



საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი

1922 წლიდან

თამარ პეტრიაშვილი

ენერგოდამზოგავი სამშენებლო მასალების წარმოების
ტექნოლოგიების შემუშავება საქართველოს თიხოვანი
ქანების საფუძველზე

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია

შიფრი 0711

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი თბილისი, 0160, საქართველო

2022წ

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით თამარ პეტრიაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ენერგოდამზოგავი სამშენებლო მასალების წარმოების ტექნოლოგიების შემუშავება საქართველოს თიხოვანი ქანების საფუძველზე“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 2022 წ.

სამეცნიერო ხელმძღვანელები: პროფ. მაია მშვილდაძე
აკად. დოქტ. ელენა შაფაქიძე

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2022 წ

ავტორი: თამარ პეტრიაშვილი

დასახელება: ენერგოდამზოგავი სამშენებლო მასალების წარმოების ტექნოლოგიების შემუშავება საქართველოს თიხოვანი ქანების საფუძველზე

ფაკულტეტი: ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის

ხარისხი: ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერიის აკადემიური
დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: 2022 წ.

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

ავტორის ხელმოწერა

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

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

რეზიუმე

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 1მ²-ის გათბობაზე 2-4 ჯერ მეტი ენერგომატარებლის რაოდენობა იხარჯება, ვიდრე ევროკავშირის ქალაქებში.

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 ენერგოდაზოგავი ტექნოლოგიების განვითარებას, მათ შორის თბოსაიზოლაციო მასალების წარმოებას, რომელთა ძირითადი დანიშნულებაა ნაგებობების და ცხელი ზედაპირების თბური იზოლაცია თბო-დანაკარგების თავიდან აცილების მიზნით.

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

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 მიკრო-ორგანიზმების, მღრღნელების, ქიმიური რეაგენტების მიმართ, ცეცხლ-მედეგობა და ხანმედეგობა.

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე ჩვენი კონკრეტული პირობების გათვალისწინებით, როცა თანამედროვე მშენებლობაში უგულვებელყოფილია შენობების სითბოდაცვითი თვისებები, რის გამოც გაზრდილია ენერგომომხმარება ნაგებობების გათბობის მიზნით, მაშინ როცა საქართველოს საკუთარი სათბობ-ენერგეტიკული წყაროები არ გააჩნია და არც თბოსაიზოლაციო მასალები იწარმოება, ენერგო დანაკარგების შემცირების ერთ-ერთ ხელშემწყობ საშუალებად შეიძლება ჩაითვალოს ახალი სამშენებლო თბოსაიზოლაციო მასალების წარმოება იაფი ბუნებრივი ნედლეულის საფუძველზე, მითუმეტეს, რომ საქართველოში მრავლად მოიპოვება ბუნებრივი მინერალური ნედლეული ეკოლოგიურად სუფთა თბოსაიზოლაციო მასალების საწარმოებლად.

კვლევის მიზანს წარმოადგენს საქართველოს თიხოვანი ქანების (თიხაფიქალი, არგილიტი, ადვილლობადი 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.

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 m² 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.

შინაარსი

შესავალი	14
1. ლიტერატურის მიმოხილვა.....	20
1.1 პუცოლანური დანამატები და მათი როლი ცემენტის წარმოებაში	20
1.2 ბეტონის მსუბუქი ფოროვანი შემავსებელი - კერამზიტი	23
1.3 ფორიანი თბოსაიზოლაციო მასალების მიღების თეორიული საფუძვლები	28
2. შედეგები და მათი განსჯა	37
2.1 ნედლეული კომპონენტების შესწავლა	37
2.1.2 კვლევის მეთოდოლოგია.....	40
2.2 თიხოვანი ქანების ქიმიური შედგენილობები	41
2.2.1 თიხოვანი ქანების მიკროსკოპიულ-პეტროგრაფიული კვლევები	43
2.2.2 თიხოვანი ქანების რენტგენოგრაფიული კვლევები	47
2.2.3 თიხოვანი ქანების დიფერენციალურ-თერმული კვლევები.....	48
2.2.4 გარდაბნის თიხის ტემპერატურული გარდაქმნების შესწავლა	49
3. ექსპერიმენტული ნაწილი	51
3.1. თერმუაქტიურობის შესწავლალად დამუშავებული თიხოვანი ქანების პუცოლანური.....	51
3.1.2 ცემენტების ფიზიკურ-მექანიკური ტესტირება	53
3.1.3 თიხოვანი ქანებიდან ცემენტის პუცოლანური დანამატის მიღების ინოვაციური ტექნოლოგიის შემუშავება	57
3.2 თიხოვანი ქანების თერმული მოდიფიცირება ბეტონის მსუბუქი ფოროვანი შემავსებლის-კერამზიტის მიღების მიზნით.....	59
3.2.1 მიღებული კერამზიტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ტესტირება.....	65
3.2.2 მიღებული კერამზიტის გამოყენებით დამზადებული მსუბუქი ბეტონების კვლევა	66

3.3 აფუებული მასალის მიღების შესაძლებლობის კვლევა თიხაფიქალების საფუძველზე.....	71
3.3.1 აფუებული მასალის მიღების შესაძლებლობის კვლევა თიხებისა და არგილიტების საფუძველზე.....	75
3.3.2 აფუებული მასალის მიღების შესაძლებლობის კვლევა თიხაფიქალების, თიხებისა და მაკორექტირებელი დანამატების საფუძველზე.....	76
3.3.3 ნარევის შემადგენელი ინგრედიენტების ურთიერთგავლენის კვლევა ტექნოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესების მიზნით.....	89
3.3.4 ოპტიმალური შედგენილობების შერჩევა და მათი ფიზიკურ მექანიკური მახასიათებლების განსაზღვრა.....	95
3.3.5 ფორიანი თბოსაიზოლაციო ფილების წარმოების მოკლე ტექნოლოგიური სქემა.....	100
დასკვნა	101
გამოყენებული ლიტერატურა	105
დანართი.....	110

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. სხვადასხვა სახის თბოსაიზოლაციო მასალების მახასიათებლები.....	30
ცხრილი 2. თიხა-ფიქლების ქიმიური შედგენილობა.....	35
ცხრილი 3. თიხოვანი ქანების ქიმიური შედგენილობები.....	42
ცხრილი 4. ცემენტების ფიზიკურ-მექანიკური ტესტირების შედეგები.....	55
ცხრილი 5. ცემენტების ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრები.....	59
ცხრილი 6. თიხოვანი ქანების გრანულების სამსაფეხურიანი რეჟიმი თერმოდამუშავების შედეგები.....	61
ცხრილი 7. თიხოვანი ქანების გრანულების ორსაფეხურიანი რეჟიმი თერმოდამუშავების შედეგები.....	63
ცხრილი 8. ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული კერამზიტის ძირითადი თვისებები.....	65
ცხრილი 9. არგილიტისგან მიღებული კერამზიტბეტონის წყალშთანთქ- მაზე გამოცდის შედეგები.....	67
ცხრილი 10. გარდაბნის თიხისგან მიღებული კერამზიტბეტონის წყალ- შთანთქმაზე გამოცდის შედეგები.....	67
ცხრილი 11. დურუჯის თიხაფიქალისგან მიღებული კერამზიტ ბეტონის წყალშთანთქმაზე გამოცდის შედეგები.....	67
ცხრილი 12. არგილიტისგან მიღებული კერამზიტბეტონის ნიმუშის კუმშვაზე გამოცდის შედეგები.....	68
ცხრილი 13. გარდაბნის თიხის კერამზიტბეტონის ნიმუშის კუმშ- ვაზე გამოცდის შედეგები.....	68
ცხრილი 14. თიხაფიქალის კერამზიტბეტონის ნიმუშის კუმშვაზე გა- მოცდის შედეგები.....	68
ცხრილი 15. თიხაფიქალების გრანულომეტრიული შედგენილობა.....	71
ცხრილი 16. ნედლეულის ქიმიური შედგენილობები მასურ %-ში.....	72
ცხრილი 17. თიხაფიქალების სხვადასხვა ფრაქციების აფუების შედეგები..	73
ცხრილი 18. თიხების თერმული დამუშავების შედეგები.....	75
ცხრილი 19. მაკორექტირებელი დანამატების ქიმიური შედგენილობები მას %-ში.....	79
ცხრილი 20. ოპტიმალური შედგენილობების მახასიათებლები.....	82
ცხრილი 21. ოპტიმალური ნარევების ქიმიური შედგენილობები.....	88
ცხრილი 22. კაზმების შედგენილობები და აფუებული ნიმუშების მახა-	

სიათებლები.....	90
ცხრილი 23. ოპტიმალური შედგენილობების მახასიათებლები.....	96
ცხრილი 24. აფუებული ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრები...98	
ცხრილი 25. ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნაკეთობების ღია და დახუ რული ფორების % რაოდენობები.....	99

სურათების ნუსხა

სურათი 1. თიხაფიქალის მიკროფოტოგრაფიები გადიდება 100X.....	43
სურათი 2. არგილიტის მიკროფოტოგრაფიები გადიდება 100X	44
სურათი 3. თიხის (მეტეხი) მიკროფოტოგრაფიები გადიდება 100X	45
სურათი 4. თიხის (მირიანი) მიკროფოტოგრაფიები გადიდება 100X.....	46
სურათი 5. თიხის (გარდაბანი) მიკროფოტოგრაფიები გადიდება 100X.....	47
სურათი 6. თიხოვანი ქანების რენტგენოგრამები.....	48
სურათი 7. თიხოვანი ქანების DTG მრუდები.....	49
სურათი 8. გარდაბნის თიხის რენტგენოგრამები.....	50
სურათი 9. ნაჯერი ხსნარიდან CaO-ს შთანთქმის კინეტიკა თიხოვანი ქანების მიერ.....	52
სურათი 10. ცემენტის ცომის კუბების (20X20X20მმ) ჰიდრავლიკური აქტიურობა 28 დღე-ღამის გამყარების შემდეგ, დანამა- ტის სხვადასხვა შემცველობით (%), სხვადასხვა ტემპერატურა- რაზე გამომწვარი (°C) და 1 სთ დაყოვნებით.....	54
სურათი 11. ცემენტის ხსნარის ძელაკების(160X40X40მმ) ჰიდრავლი- კური აქტიურობა 28 დღე-ღამის გამყარების შემდეგ, დანამა- ტის სხვადასხვა შემცველობით (%), სხვადასხვა ტემპერატურა- ზე გამომწვარი (°C) და 1 სთ დაყოვნებით.....	57
სურათი 12. კერამზიტი მიღებული გარდაბნის თიხისგან (5-20მმ).....	64
სურათი 13. კერამზიტი მიღებული თელეთის არგილიტისგან (10-20მმ).....	64
სურათი 14. კერამზიტი მიღებული ყვარლის თიხაფიქალისგან (5მმ-მდე)..	64
სურათი 15. კერამზიტი მიღებული ყვარლის თიხაფიქალისგან (5-10მმ).....	64
სურათი 16. კერამზიტი მიღებული ყვარლის თიხაფიქალისგან (10-20მმ)....	65
სურათი 17. კერამზიტი მიღებული ყვარლის თიხაფიქალისგან (20-40მმ)....	65
სურათი 18. კერამზიტბეტონი 1 კერამზიტი მიღებული გარდაბნის თი- ხის აფუებით 1180°C ..	70
სურათი 19. კერამზიტბეტონი 2 კერამზიტი მიღებული ყვარლის თიხა ფიქალის აფუებით 1190°C.....	70
სურათი 20. დანამატების გავლენა თიხოვანი ქანების აფუების ტემპერა- ტურაზე.....	86

მადლიერება

მინდა გულითადი მადლობა მივუძღვნა :

ჩემს ხელმძღვანელებს მათა მშვილდაძეს და ელენა შაფაქიძეს სამუშაოს ჩატარებისას გამოჩენილი ყურადღების, პრაქტიკული რჩევების, სამეცნიერო კონსულტაციებისა და სამუშაოს გაფორმებაში გაწეული დახმარებისთვის, ასევე მზრუნველობისა და ამაგისთვის.

დიდ მადლობას ვუძღვნი აგრეთვე:

თსუ-ს ა. თვალჭრელიძის სახელობის მინერალური ნედლეულის კავკასიის ინსტიტუტის სილიკატებისა და საშენი მასალების განყოფილების თანამშრომლებს სამეცნიერო კონსულტაციებისა და თემაზე მუშაობისას გაწეული დახმარებისათვის.

შესავალი

თანამედროვე მშენებლობა, განვითარების სწრაფი ტემპების პირობებში, მოითხოვს არა მარტო სამშენებლო მასალების წარმოების რაოდენობრივ ზრდას, არამედ მათი ენერგოეფექტურობის დახვეწას და სრულყოფას, რაც თანამედროვე საცხოვრებლის კომფორტულობის ხარისხის ამაღლებას უზრუნველყოფს. ამ მიზნის მიღწევა შესაძლებელია მხოლოდ ახალი მიდგომების შემუშავებით ადგილობრივი ნედლეულის ბაზაზე.

ზემოხსენებული ამოცანის გადაწყვეტას გვაავალდებულებს აგრეთვე კანონი ენერგოდამზოგავი მასალების გამოყენების თაობაზე, კერძოდ, ევროკავშირთან ასოცირების ხელშეკრულებით, საქართველო ვალდებულია იხელმძღვანელოს ევროპარლამენტის საბჭოს 2010.19.05. დირექტივით 2010/31/EU - შენობათა ენერგოეფექტური მაჩვენებლების [1], აგრეთვე ევროპარლამენტის საბჭოს 2012.25.10. დირექტივით 2012/27/EU ენერგოეფექტურობის შესახებ [2], ამიტომ საქართველოს პარლამენტმა 2020 წ. 21 მაისს დაამტკიცა საქართველოს კანონები: "ენერგოეფექტურობის შესახებ", № 5898 [3] და "შენობების ენერგოეფექტურობის შესახებ", №5900 [4].

