

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

თამარ პეტრიაშვილი

ენერგოდამზოგავი სამშენებლო მასალების წარმოების  
ტექნოლოგიების შემუშავება საქართველოს თიხოვანი  
ქანების საფუძველზე

სადოქტორო პროგრამა- ქიმიური და ბიოლოგიური  
ინჟინერია შიფრი- 0711

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2022 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტზე და კავკასიის ალექსანდრე თვალჭრელიძის მინერალური ნედლეულის ინსტიტუტში სილიკატებისა და სამშენებლო მასალების განყოფილებაში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი : პროფ. მათა მშვილდაძე  
აკად.დოქტორი ელენა შაფაქიძე

რეცენზენტები: -----  
-----

დაცვა შედგება ----- წლის ”-----” -----, ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე,

კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი -----

## შესავალი

**თემის აქტუალურობა.** საქართველოში, ზოგადად და განსაკუთრებით სამშენებლო სექტორში ენერგოეფექტურობის საკითხი აქტუალურია. საზოგადოებრივი, სამრეწველო შენობები და საბინაო ფონდი დაძველდა და ითხოვს ქმედით ზომებს ენერგოეფექტურობის ასამაღლებლად. იგივე მოთხოვნებია ახალი შენობების მიმართ, რომლებიც თბოიზოლაციის დაბალი სიდიდეების მქონე საშენი მასალებით შენდება. ევროკავშირთან ასოცირების ხელშეკრულება გვავალდებულებს: „ენერგოეფექტურობისა და ენერჯის დაზოგვის ხელშეწყობას ეკონომიკურად და ეკოლოგიურად გამართლებული გზით“. ყოველივე ეს, კი იმ ფონზე, როდესაც საქართველოში შენობების ფართის  $1\text{მ}^2$  -ის გათბობაზე 2-4 ჯერ მეტი ენერგომატარებლის რაოდენობა იხარჯება, ვიდრე ევროკავშირის ქვეყნებში.

ბოლო რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში ცემენტ/ბეტონო ითვლება ძირითად სამშენებლო მასალად და მოთხოვნა მასზედ განუხრელად იზრდება. ამავე დროს, ცემენტის წარმოება ითვლება ერთ-ერთ ყველაზე ენერგოტევად წარმოებად მსოფლიოში, რაც ძლიერ აბინძურებს გარემოს და თანამედროვეობის უმნიშვნელოვანეს პრობლემას წარმოადგენს.

ცემენტის ძირითადი კომპონენტის - კლინკერის გამოწვა ხდება  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ზე და იხარჯება 4,2 მლნ. კ ჯ/ტ სითბო, ხოლო გარემოში მონაცემებით გამოიყოფა დიდი ოდენობით - 742 - 825 კგ/ტ კლინკერზე „სათბურის აირი“ -  $\text{CO}_2$ .

ცემენტის წარმოება მესამე ადგილზეა მსოფლიოში სატრანსპორტო და მეტალურგიული წარმოებების შემდეგ ატმოსფეროში გამონაბოლქვი  $\text{CO}_2$ -ის რაოდენობით.

ევროკავშირთან ასოცირების ხელშეკრულებით საქართველო ვალდებულია 20 %-ით შეამციროს „სათბურის აირების“ ემისია.

ცემენტის (კლინკერის) წარმოების ასეთი დიდი მოცულობა ეკოლოგიურ საფრთხეს უქმნის გარემოს.

ამ პრობლემის გადაჭრის ერთ-ერთი მიმართულებაა ეფექტური პუცოლანური დანამატების გამოყენება, რაც ცემენტში კლინკერის წილის შემცირებას, და შესაბამისად, ენერგორესურსების დაზოგვას განაპირობებს.

უკვე 30 წელზე მეტია საქართველოს ცემენტის წარმოება ადგილობრივი ეფექტური პუცოლანური დანამატის დეფიციტს განიცდის.

ცემენტ/ბეტონისათვის ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტურ პუცოლანურ დანამატად ითვლება მეტაკაოლინი ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ), რომელიც მიიღება კაოლინური თიხების ტემპერატურული მოდიფიცირებით  $500-800^{\circ}C$ -ზე.

საქართველოში კაოლინური თიხების საბადოები არ არის, ამიტომ მნიშვნელოვანია მეტაკაოლინის მსგავსი მინერალის მიღება ჩვეულებრივი პოლიმინერალური თიხოვანი ქანებისგან, როგორცაა: ადვილლობადი თიხები, არგილიტები და თიხაფიქალები, რომელთა მარაგები უხვადაა.

ადგილობრივი თიხოვანი ქანების ტემპერატურული მოდიფიცირებით ცემენტის პუცოლანური დანამატის მიღების ტექნოლოგია საქართველოში ამჟამად დანერგილი არ არის.

ენერგოეფექტურობა - ენერგეტიკული მარაგების ეფექტიანი (რაციონალური) გამოყენებაა. ენერგოეფექტურობა მნიშვნელოვანი სტიმულია ქვეყნის ეკონომიკისთვისაც. ასეთ ეკონომიკას ენერჯის ნაკლები ხარჯით შეუძლია განვითარება. შედეგად, ენერგოეფექტურობით მნიშვნელოვანი სარგებლის მიღება შეუძლია, როგორც ინდივიდს, ასევე მთელ ქვეყანასა და მსოფლიოს. ეს სარგებელი შეიძლება მრავალფეროვანი იყოს, მაგრამ ძირითადი ასპექტები, რატომაც ადამიანები, კომპანიები და მთავრობები ენერგოეფექტურობის პროცესს ახორციელებენ, შემდეგია:

1. იძლევა ფინანსური დანახარჯების ეკონომიას;
2. ახალი ტექნოლოგიების დანერგვით ავითარებს ეკონომიკას;
3. დადებით გავლენას ახდენს გარემოზე;
4. უზრუნველყოფს ენერგოუსაფრთხოებას.

თანამედროვე პირობებში სათბობი რესურსების დაზოგვის აუცილებლობამ მთელს მსოფლიოში ხელი შეუწყო ენერგოდამზოგავი ტექნოლოგიების განვითარებას, მათ შორის თბოსაიზოლაციო მასალების წარმოებას, რომელთა ძირითადი დანიშნულებაა ნაგებობების და ცხელი ზედაპირების თბური იზოლაცია თბოდანაკარგების თავიდან აცილების მიზნით.

სამშენებლო თბოსაიზოლაციო მასალების გამოყენება ხელს უწყობს ნაგებობების და კონსტრუქციების საერთო მასის შემცირებას, იზოგება საშენი მასალები - რკინა, აგური, ბეტონი და, რაც მთავარია, სათბობი რესურსები.

მსოფლიოში ამჟამად იწარმოება ორგანული თუ არაორგანული წარმოშობის სხვადასხვა სტრუქტურის თბოსაიზოლაციო მასალა როგორც დაყალიბებული ნაკეთობის (ფილები, ბლოკები) ფორმით, ასევე ნაყარის (ხრეში, მინერალური ბამბა, აფუებული პერლიტი) სახით განსხვავებული ტექნოლოგიების საფუძველზე.

თბოსაიზოლაციო მასალის ხარისხი განპირობებულია ფუნქციონალური და სამშენებლო-საექსპლუატაციო მაჩვენებლების ერთობლიობით, როგორცაა თბოგამტარობა, ფორიანობა, დაბალი მოცულობითი მასა, გამოყენების ტემპერატურა, ასევე მექანიკური სიმტკიცე, ქიმიური, წყლის, ბიოლოგიური და ტემპერატურის ზემოქმედების მიმართ მდგრადობა, ცეცხლმედეგობა. ორგანული წარმოშობის მასალებისგან განსხვავებით, არაორგანული მასალების უპირატესობას წარმოადგენს უფრო მაღალი სიმტკიცე, გამოყენების მაღალი ტემპერატურა, მდგრადობა მიკროორგანიზმების, მღრღნელების, ქიმიური რეაგენტების მიმართ, ცეცხლმედეგობა და ხანმედეგობა.

ტექნოლოგიური პროცესის სირთულე, ენერგოტევადი თბური აგრეგატების გამოყენების აუცილებლობა, ტიპიური მოწყობილობის და იაფი არადეფიციტური ნედლეულის არ არსებობა გარკვეულწილად ზღუდავს ქაფმინის ფართოდ გამოყენებას.

**სამუშაოს მიზანი.** კვლევის მიზანს წარმოადგენს საქართველოს თიხოვანი ქანების (თიხაფიქალი, არგილიტი, ადვილლოზობადი თიხები) ტემპერატურული მოდიფიცირების ტექნოლოგიების შემუშავება შემდეგი ენერგოდამზოგავი სამშენებლო მასალების მისაღებად:

1. ცემენტ/ბეტონის პუცოლანური დანამატი;
2. ბეტონის მსუბუქი ფოროვანი შემავსებელი -კერამზიტი;
3. ფორიანი თბოსაიზოლაციო ფილები.

**კვლევის მეცნიერული სიახლე.** თანამედროვე მშენებლობაში უგულვებელყოფილია შენობების სითბოდაცვითი თვისებები, რის გამოც გაზრდილია ენერგომოხმარება ნაგებობების გათბობის მიზნით, მაშინ როცა საქართველოს საკუთარი სითბო-ენერგეტიკული წყაროები არ გააჩნია და არც თბოსაიზოლაციო მასალები იწარმოება, ენერგოდანაკარგების შემცირების ერთ-ერთ ხელშემწყობ საშუალებად შეიძლება ჩაითვალოს ახალი სამშენებლო თბოსაიზოლაციო მასალების წარმოება იაფი ბუნებრივი ნედლეულის საფუძველზე, მით უმეტეს, რომ საქართველოში მრავლად მოიპოვება ბუნებრივი მინერალური ნედლეული ეკოლოგიურად სუფთა თბოსაიზოლაციო მასალების საწარმოებლად.

შემუშავებულია თიხოვანი ქანებიდან პუცოლანური დანამატის მიღების ინოვაციური მეთოდი, რაც დაცულია საქართველოს პატენტით „ცემენტის პუცოლანური დანამატის მიღების ხერხი“ U 2021 2073 Y (გამოგონება დაჯილდოვებულია ბრინჯაოს მედლით სამხრეთ კორეის საერთაშორისო კონკურსზე 2021 წელს - N 2021-248).

**კვლევის ობიექტი და მეთოდები.** კვლევის ობიექტად შერჩეულია თიხაფიქალი მდ. დურუჯის ხეობიდან (ქ. ყვარლის მიმდებარე ტერიტორია); არგილიტი თელეთიდან; თიხა მეტეხიდან; თიხა მირიანიდან; თიხა გარდაბნიდან.

დისერტაციაში გამოყენებულია კვლევის სხვადასხვა მეთოდები: თიხების მინერალოგიურ-პეტროგრაფიული, დიფერენციალურ-თერმული,

რენტგენოგრაფიული, ნედლეულის სპექტრალური, ცემენტების ფიზიკურ-მექანიკური კვლევის მეთოდები.

**ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე.**  
შესწავლილი და შემუშავებულია ცემენტის მაღალეფექტური პუცოლანური დანამატის მიღების ტექნოლოგია ადგილობრივი არადეფიციტური პოლიმინერალური თიხოვანი ქანების: ადვილღობადი თიხების, არგილიტებისა და თიხაფიქალების ტემპერატურული მოდიფიცირებით 600-800°C ტემპერატურულ ინტერვალში.

