

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
საინჟინრო-ტექნიკური ფაკულტეტი

ხელნაწერის უფლებით

როსნაძე გურგენი

**მაღალი სიმტკიცის წვრილმარცვლოვანი ბეტონები ორგანულ-  
მინერალურ მოდიფიკატორებზე, მათი ცოცვადობის და ფიზიკურ-  
მექანიკური თვისებების კვლევა**

07.19. სამრეწველო ინჟინერია და ტექნოლოგია

ინჟინერიის დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარმოდგენილი დისერტაციის

**ავტორეფერატი**

ქუთაისი, 2022 წელი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
საინჟინრო-ტექნიკური ფაკულტეტი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ტ.მ.დ. პროფესორ-ემერიტუსი ბადრი ბანძელაძე

რეცენზენტები: პროფესორი, ამირან ხვადაგიანი

ასოცირებული პროფესორი, ამირან გრძელიშვილი

07.19. სამრეწველო ინჟინერია და ტექნოლოგია

დისერტაციის დაცვა შედგება 2022 წლის 27 აპრილს 14:00 საათზე  
საინჟინრო - ტექნიკური ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს მიერ შექმნილ

სადისერტაციო კომისიის სხდომაზე. მისამართი: თამარ მეფის ქ. 59.  
უნივერსიტეტის 1 კორპუსი, აუდიტორია №1114.

დისერტაციის გაცნობა შესაძლებელია აკაკი წერეთლის სახელმწიფო  
უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკაში მისამართზე: 4600. ქუთაისი. თამარ მეფის  
ქ. 59.

ავტორეფერატი დაიგზავნა “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_  
(თარიღი)

სადისერტაციო საბჭოს

მდივანი

\_\_\_\_\_  
(ხელმოწერა)

/ნ. სახანბერიძე/

## სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალობა.** მაღლივი შენობების, ხიდების, მიწისქვეშა ნაგებობების და სხვა საპასუხისმგებლო ნაგებობებისათვის, მაღალი სიმტკიცის ბეტონზე მოთხოვნა ყოველდღიურად იზრდება.

მაღალი სიმტკიცის წვრილმარცვლოვანი ბეტონების გამოყენება მშენებლობაში აუმჯობესებს მთელ რიგ ეკონომიკურ მაჩვენებლებს:

- ამცირებს შენობა-ნაგებობების მასას (ბეტონის საშუალო მოცულობითი მასა დაბალია,  $\approx 2200$  კგ/მ<sup>3</sup>);
- ამცირებს ბეტონის თვითღირებულებას მსხვილი შემესების ღირდის - ქვიშით შეცვლით (ბეტონის ჩაწყობადობის პროცესების გამარტივებით);
- აიაფებს ტექნოლოგიურ პროცესს (ბეტონტუმბოების გამოყენების ნაცვლად, შესაძლებელია გამოყენებული იყოს დულაბტუმბოები).

მაღალი სიმტკიცის ბეტონების წარმოების ორიგინალური მეთოდი შემუშავებული იქნა აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის „სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის“ კათედრაზე. კერძოდ, მაღალი სიმტკიცის ბეტონების მიღება ახალი „ბმქ-კ“ სერიის მოდიფიკატორის გამოყენებით.

ამ მოდიფიკატორის შემადგენელი კომპონენტებია: ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის ლუმელებიდან წანატაცი ნაცრები და ლუმელის წიდები. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის წარმოების ნარჩენების გამოყენება მოდიფიკატორის (ბმქ-კ) სახით, კიდევ უფრო გააუმჯობესებს წარმოებული წვრილმარცვლოვანი ბეტონის ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

შემოთავაზებული მეთოდით მიღებული მაღალი სიმტკიცის წვრილმარცვლოვანი ბეტონების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა მნიშვნელოვანია, მისი შემდგომი პრაქტიკაში დანერგვის მიზნით, რაც აქტუალურს ხდის წარმოდგენილ სადისერტაციო ნაშრომს.

**სამუშაოს მიზანი.** ფეროშენადნობთა ქარხნის საწარმოო ნარჩენების, მოდიფიკატორის სახით გამოყენებისას მაღალი სიმტკიცის წვრილმარცვლოვანი ბეტონის მიღების შესაძლებლობების კვლევა.

**სამუშაოს ძირითადი ამოცანები.** დასახული მიზნის მისაღწევად დასმულია და

გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:

- ტრადიციული ბეტონების კვლევების ანალიზის საფუძველზე, განმაზოგადებელი დამოკიდებულების გამოვლენა და მისი შემდგომი გამოყენება ტრადიციული ბეტონების მახასიათებლების წინასწარი შეფასების კრიტერიუმად;
- მაღალი სიმტკიცის წვრილმარცვლოვანი ბეტონების კვლევების განმაზოგადებელი კრიტერიუმის გამოვლენა და მისი გამოყენება საკვლევი ბეტონების წინასწარი შეფასებისათვის;
- საკვლევი სერიის ბეტონის ნიმუშების ცოცვადობის დეფორმაციების კვლევა (მისი კრიტერიუმის და ანალიზის საფუძველზე), შემოთავაზებული მოდიფიკატორის ოპტიმალური პროცენტული შემცველობის ბეტონების შერჩევა;
- შემოთავაზებული მოდიფიკატორის (ბმქ-კ) ოპტიმალური პროცენტული შემცველობის ბეტონების ცოცვადობის და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა;
- კვლევებით გამოვლენილი მახასიათებლების მიხედვით შემოთავაზებული ტექნოლოგიით მიღებული ბეტონის შედარება ტრადიციულ და მაღალი სიმტკიცის ცნობილ ბეტონებთან.

**სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება.** ახალი „ბმქ“ მოდიფიკატორის შემცველობის, უკეთესი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების მქონე, მაღალი სიმტკიცის წვრილმარცვლოვანი ბეტონების გამოყენება ახალი მშენებლობისათვის, ასევე შენობა-ნაგებობების გაძლიერება-რეკონსტრუქციისათვის, გაზრდის რკინაბეტონის კონსტრუქციის საიმედოობას, შეამცირებს შენობა-ნაგებობის მასას, ასევე შეამცირებს არმატურის, ბეტონის ხარჯს და ყოველივე ამის გამო შემცირდება რკინაბეტონის კონსტრუქციის თვითღირებულება.

