

UDC 624.21

SCOPUS CODE 2201

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-2-105-118>

ჭრილ-კოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის $L=42.6$ მ სიგრძის მალის ნაშენისათვის რეაქციის სპექტრების განსაზღვრის შესახებ

იოსებ უთმელიძე საგზაო დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68^ბ
E-mail: utmelidze.i@gtu.ge

რეცენზენტები:

გ. დათუკიშვილი, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: g.datukishvili@gtu.ge

ზ. გელაძე, შპს IDM-ის დირექტორი, ტ.მ.კ.

E-mail: mail@idm.ge

ანოტაცია. თანამედროვე სეისმომდეგობის სპექტრული თეორია ეფუძნება წრფივი ოსცილატორის ძალზე გამარტივებულ საანგარიშო მოდელს, რის საფუძველზეც მიღებულია სპექტრული მრუდები, რაც გამარტივებული მოდელია. თანამედროვე საანგარიშო კომპლექსების გამოყენებით შესაძლებელი ხდება ზუსტი საანგარიშო მოდელით (რეალური აქსელეროგრამების გამოყენებით) ნაგებობათა გაანგარიშება, რაც უფრო რეალურ შედეგებს იძლევა, ვიდრე დამკვიდრებული სეისმომდეგობის თეორია.

სტატიაში განხილულია ჭრილ-კოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის (სიგრძით $L=42.6$ მ) მალის ნაშენის დინამიკური (სეისმური) რეაქციის ვერტიკალური სპექტრების განსაზღვრის მეთოდოლოგია,

რომელიც ეფუძნება მიწისძვრების რეალურ ჩანაწერებს (აქსელეროგრამებს).

აქსელეროგრამების შერჩევის მეთოდოლოგია ეფუძნება კრიტერიუმს, რომ შეირჩეს ისეთი აქსელეროგრამა (ან მათი ჯგუფი), რომელიც განაპირობებს მალის ნაშენში მაქსიმალური ძალების განვითარებას.

განსაზღვრულია ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის საკუთარი რხევის პერიოდები და სიხშირეები, რის საფუძველზეც მოხდა შესაბამისი მიწისძვრის საანგარიშო აქსელეროგრამების ვერტიკალური მდგენელის გაანგარიშება და შერჩევა.

ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენისათვის სხვადასხვა კატეგორიის გრუნტისათვის მიღებული სპექტრებით და, ასევე, სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტის (GEO-ის, СНиП-ის, EN-ის და AASHTO-ს) მიხედვით გავიანგარიშეთ მალის ნაშენი, მიღებული

შედგენი შევადარეთ და გავანალიზეთ, რის საფუძველზეც განისაზღვრა EN-ის (ევროკოდის) ნორმატიული დოკუმენტის ეროვნული დანართისათვის სარეკომენდაციო დებულებები.

საკვანძო სიტყვები: დინამიკური რეაქციის ვერტიკალური სპექტრები; მიწისძვრის საანგარიშო აქსელეროგრამა; რხევის პერიოდი; ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენი; წრიული სიხშირე.

შესავალი

დღესდღეისობით სეისმომდეგობის სპექტრული თეორია ერთდერთი და ჯერაც შეუცვლელი თეორიაა, რომელმაც ასახვა პოვა მრავალი ქვეყნის და მათ შორის საქართველოს ნორმებშიც. ამ თეორიის საფუძველზეა დამუშავებული ყოფილ საბჭოთა კავშირში მოქმედი ნორმები СНиП, ამერიკული AASHTO და ევროპული ნორმები, EN – ევროკოდი.

ყველა ნორმატიულ დოკუმენტში დინამიკური რეაქციის სპექტრების განსაზღვრა ეფუძნება ვერტიკალური ერთმასიანი კონსოლური სისტემის (ოსცილატორის) გამოცდის ან თეორიული გაანგარიშებებით მიღებულ შედეგებს და არ ითვალისწინებს სხვადასხვა კონსტრუქციის ძალზე მრავალფეროვან საანგარიშო სქემებს.

მარტივი შედარებისათვის – მაგალითად, ჭრილი და უჭრი კოჭური სისტემის ხიდების მალის ნაშენებისათვის, თალური სისტემის მალის ნაშენებისათვის, კიდული და ვანტური სისტემებისათვის, ყველა სხვა ნაგებობისათვის, განურჩევლად სისტემისა, მასებისა და სიხისტეების კონკრეტული გადანაწილე-

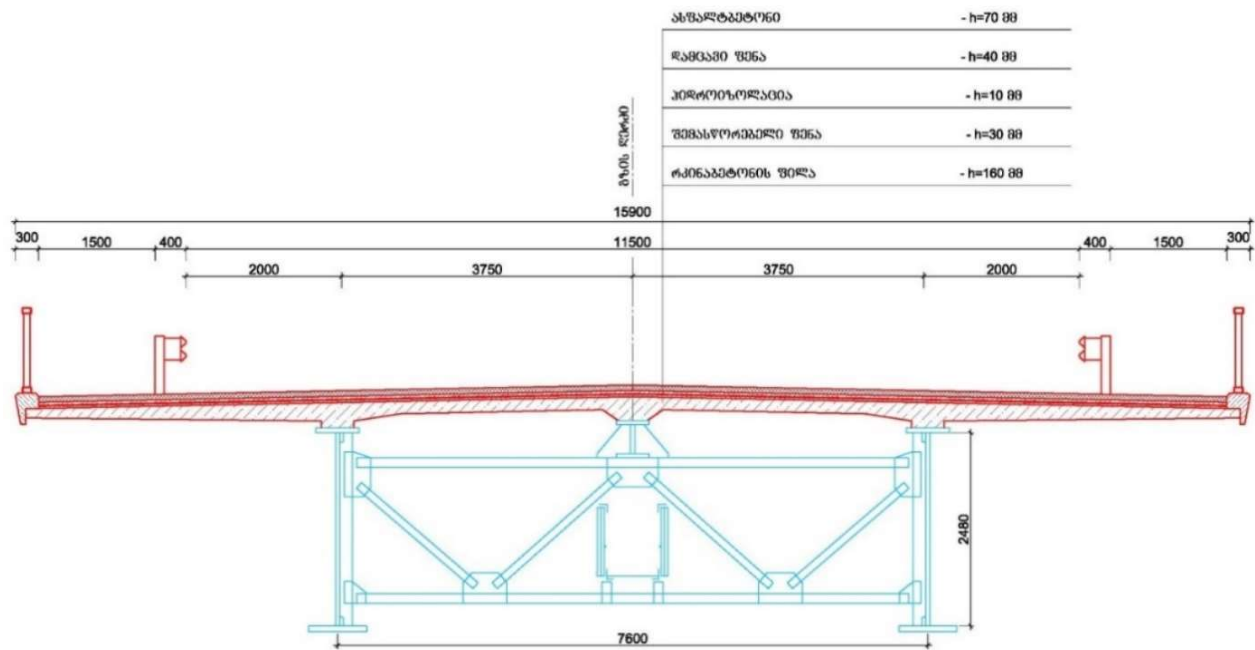
ბისა $\beta=f(T_i)$ მრუდები ყოველთვის უცვლელი და უნივერსალურია ანუ გამოსადეგია ყველა შემთხვევისათვის, რაც ჩვენი აზრით შორსაა რეალობისაგან.