ბოლო რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში ცემენტ/ბეტონი 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 1450-1500 °C-ზე და იხარჯება 4,2 მლნ. კვ/ტ სითბო, ხოლო გარემოში გამოიყოფა დიდი ოდენობით - 742 - 825 კგ/ტ კლინკერზე „სათბურის აირი“ - CO₂.

ცემენტის წარმოება მესამე ადგილზეა მსოფლიოში სატრანსპორტო და მეტალურგიული წარმოებების შემდეგ ატმოსფეროში გამონაბოლქვი CO₂-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, ენერგოდანახარჯების დაზოგვას განაპირობებს.

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

ცემენტ/ბეტონისთვის 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:

- ✓ იძლევა ფინანსური დანახარჯების ეკონომიას;
- ✓ ახალი ტექნოლოგიების დანერგვით ავითარებს ეკონომიკას;
- ✓ დადებით გავლენას ახდენს გარემოზე;

- ✓ უზრუნველყოფს ენერგოუსაფრთხოებას.

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 1მ²-ის გათბობაზე 2-4 ჯერ მეტი ენერგომატარებელი იხარჯება, ვიდრე ევროკავშირის ქალაქებში.

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.

მძიმე ბეტონით აშენებული შენობები არ არის ენერგოდამზოგავი. ატმოსფეროში CO₂-ის ემისიის შემცირების ერთ-ერთი საშუალება შენობა-ნაგებობების გათბობაზე ენერგოდანახარჯების მინიმიზაციაა, რაც თბოსაიზოლაციო მასალების და მსუბუქი ბეტონების გამოყენებით მიიღწევა.

თიხოვანი ქანების გარკვეული რეჟიმით ტემპერატურული დამუშავებით 1100-1200 °C-ზე მიიღება ზედაპირშემცხვარი აფუებული მასალები: თავისუფალ სივრცეში - გრანულები, ე. წ. კერამზიტი და შემოფარგლულ სივრცეში - ბრიკეტის ფორმის ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნაკეთობები. კერამზიტის საფუძველზე მზადდება მსუბუქი ბეტონი - კერამზიტბეტონი.

არც ერთი ზემოდ ჩამოთვლილი სამშენებლო მასალა ამჟამად საქართველოში არ იწარმოება ტექნოლოგიების არქონის გამო.

წინამდებარე კვლევის მიზანია ენერგოდამზოგავი სამშენებლო მასალების:

- ✓ ცემენტ/ბეტონის პუცოლანური დანამატის;
- ✓ მსუბუქი ბეტონის შემავსებლის - კერამზიტის;
- ✓ ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნაკეთობების მიღების ტექნოლო-

გიების შემუშავება საქართველოს თიხოვანი ქანების გამოყენებით.

ამ მიზნის მისაღწევად საჭიროა შემდეგი ამოცანების გადაჭრა:

- ნედლეული კომპონენტების და შემუშავებული მასალების ქიმიური, ფიზიკურ-ქიმიური, ფიზიკურ-მექანიკური, სითბოგამტარობის და სხვა პარამეტრების შესწავლა.

- მოდიფიცირებული თიხოვანი ქანების პუცოლანური აქტივობის შესწავლა.

- თიხოვანი ქანების პუცოლანურ დანამატად მოდიფიცირების ტემპერატურული რეჟიმის დადგენა.

- ცემენტების რეცეპტურის შედგენა მიღებული დანამატის და კლინკერის საფუძველზე და მათი დაფქვის რეჟიმის შერჩევა.

- ცემენტების კაზმების ოპტიმალური შედგენილობის დადგენა.

- მიღებული პროდუქტების შერევით დამზადებული ცემენტების თვისებების კვლევა.

- თიხოვანი ქანების მსუბუქი ბეტონის შემავსებელ კერამზიტად მოდიფიცირების ტემპერატურული რეჟიმის დადგენა.

- თიხოვანი ქანებისგან კერამზიტის მიღების სხვადასხვა მეთოდის შერჩევა.

- თიხოვანი ქანების ოპტიმალური გახურების სიჩქარის და აფუების ტემპერატურის დადგენა.

- მიღებული კერამზიტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ტესტირება.

- თიხოვანი ქანების ფორიან თბოსაიზოლაციო ნაკეთობებად მოდიფიცირების ტექნოლოგიის შემუშავება.
- თიხოვანი ქანების დისპერსულობის გავლენის დადგენა აფუების ტემპერატურაზე, ინტერვალზე და ხარისხზე.
- თიხოვანი ქანების ოპტიმალური გახურების სიჩქარის და აფუების ტემპერატურის დადგენა.
- თიხოვანი ქანების აფუების ტემპერატურისა და სტრუქტურის რეგულირება მაკორექტირებელი დანამატის შერჩევით.
- ფორიანი ნაკეთობის მისაღებად კაზმების შედგენა და თერმული დამუშავება.
- ნარევის შემადგენელი ინგრედიენტების ურთიერთგავლენის კვლევა თიხოვანი ქანების აფუების პროცესის კინეტიკაზე.
- მიღებული ფორიანი ნაკეთობების კვლევა: ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების (მათ შორის, თბოგამტარობის) ტესტირება.

კვლევის მეცნიერული სიახლე.

შესწავლილი და შემუშავებულია ცემენტის მაღალეფექტური პუცოლანური დანამატის მიღების ტექნოლოგია ადგილობრივი არადეფიციტური პოლიმინერალური თიხოვანი ქანების: ადვილადღობადი თიხების, არგილიტების 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 - N 2021-248).

შესწავლილია მსუბუქი ბეტონის შემავსებლის - კერამზიტის მიღების ენერგოდამზოგავი ტექნოლოგია, რომელიც არ საჭიროებს ნედლეულის ნარევის წმინდად დაფქვას, გრანულირებას და გრანულების წინასწარ გამოშრობას ღუმელში მიწოდებამდე, რაც საწარმოო ციკლში ენერგოტევად პროცესებს გამორიცხავს. მიღებული პროდუქცია - კერამზიტი გამოირჩევა განსაკუთრებული სიმსუბუქით და მაღალი თბოსაიზოლაციო თვისებებით.

თიხოვანი ქანების საფუძველზე შემუშავებულია ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნაკეთობების მიღების ახალი გამარტივებული ტექნოლოგია, რომელიც არ მოითხოვს სპეციალური ცეცხლგამძლე ფორმების და ამაფუებელი დანამატების გამოყენებას (განაცხადი გაგზავნილია „საქპატენტში“ სასარგებლო მოდელის დასაპატენტებლად).

კვლევის შედეგების გამოყენება შესაძლებელია საფუძველად დაედოს ადგილობრივი არადეფიციტური თიხოვანი ქანების (ადვილლოზადი 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 - ენერგიის დაზოგვის პრევენციის მატარებელი.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1 პუცოლანური დანამატები და მათი როლი ცემენტის წარმოებაში

მრავალი ათეული წელია, რაც ცემენტი წარმოადგენს ძირითად სამშენებლო მასალას და მოთხოვნილება მასზე მთელ მსოფლიოში განუხრელად იზრდება. ეს დაკავშირებულია, როგორც ადამიანთა ყოფითი პირობებისა და ყოველდღიური საქმიანობის მოთხოვნების დაკმაყოფილებასთან (საბინაო, ადმინისტრაციული, სავაჭრო, გასართობი ნაგებობების მშენებლობა), ასევე გარემოს გლობალურ ცვლილებებთან, როგორცაა: პლანეტის მოსალოდნელი დათბობა, დიდი წყალდიდობები, გრიგალები, მიწისძვრები და სხვა სტიქიური უბედურებები, რომ აღარაფერი ვთქვათ ლოკალურ ომებზე, რაც ლტოლვილთა დიდი ნაკადების დაბინავებასა და ყოფის მოწყობასთან არის დაკავშირებული.

აქტიური მინერალური დანამატი – ეს არის არაორგანული მასალა, ბუნებრივი ან ხელოვნური წარმოშობის, რომელიც ხასიათდება ჰიდრავლიკური და (ან) პუცოლანური თვისებებით. ჰიდრავლიკური აქტიურობა არის მასალის თვისება, წმინდად დაფუძვლულ მდგომარეობაში წყალთან არევის შედეგად წარმოქმნას პლასტიკური ცომი, რომელიც ჰაერზე წინასწარი გამყარების შემდეგ განაგრძობს გამყარებას წყალში.

პორტლანდცემენტი ზოგადად შედგება კლინკერის (60-95%), თაბაშირის (3-5%) და პუცოლანური დანამატისგან (6-35%). პუცოლანური დანამატის დანიშნულებაა, რომ შებოჭოს კლინკერის ჰიდრატაციის დროს გამოყოფილი Ca(OH)_2 , რის შედეგადაც დამატებით წარმოიქმნება კალციუმის ჰიდროსილიკატები და ჰიდროქსიდები თავდაპირველად გელისებრ მდგომარეობაში, რომლებიც შემდგომ გამოკრისტალდებიან და ცემენტის ქვას დამატებით სიმტკიცეს ანიჭებენ. აქტიური მინერალური დანამატები შეყავთ ცემენტებში ისეთი სამშენებლო-ტექნიკური თვისებების გასაუმჯობესებლად, როგორცაა წყალმედეგობა და სულფატმედეგობა.

მაღალი ხარისხის პუცოლანურ დანამატს უნდა გააჩნდეს ნაწილობრივ ამორფული ან მინისებური სტრუქტურა.

პუცოლანური დანამატები წარმოშობის მიხედვით შეიძლება იყოს ბუნებრივი და ხელოვნური, თავის მხრივ ბუნებრივი დანამატები არსებობს დანალექი და ვულკანური სახის.

დანალექი წარმოშობის პუცოლანური დანამატებია: დიატომიტი, ტრეპელი, ოპოკა, სპონგოლიტი, გლიეჟი, ტერიკონიტი და ა. შ.

ბუნებრივი ვულკანური პუცოლანური დანამატებია: ვულკანური ფერფლი, ტუფი, პემზა, ვიტროფირი, ტრასი და ა. შ.

ხელოვნურ დანამატებს მიეკუთვნებიან: შავი და ფერადი მეტალურგიული წიდეები. კაჟმიწაშემცველი ნარჩენები მიიღება თიხიდან თიხამიწის მოპოვების შედეგად, თიხის ან თიხური ფიქლების გამოწვისას ღუმელებში ან თვითაალების შედეგად მალარობში.

ბუნებრივი პუცოლანური დანამატები მიეკუთვნებიან მჟავე დანამატებს, მაშინ როდესაც, ხელოვნურ დანამატებში არის როგორც მჟავე (გლინიტი, ნაცრები) ასევე ფუძე (ბრძმედის წიდეები, ნეფელინის შლამი) სახის.

საქართველოში სხვადასხვა სახის მასალების შესწავლა აქტიური მინერალური დანამატის სახით ხორციელდებოდა საშენ მასალათა კვლევით ინსტიტუტში [5-6], კავკასიის მინერალური ნედლეულის ინსტიტუტში [7] და საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში [8-9]. შესწავლის ობიექტად შერჩეული იყო საქართველოს ზოგიერთი საბადოს ვულკანური ქანები (ტუფები, პემზა, პერლიტი), ასევე მეტალურგიული ქარხნის წიდეები, სამთო გადამამუშავებელი ქარხნის ნარჩენები და სხვა.

უმრავლესობის აზრით პუცოლანური დანამატის აქტიურობის კრიტერიუმად მიჩნეულია მათში აქტიური კაჟმიწის, თიხამიწის და, რაც მთავარია, ვულკანური მინის არსებობა. ძირითადად ასეთ კრიტერიუმებს აკმაყოფილებენ მჟავე ტიპის ეფუზიური მაგმური ქანები (ვულკანური ფერფლი, ტუფი, პემზა, ტრასი და ა. შ.). ხოლო დანალექი ტიპის ქანებში (დიატომიტი, ტრეპელი, ოპოკა, სპონგოლიტი და ა. შ.) აქტიურ კომპონენტს წარმოადგენს ამორფული კაჟმიწა.

ქიმიური რეაქციის ზოგადი თვისებაა, რომ მისი სიჩქარე მატულობს თუ ერთ-ერთი ახალ წარმონაქმნი გამოდის რეაქციის ზონიდან ან გადადის ძნელად ხსნად მდგომარეობაში. ამის შედეგია ის, რომ აქტიური მინერალური დანამატის შედგენილობაში არსებული აქტიური კაჟმიწა თუ ვულკანური მინა უერთდება CaS -ის ჰიდრატაციის შედეგად გამოყოფილ Ca(OH)_2 -ს და გადაყავს ის ძნელად ხსნად მდგომარეობაში, რითაც ხელს უწყობს დაბალფუძიანი ჰიდროსილიკატების წარმოქმნას, რაც მეტად მნიშვნელოვანია მკვრივი და ხანმედეგი ცემენტის ქვის სტრუქტურის ჩამოყალიბებისათვის.

სწორედ ამ პროცესების შედეგად ცემენტი, რომელიც გარდა კლინკერისა და თაბაშირისა შეიცავს მინერალურ დანამატსაც, თავისი სიმტკიცით თანდათან უახლოვდება უდანამატო ცემენტს და შემდგომში უსწრებს კიდევ მას. ამისათვის უნდა შეირჩეს დანამატის ის ოპტიმალური რაოდენობა, რომლის დროსაც მაქსიმალურად მიიღწევა ხსენებული ეფექტი.

გარდა ამისა, ცემენტის ქვის სტრუქტურაში თავისუფალი კალციუმის ჰიდროქსიდის შემცირება ზრდის ბეტონის კოროზიულ მედეგობას კოროზიის I ჯგუფის – გამოტუტვის და II ჯგუფის - ქიმიური კოროზიის მიმართ. ასევე გამორიცხავს ადვილად ხსნადი მაგნიუმის, ნატრიუმის და სხვათა ჰიდროქსიდების წარმოქმნას.

ცემენტში და ბეტონში პუცოლანური დანამატების გამოყენება - ეს არის ცემენტის კლინკერული ნაწილის ეკონომიის ეფექტური მეთოდი.