დადგენილია თითოეული თიხოვანი ქანისთვის მოდიფიცირების ოპტიმალური ტემპერატურა, რაც კლინკერის მაქსიმალური ეკონომიის და ცემენტის მექანიკური სიმტკიცის გაზრდის საშუალებას იძლევა.

შემუშავებულია თიხოვანი ქანებიდან პუცოლანური დანამატის მიღების ინოვაციური მეთოდი, რაც დაცულია საქართველოს პატენტით „ცემენტის პუცოლანური დანამატის მიღების ხერხი“ U 2021 2073 Y (გამოგონება დაჯილდოვებულია ბრინჯაოს მედლით სამხრეთ კორეის საერთაშორისო კონკურსზე 2021 წელს - № 2021-248).

შესწავლილია მსუბუქი ბეტონის შემავსებლის - კერამზიტის მიღების ენერგოდამზოგავი ტექნოლოგია, რომელიც გამორიცხავს ნედლეულის ნარევის წმინდად დაფქვას, გრანულირებას და გრანულების წინასწარ გამოშრობას ლუმელში მიწოდებამდე, რაც საწარმოო ციკლში ენერგოტევად პროცესებს გამორიცხავს. ტექნოლოგია მარტივდება, ადგილი აქვს სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების ეკონომიას, ხოლო მიღებული პროდუქცია - კერამზიტი გამოირჩევა განსაკუთრებული სიმსუბუქით და მაღალი თბოსაიზოლაციო თვისებებით.

თიხოვანი ქანების საფუძველზე შემუშავებულია ფორიანი თბოსა-იზოლაციო ნაკეთობების მიღების ახალი გამარტივებული ტექნოლოგია, რომელიც გამორიცხავს სპეციალური ცეცხლგამძლე ფორმების და ამაფუ-ელები დანამატების გამოყენებას (განაცხადი გაგზავნილია „საქპატენტში“ სასარგებლო მოდელის დასაპატენტებლად).

**შედეგების გამოყენების სფერო.** კვლევის შედეგების გამოყენება შესაძლებელია საფუძვლად დაედოს ადგილობრივი არადეფიციტური თიხოვანი ქანების (ადვილლლობადი თიხების, არგილიტების და თიხაფიქალების) საფუძველზე ენერგოდამზოგავი სამშენებლო მასალების: ცემენტბეტონის მაღალაქტიური პუცოლანური დანამატის, მსუბუქი ბეტონის შემავსებლის - კერამზიტის და ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნაკეთობების წარმოებას საქართველოში.

შემუშავებული სამშენებლო მასალების წარმოების ტექნოლოგიები, თავის მხრივ, ენერგოდამზოგავია, აქამდე არსებულ ცნობილ ტექნოლოგიებთან შედარებით, ხოლო ამ მასალების ფართოდ გამოყენება სამშენებლო საქმეში - ენერჯის დაზოგვის პრევენციის მატარებელი.

**დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა.** დისერტაცია შეადგენს 115 ნაბეჭდ გვერდს. ნაშრომი შეიცავს შემდეგ თავებს: რეზიუმეს ორ ენაზე (ქართული და ინგლისური), შინაარსს, შესავალს, ლიტერატურის მიმოხილვას, ექსპერიმენტულ ნაწილს (2თავი და 22 ქვეთავი) დისერტაციის დასკვნებს, გამოყენებული ლიტერატურის სიას, დანართებს, 25 ცხრილს, 20 სურათს.

**ნაშრომის აპრობაცია.** კვლევის შედეგები წარდგენილია 4 კონფერენციაზე და მიღებულია ერთი პატენტი:

1. Shapakidze E., Kamushadze I., Gabunia L., Gejadze I., Petriashvili T., 7th Internatonal scientific-Practical Conference on Up-to-tade Problems of Geology, Innovative Technology Of Obtaining Nev Enviromentally Friendly Heatinsulating Material, 28-29 ოქტომბერი, თბილისი, 2021.
2. Shapakidze E., Kamushadze I., Gabunia L., Gejadze I., Skhvitaridze R., Makadze M., Petriashvili T., 7th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2021), Innovative Technologies For The Production Of Ceramic Building Materials From Waste Of Natural (Exogenous) Processes, 6-10 სექტემბერი, პრაღა, 2021.



3. Shpakidze E., Skhvitaridze R., Kamushadze I., Gabunia L., Gejadze I., Petriashvili T., In memory of Prof. Alex Gerasimov initiator of GTU's nanoconferences, Modification Of Clay Rocks For Obtaining a Highly Active Pozzolanic Admixture, 4-7 ოქტომბერი, თბილისი, 2021.
4. Shpakidze E., Skhvitaridze R., Gejadze I., Kamushadze I., Gabunia L., Petriashvili T., 6th International scientific-Practical Conference on Up-to-date Problems of Geology, The technology for producing a highly active pozzolanic additive based on thermally modified clay rocks for cement/concrete, 24-25 სექტემბერი, თბილისი, 2020.
5. პატენტმფლობელი: შაფაქიძე ე., სხვიტარიძე რ., ქამუშაძე ი., გაბუნია ლ., გეჯაძე ი., ნადირაშვილი მ., მაისურაძე ვ., პეტრიაშვილი თ. ივ ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდი. დასახელება: ცემენტის პუცოლანური დანამატის მიღების ხერხი. სასარგებლო მოდელი U 2021 2073 Y. რეგისტრაციის თარიღი: 12-03-2021.

## 1. ძირითადი შინაარსი

### 1.1. თიხების, არგილიტებისა და თიხაფიქალების შერჩევა და მათი შესწავლა

ძირითად ნედლეულად შერჩეული იქნა მეტეხის, მირიანის, გარდაბნის ადვილლლობადი თიხები, თელეთის არგილიტი და მდ. დურუჯის ხეობის (ყვარლის მიმდებარე ტერიტორია) თიხაფიქალები.

აღნიშნული თიხოვანი ქანების სინჯები წინასწარ დამუშავდა: გამოშრა, დაიმსხვრა, დაიფქვა და გაიცრა 1.0-0.16მმ საცრებში და განისაზღვრა თითოეული მათგანის ქიმიური შედგენილობა.

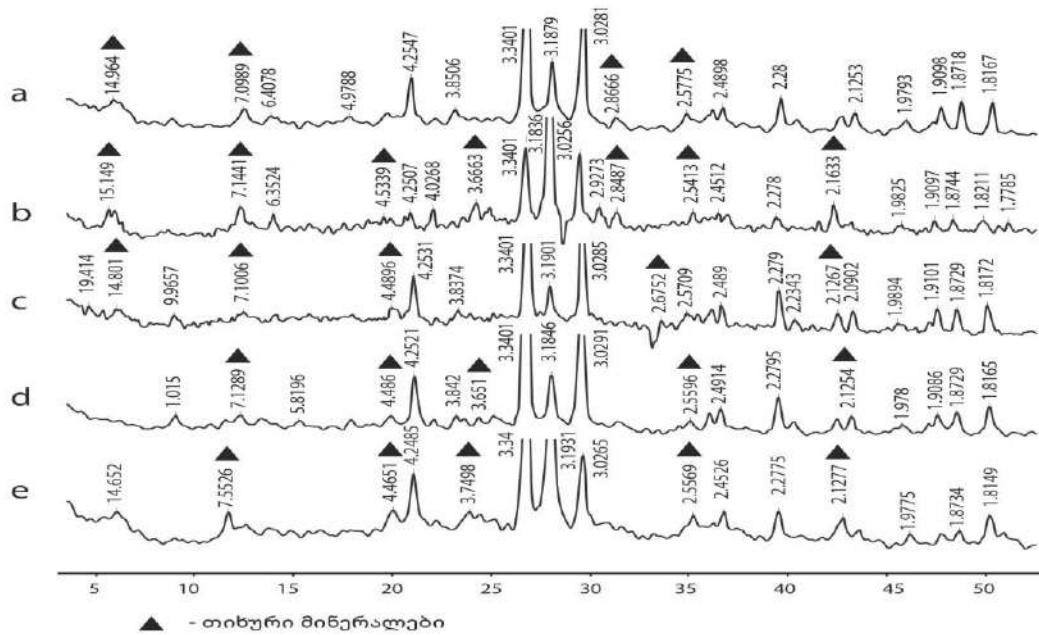
ცხრილში 1 მოყვანილია თიხური ქანების ქიმიური ანალიზების შედეგები.

**ცხრილი 1. თიხოვანი ქანების ქიმიური შედგენილობები, მას. %**

№	ბ.დ.	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
1	13.70	49.35	0.24	11.20	4.55	-	0.24	13.55	2.28	0.55	1.13	1.73
2	15.16	46.71	0.42	13.20	4.19	-	0.10	15.5	1.40	0.73	1.34	1.05
3	10.60	52.84	-	15.07	6.47	-	-	7.06	2.49	1.36	1.19	2.17
4	7.01	47.19	-	15.90	13.36	-	0.10	6.30	4.10	1.39	2.86	1.30
5	4.50	59.95	0.89	17.30	3.45	3.65	0.59	1.53	2.43	0.30	2.20	2.20

№1 - თიხა (მეტეხი), №2 - თიხა (მირიანი), №3 - თიხა (გარდაბანი), №4 - არგილიტი (თელეთი), №5 - თიხაფიქალი (ყვარელი).

აღნიშნულ თიხოვან ქანებზე ჩატარებული იქნა მიკროსკოპიულ-პეტროგრაფიული და რენტგენოფაზური კვლევები. სურათზე 1 წარმოდგენილია საკვლევი თიხების რენტგენოგრამები, სადაც ფიქსირდება თიხური მინერალების - ქლორიტის, მონტმორილონიტის (14.66 - 14.96, 7.14, 4.25, 3.66, 2.86, 2.327 Å); კვარცის (3.34 Å); მინდვრის შპატების (3.87 Å) და კარბონატის (3.03 Å) არსებობა.

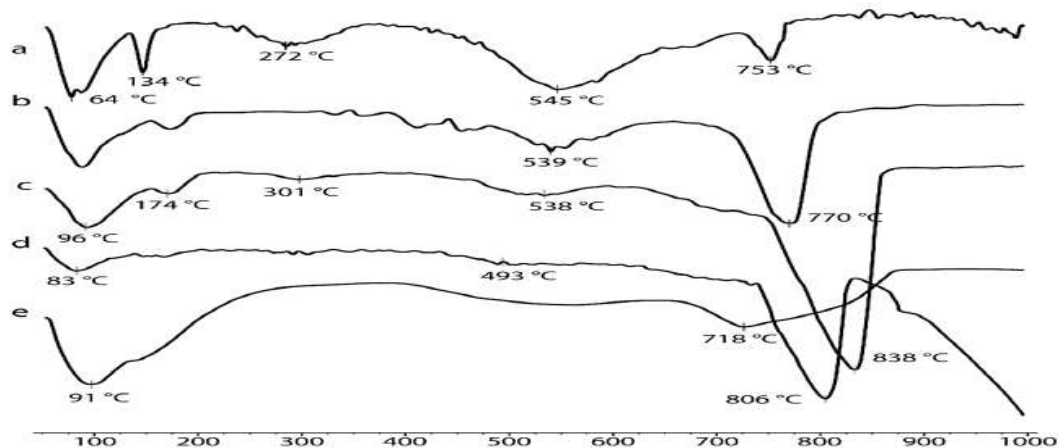


**სურათი 1. თიხოვანი ქანების რენტგენოგრამები:**

a – თიხაფიქალი, b – არგილიტი, c - თიხა (მეტეხი),  
d - თიხა (მირიანი), e - თიხა (გარდაბანი);

თიხოვანი ქანების თერმული მოდიფიცირების ტემპერატურის დასადგენად, ანუ იმ ტემპერატურული ინტერვალის დასაფიქსირებლად, რომელშიც ეს ქანები აქტიურ - რეაქციის უნარის მქონე ფორმაში გადადიან, ჩატარდა დიფერენციალურ-თერმული ანალიზები. DTG მრუდები წარმოდგენილია სურათზე 2.