**სამეცნიერო სიახლე:**

- ბეტონების შესახებ არსებული კვლევების ანალიზის საფუძველზე, გამოვლენილია ტრადიციული და მაღალი სიმტკიცის წვრილმარცვლოვანი ბეტონების წინასწარი შეფასების კრიტერიუმი.

ტრადიციული ბეტონების წინასწარი შეფასების კრიტერიუმად შემოთავაზებულია ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციასა და ბეტონის მარკას შორის გამოვლენილი დამოკიდებულება, რომელიც წარმოადგენს ექსპონენტას (ნახ.1).

მაღალი სიმტკიცის წვრილმარცვლოვანი ბეტონის წინასწარი შეფასების

გამოვლენილ კრიტერიუმს წარმოადგენს ცოცვადობის დეფორმაციაზე კვლევების განმაზოგადებელი ემპირიული მონაცემები, წარმოდგენილი ცხრილის სახით.

- ჩატარებული კვლევებით მიღებული ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის დიაგრამებმა აჩვენა, რომ ახალი მოდიფიკატორით (ბმქ-კ) მოდიფიცირებული ბეტონი, შემუშავებული კრიტერიუმით, მაღალი სიმტკიცის არსებული წვრილმარცვლოვანი ბეტონების ანალოგიურია;
- გამოვლენილია, რომ ახალი მოდიფიკატორით (ბმქ) მოდიფიცირებულ ბეტონში ცოცვადობის დეფორმაციის მიხედვით, მოდიფიკატორის ოპტიმალური შემცველობა შეადგენს  $\approx 10\%$ -ს;
- ექსპერიმენტალურად დადგენილია, რომ შემოთავაზებული მოდიფიკატორით მოდიფიცირებული ბეტონების სიმტკიცე გაჭიმვაზე და კუმშვაზე მაღალია და უტოლდება სხვა მოდიფიცირებული ბეტონების ანალოგიურ მონაცემებს;
- ექსპერიმენტალურად განსაზღვრულია ბმქ-კ მოდიფიკატორით მოდიფიცირებული ბეტონისათვის დრეკადობის საწყისი მოდული და პუასონის კოეფიციენტის მნიშვნელობები.

#### **დაცვაზე გამოტანილი დებულებები.**

- ტრადიციული და მაღალი სიმტკიცის ბეტონების მახასიათებლების წინასწარი შეფასების კრიტერიუმები;
- ახალი მოდიფიცირებული ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები;
- ახალი მოდიფიცირებული ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები.

**ნაშრომის აპრობაცია.** ნაშრომის ძირითადი დებულებები მოხსენებული იქნა საერთაშორისო კონფერენციებზე.

**დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა.** წარმოდგენილი ნაშრომი მოიცავს კომპიუტერზე ნაბეჭდ 102 გვერდს, 35 ნახაზს და 21 ცხრილს. იგი შედგება შესავლის, ოთხი განყოფილების, დასკვნებისა და ბიბლიოგრაფიული ჩამონათვლის 55 წყაროსაგან.

## ნაშრომის შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია დისერტაციის თემის აქტუალობა, ფორმულირებულია ნაშრომის მიზანი და ამოცანები.

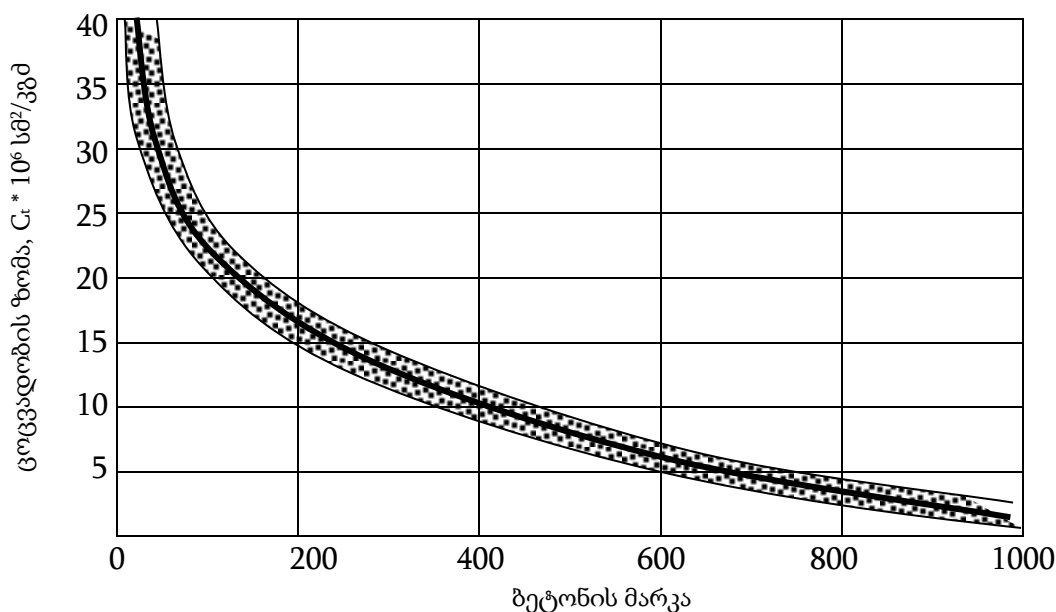
პირველ განყოფილებაში „ბეტონის ექსპერიმენტული კვლევები და ბეტონის წინასწარი შეფასების კრიტერიუმები“, მოცემულია ტრადიციული და მაღალი სიმტკიცის ბეტონების შესახებ არსებული კვლევების ანალიზი.