ბოლო დროს მსოფლიოში დიდი პოპულარობით სარგებლობს მეტაკაოლინი, როგორც ცემენტის მაღალაქტიური პუცოლანური დანამატი [10-12].

მეტაკაოლინის დამატება ცემენტის სიმკვრივის, წყალმედეგობისა და სიმტკიცის გაზრდის საშუალებას იძლევა, და ამით განაპირობებს ცემენტის, როგორც ბეტონის ენერგოტევადი და ძვირადღირებული პროდუქტის ხარჯის შემცირებას. მეტაკაოლინი მიიღება კაოლინური თიხების თერმული დამუშავებით, რომელთა საბადოები საკმაოდ შეზღუდულია.

კაოლინური თიხების საბადოები საქართველოში არ აღირიცხება. ამის გამო მიმდინარეობს სამუშაოები მეტაკაოლინის მისაღებად ჩვეულებრივი პოლიმინერალური თიხებისგან, რაც ამ მასალას (მეტაკაოლინს) უფრო იაფს და ხელ მისაწვდომს გახდიდა [13,14].

ადგილობრივი სანედლეულო ბაზის გაფართოების მიზნით ჩვეულებრივი თიხების თერმული მოდიფიცირების პრაქტიკა სხვადასხვა ტემპერატურაზე მიღებული და გამოცდილი მეთოდია [15-24].

პუცოლანური დანამატის ხარისხი განისაზღვრება მისი უნარით შეიერთოს კალციუმის ჰიდროქსიდი, რომელიც ცემენტის მინერალების ჰიდრატაციის შედეგად გამოიყოფა და გარდაქმნას ძნელადხსნადი კალციუმის ჰიდროსილიკატების სახით, ხოლო ეს უკანასკნელი მინერალები განაპირობებენ ცემენტის ქვის გამყარებას და სიმტკიცის ზრდას, ანუ ცემენტის ხარისხს.

ამ მიზნით ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა საქართველოში ფართოდ გავრცელებული თიხოვანი ქანები, როგორცაა: თიხაფიქალები, არგილიტები და ადვილლღობადი თიხები.

1.2 ბეტონის მსუბუქი ფოროვანი შემავსებელი - კერამზიტი

თანამედროვე მშენებლობა, განვითარების სწრაფი ტემპების პირობებში, მოითხოვს არა მარტო სამშენებლო მასალების წარმოების რაოდენობრივ ზრდას, არამედ მათი ენერგოეფექტურობის დახვეწას და სრულყოფას, რაც თანამედროვე საცხოვრებლის კომფორტულობის ხარისხის ამაღლებას უზრუნველყოფს.

მოთხოვნები შენობების და ნაგებობების დაცვაზე სითბოს დანაკარგებისგან მრავალ ქვეყანაში სახელმწიფოს რეგულირების მნიშვნელოვან ობიექტს წარმოადგენს. ეს მოთხოვნები განიხილება, აგრეთვე როგორც გარემოს დაცვის, არაგანახლებადი ბუნებრივი რესურსების რაციონალური გამოყენების, „სათბურის ეფექტის“, ასევე ატმოსფეროში სხვა მავნე გამონახობლების შემცირების თვალსაზრისით.

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

ფოროვანი შემავსებლის ერთ-ერთ ძირითად სახეობას კერამიტი წარმოადგენს. კერამიტი მიიღება თიხოვანი ქანების (ადვილლოზადი თიხების, აგრეთვე არგილიტების და თიხაფიქალების) აფუების გზით.

კერამიტი ყინვამედეგი და ტენმედეგი მასალაა, მდგრადია ტუტეების და მჟავების მიმართ, მტკიცეა კუმშვისას, ცეცხლმედეგია, ქიმიურად ინერტული. კერამიტი ხანმედეგია, ვინაიდან არ იზიდავს მღრღნელებს, მწერებს და არ ექვემდებარება ლპობას. კერამიტის ხრემის სიმკვრივეა 350-დან 900 კგ-მდე კუბურ მეტრზე, სიმტკიცე კუმშვაზე 0.4-დან 6 მპა-მდე, ყინვამედეგობა არანაკლებ F35 (გაყინვა-გაღობის 35 ციკლი), წყალმთანთქმა 10-დან 25%-მდე. კერამიტის თბოსაიზოლაციო თვისებები ფასდება როგორც კარგი სითბოგამტარობის - $\lambda = 0.14-0.20$ ვატ/მ²·K.

კერამიტი ძირითადად იწარმოება პლასტიკური მეთოდით, ნაწილობრივ - მშრალი და, ზოგიერთ შემთხვევაში - სველი მეთოდითაც. გრანულების აფუება გამოწვის პროცესში წარმოებს მბრუნავ ღუმელებში.

კერამიტის წარმოების ტექნოლოგიური პროცესის არსი მდგომარეობს ნედლეული გრანულების გამოწვაში ოპტიმალური რეჟიმით. იმისთვის, რომ თიხის გრანულა აფუვდეს, აუცილებელია, რომ აქტიური აირების გამოყოფა დაემთხვეს თიხის გადასვლის ფაზას პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში. ნორმალურ პირობებში აირების წარმოქმნა თიხის გამოწვის დროს მიმდინარეობს უფრო დაბალ ტემპერატურებზე, ვიდრე პიროპლასტიკური გარბილება. ამიტომ, კერამიტის წარმოებისას ნედლეული გრანულების გამოწვის დროს საჭიროა ტემპერატურის სწრაფად აწევა, ვინაიდან ნელი გამოწვის პროცესში აირების უმეტესობა გამოიყოფა თიხის გარბილების დაწყებამდე, რის შედეგად მიიღება მკვრივი და ნაკლებად აფუებული მასალა, აფუებამდე აუცილებელია მათი გამოშრობა და წინასწარი გათბობა.

გამოწვის ოპტიმალურ რეჟიმად მიჩნეულია სამ საფეხურიანი რეჟიმი ს. პ. ონაცკის მიხედვით: ნედლეული გრანულების თანდათანობით გახურება 200°C-დან 600°C-მდე და შემდგომი სწრაფი გახურება აფუების ტემპერატურამდე - 1200°C-მდე [25].

კერამიკის წარმოებისას ღუმელში აირადი გარემოს ხასიათი განპირობებულია იმ ქიმიური რეაქციებით, რომლებიც მიმდინარეობს გამოწვის პროცესში. აღმდგენელ გარემოში რკინის ოქსიდი - Fe_2O_3 გადადის ქვეყანგში - FeO , რაც თიხის პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის ხელშემწყობი ფაქტორია. აღმდგენელი გარემო გრანულის შიგნით არსებობს ორგანული მინარევების და დანამატების შედეგად, მაგრამ ჰაერის მაღალი სიჭარბის გამო ორგანული მინარევები და დანამატები შეიძლება ამოიწვას და წარმოიქმნება დამჟანგავი გარემო. ამიტომ დამჟანგავი აირადი გარემო ღუმელში თერმოდამუშავების სტადიაში არასასურველია.

აღმდგენელი გარემოს პირობებში ღუმელის აფუების ზონაში შესაძლებელია გრანულების ზედაპირის გაღებობა, რის გამოც ამ ზონაში აირადი გარემო უნდა იყოს სუსტად აღმდგენელი, რომელიც მასის პიროპლასტიკურ მდგომარეობას და აირების გამოყოფას ინარჩუნებს და რომლის დროსაც გრანულების ზედაპირები ღებობას არ განიცდიან.

აირადი გარემოს ხასიათი კერამიკის ფერზეც აისახება. რკინის ოქსიდების მდგომარეობის და შემცველობის მიხედვით: წითელი ფერის ზედაპირით გრანულები მიიღება დამჟანგავ გარემოში, ხოლო მუქი ნაცრისფერი - აღმდგენელ გარემოში.

ძირითად ნედლეულად კერამიკის წარმოებაში გამოიყენება სხვადასხვა სახის თიხები - მონტმორილონიტური, ჰიდროქარსული და სერიციტ-ქლორიტიანი მინერალებისაგან შემდგარი, რომელთა ქიმიური შემდგენილობა ზოგადად შემდგენიანია (მას. %): SiO_2 – 50-65; Al_2O_3 – 10-20; Fe_2O_3+FeO – 3,5-10; CaO – 3%-მდე; MgO – 4%-მდე; Na_2O+K_2O – 3,5-5,0. ისინი შეიცავენ ასევე ორგანულ მინარევებს არაუმეტეს 2%, რომლებიც გარკვეული სახის ბუმტულების გაჩენის წყაროს წარმოადგენენ.

ქიმიურ შედგენილობაში განსაკუთრებული როლი ენიჭება თავისუფალი SiO_2 და რკინის ოქსიდების არსებობას, რადგანაც თავისუფალი SiO_2 -ის რაოდენობით განისაზღვრება თიხების აფუების უნარი: SiO_2 – 20%-მდე არსებობისას თიხები კარგად ფუვდება, ხოლო 30%-ზე მაღალი შემცველობისას თიხები აფუებისთვის უვარგისია [26,27].

ყველაზე უკეთესი აფუების უნარი გააჩნია ჰიდროქარსულ თიხებს, ხოლო ბენტონიტური - საერთოდ არ ფუვდება.

თიხები, გარდა ძირითადი თიხური მინერალებისა, შეიცავენ სხვადასხვა სახის მინარევებს, რომლებსაც განსხვავებული ზემოქმედება გააჩნიათ აფუებაზე. კვარცის მინარევები კერამზიტის მისაღებად მავნე მინარევებად ითვლება. კარბონატული მინარევები კირქვის, თაბაშირის და მერგელების სახით, რომლებშიც CaO – 3%-ზე მეტია, ერთის მხრივ, ხელს უწყობს აფუების ტემპერატურული ინტერვალის შემცირებას, მაგრამ ასევე იწვევს კერამზიტის გრანულების დაშლას წარმოქმნილი კირის ჩაქრობის შედეგად.

რკინის ნაერთების ლიმონიტის, რკინის ჰიდროქსიდის, პირიტის ჩანართების ზემოქმედება განისაზღვრება თერმული დამუშავებისას გარემოს ხასიათით. თიხის გამოწვისას დამუშავებულ გარემოში რკინა გადადის სამ ვალენტთან ფორმაში, ხოლო აღმდგენელ გარემოში - ორ ვალენტთან ფორმაში. წვრილდისპერსიული რკინის მინარევები დადებითად მოქმედებს კერამზიტის მიღებაზე. აღმდგენელ არეში დამუშავებისას მასალის ლღობის ტემპერატურა საკმაოდ დაბლია.

ტუტე ოქსიდები (Na_2O , K_2O) გვხვდება როგორც მინერალების სახით, ასევე ზოგჯერ თიხაწარმოქმნელი მინერალების შემადგენლობაშიც აღინიშნება. მათი რაოდენობა 5-6% შეადგენს და თერმული დამუშავებისას ხელს უწყობენ ლღობის ტემპერატურის დაწევას.

კერამიკის მისაღებად თიხების აფუების უნარის გასაძლიერებლად, მასალის სიმტკიცის ასამაღლებლად და აფუების ინტერვალის გასაფართოებლად იყენებენ სხვადასხვა სახის დანამატებს როგორც თხევადი, ისე მყარი მასალების სახით.

დანამატების სახით გამოიყენება პირიტი, პირიტის ნამწვი, დაწვრილმანებული ნახშირი, ნახერხი, გუმბრინი. დანამატების გამოყენება, განსაკუთრებით კომპლექსურის, საშუალებას იძლევა გაიზარდოს აფუების კოეფიციენტი 2-3-ჯერ, შესაბამისად, შემცირდეს კერამიკის ნაყარი მოცულობითი მასა და საგრძნობლად შემცირდეს მისი თვითღირებულება.

კერამიკის წარმოებისათვის გამოყენებული თიხებიდან განსაკუთრებით აღსანიშნავია ბუნებრივი თიხაფიქალები. მათი ვარგისიანობის ძირითად კრიტერიუმს წარმოადგენს დაჩქარებული რეჟიმით თერმული დამუშავებისას 1120-1250°C ტემპერატურულ ინტერვალში მისი თვითაფუების უნარი, რის შედეგადაც მასალა ფოროვან სტრუქტურას იძენს. გარდა ამისა, თვითონ ფიქალი უნდა ხასიათდებოდეს მკვრივი ქვისმაგვარი სტრუქტურით, რომელიც წყალში არ სველდება, შავი, მუქი მოშავო, მონაცრისფრო ფერით, რაც ორგანული ნივთიერებების არსებობის მაჩვენებელია და მათი შემცველობა აუცილებელია. მარილმჟავასთან მოქმედებისას - სუსტი რეაქციით, რაც მიუთითებს კარბონატების მცირე ოდენობით შემცველობაზე, ასევე უნდა იყოს ერთგვაროვანი; მათი ცეცხლმედეგობა არ უნდა აღემატებოდეს 1350°C. მინერალოგიური შემადგენლობით დასაშვებია 80%-მდე ჰიდროქარსების და ქლორიტის შემცველობა, ხოლო მინარევების სახით შეიძლება იყოს მინდვრის შპატი, კვარცი, სიდერიტი, პირიტი, კალციტი- არაუმეტეს 3% [28].

წინა წლებში ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევებით ლაბორატორიულ პირობებში გამოვლენილ იქნა მდინარე დურუჯის ხეობის ნაშალი თიხაფიქალების გამოყენების შესაძლებლობა კერამიკის მისაღებად [29-32].

1.3 ფორიანი თბოსაიზოლაციო მასალების მიღების თეორიული საფუძვლები

თბოსაიზოლაციო მასალები მიეკუთვნება სამშენებლო მასალების ჯგუფს, რომლებიც ხასიათდება მაღალი ფორიანობით და დაბალი თბოგამტარობით.

ფორიანობა უჩვენებს მასალის ფორებით შევსების ხარისხს და განსაზღვრავს მის სიმკვრივეს. ფორების სახეობის მიხედვით თბოსაიზოლაციო მასალები შეიძლება იყოს განსხვავებული აღნაგობის: უჯრედოვანი, მარცვლოვანი, ბოჭკოვანი, ფირფიტოვანი და შერეული.

