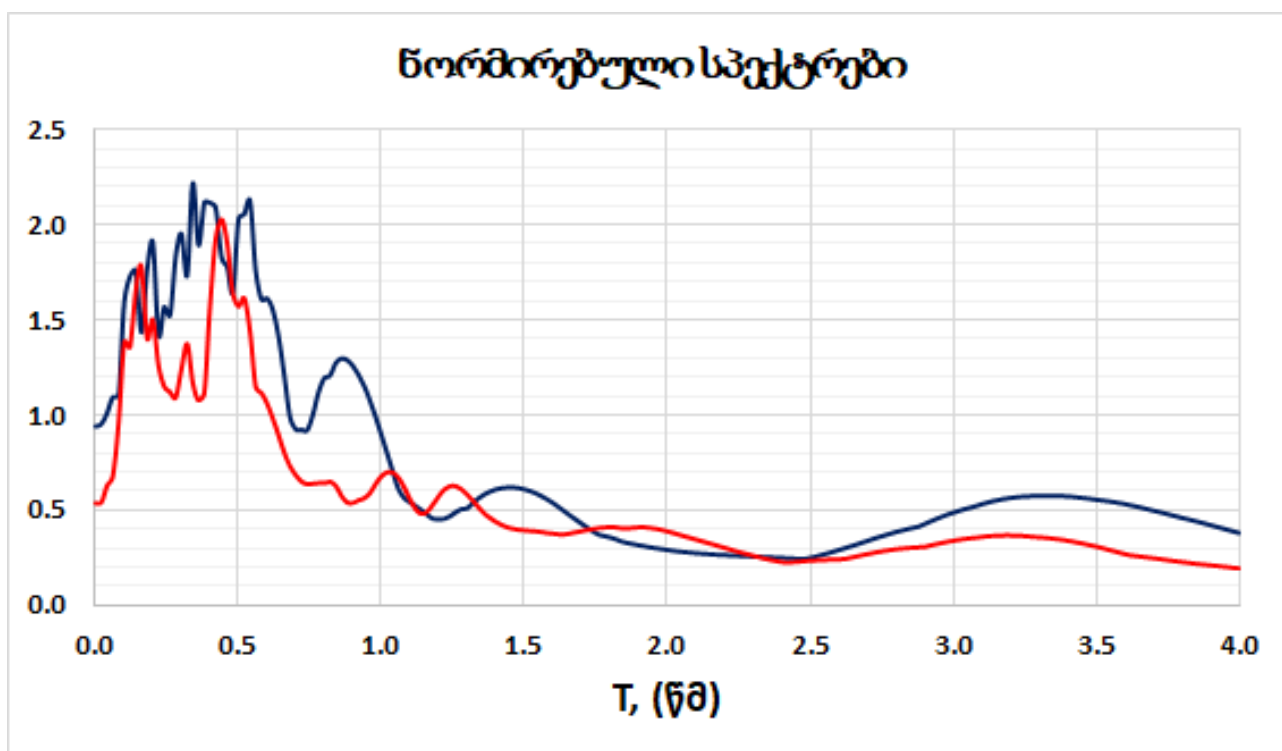
ნახ. 3.13. 1990 წლის 5 მაისის „Potenza“-ს მიწისძვრის ჩანაწერის:

ა) ნორმირებული ჩანაწერები (X, Y); ბ) ნორმირებული სპექტრები (X, Y).

ა)



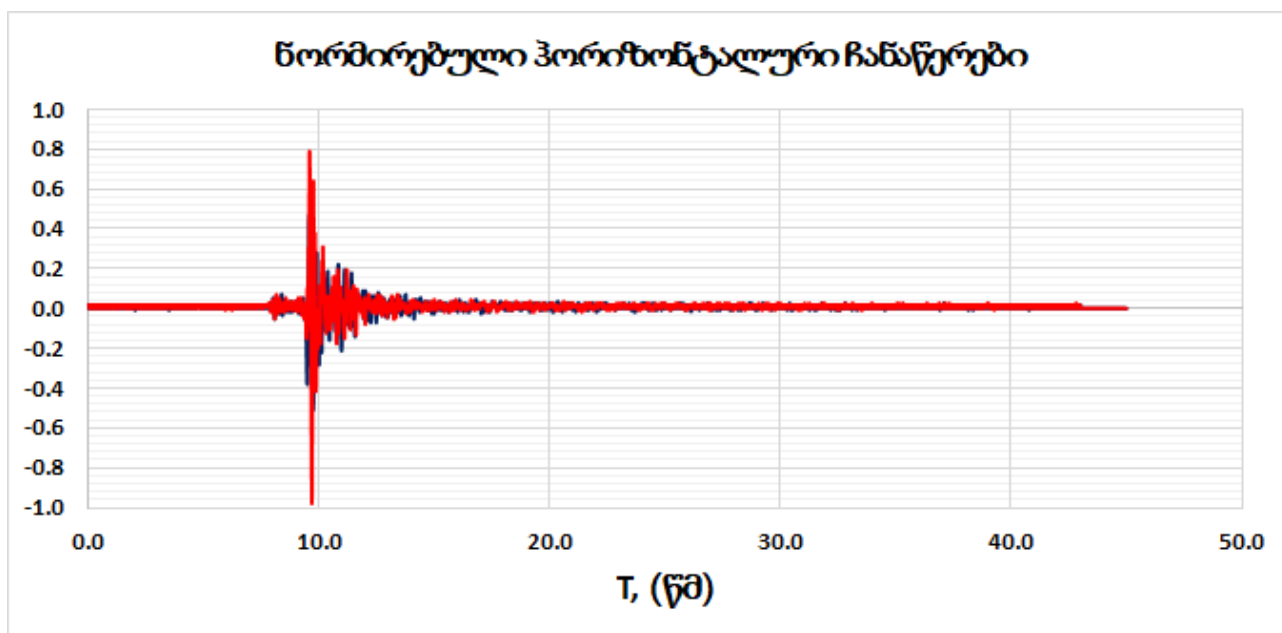
ბ)