ენდოფექტის პიკი შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე აღინიშნება გარდაბნის თიხას (718°C), რაც მეტყველებს ამ თიხის თვისებაზე, კარგად დაექვემდებაროს ტემპერატურულ გააქტიურებას - მოდიფიცირებას.



სურათი 2. თიხოვანი ქანების DTG მრუდები

a – თიხაფიქალი, b – არგილიტი, c - თიხა (მეტეხი),  
d - თიხა (მირიანი), e - თიხა (გარდაბანი);

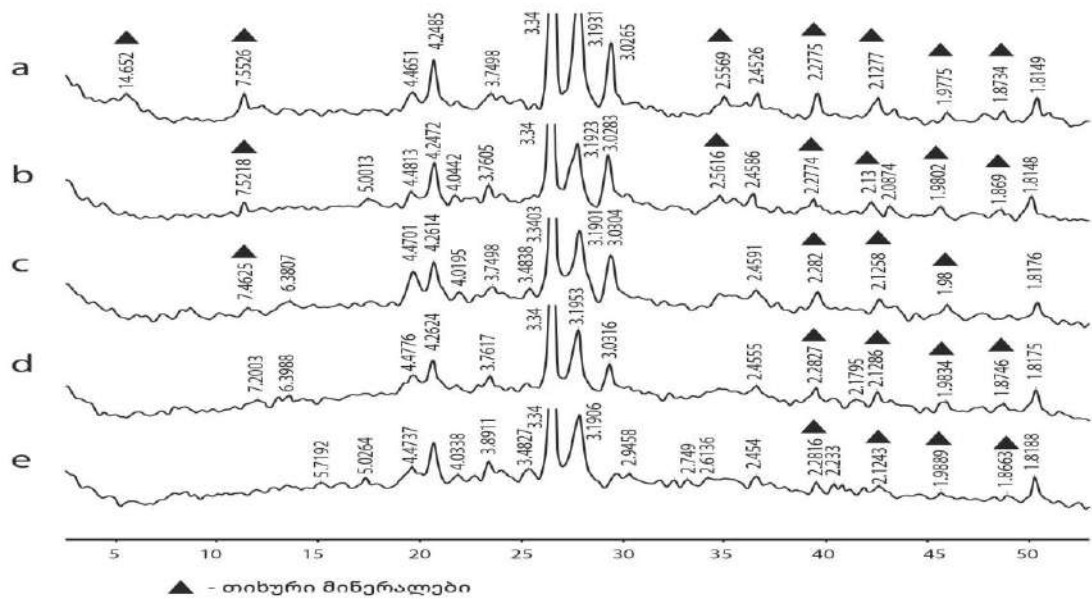
## 1.2. თიხოვანი ქანების თერმული მოდიფიცირება ცემენტის პუცოლანური დანამატის მიღების მიზნით

გარდაბნის თიხის მინერალური შედგენილობის ტემპერატურული ცვალებადობის დასადგენად, თიხის გახურებას ვახდენდით ლაბორატორიულ ელექტრომუფელის ღუმელში გახურებით 550, 600, 700 და 800°C ტემპერატურებზე 1სთ დაყოვნებით. გამომწვარ ნიმუშებს ჩაუტარდა რენტგენოგრაფიული ანალიზები (სურ. 3).

რენტგენოგრამებზე (სურ. 3) ნათლად იკვეთება მასალის ფაზური შემადგენლობის ცვალებადობა გამოწვის ტემპერატურის მატებასთან ერთად. გამოუწვავი თიხის რენტგენოგრამაზე (a) აღინიშნება მინერალი ქლორიტი (14.66, 7.55, 4.46, 3.74 Å). ტემპერატურის მატებასთან ერთად (b, c, d, e) ქლორიტის შემცველობა იკლებს და ჩნდება რენტგენოამორფული ფაზა (რენტგენოგრამა ღებულობს ამობურცულ ფორმას).

როგორც ჩანს, თიხოვანი ქანების ტემპერატურული დამუშავების შედეგად, დაწყებული 550°C-დან იწყება თიხის კრისტალური მესრის ნაწი-

ლობრივი დაშლა და თიხის შემცველი ოქსიდები  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  და  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  რენტგენოამორფულ ფაზაში გადადიან, ანუ თიხა იძენს პუცოლანურ თვი-



სურათი 3. გარდაზნის თიხის რენტგენოგრამები

a – საწყისი (გამოუწვავი), b – გამომწვარი 550°C-ზე, c – გამომწვარი 600°C-ზე, d – გამომწვარი 700°C-ზე, e – გამომწვარი 800°C-ზე.

სებებს (გამყარებად ცემენტში კალციუმის ჰიდროქსიდთან შებმას და მის კალციუმის უხსნად ჰიდროსილიკატებში გადაყვანას). ტემპერატურის მატებასთან ერთად 800°C-მდე თიხის კრისტალური მესერი მთლიანად იშლება და ამორფული ფაზის შემცველობა იზრდება, ხოლო თიხის პუცოლანური თვისებები - უმჯობესდება.

### 1.3. თერმულად დამუშავებული თიხოვანი ქანების პუცოლანური აქტიურობის შესწავლა და ცემენტების ფიზიკურ-მექანიკური ტესტირება

ჩატარდა თიხოვანი ქანების: თიხაფიქალის, არგილიტის და ადვილ-ლლობადი თიხების თერმული დამუშავება შემდეგი რეჟიმით:

#### №1

- ა) გახურება 20-დან 600 °C-მდე 2სთ;
- ბ) დაყოვნება 600 °C-ზე 1სთ;
- გ) ბუნებრივი გაცივება.

#### №2

- ა) გახურება 20-დან 700 °C-მდე 2სთ;
- ბ) დაყოვნება 700 °C-ზე 1,1სთ;
- გ) ბუნებრივი გაცივება.

### №3

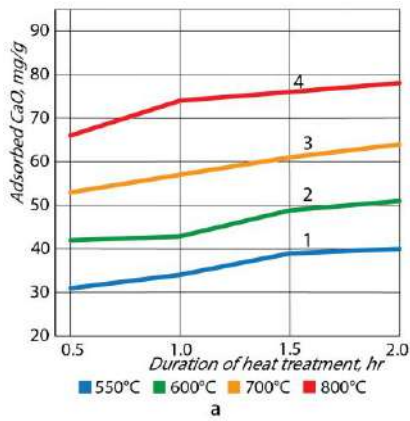
- ა) გახურება 20-დან 800 °C-მდე 2სთ;
- ბ) დაყოვნება 800 °C-ზე 1,2 სთ;
- გ) ბუნებრივი გაცივება.

თერმულად დამუშავებული თიხოვანი ქანების პუცოლანური აქტიურობა განისაზღვრა GOST R 56592-2015 (Mineral admixtures for concretes and mortars. General specifications) და ГОСТ Р 56593-2015 (Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов. Методы испытаний) მიხედვით, რაც ნაჯერი ხსნარიდან შთანთქმული კირის რაოდენობით გამოითვლება. ჩატარებული კვლევების მიხედვით (სურ. 4) დადგინდა, რომ ყველა საკვლევი თიხოვანი ქანი სხვადასხვა პუცოლანური აქტიურობით ხასიათდება თერმოდამუშავების ტემპერატურის მიხედვით. სტანდარტის მიხედვით დანამატი ითვლება მაღალი პუცოლანური აქტიურობის მქონედ, თუ მის მიერ ნაჯერი ხსნარიდან შთანთქმული კირის - CaO-ს რაოდენობა მეტია 70მგ/გ-ზე, საშუალო პუცოლანური აქტიურობის მქონედ - 30მგ/გ-დან 70მგ/გ-მდე და დაბალი პუცოლანური აქტიურობის მქონედ - 30მგ/გ-ზე ნაკლები.

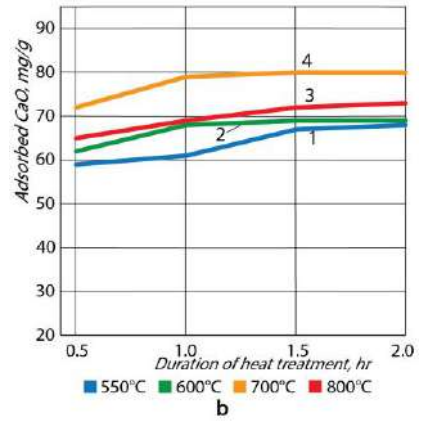
სურათზე 4 წარმოდგენილია ნაჯერი ხსნარიდან CaO-ს შთანთქმის კინეტიკა მოდიფიცირებული თიხოვანი ქანების მიერ. გარდაბნის თიხამ (e) გამოავლინა CaO-ის ყველაზე მაღალი შთანთქმის უნარი ცდების ყველა ეტაპზე. 700°C-ზე დამუშავებული გარდაბნის თიხის მიერ შთანთქმული CaO-ს რაოდენობამ 90მგ/გ-ზე გადააჭარბა, რაც მის მაღალ პუცოლანური აქტიურობაზე მეტყველებს (სურ.4).

თერმულად დამუშავებული თიხოვანი ქანების რეაქციისუნარიანობა კირის მიმართ განპირობებულია იმით, რომ 600—800°C-ზე თიხოვანი ქანების ძირითადი კომპონენტი - კაოლინიტი -  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  განიცდის გაუწყლოებას, მისი კრისტალური მესერი იშლება და წარმოიქმნება კაოლინიტის ანჰიდრიდი - მეტაკაოლინი ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ), ამორფული მაღალაქტიური ნაერთი.

