



საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი
1922 წლიდან

ოსებ უთმელიძე

ხიდების მალის ნაშენების სეისმომდებლობის
დინამიკური კოეფიციენტების განსაზღვრის
მეთოდოლოგია და წრფივი-სპექტრული მეთოდის
საფუძველზე მიღებული მრუდების კრიტიკული
ანალიზი

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა „მშენებლობა“

შიფრი 0732

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი თბილისი, 0160, საქართველო

2023 წ

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით იოსებ უთმელიძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: **ხიდების მალის ნაშენების სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტების განსაზღვრის მეთოდოლოგია და წრფივი-სპექტრული მეთოდის საფუძველზე მიღებული მრუდების კრიტიკული ანალიზი** და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

12 ივლისი 2023 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი **ბორის მასიურაძე**

რეცენზენტი: **ტ.მ.კ. ზურაბ გელაძე**

რეცენზენტი: ასოცირებული პროფესორი **კახაბერ კობახიძე**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2023 წ

ავტორი: იოსებ უთმელიძე

დასახელება : ხიდების მალის ნაშენების სეისმომდეგობის დინამიკური
კოეფიციენტების განსაზღვრის მეთოდოლოგია და წრფივი-
სპექტრული მეთოდის საფუძველზე მიღებული მრუდების
კრიტიკული ანალიზი

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: მშენებლობის ინჟინერიის დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: _____

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია ხიდების მალის ნაშენების სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების განსაზღვრის მეთოდოლოგიის დამუშავება, ხიდების მალის ნაშენებისათვის ყველაზე საშიში აქსელეროგრამის შერჩევის მეთოდის დამუშავება, დინამიკური კოეფიციენტების მრუდების აგება კონკრეტული საანგარიშო სქემების გათვალისწინებით, მათ საფუძველზე ძალების განსაზღვრა და შედარება სპექტრული თეორიით მიღებული შედეგებთან, ასევე სეისმომდეგობის თეორიების კრიტიკული ანალიზი.

ნაშრომში წარმოდგენილია თანამედროვე სეისმომდეგობის თეორიის ის საკითხები, რომლებიც ან საერთოდ არ არის შესწავლილი, ან მათი შესწავლა ამჟამად მიმდინარეობს. მიწისძვრის რეალური ჩანაწერების (მაგალითად აქსელეროგრამების) საფუძველზე ნაგებობებისა და მათი შემადგენელი კონსტრუქციების გაანგარიშება ძალების მნიშვნელოვნად მეტ სიდიდეს იძლევა, ვიდრე ყველა არსებულ ნორმატიული დოკუმენტებით დადგენილი სპექტრული თეორიის გამოყენებით მიღებული შედეგები.

აქსელეროგრამების მონაცემთა ბანკიდან საჭირო აქსელეროგრამების (ან მათი ჯგუფის) შერჩევა ეფუძნება მაგნიტუდების იდენტურობას - აქსელეროგრამების მონაცემთა ბანკში მოძიებული აქსელეროგრამების მაგნიტუდა უნდა შეესაბამებოდეს სამშენებლო მოედნის მაგნიტუდას, თუმცა ეს საკმარისი არ არის განსახილველი კონსტრუქციისთვის ყველაზე საშიში აქსელეროგრამის შერჩვისათვის.

ნაშრომში განხილული საკითხებისა და მათი სპეციფიკის გათვალისწინებით შეირჩა ისეთი ტიპის მალის ნაშენები, რომელსაც უფრო ფართო გამოყენება აქვთ ხიდმშენებლობაში. ესენია: რკინაბეტონის მალის ნაშენები, რომლებიც შედგენილია წინასწარ დაძაბული უდიაფრაგმო კოჭებისაგან, ჭრილი და უჭრი სისტემების ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენები, შედგენილი რკინაბეტონის სავალი ნაწილის ფილით გაერთიანებული ორტესებრი ფოლადის კოჭებისაგან.

საანგარიშო სქემის მიხედვით ყველა რკინაბეტონის მალის ნაშენი (სიგრძით $L=15.0, 180, 21.0, 24.0$ და 33.0 მ) და ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენები (სიგრძით $L=42.6$ და 63.6 მ) ჭრილკოჭური სისტემისაა. აგრეთვე განხილულია უჭრიკოჭური სისტემებიც (საანგარიშო სქემა $L=42.0+63.0+42.0$ მ, 3×63.0 მ და $63.0+2 \times 84.0+63.0$ მ).

საანგარიშო პროგრამა SeismoSignal-ის მეშვეობით სხვადასხვა კატეგორიის გრუნტებისათვის აგებულ იქნა ვერტიკალური რეაქციის სპექტრები, რომლებიც შედარდა სხვადასხვა ქვეყნის ნორმატიულ დოკუმენტების (GEO, CHИП, EN და AASHTO) მიხედვით მოცემულ ვერტიკალურ სპექტრებს. სპექტრული თეორიის საფუძველზე განისაზღვრა ძალები მალის ნაშენებში, სხვადასხვა ნორმატიულ დოკუმენტში მოცემული და ჩვენს მიერ მიღებული ვერტიკალური სპექტრების მრუდების გამოყენებით.

გაანგარიშების შედეგების ანალიზმა მოიცვა ცალკე რკინაბეტონის და ცალკე ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენები (დიფერენცირებულად ჭრილკოჭური სისტემებისათვის და უჭრიკოჭური სისტემებისათვის).

გამომდინარე იმ ფაქტიდან, რომ კვლევები მოიცავდა კონკრეტული მალის ნაშენებისათვის გაანგარიშებების ჩატარებას ინდივიდუალურად დამუშავებული დინამიკური მრუდების საფუძველზე, რომლის შედეგებიც უნდა შედარებულიყო სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტების საფუძველზე ჩატარებული გაანგარიშების შედეგებთან (GEO, CHИП, EN და AASHTO), სტატიკურ და სეისმურ დატვირთვებზე გაანგარიშებები ჩატარდა მხოლოდ მუდმივი დატვირთვების ნორმატიულ მნიშვნელობებისათვის (დატვირთვების უნიფიცირების მეთოდი). გამომდინარე იქიდან, რომ სხვადასხვა ქვეყნის ნორმატიულ დოკუმენტებში დროებით დატვირთვებს განსხვავებული სიდიდეები აქვთ და, შესაბამისად, გაანგარიშებისას სეისმური სპექტრული მრუდების სწორი შედარებისა და ანალიზისათვის ხელშემშლელ ზეგავლენას მოახდენდა და მალის ნაშენში ძალების მნიშვნელობების განსხვავებულობებში არა მარტო სპექტრული მრუდების ზეგავლენა იმოქმედებდა, არამედ მათზე დროებითი დატვირთვის მნიშვნელობებიც აისახებოდა. ამავ მიზნით ყველა მალის ნაშენის სავალი ნაწილის გაბარიტად შეირჩა $\Gamma=11.5$ მ.

არცერთ მოქმედ ნორმატიულ დოკუმენტაციაში არ არის მოცემული მიწისძვრის რეალური ჩანაწერების მონაცემთა ბანკიდან საანგარიშო ჩანაწერის (კონკრეტული აქსელეროგრამის სახით) შერჩევის მეთოდი, რომლის მიხედვითაც შესრულებული გაანგარიშება უზრუნველყოფს გარკვეული სახის ნაგებობაში (მათ შორის ხიდების მალის ნაშენებში) უდიდესი ძალების აღძვრას (განვითარებას), რაც ნაგებობის სეისმომდეგობაზე გაანგარიშების უპირველესი ამოცანაა.

ამჟამად ფართოდ გავრცელებული სეისმომდეგობის სპექტრული თეორიის საფუძველს წარმოადგენს დინამიკური კოეფიციენტების მრუდები, რომლებიც მიღებულია წრფივი ოსცილატორის დინამიკური რეაქციების (აჩქარებების) საფუძველზე. შესაბამისად, ეს მრუდები უნივერსალურია ყველა სახეობის ნაგებობისათვის (განურჩევლად საანგარიშო სისტემისა, მასებისა და სიხისტეების განაწილებისა) და თუ განსაზღვრულია საკუთარი რხევების სიხშირეთა სპექტრი, მისი შესაბამისი რხევის პერიოდები, ამ მრუდების საფუძველზე მარტივად განისაზღვრება რხევის ფორმის შესაბამისი დინამიკური კოეფიციენტები.

სწორედ ამ მრუდების უნივერსალობის ადექვატურობა დადგა ეჭვის ქვეშ მალის ნაშენზე შეეული სეისმების ზემოქმედებისას და კონკრეტული მალის ნაშენების მაგალითზე განისაზღვრა მათი გავრცელების არეალი, ამოცანათა კლასისათვის კი, რომლებიც გავიდნენ ამ არეალიდან დამუშავდა მეთოდოლოგია, რომლის საფუძველზეც შესაძლებელი გახდება გაცილებით ზუსტი შედეგების მიღება.

ნაშრომი ეფუძნება კონკრეტული ამოცანათა რეალიზაციის შედეგებს და შესაბამის ანალიზს, რომლის საფუძველზეც განსაზღვრულ იქნა სპექტრული თეორიის მოქმედების საზღვრები, ამოცანათა კლასისათვის კი, რომლებიც გასულია მოქმედების საზღვრებიდან, განსაზღვრულ იქნა შესაბამისი მეთოდოლოგია, რაც სამეცნიერო სიახლეს წარმოადგენს და ექნება პრაქტიკული გამოყენება. ამასთანავე დამუშავებული რეკომენდაციები და მიღებული რეაქციის სპექტრების მრუდები ქმნის ევროკოდებში ეროვნული დანართების შექმნის საფუძველს.

Resume

The paper discusses the methodology for determining the dynamic coefficients of the seismic resistance of superstructures of bridges, the most dangerous accelerogram selection method for the superstructures of bridges, the plotting of the curves of dynamic coefficients taking into account specific calculation schemes, the determination of the forces based on them and the comparison with the results obtained by the spectral theory, as well as the critical analysis of the theories of seismic resistance.

The work presents the topics of modern seismic resistance theory, which are either not studied at all, or its study is currently underway. The calculation of superstructures and their constituent structures based on real earthquake records (for example, accelerograms) gives a significantly higher magnitude of forces than the results obtained using the spectral theory established by all existing normative documents.

The selection of required accelerograms (or their group) from the accelerograms data bank is based on the identity of magnitudes - the magnitude of the accelerograms found in the accelerograms data bank shall correspond to the magnitude of the construction site, although this is not enough to select the most dangerous accelerogram for the structure in question.

Taking into account the issues discussed in the work and their specificity, have been selected such types of superstructures which have a wider use in bridge construction. These are: reinforced concrete superstructures made of prestressed non-diaphragm beams, composite steel and concrete beams superstructure of simple span and continuous span, consisting of I-beams jointed with reinforced concrete deck slab.

According to the reporting scheme, all prestressed reinforced concrete superstructures (length $L=15, 18, 21, 24$ and 33 m) and composite steel and concrete beam superstructures (length $L=42.6$ and 63.6 m) are simple spans. The continuous span composite steel and concrete beam (scheme $L=42.0+63.0+42.0$ m, 3×63.0 m and $63.0+2 \times 84.0+63.0$ m) systems are considered as well.

Through the reporting program SeismoSignal, vertical reaction spectra were constructed for different categories of soils, which were compared with the vertical spectra given in the normative documents of different countries (GEO, СНиП, EN and AASHTO). Based on the spectral theory, the forces in superstructures were determined using the curves of vertical spectra given in various normative documents and obtained by us.

The analysis of the calculation results included separate reinforced concrete superstructures and separate composite steel and concrete beam superstructures (differentiated for simple span and continuous span systems).

Due to the fact that the studies included calculations for superstructures based on individually processed dynamic curves, the results of which had to be compared with the results of calculations based on various normative documents (GEO, СНиП, EN and AASHTO), calculations on static and seismic loads were performed only for normative values of dead loads (load unification method). Based on the fact that live loads have different values in the normative documents of different countries, it would have an adverse effect on the correct comparison and analysis of the seismic spectral curves during the calculation, and the differences in the values of the forces in the superstructures

would not only be influenced by the spectral curves, but also be affected by the live load values. For the same purpose, $\Gamma=11.5$ m was chosen as the dimension of traffic way of all superstructures.

None of the valid normative documentation provides a method for selecting a report record (in the form of a specific accelerogram) from the data bank of real earthquake records, according to which the calculation performed ensures the generation (development) of the greatest forces in a certain type of structures (including superstructures of bridges), which is the primary task of calculating the seismic resistance of the structures.

The basis of the currently widespread spectral theory of seismicity is the dynamics coefficients of curves obtained on the basis of dynamic responses (accelerations) of a linear oscillator. Accordingly, these curves are universal for all types of structures (regardless of the calculation system, distribution of masses and stiffnesses) and if the frequency spectrum of its own oscillations, its corresponding oscillation periods are determined based on these curves, the coefficients of dynamism corresponding to the oscillation form are easily determined.

The adequacy of the universality of these curves was doubted when earthquakes occurred on superstructures, and the area of their distribution was determined on the example of specific superstructures, and a methodology was developed for the class of tasks that went out of this area, based on which it will be possible to obtain more accurate results.

The work is based on the results of the implementation of specific tasks and the corresponding analysis, based on which the limits of the spectral theory were determined, and for the class of tasks that are beyond the limits of the operation, the appropriate methodology was determined, which is a scientific novelty and will have practical application. In addition, the processed recommendations and the received response spectrum curves form the basis for the creation of national annexes in Eurocodes.

შინაარსი

ცხრილების ნუსხა	10
ნახაზების ნუსხა	12
მადლიერების გვერდი	18
შესავალი	19
1. ლიტერატურის მიმოხილვა	26
1.1. სეისმურ დატვირთვებზე გაანგარიშების თეორიები	26
1.1.1. სეისმომედეგობის სტატიკური თეორია	26
1.1.2. სეისმომედეგობის დინამიკური თეორია	29
1.1.3. სეისმომედეგობის სპექტრული თეორია	32
1.2. სხვადასხვა ნორმატიულ დოკუმენტაციაში მიღებული სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტები	38
1.2.1. საქართველოში მიღებული ნორმატივის მიხედვით მიღებული სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტები (სპექტრული მრუდები)	38
1.2.2. რუსეთის ფედერაციაში მიღებული ნორმატივის მიხედვით მიღებული სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტები (სპექტრული მრუდები)	40
1.2.3. ევროპული ნორმატივების მიხედვით მიღებული დრეკადი რეაქციის სპექტ- რები (სპექტრული მრუდები)	42
1.2.4. აშშ-ის ნორმატივების მიხედვით მიღებული დრეკადი სეისმური რეაქციის კოეფიციენტები (სპექტრული მრუდები)	53
1.3. სეისმომედეგობის სტატიკური თეორიის კრიტიკული ანალიზი	59
1.4. სეისმომედეგობის დინამიკური თეორიის კრიტიკული ანალიზი	60
1.5. სეისმომედეგობის სპექტრული თეორიის კრიტიკული ანალიზი	60
2. კვლევა, შედეგები და მათი განსჯა	62
2.1. კვლევის მეთოდოლოგია	62
2.1.1. ხიდების მალის ნაშენებისათვის ყველაზე საშიში სეისმური ზემოქმედების (აქსელეროგრამების) შერჩევის მეთოდოლოგია	62
2.2. რეალიზებული ამოცანები და მიღებული შედეგები	67
2.2.1. განხილული მალის ნაშენების ძირითადი მახასიათებლები	67
2.2.2. მალის ნაშენთა საკუთარი რხევის პერიოდების განსაზღვრა	71
2.2.3. საანგარიშო აქსელეროგრამების შერჩევის ეტაპები	73
2.2.4. ჭრილკოჭური სისტემის წინასწარ დამაბული რკინაბეტონის მალის ნაშენების გაანგარიშება სტატიკურ და სეისმურ დატვირთვებზე	75
2.2.5. ჭრილკოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენების გაანგარიშება სტატიკურ და სეისმურ დატვირთვებზე	91

2.2.6. უჭრკოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენების გაანგარიშება სტატიკურ და სეისმურ დატვირთვებზე	101
2.3. მალის ნაშენების სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტების განსაზღვრა	114
3. დასკვნა	123
გამოყენებული ლიტერატურა	124
დანართი	130

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. - საქართველოში მიღებული გრუნტების კატეგორია სეისმური თვისებების მიხედვით	39
ცხრილი 2. - რუსეთის ფედერაციაში მიღებული გრუნტების კატეგორია სეისმური თვისებების მიხედვით	41
ცხრილი 3. - გრუნტის ტიპები	43
ცხრილი 4. - რეკომენდებული ჰორიზონტალური დრეკადი რეაქციის სპექტრის 1-ლი ტიპისათვის პარამეტრების მნიშვნელობები	45
ცხრილი 5. - რეკომენდებული ჰორიზონტალური დრეკადი რეაქციის სპექტრის მე-2 ტიპისათვის პარამეტრების მნიშვნელობები	46
ცხრილი 6. - რეკომენდებული ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრის 1-ლი და მე-2 ტიპებისათვის პარამეტრების მნიშვნელობები	48
ცხრილი 7. - სეისმური ზონა	53
ცხრილი 8. - გრუნტის კოეფიციენტები	54
ცხრილი 9. - გრუნტის კატეგორიები	55
ცხრილი 10. - ადგილმდებარეობის ფაქტორი (აჩქარების სპექტრით ნულ პერიოდ-ზე F_{pga})	57
ცხრილი 11. - ადგილმდებარეობის ფაქტორი (აჩქარების სპექტრით მოკლე პერიოდისათვის F_a)	58
ცხრილი 12. - ადგილმდებარეობის ფაქტორი (აჩქარების სპექტრით ხანგრძლივი პერიოდისათვის F_v)	58
ცხრილი 13. - მალის ნაშენის ძირითადი მახასიათებლები	71
ცხრილი 14. - მალის ნაშენის რხევის პერიოდები და სიხშირეები	72
ცხრილი 15. - $L=15.0$ მ წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენი.....	85
ცხრილი 16. - $L=18.0$ მ წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენი	86
ცხრილი 17. - $L=21.0$ მ წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენი	86
ცხრილი 18. - $L=24.0$ მ წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენი	87
ცხრილი 19. - $L=33.0$ მ წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენი	87
ცხრილი 20. - $L=42.0$ მ ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენი	99
ცხრილი 21. - $L=63.0$ მ ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენი	100
ცხრილი 22. - $L=42.0+63.0+42.0$ მ ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენი	110
ცხრილი 23. - $L=3 \times 63.0$ მ ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენი	110
ცხრილი 24. - $L=63.0+84.0+63.0$ მ ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენი	111
ცხრილი 25. - სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტები წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენებისათვის	114

ცხრილი 26. - სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტები ჭრილი სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენებისათვის.....	115
ცხრილი 27. - სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტები უჭრი სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენებისათვის.....	116
ცხრილი 28. - ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრის პარამეტრების მნიშვნელობები.....	118
ცხრილი 29. - ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრის მრუდის აგების ფუნქცია.....	122

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1. - ა) $\beta=f(T)$ სპექტრული მრუდი და ბ) ზოგადი საანგარიშო სქემა	33
ნახაზი 2. - სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტების სპექტრული მრუდები გრუნტების კატეგორიის მიხედვით (პირობითად Geo სტანდარტით)	40
ნახაზი 3. - სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტების სპექტრული მრუდები (პირობითად Rus სტანდარტით)	42
ნახაზი 4. - დრეკადი რეაქციის სპექტრის ფორმა	45
ნახაზი 5. - 1-ლი ტიპის დრეკადი რეაქციის სპექტრი.....	46
ნახაზი 6. - მე-2 ტიპის დრეკადი რეაქციის სპექტრი	46
ნახაზი 7. - 1-ლი და მე-2 ტიპის მიწისძვრებისათვის ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრული მრუდები	48
ნახაზი 8. - 1-ლი ტიპის საანგარიშო სპექტრი	50
ნახაზი 9. - მე-2 ტიპის საანგარიშო სპექტრი	51
ნახაზი 10. - ვერტიკალური საანგარიშო სპექტრი 1-ლი და მე-2 ტიპის მიწისძვრებისათვის	51
ნახაზი 11. - 1-ლი ტიპის ჰორიზონტალური დრეკადი გადაადგილების რეაქციის სპექტრი	52
ნახაზი 12. - მე-2 ტიპის ჰორიზონტალური დრეკადი გადაადგილების რეაქციის სპექტრი	52
ნახაზი 13. - 1-ლი და მე-2 ტიპის მიწისძვრებისათვის ვერტიკალური დრეკადი გადაადგილების რეაქციის სპექტრი	53
ნახაზი 14. - დრეკადი სეისმური რეაქციის სპექტრი გრუნტის ტიპების მიხედვით	54
ნახაზი 15. - საანგარიშო რეაქციის სპექტრი	56
ნახაზი 16. - A-E გრუნტის კატეგორიებისათვის საანგარიშო რეაქციის სპექტრი	58
ნახაზი 17. - მიწისძვრის ჩანაწერი აქსელეროგრამის სახით.....	64
ნახაზი 18. - აქსელეროგრამიდან გამოყოფილი ფაზა, რომელიც ექვემდებარება ჰარმონიკებად დაშლას.....	64
ნახაზი 19. - გამოყოფილ ფაზაში იტერაციული პროცესის ბიჯი (დროითი ბიჯი) და მისი შესაბამისი ორდინატები - აჩქარებები.....	64
ნახაზი 20. - $L=15.0$ მ სიგრძის წინასწარ დამაბული მალის ნაშენის განივი კვეთი ..	68
ნახაზი 21. - $L=18.0$ მ , $L=21.0$ მ და $L=24.0$ მ სიგრძის წინასწარ დამაბული მალის ნაშენის განივი კვეთი	68
ნახაზი 22. - $L=33.0$ მ სიგრძის წინასწარ დამაბული მალის ნაშენის განივი კვეთი .	68
ნახაზი 23. - $L=42.6$ მ სიგრძის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის განივი კვეთი	69
ნახაზი 24. - $L=63.6$ მ სიგრძის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის განივი კვეთი	69

ნახაზი 25. - $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის განივი კვეთი	70
ნახაზი 26. - $L=3 \times 63.0$ მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის განივი კვეთი	70
ნახაზი 27. - $L=63.0+2 \times 84.0+63.0$ მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის განივი კვეთი	71
ნახაზი 28. - ფრიურის ჩანაწერის აქსელეროგრამიდან გამოყოფილი ფაზის პირველი სამი ჰარმონიული ფუნქცია	74
ნახაზი 29. - ფრიურის ჩანაწერიდან გამოყოფილი ფაზის ჰარმონიული ფუნქციები	74
ნახაზი 30. - $L=15.0$ მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი	75
ნახაზი 31. - $L=18.0$ მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი	75
ნახაზი 32. - $L=21.0$ მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი	75
ნახაზი 33. - $L=24.0$ მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი	76
ნახაზი 34. - $L=33.0$ მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი	76
ნახაზი 35. - სტროფადის მიწისძვრის ჩანაწერი (კოდი:005820).....	77
ნახაზი 36. - სტროფადის მიწისძვრის ვერტიკალური აქსელეროგრამა (კოდი:005820).....	78
ნახაზი 37. - სტროფადის მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამა (კოდი:005820).....	78
ნახაზი 38. - სტროფადის მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამა (კოდი:005820) და $L=15.0$ მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქცია (აჩქარებების სახით)	78
ნახაზი 39. - — სტროფადის მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული სპექტრი (კოდი:005820); — $L=15.0$ მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრი	79
ნახაზი 40. - $L=15.0$ მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის	79
ნახაზი 41. - $L=15.0$ მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის	80
ნახაზი 42. - $L=15.0$ მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის	80
ნახაზი 43. - $L=18.0$ მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის	81

ნახაზი 61. - L=63.6 მ სიგრძის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი	92
ნახაზი 62. - მონტენეგროს მიწისძვრის ჩანაწერი (კოდი:000198)	93
ნახაზი 63. - მონტენეგროს მიწისძვრის ვერტიკალური აქსელეროგრამა (კოდი:000198).....	94
ნახაზი 64. - მონტენეგროს მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამა (კოდი:000198).....	94
ნახაზი 65. - მონტენეგროს მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამა (კოდი:000198) და L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქცია (აჩქარებების სახით)	95
ნახაზი 66. - მონტენეგროს მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული სპექტრი (კოდი:000198); L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრი	95
ნახაზი 67. - L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის	96
ნახაზი 68. - L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის	96
ნახაზი 69. - L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის	97
ნახაზი 70. - L=63.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის	97
ნახაზი 71. - L=63.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის	98
ნახაზი 72. - L=63.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის	98
ნახაზი 73. - სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და კვლევით მიღებული სპექტრების მიხედვით L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის ძაღვების მნიშვნელობები.....	100
ნახაზი 74. - სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და კვლევით მიღებული სპექტრების მიხედვით L=63.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის ძაღვების მნიშვნელობები.....	101
ნახაზი 75. - L=42.0+63.0+42.0 მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი	101
ნახაზი 76. - L=3x63.0 მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი	101
ნახაზი 77. - L=63.0+2x84.0+63.0 მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი	101
ნახაზი 78. - კალამატას მიწისძვრის ჩანაწერი (კოდი:005819)	103

ნახაზი 79. - კალამატას მიწისძვრის ვერტიკალური აქსელეროგრამა (კოდი:005819)	104
ნახაზი 80. - კალამატას მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამა (კოდი:005819)	104
ნახაზი 81. - კალამანტას მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამა (კოდი:005819) და $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქცია (აჩქარებების სახით)	104
ნახაზი 82. - მონტენეგროს მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული სპექტრი (კოდი:000198); $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრი	105
ნახაზი 83. - $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის	105
ნახაზი 84. - $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის	106
ნახაზი 85. - $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის	106
ნახაზი 86. - $L=3 \times 63.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის	107
ნახაზი 87. - $L=3 \times 63.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის	107
ნახაზი 88. - $L=3 \times 63.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის	108
ნახაზი 89. - $L=63.0+2 \times 84.0+63.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის	108
ნახაზი 90. - $L=63.0+2 \times 84.0+63.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის	109
ნახაზი 91. - $L=63.0+2 \times 84.0+63.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის	109
ნახაზი 92. - სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და კვლევით მიღებული სპექტრების მიხედვით $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის მალის ნაშენის ძაღვების მნიშვნელობები	111
ნახაზი 93. - სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და ახალი სპექტრების მიხედვით $L=3 \times 63.0$ მ სიგრძის მალის ნაშენის ძაღვების მნიშვნელობები	112
ნახაზი 94. - სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და ახალი სპექტრების მიხედვით $L=63.0+2 \times 84.0+63.0$ მ სიგრძის მალის ნაშენის ძაღვების მნიშვნელობები	112
ნახაზი 95. - $L=15.0$ მ სიგრძის წინასწარ დამაბული მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები	118

ნახაზი 96. - $L=18.0$ მ სიგრძის წინასწარ დამაბული მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები	119
ნახაზი 97. - $L=21.0$ მ სიგრძის წინასწარ დამაბული მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები	119
ნახაზი 98. - $L=24.0$ მ სიგრძის წინასწარ დამაბული მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები	119
ნახაზი 99. - $L=33.0$ მ სიგრძის წინასწარ დამაბული მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები	120
ნახაზი 100. - $L=42.6$ მ სიგრძის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები	120
ნახაზი 101. - $L=63.6$ მ სიგრძის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები	120
ნახაზი 102. - $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები	121
ნახაზი 103. - $L=3 \times 63.0$ მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები	121
ნახაზი 104. - $L=63.0+2 \times 84.0+63.0$ მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები	121

მადლიერების გვერდი

მადლობა მინდა გადავუხადო შპს საპროექტო-საკვლევადიებო ინსტიტუტის ტრანსპროექტის გენერალურ დირექტორს ბატონ ტალი ტალიაშვილს და ამავე ინსტიტუტის მენეჯერ-დირექტორს დავით ტალიაშვილს, რომელთა ხელშეწყობით მოხდა ინსტიტუტის რესურსების, კერძოდ საანგარიშო პროგრამის MIDAS Civil 2019 გამოყენებით აღნიშნული კვლევების ჩატარება.

ასევე მადლობა მინდა გადავუხადო საქართველოს შოთა რუსთაველის ეროვნულ სამეცნიერო ფონდს (SRNSFG), რომლის მხარდაჭერით და დაფინანსებით (შიფრი № PHDF-22-1040) განხორციელდა ნაშრომში მოცემული კვლევები.

შიფრი № PHDF-22-1040 განხორციელდა საანგარიშო პროგრამა SeismoSignal-ის და მძლავრი კომპიუტერის Laptop შეძენა, რომელთა საშუალებითაც სხვადასხვა კატეგორიის გრუნტებისათვის აგებული იქნა ვერტიკალური რეაქციის სპექტრები ხიდების მალის ნაშენებისათვის, რაც შედარდა სხვადასხვა ქვეყნის ნორმატიული დოკუმენტების (GEO, CHИП, EN და AASHTO) მიხედვით მოცემულ ვერტიკალურ სპექტრებს. სპექტრული თეორიის საფუძველზე სხვადასხვა ნორმატიულ დოკუმენტში მოცემული და ჩვენს მიერ მიღებული ვერტიკალური სპექტრების მრუდების გამოყენებით განისაზღვრა ძალები მალის ნაშენებში.

ასევე მადლობა მინდა გადავუხადო საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტს, კვლევით ლაბორატორიებში კვლევის ჩატარების ხელშეწყობისათვის.

შესავალი

საქართველოში მშენებლობის სფეროში ძირითადად მოქმედებს ყოფილ საბჭოთა კავშირის პერიოდში დამუშავებული ნორმატიული დოკუმენტები. მას შემდეგ რაც საქართველო ევროკავშირის ასოცირებული წევრი გახდა აუცილებლობა შეიქმნა მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტების მისადაგება ევროკავშირის ნორმატიულ დოკუმენტაციასთან, რის საშუალებასაც (თავისი სტრუქტურით) იძლევა ეს უკანასკნელი. ამ მიზნის მისაღწევად ძალზე შრომატევადი სამუშაოებია ჩასატარებელი, რომელმაც უნდა მოიცვას ხიდების სეისმომდეგობის გათვალისწინებით მშენებლობის ყველა სფერო.

ევროპული ნორმების (ეგრეთ წოდებული ევროკოდების - EN) სტრუქტურა ითვალისწინებს ეროვნულ დანართის შექმნას, რომლებიც ადაპტირებული უნდა იყოს ევროკოდების საერთო პრინციპებთან. კონკრეტულად სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების განსაზღვრისათვის შესაძლებელია უშუალოდ ევროკოდებში რეკომენდაციის სახით მოცემული მეთოდოლოგიისა და მრუდების გამოყენება, შესაძლებელია აგრეთვე მათი შეცვლა ეროვნული დანართით, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს, რადგან საქართველოს ტერიტორიის უდიდესი ნაწილი სეისმოაქტიურ ზონაშია განთავსებული.

ყველა არსებულ ნორმატიულ დოკუმენტაციაში სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების განსაზღვრის საფუძველს წარმოადგენს ერთმასიანი კონსოლური სისტემა წრფივი ოსცილატორის სახით (ვერტიკალურად განთავსებული ელემენტი), რომლის მეშვეობითაც მიიღება ცნობილი მრუდები (დინამიკური კოეფიციენტების დამოკიდებულობის გრაფიკები ნაგებობის საკუთრი რხევების პერიოდებზე), განურჩევლად ნაგებობის საანგარიშო სქემისა. მაგალითად ხიდების ძალის ნაშენებისათვის (ჰორიზონტალური ელემენტებისათვის) და ბურჯებისათვის (ვერტიკალური ელემენტებისათვის) ზემოთ აღნიშნული მრუდები იდენტურია, შესაბამისად სეისმომდეგობის სპექტრული თეორია ეფუძნება დაშვებას - ნაგებობის დინამიკური რეაქციები (აჩქარებები) არ არის დამოკიდებული საანგარიშო სისტემაზე.

უმნიშვნელოვანეს საკითხში (სპექტრული თეორიის ამ დაშვებაში) მეტი სიცხადის შეტანისათვის აღსანიშნავია მთავარი, რომ სტატიკურ დატვირთვებზე

განგარიშება წარმოებს ნაგებობის კონკრეტული საანგარიშო სქემის საფუძველზე, რაც სეისმურ დატვირთვებზე განგარიშებისას შენარჩუნებულია მხოლოდ საკუთარი რხევის პერიოდების განსაზღვრისათვის, მათ საფუძველზე განსაზღვრული სეისმომდეგობის დინამიკურ კოეფიციენტებს კი კონკრეტულ საანგარიშო სქემას უკვე აღარ ითვალისწინებს, რადგან წრფივი ოსცილატორის დინამიკური რეაქციები (აჩქარებები) და მათ საფუძველზე დამუშავებული მრუდები ითვლება უნივერსალურად ყველა სახეობის ნაგებობისათვის - ძალზე დიდი დაშვებაა, რადგან სწორედ სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტებია ის მთავარი კომპონენტი, რომელიც განსაზღვრავს სეისმური ზემოქმედების სიდიდეს და შესაბამისად ნაგებობაში განვითარებულ ძალებს.

აუცილებლობას წარმოადგენს (მხოლოდ ხიდების მალის ნაშენების სეისმურ დატვირთვებზე განგარიშებისას) შეფასდეს სეისმომდეგობის სპექტრული თეორიის მოქმედების არეალი, თუ რა საზღვრებში და რომელი ტიპის მალის ნაშენებისათვისაა ის სამართლიანი და თუ ამოცანა სცილდება ამ საზღვრებს, მაშინ ამ ამოცანათა კლასისთვის უნდა დამუშავდეს შესაბამისი მეთოდოლოგია, რომლის საფუძველზეც შესაძლებელი გახდება მაღალი სიზუსტის შედეგების მიღება.

სპექტრული თეორია წრფივი ალგებრის ელემენტებზეა დაფუძნებული (საკუთარი რიცხვებისა და მათი შესაბამისი ვექტორების განსაზღვრა), რაც ავტომატურად გამორიცხავს გეომეტრიულად არაწრფივი ამოცანების შემთხვევაში ამ თეორიის გამოყენების შესაძლებლობას.

სეისმურ დატვირთვებზე განგარიშება გარდა სპექტრული თეორიისა, რომელიც სეისმურ ინტენსივობას სეისმურობის უგანზომილებო კოეფიციენტით ითვალისწინებს (ბალიანობის შესაბამისი აჩქარებების მაქსიმალური მნიშვნელობები), გამოიყენება მეორე მეთოდიც - მიწისძვრების რეალური ინსტრუმენტული ჩანაწერები (ძირითადად აქსელეროგრამები), რომელიც ძირითადი მეთოდია გეომეტრიულად არაწრფივი ამოცანების შემთხვევაში. ამ მეთოდის გამოყენება განსაკუთრებით ეფექტურია მაშინ, როდესაც არსებობს ჩანაწერების სოლიდური მონაცემთა ბანკი, რომლებიც გარკვეული სიზუსტით ასახავენ მოცემულ რეგიონში მიწისძვრების ხასიათს.

ყველა საერთაშორისო ნორმებში (მათ შორის საქართველოში მოქმედ ნორმებშიც) მოთხოვნილია, რომ საანგარიშოდ შერჩეული რეალური ჩანაწერი იყოს ყველაზე სახიფათო მოცემული ნაგებობისათვის (შერჩეულმა რეალურმა ჩანაწერმა, აჩქარებების სახით, უნდა უზრუნველყოს კონკრეტულ ნაგებობაში მაქსიმალური ძალების განვითარება), მაგრამ არ არის მოცემული გაანგარიშებისათვის საჭირო რეალური ჩანაწერის შერჩევის მეთოდოლოგია, რომელსაც ამ მიზნის მისაღწევად გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს.

თემის სამეცნიერო აქტუალობა. საქართველოში ძირითადად მოქმედებს ყოფილ საბჭოთა კავშირის პერიოდში დამუშავებული ნორმატიული დოკუმენტები, თუმცა დღესდღეისობით გაანგარიშებებში უპირატესობა ენიჭება ამერიკულ ნორმებს AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) და ევროპულ სტანდარტებს EN (European Standard).

ევროკოდები ისეთი ნორმატიული დოკუმენტია, რომელიც ითვალისწინებს ეროვნულ დანართის შექმნას, რომლებიც ადაპტირებული უნდა იყოს ევროკოდების ძირითად პრინციპებთან. ასეთი ნორმატივის მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილია სეისმური მშენებლობის ნორმები, რომლის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მოცემულობაა რეაქციის სპექტრების განსაზღვრა.

საქართველოში მოქმედ ნორმატიული დოკუმენტაციიდან ევროკოდებზე გადასვლა გულისხმობს სეისმურ დატვირთვებზე გაანგარიშებისას ძირითადად რეალური (ან სინთეზური) აქსელეროგრამების გამოყენებას, რომლებიც გარკვეული სიზუსტით უნდა ასახავდნენ მოცემულ რეგიონში მიწისძვრების მოსალოდნელ ხასიათს. რეალური ჩანაწერების ან მათ საფუძველზე მიღებული სინთეზური აქსელეროგრამების შერჩევის წესს (საანგარიშო აქსელეროგრამების შერჩევის წესს) გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მაქსიმალური ძალების მისაღებად, რაც წესით ასახული უნდა იყოს საერთაშორისო ნორმატიულ დოკუმენტაციაში. მაგრამ ამ მნიშვნელოვან საკითხს ყველა ცნობილი ნორმატივი გვერდს უვლის.

ძალზე აქტუალურია აღნიშნულ საკითხში სიცხადის შეტანა და აუცილებლობას წარმოადგენს ისეთი მეთოდოლოგიის დამუშავება, რომლის საფუძველზეც შესაძლებელი გახდება მოცემული კონკრეტული ნაგებობისათვის

(მათ შორის ხიდების ძირითადი ორი მზიდი ელემენტებისათვის - მალის ნაშენებისათვის და ბურჯებისათვის) მონაცემთა ბანკიდან შეირჩეს ისეთი საანგარიშო რეალური ჩანაწერი, რომელიც უზრუნველყოფს ნაგებობებში მაქსიმალური ძალების აღძვრას, აღნიშნული საკითხი წარმოადგენს მოცემული სამეცნიერო ნაშრომის ერთ მიმართულებას.

ამასთანავე აუცილებლობას წარმოადგენს რომ დამუშავებული მეთოდოლოგია გამოყენების თვალსაზრისით იყოს მარტივი მომხმარებლებისათვის, რაც გაზრდის მის პრაქტიკულ დანიშნულებას.

ასევე აქტუალურია სეისმომდეგობის სპექტრული თეორიის დინამიკური კოეფიციენტების მრუდების კრიტიკული ანალიზი და მათი გამოყენების არეალის დადგენა გარკვეული ტიპის მალის ნაშენებისათვის და იმ შემთხვევაში, თუ კონკრეტული ამოცანა თავის შედეგებით აღმოჩნდა გამოყენების არეალის მიღმა - მაშინ საჭიროა მეთოდოლოგიის დამუშავება ამ კლასის ამოცანებისათვის.

სამეცნიერო სიახლე. ნაშრომის სამეცნიერო სიახლეა:

- ხიდების მალის ნაშენების სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების განსაზღვრის და აქსელეროგრამების შერჩევის მეთოდოლოგიის დამუშავება;

- ხიდების მალის ნაშენებისათვის სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების სიდიდის განსაზღვრა;

- სხვადასხვა სისტემის ხიდების მალის ნაშენებისათვის ვერტიკალური რეაქციის სპექტრის მრუდის აგება;

- EN-ში ეროვნული დანართისათვის სარეკომენდაციო დებულებების შედგენა.

სამუშაოს მიზანი. ხიდების მალის ნაშენების სეისმურ დატვირთვებზე გაანგრიშების მეთოდოლოგიის დამუშავება, რომელიც საშუალებას მოგვცემს შეირჩეს აქსელეროგრამების მონაცემთა ბანკიდან საანგარიშო აქსელეროგრამა (ან მათი ჯგუფი), რომელთა საფუძველზეც რხევის პროცესში კონსტრუქციაში განვითარდება მაქსიმალური ძალები.

სეისმომდეგობის სპექტრული თეორიის დინამიკური კოეფიციენტების მრუდების კრიტიკული ანალიზი ხიდების მალის ნაშენების შემთხვევაში და მათი

გამოყენების არეალის განსაზღვრა, ხოლო იმ ამოცანათა კლასისათვის რომლებიც გასულია ამ არეალიდან, მეთოდოლოგიის შემუშავება, რომლის გამოყენების შემთხვევაში უზრუნველყოფილი იქნება გაანგარიშებისათვის საჭირო სიზუსტის შედეგები.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ხიდების მალის ნაშენები, კერძოდ კი ჭრილკოჭური სისტემის რკინაბეტონის მალის ნაშენები, რომლებიც შედგენილია ანაკრები წინასწარ დაძაბული კოჭებისაგან, სიგრძით $L= 15.0, 18.0, 21.0, 24.0, 33.0$ მ.

განხილულია აგრეთვე ჭრილკოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენები, სიგრძით $L=42.6, 63.6$ მ და უჭრკოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენები, საანგარიშო სქემებით: $42+63+42$ მ, 3×63 მ, $63+2 \times 84+63$ მ.

ორივე ტიპის მალის ნაშენისათვის მიღებულია სავალი ნაწილის გაზარიტი 11.5 მ, ორმხრივი ტროტუარების სიგანით 1.5 მ.

სტატიკურ და სეისმურ დატვირთვებზე გაანგარიშება ჩატარებული იქნა მუდმივი დატვირთვების ნორმატიული მნიშვნელობებისათვის, რაც იძლევა ანალიზის საშუალებას, როდესაც ამოცანები რეალიზებულია სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტების საფუძველზე.

მალის ნაშენის საკუთარი რხევის სიხშირეთა სპექტრი და შესაბამისი რხევის პერიოდები განისაზღვრა საანგარიშო კომპლექს MIDAS Civil 2019-ის დახმარებით. საანგარიშო აქსელეროგრამები შეირჩა გაერთიანებული ევროპის პროექტის „Internet-Site for European Strong-Motion DataBase” და იტალიის აქსელერომეტრიული არქივის - Italian Accelerometric Archive მონაცემთა ბაზიდან, ხოლო მათი ჰარმონიკებად დაშლაში გამოყენებულია ფურიეს მწკრივების თეორიის საფუძველზე დამუშავებული რიცხვითი გამოთვლითი პლატფორმა MATLAB.

მალის ნაშენების აჩქარებები (მახასიათებელ დისკრეტულ წერტილებში) განისაზღვრა საანგარიშო კომპლექს MIDAS Civil 2019-ის დახმარებით, ხოლო რეაქციის სპექტრები აიგო საანგარიშო კომპლექს SeismoSignal-ის გამოყენებით, რომელიც საფუძველად დაედო დინამიკური კოეფიციენტების მრუდების აგებას.

კვლევის ძირითადი მიზანი და ამოცანები. ხიდების მალის ნაშენების სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების განსაზღვრა და მათ მისაღებად დამუშავდა მეთოდოლოგია, რომლის საფუძველზეც აქსელეროგრამების მონაცემთა ბანკიდან შესაძლებელია შეირჩეს ისეთი აქსელეროგრამა, რომელიც კონკრეტულ კონსტრუქციაში რხევის პროცესში განაპირობებს ძალების მაქსიმალურ სიდიდეს.

წრფივი-სპექტრული თეორიის საფუძველს დინამიკური მრუდების სახით წარმოადგენს წრფივი ოსცილატორის (ვერტიკალური კონსოლური დერო კონსოლის ბოლოში ერთი მასით) ბაზაზე მიღებული სეისმური რეაქციები აჩქარებების სახით, რაც არ ითვალისწინებს სხვადასხვა კონსტრუქციების ძალზე მრავალფეროვან საანგარიშო სქემებს.

აქედან გამომდინარე, აუცილებლობას წარმოადგენს სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების განსაზღვრა კონკრეტული სისტემის მალის ნაშენებისათვის. მრუდები იგება კონკრეტული მალის ნაშენებისათვის და ხდება მათი შედარება სხვადასხვა ნორმატივებში მოცემულ მრუდებთან, რაც შესაბამის ანალიზს ექვემდებარება. სხვადასხვა ნორმატივებით მიღებული შედეგების შედარებამ თავისთავად განაპირობა საწყისი მონაცემების იდენტურობის აუცილებლობა. მალის ნაშენების სტატიკურ და სეისმურ დატვირთვებზე გაანგარიშებები (საწყისი მონაცემების იდენტურობის გათვალისწინებით) ჩატარდა ნორმატიულ მუდმივ დატვირთვებზე.

კვლევის შედეგების გამოყენების სფერო. სადისერტაციო ნაშრომს გააჩნია პრაქტიკული ღირებულება ხიდმშენებლობის სფეროში. ჩატარებული კვლევები საფუძველს იძლევა ხიდების მალის ნაშენების გაანგარიშებაში დაზუსტდეს მიწისძვრის ვერტიკალური რეაქციის სპექტრების მრუდები EN-ის ეროვნულ დანართში მათი გამოყენების მიზნით და შემუშავდეს აღნიშნული სტანდარტისათვის დანართში გასათვალისწინებელი რეკომენდაციები, რაც საბოლოო ჯამში მნიშვნელოვან როლს შეასრულებს ხიდების სეისმომდეგობის გაანგარიშების სფეროში.

ნაშრომის აპრობაცია. სადისერტაციო ნაშრომის ცალკეული შედეგები მოხსენებული იყო 2021 წლის 28-30 ივლისს ZOOM პლატფორმაზე II

საერთაშორისო სამეცნიერო -პრაქტიკულ სემინარზე "ევროპული ინოვაციური ტექნოლოგიები მშენებლობაში და გარემოს ინჟინერიაში"; 2021 წლის 9-11 სექტემბერს ქ. ქუთაისში საქართველოს მექანიკოსთა კავშირის XII საერთაშორისო კონფერენციაზე; 2022 წლის 20-22 მაისს ქ. ერევანში საერთაშორისო სამეცნიერო და ტექნიკურ კონფერენციაზე "საინჟინრო მეცნიერებათა პრობლემები"; 2022 წლის 24-26 ივნისს ქ. თბილისში საერთაშორისო კონფერენციაზე „მულტიდისციპლინარული სამეცნიერო კვლევების გლობალური პრაქტიკა“; 2022 წლის 27-29 ივლისს ქ. თბილისში სტუდენტთა საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე - „ინოვაციური ტექნოლოგიები ინჟინერიაში“; 2022 წლის 24-26 აგვისტოს ქ. ბათუმში საქართველოს მექანიკოსთა კავშირის XIII საერთაშორისო კონფერენციაზე და 2023 წლის 16-17 თებერვალს ქ. თბილისში სტუდენტთა საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე - „ინოვაციური ტექნოლოგიები ინჟინერიაში“.

პუბლიკაციები. დისერტაციის თემის ირგვლივ სხვადასხვა ქვეყნის რეფერირებულ ჟურნალში გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო სტატია და 1 მონოგრაფია.

დისერტაციის სტრუქტურა: სადისერტაციო ნაშრომი შედგება: შესავლის, ორი თავის, დასკვნის, გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხის 65 დასახელებით, 29 ცხრილისა და 104 ნახაზისაგან. ნაშრომი წმოდგენილია 150 ნაბეჭდ გვერდზე.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. სეისმურ დატვირთვებზე გაანგარიშების თეორიები

1.1.1. სეისმომდეგობის სტატიკური თეორია

სეისმური ზემოქმედება ზოგადად დინამიკური ზემოქმედების ნაირსახეობაა, თვითონ პროცესი კი სტოქასტიკურ (შემთხვევით) პროცესებს განეკუთვნება, შესაბამისად მიწისძვრების წინასწარი ზუსტი მოდელირება რხევების სახით შეუძლებელია [17, 18, 19].

სეისმომდეგობის პირველი თეორია დამუშავდა 1891 წელს იაპონიაში, მისი ავტორები არიან ომორი და სანო, თეორია ცნობილია როგორც „სტატიკური“, რიგ ლიტერატურაში ეს თეორია მოიხსენიება როგორც „კვაზიდინამიკური“ (მოჩვენებითი დინამიკური) თეორია [20].

იაპონელი მეცნიერის ოკამოტოს აზრით მიწისძვრის დროს დედამიწის ღრმა პლასტებში (ფენებში) ორი ტიპის ტალღა წარმოიქმნება - P გრძივი და S განივი ტალღები [27].

P გრძივი ტალღების მიმართულება ემთხვევა გრუნტის ნაწილაკების გადაადგილების მიმართულებას (გადაადგილების ფრონტს), ხოლო გრუნტის ნაწილაკების გადაადგილების მართობულად კი S განივი (გადაადგილების გავრცელების მიმართულების მართობული) ტალღები ვრცელდება.

გრძივი ტალღების ზემოქმედებით გრუნტის ფენები განიცდიან კუმშვა-გაჭიმვით დეფორმაციებს, განივი ტალღები კი - გრძივი ტალღებისაგან გამოწვეული ძვრის დეფორმაციების შედეგია.

გარდა ამ ორი ურთიერთორთოგონალური მიმართულების ტალღებისა დედამიწის ზედაპირთან არსებულ ფენებში ჩნდება მათ მიმართ ორთოგონალური ტალღა R (რელეის ტალღად წოდებული), რომელიც დომინანტურია მაღლის ნაშენების სეისმურ დატვირთვებზე გაანგარიშებისას (ვერტიკალური სეისმის გამომწვევი ტალღა) [14, 15].

P, S, R ტალღების ფორმირება მრავალ ფაქტორზე და საწყის მონაცემზეა დამოკიდებული, რომელთა წინასწარი განსაზღვრა შეუძლებელია, ამიტომ ამოცანა არ არის განპირობებული, შესაბამისად არ არსებობს ამოცანის ზუსტი ამონახსნი.

ეს მოცემულობა იდგა 1891 წელსაც, პრაქტიკულად იგივე მოცემულობაა დღესაც და ამ მიმართულებით, მიწისძვრის ზემოქმედების წინასწარი მოდელირების კუთხით, პროგრესი უმნიშვნელოა, არადა მაშინ აუცილებლობას წარმოადგენდა (მითუმეტეს იაპონიაში) ისეთი თეორიის შექმნა, რომლის საფუძველზე ჩატარდებოდა შენობა-ნაგებობების გაანგარიშებები და ამით გარკვეულწილად გადაწყდებოდა ნაგებობათა სეისმომედეგობის პრობლემა.

იმ პერიოდისათვის, რიგ ქვეყნებში, უკვე არსებობდა სეისმური რხევების ჩამწერი აპარატურა. სეისმური სადგურები ფუნქციონირებდა რუსეთის იმპერიაშიც, მათ შორის საქართველოშიც. ცნობილია, რომ 1899 წლის 19 დეკემბრის ახალქალაქის დამანგრეველი მიწისძვრის შესწავლაში დიდი ღვაწლი მიუძღვის რუს ინჟინერსა და გეოლოგ მუშკეტოვს.

სხვადასხვა მიწისძვრების შესახებ მოპოვებული მასალებისა და მათი რეალური ჩანაწერების ანალიზმა იაპონელი მეცნიერები მიიყვანა იმ დასკვნამდე, რომ ძირითადად კარგად ნაშენი (შეიძლება ითქვას კაპიტალური) ნაგებობების დიდი დაზიანებები და გამონაკლის შემთხვევაში მათი ნგრევები ხდებოდა მიწისძვრის α აჩქარებისას, როდესაც $\alpha \geq 0.1g$, ნგრევის პროცენტი მკვეთრად იზრდებოდა $\alpha = 0.2g$ აჩქარებისას და ძალზე დიდი აჩქარებისას $\alpha = 0.4g$ მხოლოდ ერთეული შენობები არ ინგრეოდა, მაგრამ მათზე ფიქსირდებოდა ძალზე დიდი დაზიანებები.

სტატიკური თეორია ეფუძნება ნიუტონის მეორე კანონს $F = ma$. სტატიკური თეორიის მიხედვით კონტინუალური სისტემა წარმოდგენილია შეყურსული მასების მქონე დისკრეტულ სისტემად, ამასთანავე დისკრეტულ მასებში მოიაზრება როგორც საკუთარი წონით განპირობებული, ისე სხვადასხვა დატვირთვებით (მათ შორის დროებითი დატვირთვებით) განპირობებული მასები.

იაპონიის ტერიტორია დაყოფილი იყო სეისმურ ზონებად მიწისძვრის აჩქარებების მიხედვით, შემოღებული იყო სეისმურობის კოეფიციენტები 0.1, 0.2 და 0.4, რომელიც გვიჩვენებდა სიმძიმის ძალის აჩქარების რა ნაწილს შეადგენდა მოსალოდნელი მიწისძვრის აჩქარება გარკვეულ სეისმურ ზონაში, რაც იძლეოდა დისკრეტულ წერტილებში სეისმური დატვირთვების გაანგარიშების საშუალებას $F = ma = \frac{Q}{g} \times kg = kQ$ - ე. ი. სეისმური დატვირთვა წარმოდგენილი იყო

სტატიკური დატვირთვის გარკვეული ნაწილის სახით, რომელიც ნაგებობას შესაბამის დისკრეტულ წერტილებში გადაეცემოდა და სრულდებოდა ჩვეულებრივი გაანგარიშება სტატიკურ დატვირთვებზე. თეორიის მიხედვით ნაგებობის გაანგარიშებისას დინამიკური ზემოქმედების ძალები იცვლებოდა სტატიკური ძალებით $F(t) = F$, ამიტომაც ეწოდა ამ თეორიას „სტატიკური“ თეორია [20, 21].

ამ თეორიის მთავარი დაშვებაა, რომ ნაგებობის აჩქარებები გაიგივებულია ფუძის გრუნტების აჩქარებებთან, რაც ერთადერთ შემთხვევაშია შესაძლებელი - თუ ნაგებობა განიხილება როგორც აბსოლუტურად ხისტი მყარი ტანი, ნულოვანი დრეკადი გადადგილებებით, რაც უმეტეს შემთხვევაში რეალობისაგან შორსაა.

იმ პერიოდისათვის მყარი ტანის მექანიკა (მითუმეტეს ღეროვან სისტემათა მექანიკა) საკმაოდ განვითარებული მეცნიერება იყო და პრობლემას არ წარმოადგენდა სტატიკური ანგარიშების ორჯერ ჩატარება, ჯერ სტატიკურ დატვირთვებზე, შემდეგ კი სეისმურ დატვირთვებზე (სტატიკური თეორიით), ბოლოს კი მიღებული შედეგების ჯამდებოდა (სტატიკა+სეისმიკა).

სტატიკური თეორიის დამუშავება უდავოდ დიდი წინ გადადგმული ნაბიჯი იყო სეისმომედეგობის სფეროში, რომელიც დღესაც შეიძლება გამოვიყენოთ ესკიზური გაანგარიშებისას ნაგებობის მზიდი ელემენტების საწყისი კვეთების დანიშვნის მიზნით, ეს თეორია მარტივად გამოსაყენებელია, როგორც რთულიც არ უნდა იყოს ნაგებობის საანგარიშო სქემა.

„სტატიკური“ თეორიის საფუძველზე მრავალი უნიკალური ნაგებობაა დაპროექტებული (მათ შორის მრავალი დიდმალიანი ხიდი), რომელთა ნაწილი დღესაც ფუნქციონირებს [22].

სეისმომედეგობის სტატიკური თეორიის შექმნის საფუძველს წარმოადგენს დაშვება, რომლის მიხედვით გარკვეული დროის პერიოდში განვითარებული ნაგებობის რხევითი პროცესი განხილულია მყისიერ აქტად და სეისმური დატვირთვები წარმოადგენილია სტატიკური დატვირთვის ნაწილის სახით $F = kQ$, რაც სრულფასოვნად ვერ ასახავს ნაგებობათა რხევის პროცესს - საანგარიშო მოდელი ძალზე გამარტივებულია, რადგან გარდა მყისიერი დატვირთვისა და

მისგან გამოწვეული მყისიერი გადაადგილებებისა, არსებობენ დრეკადი გადაადგილებებიც, რომლებიც დროის ფუნქციას წარმოადგენენ [37, 38].

უხეში შედარებით, სეისმური დატვირთვების წარმოდგენა სტატიკურ დატვირთვებად, დინამიკური უწყვეტი პროცესის შეჩერებული კადრია, კადრს მიღმა კი დარჩენილია საკმაოდ რთული პროცესი – სეისმური ზემოქმედებით გამოწვეული ნაგებობის რხევის პროცესი (სეისმური რეაქციის უწყვეტი პროცესი რომელიც სეისმური ზემოქმედების პროცესზე მეტხანს გრძელდება). თავისთავად ის ფაქტი, რომ დინამიკური ამოცანა წყდება მოძრაობის განტოლებების გარეშე – დიდ დაშვებას ეფუძნება.

1.1.2. სეისმომდეგობის დინამიკური თეორია

სეისმომდეგობის დინამიკური თეორია 1920-იან წლებში დამუშავდა ყოფილ საბჭოთა კავშირში და იაპონიაში, ამ თეორიის ავტორები არიან საბჭოთა მეცნიერი კ. ზავრიევი (საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი) და იაპონელი მეცნიერი მონონობე [18, 23].

სტატიკური თეორიისაგან განსხვავებით, ამ თეორიის მიხედვით სეისმური ზემოქმედება განიხილება როგორც იძულებითი დინამიკური ზემოქმედება, რომელიც ნაგებობაში იწვევს იძულებით რხევებს. ამიტომ ეს ზემოქმედება ზოგადად აისახება სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტით $\beta = \frac{1}{1 - (\frac{\theta}{\varphi})^2}$,

რომლის განსაზღვრისათვის საჭირო იყო უპირველეს ყოვლისა თავისუფალი (საკუთარი) რხევის φ სიხშირეების განსაზღვრა, ხოლო შემდეგ განისაზღვრებოდა სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტი $\beta = f(\varphi, \theta)$, იმ მოცემულობის გათვალისწინებით რომ მიწისძვრის დომინანტური რხევის სიხშირეების და შესაბამისი პერიოდების ზუსტი განსაზღვრა შეუძლებელი იყო. მიწისძვრის ზემოქმედების სიხშირე θ შეირჩეოდა მოცემული საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების მიხედვით.

ნაგებობაზე თავისუფალი რხევები წარმოიქმნება დროის ძალზე მცირე მონაკვეთში უმნიშვნელო სიდიდის ნიშანცვლადი ძალის ზემოქმედებით, რომლის დროსაც ირღვევა სტატიკური წონასწორობა და ნაგებობა იწყებს ჰარმონიულ რხევებს. დისიპატიურ გარემოში ეს რხევები მიღევადია (ამპლიტუდები

$$\begin{pmatrix} (\delta_{11} - \frac{1}{m_1 K^2}) + \delta_{12} + \dots + \delta_{1n} \\ \delta_{21} + (\delta_{22} - \frac{1}{m_2 K^2}) + \dots + \delta_{2n} \\ \dots \\ \delta_{n1} + \delta_{n2} + \dots + (\delta_{nn} - \frac{1}{m_n K^2}) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \dots \\ Z_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\Delta_{1p} \\ -\Delta_{2p} \\ \dots \\ -\Delta_{np} \end{pmatrix} \quad (3)$$

ვიხელმძღვანელოთ ძალთა დამოუკიდებლობის პრინციპით, რაც თითოეული დისკრეტული წერტილის გადაადგილებისათვის (მაქსიმალური ამპლიტუდებისათვის Z_i) მოგვცემს:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}S_1 + \delta_{12}S_2 + \dots + \delta_{1n}S_n &= Z_1 \\ \delta_{21}S_1 + \delta_{22}S_2 + \dots + \delta_{2n}S_n &= Z_2 \\ \dots & \\ \delta_{n1}S_1 + \delta_{n2}S_2 + \dots + \delta_{nn}S_n &= Z_n \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

(4) განტოლებათა სისტემიდან განისაზღვრება სეისმური ძალები.

შემოვიღოთ აღნიშვნები და (4) არაერთგვაროვან განტოლებათა სისტემა ჩავწეროთ მატრიცული სახით, მივიღებთ:

$$|\delta_{ik}| \times |S| = |Z| \quad (5)$$

(5)-დან სეისმური ძალებისათვის გვექნება:

$$|S| = |\delta_{ik}|^{-1} \times |Z| \quad (6)$$

უდავოა, რომ სეისმომდეგობის „სტატიკურ“ თეორიასთან შედარებით სეისმომდეგობის დინამიკური თეორია წინ გადადგმული ნაბიჯია, რომელიც ძალზე პირუთვნელად შეაფასა თვით ამ თეორიის ერთერთმა ავტორმა აკადემიკოსმა კ. ზავრიევმა, აღნიშნავდა რა სეისმომდეგობის თეორიის რიგ ნაკლოვანებებს.

აკადემიკოსმა კ. ზავრიევმა აღნიშნა, რომ საბოლოო დეფორმაციები და ძალები მათი ჯამით გამოსახება, რომლებიც შეესაბამება თითოეულ ტონს. უკვე აქედან სჩანს რამდენად რთულია ამოცანის ზუსტი ამოხსნა. ამისათვის ხომ საჭიროა იმ მომენტის დაჭერა როდესაც თითოეული განსხვავებული ტონი შესაბამისი კანონით გვამღევედეს ჯამში უდიდეს მნიშვნელობებს.

გარდა ამისა, იძულებითი რხევები დასაჯამებელია თავისუფალთან, და აქაც ვდგევართ სირთულის წინაშე იმ მომენტის დაჭერის კუთხით, რომელსაც შეესაბამება ზემოქმედების უდიდესი მნიშვნელობები. ამასთან ერთად, თუ მხედველობაში მივიღებთ რხევების ჩაქრობის გათვალისწინების სირთულეს, აგრეთვე რთულ და მრავალფეროვან რხევებს, რომლებიც მიწისძვრებისას

გადაეცემა ნაგებობების საძირკვლებს, შესაბამისად შეუცნობელ $y_{oc} = F(t)$ კანონს, მაშინ ჩვენ უნდა მივიდეთ იმ დასკვნამდე, რომ სუფთა თეორია ჯერ არ არის მზად რომ მთლიანობაში გაეცეს პასუხი საანგარიშო სეისმური ძალების განსაზღვრის საკითხს [18].

სეისმომდეგობის დინამიკური თეორიის ძირითადი სირთულე კი მდგომარეობს იმაში, რომ ნაგებობის საძირკვლებზე გადაცემული სეისმური რხევების მაგივრად (მაგალითად რეალური აქსელოგრამების სახით) საჭირო ხდება მათი აპროქსიმაცია ტრიგონომეტრიული ფუნქციების გამოყენებით, რაც საკმაოდ დიდი დაშვებაა, რადგან რთული (უცნობი) კანონზომიერების მქონე ფუნქციის ჩაწერა ჰარმონიული ფუნქციის სახით დაკავშირებულია მნიშვნელოვან დაშვებასთან, რაც მიღებულ შედეგებზეც აისახება.

1.1.3. სეისმომდეგობის სპექტრული თეორია

სეისმომდეგობის სპექტრულ თეორიაში მთავარი აქცენტი გადატანილია დინამიკური კოეფიციენტების მრუდების მიღებაზე, რომელმაც ფართო გავრცელება ჰპოვა და აისახა მრავალი ქვეყნის ნორმატიულ დოკუმენტაციაში [2].