ტრადიციულ ბეტონებზე არსებული კვლევების განზოგადების შედეგად გამოვლენილია დამოკიდებულება ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციასა და ბეტონის მარკას შორის. ამ დამოკიდებულებას ტრადიციული ბეტონებისათვის აქვს ექსპონენტის სახე (ნახ.1). თანაც მისი ამპლიტუდა, რომელიც უახლოვდება აბსცისთა ღერძს, ბეტონის 200 მარკის ზემოთ შეიძლება ჩაითვალოს წრფედ (ნახ.1). ამ წრფივი უბნის გამოსახულებაა:

$$y = -\alpha + \beta x \quad (1)$$

სადაც  $x$  - ბეტონის მარკაა;

$y$  - ბეტონის ცოცვადობის კოეფიციენტი.



ნახ.1. ბეტონის მარკის გავლენა ცოცვადობაზე

აღნიშნული დამოკიდებულება ახალი საკვლევი ბეტონისათვის შეიძლება განისაზღვროს ერთი წერტილით, ერთხელ გაზომილი ცოცვადობის დეფორმაციისა

(y) და ამ ბეტონის მარკის (x) მიხედვით. როცა საკვლევი ბეტონისათვის აგებული (1) გამოსახულება თავსდება ექსპონენტისათვის დამახასიათებელი ცოცვადობის დეფორმაციის სიდიდეების გაზნევის არეში, მაშინ საკვლევი ბეტონი ცოცვადობის დეფორმაციის სიდიდის მიხედვით, დამაკმაყოფილებელია და მიზანშეწონილია გაგრძელდეს მისი დანარჩენი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების კვლევა.

ცხრილი 1

კვლევების მონაცემები ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის განზოგადებისათვის

	ექსპერიმენტული მონაცემების ავტორები	სერიაში პარალელური ცდები	ბეტონის ნარევის შემადგენლობა			მოქმედი დაბევა R კგ/სმ <sup>2</sup>	ნიმუშების კვეთის ფართი სმ <sup>2</sup>	ტენიანობა, %	გამოცდის ხანგრძლივობა, დღე-ღამე	ცოცვადობის ზომის გაზომილი მნიშვნელობები, ×10 <sup>6</sup>	ცოცვადობის ზომის ექსტრაპოლირებული მნიშვნელობა, ×10 <sup>6</sup>
			1:m	წყალცემენტის შემცველობა	წ/ც ფარდობა, ლ/მ <sup>3</sup>						
1	შაიდლერი	2	6,03	0,53	191	625	Φ15	50	365	5	5,5
2		2	3,05	0,35	210	874	Φ15	50	365	4,2	4,6
3	როსსი	3	4,4	0,38	152	675	Φ12	91	170	1,7	1,9
4	როლლი	2	2,5	0,44	259	505	Φ10	60	168	7,1	9,5
5		2	1	0,31	306	715	Φ7,6	60	168	5,9	7,8
6		2	1	0,31	306	684	Φ10	60	168	6	8,2
7	გუმელი	2	5,4	0,38	136	579	Φ20	65	1100	5	5
8		2	5,4	0,55	186	504	Φ20	65	1100	8,2	8
9	ვაილი	2	5,03	0,52	186	564	Φ10	65	767	5,9	5,9
10	სიტნიკი	3	4,7	0,4	160	661	Φ10	70	336	2,5	2,8
11		3	3,6	0,31	155	812	Φ10	70	319	2,5	2,8
12		3	3,44	0,27	148	1012	Φ10	70	329	1,9	2,1
13		3	3,44	0,27	142	985	Φ10	70	330	1,9	2,1
14	ჰანსონი	3	5,13	0,42	214	512	Φ15	50	1000	10,3	10,1
15	ივანოვი	3	4,24	0,42	267	560	Φ10	55	374	11,8	12,1
16		3	6,5	0,42	135	711	Φ10	55	400	2,9	3,3
17		3	3,86	0,42	192	624	Φ10	55	412	4,5	5,7
18		3	1,52	0,27	231	867	Φ10	55	394	3,2	4
19		3	3,4	0,27	145	972	Φ10	55	412	3,1	3,6
20		3	0,75	0,27	305	1065	Φ10	55	418	4,8	5,9
21		3	0	0,27	451	1186	Φ10	55	393	6,2	7,5
22	ბერგი	2	5,25	0,4	150	550	Φ15	55	160	3,4	4,3
23		1	5,25	0,4	150	550	Φ15	55	160	3,6	4,5
24		1	5,25	0,4	150	596	Φ15	55	160	3,1	4,1
25		1	5,25	0,4	150	596	Φ15	55	160	3,5	4,2
26		1	4	0,3	142	884	Φ15	55	250	2,3	2,7
27		1	4	0,3	142	846	Φ15	55	250	2,6	2,9
28		1	4	0,5	142	882	Φ15	55	250	2,2	2,4
29	შერბაკოვი	4	1,61	0,24	204	800	Φ15	72	197	2,6	3,2
30		1	5,34	0,43	156	575	Φ15	72	158	3,6	4,0

თუ მიღებული მონაცემები მდებარეობს გაბნევის არის გარეთ, ამ შემთხვევაში საჭიროა ბეტონში შემავალი კომპონენტების, მაგალითად ცემენტის შემცველობის კორექტირება. ამით ფაქტიურად შემოთავაზებულია გამოვლენილი დამოკიდებულება (1) გამოყენებული იქნას საკვლევი და სხვადასხვა ტრადიციული ბეტონების წინასწარი შეფასების კრიტერიუმად, რომ გამოვლენილი იქნას მათგან უკეთესი (ან უკეთესები) შემდგომი კვლევების გასაგრძელებლად.

მოდიფიცირებული ბეტონების კვლევების ანალიზის საფუძველზე გამოვლენილია მათი წინასწარი შეფასების კრიტერიუმი. იგი წარმოადგენს ემპირიულ მონაცემებს ცხრილების სახით (ცხრილი 1).

