

„Lahmeyer International GmbH“
172 ფრიდბერგერ შტრასე
D-61118 ბად ფილბელი
გერმანია

ონის ჰესების კასკადი, საქართველო

სეისმური საფრთხეების შეფასება ალბათური მეთოდით

26 ოქტომბერი, 2016წ.

H:_6000 Studer Projekte\6326_Lahmeyer_PSHA_Oni_Cascade\3_Planung\01_Berichte\StE_Re_PSHA_Oni_Cascade_20161026.docx

დამკვეთი	„Lahmeyer International GmbH“ 172 ფრიდბერგერ შტრასე D-61118 ბად ფილბელი გერმანია
იორგ გროსმანი	Tel. +49-6101-55 1334 joerg.grossmann@de.lahmeyer.com
შემსრულებელი	„Studer Engineering GmbH“ 56 თურგაუერშტრასე, 8050 ციურიხი, შვეიცარია Tel.: +41-44-481 06 00
თომას ვებერი,	weber@studer-engineering.ch
დოკუმენტის #. 6326-1 ვერსია - თარიღი 26 ოქტომბერი, 2016წ.	

სარჩევი

სარჩევი	3
1 შემაჯამებელი მიმოხილვა	5
2 შესავალი	7
2.1 ზოგადი ნაწილი	7
2.2 მდგომარეობა	8
3 სეისმური საფრთხის შეფასების პრინციპები	10
3.1 სეისმური საფრთხის დეტერმინისტული ანალიზი (DSHA)	10
3.2 მიწისძვრის საფრთხის ალბათური შეფასება (PSHA)	12
3.3 შემადგენელ ნაწილებად დაყოფა	13
4 სეისმოტექტონიკური გარემო	15
4.1 გეოლოგიური და ტექტონიკური რეჟიმი კავკასიის რეგიონში და საპროექტო უბნის ირგვლივ	15
4.2 გეოლოგიური მდგომარეობა საპროექტო ტერიტორიაზე	22
5 სეისმურობა	24
5.1 მიწისძვრების კატალოგური მონაცემები	24
5.2 სამუშაო კატალოგი	26
5.3 ისტორიული მიწისძვრები	28
6 სეისმური კერის მოდელი	30
6.1 პროცედურა	30
6.2 სეისმური კერის ზონის მოდელის განსაზღვრება	31
6.3 მილევადობის თანაფარდობები	34
7 ინდივიდუალური საფრთხის შედეგები	38
7.1 სრული საფრთხე	38
7.2 კერის როლი ალბათურ საფრთხესთან მიმართებით	41
7.3 სეისმური საფრთხის შემადგენელ ნაწილებად დაყოფა	41
7.4 ერთგვაროვანი საფრთხის სპექტრი	43
8 სეისმური საფრთხის ალბათური ანალიზის შედეგები	45
8.1 ლოგიკური სქემის კომბინაცია	45
8.2 ლოგიკური სქემების კომბინაციების შედეგები ქანის მოედნებისთვის	46

8.3	უსაფრთხო დონის მიწისძვრის (SEE), პროექტის საანგარიშო მიწისძვრის (DBE) და ექსპლუატაციისას საანგარიშო მიწისძვრის (OBE) საინჟინრო პარამეტრების საბოლოო შეფასება	49
8.3.1	აჩქარების რეაგირების სპექტრი SEE, DBE და OBE-ის შემთხვევაში ქანის მოედნებისთვის	49
8.3.2	აჩქარების რეაგირების სპექტრები ქანის მოედნების დამატებითი პერიოდულობისთვის	51
8.3.3	აჩქარების რეაგირების სპექტრები რბილი ქანების მოედნებზე	53
9	შედარება საფრთხეების სხვა კვლევებთან	55
10	სეისმური საფრთხეების დეტერმინისტული ანალიზი	57
11	გამოყენებული ლიტერატურა	59
დანართი 1	კერის ზონის პარამეტრები	64
დანართი 2	სამუშაო კატალოგი	Error! Bookmark not defined.

1 შემაჯამებელი მიმოხილვა

ონის ჰესების კასკადის პროექტისთვის საქართველოში სეისმური საფრთხეების ალბათურ შეფასებაზე დაყრდნობით შემოთავაზებულია გრუნტის რხევის პარამეტრები უსაფრთხოდ შეფასებული მიწისძვრის (SEE) შემთხვევაში უსაფრთხო დონეზე, პროექტის საანგარიშო მიწისძვრისა (DBE) და ექსპლუატაციის საანგარიშო მიწისძვრის (OBE) შემთხვევაში ექსპლუატაციისთვის დასაშვებ დონეზე. მიწისძვრის დროს გრუნტის ყველა რხევა შერჩეულია დამკვიდრებული საერთაშორისო სტანდარტების, მაგ. მაღალი კაშხლების საერთაშორისო კომისიის (ICOLD) 148-ე გამოცემის შესაბამისად "სეისმური პარამეტრების შერჩევა მაღალი კაშხლების შემთხვევაში" (ICOLD 2010).

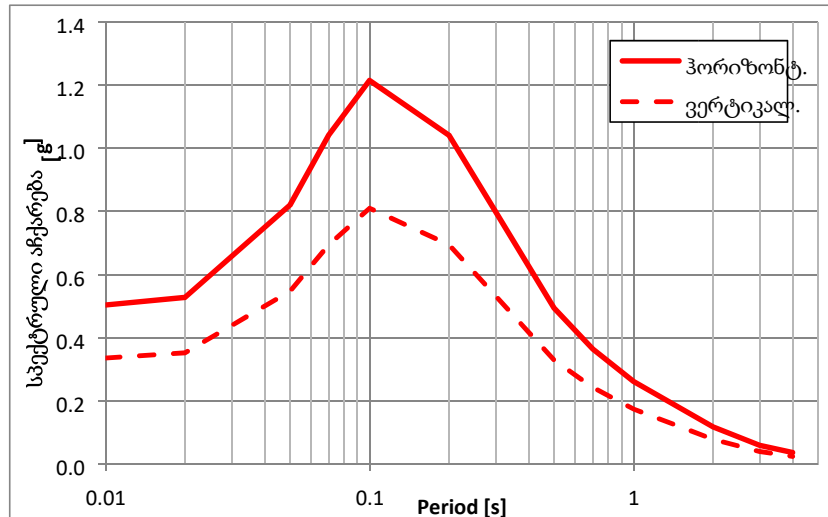
გადაჭარბების რეკომენდებული წლიური ალბათობა SEE-ის შემთხვევაში არის $1 / 5'000$ ონის ჰესების კასკადისთვის. ეს მნიშვნელობა თავსებადია ICOLD-ის რეკომენდაციებთან და კაშხლების ინჟინერიის საყოველთაო პრაქტიკასთან მცირე და საშუალო ზომის კაშხლების შემთხვევაში. ICOLD-ის (2010) შესაბამისად, ონის ჰესების კასკადი მცირე ზომის კაშხლად ითვლება კაშხლის მცირე სიმაღლისა (< 15 მ) და წყალსაცავის მცირე ზომის (< 1 მლნ. მ³) გამო.

DBE შესაბამება წლიური გადაჭარბების ალბათობას $1/475$, შესაბამისად, თანხვედრაშია თანამედროვე სამშენებლო კოდექსებით, მაგალითად Eurocode 8-ით, გათვალისწინებულ შენობა-ნაგებობებთან დაკავშირებულ მიწისძვრის ქმედებასთან, ჩვეულებრივი შენობა-ნაგებობების შემთხვევაში, რომლებიც არ უკავშირდება უსაფრთხოებას და არ არის არსებითად მნიშვნელოვანი.

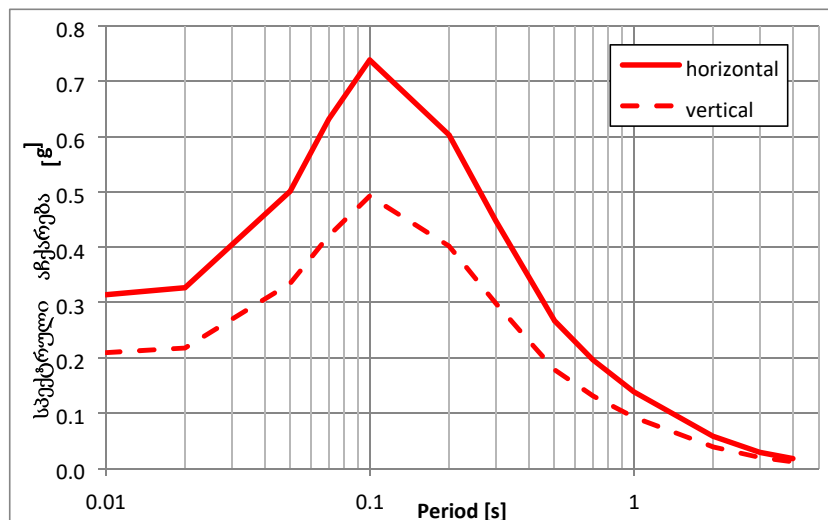
რეკომენდებული წლიური გადაჭარბების ალბათობა OBE-ის დონისთვის მნიშვნელოვნად დაბალია SEE-ის დონეებთან შედარებით, და, ICOLD-ის (2010) შესაბამისად, რეკომენდებულია მინიმუმ $1 / 145$. OBE-ის დონისთვის წლიური გადაჭარბების ალბათობის შერჩევა დამოკიდებულია დაზიანებისა და საქმიანობის შეჩერების იმ ნარჩენ რისკზე, რომლის მიღებაც სურს დამკვეთს. OBE-ის დონის შერჩევა კომპანიის ხელმძღვანელობის მისაღები გადაწყვეტილებაა. OBE არ უკავშირდება უსაფრთხოებას, არამედ განსაზღვრავს ნაგებობის მუშაუნარიანობას მცირე მიწისძვრების შემდეგ.

სეისმური პროექტის შემოთავაზებული პარამეტრები შეფასებულია ონის ჰესების კასკადის პროექტის ტერიტორიის შემთხვევაში საფრთხეების ალბათურ ანალიზზე და მიწისძვრის დეტერმინისტულ სცენარებზე დაყრდნობით. გრუნტის აჩქარებები მოცემულია დატვირთვის ფუნქციით. საპროექტო პარამეტრები შეესაბამება კაშხლის მოედნის, ასევე ძალური კვანძის ტერიტორიას და ამ მოედნებთან რამდენიმე კილომეტრის სიახლოვეს არსებულ შენობა-ნაგებობებს. საბოლოო ელასტიკური რეაგირების სპექტრები SEE-ის ($1 / 5'000$), DBE-ისა ($1 / 475$) და OBE-ის ($1 / 145$) შემთხვევაში მოცემულია ნახაზებზე 1.1 და 1.2, ასევე ცხრილში 1.1. წარმოდგენილი ერთგვაროვანი საფრთხის სპექტრები შესაბამისია სტრუქტურებისთვის, რომლებიც აგებულია კომპეტენტურ ქანებზე. გრუნტის ფენების დინამიკური რეაგირება გათვალისწინებული უნდა იქნას იმ ნაგებობების პროექტირებისთვის, რომლებიც არ აიგება ქანებზე.

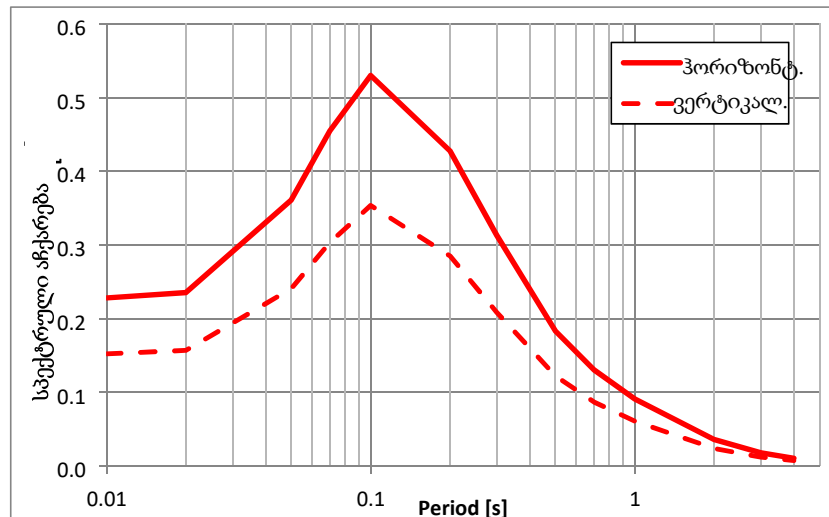
ვერტიკალური სპექტრული აჩქარების სიდიდეები აღებულია, როგორც ჰორიზონტალური სიდიდეების $2/3$.



ნახაზი 1.1: ერთგვაროვანი საფრთხის აჩქარების რეაგირების სპექტრები SEE-ის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელებისთვის, გადაჭარბების ალბათობა 1/5'000 წ. (5% ჩაქრობა)



ნახაზი 1.2: ერთგვაროვანი საფრთხის აჩქარების რეაგირების სპექტრები DBE-ის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელებისთვის, გადაჭარბების ალბათობა 1/475 წ. (5% ჩაქრობა)



ნახაზი 1.3: ერთგვაროვანი საფრთხის აჩქარების რეაგირების სპექტრები OBE-ის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელებისთვის; გადაჭარბების ალბათობა 1/145 წ. (5% ჩაქრობა)

ცხრილი 1.1: ერთგვაროვანი საფრთხეების აჩქარების რეაგირების სპექტრები SEE-ის, DBE-ისა და OBE-ის შემთხვევაში

პერიოდი [s]	SEE, გადაჭარბ. წლ. ალბათობა 1 / 5'000		DBE, გადაჭარბ. წლ. ალბათობა 1 / 475		OBE, გადაჭარბ. წლ. ალბათობა 1 / 145	
	ჰორიზ. [g]	ვერტ. [g]	ჰორიზონტ. [g]	ვერტ. [g]	ჰორიზონტ. [g]	ვერტ. [g]
PGA	0.50	0.34	0.31	0.21	0.23	0.15
0.02	0.53	0.35	0.33	0.22	0.24	0.16
0.05	0.82	0.55	0.50	0.33	0.36	0.24
0.07	1.04	0.69	0.63	0.42	0.45	0.30
0.1	1.21	0.81	0.74	0.49	0.53	0.35
0.2	1.04	0.69	0.60	0.40	0.43	0.28
0.3	0.80	0.53	0.45	0.30	0.31	0.21
0.5	0.49	0.33	0.27	0.18	0.18	0.12
0.7	0.36	0.24	0.20	0.13	0.13	0.09
1.0	0.26	0.17	0.14	0.09	0.09	0.06
2.0	0.12	0.08	0.06	0.04	0.04	0.02
3.0	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01
4.0	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01

2 შესავალი

2.1 ზოგადი ნაწილი

წინამდებარე კვლევა აფასებს მიწისძვრის საფრთხეს ონის ჰიდროელექტროსადგურების კასკადის პროექტისთვის საქართველოში. აჩქარების რეაგირების სპექტრები წარმოდგენილია უსაფრთხოდ შეფასებული მიწისძვრის (SEE) შემთხვევაში უსაფრთხო დონეზე, ექსპლუატაციის საანგარიშო მიწისძვრის (OBE) შემთხვევაში ექსპლუატაციისთვის დასაშვებ დონეზე კაშხლის ნაგებობისთვის და ასევე საპროექტო საანგარიშო მიწისძვრის

(DBE) შემთხვევაში დამხმარე ნაგებობების სეისმური კონსტრუქციისთვის. აჩქარების რეაგირების სპექტრების მნიშვნელობები გამოთვლილია ქანის მოედნის შემთხვევაში.

SEE, OBE და DBE შესაბამის საინჟინრო პარამეტრებთან ერთად (მაგ. გრუნტის მაქსიმალური აჩქარება და საპროექტო რეაგირების სპექტრები), რომლებიც საჭიროა კაშხლისა და დამხმარე ნაგებობების პროექტისთვის, მიღებულია სეისმური საფრთხეების ალბათური ანალიზის (PSHA) შედეგებზე დაყრდნობით.

SEE-ის დატვირთვის შემთხვევაში დასაშვებია სტრუქტურის გარკვეული დაზიანება, მაგრამ თავიდან უნდა იქნას აცილებული წყალსაცავიდან უკონტროლოდ გამდინარე ნაკადი და უსაფრთხოებასთან დაკავშირებული ყველა მოწყობილობა მუშაუნარიანი უნდა დარჩეს.

OBE-ის შემთხვევაში არ არის დასაშვები სტრუქტურული დაზიანება და ყველა მოწყობილობა მუშაუნარიანი უნდა დარჩეს.

სეისმური საფრთხეების ანალიზის პროცესში მრავალი პარამეტრი თამაშობს მნიშვნელოვან როლს, ამიტომ უნდა მოხდეს გაურკვევლობების გონივრული დაშვება. შესაბამისად, წინამდებარე ანგარიშში წარმოდგენილია ყველა დაშვება და მათი შედეგები. საფრთხეების წინამდებარე ანალიზში სრულდება ICOLD-ის მითითებები (ICOLD 2010).

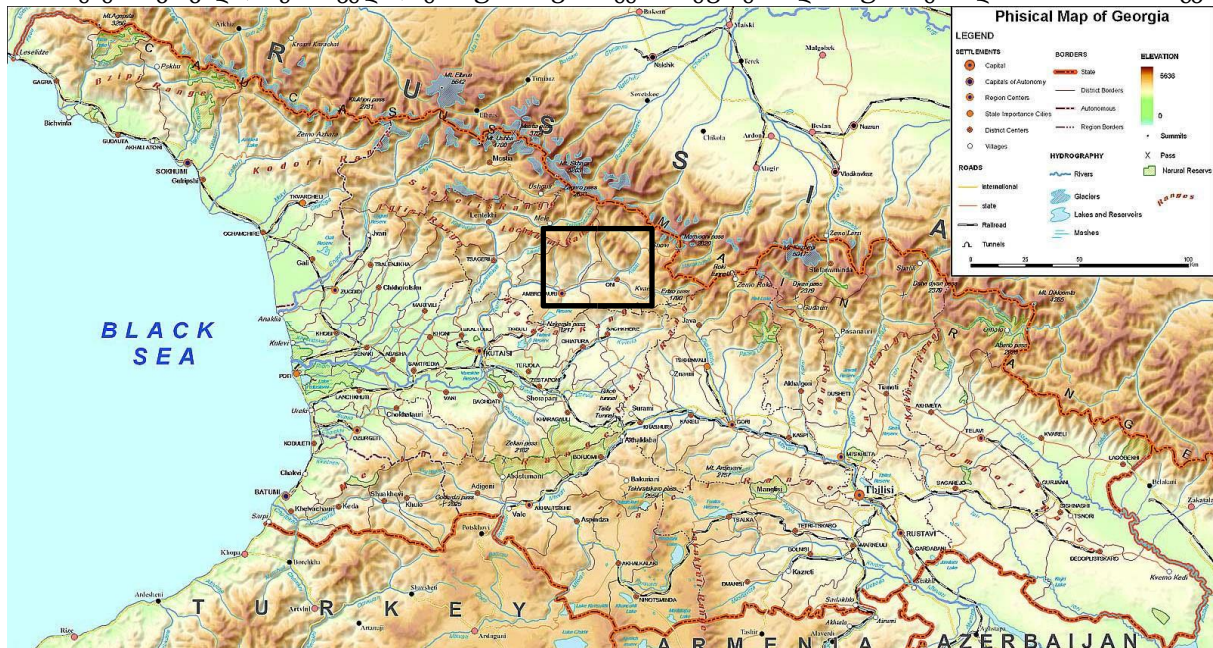
2.2 მდგომარეობა

ონის ჰესების კასკადის პროექტის განხორციელება იგეგმება კავკასიონის მთებში, საქართველოს ცენტრალურ და დასავლეთ ნაწილში, ონის დასახლებული პუნქტის ზემო დინებაში. მე-2 სურათზე ნაჩვენებია საქართველოს გეოგრაფიული მდგომარეობა, კაშხლის სამშენებლო მოედნისა და ძალური კვანძის სამშენებლო მოედნის მდებარეობა, რომლებიც ერთიმეორისგან 12 კმ-ის მანძილზე მდებარეობს. პროექტი რამდენიმე სამშენებლო მოედანს, კერძოდ, კაშხლისა და ძალური კვანძის სამშენებლო მოედნებს აერთიანებს, შესაბამისად, სეისმური საფრთხე მხოლოდ ერთი უბნისთვის არის განსაზღვრული. შესაფასებელი ტერიტორიის სახით შერჩეული იქნა ძალური კვანძის მოედანი ქალაქ ონთან ახლოს, შემდეგი კოორდინატებით:

- შესაფასებელი ტერიტორია: ონის ჰესების კასკადის ძალური კვანძი, N: 42.611° / E: 43.469°

გეგმის მიხედვით, კაშხალი ბეტონის 10მ სიმაღლის წყალგამშვები ნაგებობაა. დოკუმენტის მომზადებისას წყალსაცავის მოცულობა ავტორისთვის ზუსტად არ იყო ცნობილი, მაგრამ ხეობის სივიწროვისა და მდინარის ციცაბო დაქანების გამო, წყალსაცავის მოცულობა მცირე უნდა იყოს.

წყალსაცავის მცირე ზომის გამო, წყალსაცავით გამოწვეული სეისმურობის დონე უმნიშვნელოდ მიიჩნევა. მოედნის მდებარეობისა და მოედანთან ახლოს არსებული აქტიური რღვევების გამო, არ შეიძლება გამოირიცხოს მცირე სეისმურობა.



ნახაზი 2.1: საპროექტო ტერიტორიის გეოგრაფიული მდგომარეობა (იხ. მოახლოებული ნახაზი 2.2)



ნახაზი 2.2: საპროექტო ტერიტორიის, კერძოდ კაშხლის მოედნისა (N: 42.687 / E: 43.575) და ძალური კვანძის (N: 42.611° / E: 43.469°) „Google Earth“-ის სატელიტური გამოსახულება გადიდებული მასშტაბით

3 სეისმური საფრთხის შეფასების პრინციპები

მიწისძვრების ინჟინერიის საწყის ეტაპზე, ძირითადად, გამოიყენებოდა სეისმური საფრთხეების დეტერმინისტული ანალიზი (DSHA). ეს პროცედურები ითვალისწინებს სხვადასხვა პოტენციურ სცენარს და ირჩევს უარეს შემთხვევას უსაფრთხოების დონის დაგეგმვისთვის. ეს პროცედურა ჯერ ისევ რეკომენდირებულია მაქსიმალური შესაძლო მიწისძვრის (MCE) შესაფასებლად კარგად შესწავლილი სეისმოგენური კერების მქონე სეისმურად აქტიურ რეგიონებში (ICOLD 2010).

ბოლო წლებში, სეისმური საფრთხეების ალბათური ანალიზი (PSHA) სტანდარტულ პროცედურად იქცა საინჟინრო გადაწყვეტილებების მისაღებად. ეს პროცედურები შესაძლებლობას იძლევა ექსპლიციტურად იქნას გათვალისწინებული გრუნტის რხევის მოცემული დონის გადაჭარბება, შესაბამისად, სასარგებლოა მიწისძვრის საფრთხის დეტერმინისტული ანალიზით მიღებული უარესი შემთხვევის სცენარისგან განსხვავებული დონეების შესარჩევად.

ხელმისაწვდომი არსებული მონაცემებიდან გამომდინარე, ორივე ამ მეთოდს აქვს როგორც უპირატესობები, ასევე ნაკლი. ჩვეულებრივ, ეს ორივე მეთოდი ეყრდნობა სეისმური კერის მოდელს, რომელიც მიიღება მიწისძვრების ისტორიიდან, გეოლოგიური ან/და გეოდეზიური მონაცემებიდან და დამოკიდებულია ამ მონაცემების ხელმისაწვდომობასა და ხარისხზე. ქვემოთ მოცემულ ნაწილებში მოკლედ არის აღწერილი ზოგიერთი ძირითადი პრინციპი.

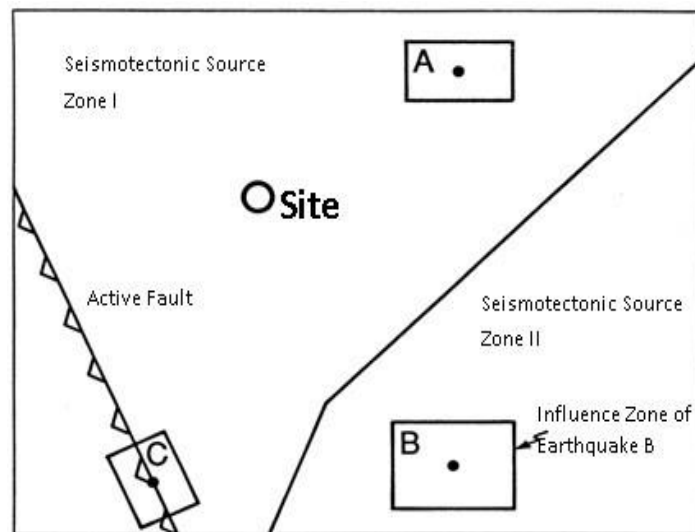
3.1 სეისმური საფრთხის დეტერმინისტული ანალიზი (DSHA)

ისტორიულად აღრიცხული მიწისძვრების განსაზღვრა, რომლებსაც ადგილი ჰქონდა მოედნიდან დამახასიათებელ რადიუსში (მაგ. 200 კმ საპროექტო ტერიტორიის ირგვლივ).

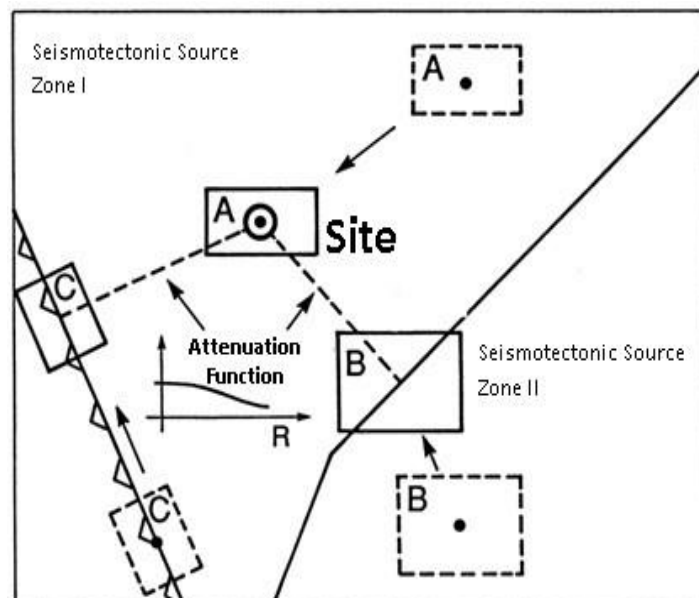
- 1) მიწისძვრის ყველა იმ კერის განსაზღვრა და დახასიათება, რომელსაც შეუძლია გრუნტის მნიშვნელოვანი რხევის გამოწვევა სამშენებლო მოედანზე (ზოგად რღვევებში, არეალის კერის ზონებში). კერის მახასიათებლები მოიცავს თითოეული კერის გეომეტრიული აგებულებისა და მიწისძვრის პოტენციალის განსაზღვრას (მაქსიმალური ისტორიული მიწისძვრა, პოტენციური მაქსიმალური მიწისძვრა, იხ. ნაწილი 5.1.2).
- 2) კერის თითოეული ზონის შემთხვევაში კერასა და ობიექტს შორის გრუნტის რხევის მიღევადობის მოდელის შერჩევა. სეისმური საფრთხეების დეტერმინისტული ანალიზის დროს, ხშირ შემთხვევაში დაშვებულია უმოკლესი მანძილი ობიექტსა და კერის ზონას შორის (პრინციპები მოცემულია ნახაზებზე 2.1 და 2.2). სეისმოტექტონიკური კერის ზონისთვის, რომელშიც მდებარეობს ობიექტი, მანძილი ყველაზე ძლიერი შესაძლო მიწისძვრიდან ობიექტამდე შეირჩევა უახლოესი ზონის მახასიათებლების შესაბამისად და ჩვეულებრივ, მოწოდებულია მაღალი საფრთხის პოტენციალის მქონე ინფრასტრუქტურაზე ზედამხედველობის ორგანოების მიერ. ჩვეულებრივ ეს მანძილი 0-დან 25 კმ-მდე ფარგლებში მერყეობს.
- 3) კერის ყველაზე ძლიერი შესაძლო მიწისძვრის შერჩევა. შერჩევა ხორციელდება პირველ საფეხურში განსაზღვრული მიწისძვრებით გამოწვეული რხევების დონეების შედარებით თითოეულ ზონაში, რომელიც განისაზღვრება მე-2 საფეხურით და დაშვებულია, რომ ადგილი აქვს მე-3 საფეხურით განსაზღვრულ მანძილებზე. როგორც წესი, პრაქტიკაში შეირჩევა უდიდესი ისტორიული მოვლენა და იზრდება

განსაზღვრული ოდენობით (მაგალითად მედვედევი-შპონჰოიერი-კარნიკის სკალის (MSK) ერთი ბალით ან მაგნიტუდით 0,5)

- 4) ამის შემდეგ საფრთხე განისაზღვრება ობიექტზე ყველაზე ძლიერი შესაძლო მიწისძვრით გამოწვეული გრუნტის რხევით.



ნახაზი 3.1: კერის მახასიათებლები, სეისმური საფრთხეების დეტერმინისტული შეფასება (შტუდერი და სხვ. 2007წ.)



ნახაზი 3.2: კერასა და ობიექტს შორის გრუნტის რხევის მიღწეადობის მოდელის შერჩევა, სეისმური საფრთხეების დეტერმინისტული შეფასება (შტუდერი და სხვ. 2007წ.)

სეისმური საფრთხეების დეტერმინისტული შეფასება საკმაოდ მარტივი პროცედურაა. იგი უარესი შემთხვევის სცენარების საკმაოდ მარტივი შეფასების სქემას წარმოადგენს, თუმცა არ იძლევა ინფორმაციას ყველაზე ძლიერი შესაძლო მიწისძვრის ალბათობის შესახებ.

ასევე გასათვალისწინებელია, რომ სეისმური საფრთხეების დეტერმინისტული შეფასება მოიცავს რიგ გადაწყვეტილებებს, განსაკუთრებით თითოეული სეისმური კერის მიწისძვრის პოტენციალთან დაკავშირებით (მე-2 საფეხური). არსებობს მიწისძვრის პოტენციალის განსაზღვრის რამდენიმე პროცედურა სეისმურ ზონაში ყველაზე ძლიერი ისტორიული მიწისძვრის საფუძველზე. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ეს პროცედურები

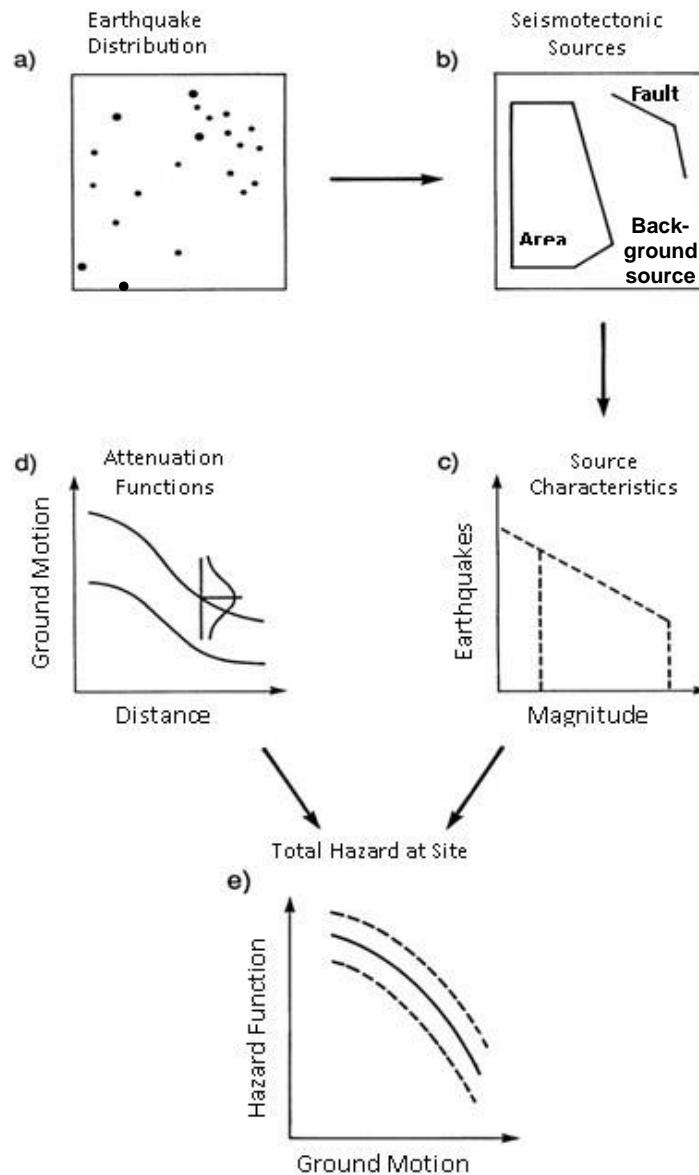
მხოლოდ გამოცდილებაზე დაფუძნებულ საინჟინრო შეფასებას ეყრდნობა და არ არის ზუსტი შერჩევის გონივრულობის შესაფასებლად. სეისმური საფრთხეების დეტერმინისტული შეფასება დღესაც ღირებული მეთოდია გათვლილი მიწისძვრის (მაქსიმალური შესაძლო მიწისძვრის) გრუნტის რხევის განსასაზღვრად ისეთი სტრუქტურებისთვის, რომელთა რღვევას კატასტროფული შედეგები შეიძლება მოჰყვეს. მაგრამ იგი არ უნდა გამოვიყენოთ გრუნტის რყევის დონის პროგნოზირებისთვის დროის მოკლე პერიოდის მანძილზე (მაგ. OBE), რადგან სეისმური საფრთხეების დეტერმინისტული შეფასებით შეუძლებელია დასკვნების გამოტანა მნიშვნელოვანი მიწისძვრის განმეორების ალბათობასთან დაკავშირებით.