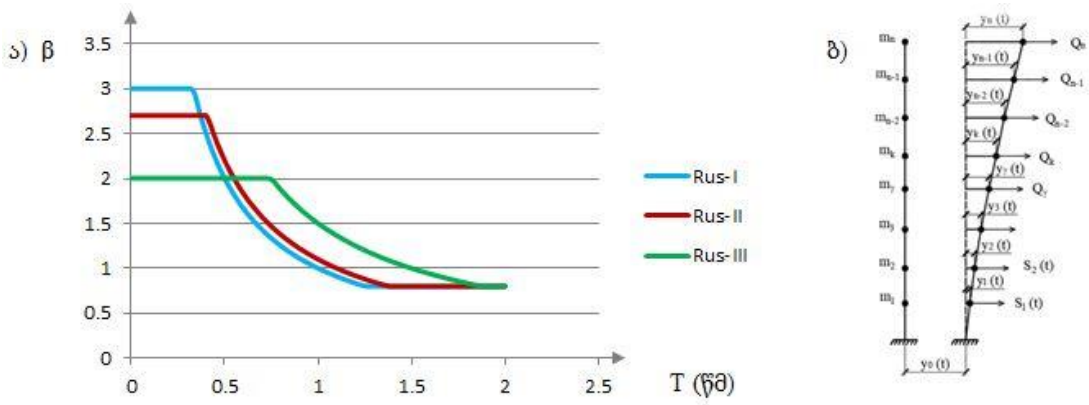
დინამიკური კოეფიციენტების მრუდების მისაღებად კონსტრუირებული იყო დრეკადი სისტემა ერთი თავისუფლების მქონე ხარისხით, რომელსაც ჰქონდა თავისუფალი რხევის სიხშირეების (შესაბამისად პერიოდების) რეგულირების საშუალება (წრფივი ოსცილატორი) [39].

ექსპერიმენტის აზრი მდგომარეობდა იმაში, რომ განსაზღვრულიყო სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტის დამოკიდებულების გრაფიკი თავისუფალი რხევების პერიოდზე $\beta = f(T)$ [11, 12, 13, 16].

დრეკადი სისტემის ფიქსირებულ მასებს $m_i (i = 1 \div m)$ შეესაბამება საკუთარი რხევების ფიქსირებული პერიოდები T_i და ამ ფიქსირებული სიდიდეების შემთხვევაში დრეკადი სისტემის ფუძეს ენიჭება აჩქარებების სერია α_i . ოსცილატორის დრეკადი რეაქცია აჩქარებების სახით ფიქსირდებოდა, რაც იძლეოდა საშუალებას, რომ აგებულიყო საკუთარი რხევის სიხშირეებზე დინამიკური კოეფიციენტების დამოკიდებულების გრაფიკი [33, 34].

პირველი სპექტრული მრუდების მიღების შემდეგ ეს მრუდები იხვეწებოდა, შესაძლებელი გახდა სპექტრული მრუდების აგება გეოლოგიური მონაცემების

გათვალისწინებით (საბჭოთა კავშირში გრუნტები სეისმურობის თვალსაზრისით იყოფოდა სამ კატეგორიად), ეს მრუდები რომლებმაც ასახვა ჰპოვეს ეროვნულ ნორმებში მცირედ განსხვავდებიან ბიოს მიერ მიღებული პირველი მრუდისაგან. ყოფილ საბჭოთა კავშირში დამუშავებული სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების $\beta = f(T)$ მრუდებს რომელიც მოცემულია ნორმატივში СНиП II - 7-81 (ნახ. 1) აქვს შემდეგი სახე [3]:



ნახ. 1. ა) $\beta=f(T)$ სპექტრული მრუდი და ბ) ზოგადი საანგარიშო სქემა

ერთმასიანი წრფივი ოსცილატორის სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების მრუდების მიღება შესაძლებელია თეორიულადაც, რომელიც დიუამელის ინტეგრალის გამოყენებას ეფუძნება და რაც ასახვას ჰპოვებს მრავალმასიანი საანგარიშო სქემის შემთხვევაშიც.

საბოლოო ჯამში სეისმური ძალების გასაანგარიშებელ ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$S_{ik} = K_1 K_2 K_3 A \beta_i \eta_{ik} Q_k K_\psi K_0 \quad (7)$$

(7) გამოსახულებაში $A=0.1, 0.2, 0.4$ სეისმურობის კოეფიციენტია, K_1 - კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს მიწისძვრისას ნაგებობაზე დასაშვებ დაზიანებებს (ხიდებისათვის $K_1 = 0,25$), K_2 -კოეფიციენტია, რომელიც ნაგებობის კონსტრუქციულ გადაწყვეტას ითვალისწინებს (ხიდების შემთხვევაში $K_2 = 1.0$), K_3 -კოეფიციენტია, რომელიც ნაგებობის მნიშვნელობას ითვალისწინებს (ხიდების შემთხვევაში $K_3 = 1.4$), K_ψ - კოეფიციენტია, რომელიც ნაგებობის სიმაღლისა და სიგანის თანაფარდობის მიხედვით განისაზღვრება (ხიდების შემთხვევაში $K_\psi = 1.0$), K_0 - კოეფიციენტია, რომელიც გრუნტის არაწრფივ დეფორმირებას

ითვალისწინებს. $\eta_{ik} = x_i(x_k) \frac{\sum_{\gamma=1}^n Q_{\gamma} x_i(x_{\gamma})}{\sum_{\gamma=1}^n Q_{\gamma} x_i^2(x_{\gamma})}$ - რხევის ფორმის კოეფიციენტი (იხ. ნახ. 1), ხოლო β_i - სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტი (ნახ. 1).

აღსანიშნავია, რომ დინამიკური კოეფიციენტების მრუდები მიღებული ექსპერიმენტალურად და თეორიულად (დიუამელის ინტეგრალის გამოყენებით, რომელიც წრფივი ოსცილატორისათვისაა სამართლიანი) გავრცელებულია ყველა ტიპის ნაგებობაზე (საანგარიშო სქემების და მათში მასებისა და სიხისტეების განაწილების განურჩევლად) და ამიტომაც ეს მრუდები უნივერსალური.

2012 წელს ნიუ-იორკის უნივერსიტეტის პროფესორებმა მ. ანაგნოსტოპოელომ, ა. ფილიათრაუტმა და ა. არეფმა გამოაქვეყნეს სტატია, რომელშიც ყურადღებაა გამახვილებული მალის ნაშენებისათვის სეისმური ვერტიკალური მდგენელის სწორად შერჩევის მნიშვნელობაზე [47].

2018 წელს აიოვას სახელმწიფო უნივერსიტეტის პროფესორებმა ჰ. ვიბოვომ და ს. სტრიტარანმა გამოაქვეყნეს ვრცელი ნაშრომი სადაც აღნიშნეს, რომ მიწისძვრის სამი კომპონენტიდან ვერტიკალური კომპონენტი ნაწილობრივ იგნორირებულია ნორმატივებში შემამსუბუქებელი კოეფიციენტების გამოყენებით, რაც საბოლოო ჯამში, აისახება რეალობასთან შეუსაბამო შედეგებში [40].

მიწისძვრის ვერტიკალური კომპონენტის ნაწილობრივ იგნორირება განპირობებული იყო სამი ძირითადი მიზეზით: 1) გრუნტის ვერტიკალური აჩქარების ამპლიტუდა მცირეა, ჰორიზონტალური აჩქარების ამპლიტუდასთან შედარებით; 2) სამკომპონენტიანი აჩქარებების პიკური მნიშვნელობები დროში აცდენილია; 3) ნაგებობები ვერტიკალური მიმართულებით გაცილებით მაღალი სიხისტით ხასიათდება [44].

პირველი ორი მიზეზი სამართლიანია, მაგრამ ყოველთვის არ შეესაბამება სიმართლეს: არსებობს სხვადასხვა სახის მიწისძვრები (განსაკუთრებით ეპიცენტრთან 50 კმ სიახლოვეში), რომელთა ვერტიკალური მდგენელი უფრო დიდია, ვიდრე ჰორიზონტალური.

მესამე მიზეზი მისაღები მოსაზრებაა სამრეწველო და სამოქალაქო ნაგებობებისთვის, რადგან ვერტიკალური მიმართულებით შენობებს აქვს დიდი სიხისტე და მათთვის ჰორიზონტალურ მდგენელები მართლაც დომინანტურია,

მაგრამ ხიდების მალის ნაშენების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის განხილვისას კი გრუნტის ვერტიკალურ აჩქარებებს შეუძლია მნიშვნელოვანი ზეგავლენა მოახდინოს, რადგან მალის ნაშენებს ვერტიკალური მიმართულებით მაღალი სიხისტე არ აქვს.

1999 წლის Chi-chi, (ტაივანი), 1999 წლის კოჯაელის და 1999 წლის დუზჩეს, თურქეთის მიწისძვრების ჩანაწერებმა კიდევ უფრო აშკარა გახადეს ვერტიკალური სპექტრისთვის პიკური მნიშვნელობის გაძლიერების აუცილებლობა და რეკომენდირებული იყო ვერტიკალური სეისმური პროექტირების და ანალიზისთვის სხვადასხვა დემფირების კოეფიციენტები [58].

პოლონეთის სილეზიის ტექნოლოგიური უნივერსიტეტის ხიდების დეპარტამენტის მეცნიერებმა დ. მროზეკმა და მ. მროზეკმა რეალური ჩანაწერების გამოყენებით დაადგინეს, რომ სამთო ზონებში ვიადუკებზე დინამიკური ზემოქმედება მეტად მნიშვნელოვანია [41].

სეისმური დატვირთვების შემცირების მიზნით მაღალი ინტენსივობის მიწისძვრის ზონებში, რღვევებთან მდებარე ხიდებისათვის გამოიყენება LRB-ებისა და CDR-ების სეისმური იზოლატორის კომბინირებული სისტემები [42].

ხიდების სახელმძღვანელოში - მიწისძვრის მდგრადი დიზაინში გამახვილებულია ყურადღება, რომ ორთოგონალური სეისმური მოქმედებების ერთობლიობა გამოყენებული უნდა იქნეს კონსტრუქციულ ელემენტებზე მიწისძვრის რხევების ერთდროული წარმოშობის გასათვალისწინებლად ორი ურთიერთპერპენდიკულარული ჰორიზონტალური მიმართულებით. სეისმური ძალები და მომენტები ელემენტის თითოეულ ძირითად ღერძზე უნდა იყოს მიღებული. დამჭერი მოწყობილობები უნდა იყოს უზრუნველყოფილი ყველა საყრდენზე და კონსტრუქციულ საკინძებზე, სადაც მარტო ვერტიკალური რეაქცია საპროექტო მიწისძვრის პირობებში არის მუდმივი დატვირთვის რეაქციის 50%-ზე ნაკლები. დამჭერ მოწყობილობას უნდა ჰქონდეს საკმარისი სიმტკიცე, რათა თავიდან აიცილოს საყრდენის აწევა ან ორი საკიდი წევრის განცალკევება მიწისძვრის პირობებში და უნდა ჰქონდეს მინიმალური საპროექტო სიმძლავრე, რათა გაუძლოს ძალას, რომელიც უდრის მუდმივი დატვირთვის რეაქციის 20%-ს [43].

დეტალური ანალიზის ნაცვლად, ვერტიკალური აჩქარების რეაქციის სპექტრი შეიძლება მიღებული იყოს ჰორიზონტალური რეაქციის სპექტრის ორი მესამედის ($\approx 67\%$) გამოყენებით. ორი მესამედის თანაფარდობა ოდნავ კონსერვატიულია 0.2 წამზე მეტი პერიოდებისთვის, რაც მოიცავს ხიდების სეისმური რეაქციის დიდ უმრავლესობის არეალს [45].

სეისმური იზოლატორი არის რეაგირების მოდიფიკაციის ტექნიკა, რომელიც ამცირებს მიწისძვრების ეფექტს ხიდებსა და სხვა კონსტრუქციებზე. იზოლატორი ფიზიკურად ამორებს ხიდის მალის ნაშენს მიწისძვრის ჰორიზონტალური კომპონენტებისგან, რაც იწვევს მიწისძვრის შედეგად წარმოქმნილი ძალების არსებით შემცირებას. ბოლო 20 წლის განმავლობაში შეერთებულ შტატებში 200-ზე მეტი ხიდი დაპროექტდა სეისმური იზოლაციის გამოყენებით და ახლა ათასზე მეტი ხიდი მთელ მსოფლიოში იყენებს ამ ეკონომიურ ტექნიკას სეისმური ზემოქმედებისაგან დაცვისთვის [50].

ვაშინგტონის შტატში, სიეტლში, სამხრეთ პარკის ხიდის პროექტირებისას პუშოვერის ანალიზის გამოყენებით აგებულ იქნა ცალკე ჰორიზონტალური რეაქციის სპექტრი და ცალკე ვერტიკალური რეაქციის სპექტრი. ამ ორი მოდელის პუშოვერის მრუდებიდან დაფიქსირდა, რომ რეალური პუშოვერის პროცესი შეიძლება ჩაითვალოს ორეტაპიან პროცესად [51].

ამერიკის სამშენებლო საერთაშორისო კოდექსის მიხედვით დრეკადი რეაქციის სპექტრები მიიღება სპექტრული აჩქარებების საშუალო მნიშვნელობებით [48].

არადრეკადი რეაქციის სპექტრის ანალიზი სასარგებლო კონცეფციაა, მაგრამ ეს მიდგომები ვრცელდება მხოლოდ ზოგიერთ მნიშვნელოვან და რთულ ხიდზე, ხიდების უმეტესობისთვის კი სტატიკური სპექტრის ანალიზი არის საუკეთესო ალტერნატივა [49].

იტალიის სალერნოს უნივერსიტეტის პროფესორების პ. კასტალდოს და ტ. ფერენტინოს მიერ იქნა ჩატარებული კვლევები სეისმური საფრთხის მქონე ტერიტორიაზე მდებარე ხიდების მალის ნაშენისა და საყრდენი ნაწილების სეისმურ ზეგავლენაზე განსხვავებული კონსტრუქციული თვისებების გათვალისწინებით [52].

მნიშვნელოვანი ნაგებობებისათვის რეკომენდირებულია სეისმური ანალიზის დროს ევროპული რეგულაციების გამოყენება [59].

თურქეთის ბურსა ულადაგის უნივერსიტეტის სამშენებლო დეპარტამენტის პროფესორებმა ფ. ალმადიმ, ი. ფაჯანმა და ა. დოგანმა გამოაქვეყნეს სტატია, სადაც ცალსახად არის გადმოცემული, რომ გრუნტის ჰორიზონტალური კომპონენტის სკალირების ფაქტორი არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას მისი ვერტიკალური ანალოგის გასაზომად. ხოლო მათი V/H თანაფარდობა სხვადასხვა გრუნტებისათვის განიცდის თანდათანობით ზრდას ფართო მასშტაბით [54].

ჩინეთის დალიანის ტექნოლოგიური უნივერსიტეტის ინფრასტრუქტურის ინჟინერიის ფაკულტეტის პროფესორებმა ბ. კ. ჩენ, დ. ს. ვანგ, ჰ.ნ. ლი, ზ.გ. სუნ და ც. ლიმ ჩაატარეს კვლევები ჩანაწერების სტატისტიკური ანალიზის K-NET მეშვეობით და დაადგინეს, რომ V/H_{PGA} თანაფარდობა მიწისძვრის დროს ზღვის ფსკერზე უფრო მაღალია ვიდრე ხმელეთზე. შესაბამისად დაასკვნეს, რომ ტოპოგრაფია და ლოკალური ადგილის მდგომარეობამ შეიძლება გავლენა იქონიოს V/H_{PGA} თანაფარდობაზე [57].

სამხრეთ კორეის კუნძულ ჯეჯუში რვა სადგურის ვერტიკალური რეაქციის სპექტრები სტაბილურად დაბალი იყო ვიდრე ვექტორულად შეჯამებული ჰორიზონტალურ სპექტრებთან შედარებით, რომლებიც კარგად ეთანადებოდა V/H ფარდობას, სხვადასხვა სეისმური პროექტებით შემოთავაზებული სტანდარტებით. გარდა ამისა, ვერტიკალური რეაქციის სპექტრები ნათლად მიუთითებს მაგნიტუდის სიდიდის დამოკიდებულებაზე სიხშირის ქვედა დიაპაზონში [53].

2008 წლის გამოცემულ ნაშრომში წარმოდგენილია მიწის ვერტიკალური მოძრაობის საინჟინრო მახასიათებლების კვლევის შედეგები. მიწის მოძრაობის მოდელი გრუნტის პიკური აჩქარების ვერტიკალური და ჰორიზონტალური თანაფარდობისთვის (V/H) და 5%-დამოკლებული აჩქარების რეაგირების სპექტრისთვის მიღებული იქნა 443 ახლო მდებარე აქსელეროგრამის მონაცემთა ბაზის გამოყენებით, რომლებიც ჩაწერილი იყო მსოფლიოში მომხდარი 36 მიწისძვრიდან Mw. 4.7-7.7. ყველა ჩანაწერი განლაგებული იყო აქტიურ ტექტონიკურ რეგიონებში, მიწისძვრების სეისმოგენური რღვევის ზონიდან 60 კილომეტრში. V/H ავლენს თავის უდიდეს განსხვავებებს მყარ კლდეზე

ხანგრძლივ პერიოდებში, სადაც მას აქვს შედარებით დაბალი ამპლიტუდა და მოკლე პერიოდები - მისი ამპლიტუდა უახლოვდება 1.8-ს [56].

ამერიკის სეისმოლოგიის ჟურნალში გამოქვეყნებული იქნა მექსიკის მიწისძვრების გამოყენებით ვერტიკალური რეაქციის სპექტრის მისაღებად ორი ვარიანტი: პირდაპირ ვერტიკალური შესუსტების მოდელი და ჰორიზონტალური სპექტრული ორდინატების ვერტიკალურ-ჰორიზონტალურ თანაფარდობებზე გამრავლებით. მოდელი შეიძლება იყოს გამოსადეგი სეისმური საფრთხის ალბათური შეფასებისთვის და დამხმარე ეროვნული სტანდარტების შემუშავებისას [55].

კალიფორნიის სამშენებლო ინჟინერიისა და სამშენებლო მექანიკის უნივერსიტეტის მიერ ჩატარებულ კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ გრუნტის მოძრაობის ვერტიკალურმა კომპონენტებმა შეიძლება გადააჭარბოს ორივე მიმართულებით მუდმივი დატვირთვის 25%-ის გამოყენებით გამოთვლილ მოთხოვნებს. უფრო მეტიც, აშკარაა, რომ ეს ეფექტი სხვადასხვა ხიდეებისათვის განსხვავდება, პირველ რიგში, ხიდის ვერტიკალური პერიოდის მიხედვით. გრუნტის მოძრაობების ვერტიკალური კომპონენტების გავლენა მალის ნაშენის რეაქციაზე კვლავაც რჩება განხილვის საგნად [46].

აქედან გამომდინარე, აუცილებლობას წარმოადგენს სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტების განსაზღვრა კონკრეტული სისტემის მალის ნაშენებისათვის [26, 35,36].

1.2. სხვადასხვა ნორმატიულ დოკუმენტაციაში მიღებული სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტები

1.2.1. საქართველოში მიღებული ნორმატივის მიხედვით მიღებული სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტები (სპექტრული მრუდები)

საქართველოში მოქმედი სამშენებლო ნორმები და წესები - „სეისმომედეგი მშენებლობა” (პნ 01.01-09) მიხედვით β_i სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტი განისაზღვრება კონსტრუქციის საკუთარი რხევის i -ური პერიოდისა და გრუნტის სეისმური თვისებების შესაბამისი კატეგორიების მიხედვით. გრუნტების კატეგორიები სეისმური თვისებების მიხედვით მოცემულია ცხრილ 1-

ში, რომელიც უშუალო კავშირშია გრუნტებში განივი ტალღის V_s გავრცელების საშუალო სიჩქარესთან [1].

ცხრილი 1

საქართველოში მიღებული გრუნტების კატეგორია სეისმური თვისებების მიხედვით

გრუნტების კატეგორია სეისმური თვისებების მიხედვით	გრუნტები	განივი ტალღის გავრცელების საშუალო სიჩქარე V_s , მ/წმ
I	კლდოვანი გრუნტები გამოუფიტავი და სუსტად გამოფიტული, მსხვილნატეხოვანი მკვრივი გრუნტები	> 800
II	კლდოვანი გრუნტები გამოფიტული და ძლიერ გამოფიტული. ქვიშები ხრეშოვანი, ქვიშები წვრილმარხვლოვანი, თიხოვანი გრუნტები კონსისტენციის მაჩვენებლით $I_L \leq 0.5$	$300 \div 800$
III	ქვიშები ფხვიერი, ქვიშები ხრეშიანი, ქვიშები წვრილმარხვლოვანი, თიხოვანი გრუნტები კონსისტენციის მაჩვენებლით $I_L > 0.5$	$100 \div 300$
IV	ძალიან სუსტი გრუნტები	< 100

I კატეგორიის გრუნტებისათვის:

$$\beta_i = 2.5, \text{ თუ } 0 \leq T_i \leq 0.4$$

$$\beta_i = 2.5 \cdot \left(\frac{0.4}{T_i}\right)^{\frac{2}{3}}, \text{ თუ } 0.4 \leq T_i \leq 2.2$$

$$\beta_i = 0.8, \text{ თუ } T_i > 2.2$$

II კატეგორიის გრუნტებისათვის:

$$\beta_i = 2.5, \text{ თუ } 0 \leq T_i \leq 0.6$$

$$\beta_i = 2.5 \cdot \left(\frac{0.6}{T_i}\right)^{\frac{2}{3}}, \text{ თუ } 0.6 \leq T_i \leq 3.0$$

$$\beta_i = 7.5 \cdot \frac{0.6^{\frac{2}{3}}}{T_i^{\frac{2}{3}}}, \text{ თუ } T_i > 3.0$$

III კატეგორიის გრუნტებისათვის:

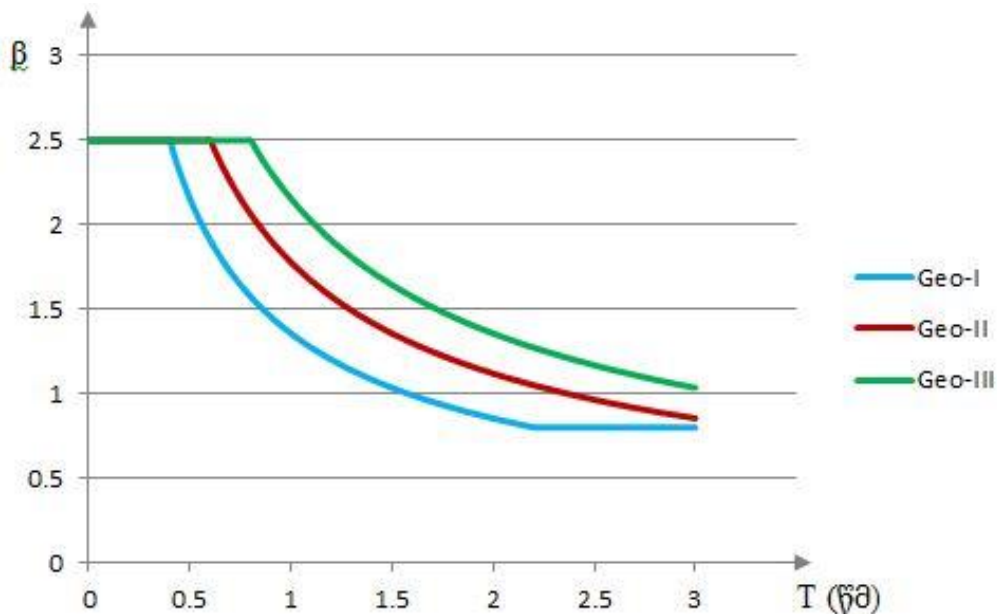
$$\beta_i = 2.5, \text{ თუ } 0 \leq T_i \leq 0.8$$

$$\beta_i = 2.5 \cdot \left(\frac{0.8}{T_i}\right)^{\frac{2}{3}}, \text{ თუ } 0.8 \leq T_i \leq 3.0$$

$$\beta_i = 7.5 \cdot \frac{0.8^{\frac{2}{3}}}{T_i^{\frac{2}{3}}}, \text{ თუ } T_i > 3.0$$

IV გრუნტების კატეგორიისათვის მრუდი მოცემული არ არის და სეისმურობა ზუსტდება სპეციალური კვლევის შედეგად.

ნორმატივით განსაზღვრულია, რომ β არ შეიძლება იყოს 0.8-ზე ნაკლები. ზემოთ მოცემული პირობებიდან მიღებულია სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების სპექტრული მრუდები გრუნტების კატეგორიის მიხედვით, რომლებიც მოცემულია გრაფიკულზე (ნახ. 2).



ნახ. 2. სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების სპექტრული მრუდები გრუნტების კატეგორიის მიხედვით (პირობითად Geo სტანდარტით)

ჰორიზონტალური სეისმური დატვირთვების გაანგარიშებისას სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტები მიიღება შემამცირებელი კოეფიციენტების გარეშე (სრული მნიშვნელობით), ხოლო 18.0 მეტრზე მეტი სიგრძის მალის შემთხვევაში გაითვალისწინება ვერტიკალური სეისმური დატვირთვები 0.5 კოეფიციენტით (ჰორიზონტალური სეისმის ნახევარი).

1.2.2. რუსეთის ფედერაციაში მიღებული ნორმატივის მიხედვით მიღებული სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტები (სპექტრული მრუდები)

რუსეთის ფედერაციაში მოქმედი ნორმატივით СНиП II-7-81* „მშენებლობა სეისმურ რაიონებში“ [3] და მისი აქტუალიზებული ვერსიით СП 14.13330.2014 [5]

სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტი β განისაზღვრება კონსტრუქციის საკუთარი რხევის i -ური პერიოდისა და გრუნტის სეისმური თვისებების კატეგორიის მიხედვით. გრუნტების კატეგორია სეისმური თვისებების მიხედვით მოცემულია ცხრილ 2-ში და დაყოფილია განივი ტალღის V_s გავრცელების საშუალო სიჩქარისა და გრძივი და განივი ტალღების გავრცელების საშუალო სიჩქარეების ფარდობის V_p / V_s მიხედვით [6].

ცხრილი 2

რუსეთის ფედერაციაში მიღებული გრუნტების კატეგორია სეისმური თვისებების მიხედვით

გრუნტების კატეგორია სეისმური თვისებების მიხედვით	გრუნტები	განივი ტალღის გავრცელების საშუალო სიჩქარე v_s , მ/წმ	გრძივი და განივი ტალღების გავრცელების საშუალო სიჩქარეების ფარდობა V_p / V_s
I	კლდოვანი გრუნტები გამოუფიტავი და სუსტად გამოფიტული, მსხვილნატეხოვანი მკვრივი გრუნტები	≥ 700	1.7 – 2.2
II	კლდოვანი გრუნტები გამოფიტული და ძლიერ გამოფიტული. ქვიშები ხრეშოვანი, ქვიშები წვრილმარხვლოვანი, თიხოვანი გრუნტები კონსისტენციის მაჩვენებლით $I_L \leq 0.5$	250 ÷ 700	1.45 – 2.2 წყალგაუჯერებულ ო
III	ქვიშები ფხვიერი, ქვიშები ხრეშიანი, ქვიშები წვრილმარხვლოვანი, თიხოვანი გრუნტები კონსისტენციის მაჩვენებლით $I_L > 0.5$	150 ÷ 250	2.2 – 3.5 წყალგაჯერებული

I და II კატეგორიის გრუნტებისათვის (1-ლი მრუდი):

$$\beta_i = 1 + 15 \cdot T_i, \text{ თუ } T_i \leq 0.1$$

$$\beta_i = 2.5, \text{ თუ } 0.1 < T_i < 0.4$$

$$\beta_i = 2.5 \cdot \left(\frac{0.4}{T_i}\right)^{0.5}, \text{ თუ } T_i \geq 0.4$$

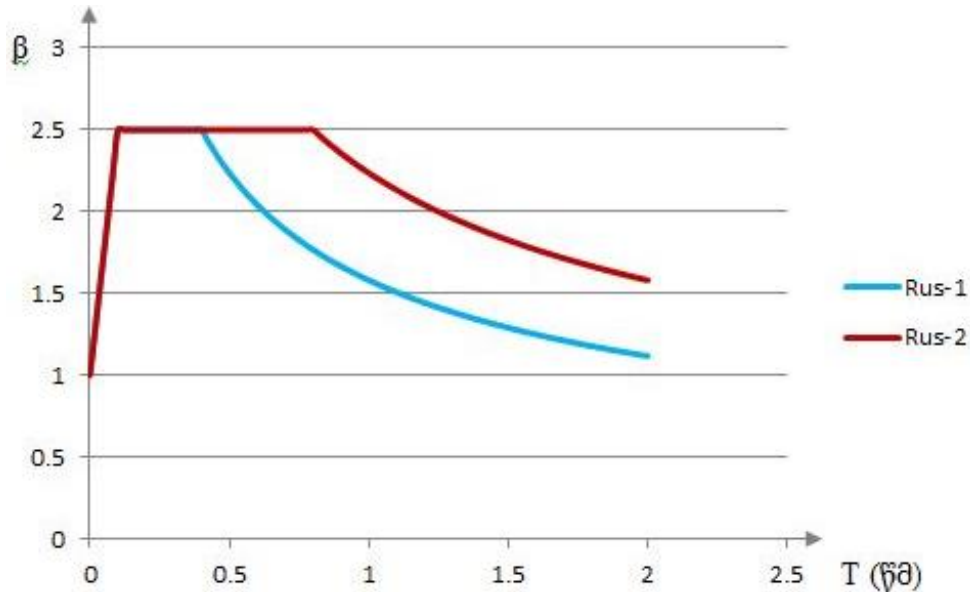
III კატეგორიის გრუნტებისათვის (მე-2 მრუდი):

$$\beta_i = 1 + 15 \cdot T_i, \text{ თუ } T_i \leq 0.1$$

$$\beta_i = 2.5, \text{ თუ } 0.1 < T_i < 0.8$$

$$\beta_i = 2.5 \cdot \left(\frac{0.8}{T_i}\right)^{0.5}, \text{ თუ } T_i \geq 0.8$$

ნორმატივით განსაზღვრულია, რომ β არ შეიძლება იყოს 0.8-ზე ნაკლები. ზემოთ მოცემული პირობებიდან მიღებულია სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების სპექტრული მრუდები გრუნტების კატეგორიის მიხედვით, რომლებიც მოცემულია გრაფიკზე (ნახ. 3).



ნახ. 3. სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების სპექტრული მრუდები (პირობითად Rus სტანდარტით)

ხიდებისათვის (მიუხედავად გრუნტების კატეგორიისა) მიიღება მხოლოდ მრუდი Rus-1 [5].

ჰორიზონტალური სეისმური დატვირთვების გაანგარიშებისას სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტები მიიღება შემამცირებელი კოეფიციენტების გარეშე (სრული მნიშვნელობით), ხოლო 18.0 მეტრზე მეტი სიგრძის მალის ნაშენის შემთხვევაში გაითვალისწინება ვერტიკალური სეისმური დატვირთვები 0.5 კოეფიციენტით (ჰორიზონტალური სეისმის ნახევარი).

1.2.3. ევროპული ნორმატივების მიხედვით მიღებული დრეკადი რეაქციის სპექტრები (სპექტრული მრუდები)

ევროპული ნორმატივებით სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების სიდიდის განსაზღვრა (ისე როგორც უკვე განხილულ ორ ნორმატივში) ეფუძნება დრეკადი რეაქციების განსაზღვრას, სეისმური

დატვირთვების განსაზღვრას არეგულირებს ნორმატიული დოკუმენტი „სეისმომდეგი კონსტრუქციების დაპროექტება (EN 1998)” [7].

ამ ნორმის მიხედვით დრეკადი რეაქციის სპექტრების განსაზღვრის საკითხი შეიძლება მოცემული იყოს ქვეყნის ეროვნული დანართის სახითაც.

გრუნტების ტიპები სეისმური თვისებების მიხედვით მოცემულია ცხრილ 3-ში, რომელიც დაყოფილია განივი ტალღის V_s გავრცელების საშუალო სიჩქარის, N_{SPT} პენეტრაციაზე სტანდარტული გამოცდის შედეგების და არადრენირებადი გრუნტების ძვრაზე სიმტკიცის c_u მიხედვით.

ცხრილი 3

გრუნტის ტიპები

გრუნტის ტიპი	გრუნტები	განივი ტალღის გავრცელების საშუალო სიჩქარე $V_{s,30}$ მ/წმ	პენეტრაციაზე სტანდარტული გამოცდის შესაბამისი დარტყმების რაოდენობა N_{SPT} (დარტყმები/30სმ)	არადრენირებადი გრუნტების სიმტკიცე ძვრაზე c_u კპა
A	კლდოვანი ან მსგავსი გრუნტები	≥ 800	-	-
B	ძალიან მკვრივი ქვიშის, ხრეშის ან ძალიან ხისტი თიხის დანალექი გრუნტები	$360 \div 800$	> 50	> 250
C	მკვრივი ან საშუალო სიმკვრივის ქვიშის, ხრეშის ან ხისტი თიხის დანალექი გრუნტები	$180 \div 360$	$15 - 50$	$70 - 250$
D	ფხვიერიდან საშუალომდე შეჭიდულობის მქონე დანალექი გრუნტები	< 180	< 15	< 70
E	C ან D ტიპის V_s მნიშვნელობის მქონე ალუვიური გრუნტები	< 180 ქვეშ გრუნტი ≥ 800	-	-
S ₁	რბილ თიხების / შლამების გრუნტები	< 100 აღმნიშვნელი	-	$10-20$
S ₂	მგრძნობიარე თიხების გრუნტები			

გრუნტის ტიპები A, B, C, D და E, რომლებიც აღიწერება შესაბამისი სტრატეგრაფიული პროფილებითა და შესაბამისი პარამეტრებით, მოცემულია ევროკოდში, შეიძლება გრუნტების ადგილობრივი პირობების ზეგავლენის გათვალისწინებაც. თუ არსებობს მონაცემები ღრმა პლასტებში (არა კონკრეტული ობიექტებისათვის) გეოლოგიური მონაცემების შესახებ - შესაძლებელია მათი გამოყენებაც.

დრეკადი რეაქციის სპექტრი ორი მდგენელითაა წარმოდგენილი: ჰორიზონტალური დრეკადი რეაქციის სპექტრი და ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრი. სეისმური ზემოქმედების ჰორიზონტალური მდგენელებისათვის $S_e(T)$ დრეკადი რეაქციის სპექტრი განსაზღვრულია ქვემოთ მოცემული გამოსახულებებით:

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right], \text{ თუ } 0 < T < T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5, \text{ თუ } T_B < T < T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right], \text{ თუ } T_C < T < T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right], \text{ თუ } T_D < T < 4 \text{ წმ}$$

სადაც: $S_e(T)$ - ჰორიზონტალური დრეკადი რეაქციის სპექტრია;

T - წრფივი, ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემის თავისუფალი რხევის პერიოდია;

a_g - გრუნტის საანგარიშო აჩქარებაა;

T_B - სპექტრული აჩქარების პერიოდის მუდმივი სიდიდის ქვედა ზღვარია;

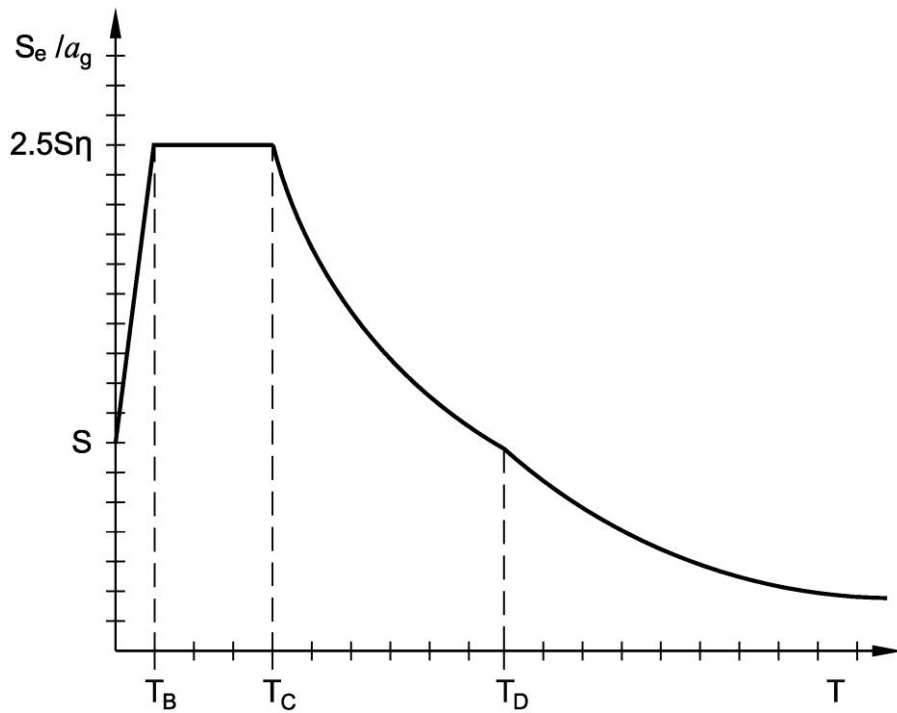
T_C - სპექტრული აჩქარების პერიოდის მუდმივი სიდიდის ზედა ზღვარია;

T_D - მნიშვნელობაა, რომლითაც განისაზღვრება სპექტრის მუდმივი გადაადგილების რეაქციის საზღვრის დასაწყისი;

S - გრუნტის კოეფიციენტია;

η - მილევის კორექციის კოეფიციენტი.

ზოგადად დრეკადი რეაქციის სპექტრალურ მრუდს აქვს შემდეგი სახე (ნახ. 4):



ნახ. 4. დრეკადი რეაქციის სპექტრის ფორმა

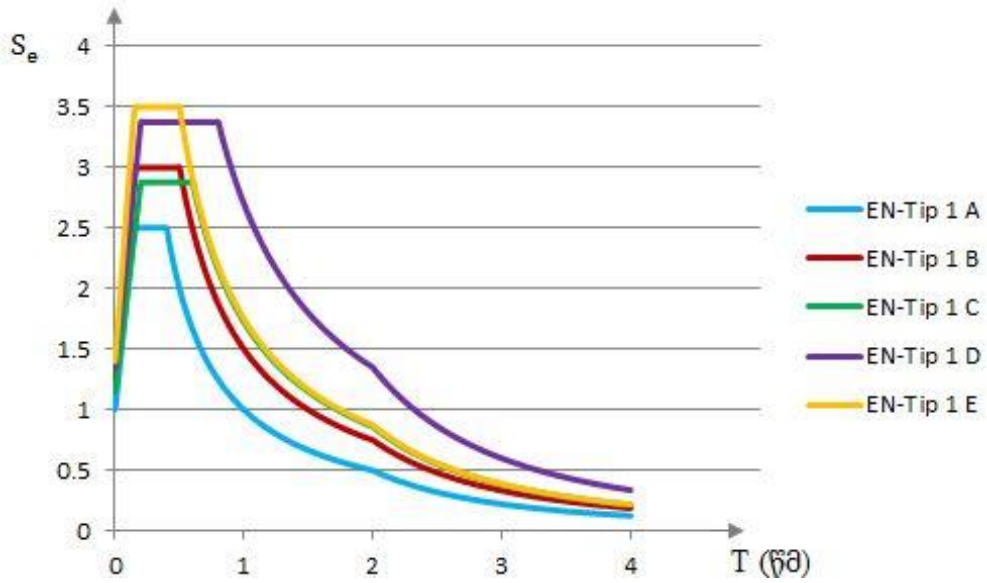
T_B, T_C, T_D პერიოდებისა და გრუნტის კოეფიციენტის S მნიშვნელობები, რომლებიც აღწერენ დრეკადი რეაქციის სპექტრს, დამოკიდებულია გრუნტის ტიპებზე, რომლებიც შეიძლება მოცემული იყოს EN-ების ეროვნულ დანართშიც. თუ ქვეყნის ეროვნული დანართი არ არსებობს, მაშინ EN-ში რეკომენდირებულია ორი ტიპის სპექტრალური მრუდის გამოყენება (1-ლი და მე-2 ტიპები). თუ მიწისძვრები, რომლებიც განაპირობებენ სეისმურ საფრთხეს, ამასთან ზედაპირული ტალღის მაგნიტუდა აღემატება $M_s=5.5$, მაშინ ვიღებთ 1-ლი ტიპის სპექტრს, ხოლო თუ ზედაპირული ტალღის მაგნიტუდა ნაკლებია $M_s=5.5$, მაშინ ვიღებთ მე-2 ტიპის სპექტრს. რეკომენდებული დრეკადი რეაქციის სპექტრის პარამეტრების მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილების სახით (1-ლი ტიპისათვის ცხრილ 4-ში, ხოლო მე-2 ტიპისათვის ცხრილ 5-ში).

ცხრილი 4

რეკომენდებული ჰორიზონტალური დრეკადი რეაქციის სპექტრის 1-ლი ტიპისათვის პარამეტრების მნიშვნელობები

გრუნტის ტიპი	S	T_B (წმ)	T_C (წმ)	T_D (წმ)
A	1.0	0.15	0.4	2.0
B	1.2	0.15	0.5	.0
C	1.15	0.20	0.6	2.0
D	1.35	0.20	0.8	2.0
E	1.4	0.15	0.5	2.0

1-ლი ტიპის შესაბამისი ჰორიზონტალური დრეკადი რეაქციის სპექტრი (5%-იანი მილევის კოეფიციენტით) მოცემულია ნახ. 5-ზე.



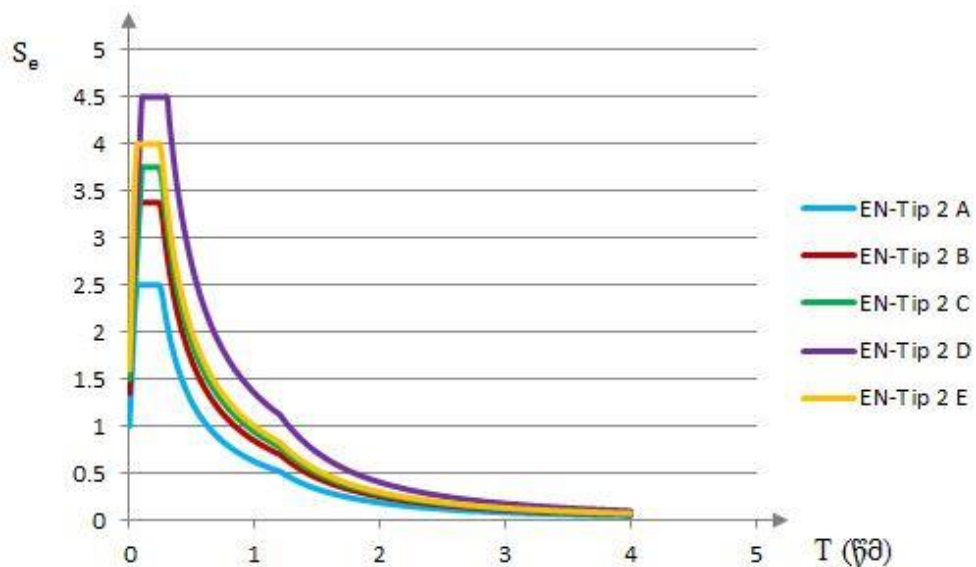
ნახ. 5. 1-ლი ტიპის დრეკადი რეაქციის სპექტრი

ცხრილი 5

რეკომენდებული ჰორიზონტალური დრეკადი რეაქციის სპექტრის მე-2 ტიპისათვის პარამეტრების მნიშვნელობები

გრუნტის ტიპი	S	T_B (წმ)	T_C (წმ)	T_D (წმ)
A	1.0	0.05	0.25	1.2
B	1.35	0.05	0.25	1.2
C	1.5	0.10	0.25	1.2
D	1.8	0.10	0.30	1.2
E	1.6	0.05	0.25	1.2

მე-2 ტიპის შესაბამისი ჰორიზონტალური დრეკადი რეაქციის სპექტრი (5%-იანი მილევის კოეფიციენტით) მოცემულია ნახ. 6-ზე.



ნახ. 6. მე-2 ტიპის დრეკადი რეაქციის სპექტრი

ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრი წარმოდგენილია დრეკადი რეაქციის $S_{ve}(T)$ სახით, რომელიც განსაზღვრულია ქვემოთ მოცემული გამოსახულებების საფუძველზე:

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3.0 - 1) \right], \text{ თუ } 0 < T < T_B$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0, \text{ თუ } T_B < T < T_C$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right], \text{ თუ } T_C < T < T_D$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right], \text{ თუ } T_D < T < 4 \text{ წმ}$$

სადაც: $S_{ve}(T)$ - ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრია;

T - წრფივი, ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემის თავისუფალი რხევის პერიოდი;

a_g - გრუნტის საანგარიშო აჩქარება;

T_B - სპექტრული აჩქარების პერიოდის მუდმივი სიდიდის ქვედა ზღვარია;

T_C - სპექტრული აჩქარების პერიოდის მუდმივი სიდიდის ზედა ზღვარია;

T_D - მნიშვნელობაა, რომლითაც განისაზღვრება სპექტრის მუდმივი გადაადგილების რეაქციის საზღვრის დასაწყისი;

η - მილევის კორექციის კოეფიციენტი.

T_B, T_C, T_D პერიოდების მნიშვნელობები, რომლებიც აღწერენ ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრს, სპექტრის თითოეული ტიპისათვის შეიძლება მოცემული იყოს EN-ის ეროვნულ დანართშიც. თუ ქვეყნის ეროვნული დანართი არ არსებობს, მაშინ EN-ში რეკომენდირებულია ორი ტიპის სპექტრალური მრუდის გამოყენება (1-ლი და მე-2 ტიპები). თუ მიწისძვრები, რომლებიც განაპირობებენ სეისმურ საფრთხეს და ზედაპირული ტალღის მაგნიტუდა აღემატება $M_s=5.5$, მაშინ ვიღებთ 1-ლი ტიპის სპექტრს, ხოლო თუ ზედაპირული ტალღის მაგნიტუდა ნაკლებია $M_s=5.5$, მაშინ ვიღებთ მე-2 ტიპის სპექტრს. რეკომენდებული დრეკადი რეაქციის სპექტრის პარამეტრების მნიშვნელობები 1-ლი და მე-2 ტიპებისათვის მოცემულია ცხრილ 6-ში. აღსანიშნავია, რომ ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის განსაზღვრისათვის (თუ ამ რეკომენდირებულ

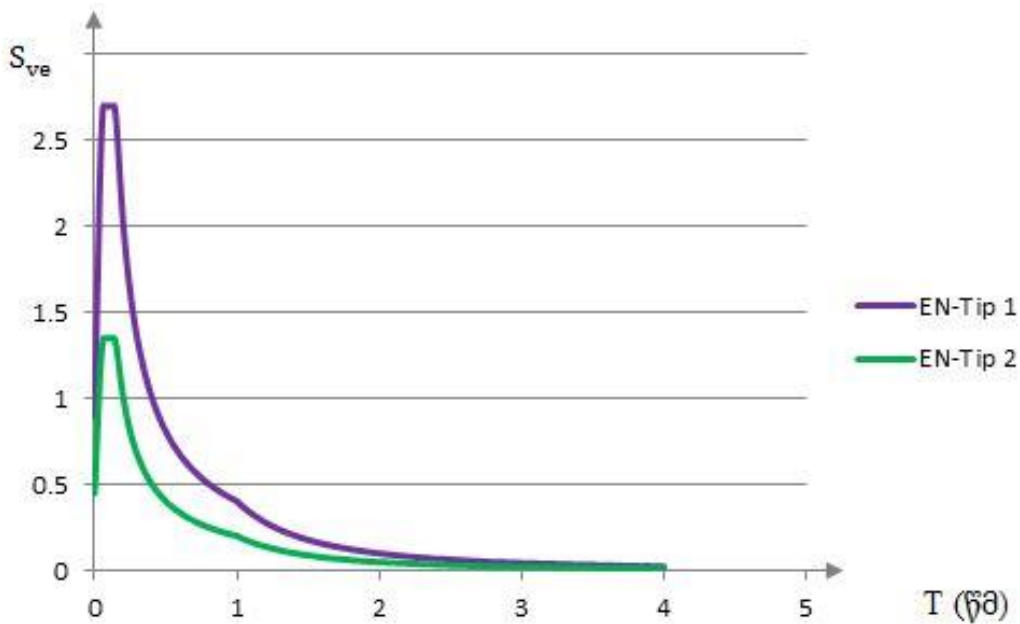
პარამეტრებს გამოვიყენებთ) გრუნტის ტიპებს მნიშვნელობა აღარ აქვს და მრუდები დამოკიდებულია მხოლოდ სპექტრის ტიპებზე.

ცხრილი 6

რეკომენდებული ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრის
1-ლი და მე-2 ტიპებისათვის პარამეტრების მნიშვნელობები

სპექტრი	a_{vg}/a_g	T_B (წმ)	T_C (წმ)	T_D (წმ)
1-ლი ტიპი	0.9	0.05	0.15	1.0
მე-2 ტიპი	0.45	0.05	0.15	1.0

1-ლი და 2-ლი ტიპებისათვის ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრული მრუდები (5%-იანი მილევის კოეფიციენტებით) მოცემულია ნახ. 7-ზე.



ნახ. 7. 1-ლი და მე-2 ტიპის მიწისძვრებისათვის ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრული მრუდები

მოთხოვნილია, რომ როგორც მოქნილი, ისე შეზღუდულად მოქნილი კონსტრუქციები დაპროექტდეს შემცირებული რეაქციის სპექტრის გამოყენებით წრფივი გაანგარიშების საფუძველზე, რომელსაც ეწოდება საანგარიშო სპექტრი.

კონსტრუქციული სისტემების წინააღმდეგ უნარი, რომ აითვისონ სეისმურ ზემოქმედებები არაწრფივი დეფორმაციების შემთხვევაშიც, უშვებს, რომ არაწრფივობით განპირობებული ძალები შედარებით მცირეა დრეკადი რეაქციის ძალებთან შედარებით და სისტემების წინააღმდეგ უნარი მაინც საკმარისი იქნება.

არადრეკად სტადიაზე კონსტრუქციების გაანგარიშების იგნორირება ნაწილობრივ კომპენსირებულია ენერჯის გაბნევის ასახვით გაანგარიშებებში. ამ შემთხვევაში დრეკად სტადიაზე გაანგარიშება ეფუძნება შემცირებული რეაქციის

სპექტრის გამოყენებას დრეკადი რეაქციის სპექტრის მიმართ (შემდგომში „საანგარიშო სპექტრი“). აღნიშნული შემცირება ხორციელდება ქცევის q კოეფიციენტის მეშვეობით.

ქცევის q კოეფიციენტი წარმოადგენს ორი სისტემით (კონსერვატიული და დისიპატიური სისტემებით) მიღებული სეისმური ძალების ფარდობას. დრეკადი სტადიის შემთხვევაში, როდესაც დისიპაცია გათვალისწინებულია 5%-იანი ბლანტი მიღევით გარდა ამ მეთოდისა (გაანგარიშების გამარტივების მიზნით) კონსტრუქციების მოქნილობის (დამყოლობის) კლასიდან გამომდინარე, სხვადასხვა მასალისა და კონსტრუქციული სისტემების გათვალისწინებით EN 1998-ის სხვადასხვა ნაწილში მოცემულია ქცევის q კოეფიციენტის მნიშვნელობები. ქცევის q კოეფიციენტის მნიშვნელობა ორთოგონალური მიმართულებებით შეიძლება იყოს განსხვავებული, თუმცა მოქნილობები უნდა იყოს ერთიდაიგივე ორივე მიმართულებით.

ქცევის კოეფიციენტის გათვალისწინებით სეისმური ზემოქმედების ჰორიზონტალური მდგენელებისათვის $S_d(T)$ საანგარიშო სპექტრი განისაზღვრება ქვემოთ მოცემული გამოსახულებების საფუძველზე:

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right], \text{ თუ } 0 < T < T_B$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q}, \text{ თუ } T_B < T < T_C$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \geq \beta \cdot a_g, \text{ თუ } T_C < T < T_D$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \geq \beta \cdot a_g, \text{ თუ } T_D < T < 4 \text{ წმ}$$

სადაც: $S_d(T)$ - ჰორიზონტალური საანგარიშო სპექტრია;

T - წრფივი, ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემის თავისუფალი რხევის პერიოდია;

a_g - გრუნტის საანგარიშო აჩქარებაა;

T_B - სპექტრული აჩქარების პერიოდის მუდმივი სიდიდის ქვედა ზღვარია;

T_C - სპექტრული აჩქარების პერიოდის მუდმივი სიდიდის ზედა ზღვარია;

T_D - მნიშვნელობა, რომლითაც განისაზღვრება სპექტრის მუდმივი გადაადგილების რეაქციის საზღვრის დასაწყისი;

S - გრუნტის კოეფიციენტი;

q - ქვევის კოეფიციენტი;

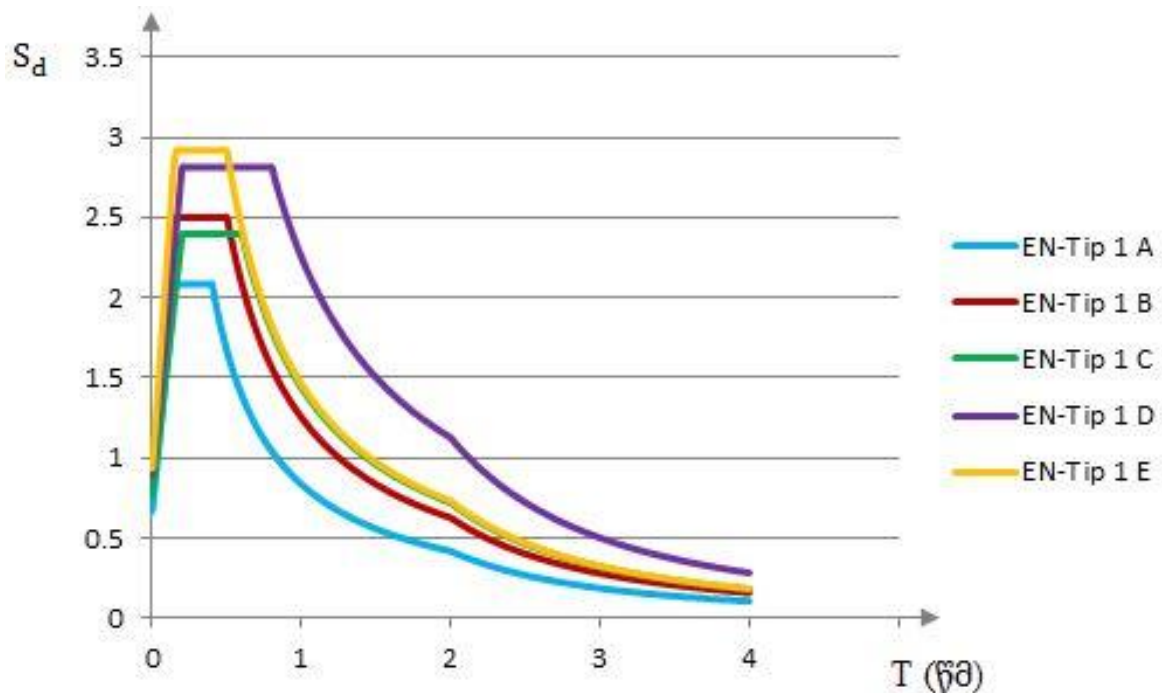
β - ქვედა ზღვარის კოეფიციენტი ჰორიზონტალური მიმართულების საანგარიშო სპექტრისათვის.

ცალკეულ ქვეყნებში გამოსაყენებელი β -ს მნიშვნელობა შეიძლება მოცემული იყოს ეროვნულ დანართში. β -ს რეკომენდებული მნიშვნელობა შეადგენს 0.2.

EN 1998-2-ით ხიდებისათვის ქვევის q კოეფიციენტის მნიშვნელობა იცვლება 1.0÷1.5 ფარგლებში (ჩვენს გაანგარიშებებში ვიღებთ, რომ $q = 1.0$) [8].

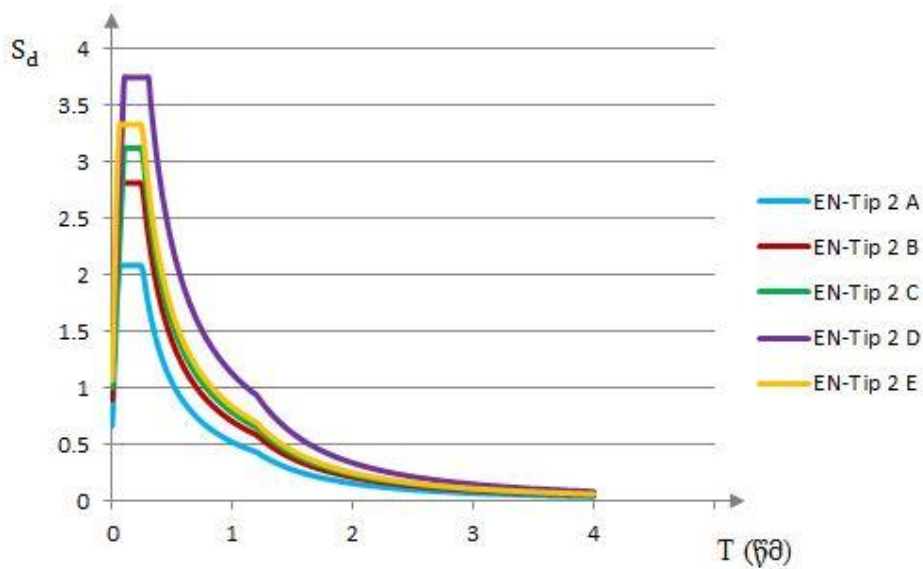
ჰორიზონტალური საანგარიშო სპექტრისათვის მაგნიტუდების მნიშვნელობების შესაბამისად მრუდები იყოფა 1-ელ და მე-2 ტიპის სპექტრებად, როგორც ეს ხდება დრეკადი რეაქციის სპექტრების შემთხვევაში. ჰორიზონტალური საანგარიშო სპექტრის პარამეტრები მოცემულია 1-ლი ტიპისათვის ცხრილ 4-ში, ხოლო მე-2 ტიპისათვის ცხრილ 5-ში, რომლებიც ითვალისწინებენ სხვადასხვა გრუნტებს შესაბამისი პარამეტრებით.

1-ლი ტიპის შესაბამისი ჰორიზონტალური საანგარიშო სპექტრი (5%-იანი მიღების კოეფიციენტით) მოცემულია ნახ. 8-ზე.



ნახ. 8. 1-ლი ტიპის საანგარიშო სპექტრი

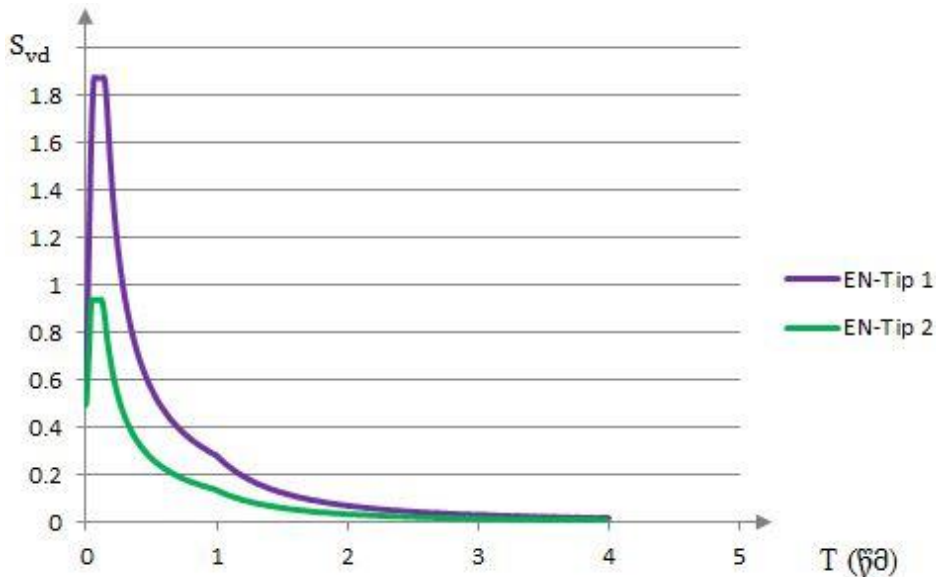
მე-2 ტიპის შესაბამისი ჰორიზონტალური საანგარიშო სპექტრი (5%-იანი მიღების კოეფიციენტით) მოცემულია ნახ. 9-ზე.



ნახ. 9. მე-2 ტიპის საანგარიშო სპექტრი

ვერტიკალური საანგარიშო სპექტრი მიიღება ჰორიზონტალური საანგარიშო სპექტრის საფუძველზე, ამასთანავე გრუნტის კოეფიციენტის მნიშვნელობაა $S = 1.0$, რადგან ვერტიკალური სპექტრი გრუნტის ტიპზე დამოკიდებული არ არის, სხვა პარამეტრები კი მიიღება ცხრილი 6-დან, ისე როგორც ვერტიკალური რეაქციის სპექტრის პარამეტრები.

ვერტიკალური საანგარიშო სპექტრი 1-ლი და 2-ლი ტიპებისათვის (5%-იანი მიღევის კოეფიციენტის გათვალისწინებით) მოცემულია ნახ. 10-ზე.



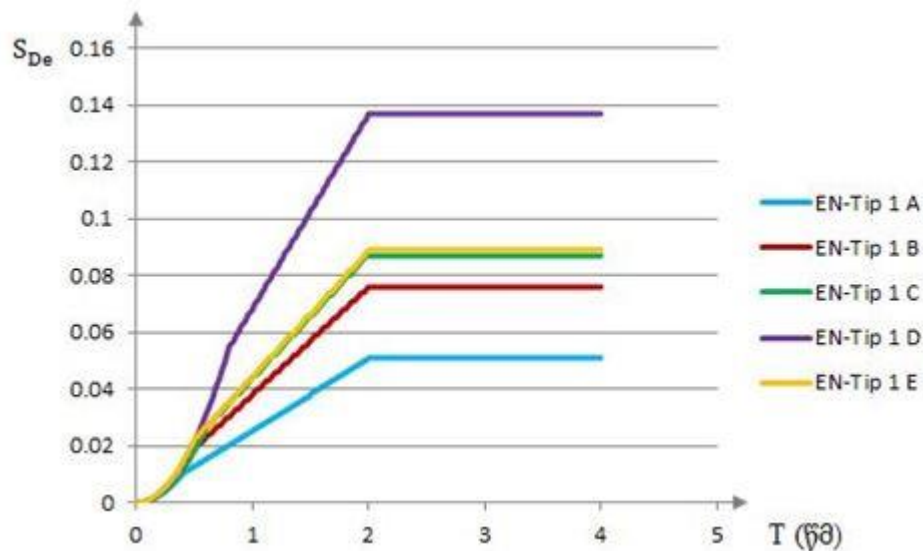
ნახ. 10. ვერტიკალური საანგარიშო სპექტრი 1-ლი და მე-2 ტიპის მიწისძვრებისათვის

დრეკადი გადაადგილების რეაქციის სპექტრი $S_{De}(T)$ შეიძლება მივიღოთ დრეკადი აჩქარების რეაქციის სპექტრის $S_e(T)$ უშუალო გარდაქმნით, ქვემოთ მოცემული გამოსახულების საფუძველზე:

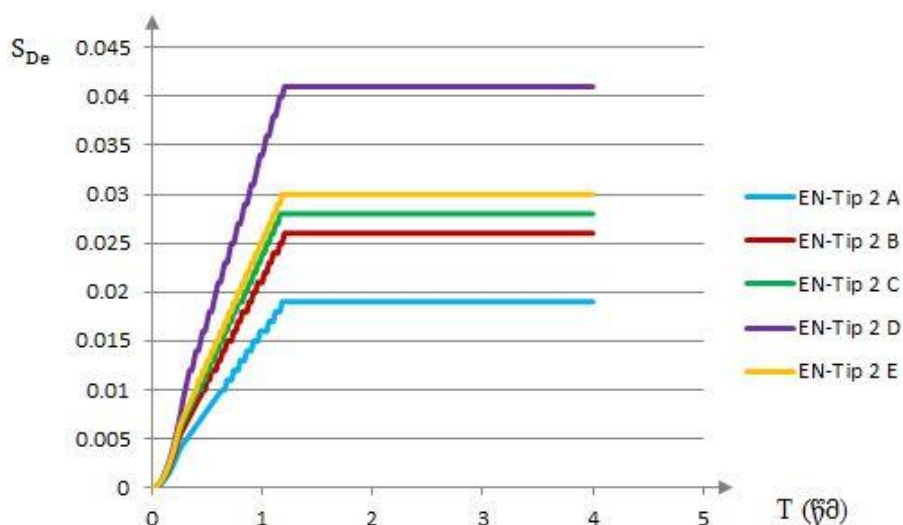
$$S_{De}(T) = S_e(T) \cdot \left[\frac{T}{2\pi} \right]^2$$

ეს გამოსახულება გამოიყენება რხევის ისეთ პერიოდებისათვის, როდესაც $T \leq 4.0$ წმ. თუ რხევის პერიოდი $T > 4.0$ წმ, შესაძლებელი ხდება დრეკადი გადაადგილების სპექტრის უფრო სრულყოფილად განსაზღვრა.