მოდიფიცირებული ბეტონის წინასწარი შეფასებისათვის ამ ცხრილში მოცემული ერთ-ერთი ტექნოლოგიური მოთხოვნის მიხედვით ამზადებენ საკვლევ ბეტონს, საზღვრავენ ცოცვადობის დეფორმაციას თითოეული საცდელი ნიმუშისათვის; მათი საშუალებით განსაზღვრულ ექსტრაპოლაციის შედეგს ადარებენ ცხრილის შესაბამის მნიშვნელობას. თუ ცოცვადობის დეფორმაციის განსაზღვრული მნიშვნელობა ნაკლები ან ტოლი აღმოჩნდება ცხრილის შესაბამის მონაცემებთან, მაშინ ასკვნიათ, რომ მიზანშეწონილია საკვლევი ბეტონის დანარჩენი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევის გაგრძელება. წინააღმდეგ შემთხვევაში აუცილებელია ბეტონში შემავალი კომპონენტების ან მათი პროცენტული შემცველობის კორექტირება.

**მეორე განყოფილებაში** „ბეტონში ცოცვადობა და ექსპერიმენტის ჩატარების მიმოხილვა“ მოცემულია მონაცემები ბეტონში ცოცვადობის დეფორმაციის ბუნების შესახებ სხვადასხვა ვარიანტების მიმოხილვა. ბეტონის შემოთავაზებული მოდიფიკატორები, ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის ღუმელების ნაცარი და წიდა თავის შემადგენლობით, ახლოსაა ცემენტის ქვის შემადგენლობასთან. ამიტომ ცემენტის ქვის ანალოგიური უნდა იყოს ბეტონის გამყარების, ცოცვადობის პროცესები. ამის გამო შემოთავაზებულია საკვლევ ბეტონში ცოცვადობის ბუნების ახსნა ცემენტის ქვის მოდელის მიხედვით.

ცემენტის ქვა (მატრიცა) შედგება კრისტალური შენაზარდისა (კარკასისა) და ბლანტი გელისაგან. ამასთანავე, ცემენტის ქვა შეიცავს აგრეთვე სხვადასხვა ბუნებისა და სიდიდის ფორებს:

– მცირე დონის ძაბვებისას ( $\approx 0,5R_{BM}$  ჩვეულებრივი ბეტონისათვის) ცოცვადობა



განიხილება, როგორც გელის ბლანტი დინების და კაპილარული წნევის შედეგი.

- შედარებით მაღალი დონის ძაბვებისას, აღნიშნულს ემატება სტრუქტურული ცვლილებები, მიკრობზარების წარმოქმნა და განვითარება, კრისტალური წამონაზარდების ცალკეული ნაწილაკების ზედაპირებს შორის ძვრადობა.

წარმოდგენილი მოდელის მიხედვით ახსნილია ცოცვადობაზე გელის ტენიანობის, ასევე გელის გამოშრობის გავლენა. წარმოდგენილი მოდელის მიხედვით ცოცვადობის დეფორმაციაზე გავლენა უნდა იქონიოს აგრეთვე ხანგრძლივი დატვირთვით გამოწვეულმა მექანიკურმა ზემოქმედებამ. აქედან გამომდინარე, გამოვლენილია ცოცვადობაზე მეტნაკლებად მოქმედი უცვლელი ფაქტორი. მოქმედების არსებობის მიხედვით ისინი დაყოფილია სამ ჯგუფად.

პირველი ჯგუფი: ცემენტის სახეობა; ცემენტის მარკა; მსხვილი შემავსებლის პარამეტრები; წყალცემენტის ფარდობა.

მეორე ჯგუფი: გამკვრივების სახე; თბური დამუშავების სახეობა; ბეტონის ხნოვანება დატვირთვის მომენტში.

მესამე ჯგუფი: ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა, კონსტრუქციის ზომები, ფარდობითი დამაბულობის სიდიდე.

ე.ი. ცოცვადობა წარმოადგენს ბეტონის მახასიათებლების შესახებ განმაზოგადებელ პარამეტრს. ამის გათვალისწინებით, იყო შერჩეული ცოცვადობის დეფორმაცია ბეტონის წინასწარი შეფასების კრიტერიუმად. შემოთავაზებულია ცოცვადობის დეფორმაციის პროგნოზირების მათემატიკური გამოსახულება:

$$C_{(\infty)} = C_{(\infty)}^{cp} \prod_{i,j=1}^{m,n} K_{i,j} \quad (2)$$

ცოცვადობის  $C_{(\infty)}$  ზღვრული ემპირიული მნიშვნელობები შეირჩევა ცხრილებიდან ცემენტის მარკის მიხედვით.  $K_{i,j}$  - ცოცვადობის კოეფიციენტი შეირჩევა ბეტონის შემადგენლობის გათვალისწინებით.

ამავე განყოფილებაში მოცემულია ექსპერიმენტის ჩატარების პირობები და მეთოდოლოგია. ბეტონის ცოცვადობის და ჯდომის დეფორმაციების განსაზღვრისათვის გამოყენებული იყო პრიზმები ზომით 100×100×400მმ. საცდელი ნიმუშების სერია ბეტონის სხვა ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების საკვლევად, მზადდებოდა კუბებისა და პრიზმების სახით 10×10×10სმ, 15×15×15სმ, 15×15×60სმ. მსხვილი შემავსებლის მარცვლის უდიდესი ზომა არ აღემატებოდა 20 მმ-ს, წვრილი შემავსებლისას (კვარცის

ქვიშა) კი 5 მმ-ს. დულაბის მომზადება ხდებოდა ნიმუშების ცალკეული ნარევისაგან, იძულებითი არევის ბეტონშემრევში. ამასთან ბეტონის მაქსიმალური მოცულობა, ერთი სერიის ნიმუშებისათვის შეადგენდა  $\approx 270$  კგ-ს.