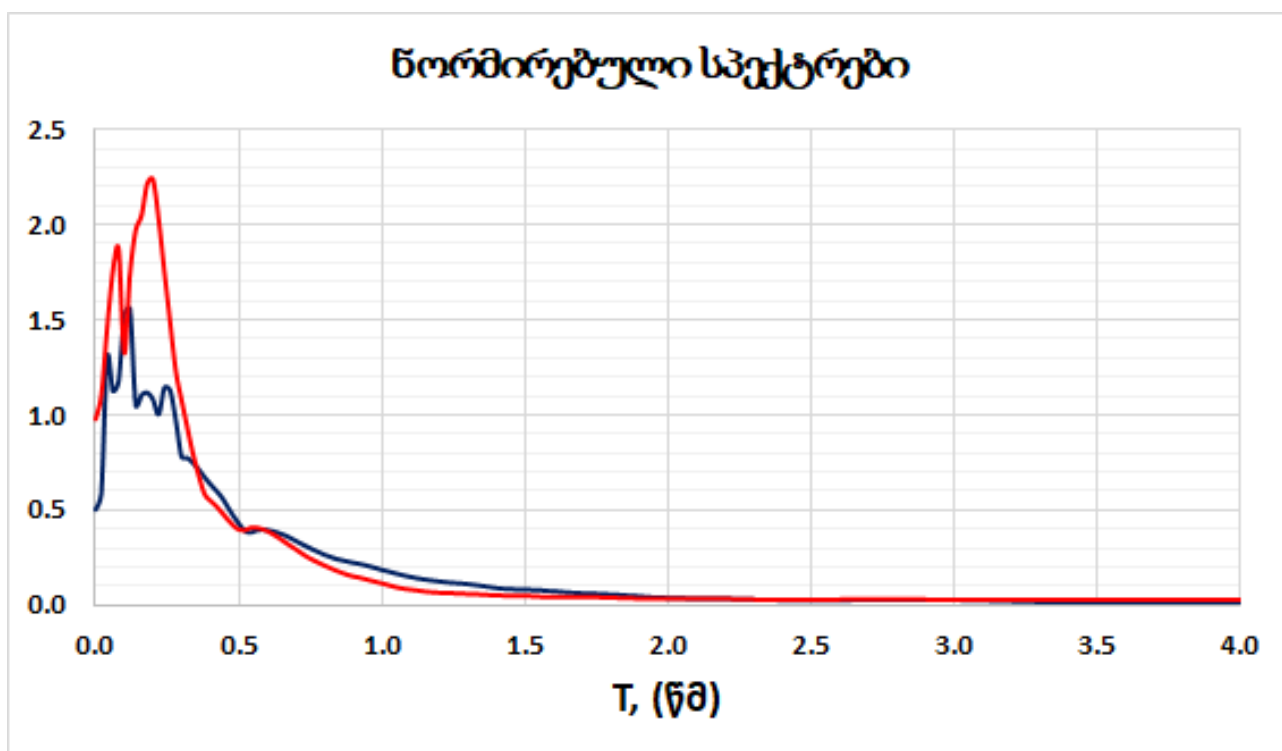
ნახ. 3.14. 1999 წლის 17 აგვისტოს „Izmit“-ის მიწისძვრის ჩანაწერის:

ა) ნორმირებული ჩანაწერები (X, Y); ბ) ნორმირებული სპექტრები (X, Y).

ა)



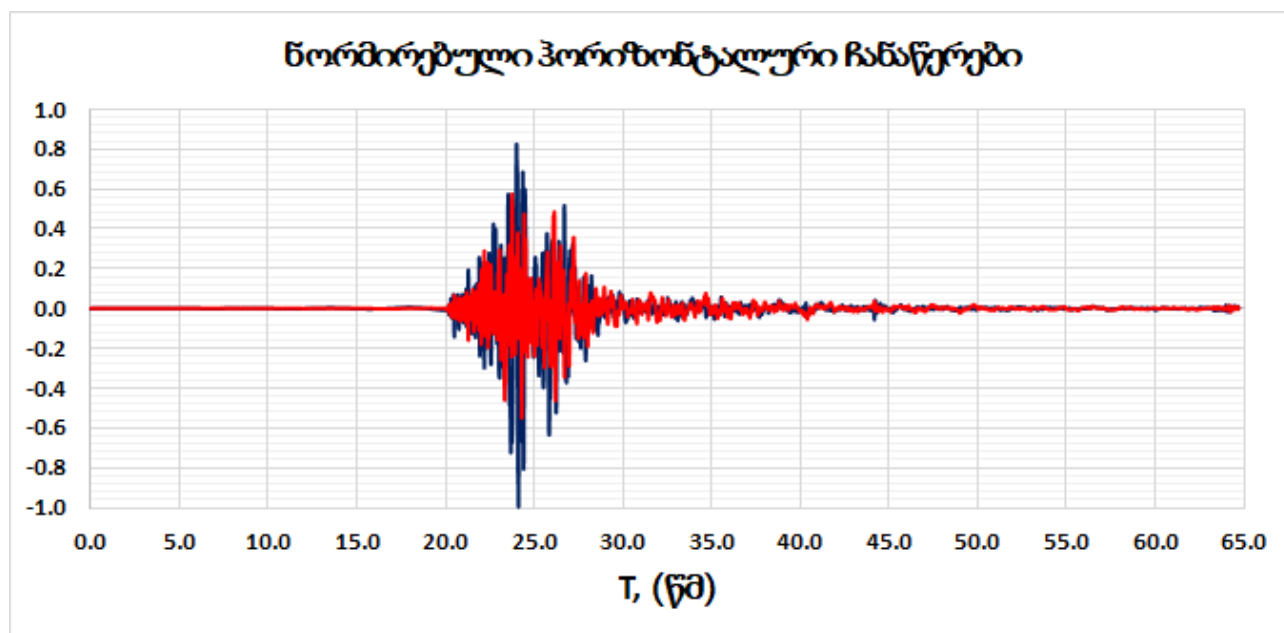
ბ)