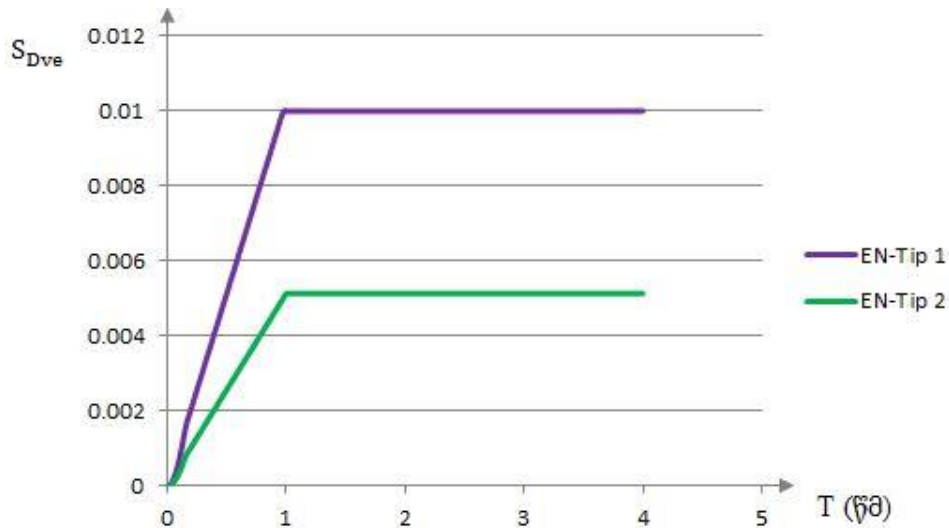
დრეკადი აჩქარებების რეაქციის სპექტრის გარდაქმნით შესაძლებელია განვსაზღვროთ დრეკადი გადაადგილებების რეაქციის სპექტრები, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი ხდება მიწისძვრის ზემოქმედების შეფასება კონსტრუქციაზე. ქვემოთ მოცემულ ნახაზებზე (ნახ. 11, 12 და 13) გრაფიკული სახითაა მოცემული ჰორიზონტალური და ვერტიკალური დრეკადი გადაადგილების რეაქციის სპექტრები 1-ლი და მე-2 ტიპის მიწისძვრებისათვის:



ნახ. 11. 1-ლი ტიპის ჰორიზონტალური დრეკადი გადაადგილების რეაქციის სპექტრი



ნახ. 12. მე-2 ტიპის ჰორიზონტალური დრეკადი გადაადგილების რეაქციის სპექტრი



ნახ. 13. 1-ლი და მე-2 ტიპის მიწისძვრებისათვის ვერტიკალური დრეკადი გადაადგილების რეაქციის სპექტრი

1.2.4. აშშ-ის ნორმატივების მიხედვით მიღებული დრეკადი სეისმური რეაქციის კოეფიციენტები (სპექტრული მრუდები)

აშშ-ში მიღებულია სტანდარტი - AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS (საპროექტო სპეციფიკაციები), რომელშიც 2012 წლამდე ხიდების რეაქციის სპექტრები მიიღებოდა ქვემოთ მოცემული დრეკადი სეისმური რეაქციის კოეფიციენტის გამოსახულების საფუძველზე [9]:

$$C_{sm} = \frac{1.2 \cdot A \cdot S}{T_m^{2/3}} \leq 2.5 \cdot A$$

სადაც: T_m – m^{th} თავისუფალი რხევების გარკვეული ფორმის შესაბამისი რხევის პერიოდია;

A – აჩქარების კოეფიციენტი;

S – გრუნტის კოეფიციენტი.

დრეკადი სეისმური რეაქციის სპექტრი დამოკიდებულია აჩქარების კოეფიციენტზე, რომელიც აიღება რუკებიდან სეისმური დარაიონების მიხედვით.

ცხრილი 7

სეისმური ზონა

აჩქარების კოეფიციენტი	სეისმური ზონა
$A \leq 0.09$	1
$0.09 < A \leq 0.19$	2
$0.19 < A \leq 0.29$	3
$0.29 < A$	4

გრუნტის კოეფიციენტი დამოკიდებულია გრუნტის ტიპებზე, რომლებიც პირობითად დაყოფილია 4 ტიპად. I ტიპს მიეკუთვნება კლდოვანი ქანები,

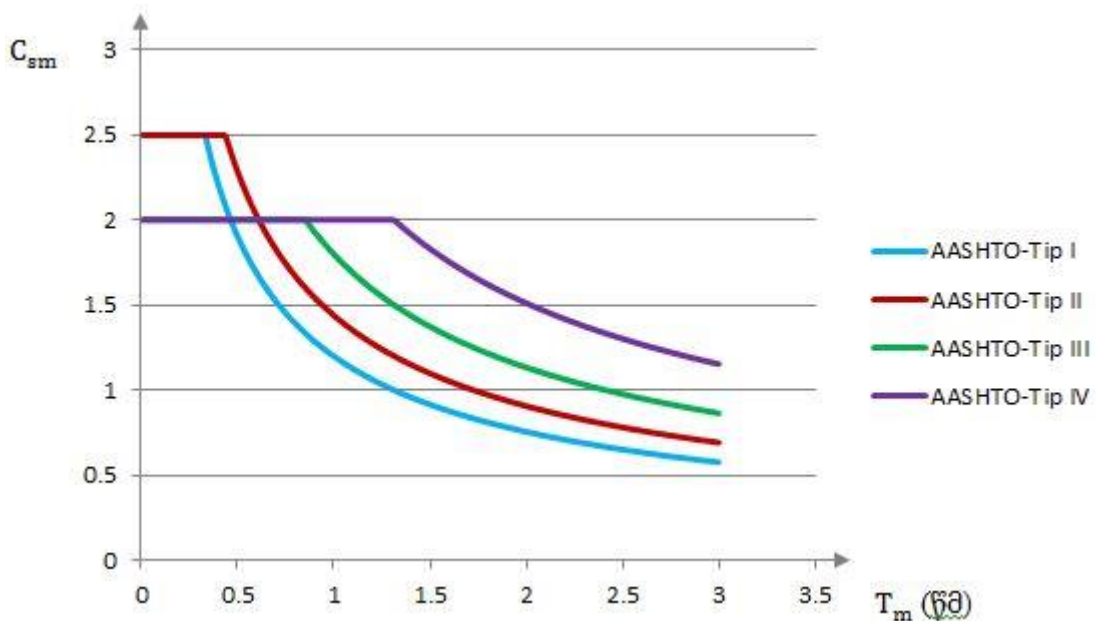
ქვიშოვანი და ხრეშოვანი გრუნტები, აგრეთვე მყარი თიხები, და ისეთი გრუნტები, რომელთა სიმძლავრე არ აღემატება 6.0 მ-ს. II ტიპს მიეკუთვნება ისეთი გრუნტები, რომელთა სიმძლავრე აჭარბებს 6.0 მ და ეს გრუნტებია კლდოვანი გრუნტის მასივები, ან ქვიშა, ხრეში და მაგარი თიხები. III ტიპი კი ისეთი გრუნტებია, რომლებიც 9.0 მ სიმძლავრისაა – საშუალო და მაგარი თიხები და ქვიშა, ხოლო IV ტიპს განეკუთვნება გრუნტები, რომელთა სიმძლავრეც აღემატება 12.0 მ და წარმოადგენს რბილ თიხებს. გრუნტების S კოეფიციენტები მოცემულია ცხრ. 8-ში.

ცხრილი 8

გრუნტის კოეფიციენტები

გრუნტის კოეფიციენტი	გრუნტის ტიპი			
	I	II	III	IV
S	1.0	1.2	1.5	2.0

დრეკადი სეისმური რეაქციის კოეფიციენტი დამოკიდებულია გრუნტის აჩქარების A კოეფიციენტზე, დრეკადი სეისმური რეაქციის სპექტრი კი დამოკიდებულია გრუნტის ოთხივე ტიპზე, რომლებიც მოცემულია ნახ. 14-ზე.



ნახ. 14. დრეკადი სეისმური რეაქციის სპექტრი გრუნტის ტიპების მიხედვით

2012 წელს AASHTO-ს საპროექტო სპეციფიკაციებში შეიცვალა საანგარიშო რეაქციის სპექტრის აგების მიდგომა. საანგარიშო რეაქციის სპექტრი მართო აჩქარების კოეფიციენტზე A (2012 წელს მიღებული ნორმატივში ეგრეთ წოდებული გრუნტის პიკური აჩქარების კოეფიციენტზე PGA) აღარ არის დამოკიდებული, არამედ შემოდის კიდევ ორი სპექტრული აჩქარების

კოეფიციენტი S_s და S_1 . S_s წარმოადგენს სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტს $T=0.2$ წამის შემთხვევაში, ხოლო S_1 წარმოადგენს სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტს $T=1.0$ წამის შემთხვევაში. AASHTO-ში რუკების სახით (ადგილმდებარეობის მიხედვით) მოცემულია გრუნტის პიკური აჩქარების კოეფიციენტები PGA, სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტები $T=0.2$ წამის შემთხვევაში S_s , აგრეთვე სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტი $T=1.0$ წამის შემთხვევაში S_1 , ამასთანავე გრუნტის ოთხი ტიპის ნაცვლად გრუნტები წარმოდგენილია ექვს კატეგორიად: A, B, C, D, E და F [10].

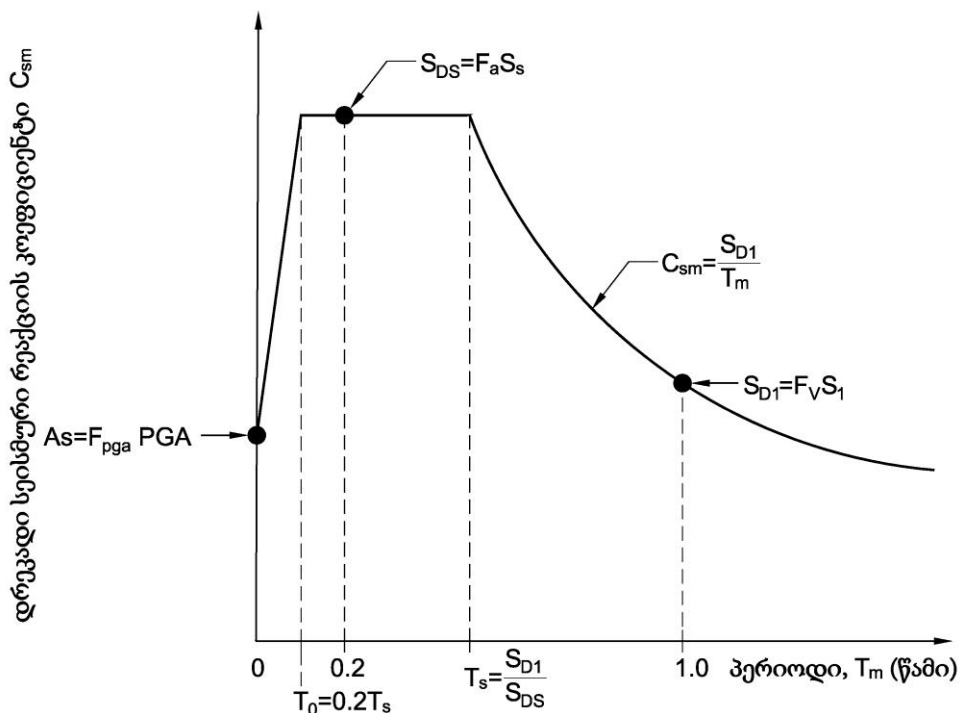
გრუნტის კატეგორიები სეისმური თვისებების მიხედვით მოცემულია ცხრილ 9-ში და დაყოფილია განივი ტალღის გავრცელების საშუალო სიჩქარის V_s , პენეტრაციაზე სტანდარტული გამოცდის N_{SPT} და არადრენირებადი გრუნტების ძვრაზე სიმტკიცის s_u მიხედვით.

ცხრილი 9

გრუნტის კატეგორიები

გრუნტის კატეგორია	გრუნტები	განივი ტალღის გავრცელების საშუალო სიჩქარე V_s ფუტი/წმ (მ/წმ)	პენეტრაციაზე სტანდარტული გამოცდის შესაბამისი დარტყმების რაოდენობა N_{SPT} (დარტ./100ფუტი)	გრუნტის არადრენირებადი სიმტკიცე ძვრაზე s_u კსფ (კპა)
A	ძლიერი კლდოვანი გრუნტები	≥ 5000 (≥ 1524)	-	-
B	კლდოვანი გრუნტები	2500 ÷ 5000 (762 ÷ 1524)	-	-
C	ძალიან მკვრივი ქვიშის ან ქვიშაქვის გრუნტები	1200 ÷ 2500 (365.76 ÷ 762)	> 50	> 2.0 (>95.76)
D	მკვრივი ქვიშის გრუნტები	600 ÷ 1200 (182.88 ÷ 365.76)	15 - 50	1.0 – 2.0 (47.88 – 95.76)
E	მაგარი თიხოვანი გრუნტები	< 600 (< 182.88)	< 15	< 1.0 (< 47.88)
F	მაგარი პლასტიური თიხოვანი გრუნტები	-	-	-

ამრიგად, AASHTO-ში მოცემული რუკებიდან განისაზღვრება სამი მნიშვნელობა: პიკური აჩქარების კოეფიციენტი PGA, სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტი $T=0.2$ წამზე S_s და სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტი $T=1.0$ წამზე S_1 . თითოეული გრუნტის კატეგორიას შეესაბამება ამ სიდიდეების სხვადასხვა მნიშვნელობები. ადგილმდებარეობის ფაქტორის მიხედვით ნულ პერიოდზე F_{pga} და გრუნტის კატეგორიების მიხედვით მიიღება პიკური აჩქარების კოეფიციენტები PGA (ცხრილი 10). ადგილმდებარეობის ფაქტორის აჩქარების სპექტრი მოკლე პერიოდის დიაპაზონისათვის F_a მიიღება სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტისათვის $T=0.2$ წამზე S_s და გრუნტის კატეგორიების მიხედვით (ცხრილი 11), ხოლო ადგილმდებარეობის ფაქტორის აჩქარების სპექტრი ხანგრძლივი პერიოდის დიაპაზონისათვის F_v მიიღება სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტისათვის $T=1.0$ წამზე S_1 და გრუნტის კატეგორიების მიხედვით (ცხრილი 12).



ნახ. 15. საანგარიშო რეაქციის სპექტრი

ცხრილებიდან 10, 11 და 12 აღებული პარამეტრების საფუძველზე მიიღება საანგარიშო რეაქციის სპექტრული მრუდები. ცხადია, რომ გრუნტების ექვსი კატეგორია დიფერენცირებულია, ჯერ პიკური აჩქარებების PGA მიხედვით, ხოლო შემდგომ კიდევ ორი სიდიდის (S_s და S_1 -ის) მიხედვით, რაც აისახება საანგარიშო რეაქციების საკმაოდ ვრცელი სპექტრით, შესაბამისად გართულეულია ერთიანი გრაფიკული სახით რეაქციების სპექტრების წარმოჩენა.

გაცილებით მოსახერხებელია საანგარიშო რეაქციების სპექტრის ზოგადი სახით ჩაწერა (საანგარიშო სიდიდეების ფორმულების სახით წარმოჩენა), რაც განაპირობებს ყოველი კონკრეტული მონაცემების მიხედვით საანგარიშო რეაქციების სპექტრის აგების აუცილებლობას (ნახ. 15).

საანგარიშო რეაქციის სპექტრი გამოითვლება ქვემოთ მოცემული გამოსახულებების საფუძველზე:

$$C_{sm}(T_m) = 1.0 \cdot \left[A_s + \frac{T}{0.2 \cdot T_s} \cdot (S_{DS} - A_s) \right], \text{ თუ } 0 < T_m < 0.2 \cdot T_s$$

$$C_{sm}(T_m) = S_{DS}, \text{ თუ } 0.2 \cdot T_s < T_m < T_s$$

$$C_{sm}(T_m) = \frac{S_{D1}}{T_m}, \text{ თუ } T_s < T_m < 3 \text{ წმ}$$

სადაც: C_{sm} - დრეკადი სეისმური რეაქციის კოეფიციენტი;

PGA - გრუნტის პიკური აჩქარების კოეფიციენტი;

S_s - სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტი 0.2 წმ-ის შემთხვევაში;

S_1 - სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტი 1.0 წმ-ის შემთხვევაში;

F_{pga} - ადგილმდებარეობის ფაქტორია (აჩქარების სპექტრით ნულ პერიოდზე);

F_a - ადგილმდებარეობის ფაქტორია (აჩქარების სპექტრით მოკლე პერიოდისათვის);

F_v - ადგილმდებარეობის ფაქტორია (აჩქარების სპექტრით ხანგრძლივი პერიოდისათვის).

$$A_s = F_{pga} \cdot PGA;$$

$$S_{DS} = F_a \cdot S_s;$$

$$S_{D1} = F_v \cdot S_1;$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}.$$

ცხრილი 10

ადგილმდებარეობის ფაქტორი (აჩქარების სპექტრით ნულ პერიოდზე F_{pga})

გრუნტის კატეგორია	გრუნტის პიკური აჩქარების კოეფიციენტი (PGA)				
	PGA < 0.10	PGA = 0.20	PGA = 0.30	PGA = 0.40	PGA > 0.5
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	*	*	*	*	*

ადგილმდებარეობის ფაქტორი (აჩქარების სპექტრით მოკლე პერიოდისათვის F_a)

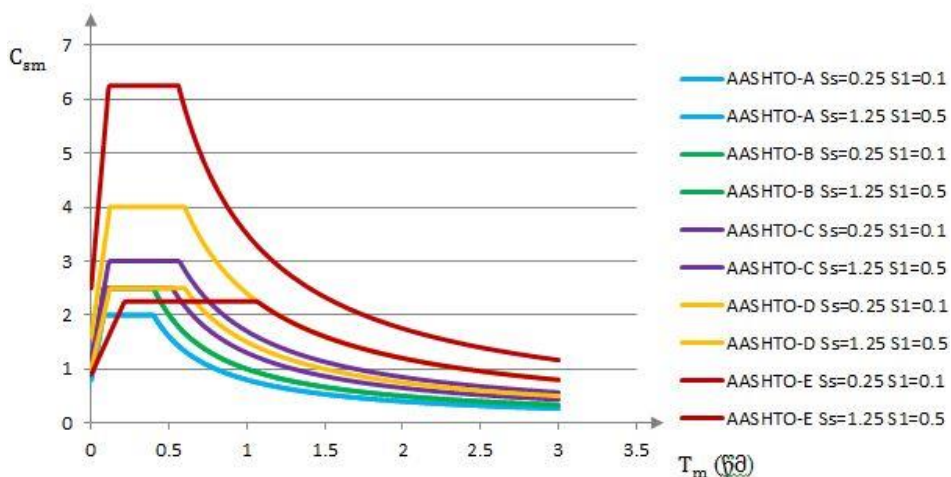
გრუნტის კატეგორია	სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტი 0.2 წამზე S_s				
	$S_s < 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s > 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	*	*	*	*	*

ადგილმდებარეობის ფაქტორი (აჩქარების სპექტრით ხანგრძლივი პერიოდისათვის F_v)

გრუნტის კატეგორია	სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტი 1.0 წამზე S_1				
	$S_1 < 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 > 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	*	*	*	*	*

გრუნტის კატეგორიისათვის F მახასიათებლები არ არის მოცემული, რადგან მათი განსაზღვრა ეფუძნება გეოტექნიკურ კვლევებს.

ნახ. 16-ზე მოცემულია საანგარიშო რეაქციის სპექტრები A-E გრუნტის კატეგორიებისათვის ორი შემთხვევისათვის: პირველი შემთხვევა, როდესაც სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტი 0.2 წამის შემთხვევაში შეადგენს $S_s=0.25$ და სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტი 1.0 წამის შემთხვევაში შეადგენს $S_1=0.1$ და მეორე შემთხვევა, როდესაც სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტი 0.2 წამის შემთხვევაში შეადგენს $S_s=1.25$ და სპექტრული აჩქარების კოეფიციენტი 1.0 წამის შემთხვევაში შეადგენს $S_1=0.5$:



ნახ. 16. A-E გრუნტის კატეგორიებისათვის საანგარიშო რეაქციის სპექტრი

ზემოთქმულიდან გამომდინარე სხვადასხვა ქვეყნების ნორმატიულ დოკუმენტაციაში სპექტრები შინაარსობრივად ერთიდაიგივე სიდიდეს ასახავს, განსხვავებულია მხოლოდ მათი დასახელებები: პოსტსაბჭოთა ქვეყნებში სეისმომედეგობის დინამიკურ კოეფიციენტს უწოდებენ, ევროპაში დრეკადი რეაქციის სპექტრით ან საანგარიშო სპექტრით იცნობენ და აშშ-ში კი დრეკადი სეისმური რეაქციის კოეფიციენტად მოიხსენიება [61].

1.3. სეისმომედეგობის სტატიკური თეორიის კრიტიკული ანალიზი

სეისმომედეგობის სტატიკური თეორია (რიგ ლიტერატურაში მოხსენიებულია როგორც კვაზიდინამიკური თეორია) სეისმომედეგობის სფეროში პირველი თეორიაა, რომელიც 1890-იან წლებში დამუშავდა და აშკარად წინ გადადგმული ნაბიჯი იყო ამ სფეროში.

სეისმომედეგობის სტატიკური თეორია სრულფასოვნად ვერ ასახავს ნაგებობათა რხევის პროცესს (არც შეიძლება ასახავდეს ამ რთულ პროცესს, როგორც ამ სფეროში დამუშავებული პირველი თეორია).

ამ თეორიის საფუძველი ის დაშვებაა, რომ ნებისმიერი კონსტრუქციის ნაგებობა განიხილება როგორც აბსოლუტურად ხისტი მყარი ტანი, ნულოვანი დრეკადი გადაადგილებებით (რაც რეალობისაგან შორსაა), ამ დაშვებამ კი თავისთავად განაპირობა მეორე დაშვება, რომლითაც ნაგებობების რეაქციად (გარკვეულ დისკრეტულ წერტილებში განვითარებულ მაქსიმალურ აჩქარებებად) ითვლება მიწისძვრის მაქსიმალური აჩქარებები (ბალიანობის მიხედვით 0.1g, 0.2g და 0.4g) და არა კონსტრუქციის დრეკადი გადაადგილებებით განპირობებული აჩქარებები, რომლებიც რიგ შემთხვევაში შესაძლებელია აღემატებოდნენ მიწისძვრის მაქსიმალურ აჩქარებებს.

მიუხედავად ამისა სტატიკური თეორია დღესაც გამოიყენება საინჟინრო პრაქტიკაში, მზიდი ელემენტების საწყისი კვეთების დანიშვნის სტადიაზე. ჩვენის აზრით ამ თეორიის გამოყენება შესაძლებელია არა თუ საწყისი კვეთების დანიშვნის სტადიაზე, არამედ ძირითად საანგარიშო მოდელადაც, როდესაც კონსტრუქცია ძალზე ხისტია და გრუნტშია - დრეკად გარემოშია განთავსებული, რომელიც ისედაც მცირე დრეკად გადაადგილებებს კიდევ უფრო ზღუდავს. ამ

თეორიის საფუძველზე შესაძლებელია მაგალითად სახიდე გადასასვლელების გარსშემოყრილი მასიური განაპირა ბურჯების გაანგარიშება.

1.4. სეისმომდეგობის დინამიკური თეორიის კრიტიკული ანალიზი

სეისმომდეგობის დინამიკური თეორია (მისი ძირითადი პრინციპები) იდენტურია ზოგადად მყარი ტანის მექანიკაში გავრცელებული სეისმომდეგობის დინამიკური თეორიისა. ამ შემთხვევაში მოძრაობის განტოლებებს არაერთგვაროვან დიფერენცირებულ განტოლებათა სახე აქვს, რომლის მარჯვენა ნაწილით გამოისახება იძულებითი რხევები.

მყარი ტანის მექანიკის (მათ შორის მანქანა-მექანიზმების თეორიის) უამრავ ამოცანაში იძულებითი რხევების კანონზომიერება ცნობილია და ისინი გამოისახება ჰარმონიული ფუნქციებით, რითაც ვერ გამოისახება სეისმური ზემოქმედება (რთული, მრავალკომპონენტური რხევითი პროცესი არ ექვემდებარება ჰარმონიულ ფუნქციებად მის გამოსახვას), რაც ამ თეორიის ერთგვარი აქილევსის ქუსლია: როგორც ყველა რთული ფუნქციის აპროქსიმაცია და ჩაწერა ჰარმონიული ფუნქციების სახით, ეს შემთხვევაც დაკავშირებულია მნიშვნელოვან დაშვებებთან, რაც მიღებულ შედეგებზეც ჰპოვებს ასახვას.

1.5. სეისმომდეგობის სპექტრული თეორიის კრიტიკული ანალიზი

სეისმომდეგობის სპექტრული თეორიის საფუძველს წარმოადგენს საკუთარი (თავისუფალი) რხევების სიხშირეთა φ_i (შესაბამისად პერიოდების T_i) სპექტრის განსაზღვრა, რომელთა საფუძველზეც განისაზღვრება სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტები, შესაბამისი მრუდების $\beta_i = f(T_i)$ გამოყენებით.

თავისუფალი რხევების სიხშირეთა სპექტრის განსაზღვრა ეფუძნება საუკუნოვანი განტოლების დეტერმინანტის გაშლის შედეგად მიღებული მრავალწევრის ფესვების განსაზღვრას, $\beta_i = f(T_i)$ მრუდების მიღება კი ეფუძნება ექსპერიმენტალურ მონაცემებს - ერთმასიანი კონსოლური სისტემის (ოსცილატორის) დინამიკური რეაქციების განსაზღვრას, რაც სათავეს იღებს 1930-იან წლებში ბელგიელი მეცნიერის ბიოს მიერ დამუშავებული მეთოდიკიდან [39].

ცხადია, რომ სეისმომდეგობის სპექტრული თეორია ითვალისწინებს კონსტრუქციის (მართალია მხოლოდ ერთმასიანი კონსოლური სისტემის)

დრეკადი გადაადგილებების შედეგად წარმოქმნილ დინამიკურ რეაქციებს (რხევის პროცესში განვითარებულ მაქსიმალურ აჩქარებებს, რომელთაც შეესაბამება მაქსიმალური დეფორმაციები და შესაბამისად, მაქსიმალური სეისმური ძალები), რაც განასხვავებს ამ თეორიას წინა ორი თეორიისაგან.

ამ პროგრესის მიუხედავად, რომ შესაძლებელი გახდა სეისმომედების დინამიკური კოეფიციენტების განსაზღვრა კონსტრუქციის დინამიკური რეაქციების საფუძველზე (შესაძლებელი გახდა მაქსიმალური სეისმური ძალების გამოსახვა სტატიკური ძალის ნამრავლით სეისმომედეგობის დინამიკურ კოეფიციენტზე $S_{max} = \beta_{max} \times S_{st}$), თეორია ერთ მთავარ (ჩვენის აზრით ძალზე განზოგადებულ) დაშვებას ეფუძნება - დინამიკური რეაქციების (შესაბამისად $\beta_i = f(T_i)$ მრუდების) განსაზღვრა ეფუძნება ერთმასიანი კონსოლური სისტემის (ოსცილატორის) მონაცემების მიხედვით.

მარტივი შედარებისათვის - მაგალითად ჭრილი და უჭრი კოჭური სისტემების ხიდების ძალის ნაშენებისათვის, თაღური სისტემის ძალის ნაშენებისათვის, კიდული და ვანტური სისტემებისათვის, ყველა სხვა ნაგებობისათვის, განურჩევლად სისტემისა, მასებისა და სიხისტეების კონკრეტული გადანაწილებისა $\beta_i = f(T_i)$ მრუდები ყოველთვის უცვლელი და უნივერსალურია, ანუ გამოსადეგია ყველა შემთხვევისათვის, რაც ჩვენის აზრით შორსაა რეალობისაგან.

2. კვლევა, შედეგები და მათი განსჯა

2.1. კვლევის მეთოდოლოგია

2.1.1. ხიდების მალის ნაშენებისათვის ყველაზე საშიში სეისმური ზემოქმედების (აქსელეროგრამების) შერჩევის მეთოდოლოგია

ხიდის კოჭურ მალის ნაშენებზე სეისმური ზემოქმედების მეთოდოლოგია ეფუძნება მიწისძვრის აქსელეროგრამის მონაცემთა ბანკიდან ისეთი აქსელეროგრამის შერჩევას, რომელიც განაპირობებს მალის ნაშენის კვეთებში მაქსიმალური სიდიდის ძალების აღძვრას. შერჩეული აქსელეროგრამის საფუძველზე კონკრეტული ხიდის მალის ნაშენისათვის მუშავდება შესაბამისი ვერტიკალური რეაქციის სპექტრის მრუდები.

უმეტეს შემთხვევაში რეალური ჩანაწერების საფუძველზე მიღებული ძალების მაქსიმალური სიდიდეები როგორც წესი, აღემატება სპექტრული თეორიით მიღებულ შედეგებს, რაც რეალიზებული ამოცანების შედეგებმაც ცხადყო, დამუშავებული მეთოდოლოგიით ეს სხვაობა უფრო გაიზარდა, რაც მეტად მნიშვნელოვანი შედეგია და შესაბამის ანალიზს ექვემდებარება.

– მეთოდოლოგიის პირველი ეტაპი მოიცავს საანგარიშო კონსტრუქციის (კოჭური ხიდის მალის ნაშენების) საკუთარი რხევის პერიოდების განსაზღვრას;

– მეორე ეტაპზე მონაცემთა ბანკიდან შეირჩევა აქსელეროგრამების ჯგუფი იდენტური (ან მაქსიმალურად მიახლოებული) მაგნიტუდებით და შესაბამისი მიწისძვრის ინტენსივობით, რომლებიც ესადაგებიან საპროექტო ობიექტის ადგილმდებარეობის გეოტექნიკურ და სეისმურ მახასიათებლებს.

მნიშვნელოვანია, რომ აქსელეროგრამების შერჩეული ჯგუფი ხასიათდებოდეს ძირითადი ფაზით (დროის მონაკვეთით, რომელზეც პიკური მნიშვნელობები მაქსიმუმს აღწევენ), რომელსაც დროის ხანგრძლივი პერიოდი აქვთ.

– მესამე ეტაპზე თითოეული აქსელეროგრამიდან გამოიყოფა ძირითადი ფაზები (როგორც მთლიანი აქსელეროგრამის მახასიათებელი მონაკვეთები), რომლებიც ექვემდებარებიან ჰარმონიულ ფუნქციებად (ჰარმონიკებად) დაშლას, რაც იძლევა საშუალებას რომ განისაზღვროს თითოეული ჰარმონიკის შესაბამისი რხევის სიხშირეები, შესაბამისად რხევის პერიოდები (რხევის პირველი ფორმის,

როგორც დომინანტური ფორმის პრიორიტეტით), სწორედ ეს აქსელეროგრამა (აქსელეროგრამების ჯგუფიდან შერჩეული აქსელეროგრამა) მიიღება საანგარიშო აქსელეროგრამად.

– მეოთხე ეტაპზე საანგარიშო აქსელეროგრამის საფუძველზე რეალიზდება კონკრეტული ამოცანა – განისაზღვრება მალის ნაშენში აღძრული ძალების სიდიდეები, რაც იძლევა შესაბამისი ანალიზის საშუალებას: ხდება მიღებული შედეგების შედარება სპექტრული თეორიით მიღებულ შედეგებთან.

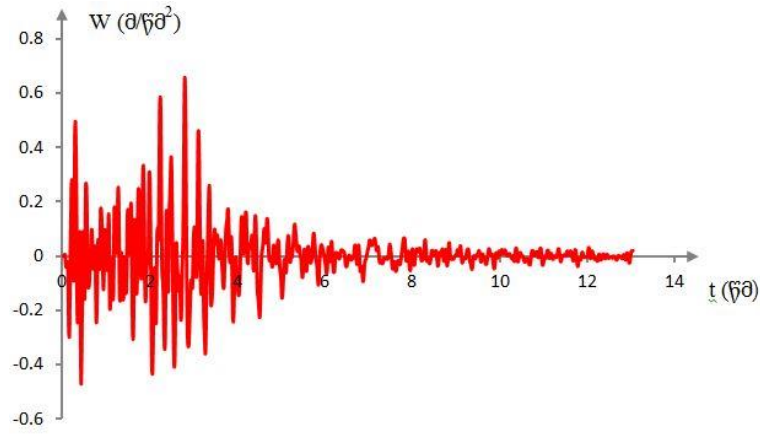
ზემოთ ჩამოთვლილი ეტაპებიდან ყველაზე მნიშვნელოვანია (სპეციფიკიდან გამომდინარე) მესამე ეტაპი - საანგარიშო აქსელეროგრამის შერჩევა, ამიტომ საჭიროთ ვთვლით მისი გაშლილი (განდეტალეებული) სახით წარმოჩენას ალგორითმის სახით, რომელსაც ეფუძნება საანგარიშებაში გამოყენებული რიცხვითი ანალიზის პლატფორმა MATLAB.

საანგარიშო აქსელეროგრამის შერჩევა (ზოგადი ალგორითმი).

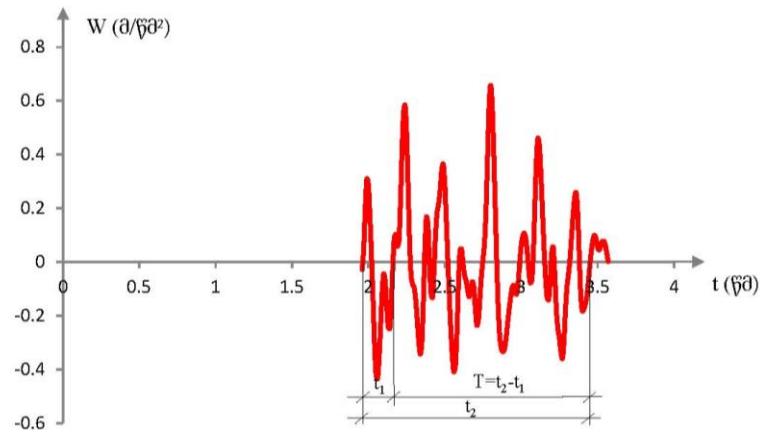
მიწისძვრის რეალური ჩანაწერები აქსელეროგრამების სახით რთულ მრავალკომპონენტთან $f(t)$ ფუნქციას წარმოადგენს, რომელიც შესაძლებელია მარტივ ჰარმონიულ $f(t) = f_1(t) + f_2(t) + \dots + f_n(t)$ ფუნქციათა ჯამად ჰარმონიკებად წარმოვადგინოთ.

ჰარმონიკებად დაშლას ყველა რთული ფუნქცია არ ექვემდებარება. ამისათვის საჭიროა რომ ფუნქცია აკმაყოფილებდეს დირიხლეს თეორემის პირობებს (ყველა მონაკვეთზე იყოს კრებადი), რასაც აქსელეროგრამები (ფუნქციური დამოკიდებულება აჩქარებებსა და დროს შორის) აკმაყოფილებს, რადგან დროის ყველა მონაკვეთზე მათ აქვთ კონკრეტული (სასრული) მნიშვნელობა, მაშასადამე ფუნქცია ექვემდებარება ჰარმონიულ ფუნქციებად დაშლას, რაც ფურიეს მწკრივის თეორიის საფუძველზე სრულდება.

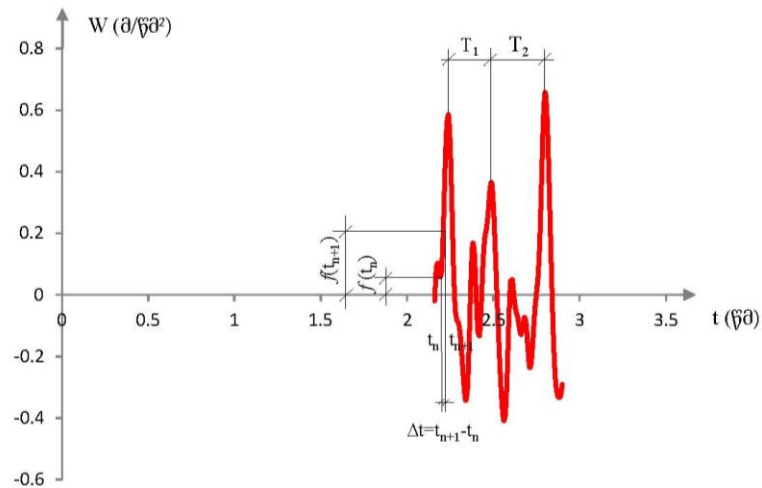
თეორიულად შესაძლებელია აქსელეროგრამების (ნახ. 17) დაშლა მისი მოქმედების მთელი პერიოდისათვის, ჩვენი ამოცანისთვის კი საკმარისია გამოიყოს მთავარი ფაზა (მახასიათებელი მონაკვეთი, რომელზეც აჩქარებების მნიშვნელობები განსაკუთრებით დიდია) და ჰარმონიკებად დაიშალოს აქსელეროგრამის ეს მონაკვეთი (ნახ. 18).



ნახ. 17. მიწისძვრის ჩანაწერი აქსელეროგრამის სახით



ნახ. 18. აქსელეროგრამიდან გამოყოფილი ფაზა, რომელიც ექვემდებარება ჰარმონიკულ დაშლას



ნახ. 19. გამოყოფილ ფაზაში იტერაციული პროცესის ბიჯი (დროითი ბიჯი) და მისი შესაბამისი ორდინატები - აჩქარებები

ფურიეს მწკრივს $f(t)$ ფუნქციისათვის T დროის ინტერვალში (აქსელეროგრამიდან გამოყოფილი ფაზის განმავლობაში) აქვს შემდეგი სახე :

$$f(t) = \frac{1}{2} \cdot a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \left(A_k \cdot \cos \pi k \frac{t}{T} + B_k \cdot \sin \pi k \frac{t}{T} \right) \quad (8)$$

სადაც :

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) d\tau, \quad A_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \cos \pi n \frac{t}{T} d\tau \quad \text{და} \quad B_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \sin \pi n \frac{t}{T} d\tau - \text{მწკრივის}$$

კოეფიციენტებია.

მთავარი T ფაზა იყოფა დროის Δt მცირე (სასრულ) ინტერვალებად. შესაბამისად, ინტეგრირების ბიჯი იცვლება სასრული დროის ბიჯით $d\tau = \Delta t$, ხოლო ინტეგრალები იცვლება სასრული ჯამებით, რომლის ზედა ზღვარი იქნება $N = T/\Delta t$. მწკრივის კოეფიციენტების გამოსახულებებში (t) დროის მიმდინარე ფაქტორის მაგივრად გვექნება $n \cdot \Delta t$. შესაბამისად მივიღებთ:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) d\tau = \frac{1}{N \cdot \Delta t} \cdot \sum_{n=1}^N \frac{W_n + W_{n+1}}{2} \cdot \Delta t = \frac{1}{2 \cdot N} \cdot \sum_{n=1}^N (W_n + W_{n+1});$$

$$A_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \cos \pi n \frac{t}{T} d\tau = \frac{1}{N \cdot \Delta t} \cdot \sum_{n=1}^N \left(\frac{W_n + W_{n+1}}{2} \cdot \Delta t \right) \cdot \cos \frac{\pi n}{N} = \frac{1}{2 \cdot N} \cdot \sum_{n=1}^N (W_n + W_{n+1}) \cdot \cos \frac{\pi n}{N}$$

$$B_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \sin \pi n \frac{t}{T} d\tau = \frac{1}{N \cdot \Delta t} \cdot \sum_{n=1}^N \left(\frac{W_n + W_{n+1}}{2} \cdot \Delta t \right) \cdot \sin \frac{\pi n}{N} = \frac{1}{2 \cdot N} \cdot \sum_{n=1}^N (W_n + W_{n+1}) \cdot \sin \frac{\pi n}{N}$$

ფურცეს მწკრივის კოეფიციენტების გამოსახულებები შევიტანოთ (8)-ში. მივიღებთ:

$$f(t) = W_j = \frac{1}{2 \cdot N} \cdot \sum_{n=1}^N (W_n + W_{n+1}) \cdot \left(1 + \cos \frac{\pi n}{N} + \sin \frac{\pi n}{N} \right) \quad (9)$$

(9) გამოსახულებაში $j=1 \div k$ ჰარმონიკის ის რიგითი ნომერია ($k \leq N$ -გარკვეული მთელი რიცხვია), რომლის შემდეგ აქსელეროგრამების ჰარმონიკებად დაშლა აზრს მოკლებულია, რადგან ჰარმონიკების ორდინატების ჯამი დროის $k \cdot \Delta t$ პერიოდში გარკვეული მიახლოებით უტოლდება აქსელეროგრამის ორდინატს, რომელზეც გაანგარიშების პროცესი წყდება.

ცხადია, რომ ამ მოცულობის გაანგარიშებისათვის საჭიროა სპეციალური პროგრამის დამუშავება, ან რომელიმე აპრობირებული საპროგრამო კომპლექსის გამოყენება, რომლებიც როგორც წესი ბიჯითი (იტერაციული) პროცესის ბაზაზე მუშავდება. ისიც ცხადია, რომ იტერაციული პროცესის ბიჯი (მოცემულ შემთხვევაში Δt დროის ბიჯი) განაპირობებს ამონახსნის სიზუსტეს, რაც უფრო მცირეა ეს ბიჯი მით უფრო ზუსტია ამონახსნის სიზუსტე. გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც, რომ აქსელეროგრამების პერიოდები (პიკებს შორის დროის

შუალედები) ცვალებადია (ნახ. 19) და სიდიდეები $T_1/\Delta t, T_2/\Delta t, \dots, T_n/\Delta t$ ყოველთვის ვერ იქნება მთელი რიცხვი, ამიტომ W_n -ის მინიმალურ და მაქსიმალურ მნიშვნელობებთან მიახლოებისას $\Delta t_1 < \Delta t$ დროის ბიჯი უნდა შეიცვალოს, რათა იტერაციულმა პროცესმა უზრუნველყოს მოცემული აქსელეროგრამის მასივის ზუსტი აპროქსიმაცია, ექსტრემალური ორდინატების შემდეგ კი Δt უნდა დაუბრუნდეს საწყის მნიშვნელობას.

ძალზე მნიშვნელოვანია ყველა ჰარმონიკის რხევის პერიოდების დაფიქსირება (პიკებს შორის დროის ინტერვალების განსაზღვრა), რომლებიც აქსელეროგრამების ერთერთი ძირითადი მახასიათებელია.

(9) გამოსახულება განაპირობებს იმ ფაქტს, რომ მიღებული რხევის პერიოდები წრიული სიხშირეების შესაბამისი რხევის პერიოდებია.

საბოლოო ჯამში მიღებული რხევის პერიოდების სპექტრიდან შეირჩევა რხევის ის $\check{T}_1, \check{T}_2, \check{T}_3, \check{T}_4$ პერიოდები, რომლებიც უახლოვდებიან ნაგებობების საკუთარი T_1, T_2, T_3, T_4 რხევის პერიოდებს, რასაც გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რომ $\check{T}_1 \approx T_1$ (პირველი რხევის ფორმებს შორის მინიმალური სხვაობის მიღწევა).

ნებისმიერი კონსტრუქციისათვის (მათ შორის ხიდის კოჭური ძალის ნაშენებისათვის) ყველაზე საშიში სეისმური ზემოქმედების (საანგარიშო აქსელეროგრამის) შერჩევის მეთოდოლოგია ეფუძნება მთავარ პრინციპს - β_A დინამიკური კოეფიციენტის სიდიდის მაქსიმალიზაციას.

თუ მოხერხდა ზემოქმედების ფაქტორის შერჩევა ისე, რომ მისი დომინანტური $\check{\omega}_1$ რხევის სიხშირე (შესაბამისად \check{T}_1 რხევის პერიოდი) მაქსიმალურად მიუახლოვდა კონსტრუქციის საკუთარი ω_1 რხევის სიხშირეს (შესაბამისად T_1 რხევის პერიოდს) - სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტის მაქსიმალიზაცია იქნება უზრუნველყოფილი, რაც საფუძვლად უდევს დამუშავებულ მეთოდოლოგიას.

$$\beta_A = 1 / \left[1 - (\check{T}_1 / T_1)^2 \right] \quad (10)$$

სადაც \check{T}_1 - აქსელეროგრამის რხევის პერიოდია;

T_1 - კონსტრუქციის რხევის პერიოდია.

კვლევის პროცესში იგივე ამოცანები – სხვადასხვა ტიპის მალის ნაშენებისათვის სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების სიდიდის განსაზღვრა – გადაწყდა მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტით (СНиП) გათვალისწინებული ($\beta_s = f(T)$) სპექტრული მრუდების საფუძველზე.

ორი მეთოდით (აქსელეროგრამებით და სპექტრული მრუდები გამოყენებით) მიღებული შედეგების ანალიზმა ცხადყო, რომ შერჩეული საანგარიშო აქსელეროგრამის საფუძველზე მიღებული სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტები მნიშვნელოვნად აღემატება ($\beta_A > \beta_s$) სპექტრული მრუდებით მიღებულ სიდიდეებს.

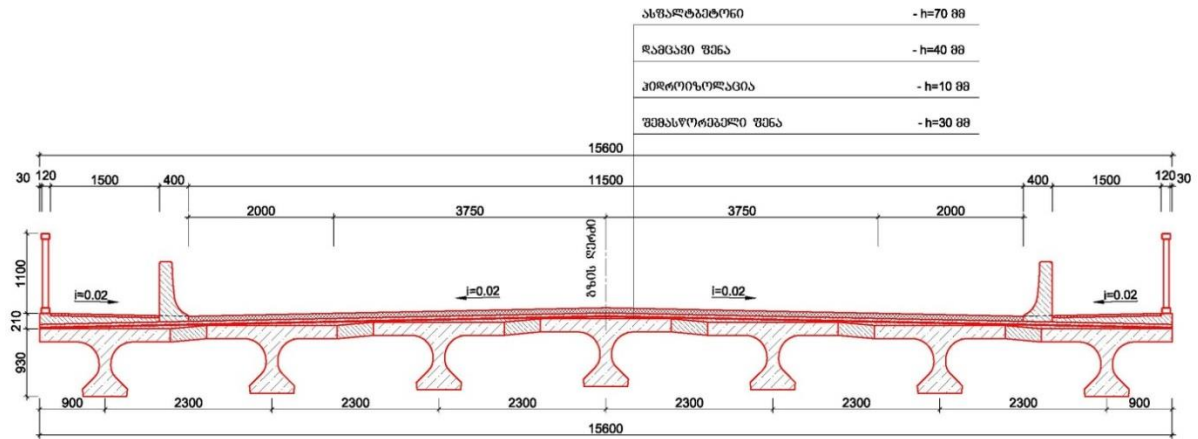
2.2. რეალიზებული ამოცანები და მიღებული შედეგები

2.2.1. განხილული მალის ნაშენების ძირითადი მახასიათებლები

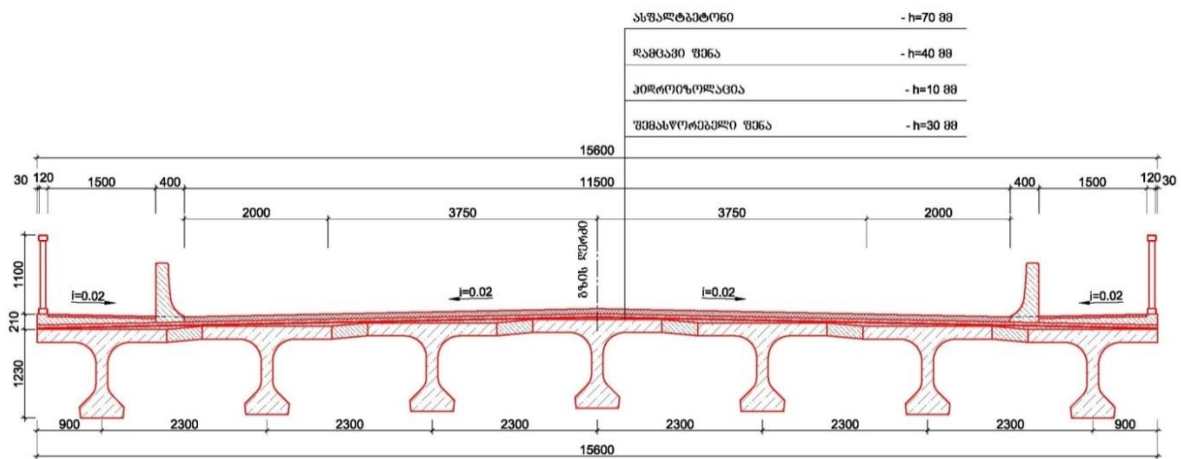
ნაშრომში განხილულია ჭრილკოჭური სისტემის წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის მალის ნაშენები, მთლიანი სიგრძით $L=15.0$ მ, $L=18.0$ მ, $L=21.0$ მ, $L=24.0$ მ და $L=33.0$ მ, ჭრილკოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენები, მთლიანი სიგრძით $L=42.6$ მ და $L=63.6$ მ და ასევე უჭრი სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენები საანგარიშო სიგრძით $L=42.0+63.0+42.0$ მ, $L=3 \times 63.0$ მ და $L=63.0+2 \times 84.0+63.0$ მ, რომელთა განივი კვეთების ძირითადი გეომეტრიული ზომები მოცემულია ნახ. 20-27-ზე.

კვლევაში სტატიკურ დატვირთვად განიხილება მხოლოდ მუდმივი დატვირთვების ნორმატიული მნიშვნელობა, რადგან დროებითი დატვირთვების საანგარიშო მნიშვნელობები სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტის (GEO, СНиП, EN და AASHTO) მიხედვით სხვადასხვა სიდიდისაა, შესაბამისად სპექტრების ცხადი სახით შედარებისათვის და შემდგომი ანალიზისათვის მართებულია, რომ სტატიკური დატვირთვები იყოს იდენტური, რომელშიც თვალნათლივ გამოჩნდება სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტის საფუძველზე და ჩვენს მიერ მიღებულ სპექტრებს შორის განსხვავებები, თვალნათლივ წარმოჩინდება მიღებულ შედეგებს შორის განსხვავებებიც, გამოწვეული მუდმივი და სეისმური დატვირთვებისგან.

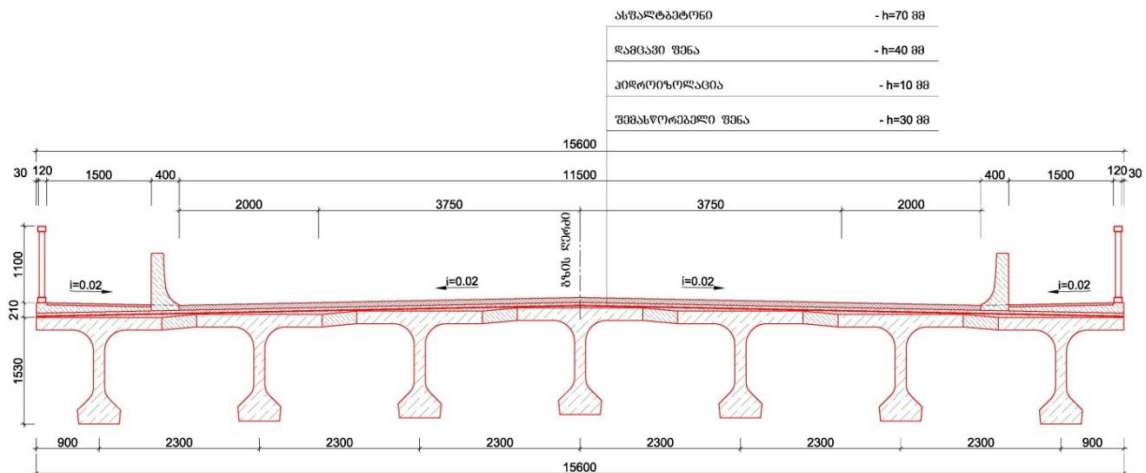
კვლევაში გამოყენებული წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ჭრილკოჭური მალის ნაშენი შედგენილია შვიდი კოჭისაგან, რომლებიც ხიდის განივად ერთმანეთთან გამონოლითების გრძივი ნაკერებით არის დაკავშირებული. მალის ნაშენის გაბარიტად მიღებულია $\Gamma=11.5$ მ. ტროტუარების სიგანედ - 1.5 მ და შესაბამისად მალის ნაშენის განივი კვეთის მთლიან სიგანედ მიღებულია 15.6 მ.



ნახ. 20. L=15.0 მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის განივი კვეთი

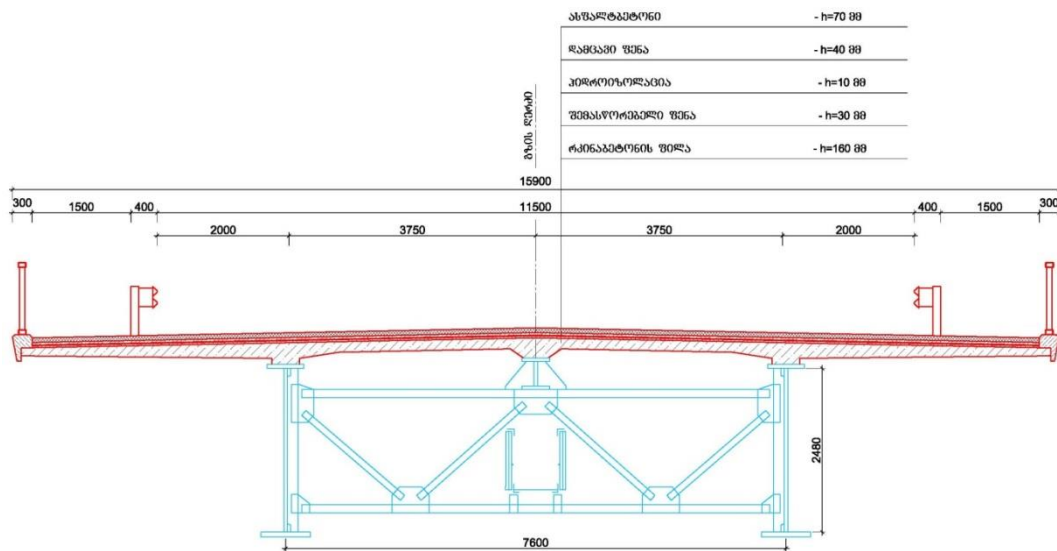


ნახ. 21. L=18.0 მ , L=21.0 მ და L=24.0 მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის განივი კვეთი

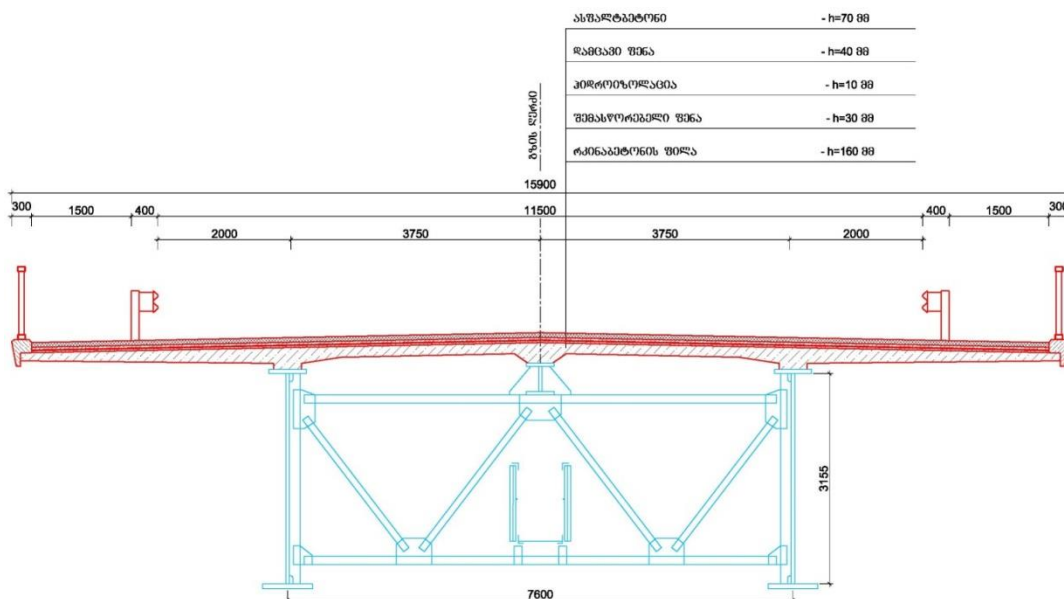


ნახ. 22. L=33.0 მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის განივი კვეთი

კვლევაში გამოყენებული ჭრილკოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენი შედგება ორი მთავარი კოჭისაგან, მათი დამაკავშირებელი გრძივი და განივი კავშირებისაგან, სავალ ნაწილად კი გამოყენებულია რკინაბეტონის ფილა, რომელიც მთავარ კოჭებთან საბჯენებით არის დაკავშირებული და ჩართულია მათთან ერთობლივ მუშაობაში. მალის ნაშენის გაბარიტად მიღებულია $\Gamma=11,5$ მ. ტროტუარების სიგანედ მიიღებულია 1,5 მ და შესაბამისად მალის ნაშენის განივი კვეთის მთლიან სიგანედ კი - 15,9 მ. მთავარი კოჭის ქვედა და ზედა სარტყელის ფურცლოვანი ფოლადის სისქეები ცვალებადია სხვადასხვა კვეთში და შესაბამისად კოჭებისაგან გამოწვეული დატვირთვებიც და სიხისტეებიც მალის სიგრძეზე ცვალებადია.

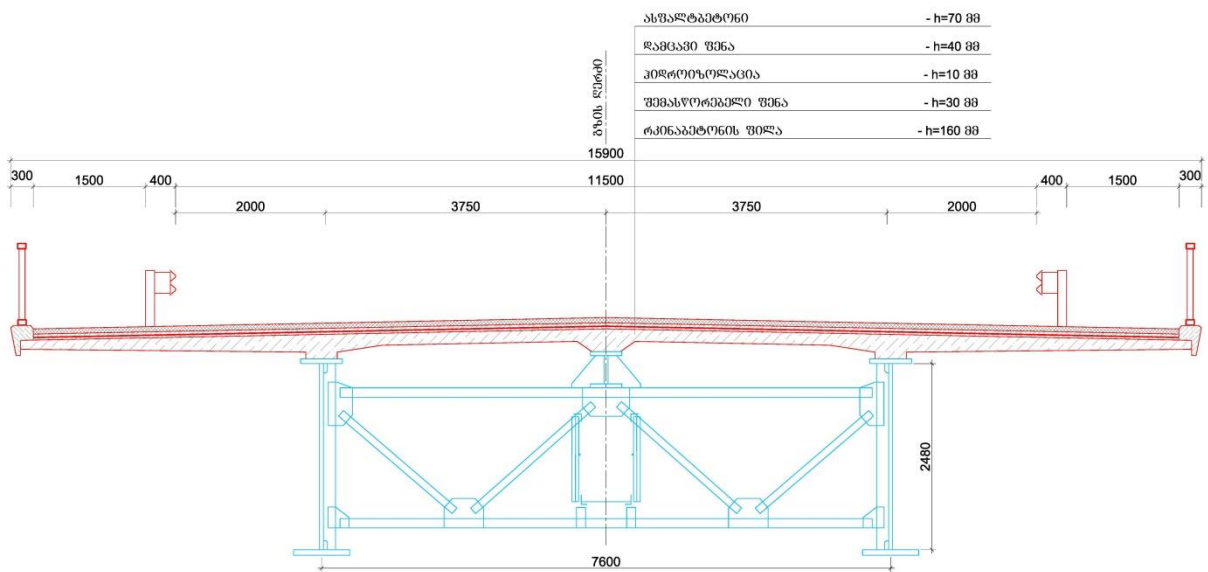


ნახ. 23. L=42.6 მ სიგრძის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის განივი კვეთი

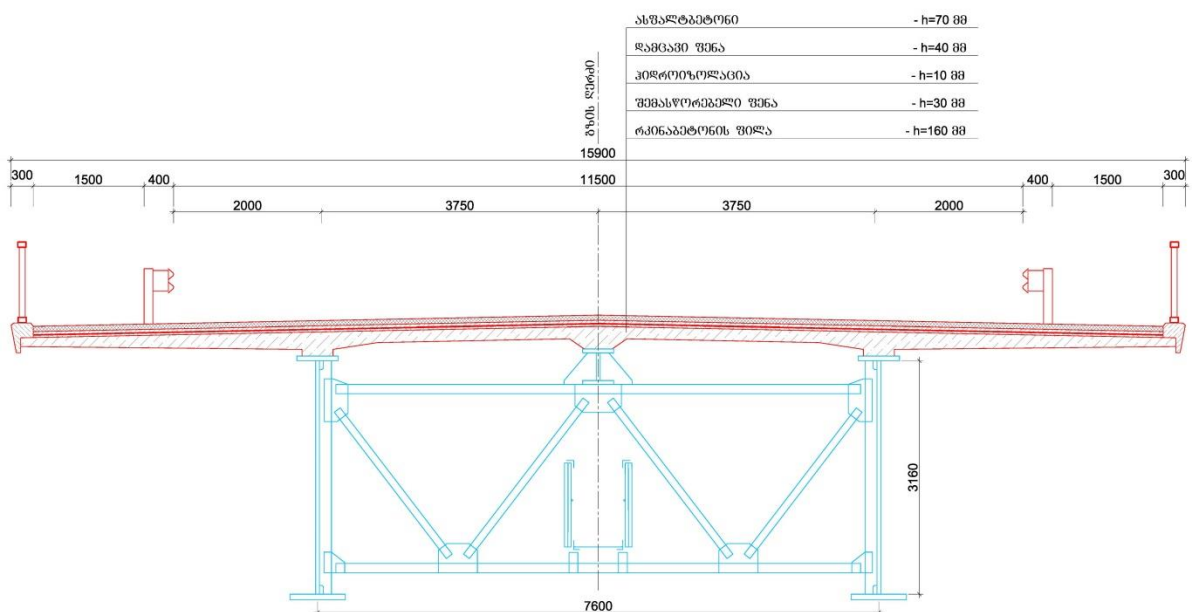


ნახ. 24. L=63.6 მ სიგრძის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის განივი კვეთი

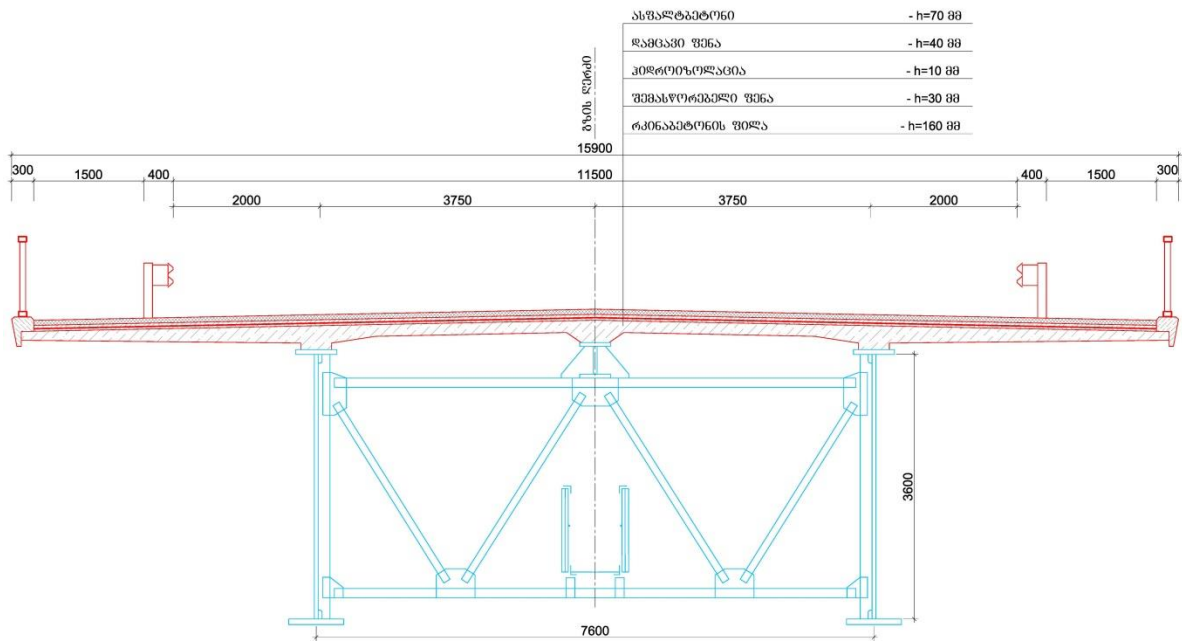
კვლევაში გამოყენებული უჭრკოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის სამივე მალის ნაშენი შედგება ორი მთავარი კოჭის, მათი დამაკავშირებელი გრძივი და განივი კავშირების და სავალ ნაწილის რკინაბეტონის ფილისაგან, რომელიც მთავარ კოჭებთან საბჯენებით არის დაკავშირებული და ჩართულია მუშაობაში ფოლადის კოჭებთან ერთად. მალის ნაშენის სავალი ნაწილის გაბარიტად მიღებულია $\Gamma=11,5$ მ. ტროტუარების სიგანეა 1,5 მ და შესაბამისად მალის ნაშენის განივი კვეთის მთლიანი სიგანედ მიღებულია 15,9 მ. მთავარი კოჭის ქვედა და ზედა სარტყელის ფურცლოვანი ფოლადის სისქეები სხვადასხვა კვეთში განსხვავებულია და შესაბამისად დატვირთვებიც და სიხისტეებიც ცვალებადია.