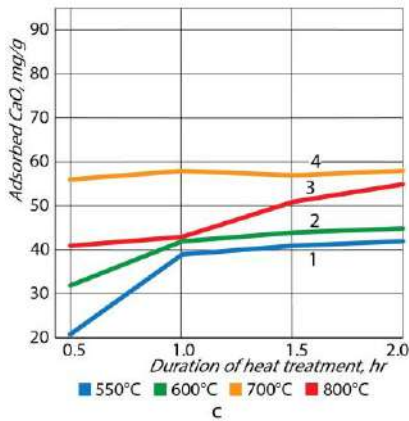
**a – თიხაფიქალი**



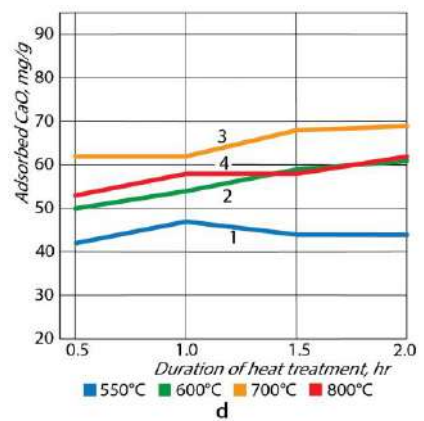
**b – არგილიტი**



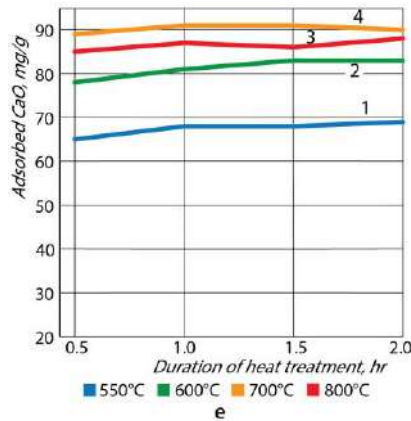
**c - თიხა (მეტეხი)**



**d - თიხა (მირიანი)**



**e - თიხა (გარდაბანი)**



სურათი 4. ნაჯერი ხსნარიდან CaO-ს შთანთქმის კინეტიკა თიხოვანი ქანების მიერ

a – თიხაფიქალი, b – არგილიტი, c - თიხა (მეტეხი),

d - თიხა (მირიანი), e - თიხა (გარდაბანი);

ცემენტების ფიზიკურ-მექანიკური ტესტირებისათვის დამზადდა შემდეგი შემადგენლობის ცემენტები:

10 ც. ცემენტი - 20% თიხაფიქალის, 20% არგილიტის და 20% თიხების დანამატით, 700 და 800°C-ზე მოდიფიცირებული;

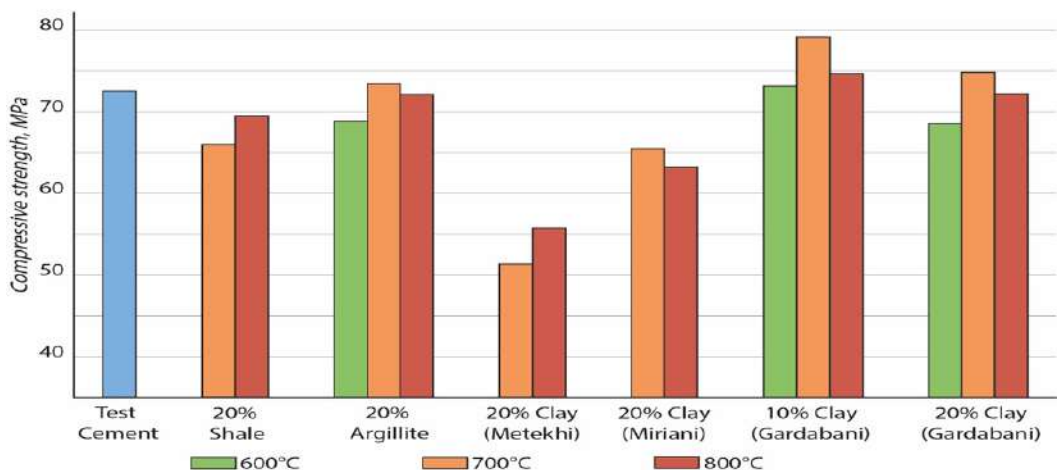
2 ც. ცემენტი - 20% არგილიტის და 20% გარდაბნის თიხის დანამატით 600°C-ზე მოდიფიცირებული;

3 ც. ცემენტი - 10% გარდაბნის თიხის დანამატით 600, 700 და 800°C-ზე მოდიფიცირებული;

1 ც. ცემენტი - საკონტროლო დამზადდა შესადარებლად დანამატის გარეშე, რომელთა გამოცდის შედეგებიც გრაფიკულად წარმოდგენილია სურათზე 5.

სიმტკიცის ყველაზე მაღალი შედეგები (სურ. 5) აჩვენა 700°C-ზე მოდიფიცირებული გარდაბნის თიხის (10% და 20%) და არგილიტის (20%) დამატებამ. ტემპერატურის მატებასთან ერთად 800°C-მდე ცემენტების სიმტკიცე კლებულობს. თუმცა, თიხაფიქალის შემთხვევაში ცემენტების სიმტკიცე მატულობს ტემპერატურის მატებასთან ერთად 700°C-დან 800°C-მდე.

სავარაუდოდ, ცემენტის ჰიდრავლიკურ აქტიურობაზე მოქმედებს დანამატის მინერალოგიური შედგენილობა, მათი თერმული დამუშავებისას სტრუქტურული გარდაქმნების უნარი, რის შედეგადაც წარმოიქმნება აქტიური ნაერთები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ცემენტის მექანიკური სიმტკიცის მატებას.



სურათი 5. ცემენტის ცომის კუბების (20x20x20მმ) ჰიდრავლიკური აქტიურობა 28 დღე-ღამის გამყარების შემდეგ, დანამატის სხვადასხვა შემცველობით (%), სხვადასხვა ტემპერატურაზე გამომწვარი (°C) და 1 სთ დაყოვნებით

საბოლოოდ, სტანდარტული გამოცდებისთვის შეირჩა სულ 7 შემადგენლობის ცემენტი. საკონტროლო ცემენტად შერჩეული იქნა „ჰაიდელბერგცემენტ ჯორჯია“-ს მიერ წარმოებული ცემენტი სიმტკიცის კლასით CEM I 42,5. ცემენტების ფიზიკურ-მექანიკური ტესტირება ჩატარდა 40x40x160მმ ზომის ძელაკებზე ევროსტანდარტების მოთხოვნების მიხედვით: EN 196-1, EN 196-3, EN 196-6. ცემენტების შემადგენლობები და ტესტირების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 2.

**ცხრილი 2. ცემენტების ფიზიკურ-მექანიკური ტესტირების შედეგები**

№	შედგენილობა	ნარჩენი 90მკმ საცერზე	შეკვრის ვადები, წუთ.		სიმტკიცის ზღვარი 28 დღ.დ., მპა		საშ. მაჩვ. მპა	ცვლილება, %
			დასაწყისი	დასასრული	ღუნვაზე	კუმშვაზე		
1	ცემენტი საკონტროლო	0	124	174	4.2 5.3 4.5	46.6 46.6 51.6 48.7 49.7 41.9	47.5	0
2	80% ცემ. + 20% ფიქალი (800°C)	0.05	123	182	6.7 7.1 7.3	44.6 48.5 49.6 49.5 50.5 48.7	48.6	+2.3
3	80% ცემ. + 20% არგილიტი (700°C)	0.03	137	172	6.4 5.8 6.2	50.5 52.0 49.6 47.1 51.0 49.3	49.9	+10.5
4	80% ცემ. + 20% თიხა (გარდაბანი) (600°C)	0.02	150	195	5.3 4.7 4.9	48.6 47.9 46.2 46.8 42.8 45.8	46.4	-2.3
5	94% ცემ. + 6% თიხა (გარდაბანი) (700°C)	0.01	143	208	7.0 7.3 7.4	52.6 54.2 56.9 56.3 56.8 53.7	55.1	+16.0
6	80% ცემ. + 20% თიხა (გარდაბანი) (700°C)	0.02	140	205	5.4 5.2 5.1	48.0 51.5 49.0 48.6	48.1	+1.3

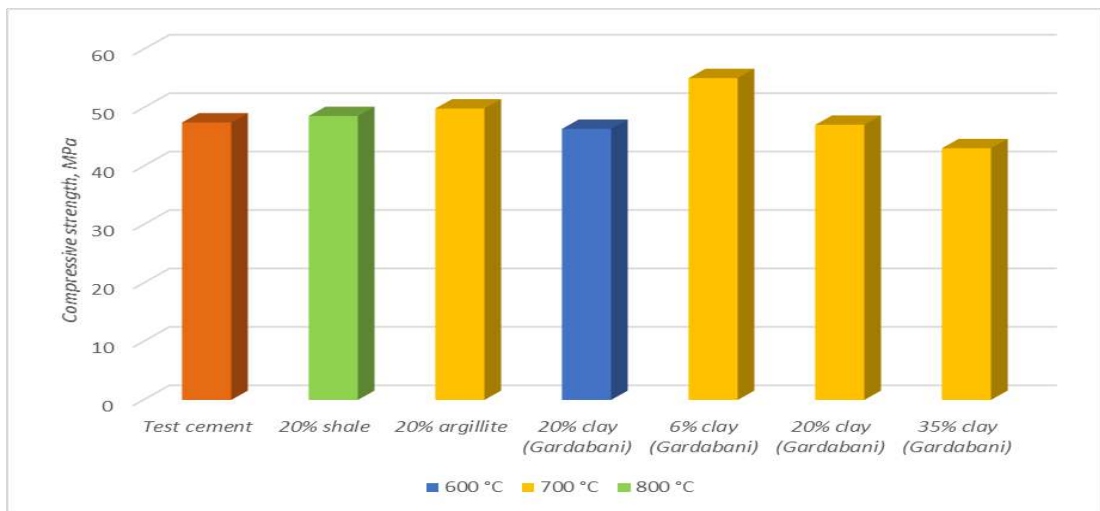


ცხრილი 2-ის გაგრძელება

						42.1		
						43.3		
7	65% ცემ. + 35% თიხა (გარდაბანი) (700°C)	0.03	170	245	4.2 3.3 4.6	44.0 41.1 43.3 44.3 42.2 43.8	43.1	-9.3

ცემენტების ფიზიკურ-მექანიკური ტესტირების შედეგები გრაფიკულად გამოსახულია სურათზე 6.

ყველა საცდელი ცემენტის სიმტკიცე მეტია საკონტროლოზე, გარდა №4 და №7 ცემენტებისა. თუმცა პუცოლანური დანამატის განმარტებიდან გამომდინარე, რომ სიმტკიცის კლების რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს დანამატის რაოდენობას, აქ დაცულია: დანამატის რაოდენობა №4 ცემენტში 20%-ია, ხოლო ცემენტის სიმტკიცემ დაიკლო მხოლოდ 2.3%-ით; ასევე №7 ცემენტში დანამატი 35%-ია, ხოლო ცემენტის სიმტკიცემ დაიკლო მხოლოდ 9.3%-ით.



სურათი 6. ცემენტის ხსნარის პელაკების (160x40x40 მმ) ჰიდრავლიკური აქტიურობა 28 დღე-ღამის გამყარების შემდეგ, დანამატის სხვადასხვა შემცველობით (%), სხვადასხვა ტემპერატურაზე გამომწვარი (°C) და 1 სთ დაყოვნებით

განსაკუთრებულ აღნიშვნას იმსახურებს №5 ცემენტი 6% გარდაბნის თიხის დანამატით (700°C). აქ ადგილი აქვს ცემენტის სიმტკიცის ერთი კლასით მომატებას: 42,5 კლასის ცემენტი გადადის 52,5 კლასში, რაც

სავარაუდოდ გამოწვეულია ცემენტის ქვის სტრუქტურის გაძლიერებით, რაც ცემენტების ჰიდრატაციის პროცესების შესწავლის საგანი გახდება.

#### **1.4. თერმულად მოდიფიცირებული თიხოვანი ქანებით- ბეტონის მსუბუქი ფოროვანი შემავსებლის კერამიტიკის მიღება**

ენერგოდამზოგავი სამშენებლო მასალების წარმოების ერთ-ერთი მთავარი მიმართულებაა მსუბუქი ბეტონების გამოყენება ფოროვან შემავსებელზე.