ექსპერიმენტის ჩატარებისას დაცული იყო შემდეგი პირობები:

- თავდაპირველად ბეტონირდებოდა კუმშვაზე გამოსაცდელი ხუთივე სერიის ნიმუში;
- მეორე რიგში ბეტონირდებოდა გაჭიმვაზე გამოსაცდელი ნიმუშების სერია;
- ვიბრირებისათვის გამოყენებული იყო ლაბორატორიული ვიბრობაქანი;
- განყალიბებამდე ნიმუშების შენახვა ხდებოდა ყალიბებში, რომლებიც დაფარული იყო პოლიეთილენის აფსკით; სათავსოში დაცული იყო ჰაერის ტემპერატურა  $17 \pm 6^{\circ}\text{C}$ ;
- პრიზმები გამოიცდებოდა ჯდომაზე, განყალიბებიდან (ერთი დღე ღამის შემდეგ) არაუმეტეს სამი და არაუგვიანეს ორი საათის განმავლობაში;
- გრძივი დეფორმაციის გასაზომად განკუთვნილ პრიზმებს წინასწარ ჩამოეცმებოდა ჩარჩო, რომელშიც დაყენებული იყო ტენზომეტრი (საათის მსგავსი ინდიკატორი). ამის შემდეგ ნიმუშები გადაგვქონდა კლიმატურ კამერაში, სადაც დაცული იყო  $14 \pm 3^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურა და ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა  $78 \pm 10\%$ ;
- თითოეულ სერიაში შედიოდა 3-5 საცდელი ნიმუში.

ანალოგიურად დაცული იყო როგორც მითითებული, ასევე ექსპერიმენტის ჩატარების მეთოდით გათვალისწინებული დანარჩენი პირობები.

ხანგრძლივ დატვირთვაზე გამოცდისათვის გამოყენებული იყო პნევმოჰიდრავლიკური გამოსაცდელი დანადგარები.

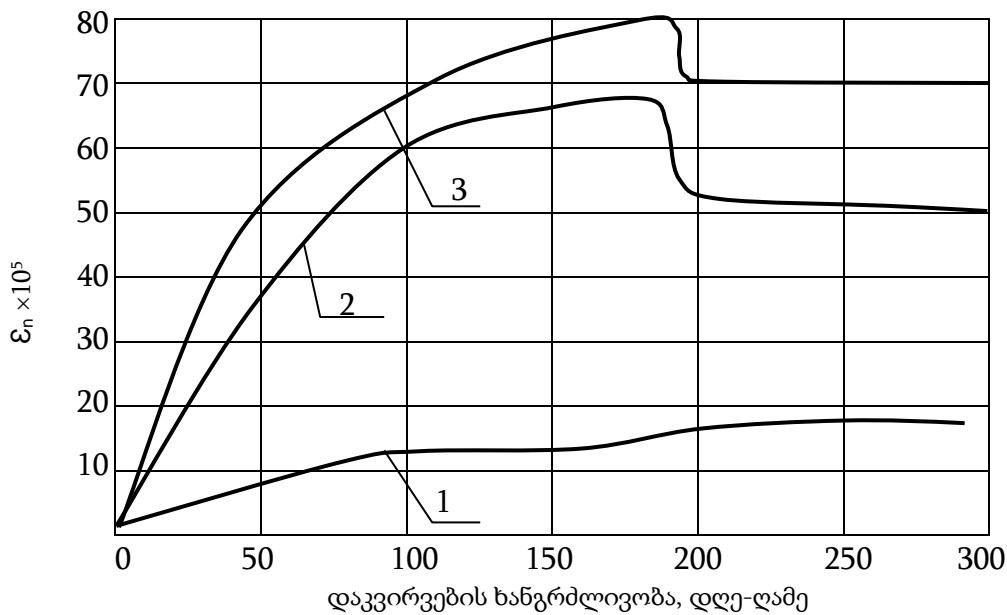
**მესამე განყოფილებაში** „მაღალი სიმტკიცის ორგანულ-მინერალური მოდიფიკატორზე ბეტონების შემადგენლობები და მათი ცოცვადობის დეფორმაციაზე კვლევა“, განხილულია ცემენტის ქვის პარამეტრების ვარირებით ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მართვის საკითხები. კერძოდ, განხილულია (ბმქ-კ) მოდიფიკატორის სხვადასხვა შედგენილობის გავლენა ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციაზე. ამ მიზნით შერჩეულია 1კ, 2კ, 3კ, 4კ, 5კ სერიის ნიმუშები. თითოეული სერიის ნიმუშების ბეტონის ნარევის შემადგენლობა მოცემულია ცხრილში 2. შერჩეული ნიმუშებიდან 1კ სერია ტრადიციული წვრილმარცვლოვანი ბეტონის მიღებისათვის საჭირო ნარევა. ამ უკანასკნელის

ცოცვადობის დეფორმაციასთან, შემოთავაზებული (ბმქ-კ) მოდიფიკატორის შემცველი ბეტონების ცოცვადობის დეფორმაციების შედარებისათვის განკუთვნილია 2კ, 3კ, 4კ სერიის ნიმუშები, ხოლო მოდიფიკატორის გავლენა მძიმე, მოდიფიცირებულ ბეტონზე განხილულია 5კ სერიის ნიმუშების მაგალითზე.

ცხრილი 2

ბეტონის ნარევის შემადგენლობა, კგ/მ<sup>3</sup>

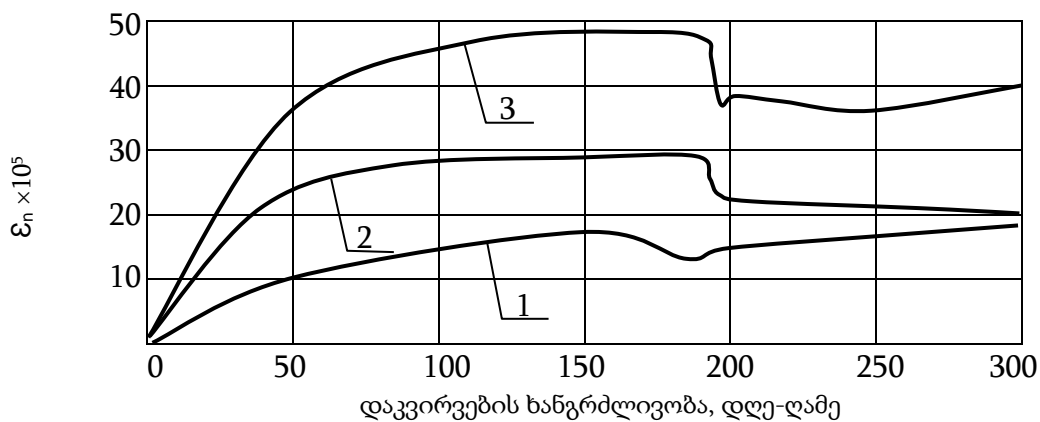
ნიმუშების სერია	ბეტონის ნარევის შემადგენლობა	ცემენტი	ბმქ-კ	ქვიშა	ღორღი	წყალი
1კ	ც+0% (ბმქ-კ)	762	-	1356	-	179
2კ	ც+10% (ბმქ-კ)	706	75	1296	-	183
3კ	ც+20% (ბმქ-კ)	691	133	1310	-	178
4კ	ც+30% (ბმქ-კ)	487	255	1220	-	168
5კ	ც+20% (ბმქ)	545	115	575	995	155