3.2 მიწისძვრის საფრთხის ალბათური შეფასება (PSHA)

მიწისძვრის საფრთხის ალბათური შეფასება წარმოადგენს სქემას, რომელშიც შეიძლება გაურკვევლობების იდენტიფიცირება, რაოდენობრივი განსაზღვრა და რაციონალური გაერთიანება სეისმური საფრთხის უფრო სრულყოფილი სურათის მისაღებად.

მიწისძვრის საფრთხის ალბათური შეფასება შემდეგ საფეხურებს მოიცავს (იხ. ნახაზი 3.3):

- 1) ისტორიული და აღრიცხული მიწისძვრების იდენტიფიცირება ობიექტიდან დამახასიათებელ რადიუსში, რომელიც, ჩვეულებრივ, 500 კმ-ს შეადგენს. ეს საფეხური სეისმური საფრთხეების დეტერმინისტული ანალიზის პირველი საფეხური მსგავსია. ხელმისაწვდომი კატალოგები საგულდაგულოდ უნდა იქნას შესწავლილი გაურკვევლობებისა და სრულყოფილი მონაცემების შესახებ ინფორმაციის მისაღებად, უნდა მოხდეს მაგნიტუდის უნიფიცირება და გამოირიცხოს მონაცემების დუბლირება.
- 2) მიწისძვრის იმ კერების განსაზღვრა და დახასიათება, რომელთაც შეუძლიათ გრუნტის მნიშვნელოვანი რხევის გამოწვევა ობიექტზე (სეისმური კერის მოდელი). კერის მახასიათებლები მოიცავს თითოეული კერის გეომეტრიული აგებულებისა და მიწისძვრის პოტენციალის განსაზღვრას (სიხშირის განაწილება და მაქსიმალური მაგნიტუდა) და პოტენციური გარღვევის ადგილის ალბათობის განაწილებას სეისმური ზონის ფარგლებში. ყველაზე მარტივ შემთხვევაში კერის თითოეულ ზონას ენიჭება თანაბრად განაწილებული ალბათობა, რაც იმას გულისხმობს, რომ მიწისძვრის ალბათობა თანაბარია კერის ზონის ნებისმიერ წერტილში. ამის შემდეგ აღნიშნული განაწილების გაერთიანება ხდება კერის გეომეტრიულ აგებულებასთან ალბათობის შესაბამისი განაწილების მისაღებად კერიდან დაშორების შესაბამისად.
- 3) მიწისძვრის ალბათობის დროითი განაწილება უნდა შეფასდეს თითოეული ზონის შემთხვევაში. განმეორებადობის კავშირი, რომელიც განსაზღვრავს საშუალო დონეს, რომლითაც ხდება გარკვეული სიძლიერის მიწისძვრის გადაჭარბება, გამოიყენება თითოეული ზონის სეისმურობის დასახასიათებლად.
- 4) მოედანზე, თითოეული ზონის ნებისმიერ შესაძლო ადგილას ნებისმიერი მიწისძვრით გამოწვეული მიწის რხევა უნდა განისაზღვროს მიღევადობის პროგნოზირებული კავშირების გამოყენებით. მიღევადობის აღნიშნული კავშირებისთვის დამახასიათებელი გაურკვევლობები ექსპლიციტურად განიხილება.
- 5) ხდება მიწისძვრის ადგილმდებარეობის, მიწისძვრის სიძლიერისა და მიღევადობის კანონების გაურკვევლობების გაერთიანება, რათა მიღებული იქნას ალბათობა, რომ ადგილი ექნება გრუნტის გარკვეული რხევის გადაჭარბებას დროის განსაზღვრულ მონაკვეთში.



ნახაზი 3.3: სეისმური საფრთხის ალბათური შეფასების პრინციპები (შტუდერი და სხვ. 2007)

სეისმური საფრთხის ალბათური შეფასების მეთოდის ხასიათი მოდელის სხვადასხვა ელემენტების (მაგ. სხვადასხვა კერის ზონები, ან მიწისძვრების კანონები) განსაზღვრული შეფასების (შეწონვის) შესაძლებლობას იძლევა ლოგიკური სქემის მეშვეობით. ამ პროცესში ასევე შესაძლებელია გაურკვევლობის მაჩვენებლის მიღება.

3.3 შემადგენელ ნაწილებად დაყოფა

სეისმური საფრთხის ალბათური შეფასებით საფრთხეების ერთგვაროვანი სპექტრი მიიღება, რომლის გამოყენება შესაძლებელია უშუალოდ პროექტის მიზნებისთვის, მაგალითად მოდალური რეაგირების სპექტრის მეთოდები. აღნიშნული მეთოდები გამოსადეგია იმ შემთხვევებში, როდესაც დასაშვებია მხოლოდ უმნიშვნელო დაზიანება და სტრუქტურები გრძელ დრეკადობას ავლენენ. საფრთხეების ერთგვაროვანი სპექტრი, ზოგადად, გონივრულია, რადგან ისინი მოიცავს მიწისძვრების სხვადასხვა სცენარის კომპონენტებს. მათი გამოყენება არ არის შესაძლებელი ერთი კონკრეტული მიწისძვრის შემთხვევაში.

იმ შემთხვევაში, როდესაც მოსალოდნელია სერიოზული დაზიანება ან მიწისძვრის ზემოქმედებით არსებით მახასიათებლებზე გავლენის მოხდენა (მაგ. ნაპრალოური წყლების წნევის მნიშვნელოვანი ზრდა ნიადაგის მასებში ან ბეტონისა და ფოლადის სტრუქტურულ ელემენტებში დაბალციკლური დაღლილობა) საჭიროა დროის დომენში არაწრფივი მეთოდების გამოყენება. ამ შემთხვევაში კონკრეტული საფრთხის შემთხვევაში უნდა განისაზღვროს მიწისძვრის აჩქარების დროის კორელაციები (გრუნტის მაქსიმალური აჩქარება (PGA), ძლიერი რხევის ხანგრძლივობა და სხვ.), რომლებიც წარმოადგენს ყველაზე დომინანტურ მიწისძვრას.

სეისმური საფრთხის აღწერილი ალბათური შეფასება კონკრეტულ მოედანზე გადაჭარბების საშუალო წლიური დონის გამოთვლის შესაძლებლობას იძლევა მრავალი სხვადასხვა მაგნიტუდისა და კერასა და მოედანს შორის განსხვავებული მანძილების მიწისძვრის გაერთიანებულ საფრთხეებზე დაყრდნობით - და იგი ასევე იძლევა შესაძლებლობას გამოთვლილი იქნას გადაჭარბების წლიური დონის ნებისმიერი კვანტილი, მაგალითად მედიანა ან სტანდარტული გადახრის რამდენიმე მნიშვნელობა გაურკვევლობების განსაზღვრის მიზნით. გადაჭარბების დონე არ უკავშირდება რომელიმე კონკრეტული მიწისძვრის მაგნიტუდას ან კერიდან მოედანამდე მანძილს. შემადგენელ ნაწილებად დაყოფის მეშვეობით ალბათობის სიმჭიდროვის ფუნქციის გამოთვლა შესაძლებელია მიწისძვრის მაგნიტუდისა და კერიდან მოედანამდე მანძილის მიხედვით, რაც შესაძლებლობას იძლევა საკვლევი უბნისთვის განისაზღვროს ყველაზე გავრცელებული მიწისძვრა. ჩაშლილ გრაფიკზე ალბათური სიმკვრივის ფუნქცია აჩვენებს აღნიშნულ მიწისძვრებს და მათ დაშორებას მოედნიდან, რომლებიც ყველაზე მეტ გავლენას ახდენენ მოედნის სეისმურ საფრთხეზე.

4 სეისმოტექტონიკური გარემო

4.1 გეოლოგიური და ტექტონიკური რეჟიმი კავკასიის რეგიონში და საპროექტო უბნის ირგვლივ

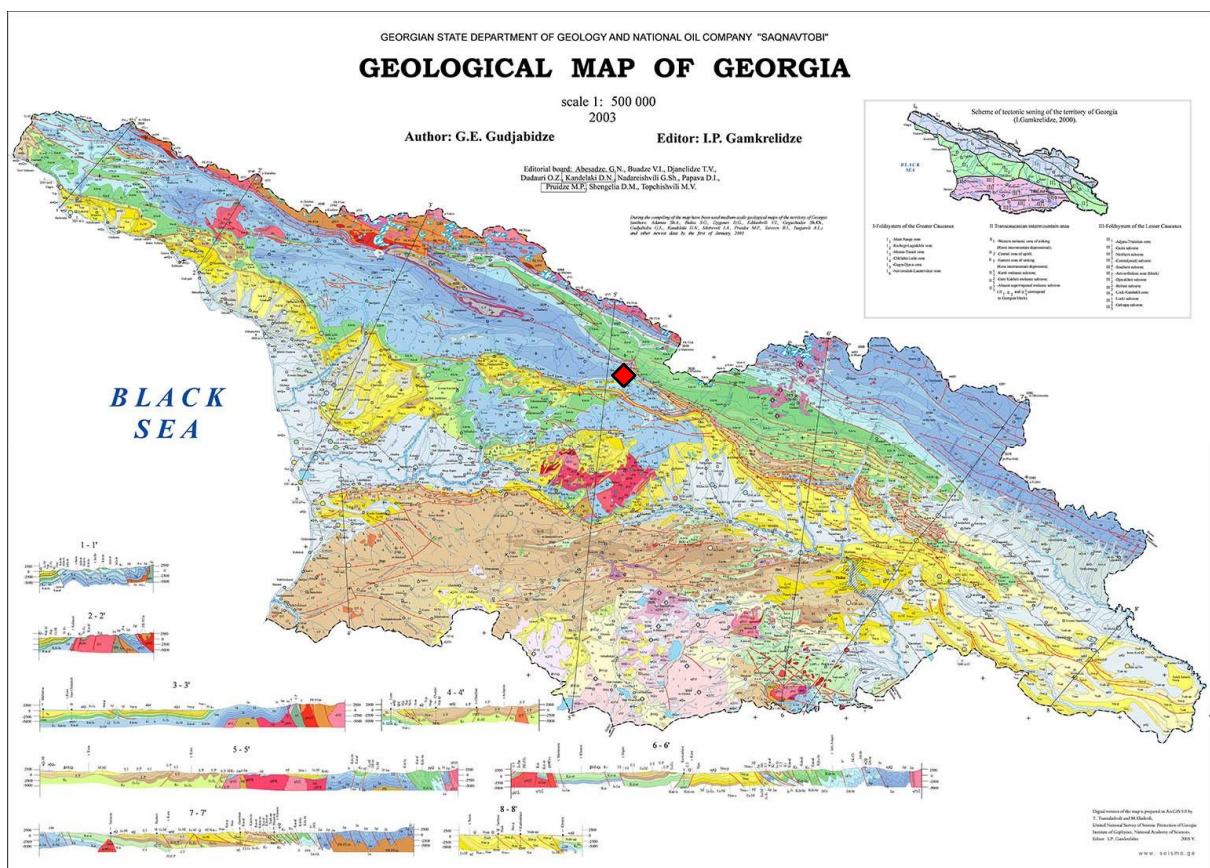
საქართველოსა და კავკასიის რეგიონის გეოლოგიური გარემოს ბოლო პერიოდის კომპლექსური მიმოხილვა მოცემულია ნაშრომში, რომლის ავტორები არიან ადამია და სხვ. (2011). „შეჯამების ციტირება: „კავკასიის ტექტონიკა არსებითად განპირობებულია მდებარეობით ევრაზიის და აფრიკა-არაბეთის ლითოსფერულ ფილებს შორის, რომელთა კონვერგენცია ამჟამადც მიმდინარეობს კონტინენტური კოლიზიის და დეფორმაციის ვრცელ ზონაში. რეგიონი გვიანი პროტეროზოური - ადრე კაინოზოური დროის განმავლობაში წარმოადგენდა ოკეანე ტეთისის და მისი ევრაზიული და აფრიკა-არაბული კიდეების ნაწილს. კონვერგენტული ზონის ფარგლებში არსებობდა კუნძულთა რკალების, რიფტების, რკალსუკანა აუზების სისტემა, რაც რეგიონის ევოლუციის კოლიზიამდელი სტადიისთვის იყო დამახასიათებელი. რეგიონი, სხვა ფრაგმენტებთან ერთად, რომლებიც ამჟამად წარმოდგენილია ალპური ოროგენული სარტყლის ზედა პრეკამბრიულ-კამბრიულ კრისტალურ ფუძეში, გამოეყო დასავლეთ გონდავანას ადრეულ პალეოზოურ პერიოდში კუნძულთა რკალების რიფტული ფაზის შედეგად სამხრეთით დამირული სუბდუქციური ზონის ზემოდან. რიფტული ფაზის გაგრძელებისა და ოკეანის ფსკერის სპრედინგის შედეგად წარმოიქმნა ოკეანე პელეოტეთისი ჩრდილოეთით მოძრავი პერი-გონდვანური ტერასების კვალდაკვალ. კავკასიის და სხვა პერი-გონდვანური ტერასების გადანაცვლება ევრაზიის სამხრეთი საზღვრისკენ ~350 მლნ. წ. დასრულდა. მიკროკლინური გრანიტის პლუტონების ფართომასშტაბიანი შეჭრა სამხრეთ ევრაზიის აქტიური კონტინენტური საზღვრის გასწვრივ 330–280 მლნ. წლ განმავლობაში მოხდა ჩრდილოეთით დამირული პალეოტეთისის სუბდუქციური ზონის ზემოდან. თუმცა, ეოცენურ-კიმერიულმა და ეოცენურ-კიმერიულ - ადრეულმა ალპურმა მოვლენებმა არ გამოიწვია პალეოზოური ოკეანის სრული ჩაკეტვა. კავსასიაში მეზოზოური ტეთისი პალეოტეთისიდან იქნა მემკვიდრეობის მიღებული. მეზოზოურ და ადრეულ კენოზოურ პერიოდში დიდი კავკასიონი და ამიერკავკასია წარმოადგენდა ჩრდილოტეთისის ზონას - ევრაზიის ლითოსფერული ფილის სამხრეთით არსებულ აქტიური საზღვარს.

ოლიგოცენ-ნეოგენისა და მეოთხეული აუზების მდებარეობა ამიერკავკასიის მთათაშუა დაბლობებში ასახავს რეგიონის კოლიზიის პერიოდისა და კოლიზიის შემდგომ ევოლუციას; ეს აუზები წარმოადგენდა პარატეთისის ნაწილს და ხასიათდებოდა დახურული და ნახევრად დახურული ტიპის ნალექებით. აფრიკა-არაბეთისა და ევრაზიის ფილების საბოლოო კოლიზიასა და კავკასიონის დღევანდელი მთათა სისტემის ჩამოყალიბებას ადგილი ჰქონდა ნეოგენურ-მეოთხეულ პერიოდში. გვიანი მიოცენიდან (c. 9–7 მლნ. წ.) პლეისტოცენის დასასრულამდე, რეგიონის ცენტრალურ ნაწილში ადგილი ჰქონდა ვულკანურ ამოფრქვევებს სუბაერალურ პირობებში მოლასების წარმოქმნასთან ერთად.

ამიერკავკასიის ტექტონიკური დეფორმაციების გეომეტრიას მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს სოლის ფორმის არაბეთის ხისტი ბლოკის ინტენსიური შემოჭრა აზიის მცირე კავკასიონის რეგიონში. ყველა სტრუქტურულ-მორფოლოგიურ პროფილს მკვეთრად გამოხატული რკალი აქვს, რომელიც ჩრდილოეთით არის ამოზნექილი და ასახავს არაბეთის ბლოკის მოხაზულობას. თუმცა, უფრო ჩრდილოეთით, ნაოჭა-რღვევითი მთიანი სარტყლის გეომეტრიული აგებულება განსხვავებულია, - აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-რღვევითი მთიანი სარტყელი, მთლიანობაში, დასავლეთი-აღმოსავლეთის-მიმართულებით ხასიათდება; დიდი კავკასიონის ნაოჭა-რღვევითი მთიანი სარტყელი ვრცელდება დასავლეთი/ჩრდილოეთი/დასავლეთი-აღმოსავლეთი/სამხრეთი/აღმოსავლეთი მიმართულებით."

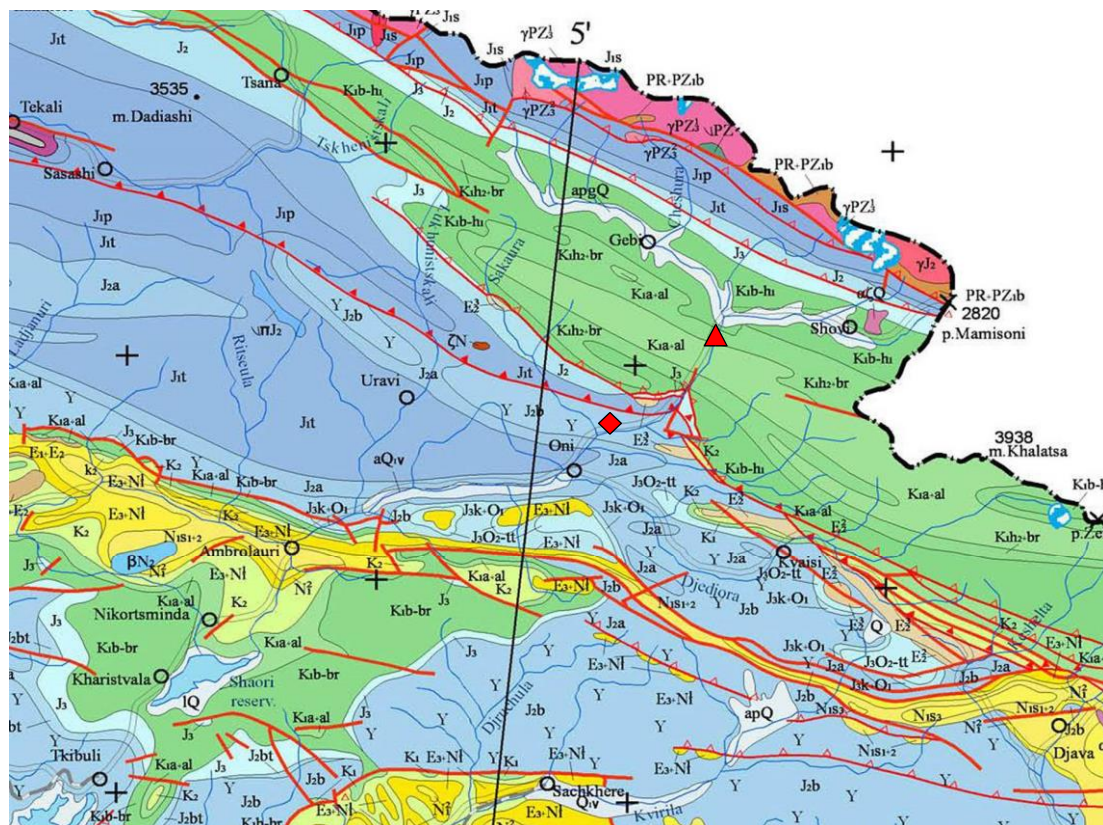


ნახაზი 4.1: კავკასიისა და შავი ზღვა-კასპიის ზღვის რეგიონის მიმდებარე ტერიტორიების ფიზიკური რუკა (ადამია და სხვ. 2010)



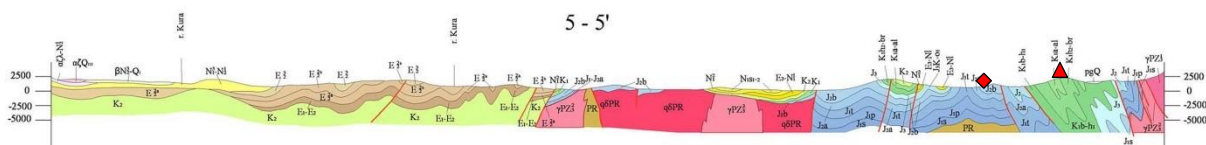
ნახაზი 4.2: საქართველოს გეოლოგიური რუკა (საპროექტო ტერიტორია - წითელი რომბი) (გუჯაბიძე და გამყრელიძე, 2003)

საქართველოს გეოლოგიური რუკის თანახმად, ონის კასკადის საპროექტო ტერიტორია დიდი კავკასიონის მესტია-თიანეთის ნაოჭა ზონის დასავლეთ გაგრძელებას მიეკუთვნება (ნახაზი 4.2). ძალური კვანძის მოედნის ადგილობრივ გეოლოგიურ აგებულებაში დომინირებს ბაიოსური ეპოქა, რომელიც შედგება ლავების, ლავაბრექჩიისა და კირ-ტუტე ბაზალტების, ანდეზიტ-ბაზალტების, ანდეზიტების ვულკანური ტუფების, ხოლო ზედა ნაწილში ტუფოგენური ქვიშაქვებისა და ალევროლიტების, კონგლომერატების, ქვიშაქვებისა და თიხებისგან. კაშხლის ტერიტორიის გეოლოგიური აგებულება ჰოტერივული და ბარემიული სართულების პერიოდს განეკუთვნება და შედგება ქვიშაქვა-ალევროლიტური ფლიშის, ქვიშაქვისა და ალევროლიტების ტურბიდიტებისა და პელაგიური არგილიტებისგან (იხ. ნახაზი 4.3).



- J2b** Bajocian stage. Mestia-Tianeti (Ksani-Arkala parautochthon) and Gagra-Djava zones, Georgian block and Lock-Karabakh zone: lavas, lavabreccias and volcanic tuffs of calc-alkalic basalts, andesite-basalts, andesites, rarely dacites and rhyolites, tuffites, in places—tephroturbidites and tephroargillites. In upper part of section—tuffogenic sandstones and siltstones, conglomerates, sandstones and clays (Porphyrite series)
- K1h2-br** Upper substage of Hauterivian stage and Baremian stage. Mestia-Tianeti zone. Sandstones-siltstone flysch: sandstone and siltstone turbidites and pelagic argillites

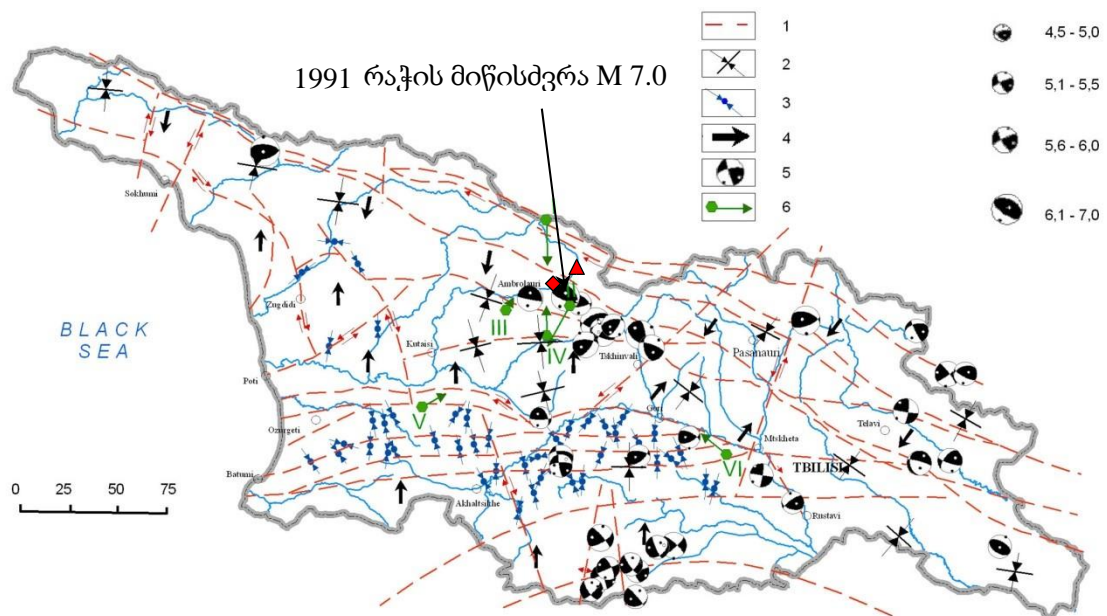
ნახაზი 4.3: საქართველოს გეოლოგიური რუკის დეტალები საპროექტო ტერიტორიის - ძალური კვანძი, - კაშხლის ტერიტორია (გუჯაბიძე და გამყრელიძე, 2003)



- ძალური კვანძი, - კაშხალი

ნახაზი 4.4: საქართველოს გეოლოგიური აგებულების ნაწილი (მოედანი) (გუჯაბიძე და გამყრელიძე, 2003)

4.5 ნახაზი გვიჩვენებს საქართველოს ტექტონიკურ რუკას, რომელზეც წარმოდგენილია საპროექტო ტერიტორიები და უკანასკნელი მიწისძვრა, რომელსაც ადგილი ჰქონდა რაჭაში 1991 წელს, რომელიც საპროექტო ტერიტორიებთან ძალიან ახლოს მდებარეობს. შემდგომი ტექტონიკური კვლევები წარმოდგენილია ნახაზებზე 4.6 და 4.9. ზოგადად, აქტიური რღვევების განსაზღვრა საკმაოდ თანმიმდევრულია ყველა ავტორთან ზუსტი ადგილმდებარეობის მცირე სხვაობებით. პოტენციური რღვევები საკვლევ რეგიონში ნაჩვენებია 4.8 ნახაზზე და შესაბამისი პარამეტრები მოცემულია 4.1 ცხრილში. რღვევების ადგილმდებარეობა და პარამეტრები რამდენიმე გამოქვეყნებულ და გამოუქვეყნებელ მასალას ეყრდნობა, რომლებიც შეჯამებულია ნაშრომში, რომლის ავტორებიც არიან ჭელიძე და სხვ. (2006), ასევე ყარაშვილი და სხვ. (1977), გეგუჩაძე და სხვ. (1985), ადამია და სხვ. (1992), ჯავახიშვილი და ვარაზანაშვილი (1997), გამყრელიძე და სხვ. (1998), ბალასანიანი და სხვ. (1999), როგოჟინი (2001), გუჯაბიძე და გამყრელიძე (2003) და ადამია და სხვ. (2006). ძირითად აქტიურ რღვევებს, რომლებიც გადის საპროექტო ტერიტორიაზე, ეწოდება გაგრა-ჯავის რღვევა (24), კავკასიონის საფარების ფრონტალური შეცოცება (6) დიდი კავკასიონის მთავარი გადანაცვლება (5), იხ. ნახაზი 4.8. ადამია და სხვ.-ის მიხედვით (2011) პროექტის ტერიტორიის სიახლოვეს არსებულ რღვევებს რაჭის რღვევა, ორხევის რღვევა და მთავარი რღვევა ეწოდება.



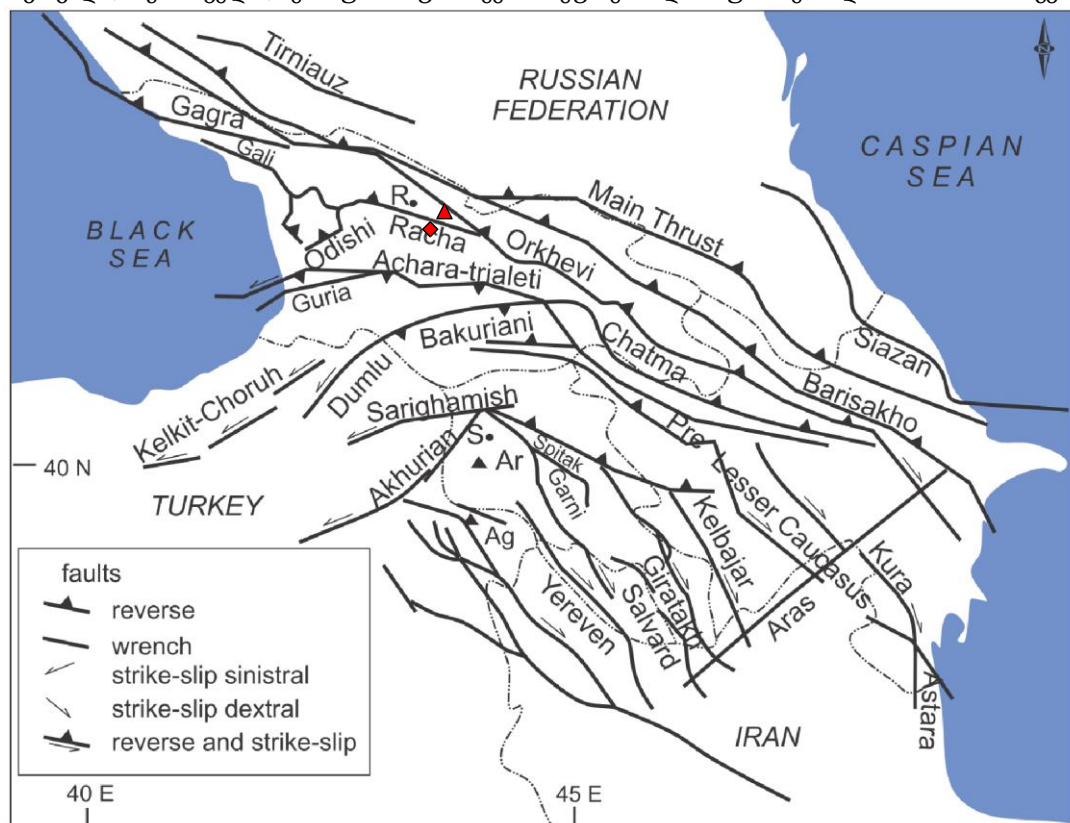
Stress vector orientations and horizontal movement of the Earth's crust on the territory of Georgia at the neotectonic stage (Gamkrelidze, Kuloshvili, 1998) with additions

I-The active (seismogenerating), mainly hidden, deep faults; 2-3- orientations of the subhorizontal maximum compressive stress axis; 2- of the first order (revealed on the basis of different large-scale surface faults and major folds), 3 - of the second order (revealed by means of kinematics of small-scale faults, the jointing analysis and minor folding); 4 - presumable direction of the Earth's crust motion at the neotectonic stage; 5 - fault-plane solutions of earthquakes (according to N.Tsereteli et al., 2008) with different magnitudes (which are also shown in the Figure); 6 - directions of the present motion of the Earth's crust obtained by means of GPS technology (Prilepin et al, 1998). Points of measurements: I-Khuruti ($r = 6.9 \pm 1.2$ mm/year), II-Lesora ($r = 6.8 \pm 1.1$ mm/year), III-Khotevi ($r = 2.9 \pm 2.1$ mm/year), IV-Sachkhere ($r = 4.2 \pm 10.9$ mm/year), V-Vani ($r = 4.5 \pm 0.9$ mm/year), VI-Nichbisi ($r = 4.6 \pm 0.9$ mm/year).