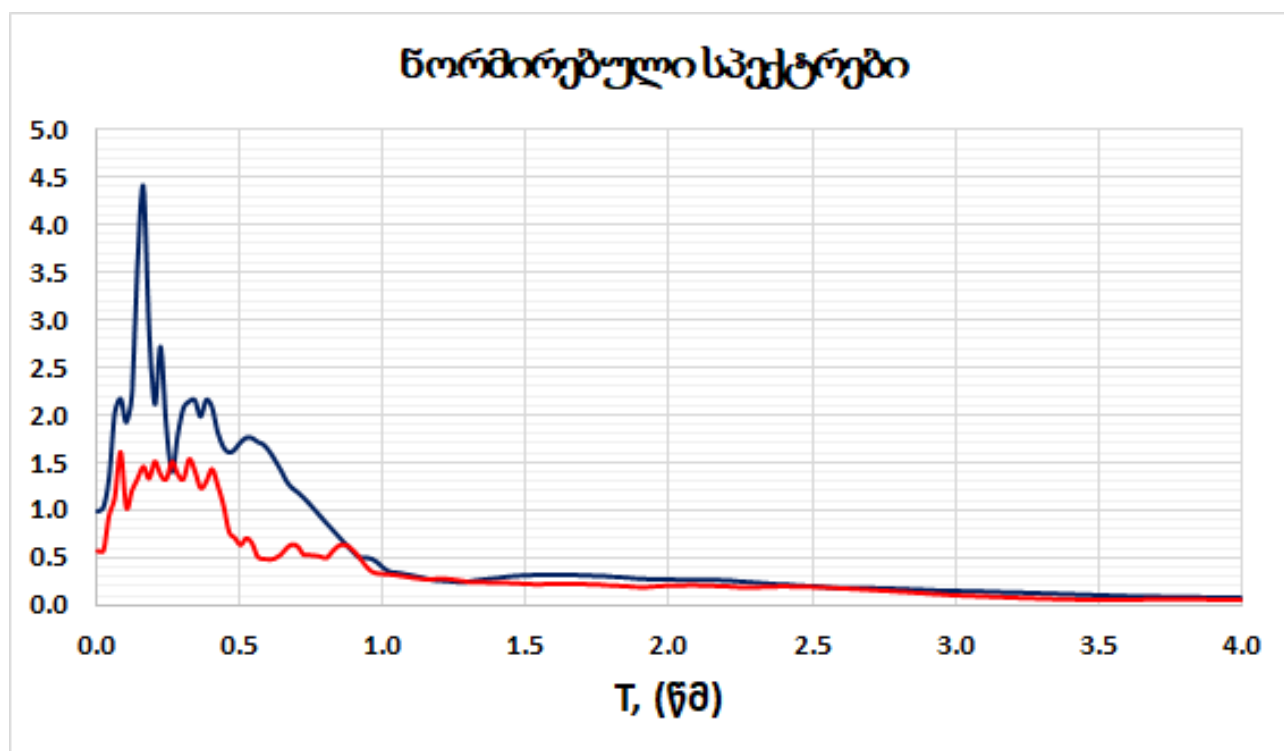
ნახ. 3.15. 2002 წლის 25 აპრილის „Tbilisi“-ს მიწისძვრის ჩანაწერის:

ა) ნორმირებული ჩანაწერები (X, Y); ბ) ნორმირებული სპექტრები (X, Y).

ა)



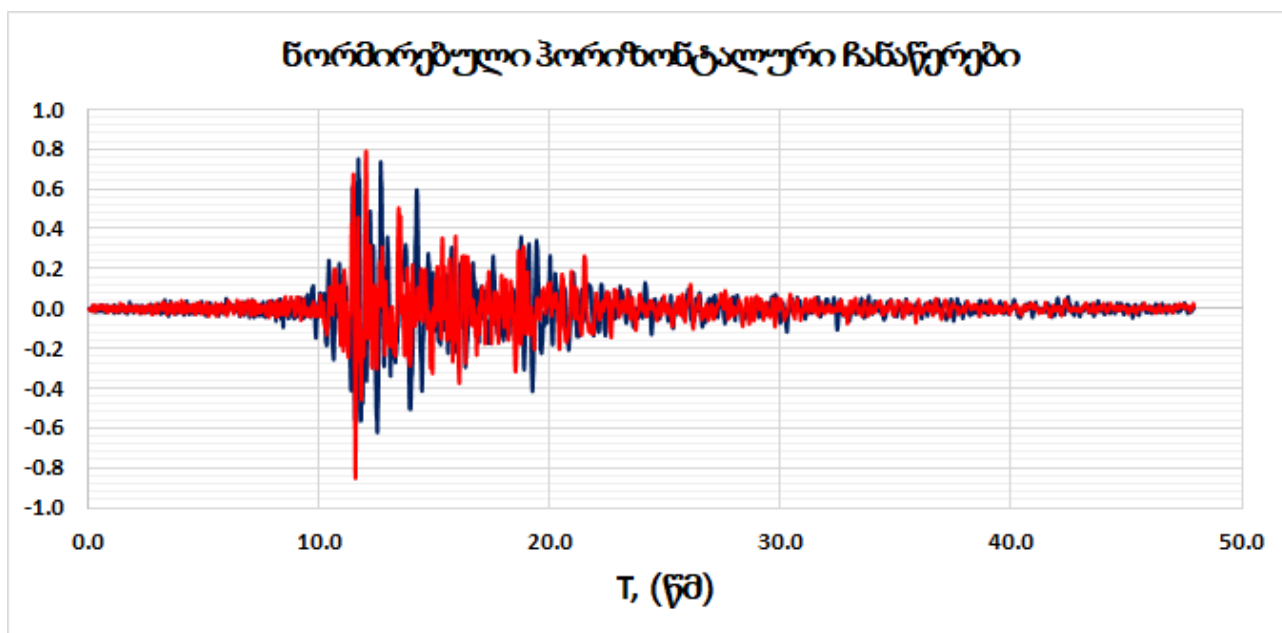
ბ)