ნახ. 25. $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის განივი კვეთი



ნახ. 26. $L=3 \times 63.0$ მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის განივი კვეთი



ნახ. 27 . L=63.0+2x84.0+63.0 მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის განივი კვეთი

მალის ნაშენის ძირითადი მახასიათებლები (სიგრძე, სიხისტე და ნორმატიული დატვირთვები), რომლებიც მოცემულია ცხრილში 13 შეესაბამება მალის ნაშენის შუა კვეთს.

ცხრილი 13

მალის ნაშენის ძირითადი მახასიათებლები

მალის ნაშენის მთლიანი სიგრძე (მ)	მალის ნაშენის საანგარიშო სიგრძე (მ)	მალის ნაშენის სიხისტე ExI (ტxმ²)	ნორმატიული დატვირთვის ინტენსივობა q (ტ/მ)
1	2	3	4
15.0	14.4	4 516 050	18.50
18.0, 21.0 და 24.0	17.4, 20.4 და 23.4	4 540 200	19.60
33.0	32.2	4 761 140	20.66
42.6	42.0	11 340 000	18.54
63.6	63.0	24 344 000	14.78
42.3+63.0+42.3	42.0+63.0+42.0	7 750 424	16.94
63.3+63.0+63.3	3x63.0	11 484 354	17.34
63.3+2x84.0+63.3	63.0+2x84.0+63.0	24 534 928	17.46

2.2.2. მალის ნაშენთა საკუთარი რხევის პერიოდების განსაზღვრა

საანგარიშო კომპლექსი MIDAS Civil 2019 გამოყენებით მალის ნაშენისათვის განისაზღვრა საკუთარი რხევის პერიოდები და სიხშირეები რხევის პირველი სამი ფორმისთვის, რომელიც მოცემულია ცხრილში 14, რომელიც დამუშავებულია სასრული ელემენტების მეთოდის საფუძველზე.

მალის ნაშენის საკუთარი რხევის პერიოდები და სიხშირეები

L=15.0 მ			
რხევის ფორმა	წრიული სიხშირე რად/წმ	სიხშირე 1/წმ	პერიოდი წმ
1	2	3	4
1	40.211	6.399	0.156
2	145.181	23.106	0.043
3	345.091	54.923	0.018
L=18.0 მ			
1	2	3	4
1	39.073	6.219	0.161
2	133.936	21.317	0.047
3	337.339	53.689	0.019
L=21.0 მ			
1	2	3	4
1	28.845	4.591	0.218
2	102.948	16.385	0.061
3	245.164	39.019	0.026
L=24.0 მ			
1	2	3	4
1	22.132	3.522	0.284
2	81.045	12.899	0.078
3	201.931	32.138	0.031
L=33.0 მ			
1	2	3	4
1	15.787	2.513	0.398
2	58.815	9.361	0.107
3	150.255	23.914	0.042
L=42.6 მ			
1	2	3	4
1	10.799	1.719	0.582
2	30.984	4.931	0.203
3	71.703	11.411	0.088
L=63.6 მ			
1	2	3	4
1	7.390	1.176	0.850
2	23.110	3.678	0.272
3	53.047	8.443	0.118
L=42.0+63.0+42.0 მ			
1	2	3	4
1	5.978	0.951	1.051
2	13.154	2.093	0.478
3	39.97	6.362	0.157

ცხრილი 14 (გაგრძელება)

L=3x63.0 მ			
1	2	3	4
1	6.26	0.996	1.004
2	11.412	1.816	0.551
3	50.210	7.991	0.125
L=63.0+2x84.0+63.0 მ			
1	2	3	4
1	4.760	0.758	1.320
2	10.358	1.649	0.607
3	36.543	5.816	0.172

მიღებული შედეგებიდან ჩანს, რომ რკინაბეტონის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენების საკუთარი რხევის პერიოდები არ აღემატება 0.4 წმ-ს, ხოლო ჭრილი და უჭრი სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენების საკუთარი რხევის პერიოდები 0.58 წმ-ს აღემატება, რაც ცხადყოფს, რომ ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენები დიდი პერიოდზე მუშაობენ და შესაბამისად მათთვის ყველაზე საშიშია დიდ პერიოდიანი მიწისძვრის აქსელეროგრამები.

2.2.3. საანგარიშო აქსელეროგრამების შერჩევის ეტაპები

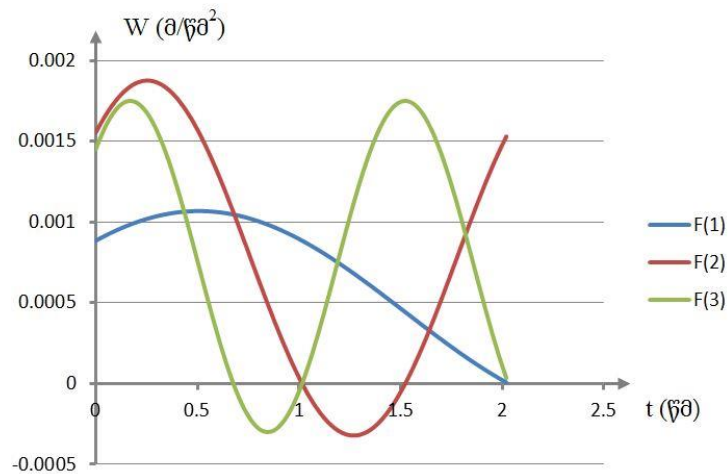
მალის ნაშენების საკუთარი რხევის პერიოდებისა და სიხშირეების განსაზღვრის შემდეგ აქსელეროგრამების მონაცემთა ბანკიდან შეირჩა შვიდი აქსელეროგრამა გრუნტის თითოეული კატეგორიისათვის, რომელთა რხევის დომინანტური პერიოდები ახლოს არის ჩვენს მიერ განხილულ მალის ნაშენების საკუთარ (ჰარმონიულ) რხევის პერიოდებთან.

მიწისძვრის პიკურ აჩქარებებს სხვადასხვა მიმართულების მდგენელებზე სხვადასხვა სიდიდეები აქვს. რადგან მალის ნაშენებისათვის განსაკუთრებით საშიშია ვერტიკალური მდგენელი, ამიტომ მიწისძვრის სამკომპონენტთან ჩანაწერებიდან გამოვყავით მიწისძვრის ვერტიკალური მდგენელები.

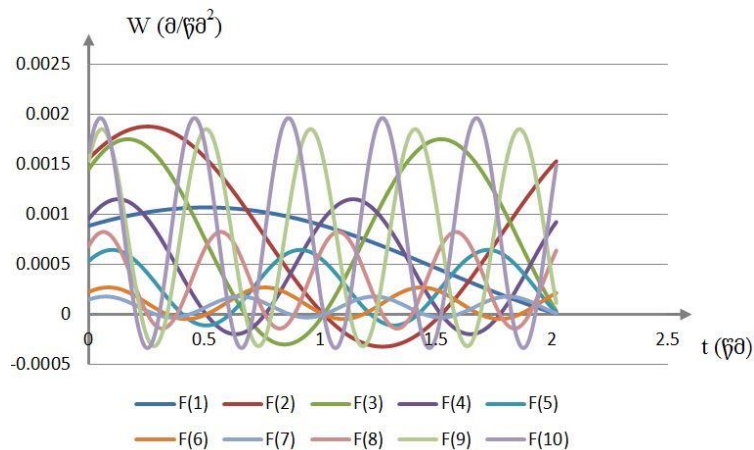
საანგარიშო აქსელეროგრამების პაკეტების შერჩევისათვის გამოყენებულია ბერკლის უნივერსიტეტის „Pacific Earthquake Engineering Research Center: NGA Database”, ევროპის პროექტის „Internet-Site for European Strong-Motion DataBase” და იტალიის აქსელერომეტრიული არქივის - Italian Accelerometric Archive მონაცემთა ბანკში არსებული აქსელეროგრამები.

აქსელეროგრამების მონაცემთა ბანკიდან შევირჩიეთ სხვადასხვა აქსელეროგრამები კლასიფიცირებული სეისმურობის მიხედვით სხვადასხვა გრუნტის კატეგორიებისათვის. შემდეგ ყოველი მიწისძვრისთვის გამოვყავით ვერტიკალური მდგენელი, რომლის მნიშვნელოვანი ფაზა ფურიეს მწკრივის საფუძველზე დავშალეთ ჰარმონიკებად.

ერთ-ერთ ასეთ აქსელეროგრამას წარმოადგენს ფრიურის ჩანაწერი (16.09.1977 წელი), რომლის ჰარმონიკებად დაშლის გრაფიკული გამოსახულება მოცემულია ქვემოთ. ფაზის დაშლით მივიღებთ მრავალ ჰარმონიკს, ნახ. 28-ზე მოცემულია პირველი სამი ჰარმონიკა, ხოლო ნახ. 29-ზე 36 ჰარმონიული ფუნქცია.



ნახ. 28. ფრიურის ჩანაწერის აქსელეროგრამიდან გამოყოფილი ფაზის პირველი სამი ჰარმონიული ფუნქცია



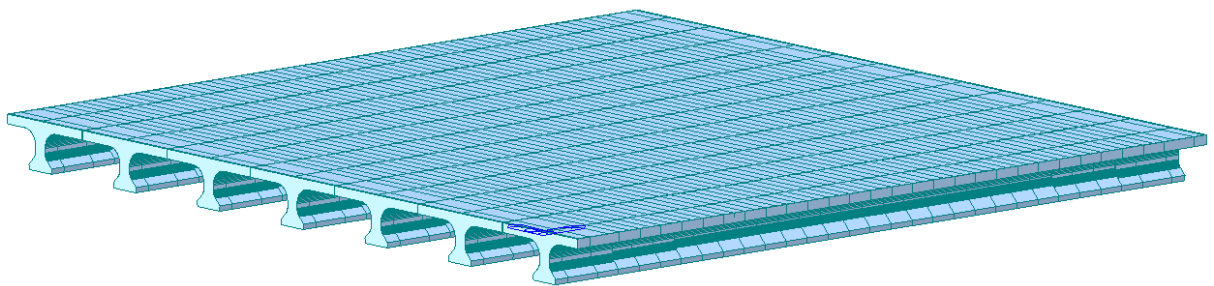
ნახ. 29. ფრიურის ჩანაწერიდან გამოყოფილი ფაზის ჰარმონიული ფუნქციები

ფრიურის აქსელეროგრამა დაიშალა 202 ჰარმონიულ ფუნქციად, შესაბამისად მივიღეთ რხევის 202 პერიოდი, ამ პერიოდებიდან კი შევირჩიეთ რხევის ისეთი პერიოდები, რომელთა მნიშვნელობები მაქსიმალურად უახლოვდება მალის ნაშენის საკუთარი რხევის პირველ სამ პერიოდს, რომელთაც

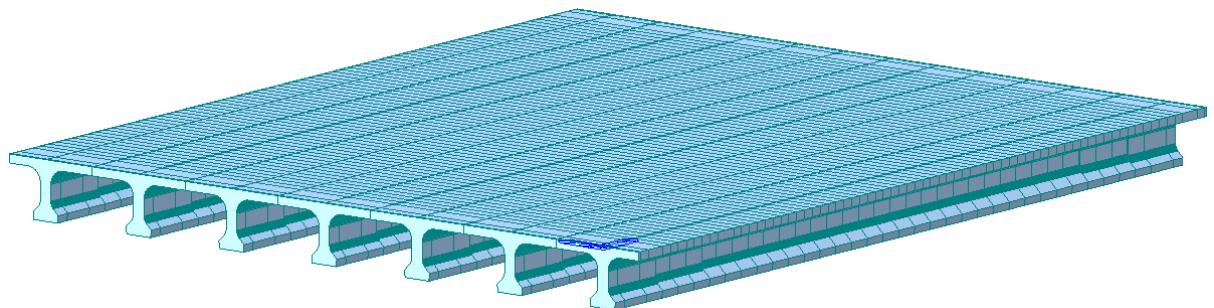
მიწისძვრის დომინანტური პერიოდები ეწოდება. ამ მეთოდით შევირჩიეთ სამივე კატეგორიის გრუნტისათვის შვიდ-შვიდი აქსელეროგრამის ვერტიკალური მდგენელის ჩანაწერები.

2.2.4. ჭრილკოჭური სისტემის წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის მალის ნაშენების გაანგარიშება სტატიკურ და სეისმურ დატვირთვებზე

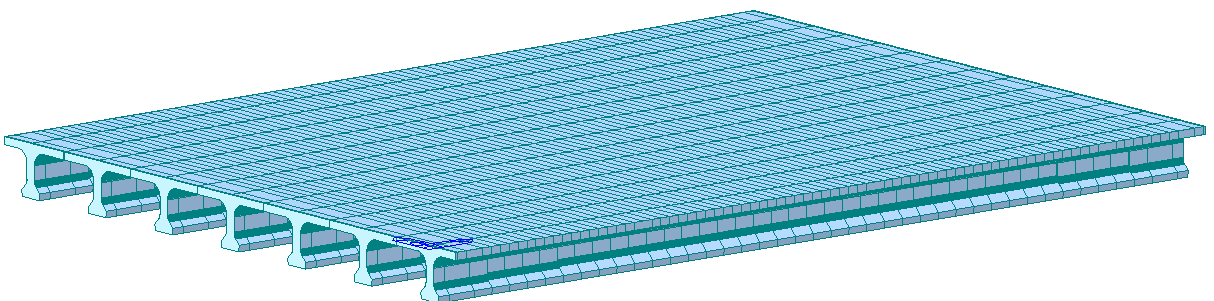
საანგარიშო კომპლექსურ პროგრამა MIDAS Civil-ში აიგო წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის მალის ნაშენების საანგარიშო მოდელები (ნახ. 30 ÷ 34) და ამ საანგარიშო მოდელებზე გამოქმედეთ გრუნტის კატეგორიების მიხედვით კლასიფიცირებული შვიდი აქსელეროგრამა [62].



ნახ. 30. L=15.0 მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი



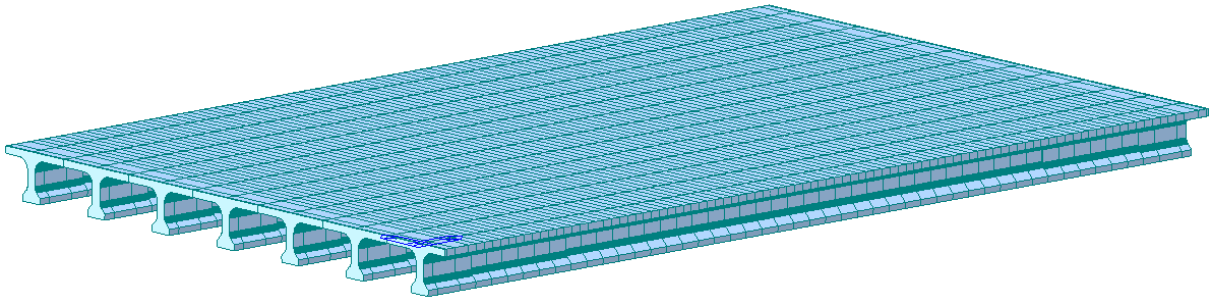
ნახ. 31. L=18.0 მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი



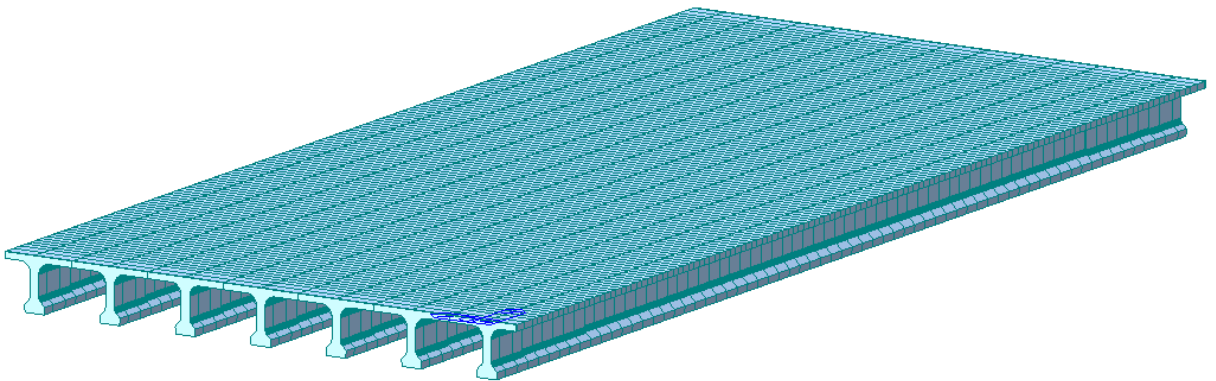
ნახ. 32. L=21.0 მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი

პირდაპირი დინამიკური მეთოდით განისაზღვრა წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის აჩქარებები, რომლის საფუძველზეც პროგრამა SeismoSignal გამოყენებით აგებულ იქნა აჩქარებების სპექტრები.

საანგარიშო პროგრამა MIDAS Civil დამუშავდა სასრული ელემენტების მეთოდის საფუძველზე, რომელიც გამოიყენება ხიდების დაპროექტებისას.



ნახ. 33. L=24.0 მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი



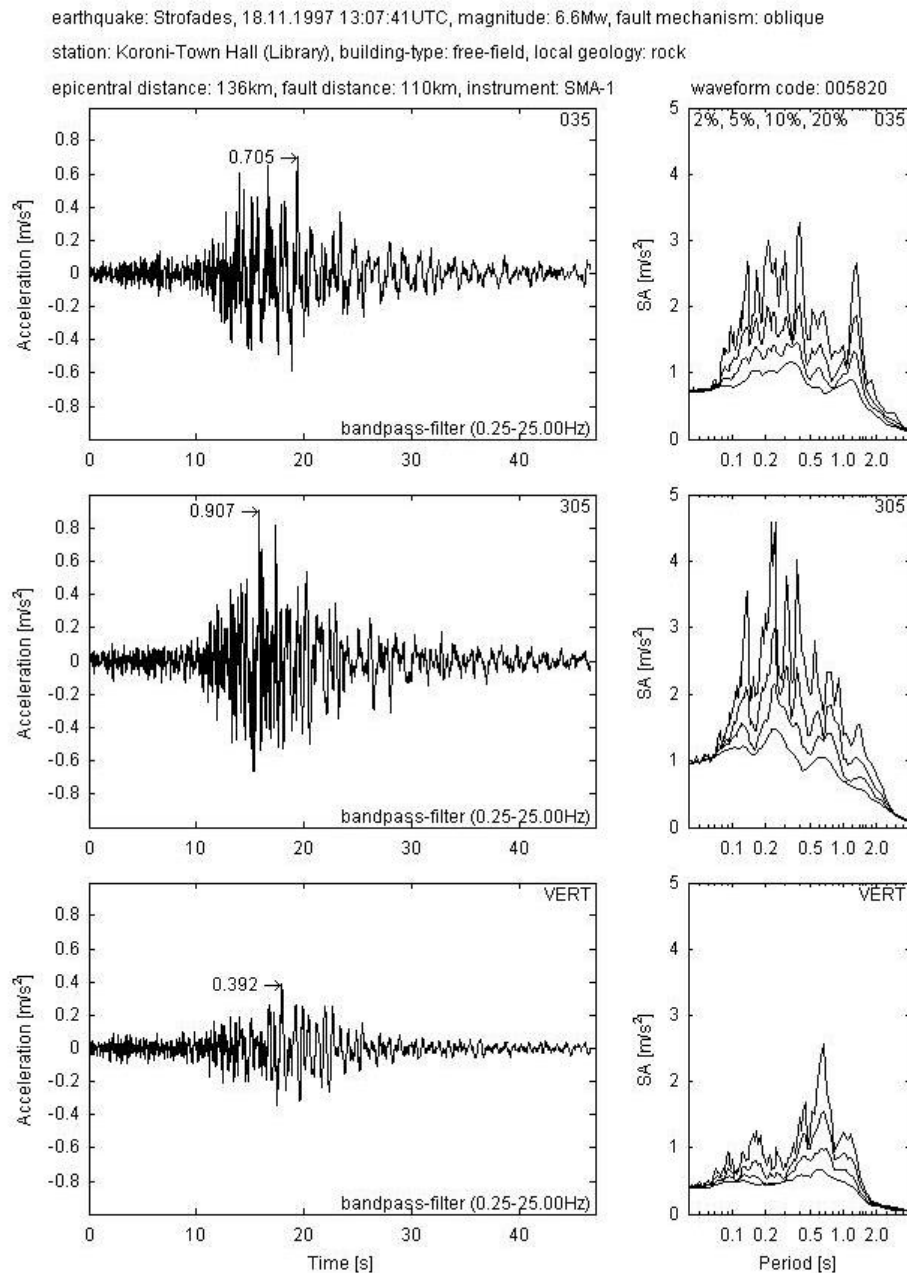
ნახ. 34. L=33.0 მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი

საანგარიშო პროგრამა SeismoSignal აქვს შესაძლებლობა აღიქვას სხვადასხვა ტექსტური ფაილის ფორმატში შენახული აქსელეროგრამები, რომლებიც შესაძლებელია გაიფილტროს და მოახდინოს საბაზისო შესწორებაც. მონაცემები მუშავდება ისეთ ტექსტურ ფაილში (კონკრეტულად txt), რომელსაც საანგარიშო კომპლექსური პროგრამა MIDAS Civil 2019 შეძლებს წაკითხვას. თითოეულ სეისმურ ზემოქმედებისათვის, რომლის მონაცემებიც შემდეგ მალის ნაშენზე მოქმედებს და შესაბამისად განისაზღვრება რეაქციები. მიღებული შედეგები კი მუშავდება აღნიშნულ საანგარიშო პროგრამაში.

პირველად განხილულ იქნა L=15.0 მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის მალის ნაშენი, რომელზეც გრუნტის პირველი კატეგორიისათვის, აჩქარების სპექტრის დასადგენად გამოყენებული იქნა პირველი სტროფადის მიწისძვრის აქსელეროგრამა (ნახ. 35) [63].

მალის ნაშენებისათვის მიწისძვრის აქსელეროგრამიდან ყველაზე საშიშია ვერტიკალური მდგენელი, ამიტომაც აღებულ იქნა ვერტიკალური მდგენელის

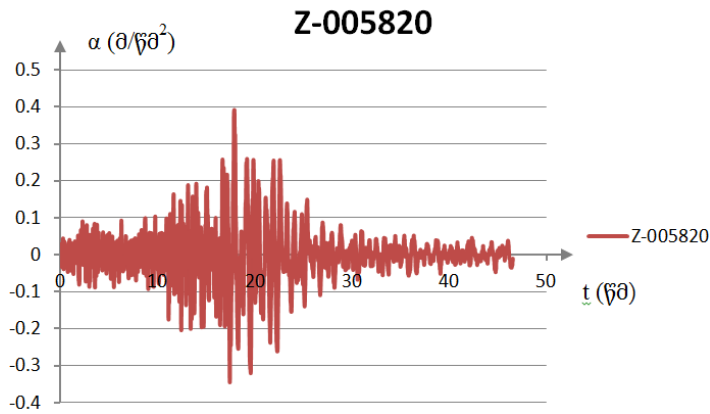
აქსელეროგრამა (ნახ. 36) და მოხდა ვერტიკალური მდგენელის ნორმალიზება - აჩქარების გაყოფა მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე (ნახ. 37).



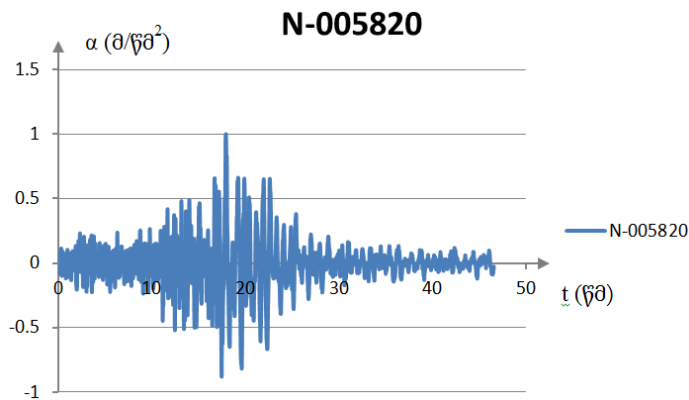
Margaris, B.(2001)

ნახ. 35. სტროფადის მიწისძვრის ჩანაწერი (კოდი:005820)

თითოეულ მიწისძვრას ახასიათებს განსხვავებული მაგნიტუდა და შესაბამისად მათი ზემოქმედებით მალის ნაშენებზე ვიღებთ სხვადასხვა აჩქარებებს, რომლებიც ხასიათდებიან არა მარტო მათი დომინანტური რხევების სიდიდებით, არამედ სხვადასხვა მაგნიტუდის ზემოქმედების მიხედვითაც. ამიტომ მაგნიტუდების ფაქტორის გამორიცხვის მიზნით კვლევაში გამოყენებული ყველა აქსელეროგრამა ნორმალიზებულია.

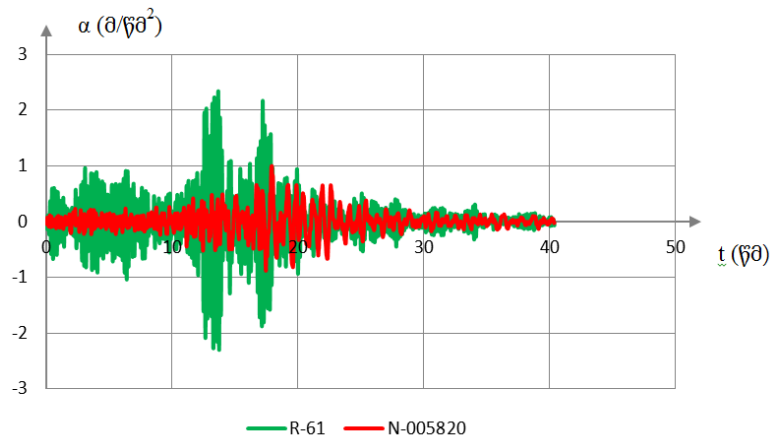


ნახ. 36. სტროფადის მიწისძვრის ვერტიკალური აქსელეროგრამა (კოდი:005820)



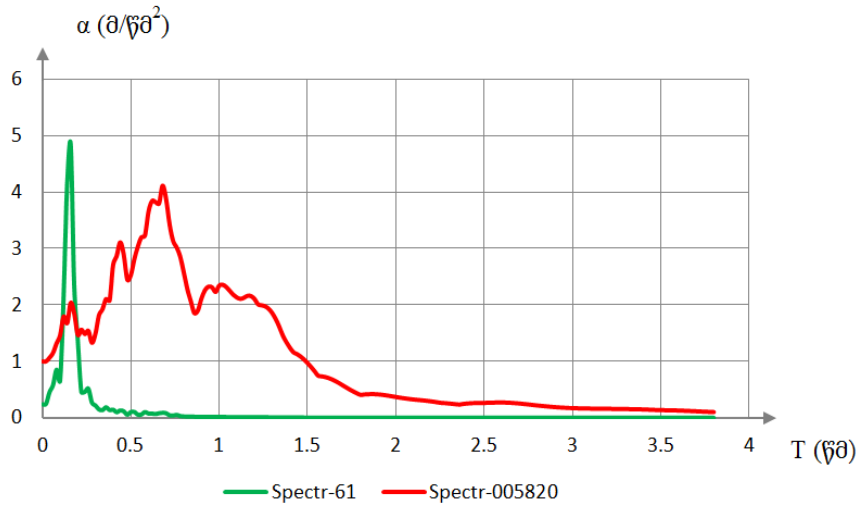
ნახ. 37. სტროფადის მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამა (კოდი:005820)

წინასწარ დამაბული მალის ნაშენზე სტროფადის მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამის ზემოქმედების შედეგად ვლუბულობთ მალის ნაშენის აჩქარებებს, რომელიც დარდება ნორმალიზებულ აჩქარებებთან და განისაზღვრება აჩქარებების მნიშვნელობის ზრდის სიდიდით (ნახ. 38), რომელსაც შემდგომ წარმოვადგენთ სპექტრების სახით.



ნახ. 38. სტროფადის მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამა (კოდი:005820) და L=15.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქცია (აჩქარებების სახით)

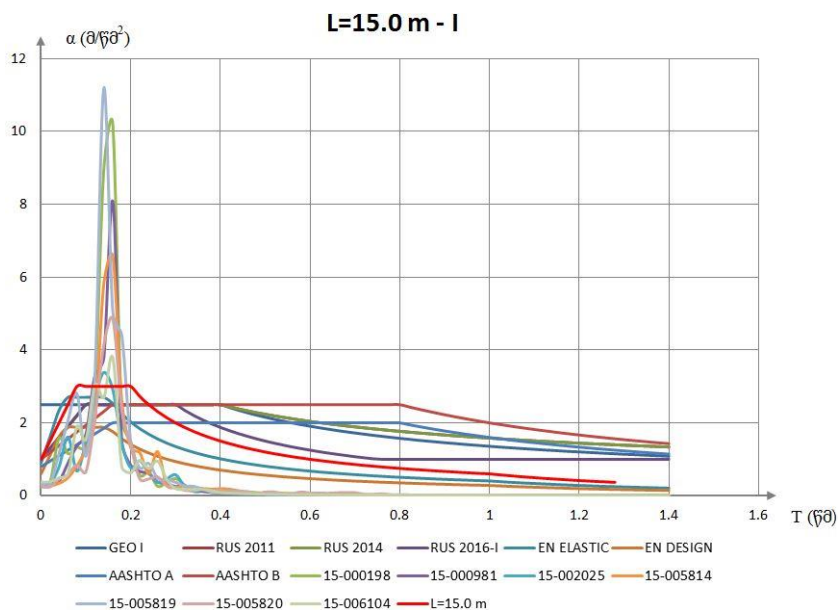
მალის ნაშენის რეაქციის მაქსიმალური აჩქარებაა 2.34 მ/წმ². შესაბამისად წარმოდგენილია მისი სპექტრები (ნახ. 39).



ნახ. 39. — სტროფადის მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული სპექტრი (კოდი:005820); — L=15.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრი

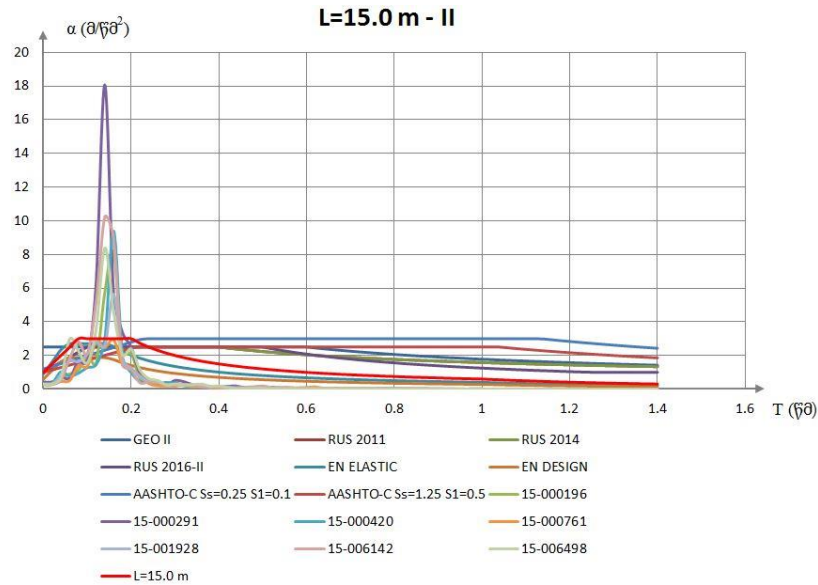
ამავე პრინციპით მოხდა დანარჩენი ექვსი აქსელეროგრამის შერჩევა, დამუშავება, წინასწარ დაძაბული L=15 მ სიგრძის მალის ნაშენზე ზემოქმედება და შესაბამისი რეაქციის სპექტრების აგება.

I კატეგორიის გრუნტების შემთხვევაში წინასწარ დაძაბული L=15.0 მ სიგრძის მალის ნაშენისათვის შეირჩა შვიდი აქსელეროგრამა, ხოლო მათი ზემოქმედების შედეგად მიღებული სპექტრები და მათი დამუშავებით აგებული მალის ნაშენისათვის მიღებული სპექტრი მოცემულია ნახ. 40-ზე.

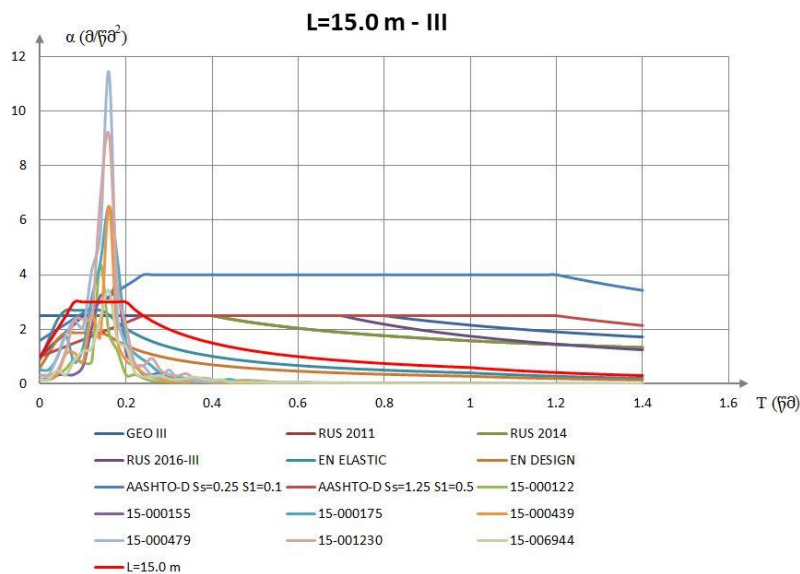


ნახ. 40. L=15.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის

ასევე II და III კატეგორიის გრუნტების შემთხვევაში წინასწარ დამატებული L=15.0 მ სიგრძის რკინაბეტონის მალის ნაშენისათვის შეირჩა შვიდი აქსელეროგრამა, ხოლო მათი დამუშავებით მიღებული სპექტრები მოცემულია ნახ. 41-ზე და ნახ. 42-ზე.

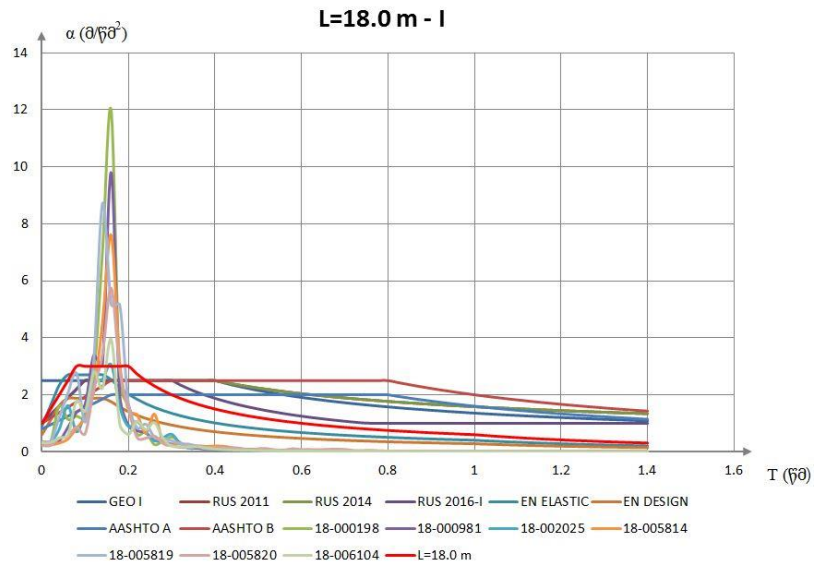


ნახ. 41. L=15.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის

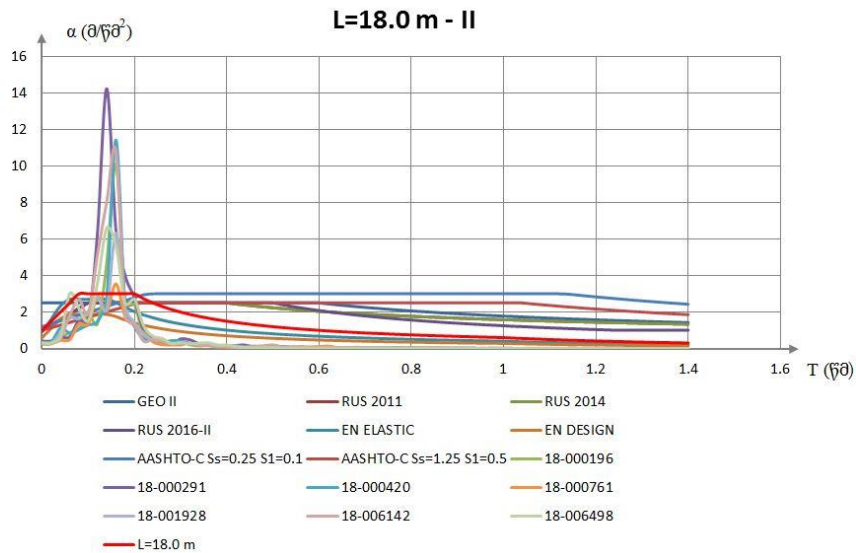


ნახ. 42. L=15.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის

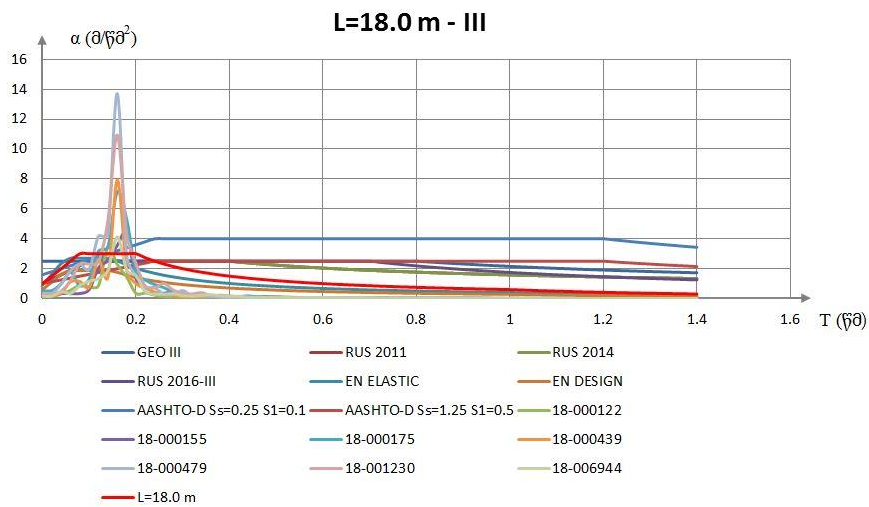
ანალოგიურად დანარჩენი L=18.0 მ, L=21.0 მ, L=24.0 მ და L=33.0 მ სიგრძის მალის ნაშენებისათვის და თითოეული გრუნტის კატეგორიისათვის შეირჩა შვიდი აქსელეროგრამა. მათი ზემოქმედების შედეგად მიღებული სპექტრები და მათი დამუშავებით აგებული მალის ნაშენებისათვის მიღებული სპექტრი მოცემულია ნახ. 43 ÷ 54-ზე.



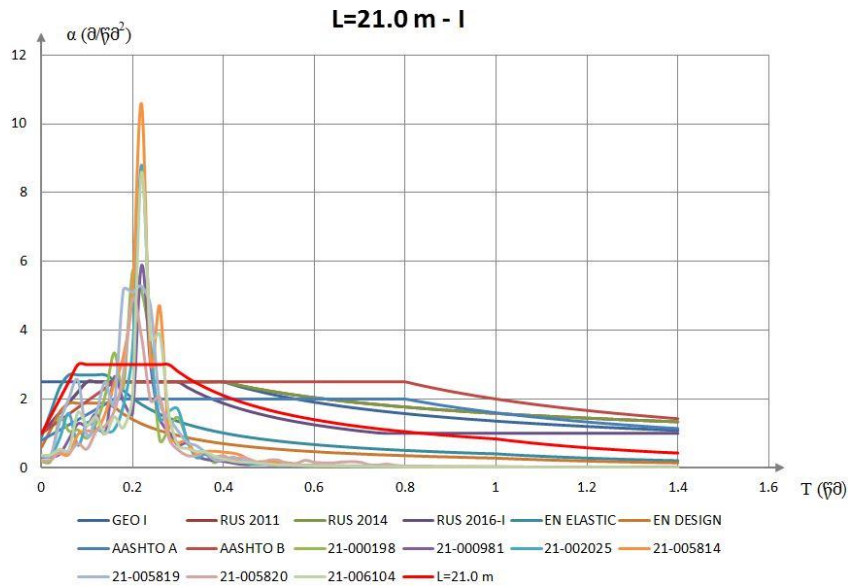
ნახ. 43. L=18.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის



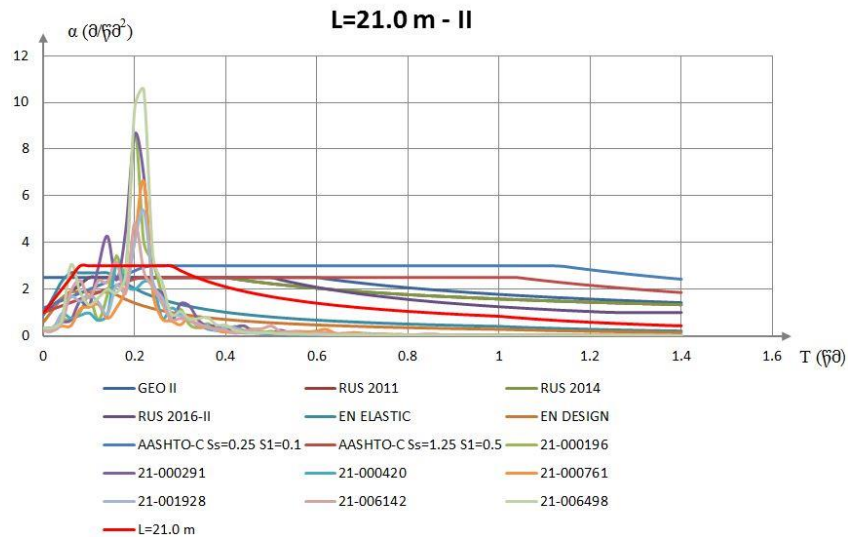
ნახ. 44. L=18.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის



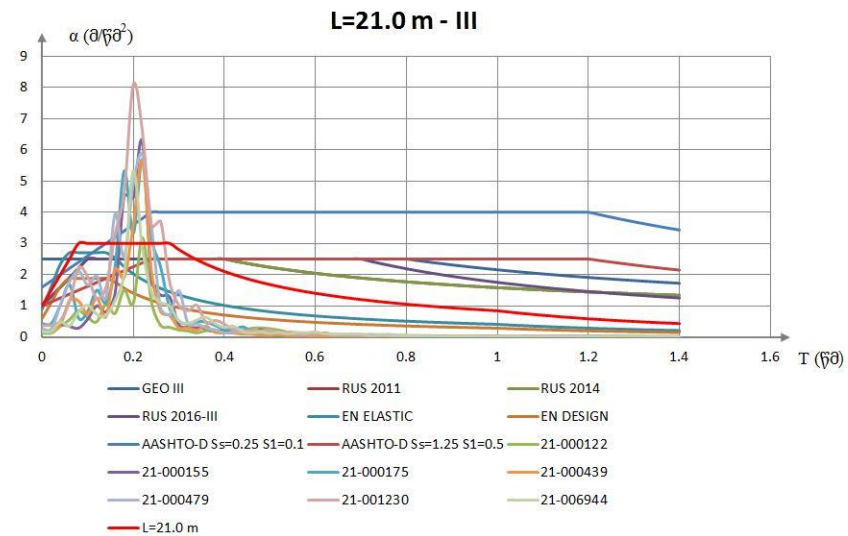
ნახ. 45. L=18.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის



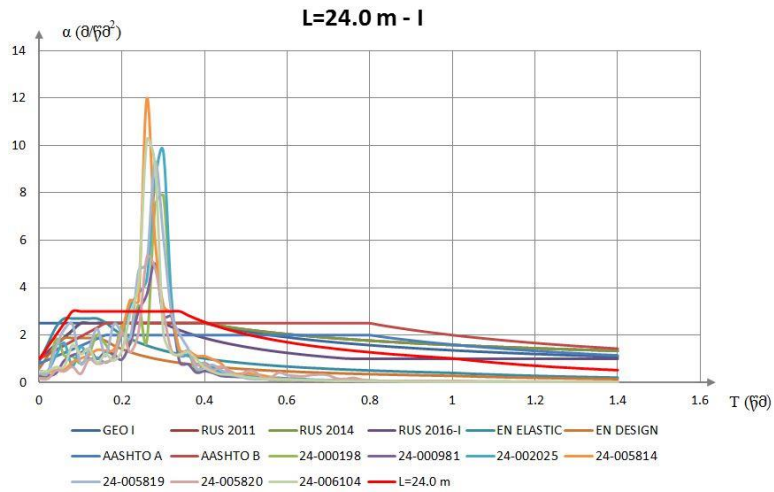
ნახ. 46. L=21.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის



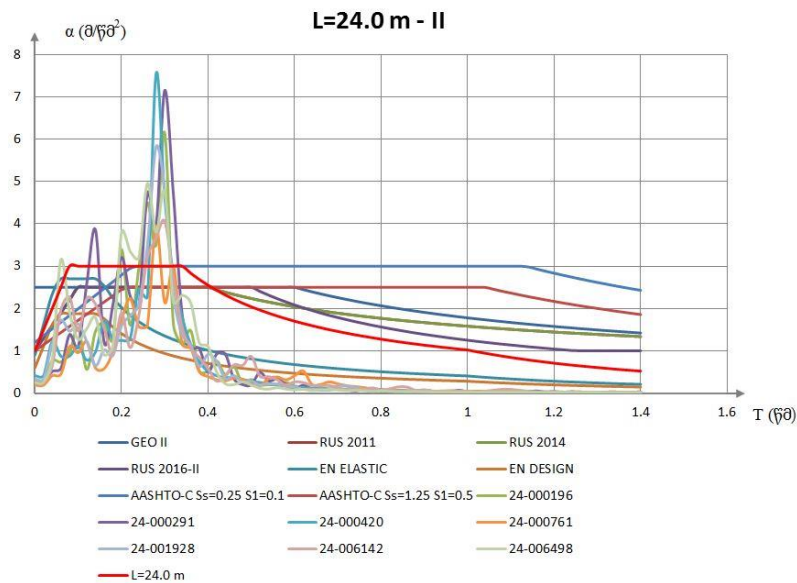
ნახ. 47. L=21.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის



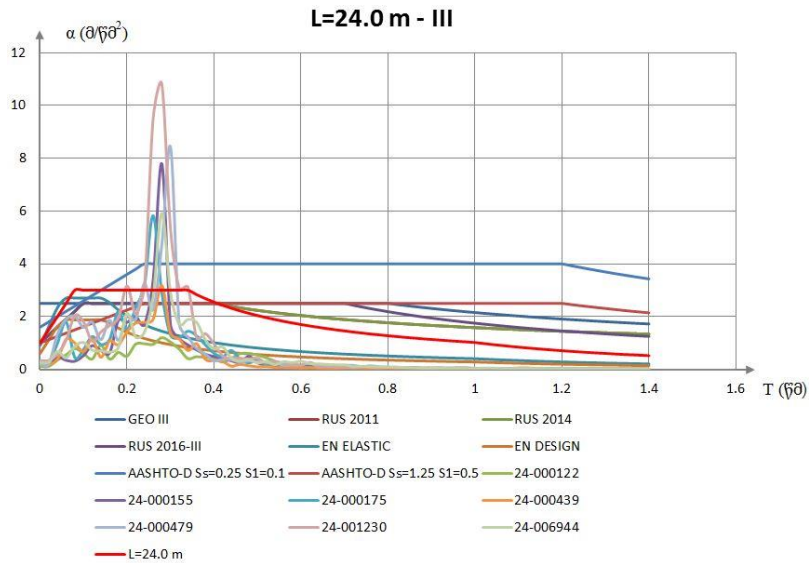
ნახ. 48. L=21.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის



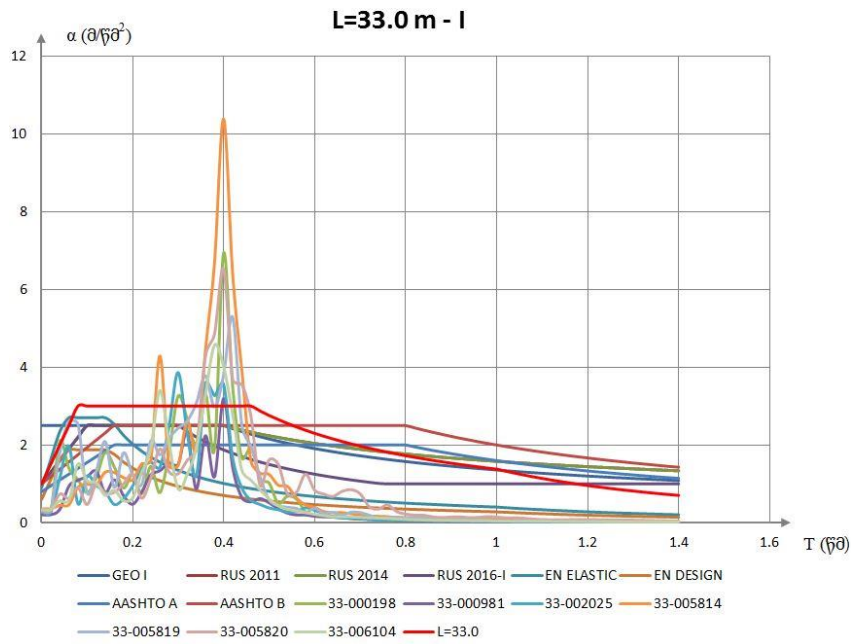
ნახ. 49. L=24.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის



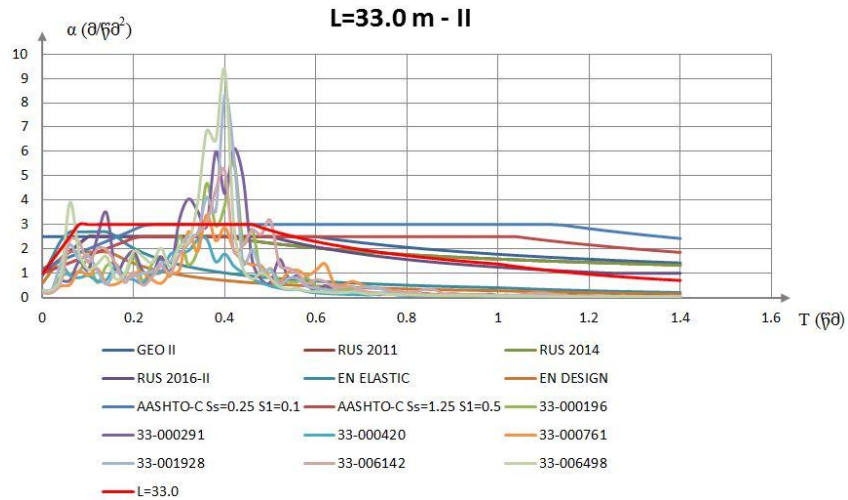
ნახ. 50. L=24.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის



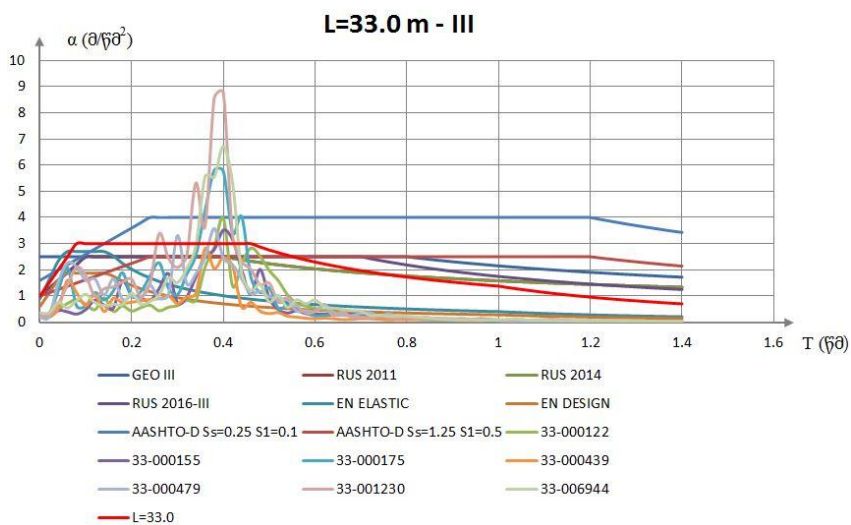
ნახ. 51. L=24.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის



ნახ. 52. L=33.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის



ნახ. 53. L=33.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის



ნახ. 54. L=33.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის

კვლევაში განხილული ყველა წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის მალის ნაშენისათვის ჩვენს მიერ მიღებული სპექტრებით და ასევე სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტის (GEO, CHиП, EN და AASHTO) მიხედვით მოხდა მალის ნაშენების გაანგარიშება, მათი შედარება და მიღებული შედეგების ანალიზი.

ასევე წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის მალის ნაშენისათვის გრუნტის სამივე კატეგორიისათვის სხვადასხვა ბალების შემთხვევაში ჩატარებულ იქნა გაანგარიშება და სეისმური ზემოქმედებით გამოწვეული ძალების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილებში 15 ÷ 19. ცხრილებში მოცემულია სტატიკური დატვირთვით აღძრული მღუნავი მომენტები, სეისმური ზემოქმედებით გამოწვეული მღუნავი მომენტები და პროცენტები, თუ სეისმური ზემოქმედება სტატიკური დატვირთვის რამდენი პროცენტს შეადგენს.

სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტის (GEO, CHиП, EN და AASHTO) მიხედვით და ასევე ჩვენს მიერ დადგენილი სპექტრების გათვალისწინებით აიგო გრაფიკები კვლევაში განხილული ყველა წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენისათვის, რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 55 ÷ 59-ზე.