◆ - ძალური კვანძი, ▲ - კაშხალი

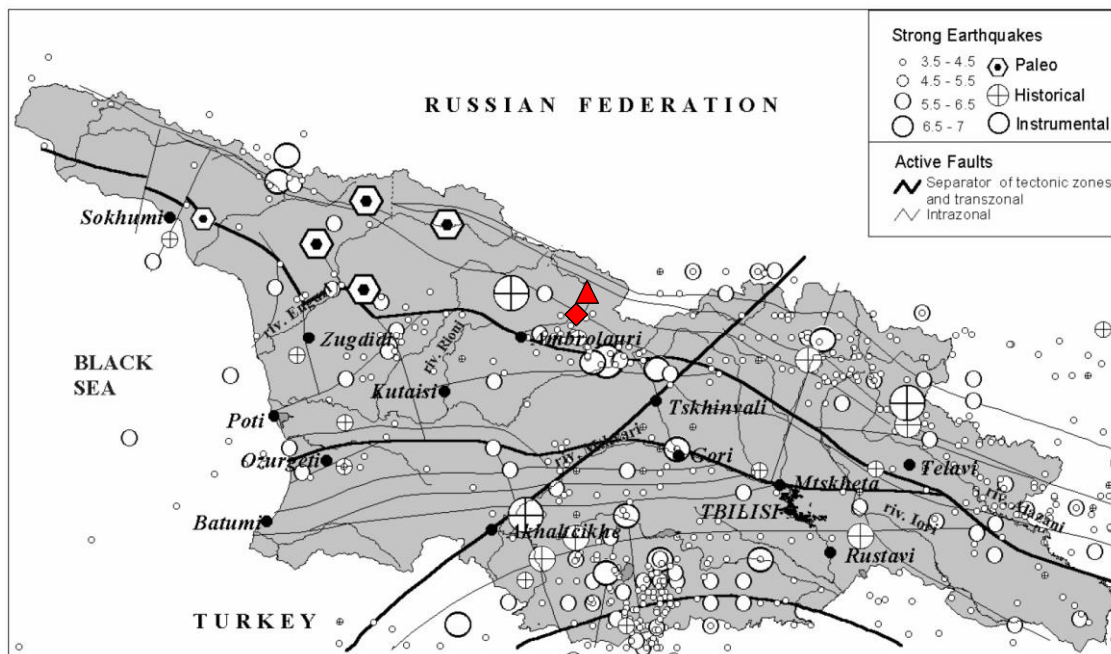
მოდანი

ნახაზი 4.5: საქართველოს ტექტონიკური რუკა, გამყრელიძე და სხვ. 2009



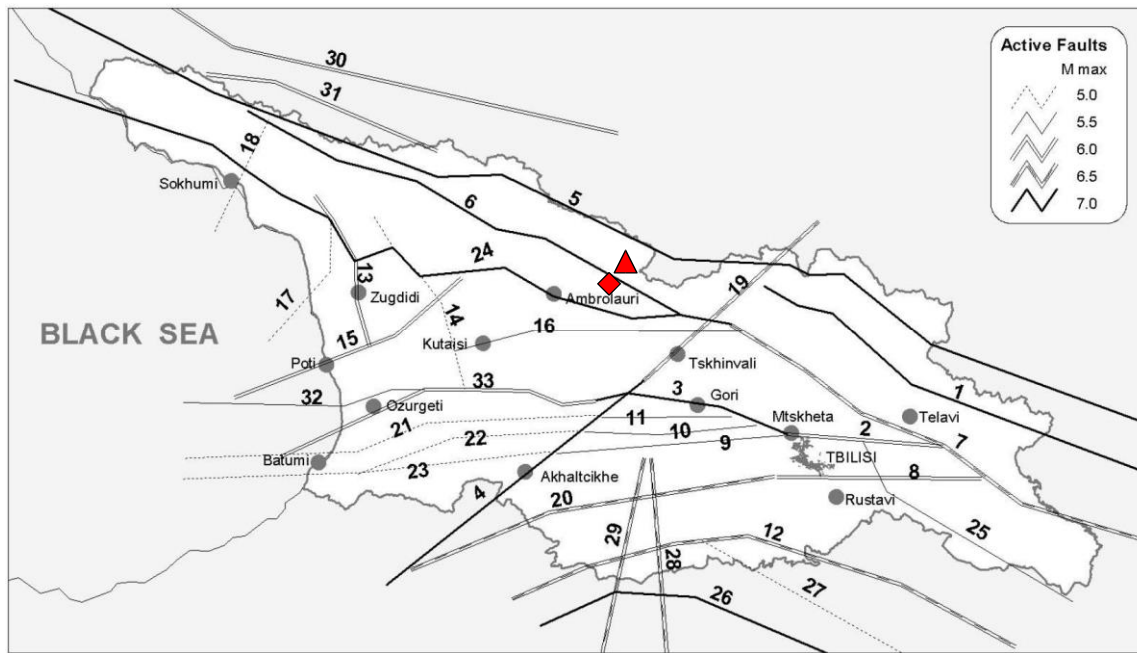
ძალური კვანძი, ▲ - კაშხლის მოედანი

ნახაზი 4.6: კავკასიის სეისმური კერების სქემატური რუკა (ადამია და სხვ. 2011)



კაშხლის მოედანი ▲ ძალური კვანძი ◆

ნახაზი 4.7: საქართველოს აქტიური რღვევებისა და ეპიცენტრების რუკა გამყრელიძე და სხვების მიხედვით (1998)

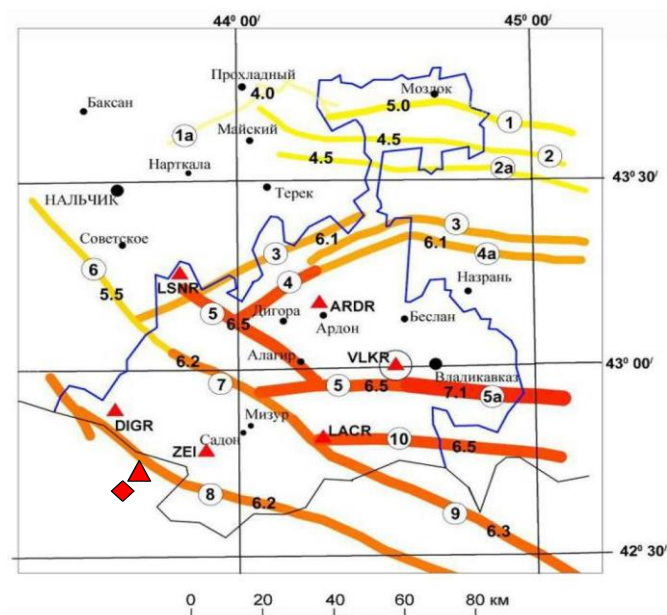


ნახაზი 4.8: აქტიური რღვევების რუკა, ჭელიძე და სხვ. მიხედვით 2006) (♦ - ძალური კვანძი, ▲ - კაშხლის მოედანი)

ცხრილი 4.1: რღვევების ჩამონათვალი 4.8 ნახაზის მიხედვით (ჭელიძე და სხვ. 2006)

#	დასახელება
1	ღები - ლაგოდეხი
2	აჭარის ჩრდილოეთ პირი - თრიალეთის ზონა
3	აჭარის ჩრდილოეთ პირი - თრიალეთის ზონა
4	ცხინვალი-ყაზბეგი
5	დიდი კავკასიონის მთავარი გადანაცვლება
6	კავკასიონის საფარების ფრონტალური შეცოცება
7	გაგრა - ჯავა
8	აჭარის სამხრეთ პირი - თრიალეთის ზონა
9	აჭარისწყალი - თეძამი
10	აჭარის სამხრეთ ღერძული-თრიალეთის ზონა
11	აჭარის ჩრდილოეთ ღერძული - თრიალეთის ზონა
12	ლოკი-აღდამი
13	ცხაკაია - ცაიში
14	ვარციხე-გეგეჭკორი

15	ფოთი-აბდეთი
16	ქუთაისი-საჩხერე
17	აჩიგვარა
18	გუმისთა
19	ცხინვალი-ყაზბეგი
20	აჭარის სამხრეთ პირი - თრიალეთის ზონა
21	აჭარის ჩრდილოეთ ღერძული - თრიალეთის ზონა
22	აჭარის სამხრეთ ღერძული-თრიალეთის ზონა
23	აჭარისწყალი-თეძამი
24	გაგრა-ჟავა
25	მოლასური საფარების ფრონტალური შეცოცება
26	უსახელო
27	უსახელო
28	კერუთი
29	აბულ-სამსარი
No.	სახელი
30	უსახელო
31	უსახელო
32	უსახელო
33	აჭარის ჩრდილოეთ ღერძული - თრიალეთის ზონა



ნახაზი 4.9: აქტიური რღვევების რუკა როგოვინის მიხედვით (2007) (◆ - ძალური კვანძი, ▲ - კაშხლის მოედანი)

ცხრილი 4.2: აქტიური რღვევების პარამეტრები 4.9 ნახაზის შესაბამისად როგოჯინის მიხედვით (2007)

#.	რღვევა	მაგნიტუდა	H [კმ]	კინემატიკა
1	აღმოსავლეთ მოზდოკი	5.0	10	შესხლეტა (reverse faulting)
1a	დასავლეთ მოზდოკი	4.0	5	ნაწევი (strike-slip)
2	ტერსკი	4.5	5	შესხლეტა
3	ჩრდილოეთ სუნჟა	6.1	15	შესხლეტა
4	სამხრეთ სუნჟა (დასავლეთ ნაწილი)	6.5	15	ნაწევი
4a	სამხრეთ სუნჟა (აღმოსავლეთ ნაწილი)	6.1	15	შესხლეტა
5	ვლადიკავკაზი (დასავლეთ ნაწილი)	6.5	15	შესხლეტა
5a	ვლადიკავკაზი (აღმოსავლეთ ნაწილი)	7.1	20	შესხლეტა
6	ნალჩიკი	5.5	10	ნაწევი
7	მიზური	6.2	15	ნაწევი
8	მთავარი ქედი	6.2	15	შესხლეტა
9	გვერდითი ქედი	6.3	15	შესხლეტა
10	კამადონი	6.5	15	შესხლეტა

4.2 გეოლოგიური მდგომარეობა საპროექტო ტერიტორიაზე

საპროექტო ტერიტორიაზე ჩატარდა გეოლოგიურ-გეოტექნიკური კვლევა, რომელიც დოკუმენტურად აისახა გროსმანისა და შნაკერის ნაშრომში (2016). კაშხლისა და ძალური კვანძის მოედნებზე ჩატარებული ჯაბურდილის ლულისა და გეოფიზიკური კვლევების ძირითადი შედეგები შემდეგნაირად შეიძლება შეჯამდეს:

- დაახლოებით 35 მ სიმღაღრის უხეშმარცვლოვანი ხრეშიან-ქვიშიანი და კაჭარიანი მასალით წარმოდგენილი მეოთხეული ნალექები
- საშუალო სიმღაღრის მცირედ გამოფიტული თიხიანი ფიქლები და ქვიშაქვები

გეოფიზიკური კვლევა (გროსმანი და შნაკერი, 2016) აჩვენებს მასალების განივი ტალღების სიჩქარეებს შემდეგი მასალების შემთხვევაში:

- მეოთხეული ნალექები, ზედა შრე 3მ-მდე - $v_s = 240 - 500$ მ/წმ
- მეოთხეული ნალექები, 3მ-ზე ქვემოთ - $v_s = 500 - 1200$ მ/წმ
- თიხიანი ფიქლები - $v_s = 1900 - 2200$ მ/წმ
- ქვიშაქვა - $v_s = 1600 - 1900$ მ/წმ

მეოთხეული ნალექები ყველაზე ზედა შრის გარდა განივი ტალღების ძალიან მაღალ სიჩქარეებს აჩვენებს, რაც ძლიერ შეკუმშული მასალის მაღალ ფარდობით სიმკვრივეზე და მარცვლებს შორის კარგ კავშირზე მიანიშნებს. განივი ტალღების სიჩქარეები მიღებული იქნა გამოფიტული ქანებისთვის.

განივი ტალღების სიჩქარეები ამგები ქანების ზედაპირზე თიხიანი ფიქლებისა და ქვიშაქვების შემთხვევაში საშუალოდ მაღალ დონემდე მერყეობს, რაც დინამიკის პერსპექტივაზე მიუთითებს - კომპეტენტური ამგები ქანი შესაძლოა მცირედ გამოფიტულია.

5 სეისმურობა

5.1 მიწისძვრების კატალოგური მონაცემები

სეისმური საფრთხის შეფასება რეგიონის ისტორიულ და ინსტრუმენტულად აღრიცხულ სეისმურობას ეყრდნობა. საპროექტო რეგიონის სეისმურობის განსასაზღვრად შეფასებული იქნა მიწისძვრების შემდეგი კატალოგები:

- 1) ISC კატალოგი (International Seismological Centre, On-line Bulletin, <http://www.isc.ac.uk>, International Seismological Centre, Thatcham, United Kingdom) (საერთაშორისო სეისმოლოგიური ცენტრი, ელექტრონული საინფორმაციო ბიულეტენი, <http://www.isc.ac.uk>, საერთაშორისო სეისმოლოგიური ცენტრი, თეტჩემი, დიდი ბრიტანეთი)
- 2) USGS კატალოგი (U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Earthquake Hazards Program, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>) (აშშ-ის ბუნებრივი რესურსებისა და მკვიდრი მოსახლეობის დეპარტამენტი, გეოლოგიური კვლევა, მიწისძვრის საფრთხეების პროგრამა, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>)
- 3) მიწისძვრების ზოგადი კატალოგი ევრაზიის ჩრდილოეთი ნაწილისთვის - მათ შორის მონაცემები სსრკ-ის ძლიერი მიწისძვრების ახალი კატალოგიდან უძველესი დროიდან 1977 წლამდე (კონდორსკაია და შებალინი 1982)



ნახაზი 5.1: მდგომარეობა: წითელი სამკუთხედი: მნიშვნელოვანი სეისმურობის ტერიტორია, წითელი რომბი: საპროექტო ტერიტორია N: 42.611° / E: 43.469°).

მიწისძვრა გათვალისწინებულია 500 კმ-ის რადიუსში საპროექტო ტერიტორიის ირგვლივ სეისმურობის მონაცემების შესაფასებლად 5.1 ნახაზზე მოცემული წითელი მართკუთხედის შესაბამისად. მართკუთხედის გარეთ არსებული მიწისძვრები არ ცვლის

სეისმურ საფრთხეს, საპროექტო ტერიტორიაზე და არ განიხილება კვლევითვის. პრაქტიკული მიზეზების გამო, მიწისძვრები მაგნიტუდით 3.0 და ზემოთ დამატებულია სამუშაო კატალოგზე. მიწისძვრები სამი ზემოხსენებული კატალოგიდან გაერთიანებულია სამუშაო კატალოგში საპროექტო შეფასებისთვის. ორმაგი მიწისძვრები გამორიცხულია.

სამუშაო კატალოგი მოიცავს ჩვ. წ. აღ-მდე 10'000-დან 2016 წლამდე პერიოდს. 1900 წლამდე აღრიცხული ყველა ისტორიული მიწისძვრა აღებულია ჩრდილოეთ ევრაზიის მიწისძვრების ზოგადი კატალოგიდან. სამუშაო კატალოგში შეტანილი 12'395 მიწისძვრიდან 276 დათარიღებულია 1900 წელზე წინა პერიოდით.

1900-დან 2013 წლამდე დროის მონაკვეთში დაფიქსირებული მიწისძვრების შემთხვევაში ყურადღება გამახვილებულია ISC საინფორმაციო ბიულეტენზე. უფრო ახალი მიწისძვრების შემთხვევაში კი, მონაცემები აღებულია USGS კატალოგიდან, რადგან ISC ბიულეტენები იბეჭდება რამდენიმე წლის დაგვიანებით. ინსტრუმენტულად აღრიცხული სეისმურობა უფრო საიმედო 1960-იანი წლებიდან გახდა. მე-20 საუკუნემდე დაფიქსირებული ისტორიული მოვლენები შედარებით გაურკვეველია. სამუშაო კატალოგისა და მიწისძვრების ჩამონათვალის შესახებ იხ. დანართი.

თანმიმდევრული სამუშაო კატალოგის მისაღებად საჭიროა შემდეგი ნაბიჯების გადადგმა:

- 1) მიწისძვრის კატალოგებში $E\ 37.0^{\circ} - 50.0^{\circ}$ გრძედსა და $N\ 38.0^{\circ} - 47.0$ განედს შორის მიწისძვრების მოძიება. ონის პროექტისთვის საკვლევ უბნად აღებულია ძალური კვანძი კოორდინატებით $N\ 42.611^{\circ} / E\ 43.469$.
შედეგი: დაფიქსირებულია 12'395 მიწისძვრა ჩვ. წ. აღ.-მდე 10'000-დან 2016 წლამდე მაგნიტუდებით $\geq M\ 3.0$
- 2) მაგნიტუდების ჰომოგენიზაცია სამუშაო კატალოგში, გადაყვანა მომენტის მაგნიტუდაში M_w . ქვემოთ მოცემული კორელაციები გამოიყენება მოცულობითი ტალღის მაგნიტუდის M_b , რიხტერის მაგნიტუდის M_L , ზედაპირის მაგნიტუდის M_s , ხანგრძლივობის მაგნიტუდის M_D , საბჭოთა კავშირში გამოყენებული მოცულობითი ტალღისა და ადგილობრივი მაგნიტუდის ერთეულების: M_{pv} და M_{LH} -ის გადასაყვანად მომენტის მაგნიტუდაში M_w (ბუნი და სხვ. 1970, ეკსტრომი და დზიევონსკი 1988, ამბრასეისი 1990, სმიტი 1996):

$$M_w = 2/3 \log(M_0) - 10.7 \quad [M_0] = \text{dyn cm (სეისმიკური მომენტი)}$$

$$M_s = -19.24 + \log(M_0) \quad \text{for } M_0 < 3.2 \cdot 10^{24} [\text{dyn cm}]$$

$$M_s = -19.24 + \log(M_0) - 0.088 \cdot [\log(M_0) - 24.5]^2 \quad \text{for } 3.2 \cdot 10^{24} \leq M_0 \leq 2.5 \cdot 10^{26} [\text{dyn cm}]$$

$$M_s = -10.73 + 0.667 \cdot \log(M_0) \quad \text{for } M_0 > 2.5 \cdot 10^{26} [\text{dyn cm}]$$

$$0.8 M_L - 0.6 M_s = 1.04$$

$$0.64 M_L = 0.73 - 0.77 M_b \quad M_{pv} = 2.5 + 0.63 M_{LH}$$

სადაც M_{LH} არის ზედაპირის ტალღის

მაგნიტუდა, აღებული, როგორც M_s $M_D = M_{LH}$

(ვალიდურია, როდესაც $M > 3$)

ზემოთ მოცემული განტოლებები წარმოადგენს M_w -ის გამოთვლის იმპლიციტურ ფორმულირებას. პირველ რიგში, უნდა მოხდეს მაგნიტუდების გადაყვანა ზედაპირის მაგნიტუდაში M_s . ამის შემდეგ, შესაძლებელია სეისმური მომენტის გამოთვლა.

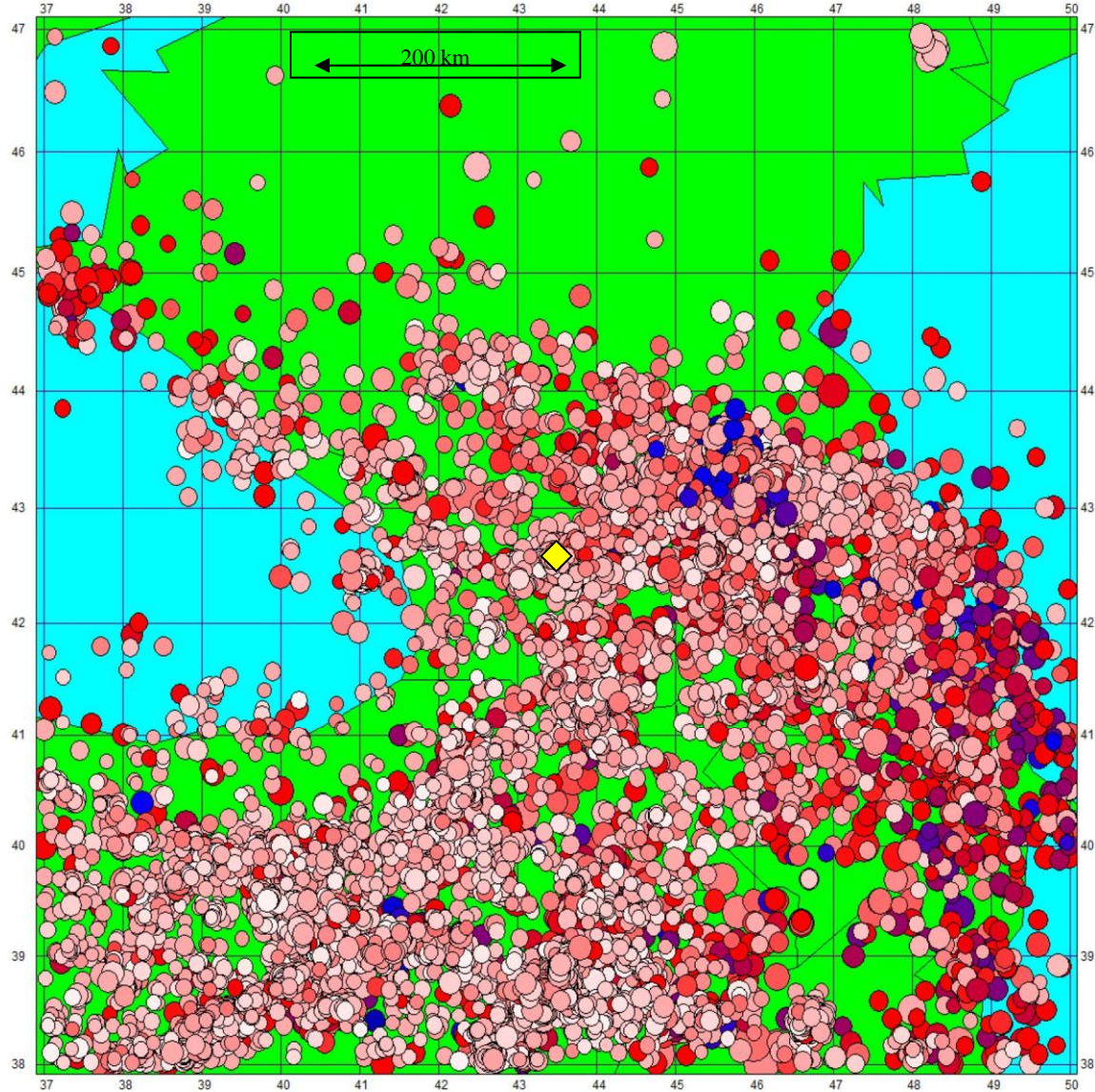
დაბოლოს, სეისმური მომენტიდან M_0 , შესაძლებელია მომენტის მაგნიტუდის M_w მიღება.

- 3) 1960 წლიდან ბირთვული იარაღის გაუვრცელებლობის შესახებ ხელშეკრულების გამო გლობალური სეისმური ქსელის მნიშვნელოვან გაუმჯობესებასთან ერთად, ითვლება, რომ კატალოგი სრულყოფილია მსხვილ მიწისძვრებთან მიმართებით, და ეპიცენტრის ადგილები საკმაოდ საიმედოა, რადგან მონაცემები ეყრდნობა სადგურების მაქსიმალური მონაცემების დამუშავებას.

მიწისძვრის პარამეტრები და გაურკვევლობები, კერძოდ ეპიცენტრის ადგილები და მაგნიტუდები, დროსთან განმავლობაში უმჯობესდება სეისმური ქსელის გაუმჯობესების გამო, შესაბამისად, ზოგადად მცირდება ბოლო მიწისძვრების შემთხვევაში. თუმცა, გაურკვევლობები 0.1-დან 0.5-მდე მაგნიტუდის ფარგლებში მერყეობს. ეპიცენტრის მდებარეობის შემთხვევაში გაურკვევლობა 50 კმ-მდე მერყეობს შედარებით ძველი მსხვილი მიწისძვრების შემთხვევაში. მიწისძვრის სიღრმე ხშირად ყველაზე ნაკლებად ცნობილი პარამეტრია, ბევრი მიწისძვრაა ფიქსირებული 10 ან 33კმ-იანი სიღრმით. თუმცა, რეგიონის სეისმური აქტივობის მასშტაბის გათვალისწინებით, შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ უპირატესი პარამეტრების გავრცელება სეისმურობას წარმოადგენს. კატალოგის სისრულე ისტორიული შეფასებისა და სეისმური ქსელების განხორციელების ფუნქციაა, რაც ასევე განიცდის გაუმჯობესებას დროთა განმავლობაში.

5.2 სამუშაო კატალოგი

ნახაზი 5.2 გვიჩვენებს სამუშაო კატალოგში შეტანილი ყველა მიწისძვრის სივრცული გავრცელების ეპიცენტრებს. სიღრმე ნაჩვენებია სიმბოლოს ფერით. კაშკაშა წითელი აჩვენებს მიწისძვრას ზედაპირთან ახლოს. ფერი მუქდება 33კმ-ის სიღრმემდე. ამაზე ღრმად, საშუალო სიღრმეებზე, ფერი თანდათანობით გადადის ლურჯში 100კმ-ის სიღრმეზე. ამაზე მეტი სიღრმის შემთხვევაში ფერი კიდევ უფრო მუქდება და გადადის შავში 250 კმ-ის ქვემოთ.



პირობითი აღნიშვნები:

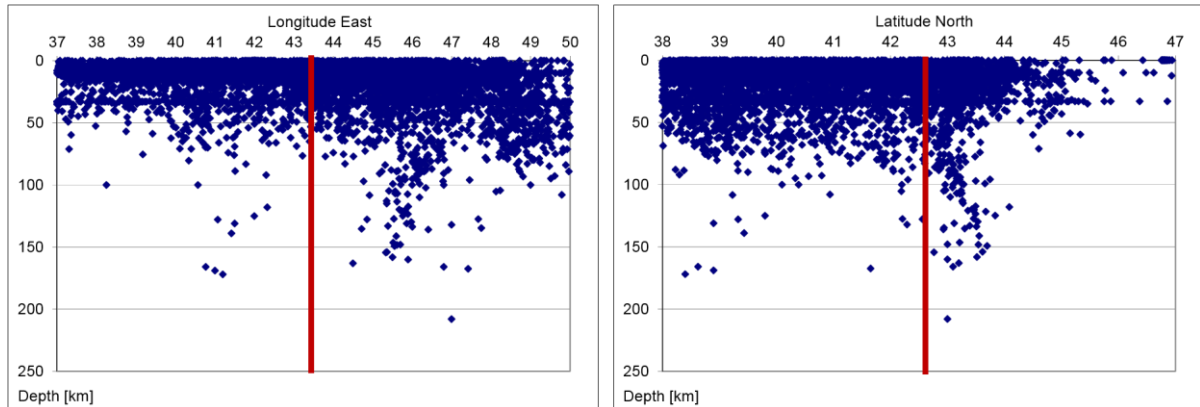
მაგნიტუდა M_w ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ● 8

ნახაზი 5.2: საკვლევი ტერიტორიის სამუშაო კატალოგი, დრო: ჩვ. წ. აღ-მდე 10'000 2016 წ-მდე; ყვითელი რომბი - საპროექტო ტერიტორია (განედი. N 42.611° / გრძედი. E 43.469°)

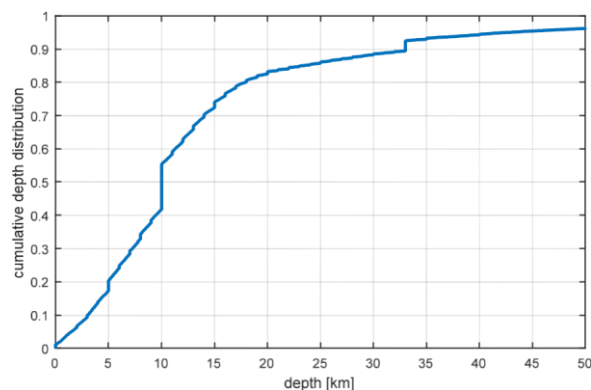
5.2. ნახაზიდან, აშკარაა, რომ საპროექტო ტერიტორია მდებარეობს სეისმურად ძალიან აქტიურ რეგიონში. სეისმოტექტონიკური გარემოს აღწერა მოცემულია მე-4 ნაწილში.

5.3 ნახაზზე მოცემულია სამუშაო კატალოგში შეტანილი მიწისძვრის ეპიცენტრებისა და სიღრმეების განაწილება გრძედისა და განედის შესაბამისად. 5.4 ნახაზზე გვიჩვენებს სამუშაო კატალოგში შეტანილი ეპიცენტრების ჯამური სიღრმის გავრცელებას. მონაცემების არარსებობის ან საეჭვო მონაცემების შემთხვევაში მონაცემები შევსებული იქნა მიწისძვრის სტანდარტული 5-კმ-იანი, 10-კმ-იანი და 33 კმ-იანი სიღრმეებით, არაღრმა მიწისძვრების დაშვება მოხდა ჯამური მრუდის შესაბამისად. როგორც ჩანს, რეგიონის შესწავლილი მიწისძვრების უმრავლესობა არაღრმაა და მოვლენების 95%-ის შემთხვევაში ეპიცენტრი 40 კმ-ის ქვემოთაა. მხოლოდ ცალკეული მიწისძვრების ეპიცენტრი მდებარეობს 40 კმ-ზე ღრმად, განსაკუთრებით საკვლევი ტერიტორიის აღმოსავლეთით, რაც სუბდუქციის ზონის ღრმა სეისმურობაზე მიუთითებს.

სიღრმეების ეს კონკრეტული განაწილება არის გათვალისწინებული სხვადასხვა სეისმური კერის ზონების სეისმოგენური სიღრმის დაშვების დროს. ზოგადად, რეგიონის სეისმურობაში ზედაპირული ქერქის მიწისძვრები ჭარბობს.