ფოროვანი შემავსებლის ერთ-ერთ ძირითად სახეობას კერამიტიკი წარმოადგენს. კერამიტიკი მიიღება თიხოვანი ქანების აფუების გზით.

კერამიტიკის წარმოების ტექნოლოგიური პროცესის არსი მდგომარეობს ნედლეული გრანულების გამოწვაში ოპტიმალური რეჟიმით. იმისთვის, რომ თიხის გრანულა აფუვდეს, აუცილებელია, რომ აქტიური აირგამოყოფა დაემთხვას თიხის გადასვლის ფაზას პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში.

თიხოვანი ქანების აფუების უნარის დასადგენად თავდაპირველად განისაზღვრა ნორმალური კონსისტენციის ცომის მისაღებად საჭირო წყლის რაოდენობა(18-22%), რის შემდეგაც მოიზილა დასაყალიბებელი სინესტის მქონე თიხების ცომი, დამზადა მისგან 3-20მმ დიამეტრის მქონე გრანულები, რომლებიც გამოშრა ბუნებრივ პირობებში ჰაერზე ოთახის ტემპერატურაზე ( $20 \pm 5$ )°C-ის ტემპერატურაზე 5 სთ განმავლობაში, ხოლო შემდეგ - საშრობ კარადაში ( $100 \pm 5$ )°C-ის ტემპერატურაზე.

თიხაფიქალის აფუება კერამიტიკის მისაღებად წარმოებდა როგორც ქვების-ნატეხების სახით, ასევე დაფქვისა და მათი გრანულების მეთოდითაც.

გრანულების თერმული დამუშავება აფუების უნარის განსაზღვრის მიზნით თავდაპირველად ჩატარდა სამ საფეხურიანი გამოწვის რეჟიმით, რომელიც გულისხმობს გამოშრობას, გადატანას 250°C გახურებულ ღუმელში, 20 წუთი დაყოვნებას და შემდგომ ტემპერატურის სწრაფად

აწევას 1100–1500–1200–1250°C, ტემპერატურაზე 10-10 წთ-იანი დაყოვნებით აღნიშნულ ტემპერატურებზე.

ამრიგად, ექსპერიმენტებმა გვიჩვენა ექსპერიმენტული ნედლეულის - ადგილობრივი თიხოვანი ქანების ვარგისიანობა აფუებული მასალის, ე. წ. კერამიტი მისაღებად, როგორც ამაფუებელი დანამატით, ასევე მის გარეშე. გამონაკლისს წარმოადგენს მირიანის თიხა, რომელსაც აფუების უნარი არ გააჩნია, ამიტომ შემდგომი ექსპერიმენტების მასზე არ გაგრძელეზულა. შემდეგი ექსპერიმენტები ჩატარდა ორსაფეხურიანი გამოწვის რეჟიმით, რომელიც გულისხმობს დაყალიბებული გრანულების შრობას 105 – 110°C ტემპერატურაზე და შემდგომ პირდაპირ ტემპერატურის სწრაფად აწევას უკვე შერჩეულ აფუების ოპტიმალურ ტემპერატურებზე და დაყოვნებას 15-15 წთ-ით. შედეგები მოცემულია ცხრილში 3.

**ცხრილი 3. თიხოვანი ქანების გრანულების ორსაფეხურიანი რეჟიმით თერმოდამუშავების შედეგები**

ნიმუშის დასახელება	თერმოდამუშავების ტემპერატურა - °C (დაყოვნების დრო - წთ)	ნიმუშის დახასიათება
მეტეხის თიხა	1180 - 1200 (15)	ნიმუშები აფუებული. წვრილი ფორებით. ზედაპირი მინისებური, გაკრიალებული. ფორმა გაბრტყელებული.
გარდაბნის თიხა	1170 - 1180 (15)	ნიმუშები ნორმალურად აფუებული. მოცულობაში თანაბრად განაწილებული წვრილი ფორებით.
არგილიტი	1180 – 1190 (15)	ნიმუშები ნორმალურად აფუებული. მოცულობაში თანაბრად განაწილებული ბრტყელი და წვრილი ფორებით.
თიხაფიქალი გრანულა	1200 – 1220 (15)	ნიმუშები ნორმალურად აფუებული. მოცულობაში თანაბრად განაწილებული საშუალო და წვრილი ფორებით.
თიხაფიქალი ქვა	1180-1200 (15)	ნიმუში აფუებულია, მოცულობაში არათანაბრად გადანაწილებული ფორებით.

ქვემოთ მოყვანილ სურათებზე (სურ. 7 - სურ. 12) ნაჩვენებია ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული კერამიტი ნიმუშები.



სურათი 7. კერამზიტი მიღებული გარდაბნის თიხისგან (10-20 მმ)



სურათი 8. კერამზიტი მიღებული თელეთის არგილიტისგან (5-20 მმ)



სურათი 9. კერამზიტი მიღებული ყვარლის თიხაფიქლისგან (5 მმ-მდე)



სურათი 10. კერამზიტი მიღებული ყვარლის თიხაფიქლისგან (5-10 მმ)



სურათი 11. კერამზიტი მიღებული ყვარლის თიხაფიქლისგან (10-20 მმ)



სურათი 12. კერამზიტი მიღებული ყვარლის თიხაფიქლისგან (20-40 მმ)

შესწავლილი იქნა ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული 10-20მმ ზომის კერამზიტის ძირითადი თვისებები (ცხრ. 4), რომელთა მნიშვნელობები გოსტი 9758-2012 მოთხოვნების ფარგლებშია.

ამრიგად, საქართველოს თიხოვანი ქანების: ყვარლის თიხაფიქალის, თელეთის არგილიტის და გარდაბნის თიხის ტემპერატურული მოდიფიცირებით 1170-1200 °C-ის ფარგლებში შესაძლებელია ბეტონის მსუბუქი შემავსებლის - კერამზიტის მიღება.

**ცხრილი 4. ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული კერამზიტის ძირითადი თვისებები**

ნედლეული	ნაყარი სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	მარკა ნაყარ სიმკვრივე	ჭეშ.სიმკვრივე, გ/სმ <sup>3</sup>	წყალშთანქმე, %	აფუების კოეფიციენტი, K	სითბოგამტარობის კოეფიციენტი, λ, ვატ/მ·K
გარდაბნის თიხა	675	M700	2,53	0.37	2.8	0.167
თელეთის არგილიტი	788	M800	2.70	0.48	2.5	0.172
თიხაფიქალი გრანულა	458	M350	2.42	1.36	3.1	0.145
თიხაფიქალი ქვა	275	M300	2.42	5.70	3.9	0.009

**1.5. კერამზიტისა და კერამზიტის ბაზაზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური ტესტირება**

მიღებული მსუბუქი შემავსებლების, კერამზიტის ბაზაზე გაანგარიშებულ იქნა მსუბუქი კონსტრუქციული ბეტონის შედგენილობები სამივე შემთხვევისათვის. ბეტონის მისაღები კლასია B12,5. ცემენტის ხარჯი სამივე მსუბუქ შემკვებზე დამზადებული ბეტონისათვის არის 290 კგ. არგილიტით, გარდაბნის თიხით და ღურუჯის თიხაფიქალით მიღებული კერამზიტბეტონებისაგან დამზადებული იქნა 3-3 კუბის ფორმის ნიმუში ზომებით 10x10x10 სმ. რომლებიც გამოიცადა კუმშვაზე სიმტკიცეზე. გამოცდის შედეგები მოცემულია ცხრილებში (5,6,7).

**ცხრილი 5. არგილტისგან მიღებული კერამზიტბეტონის ნიმუშების კუმშვაზე გამოცდის შედეგები**

№	ნიმუშის ზომები, სმ	ნიმუშის მოცულობითი მასა კგ/მ <sup>3</sup>	სიმტკიცის ზღვარი, მპა-ბში	ბეტონის უახლოესი მარკა, M	ბეტონის კლასი, B
1	10X10X10	1447,10	14,91	150	12,5
2	10X10X10	1457,50	15,34	150	12,5
3	10X10X10	1458,40	15,47	150	12,5
	საშუალო	1454,33	15,24	150	12,5

**ცხრილი 6. გარდაბნის თიხის კერამზიტბეტონის ნიმუშების კუმშვაზე გამოცდის შედეგები**

<i>N<sup>o</sup></i>	ნიმუშის ზომები, სმ	ნიმუშის მოცულობითი მასა კგ/მ <sup>3</sup>	სიმტკიცის ზღვარი, მპა-ბში	ბეტონის უახლოესი მარკა, M	ბეტონის კლასი, B
1	10X10X10	1540,4	20,65	200	15
2	10X10X10	1516,5	17,26	150	12,5
3	10X10X10	1517,8	18,84	200	15
	საშუალო	1524,9	18,92	200	15

**ცხრილი 7. თიხაფიქალის კერამზიტბეტონის ნიმუშების კუმშვაზე გამოცდის შედეგები**

<i>N<sup>o</sup></i>	ნიმუშის ზომები, სმ	ნიმუშის მოცულობითი მასა კგ/მ <sup>3</sup>	სიმტკიცის ზღვარი, მპა-ბში	ბეტონის უახლოესი მარკა, M	ბეტონის კლასი, B
1	10X10X10	1452,0	17,97	200	12,5
2	10X10X10	1477,9	18,96	200	15
3	10X10X10	1405,8	16,44	150	15
	საშუალო	1445,2	17,79	200	15

**1.6. ფორიანი თბოსაიზოლაციო მასალის მიღების ტექნოლოგიის შემუშავება თიხაფიქალების, თიხებისა და არგილიტების საფუძველზე**

ვინაიდან მდ. დურუჯის ხეობაში დაგროვილი თიხაფიქალების ნაშალი არაერთგვაროვანი ნარევისგან შედგება, ლაბორატორიაში ხეობის სხვადასხვა ადგილებიდან შემოტანილ იქნა სამი განსხვავებული სახეობის ნიმუში:

I - თიხაფიქალების ნარევი, რომელიც შედგება ქვების, ქვიშაქვების, კლდოვანი ნატეხებისგან;

II - მდინარის ლამი - წვრილმარცვლოვანი ქვიშის სახით.

ნედლეულის გრანულომეტრული შედგენილობის საკრითი ანალიზით გასაზღვრის შედეგები მოყვანილია ცხრილში 8.

**ცხრილი 8. თიხაფიქალების გრანულომეტრული შედგენილობა**

	ნედლეულის დასახელება	ნარჩენი საცერზე %-ში მარცვლების ზომების მიხედვით მმ-ში							
		>10	10-2,5	2,5-1	<1	1-0,5	0,5 -	0,25 -	<0,16
I	თიხაფიქალების ნარევი	41,4	35,8	12,3	10,5	-	-	-	-
II	მდინარის ლამი	-	-	-	8,15	7,53	7,0	10,18	67,15

როგორც ცხრილის 8 მონაცემებიდან ჩანს თიხაფიქალების I სახეობა საკმაოდ არაერთგვაროვანი შედგენილობისაა. ამ სახეობისათვის დამახასიათებელია 10მმ-ზე უფრო დიდი ზომის ქვების, ჩამონატეხების, ასევე წვრილი (10-2,5მმ) კენჭების და ქვიშის შემცველობა.