მაღალი ფორიანობის მისაღებად ტექნოლოგიაში სხვადასხვა მეთოდები გამოიყენება: ნედლეულზე ასაფუებელი ან წვადი სპეციალური დანამატი დაყალიბების ან თბური დამუშავების პროცესში, ბოჭკოვანი კარკასის შექმნა, მექანიკური დისპერგირების მეთოდი, კარბონატული ნედლეულის ქიმიური გადამუშავება, ბუნებრივი ქანების და მინერალების აფუება და ა. შ. [33].

თბოსაიზოლაციო მასალის ხარისხი განისაზღვრება მისი აღნაგობის მიკრო და მაკროფორიანობის ერთობლიობით. ფორების სივრცითი განაწილება, ზომები, ფორმები და ფორებშორისი ტიხრების სისქე გადამწყვეტ გავლენას ახდენს უჯრედოვანი ფორიანობის მოცულობაზე.

როგორც აღნიშნავს, მოცულობაში თანაბრად განაწილებული წვრილფოროვანი სტრუქტურა განაპირობებს იზოლაციის მაღალ მაჩვენებლებს. ფორების ზომის შემცირებით 10მმ -დან 0,1მმ-მდე თბოგამტარობა მცირდება 0,063 BT/მ.°C-დან 0,028-მდე. მასალის სიმტკიცე დამოკიდებულია ფორების ზომასა და ფორმაზე, რომელიც სასურველია უახლოვდებოდეს სფერულს, რაც მასალას ანიზოტროპულობას ანიჭებს. წვრილი ფორების დეფორმაცია ნაკლებად მოქმედებს სიმტკიცისა და თბოგამტარობის მაჩვენებლებზე [34].

ფორების დიამეტრის ზრდა იწვევს მოცულობითი ფორიანობის მატებას ფორებშორის ტიხრების რაოდენობის შემცირების შედეგად, მაგრამ

ეს თბოგამტარობის შემცირებაზე გავლენას ვერ ახდენს, მაგრამ უარყოფითად მოქმედებს მასალის მექანიკურ სიმტკიცეზე.

უკეთეს ვარიანტად ითვლება მსხვილი და წვრილი ფორების ერთმანეთში გადანაწილება, რომლის დროსაც მიიღწევა მაქსიმალური მოცულობითი ფორიანობა.

არსებითი მნიშვნელობა აქვს დახურული და ღია ფორების თანაფარდობას. იდეალურად თბოსაიზოლაციო მასალისთვის ითვლება მთლიანად დახურული ფორების არსებობა, მაგრამ რეალურად პრაქტიკაში წარმოებული მასალებისათვის უჯრედოვანი სტრუქტურის დეფექტების გამო დამახასიათებელია ე. წ. „კონტაქტური ნახვრეტების“ არსებობაც.

სამშენებლო იზოლაციისათვის გამოყენებულ მასალებში დახურული ფორები უზრუნველყოფს მაღალ საექსპლუატაციო მაჩვენებლებს, რადგან ღია ფორიანობის შემთხვევაში სინესტე და სხვადასხვა აირები მასალის სიღრმეში უფრო თავისუფლად შეაღწევენ. მეორეს მხრივ, გადამღობ კონსტრუქციებში იყენებენ მცირე ზომის თანაბრად განაწილებულ ღია ფორებიან მასალას.

ამრიგად, ოპტიმალურ უჯრედოვან სტრუქტურად ითვლება მოცულობაში თანაბრად განაწილებული, ზომის მიხედვით პოლიდისპერსიული, დახურული, სწორი მრავალკუთხედის ფორმით დეფორმირებული ფორების არსებობა, რომლებიც ერთმანეთისგან გამოყოფილია ფორებსშორისი ერთნაირი სისქის თხელი ტიხრებით.

ასეთი აღნაგობა განაპირობებს ისეთი თბოსაიზოლაციო მასალის მიღებას, რომელიც გამოირჩევა ფუნქციონალური და სამშენებლო-საექსპლუატაციო დადებითი მაჩვენებლების ერთობლიობით.

სხვადასხვა სახის თბოსაიზოლაციო მასალების (ნაკეთობისფორმით) ძირითადი მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში 1.

ცხრილი 1. სხვადასხვა სახის თბოსაიზოლაციო მასალების მახასიათებლები

მასალის სახეობა	მოცულობითი მასა, კგ/მ ³	თბოგამტარობის კოეფიციენტი, კკალ/მ.სთ.°C	გამოყენების ტემპერატურა °C	სიმტკიცე კუმშვაზე მკა	სიმტკიცე გაჭიმვაზე მკა	წყალმთანთქმა %ში
ქაფმინა სამშენებლო	150-350	0,05-0,09 25 ⁰ -ზე	500	0,8-2,0	0,5-1,0	~5
ქაფ-ბეტონი	500	0,105 50 ⁰ -ზე	400	0,8	-	18-22
ქაფ-თაბაშირი	400	0,085 20 ⁰ -ზე	400	0,7-0,8	-	50-60
ფილები მინერალური ბამბის საფუძველზე ორგანული შემკვრელით	125-350	0,045-0,075	150	0,04 - 0,12	0,01	100
სოველიტი (აზბესტ-მაგნეზიალური)	400	0,087	500	0,25	-	>100

მასალაში ფორებიანი სტრუქტურის ჩამოყალიბებას განაპირობებს თვით ნედლეულის თერმოდამუშავებისას მიმდინარე ძირითადად ორი პროცესი. ეს არის მაღალ ტემპერატურაზე ნედლეულის პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლისა და აირადი ფაზის გამოყოფის პროცესების თანხვედრა დროში. თუ ეს არ მოხდა, მაშინ მასალის აფუებაც არ იწარმოებს.

ასეთი პროცესები მიმდინარეობს პერლიტის, ზოგიერთი სახეობის თიხების, მეტამორფიზებული ფიქალების, არგილიტების, ობსიდიანისა და ვერმიკულიტის აფუებისას.

ნედლეულის აფუების უნარს, როგორც მიაჩნია, განსაზღვრავს მისი ქიმიური და მინერალოგიური შედგენილობა. პიროპლასტიკური ნალღობის ძირითად წყაროს, ავტორის აზრით, წარმოადგენს წვრილ-დისპერსიული ალუმოსილიკატები მონტმორილონიტის და ბეიდელიტის სახით. მათი შემცველობა ხელს უწყობს ადვილღობადი ევტექტიკის წარმოქმნას, შესაბამისად, პიროპლასტიკური მდგომარეობის უფრო დაბალ ტემპერატურაზე ჩამოყალიბებას და, აქედან გამომდინარე, აფუებასაც [35].

მათგან განსხვავებით, ჰიდროქარსების შემცველობა ნედლეულში ამ პროცესებისათვის უფრო მაღალ ტემპერატურას საჭიროებს.

ნედლეულში კვარცის და პლაგიოკლაზების მომატებისას ქლორიტების შემცირების ხარჯზე, ჰომოგენური მინისებური ფაზის წარმოქმნის პირობები ირღვევა. ამ მინერალების ნაწილაკები ვერ ასწრებენ მინისებურ ფაზაში გადასვლას და აფუების პროცესში მონაწილეობას ვერ იღებენ. შედეგად მასალის აფუების კოეფიციენტი მცირდება.

თიხებისაგან განსხვავებით ფიქალები უძველეს მეტამორფირებულ ქანებს მიეკუთვნება და მათ შემადგენლობაში ზემოაღნიშნული თიხური მინერალები არ შენარჩუნდა. პირველადი თიხური ნივთიერების გარდაქმნის პროდუქტი ფიქალებში წარმოდგენილია ჰიდროქარსებისა და ქლორიტების ნარევით (75-80%), ხოლო მინარევების არაორგანულ ნაწილში ძირითადად გვხვდება მინდვრის შპატი, კვარცი და მადნეული მინერალები. დადებით მინარევად ითვლება 1-2% წვრილდისპერსიული ორგანული მინარევების შემცველობა.

ანალიზის შედეგად შუსტერი ასკვნის, რომ აფუებადი პიროპლასტიკური ნალღობის საფუძველს წარმოადგენენ თიხური მინერალები, რკინისა და კარბონატების წვრილდისპერსიული ჰიდროქსიდები, ასევე კვარცი და ორგანული მინარევები[35].

ჰიდროქარსული ფიქალების კვლევით, რომელთა აფუება 1100-1180 °C ფარგლებში მიმდინარეობს, ავტორთა მიერ დადგენილი იქნა მათი მინერალოგიური შემცველობა, რომელიც წარმოდგენილია ძირითადად ჰიდროქარსებით და მცირე რაოდენობით კვარცითა და მინდვრის შპატებით. მიკროსკოპში გამოვლინდა პელიტომორფული თიხური მასალა კვარცის, სერიციტის, ქლორიტის, ბიოტიტის, პლაგიოკლაზის, ჰიდრობიოტიტის, ჰიდრომუსკოვიტისა და ნახშირბადოვანი მასალის მინარევებით [36].

გამოფიტული და გამოუფიტავი ფიქალების ქიმიური შემადგენლობები ერთმანეთისაგან ძირითადად რკინის ოქსიდების და ჰუმუსის რაოდენობით განსხვავდებიან.

ჰიდროქარსების, რკინაშემცველი მინერალების და ორგანული მინარევების დიდი რაოდენობა, როგორც ავტორები აღნიშნავენ, განსაზღვრავს ფიქალების ადვილლობადობას და მიდრეკილებას აფუებისადმი.

თერმოდამუშავებისას აფუების ტემპერატურაზე ნედლეული 3 ფაზითაა წარმოდგენილი: თხევადი, კრისტალური და აირადი. თხევადი ფაზა შედგება ნალღობში გადასული ადვილლობადი სილიკატების, კვარცისა და კარბონატების წვრილდისპერსიული მინარევებისგან, მათი რაოდენობა პროცესის ბოლოს 90%-მდე აღწევს. კრისტალური ფაზა შეიცავს სილიციუმს და Al_2O_3 , რომელთა რაოდენობა თერმოდამუშავების პროცესში თანდათან მცირდება და ბოლოს 10%-მდე რჩება [35].

მინერალების მესერის რღვევა შედარებით ნელა და თანდათანობით მიმდინარეობს. განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს გარბილების ინტერვალი, როდესაც მიმდინარეობს კრისტალიზაციური ფაზის კლება, თხევადი ფაზის ზრდა და მასალის პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლა. რაც უფრო ვრცელია გარბილების ინტერვალი, მასალის გამოწვის რეჟიმის რეგულირება უფრო ადვილად მიმდინარეობს.

რაც შეეხება აირად ფაზას, რომელიც უზრუნველყოფს მასალის აფუებას, მისი წარმოქმნის თაობაზე მკვლევარებში ერთიანი აზრი არ არსებობს. დღემდე გავრცელებული ჰიპოთეზით ფორების წარმოქმნა განპირობებულია ჟანგბადით, რომელიც გამოიყოფა მაღალ ტემპერატურაზე სამვალენტიანი რკინის ოქსიდისაგან ორვალენტიანი რკინის დიოქსიდში გადასვლისას; ასევე CO_2 -ის წარმოქმნით სამვალენტიანი რკინის ოქსიდის ურთიერთქმედებისას ნედლეულში შემავალი ორგანული მინარევების ნახშირბადთან.[33]

ი.პონომარევის აზრით, აფუებისათვის პრიორიტეტულია კარბონატების დისოციაციის შედეგად წარმოქმნილი ნახშირბადის დიოქსიდი, ხოლო ი. გერვიდსი - ჟანგბადთან ერთად მიუთითებს გადახურებული წყლის ორთქლის მნიშვნელობაზე, რომელიც მინერალების კრისტალიზაციური მესერის რღვევის შედეგად წარმოიქმნება[37].

არაორგანული წარმოშობის თბოსაიზოლაციო მასალები იწარმოება როგორც ნაყარის (ღორღი, ხრეში), ასევე დაყალიბებული ნაკეთობების (ფილები, ბლოკები) სახით.

ნაყარი მასალის ფართოდ გავრცელებული სახეობებია აფუებული პერლიტი, ობსიდიანი, ვერმიკულიტი, ასევე თიხების და თიხაფიქალების აფუებით მიღებული კერამიტი.

ავტორები კიტაიცევი, გორლოვი და პეტროვი ასკვნიან, რომ ამ ეფექტური თბოსაიზოლაციო მასალის ფართოდ გავრცელებას გარკვეულწილად ზღუდავს ნედლეულის სიძვირე და დეფიციტი. ამიტომ მეტად მნიშვნელოვანი ხდება იაფი, არადეფიციტური ნედლეულის სხვადასხვა ტექნოლოგიური ნარჩენების დამიება და შესწავლა მათი თბოსაიზოლაციო მასალის წარმოებაში ძირითად ნედლეულად გამოყენების მიზნით[33,34,38].

ამ მიმართულებით გარკვეული კვლევებია ჩატარებული - როგორც ავტორები მიუთითებენ, მჟავე ბუნებრივი ქანები, როგორცაა დაციტები, ლიპარატები, ტუტე-დაციტური ქანები აფუებისას სიბლანტის საუკეთესო მაჩვენებლებით გამოირჩევიან, რაც განაპირობებს მათ ვარგისიანობას თბოსაიზოლაციო მასალების წარმოებაში[34,39].

მათ ნაშრომებში მითითებულია ვულკანური წარმოშობის ტუტემცველი ქანების - ტრაქიტების, სიენიტების, ობსიდიანების, ნეფელინების, ვულკანური ფერფლის, ბემტაუნიტების გამოყენების შესაძლებლობა ქაფმინის წარმოებისათვის[33,40].

სილიკომანგანუმის წარმოების ნარჩენების და ხსნადი მინის საფუძველზე ხვედელიძის ავტორობით დამუშავებულ იქნა ახალი წიდაფოროვანი თბოსაიზოლაციო მასალის მიღების ტექნოლოგია ორსტადიანი აფუების მეთოდით[41].