ნახ.2. ცოცვადობის ნარჩენი დეფორმაციები 1 კ სერიისათვის

ნახ.2 და ნახ.3-ზე წარმოდგენილია ცოცვადობის დეფორმაციის ექსპერიმენტული დამოკიდებულებები 1 კ და 2 კ სერიის ნიმუშებისათვის. (1), (2) მრუდებით მოცემულია შესაბამისად ჯდომის და ცოცვადობის დეფორმაციები, ხოლო (3) მრუდით წარმოდგენილია მათი ჯამური მნიშვნელობა. ცოცვადობის

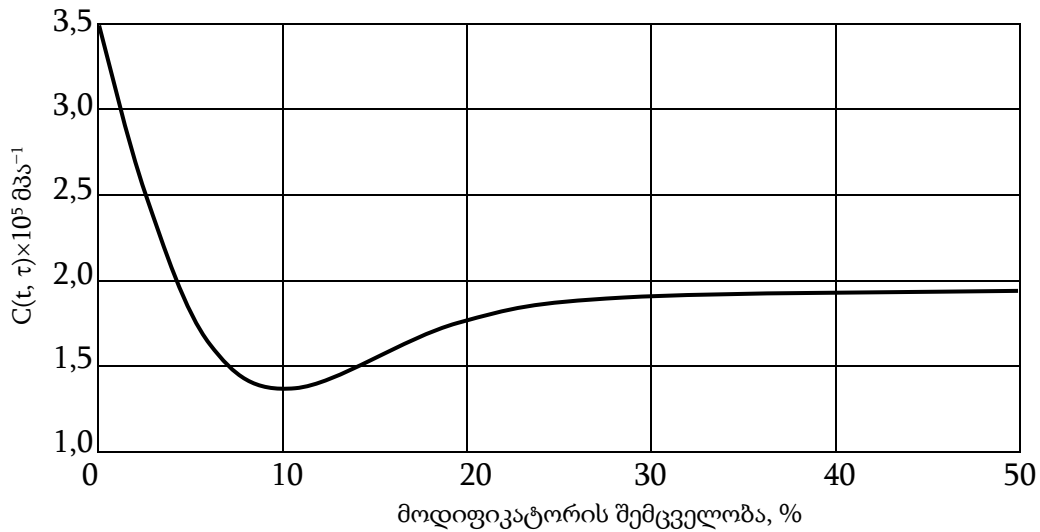
დეფორმაციის მიხედვით, 2 კ სერიის ნიმუშებს გააჩნიათ უკეთესი შედეგები, ვიდრე ტრადიციული წვრილმარცვლოვანი ბეტონების 1 კ სერიის მონაცემების, ასევე ტრადიციული ბეტონების წინასწარი შეფასების კრიტერიუმის მიხედვით. 2 კ და 3 კ სერიების ნიმუშების ცოცვალობის დეფორმაციები ახლოსაა ერთმანეთთან. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ სავარაუდოა 2 კ, 3 კ სერიის ნიმუშებით წარმოდგენილი ბმქ-კ მოდიფიკატორით მოდიფიცირებული ბეტონების, აქვს უკეთეს ცოცვალობის დეფორმაციის და ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებები. აგრეთვე შეიძლება იგივე ითქვას მოდიფიცირებული მძიმე ბეტონის 5 კ ნიმუშების სერიის მიმართ.



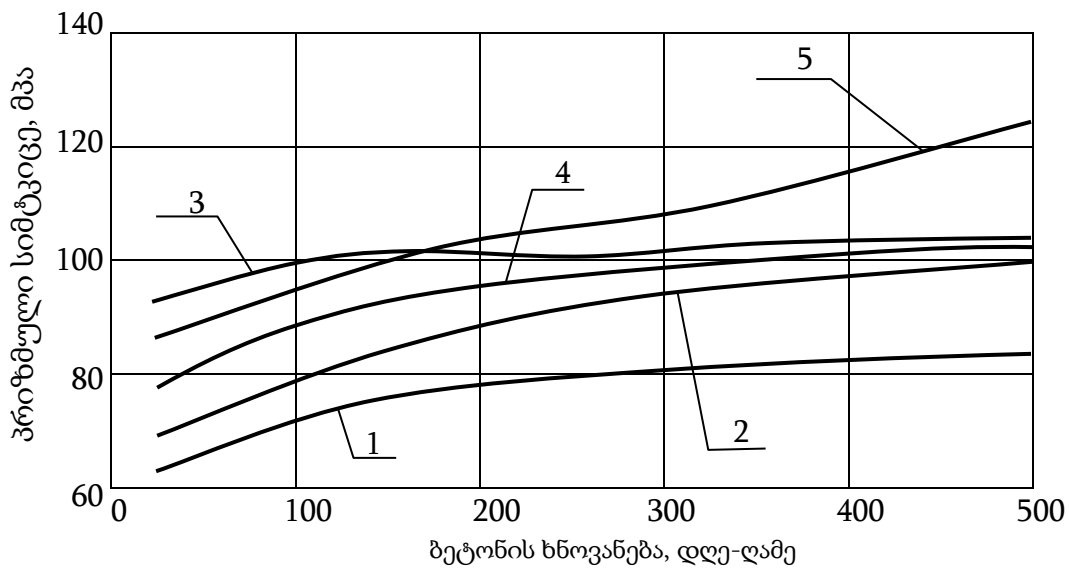
ნახ.3. ჯდომის და ცოცვალობის დეფორმაცია 2 კ სერიისათვის

მეოთხე განყოფილებაში „ახალი სერიის ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა“, განხილულია ბმქ-კ მოდიფიკატორით მოდიფიცირებული ბეტონების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევის შედეგები.