მდინარის ლამი ძირითადად ქვიშოვანი აგებულებისაა; ძირითადი ფრაქცია 1მმ-ზე ნაკლებია, განსაკუთრებით მაღალია წმინდა ფრაქციის ოდენობა - 0,16 მმ-ში გასული, რომელიც 67%-მდე აღწევს. თითოეული სახეობიდან შერჩეულ იქნა საშუალო სინჯები, რომელთა საფუძველზეც განისაზღვრა მათი ქიმიური შედგენილობა. შედეგები მოცემულია ცხრილში 9.

როგორც ცხრილ 9-ის მონაცემებიდან ჩანს, თიხაფიქალების ორივე სახეობისათვის დამახასიათებელია ძირითადი კომპონენტების SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> და Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO თითქმის ერთნაირი შემცველობა. ვინაიდან თიხაფიქალის I სახეობა ძალიან არაერთგვაროვანია, პარალელურად განისაზღვრა ქვიშოვანი ფრაქციის (<1მმ) ქიმიური შემადგენლობაც (ცხრ.9), რომელმაც გვიჩვენა SiO<sub>2</sub>-ის შემცირება 5%-ით სრულ ნარევთან შედარებით: 1%-ის ფარგლებში ცვლილება Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> და რკინის ოქსიდების რაოდენობებს შორის, ასევე CaO-ს 1,2%-ით მომატება, წვრილ ფრაქციაში გაზრდილი C და ჰუმუსის შემცველობაც.

ცხრილი 9. ნედლეულის ქიმიური შედგენილობა მასურ %-ში

№	ნედლეულის დასახელება	ხურბითი დაწვარევი	სინესტე	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
I	თიხაფიქალების ნარევი	4,5	0,68	59,0	0,89	18,8	6,51	0,23	
I	თიხაფიქალების ნარევი (<1მმ) ფრაქცია	6,43	2,97	53,8	0,82	17,2	7,39	0,32	
II	მდინარის ლამი	5,2	0,2	60,46	0,89	18,0	6,53	0,25	
		MnO	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	C	ჯამური
I	თიხაფიქალების ნარევი	0,23	1,52	1,75	0,23	2,1	3,0	1,74	3,0
I	თიხაფიქალების ნარევი (<1მმ) ფრაქცია	0,32	2,74	1,81	0,73	2,2	3,0	2,94	5,07
II	მდინარის ლამი	0,25	0,55	1,5	0,34	1,56	3,0	2,88	4,97

თიხაფიქალების კვლევით დადგინდა მათი რთული და მრავალფეროვანი მინერალოგიური აღნაგობა, რომელიც ტემპერატურის ზეგავლენით სხვადასხვა სახის ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების მიმდინარეობის შედეგად ღრმა ცვლილებებს განიცდის.

აფუების უნარის დასადგენად თიხაფიქალების ორივე სახეობის ნიმუში ფრაქციული შემადგენლობების მიხედვით გამოიცადა. ნიმუშების თერმოდამუშავება მიმდინარეობდა ლაბორატორიულ ელექტროღუმელში 1280-1330°C ტემპერატურის ინტერვალში. ექსპერიმენტის შედეგები მოყვანილია ცხრილში 10.

როგორც ცხრილი 10 მონაცემებიდან ჩანს, თიხაფიქალების ნარევის (I სახეობა) თერმული დამუშავებით 1250 - 1320 °C ტემპერატურის ფარგლებში ყველა განხილულ ფრაქციას გააჩნია აფუების მეტ-ნაკლები უნარი; ასევე ყველასთვის დამახასიათებელია სხვადასხვა ზომის არათანაბრად



განაწილებული ფორების არსებობა, რომლებიც ნიმუშის სიმაღლის მიხედვით ტემპერატურული გრადიენტის გამო ზომებში მცირდება.

**ცხრილი 10. თიხაფიქალების სხვადასხვა ფრაქციების აფუების შედეგები**

№	მასალის ზომები	თერმოდამუშავების ტემპერატურა, °C და დრო $\tau$ -15 წთ	ნიმუშის დახასიათება
1	I (10-2,5) მმ	1270-1200	საკმაოდ აფუებული ნიმუში, არათანაბარი ფორებით, შეინიშნება დიდი მსხვილი ფორებიც.
2	I (2,5-1) მმ	1280-1300	არათანაბრად აფუებული, ერთეული დიდი ფორებით. წინა ფრაქციასთან შედარებით აფუება ნაკლებია.
3	I (<1) მმ	1250-1280	ნიმუში გამღვალი, არათანაბარი მსხვილი ფორებით.
4	II (1-0,25) მმ	1300-1320	ნიმუში შემღვალი, არათანაბრად აფუებული უწვრილესი ფორებით.
5	II (0,25-0,16) მმ	1300-1320	მოცულობაში არათანაბრად განლაგებული უწვრილესი ფორებით.
6	II (<0,16) მმ	1280-1300	წინა ფრაქციებთან შედარებით უფრო თანაბარფორებიანი ნიმუში.
7	I (სრული)	1260-1280	ნიმუში არათანაბრად აფუებული, წვრილი ფორებით, ძირი შემცხვარი, ზედაპირზე ალაგ-ალაგ მსხვილი ფორები.
8	II (სრული)	1280-1300	ნიმუში ზედაპირზე გამღვალი, მოცულობაში სხვადასხვა ზომის ფ.

1მმ -ზე ნაკლები ფრაქციის (ცხრ.10 ნიმ. №3) აფუება 20°C-ით უფრო დაბალ ტემპერატურაზე მიმდინარეობს მსხვილ ფრაქციებთან შედარებით, მაგრამ აქაც აღინიშნება ლოკალური არაერთგვაროვნებები, რომლებიც არათანაბარ სტრუქტურას ქმნიან.

მდინარის ლამის (II სახეობა) თერმულმა დამუშავებამ აჩვენა, რომ მისი აფუება 1280°C -დან იწყება და მისთვის წვრილფორიანი სტრუქტურაა დამახასიათებელი. განსაკუთრებით თანაბარფორებიანი აგებულებით გამოირჩევა წმინდა ფრაქცია (<0,16მმ) (ცხრ.10, ნიმ. №6).

ამრიგად, თიხაფიქალების სამივე სახეობის ნიმუშების თერმული დამუშავებით დადგინდა მათი აფუების უნარი. როგორც ექსპერიმენტებიდან ჩანს, სამივესთვის დამახასიათებელია პიროპლასტიკური მდგომარეობის მაღალი ტემპერატურა 1280-1300°C და ასევე გარბილების ვიწრო ინტერვალი (~30°C).

შემდგომ ეტაპზე, თიხაფიქალების ორივე სახეობა დაიმსხვრა. დაიფქვა და მოხდა მათი გასაშუალოება. დაფქული მასალის ხვედრითი ზედაპირი 3200 სმ<sup>2</sup>/გ შეადგენდა.

სრული ფრაქციული შემადგენლობის დაწვრილმანებული, გასაშუალოებული სინჯების (№7 და №8) თერმული დამუშავებით მიღებულ იქნა არათანაბრად აფუებული ნიმუშები მსხვილი და წვრილი ფორებით (ცხრ. 10). დისპერსიულობის გაზრდით ნიმუშებისათვის აფუება 20°C-ით დაბალ ტემპერატურაზე იწყება,

ამრიგად, დისპერსულობა გავლენას ახდენს აფუების ინტერვალზე და ხარისხზე.

ამგვარად, კვლევების შედეგებიდან ჩანს, რომ თიხაფიქალების ორივე სახეობა ხასიათდება რა აირწარმოქმნელი ნივთიერებების მნიშვნელოვანი შემცველობით, მაღალტემპერატურულ ინტერვალში თერმული დამუშავებით განიცდის თვითაფუებას, რის შედეგადაც მასში წარმოიქმნება სხვადასხვა ზომის ფორები; მაგრამ ქიმიური და მინერალოგიური შედგენილობიდან გამომდინარე, მოცულობაში სიბლანტის გრადიენტის და სხვადასხვა უბნების განსხვავებული ინტენსიურობით აფუების შედეგად ფორების განაწილება მასაში არათანაბარია, რაც საბოლოოდ უარყოფითად აისახება მასალის თვისებებზე.

თიხაფიქალების პარალელურად აფუების უნარის შესწავლის მიზნით გამოკვლეული იქნა თელეთის არგილიტი და სხვადასხვა ადგილმდებარეობის (მეტეხის, მირიანის და გარდაბნის) თიხები, რომელთა ქიმიური შედგენილობები მოცემულია ცხრილში 1.

აფუების უნარის დასადგენად მოხდა მათი დაწვრილმანება 0.2მმ-ზე ნაკლები ზომის ფრაქციის სახით. მიღებული ფხვნილისგან ნახევრად მშრალი მეთოდით, ტენიანობა (8-12%) დაყალიბდა ნიმუშები - ფილების სახით 5,3 X 5,3 X 0,8 და ჩატარდა მათი თერმული დამუშავება 1160 - 1250 °C ტემპერატურულ ინტერვალში. შედეგები მოყვანილია ცხრილში 11.

როგორც ცხრილი 11-ის მონაცემებიდან ჩანს, ყველა სახეობის თიხოვანი ქანის თერმული დამუშავებისას, მათი შეცხოება-აფუება ძირითადად 1170-1180°C ტემპერატურიდან იწყება, ტემპერატურის შემდგომი მატებით 1200–1250°C ტემპერატურამდე ზოგიერთ მათგანში (არგილიტი, გარდაბნის და მეტეხის თიხა) აღინიშნება აფუების პროცესის დასაწყისი, მაგრამ, არაერთგვაროვანი, არათანაბრად განაწილებული ფორებით როგორც ზედაპირზე, ასევე მოცულობის სიღრმეში, სხვადასხვა ზომის ბუშტუკების და მსხვილი ღრმულების წარმოქმნით. მათგან განსხვავებით, მირიანის თიხაში 1250°C ტემპერატურაზე დამუშავებისას ზედაპირზე წარმოიქმნება შესქელებული ქერქი, ხოლო მასა ძირითადად შემცხვარი და აფუებულია.

შემდგომი კვლევებისთვის ერთგვაროვანი სტრუქტურის მქონე თანაბარფორებიანი აფუებული მასალის მისაღებად საჭირო გახდა აღნიშნული თიხების და არგილიტის ნარევების დამუშავება.

შევისწავლეთ თიხაფიქალებზე თიხებისა და არგილიტების გავლენა აფუების თვალსაზრისით და პირიქით. ვნახეთ, რომ როგორც სტრუქტურული ასევე ტემპერატურული თვალსაზრისით მნიშვნელოვანი გავლენა არ მოუხდენია ნარევების დამუშავებას.

**ცხრილი 11. თიხების თერმული დამუშავების შედეგები**

№	ნედლეული დასახელება	აფუების ტემპ. °C , დაყოვნების დრო, წთ.	ნიმუშის აღწერილობა
1	თელეთის არგილიტი	1180-1200, 15	ზედაპირზე აფუებული უწვრილესი ბუმტუკებით, შუაგულში კარგად აფუებული, შემცხვარი.
2	მეტეხის თიხა	1170-1180, 15	დაწყებულია აფუება, არათანაბარი ფორებით. ზედაპირი კრიალა, ძირში - წვრილი ფორებით.
3	მირიანის თიხა	1200-1250, 15	მასა ძირითადად შემცხვარი, ზედაპირი დაფარულია შემცხვარი ქერქით.
4	გარდაბნის თიხა	1180-1200, 15	დაწყებულია აფუება, ძალზედ წვრილი ბუმტუკებით, მოცულობაში არათანაბრად განაწილებული.