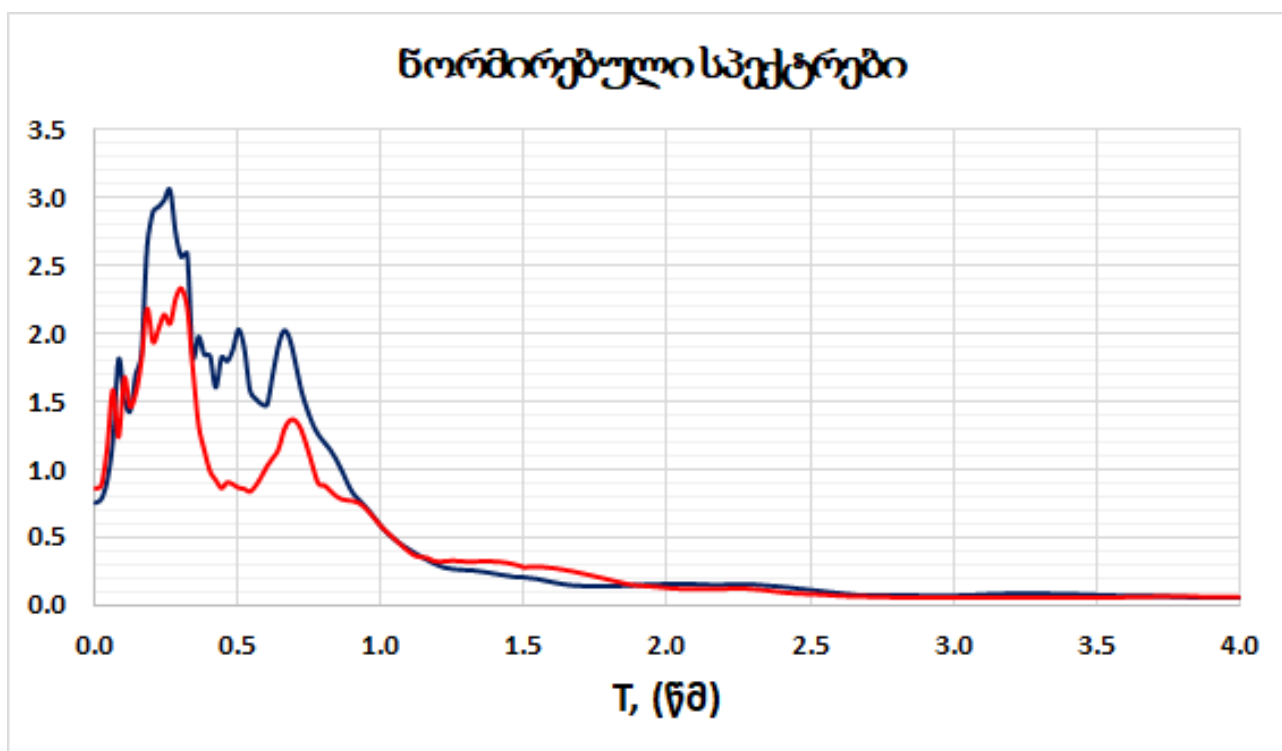
ნახ. 3.16. 2003 წლის 1 მაისის „Bingol“-ის მიწისძვრის ჩანაწერის:

ა) ნორმირებული ჩანაწერები (X, Y); ბ) ნორმირებული სპექტრები (X, Y).

ა)



ბ)



ნახ. 3.17. 1979 წლის 15 აპრილის „Montenegro“-ს მიწისძვრის ჩანაწერის:

ა) ნორმირებული ჩანაწერები (X, Y); ბ) ნორმირებული სპექტრები (X, Y).

#### 4. დრეკადი და საანგარიშო სპექტრების აგება

სეისმურ რაიონებში შენობა-ნაგებობების დაპროექტებისას ერთერთ უმნიშვნელოვანეს საკითხს წარმოადგენს მათთვის დრეკადი და საანგარიშო სპექტრების აგება. სეისმომდეგობის შეფასება, ხელშეკრულებით გათვალისწინებული დავალების თანახმად, ხორციელდება საქართველოში დღეისათვის მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტის პნ 01.01-09-ის მოთხოვნების შესაბამისად სამშენებლო ტერიტორიის ადგილობრივი საინჟინრო სეისმოლოგიური პარამეტრების გათვალისწინებით.

აქსელეროგრამების 5%-იანი რეაქციის სპექტრების კრებული წარმოდგენილია ნახაზ 4.1-ზე. იმავე ნახაზზე შედარების მიზნით მოყვანილია აგრეთვე უკრაინული ДБН В.2.2-24:2009 [4.1], რუსული МГЧН 4.19-05 [4.2] და ევროპული EUROCODE-8 [4.3] (q ფაქტორის საშუალო მნიშვნელობისათვის) რეაქციის სპექტრების გრაფიკები, რომლებიც აგებულია მაღლივი შენობების დაპროექტებისა და სეისმომდეგობის მოთხოვნების გათვალისწინებით.