შემოთავაზებული ბმქ-კ მოდიფიკატორის პროცენტული შემცველობის ბეტონის ცოცვალობის დეფორმაციაზე გავლენის დაწვრილებითი კვლევებით, ნაჩვენები იქნა, რომ მოდიფიკატორის ოპტიმალური შემცველობა ბეტონში შეადგენს  $\approx 10\%$ -ს, რადგანაც მას შეესაბამება ცოცვალობის დეფორმაციის მინიმალური მნიშვნელობა  $1,2 \cdot 10^5$  მპა. ამ სიდიდემდე იგი მცირდება მოდიფიკატორის 0% შემცველობის შესაბამის მნიშვნელობიდან,  $3,52 \cdot 10^5$  მპა-დან, რაც შეესაბამება ტრადიციული ბეტონის (1 კ სერიის ნიმუშების) ცოცვალობის დეფორმაციის მნიშვნელობას. მოდიფიკატორის (ბმქ-კ) 10%-ის შემდეგ გაზრდით 50%-მდე ცოცვალობის დეფორმაციის სიდიდე იზრდება  $2 \cdot 10^5$  მპა-მდე. ნახ.4-ზე ნაჩვენებია ცოცვალობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება მოდიფიკატორის შემცველობაზე.



ნახ.4. ცოცვადობის ზომის დამოკიდებულება ბეტონში მოდიფიკატორის დოზირებაზე 180 დღე-ღამის ასაკში

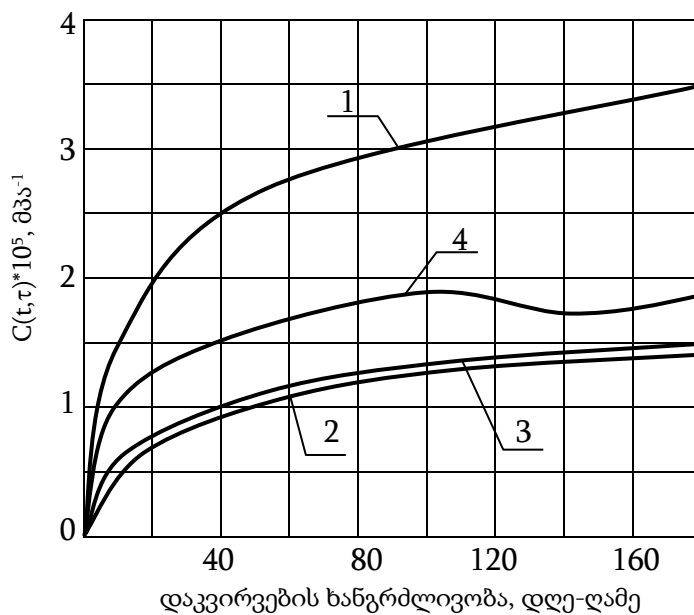


ნახ.5. პრიზმული სიმტკიცის ცვლილება დროში

ბეტონის სიმტკიცეზე შემოთავაზებული მოდიფიკატორის პროცენტული შემცველობის გავლენის შეფასების მიზნით, ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ 1 კ სერიის ნიმუშის სიმტკიცე, რომელიც არ შეიცავს ბმე-კ მოდიფიკატორს, დაბალია (ნახ.5, მრუდი 1). პრიზმული სიმტკიცის ასეთი სიდიდე დამახასიათებელია ტრადიციული ბეტონისათვის. შედარებით მაღალია 2 კ, 3 კ სერიის ნიმუშების სიმტკიცე  $\approx 100$  მპა-მდე, რომლებშიც მოდიფიკატორის შემცველობა შეადგენს შესაბამისად 10-20%-ს (ნახ.5, 2-3).

5 კ სერიის ნიმუშების ბეტონის მაღალი სიმტკიცე ( $\approx 120$  მპა-მდე), აჩვენებს, რომ 20%-მდე მოდიფიცირებულ ბეტონში, ღორღის შემავსებლის დამატება, მნიშვნელოვნად ზრდის სიმტკიცეს, რაც დამახასიათებელია ე.წ. მძიმე ბეტონებისათვის.

მოდიფიკატორის შემცველობა მოქმედებს აგრეთვე ბეტონის ჯდომის ზღვრულ დეფორმაციაზე (ნახ.5). იგი მინიმალურია  $\approx 10\%$ -მდე მოდიფიკატორის შემცველობისას, შემდეგ კი იზრდება ბეტონში პროცენტული შემცველობის გაზრდასთან ერთად.



ნახ.6. ცოცვადობის ზომის ცვლილება დროში სხვადასხვა სერიის ნიმუშებისათვის (1-1კ, 2-2კ, 3-3კ, 4-4კ)

ნახ.6-ზე შედარებისათვის მოცემულია კვლევის შედეგები ბეტონში ცოცვადობის დეფორმაციაზე 1კ, 2კ სერიის ნიმუშებისათვის. შემოთავაზებული მოდიფიკატორით 10%-მდე შემცველობის ბეტონის ცოცვადობის მაჩვენებელი (2კ სერია) მნიშვნელოვნად უკეთესია, ვიდრე ბეტონის მოდიფიკატორის გარეშე.

ამავე განყოფილებაში წარმოდგენილია საკვლევი ბეტონებისათვის განსაზღვრული დრეკადობის საწყისი მოდულის და კოეფიციენტების მნიშვნელობები. მათი სიდიდეები წარმოდგენილია ბეტონში მოდიფიკატორის შემცველობის მიხედვით.

ცოცვადობის ზომის დროში ცვლილების შედარება 1კ, 2კ, 3კ, 4კ სერიის ნიმუშებისათვის, შესაძლებელია კვლევის შედეგებით წარმოდგენილ ნახაზზე 6. აქ

თვალსაჩინოდაა წარმოდგენილი საკვლევი სერიის ნიმუშების ბეტონების უპირატესობა ერთმანეთის მიმართ.