აქედან გამომდინარე, აუცილებლობას წარმოადგენს სეისმური დინამიკური რეაქციის ვერტიკალური სპექტრების განსაზღვრა კონკრეტული სისტემებისათვის, მათ შორის სხვადასხვა სისტემის მალის ნაშენებისათვის.

ძირითადი ნაწილი

ჭრილ-კოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის (სიგრძე $L=42.6$ მ) მალის ნაშენი (ტიპობრივი კონსტრუქციები, სერია 3.503.9-110.93) შედგება ორი მთავარი კოჭისაგან, გრძივი და განივი კავშირებისაგან, სავალ ნაწილში კი გამოყენებულია რკინაბეტონის ფილა, რომელიც მთავარ კოჭებთან საბჯენებით არის დაკავშირებული. მალის ნაშენის გაბარიტი არის $\Gamma=11.5$ მ, აქედან სავალი ნაწილის ზოლის სიგანეა 7.5 მ, უსაფრთხოების ზოლებისა – 2.0 მ, ტროტუარების სიგანე კი – 1.50 მ-ია და, შესაბამისად, მალის ნაშენის განივი კვეთის მთლიანი სიგანე შეადგენს 15.90 მ-ს. მთავარი კოჭის ქვედა და ზედა სარტყლების სისქეები სხვადასხვა კვეთში ცვალებადია და, შესაბამისად, ცვალებადია სიხისტეებიც (სურ. 1).

ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენისათვის განისაზღვრა საკუთარი რხევის სიხშირეები და პერიოდები რხევის პირველი სამი ფორმისთვის (ცხრილი 1), რისთვისაც გამოყენებული იყო საანგარიშო კომპლექსი MIDAS Civil 2019, რომელიც დამუშავებულია სასრული ელემენტების მეთოდის საფუძველზე.



სურ. 1. L=42.6 მ სიგრძის ფოლადკონსტრუქციის მალის ნაშენის განივი კვეთი

ცხრილი 1

რხევის ფორმა	წრიული სიხშირე რად/წმ	სიხშირე 1/წმ	პერიოდი წმ
1	10.799	1.719	0.582
2	30.984	4.931	0.203
3	71.703	11.411	0.088

ფოლადკონსტრუქციის მალის ნაშენების საკუთარი რხევის პერიოდებისა და სიხშირეების განსაზღვრის შემდეგ აქსელეროგრამების მონაცემთა ბანკიდან შერჩეული იყო შვიდი აქსელეროგრამა გრუნტის თითოეული კატეგორიისათვის, რომლის დომინანტური პერიოდები ახლოსაა ჩვენ მიერ განხილულ მალის ნაშენის საკუთარ (ჰარმონიულ) რხევის პერიოდებთან.

მიწისძვრის პიკური აჩქარებები ურთიერთობოგონალური მიმართულებებით სხვადასხვა სი-

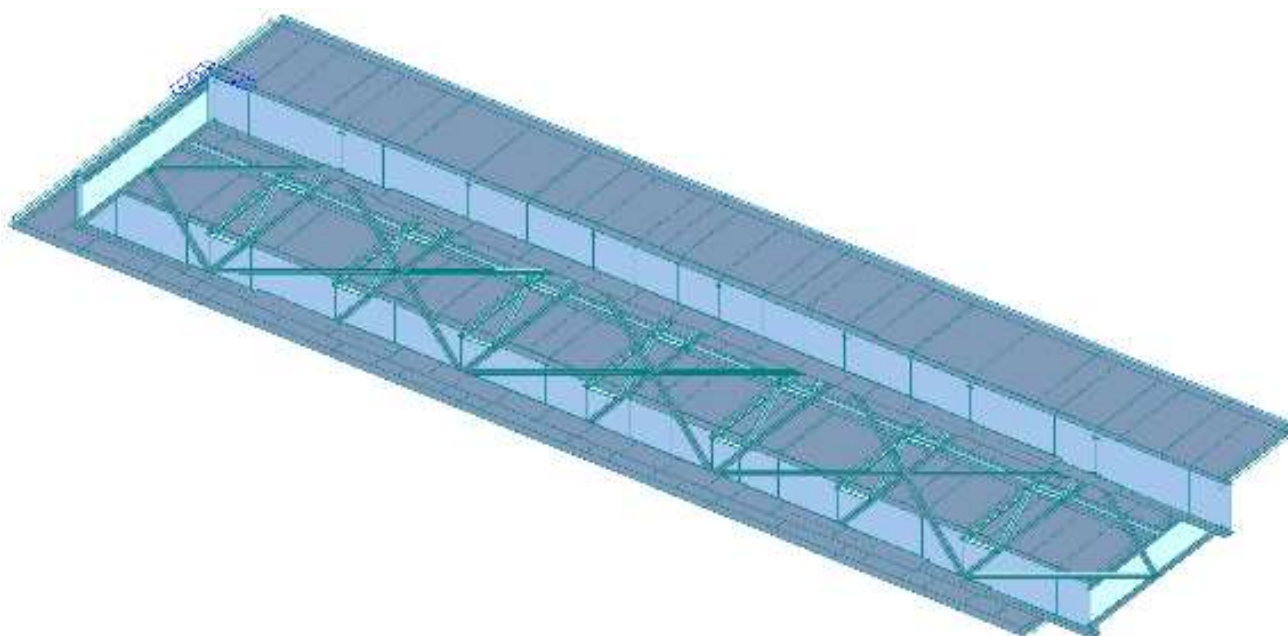
დიდისაა. ვინაიდან მალის ნაშენებისათვის განსაკუთრებით სახიფათოა ვერტიკალური მდგენელი, ამიტომ შერჩეული იყო ვერტიკალური რხევის ისეთი ჩანაწერები, რომლის რხევის პერიოდი მაქსიმალურად უახლოვდება კონსტრუქციის რხევის პერიოდებს.