ნახაზი 5.3: სამუშაო კატალოგის ეპიცენტრის სიღრმეები, მარცხენა ნახაზზე ჭრილი დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ და მარჯვენა ნახაზზე სამხრეთიდან ჩრდილოეთისკენ

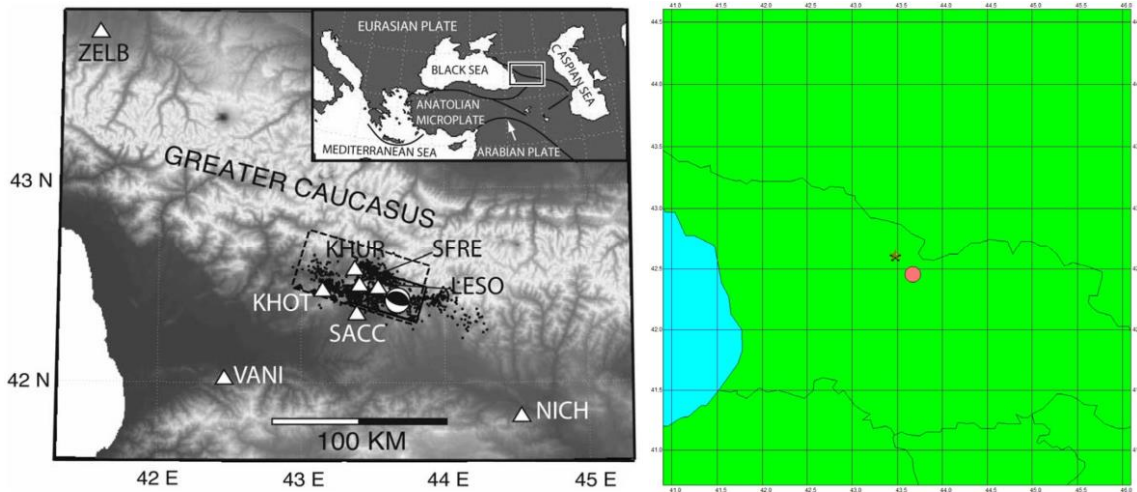


ნახაზი 5.4: სამუშაო კატალოგის ეპიცენტრის სიღრმეების ჯამური გავრცელება

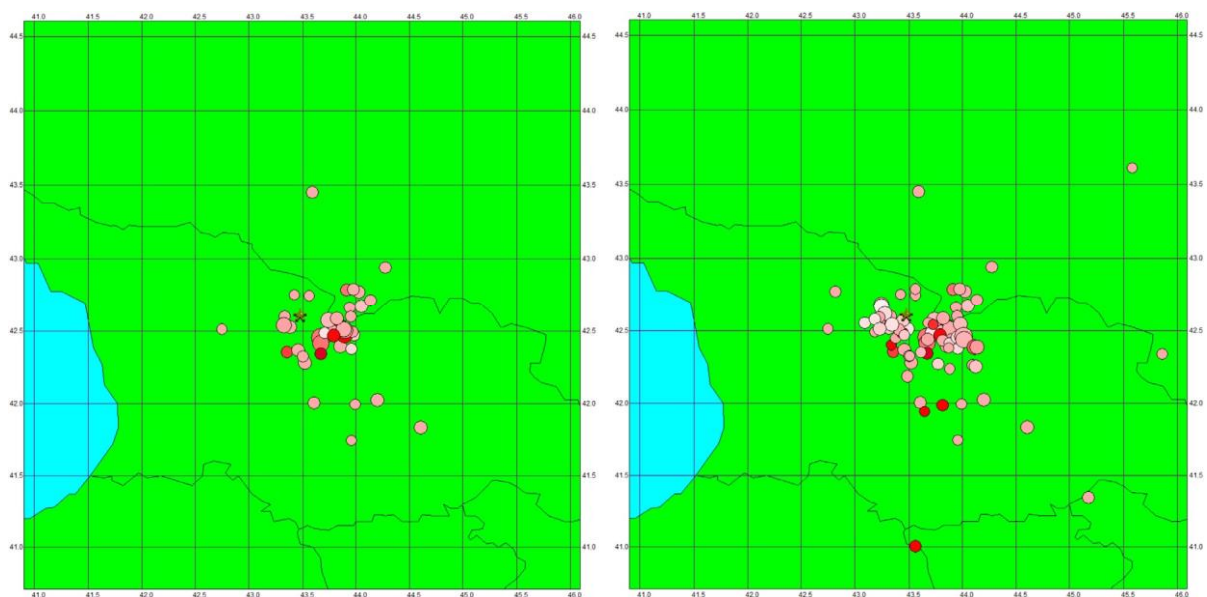
5.3 ისტორიული მიწისძვრები

ერთ-ერთი დიდი მიწისძვრა საპროექტო რეგიონში 1991 წლის რაჭის 7.0 მაგნიტუდიანი (M_w) მიწისძვრა იყო, რომელიც 1991 წლის 29 აპრილს მოხდა. ეს კავკასიონის მთებში დაფიქსირებული ყველაზე ძლიერი მიწისძვრაა. ეპიცენტრი საპროექტო უბნიდან მხოლოდ 24 კილომეტრში მდებარეობს. მიწისძვრამ 700 სოფელს მიაყენა ზარალი და 46,000 სახლი დაანგრია. ამასთან, მიწისძვრამ აამოქმედა არაერთი მეწყერი და ქვათა ცვენა.

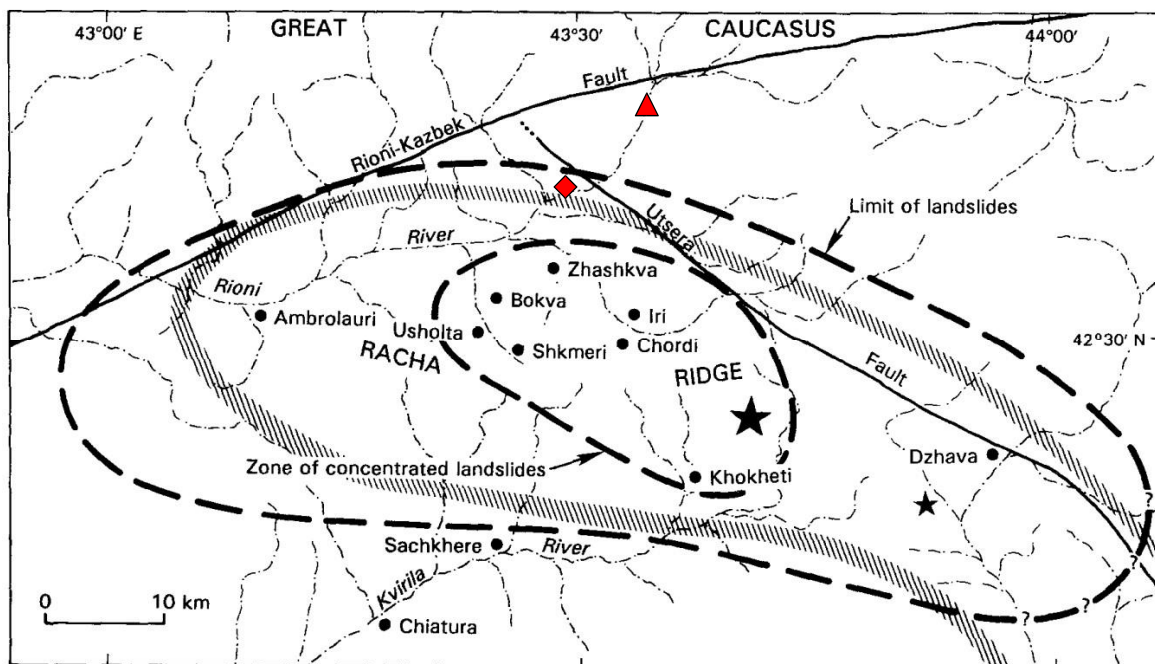
მიწისძვრის კერის მექანიზმის მიხედვით მიწისძვრა გამოწვეული იყო მცირეკუთხიანი შესხლეტიტ რღვევის ზედაპირზე, რომელიც დამირული იყოს დაახლოებით 35° -ით ჩრდილო-ჩრდილო აღმოსავლეთის მიმართულებით. ძირითად ბიძგს მოჰყვა შემდგომი ბიძგების სერია, რომელიც რამდენიმე თვის მანძილზე გრძელდებოდა, საიდანაც რამდენიმე ბიძგი 6.0 და უფრო მაღალი მაგნიტუდით ხასიათდებოდა, იხ. ნახაზები 5.5 და 5.6. მიწისძვრას ადგილი ჰქონდა მოლასური საფარების ფრონტალურ შეცოცებაზე.



ნახაზი 5.5: 1991 წლის 29 აპრილის რაჭის მიწისძვრა M 7.0; მარცხენა ნახაზი: შესხლეტის მექანიზმი (პოდგორსკი და სხვ. 2007), ნახაზი მარჯვნივ ძირითადი ბიძგი საპროექტო ტერიტორიიდან 24 კმ-ის მანძილზე



ნახაზი 5.6: 1991 წლის 29 აპრილის რაჭის მიწისძვრა M 7.0; მარცხენა ნახაზი ძირითადი ბიძგის შემდგომი ბიძგები 24 საათის განმავლობაში და მარჯვენა ნახაზი ძირითადი ბიძგის შემდგომი ბიძგები 3 თვის განმავლობაში მაგნიტუდა M 3.0 და მაღალი



ნახაზი 5.7: ეპიცენტრის რუკა. დიდი ვარსკვლავი უჩვენებს ძირითადი ბიძგის ეპიცენტრს; პატარა ვარსკვლავი არის Ms 6.5 შემდგომი ბიძგი, რომელსაც ადგილი ჰქონდა 15 ივნისს; დაშტრიხული საზღვრები ბიძგის შემდგომი ზონა; გარეთა წყვეტილი ხაზი არის მიწისძვრით გამოწვეული მეწყერების საზღვარი, კითხვის ნიშნები აღნიშნავს გაურკვევლობას; შიდა წყვეტილი ხაზი აჩვენებს კონცენტრირებული მეწყერული აქტივობის ზონას; უწყვეტი ხაზები ძირითად რღვევებს ასახავს; წერტილებიანი წყვეტილი ხაზები ძირითადი ნაკადულებია და მდინარეებია (ჯიბსონი და სხვ. 1994). (♦ - ძალური კვანძი, ▲ - კაშხლის მოედანი)

6 სეისმური კერის მოდელი

6.1 პროცედურა

სეისმური საფრთხის ალბათური შეფასება ეყრდნობა ერთი გაუმჯობესებული სეისმური კერის ზონის მოდელს. ეს მოდელი ადაპტირებულია მიწისძვრის გავრცელების მიხედვით მთლიანი სეისმური კატალოგისა და გეო-ტექტონიკური აგებულების შესაბამისად. კერის ზონის მოდელი ცალსახად ეყრდნობა ტერიტორიაზე არსებული კერის ზონებს. ცალკეული რღვევები არ შეირჩევა კერის ზონებად, რადგან კერის ზონის პარამეტრების განსაზღვრა რღვევების შემთხვევაში მოიცავს გაურკვევლობას და დამატებით ძალისხმევას მოითხოვს. შესაბამისად, გადაწყდა მხოლოდ ერთი სეისმოგენური კერის ზონის მოდელის გამოყენება ტერიტორიაზე არსებული აქტიური კერებით.

საფრთხე გამოითვლება ამ მოდელზე დაყრდნობით OpenQuake V2.0. პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით. ლოგიკური სქემის ინდივიდუალური შტოების საფრთხის მრუდები გაერთიანებულია შეწონვის კოეფიციენტებთან ერთად საპროექტო ტერიტორიაზე საფრთხის საბოლოო მრუდების შესაფასებლად.

კერის ზონის პარამეტრები

კერის პარამეტრები განისაზღვრება კერის თითოეული ზონისთვის მიწისძვრის სამუშაო კატალოგში მოცემულ მონაცემებზე დაყრდნობით WIZMAP II (Musson 2001) პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით:

- სტატისტიკური პარამეტრები a და b გუტენბერგისა და რიხტერის (1941) მრუდის კავშირის შესაბამისად $M \propto a + bM$, სადაც N = მიწისძვრების ჯამურ რაოდენობას, ხოლო M = მაგნიტუდას (მომენტის მაგნიტუდა = M_w). აღრიცხული მიწისძვრები 1960-დან 2016 წლამდე გამოიყენება a და b სტატისტიკური პარამეტრების გამოსათვლელად. 4.0 მაგნიტუდაზე ნაკლები მიწისძვრები არ არის გათვალისწინებული სტატისტიკური ანალიზისთვის, რადგან გაურკვეველია მონაცემების სისრულე მცირე მაგნიტუდის შემთხვევაში.
- მაგნიტუდის ზედა ზღვარი კერის ზონაში M_{max} : მაგნიტუდის ზედა ზღვარი კერის ზონებში აღებული იქნა, როგორც მაქსიმალური ისტორიული მაგნიტუდა კატალოგში უფრო დიდი რეგიონისთვის, რომელიც მოიცავს პერიოდს ჩვ. წ. აღ-მდე 10'000-დან 2016 წლამდე შესაბამისი პერიოდისთვის პლუს დაახლოებით $0.5 M_w$. მაქსიმალური ისტორიული მაგნიტუდის ზრდა რეგიონში დაახლოებით 0.5-ით სათანადო ვარაუდად იქნა შეფასებული. დეტერმინისტული ანალიზის საფუძველზე საპროექტო მიწისძვრის განსაზღვრად, როგორც წესი, მაქსიმალური დაფიქსირებული ისტორიული მიწისძვრა იზრდება 0.5 მაგნიტუდით (ბომერი და აბრაამსონი, 2006). მაგალითად საფრანგეთის რეგულაციებით (AFPS 90), ხორციელდება სიმძლავრის ერთი ერთეულით გაძლიერება, რაც დამატებით 0.5 მაგნიტუდას შეესაბამება (მარინი და სხვ. 2004).
- თითოეული კერის ზონის სიღრმისეული გავრცელება შეირჩევა ეპიცენტრის სიღრმის შესაბამისად, რომელიც მოცემულია 5.3 ნახაზზე. რეგიონში დომინირებს დედამიწის ქერქის არაღრმა მიწისძვრები სეისმურად აქტიურ რეგიონში. საკვლევი ტერიტორიის საზღვარზე ფიქსირდება ღრმა მიწისძვრები. სიღრმის გადანაწილების შერჩევა არაღრმა მიწისძვრის მიმართულებით განხორციელდა, რაც გონივრული დაშვებაა.

კერის ზონის პარამეტრების შედეგები

მიღებული კერის ზონის პარამეტრები a , b , M_{max} და სიღრმე სეისმური კერის მოდელის თითოეული კერის ზონის შემთხვევაში წარმოდგენილია შესაბამის ცხრილებსა და ნახაზებზე შესაბამის ნაწილებში. აღნიშნული მნიშვნელობები გონივრულ წარმომადგენლობით მნიშვნელობებად ითვლება და სტატისტიკური პარამეტრები განისაზღვრება მაქსიმალური შესაძლებლობის პროცედურით.

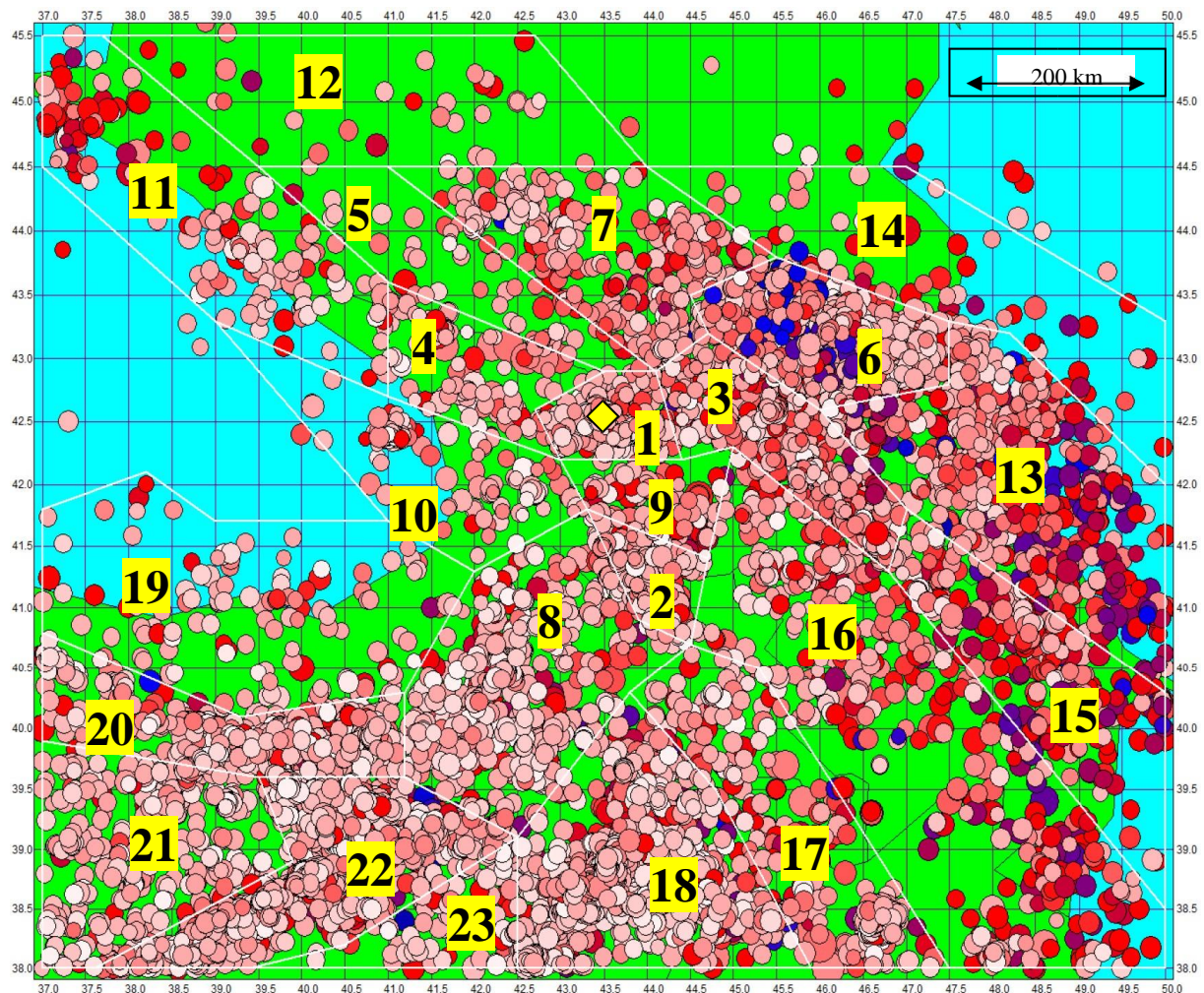
საფრთხის ინტეგრირების პროცედურის ფარგლებში სეისმურობა წარმოდგენილია ტერიტორიის კერებით და არა ცალკეული რღვევებით. თითოეული ზონის ფარგლებში სეისმურობა თანაბრად ნაწილდება ტერიტორიაზე და განსაზღვრული სიღრმის ფარგლებში.

6.2 სეისმური კერის ზონის მოდელის განსაზღვრება

ამ მოდელის ფარგლებში კერის ზონები მიღებულია შესაბამისი გაუმჯობესებული ზონირებით სეისმოტექტონიკური კლასიფიკაციის გამოყენებით, შემდეგ ინფორმაციაზე დაყრდნობით:

- ყველა ისტორიული და აღრიცხული მიწისძვრის სახე (ნაწილი 5)
- ტექტონიკური სისტემები (ნაწილი 4)
- გეოლოგია (ნაწილი 4)

სეისმური მოდელი მოიცავს სეისმური ტერიტორიის კერის 23 ზონას. მიწისძვრებში დომინირებს დედამიწის ქერქის ზედაპირული (არაღრმა) მიწისძვრები. 6.1 ნახაზზე მოცემულია ეს ზონები, მათ შორის სამუშაო კატალოგზე დამყარებული სეისმურობა.



ნახაზი 6.1: სეისმური კერის ზონები; ყვითელი რომბი: საპროექტო ტერიტორია (განედი: N 42.611° / გრძედი: E 43.469°)

სეისმური კერის ზონის მოდელი პირველ რიგში ითვალისწინებს დაფიქსირებულ (გაზომილი და ისტორიული) სეისმურობას, და შეესაბამება სეისმოტექტონიკურ გარემოს. ტერიტორიის კერის ზონები შედგება ცალკეული რეგიონების აქტიური რღვევებისა და რღვევათა სისტემებისგან. განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება წყაროს ზონას 1, სადაც მდებარეობს საპროექტო მოედანი.

შესაძლებელია უფრო დახვეწილი და დეტალური მოდელების გამოყენება, მაგალითად აქტიური რღვევების მოდელირება გეომეტრიული აგებულებისა და აქტივობის გათვალისწინებით დეფორმაციის დონისა და ფონური სეისმურობის მოდელების მიხედვით. ეს მოდელები უფრო რთულია და აქტიური რღვევების მონაცემების მიღება უფრო ძვირი ჯდება. შუა აღმოსავლეთის მიწისძვრის მოდელის პროექტის (EMME) (ჯარდინი და სხვ. 2014) კომპლექსური მოდელისა და არსებული აქტიური ტერიტორიის კერის ზონის მოდელის შედარება მომდევნო ნაწილშია მოცემული.

კერის ზონის პარამეტრები

მოდელის შესაბამისი კერის ზონის მახასიათებლები მოცემულია 6.1 ცხრილში. შესაბამისი მაქსიმალური შესაძლებლობის რეგრესიები წარმოდგენილია 1 დანართში. ზოგადად, მიწისძვრები 4.0-ზე ნაკლები მაგნიტუდით არ არის გათვალისწინებული საფრთხეების ანალიზში. საფრთხეების გამოთვლისას მინიმალური მაგნიტუდა განისაზღვრება $M_{\min} = 4.0$. როგორც უკვე აღინიშნა, მაქსიმალური მაგნიტუდა M_{\max} განისაზღვრება უფრო ვრცელი რეგიონის ისტორიული მაქსიმალური მაგნიტუდის დაახლოებით 0.5-ით გაზრდით. სეისმური საფრთხის ალბათური შეფასებით, მიწისძვრის მოდელირება ხდება კერების თანაბარი განაწილებით შესაბამისი კერის ზონის ტერიტორიაზე და შესაბამის კერის ზონაში განსაზღვრულ სიღრმეზე. მიწისძვრის მექანიზმად აღებულია შესხლეტა, რომელიც კავკასიის რეგიონის დომინანტურ მექანიზმს წარმოადგენს.

ცხრილი 6.1: წყაროს ზონის პარამეტრები

წყაროს ზონა	a (მრუდი $M=0$)	b	$M_{w,\max}$ (ისტორიული)	M_{\max} (შერჩეული)	საშუალო სიღრმე (კმ)	შერჩეული სიღრმეების სპექტრი (კმ)
1	4.96	-1.02	7.0	7.5	10	0 - 20
2	4.40	-0.96	7.0	7.5	10	0 - 20
3	5.08	-1.06	6.6	7.5	16	0 - 30
4	3.21	-0.81	7.1	7.5	10	0 - 20
5	3.76	-1.04	5.6	6.5	13	0 - 20
6	5.89	-1.16	6.6	7.5	20	0 - 40
7	5.62	-1.33	5.6	7.0	16	0 - 30
8	5.83	-1.18	6.9	7.5	12	0 - 30
9	3.80	-0.96	6.7	7.5	16	0 - 20
10	4.11	-0.98	6.1	7.0	10	0 - 20
11	4.26	-0.98	6.5	7.0	18	0 - 30
12	3.31	-0.93	5.0	6.5	21	0 - 20
13	4.84	-1.01	6.3	7.0	27	0 - 50
14	4.33	-1.10	6.6	7.0	28	0 - 30
15	4.46	-0.94	7.8	8.0	30	0 - 50
16	4.49	-0.94	7.3	8.0	23	0 - 40
17	4.67	-0.97	7.7	8.0	11	0 - 30
18	5.75	-1.07	7.2	8.0	12	0 - 50
19	6.91	-1.65	5.9	6.5	12	0 - 20
20	5.68	-1.17	7.8	8.0	10	0 - 30
21	6.24	-1.35	6.3	7.0	10	0 - 20
22	5.75	-1.05	6.9	7.5	11	0 - 50
23	5.89	-1.36	5.8	6.5	13	0 - 20

სამუშაო კატალოგის მონაცემების დამუშავების ერთი საკითხია კლასტერების დაშლა - დიდი მიწისძვრების წინა და მომდევნო ბიძგების გამორიცხვა. საპროექტო ტერიტორიისთვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია 1991 წელს რაჭაში მომხდარი მიწისძვრა. ამ მოვლენას ძალიან ბევრი შემდგომი ბიძგი მოჰყვა. აღნიშნული მომდევნო ბიძგები, ზოგადად, გამოირიცხება სამუშაო კატალოგებიდან, კერის ზონების რეგრესიის პარამეტრების განსასაზღვრად. შემდგომი ბიძგები არ არის დამოუკიდებელი მოვლენები და შესაძლოა გავლენა მოახდინონ რეგრესიის პარამეტრებზე - a და b მნიშვნელობები გუტენბერგისა და რიხტერის მიხედვით (1941). წინამდებარე კვლევაში ხდება თავდაპირველი და კლასტერების დაშლით მიღებული სამუშაო კატალოგის შესწავლა. კლასტერების დაშლა განხორციელდა ძირითადი ბიძგიდან 3 თვემდე პერიოდში ეპიცენტრიდან 50 კმ-ის რადიუსში მომხდარი მიწისძვრების გამორიცხვის მეშვეობით. ამით ვიღებთ საწყისი სამუშაო კატალოგისგან განსხვავებულ რეგრესიის პარამეტრებს. კლასტერების დაშლის შედეგად მიღებული კატალოგის შემთხვევაში a და b მნიშვნელობები იზრდება და იწვევს უფრო მცირე მასშტაბის მიწისძვრების სიხშირის ზრდას, მაგრამ შედარებით დიდი მიწისძვრების სიხშირის კლებას. შემდგომი ბიძგების გამორიცხვით მცირდება საფრთხე სამუშაო მოედანზე, რაც იწვევს აჩქარების უფრო მცირე მნიშვნელობების მიღებას საწყისი სამუშაო კატალოგის რეგრესიის პარამეტრების ანალიზისგან განსხვავებით. ამასთან, მიწისძვრების კუმულაციური მრუდი, რომელიც აღემატება განსაზღვრულ მაგნიტუდას წლის მანძილზე, უფრო მეტად S-ის ფორმის ხდება კლასტერების დაშლის შედეგად მიღებული სამუშაო კატალოგის შემთხვევაში და რეგრესია მეტ ცვალებადობას აჩვენებს. საბოლოოდ, გადაწყდა საწყისი სამუშაო კატალოგის გამოყენება არსებული საფრთხის შესაფასებლად.

6.3 მიღევადობის თანაფარდობები

მიღევადობის კანონები არის ფუნქციები, რომლებიც მოქმედებს განსაზღვრულ რეგიონალურ პირობებში და აღწერს გრუნტის მოსალოდნელ რხევას მოედანზე განსაზღვრულ მანძილზე განსაზღვრული მაგნიტუდის მიწისძვრის გამო. მიღევადობის კანონები მიიღება რეალური გაზომილი მონაცემების გამოყენებით, როგორც წესი მიწისძვრების ვრცელი მონაცემთა ბაზიდან. საპროექტო ტერიტორიაზე გრუნტის გაზომილი რხევის შეფარდებით მანძილთან და მიწისძვრის მაგნიტუდასთან, შესაძლებელია შერჩეული მონაცემთა ბაზის მაქსიმალურად შესაბამისი მიღევადობის კანონის განსაზღვრა. მიღევადობის დადგენილი კანონები მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული შერჩეულ მონაცემთა ბაზაზე და შესაბამისობის განსაზღვრის პროცედურებზე. ამასთან, სხვადასხვა ავტორების მიხედვით მიღებული მიღევადობის კანონები, როგორც წესი, განსხვავდება მაგნიტუდის (მაგ. M_w , M_s , M_B და სხვ.) და მანძილის (e.g. მანძილი ეპიცენტრამდე, მანძილი რღვევამდე და სხვ.) განსაზღვრების თვალსაზრისით. მიღევადობის კანონების კომპლექსური მიმოხილვა მოცემულია აბრაამსონთან და სხვ. (2008) და ბოზორნიასთან და სხვ. (2014).

ბოლო პერიოდის სეისმური კვლევები, როგორიცაა 2014 წელს ჩატარებული შუა აღმოსავლეთის მიწისძვრის მოდელი (EMME) (დანსიუ და სხვ. 2016), იყენებს მიღევადობის განსაზღვრულ კავშირებს, მათ შორის აკარი და სხვ. (2014) და ჩიოუ და იანგსი (2008). კომპლექსური EMME პროექტის გამოცდილების გათვალისწინებით, მიღევადობის მსგავსი კავშირები გამოყენებულია სეისმური საფრთხის წინამდებარე ალბათურ შეფასებაში. სეისმური საფრთხის ალბათური შეფასების გამოთვლაში გამოყენებული იქნა 5 კარგად დამკვიდრებული და ბოლო პერიოდში განახლებული ულტრათანამედროვე მიღევადობის

კავშირი მსოფლიო მასშტაბის და რეგიონალურ მონაცემებზე დაყრდნობით, რომლებიც წარმოადგენს დედამიწის ქერქის არაღრმა მიწისძვრების მახასიათებლებს.

მიღევადობის ადგილობრივი კავშირები გამოყენებულია რეგიონული სეისმური საფრთხეების კვლევებში, მაგ. ჭელიძე და სხვ. (2006), მაგრამ ისინი სიმძლავრის ან გრუნტის მხოლოდ პიკური აჩქარების პროგნოზირებას ახდენენ. აჩქარების სპექტრული მნიშვნელობები არ არის მოდელირებული. აღნიშნული შეზღუდვის გამო, არ არის გამოყენებული გრუნტის რხევის ადგილობრივი პროგნოზის განტოლებები.

სეისმური საფრთხეების წინამდებარე ალბათურ შეფასებაში გამოყენებულია მიღევადობის შემდეგი მნიშვნელობები:

- 1) **აბრაამსონი, სილვა და კამაი (2014) (ASK 2014):** გრუნტის რხევის ემპირიული მოდელები საშუალო ჰორიზონტალური მდგენელისთვის დედამიწის ქერქის არაღრმა მიწისძვრების შემთხვევაში ტექტონიკურად აქტიურ რეგიონებში მიიღება PEER NGA-West2 მონაცემთა ბაზის გამოყენებით. ეს მოდელი გამოიყენება 3.0–8.5 მაგნიტუდებისთვის, 0–300 კმ მანძილებზე, და სპექტრული პერიოდებით 0–10წმ. ამ მოდელის საწყისი პარამეტრები ემთხვევა აბრაამსონისა და სილვას (2008) მიერ გამოყენებულ პარამეტრებს, შემდეგი გამონაკლისებით: არაწრფივი ელემენტების დატვირთვის დონე ეყრდნობა სპექტრულ აჩქარებას ინტერესის პერიოდში და არა გრუნტის მაქსიმალურ აჩქარებას (PGA); და რღვევის ზედა ბაგის (HW) ეფექტის შემთხვევაში გრძივი მასშტაბირება რღვევის ბოლოდან მოიცავს კერასა და სამუშაო მოედანს შორის აზიმუტზე დამოკიდებულებას. გათვალისწინებულია რეგიონული სხვაობები მიღევადობებს შორის დიდ მანძილებზე და V_{S30} მასშტაბში კალიფორნიას, იაპონიას, ჩინეთსა და ტაივანს შორის. მასშტაბირება HW ეფექტისთვის გაუმჯობესებულია ციფრული მოდელირების შეზღუდვების გამოყენებით. სტანდარტული გადახრა დამოკიდებულია მაგნიტუდაზე, როდესაც მცირე მაგნიტუდა უფრო მაღალ სტანდარტულ გადახრას იწვევს მოკლე დროის მანძილზე, მაგრამ ნაკლებ სტანდარტულ გადახრებს - უფრო ხანგრძლივი დროის მანძილზე. მიმართულების ეფექტები არ არის გათვალისწინებული ექსპლიციტური პარამეტრებით, მაგრამ ასახულია ემპირიული მონაცემების ცვალებადობაში.
- 2) **აკარი, სანდიკაია და ბომერი (2014) (ASB 2014):** წარმოადგენს ბოლო თაობის გრუნტის რხევის მოდელებს ელასტიკური რეაგირების (ფსევდო) სპექტრული აჩქარებების, ასევე გრუნტის მაქსიმალური აჩქარებისა და სიჩქარის პროგნოზირებისთვის, რაც მიიღება საერთო ევროპული მონაცემთა ბაზების გამოყენებით. ეს მოდელები წარმოადგენს რიგ სიახლეებს მოდელების წინა თაობასთან მიმართებით (ამბრასეისი და სხვ. (2005); ბომერი და სხვ. (2003), აკარი და ბომერი (2010), კერძოდ: მოედნის არაწრფივი გაძლიერების ფუნქციის ანუ V_{S30} -სა და ქანზე გრუნტის ფონური მაქსიმალური აჩქარების ფუნქციის შემოტანა; მოდელის მაგნიტუდის სპექტრის გაფართოება გამოყენებისას M_w 4-მდე; მანძილების სპექტრის გაფართოება 200 კმ-მდე; მოკლე და გრძელი პერიოდების გაფართოება (0.01-წმ-მდე ფს 4წმ-მდე); და თანმიმდევრული მოდელები როგორც წერტილოვანი წყაროს (ეპიცენტრული, R_{epi} და ჰიპოცენტრული მანძილი, R_{hyp}) და შემოსაზღვრული რღვევის (მანძილი რღვევის ზედაპირულ პროექციამდე, R_{JB}) მანძილის სიდიდეები. ამასთან, გამოყენებულია 1.5-ჯერ მეტი მიწისძვრის მონაცემები მანამდე არსებულ საერთო ევროპულ მოდელებთან შედარებით, რამაც გამოიწვია რეგრესიების მიღება დაახლოებით ორჯერ მეტ მონაცემებზე დაყრდნობით. ამ ჩანაწერების მეტამონაცემები საგულდაგულოდ იქნა შედგენილი და ხელახლა შეფასებული ბოლო პერიოდის ევროპულ პროექტებში. ამ გაუმჯობესებების შედეგად მიღებული იქნა გრუნტის რხევის პროგნოზირების

მანდამდე არსებულთან შედარებით უკეთესი განტოლებები, დედამიწის ქერქის არაღრმა (კერის სიღრმე ნაკლებია 30 კმ-ზე) მიწისძვრების შემთხვევაში ევროპასა და შუა აღმოსავლეთში. ევროპასა და შუა აღმოსავლეთში სეისმური საფრთხეების შეფასების განტოლებების გამოყენების რჩევები მოცემულია ლოგიკური სქემის მეშვეობით, რომელიც ასახავს ეპიცენტრთან დაკავშირებულ გაურკვევლობას.