ცხრილი 15

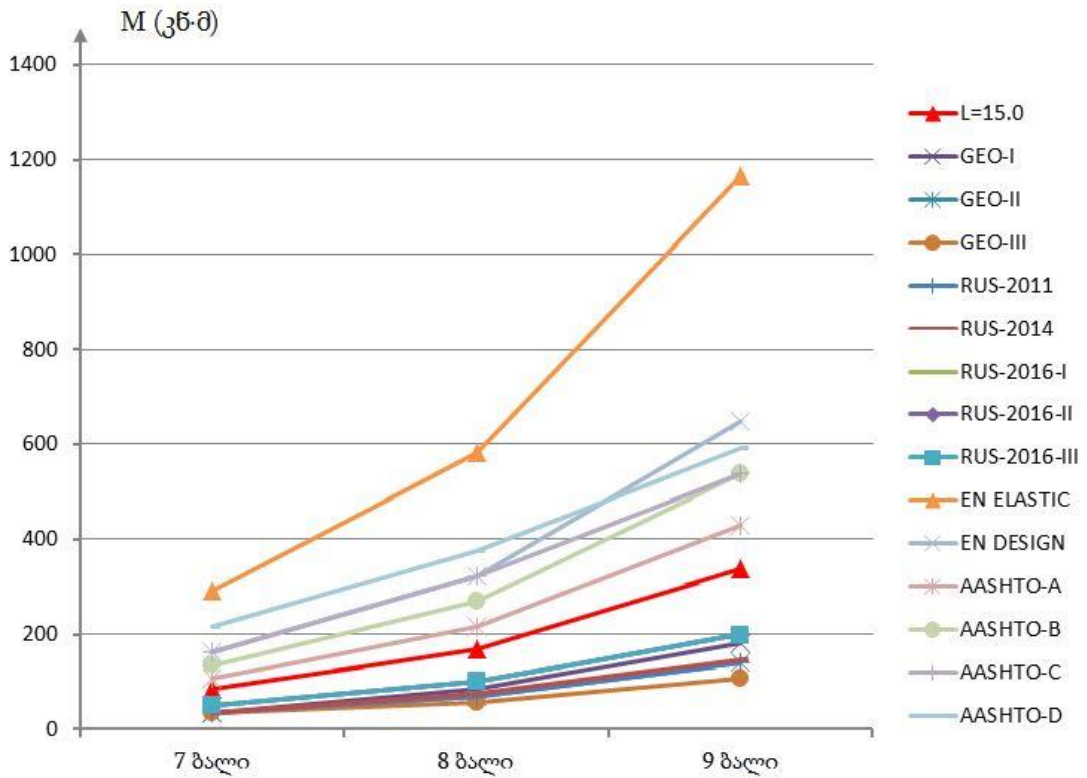
L=15.0 მ წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენი								
№	დასახელება	სტატ.	7 ბალი		8 ბალი		9 ბალი	
		M, კნ•მ	M, კნ•მ	%	M, კნ•მ	%	M, კნ•მ	%
1	L=15.0	684.87	84.29	12.3	168.58	24.6	337.16	49.2
2	GEO-I		35.13	5.1	84.31	12.3	182.67	26.7
3	GEO-II		35.13	5.1	70.26	10.3	140.51	20.5
4	GEO-III		35.13	5.1	56.21	8.2	105.38	15.4
5	RUS-2011		35.12	5.1	70.24	10.3	140.48	20.5
6	RUS-2014		35.12	5.1	74.26	10.8	148.51	21.7
7	RUS-2016-I		49.57	7.2	99.34	14.5	198.88	29.0
8	RUS-2016-II		49.57	7.2	99.34	14.5	198.88	29.0
9	RUS-2016-III		49.57	7.2	99.34	14.5	198.88	29.0
10	EN ELASTIC		291.28	42.5	582.56	85.1	1165.12	170
11	EN DESIGN		161.82	23.6	323.65	47.3	647.3	94.5
12	AASHTO-A		107.58	15.7	215.16	31.4	430.32	62.8
13	AASHTO-B		134.48	19.6	268.95	39.3	537.9	78.5
14	AASHTO-C		161.36	23.6	322.73	47.1	537.88	78.5
15	AASHTO-D		215.15	31.4	376.51	55.0	591.66	86.4

L=18.0 მ წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენი								
№	დასახელება	სტატ.	7 ბალი		8 ბალი		9 ბალი	
		M, კნ•მ	M, კნ•მ	%	M, კნ•მ	%	M, კნ•მ	%
1	L=18.0	1059.83	124.82	11.8	249.64	23.6	499.27	47.1
2	GEO-I		52.03	4.9	124.86	11.8	270.54	25.5
3	GEO-II		52.03	4.9	104.05	9.8	208.1	19.6
4	GEO-III		52.03	4.9	83.24	7.9	156.08	14.7
5	RUS-2011		52.01	4.9	104.02	9.8	1059.83	100
6	RUS-2014		52.01	4.9	109.96	10.4	219.92	20.8
7	RUS-2016-I		73.41	6.9	147.11	13.9	294.51	27.8
8	RUS-2016-II		73.41	6.9	147.11	13.9	294.51	27.8
9	RUS-2016-III		73.41	6.9	147.11	13.9	294.51	27.8
10	EN ELASTIC		379.17	35.8	798.34	75.3	1636.67	154
11	EN DESIGN		192.88	18.2	425.75	40.2	891.5	84.1
12	AASHTO-A		159.32	15.0	318.64	30.1	637.28	60.1
13	AASHTO-B		199.15	18.8	398.3	37.6	796.6	75.2
14	AASHTO-C		238.96	22.5	477.93	45.1	796.54	75.2
15	AASHTO-D		318.61	30.1	557.57	52.6	876.18	82.7

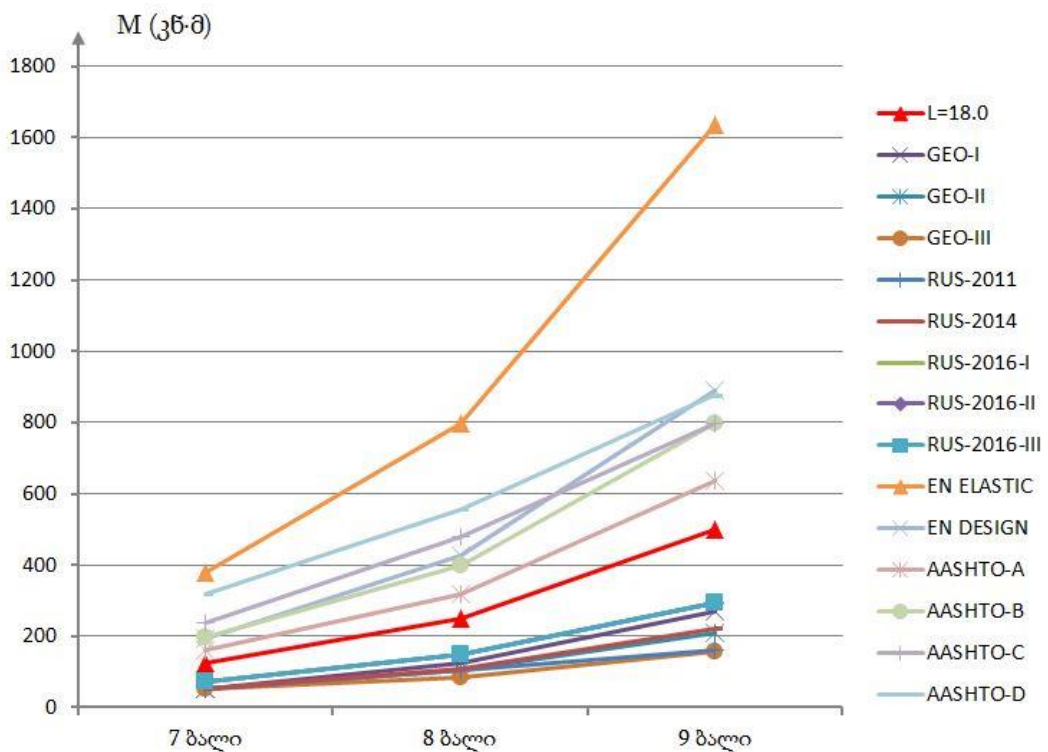
L=21.0 მ წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენი								
№	დასახელება	სტატ.	7 ბალი		8 ბალი		9 ბალი	
		M, კნ•მ	M, კნ•მ	%	M, კნ•მ	%	M, კნ•მ	%
1	L=21.0	1448.27	167.5	11.6	334.99	23.1	669.99	46.3
2	GEO-I		69.81	4.8	167.55	11.6	363.02	25.1
3	GEO-II		69.81	4.8	139.62	9.6	279.25	19.3
4	GEO-III		69.81	4.8	111.7	7.7	209.43	14.5
5	RUS-2011		69.79	4.8	139.58	9.6	279.16	19.3
6	RUS-2014		69.79	4.8	147.56	10.2	295.11	20.4
7	RUS-2016-I		98.5	6.8	197.41	13.6	395.21	27.3
8	RUS-2016-II		98.5	6.8	197.41	13.6	395.21	27.3
9	RUS-2016-III		98.5	6.8	197.41	13.6	395.21	27.3
10	EN ELASTIC		395.31	27.3	810.62	56.0	1641.25	113
11	EN DESIGN		210.74	14.6	441.47	30.5	927.58	64.0
12	AASHTO-A		213.79	14.8	427.58	29.5	855.15	59.0
13	AASHTO-B		267.24	18.5	534.47	36.9	1068.94	73.8
14	AASHTO-C		320.66	22.1	641.32	44.3	1068.86	73.8
15	AASHTO-D		427.54	29.5	748.2	51.7	1175.74	81.2

L=24.0 მ წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენი								
№	დასახელება	სტატ.	7 ბალი		8 ბალი		9 ბალი	
		M, კნ•მ	M, კნ•მ	%	M, კნ•მ	%	M, კნ•მ	%
1	L=24.0	1906.06	216.23	11.3	432.46	22.7	864.92	45.4
2	GEO-I		90.11	4.7	216.28	11.3	468.6	24.6
3	GEO-II		90.11	4.7	180.23	9.5	360.46	18.9
4	GEO-III		90.11	4.7	144.18	7.6	270.34	14.2
5	RUS-2011		90.1	4.7	180.19	9.5	360.38	18.9
6	RUS-2014		90.1	4.7	190.49	10.0	380.98	20.0
7	RUS-2016-I		127.16	6.7	254.84	13.4	510.2	26.8
8	RUS-2016-II		127.16	6.7	254.84	13.4	510.2	26.8
9	RUS-2016-III		127.16	6.7	254.84	13.4	510.2	26.8
10	EN ELASTIC		411.35	21.6	823.09	43.2	1646.18	86.4
11	EN DESIGN		238.64	12.5	457.29	24.0	914.58	48.0
12	AASHTO-A		275.98	14.5	551.95	29.0	1103.91	57.9
13	AASHTO-B		344.97	18.1	689.94	36.2	1379.89	72.4
14	AASHTO-C		413.94	21.7	827.89	43.4	1379.81	72.4
15	AASHTO-D		551.92	29.0	965.86	50.7	1517.78	79.6

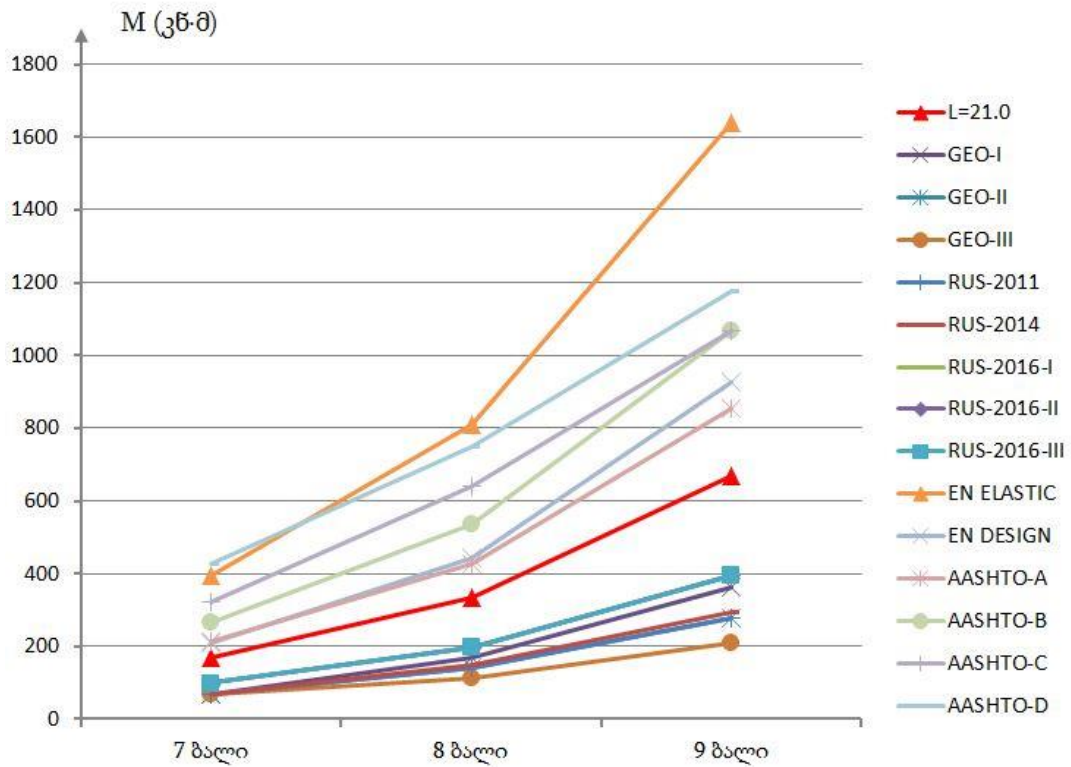
L=33.0 მ წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენი								
№	დასახელება	სტატ.	7 ბალი		8 ბალი		9 ბალი	
		M, კნ•მ	M, კნ•მ	%	M, კნ•მ	%	M, კნ•მ	%
1	L=33.0	3824.62	425.03	11.1	850.06	22.2	1700.11	44.5
2	GEO-I		177.12	4.6	425.09	11.1	921.03	24.1
3	GEO-II		177.12	4.6	325.24	8.5	708.49	18.5
4	GEO-III		177.12	4.6	283.40	7.4	531.37	13.9
5	RUS-2011		177.09	4.6	354.18	9.3	708.37	18.5
6	RUS-2014		177.09	4.6	374.42	9.8	748.84	19.6
7	RUS-2016-I		188.41	4.9	377.59	9.9	755.94	19.8
8	RUS-2016-II		249.95	6.5	500.92	13.1	1002.84	26.2
9	RUS-2016-III		249.95	6.5	500.92	13.1	1002.84	26.2
10	EN ELASTIC		577.67	15.1	1155.34	30.2	2310.68	60.4
11	EN DESIGN		320.94	8.4	641.87	16.8	1283.75	33.6
12	AASHTO-A		542.45	14.2	1085.28	28.4	2169.78	56.7
13	AASHTO-B		678.06	17.7	1356.12	35.5	2712.23	70.9
14	AASHTO-C		813.62	21.3	1627.25	42.5	2712.07	70.9
15	AASHTO-D		1084.82	28.4	1898.44	49.6	2983.26	78.0



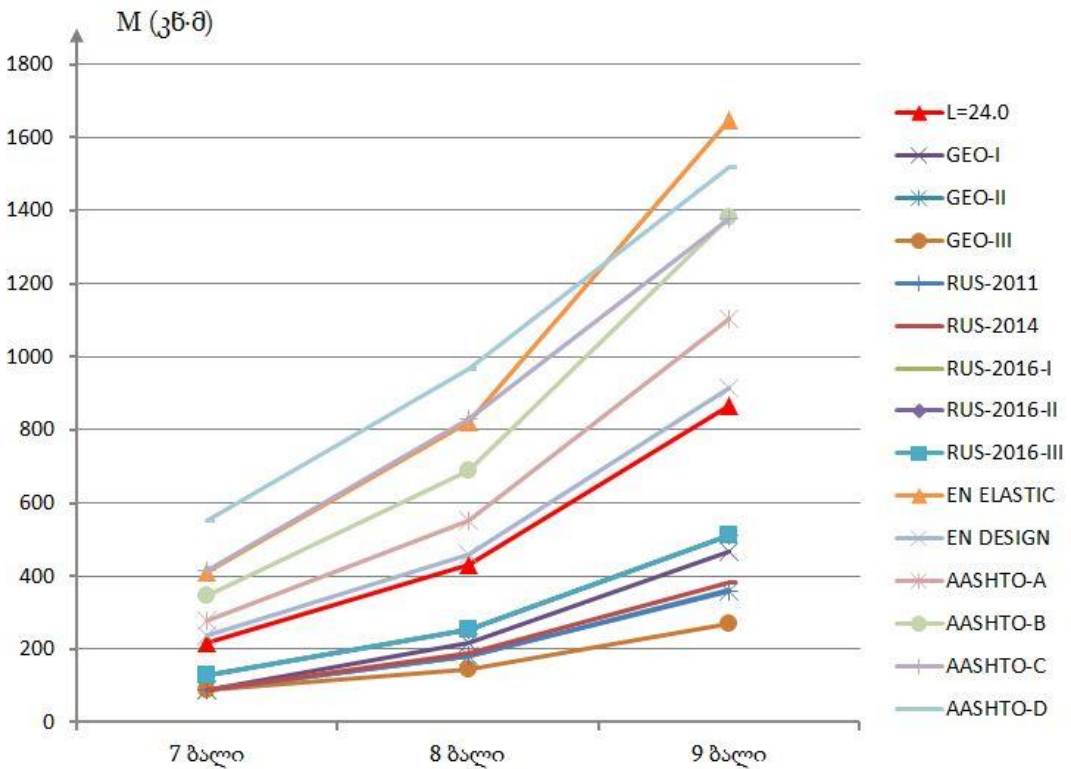
ნახ. 55. სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და კვლევით მიღებული სპექტრების მიხედვით L=15.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის ძაღვების მნიშვნელობები



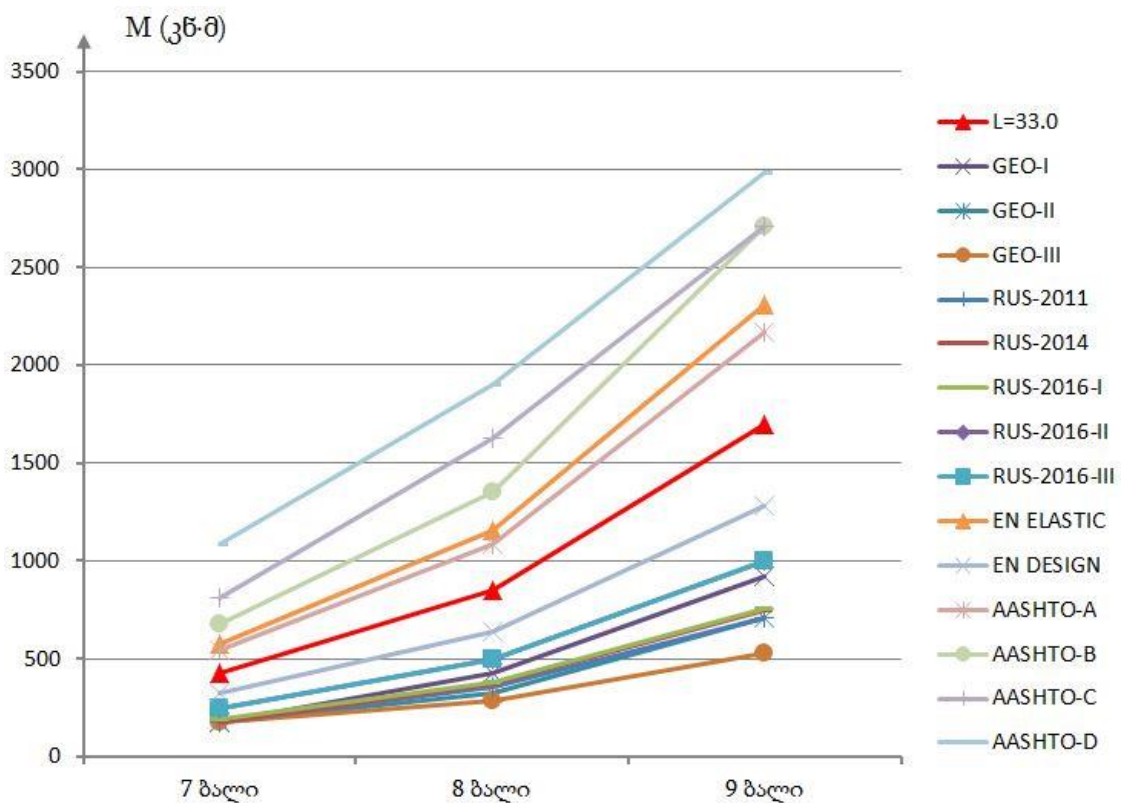
ნახ. 56. სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და კვლევით მიღებული სპექტრების მიხედვით L=18.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის ძაღვების მნიშვნელობები



ნახ. 57. სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და კვლევით მიღებული სპექტრების მიხედვით L=21.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის ძაღვების მნიშვნელობები



ნახ. 58. სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და კვლევით მიღებული სპექტრების მიხედვით L=24.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის ძაღვების მნიშვნელობები



ნახ. 59. სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და კვლევით მიღებული სპექტრების მიხედვით L=33.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის ძალების მნიშვნელობები

ჩვენს მიერ ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენეს, რომ წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის მალის ნაშენების (სიგრძით L=15.0 მ, L=18.0 მ, L=21.0 მ და L=24.0 მ) საკუთარი რხევის პირველი სამი პერიოდი გათვალისწინებით შერჩეული აქსელეროგრამების საფუძველზე მიღებული რეაქციის სპექტრით განსაზღვრული ძალების სიდიდეები მნიშვნელოვნად აღემატება GEO და CHиП ნორმატიულ დოკუმენტებში მოცემული სპექტრებით მიღებულ ძალებს და არ აღემატება EN საანგარიშო სპექტრით მიღებულ სიდიდეს. L=24.0 მ სიგრძის მალის ნაშენისათვის განსაზღვრული რეაქციის სპექტრით მიღებული ძალების სიდიდე თითქმის უახლოვდება EN-ში მოცემულ სარეკომენდაციო საანგარიშო სპექტრით მიღებულ ძალების სიდიდეს.

ასევე L=33.0 მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის საკუთარი რხევის პირველი სამი პერიოდის გათვალისწინებით შერჩეული აქსელეროგრამების საფუძველზე მიღებული რეაქციის სპექტრით განსაზღვრული ძალების სიდიდეები მნიშვნელოვნად აღემატება GEO და CHиП ნორმატიულ დოკუმენტებში მოცემულ სპექტრებით მიღებულ ძალებს, ხოლო იგივე ძალების

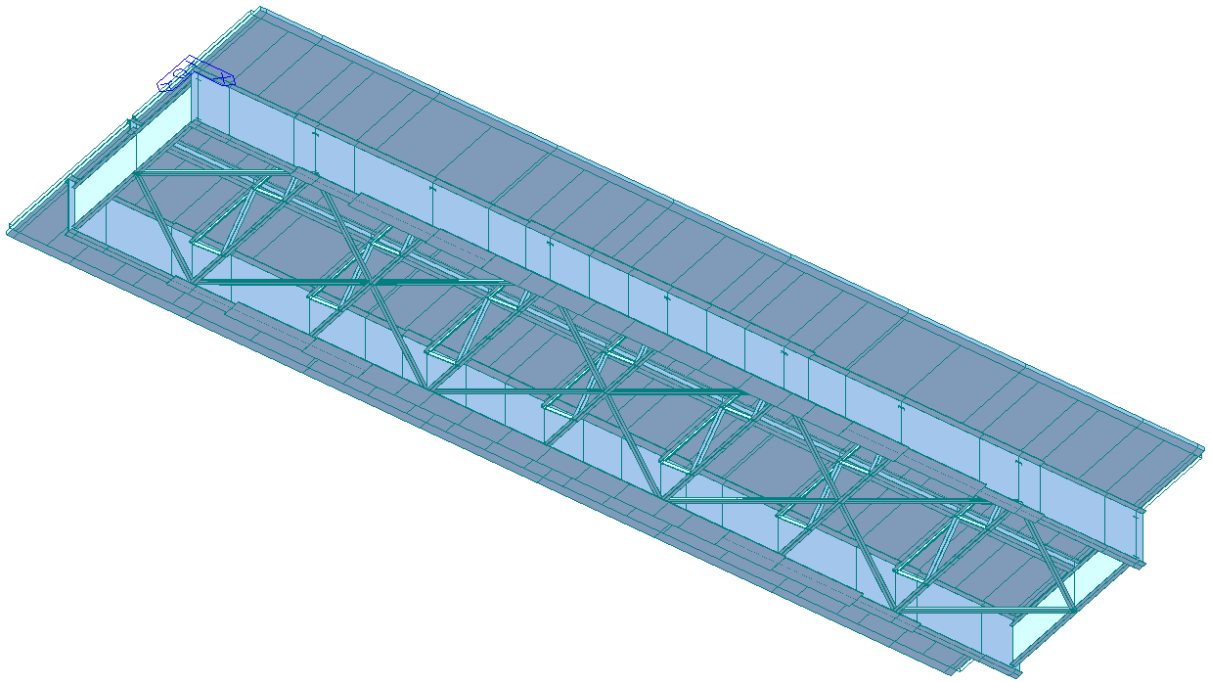
სიდიდე მდებარეობს EN საანგარიშო სპექტრისა და EN დრეკადი რეაქციის სპექტრის მიხედვით მიღებულ ძაღვების სიდიდეებს შორის.

სხვადასხვა ნორმატიულ დოკუმენტებში (GEO, СНиП და AASHTO) მოცემული ვერტიკალური სპექტრები მიღებულია ჰორიზონტალური სპექტრის გარდაქმნით და ითვალისწინებენ გრუნტის სხვადასხვა კატეგორიებს. მხოლოდ EN ნორმატიულ დოკუმენტში არის მოცემული ვერტიკალური ზემოქმედების სპექტრი დამოუკიდებლად და იგი გრუნტის კატეგორიაზე არ არის დამოკიდებული, რაც ჩვენს მიერ მიღებულმა კვლევებმაც დაადასტურა – გრუნტის სხვადასხვა კატეგორიებისათვის მიწისძვრის რეაქციის სპექტრების საფუძველზე კვლევის შედეგად მიღებული ახალი სპექტრის დიაპაზონი უცვლელია, ამიტომ ყველა კატეგორიის გრუნტისათვის შესაძლებელია ვერტიკალური რეაქციის ერთი სპექტრით სარგებლობა.

საქართველოში მოქმედი სამშენებლო ნორმები და წესები – „სეისმომედეგი მშენებლობა“ ითვალისწინებს $L=18.0$ მ-ზე მეტი სიგრძის ძალის ნაშენის გაანგარიშებას ვერტიკალური სეისმური სპექტრით. ამ ნორმებში მოცემული სპექტრებით ვიღებთ ძაღვების ძაღვ დაბალ სიდიდეებს და ამიტომაც, სავარაუდოდ, 15.0 მ სიგრძის ძალის ნაშენების გაანგარიშება ვერტიკალურ მდგენელზე უგულებელყოფილია. EN და AASHTO შესამისად რეაქციის სპექტრის მიხედვით მიღებული ძაღვები 7 ბალიანი მიწისძვრისას შეადგენს მინიმუმ 15% სტატიკური მღუნავი მომენტის სიდიდისა, რაც მეტად დიდი მნიშვნელობაა, მისი უგულებელყოფა დაუშვებელია და აუცილებლად მხედველობაშია მისაღები $L=15.0$ მ სიგრძის ძალის ნაშენისთვის მიწისძვრის ვერტიკალური მდგენელისაგან გამოწვეული ძაღვების განხილვა.

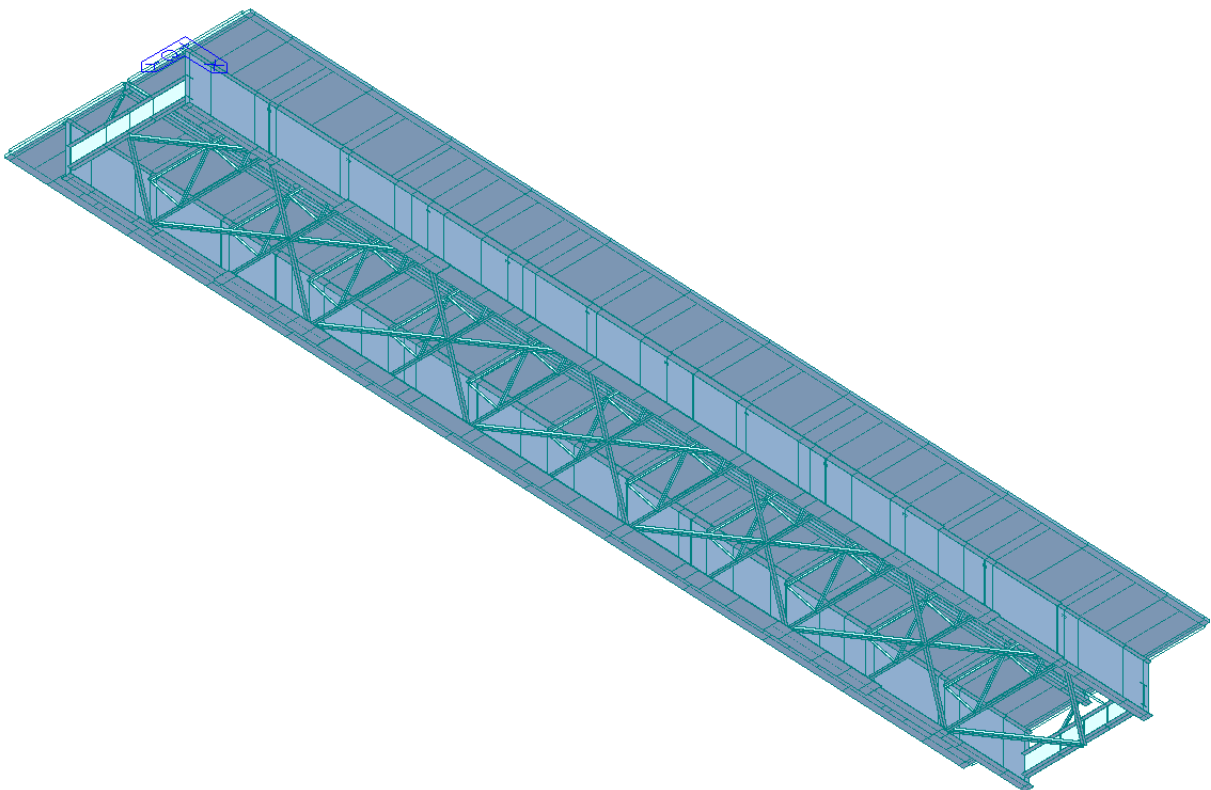
2.2.5. ჭრილკოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის ძალის ნაშენების გაანგარიშება სტატიკურ და სეისმურ დატვირთვებზე

საანგარიშო კომპლექსურ პროგრამა MIDAS Civil-ში აგებულ იქნა ფოლადრკინაბეტონის ძალის ნაშენების საანგარიშო მოდელები (ნახ. 60 და ნახ. 61) და ამ საანგარიშო მოდელებზე გამოქმედეთ გრუნტის კატეგორიების მიხედვით კლასიფიცირებული შვიდი აქსელეროგრამა.



ნახ. 60. $L=42.6$ მ სიგრძის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი

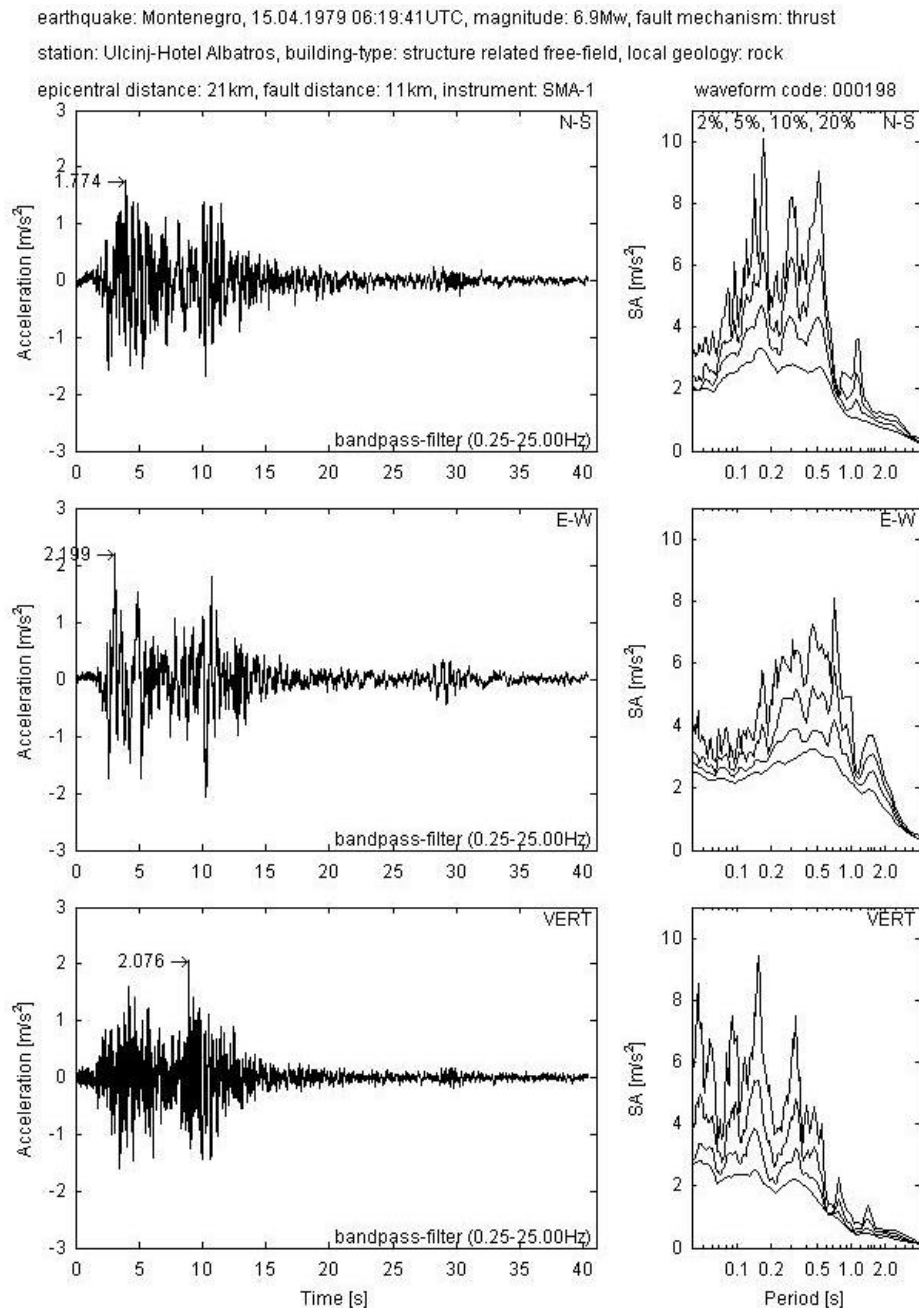
პირდაპირი დინამიკური მეთოდით განისაზღვრა ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის აჩქარებები, რომლის საფუძველზეც პროგრამა SeismoSignal გამოყენებით აგებულ იქნა აჩქარებების სპექტრები.



ნახ. 61. $L=63.6$ მ სიგრძის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი

პირველად განხილულ იქნა $L=42.6$ მ სიგრძის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენი, რომელზეც გრუნტის პირველი კატეგორიისათვის, აჩქარების სპექტრის

დასადგენად გამოყენებულ იქნა პირველი მონტენეგროს მიწისძვრის აქსელეროგრამა (ნახ. 62) [60].



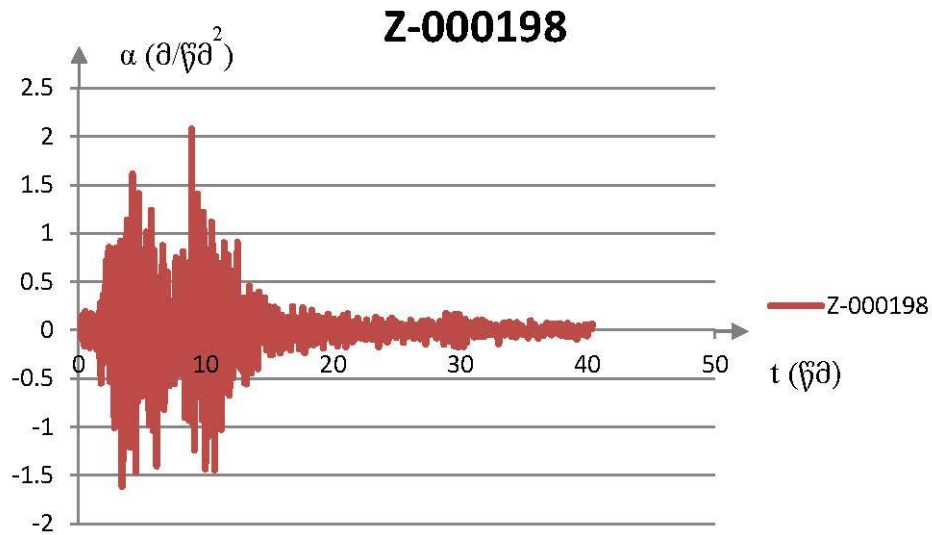
Tosic, M. (1980)

ნახ. 62. მონტენეგროს მიწისძვრის ჩანაწერი (კოდი:000198)

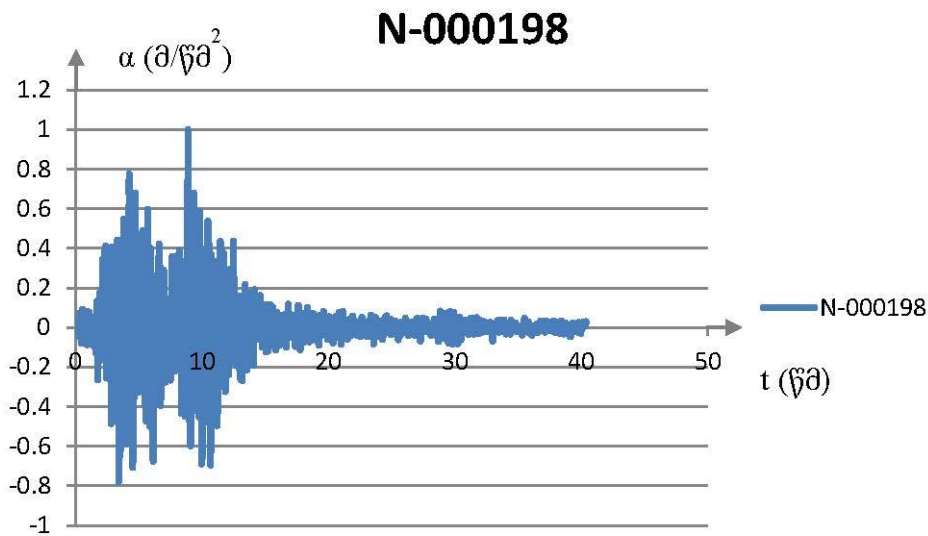
მალის ნაშენებისათვის მიწისძვრის აქსელეროგრამიდან ყველაზე საშიშია ვერტიკალური მდგენელი, ამიტომაც აღებული იქნა ვერტიკალური მდგენელის აქსელეროგრამა (ნახ. 63) და მოხდა ვერტიკალური მდგენელის ნორმალიზება - აჩქარების გაყოფას მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე (ნახ. 64).

თითოეულ მიწისძვრას ახასიათებს განსხვავებული მაგნიტუდა და, შესაბამისად, მალის ნაშენებზე მათი ზემოქმედებით ვიღებთ სხვადასხვა

აჩქარებებს, რომლებიც ხასიათდებიან არა მარტო მათი დომინანტური რხევების სიდიდებით, არამედ სხვადასხვა მაგნიტუდის ზემოქმედების მიხედვითაც. ამიტომ მაგნიტუდების ფაქტორის გამორიცხვის მიზნით ყველა აქსელეროგრამა ნორმალიზებულია.

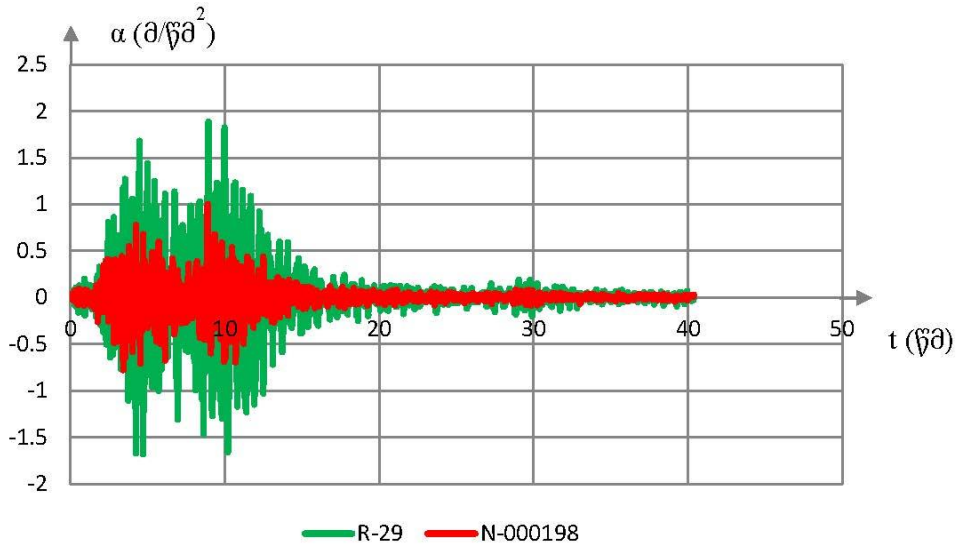


ნახ. 63. მონტენეგროს მიწისძვრის ვერტიკალური აქსელეროგრამა (კოდი:000198)



ნახ. 64. მონტენეგროს მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამა (კოდი:000198)

ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენზე მონტენეგროს მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამის ზემოქმედების შედეგად ვიღებთ მალის ნაშენის აჩქარებებს, რომელიც დარდება ნორმალიზებულ აჩქარებებთან და განისაზღვრება აჩქარებების მნიშვნელობის ზრდის სიდიდით (ნახ. 65), რომელსაც შემდგომ წარმოვადგენთ სპექტრების სახით.



ნახ. 65. მონტენეგროს მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამა (კოდი:000198) და L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქცია (აჩქარებების სახით)

მალის ნაშენის რეაქციის მაქსიმალური აჩქარებაა 1.88 მ/წმ². შესაბამისად ნახ. 66-ზე წარმოდგენილია მისი სპექტრები.

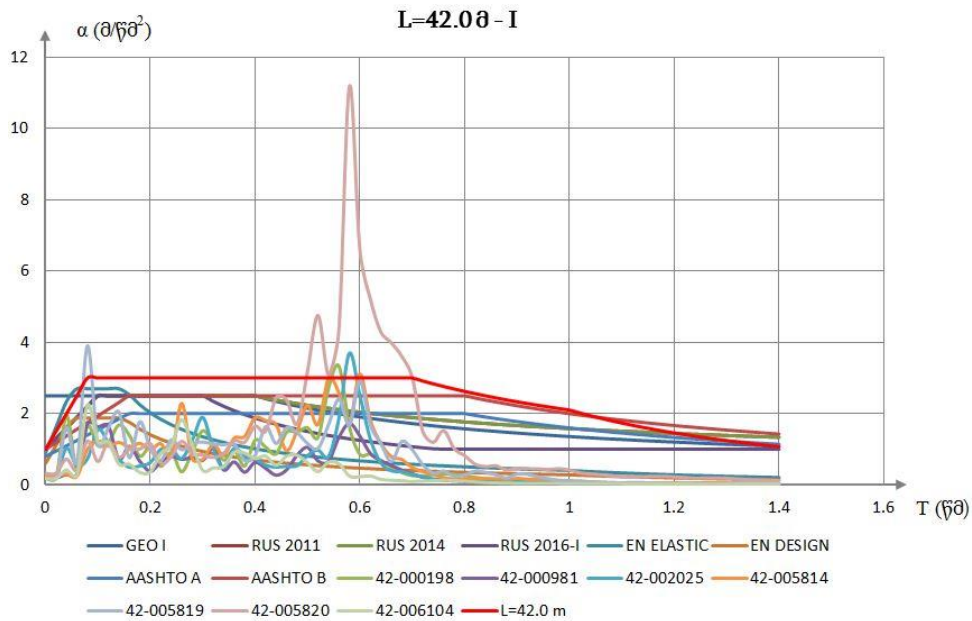


ნახ. 66. — მონტენეგროს მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული სპექტრი (კოდი:000198); — L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრი

ამავე პრინციპით მოხდა დანარჩენი ექვსი აქსელეროგრამის შერჩევა, დამუშავება, ფოლადრკინაბეტონის L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენზე ზემოქმედება და შესაბამისად რეაქციის სპექტრების აგება.

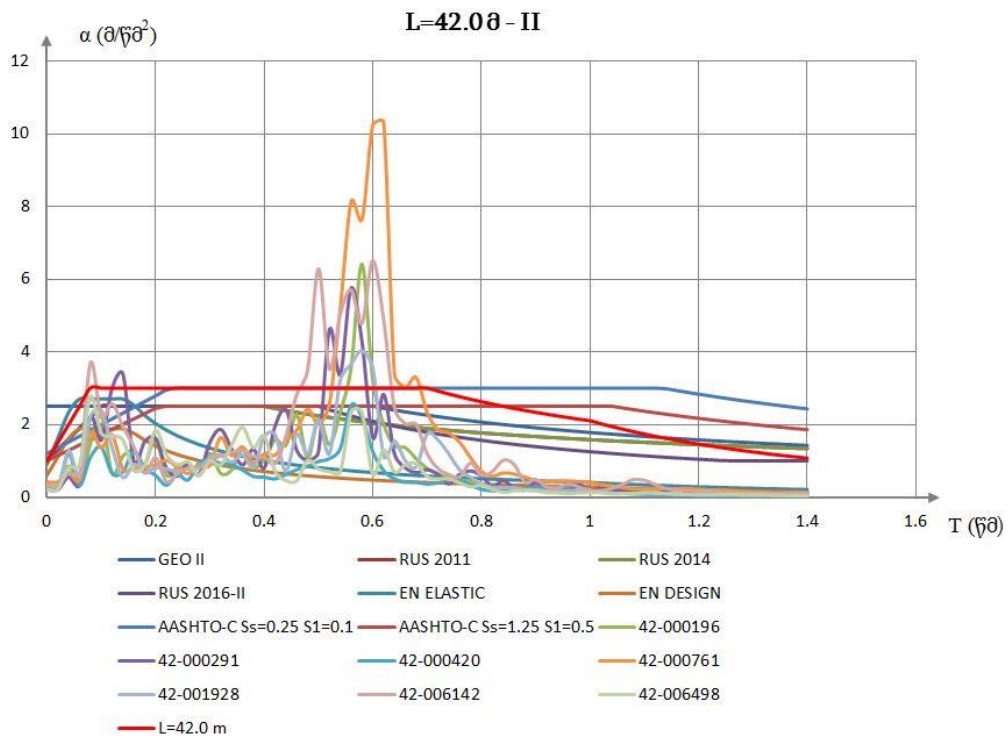
I კატეგორიის გრუნტების შემთხვევაში ფოლადრკინაბეტონის L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენისათვის შეირჩა შვიდი აქსელეროგრამა, ხოლო მათი

ზემოქმედების შედეგად მიღებული სპექტრები და მათი დამუშავებით აგებული მალის ნაშენისათვის მიღებული სპექტრი მოცემულია ნახ. 67-ზე.

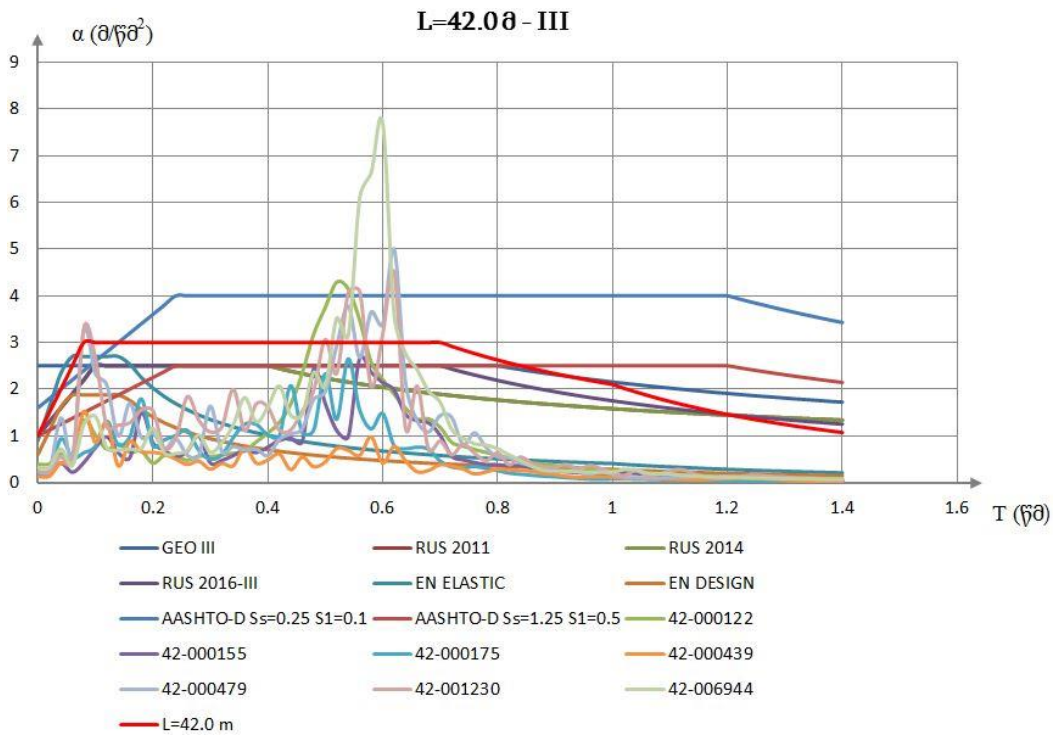


ნახ. 67. L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის

ასევე II და III კატეგორიის გრუნტების შემთხვევაში ფოლადრკინაბეტონის L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენისათვის შეირჩა შვიდი მიწისძვრის აქსელეროგრამები და მათი ზემოქმედების შედეგად მიღებული სპექტრები. მათი დამუშავებით მიღებული სპექტრი მალის ნაშენისათვის მოცემულია ნახ. 68-ზე და ნახ. 69-ზე.

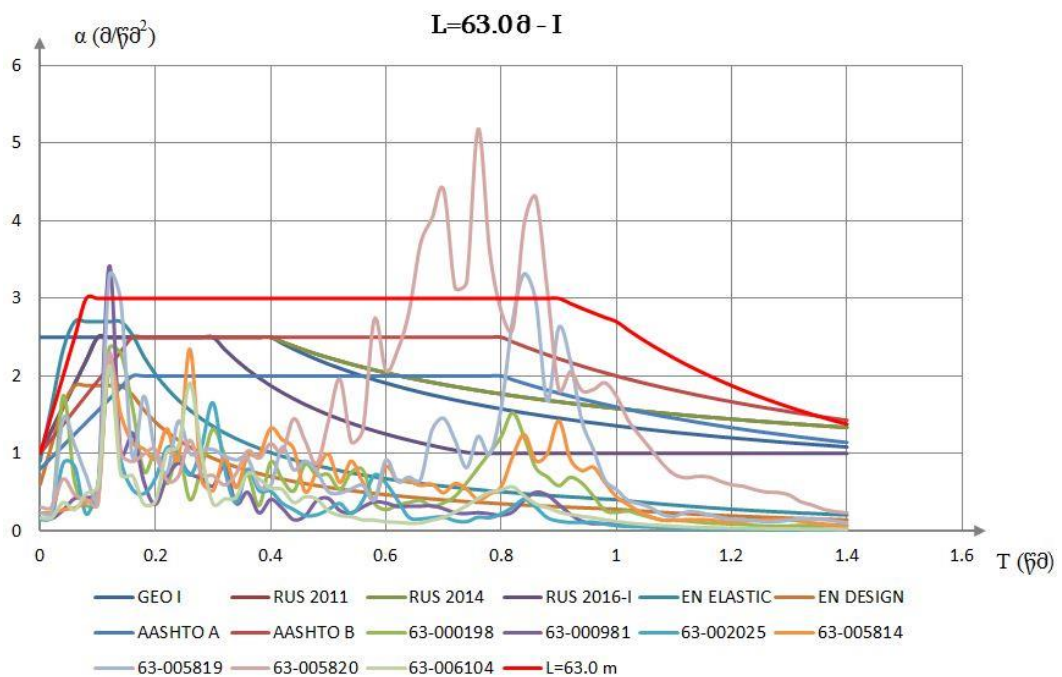


ნახ. 68. L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის

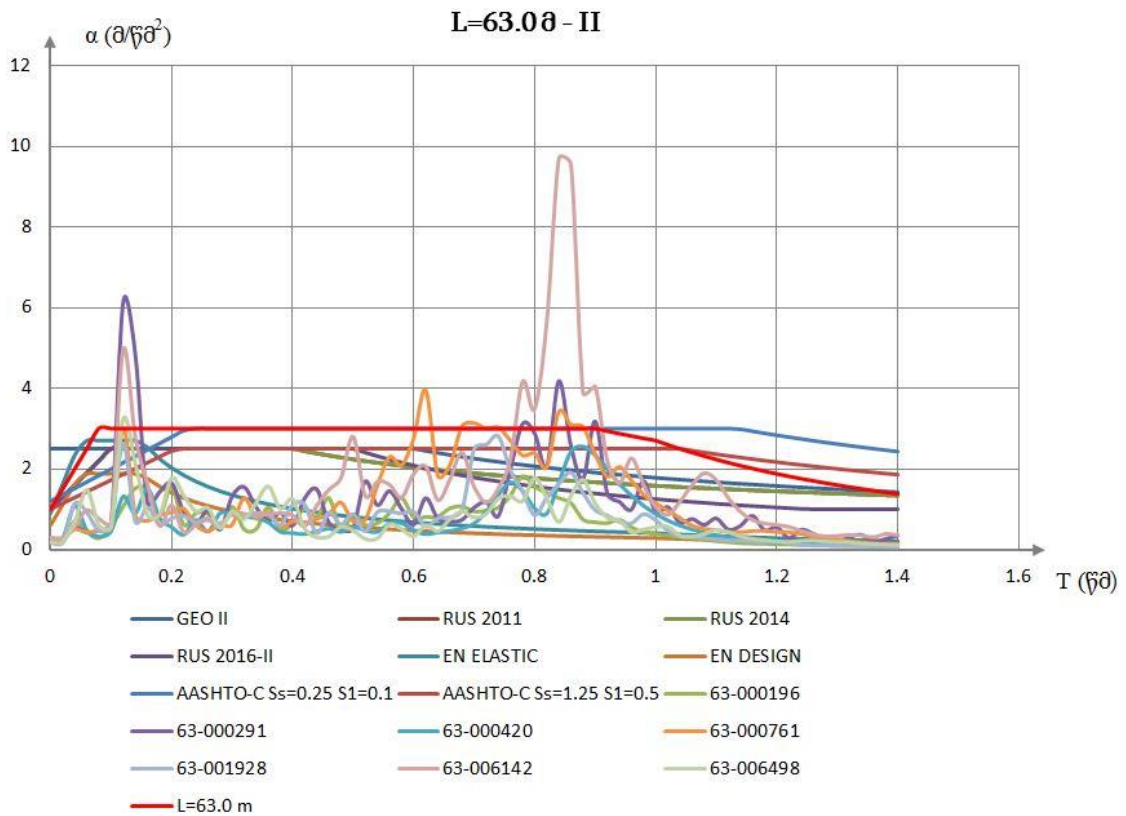


ნახ. 69. L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის

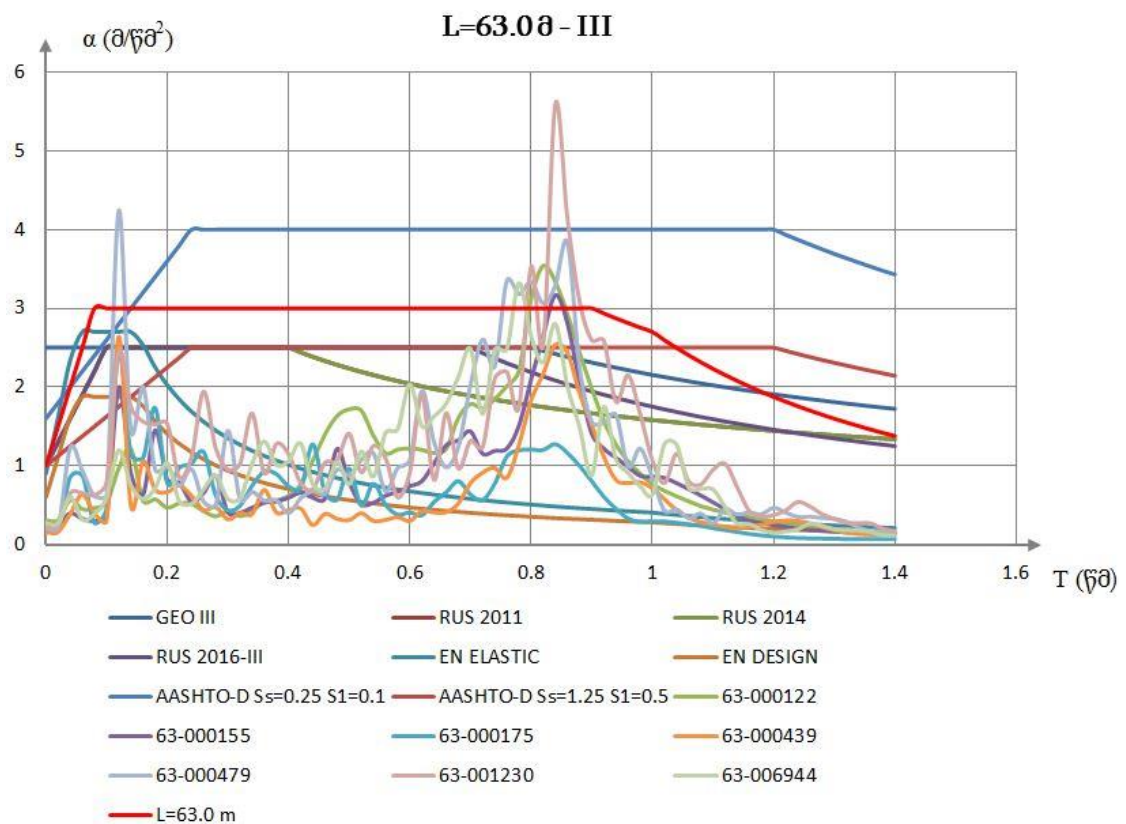
ანალოგიურად ფოლადრკინაბეტონის L=63.6 მ სიგრძის მალის ნაშენისათვის და თითოეული გრუნტის კატეგორიისათვის შეირჩა შვიდი მიწისძვრის აქსელეროგრამა. მათი ზემოქმედების შედეგად მიღებული სპექტრები და მათი დამუშავებით მიღებული სპექტრი მალის ნაშენისათვის მოცემულია ნახ. 70 ÷ 72.



ნახ. 70. L=63.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის



ნახ. 71. L=63.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის



ნახ. 72. L=63.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის

კვლევაში განხილული ორივე ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენებისათვის სხვადასხვა კატეგორიის გრუნტებისათვის მიღებული სპექტრებით და ასევე სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტის (GEO, СНиП, EN და AASHTO) მიხედვით მოხდა მალის ნაშენების გაანგარიშება, მათი შედარება და ანალიზი.

ფოლადრკინაბეტონის L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენისათვის გრუნტის სამივე კატეგორიისათვის სხვადასხვა ბალების შემთხვევაში მოხდა გაანგარიშება და სეისმური ძალებების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილ 20-ში.

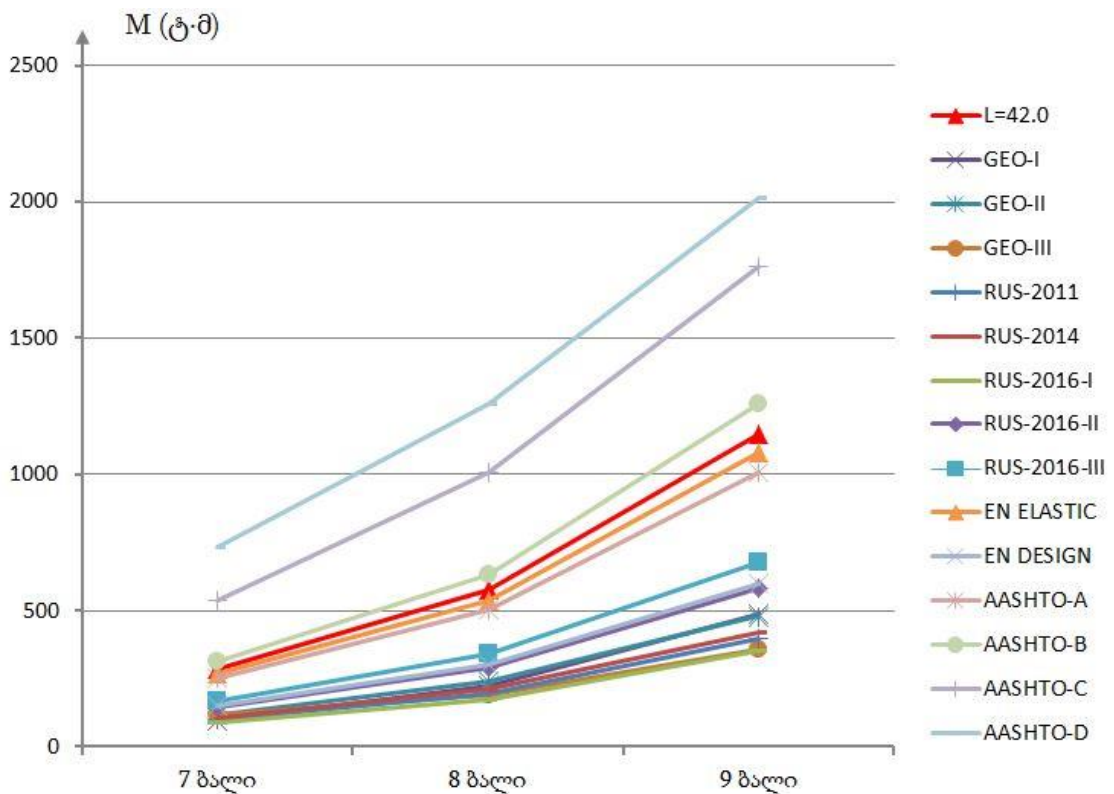
ცხრილი 20

L=42.0 მ ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენი								
№	დასახელება	სტატ.	7 ბალი		8 ბალი		9 ბალი	
		M, ტ•მ	M, ტ•მ	%	M, ტ•მ	%	M, ტ•მ	%
1	L=42.0	1773.29	286.91	16.2	573.81	32.4	1147.62	64.7
2	GEO-I		93.16	5.3	223.58	12.6	484.43	27.3
3	GEO-II		119.55	6.7	239.09	13.5	478.18	27.0
4	GEO-III		119.55	6.7	191.27	10.8	358.64	20.2
5	RUS-2011		99.14	5.6	198.28	11.2	396.56	22.4
6	RUS-2014		104.8	5.9	209.61	11.8	419.22	23.6
7	RUS-2016-I		87.49	4.9	174.98	9.9	349.95	19.7
8	RUS-2016-II		145.55	8.2	291.1	16.4	582.19	32.8
9	RUS-2016-III		169.32	9.5	338.65	19.1	677.3	38.2
10	EN ELASTIC		269.49	15.2	538.98	30.4	1077.95	60.8
11	EN DESIGN		149.72	8.4	299.43	16.9	598.87	33.8
12	AASHTO-A		251.99	14.2	503.97	28.4	1007.94	56.8
13	AASHTO-B		314.98	17.8	629.96	35.5	1259.93	71.1
14	AASHTO-C		534.86	30.2	1006.94	56.8	1761.95	99.4
15	AASHTO-D		732.12	41.3	1258.48	71.0	2013.37	113

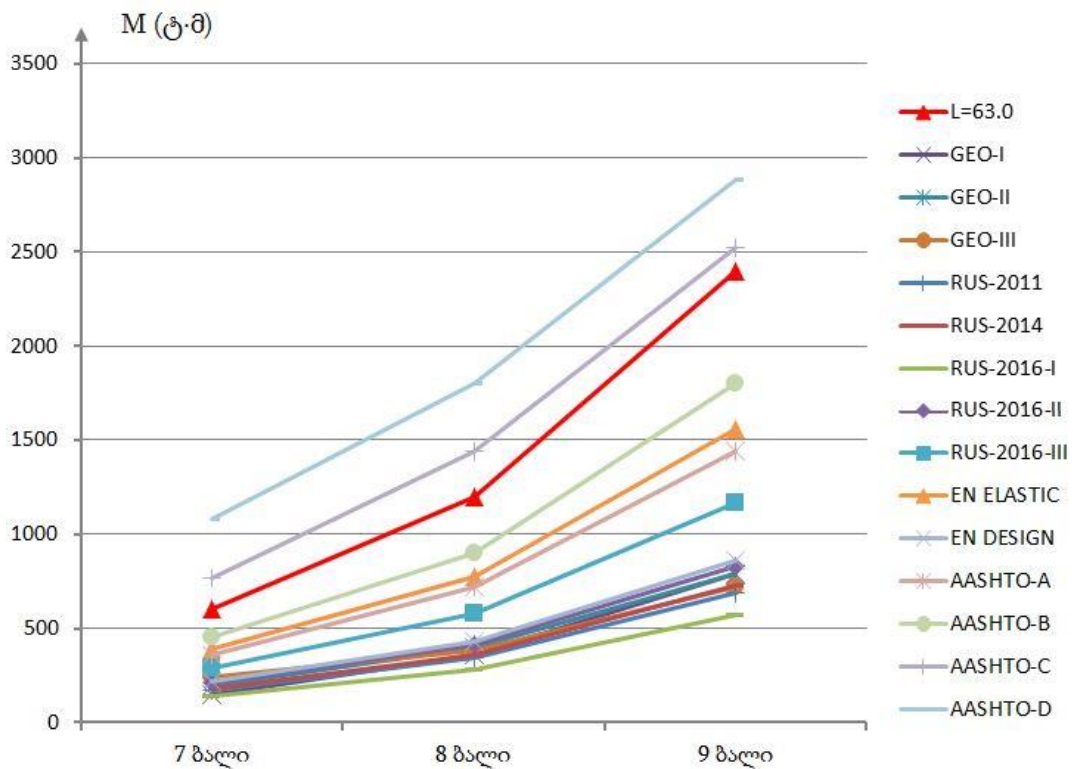
ასევე ფოლადრკინაბეტონის L=63.6 მ სიგრძის მალის ნაშენისათვის სხვადასხვა ბალების შემთხვევაში, სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტის (GEO, СНиП, EN და AASHTO) მიხედვით და ჩვენს მიერ მიღებული სპექტრებით მოხდა გაანგარიშება და სეისმური ძალებების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილ 21-ში.

სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტის (GEO, СНиП, EN და AASHTO) მიხედვით და ასევე ჩვენს მიერ მიღებული სპექტრების გათვალისწინებით აიგო გრაფიკები ორივე სიგრძის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენებისათვის, რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 73-ზე და ნახ. 74-ზე.

L=63.0 მ ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენი								
№	დასახელება	სტატ.	7 ბალი		8 ბალი		9 ბალი	
		M, ტ•მ	M, ტ•მ	%	M, ტ•მ	%	M, ტ•მ	%
1	L=63.0	3575.82	599.81	16.8	1199.61	33.5	2399.23	67.1
2	GEO-I		151.36	4.2	363.26	10.2	787.06	22.0
3	GEO-II		198.23	5.5	396.46	11.1	792.92	22.2
4	GEO-III		239.99	6.7	383.98	10.7	719.97	20.1
5	RUS-2011		171.55	4.8	343.1	9.6	686.2	19.2
6	RUS-2014		181.36	5.1	362.71	10.1	725.42	20.3
7	RUS-2016-I		142.13	4.0	284.25	7.9	568.5	15.9
8	RUS-2016-II		208.44	5.8	416.88	11.7	833.75	23.3
9	RUS-2016-III		291.58	8.2	583.15	16.3	1166.3	32.6
10	EN ELASTIC		389.25	10.9	778.49	21.8	1556.99	43.5
11	EN DESIGN		216.25	6.0	432.5	12.1	865	24.2
12	AASHTO-A		361.03	10.1	722.05	20.2	1444.11	40.4
13	AASHTO-B		451.29	12.6	902.57	25.2	1805.13	50.5
14	AASHTO-C		765.96	21.4	1442.1	40.3	2523.27	70.6
15	AASHTO-D		1081.16	30.2	1802.22	50.4	2883.39	80.6



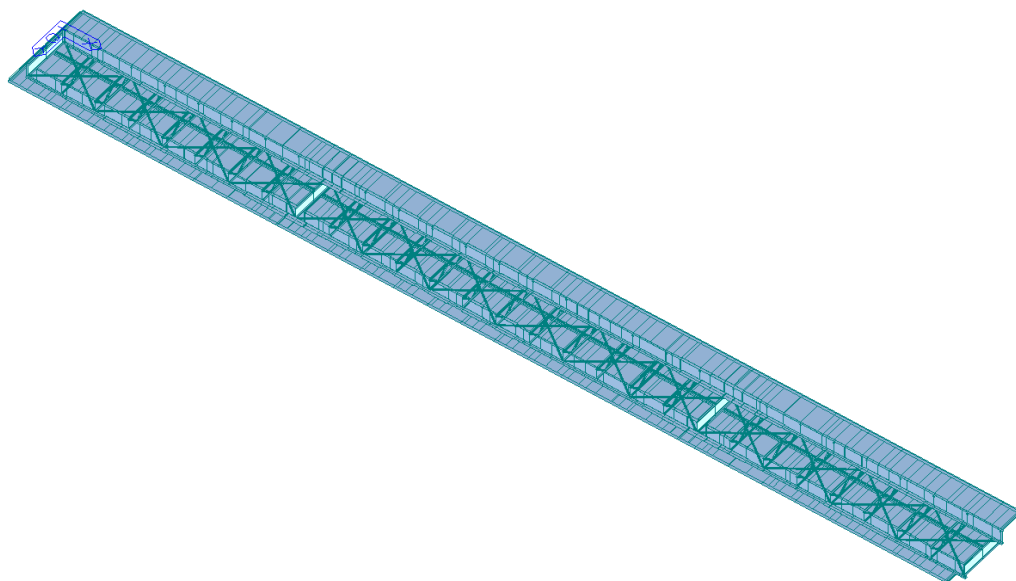
ნახ. 73. სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და კვლევით მიღებული სპექტრების მიხედვით L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის ძაღვების მნიშვნელობები



ნახ. 74. სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და კვლევით მიღებული სპექტრების მიხედვით L=63.6 მ სიგრძის მალის ნაშენის ძაღვების მნიშვნელობები

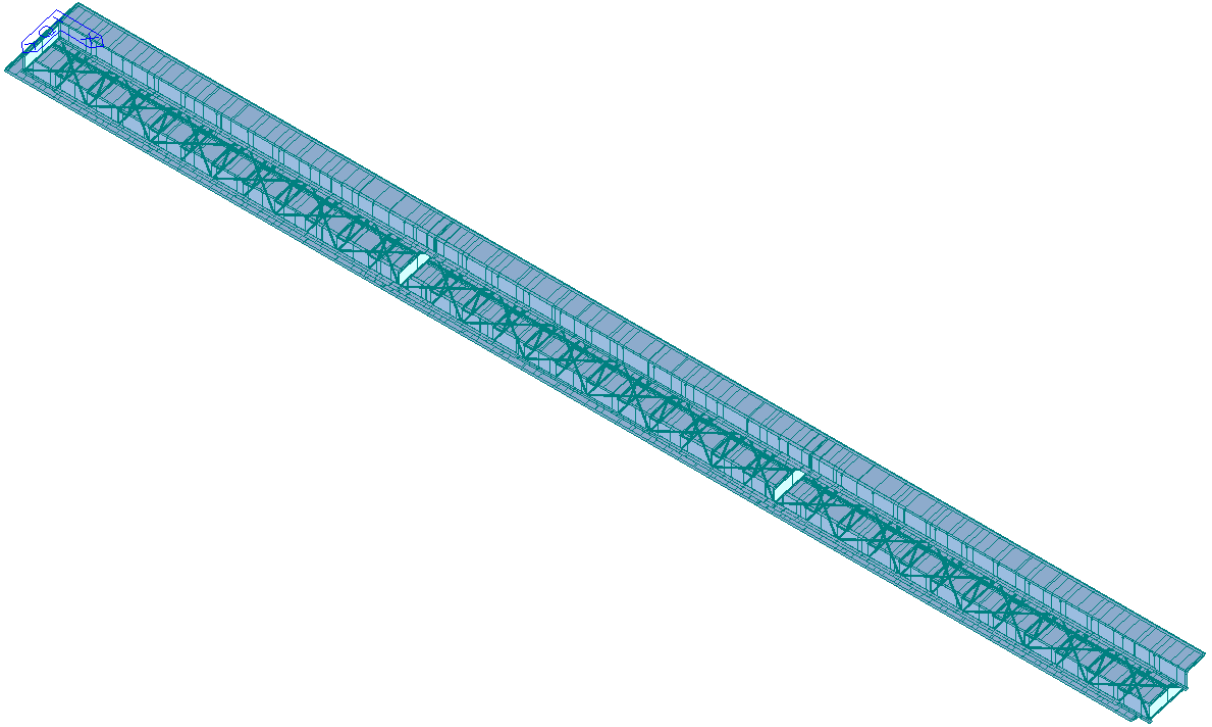
2.2.6. უჭრკოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენების გაანგარიშება სტატიკურ და სეისმურ დატვირთვებზე

საანგარიშო კომპლექსურ პროგრამა MIDAS Civil-ში აგებულ იქნა ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენების საანგარიშო მოდელები (ნახ. 75 ÷ 77) და ამ საანგარიშო მოდელზე გამოქმედეთ გრუნტის კატეგორიების მიხედვით კლასიფიცირებული შვიდი აქსელეროგრამა.