ამ მიზნით აქსელეროგრამების მონაცემთა ბანკიდან შეირჩა სხვადასხვა აქსელეროგრამა (კლასიფიცირებული სეისმურობის მიხედვით სხვადასხვა გრუნტის კატეგორიებისათვის), რომელთა ძირი-

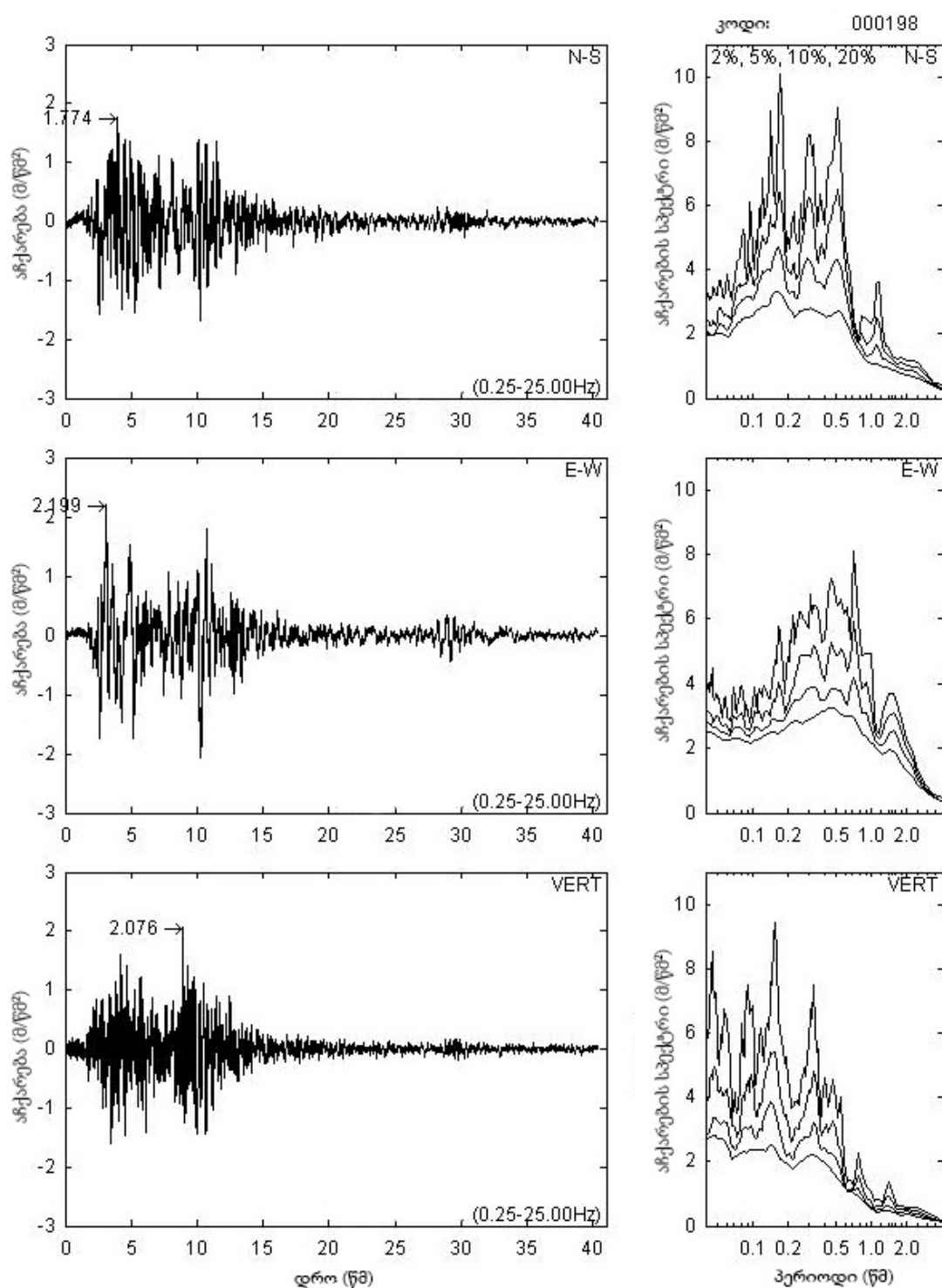
თადი ფაზები დაიშალა ჰარმონიკებად (ფურიეს მწკრივის საფუძველზე), და რამაც მოგვცა შესაძლებლობა შეგვერჩია საჭირო აქსელეროგრამა.

საანგარიშო კომპლექსური პროგრამა MIDAS Civil-ში დამუშავდა ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი (სურ. 2) და პირდაპირი დინამიკური მეთოდის გამოყენებით განისაზღვრა ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის აჩქარებები, რომლის საფუძველზეც პროგრამა SeismoSignal 2021-ის საფუძველზე აიგო აჩქარებების სპექტრები.