- 3) **კამპბელი და ბოზორნია (2014) (CB 2014):** გამოიყენება გაფართოებული მონაცემთა ბაზა PEER NGA-West2 ახალი გრუნტის რხევის პროგნოზის განტოლების შესამუშავებლად (GMPE) საშუალო ჰორიზონტალური მდგენელებისთვის გრუნტის მაქსიმალური აჩქარება (PGA), გრუნტის მაქსიმალური სიჩქარე (PGV), და 5% ჩამქრალი წრფივი ფსევდო-აბსოლუტური აჩქარების რეაგირების სპექტრი 21 0.01წმ-დან 10წმ-მდე პერიოდში. გარდა იმ პირობებისა, რომელიც შესულია კამპბელისა და ბოზორნიას წინა (2008) პროგნოზის განტოლებაში (GMPE), მასში შედის რღვევის ზედა ბაგის (hanging wall) უფრო დეტალური მოდელი, ჰიპოცენტრის სიღრმისა და რღვევის დაძირვის მასშტაბირება, რეგიონულად დამოუკიდებელი გეომეტრიული მიღევადობა, რეგიონულად დამოკიდებული არაელასტიკური მიღევადობა და მოედნის პირობები, ასევე მაგნიტუდაზე დამოკიდებული შემთხვევითი ცვალებადობა. NGA-West2 მონაცემთა ბაზა უკეთეს შეზღუდვებს უზრუნველყოფს მცირემასშტაბიანი მიწისძვრების მაგნიტუდის მასშტაბირებასა და მიღევადობასთან დაკავშირებით, ეს ის საკითხებია, რომლებშიც კამპბელი და ბოზორნიას (2008) GMPE ტენდენციური იყო. გრუნტის რხევის პროგნოზირების ახალი განტოლება (GMPE) ვალიდურად ითვლება მიწის ჰორიზონტალური რხევის შემთხვევაში, რომელიც გამომდინარეობს დედამიწის ქერქის არაღრმა კონტინენტური მიწისძვრებისგან აქტიურ ტექტონიკურ სივრცეში, როდესაც რღვევის მანძილები 0-დან 300კმ-მდე, ხოლო მანძილები 3.3-დან 7.5–8.5-მდე მერყეობს, წყაროს მექანიზმიდან გამომდინარე.
- 4) **ჩიოუ და იანგსი (2014) (CY 2014):** განახლებული ჩიოუ და იანგსის (2008) მომდევნო თაობის მიღევადობის (NGA) მოდელი წარმოდგენილია დედამიწის ქერქის არაღრმა მიწისძვრებით გამოწვეული გრუნტის ჰორიზონტალური რხევების პროგნოზირების მიზნით, რომლებიც აქტიურ ტექტონიკურ გარემოში ხდება. განახლება ეყრდნობა მნიშვნელოვნად გაფართოებული NGA-West2-ის გრუნტის მოძრაობის მონაცემთა ბაზისა და ციფრული მოდელირების ანალიზს. განახლებული მოდელი მოიცავს მცირე კორექტირებებს ჩიოუ და იანგსის (2008) ფუნქციონალურ ფორმაში, რომელიც რღვევის ეფექტების ფორმას, ზედა ბაგის ეფექტებს, რღვევის ზედა ნაწილის მასშტაბირებას, ნალექების სიმძლავრის მასშტაბირებასა და დამატებითი ეფექტების შემოტანას უკავშირდება რღვევის დაძირვის (fault dip) და რღვევის (rupture) მიმართულებისთვის. ამასთან, გათვალისწინებულია რეგიონული სხვაობები შორს მდებარე კერის მანძილზე მიღევადობასთან და მოედნის ეფექტებთან მიმართებით კალიფორნიასა და სხვა აქტიურ ტექტონიკურ რეგიონებს შორის. ჩიოუ და იანგსის (2008) NGA მოდელთან შედარებით, განახლებული მოდელით პროგნოზირებული მედიანები მსგავსია $M > 7$ და დაბალია $M < 5$. შემთხვევითი ცვალებადობა უფრო მეტია ჩიოუ და იანგსის (2008) მოდელთან შედარებით.
- 5) **ბური და ატკინსონი (2008) (BA 2008):** ეს ნაშრომი მოიცავს გრუნტის მოძრაობის პროგნოზირების განტოლებებს საშუალო ჰორიზონტალური მდგენელის გრუნტის მოძრაობების შემთხვევაში, მიწისძვრის მაგნიტუდის, კერიდან მოედნამდე მანძილის, ადგილობრივი საშუალო განივი ტალღების სიჩქარისა და რღვევის ტიპის ფუნქციის სახით. განტოლებები ეხება გრუნტის მაქსიმალურ აჩქარებებს (PGA) 0.01წმ-დან 10წმ-

მდე პერიოდებში. ისინი მიღებულია ემპირიული რეგრესიის მეშვეობით ფართო ძლიერი რხევების მონაცემთა ბაზიდან, რომელიც შედგენილია “PEER NGA” (წყნარი ოკეანის მიწისძვრების ინჟინერიის კვლევითი ცენტრის მომდევნო თაობის მიღევადობა)-ის პროექტის მიერ. 1 წმ-ზე ნაკლები პერიოდებისთვის ანალიზში გამოყენებულია 58 ძირითადი ბიძგის 1,574 ჩანაწერი 0-დან 400 კმ-მდე მანძილების სპექტრში (ხელმისაწვდომი მონაცემების რაოდენობა მცირდება პერიოდის ზრდასთან ერთად). პროგნოზირების ძირითადი ცვლადებია მომენტის მაგნიტუდა M_w , უახლოესი ჰორიზონტალური მანძილი რღვევის სიბრტყის ზედაპირის პროექციამდე R_{JB} , და დროში გაშუალებული განივი ტალღების სიჩქარე ზედაპირიდან 30 მ-მდე V_{S30} . განტოლებები გამოიყენება, როდესაც $M=5-8$, R_{JB} 200 კმ, და $V_{S30}=180-1300$ მ/წმ.

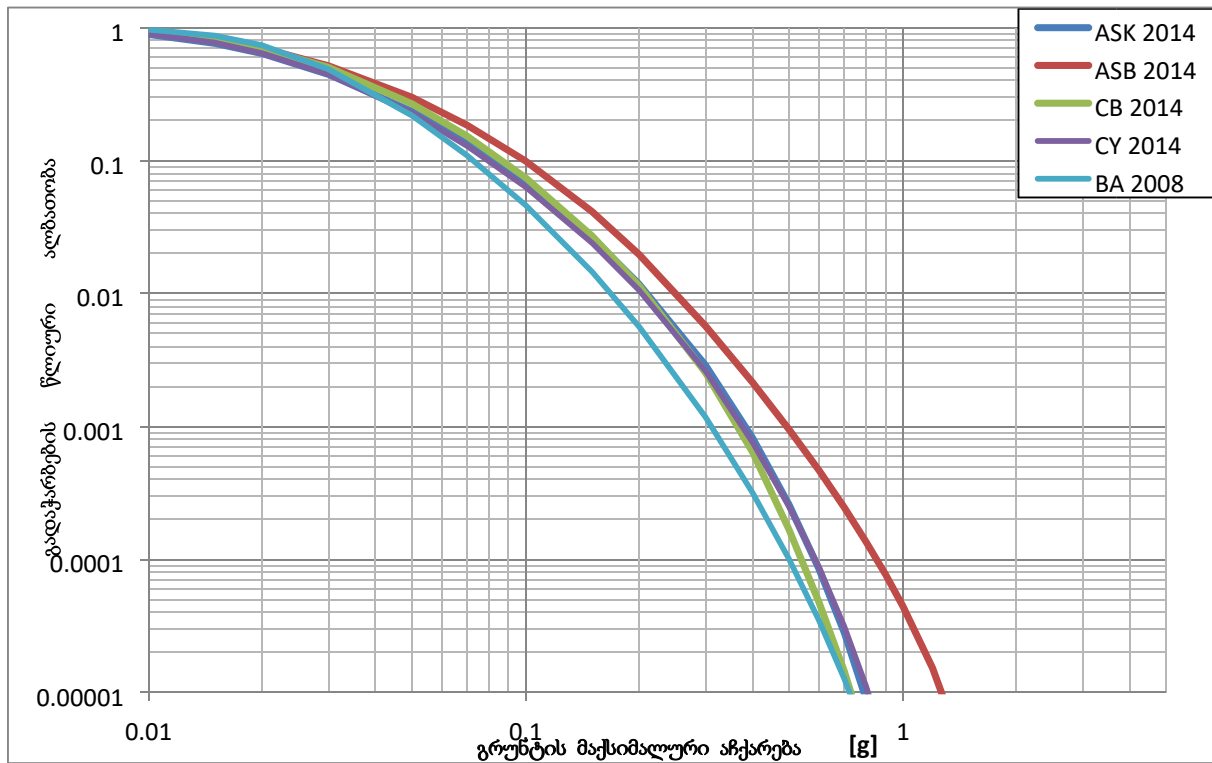
მიღევადობის გამოყენებული კავშირებისთვის საჭიროა გრუნტის გეოფიზიკური პირობები სამუშაო მოედანზე. განივი ტალღების სიჩქარის გაზომვები ხელმისაწვდომია (გროსმანი და შნაკერი 2016). გრუნტის პირობები გამოიყენება ძირითადი ქანების ზედაპირის შემთხვევაში. ქვემოთ მოცემული გრუნტის პარამეტრები ძირითადი ქანებისთვის ანალიზში გამოყენებულია შემდეგ პარამეტრებზე დაყრდნობით:

- $v_{s30} = 1500$ მ/წმ
- სიღრმე ($v_s = 1000$ მ/წმ) = 10 მ
- სიღრმე ($v_s = 2500$ მ/წმ) = 0.2 კმ

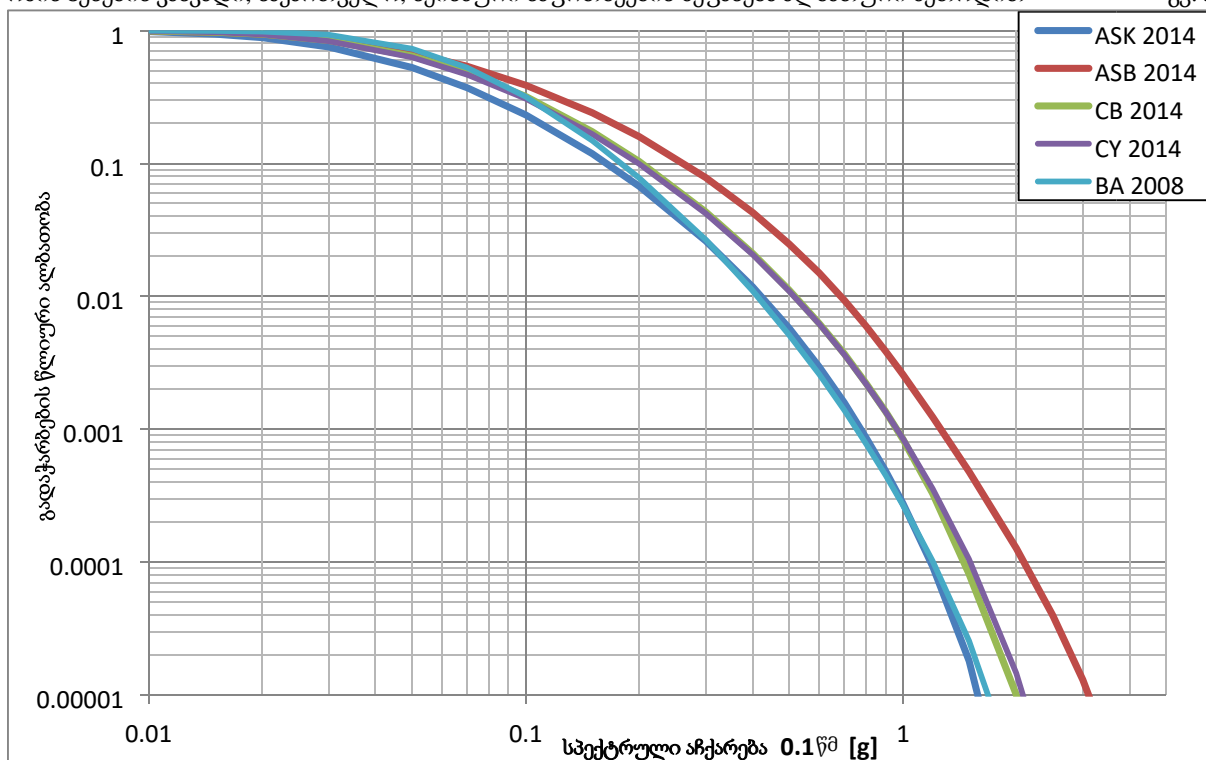
7 ინდივიდუალური საფრთხის შედეგები

7.1 სრული საფრთხე

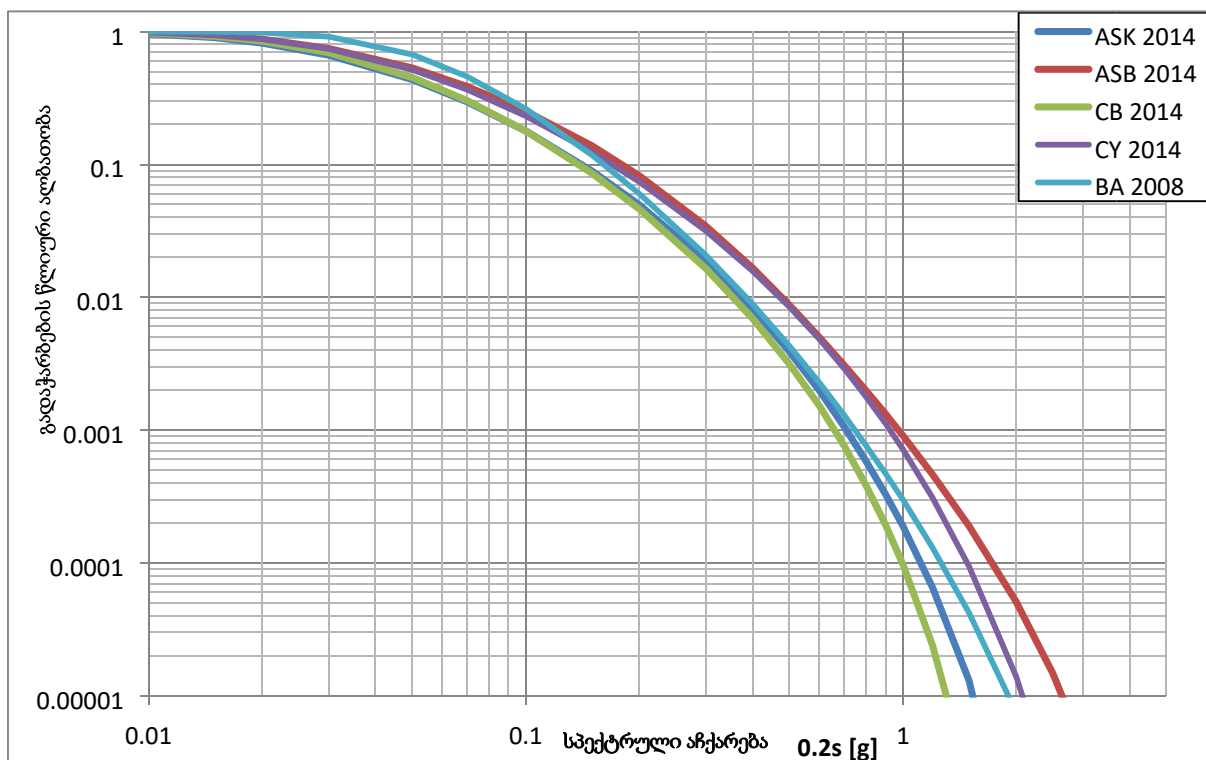
საფრთხეების ანალიზი შესრულდა კომპიუტერული პროგრამით OpenQuake V2.0. საფრთხის გამოთვლის შერჩეული შედეგები მოცემულია ნახაზებზე 7.1-დან 7.5-მდე. საფრთხის მრუდები მოცემულია გრუნტის მაქსიმალური აჩქარებისა და ინდივიდუალური სპექტრული პერიოდებისთვის ინდივიდუალური მილევადობის კავშირების შემთხვევაში.



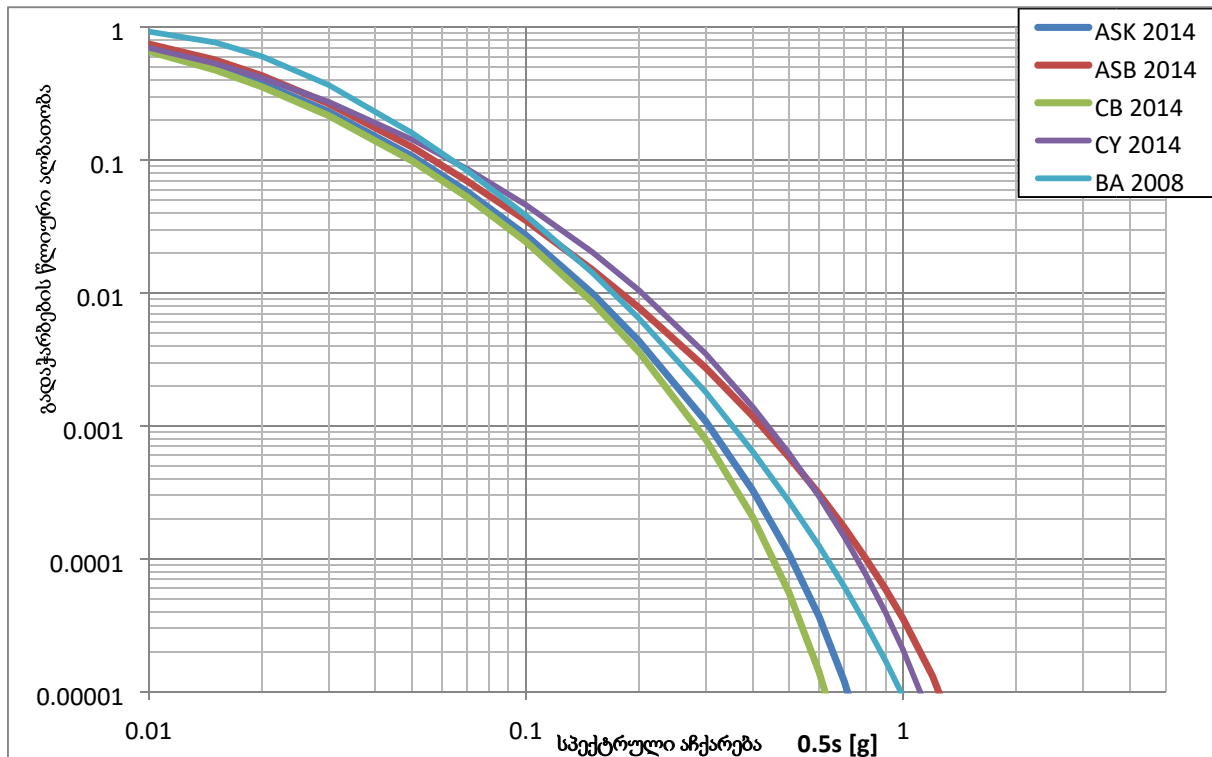
ნახაზი 7.1: სრული საფრთხის მრუდები PGA-თვის; 5% ჩაქრობა



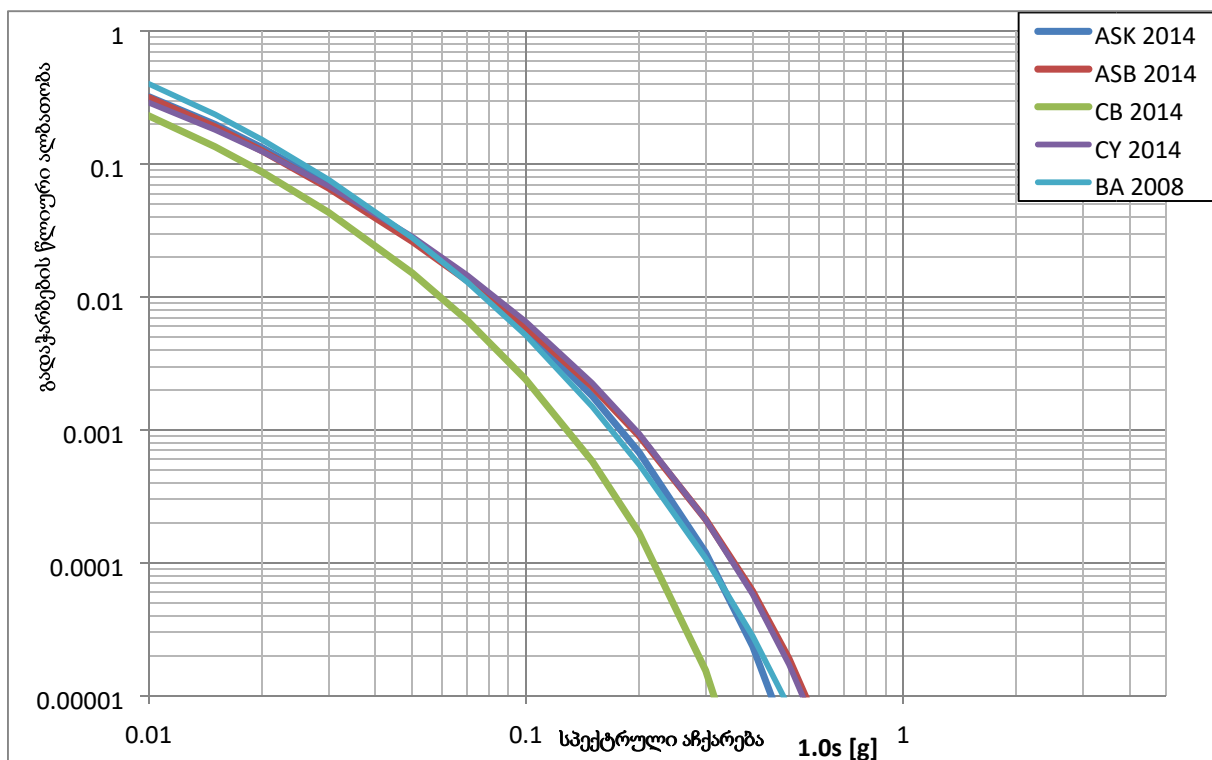
ნახაზი 7.2: სრული საფრთხის მრუდები სპექტრული პერიოდებისთვის 0.1 წმ; 5% ჩაქრობა



ნახაზი 7.3: სრული საფრთხის მრუდები სპექტრული პერიოდისთვის 0.2 წმ; 5% ჩაქრობა



ნახაზი 7.4: სრული საფრთხის მრუდები სპექტრული პერიოდისთვის 0.5წმ; 5% ჩაქრობა

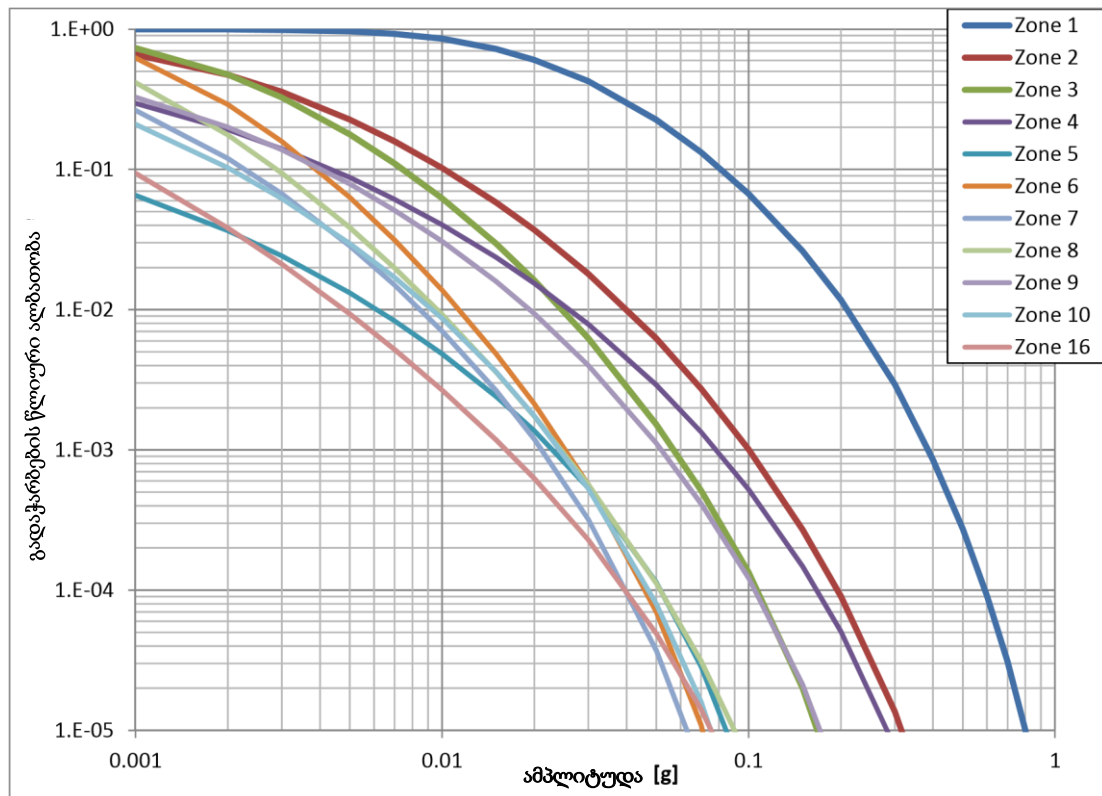


ნახაზი 7.5: სეისმური საფრთხის ალბათური შეფასების სრული საფრთხის მრუდები სპექტრული პერიოდისთვის 1.0წმ; 5% ჩაქრობა

7.1-დან 7.5-მდე ნახაზებზე მოცემული საფრთხის მრუდებიდან ჩანს, რომ აღინიშნება საფრთხეების შედეგების გარკვეული მცირე ცვალებადობა მიღებადობის სხვადასხვა კავშირების გამო.

7.2 კერის როლი ალბათურ საფრთხესთან მიმართებით

7.6 ნახაზი გვიჩვენებს საპროექტო ტერიტორიიდან 200 კმ რადიუსში არსებული ინდივიდუალური სეისმური კერის ზონების როლს გრუნტის მაქსიმალური აჩქარების (PGA) სრულ საფრთხესთან მიმართებით. საპროექტო ტერიტორიაზე არსებულ საფრთხესთან მიმართებით, ძირითადად, კერის ზონა 1 დომინირებს, ამ კერის ზონაში მდებარეობს ონის საპროექტო ტერიტორია. საპროექტო ტერიტორიის საფრთხესთან მიმართებით ყველა სხვა ზონა უმნიშვნელო როლს თამაშობს.



ნახაზი 7.6: გრუნტის მაქსიმალური აჩქარების (PGA) საფრთხე სეისმური კერების შესაბამისად

7.3 სეისმური საფრთხის შემადგენელ ნაწილებად დაყოფა

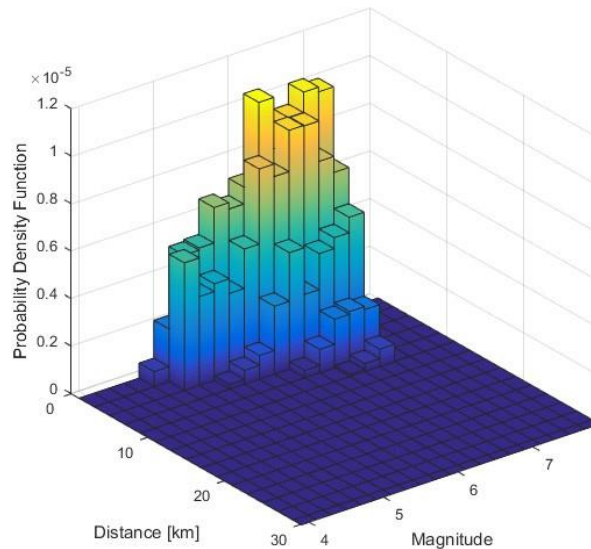
ნახაზი 7.7 და ნახაზზე 7.8 მოცემულია გადაჭარბების წლიური ალბათობის ჩაშლა მაგნიტუდისა და მანძილის სახით $1 / 5'000$ და $1 / 475$ შესაბამისად.

ჩაშლილი მონაცემებიდან ჩანს, რომ საფრთხეში დომინირებს საპროექტო ტერიტორიასთან ახლოს მყოფი მიწისძვრები 20 კმ-მდე მანძილში. შედარებით დიდ მანძილებზე მიწისძვრები ძალიან მცირე გავლენას ახდენენ საპროექტო მოედანზე. ეს გარემოება შეესაბამება კერის როლს საფრთხესთან მიმართებით, რომელიც მოცემულია ნახაზზე 7.6, ვინაიდან საფრთხესთან მიმართებით დომინირებს საპროექტო მოედნის კერის ზონა.

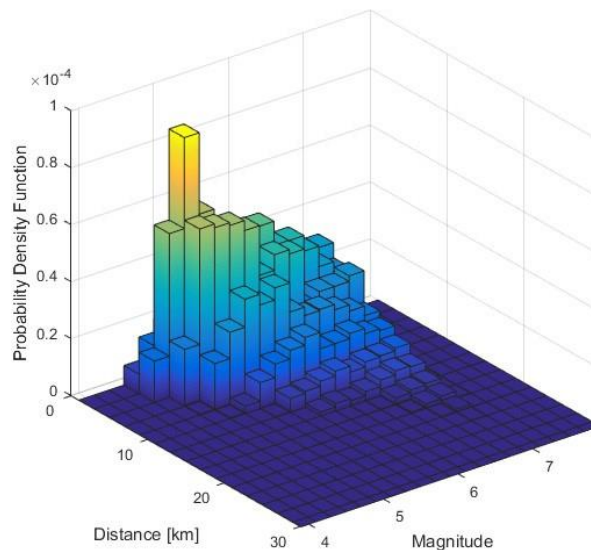
$5'000$ წლიანი პერიოდულობის შემთხვევაში, საფრთხეზე ძირითად გავლენას ახდენს მიწისძვრები, რომლებიც საპროექტო მოედანთან ძალიან ახლოს, 10კმ-მდე მანძილში მდებარეობს და ხასიათდება 6-7-მდე მაგნიტუდებით M_w . 7-ზე უფრო მაღალი მაგნიტუდის

მქონე მიწისძვრები ასევე ახდენენ გავლენას საფრთხეზე, მაგრამ 7-ზე ნაკლები მაგნიტუდის მიწისძვრებთან შედარებით მათი გავლენა ძალიან მცირეა.