აქსელეროგრამების მომვლები მრუდი სრულად მოიცავს საანგარიშო აქსელეროგრამებს და კარგად შეესაბამება მეზობელი ქვეყნების მაღლივი შენობების სეისმომდეგი დაპროექტების მოთხოვნებს. ნორმირებული აქსელეროგრამების მომვლები გრაფიკების თეორიული აღწერა მოყვანილია ქვევით:

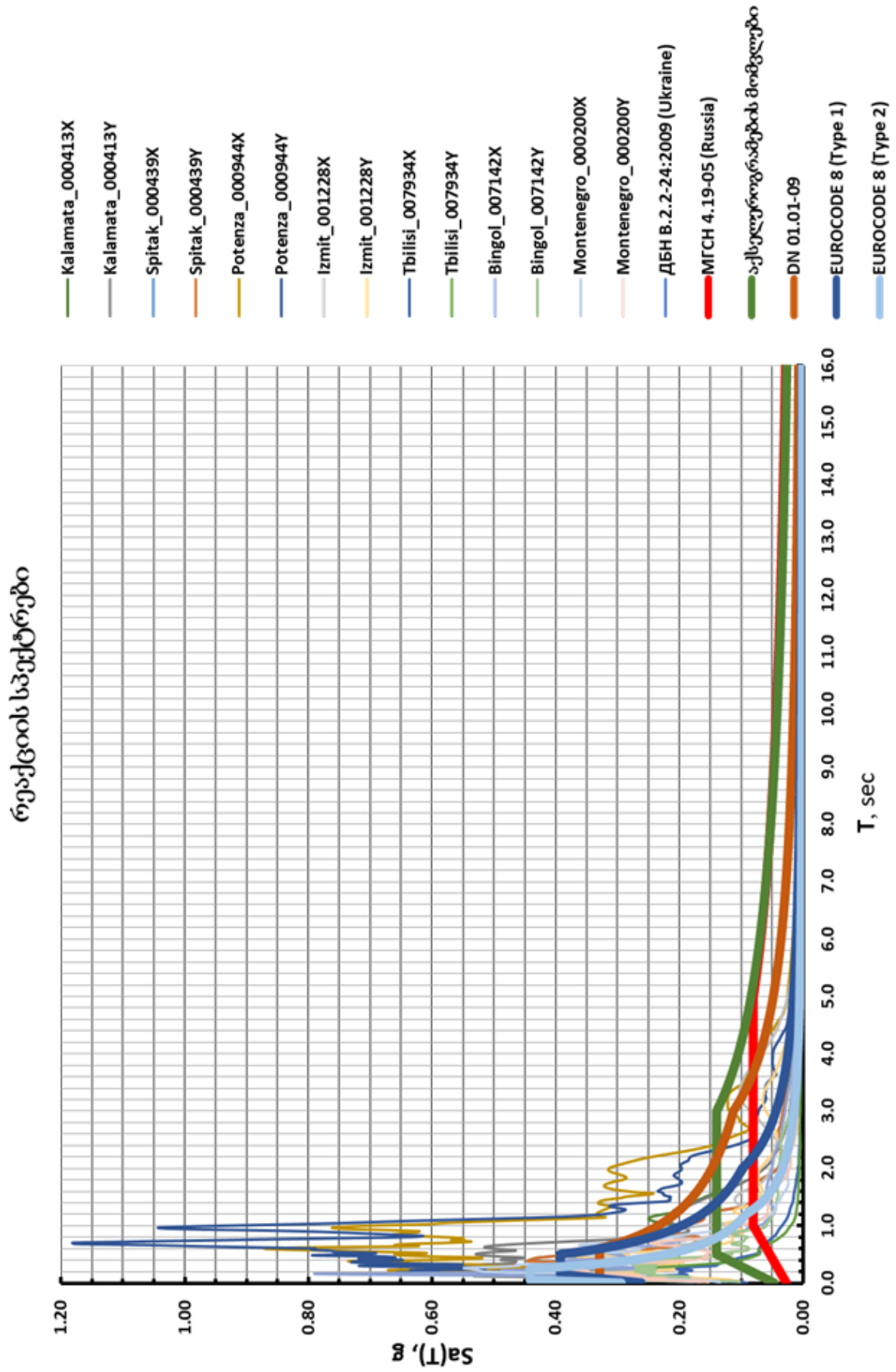
|                                               |                           |       |
|-----------------------------------------------|---------------------------|-------|
| $0.0 \text{ წმ} \leq T_i \leq 0.5 \text{ წმ}$ | $S_a = 0.26 + 1.04 * T_i$ |       |
| $0.5 \text{ წმ} \leq T_i \leq 3.0 \text{ წმ}$ | $S_a = 0.78$              | (4.1) |
| $3.0 \text{ წმ} \leq T_i$                     | $S_a = 2.34 / T_i$        |       |

საანგარიშო რეაქციის სპექტრის მისაღებად (4.1) ფორმულაში მოყვანილი სიდიდეები უნდა გამრავლდეს 0.179 g-ზე (1.756 მ/წმ<sup>2</sup>) ე.ი. საანგარიშო რეაქციის სპექტრები გამოითვლება ფორმულებით:

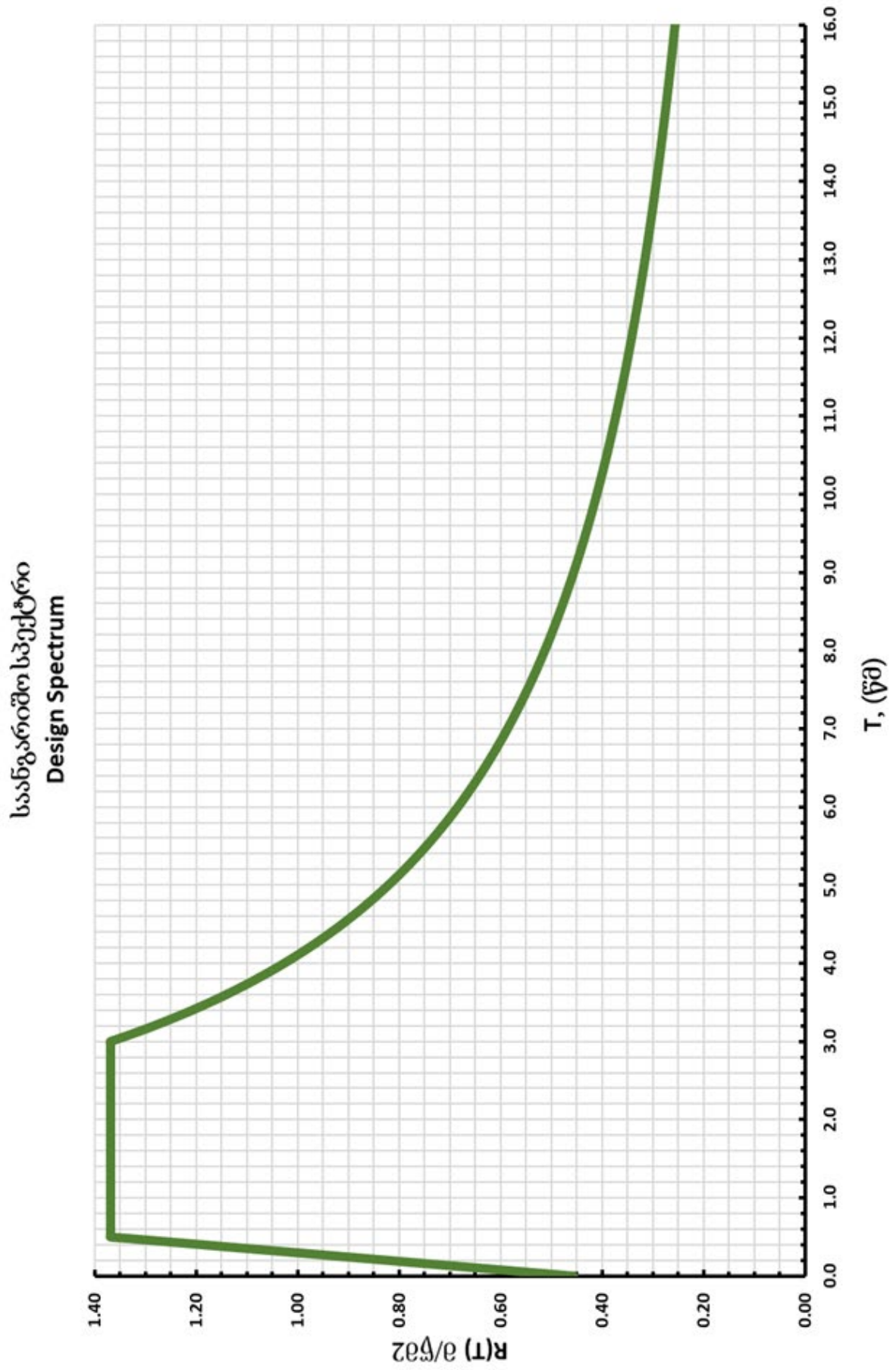
|                                               |                                 |                   |
|-----------------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| $0.0 \text{ წმ} \leq T_i \leq 0.5 \text{ წმ}$ | $S_a = 0.45656 + 1.82624 * T_i$ | მ/წმ <sup>2</sup> |
| $0.5 \text{ წმ} \leq T_i \leq 3.0 \text{ წმ}$ | $S_a = 1.36968$                 | მ/წმ <sup>2</sup> |
| $3.0 \text{ წმ} \leq T_i$                     | $S_a = 4.10904 / T_i$           | მ/წმ <sup>2</sup> |

(4.2)

შესაბამისი მრუდები მოყვანილია ნახ. 4.1-4.2-ზე (შესაბამისად g-ს ერთეულებში და მ/წმ<sup>2</sup>-ში). საანგარიშო სპექტრების ვერტიკალური მდგენელები მიიღება ჰორიზონტალურის გამრავლებით 0.7 კოეფიციენტზე.



ნახ. 4.1. ნორმირებული 5%-იანი რეაქციის სპექტრების კრებული.



ნახ.4.2. საანგარიშო კორიზონტალური რეაქციის სპექტრი.

## 5. აქსელეროგრამებისა და რეაქციის სპექტრების ციფრული პაკეტის გადაყვანა პროგრამა „Lira SAPR“ ფორმატში

სამშენებლო საანგარიშო პროგრამული კომპლექსი „Lira Windows“ ითვალისწინებს გაანგარიშებას აქსელეროგრამებზე და საანგარიშო რეაქციის სპექტრზე.

აქსელეროგრამების პროგრამაში შესატანად ვსარგებლობთ დატვირთვების მენიუში, დინამიკური დატვირთვების ცხრილში #27 ან #29 ბლოკებით (ნახ. 5.1 ა, ბ). მაშტაბირების კოეფიციენტი აიღება -  $0.179 \text{ g} \approx 1.756 \text{ მ/წმ}^2$  (დამატებითი კოეფიციენტების შერჩევა დამოკიდებულია ანალიზის ტიპზე).

კოსინუსის მიმართულებების შერჩევა დამოკიდებულია შენობა-გრუნტის მოდალური ანალიზის შედეგებზე და მისი შერჩევა პროექტის კონსტრუქტორების პრეროგატივაა. აქსელეროგრამების დისკრეტიზაციის ბიჯი ყველა ჩანაწერისათვის შეადგენს 0.01 წმ-ს. აქსელეროგრამების ხანგრძლივობა პროგრამა ლირაში შესატანია შემდეგი მნიშვნელობებით: Kalamata # 000413 – 25.85 წმ; Spitak # 000439 – 22.92 წმ; Potenza # 000944 – 45.99 წმ; Izmit # 001228 – 47.61 წმ; Tbilisi #007934 – 43.39 წმ; Bingol # 007142 – 64.71 წმ; Montenegro # 000200 – 47.93 წმ.

აქსელეროგრამების ატვირთვა უნდა მოხდეს შესაბამისი სახელწოდების ფაილების მიხედვით, რომლებიც უნდა განთავსდეს შესაბამის (მაგ. C:\Users\Public\Documents\LIRA SAPR\LIRA SAPR 2013\Data) დირექტორიაში და ფაილის ტიპი უნდა იყოს txt ფორმატში.