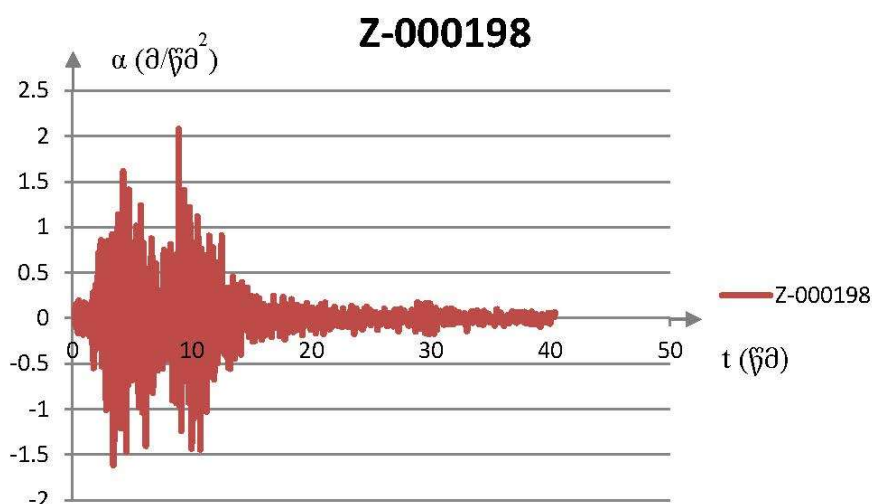
აჩქარების სპექტრის დასადგენად გამოყენებული იყო მონტენეგროს სამკომპონენტო მიწისძვრის რეალური ჩანაწერი – აქსელეროგრამა (სურ. 3), რომლის ვერტიკალური მდგენელი ცალკე გამოიყო (სურ. 4) და მოხდა მისი ნორმალიზება (ორდინატები გაიყო მაქსიმალურ ორდინატზე), რათა გამორიცხულიყო მაგნიტუდის ფაქტორი (შერჩეულ აქსელეროგრამებს აქვს სხვადასხვა მაგნიტუდა).



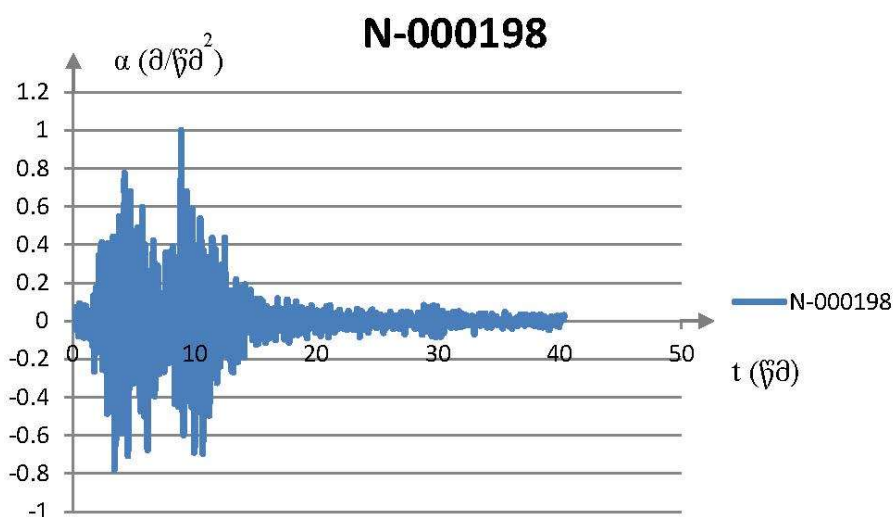
სურ. 2. $L=42.6$ მ სიგრძის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის საანგარიშო მოდელი



ნახ. 3. მონტენეგროს მიწისძვრის ჩანაწერი (კოდი:000198)



სურ. 4. მონტენეგროს მიწისძვრის ვერტიკალური
აქსელეროგრამა (კოდი:000198)

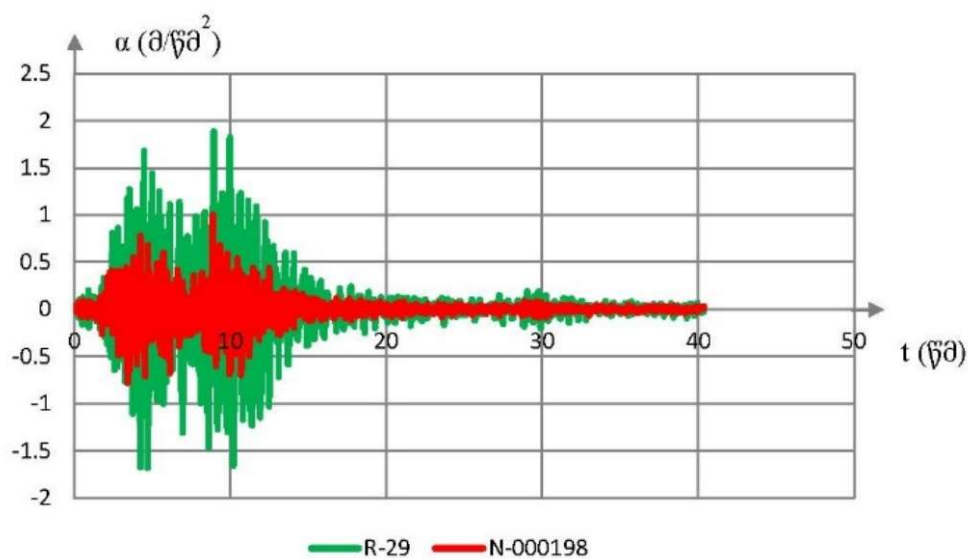


სურ. 5. მონტენეგროს მიწისძვრის ვერტიკალური
ნორმალიზებული აქსელეროგრამა (კოდი:000198)

ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენზე მონტენეგროს 1979 წლის 6,9 მაგნიტუდის მიწისძვრის (შერჩეული შვიდი აქსელეროგრამიდან ერთ-ერთის, რომელიც მაგალითის სახით მოგვყავს ამოცანის ვიზუალიზაციისათვის) ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამის ზემოქმედების შედეგად მივიღეთ მალის ნაშენის აჩქარებები, რომ-