475-წლიანი პერიოდულობის შემთხვევაში, საფრთხეზე ძირითად გავლენას ახდენს უფრო მცირე, 4.5-დან 6-მდე მაგნიტუდის მქონე მიწისძვრები და უფრო დიდი მიწისძვრები შედარებით მეტი, 20კმ-მდე მანძილის ფარგლებში.



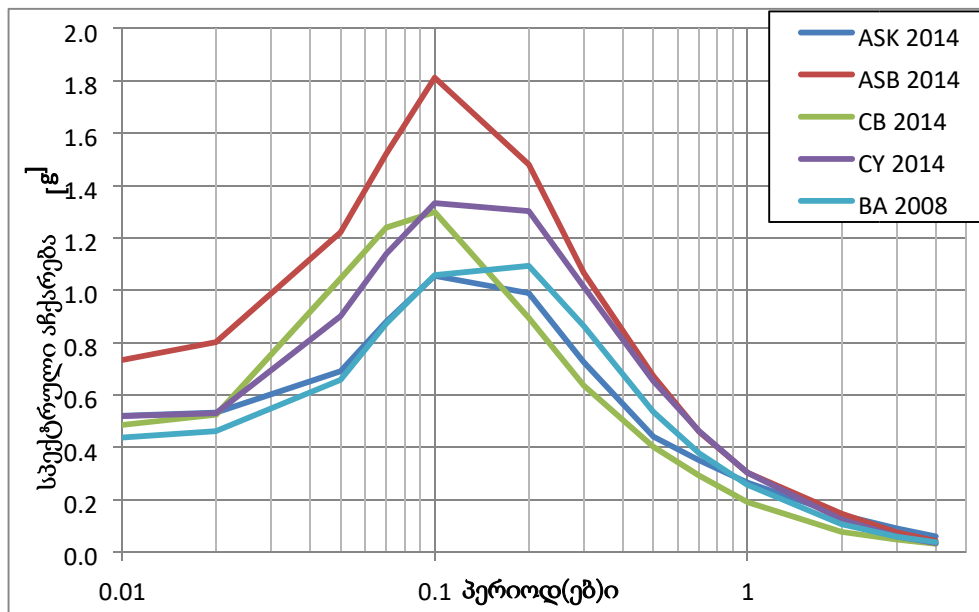
ნახაზი 7.7: გრუნტის მაქსიმალური აჩქარების (PGA) გადაჭარბების წლიური ალბათობის, 1 / 5'000, შემადგენელ ნაწილებად ჩაშლა



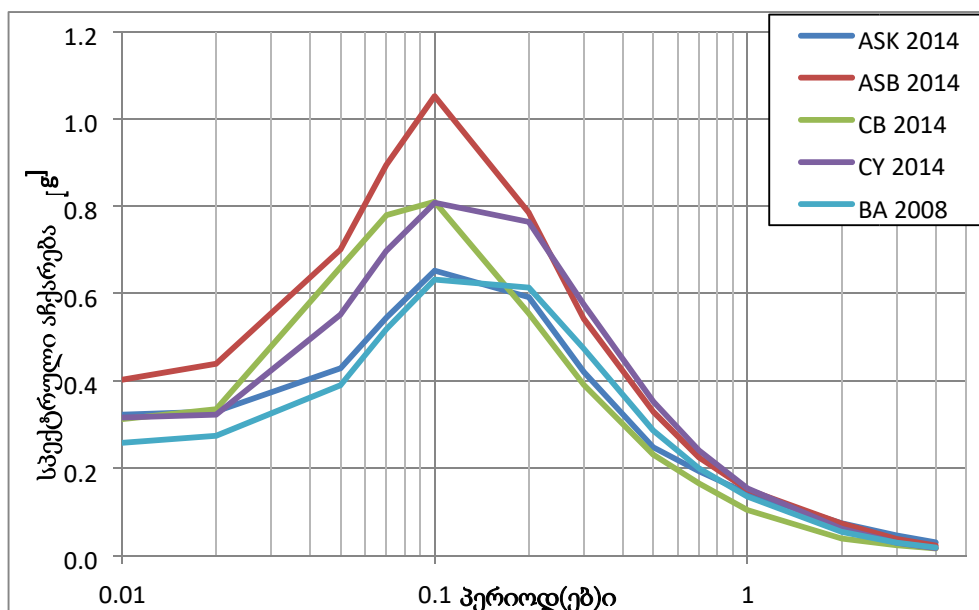
ნახაზი 7.8: გრუნტის მაქსიმალური აჩქარების (PGA) გადაჭარბების წლიური ალბათობის 1 / 475 შემადგენელ ნაწილებად ჩაშლა

7.4 ერთგვაროვანი საფრთხის სპექტრი

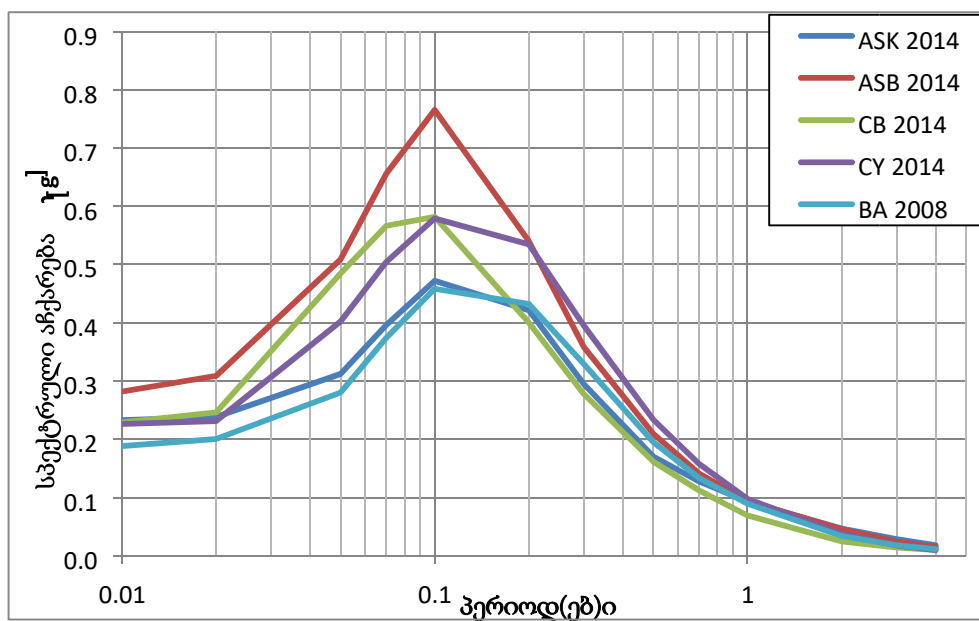
სრული საფრთხის მრუდებიდან შესაძლებელია მიღებული იქნას ერთგვაროვანი საფრთხის სპექტრი. ვინაიდან მილევადობის ყველა კავშირი გამოიყენება ყველა კერის ზონაში, ერთგვაროვანი საფრთხის სპექტრი შეიძლება ნაჩვენები იქნას მილევადობის ინდივიდუალური კავშირებისთვის, როგორც ეს მოცემულია ნახაზებზე 7.9 - 7.11 წლიური ალბათობებისთვის $1 / 5'000$, $1 / 475$ და $1 / 145$ პერიოდულობის შემთხვევაში.



ნახაზი 7.9: წლიური გადაჭარბების ალბათობის ერთგვაროვანი საფრთხის სპექტრი $1 / 5'000$ პერიოდულობის შემთხვევაში; 5% ჩაქრობა



ნახაზი 7.10: წლიური გადაჭარბების ალბათობის ერთგვაროვანი საფრთხის სპექტრი $1 / 475$ პერიოდულობის შემთხვევაში; 5% ჩაქრობა



ნახაზი 7.11: წლიური გადაჭარბების ალბათობის ერთგვაროვანი საფრთხის სპექტრი 1 / 145 პერიოდულობის შემთხვევაში; 5% ჩაქრობა

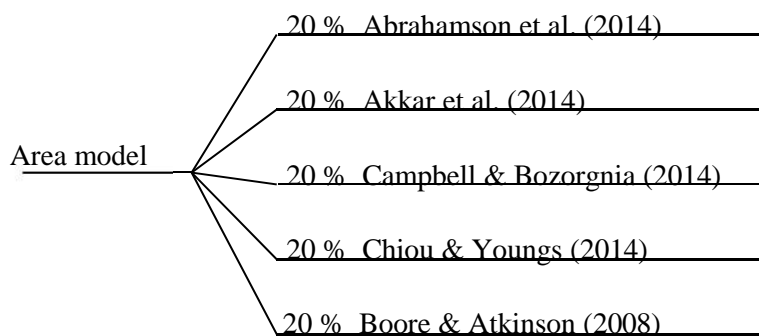
8 სეისმური საფრთხის ალბათური ანალიზის შედეგები

8.1 ლოგიკური სქემის კომბინაცია

წინამდებარე კვლევაში განხორციელებული სეისმური საფრთხის ალბათური ანალიზი (PSHA) საკმაოდ კომპლექსური ანალიზია. იგი შედგება მონაცემთა განსხვავებული ჯგუფებისა და განსხვავებული მოდელირების პროცედურებისგან, სადაც შესაძლებელია სხვადასხვა მეთოდოლოგიის გამოყენება და განსხვავებული ინტერპრეტაცია. წინამდებარე კვლევაში გადაწყდა დიფერენცირების განხორციელება მოდელის სხვადასხვა ელემენტებისთვის წონების მინიჭებით და ცალკეული შედეგების ლოგიკური სქემის მეშვეობით გაერთიანება. ამის გაკეთების დროს ასევე შესაძლებელია შემეცნებითი გაურკვევლობის შესახებ ინფორმაციის მიღება.

წინამდებარე საფრთხის შეფასების მასშტაბის გამო, გადაწყდა შედარებით მცირე ლოგიკური სქემის გამოყენება. არ ჩატარებული ფართო სამეცნიერო ანალიზი. გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ხშირად, ძალიან კომპლექსური ლოგიკური სქემებით არ ხდება მარტივ ლოგიკურ სქემებთან შედარებით ბევრად საიმედო შედეგების მიღება. შესაბამისად, ამ შემთხვევაში, შერჩეული იქნა შედარებით მარტივი ლოგიკური სქემა რაც მოცემულია ნახაზზე 8.1. კერის მოდელის გაურკვევლობა არ არის გათვალისწინებული. ამ კვლევაში გამოყენებული სეისმური კერის ზონის მოდელის წარმომადგენლობითობა საპროექტო მოედნისთვის შეფასებულია, როგორც საუკეთესო მოდელის შემთხვევაში. ალტერნატიული მოდელირების ვარიანტები, როგორიცაა დისკრეტული რღვევის მოდელები ფონური სეისმურობით ან გლუვი სეისმურობით არ არის განხილული. ძირითადი შემეცნებითი გაურკვევლობის შემთხვევაში გამოყენებულია შესაბამისი უახლესი მიღვეადობის კავშირები. ადგილობრივი ძლიერი რხევების მონაცემები არ არის ხელმისაწვდომი და ადგილობრივი გრუნტის რხევების პროგნოზირების განტოლებების გამოყენება არ არის შესაძლებელი წინამდებარე კვლევაში მათი შეზღუდვების გამო.

სეისმური კერის მიღვეადობის კანონის მოდელი



ნახაზი 8.1: ლოგიკური სქემა მიღვეადობის კანონების შეწონვის ფაქტორებით სეისმური საფრთხის ალბათური ანალიზისთვის

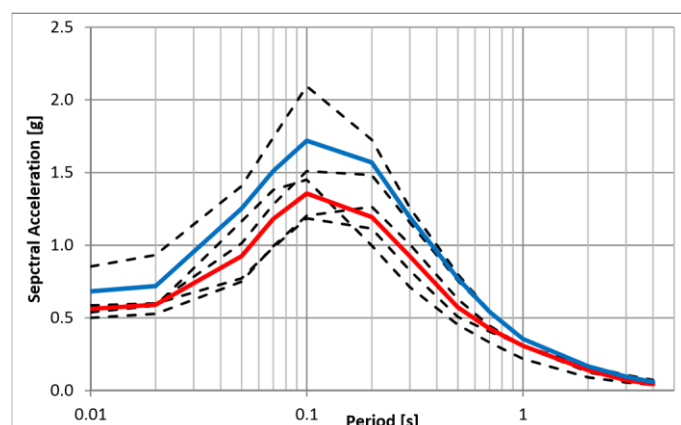
შერჩეული ლოგიკური სქემის შტოები მოცემულია მიღვეადობის კანონებით (იხ. ნაწილი 6.3). შესაბამისი შტოს წონები განისაზღვრა შემდეგ ნაწილში მოცემულ მოსაზრებებზე დაყრდნობით. შეწონვის ფაქტორები ენიჭება თითოეული ინდივიდუალური კერის ზონის ინდივიდუალური საფრთხის მრუდებს. საბოლოოდ საფრთხის ყველა ინდივიდუალური მრუდის ჯამდება სრული საფრთხის სახით.

მილევადობის კანონების შეწონვა

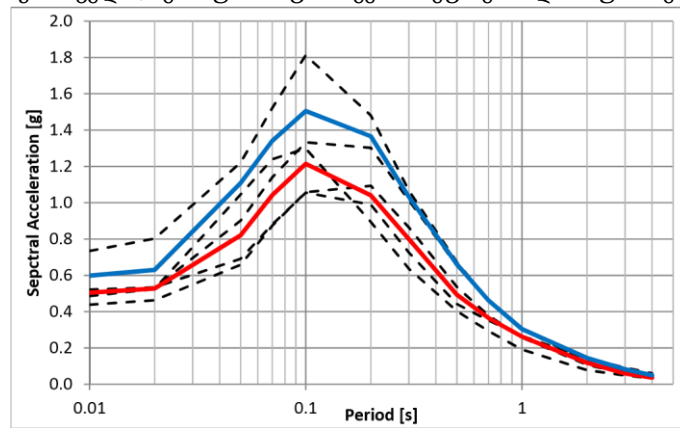
მილევადობის სხვადასხვა კანონის წონები განისაზღვრება მათ მახასიათებლებზე და საპროექტო მოედნისთვის შესაბამისობაზე დაყრდნობით. საკვლევი რეგიონის სეისმურობა მოიცავს დედამიწის ქერქის ზედაპირულ მიწისძვრას ტექტონიკურად აქტიურ გარემოში. 5 გამოყენებულია მილევადობის კარგად დამკვიდრებული უახლესი კანონები მსოფლიოსა და რეგიონალურ მონაცემებზე დაყრდნობით. შერჩევა შეესაბამება რეგიონული საფრთხეების უახლეს კომპლექსურ კვლევებს (იხ. დანსიუ და სხვ. 2016). თანაბარი შეწონვა შეიძლება მილევადობის ყველა კანონის შემთხვევაში, ვინაიდან არ არის შემუშავებული მილევადობის კავშირები მხოლოდ კავკასიის რეგიონის ადგილობრივ მონაცემებზე დაყრდნობით. მილევადობის არცერთი კავშირი სხვებზე უპირატესად არ შეფასებულა. შედეგების შედარება საფრთხეების სხვა კვლევებთან (იხ. ნაწილი 9) ამყარებს გამარტივებულ ლოგიკურ სქემას შეწონვის ფაქტორების შერჩევის მეშვეობით.

8.2 ლოგიკური სქემების კომბინაციების შედეგები ქანის მოედნებისთვის

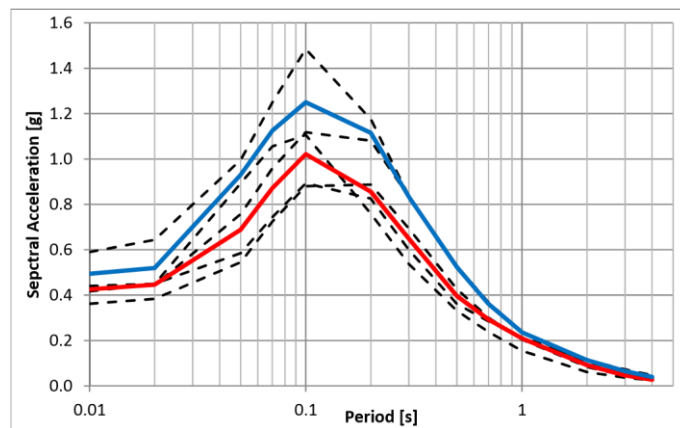
ზემოხსენებული მარტივი შეწონვის სქემის მეშვეობით ხორციელდება ლოგიკური სქემის გამოთვლები. მიღებული შედეგები მოცემულია ნახაზებზე 8.2-8.7. ლოგიკური სქემის გამოთვლების გაერთიანებული შედეგები („შეწონილი მნიშვნელობები“) წარმოდგენილია გამუქებული წითელი რკალით მედიანური მნიშვნელობების შესაბამისად (50 % კვარტილი). მრუდები, რომლებიც გამოყენებულია შეწონილი გამოთვლისათვის მილევადობის სხვადასხვა კანონებზე დაყრდნობით, წარმოდგენილია წყვეტილი ხაზებით. როგორც ჩანს, აღინიშნება გარკვეული ვარიაციები მილევადობის სხვადასხვა კანონების გამო. ვარიაციები საკმაოდ მსგავსია წლიური გადაჭარბების ყველა ალბათობის შემთხვევაში. უმაღლესი რხევები მიიღება მილევადობის კავშირის გამოყენებით აკარი და სხვ. (2014) შესაბამისად (AKS 2014), ხოლო ბური და ატკინსონი (2008) (BA 2008) და კამპბელი და ბოზორნია (2014) (CB 2014) ყველაზე დაბალ მნიშვნელობებს სპექტრული პერიოდის მიხედვით იძლევიან.



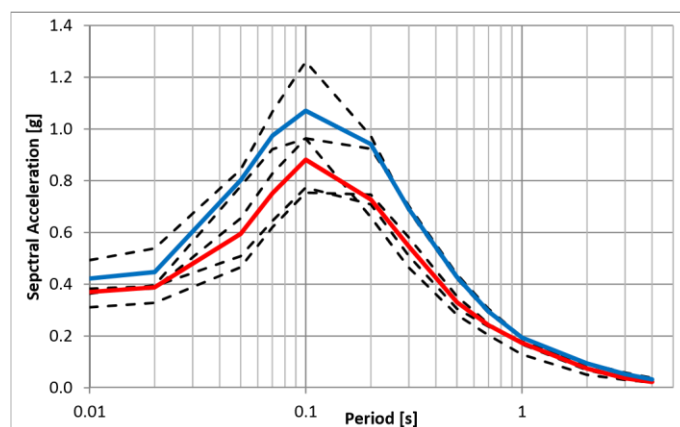
ნახაზი 8.2: საფრთხის ერთგვაროვანი სპექტრის ლოგიკურ სქემასთან გაერთიანება გადაჭარბების წლიური ალბათობისთვის $1 / 10^4$ (5% ჩაქრობა, ჰორიზონტალური მდგენელი) მედიანური მნიშვნელობები (წითელი მრუდი) და 84 % კვარტილის მნიშვნელობები (ლურჯი მრუდი)



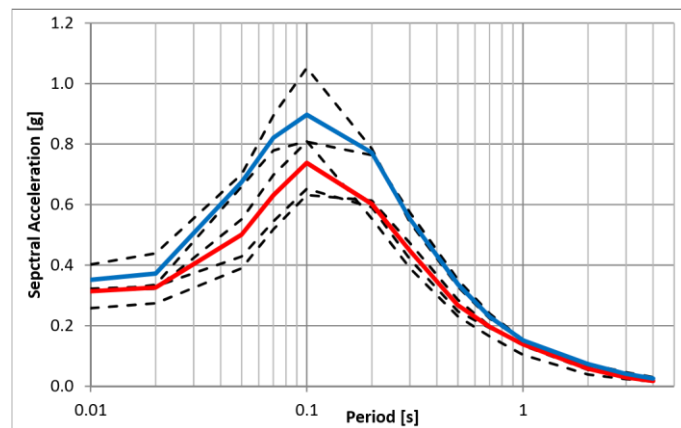
ნახაზი 8.3: საფრთხის ერთგვაროვანი სპექტრის ლოგიკურ სქემასთან გაერთიანება გადაჭარბების წლიური ალბათობისთვის $1 / 5'000$ (5% ჩაქრობა, ჰორიზონტალური მდგენელი) მედიანური მნიშვნელობები (წითელი მრუდი) და 84 % კვარტილის მნიშვნელობები (ლურჯი მრუდი)



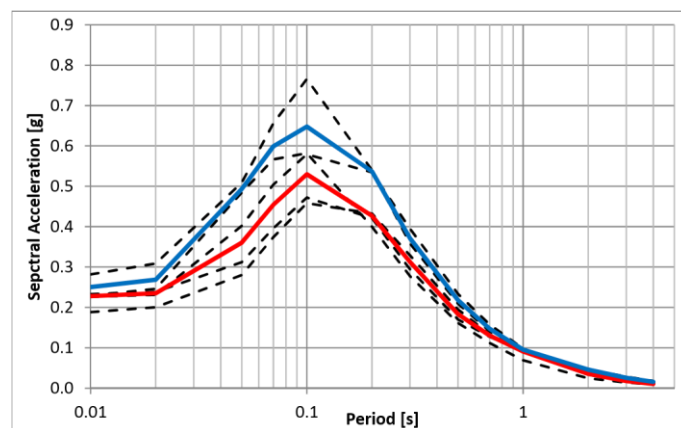
ნახაზი 8.4: საფრთხის ერთგვაროვანი სპექტრის ლოგიკურ სქემასთან გაერთიანება გადაჭარბების წლიური ალბათობისთვის $1 / 2'000$ (5% ჩაქრობა, ჰორიზონტალური მდგენელი) მედიანური მნიშვნელობები (წითელი მრუდი) და 84 % კვარტილის მნიშვნელობები (ლურჯი მრუდი)



ნახაზი 8.5: საფრთხის ერთგვაროვანი სპექტრის ლოგიკურ სქემასთან გაერთიანება გადაჭარბების წლიური ალბათობისთვის $1 / 1'000$ (5% ჩაქრობა, ჰორიზონტალური მდგენელი) მედიანური მნიშვნელობები (წითელი მრუდი) და 84 % კვარტილის მნიშვნელობები (ლურჯი მრუდი)



ნახაზი 8.6: საფრთხის ერთგვაროვანი სპექტრის ლოგიკურ სქემასთან გაერთიანება გადაჭარბების წლიური ალბათობისთვის $1 / 475$ (5% ჩაქრობა, ჰორიზონტალური მდგენელი) მედიანური მნიშვნელობები (წითელი მრუდი) და 84 % კვარტილის მნიშვნელობები (ლურჯი მრუდი)



ნახაზი 8.7: საფრთხის ერთგვაროვანი სპექტრის ლოგიკურ სქემასთან გაერთიანება გადაჭარბების წლიური ალბათობისთვის $1 / 145$ (5% ჩაქრობა, ჰორიზონტალური მდგენელი) მედიანური მნიშვნელობები (წითელი მრუდი) და 84 % კვარტილის მნიშვნელობები (ლურჯი მრუდი)

8.3 უსაფრთხო დონის მიწისძვრის (SEE), პროექტის საანგარიშო მიწისძვრის (DBE) და ექსპლუატაციისას საანგარიშო მიწისძვრის (OBE) საინჟინრო პარამეტრების საბოლოო შეფასება

8.3.1 აჩქარების რეაგირების სპექტრი SEE, DBE და OBE-ის შემთხვევაში ქანის მოედნებისთვის რეკომენდებული წლიური გადაჭარბების ალბათობა SEE-ის შემთხვევაში არის $1 / 5'000$. ეს მნიშვნელობა თავსებადია მაღალი კაშხლების საერთაშორისო კომისიის (ICOLD) რეკომენდაციებთან და ტრადიციულად გამოიყენება კაშხლების ინჟინერიის პრაქტიკაში მცირე ზომის კაშხლებისთვის. ICOLD-ის (2010) შესაბამისად, ონის ჰესების კასკადი მცირე ზომის კაშხლად ითვლება, კაშხლის მცირე სიმაღლის (< 15 მ) და წყალსაცავის მცირე ზომის (< 1 მლნ. მ³) გამო. გრუნტის რხევის დაბალი მნიშვნელობები, მაგ. $2'000$ წლის პერიოდულობით, მხოლოდ იმ შემთხვევაში არის რეკომენდებული, თუ რისკების შეფასებით ქვემო ბიეფში მხოლოდ უმნიშვნელო რისკები არის განსაზღვრული კაშხლის რღვევის შემთხვევაში.

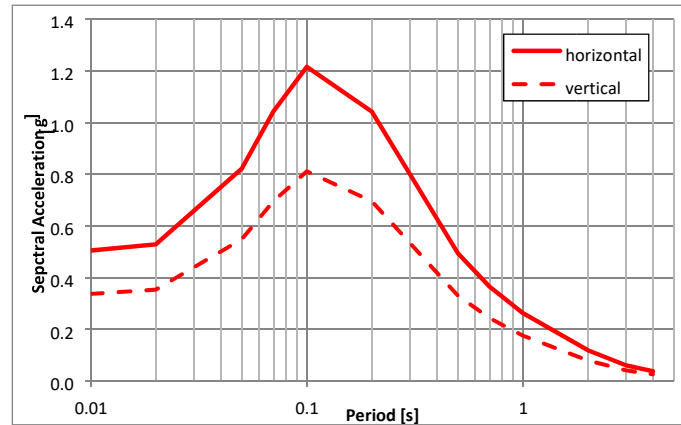
DBE და OBE-ის შემთხვევაში, ICOLD-ის 148-ე პერიოდული გამოცემის თანახმად (ICOLD 2010), რეკომენდებულია გადაჭარბების წლიური ალბათობის მნიშვნელოვნად დაბალი მნიშვნელობები, OBE-ის შემთხვევაში $1 / 145$ წ.-ზე ზემოთ და DBE-თვის $1 / 475$ წ.

OBE-ის დონისთვის წლიური გადაჭარბების ალბათობის შერჩევა დამოკიდებულია იმ ნარჩენ რისკზე, რომლის მიღებაც სურს დამკვეთს. OBE-ის დონე არ არის დამოკიდებული უსაფრთხოებაზე, რადგან მას ადგილი აქვს SEE-ის შემთხვევაში, მაგრამ განსაზღვრავს სტრუქტურის ფუნქციონირების შესაძლებლობას მიწისძვრის შემდგომ. შესაბამისად, OBE-ის დონის შერჩევა კომპანიის ხელმძღვანელობის მისაღები გადაწყვეტილებაა. რეკომენდებულია DBE-ის დონე, რომელიც შეესაბამება გადაჭარბების წლიურ ალბათობას $1 / 475$, შენობა-ნაგებობებზე მიწისძვრის ზემოქმედების თანამედროვე სამშენებლო კოდექსებით გათვალისწინებული დონის შესაბამისად.

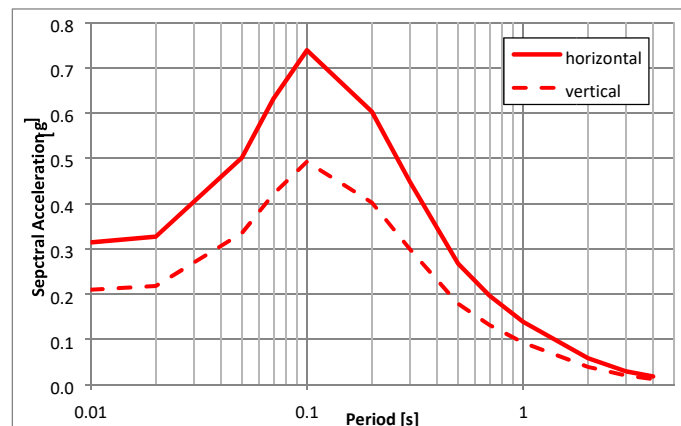
შესაძლებელია OBE-ის დონე რეკომენდება, რომელიც შეესაბამება გადაჭარბების წლიურ ალბათობას $1 / 145$, რომელიც ICOLD-ის (2010) შესაბამისად, არის მინიმალური დონე, რომელიც უფრო მაღალ ნარჩენ რისკს იღებს ექსპლუატაციის საანგარიშო მიწისძვრისთვის DBE-ის დონის შერჩევასთან შედარებით.

საბოლოო რეაგირების სპექტრი SEE-ის ($1 / 5'000$) DBE-ის ($1 / 475$) და OBE-ის ($1 / 145$) შემთხვევაში წარმოდგენილია ნახაზებზე 8.8 - 8.10, ასევე ცხრილში 8.1. გრუნტის მაქსიმალური ჰორიზონტალური აჩქარების (PGA) მიღებული შეწონილი მნიშვნელობები ონის საპროექტო ტერიტორიაზე არის 0.50 g, 0.31 g და 0.23 g, შესაბამისად SEE-ის, DBE-ისა და OBE-ის შემთხვევაში, როგორც ეს მოცემულია ცხრილზე 8.1.

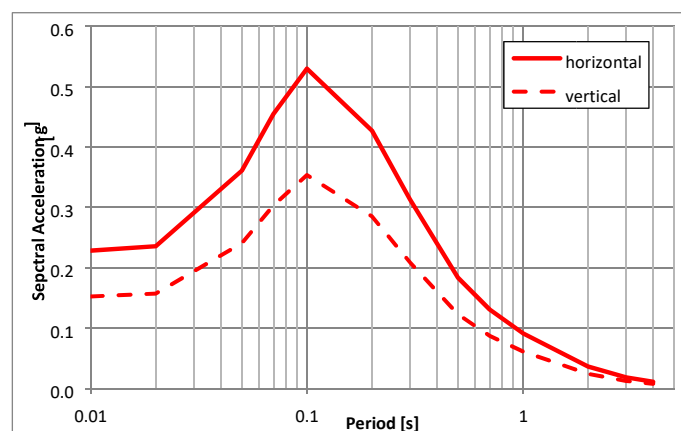
ვერტიკალური სპექტრული მნიშვნელობები შერჩეულია, როგორც ჰორიზონტალური მნიშვნელობების $2/3$, რაც მიღებულია საერთაშორისო პრაქტიკით თუ სხვა რამ არ არის განსაზღვრული.



ნახაზი 8.8: ერთგვაროვანი საფრთხის აჩქარების რეაგირების სპექტრები SEE-ის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელების შემთხვევაში ქანის მოედნისთვის, გადაჭარბების ალბათობა 1/5'000 წ. (5% ჩაქრობა)



ნახაზი 8.9: ერთგვაროვანი საფრთხის აჩქარების რეაგირების სპექტრები DBE-ის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელების შემთხვევაში ქანის მოედნისთვის, გადაჭარბების ალბათობა 1/475 წ. (5% ჩაქრობა)



ნახაზი 8.10: ერთგვაროვანი საფრთხის აჩქარების რეაგირების სპექტრები OBE-ის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელების შემთხვევაში ქანის მოედნისთვის; გადაჭარბების ალბათობა 1/145 წ. (5% ჩაქრობა)

ცხრილი 8.1: ერთგვაროვანი საფრთხის აჩქარების რეაგირების სპექტრები SEE-ის, DBE-ის და OBE-ის შემთხვევაში ქანის მოედნისთვის

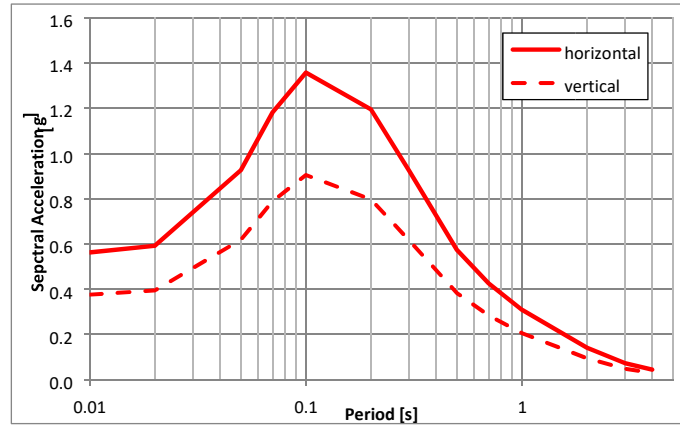
პერიოდი [s]	გადაჭარბების წლ. ალბათობა 1 / 5'000		გადაჭარბების წლ. ალბათობა 1 / 475		გადაჭარბების წლ. ალბათობა 1 / 145	
	ჰორიზ. [g]	ვერტ.[g]	ჰორიზ. [g]	ვერტ. [g]	ჰორიზ. [g]	ვერტიკ. [g]
PGA	0.50	0.34	0.31	0.21	0.23	0.15
0.02	0.53	0.35	0.33	0.22	0.24	0.16
0.05	0.82	0.55	0.50	0.33	0.36	0.24
0.07	1.04	0.69	0.63	0.42	0.45	0.30
0.1	1.21	0.81	0.74	0.49	0.53	0.35
0.2	1.04	0.69	0.60	0.40	0.43	0.28
0.3	0.80	0.53	0.45	0.30	0.31	0.21
0.5	0.49	0.33	0.27	0.18	0.18	0.12
0.7	0.36	0.24	0.20	0.13	0.13	0.09
1.0	0.26	0.17	0.14	0.09	0.09	0.06
2.0	0.12	0.08	0.06	0.04	0.04	0.02
3.0	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01
4.0	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01

საპროექტო აჩქარების რეაგირების სპექტრები ეყრდნობა ერთგვაროვანი საფრთხის სპექტრებს 50% კვარტილის მედიანური მნიშვნელობებისთვის. ერთგვაროვანი საფრთხის სპექტრები, ზოგადად, საკმაოდ კონსერვატიულია და პერიოდების ფართო სპექტრს მოიცავს, რადგან ისინი შეადგენენ მიწისძვრების სხვადასხვა სცენარებს სხვადასხვა მაგნიტუდისა და მანძილების შემთხვევაში (იხ. შემადგენელ ნაწილებად დაშლა მე-7 თავში). ცალკეულ მიწისძვრას, სავარაუდოდ, ერთგვაროვანი საფრთხის სპექტრებზე უფრო ვიწრო სპექტრი ექნება. მაგრამ, საპროექტო მოედანზე შესაძლო ყველაზე ძლიერ მიწისძვრასთან დაკავშირებით გაურკვევლობის გამო, ავტორის შეხედულებით, სწორია კონსერვატიული დამოკიდებულება და პროექტისთვის საფრთხის ერთგვაროვანი სპექტრის შერჩევა.