საქართველოში ადგილობრივი მჟავე ქანების პერლიტის, ტრაქიტის საფუძველზე შემუშავებულ იქნა აფუებული თბოსაიზოლაციო ფილების

მიღების ტექნოლოგია და ახალი შემადგენლობები ამაფუებლად წარმოების ნარჩენის ნაცრის და ადვილლობადი თიხების გამოყენებით[42].

განსხვავებით ქაფმინის წარმოების ტრადიციული ტექნოლოგიისგან, ჩატარებული კვლევები აფუებული მასალის მიღებას ითვალისწინებდა უშუალოდ კაზმის ნარევის თერმული დამუშავებით, მინის წინასწარი ხარშვის პროცესის გამორიცხვით. 1150-1240°C ტემპერატურის ინტერვალში თერმული დამუშავებით მიღებულ იქნა თანაბარფორებიანი სტრუქტურის აფუებული ნიმუშები, რომელთა მოცულობითი მასა 0,4 - 0,8 გ/სმ³ ფარგლებშია.

დადგენილ იქნა ინწობის ადგილმდებარეობის თიხა-ფიქალების ვარგისიანობა ფორიანი შემსუბუქებული თბოსაიზოლაციო მასალის მისაღებად. თიხაფიქალები, როგორც წვრილდისპერსიული დანალექი ქანები, აირწარმომქნელი ნივთიერებების შემცველობით გამოირჩევა.

ამ ფაქტორის გამოყენებით მასალის მიღება წარმოებდა ნედლეულის ნარევის თვითაფუებით - აირწარმომქნელი დანამატის გარეშე. ტექნოლოგია ითვალისწინებდა ნარევის უშუალო აფუებას მინის ხარშვის პროცესის გარეშე და ტექნოლოგიიდან ცეცხლგამძლე ფორმების გამორიცხვას.

მიღებული შემადგენლობების სიახლე დაცულია საქართველოს პატენტით [43,44].

დურუჯის თიხაფიქალებისა და წარმოების ნარჩენების საფუძველზე დამუშავდა თბოსაიზოლაციო მასალის შემადგენლობები, რომელთა 1100-1250°C ტემპერატურაზე თერმული დამუშავებით მიღებულ იქნა ფორიანი მასალა შემდეგი მახასიათებლებით: მოცულობითი მასა 500-1150აგ/მ³ , სიმტკიცე კუმშვაზე 3,5-20მპა, ფორიანობა 25-38%[45].

სილიკატურ წარმოებაში გამოყენების თვალსაზრისით მკვლევართა გარკვეულ ინტერესს იწვევს მდ. დურუჯის თიხაფიქალები, რომლებიც წლების განმავლობაში კავკასიონის მთებში მიმდინარე ღვარცოფული პროცესების შედეგად მილიონობით ტონაა დაგროვილი მდ. დურუჯის

ხეობაში და ეკოლოგიურ საფრთხეს უქმნის ადგილობრივ გარემოს, კერძოდ, ქ. ყვარლის მიდამოებს [25, 46].

დღეისათვის მას პრაქტიკული გამოყენება არ გააჩნია. ხეობაში დაგროვილი თიხაფიქალები წარმოადგენს არაერთგვაროვან ნარევს როგორც თიხური და კოლოიდური ფრაქციების სახით, ასევე ქვიშაქვებით, ქვებით, კლდოვანი ნატეხების ჩანართებით, რომლებიც დაახლოებით 20% შეადგენს, ხოლო 80% დამსხვრეული რუხი და მუქი ფერის თიხაფიქალებია.

ღვარცოფულ ნაკადებში სხვადასხვა ჰორიზონტების ცვლაში კანონზომიერება არ შეინიშნება. ძირითადი მასა უსტრუქტურია: მასში თიხის ფრაქცია ($d < 0,01$ მმ) მერყეობს 11,6-42,3% ფარგლებში, ლამის შემცველობა 2,3-16,6% [36].

ავტორების რ. სხვიტარიძისა და ა.საკანდელიძის მიერ თიხაფიქალების გარკვეული უბნების დეტალური შესწავლით განისაზღვრა მათი ქიმიური და მინერალოგიური შედგენილობა ცხრილი 2.

ცხრილი 2. თიხაფიქალების ქიმიური შედგენილობა

ბ. დ.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O
4,13	59,5	18,73	7,59	1,32	2,83	0,98	4,7

პეტროგრაფიული შესწავლით, თიხაფიქალები წარმოდგენილია როგორც ფენობრივად დაშლილი ქერცლოვანი მასით, ასევე დიდი ზომის მომრგვალებული ნატეხების სახით, მონაცემის ზოლოვანი აღნაგობის სტრუქტურით.

ნატეხების ძირითადი მასა მოშავოა, შრეობრივი მიმართულების, ხოლო მის ზოლურ მონაცვლეობებში ამოვსებულია თიხა ნივთიერების შესქელებით და განახშირებული ნაწილაკებით. მსხვილ დისპერსიულ ნაწილაკებში თიხა ჰიდროქარსული ბუნებისაა, ქერცლოვანი აგებულებით.

როგორც ავტორები აღნიშნავენ, ნატეხების შემადგენლობაში შედის განახშირებული ნივთიერება, მუსკოვიტი, სერიციტი, ქლორიტი, ილიტი, კვარცი, მინდვრის შპატი და მადნეული მინერალების ჩანაწინწკლები [42].

ასევე აღინიშნება ჰიდროქარსები, რკინა-მაგნეზიური ქლორიტი მოზრდილი ქერცლებით. განახშირებულ ნივთიერებას აქვს მიმართულება

განშრევების-კენ ფიუზენისებრი ფორმებით. აგროქიმიური მონაცემებით თიხაფიქალების წვრილი ფრაქცია შეიცავს pH-7,2-7,7%, ჰუმუსი - 2,5-2,96%, N(საერთო)-0,12-0,14%; შესათვისებელი P₂O₅ 16,0-22,2%, გაცვლითი K₂O 5,3-6,7%[36].

თიხაფიქალებში აირწარმომქმნელი ნივთიერებების მნიშვნელოვანი რაოდენობა განაპირობებს მათი თერმული დამუშავებისას 1240-1300°C ტემპერატურის ფარგლებში თვითაფუების უნარს, რის შედეგადაც მასალაში წარმოიქმნება სხვადასხვა ზომის ფორები და მოცულობა მკვეთრად იზრდება.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე ავტორები რეკომენდაციას უწევენ დურუჯის ხეობის თიხაფიქალების გამოყენებას სხვადასხვა სახის სილიკატური სამშენებლო მასალების წარმოებაში[41-45,47,48].

2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1 ნედლეული კომპონენტების შესწავლა

თიხები წვრილმარცვლოვანი მთის ქანებია, შედგება ერთი ან რამდენიმე კაოლინიტის ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) ჯგუფის მინერალისგან, მონტმორილონიტის ($MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 1,5H_2O$) ან სხვა სახის ფენოვანი ალუმოსილიკატისგან. თუმცა შეიძლება შეიცავდეს ასევე კარბონატებსა და ქვიშებსაც. თიხებისთვის დამახასიათებელი თვისებაა დასველების შედეგად გახდეს პლასტიური, ხოლო შრობის და გამოწვის შედეგად ჩამოყალიბდეს მკვრივი ქვისმაგვარი სხეულის სახით. არსებობს ადვილლლობადი და ცეცხლგამძლე თიხები.

თიხა-დანალექი და ჰიდროთერმულად შეცვლილი ქანია. თიხებში რელიქტური და ტერიგენული მინერალების: კვარცი, მინდვრის შპატი, ქარსი და სხვა — ჯამური რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს 30-40%. ძირითადად ცემენტის როლს ასრულებს წმინდადისპერსიული თიხის მინერალები (კაოლინიტი, მონტმორილონიტი, ჰიდროქარსი და სხვ.). თიხის მინერალთა დიდი კონცენტრაცია განაპირობებს მის მაღალ ხარისხს. თიხის მინერალოგიური და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები (იონთა გაცვლის უნარი, კოლოიდურობა, წყლიანი სუსპენზიების ტიქსოტროპიულობა, პლასტიურობა, ცეცხლგამძლეობა და სხვა) განსაზღვრავს მის ეფექტურ გამოყენებას კერამიკული, სამსხმელო, ნავთობის, კომბინირებული საკვების წარმოებაში, აგრეთვე ქანდაკების ორიგინალის შესაქმნელად და სხვა.

მეტამორფიზმის შედეგად თიხა გარდაიქმნება არგილიტად, თიხაფიქალად, ფილიტად. მონტმორილონიტიანი თიხების საბადოები ცნობილია საქართველოში, უკრაინაში, სომხეთში, აზერბაიჯანში, თურქმენეთში, ყაზახეთში, მექსიკაში, იტალიაში, რუმინეთში, აშშ-ში და სხვა.

არგილიტები თიხების ნაირსახეობაა, რომელიც ბუნებრივი პროცესების შედეგად თიხის გამოშრობის და გამკვრივების, დეჰიდრატაციის და გადაკრისტალების შედეგად მიიღება. არგილიტი (ბერძ. argillos- თიხა და

lithos- ქვა) - დანალექი ტიპის სამთო ქანია; წარმოადგენს გამკვრივებულ თიხას. წარმოიქმნება თიხის დიაგენეტურ-ეპიგენეტური დეჰიდრატაციითა და გამკვრივებით. ქიმიური და მინერალოგიური შედგენილობით არ განსხვავდება თიხისაგან. იგი თიხაზე უფრო მაგარია და წყალში არ იხსნება. ძირითადად დამახასიათებელია ნაოჭა სისტემებისა-თვის, სადაც ტექტონიკური დამაბულობა ხელს უწყობდა თიხიან ნალექთა არგილიტებად გარდაქმნის პროცესს. არგილიტი გამოიყენება ნედლეულის სახით ცემენტების, კერამიკისა და იშვიათად სამშენებლო კერამიკის წარმოებისათვის. კაოლინური არგილიტი ცეცხლგამძლე მასალად გამოიყენება.

გამკვრივების ხარისხით არგილიტებს უკავიათ შუალედური მდგომარეობა თიხებსა და თიხაფიქალებს შორის.

თიხაფიქალები ძლიერ მკვრივი, ფენოვანი აგებულების, მეტამორფირებული თიხოვანი ქანებია. თიხოვანი ფიქალი, თიხაფიქალები-სუსტად მეტამორფიზებული ნაცრისფერი, მოყვითალო ან მოშავო-მონაცრისფრო ქანები. ახასიათებს წვრილმარცვლოვანება და აქვს ფიქლებრივი ტექსტურა მჭიდრო აგებულებით. ფორიანობა მერყეობს 1-3%. უმეტესად შეიცავს: ჰიდროქარსებს, სერიციტს, ქლორიტებს, კაოლინიტს, მონტმორილონიტს, კვარცს, მინდვრის შპატებს, იშვიათად - ნახშიროვან ნივთიერებას, კარბონატებს და სხვა. წარმოიქმნება თიხოვანი ნალექების შედარებით სუსტი მეტამორფიზმის შედეგად. თიხოვანი ფიქალების ჯგუფს განეკუთვნება აგრეთვე ასპიდური და სახურავი ფიქალებიც, რომელნიც მეტამორფიზებულსა და ნამდვილ მეტამორფულ ქანებს შორის გარდამავალ ტიპს წარმოადგენენ. თიხოვანი ფიქალები საქართველოში გავრცელებულია კავკასიონის ნაოჭა სისტემაში.

სამეცნიერო-ლიტერატურული და საფონდო-გეოლოგიური წყაროების შესწავლის შედეგად შერჩეული იქნა შემდეგი თიხოვანი ქანები:

თიხაფიქალი მდ. ღურუჯის ხეობიდან (ქ. ყვარლის მიმდებარე ტერიტორია); არგილიტი თელეთიდან; თიხა მეტეხიდან; თიხა მირიანიდან; თიხა გარდაბნიდან.

შერჩეული ქანები ჩამოტანილ იქნა შესაბამისი ადგილმდებარეობებიდან და მოხდა მათი წინასწარი დამუშავება: შრობა, დამსხვრევა და დაფქვა. მდ. ღურუჯის ხეობაში ქ. ყვარელთან აკუმულირებული თიხაფიქალი მაგმური წარმოშობისაა და ბუნებრივ მდგომარეობაში წარმოადგენს სხვადასხვა ზომის, როგორც ბრტყელი ფორმის ასევე განსხვავებული მოყვანილობის ნატეხებს. მასალის გარკვეული ნაწილი წარმოადგენილია გლუვი ფორმის მქონე უსწორმასწორო 40-50მმ-მდე ზომის ნატეხების სახით.

თელეთის არგილიტი წიაღში ფენა-ფენადაა „დაწნეხილი“. მოპოვების შემდეგ ის წარმოადგენს სხვადასხვა ზომა-ფორმის „ფენოვან“ ნატეხებს. კერძოდ, მასალის ძირითადი ნაწილი წარმოადგენილია ხაოიანი გლუვ-წახნაგოვანი ფორმის 30 – 150მმ - მდე ზომის ბრტყელი ნატეხების სახით.

ადვილლლობადი თიხებიდან კვლევებისათვის შევარჩიეთ გარდაბნის თიხა, რომელიც წარმოადგენს წვრილ, შეწებებულ მარცვლოვან დანალექ ქანს და ფართოდ გამოიყენება საქართველოს საშენ მასალათა წარმოებაში, რადგან მისი ზედაპირთან ახლოს მდებარე მარაგები „დიდია“.

აფუებულ მასალათა მისაღებად გამოყენებული მთის ქანების და მინერალების მიმართ არსებულ კლასიფიკაციაში განასხვავებენ ღორღს და ქვიშას, რომლებიც თავის მხრივ ფრაქციებადაა დაყოფილი:

ღორღი იყოფა სამ ფრაქციად და ესენია: 5-10მმ (წმინდა ღორღი), 10-20მმ (საშუალო) და 20-40მმ (მსხვილი, უხეში ღორღი) ზომის მქონე მარცვლების (ნატეხების) შემცველი მასალები შემდგომი ეტაპი გულისხმობს მათ შესწავლას: ქიმიური, პეტროგრაფიული, რენტგენოფაზური, DTA ანალიზების მეთოდებით.