საანგარიშო სპექტრის პროგრამაში შესატანად ვსარგებლობთ დატვირთვების მენიუში, დინამიკური დატვირთვების ცხრილში #41 ბლოკით (ნახ. 5.2). მაშტაბირების კოეფიციენტი აიღება 1-ის ტოლი ( $\text{მ/წმ}^2$ ). კოსინუსის მიმართულებების შერჩევა დამოკიდებულია შენობა-გრუნტის მოდალური ანალიზის შედეგებზე და მისი შერჩევა პროექტის კონსტრუქტორების პრეროგატივაა. საანგარიშო სპექტრის ფაილი უნდა განთავსდეს შესაბამის (მაგ. C:\Users\Public\Documents\LIRA SAPR\LIRA SAPR 2013\Data) დირექტორიაში და ფაილის გაფართოება უნდა იყოს txt ფორმატში.

ა)

Параметры расчета по акселерограммам

Коэффициент диссипации  $k_{si} = [0 \dots 1]$   $k_{si} =$  0.1 (строительные конструкции)

Масштабный множитель к акселерограмме 1.756

Направляющие косинусы равнодействующей сейсм. воздейств. в ОСК

CX 0.0000 CY 1 CZ 0.0000  $CX^2 + CY^2 + CZ^2 = 1$

Шаг дискретизации акселерограммы 0.01 с

Время длительности внешнего воздействия 43.39 с

Значения ординат акселерограммы

☒ Чтение из файла 007934.txt

☐ Ввод и редактирование

✓ ✗ ?

ბ)

Параметры расчета по трехкомпонентной акселерограмме

Коэффициент диссипации  $k_{si} = [0 \dots 1]$   $k_{si} =$  0.1 (строительные конструкции)

Масштабные множители к компонентам акселерограммы

для радиальной 1.756 для тангенциальной 1.756 для вертикальной 1.756

Направляющие косинусы радиального сейсмического воздействия в плоскости XOY

CX 0.0000 CY 1  $CX^2 + CY^2 = 1$

Шаг дискретизации акселерограммы 0.01 с

Время длительности внешнего воздействия 43.39 с

Значения ординат акселерограммы

☒ Чтение из файла 007934.txt

☐ Ввод и редактирование

Радиальная компонента

Тангенциальная компонента

Вертикальная компонента

✓ ✗ ?

ნახ. 5.1. აქსელეროგრამებზე გაანგარიშებისათვის  
 პროგრამა LIRA SAPR 2013-ში : ა) ბლოკი 27; ბ) ბლოკი 29.

Параметры расчета по методу ответ-спектра

График спектра ☒ ускорений ☐ скоростей ☐ перемещений

Переходный коэффициент к графику

Направляющие косинусы равнодействующей сейсм. воздейств. в ОСК

CX  CY  CZ   $CX^2 + CY^2 + CZ^2 = 1$

Значения абсцисс (частота, рад/с) и ординат графика спектра ответа

☒ Чтение из файла

☐ Ввод и редактирование

ნახ. 5.2. საანგარიშო რეაქციის სპექტრით გაანგარიშებისათვის  
პროგრამა LIRA SAPR 2013-ში შესატანი კომპონენტები.

### დასკვნები და რეკომენდაციები

- ექსპერიმენტული კვლევებით მიღებულია ფუძე-გრუნტების სეისმური პროფილები და ძირითადი სიჩქარული მახასიათებლები, რომლებიც მოყვანილია სურ. 1.2-1.3-ზე და ცხრილ 1.2-1.3-ში.
- სამშენებლო უბნისათვის განივი ტალღების სიჩქარეების გასაშუალოებული მნიშვნელობა ზედა 30 მ ფენში ( $V_{s30}$ ) მიღებული იქნა 415 მ/წმ (ყველაზე არახელსაყრელი არანაკლებ 5 მეტრიანი ფენისათვის შეადგინა 306 მ/წმ). აღნიშნული მნიშვნელობა საქართველოში მოქმედი ნორმების მიხედვით შეესაბამება გრუნტის II კატეგორიას, ხოლო საერთაშორისო ნორმების მიხედვით განისაზღვრა შემდეგნაირად: EUROCODE 8 - B ტიპი, IBC 2006 და ASCE 7 - C კლასი.
- აკუსტიკური სიხისტეების მეთოდით სამშენებლო ტერიტორიაზე ანგარიშით მიღებული ბალიანობის ნაზრდმა შეადგინა: ეტალონური ბალიანობა 7-ისათვის  $\Delta I = 0.980934 \pm 0.004197$  (+ 1 ბალი), ხოლო ეტალონური ბალიანობა 8-ისათვის  $\Delta I = 0.069715 \pm 0.004197$  (+ 0 ბალი), ესეიგი დაზუსტებული ბალიანობის მნიშვნელობა და შესაბამისად საანგარიშო სეისმურობა სამშენებლო მოედნისათვის შეადგენს **I = 8** ბალს.
- განსახილველ უბანზე საანგარიშო ჰორიზონტალური აჩქარების დაზუსტებული მნიშვნელობა შეადგენს 0.179 g -ს (1.756 მ/წმ<sup>2</sup>).
- შერჩეულ იქნა შემდეგი სამკომპონენტო აქსელეროგრამები:
  - 1979 წლის 15 აპრილის „Montenegro“-ს მიწისძვრის სამკომპონენტო ჩანაწერი;
  - 1986 წლის 13 სექტემბრის „Kalamata“-ს მიწისძვრის სამკომპონენტო ჩანაწერი;
  - 1988 წლის 7 დეკემბრის „Spitak“-ის მიწისძვრის სამკომპონენტო ჩანაწერი;
  - 1990 წლის 5 მაისის „Potenza“-ს მიწისძვრის სამკომპონენტო ჩანაწერი;
  - 1999 წლის 17 აგვისტოს „Izmit“-ის მიწისძვრის სამკომპონენტო ჩანაწერი;
  - 2002 წლის 25 აპრილის „Tbilisi“-ს მიწისძვრის სამკომპონენტო ჩანაწერი;
  - 2003 წლის 1 მაისის „Bingol“-ის მიწისძვრის სამკომპონენტო ჩანაწერი..