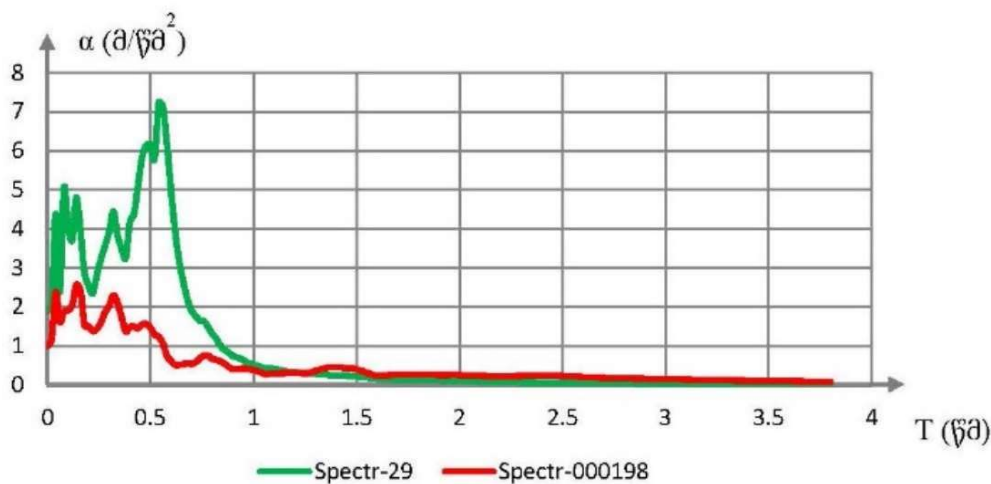
ლებიც შეუდარდა ნორმალიზებულ აჩქარებებს და დადგინდა, თუ რეალური კონსტრუქციის შემთხვევაში რამდენჯერ გაიზარდა ნორმალიზებული აჩქარებები (სურ. 6).

მოცემული კონკრეტული შემთხვევისათვის მალის ნაშენის რეაქციის მაქსიმალური აჩქარება იყო 1.88 მ/წმ². შესაბამისად ააგეს მათი სპექტრები (სურ. 7).



სურ. 6. მონტენეგროს მიწისძვრის ზემოქმედებისას ვერტიკალური ნორმალიზებული აქსელეროგრამა (კოდი:000198) და $L=42.60$ მალის ნაშენის რეაქცია (აჩქარებების სახით)

სპექტრი



სურ. 7. მონტენეგროს მიწისძვრის ვერტიკალური ნორმალიზებული სპექტრი (კოდი:000198) და $L=42.6$ მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრი

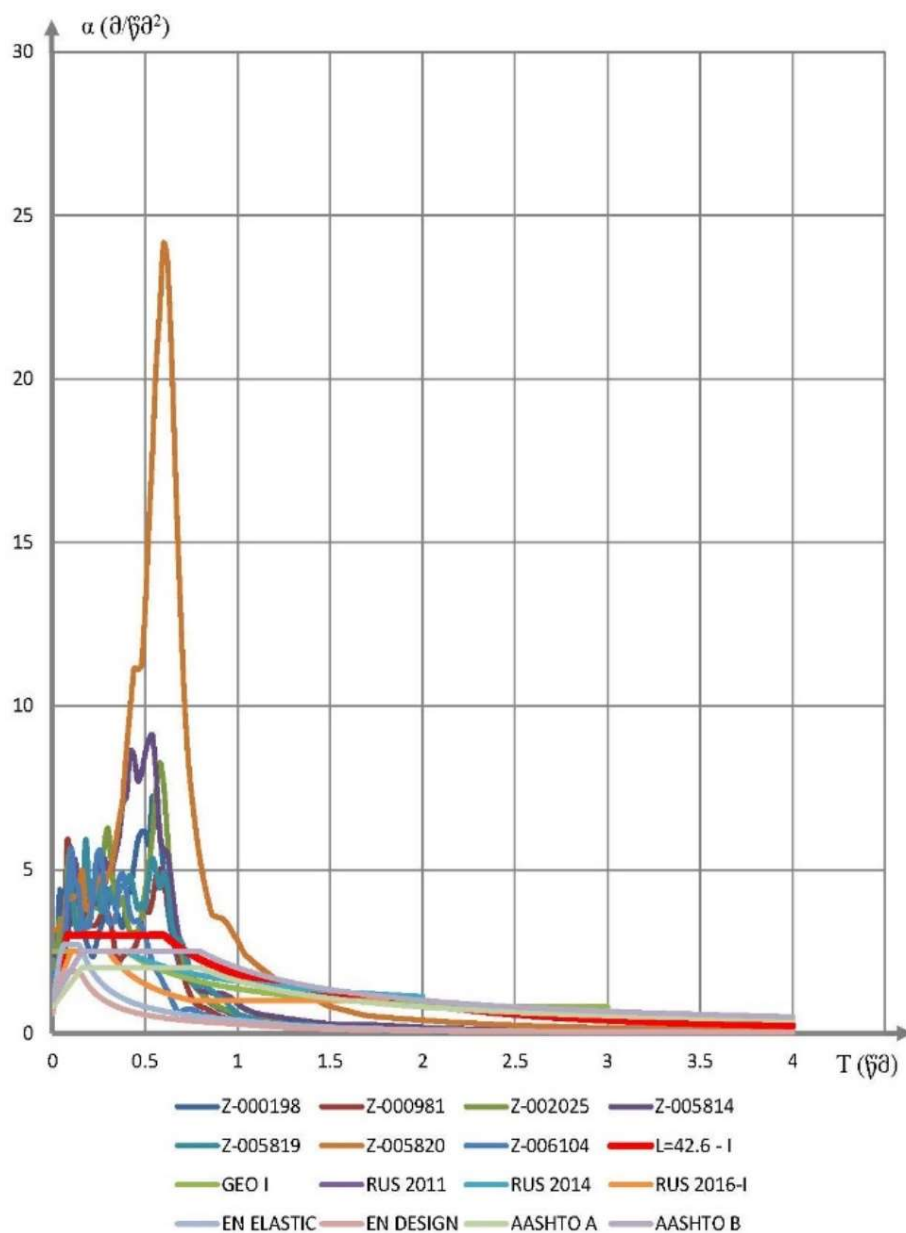
იგივე მიდგომა გავრცელდა დანარჩენ შერჩეულ აქსელეროგრამებზეც, რამაც მოგვცა საშუალება დაგვემუშავებინა აჩქარებების სპექტრები (სურ. 8).