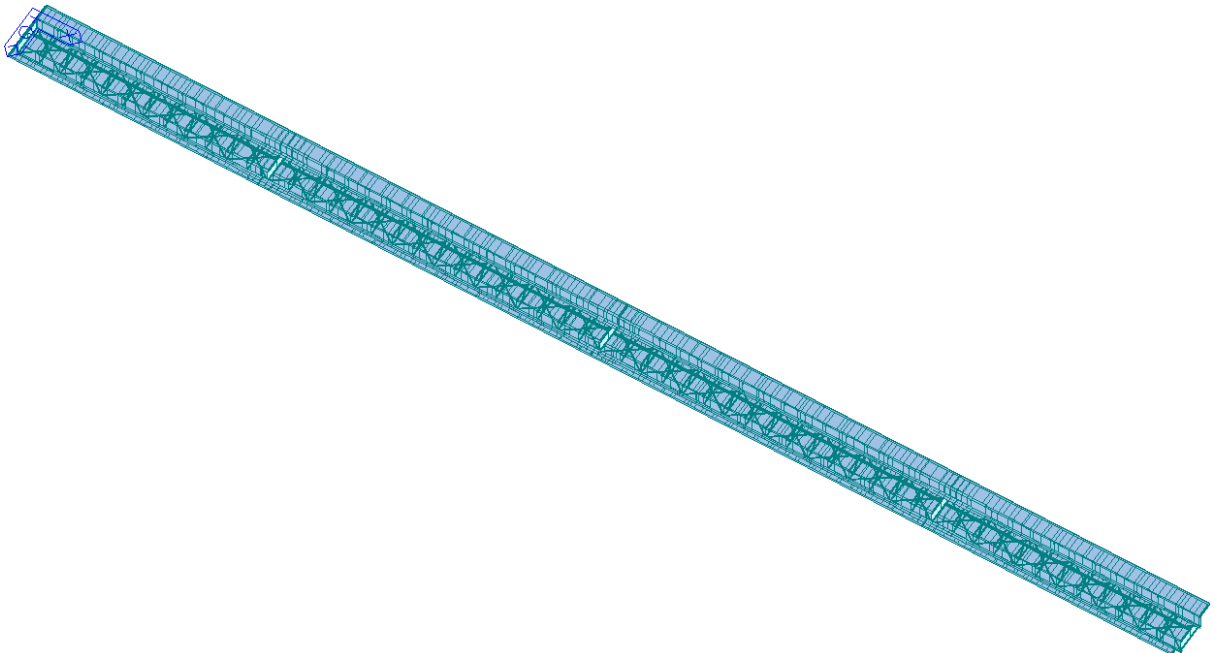


ნახ. 75. L=42.0+63.0+42.0 მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი

პირდაპირი დინამიკური მეთოდით განისაზღვრა ფოლადკონკრეტის მალის ნაშენის აჩქარებები, რომლის საფუძველზეც პროგრამა SeismoSignal გამოყენებით აგებულ იქნა აჩქარებების სპექტრები.



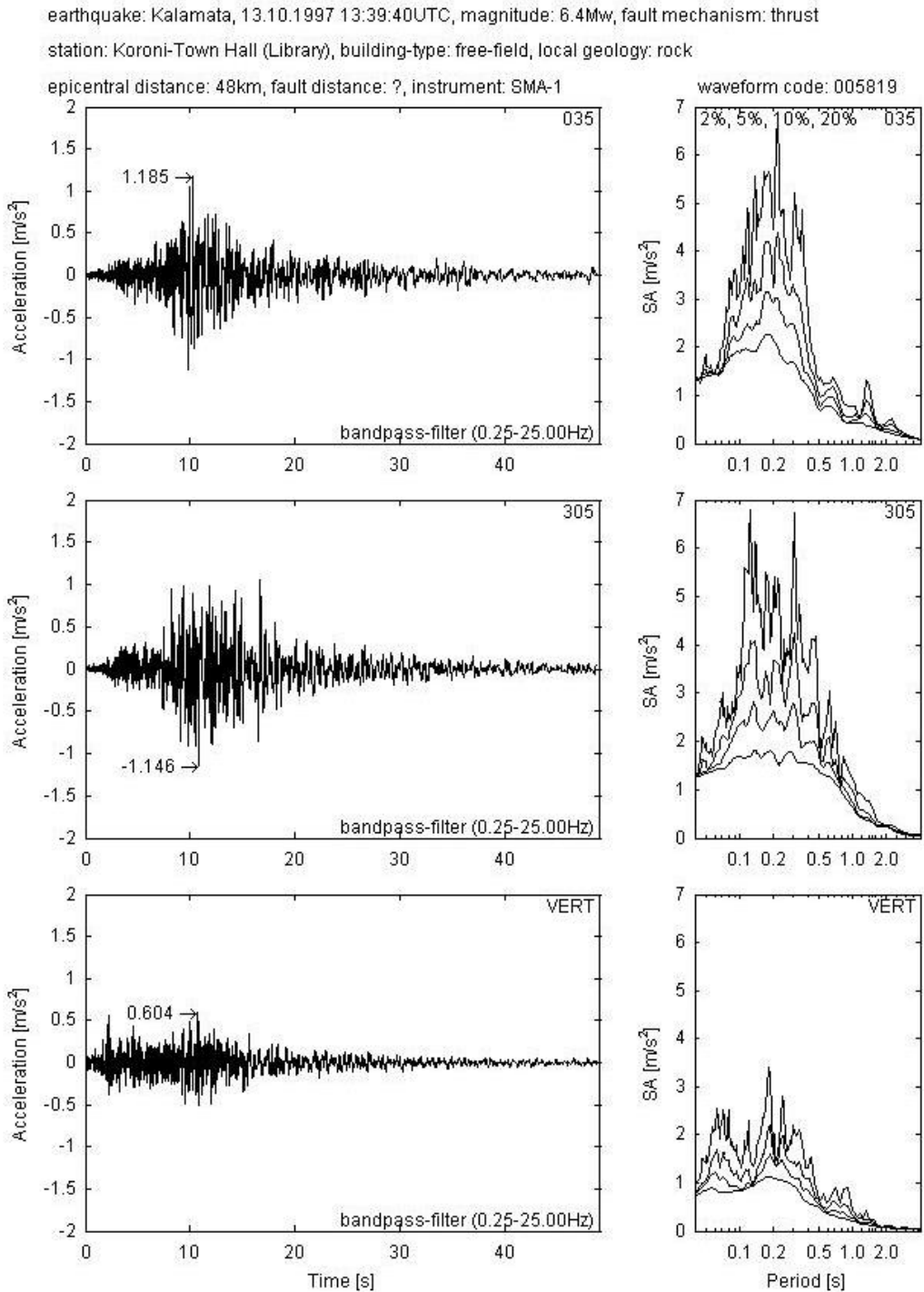
ნახ. 76. $L=3 \times 63.0$ მ სქემის ფოლადკონკრეტის მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი



ნახ. 77. $L=63.0+2 \times 84.0+63.0$ მ სქემის ფოლადკონკრეტის მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი

პირველად განხილულ იქნა $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის ფოლადკონკრეტის მალის ნაშენი, რომელზეც გრუნტის პირველი კატეგორიისათვის, აჩქარების

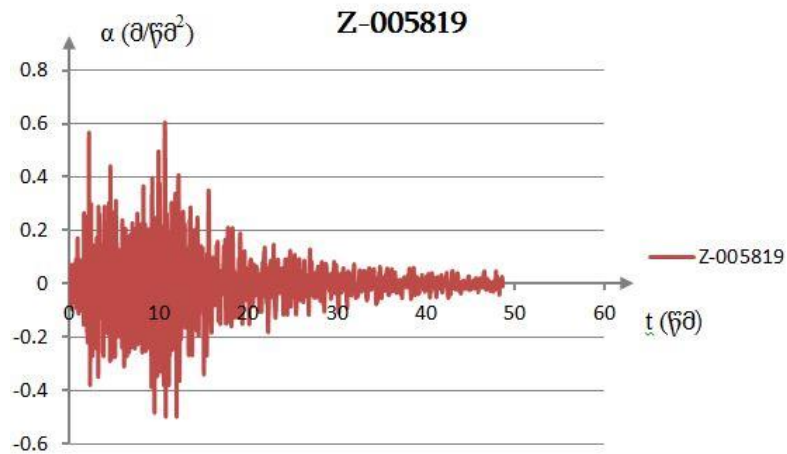
სპექტრის დასადგენად გამოყენებული იქნა პირველი კალამატას მიწისძვრის აქსელეროგრამა (ნახ. 78) [64].



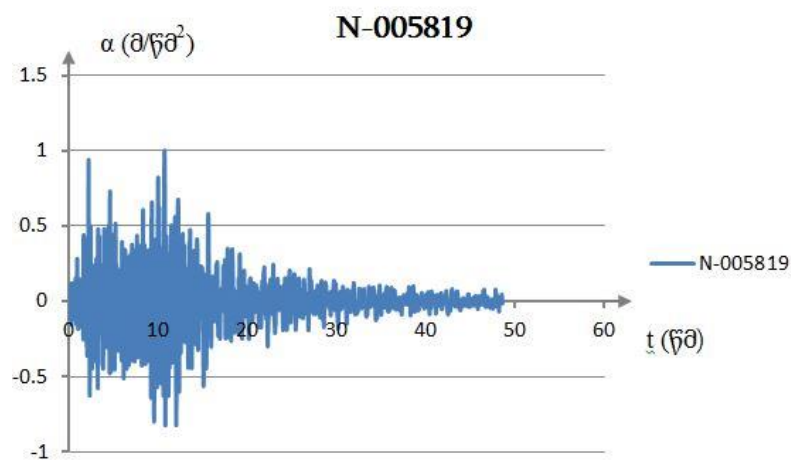
Margaris, B.(2001)

ნახ. 78. კალამატას მიწისძვრის ჩანაწერი (კოდი:005819)

მაღის ნაშენებისათვის მიწისძვრის აქსელეროგრამიდან ყველაზე საშიშია ვერტიკალური მდგენელი, ამიტომაც აღებული იქნა ვერტიკალური მდგენელის აქსელეროგრამა (ნახ. 79) და მოხდა ვერტიკალური მდგენელის ნორმალიზება - აჩქარების გაყოფა მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე (ნახ. 80).

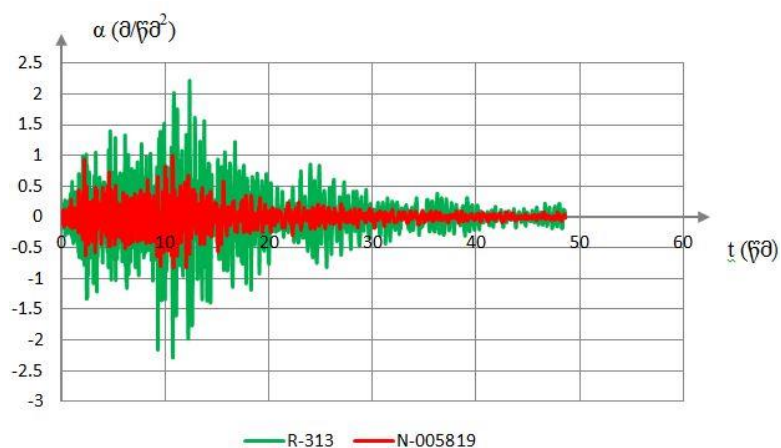


ნახ. 79. კალამატას მიწისძვრის ვერტიკალური აქსელეროგრამა (კოდი:005819)



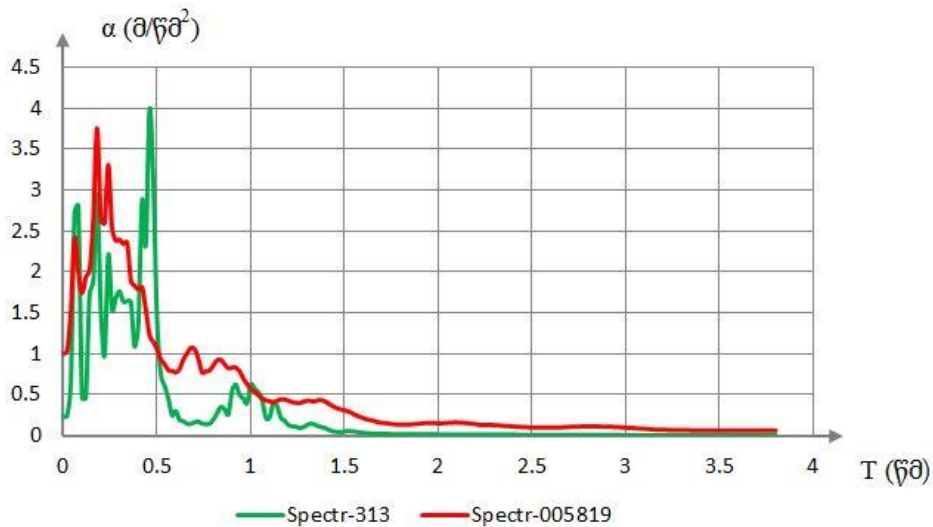
ნახ. 80. კალამატას მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამა (კოდი:005819)

ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენზე კალამატას მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამის ზემოქმედების შედეგად ვღებულობთ მალის ნაშენის აჩქარებებს, რომელიც დარდება ნორმალიზებულ აჩქარებებს და განისაზღვრება აჩქარებების გაზრდილი სიდიდე (ნახ. 81).



ნახ. 81. კალამატას მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამა (კოდი:005819) და L=42.0+63.0+42.0 მ სქემის მალის ნაშენის რეაქცია (აჩქარებების სახით)

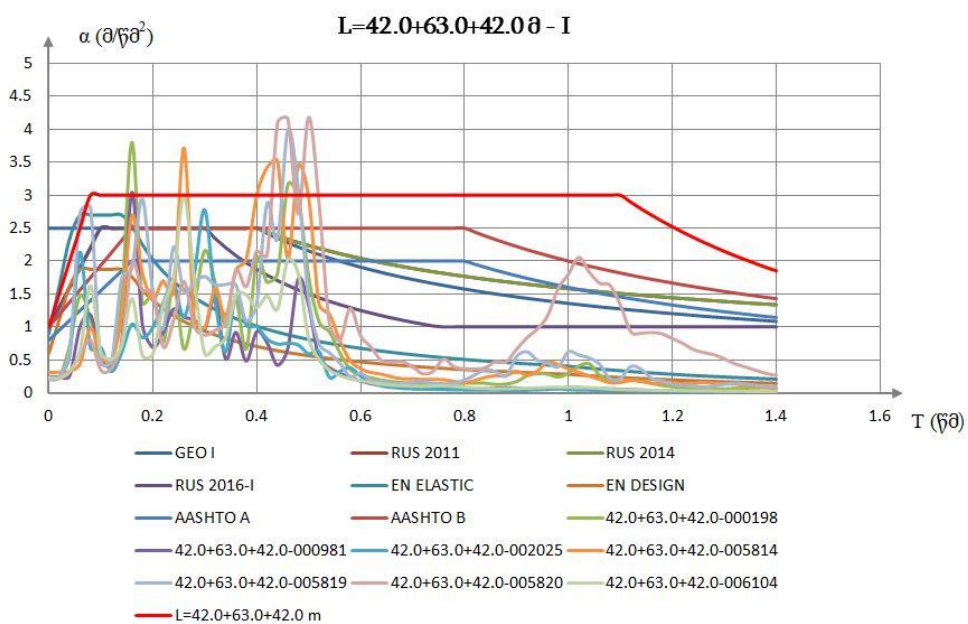
მალის ნაშენის რეაქციის მაქსიმალური აჩქარებაა 2.28 მ/წმ². შესაბამისად მოხდა მათი სპექტრების აგება, რომელიც ნახ. 82-ზეა წარმოდგენილი.



ნახ. 82. — მონტენეგროს მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული სპექტრი (კოდი:000198); — $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრი

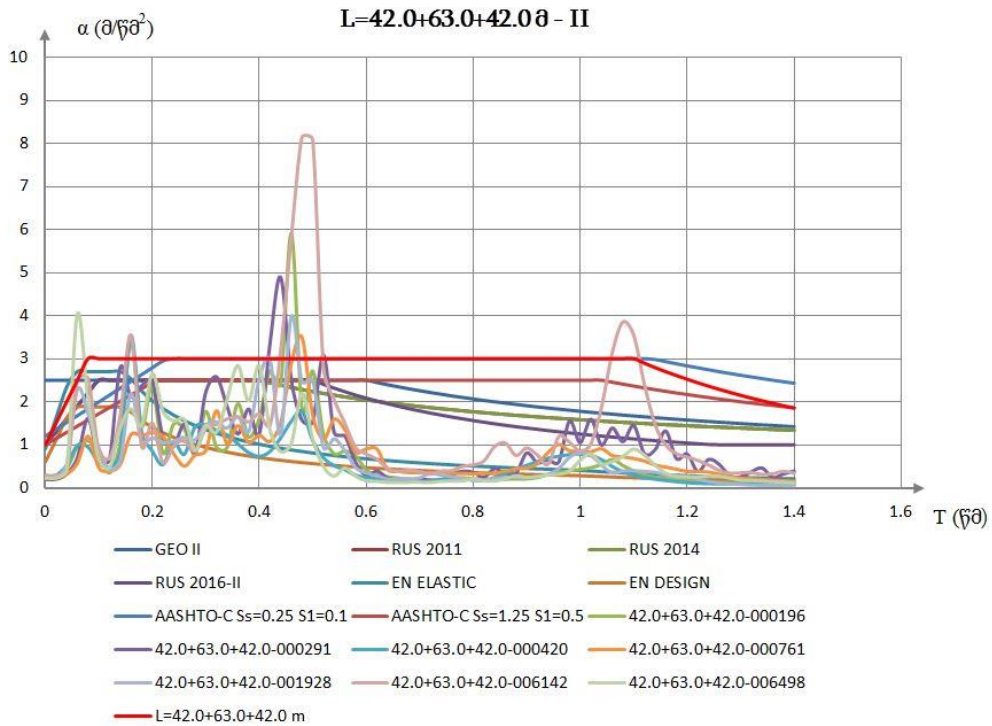
ამავე პრინციპით მოხდა დანარჩენი ექვსი აქსელეროგრამის შერჩევა, დამუშავება, ფოლადრკინაბეტონის $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის მალის ნაშენზე ზემოქმედება და შესაბამისად რეაქციის სპექტრების აგება.

I კატეგორიის გრუნტების შემთხვევაში ფოლადრკინაბეტონის $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის მალის ნაშენისათვის შეირჩა შვიდი აქსელეროგრამა, ხოლო მათი ზემოქმედების შედეგად მიღებული სპექტრები და მათი დამუშავებით აგებული მალის ნაშენისათვის მიღებული სპექტრი მოცემულია ნახ. 83-ზე.

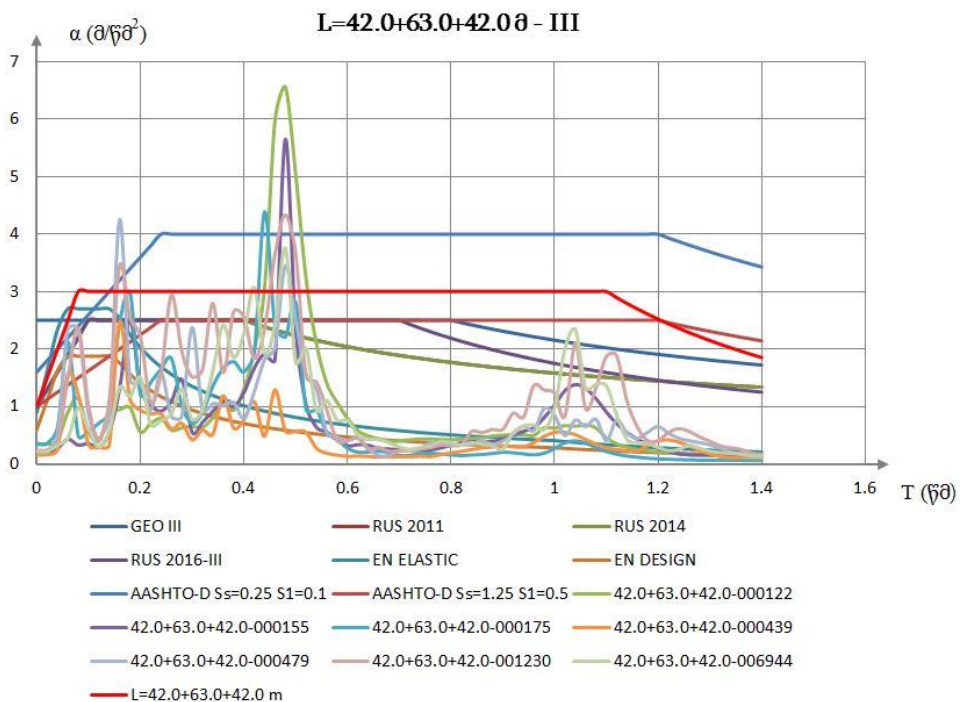


ნახ. 83. $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის

ასევე II და III კატეგორიის გრუნტების შემთხვევაში ფოლადკინაბეტონის $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის მალის ნაშენისათვის შეირჩა შვიდი აქსელეროგრამა, ხოლო მათი ზემოქმედების შედეგად მიღებული სპექტრები და მათი დამუშავებით აგებული მალის ნაშენისათვის მიღებული სპექტრი მოცემულია ნახ. 84-ზე და ნახ. 85-ზე.

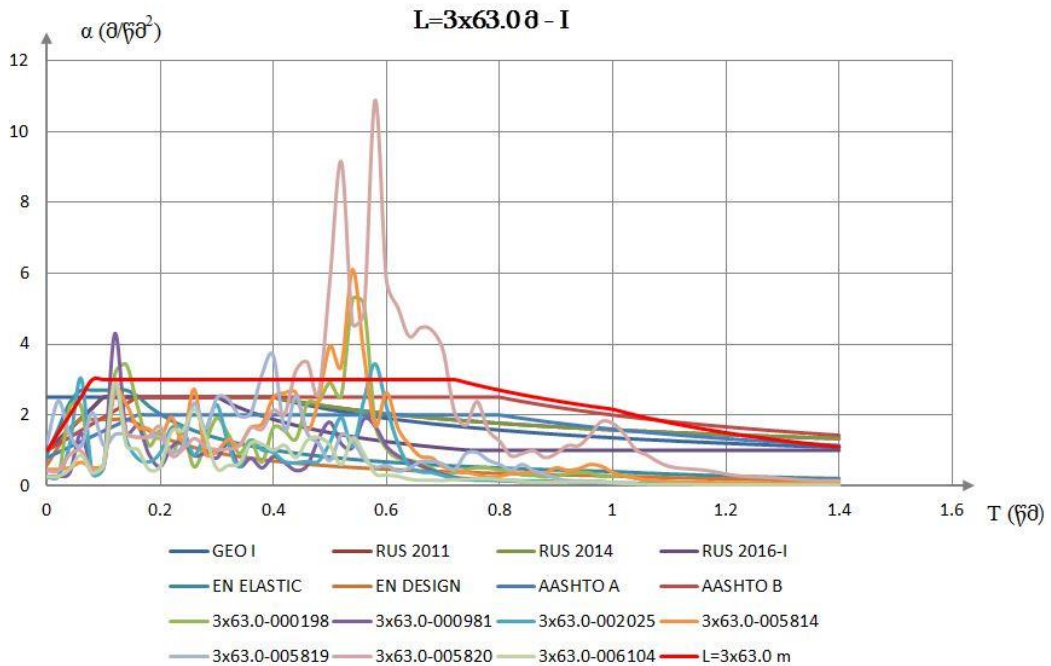


ნახ. 84. $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის

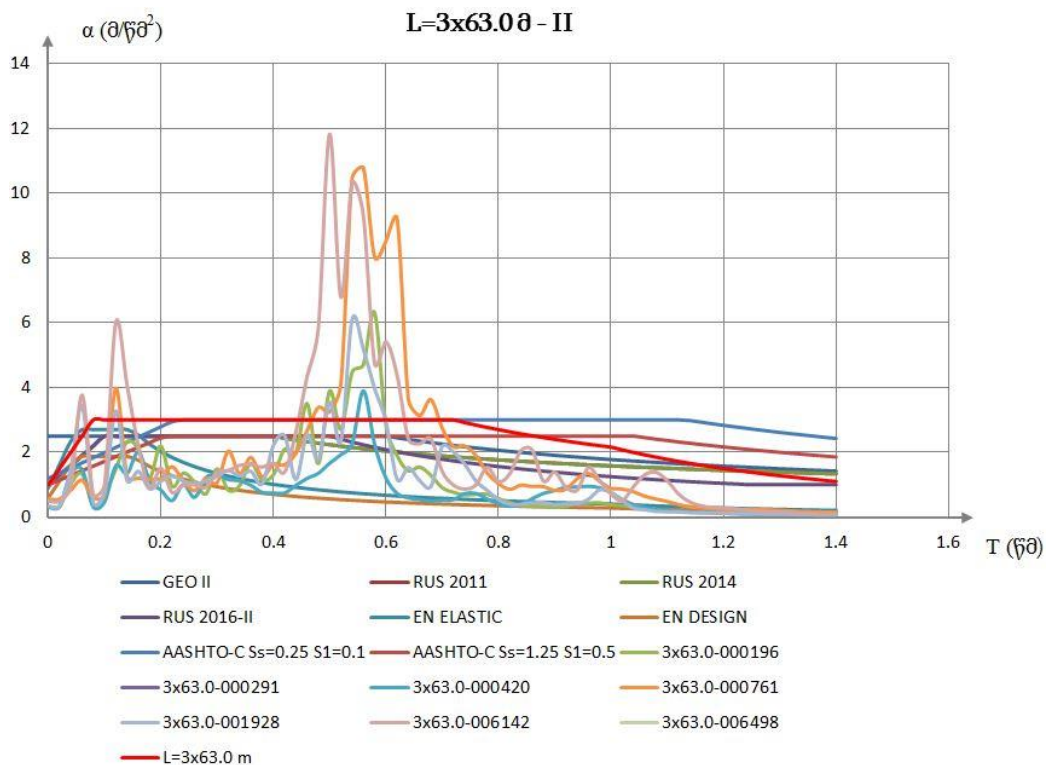


ნახ. 85. $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის

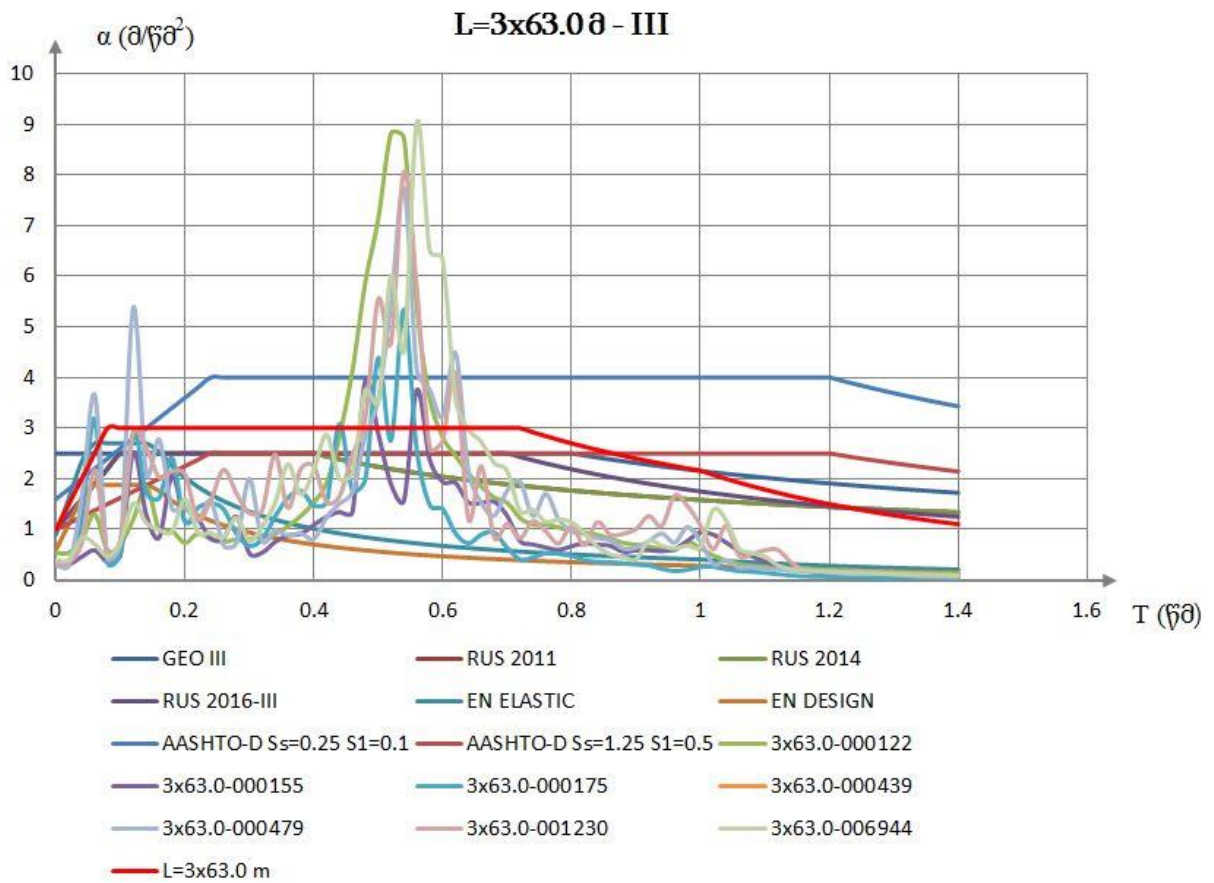
ანალოგიურად დანარჩენი $L=3 \times 63.0$ მ სქემის და $L=63.0+2 \times 84.0+63.0$ მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენებისათვის და თითოეული გრუნტის კატეგორიისათვის შეირჩა შვიდი აქსელეროგრამა. მათი ზემოქმედების შედეგად მიღებული სპექტრები და მათი დამუშავებით აგებული მალის ნაშენისათვის მიღებული სპექტრი მოცემულია ნახ. 86 ÷ 91-ზე [65].



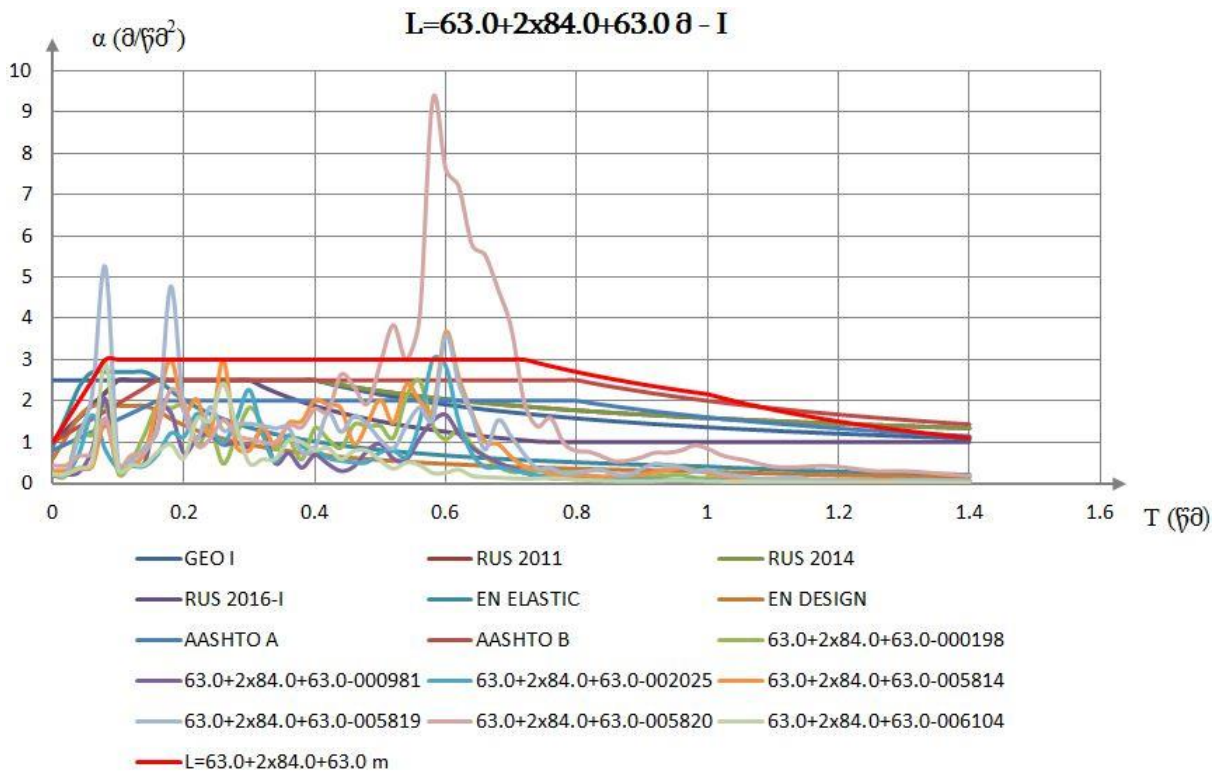
ნახ. 86. $L=3 \times 63.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის



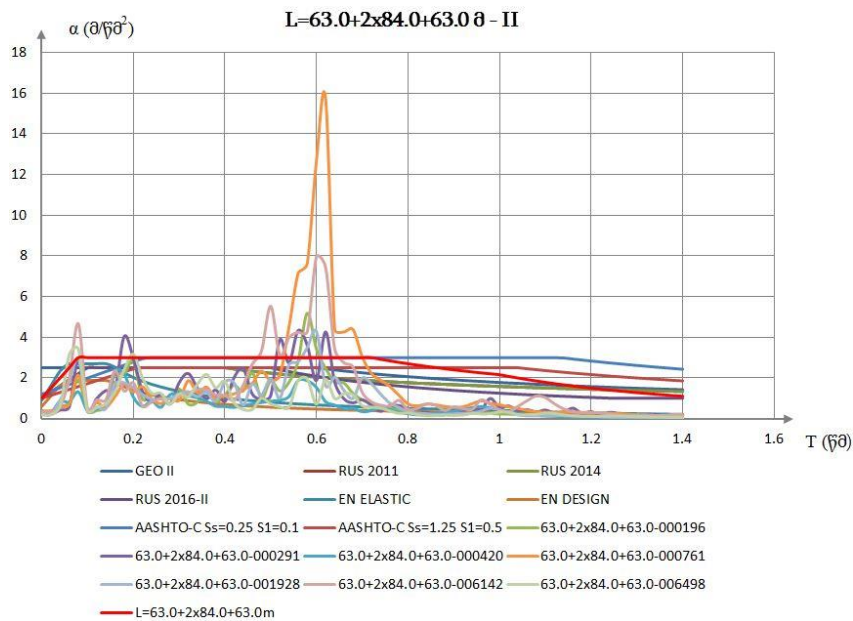
ნახ. 87. $L=3 \times 63.0$ მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის



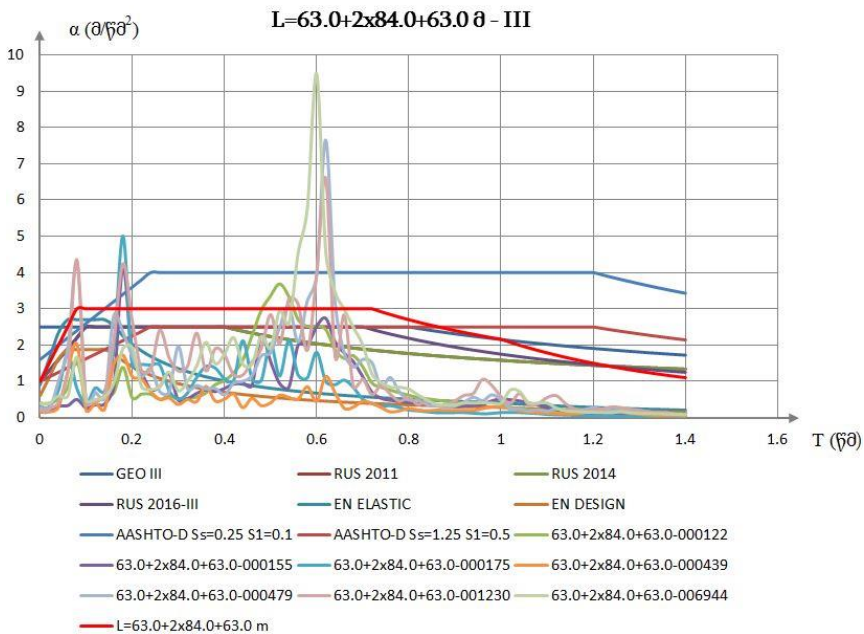
ნახ. 88. L=3x63.0 მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის



ნახ. 89. L=63.0+2x84.0+63.0 მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის



ნახ. 90. L=63.0+2x84.0+63.0 მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები II კატეგორიის გრუნტებისათვის



ნახ. 91. L=63.0+2x84.0+63.0 მ სქემის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები III კატეგორიის გრუნტებისათვის

კვლევაში განხილული ფოლადრკინაბეტონის სამივე სახის მალის ნაშენისათვის სხვადასხვა კატეგორიის გრუნტებისათვის კვლევით მიღებული სპექტრებით და ასევე სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტის (GEO, CHиП, EN და AASHTO) მიხედვით მოხდა მალის ნაშენების გაანგარიშება, მათი შედარება და შედეგების ანალიზი.

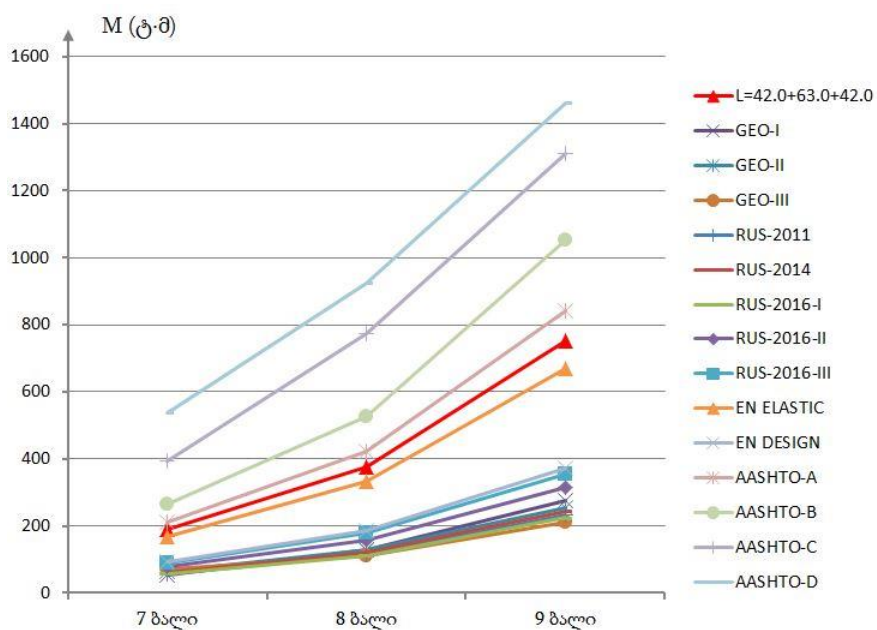
უჭრი სისტემის ფოლადრკინაბეტონის სამივე სქემის მალის ნაშენებისათვის გრუნტის სამივე კატეგორიისათვის სხვადასხვა ბალების შემთხვევაში გაანგარიშებულ იქნა და სეისმური ძალებების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 22 ÷ 24.

L=42.0+63.0+42.0 მ ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენი								
№	დასახელება	სტატ.	7 ბალი		8 ბალი		9 ბალი	
		M, ტ•მ	M, ტ•მ	%	M, ტ•მ	%	M, ტ•მ	%
1	L=42.0+63.0+42.0	1488.79	188.39	12.7	376.77	25.3	753.54	50.6
2	GEO-I		53.23	3.6	127.75	8.6	276.79	18.6
3	GEO-II		63.71	4.3	127.43	8.6	254.85	17.1
4	GEO-III		70.31	4.7	112.5	7.6	210.94	14.2
5	RUS-2011		57.87	3.9	115.75	7.8	231.49	15.5
6	RUS-2014		61.18	4.1	122.36	8.2	244.72	16.4
7	RUS-2016-I		55.93	3.8	111.85	7.5	223.71	15.0
8	RUS-2016-II		78.39	5.3	156.79	10.5	313.57	21.1
9	RUS-2016-III		88.87	6.0	177.74	11.9	355.49	23.9
10	EN ELASTIC		167.23	11.2	334.47	22.5	668.93	44.9
11	EN DESIGN		92.91	6.2	185.82	12.5	371.63	25.0
12	AASHTO-A		210.8	14.2	421.61	28.3	843.22	56.6
13	AASHTO-B		263.51	17.7	527.01	35.4	1054.02	70.8
14	AASHTO-C		395.16	26.5	774.34	52.0	1311.8	88.1
15	AASHTO-D		537.96	36.1	924.78	62.1	1462.64	98.2

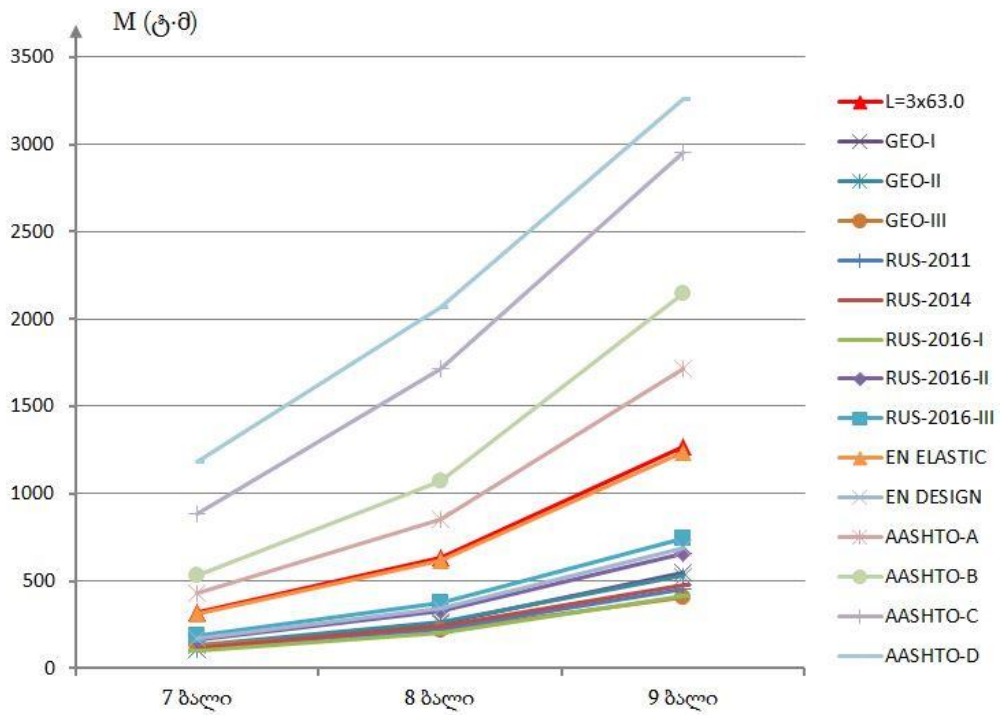
L=3x63.0 მ ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენი								
№	დასახელება	სტატ.	7 ბალი		8 ბალი		9 ბალი	
		M, ტ•მ	M, ტ•მ	%	M, ტ•მ	%	M, ტ•მ	%
1	L=3x63.0	2552.39	317.21	12.4	634.63	24.9	1271.65	49.8
2	GEO-I		105.94	4.2	254.57	10.0	551.82	21.6
3	GEO-II		131.96	5.2	264.13	10.3	528.49	20.7
4	GEO-III		136.08	5.3	217.86	8.5	408.69	16.0
5	RUS-2011		113.23	4.4	226.68	8.9	453.59	17.8
6	RUS-2014		119.71	4.7	239.65	9.4	479.52	18.8
7	RUS-2016-I		102.84	4.0	205.9	8.1	412.02	16.1
8	RUS-2016-II		165.12	6.5	330.47	12.9	661.39	25.9
9	RUS-2016-III		186.53	7.3	373.27	14.6	746.85	29.3
10	EN ELASTIC		309.47	12.1	619.16	24.3	1238.54	48.5
11	EN DESIGN		171.86	6.7	343.88	13.5	687.98	27.0
12	AASHTO-A		427.29	16.7	855.86	33.5	1715.01	67.2
13	AASHTO-B		534.16	20.9	1070.65	41.9	2144.59	84.0
14	AASHTO-C		884.32	34.6	1712.26	67.1	2952.4	115.7
15	AASHTO-D		1186.46	46.5	2069.35	81.1	3259.03	127.7

L=63.0+2x84.0+63.0 მ ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენი								
№	დასახელება	სტატ.	7 ბალი		8 ბალი		9 ბალი	
		M, ტ•მ	M, ტ•მ	%	M, ტ•მ	%	M, ტ•მ	%
1	L=63.0+2x84.0+63	2027.81	340.8	16.8	760.96	37.5	1601.41	79.0
2	GEO-I		97.72	4.8	239.67	11.8	611.12	30.1
3	GEO-II		126.86	6.3	268.7	13.3	616.24	30.4
4	GEO-III		128.98	6.4	206.37	10.2	447.39	22.1
5	RUS-2011		104.77	5.2	209.54	10.3	490.27	24.2
6	RUS-2014		110.76	5.5	222.15	11.0	522.83	25.8
7	RUS-2016-I		93.35	4.6	186.7	9.2	413.35	20.4
8	RUS-2016-II		149.15	7.4	329.25	16.2	737.77	36.4
9	RUS-2016-III		180.83	8.9	416.37	20.5	912.23	45.0
10	EN ELASTIC		310.68	15.3	674.42	33.3	1428.33	70.4
11	EN DESIGN		172.6	8.5	345.19	17.0	758.19	37.4
12	AASHTO-A		448.33	22.1	976.16	48.1	2031.8	100.2
13	AASHTO-B		580.29	28.6	1240.07	61.2	2559.62	126.2
14	AASHTO-C		1041.32	51.4	2030.47	100.1	3612.76	178.2
15	AASHTO-D		1502.71	74.1	2557.68	126.1	4139.89	204.2

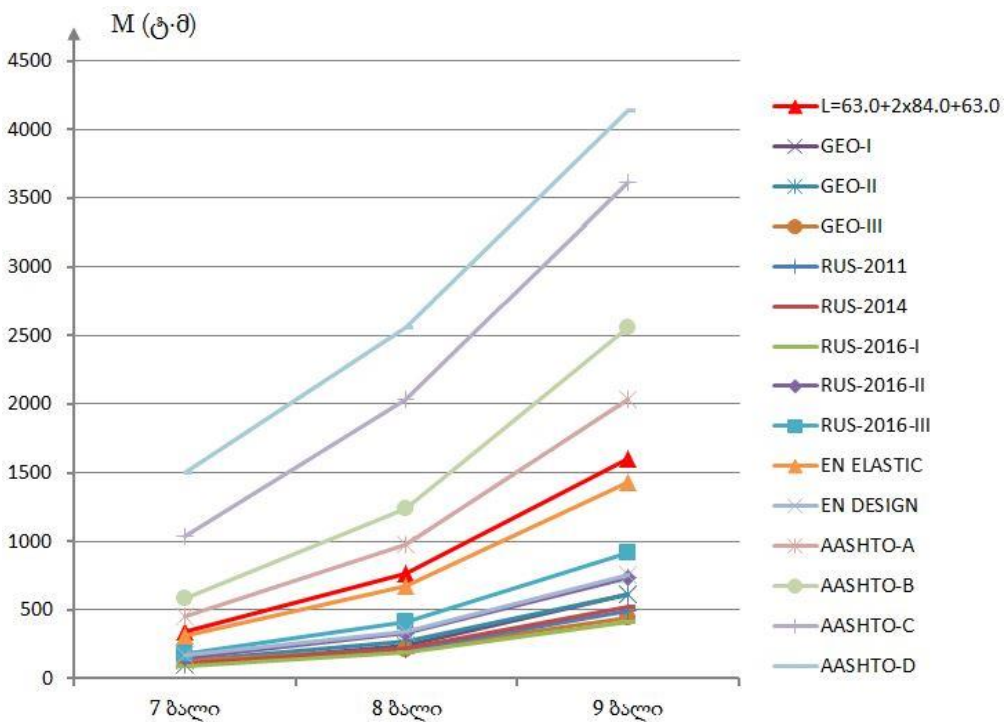
სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტის (GEO, CHИП, EN და AASHTO) მიხედვით და ასევე ჩვენს მიერ დადგენილი ახალი სპექტრების გათვალისწინებით აიგო გრაფიკები კვლევაში განხილული უჭრი სისტემის სამივე ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენებისათვის, რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 92 ÷ 94-ზე.



ნახ. 92. სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და კვლევით მიღებული სპექტრების მიხედვით L=42.0+63.0+42.0 მ სქემის მალის ნაშენის ძალებების მნიშვნელობები



ნახ. 93. სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და კვლევით მიღებული სპექტრების მიხედვით $L=3 \times 63.0$ მ სქემის მალის ნაშენის ძაღვების მნიშვნელობები



ნახ. 94. სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და კვლევით მიღებული სპექტრების მიხედვით $L=63.0+2 \times 84.0+63.0$ მ სქემის მალის ნაშენის ძაღვების მნიშვნელობები

კვლევებმა აჩვენა, რომ უჭრი სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენების საკუთარი რხევის პირველი სამი ფორმის პერიოდების გათვალისწინებით შერჩეული აქსელეროგრამების საფუძველზე მიღებული ვერტიკალური რეაქციის სპექტრით განსაზღვრული ძაღვების სიდიდეები

მნიშვნელოვნად აღემატება GEO და CHиП ნორმატიულ დოკუმენტებში მოცემული სპექტრებით მიღებულ ძაღვებს და ასევე აღემატება EN ნორმატიულ დოკუმენტში მოცემული სპექტრით მიღებულ ძაღვის სიდიდეს.

სხვადასხვა ნორმატიულ დოკუმენტებში (GEO, CHиП და AASHTO) მოცემული ვერტიკალური სპექტრები ითვალისწინებენ გრუნტის სხვადასხვა კატეგორიებს და ისინი მიღებულია ჰორიზონტალური სპექტრის გარდაქმნით. მხოლოდ EN ნორმატიულ დოკუმენტში არის მოცემული ვერტიკალური სპექტრი გრუნტის კატეგორიაზე დამოუკიდებლად, რაც ჩვენმა კვლევებმაც დაადასტურა – გრუნტის სხვადასხვა კატეგორიების მიუხედავად მიწისძვრის აქსელეროგრამების რეაქციის სპექტრების საფუძველზე მიღებული ახალი სპექტრის დიაპაზონი უცვლელია, ამიტომ შესაძლებელია ყველა კატეგორიის გრუნტისათვის ერთი ვერტიკალური რეაქციის სპექტრით სარგებლობა.

სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტებით (GEO, CHиП და AASHTO) გათვალისწინებულია გრუნტის კატეგორიის კოეფიციენტები, ხოლო EN ნორმატიულ დოკუმენტებში გრუნტის კოეფიციენტები უგულებელყოფილია.

EN ნორმატიულ დოკუმენტების მიხედვით ვერტიკალური სპექტრები (განსხვავებით ჰორიზონტალური სპექტრებისა) გრუნტის კატეგორიაზე არ არის დამოკიდებული, შესაბამისად, ყველა კატეგორიისთვის $S=1.0$, რადგან ვერტიკალური მიმართულებით სიხისტეები დიდია. სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტის (GEO, CHиП და AASHTO) მიხედვით ვერტიკალური სპექტრი მიიღება ჰორიზონტალური სპექტრის გარდაქმნით და შესაბამისად ამ ნორმატივების მიხედვით ვერტიკალური სპექტრის მიღებისას გრუნტის კატეგორიის კოეფიციენტი გათვალისწინებულია. ამიტომ ამ ნორმატივის ეროვნული დანართის დამუშავებისას ეს გარემოება მხედველობაშია მისაღები.

კვლევებმა აჩვენეს, რომ EN ნორმატიულ დოკუმენტში მოცემული ვერტიკალური სპექტრები ძირითადად გამოსადეგია რკინაბეტონის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენებისათვის, რომლებსაც გააჩნიათ 0.3 წმ-ზე ნაკლები სიდიდის საკუთარი რხევის პერიოდები, ხოლო ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენებისათვის კი, რომლებსაც გააჩნიათ 0.58 წმ-ზე მეტი სიდიდის საკუთარი პერიოდები, იგი არ ასახავს რეალობას.

ასევე აღსანიშნავია, რომ EN-ის ნორმატიულ დოკუმენტებში ვერტიკალური სპექტრი მოცემულია ვიწრო პერიოდიანი სპექტრის სახით. ჩვენს მიერ შესრულებული კვლევები აჩვენებს, რომ დიდი პერიოდიანი მალის ნაშენებისათვის იგი იძლევა მცირე სიდიდის ძალებს, ვიდრე კვლევაში მიღებული დიდ პერიოდიანი სპექტრები.

2.3. მალის ნაშენების სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტების განსაზღვრა

მალის ნაშენების სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტები განისაზღვრა თითოეული კატეგორიის გრუნტის შესაბამისი მიწისძვრის აქსელეროგრამების მიხედვით. ცხრილში 25 მოცემულია სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტები წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის მალის ნაშენებისათვის, ცხრილში 26 მოცემულია სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტები ჭრილკოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენებისათვის და ცხრილში 27 კი – სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტები უჭრკოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენებისათვის.

ცხრილი 25

სეისმომედეგობის დინამიკური კოეფიციენტები მნიშვნელობა წინასწარდაძაბული მალის ნაშენებისათვის				
№	მალის ნაშენი	I კატეგორია	II კატეგორია	III კატეგორია
1	2	3	4	5
1	L=15.0 მ I აქსელეროგრამა	4.18	4.3	2.69
	L=15.0 მ II აქსელეროგრამა	3.02	4.43	2.2
	L=15.0 მ III აქსელეროგრამა	1.72	2.89	1.68
	L=15.0 მ IV აქსელეროგრამა	3.57	1.29	5.23
	L=15.0 მ V აქსელეროგრამა	5.51	2.81	5.44
	L=15.0 მ VI აქსელეროგრამა	2.47	3.84	4.41
	L=15.0 მ VII აქსელეროგრამა	1.8	3.64	2.36
2	L=18.0 მ I აქსელეროგრამა	4.91	5.36	2.11
	L=18.0 მ II აქსელეროგრამა	3.66	3.49	2.4
	L=18.0 მ III აქსელეროგრამა	1.69	3.51	1.85
	L=18.0 მ IV აქსელეროგრამა	4.13	1.56	6.37
	L=18.0 მ V აქსელეროგრამა	4.29	3.15	6.52
	L=18.0 მ VI აქსელეროგრამა	2.82	4.53	5.28
	L=18.0 მ VII აქსელეროგრამა	1.88	2.87	2.84

ცხრილი 25 (გაგრძელება)

3	L=21.0 მ I აქსელეროგრამა	3.8	3.39	2.32
	L=21.0 მ II აქსელეროგრამა	2.5	3.49	4.71
	L=21.0 მ III აქსელეროგრამა	3.13	1.36	2.03
	L=21.0 მ IV აქსელეროგრამა	3.96	3.61	3.63
	L=21.0 მ V აქსელეროგრამა	2.03	2.68	3.9
	L=21.0 მ VI აქსელეროგრამა	3.35	3.13	2.83
	L=21.0 მ VII აქსელეროგრამა	2.78	4.91	2.76
4	L=24.0 მ I აქსელეროგრამა	3.98	3.11	0.93
	L=24.0 მ II აქსელეროგრამა	2.33	4.42	4.37
	L=24.0 მ III აქსელეროგრამა	2.67	2.7	2.3
	L=24.0 მ IV აქსელეროგრამა	3.83	2.53	2.93
	L=24.0 მ V აქსელეროგრამა	3.9	2.56	5.71
	L=24.0 მ VI აქსელეროგრამა	3.63	2.3	5.89
	L=24.0 მ VII აქსელეროგრამა	3.13	2.74	2.43
5	L=33.0 მ I აქსელეროგრამა	4.68	3.08	1.74
	L=33.0 მ II აქსელეროგრამა	3.21	4.3	2.16
	L=33.0 მ III აქსელეროგრამა	3.59	2.61	2.75
	L=33.0 მ IV აქსელეროგრამა	3.76	1.79	2.29
	L=33.0 მ V აქსელეროგრამა	2.92	4.05	3.59
	L=33.0 მ VI აქსელეროგრამა	2.41	3.25	5.65
	L=33.0 მ VII აქსელეროგრამა	4.49	4.91	2.47

ცხრილი 26

სეისმოზედგობის დინამიკური კოეფიციენტები მნიშვნელობა კრილი სისტემის ფოლადრკინაბეტონისათვის				
№	მაღის ნაშენი	I კატეგორია	II კატეგორია	III კატეგორია
1	2	3	4	5
1	L=42.0 მ I აქსელეროგრამა	3.11	3.48	1.38
	L=42.0 მ II აქსელეროგრამა	2.69	4.27	1.8
	L=42.0 მ III აქსელეროგრამა	3.89	2.24	2.27
	L=42.0 მ IV აქსელეროგრამა	2.57	3.07	1.68
	L=42.0 მ V აქსელეროგრამა	3.76	2.7	3.97
	L=42.0 მ VI აქსელეროგრამა	3.47	3.13	3.72
	L=42.0 მ VII აქსელეროგრამა	1.09	3.44	2.6
2	L=63.0 მ I აქსელეროგრამა	2.37	1.68	1.89
	L=63.0 მ II აქსელეროგრამა	2	4.21	2.05
	L=63.0 მ III აქსელეროგრამა	1.71	2.03	1.63
	L=63.0 მ IV აქსელეროგრამა	1.77	2.11	2.26
	L=63.0 მ V აქსელეროგრამა	3.59	2.25	3.89
	L=63.0 მ VI აქსელეროგრამა	2.32	4.36	3.19
	L=63.0 მ VII აქსელეროგრამა	1.82	2.32	2.3

სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტები მნიშვნელობა უჭრი სისტემის ფოლადკინაბეტონისათვის				
№	მაღის ნაშენი	I კატეგორია	II კატეგორია	III კატეგორია
1	2	3	4	5
1	L=42.0+63.0+42.0 მ I აქსელეროგრამა	2.04	3.38	1.73
	L=42.0+63.0+42.0 მ II აქსელეროგრამა	2.1	3.67	3.68
	L=42.0+63.0+42.0 მ III აქსელეროგრამა	0.95	1.26	1.78
	L=42.0+63.0+42.0 მ IV აქსელეროგრამა	1.7	1.53	1.99
	L=42.0+63.0+42.0 მ V აქსელეროგრამა	3.26	2.53	3.06
	L=42.0+63.0+42.0 მ VI აქსელეროგრამა	1.66	2.62	3.09
	L=42.0+63.0+42.0 მ VII აქსელეროგრამა	1.66	2.25	1.77
2	L=3x63.0 მ I აქსელეროგრამა	4.79	3.42	2.91
	L=3x63.0 მ II აქსელეროგრამა	2.86	7.06	2.57
	L=3x63.0 მ III აქსელეროგრამა	3.63	3.44	4.58
	L=3x63.0 მ IV აქსელეროგრამა	3.34	3.16	2.31
	L=3x63.0 მ V აქსელეროგრამა	4.6	3.54	5.77
	L=3x63.0 მ VI აქსელეროგრამა	3.37	4.22	5.87
	L=3x63.0 მ VII აქსელეროგრამა	1.77	4.48	3.62
3	L=63.0+2x84.0+63.0 მ I აქსელეროგრამა	2.57	2.81	1.16
	L=63.0+2x84.0+63.0 მ II აქსელეროგრამა	2.7	3.4	2.29
	L=63.0+2x84.0+63.0 მ III აქსელეროგრამა	3.16	1.85	2.75
	L=63.0+2x84.0+63.0 მ IV აქსელეროგრამა	3.03	4.68	1.89
	L=63.0+2x84.0+63.0 მ V აქსელეროგრამა	4.63	3.08	6.1
	L=63.0+2x84.0+63.0 მ VI აქსელეროგრამა	2.88	3.89	5.46
	L=63.0+2x84.0+63.0 მ VII აქსელეროგრამა	1.42	2.88	3.21

ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენეს, რომ განხილული მალის ნაშენებისათვის სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების სიდიდის საშუალო მაჩვენებელია $\beta=3.03$ და შესაბამისად ვერტიკალური რეაქციის სპექტრის სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტის სიდიდე უნდა მივიჩნიოთ $\beta=3.0$ ტოლად.

EN-ის ეროვნული დანართისათვის სეისმური ზემოქმედების ვერტიკალური კომპონენტი წარმოდგენილია დრეკადი რეაქციის $S_{ve}(T)$ სპექტრით, რომელიც მიღებულია შემდეგი გამოსახულებების გამოყენებით:

$$0 \leq T \leq T_B : S_{ve}(T) = \alpha_{vg} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3.0 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_{ve}(T) = \alpha_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_{ve}(T) = \alpha_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4 \text{ წმ} : S_{ve}(T) = \alpha_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right]$$

სადაც: $S_{ve}(T)$ - ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრია;

T - წრფივი, ერთი თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემის თავისუფალი რხევის პერიოდი;

α_g - გრუნტის საანგარიშო აჩქარება;

T_B - სპექტრული აჩქარების პერიოდის მუდმივი სიდიდის ქვედა ზღვარია;

T_C - სპექტრული აჩქარების პერიოდის მუდმივი სიდიდის ზედა ზღვარია;

T_D - მნიშვნელობაა, რომლითაც განისაზღვრება სპექტრის მუდმივი გადაადგილების რეაქციის საზღვრის დასაწყისი;

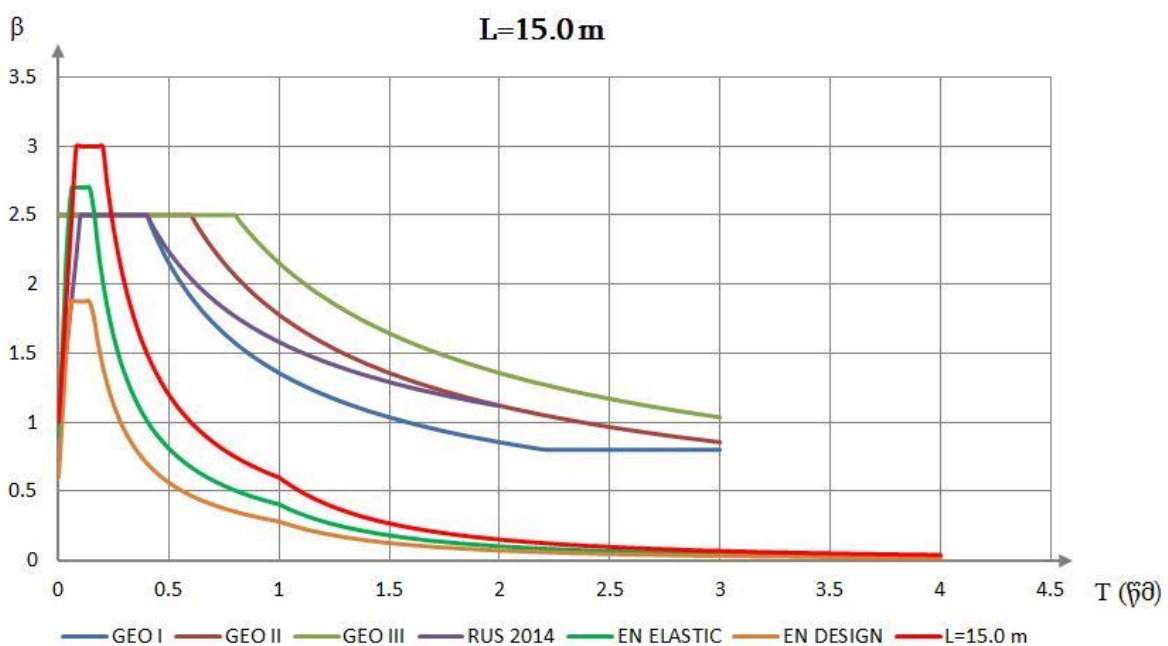
η - მილევის კორექციის კოეფიციენტი.