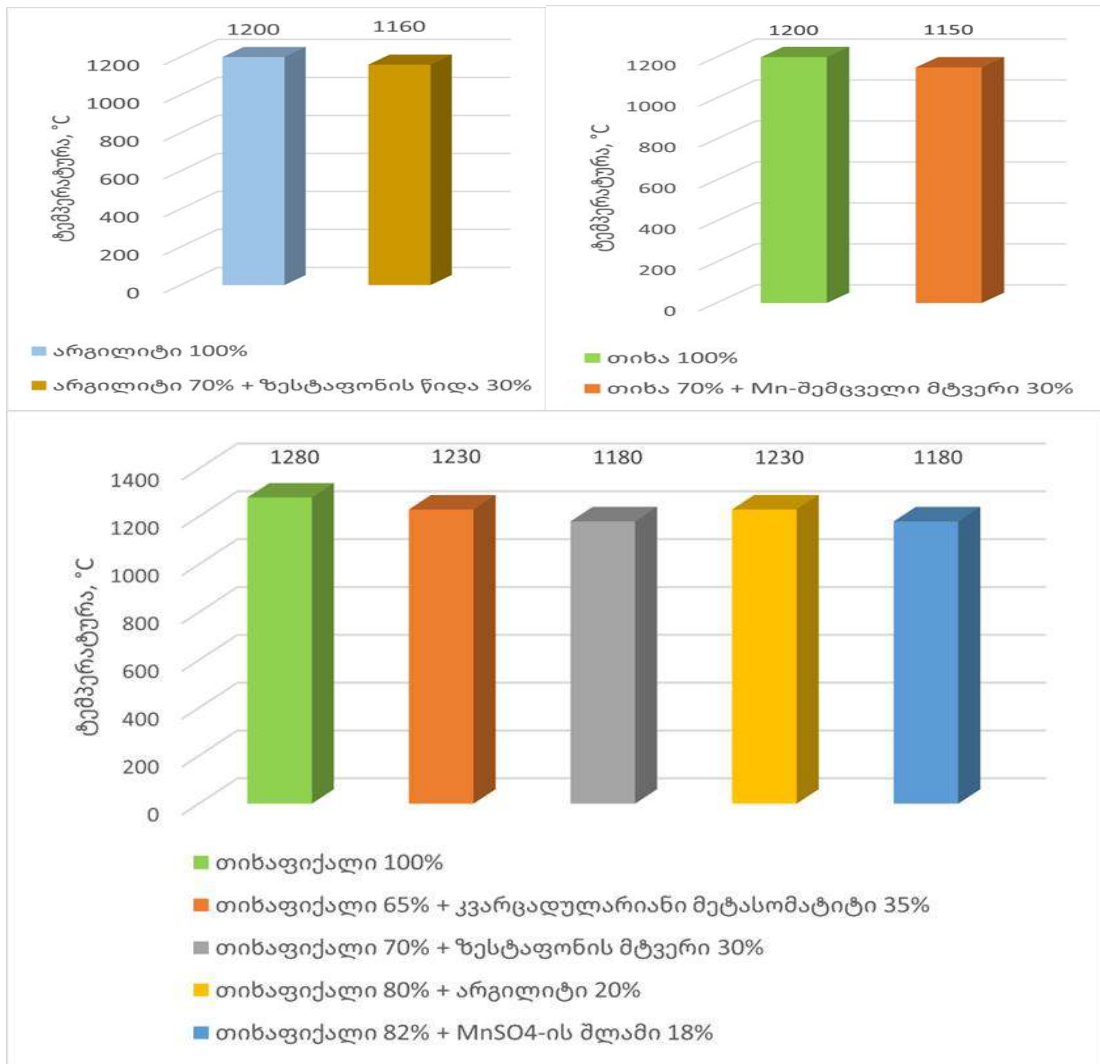
**1.7. ფორიანი თბოსაიზოლოაციო მასალების ოპტიმალური შედგენილობების შერჩევა, მათი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების გაუმჯობესების მიზნით**

კვლევა გაგრძელდა სხვადასხვა დანამატის, სხვადასხვა პროცენტული რაოდენობით (25-30-35-40)% გამოყენებით როგორცაა: კვარც-ადულა-რიანი მეტასომატიტი (დ.გარეჯის), პემზა (ბორჯომი), წიდა მარტენის (რუსთავის), წიდა ბრძმედის (რუსთავის), წიდა (ზესტაფონის ფერო), მანგანუმსულფატური შლამი(რუსთავი), Mn-შემცველი მტვერი.

დანამატების გავლენა თიხოვანი ქანების აფუების ტემპერატურაზე გრაფიკულად წარმოდგენილია სურათზე 13.

ამრიგად, შეირჩა ნედლეულის კაზმები თიხაფიქალების, პემზის, ზესტაფონის ქარხნის მანგანუმშემცველი წიდის, სულფატური შლამის, ბორმჟავას და სოდის დამატებით.

შერჩეულ იქნა ოპტიმალური შემადგენლობები, როგორც შეცხოება-აფუების ტემპერატურების მაჩვენებლებიდან გამომდინარე, ასევე აფუებული ნიმუშების სტრუქტურის მიხედვით. კაზმების შემადგენლობები და მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში 12.



სურათი. 13 დანამატების გავლენა თიხოვანი ქანების აფუების ტემპერატურაზე

ამრიგად, შეირჩა ნედლეულის კაზმები თიხაფიქალების, პემზის, ზესტაფონის ქარხნის მანგანუმშემცველი წიდის, სულფატური შლამის, ბორმჟავას და სოდის დამატებით.

შერჩეულ იქნა ოპტიმალური შემადგენლობები, როგორც შეცხოვა-აფუების ტემპერატურების მაჩვენებლებიდან გამომდინარე, ასევე აფუებული ნიმუშების სტრუქტურის მიხედვით. კაზმების შემადგენლობები და მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში 12.

**ცხრილი 12. ოპტიმალური შემადგენლობების მახასიათებლები**

ნიმუშის ინდექსი	კაზმის შემადგენლობა	აფუების ტემპ., °C, დაყოვნების დრო, 15 წთ	ნიმუშის აღწერილობა
1.1	65 ფ. + 35 კვ. ად.მ.	1200-1230	ნიმუში კარგად-თანაბრად აფუებული მთელ მოცულობაში, ფორები უწვრილე-სი 0.5-1მმ, აღინიშნება დიდი ზომის ფორებიც 2-3მმ.
1.5	75 ფ. + 25 ზ. წ.	1150-1180	აფუებული, ძირითადად წვრილი ფორებით, იშვიათად დაიკვირვება 3-4მმ ზომის ფორები.
1.6	70 ფ. +30 ზ. მ.	1130-1160	აფუებული, ძირითადად წვრილი ფორებით, დაიკვირვება იშვიათად 3-4მმ ზომის ფორებიც.
1.18	65 ფ. + 15 კ. ბ + 20 ზ.მ.	1160-1180	აფუებული, ძირითადად წვრილი ფორებით. შეინიშნება ერთეული მსხვილი ნიჟარები.
1.21	60 ფ. + 30 მ. + 10 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1150-1180	მოცულობაში თანაბრად აფუებული სხვადასხვა ზომის ფორებით, ზედაპირ-ზე ალაგ-ალაგ 5-6მმ ზომის.
1.22	75 ფ. 15 კ. ბ. + 10 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1080-1100	აფუებული მთელ მოცულობაში შერეული ზომის ფორებით. ძირითადად ზედაპირზე აღინიშნება წვრილი 0.5-1.0მმ დიამეტრის.
1.24	66 ფ. + 26 ბ. წ. + 8 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1080-1130	ზედაპირზე გამინებული, მოცულობაში უწვრილესი ფორებით, შიგადაშიგ 2.5-4 მმ.
1.25	65 ფ. + 25 ზ. მ. + 10 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1000-1030	აფუებული მთელ მოცულობაში შერეული ზომის ფორებით. ძირზე - წვრილი 0.5-1მმ ზომის, სიმაღლეში ზომა იზრდება 3-4მმ-მდე
1.26	65 ფ. + 25 ს. შ. + 10 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1070-1100	მოცულობაში აფუებული, ძირითადად წვრილფოროვანი აგებულების, ზედაპირზე ქვის მტვერი.
1.27	65 ფ. + 25 მ. მტ. + 10 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	950-1000	მოცულობაში თანაბრად აფუებული, შიგადაშიგ ფორებით 2მმ-დე ზომის
1.31	84 ფ. + 8 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> + 8 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1020-1060	მოცულობაში აფუებული, ძირითადად მსხვილფოროვანი, ერთეული დიდი ზომის ფორებით.
1.33	71 ფ. + 15 ს. შ. + 14 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	980-1020	მოცულობაში აფუებული სხვადასხვა ზომის ფორებით, ძირითადად 0.5-1მმ ზომის, ზედაპირზე გადიდებული 3-5 მმ

ოპტიმალური შემდგენილობებიდან აფუებული მასალის სტრუქტურის მიხედვით შეირჩა რამდენიმე შედგენილობა და განისაზღვრა მათი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები. შედეგები მოყვანილია ცხრილში 13.

ცხრილი 13. აფუებული ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრები

ნიმუშის შედგენილობა	მოცულობითი მასა, კგ/მ <sup>3</sup>	წყალ შთანთქმ ა, %	სიმტკიცე ს ზღვარი კუმშვაზე ,მპა	ფორმის საშუალო დიამეტრი, მმ	თბოგამტა- რობის კოეფიცი ენტი ვტ/მ·K
65ფ+35კვ.ა.მ	805	7.1	6.7	2 – 3	0.148
70ფ+35ზ.წ	720	1.79	2.6	1 – 3	0.137
70არგ+30ზ.წ	910	3.71	5.9	1 – 5	0.139
75ფ+15პ+ 10H3BO3	870	2.13	5.1	2 – 4	0.138
65ფ+25მ.ტ+ 10H3BO3	670	12.4	3.5	0.4-2	0.148
84ფ+8Na2CO3+ 8H3BO3	910	2.71	17	1-2.5	0.150
არგილიტი	1000	0.95	15.7	1-3.5	0.167
თიხა გარდაბანი	970	2.22	11.4	1.5-4	0.138

როგორც ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების განსაზღვრამ გვიჩვენა, აფუებული ნიმუშების მოცულობითი მასა 650–დან 1000 კგ/მ<sup>3</sup> ფარგლებშია, ხოლო წყალშთანთქმა არ აღემატება 12%–ს, რაც მიუთითებს მასალაში უმეტესად დახურულფორებიანი სტრუქტურის არსებობაზე.

ამრიგად, ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დადგინდა მდ. დურუჯის ხეობის თიხაფიქალების, თელეთის არგილიტისა და გარდაბნის თიხის გამოყენებით ფორიანი აფუებული მასალის მიღების შესაძლებლობა ქაფწარმომქმნელი დანამატის გარეშე ნედლეულის კაზმის თვითაფუების შედეგად გამარტივებული ტექნოლოგიით. მინის წინასწარი მარალ-ტემპერატურული ხარშვის პროცესისა და ცეცხლგამძლე ფორმების გამოყენების გამორიცხვით.