სეისმურობის კუთხით I კატეგორიის გრუნტებისათვის აჩქარებების სპექტრები (შვიდივე აქსე-

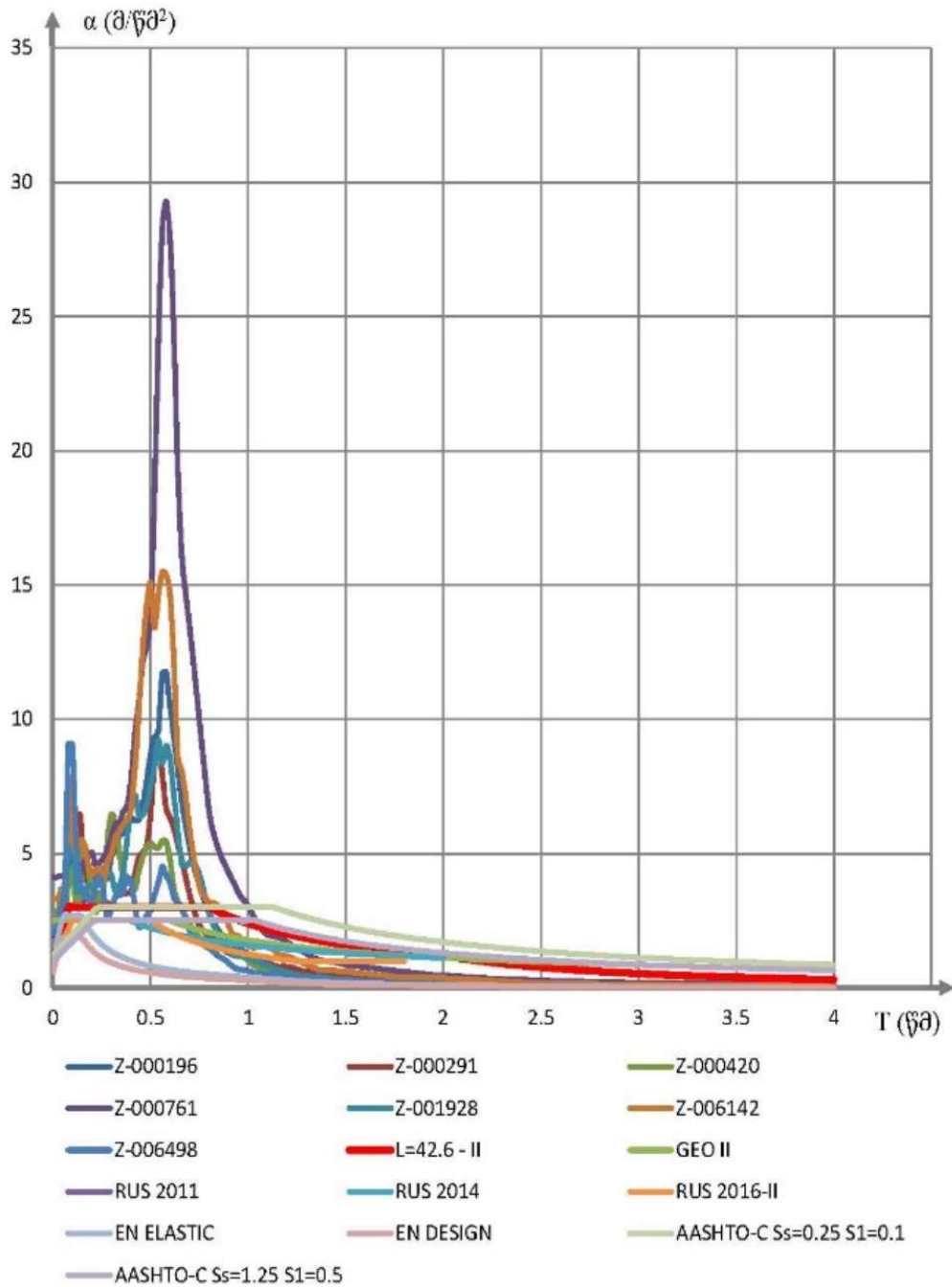
ლეროგრამის გამოყენებით) მოცემულია მე-8 სურ-ზე რომელზეც მოცემულია ნორმატიული დოკუმენტაციით გათვალისწინებული სპექტრებიც (GEO, CHИП, EN და AASHTO).

იგივე მიდგომა განხორციელდა II და III კატეგორიის გრუნტებისათვის ფოლადრკინაბეტონის $L=42.60$ მ სიგრძის მალის ნაშენისას. შეირჩა შვიდ-შვიდი აქსელეროგრამა და მათი ზემოქმედების შედეგად მიღებული აჩქარებების სპექტრები, აგრეთ-