ჩატარებული კვლევებიდან გამოდინარე დადგენილ იქნა ზემოთ მოცემული გამოსახულებებში მოცემული სიდიდის მნიშვნელობები კონკრეტული ხიდების მალის ნაშენების ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრის მრუდების აგებისათვის, რომელიც მოცემულია ცხრილში 28.

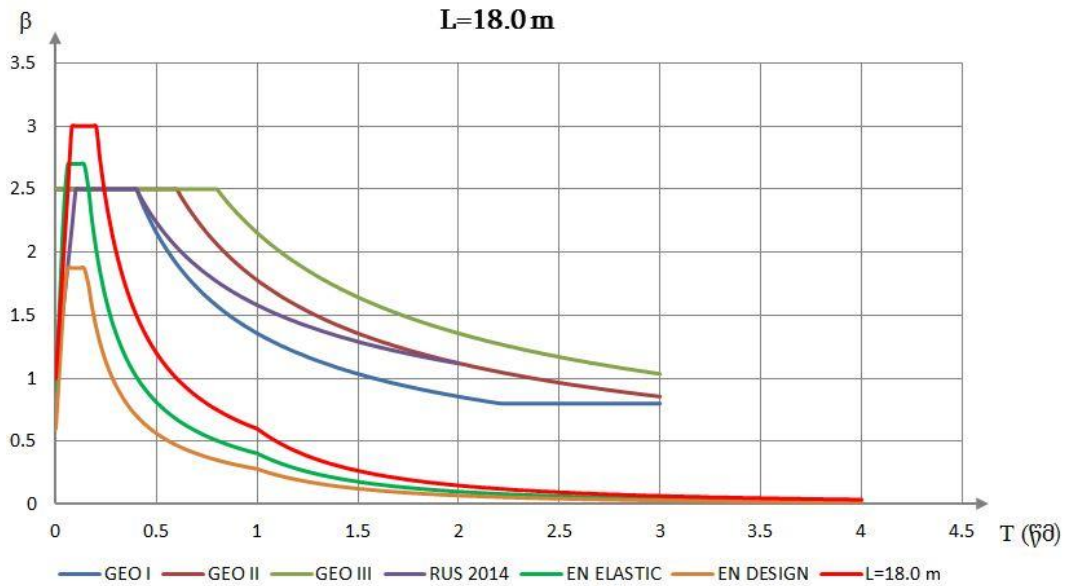
ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრის პარამეტრების მნიშვნელობები

№	მალის ნაშენი	α_{vg}	T_B (წმ)	T_C (წმ)	T_D (წმ)
1	2	3	4	5	6
1	L=15.0 მ	1.0	0.08	0.2	1.0
2	L=18.0 მ	1.0	0.08	0.2	1.0
3	L=21.0 მ	1.0	0.08	0.28	1.0
4	L=24.0 მ	1.0	0.08	0.34	1.0
5	L=33.0 მ	1.0	0.08	0.46	1.0
6	L=42.6 მ	1.0	0.08	0.7	1.0
7	L=63.6 მ	1.0	0.08	0.9	1.0
8	L=42.0+63.0+42.0 მ	1.0	0.08	1.1	1.1
9	L=3x63.0 მ	1.0	0.08	0.72	1.0
10	L=63.0+2x84.0+63.0 მ	1.0	0.08	0.72	1.0

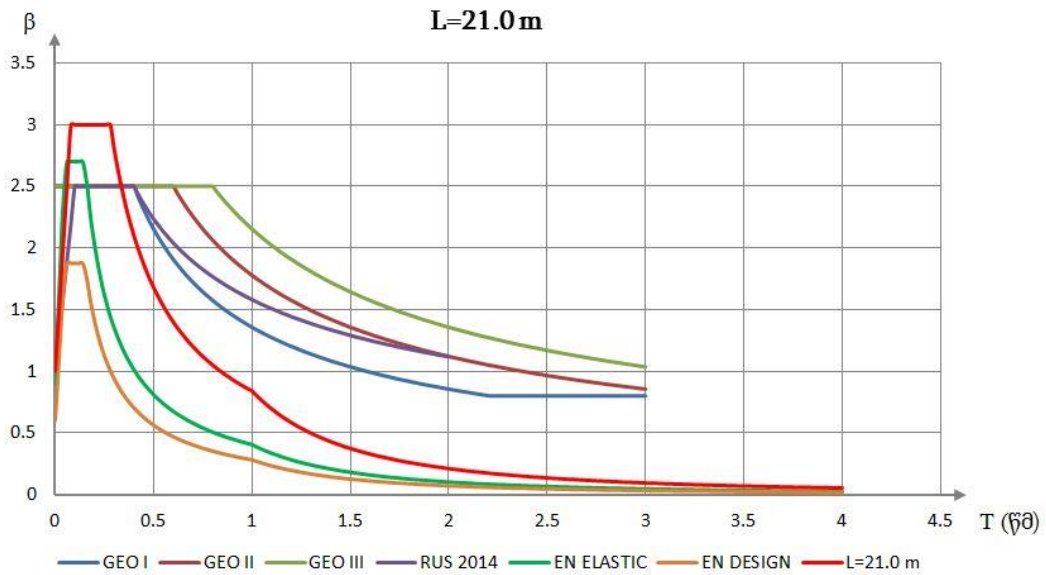
ნახ. 95 ÷ 104 მოცემულია კვლევაში განხილული მალის ნაშენებისათვის მიღებული ვერტიკალური რეაქციის სპექტრები და ასევე სხვადასხვა ნორმატიულ დოკუმენტებში (GEO, СНиП და EN) მოცემული ვერტიკალური სპექტრები გრუნტის სხვადასხვა კატეგორიებისათვის.



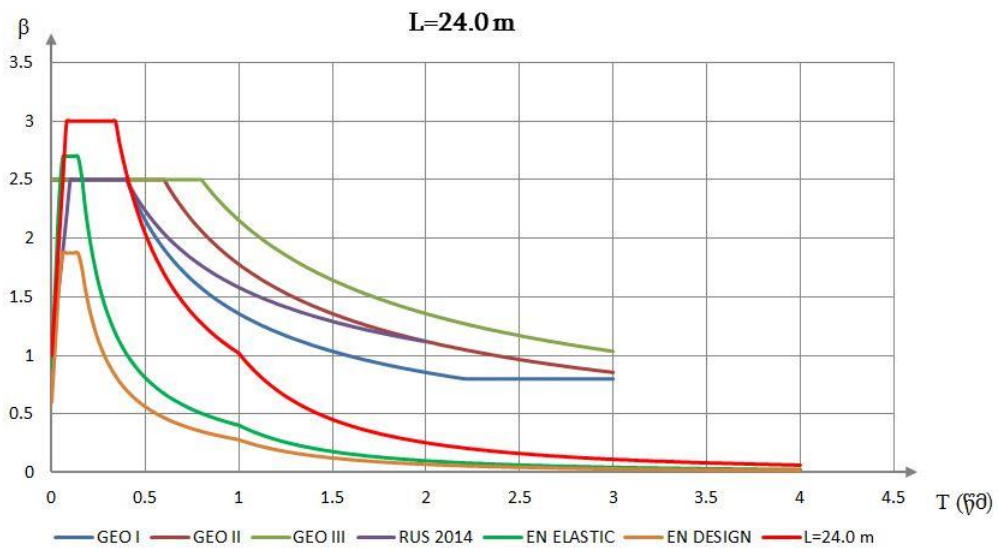
ნახ. 95. L=15.0 მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები



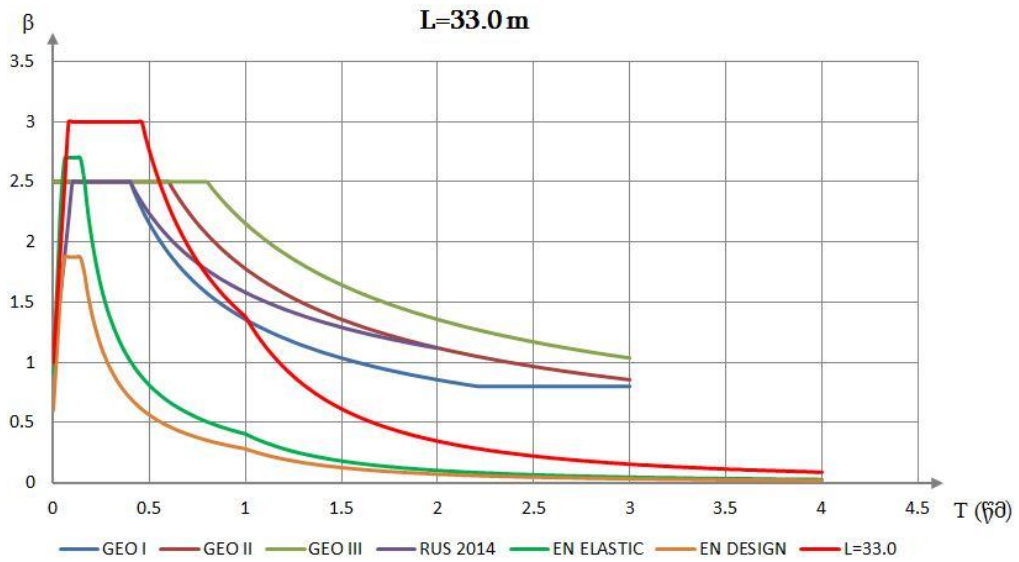
ნახ. 96. L=18.0 მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები



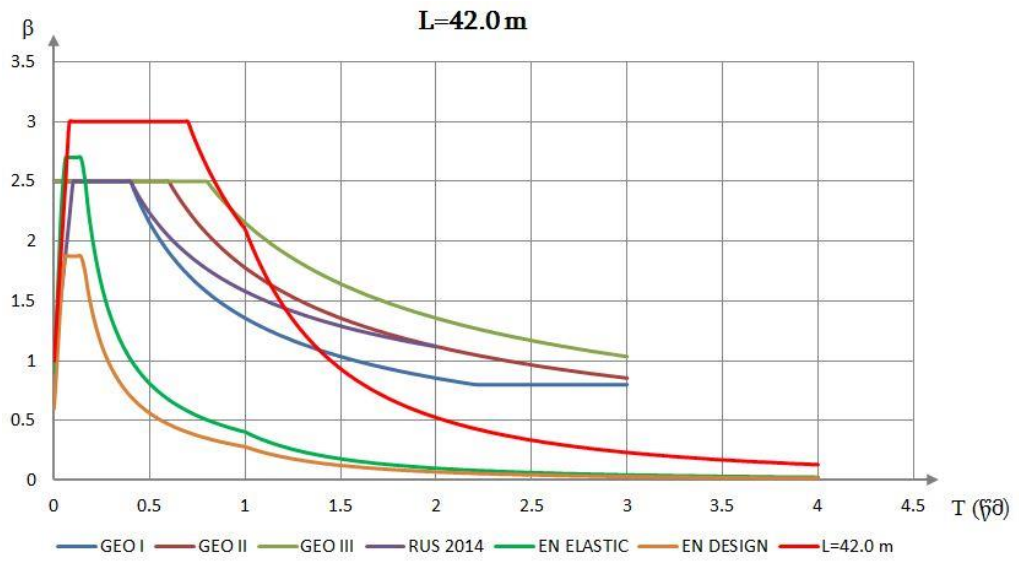
ნახ. 97. L=21.0 მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები



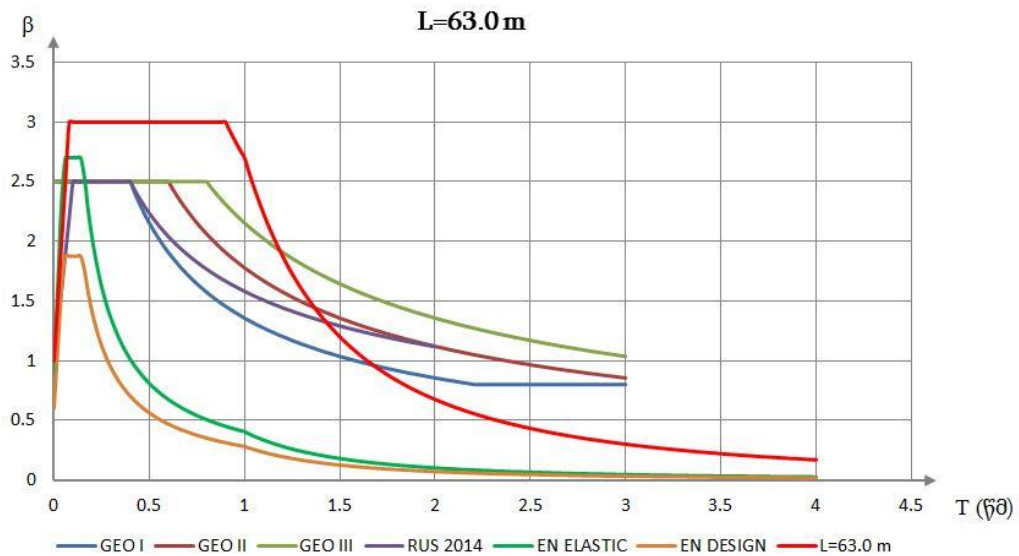
ნახ. 98. L=24.0 მ სიგრძის წინასწარ დაძაბული მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები



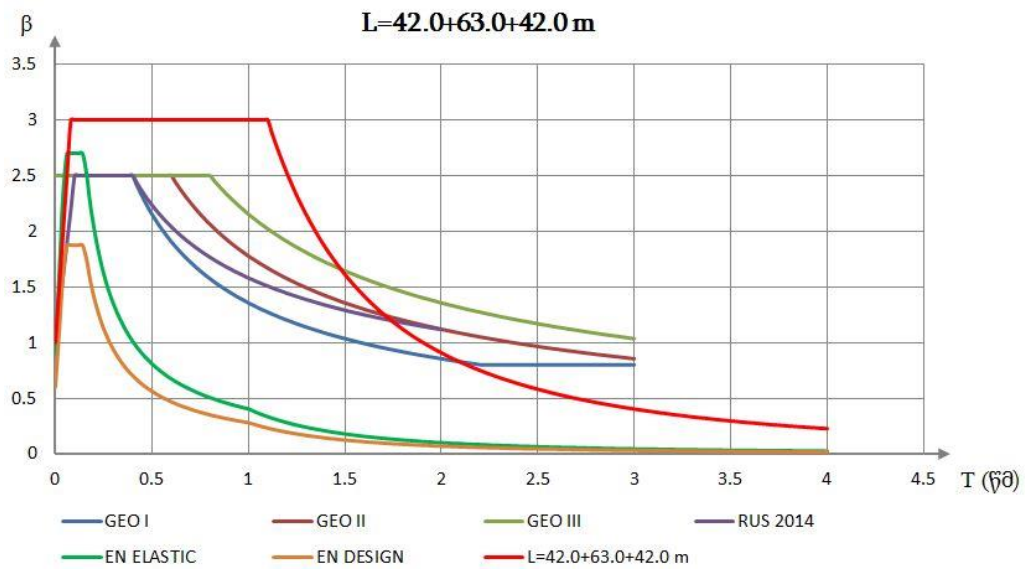
ნახ. 99. L=33.0 მ სიგრძის წინასწარ დამაბული მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები



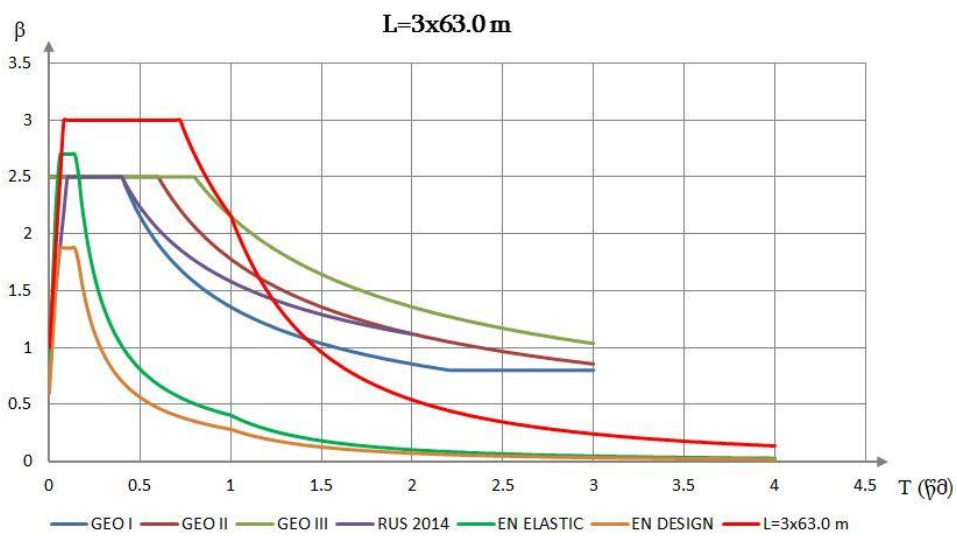
ნახ. 100. L=42.6 მ სიგრძის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები



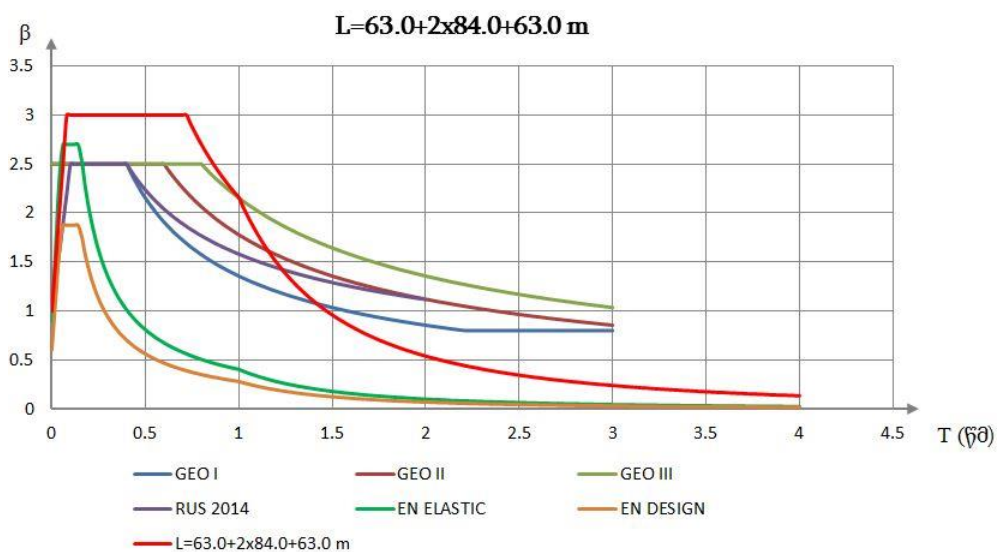
ნახ. 101. L=63.6 მ სიგრძის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები



ნახ. 102. $L=42.0+63.0+42.0$ მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები



ნახ. 103. $L=3 \times 63.0$ მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები



ნახ. 104. $L=63.0+2 \times 84.0+63.0$ მ სქემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები

ვერტიკალური დრეკადი რეაქციის სპექტრის მრუდის აგების ფუნქცია

<p>L=15.0 მ სიგრძის მალის ნაშენი</p> <p>$0 \leq T \leq 0.08: S_{ve}(T) = 1 \cdot \left[1 + \frac{T}{0.08} \cdot (1.0 \cdot 3.0 - 1) \right]$</p> <p>$0.08 \leq T \leq 0.2: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0$</p> <p>$0.2 \leq T \leq 1: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.2}{T} \right]$</p> <p>$1.0 \leq T \leq 4 \text{ წმ}: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.2 \cdot 1.0}{T^2} \right]$</p>	<p>L=18.0 მ სიგრძის მალის ნაშენი</p> <p>$0 \leq T \leq 0.08: S_{ve}(T) = 1 \cdot \left[1 + \frac{T}{0.08} \cdot (1.0 \cdot 3.0 - 1) \right]$</p> <p>$0.08 \leq T \leq 0.2: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0$</p> <p>$0.2 \leq T \leq 1: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.2}{T} \right]$</p> <p>$1.0 \leq T \leq 4 \text{ წმ}: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.2 \cdot 1.0}{T^2} \right]$</p>
<p>L=21.0 მ სიგრძის მალის ნაშენი</p> <p>$0 \leq T \leq 0.08: S_{ve}(T) = 1 \cdot \left[1 + \frac{T}{0.08} \cdot (1.0 \cdot 3.0 - 1) \right]$</p> <p>$0.08 \leq T \leq 0.28: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0$</p> <p>$0.28 \leq T \leq 1: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.28}{T} \right]$</p> <p>$1.0 \leq T \leq 4 \text{ წმ}: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.28 \cdot 1.0}{T^2} \right]$</p>	<p>L=24.0 მ სიგრძის მალის ნაშენი</p> <p>$0 \leq T \leq 0.08: S_{ve}(T) = 1 \cdot \left[1 + \frac{T}{0.08} \cdot (1.0 \cdot 3.0 - 1) \right]$</p> <p>$0.08 \leq T \leq 0.34: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0$</p> <p>$0.34 \leq T \leq 1: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.34}{T} \right]$</p> <p>$1.0 \leq T \leq 4 \text{ წმ}: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.34 \cdot 1.0}{T^2} \right]$</p>
<p>L=33.0 მ სიგრძის მალის ნაშენი</p> <p>$0 \leq T \leq 0.08: S_{ve}(T) = 1 \cdot \left[1 + \frac{T}{0.08} \cdot (1.0 \cdot 3.0 - 1) \right]$</p> <p>$0.08 \leq T \leq 0.46: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0$</p> <p>$0.46 \leq T \leq 1: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.46}{T} \right]$</p> <p>$1.0 \leq T \leq 4 \text{ წმ}: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.46 \cdot 1.0}{T^2} \right]$</p>	<p>L=42.0 მ სიგრძის მალის ნაშენი</p> <p>$0 \leq T \leq 0.08: S_{ve}(T) = 1 \cdot \left[1 + \frac{T}{0.08} \cdot (1.0 \cdot 3.0 - 1) \right]$</p> <p>$0.08 \leq T \leq 0.7: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0$</p> <p>$0.7 \leq T \leq 1: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.7}{T} \right]$</p> <p>$1.0 \leq T \leq 4 \text{ წმ}: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.7 \cdot 1.0}{T^2} \right]$</p>
<p>L=63.0 მ სიგრძის მალის ნაშენი</p> <p>$0 \leq T \leq 0.08: S_{ve}(T) = 1 \cdot \left[1 + \frac{T}{0.08} \cdot (1.0 \cdot 3.0 - 1) \right]$</p> <p>$0.08 \leq T \leq 0.9: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0$</p> <p>$0.9 \leq T \leq 1: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.9}{T} \right]$</p> <p>$1.0 \leq T \leq 4 \text{ წმ}: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.9 \cdot 1.0}{T^2} \right]$</p>	<p>L=42.0+63.0+42.0 მ სქემის მალის ნაშენი</p> <p>$0 \leq T \leq 0.08: S_{ve}(T) = 1 \cdot \left[1 + \frac{T}{0.08} \cdot (1.0 \cdot 3.0 - 1) \right]$</p> <p>$0.08 \leq T \leq 1.1: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0$</p> <p>$1.1 \leq T \leq 4 \text{ წმ}: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{1.1 \cdot 1.1}{T^2} \right]$</p>
<p>L=3x63.0 მ სქემის მალის ნაშენი</p> <p>$0 \leq T \leq 0.08: S_{ve}(T) = 1 \cdot \left[1 + \frac{T}{0.08} \cdot (1.0 \cdot 3.0 - 1) \right]$</p> <p>$0.08 \leq T \leq 0.72: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0$</p> <p>$0.72 \leq T \leq 1: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.72}{T} \right]$</p> <p>$1.0 \leq T \leq 4 \text{ წმ}: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.72 \cdot 1.0}{T^2} \right]$</p>	<p>L=63.0+2x84.0x+63.0 მ სქემის მალის ნაშენი</p> <p>$0 \leq T \leq 0.08: S_{ve}(T) = 1 \cdot \left[1 + \frac{T}{0.08} \cdot (1.0 \cdot 3.0 - 1) \right]$</p> <p>$0.08 \leq T \leq 0.72: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0$</p> <p>$0.72 \leq T \leq 1: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.72}{T} \right]$</p> <p>$1.0 \leq T \leq 4 \text{ წმ}: S_{ve}(T) = 1 \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.72 \cdot 1.0}{T^2} \right]$</p>

3. დასკვნა

1. რეკომენდებულია EN-ის ნორმატიული დოკუმენტის ეროვნული დანართისათვის ხიდების მალის ნაშენების სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტების განსაზღვრის და აქსელეროგრამების შერჩევის მეთოდოლოგია;

2. ჩატარებული კვლევის შედეგად დადგენილ იქნა, რომ ხიდების მალის ნაშენებზე აქსელეროგრამების სახით ჩაწერილი სეისმური ზემოქმედების შედეგად მიღებული რეაქციის სპექტრების მრუდების გამოყენებით მალის ნაშენში მიიღება მინიმუმ ორჯერ მეტი სიდიდის ძალები, ვიდრე ძალები მიღებული რეაქციის სპექტრებით, რომლებიც არ ითვალისწინებენ საკუთარი რხევის პერიოდებს.

3. ჩატარებული კვლევის შედეგად კოჭოვანი სისტემის ხიდების მალის ნაშენებისათვის ვერტიკალური რეაქციის სპექტრის სეისმომდეგობის დინამიკური კოეფიციენტის სიდიდედ რეკომენდებულია მიღებულ იქნას $\beta=3.0$.

4. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე წინამდებარე ნაშრომში მოცემული ვერტიკალური რეაქციის სპექტრის გამოყენება რეკომენდებულია ყველა კატეგორიის გრუნტის შემთხვევაში.

5. EN-ის ნორმატიულ დოკუმენტის ეროვნული დანართისათვის რეკომენდებულია ვერტიკალური სეისმურ მდგენელზე გაანგარიშება ჩატარდეს $L=15.0$ მ და მეტი სიგრძის მალის ნაშენებისთვის.

6. წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის მალის ნაშენები სიგრძით $L=15.0 \div 24.0$ მ ექვემდებარება EN-ის ნორმატიულ დოკუმენტში მოცემულ სარეკომენდაციო რეაქციის სპექტრების გამოყენებას, ხოლო სიგრძით $L=33.0$ მ მალის ნაშენის შემთხვევაში საჭიროა ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევებით მიღებული ვერტიკალური რეაქციის სპექტრის გამოყენება.

7. კვლევებმა აჩვენა, რომ დიდ პერიოდის მალის ნაშენებისათვის აუცილებელია ფართო არეალის სპექტრების გამოყენება.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. 35 01.01.-09 სამშენებლო ნორმები და წესები - „სეისმომდეგი მშენებლობა”
2. СНиП II-A.12-69 Строительство в сейсмических районах;
3. СНиП II-7-81 Строительство в сейсмических районах;
4. СП 14.13330.2011 (СНиП II-7-81*) Строительство в сейсмических районах;
5. СП 14.13330.2014 (СНиП II-7-81*) Строительство в сейсмических районах;
6. СП 268.1325800.2016 Транспортные сооружения в сейсмических районах;
7. EN 1998-1. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Incorporating corrigendum July 2009;
8. EN 1998-2. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part2: Bridges. Incorporating corrigendum February 2010;
9. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, American Association of state Highway and Transportation Officials, SI Units 4th Edition 2007;
10. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, American Association of state Highway and Transportation Officials, Seventh Edition, 2014 U.S. Customary Units;
11. СП 35.13330.2011 (СНиП 2.05.03-84*) Мосты и трубы;
12. ДБН В.1.1-12:2006 Строительство в сейсмических районах украины;
13. *НП-031-01 Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций;*
14. *РБ-006-98 Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ, Москва 2000 г.*
15. Кендзера А. В., Семенова Ю. В. Расчетные акселерограммы для прямого динамического метода определения сейсмических нагрузок, Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина Поступила 28 мая 2019 г.
16. YASHINSKY M., KARSHENAS M. J., FUNDAMENTALS OF SEISMIC PROTECTION FOR BRIDGES, EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE 2003 year.
17. Поляков С.В. Сейсмостойкое конструкции зданий, М.,«Высшая школа»,1983 г, 303 с.
18. Завриев К.С. Сейсмостойкость, Тбилиси, «Сабчота Сакарთველო», 1973 г, 153 с.
19. ქარცივაძე გ. სეისმომდეგი მშენებლობა, თბილისი, „განათლება“, 1979 წ, 116 გვ.
20. Окамото Ш. Сейсмостойкость инженерных сооружений. М., «Стройиздат», 1980 г, 342 с.

21. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. М., «стройиздат», 1979 г, 320 с.
22. Николаенко Н.А, Назаров Ю.П. Динамика и сейсмостойкость сооружений. М., «Стройиздат», 1988 г, 309 с.
23. Завриев К.С. Динамика сооружений. М., «Государственное транспортное железнодорожное издательство», 1946 г, 286 с.
24. Пановко Я.Г. Устойчивость и колебания упругих систем, М., «Наука», 1987 г, 352 с.
25. Сехниашвили Э.А. Инженерный метод расчета упругих систем на основе колебания Тбилиси, «Сабчота Сакартвело», 1960 г, 346 с.
26. წიწილაშვილი ო. ძლიერ მიწისძვრათა ზემოქმედებებზე შეწონადი სივრცითი და არაწრფივი მუშაობის გაანგარიშება - ანალიზის მეთოდის სასრული ელემენტების მეთოდის გამოყენებით. თბილისი., „ივერონი“, 2013 წ, 101 გვ.
27. Словинский Ю.В. Сейсмостойкость мостов. Тбилиси, «Типография ГПИ», 1989 г, 104 с.
28. Джеффрис Г., Свирлс Б. Методы математической физики. М., «Мир», 1970 г, 341 с.
29. Сехниашвили Э. Колебания упругих систем. Тбилиси, «Сабчота Сакартвело», 1966 г, 547 с.
30. Светлицкий В.А., Стысенко И.В. Сборник задач по теории колебаний. М., «Высшая школа», 1973 г, 450 с.
31. Ганиев Р.Ф., Кононенко В.О. Колебания твердых тел. М., «Наука», 1976 г, 432 с.
32. Безухов Н.И. Динамика сооружений в примерах и задачах. «Стройиздат», 1947 г, 220 с.
33. Максимов Л.С., Шейнин И.С. Измерение вибрации сооружений. Ленинград, «Стройиздат», 1974 г, 252 с.
34. Поляков С.В., Медведев С.В. и другие. Сейсмостойкие сооружения и теория сейсмостойкости (по материалам международной конференции по сейсмостойкому строительству). М., «Стройиздат», 1978 г, 270 с.
35. Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкции. Справочник проектировщика. Москва, «Стройиздат», 1986 г, 462 с.
36. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия. Справочник проектировщика. Москва, «Стройиздат», 1981 г, 215 с.

37. კობირია გ., ჯანელიძე შ., გრიგოლია ნ. შენობა-ნაგებობათა ავარიები. აღდგენა-გამლიერება და ახალი კონსტრუქციები, თბილისი, „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 1996 წ., 249 გვ.
38. Лившиц Я.Д., Онищенко М.М., Шкуратовский А.А. Примеры расчета железобетонных мостов «Выша школа», 1986 г, 261 с.
39. Biot M. A. Theory of Vibration of Buildings During Earthquake // *Zeit-schrift fur Angewandte Mathematic und Mechanic*. Band 14, Helf4, 1934 y. pp 213-223
40. Wibowo H. and Sritharan S., SEISMIC RESPONSE OF BRIDGE SUPERSTRUCTURES CONSIDERING VERTICAL GROUND ACCELERATIONS. Eleventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Los Angeles, California, June 25-29, 2018 year.
<https://www.researchgate.net/publication/326129563>
41. Mrozek D., Mrozek M. The Specificity of Dynamic Resistance of Existing Bridge Structures in Mining Areas. International Journal of Civil Engineering, Published online: 15 October 2020 year. DOI: [10.1007/s40999-020-00571-y](https://doi.org/10.1007/s40999-020-00571-y),
<https://www.researchgate.net/publication/344369477>
42. Li X. and Shi Y. Seismic Design of bridges against Near-Fault Ground Motions Using Combined Seismic Isolation and Restraining Systems of LRBs and CDRs. Hindawi Shock and Vibration, Published 7 april 2019 year.
<https://doi.org/10.1155/2019/4067915>
43. BRIDGE MANUAL SECTION 5: EARTHQUAKE RESISTANT DESIGN, Transit NEW ZEALAND Ararau aotearoa, September 2004 year.
44. LRFD Seismic Analysis and Design of Bridges Reference Manual, CHAPTER 2-GROUND MOTION HAZARDS, NATIONAL HIGHWAY INSTITUTE, Publication No. FHWA-NHI-15-004, October 2014, 2-43 page.
45. Seismic Design Criteria Report, multnomah County, Earthquake Ready Burnside Bridge NEPA, Portland, OR July 28 2020 year.
46. Kunnath S. K., Norman Abrahamson, Y.H. Chai, Emrah Erduran, Zeynep Yilmaz, DEVELOPMENT OF GUIDELINES FOR INCORPORATION OF VERTICAL GROUND MOTION EFFECTS IN SEISMIC DESIGN OF HIGHWAY BRIDGES. Department of Civil

and Environmental Engineering Structural Engineering and Structural Mechanics
University of California at Davis, May 2008 year.

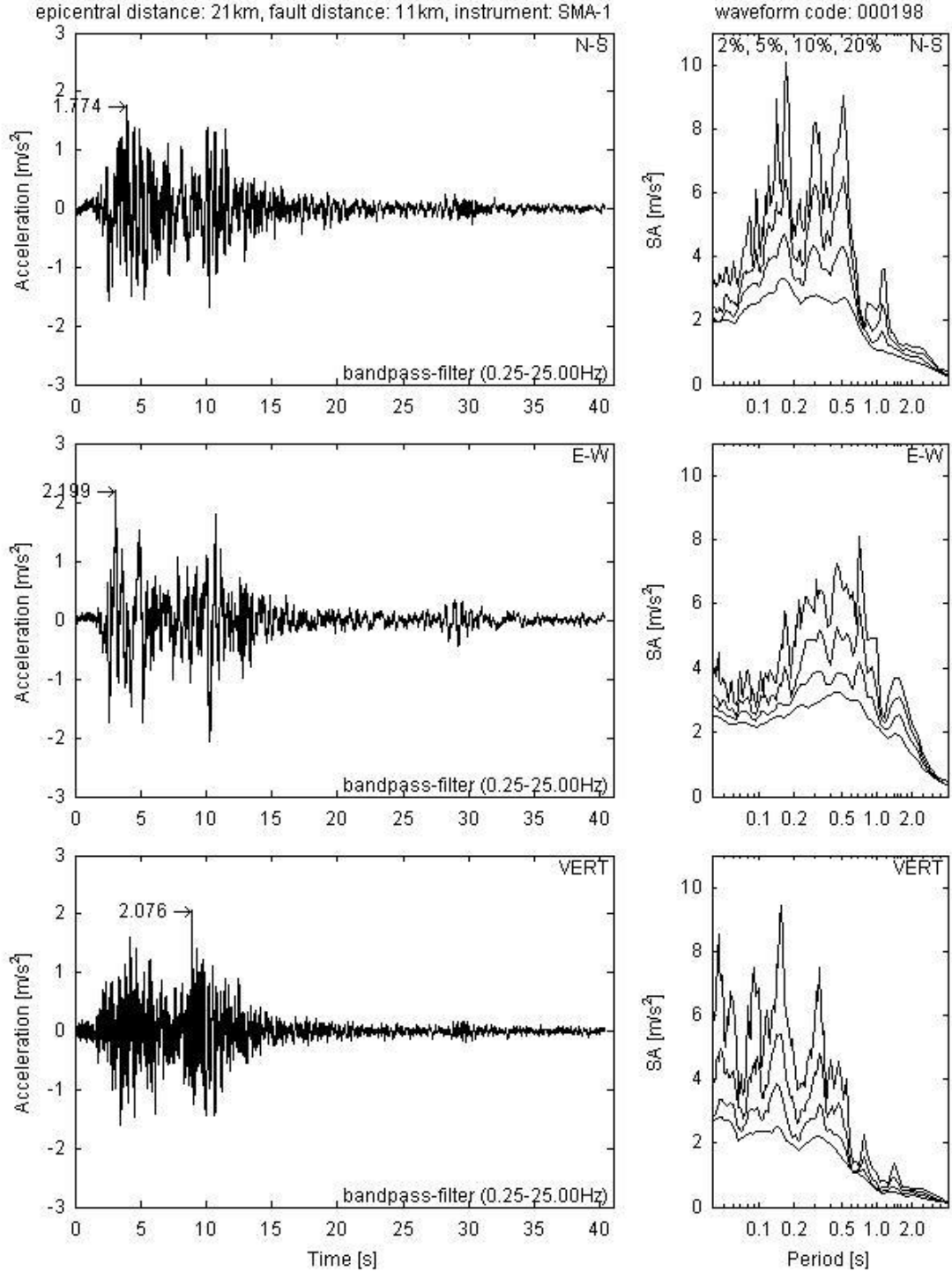
47. Anagnostopoulou M., Filiatrault A. & Aref A. Vertical Seismic Response of a Precast Segmental Bridge Superstructure. Dept. Of Civil, Structural and Environmental Engineering, State University of New York at Buffalo, Buffalo NY, USA, 15 WCEE LISBOA 2012 year.
48. Klim D., Chaudhary S., Nocete C. F., Wang F., Lee D. H. A probabilistic capacity spectrum strategy for the reliability analysis of bridge pile shafts considering soil structure interaction. Latin American Journal of Solids and Structures 8(2011 year) 291 -303 p.
49. Zhang W., Vinayagamoorth M., Duan L.. Dynamic Analysis. Bridge Engineering Handbook Seismic Design, London 17 Dec 2021 year. pp. 99-132
50. Bucjle I., Constantinou M., Dicleli M., Ghasemi H. Seismic Isolation of Gighway Bridges. U. S. Department of Transportation Dereral Highway Administration. August 21 2006 year.
51. Huang G., Chen X., Brisbois J. Z..Earthquake-Resisting System Optimization and Pushover Analysis in Seismic Design of Approach Spans of New South Park Bridge. American Society of Civil Engineers 2013 year. pp. 238-246,
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000161](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000161)
52. Castaldo P., Ferrentino T.. Seismic Reliability-Based Design Approach for Base-Isolated Systems in Different Sites. www.mdpi.com journal sustainability Volume 12, Issue 6; Sustainability 2020, 12, 2572; doi:10.3390/su12062572 Published: 24 March 2020 year.
<https://doi.org/10.3390/su12062400>
53. Kim J. K., Wee S. H., Yoo S. H. and Kim K. H. Characteristics of the Vertical and Horizontal Response Spectra of Earthquakes in the Jeju Island Region. Appl. Sci. 2021, 11, 10690. <https://doi.org/10.3390/app112210690>; Published: 12 November 2021 year.
54. ALMahdi F., Fahjan Y., Dogangun A.. Scaling of Vertical Component of Seismic Ground Motion. Alexandria Engineering Journal (2020) 59, pp. 3827-3845.
55. García-Soto; A. D., Jaimes M. A. Ground-Motion Prediction Model for Vertical Response Spectra from Mexican Interplate Earthquakes. Bulletin of the Seismological Society of America (2017) 107 (2): pp. 887–900.

56. BOZORGNIA Y., CAMPBELL K. W. THE VERTICAL-TO-HORIZONTAL RESPONSE SPECTRAL RATIO AND TENTATIVE PROCEDURES FOR DEVELOPING SIMPLIFIED V/H AND VERTICAL DESIGN SPECTRA. Journal of Earthquake Engineering Volume 8, 2004-Issue2 Pages 175-207. Published online: 03 Jun 2008 year.
57. CHEN B. K., WANG D. S., LI H. N., SUN Z. G., LI C. Vertical-to-horizontal response spectral ratio for offshore ground motions: Analysis and simplified design equation [J]. Journal of Central South University, 2017, 24(1): pp. 203–216. [DOI: 10.1007/s11771-017-3421-0](https://doi.org/10.1007/s11771-017-3421-0).
58. Elnashai A. S., He L. and Elgamal A. SPECTRA FOR VERTICAL EARTHQUAKE GROUND MOTION. 3 th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada , August 1-6, 2004 year, Paper No. 2309.
59. Mrdak I., Racevic M., Zugic L., Usmanov R., Murgul V., Vatin N. Analysis of the influence of dynamic properties of structures in seismic response according to Montenegrin and European regulations. Applied Mechanics and Materials Vols 633-634 (2014) pp.1069-1076 © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland. [doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.633-634.1069](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.633-634.1069).
60. უთმელიძე ი. ჭრილ-კოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის L=42.6 მ სიგრძის მალის ნაშენისათვის რეაქციის სპექტრების განსაზღვრის შესახებ. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, შრომები №2(524) 2022 წელი 105-117 გვ. <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-2-105-118>.
61. Rurua N., Maisuradze B., Utmelidze I. Methodology for determining the dynamic coefficients of seismic resistance of superstructure of bridges. FROM A SERIES OF MONOGRAPHS “ECOLOGY OF THE ENVIRONMENT” Volume II EUROPEAN INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING. 2022 year. p. 800-812.
62. Rurua N., Maisuradze B., Datukishvili G., Utmelidze I. ON THE DETERMINATION OF VERTICAL RESPONSE SPECTRUM FOR PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE SUPERSTRUCTURE. International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies. 2022 year. p. 187-197.

63. მასურაძე ბ., უთმელიძე ი. ვერტიკალური რეაქციის სპექტრის განსაზღვრა $L=15.0$ მ სიგრძის კოჭოვანი მალის ნაშენისათვის. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ასი წლის იუბილისადმი მიძღვნილი სტუდენტთა საერთაშორისო კონფერენცია ინოვაციური ტექნოლოგიები ინჟინერიაში მოხსენებათა კრებული. 2022 წ. 220-231 გვ.
64. Rurua N., Maisuradze B., Utmelidze I. ON THE DETERMINATION OF ELASTIC RESPONSE SPECTRUM FOR COMPOSITE STEEL AND CONCRETE CONTINUOUS SPAN SUPERSTRUCTURE WITH A SCHEME $L=42.0+63.0+42.0$ m. International Scientific Journal Theoretical & Applied Science 2022 y. pp. 673-682
<http://t-science.org/axivDOI/2022/12-116.html>.
65. მასურაძე ბ., უთმელიძე ი. უჭრი სისტემის $L=3 \times 63.0$ მ სიგრძის მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრის განსაზღვრა. სტუდენტთა საერთაშორისო კონფერენცია ინოვაციური ტექნოლოგიები ინჟინერიაში მოხსენებათა კრებული. 2023 წელი 185-196 გვ.

დაწარმო

earthquake: Montenegro, 15.04.1979 06:19:41UTC, magnitude: 6.9Mw, fault mechanism: thrust
 station: Ulcinj-Hotel Albatros, building-type: structure related free-field, local geology: rock
 epicentral distance: 21km, fault distance: 11km, instrument: SMA-1

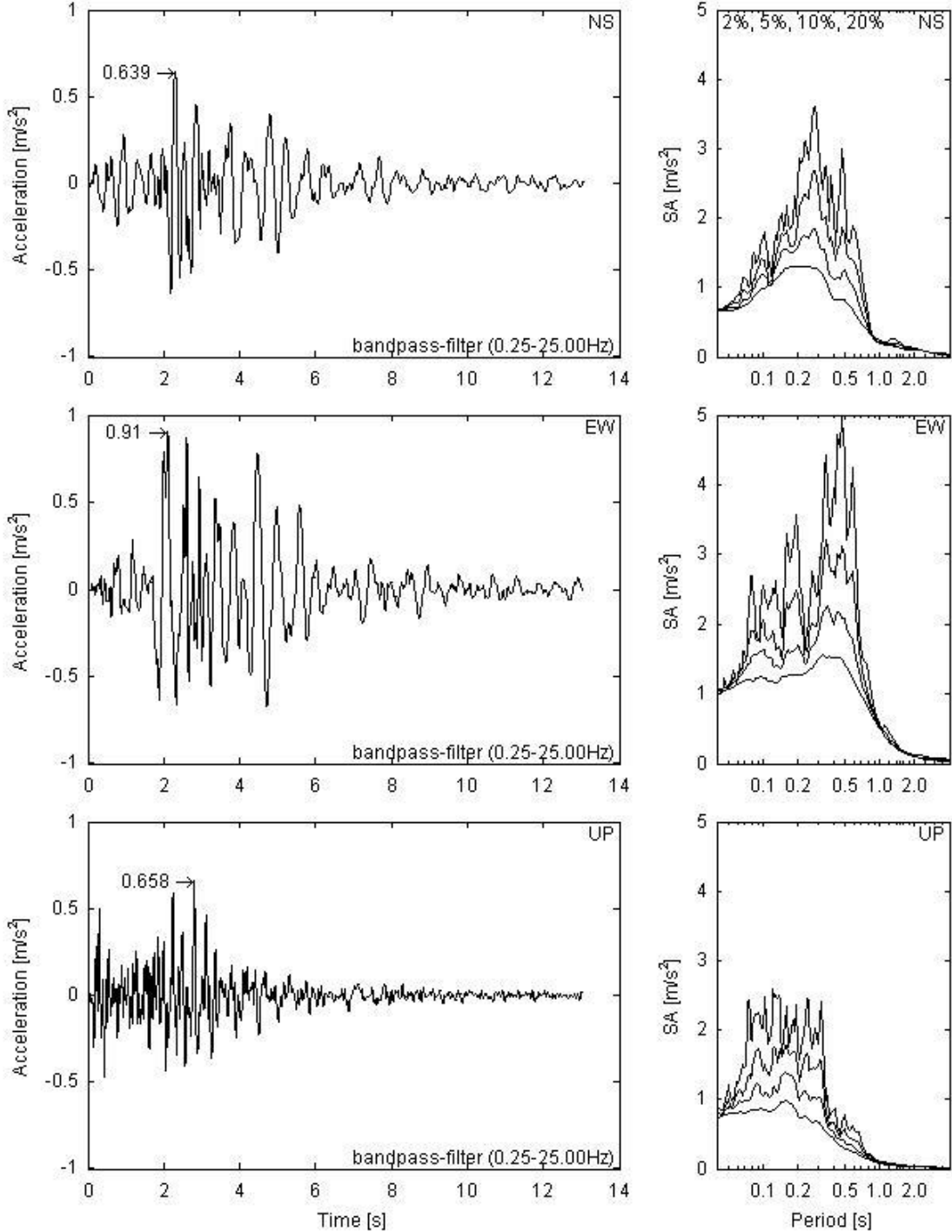


Tosic, M. (1980)

earthquake: Friuli (aftershock), 16.09.1977 23:48:08UTC, magnitude: 5.4Mw, fault mechanism: thrust
 station: Tolmezzo-Base Diga, building-type: dam related free-field, local geology: rock

epicentral distance: 11km, fault distance: ?, instrument: SMA-1

waveform code: 000981

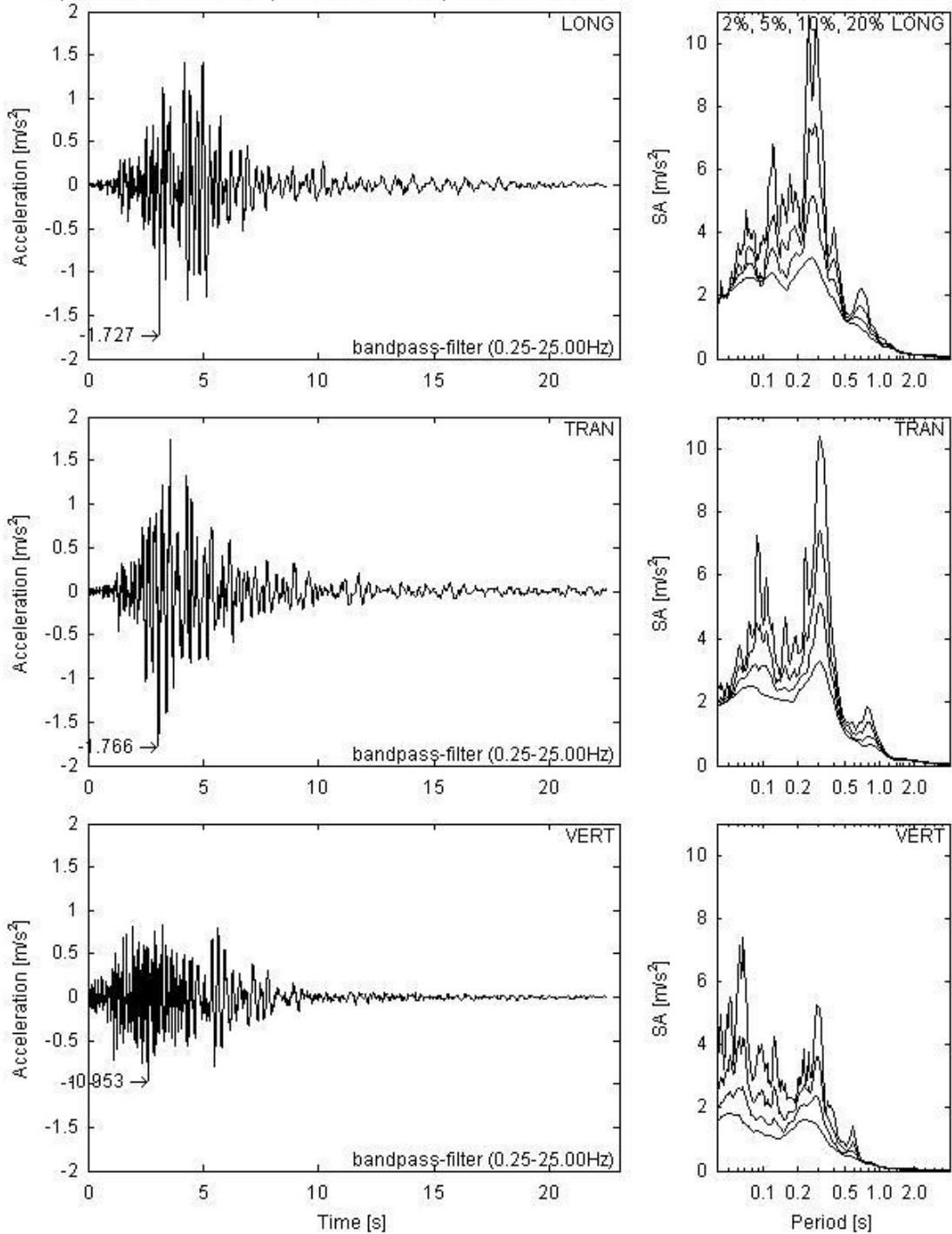


Ambraseys, N., Smit, P., Berardi, R., Rinaldis, D., Cotton, F. and Berge, C. (2000)

earthquake: Kremidia (aftershock), 25.10.1984 09:49:15UTC, magnitude: 5Mw, fault mechanism: ?
 station: Pelekanada-Town Hall, building-type: free-field, local geology: rock

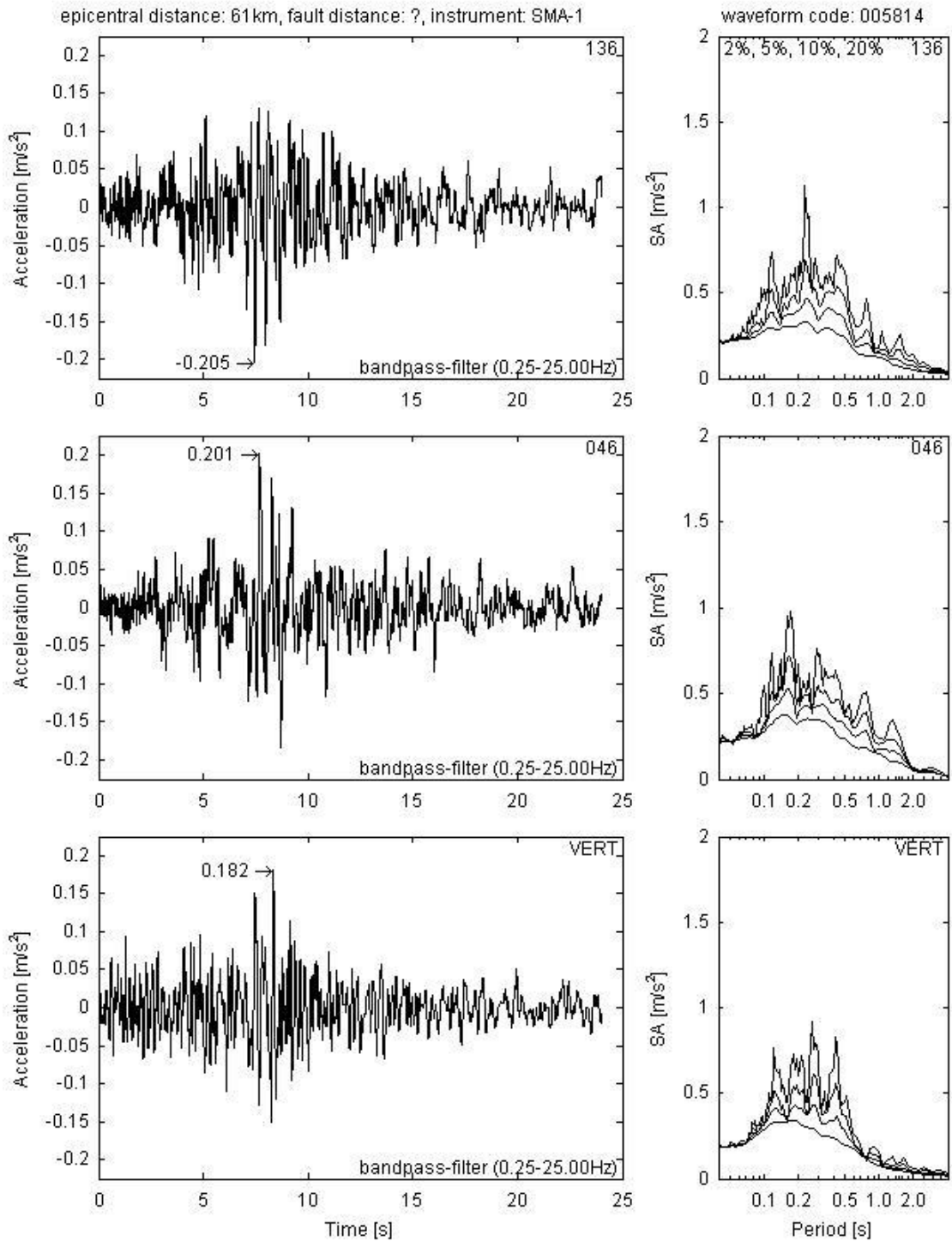
epicentral distance: 16km, fault distance: 2km, instrument: SMA-1

waveform code: 002025



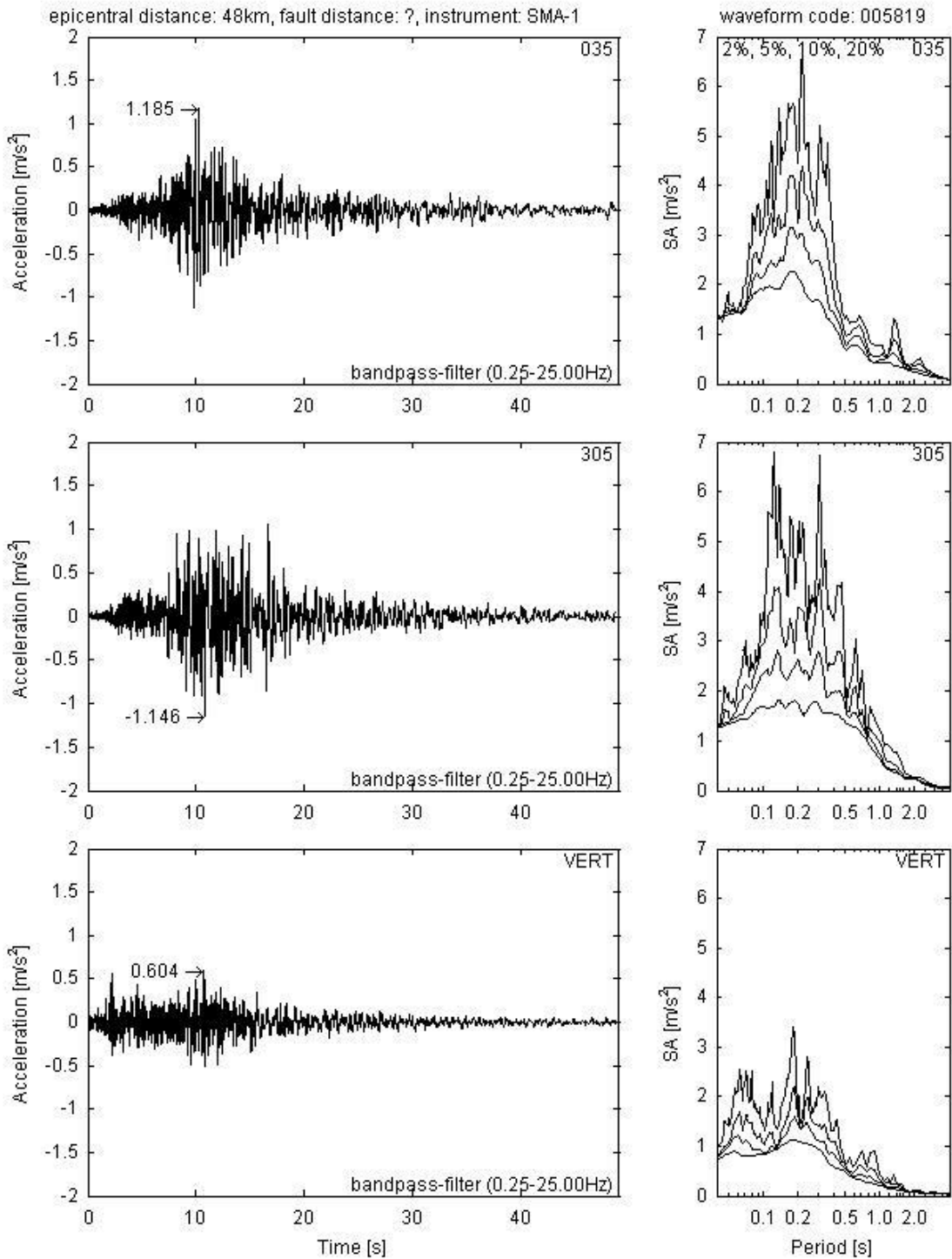
Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering (1997)

earthquake: Kalamata, 13.10.1997 13:39:40UTC, magnitude: 6.4Mw, fault mechanism: thrust
 station: Githio-Police Station, building-type: free-field, local geology: rock
 epicentral distance: 61km, fault distance: ?, instrument: SMA-1



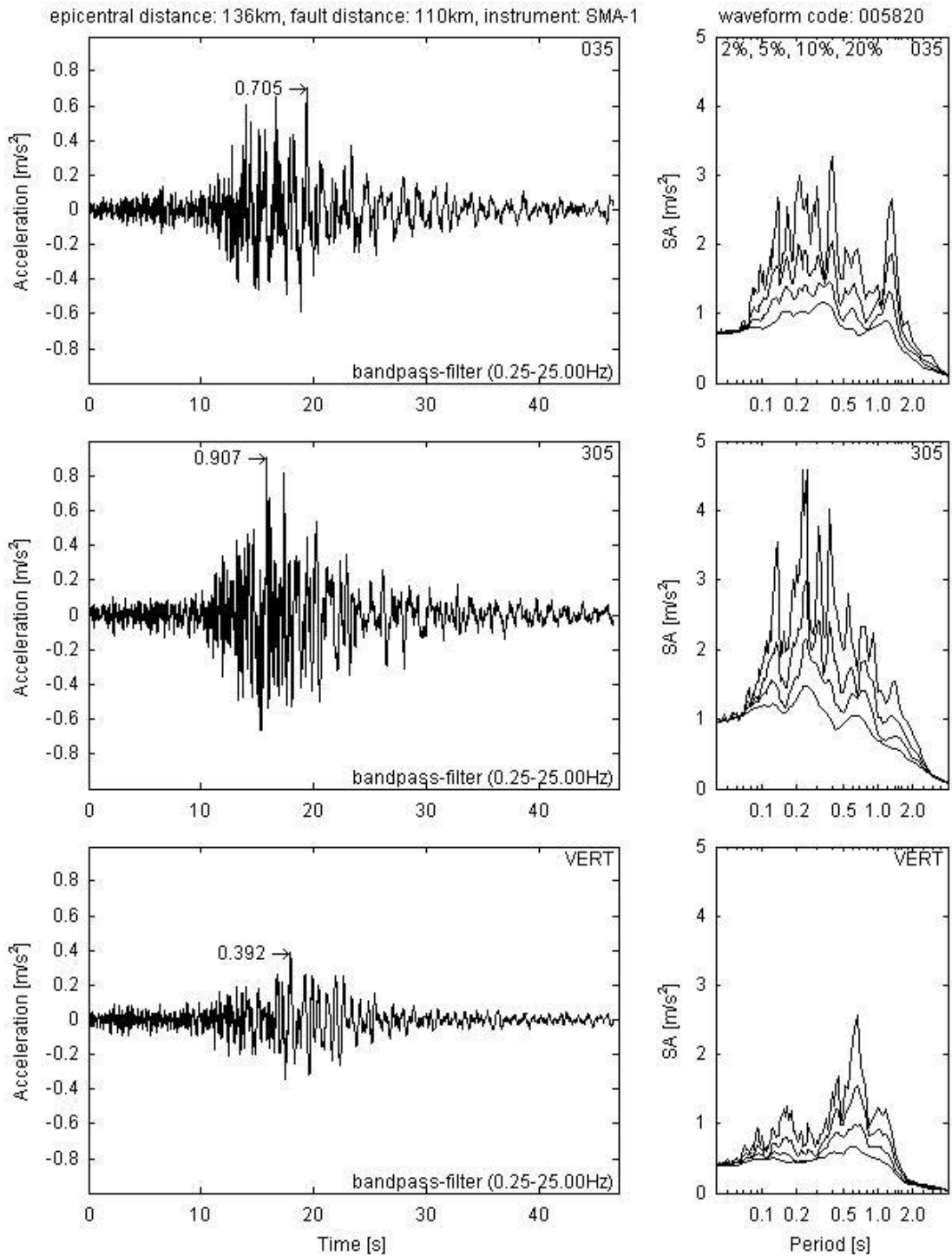
Margaris, B.(2001)

earthquake: Kalamata, 13.10.1997 13:39:40UTC, magnitude: 6.4Mw, fault mechanism: thrust
 station: Koroni-Town Hall (Library), building-type: free-field, local geology: rock
 epicentral distance: 48km, fault distance: ?, instrument: SMA-1