ძლიერ განსხვავებული ზომის მასალების გამოყენება, აფუებული მასალის მისაღებად, ტექნოლოგიურად მიზანშეწონილი არ არის.

2.1.2 კვლევის მეთოდика

თიხების მინერალოგიურ-პეტროგრაფიული შედგანსაზღვრა ხდებოდა პოლარიზაციული მიკროსკოპის Optika B-383POL (იტალია) მეშვეობით.

დიფერენციალურ-თერმული ანალიზებისთვის გამოიყენებოდა გერმანული ფირმის დერივატოგრაფი NETZSCH, ანალიზატორით - STA-2500 REGULUS. ნიმუშების გახურება ხდებოდა 10000C-მდე კერამიკულ ტიგელში, გახურების სიჩქარე - 10 გრად/წთ. ეტალონური ნივთიერება - α - Al_2O_3 .

რენტგენოფაზური ანალიზისთვის გამოიყენებოდა დიფრაქტომეტრი Дрон-4.0, НПП "Буревестник", სპილენძის ანოდით და ნიკელის ფილტრით. U (ძაბვა)-35kv. I (დენის ძალა) - 20mA. გადაღების სიჩქარე - 2 გრად/წთ. $\lambda = 1.54778 \text{ \AA}$.

მოდიფიცირებული თიხოვანი ქანების პუცოლანური აქტიურობის განსაზღვრა ხდებოდა 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.

ნედლეულის დაწვრილმანება და დაფქვა წარმოებდა ყბებიან ლაბორატორიულ სამსხვრევლაში. მასალების ხვედრითი ზედაპირი განისაზღვრა ხელსაწყოთი ПСХ-2.

საკვლევი თიხაფიქალი და არგილიტი ხელოვნურად დაქუცმაცდა ყბებიან ლაბორატორიულ მსხვრევანაში. ყბებიანი მსხვრევანის გამოსასვლელი ხვრელის ზომა შეადგენდა 5მმ-ს. მსხვრევის პროცესი ყოველგვარი სირთულეების გარეშე წარიმართა. მასალები ადვილად ქუცმაცდებოდა. საკვლევი ბუნებრივად მშრალი მასალების საკვლევი ულუფის ოდენობა 5,0 კგ-ს შეადგენდა, ხოლო მსხვრევის შედეგად მიღებული მასალების საცრითი ანალიზით დადგინდა დაქუცმაცებული მასალების ფრაქციულობა, რაც კონკრეტულად 7 სხვადასხვა ზომის მქონე

მარცვლების მიღებით დასრულდა. ადვილლობადი თიხის დაქუცმაცება განხორციელდა ე. წ. "რბედები"-თ.

ნედლეულის სპექტრალური ანალიზისათვის გამოყენებული იქნა ემისიური დიფრაქციული სპექტროფოტომეტრი DFS-8.

ცემენტების ფიზიკურ-მექანიკური ტესტირება ჩატარდა 40x40x160მმ ზომის ძელაკებზე ევროსტანდარტების მოთხოვნების მიხედვით: EN 196-1, EN 196-3, EN 196-6.

ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნიმუშების დაყალიბება წარმოებდა ლაბორატორიულ ჰიდრავლურ წნეხზე ПГЛ-5.

ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნიმუშების დაყალიბებისათვის გამოიყენებოდა სულფატურ-სპირტოვანი ბუყი (სსბ), მარკა „КБЖ“ ფხვნილისებური კონცენტრატი, რომლისგანაც წყლის დამატებით მზადდებოდა ხსნარი სიმკვრივით (1,02-1,3) გ/სმ³. ნედლეულის ნარევის შეცხობა და აფუება მიმდინარეობდა ლაბორატორიულ ელექტროლუმელში 1000-1350°C ტემპერატურის ფარგლებში.

აფუებული ნიმუშების მოცულობითი მასა განისაზღვრა გოსტის 12865-67 მიხედვით.

სითბოგამტარობა განისაზღვრა ხელსაწყოზე ИТП-МГ4 «100».

ნიმუშების სიმტკიცე კუმშვაზე განისაზღვრა ჰიდრავლიკური 10 ტონიანი წნეხით (ტიპი: П-10 „ЗИМ“) გოსტ 310.4-81-ის თანახმად.

წყალშთანთქმა შემოწმდა გოსტ 6787-2001-ით.

2.2 თიხოვანი ქანების ქიმიური შედგენილობები

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

ნედლეული კომპონენტების შერჩევა განაპირობა იმ ფაქტორებმა, რომ ადვილადლობადი თიხები და არგილიტები ფართოდაა გავრცელებული საქართველოში და მათი მოპოვება სირთულეს არ წარმოადგენს, რაც შეეხება დურუჯის თიხაფიქალებს, აქ კიდევ დამატებითი არგუმენტებია

აღსანიშნავი. კახეთის რეგიონში ქ. ყვარელთან მდ. დურიჯის ხეობაში ეგზოგენური პროცესების შედეგად დაგროვდა 20,0 მლნ. კუბ. მეტრზე მეტი კლდოვანი ქანების - თიხაფიქალების ჩამონაშალი, რომელთა ყოველწლიური ნამატი დაახლოებით 500,0 ათას კუბ. მეტრს აღწევს. ანუ, ეს არის მუდმივად განახლებადი ნედლეული. ხეობაში პერიოდულად ვითარდება დამანგრეველი ძალის ღვარცოფული პროცესები, რაც ეკოლოგიური კატასტროფით ემუქრება ადგილობრივ გარემოს და კერძოდ, ქალაქ ყვარელს, რომელიც მაღალი რისკის ფაქტორის ზონაში იმყოფება. ამის გამო თიხაფიქალების გამოყენება სამშენებლო მასალების წარმოებაში საშუალებას მოგვცემს, რომ მიმდებარე ტერიტორია გაიწმინდოს რისკის შემცველი ალუვიური ნადებისგან, რაც ქალაქის მაცხოვრებლებს წალეკვით ემუქრება, ხოლო შესაბამისი დარგის საწარმოები უზრუნველყოს სასარგებლო და ეკოლოგიურად სუფთა ნედლეულით.

აღნიშნული თიხოვანი ქანების სინჯები წინასწარ დამუშავდა: გამოშრა, დაიმსხვრა, დაიფქვა და გაიცრა 1.0-0.16მმ საცრებში და განისაზღვრა თითოეული მათგანის ქიმიური შემადგენლობა (ცხრილში 3).

ცხრილში 3 მოყვანილია თიხური ქანების ქიმიური ანალიზების შედეგები. №1 - თიხა (მეტეხი), №2 - თიხა (მირიანი), №3 - თიხა (გარდაბანი), №4 - არგილიტი (თელეთი), №5 - თიხაფიქალი (ყვარელი).

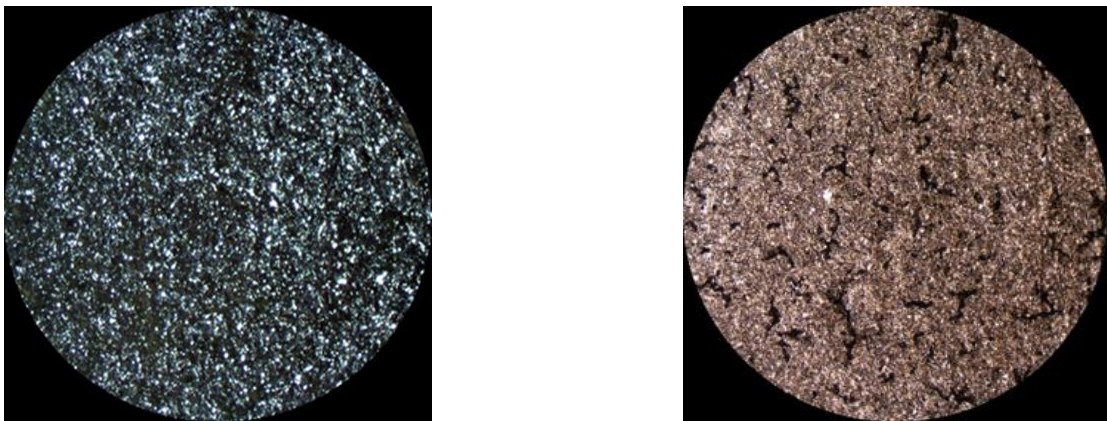
ცხრილი 3. თიხოვანი ქანების ქიმიური შედგენილობები, მას. %

№	ხ. დ.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Mn ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ 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

2.2.1 თიხოვანი ქანების მიკროსკოპიულ-პეტროგრაფიული კვლევები

თიხაფიქალი (ყვარელი) ქანის სტრუქტურა პელიტურია, სუსტად გამოხატული ფიქლებრივი ელემენტებით.

ქანის ამგები მინერალების გარჩევა მხოლოდ დიდი გადიდებით არის შესაძლებელი. 400 ჯერად გადიდებაზე დგინდება, რომ უმთავრესი კომპონენტები, რომლითაც პელიტური (თიხური) სტრუქტურის ქანია აგებული, წარმოდგენილია ქლორიტული და ჰიდროქარსული მინერალებით, რკინის ჰიდროქსიდებით (ჰემატიტი) და ორგანული ნივთიერებით. შედარებით მსხვილ ფრაქციაში გაირჩევა კვარც-მინდვრისშპატური აუტიგენური მინერალები, რომლებიც ფიქლებრიობის მიმართულებითაა ორიენტირებული. იშვიათად დაიკვირვება ეპიდოტი და სფენი სურათი 1.



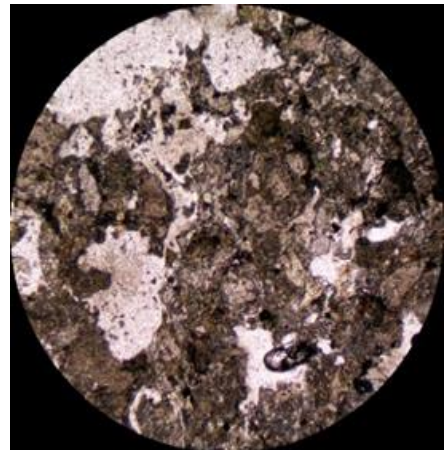
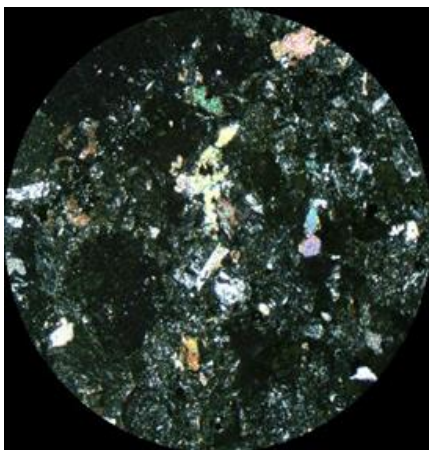
სურათი 1. თიხაფიქალის მიკროფოტოგრაფიები, გადიდება 100 x.

არგილიტი (თელეთი)-ქანის სტრუქტურა ალვროლითურია. ალევროლითური სტრუქტურის ამგები მინერალები წარმოდგენილია, კვარცით, პლაგიოკლაზით, კალციტით, გლაუკონიტით, შედარებით მცირე რაოდენობით პიროქსენით და ბიოტიტით, ქანის ლითოკლასტებით, ტურმალინით და ეპიდოტით.

ყველზე დიდი რაოდენობით კვარც-მინდვრისშპატების კლასტური, ქსენომორფული მარცვლებია გავრცელებული, მათი ზომა 0,05-0,08მმ-ს არ აღემატება. მინდვრისშპატები რაოდენობრივად ჭარბობენ კვარცს და ძირითადად სოსურიტიზირებული, შცვლილი ფორმით გვხვდებიან, რომელთაც პოლისინთეზური დამრჩობლა სუსტად ემჩნევათ. ზოგჯერ

პლაგიოკლაზები მთლიანადაა კარბონატიზირებული და კალციტის ფსევდომორფოზებია შემორჩენილი მათ მიმართ.

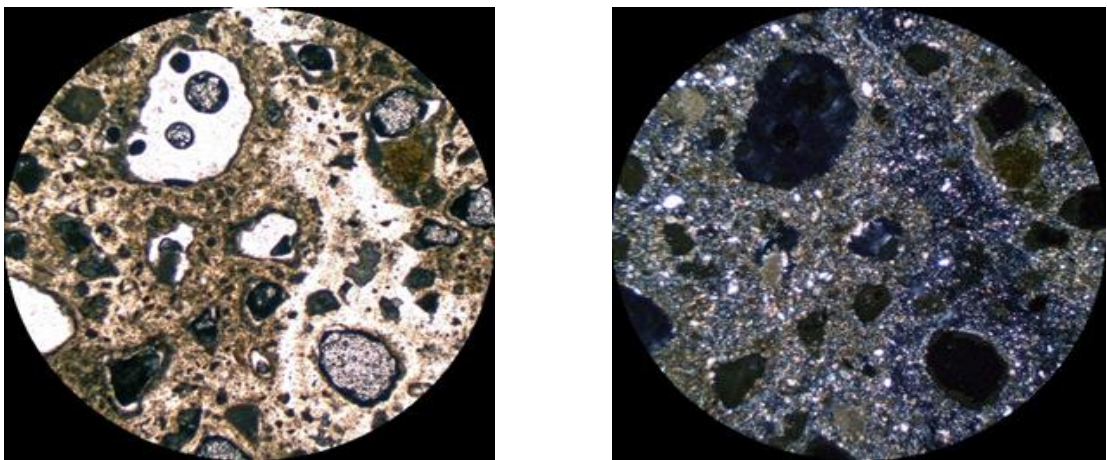
კარბონატული მასა წარმოდგენილია როგორც კალციტის მარცვლების სახით, ასევე ანაცვლებს ალევრიტულ მარცვლებს შორის არსებულ ცემენტს. სხვა მინერალებიდან აღსანიშნავია პიროქსენის და ბიოტიტის ქლორიტიზირებული მცირე კლასტური მარცვლები. უნდა აღინიშნოს, რომ ქანში შეიმჩნევა გლაუკონიტის ერთეული მარცვლები, რომლებიც უწესრიგოდ არიან გაბნეული ალევრიტულ მასაში. იშვიათად დაიკვირვება აგრეთვე ლითოკლასტური მასალა, წარმოდგენილი სხვადასხვა სტრუქტურის მქონე ვულკანური ქანების ნამსხვრევებით. ქანის ცემენტი წარმოდგენილია ქლორიტ-კარბონატული და რკინის ჰიდროქსიდებით გაჟღენთილი პელიტური მასალით, რომლებშიც ჩართულია ერთეული ბიოკლასტური მასალა, წარმოდგენილი მიკროორგანიზმების კარბონატული სკელეტის ნამსხვრევებით, რომლებიც ზოგჯერ შევსებულია რკინის მინერალებით. ქანის ამგებ ალევრიტულ მასალას, სუსტად ეტყობა ორიენტირებულად განლაგების კვალი სურათი 2.