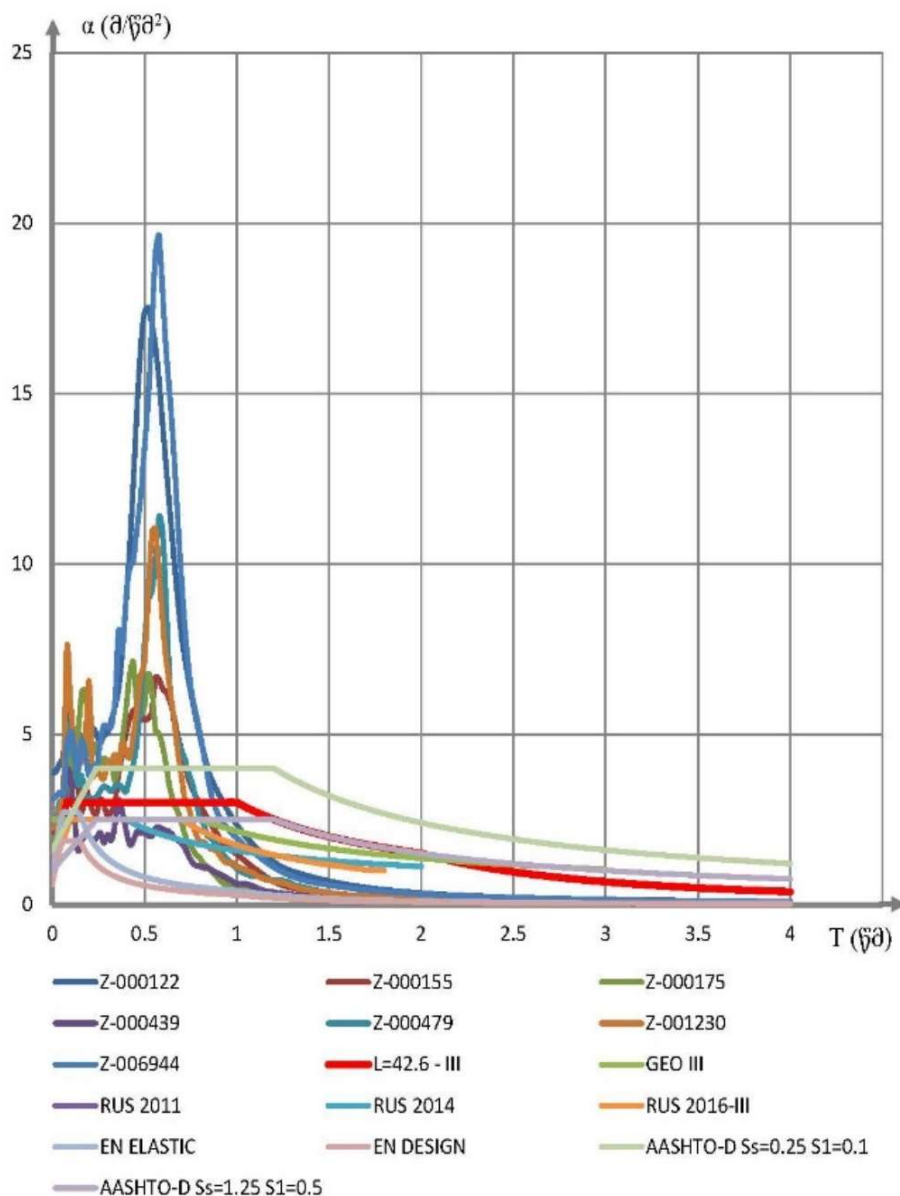
ვე სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტაციით გათვალისწინებული სპექტრები (GEO, СНиП, EN და AASHTO) მოცემულია შესაბამისად მე-9 და მე-10 სურ-ზე.



სურ. 8. $L=42.6$ მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები I კატეგორიის გრუნტებისათვის



სურ. 9. L=42.6 მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები
II კატეგორიის გრუნტებისათვის



სურ. 10. $L=42.6$ მალის ნაშენის რეაქციის სპექტრები
III კატეგორიის გრუნტებისათვის

ჩვენ მიერ სხვადასხვა კატეგორიის გრუნტისათვის მიღებული სპექტრებით, აგრეთვე სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტის (GEO, CHИП, EN და AASHTO) მიხედვით გათვალისწინებული მეთოდოლოგიით ჩატარდა შერჩეული მალის ნაშენის გაანგარიშება.

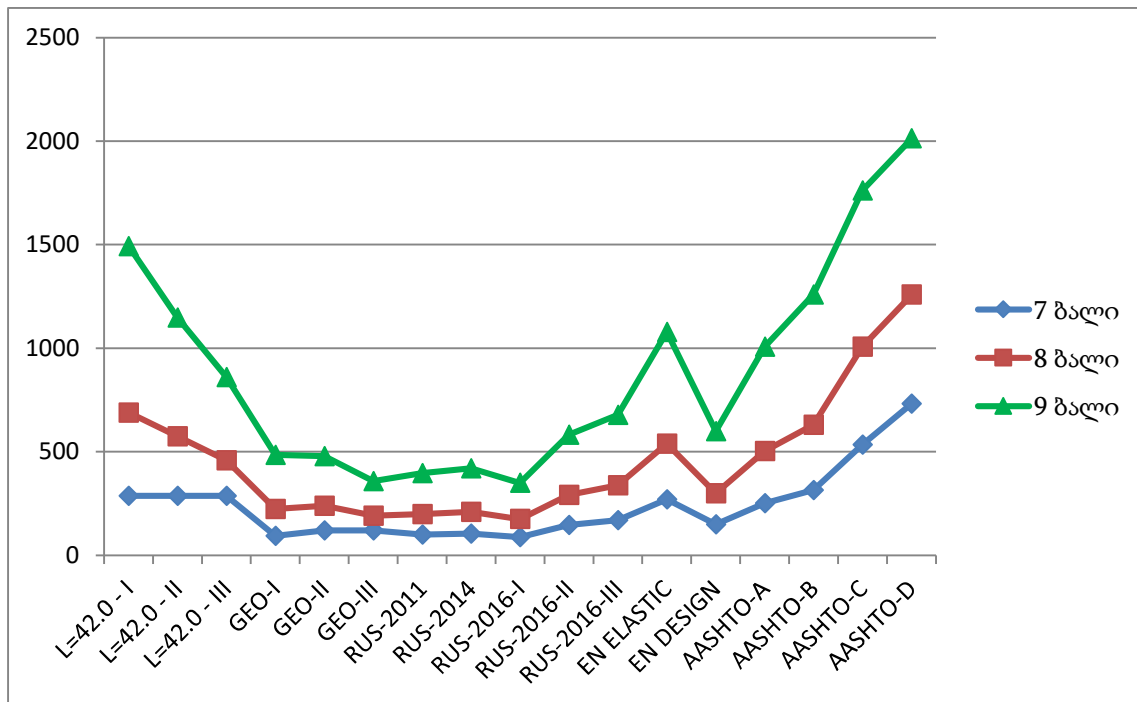
ფოლადრკინაბეტონის $L=42.60$ მ სიგრძის მალის ნაშენისათვის სამივე გრუნტის კატეგორიისათვის სხვადასხვა ბალიანობისას მოხდა გაანგარიშება და სეისმური ძალების შედეგები მოცემულია მე-2 ცხრილში.