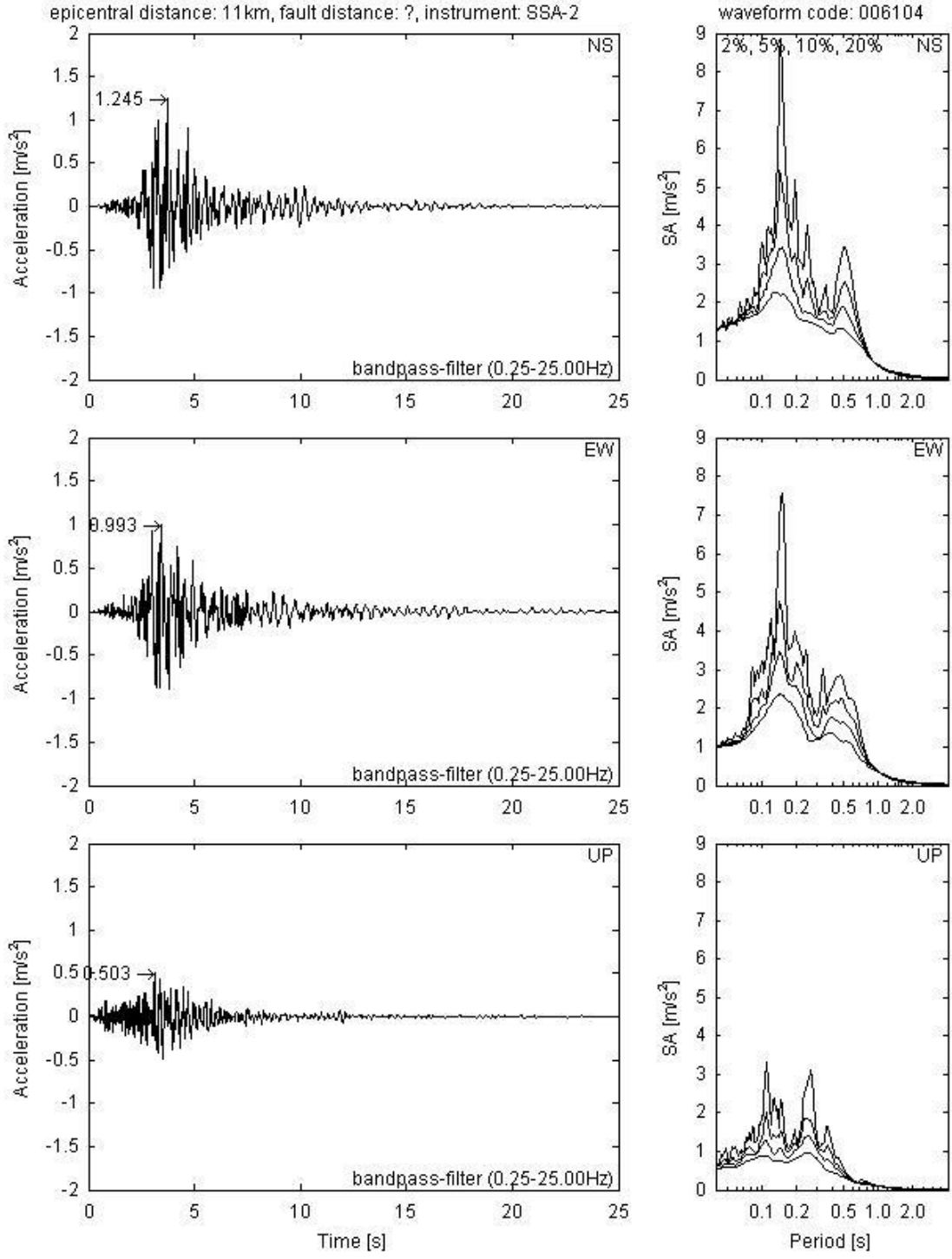
Margaris, B.(2001)

earthquake: Strofades, 18.11.1997 13:07:41UTC, magnitude: 6.6Mw, fault mechanism: oblique
 station: Koroni-Town Hall (Library), building-type: free-field, local geology: rock
 epicentral distance: 136km, fault distance: 110km, instrument: SMA-1



Margaris, B.(2001)

earthquake: Kozani (aftershock), 11.06.1995 18:51:48UTC, magnitude: 4.8Mw, fault mechanism: normal
 station: Kentro-Town Hall, building-type: free-field, local geology: rock
 epicentral distance: 11km, fault distance: ?, instrument: SSA-2

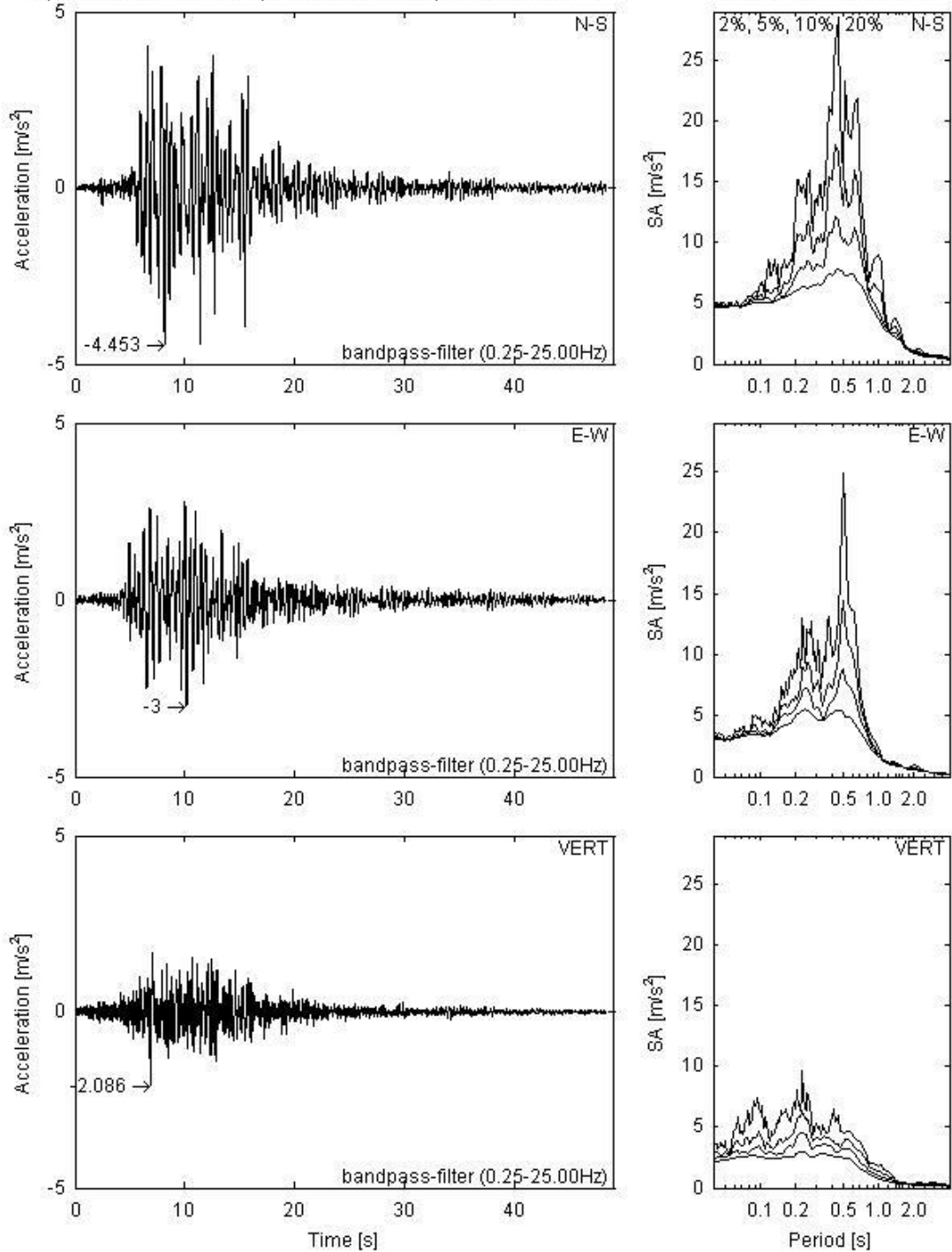


Margaris, B.(2001)

earthquake: Montenegro, 15.04.1979 06:19:41UTC, magnitude: 6.9Mw, fault mechanism: thrust
 station: Petrovac-Hotel Oliva, building-type: free-field, local geology: stiff soil

epicentral distance: 25km, fault distance: 3km, instrument: SMA-1

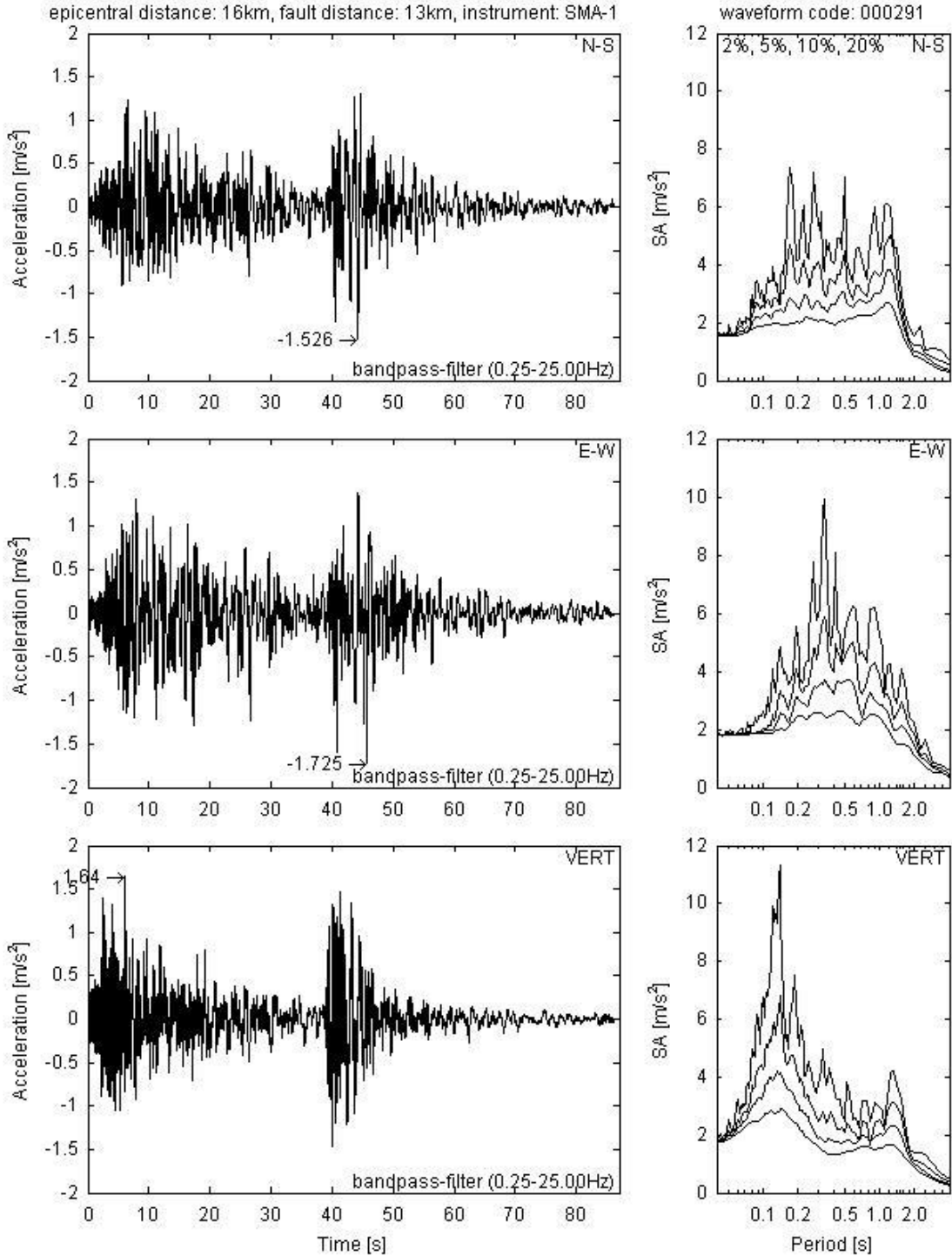
waveform code: 000196



Tosic, M. (1980)

earthquake: Campano Lucano, 23.11.1980 18:34:52UTC, magnitude: 6.9Mw, fault mechanism: normal
 station: Calitri, building-type: free-field, local geology: stiff soil

epicentral distance: 16km, fault distance: 13km, instrument: SMA-1

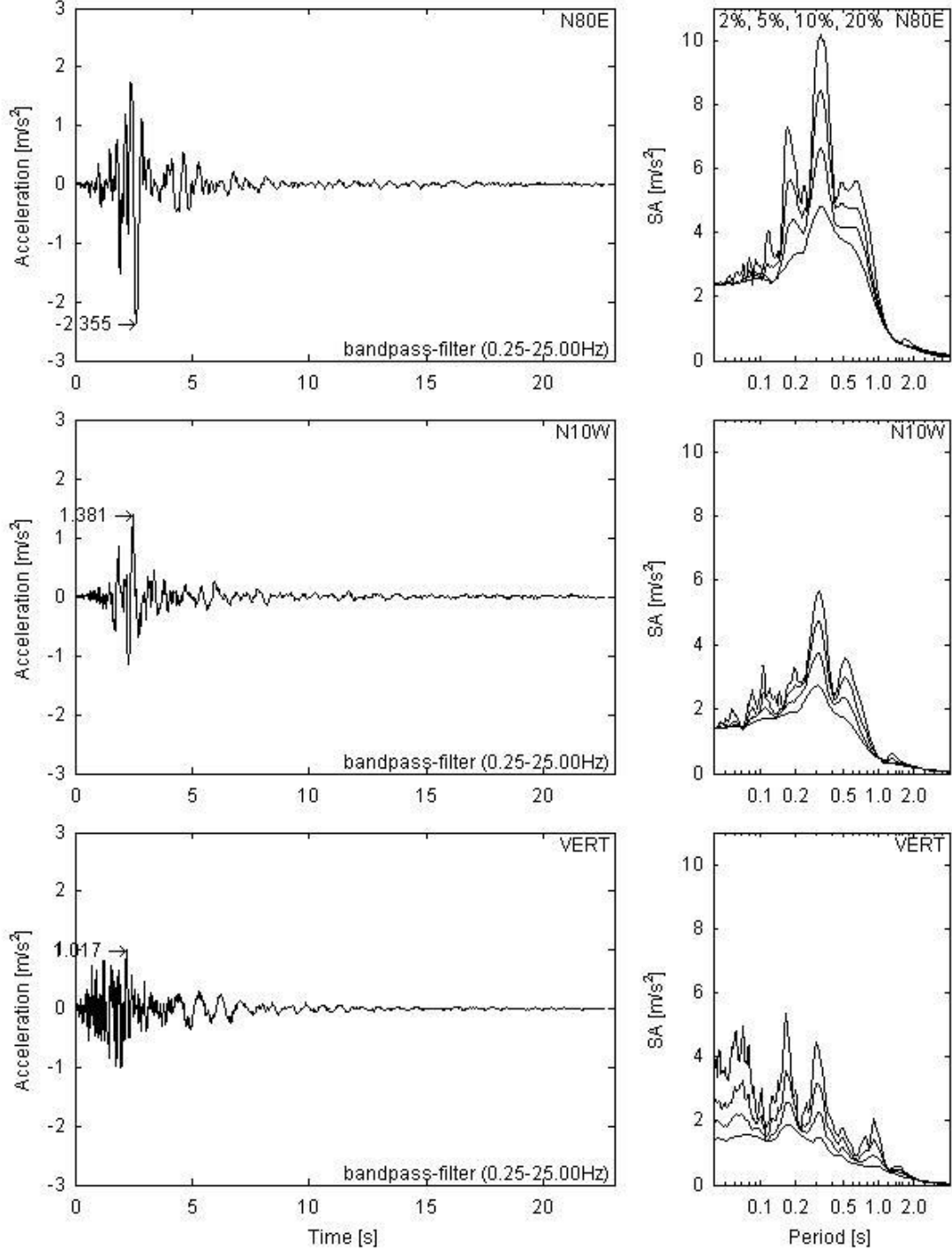


Ambraseys, N., Smit, P., Berardi, R., Rinaldis, D., Cotton, F. and Berge, C. (2000)

earthquake: Kalamata (aftershock), 15.09.1986 11:41:28UTC, magnitude: 4.9Mw, fault mechanism: normal
 station: Kalamata-OTE Building, building-type: structure related free-field, local geology: stiff soil

epicentral distance: 3km, fault distance: ?, instrument: SMA-1

waveform code: 000420

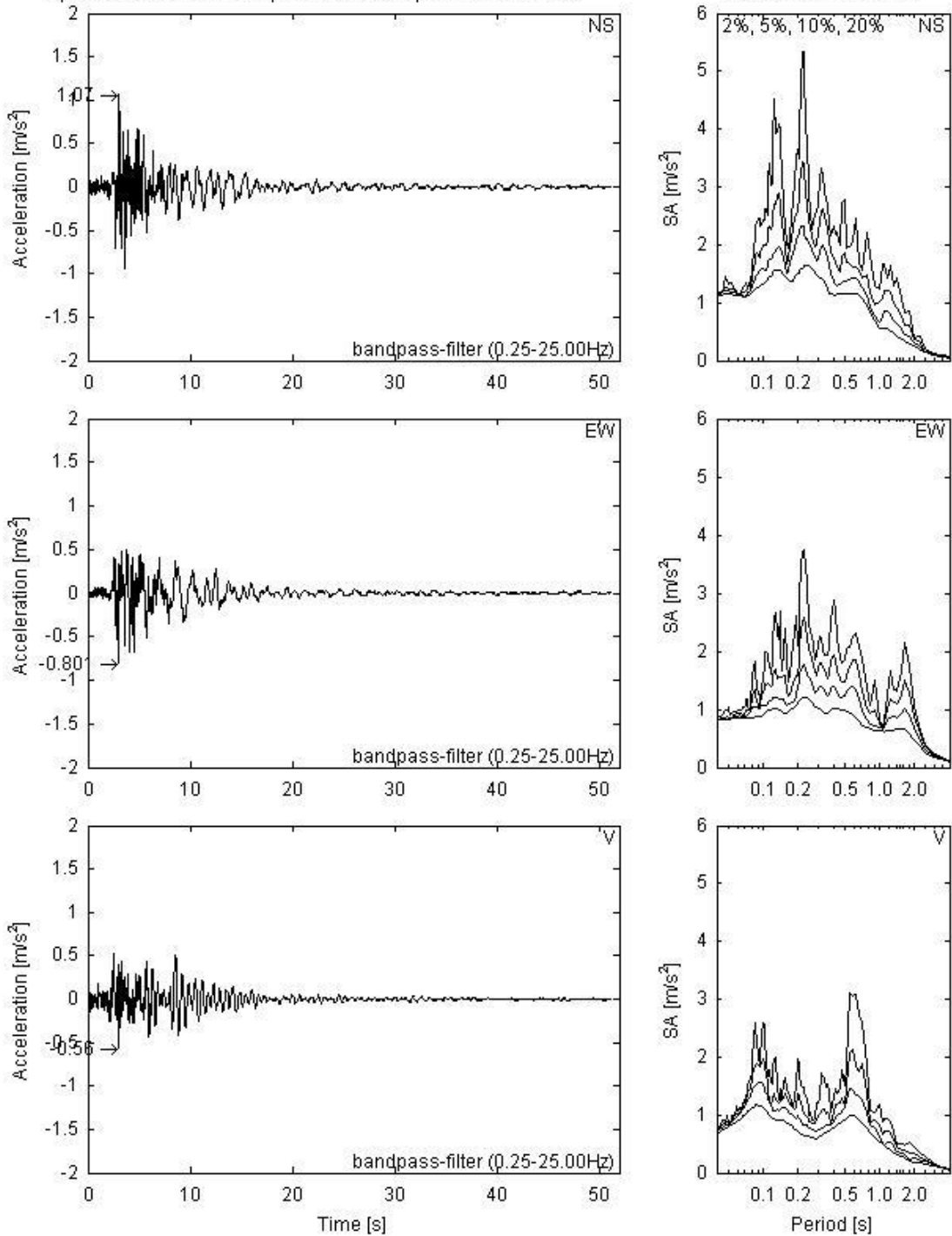


Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering (1997)

earthquake: Umbria Marche (aftershock), 14.10.1997 15:23:00UTC, magnitude: 5.6Mw, fault mechanism: r
 station: Norcia-Zona Industriale, building-type: free-field, local geology: stiff soil

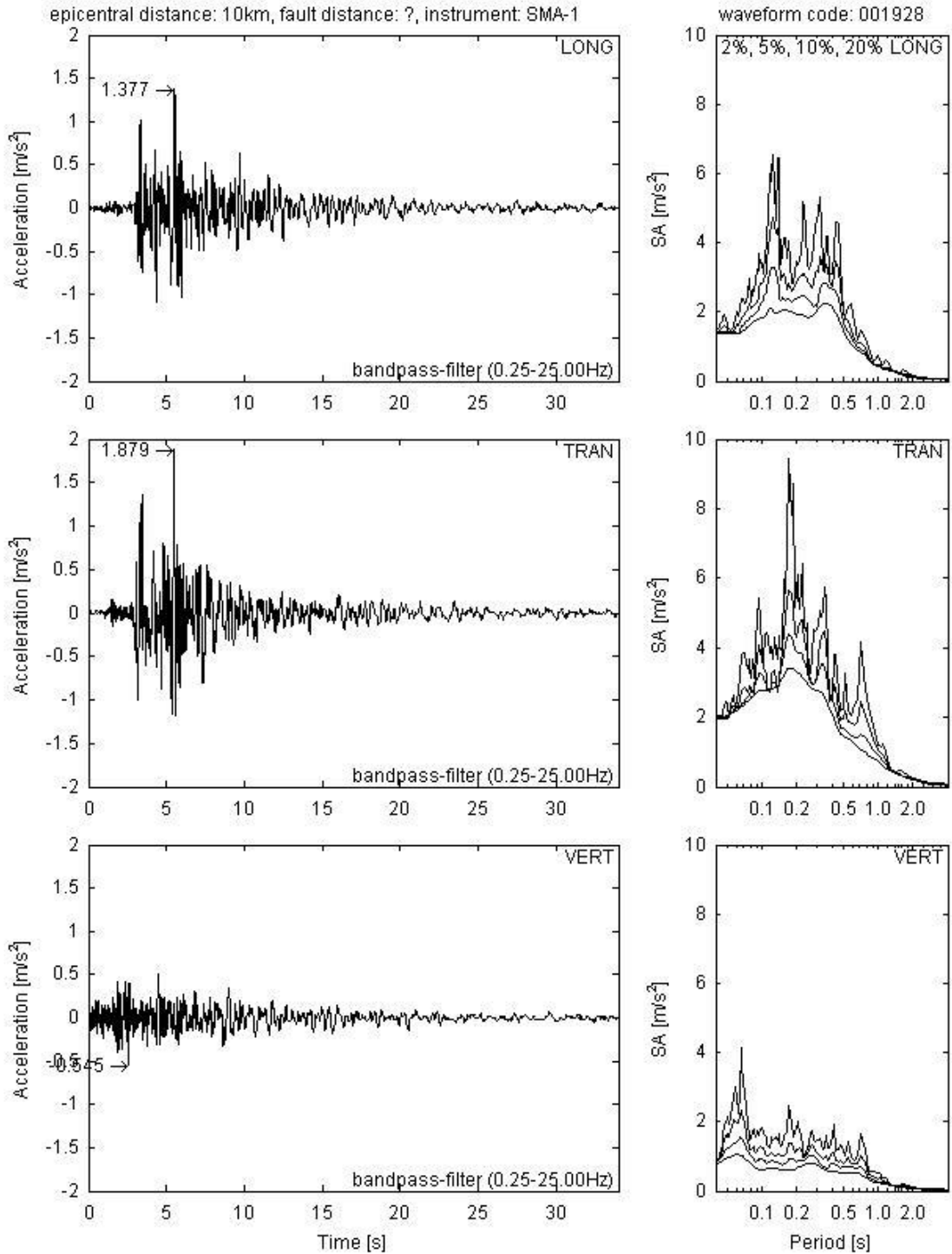
epicentral distance: 21km, fault distance: ?, instrument: SMA-1

waveform code: 000761



Servizio Sismico Nazionale, Ente Nazionale per l'Energia Elettrica (1998)

earthquake: Patras, 14.07.1993 12:31:50UTC, magnitude: 5.6Mw, fault mechanism: strike slip
 station: Patra-National Bank, building-type: structure related free-field, local geology: stiff soil
 epicentral distance: 10km, fault distance: ?, instrument: SMA-1

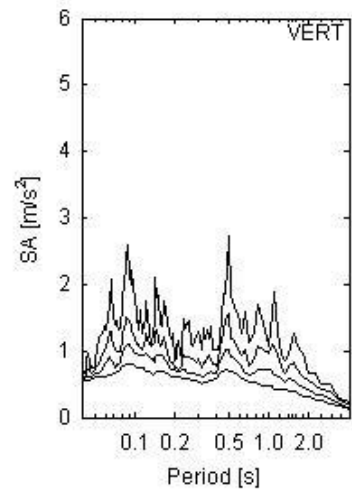
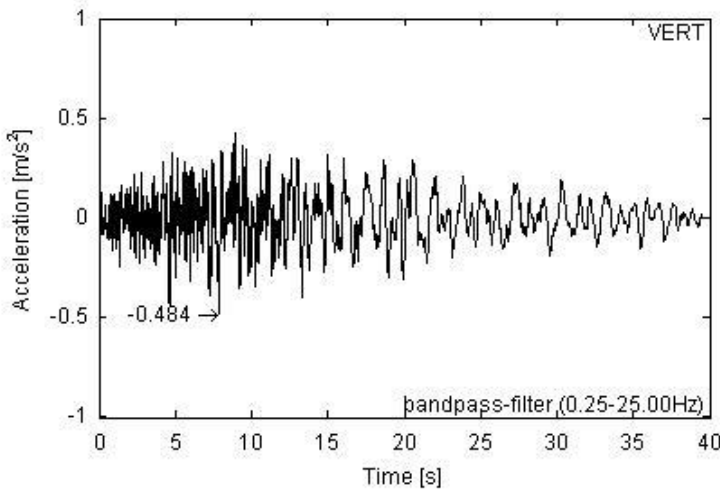
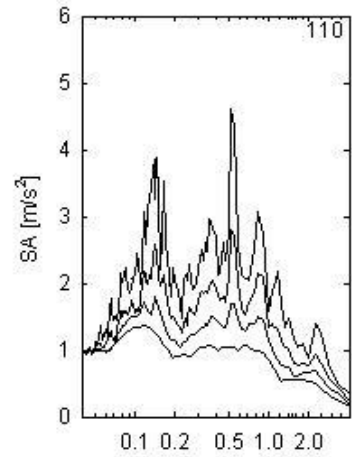
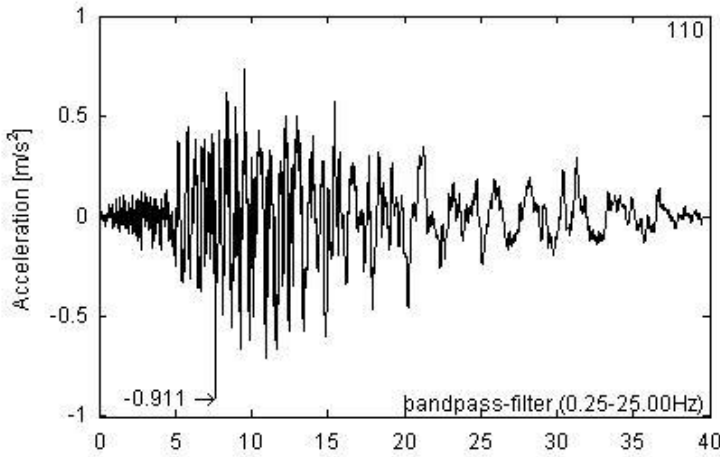
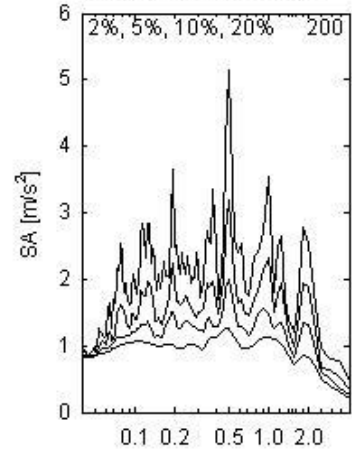
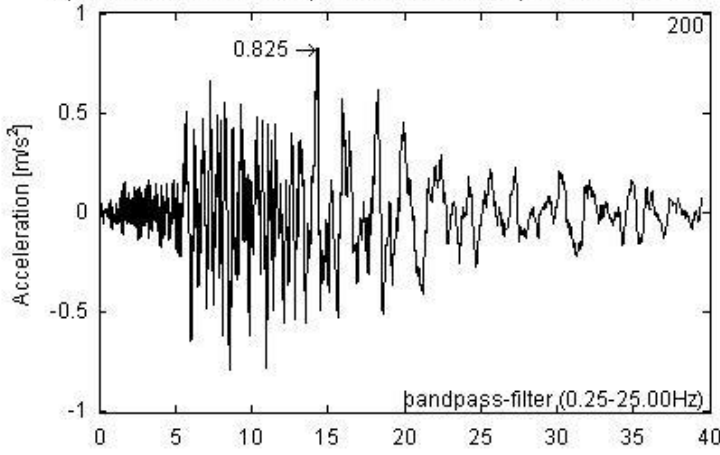


Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering (1997)

earthquake: Aigion, 15.06.1995 00:15:51UTC, magnitude: 6.5Mw, fault mechanism: normal
 station: Patra-San Dimitrios Church, building-type: free-field, local geology: stiff soil

epicentral distance: 43km, fault distance: 35km, instrument: SMA-1

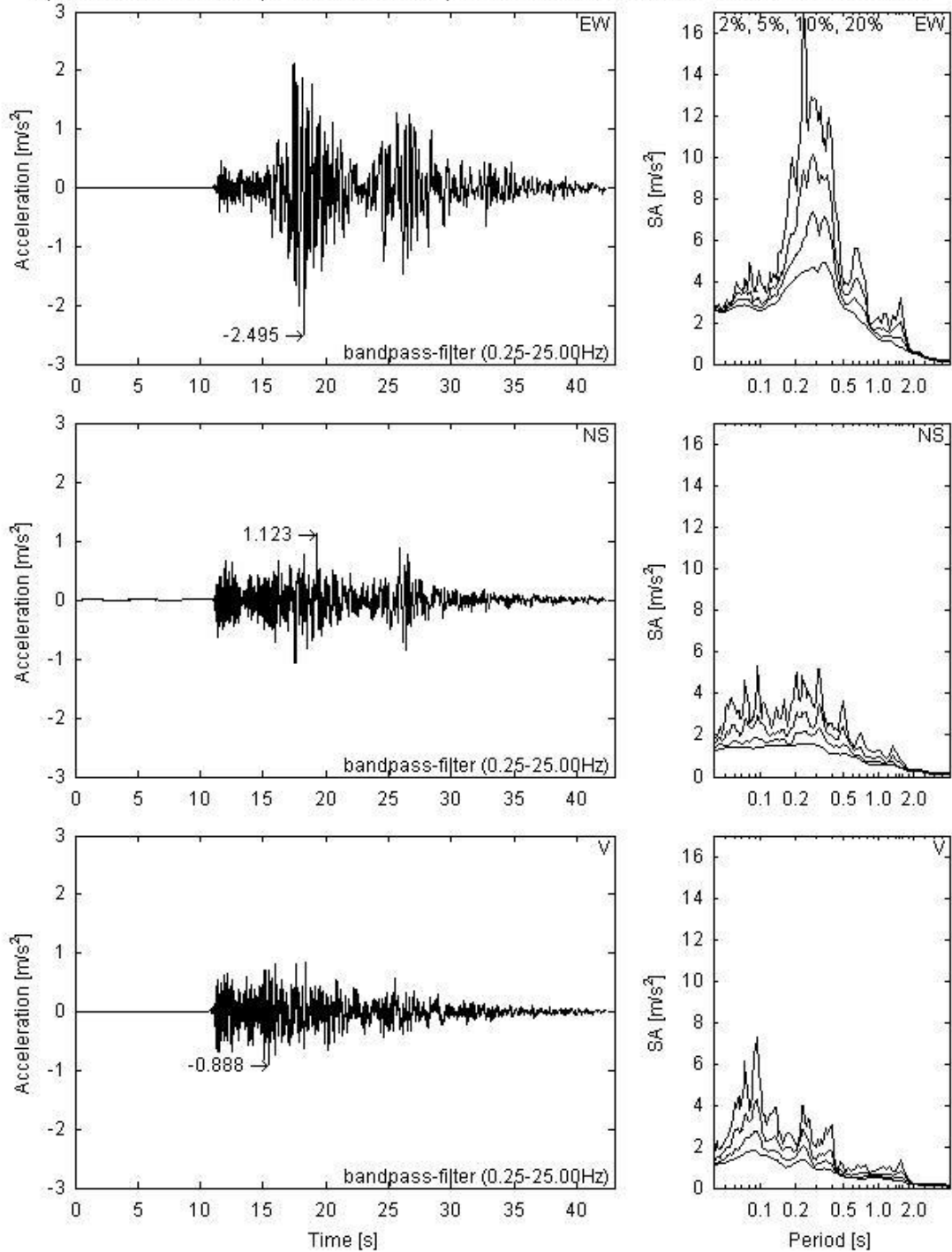
waveform code: 006142



Margaris, B.(2001)

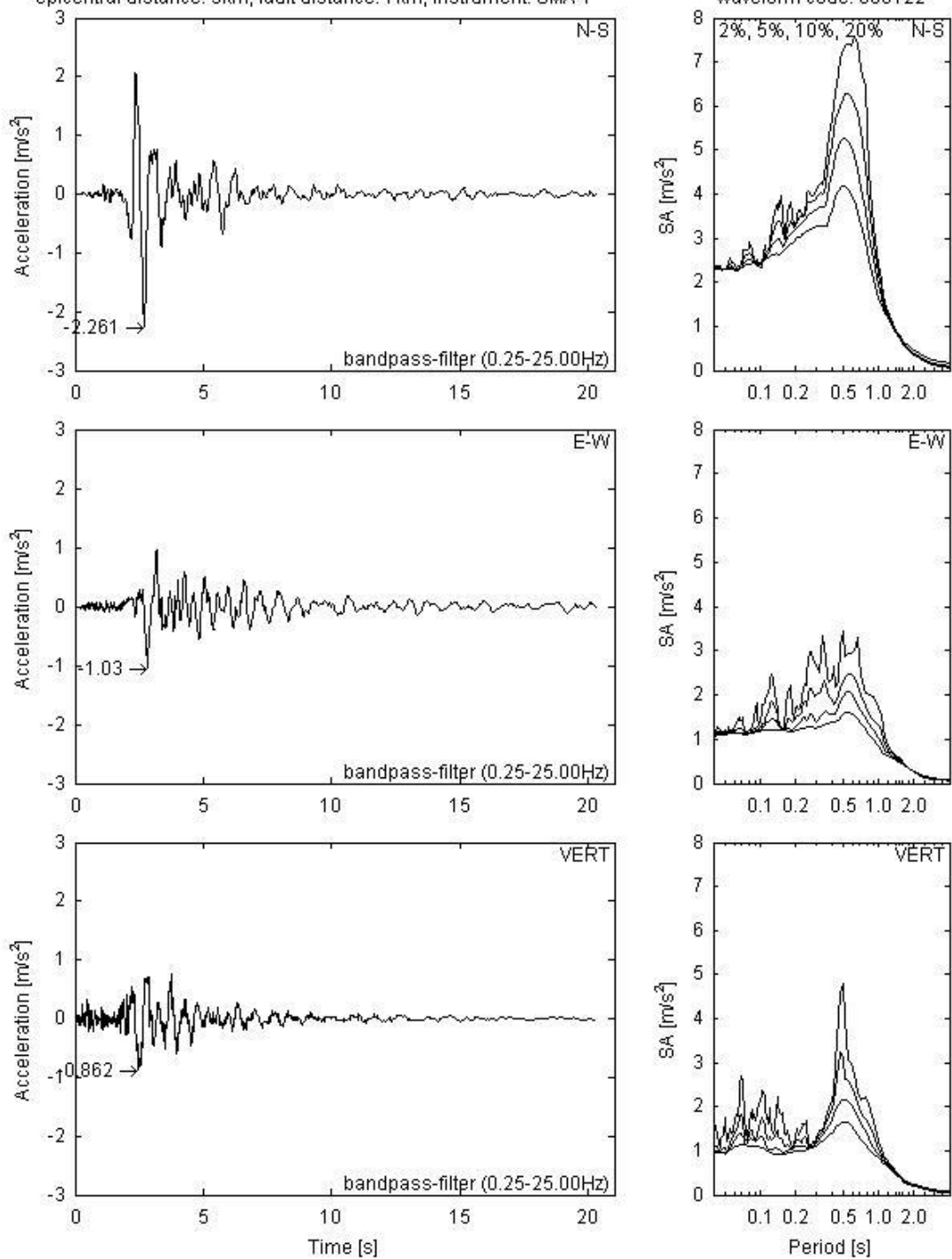
earthquake: Duzce 1, 12.11.1999 16:57:20UTC, magnitude: 7.2Mw, fault mechanism: oblique
 station: LDEO Station No. C1062 FI, building-type: free-field, local geology: soft soil

epicentral distance: 28km, fault distance: 14km, instrument: TERRA TEK 320 waveform code: 006498



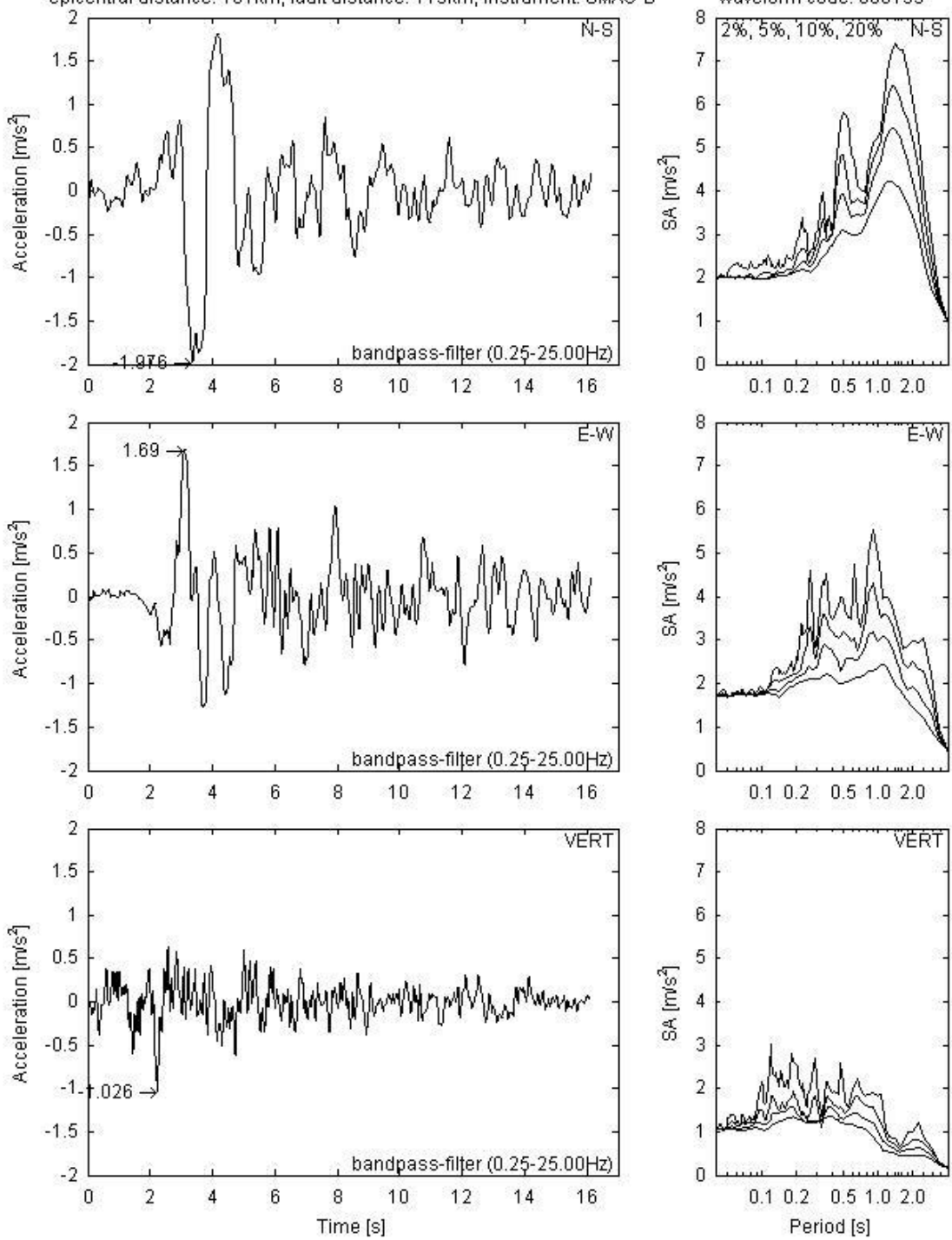
earthquake: Friuli (aftershock), 11.09.1976 16:35:03UTC, magnitude: 5.5Mw, fault mechanism: thrust
 station: Buia, building-type: free-field, local geology: soft soil

epicentral distance: 9km, fault distance: 7km, instrument: SMA-1



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

earthquake: Bucharest, 04.03.1977 19:21:54UTC, magnitude: 7.5Mw, fault mechanism: thrust
 station: Bucharest-Building Research Institute, building-type: free-field, local geology: very soft soil
 epicentral distance: 161km, fault distance: 115km, instrument: SMAC-B

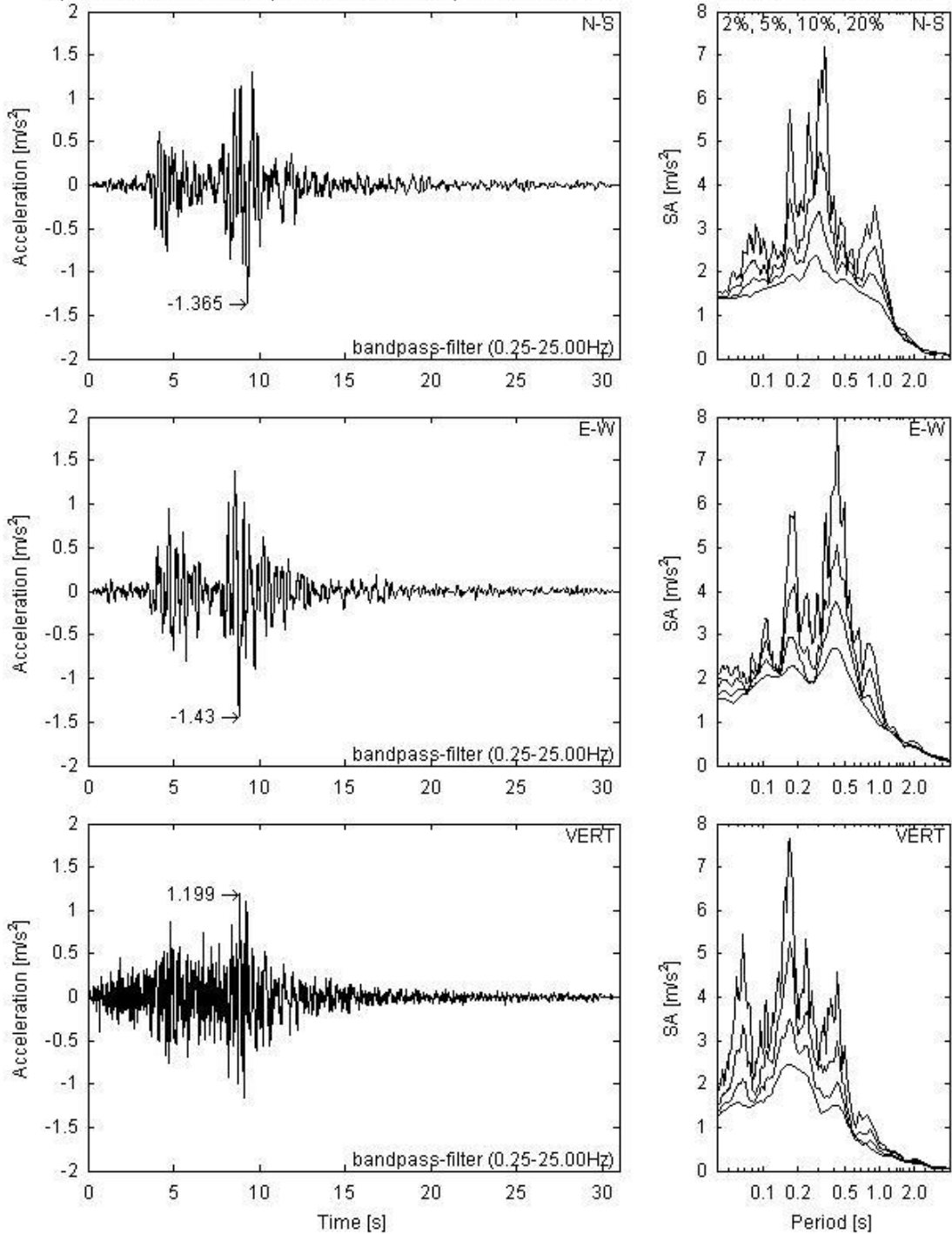


National Geophysical Data Center (1996)

earthquake: Volvi, 20.06.1978 20:03:22UTC, magnitude: 6.2Mw, fault mechanism: normal
 station: Thessaloniki-City Hotel, building-type: structure related free-field, local geology: soft soil

epicentral distance: 29km, fault distance: 13km, instrument: SMA-1

waveform code: 000175

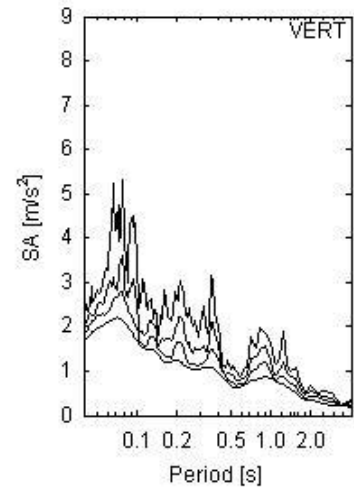
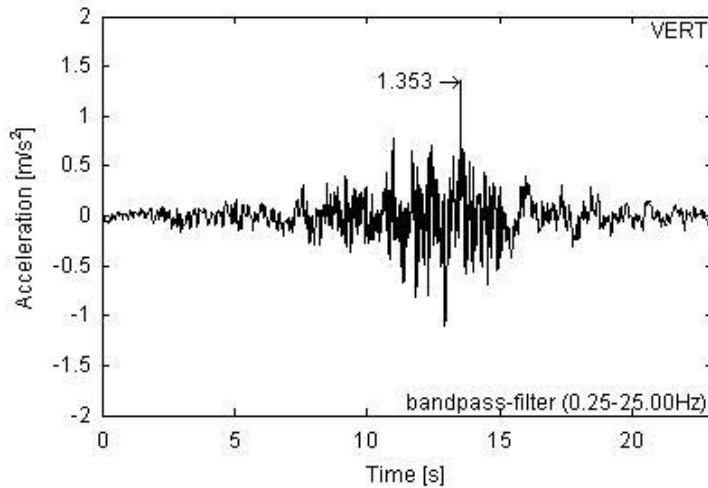
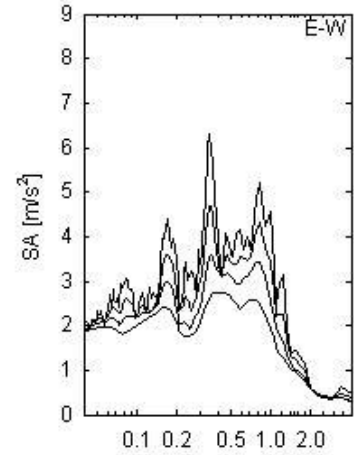
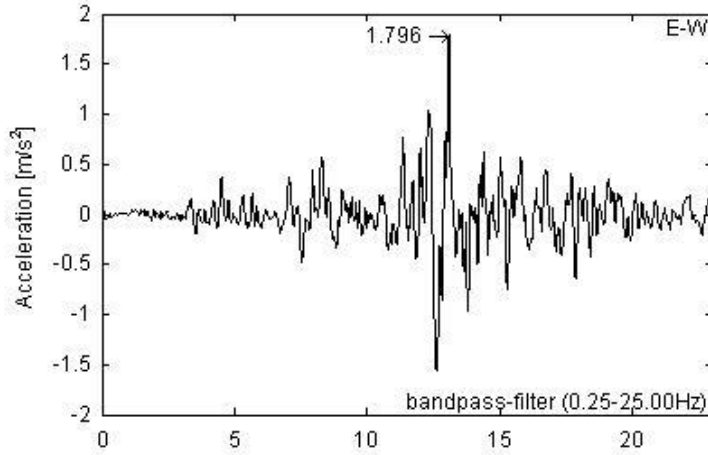
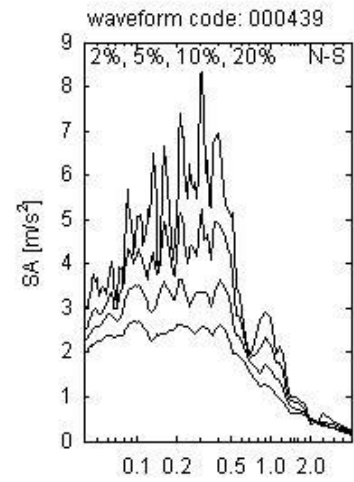
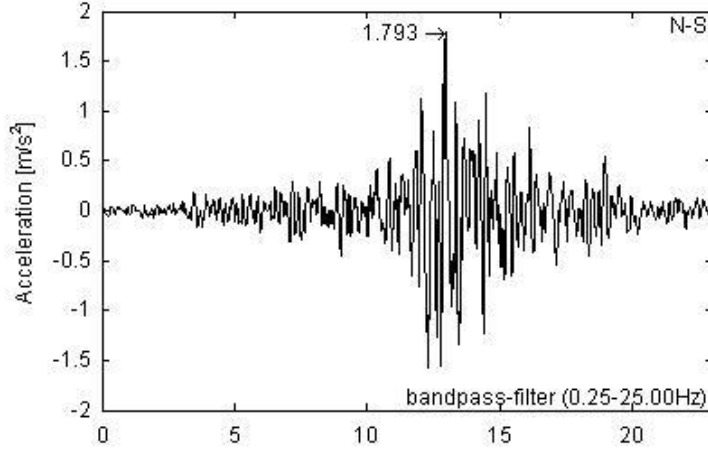


Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering (1997)

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

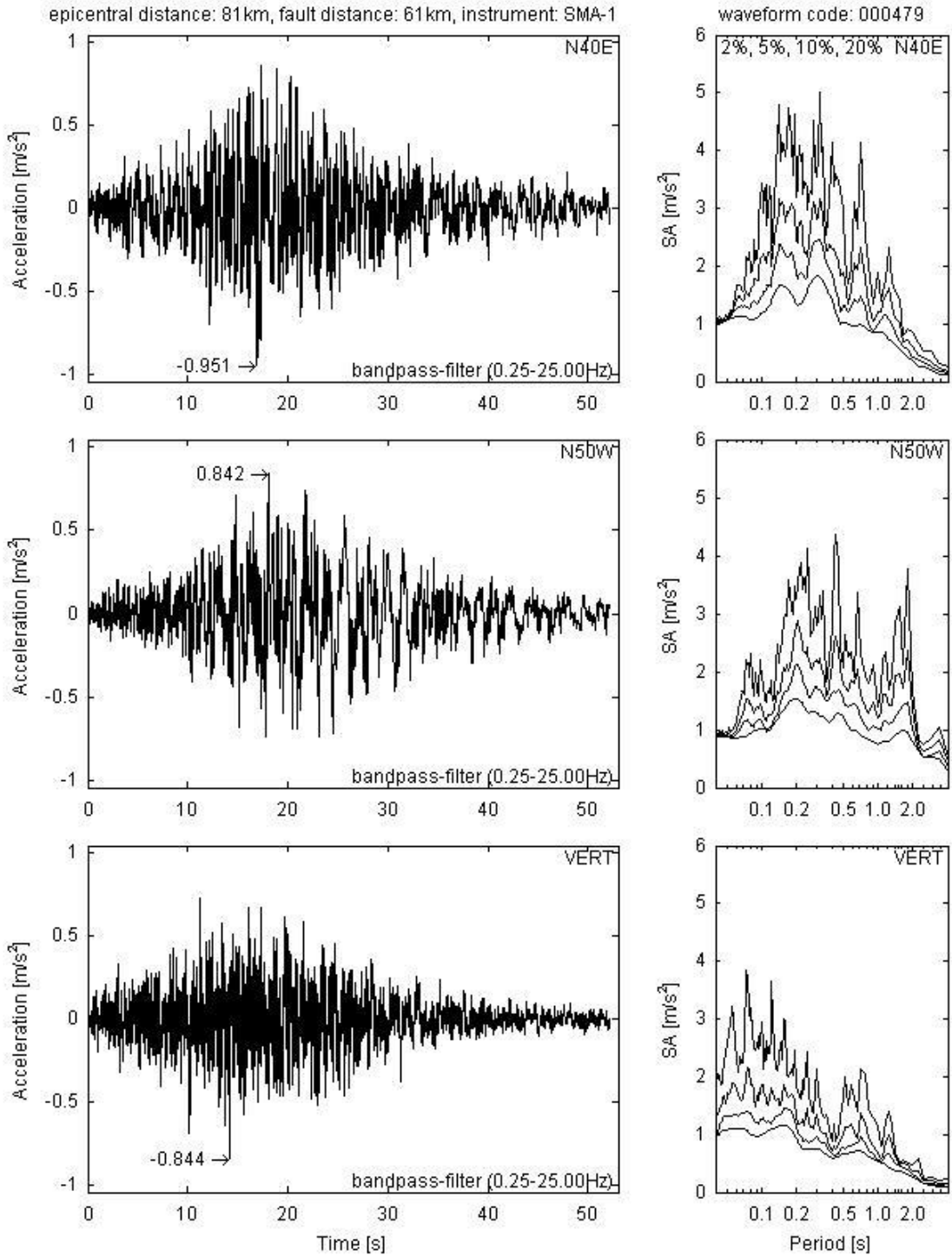
station: Gukasian, building-type: free-field, local geology: soft soil

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



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

earthquake: Manjil, 20.06.1990 21:00:08UTC, magnitude: 7.4Mw, fault mechanism: oblique
 station: Rudsar, building-type: free-field, local geology: soft soil
 epicentral distance: 81km, fault distance: 61km, instrument: SMA-1

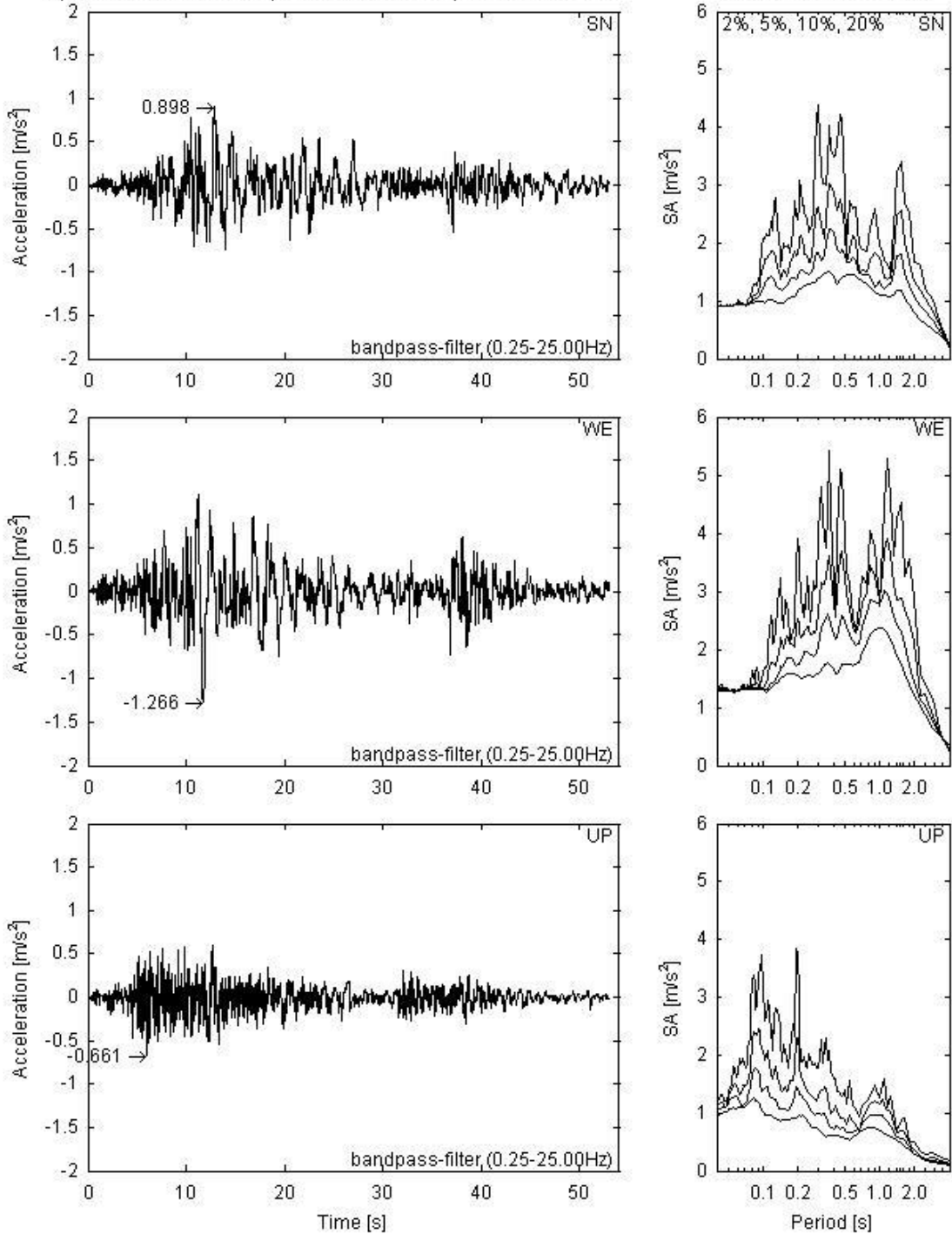


Moinfar A. (1990)

earthquake: Izmit, 17.08.1999 00:01:40UTC, magnitude: 7.6Mw, fault mechanism: strike slip
 station: Iznik-Karayollari Sefligi Muracaati, building-type: free-field, local geology: soft soil

epicentral distance: 39km, fault distance: 29km, instrument: SMA-1

waveform code: 001230

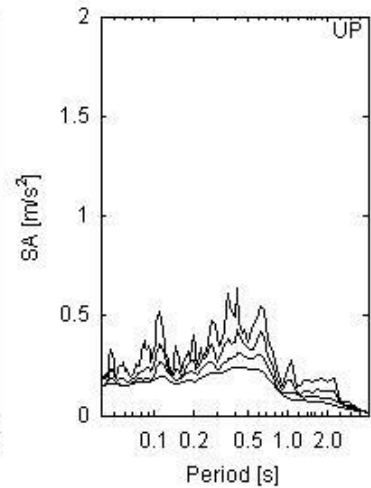
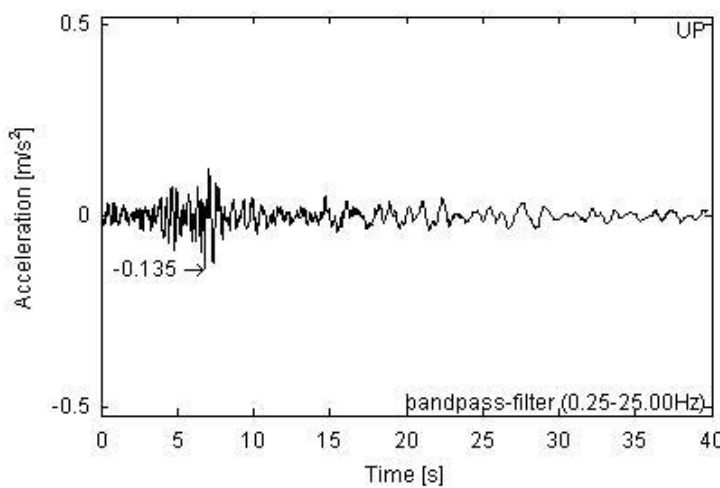
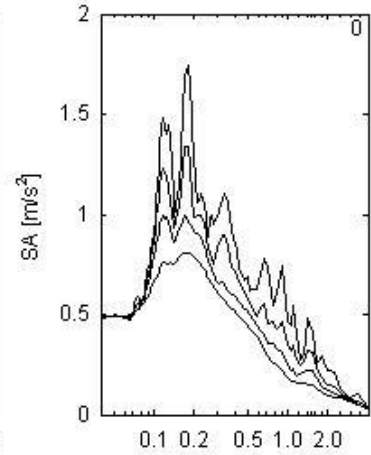
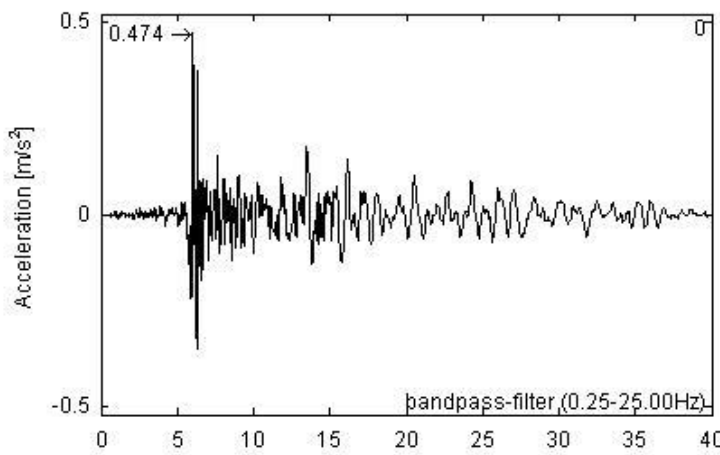
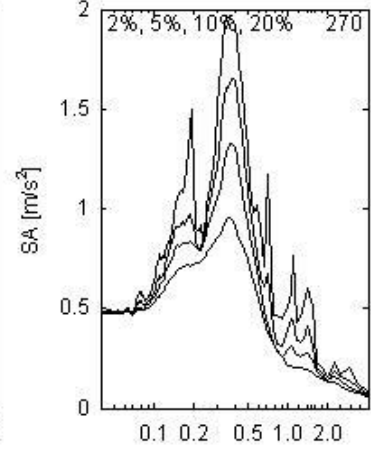
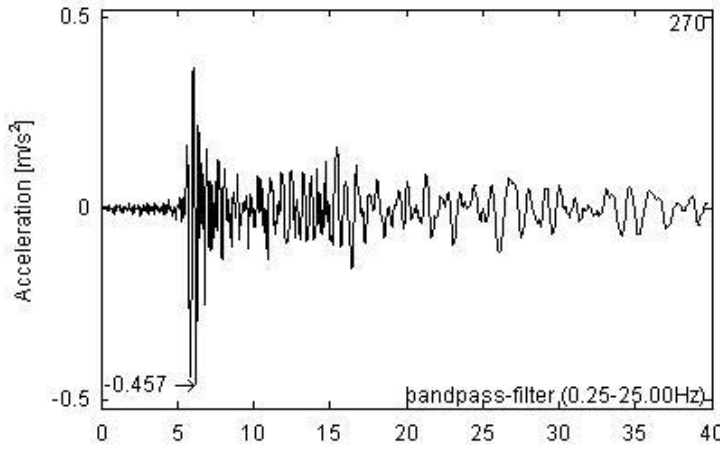


General Directorate of Disaster Affairs

earthquake: Izmit (aftershock), 31.08.1999 08:10:49UTC, magnitude: 5.1Mw, fault mechanism: oblique
 station: Adapazari A.Babalioglu Evi, building-type: free-field, local geology: very soft soil

epicentral distance: 39km, fault distance: ?, instrument: SSA-12

waveform code: 006944



COSMOS, <http>