სურათი 2. არგილიტის მიკროფოტოგრაფიები, გადიდება 100x

თიხა (მეტეხი)-ქანი მარილჟავას ზემოქმედებით შიშინებს. შემორჩენილი ძირითადი მასის უმეტესი ნაწილი შედგება სხვადასხვა დროს ქრობადი პელიტური კარბონატულ-ქარსოვანი მინერალების, ნაწილობრივ კვარცის და მინდვრის შპატების მარცვლებისგან და ნამსხვრევებისაგან. პელიტური მასა ძლიერ კარბონატიზირებულია, დაიკვირვება აგრეთვე

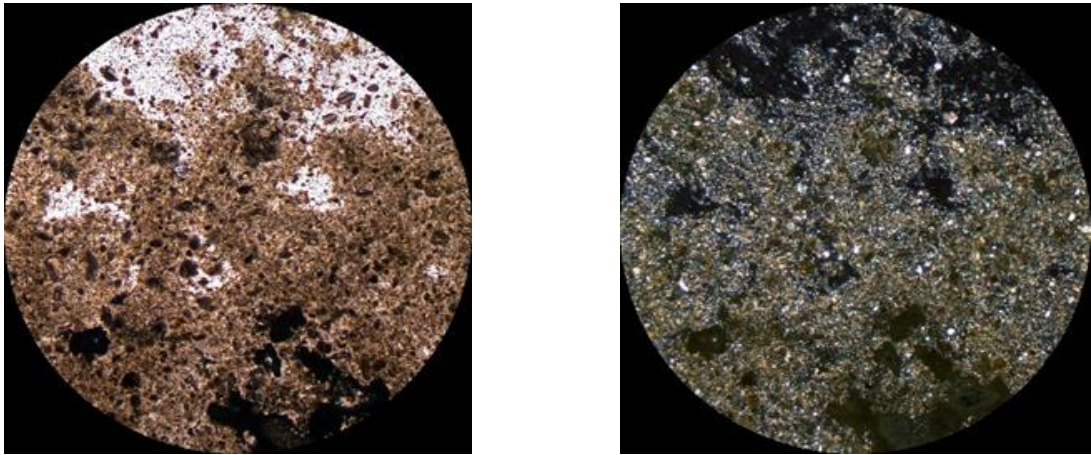
კალციტის მარცვლებიც. კვარცი მაღალი რელიეფით და ტალღებრივი ჩაქრობით ხასიათდება. მინდვრის შპატებიდან ჭარბობს პლაგიოკლაზების ნამსხვრევები, რომლებიც ძლიერ მეორად შეცვლას განიცდიან. იშვიათად პლაგიოკლაზებს აღენიშნებათ პოლისინთეზური მრჩობლები, რომლის საშუალებითაც მოხერხდა რამდენიმე მარცვალზე ჩაქრობის კუთხის განსაზღვრა. ჩაქრობის კუთხე 30-35° ია, რაც ანდეზინ-ლაბრადორის რიგის პლაგიოკლაზებს შეესაბამება. შლიფში დაიკვირვება პიროქსენების და ამფიბოლების ერთეული მარცვლები, რომლებიც რკინის ოქსიდებით და მადნეული მინერალებით ინაცვლებიან. კრისტალოკლასტური მასალის გარდა აღინიშნება ლითოკლასტური მინარევები. ლითოკლასტური მასალა წარმოდგენილია მცირე ზომის პორფირული სტრუქტურის მქონე, შეცვლილი ვულკანური ქანების ნამსხვრევებით. შლიფში ძალზედ იშვიათად დაიკვირვება გლაუკონიტის მარცვლები (სურ. 3). საერთო ჯამში ტერიგენური მინარევები ქანის 10%-ს არ აღემატება.



სურათი 3. თიხის (მეტეხი) მიკროფოტოგრაფიები, გადიდება 100 x.

თიხა (მირიანი)-ქანი მარილჟავას ზემოქმედებით შიშინებს. შემორჩენილი ძირითადი მასის უმეტესი ნაწილი შედგება სხვადასხვა დროს ქრობადი პელიტური კარბონატული მინერალების და ძალზედ მცირე რაოდენობის კვარცის და მინდვრის შპატების მარცვლებისგან და ნამსხვრევებისაგან. პელიტური მასა ძლიერ კარბონატიზირებულია, დაიკვირვება აგრეთვე კალციტის მარცვლებიც, კვარცი მაღალი რელიეფით და

ტალღებრივი ჩაქრობით ხასიათდება. მინდვრის შპატებიდან ჭარბობს პლაგიოკლაზების ნამსხვრევები, რომლებიც ძლიერ მეორად შეცვლას განიცდიან (სურ. 4). საერთო ჯამში ტერიგენური მინარევები ქანის 5-7%-ს არ აღემატება.

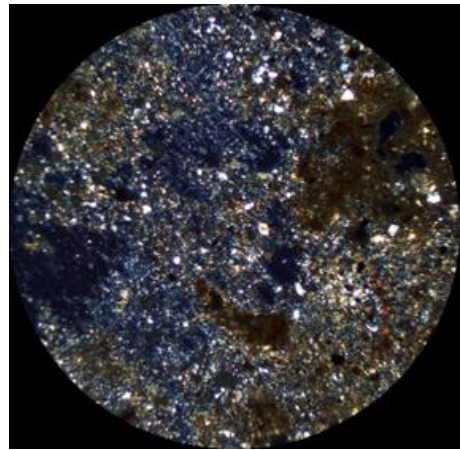
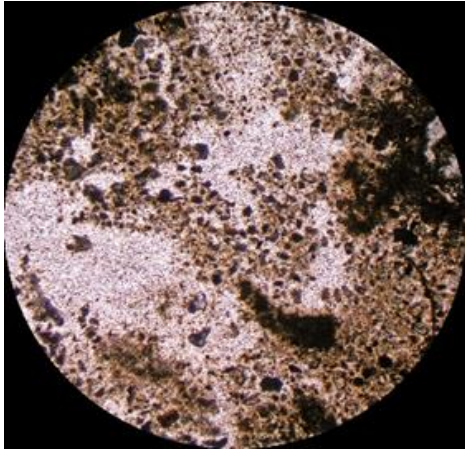


სურათი. 4. თიხის (მირიანი) მიკროფოტოგრაფიები, გადიდება 100 x.

თიხა (გარდაბანი)-შემორჩენილი ძირითადი მასის უმეტესი ნაწილი შედგება სხვადასხვა დროს ქრობადი პელიტური (თიხური) კარბონატულ-ქარსოვანი მინერალების, ნაწილობრივ კვარცის და მინდვრის შპატების, ამფიბოლების და პიროქსენების მარცვლებისგან და ნამსხვრევებისაგან. (სურათი 5).

წარმოდგენილი პელიტური (თიხური) მასა კარბონატიზირებულია, დაიკვირვება აგრეთვე კალციტის მარცვლებიც. კვარცი მაღალი რელიეფით და ტალღებრივი ჩაქრობით ხასიათდება და კლასტური, ქსენომორფული ფორმის მარცვლებს ქმნის. მინდვრის შპატებიდან ჭარბობს პლაგიოკლაზების ნამსხვრევები, რომლებიც ძლიერ მეორად შეცვლას განიცდიან. იშვიათად პლაგიოკლაზებს აღენიშნებათ პოლისინთეზური მრჩობლები.

შლიფში დაიკვირვება პიროქსენების და ამფიბოლების ერთეული მარცვლები, რომლებიც რკინის ოქსიდებით და მადნეული მინერალებით ინაცვლებიან.

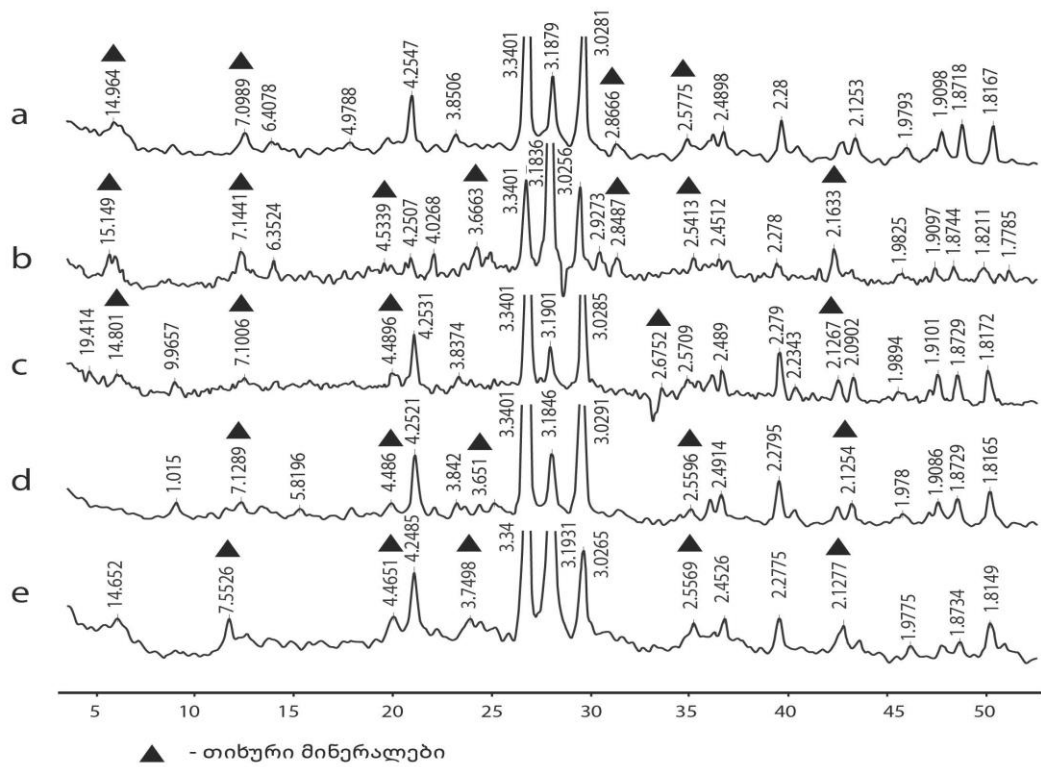


სურათი 5. თიხის (გარდაბანი) მიკროფოტოგრაფიები, გადიდება 100 x

კრისტალოკლასტური მასალის გარდა აღინიშნება ლითოკლასტური მინარევები, რომლებიც წარმოდგენილია მცირე ზომის პორფირული სტრუქტურის მქონე, შეცვლილი ვულკანური ქანების ნამსხვრევებით. იშვიათად დაიკვირვება აპატიტის და ცირკონის მაღალი რელიეფის და ინტენფერენციული შეფერვის მქონე მარცვლებიც, საერთო ჯამში ტერიგენური მინარევები ქანის 30% მდგა.

2.2.2 თიხოვანი ქანების რენტგენოგრაფიული კვლევები

სურ.6-ზე 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.

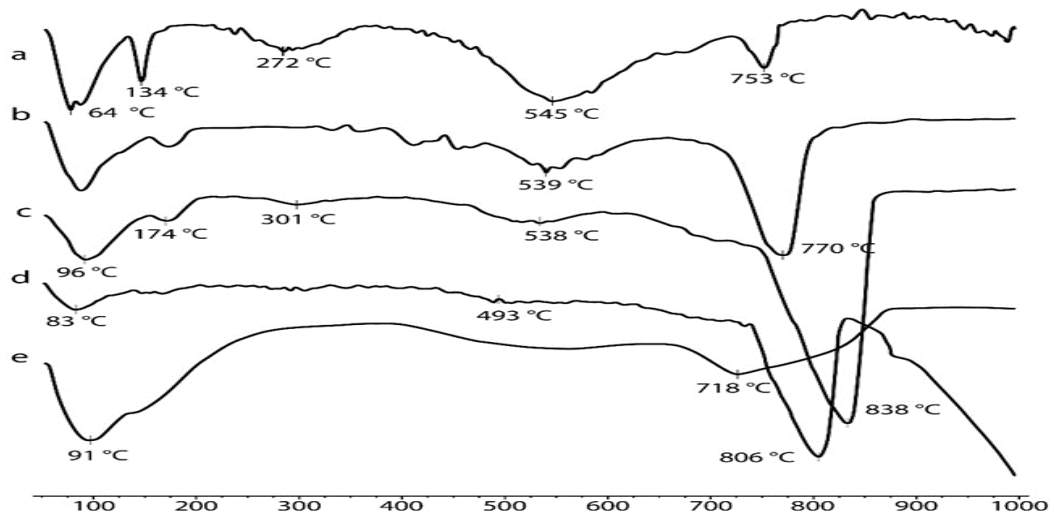


სურათი 6. თიხოვანი ქანების რენტგენოგრამები:

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

2.2.3 თიხოვანი ქანების დიფერენციალურ-თერმული კვლევები

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 7.