### ზოგადი დასკვნები

1. ტრადიციული ბეტონების კვლევების ანალიზის საფუძველზე გამოვლენილია, რომ ცოცვადობის დეფორმაციის ცვლილების ხასიათი, ბეტონის მარკის გაზრდისას ლეზულობს ექსპონენტას სახეს, რომლის ასიმპტოტა ბეტონის მარკის 200-ის ზემოთ ცვლილებისას, შეიძლება ჩათვლილი იქნას წრფესთან მიახლოებულად. გამოვლენილი დამოკიდებულება შეიძლება გამოყენებული იქნას ტრადიციული ბეტონის წინასწარი შეფასების კრიტერიუმად, ხოლო ექსპონენტას წრფივი უბანი, ბეტონში ცოცვადობის დეფორმაციის მიხედვით, საჭირო ცემენტის შემცველობის განსაზღვრისათვის.
2. მაღალი სიმტკიცის მოდიფიცირებული ბეტონების კვლევების ანალიზის საფუძველზე შემოთავაზებულია მათი წინასწარი შეფასების კრიტერიუმი ე.წ. კვლევების განზოგადებული ემპირიული ინფორმაცია ცხრილის სახით. მისი საშუალებით ერთი კონკრეტული ექსპერიმენტის ცოცვადობის დეფორმაციის მიხედვით ბეტონი შეიძლება შედარდეს რომელიმე ცნობილ მაღალი სიმტკიცის ბეტონს.
3. ბეტონში ცოცვადობის დეფორმაციაზე, შემოთავაზებული მოდიფიკატორის პროცენტული შემცველობის გავლენის კვლევებმა აჩვენა, რომ მოდიფიკატორის გაზრდისას ცოცვადობა მცირდება და მინიმალურია 10%-მდე შემცველობისას. მოდიფიკატორის შემდგომი გაზრდით 50%-მდე ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაცია იზრდება.
4. ბმქ-კ მოდიფიკატორით მოდიფიცირებული ბეტონების პრიზმული სიმტკიცის დროში ცვლილების კვლევებმა აჩვენა, რომ საკვლევი სერიის ნიმუშების ბეტონის სიმტკიცე შესაბამისობაშია მათი ცოცვადობის დეფორმაციის სიდიდესთან. კერძოდ, დაბალი ცოცვადობის დეფორმაციის მქონე სერიის ბეტონის ნიმუშების სიმტკიცე, უფრო მაღალი ცოცვადობის დეფორმაციის მქონე სერიის ბეტონის ნიმუშების სიმტკიცეზე მაღალია.

5. ბეტონის ჯდომის დეფორმაციის კვლევებმა აჩვენა, რომ შემოთავაზებული მოდიფიკატორის 10% და 20%-მდე შემცველობის ბეტონების ჯდომის დეფორმაციის სიდიდე დაბალია, ტრადიციული და 50%-მდე ბმქ-კ მოდიფიკატორის შემცველ ბეტონების ჯდომის დეფორმაციაზე. ასევე იგი დაბალია 20%-მდე მოდიფიკატორის შემცველ მძიმე ბეტონის ჯდომის დეფორმაციის სიდიდეზე.
6. ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ პრიზმული სიმტკიცე კუმშვაზე დამოკიდებულია საკვლევი ბეტონების ნიმუშების ზომებზე. ექსპერიმენტული მონაცემებით დასტურდება, რომ 10%-მდე და 20%-მდე მოდიფიკატორის შემცველი წვრილმარცვლოვანი ბეტონების სიმტკიცე კუმშვაზე მაღალია და პრაქტიკულად არ ჩამოუვარდება 20%-მდე მოდიფიკატორის შემცველ მძიმე ბეტონის კუმშვის სიმტკიცის მონაცემებს.
7. განსაზღვრულია 10%, 20%-მდე მოდიფიკატორის შემცველი ბეტონების სიმტკიცე გაჭიმვაზე. იგი პრაქტიკულად უტოლდება ამავე მოდიფიკატორის 20%-მდე შემცველ მძიმე ბეტონის სიმტკიცეს.
8. ახალი მოდიფიკატორის შემცველ ბეტონებისათვის განსაზღვრულია პუასონის კოეფიციენტების და დრეკადობის საწყისი მოდულის კოეფიციენტების მნიშვნელობები. ისინი სრულ შესაბამისობაშია სხვა წვრილმარცვლოვანი მოდიფიცირებული ბეტონების ანალოგიურ მონაცემებთან.
9. ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების გამოვლენის მიზნით ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევები მიუთითებს იმაზე, რომ შემოთავაზებული ახალი მოდიფიკატორის 10% და 20%-ის ფარგლებში შემცველი ბეტონები ფლობენ უკეთეს ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს და იგი არ ჩამოუვარდება ცნობილი მოდიფიცირებული ბეტონების ანალოგიურ მაჩვენებლებს.



სადისერტაციო თემაზე ავტორის მიერ გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:

1. გ. ვ. როსნაძე, ა. ვ. კანკავა, პ. ნ. ყიფიანი, მ. შ. შალამბერიძე. მაღალი სიმტკიცის წვრილმარცვლოვანი ბეტონი ახალ მოდიფიკატორზე. „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“, N1/92, თბილისი, 2021, გვ. 89-92.
2. გ. ვ. როსნაძე, ა. ვ. კანკავა, მ. შ. შალამბერიძე, ბ. რ. ბანძელაძე. ტრადიციული და მაღალი სიმტკიცის ბეტონების შეფასების კრიტერიუმები. „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“ N1/92 , თბილისი, 2021, გვ. 93-97.
3. გ. ვ. როსნაძე, ა. ვ. კანკავა, ბ. რ. ბანძელაძე, მ. შ. შალამბერიძე. ახალი შემადგენლობის წვრილმარცვლოვანი ბეტონის სიმტკიცის კვლევა. „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“, N2/93, თბილისი, 2021, გვ. 25-28.
4. G. V. Rosnadze, B. R. Bandzeladze, M. Sh. Shalamberidze. Research Results of Concrete made on a new Modifier. The Organizing Committee of II scientific-practical seminar "European innovative technologies in the field of construction and environmental engineering." Tbilisi, 2021.