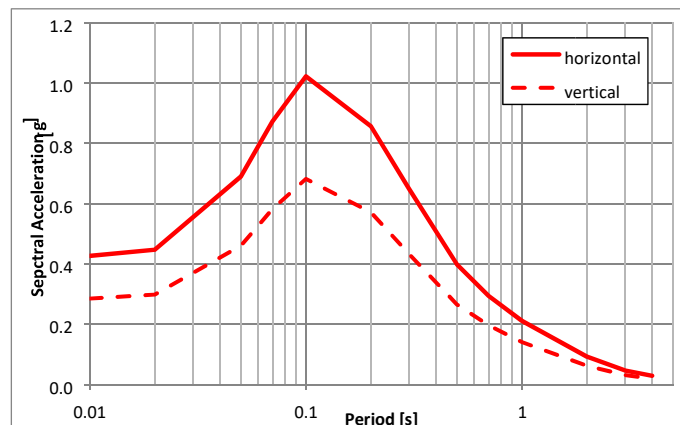
ერთგვაროვანი საფრთხის წარმოდგენილი სპექტრები შეესაბამება კომპეტენტური ქანების მოედნებს. ის სტრუქტურები, რომლებიც არ არის ქანებზე, გათვალისწინებული უნდა იქნას რეაგირების სპექტრის გამოყენებით, საპროექტო ტერიტორიის გაფართოების გათვალისწინებით, გრუნტის მდგომარეობის გამო. საპროექტო მოედნის გაფართოების გათვლა ნიადაგის გამო არ შედის წინამდებარე კვლევაში.

8.3.2 აჩქარების რეაგირების სპექტრები ქანის მოედნების დამატებითი პერიოდულობისთვის

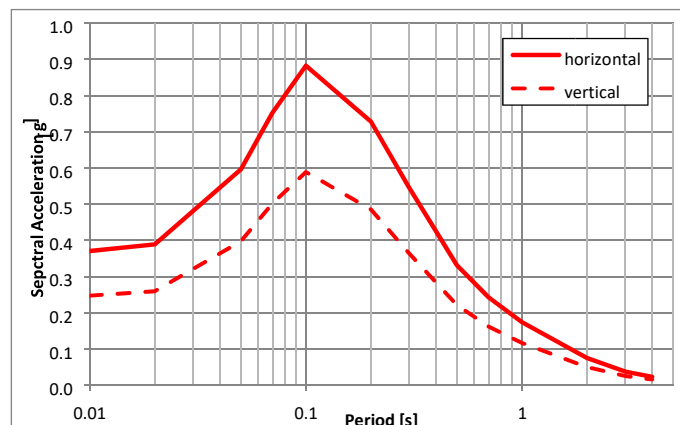
ამასთან ერთად, დიზაინის სპექტრები მოცემული სხვადასხვა პერიოდულობისთვის ნახაზებზე 8.11 - 8.13 და ცხრილში 8.2 10'000 წლის, 2'000 წლისა და 1'000 წლისთვის შესაბამისი ქანის მოედნებისთვის.



ნახაზი 8.11: ერთგვაროვანი საფრთხის აჩქარების რეაგირების სპექტრები ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელებისთვის ქანის მოედნის შემთხვევაში; გადაჭარბების ალბათობა 1 / 10'000 წ (5% ჩაქრობა)



ნახაზი 8.12: ერთგვაროვანი საფრთხის აჩქარების რეაგირების სპექტრები ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელებისთვის ქანის მოედნის შემთხვევაში; გადაჭარბების ალბათობა 1 / 2'000 წ (5% ჩაქრობა)



ნახაზი 8.13: ერთგვაროვანი საფრთხის აჩქარების რეაგირების სპექტრები ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელებისთვის ქანის მოედნის შემთხვევაში; გადაჭარბების ალბათობა 1 / 1'000 წ (5% ჩაქრობა)

ცხრილი 8.2: ერთგვაროვანი საფრთხის აჩქარების რეაგირების სპექტრები ქანის მოედნის შემთხვევაში; პერიოდულობა 10'000, 2'000 და 1'000წ

პერიოდ ო [s]	გადაჭარბების წლ. ალბათობა 1 / 10'000		გადაჭარბების წლ. ალბათობა 1 / 2'000		გადაჭარბების წლ. ალბათობა 1 / 1'000	
	ჰორიზონ ტ. [g]	ვერ ტ. [g]	ჰორიზონ ტ. [g]	ვერ ტ. [g]	ჰორიზონ ტ. [g]	ვერ ტ. [g]
PGA	0.56	0.37	0.43	0.28	0.37	0.25
0.02	0.59	0.39	0.45	0.30	0.39	0.26
0.05	0.93	0.62	0.69	0.46	0.60	0.40
0.07	1.18	0.79	0.87	0.58	0.75	0.50
0.1	1.36	0.90	1.02	0.68	0.88	0.59
0.2	1.19	0.80	0.86	0.57	0.73	0.48
0.3	0.92	0.62	0.65	0.43	0.55	0.36
0.5	0.57	0.38	0.40	0.26	0.33	0.22
0.7	0.42	0.28	0.29	0.20	0.24	0.16
1.0	0.31	0.21	0.21	0.14	0.17	0.12
2.0	0.14	0.09	0.09	0.06	0.07	0.05
3.0	0.07	0.05	0.05	0.03	0.04	0.02
4.0	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01

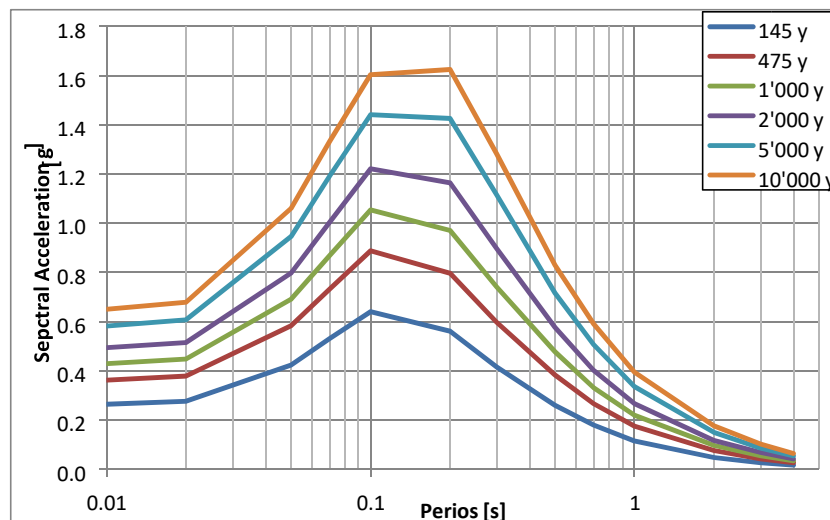
8.3.3 აჩქარების რეაგირების სპექტრები რბილი ქანების მოედნებზე

წინა თავებში წარმოდგენილი აჩქარების რეაგირების სპექტრები შეესაბამება კომპეტენტური ქანის მოედანს, სადაც ძირითადი ქანების ზედაპირის განივი ტალღების სიჩქარე $v_{s,30} = 1'500$ მ/წმ. ეს დაშვება სწორია, თუ სტრუქტურები უშუალოდ ქანზე, თიხოვან ფიქლებზე ან ქვიშაქვაზე არის აგებული გეოლოგიური მოედნის პირობების მიხედვით, იხ. გეოლოგიური ანგარიში, გროსმანი და შნაკერი (2016) ან წინამდებარე კვლევის თავი 4.2. რიონის ხეობა ძირითადად შევსებულია მეოთხეული ნალექებით და დატკეპნილი მაღალი ფარდობითი სიმკვრივის ნიადაგებით, რომლებიც განივი ტალღების თითქმის რბილი ქანების მნიშვნელობების მაღალი სიჩქარეებით ხასიათდება. მაღალი სიმძლავრის მეოთხეულ ნალექებზე აგებული ნაგებობების შემთხვევაში, კომპეტენტური ქანის მოედნების რეაგირების სპექტრების გამოყენება არ არის შესაძლებელი.

საფრთხეების შეფასებასთან ერთად კომპეტენტური ქანებისთვის, საფრთხეების ანალიზი განხორციელდა რბილი ქანების პირობებისთვისაც, რომელთა განივი ტალღების სიჩქარე $v_{s,30} = 900$ მ/წმ. სხვადასხვა პერიოდულობის ერთგვაროვანი საფრთხეების რეაგირების სპექტრების შედეგები ჰორიზონტალური აჩქარების შემთხვევაში ნახაზზე 8.14 და ცხრილში

8.3. აჩქარების მნიშვნელობების შედარება კომპეტენტური და რბილი ქანების მოედნის შემთხვევაში გვიჩვენებს აჩქარების ზრდას, რაც დამოკიდებულია სპექტრულ პერიოდზე და მიწისძვრის დაახლოებით 15%-50%-იან პერიოდულობაზე.

აჩქარების რეაგირების სპექტრები რბილი ქანების შემთხვევაში შესაძლებელია რეკომენდებული იქნას ნაგებობებისთვის, რომლებიც აგებულია მეოთხეული ნალექების შეკუმშულ ნიადაგებზე, რომლებსაც ძალიან მაღალი ფარდობითი სიმკვრივე აქვთ და ხასიათდებიან რბილი ქანების მსგავსი დინამიკური ქცევით; განსაკუთრებით გრუნტის გაუმჯობესების, მაგ. შეღწევადობის შესამცირებელი ცემენტის ბარიერის შემთხვევაში, აღწევნა განივი ტალღების სიჩქარეს $v_{s,30} = 900$ მ/წმ.



ნახაზი 8.14: ჰორიზონტალური მდგენელის ერთგვაროვანი საფრთხეების რეაგირების სპექტრები მიწისძვრის სხვადასხვა პერიოდულობისა და რბილი ქანების მოედნის შემთხვევაში

ცხრილი 8.3: ჰორიზონტალური მდგენელის ერთგვაროვანი საფრთხეების რეაგირების სპექტრები მიწისძვრის სხვადასხვა პერიოდულობისა და რბილი ქანების მოედნის შემთხვევაში

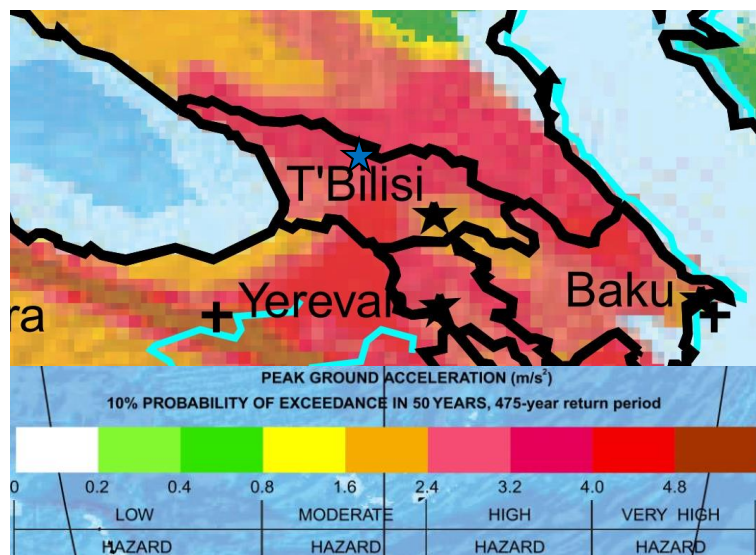
პერიოდი [s]	145წ [g]	475წ [g]	1'000წ [g]	2'000წ [g]	5'000წ [g]	10'000წ [g]
PGA	0.26	0.36	0.43	0.49	0.58	0.65
0.02	0.28	0.38	0.45	0.51	0.61	0.68
0.05	0.42	0.58	0.69	0.80	0.95	1.06
0.07	0.53	0.73	0.87	1.00	1.19	1.33
0.1	0.64	0.89	1.05	1.22	1.44	1.60
0.2	0.56	0.80	0.97	1.16	1.42	1.62
0.3	0.41	0.60	0.74	0.90	1.11	1.28
0.5	0.26	0.38	0.48	0.58	0.72	0.83
0.7	0.18	0.27	0.33	0.40	0.51	0.59

1.0	0.11	0.17	0.22	0.27	0.34	0.39
2.0	0.05	0.08	0.10	0.12	0.15	0.18
3.0	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.10
4.0	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06

9 შედარება საფრთხეების სხვა კვლევებთან

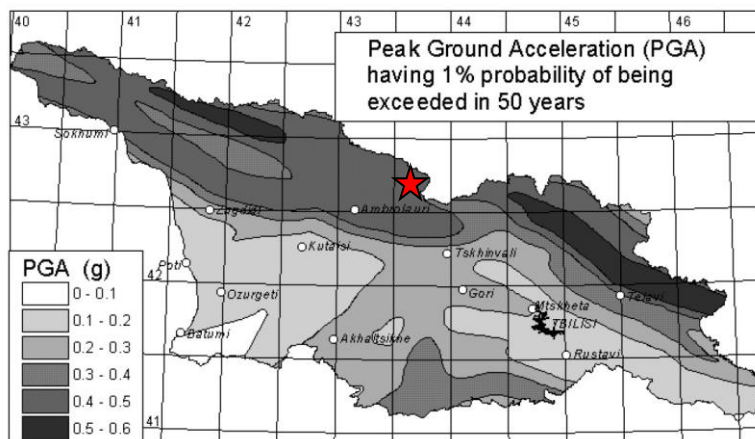
სეისმური საფრთხეების წინამდებარე ალბათური შეფასების საბოლოო შედეგების შედარება მოხდა რეგიონის საფრთხეების უფრო ძველ და ახალ კვლევებთან.

პირველი შედარება მოხდა GSHAP-ის (Giardini et al. 1999) მონაცემებთან. 9.1 ნახაზი გვიჩვენებს GSHAP-ის კავკასიის რეგიონის რუკას, სადაც მითითებულია გრუნტის მაქსიმალური აჩქარება დაახლოებით 0.32g მიწისძვრის 475 წლიანი პერიოდულობის შემთხვევაში (10% გადაჭარბების ალბათობა 50 წლის მანძილზე). ონის საპროექტო ტერიტორიის მიმდინარე კვლევა იძლევა გრუნტის მაქსიმალურ აჩქარებას 0.31 g და თავსებადია GSHAP მნიშვნელობებთან.



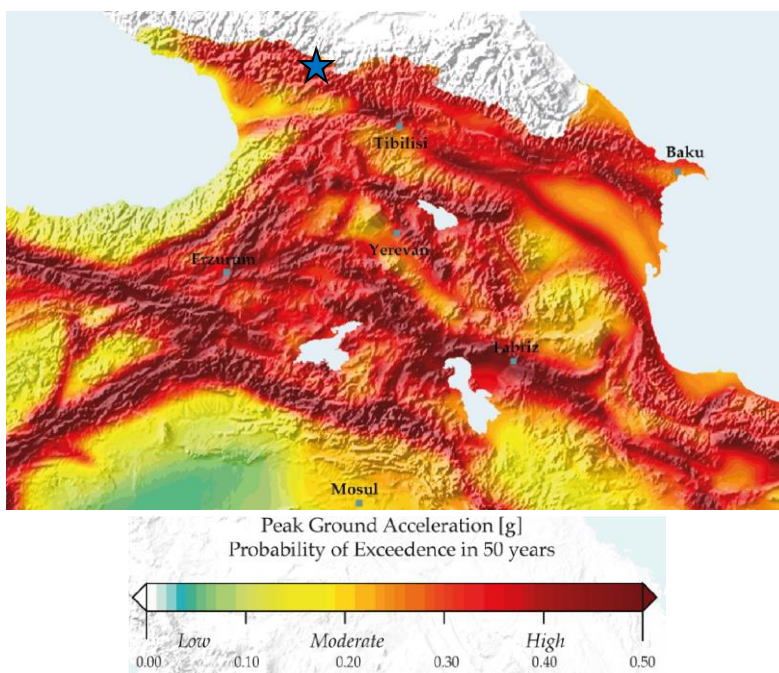
ნახაზი 9.1: GSHAP-ის საფრთხეების რუკა, ფერები გვიჩვენებს გრუნტის მაქსიმალურ აჩქარებებს (მ/წმ²) 475 წლიანი პერიოდულობისთვის (ჯარდინი და სხვ. 1999), ლურჯი ვარსკვლავით აღნიშნულია ონის პროექტის ტერიტორია

რეგიონის კიდევ ერთი კვლევა გამოქვეყნებულია ჭელიძე და სხვ. (2006) მიერ. გრუნტის მაქსიმალური აჩქარება მიწისძვრის 5'000 წლიანი პერიოდულობის შემთხვევაში (1% გადაჭარბების ალბათობა 50 წლის მანძილზე) იძლევა 0.4 - 0.5 g (იხ. ნახაზი 9.2). სეისმური საფრთხეების წინამდებარე კვლევის შედეგები ონის საპროექტო ტერიტორიისთვის - 0.50g გრუნტის მაქსიმალური აჩქარება მიწისძვრის 5'000 წლიანი პერიოდულობის შემთხვევაში თავსებადია ჭელიძე და სხვ. (2006) კვლევის შედეგებთან.



ნახაზი 9.2: საქართველოს სეისმური საფრთხეების რუკა ჭელიძე და სხვ. (2006) მიხედვით გრუნტის მაქსიმალური აჩქარება მიწისძვრის 5'000 წლიანი პერიოდულობის შემთხვევაში, წითელი ვარსკვლავით აღნიშნულია ონის საპროექტო ტერიტორია

კავკასიის რეგიონის სეისმური საფრთხეების უახლესი და ყველაზე კომპლექსური კვლევაა წლის შუა აღმოსავლეთის მიწისძვრის მოდელის პროექტი (EMME) (ჯარდინი და სხვ. 2014). EMME-ის გამოქვეყნებულ საფრთხეების რუკაზე ონის საპროექტო ტერიტორიის შემთხვევაში მითითებულია დაახლოებით 0.3g გრუნტის მაქსიმალური აჩქარება 475 წლიანი პერიოდულობისთვის (10% გადაჭარბების ალბათობა 50 წლის მანძილზე). წინამდებარე კვლევის შედეგები, გრუნტის მაქსიმალური აჩქარება - 0.31g მიწისძვრის 475-წლიანი პერიოდულობისთვის თავსებადია EMME პროექტის შედეგებთან.



ნახაზი 9.3: შუა აღმოსავლეთის მიწისძვრის მოდელის სეისმური საფრთხეების რუკა ჯარდინი და სხვ. (2014) მიხედვით მიწისძვრის 475 წლიანი პერიოდულობისთვის (10 % გადაჭარბების ალბათობა 50 წლის მანძილზე), ლურჯი ვარსკვლავით აღნიშნულია ონის პროექტის ტერიტორია

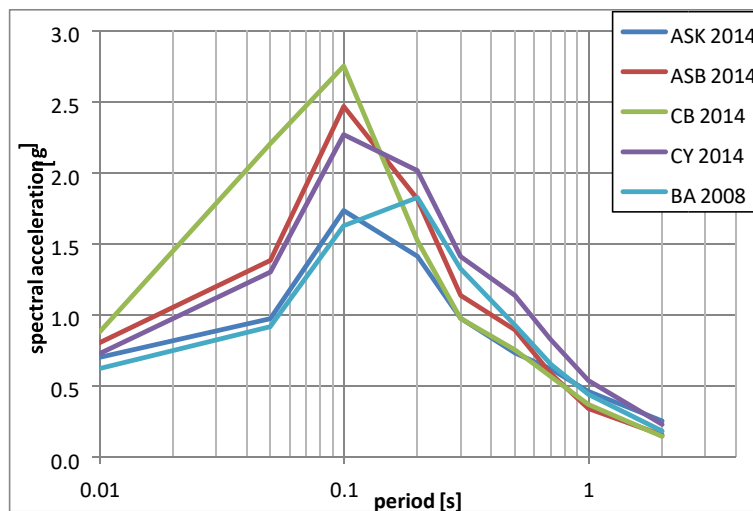
10 სეისმური საფრთხეების დეტერმინისტული ანალიზი

საფრთხეების ალბათურ ანალიზთან ერთად შესრულდა საფრთხეების დეტერმინისტული ანალიზიც. შესწავლილი იქნა ყველაზე შესაფერისი დეტერმინისტული სცენარი. კავკასიონის აქტიური მთავარი გადანაცვლება საპროექტო ტერიტორიასთან დაახლოებით 3.5 კმ-ის მანძილში გადის. ეს არის რღვევა, რომელზეც 1991 წელს ადგილი ჰქონდა რაჭის მიწისძვრას 7.0 მაგნიტუდით. დეტერმინისტული სცენარით შეფასებულია 7 მაგნიტუდის მქონე მიწისძვრა საპროექტო ტერიტორიიდან 3.5 კმ-ის მანძილზე. 10.1 ცხრილში წარმოდგენილია მიწისძვრის დეტერმინისტული სცენარის ანალიზის ძირითადი პარამეტრები.

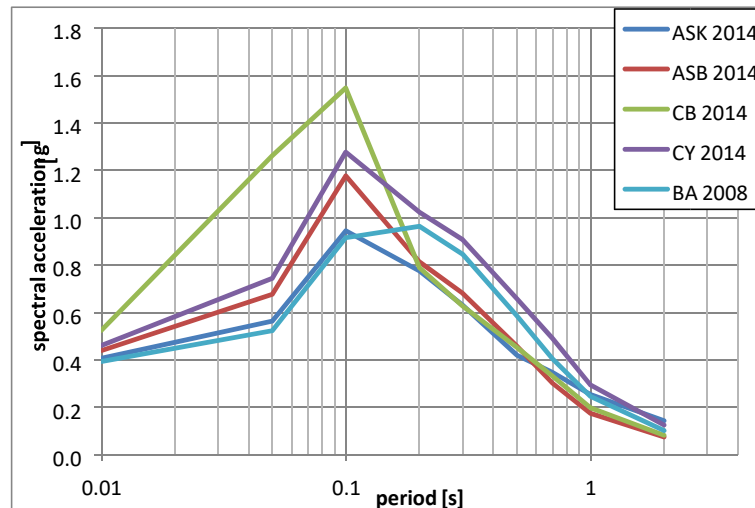
ცხრილი 10.1: დეტერმინისტული სცენარის ანალიზის მიმოხილვა

სცენარი 1	მაგნიტუდა: M 7.0 მანძილი ეპიცენტრამდე: 3.5 კმ ჰიპოცენტრის სიღრმე: 10 კმ შესხლეტის მექანიზმი 35°-იანი დამირვის კუთხით
-----------	---

საფრთხეების დეტერმინისტული ანალიზის შედეგები მილევადობის ცალკეული კანონებისა და 84% და 50% კვარტილებისთვის წარმოდგენილია ნახაზებზე 10.1 და 10.2.



ნახაზი 10.1: დეტერმინისტული ანალიზის საფრთხეების სპექტრი 84 % კვარტილის შემთხვევაში

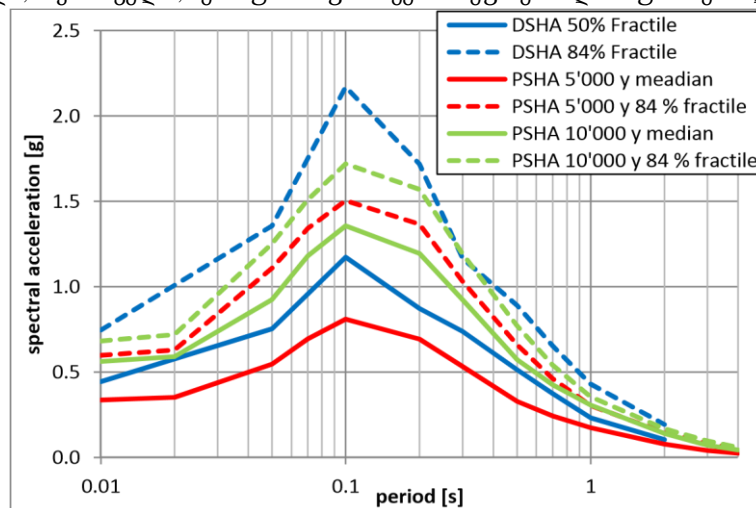


ნახაზი 10.2: დეტერმინისტული ანალიზის საფრთხეების სპექტრი 50% კვარტილის შემთხვევაში

10.3 ნახაზზე წარმოდგენილია სეისმური საფრთხეების დეტერმინისტული ანალიზის შეჯამება ერთგვაროვანი საფრთხეების სპექტრთან შედარებით გადაჭარბების $1/5'000$ და $1/10'000$ წლიური ალბათობით მედიანისა და 84% კვარტილის მნიშვნელობებისთვის. მიღევადობის კავშირები შეწონილია საფრთხეების ალბათური ანალიზის მსგავსად. დეტერმინისტული რეაგირების სპექტრი 84 % კვარტილით შეიძლება შეფასდეს, როგორც მაქსიმალური შესაძლო მიწისძვრა (MCE).

ამასთან შედარებით, დეტერმინისტული სცენარი 84 % კვარტილით იძლევა ყველაზე მაღალ სპექტრულ მნიშვნელობებს. 50% კვარტილის დეტერმინისტული სპექტრი მდებარეობს $10'000$ -დან $5'000$ -მდე წლის პერიოდულობის დიაპაზონის ერთგვაროვანი საფრთხის სპექტრების მედიანაში.

საბოლოო საპროექტო რეაგირების სპექტრი SEE-ის შემთხვევაში შესაძლოა რეკომენდებული იქნას ერთგვაროვანი საფრთხის სპექტრის მედიანით $1/5'000$ გადაჭარბების წლიური ალბათობისა და 5% ჩაქრობისთვის; მიუხედავად იმისა, რომ დეტერმინისტული რეაგირების სპექტრები და $1/10'000$ გადაჭარბების წლიური ალბათობა აჩქარების უფრო მაღალ მნიშვნელობებს იძლევა. უფრო დაბალი აჩქარების მნიშვნელობების აღნიშნული რეკომენდაცია შეიძლება დასაბუთებული იქნას კაშხლის ნაგებობის მცირე ზომით.



ნახაზი 10.3: საფრთხეების დეტერმინისტული ანალიზის რეაგირების სპექტრი სხვადასხვა კვარტილებისთვის მიღევადობის შეწონილი კავშირებით ალბათურ შედეგებთან შედარებით

11 გამოყენებული ლიტერატურა

- Abrahamson N.A. (1992) "Non-stationary spectral matching," *Seismological Research Letters* 63(1), 30.
- Abrahamson, N., Atkinson, G., Boore, D., Bozorgnia, Y., Campbell, K., Chiou, B.S.-J., Idriss, I.M., Silva, W. & Youngs, R.R. (2008) "Comparisons of the NGA Ground-Motion Relations." *Earthquake Spectra*, 24(1): 45–66.
- Abrahamson, N. & Silva, W. (2008) "Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations". *Earthquake Spectra*, 24(1): 67-97.
- Abrahamson, N.A., Silva, W.J. & Kamai, R. (2014) Summary of the ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions. *Earthquake Spectra*, Vol. 30, No. 3, pp. 1025-1056.
- Adamia et al. (1992) Map of deep faults of Caucasus Regional section of the Interdisciplinary Board of Seismology and Earthquake Engineering, Inst. Of Geophysics Acad. Sci. of Georgia. (in Russian).
- Adamia et al. (2006) ISTC project A651 (CauSIN) Final report, unpublished material.
- Adamia, S.H., Chabukiani, A., Chkhotua, T., Sadradze, N., Zakaraia, D. & Zakariadze, G. (2010) Geology of the Caucasus and adjacent areas, 1:250 000 scale geological map. In: Christofides, G., Kantinaris, N., Kostopoulos, D. & Chatzipetros, A. (eds), *Proceedings, XIX Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association* 99, 1–9.
- Adamia, S., Zakariadze, G., Chukhotua, T., Sadradze, N., Tsereteli, N., Chabukiani, A. & Gventsadze, A. (2011) Geology of Caucasus: A Review. *Turkish Journal of Earth Science*. Vol. 20, No. 4, pp 489-544.
- AFPS 90 (1990) "Recommandations AFPS 90 pour la rédaction de règles relatives aux ouvrages et installations à réaliser dans les régions sujettes aux séismes. Arrêté du 10 mai 1993 fixant les règles parasismiques applicables aux installations soumises à la législation sur les installations classées." Association Française du Génie Parasismique. Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France.
- Ambraseys N.N. (1990). "Uniform magnitude re-evaluation of European earthquakes associated with strong-motion records." *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 19: 1-20.
- Ambraseys N.N., Douglas J., Sarma S.K., Smit P.M. (2005) Equations for the estimation of strong ground motion from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 3:1–53.
- Akkar, S., Sandikkaya, M.A. & Bommer, J.J. (2014) Empirical ground-motion models for point- and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East. *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 12, No. 1, pp. 359-387.