ცხრილი 2

№	დასახელება	7 ბალი	8 ბალი	9 ბალი
		M, ტ-მ	M, ტ-მ	M, ტ-მ
1	L=42.0 - I	286.91	688.57	1491.91
2	L=42.0 - II	286.91	573.81	1147.62
3	L=42.0 - III	286.91	459.05	860.72
4	GEO-I	93.16	223.58	484.43
5	GEO-II	119.55	239.09	478.18
6	GEO-III	119.55	191.27	358.64
7	RUS-2011	99.14	198.28	396.56
8	RUS-2014	104.8	209.61	419.22
9	RUS-2016-I	87.49	174.98	349.95
10	RUS-2016-II	145.55	291.1	582.19
11	RUS-2016-III	169.32	338.65	677.3
12	EN ELASTIC	269.49	538.98	1077.95
13	EN DESIGN	149.72	299.43	598.87
14	AASHTO-A	251.99	503.97	1007.94
15	AASHTO-B	314.98	629.96	1259.93
16	AASHTO-C	534.86	1006.94	1761.95
17	AASHTO-D	732.12	1258.48	2013.37

სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტის (GEO, СНиП, EN და AASHTO), აგრეთვე ჩვენ მიერ მიღებული სპექტრების საფუძველზე გამოთვლილი შე-

დეგების ვიზუალიზაციისათვის დამუშავდა გრაფიკი, რომელიც წარმოდგენილია მე-11 სურ-ზე.



სურ. 11. სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტისა და ახალი სპექტრების მიხედვით
L=42.6 მ მალის ნაშენში განვითარებული ძალების მნიშვნელობები

დასკვნა

1. ჭრილ-კოჭური სისტემის ფოლადრკინაბეტონის მალის ნაშენის საკუთარი რხევის პერიოდების საფუძველზე შერჩეული აქსელეროგრამებით მიღებული რეაქციის სპექტრებით ვღებულობთ გაცილებით დიდ ძალებს, ვიდრე საკუთარი რხევის პერიოდების გაუთვალისწინებლად მიღებული სპექტრებით.

2. სხვადასხვა ნორმატიულ დოკუმენტში (GEO, CHиП და AASHTO) მოცემული ვერტიკალური სპექტრები ითვალისწინებს გრუნტის კატეგორიებს, რომლებიც მიიღება ჰორიზონტალური სპექტრის გარდაქმნით, ხოლო EN-ის (ევროკოდის) ნორმატიული დოკუმენტების მიხედვით ვერტიკალური სპექტრი

გრუნტის კატეგორიაზე არ არის დამოკიდებული და წარმოდგენილია ვიწრო სპექტრის სახით.

კვლევებმა აჩვენა, რომ მოცემულ შემთხვევაში, როდესაც კონსტრუქციას აქვს რხევის დიდი პერიოდები აჩქარებების სპექტრი მოცემული უნდა იყოს ფართო დიაპაზონში.

3. სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტით (GEO, CHиП და AASHTO მიხედვით, გარდა EN) გათვალისწინებულია გრუნტის კატეგორიის კოეფიციენტები.

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე, გრუნტების გავლენა კონსტრუქციაზე შესაძლებელია აისახოს აჩქარებების სპექტრების ფართო დიაპაზონის სახით.

ლიტერატურა

1. Construction norms and rules. (2009). Earthquake-resistant construction. (In Georgian);
 2. Building Code. (2011). Set of rules #14.13330.2011. Construction in seismic regions. (In Russian);
 3. Building Code. (2014). Set of rules #14.13330.2014 Construction in seismic regions. (In Russian);
 4. Building Code. (2016). Set of rules #268.1325800.2016 Transport facilities in seismic regions. (In Russian);
 5. Eurocode. (2009). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.*
 6. Eurocode. (2010). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part2: Bridges. Incorporating corrigendum.*
 7. American Association of state Highway and Transportation Officials. (2014). *LRFD Bridge Design Specifications, 7th ed.*
 8. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. (2014). *LRFD Seismic Analysis and Design of Bridges. Reference Manual.*
-

UDC 624.21

SCOPUS CODE 2201

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-2-105-118>

On the Determination of Reaction Spectrum for Simple Span Composite Steel and Concrete Beam Superstructure with a Length $L = 42.6$ m.

Ioseb Utmelidze

Department of Roads, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68^b,
M. Kostava str.
E-mail: utmelidze.i@gtu.ge

Reviewers:

G. Datukishvili, Associate Professor, Faculty of Construction, GTU

E-mail: g.datukishvili@gtu.ge

Z. Geladze, Director of IDM Ltd., Doctor of Technical Sciences

E-mail: mail@idm.ge

Abstract. Modern seismic resistance theory is based on a highly simplified linear oscillator calculation model based on spectral curves, which is a simplified model. Using modern calculation complexes, it is possible to calculate buildings with an accurate calculation model (using real accelerograms), which gives more realistic results than the established seismic reliability theory.

The methodology for determination of reaction spectrum for simple span composite steel and concrete beam superstructure with a length $L = 42.6$ m on real earthquake records (accelerograms) is discussed.

The methodology for selecting accelerometers is based on the criterion of selecting an accelerogram (or group of them) that determines the development of maximum forces in superstructure.

The periods and frequencies of the own oscillation of the simple span composite steel and concrete beam superstructure were determined, on the basis of which the vertical compiler of the relevant earthquake accelerometers was calculated and selected.

For the construction of steel-reinforced concrete slabs with different spectra obtained for different categories of soil and also according to various normative documents (GEO, SNiP, EN and AASHTO) we calculated the slab construction, compared the results and analyzed them. Based on them, the recommendations for the national annex to the Eurocode normative document were defined.

Keywords: circular frequency; earthquake calculation accelerogram; oscillation period; steel and concrete beam superstructure; vertical spectra of dynamic reaction.

განხილვის თარიღი 22.03.2022

შემოსვლის თარიღი 24.03.2022

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 06.06.2022