- ყველა ორიგინალი აქსელეროგრამა ნორმირებულია და საანგარიშო სპექტრალურ მრუდებთან ერთად ციფრული სახით წამოდგენილია ელექტრონული ვერსიით.
- შენობების გაანგარიშების დროს, ნორმირებული აქსელეროგრამები უნდა გამრავლდეს საანგარიშო აჩქარების მნიშვნელობაზე, რომელიც შეადგენს  $0.179 \text{ g} \approx 1.756 \text{ m/s}^2$  (დამატებითი კოეფიციენტების შერჩევა დამოკიდებულია ანალიზის ტიპზე).
- აქსელეროგრამების ხანგრძლივობა პროგრამა ლირაში შესატანია შემდეგი მნიშვნელობებით: Kalamata # 000413 – 25.85 წმ; Spitak # 000439 – 22.92 წმ; Potenza # 000944 – 45.99 წმ; Izmit # 001228 – 47.61 წმ; Tbilisi #007934 – 43.39 წმ; Bingol # 007142 – 64.71 წმ; Montenegro # 000200 – 47.93 წმ.
- საანგარიშო ჰორიზონტალური რეაქციის სპექტრი წარმოდგენილია ნახ. 4.2-ზე და გამოითვლება 4.2 ფორმულებით, ხოლო სპექტრების ვერტიკალური მდგენელი მიიღება ჰორიზონტალური სპექტრების გამრავლებით 0.7 კოეფიციენტზე.
- შენობების გაანგარიშების დროს, რეაქციის სპექტრების გადამყვანი კოეფიციენტი ჰორიზონტალური მდგენელისათვის შეადგენს 1.0-ს, ხოლო ვერტიკალური მდგენელისათვის - 0.7-ს.

## ლიტერატურა

### თავი 1

- 1.1. N.B.Dortman, Physical properties of rocks and minerals, 1984.
- 1.2. Н.Н. Горяинов, Сейсмические методы в инженерной геологии. «Недра», 1979, 150с.
- 1.3. Y. Kobayashi, M.Horike, Analysis of seismic exploration data using ray method, J. Phys. Earth 35, 1987, p.127-141.
- 1.4. A.K. Majan, S.Slob, R.Ranjan, R.Sporry, P.K.Champati ray, C.J. van Westen, Seismic microzonation of Dehran City using geophysical and geotechnical characteristics in the upper 30 m.
- 1.5. S. Laster, M. Backus, R. Schell, Analog model studies of the simple refraction problem. "Seismic refraction prospecting". Tilsa, 1967, p.15-66.
- 1.6. В.Н. Никитин, Основы инженерной сейсмики. МГУ, 1981, 175с.
- 1.7. T. Media, Hammer refraction seismic in engineering geophysics, "Geophysics", v.34, № 3, 1969, p.383-395.
- 1.8. A.I.Savich, B.D.Kuiyndjich, Complex-engineering research in building hydraulic facilities, 1990.
- 1.9. R.Sheriff, L.Geldart, Exploration Seismology, Mir, Moscow, v.1 and 2, 1987, 900p.
- 1.10. Earthquake motion and ground conditions, The Architectural Institute of Japan (AIJ), 1993, 595p.
- 1.11. International Building code, International code council, INC, USA, 2006. 680 p.
- 1.12. Mohamed, A. M. E., Abu El-Ata, A. S. A., Abdel Azim, F., Taha, M. A. Site-specific shear wave velocity investigation for geotechnical engineering applications using seismic refraction and 2D Multi-channel Analysis of Surface Waves. NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, 2013: 2, 88-101.
- 1.13. Gercek, H. (January 2007). "Poisson's ratio values for rocks". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 44(1): 1–13.
- 1.14. Gorodtsov, V.A.; Lisovenko, D.S. (2019). "Extreme values of Young's modulus and Poisson's ratio of hexagonal crystals". Mechanics of Materials. 134: 1–8.

## თავი 2

- 2.1 შ.პ.ს. „თბილის-სტრომ-ს“ მიერ 2024 წელს ჩატარებული საინჟინრო გეოლოგიური კვლევები: „ქ.თბილისი, სპირიდონ კედიას ქუჩა #10ა, ნაკვ. # 01.13.06.008.097/118/119-ში მრავალბინიანი საცხოვრებელი სახლის პროექტი. საინჟინრო- გეოლოგიური კვლევების ტექნიკური ანგარიში“, თბილისი 2024წ.
- 2.2 კირიაკ ზავრიევის სამშენებლო მექანიკის და სეისმომდეგობის ინსტიტუტის მიერ 1983-1984 წლებში შედგენილი სამეცნიერო-ტექნიკური ანგარიში თემაზე: „ქ.თბილისის ტერიტორიის სეისმური მიკროდარაიონება“.
- 2.3 РСМ-73. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию. ИФЗ АН СССР, 1974.
- 2.4 РСН 60-86. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микро-районирование. Нормы производства работ. 1986.
- 2.5 РСН 65-86. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микро-районирование. Технические требования к производству работ. 1987.
- 2.6 სს 01.01-09 „სეისმომდეგი მშენებლობა“.
- 2.7 EN 1998-5. 2004. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects.

## თავი 3

- 3.1 РБ - 006 – 98. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА ДЛЯ ПРОЕКТНЫХ ОСНОВ.
- 3.2 Руководство по сбору, обработке и использованию инженерно-сейсмометрической информации. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко – 1980.

## თავი 4

- 4.1 ДБН В.2.2-24:2009. ПРОЕКТУВАННЯ ВИСОТНИХ ЖИТЛОВИХ І ГРОМАДСЬКИХ БУДИНКІВ. Київ, Мінрегіонбуд України, 2009.
- 4.2 МГСН 4.19-05. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВЫСОТНЫЕ ЗДАНИЯ И КОМПЛЕКСЫ (приложения) ТОМ II. Москва, 2005.
- 4.3 EN 1998-1. 2004. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1 : General rules, seismic actions and rules for buildings.