- Akkar S. & Bommer J.J. (2010) Empirical equations for the prediction of PGA, PGV and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean and the Middle East. *Seismological Research Letters*, 81:195–206.
- Balassanian S., Ashirov T., Chelidze T., Gassanov A., Kondorskaya N., Molchan G., Pustovitenko B., Trifonov V., Ulomov V., Giardini D., Erdik M., Ghafory-Ashtiany M., Grunthal G., MayerRosa D., Schenk V. and Stucchi M. (1999) Seismic Hazard Assessment for the Caucasus Test Area. *Annali Di Geofisica*, Vol. 42, N6, 1139-1151.
- Bommer J.J., Douglas J., Strasser F.O. (2003) Style-of-faulting in ground motion prediction equations. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1:171–203.
- Bommer J.J. & Abrahamson N.A. (2006). "Review Article: Why Do Modern Probabilistic Seismic Hazard Analyses Often Lead to Increased Hazard Estimates?" *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(6): 1967–1977.
- Boore, D.M., and Atkinson G. M. (2008), "Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01 s and 10.0 s", *Earthquake Spectra*, Volume 24, No. 1, pages 99–138, February 2008; Earthquake Engineering Research Institute
- Boore, D.M., Joyner, W.B. & Fumal, T.E. (1997), Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work. *Seismological Research Letters*, 68(1): 128-153.
- Bozorgnia, Y., Abrahamson, N.A., Al Atik, L. et al. (2014) NGA-West2 Research Project. *Earthquake Spectra*, Vol. 30, No. 3, pp. 973-988.
- Bune V.I., Vvedenskaya N.A., Gorbunova I.V., Kondorskaya N.V., Landyрева N.S. & Fedorova I.V. (1970). "Correlation of M_{LH} and m_{pv} by Data of the Network of Seismic Stations of the U.S.S.R." *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 19: 533-542.
- Cameron, W.I. & Green, R.A. (2007) Damping correction factors for horizontal ground-motion response spectra. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 97, No. 3, pp. 934-960.
- Campbell, K.W. & Bozorgnia, Y. (2014) NGA-West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV, and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra. *Earthquake Spectra*, vol. 30, No. 3, pp. 1087-1116.
- Campbell, K.W. & Bozorgnia, Y. (2008) "NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s." *Earthquake Spectra*, 24(1): 139-171.
- Chelidze, T., Javakhishvili, Z., Varazanashvili, O., Elashvili, M., Kolesnikov, Y., Godoladze, T., Butikashvili, N. & Ghlonti, E. (2006) Seismic hazard assessment of Georgia (probabilistic approach). Institute of Geophysics, Academy of Sciences of Georgia.
- Chiou, B.S.J. & Youngs, R.R. (2014) Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra. *Earthquake Spectra*, Vol. 30, No. 3, pp. 1117-1154.
- Chiou, B.S.J. & Youngs, R.R. (2008) A NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra. *Earthquake Spectra*, 24(1): 173–215.
- Danciu, L., Kale, Ö. & Akkar, S. (2016) The 2014 Earthquake Model of the Middle East: ground motion model and uncertainties. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2016. doi:10.1007/s10518016-9989-1.
- Douglas J. (2001). "A comprehensive worldwide summary of strong-motion attenuation relationships for peak ground acceleration and spectral ordinates (1969 to 2000)." *Engineering Seismology and Earthquake Engineering*, ESEE Report No. 01-1, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Civil Engineering Department, London, January 2001.
- Ekström G. & Dziewonski A.M. (1988). "Evidence of bias in estimations of earthquake size." *Nature*, 332: 319-323.
- EZ-FRISK (2012) "User's Manual, EZ-FRISK™ Version 7.62." Risk Engineering, Inc., Colorado, USA.
- Gamkrelidze, I.P., Giorgobiani T., Kuloshvili S., Lobjanidze G., Shengelaia G. (1998) Active Deep Faults Map and the Catalogue for the Territory of Georgia. *Bulletin of the Georgian Academy of Sciences*, 157, N1, 80-85.
- Gamkrelidze, I.P., Pruidze, M.P. Gamkrelidze, M.L. & Loladze, M.I. (2009) Tectonic Map of Georgia. Scale 1:500'000. Georgian National Academy of Science, Alexandre Janelidze Geological Institute of Georgian Ministry of Education and Science.

- Gasparini, P., Lolli, B. & Vannucci, G. (2013) Empirical calibration of local magnitude data sets versus moment magnitude in Italy. *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol. 103, No. 4, pp. 2227-2246
- Geguchadze, Gvineria, Kalinina & Beridze (1985) Geological map of the Khudoni high dam.
- Giardini D., Grünthal G., Shedlock K. & Zhang P. (1999). "The GSHAP global seismic hazard map." *Annali Di Geofisica*, 42(6): 1225-1230.
- Giardini, D., Daciu, L. Erdik, M., Sesetyan, K., Demircioglu, M. Akkar, S., Gülen, L. & Zare, M. (2014) Seismic Hazard Map of the Middle East. doi:10.126867a1.
- Grossmann, J. & Schnäcker (2016) JSC Oni Cascade Georgia - Geology Report. Lahmeyer Int. GmbH, Sept. 2016.
- Gudjabidze, G.E & Gamkrelidze, I.P. (2003) Geological Map of Georgia scale 1:500'000. Georgian State Department of GEology and National Oil Company "Saqnavtobi".
- Gutenberg, B. & Richter, C.F. (1941) "Seismicity of the earth." *Geol. Soc. Am. Special Papers*, No. 34.
- Idriss, I.M. (2008) An NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated By Shallow Crustal Earthquake. *Earthquake Spectra*, 24(1): 217-242, February 2008.
- ICOLD (2010). "Selecting Seismic Parameters for Large Dams - Revision of Bulletin 72." ICOLD Bulletin 148, International Commission on Large Dams, Paris.
- ISC (2016) "International Seismological Centre, On-line Bulletin." <http://www.isc.ac.uk>, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom.
- Javakhishvili Z., Varazanashvili O. (1997) Seismicity and seismic hazard assessment of the Inguri arc dam test area. In *Proceedings of the Workshop: Geodynamical Hazards Associated with Large Dams*, Edited by M. Bonatz, Luxembourg, 253-262.
- Javakhishvili Z. (2007) Seismic Hazard Assessment of Khudoni HPP. unpublished report.
- Jibson, R.W., Prentice, C.S., Borissoff, B.A., Rogozhin, E.A. & Langer, C.J. (1994) Some observations of landslides triggered by the 29 April 1991 Racha earthquake, Republic Georgia. *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol. 84, No. 4, pp 963-973.
- Kharashvili, Chkheidze, Chumburidze, Kvernadze & Aroshidze 1977. Engineering-geological investigations of the territory of Khudoni and Namakhvani HPS. Report of the Georgian Politechnical Institute N 892/75 (in Russian)
- Kondorskaya, N.V. & Shebalin, N.V. (1982) New catalog of strong earthquakes in the USSR from ancient times through 1977. Institute of Physics of the Earth, Academy of Science of the USSR. Translated and Published by World Data Center A for Solid Earth Geophysics. US Department of Commerce, Boulder Colorado.
- Krinitzsky E.L., Chang F.K. & Nuttli O.W. (1988) "Magnitude related earthquake ground motions." *Bull. Assoc. Eng. Geol.*, 25(4): 399-423.
- Marin, S., Avouac, J.-P., Nicolas, M. & Schlupp, A. (2004) "A probabilistic approach to seismic hazard in metropolitan France." *Bulletin of Seismological Society of America*, 94(6): 2137-2163.
- McGuire, R.K. (2004) Seismic hazard and risk assessment. Earthquake Engineering Research Institute. Report No. MNO-10.
- Murphy, J.R. & O'Brien, L.J. (1977) "The correlation of peak ground acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters." *Bulletin of the Seismological Society of America*, 67(3): 877-915.
- Musson, R.M.W. (2001) "Wizmap II user guide, Version 2.051a." British Geological Survey, Edinburgh, UK.
- Podgorski, J., Hearn, E.H., McClusky, S., Reilinger, R., Taymaz, T., Tan, O., Prilepin, M., Guseva, T. & Nadariya, M. (2007) Postseismic deformation following the 1991 Racha, Georgia, earthquake. *Geophysical Research Letter*. Vol. 34, L04310.
- Rogozhin E., Reisner, G & Iohanson, L. (2001) Estimation of the seismic potential of the Greater Caucasus and Apennines with different methods. *Modern mathematical and geological models in applied geophysics. Publ. of selected scientific articles. editor V. Strakhov, Moscow, JIPE RAS*, 279-300 (in Russian)
- Rogozhin, E.A. (2007) PSS zones and their characteristics for the territory of the Republic of North Ossenian-Alania. *Procs. Of VI international conference "Innovative technologies for sustainable development of mountainous territories"* May 28-30 2007. Vladikavkaz: "Terek", 2007. P. 283. (in Russian).

- Sadigh, K., Chang, C.Y., Egan J., Makdisi, F. & Youngs, R. (1997) Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data. *Seismological Research Letters*, 68(1): 180-198.
- Silva, W. & Lee, K. (1987) "State-of-the-art for assessing earthquake hazards in the United States." Report 24, WES RASCAL Code for Synthesizing Earthquake Ground Motions, Miscellaneous Paper S-73-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Smit P. (1996) "Datenerfassung und Bestimmung der Abminderung der Bodenbewegung bei Erdbeben in der Schweiz." Publikationsserie des Schweizerischen Erdbebendienstes, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, N. 108.
- Studer, J.A. Laue, J. & Koller, M.G. (2007) "Bodendynamik, Grundlagen, Kennziffern, Probleme und Lösungsansätze." 3. Auflage, Springer-Verlag Berlin.
- USGS (2016) "USGS Catalogue, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Earthquake Hazards Program, NEIC Earthquake Search, On-line Bulletin." <http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html>, Reston, Virginia, USA.
- Wells, D.L. & Coppersmith, K.J. (1994) "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement." *Bulletin of the Seismological Society of America*. 84(4): 974-1002.

დანართი

დანართის შინაარსი:

დანართი 1 კერის ზონის პარამეტრები	57
დანართი 1.1 კერის ზონის პარამეტრების მიმოხილვა	57
დანართი 1.2 რეგრესიის ანალიზი გუტენბერგისა და რიხტერის მიხედვით (1941)	57
დანართი 1.3 კატალოგის სისრულის შეფასება	62
დანართი 2 სამუშაო კატალოგი	64

დანართი 1 კერის ზონის პარამეტრები

დანართი 1.1 კერის ზონის პარამეტრების მიმოხილვა

დანართი ცხრილი 1: კერის ზონის მახასიათებლები

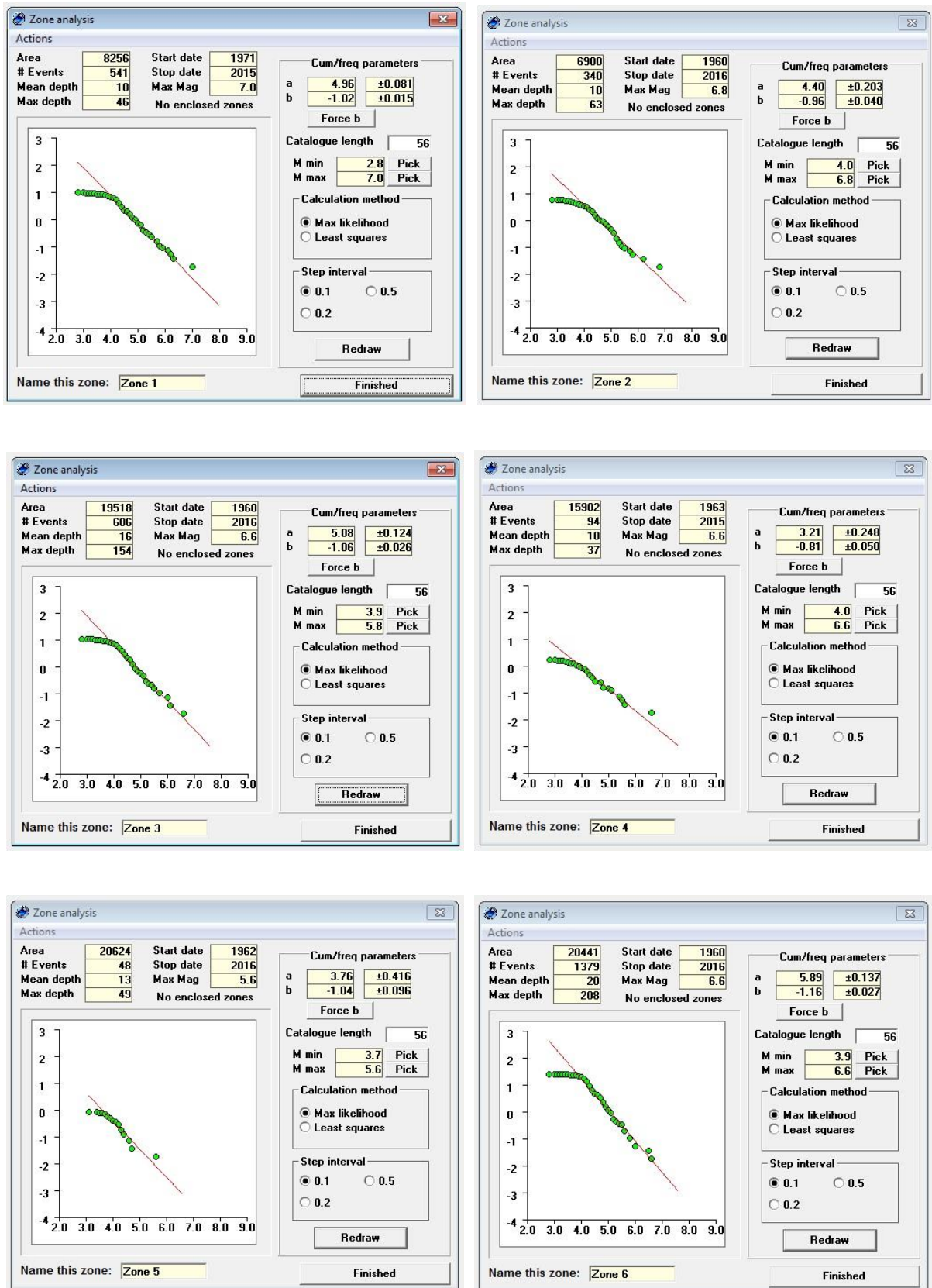
კერის ზონა	a (log at M=0)	b	$M_{w,max}$ (ისტორიული)	M_{max} (შერჩეული)	საშუალო სიღრმე (კმ)	სიღრმეების შერჩეული დიაპაზონი (კმ)
1	4.96	-1.02	7.0	7.5	10	0 - 20
2	4.40	-0.96	7.0	7.5	10	0 - 20
3	5.08	-1.06	6.6	7.5	16	0 - 30
4	3.21	-0.81	7.1	7.5	10	0 - 20
5	3.76	-1.04	5.6	6.5	13	0 - 20
6	5.89	-1.16	6.6	7.5	20	0 - 40
7	5.62	-1.33	5.6	7.0	16	0 - 30
8	5.83	-1.18	6.9	7.5	12	0 - 30
9	3.80	-0.96	6.7	7.5	16	0 - 20
10	4.11	-0.98	6.1	7.0	10	0 - 20
11	4.26	-0.98	6.5	7.0	18	0 - 30
12	3.31	-0.93	5.0	6.5	21	0 - 20
13	4.84	-1.01	6.3	7.0	27	0 - 50
14	4.33	-1.10	6.6	7.0	28	0 - 30
15	4.46	-0.94	7.8	8.0	30	0 - 50
16	4.49	-0.94	7.3	8.0	23	0 - 40
17	4.67	-0.97	7.7	8.0	11	0 - 30
18	5.75	-1.07	7.2	8.0	12	0 - 50
19	6.91	-1.65	5.9	6.5	12	0 - 20
20	5.68	-1.17	7.8	8.0	10	0 - 30
21	6.24	-1.35	6.3	7.0	10	0 - 20
22	5.75	-1.05	6.9	7.5	11	0 - 50
23	5.89	-1.36	5.8	6.5	13	0 - 20

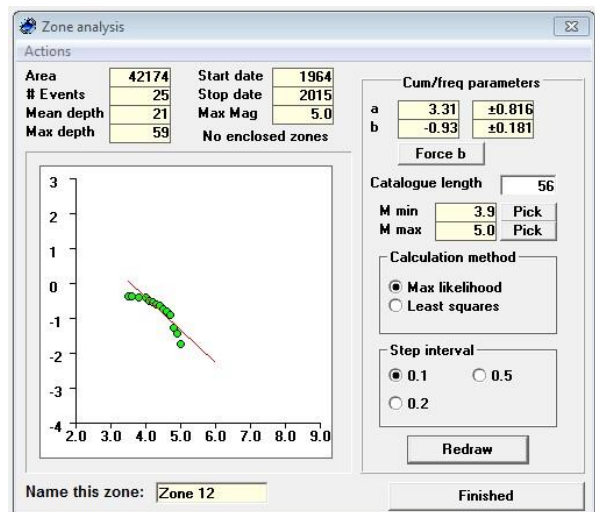
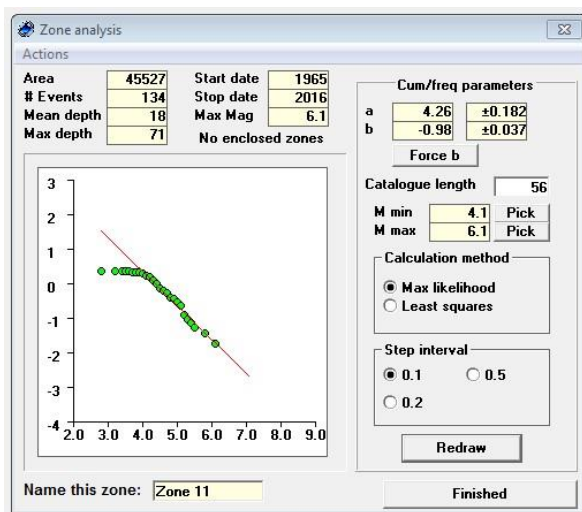
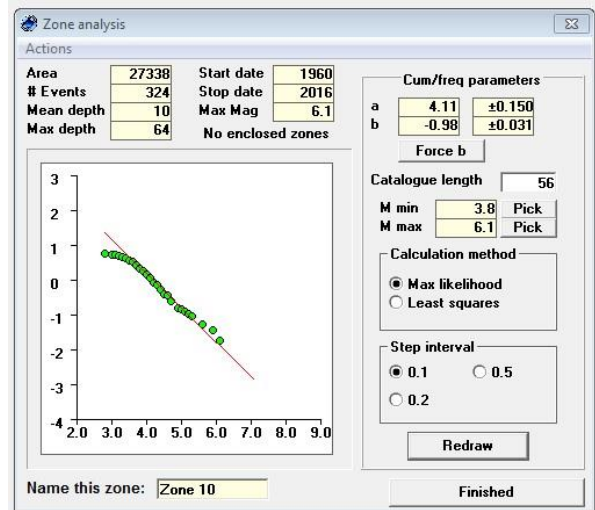
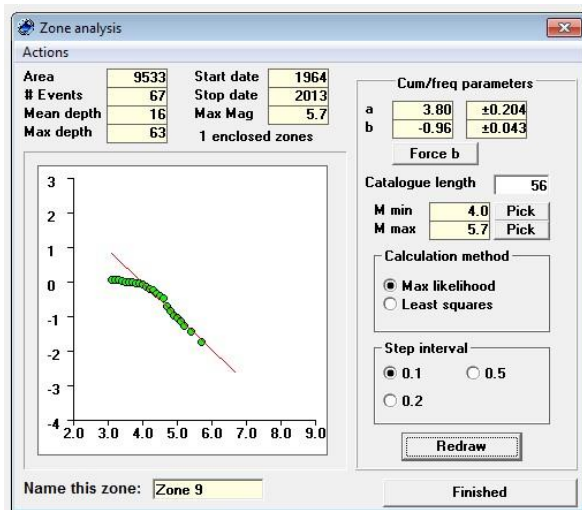
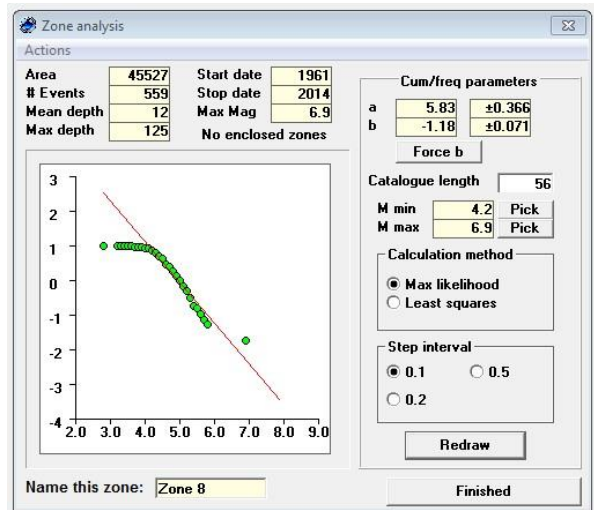
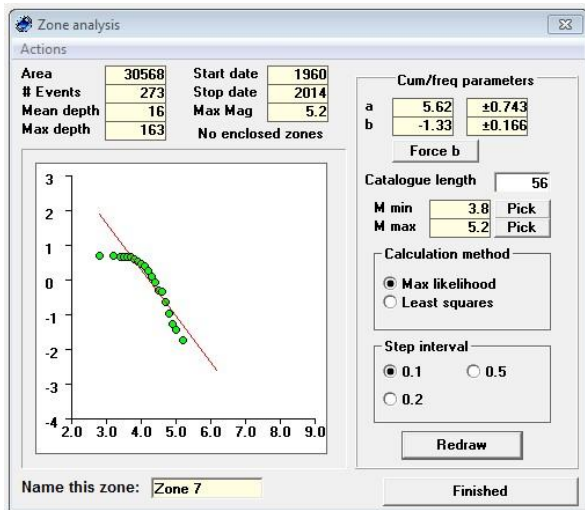
დანართი 1.2 რეგრესიის ანალიზი გუტენბერგისა და რიხტერის მიხედვით (1941)

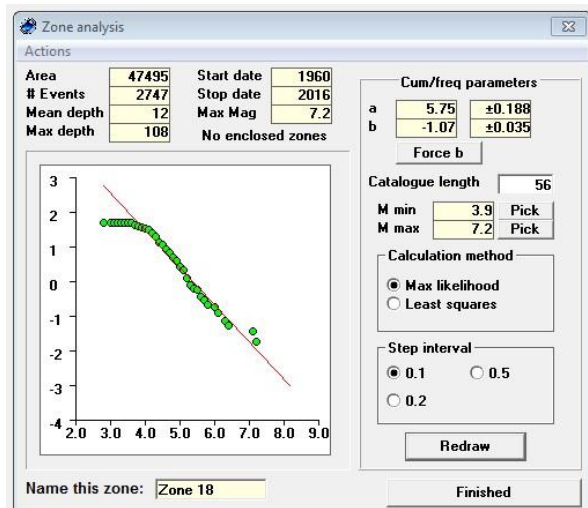
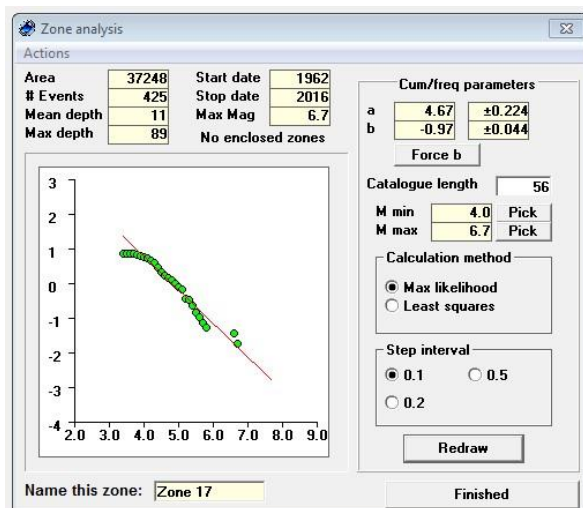
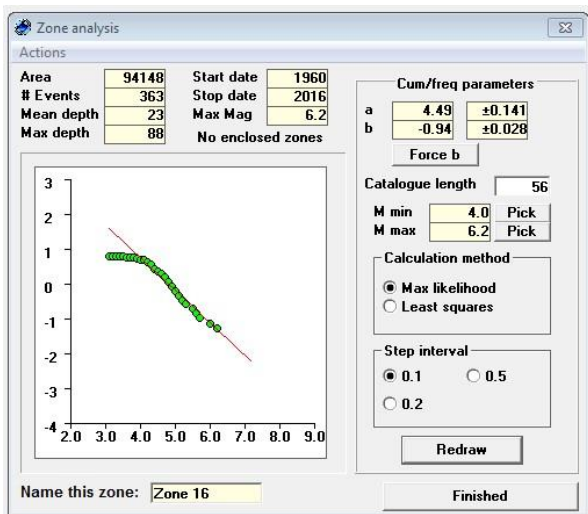
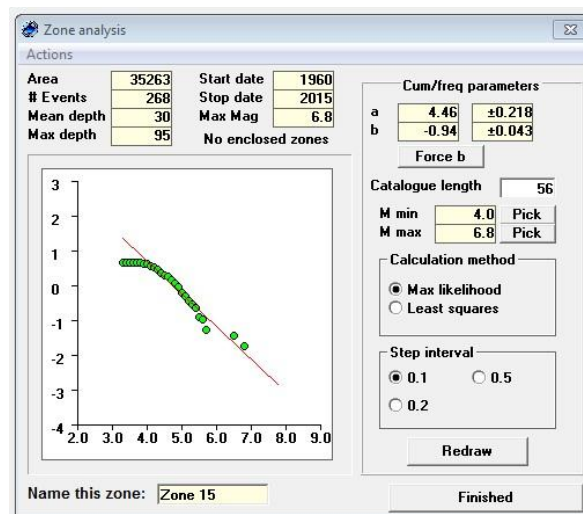
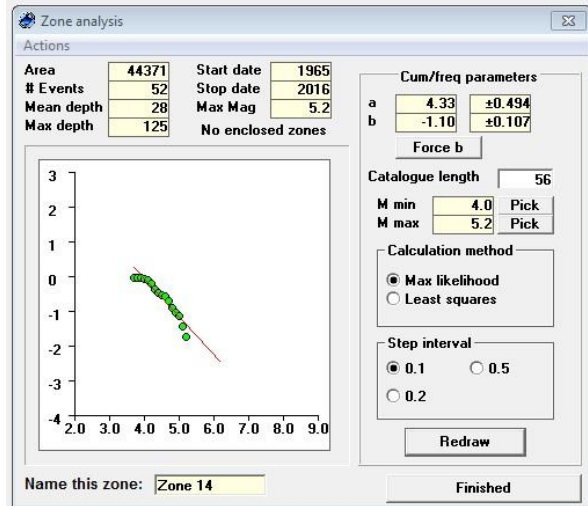
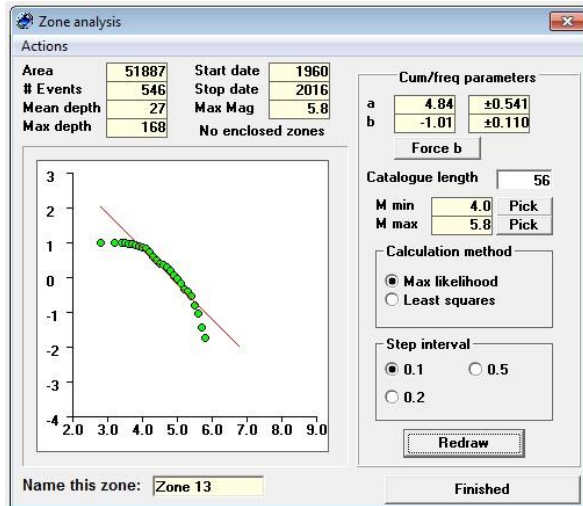
ქვემოთ წარმოდგენილი დიაგრამები გვიჩვენებს გუტენბერგ-რიხტერის პარამეტრების განსაზღვრას კერის ყველა ცალკეული ზონისთვის. მიწისძვრების ჯამური რაოდენობის 10 ფუძის მქონე ლოგარითმი ვერტიკალურ ღერძზე მომენტის მაგნიტუდის M_w ფუნქციის სახით ჰორიზონტალურ ღერძზე წარმოდგენილია შესაბამის რეგრესიებთან ერთად წითელი ხაზის სახით კერის თითოეული განსაზღვრული ზონისთვის. რეგრესიის პროცედურის დროს, შესაბამისი კერის ზონისთვის ინდივიდუალურად შეირჩევა

ონის ჰესების კასკადი, საქართველო, სეისმური საფრთხეების შეფასება ალბათური მეთოდით გვ. 65
 მინიმალური მაგნიტუდა, რაც საუკეთესო ვიზუალურ თავსებადობას იძლევა
 განსაკუთრებით დიდი მაგნიტუდებისთვის.

დანართი ნახაზი 1: კერის ზონის რეგრესია გუტენბერგისა და რიხტერის (1941) მიხედვით



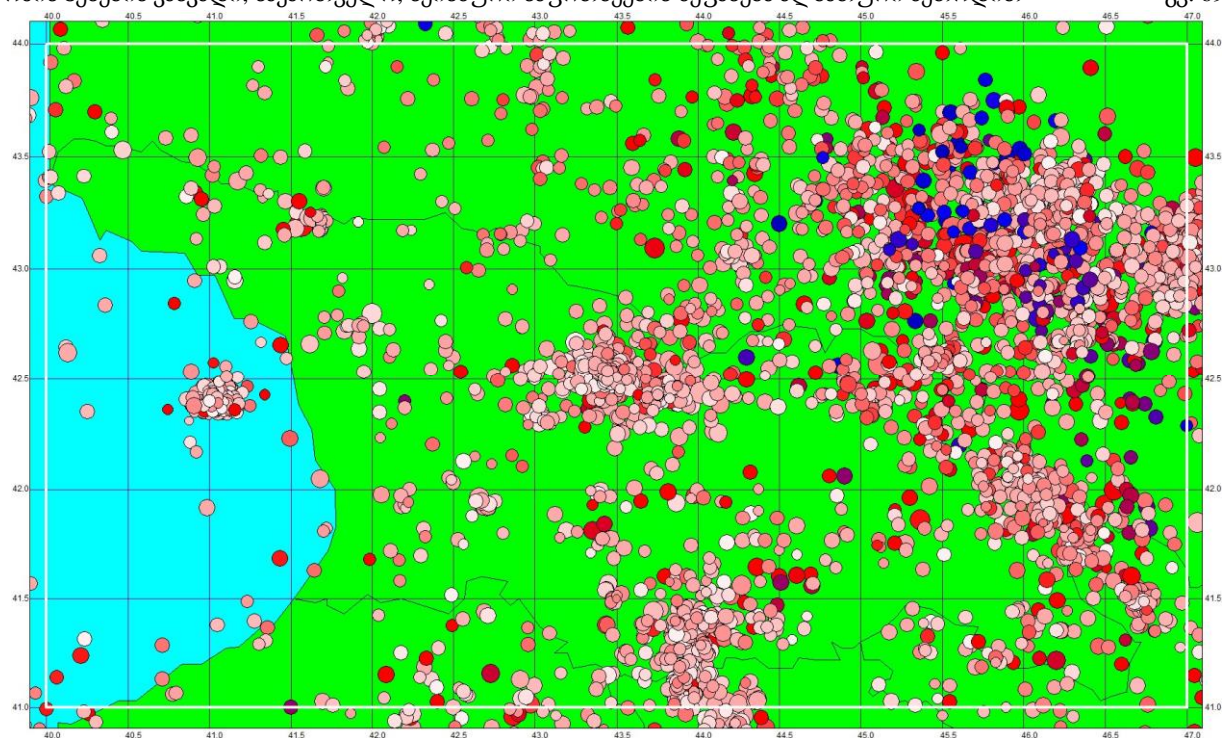




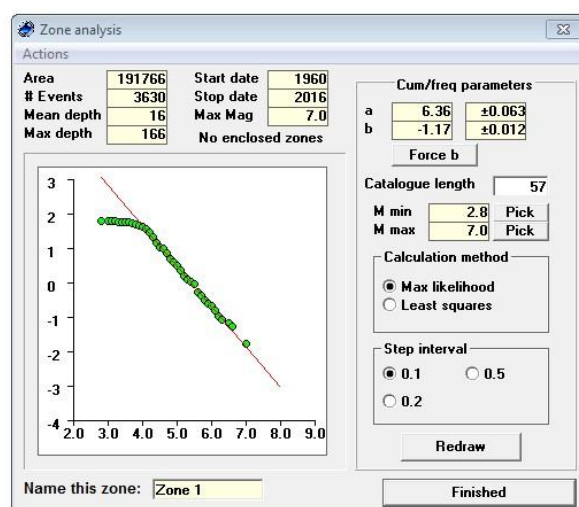


დანართი 1.3 კატალოგის სისრულის შეფასება

დანართი ნახაზი 2: საქართველოს სეისმურობა კატალოგის სისრულის შესამოწმებლად



დანართი ნახაზი 3: გუტენბერგი და რიხტერი (1941) რეგრესია საქართველოს შემთხვევაში



დანართი ნახაზი 4: საქართველოს წლიური კუმულაციური სეისმურობის დონეები 1960 – 2015 წლებში სხვადასხვა მაგნიტუდების შემთხვევაში