## დასკვნა

შესწავლილ იქნა საქართველოს თიხოვანი ქანები - ყვარლის თიხაფიქალი, თელეთის არგილიტი და მეტეხის, მირიანის და გარდაბნის ადგილმდებარეობის ადვილლობადი თიხები ენერგოდამზოგავი სამშენებლო მასალების: 1. ცემენტ/ბეტონის პუცოლანური დანამატის, 2. ბეტონის მსუბუქი შემავსებლის - კერამზიტის და 3. ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნაკეთობების წარმოებაში გამოყენების მიზნით.

კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით შესაძლებელია გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები:

- დადგენილია თითოეული თიხოვანი ქანისთვის მოდიფიცირების ოპტიმალური ტემპერატურა ცემენტ/ბეტონის პუცოლანური დანამატის მისაღებად, რაც კლინკერის მაქსიმალური ეკონომიის და ცემენტის მექანიკური სიმტკიცის გაზრდის საშუალებას იძლევა.

- თიხოვანი ქანების 35% დამატება ცემენტის კერამზიტში საშუალებას მოგვცემს, რომ მნიშვნელოვნად დავზოგოთ კლინკერის წილი ცემენტში ამ უკანასკნელის მექანიკური სიმტკიცის მნიშვნელოვანი შემცირების გარეშე, ხოლო ამ ქანების 6% დამატებისას - ადგილი აქვს სიმტკიცის მნიშვნელოვან ზრდას.

- შემუშავებულ იქნა თიხოვანი ქანებისგან პუცოლანური დანამატის ტემპერატურული მოდიფიცირების **ინოვაციური ტექნოლოგია**, რაც ითვალისწინებს ქანების 600-800°C ტემპერატურებზე გახურებას, 1-1,2 საათით დაყოვნებას მაქსიმალურ ტემპერატურაზე და შემდგომ გაცივებას. გაცივებას ახდენენ სწრაფად, ცივი ჰაერის ნაკადის 5-10 მ/წმ სიჩქარით დაბერვით, გამომწვარი ქანის ტემპერატურის შემცირებით 30-35°C/წთ სიჩქარით. ამ მეთოდზე მიღებულია საქართველოს პატენტი AU 2019 15127, რომელმაც 2021 წელს გამომგონებელ ქალთა საერთაშორისო კონკურსზე სამხრეთ კორეაში მოიპოვა ბრინჯაოს მედალი N 2021-248.

- ჩატარებული სამუშაოების შედეგად შემუშავებულია საქართველოს თიხოვანი ქანების (თიხაფიქალების, არგილიტების და



ადვილადლღობადი თიხების) მოდიფიცირებით 1170 – 1200°C-ის ინტერვალში მსუბუქი ბეტონის შემავსებლის -კერამზიტის მიღების ტექნოლოგიები.

- შემუშავებულია კერამზიტის მიღების სხვადასხვა მეთოდები, დადგენილია ტემპერატურული რეჟიმები და სხვადასხვა პარამეტრების გავლენა კერამზიტის თვისებებზე.

- ლაბორატორიულ პირობებში თიხოვანი ქანების საფუძველზე მიღებულია სხვადასხვა პარამეტრების კერამზიტები: ნაყარი სიმკვრივის მარკით: M300-დან M800-მდე, წყალშთანთქმით: 0.37%-დან 5.70%-მდე, სითბოგამტარობის კოეფიციენტით ( $\lambda$ ): 0.009 ვატ/მ·K-დან 0.172 ვატ/მ·K-მდე.

- ყვარლის თიხაფიქალების საფუძველზე შესწავლილია კერამზიტის მიღების **ენერგოდამზოგავი ტექნოლოგია**, რომელიც არ საჭიროებს ნედლეულის ნარევის წმინდად დაფქვას, გრანულირებას და გრანულების წინასწარ გამოშრობას ღუმელში მიწოდებამდე, რაც საწარმოო ციკლში ენერგოტევად პროცესებს გამორიცხავს. ტექნოლოგია მარტივდება, ადგილი აქვს სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების ეკონომიას, ხოლო მიღებული პროდუქცია - კერამზიტი გამოირჩევა განსაკუთრებული სიმსუბუქით და მაღალი თბოსაიზოლაციო თვისებებით.

- შესწავლილია მიღებული კერამზიტების და მათ საფუძველზე მიღებული მსუბუქი ბეტონების თვისებები: სიმკვრივე, წყალშთანთქმა, მექანიკური სიმტკიცე, სითბოგამტარობის კოეფიციენტი და სხვ.

- განსაკუთრებით აღსანიშნავია კერამზიტი, მიღებული ყვარლის თიხაფიქალის აფუებით (გრანულირების გარეშე), რომელიც საშუალებას იძლევა, მივიღოთ დაბალი სიმკვრივის მსუბუქი თბოსაიზოლაციო ბეტონი დაბალი სითბოგამტარობის კოეფიციენტით -  $\lambda = 0.245$  ვატ / მ · K.

- შემუშავებულია ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნაკეთობების მიღების ახალი გამარტივებული ტექნოლოგია, რომელიც გამორიცხავს სპეციალური ცეცხლგამძლე ფორმების და ამაფუებელი დანამატების

გამოყენებას (განაცხადი გაგზავნილია „საქპატენტში“ სასარგებლო მოდელის დასაპატენტებლად).

- შემუშავებულია ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნაკეთობების ახალი შემადგენლობები, რომლებიც ეფუძნება კომპლექსური ბუნებრივი და ტექნოგენური პოლიმინერალური ნედლეულის ერთობლიობას.

- დადგენილია ოპტიმალური შემადგენლობის კაზმების თერმული დამუშავების რეჟიმები, განისაზღვრა მათი შეცხოვა-აფუების ტემპერატურული ინტერვალი.

- დადგენილია დანამატების ოპტიმალური სახეობები და რაოდენობები, რომლებიც ხელს უწყობენ ცეცხლგამძლე ფორმების გარეშე ნედლეულის კაზმების თერმული დამუშავებისას მისი ტექნოლოგიური პარამეტრების გაუმჯობესებას.

- ლაბორატორიულ პირობებში ნედლეულის კაზმების წინასწარი დაწნეხვით ნახევრადმშრალი მეთოდით და მათი გამოწვით 1000-1180°C ტემპერატურის ფარგლებში, ცეცხლგამძლე ფორმების გამოყენების გარეშე, მიღებულ იქნა ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნიმუშები -ფილები, ზომით 115 X 55 X 27მმ, რომელთა მოცულობითი მასაა 657 – 1003 კგ/მ<sup>3</sup>, წყალშთანთქმა 3.7 – 10.1%, სიმტკიცე კუმშვაზე 2.9 – 6.7მპა, ფორების დიამეტრი ძირითადად 0.5–დან 5მმ–მდეა.

კვლევის შედეგების გამოყენება შესაძლებელია საფუძვლად დაედოს ადგილობრივი არადეფიციტური თიხოვანი ქანების (ადვილლობადი თიხების, არგილიტების და თიხაფიქალების) საფუძველზე ენერგო-დამზოგავი სამშენებლო მასალების: ცემენტ/ბეტონის მაღალაქტიური პუცოლანური დანამატის, მსუბუქი ბეტონის შემავსებლის - კერამზიტის და ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნაკეთობების წარმოებას საქართველოში.

## დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში

1. პეტრიაშვილი თ., თერმულად მოდიფიცირებული თიხოვანი ქანების პუცოლანური აქტიურობის კვლევა, საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი "კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები", ტ.24. 1(47). 2022. 55-62.
2. შაფაქიძე ე., გაბუნია ლ., ქამუშაძე ი., გეჯაძე ი., პეტრიაშვილი თ., ფორიანი თბოსაიზოლაციო მასალების მიღება ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენებით, საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი "კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები", ტ. 23. 2(46). 2021. 61-68.
3. შაფაქიძე ე., გაბუნია ლ., ქამუშაძე ი., გეჯაძე ი., სხვიტარიძე რ., პეტრიაშვილი თ., თანამედროვე ენერგოეფექტური სამშენებლო მასალების მიღების ტექნოლოგიების შემუშავება საქართველოს თიხოვანი ქანების საფუძველზე, საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი "კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები", ტ. 22. 2(44), 2020. 41-47.
4. Шапакидзе Е., схвитаридзе Р., Камушадзе И., Габуния Л., Геджадзе И., Чеишвили О., Петриашвили Т., Разработка режима термического модифицирования глинистых пород с целью их пуццолановой активации, „სამთო ჟურნალი“, №1(43), 2020. 71-76.
5. Shpakidze E., Gejadze I., Nadirashvili M., Maisuradze V., Petriashvili T., Skhvitardze R., Using Clay Rocks of Georgia to Obtain High-Active Pozzolanic Additives to Portland Cement, International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 14, Number 18 (2019), 3689-3695.

## Abstract

The issue of energy efficiency is relevant in Georgia in general and in the construction sector in particular. Public, industrial buildings and housing stock are obsolete and require effective measures to increase energy efficiency. The same requirements apply to new buildings that are constructed of building materials with the smallest values of thermal insulation. The Association Agreement with the European Union obliges us to "promote energy efficiency and energy savings in an economically and ecologically justified way". All this against the background of the fact that 2-4 times more energy carriers are consumed for heating 1 m<sup>2</sup> of buildings in Georgia than in EU cities.

Energy efficiency - is the efficient (rational) use of energy resources. Energy efficiency is also an important stimulus for the country's economy. Such an economy can develop at a lower cost of energy. As a result, the energy efficiency can bring significant benefits to the individual as well as to the whole country and the world. These benefits can be varied, but the key aspects of why people, companies and governments are implementing the energy efficiency process are:

1. Saves money;
2. Develops the economy by introducing new technologies;
3. Has a positive impact on the environment;
4. Ensures energy security.

The need to save fuel resources in modern conditions has contributed to the development of energy-saving technologies around the world, including the production of thermal insulation materials, the main purpose of which is thermal insulation of buildings and hot surfaces to prevent heat loss.

The world currently produces thermal insulation materials of various structures of organic or inorganic origin, both in the form of molded goods (tiles, blocks) and in the form of bulk (gravel, mineral wool, foamed perlite) based on different technologies.

The quality of thermal insulation material is determined by the combination of functional and construction-performance indicators, such as thermal conductivity, porosity, low volume mass, temperature of use, as well as mechanical strength, resistance to chemical, water, biological and temperature impacts, fire resistance. Unlike materials of organic origin, the advantages of inorganic materials are higher strength, high temperature of use, resistance to microorganisms, rodents, chemical reagents, fire resistance and durability.

Given the above, given our specific conditions, when the heat-protective properties of buildings are neglected in modern construction, due to which energy consumption is increased for heating buildings, while Georgia does not have its own fuel-energy sources and does not produce thermal insulation materials, one of the ways to reduce energy losses can be considered the production of new construction thermal insulation materials based on cheap natural raw materials, especially since there is a lot of natural mineral raw materials in Georgia for the production of environmentally friendly thermal insulation materials.

The aim of the research is to develop temperature modification technologies of Georgian clay rocks (clayey, argillite, refractory clays) to obtain the following energy-saving construction materials:

1. Cement / concrete putty additive;
2. Lightweight porous concrete filler - keramzite;
3. Lightweight thermal insulation tiles.