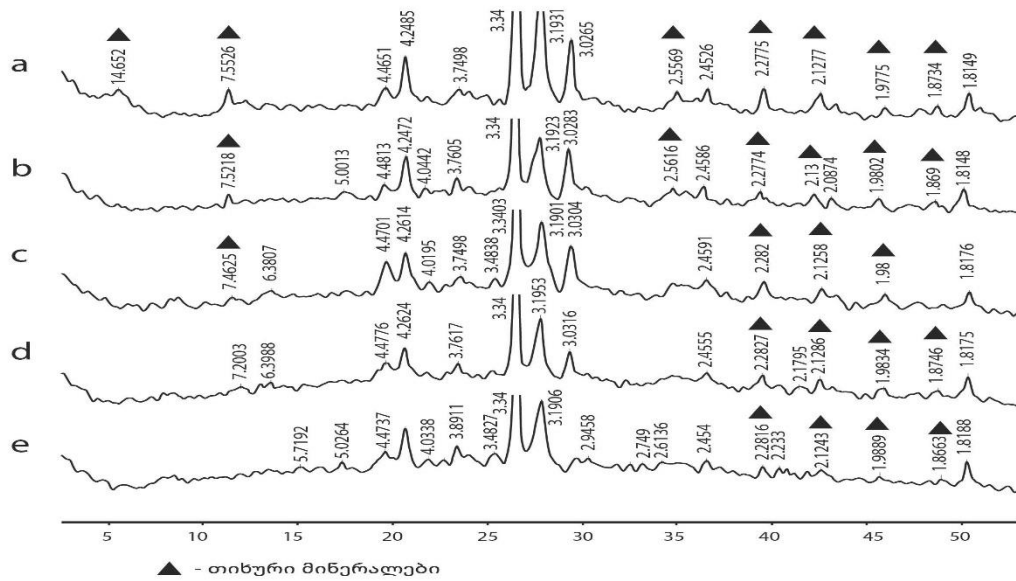
სურათი 7. თიხოვანი ქანების DTG მრუდები:

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

დიფერენციალურ-თერმული ანალიზების შედეგების მიხედვით (სურ. 7). ენდოფექტი 100 - 150 °C-ის ფარგლებში ყველა მრუდზე აღინიშნება, რომელიც შეესაბამება მექანიკურად მიერთებულ წყლის მოცილებას. 650-850 °C-ის ტემპერატურულ ინტერვალში ვლინდება ძლიერი ენდოფექტი, რაც სავარაუდოდ, თიხური მინერალების კრისტალური მესრის რღვევას მათ აქტიურ ამორფულ ფორმაში - მეტაკაოლინიში გარდაქმნას უკავშირდება. ამ ენდოფექტის პიკი შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე აღინიშნება გარდაბნის თიხას (718°C), რაც მეტყველებს ამ თიხის თვისებაზე, კარგად დაექვემდებაროს ტემპერატურულ გააქტიურებას - მოდიფიცირებას.

2.2.4 გარდაბნის თიხის ტემპერატურული გარდაქმნების შესწავლა

გარდაბნის თიხის მინერალური შედგენილობის ტემპერატურული ცვალებადობის დასადგენად, თიხის თერმოდამუშავებას ვახდენდით ლაბორატორიულ ელექტრომუფელის ლუმელში 550, 600, 700 და 800°C ტემპერატურებზე 1 სთ დაყოვნებით. გამომწვარ ნიმუშებს ჩაუტარდა რენტგენოფაზური ანალიზები (სურ. 8).



სურათი 8. გარდაბნის თიხის რენტგენოგრამები:

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

რენტგენოგრამებზე (სურ. 8) ნათლად იკვეთება მასალის ფაზური შემადგენლობის ცვალეზადობა 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 ამოზურცულ ფორმას).

როგორც ჩანს, თიხოვანი ქანების ტემპერატურული დამუშავების შედეგად, დაწყებული 550°C-დან იწყება თიხის კრისტალური მესრის ნაწილობრივი დაშლა და თიხის შემცველი ოქსიდები SiO₂, Al₂O₃ და Fe₂O₃ რენტგენოამორფულ ფაზაში გადადიან, ანუ თიხა იძენს პუცოლანურ თვისებებს (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.

3. ექსპერიმენტული ნაწილი

3.1. თერმუაქტიურობის შესწავლად დამუშავებული თიხოვანი ქანების პუცოლანური

ჩატარდა თიხოვანი ქანების: თიხაფიქალის, არგილიტის და ადვილლობადი 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.

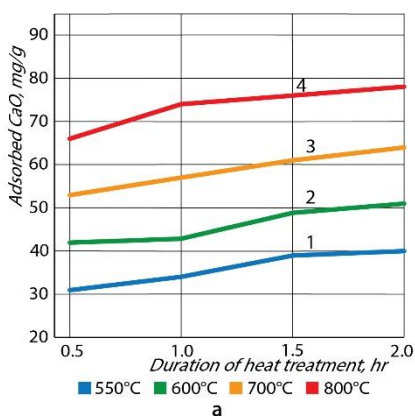
თერმულად დამუშავებული თიხოვანი ქანების პუცოლანური აქტიურობა განისაზღვრა GOST R 56592-2015 (Mineral admixtures for concretes and mortars. General specifications) და ГОСТ Р 56593-2015 (Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов. Методы испытаний) მიხედვით, რაც ნაჯერი ხსნარიდან შთანთქმული კირის რაოდენობით გამოითვლება.

ჩატარებული კვლევების მიხედვით (სურ. 9) დადგინდა, რომ ყველა საკვლევი თიხოვანი ქანი სხვადასხვა პუცოლანური აქტიურობით ხასიათდება.

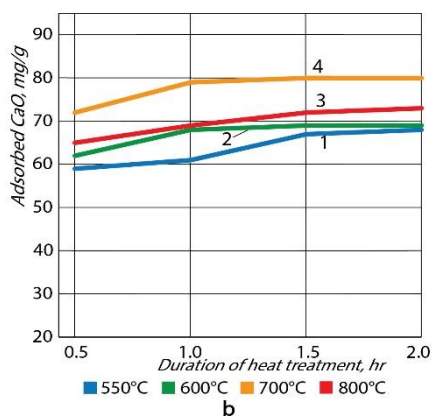
სტანდარტის მიხედვით დანამატი ითვლება მაღალი პუცოლანური აქტიურობის მქონედ, თუ მის მიერ ნაჯერი ხსნარიდან შთანთქმული კირის - CaO-ს რაოდენობა მეტია 70მგ/გ-ზე, საშუალო პუცოლანური აქტიურობის მქონედ - 30მგ/გ-დან 70მგ/გ-მდე და დაბალი პუცოლანური აქტიურობის მქონედ - 30მგ/გ-ზე ნაკლები.

სურათზე 9 წარმოდგენილია ნაჯერი ხსნარიდან CaO-ს შთანთქმის კინეტიკა მოდიფიცირებული თიხოვანი ქანების მიერ.

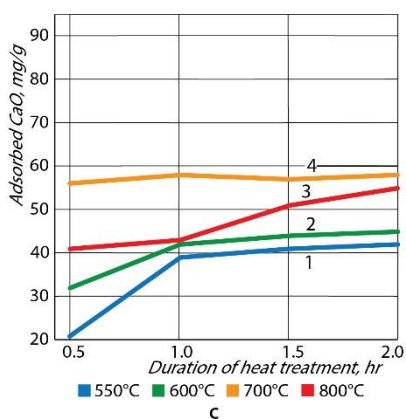
a – თიხაფიქალი



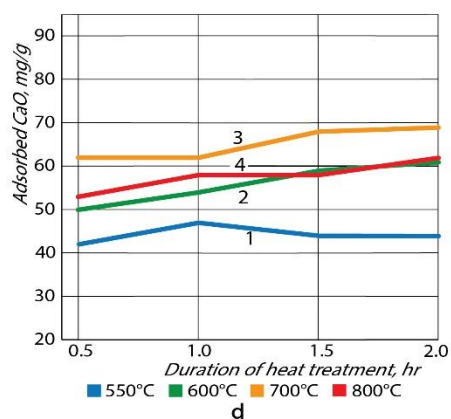
b – არგილიტი



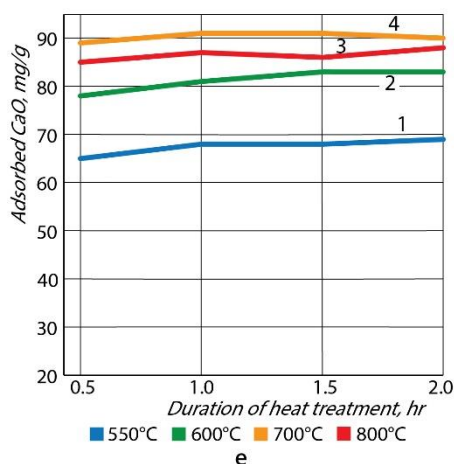
c - თიხა (მეტეხი)



d - თიხა (მირიანი)



e - თიხა (გარდაბანი)



სურათი 9. ნაჯერი ხსნარიდან CaO-ს შთანთქმის კინეტიკა თიხოვანი ქანების მიერ a – თიხაფიქალი, b – არგილიტი, c - თიხა (მეტეხი), d - თიხა (მირიანი), e - თიხა (გარდაბანი).

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. 9).

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.

ცემენტის კომპოზიციებში მეტაკაოლინის დამატება ხელს უწყობს ახალი ჰიდრატული ფაზების წარმოქმნას. აქტიური კაჟმიწა რეაგირებს კირთან და წარმოქმნის კალციუმის ჰიდროსილიკატებს, ამავე დროს, აქტიური თიხამიწა კი - კალციუმის ჰიდროალუმინატებს და ჰიდროძოწებს. Ca^{2+} და Al^{3+} იონების და მეტაკაოლინის ამორფულ კაჟმიწასთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება ახალი ნაერთები, მათ შორის მაღალი სიმტკიცის მქონე მინერალი სტრატლინგიტი - C_2ASH_8 [49,50].

3.1.2 ცემენტების ფიზიკურ-მექანიკური ტესტირება

საწყის ეტაპზე ცემენტების ჰიდრავლიკური აქტიურობის დასადგენად ლაბორატორიულ პირობებში ნორმალური სისქის ცემენტის ცომისგან დამზადდა მცირე ზომის ნიმუშები - კუბები ზომით 20x20x20მმ.

ცემენტები მზადდებოდა სხვადასხვა ტემპერატურაზე თერმულად დამუშავებული მოდიფიცირებული თიხოვანი ქანების სხვადასხვა რაოდენობის დამატებით. მუდმივი რჩებოდა დანამატის თერმული დამუშავების ხანგრძლივობა მაქსიმალურ ტემპერატურაზე - 1 სთ. სულ დაყალიბდა 15 საცდელი ცემენტი.

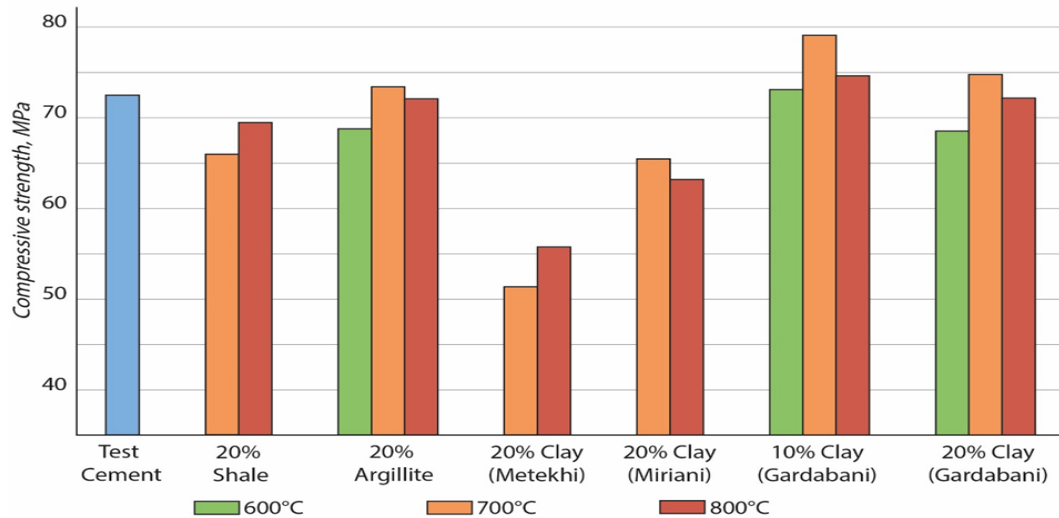
დამზადდა შემდეგი შემადგენლობის ცემენტები:

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

2 ც. ცემენტი - 20% არგილიტის და 20% გარდაზნის 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.



სურათი 10. ცემენტის ცომის კუბების (20x20x20 მმ) ჰიდრავლიკური აქტიურობა
(28 დღე-ღამის გამყარების შემდეგ, დანამატის სხვადასხვა შემცველობით (%), სხვადასხვა ტემპერატურაზე გამომწვარი (°C) და 1 სთ დაყოვნებით)

სიმტკიცის ყველაზე მაღალი შედეგები (სურ. 10) 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.

თუ შევადარებთ თერმულად დამუშავებული თიხოვანი ქანების მიერ CaO-ს შთანთქმის კინეტიკას (სურ. 9), აქ შეიმჩნევა, რომ ცემენტების ჰიდრავლიკური აქტიურობის პროგნოზი ყოველთვის არ შეიძლება მხოლოდ მასალის უნარზე სწრაფად შთანთქმის კალციუმის ჰიდროქსიდის დიდი რაოდენობა მისი გაჯერებული ხსნარიდან. ეს კიდევ ერთხელ ადასტურებს, რომ არსებობს გარკვეული წინააღმდეგობა დანამატის პუცოლანურ აქტიურობას და ცემენტის ჰიდრავლიკურ აქტიურობას, ანუ ცემენტ/ბეტონის მექანიკურ სიმტკიცეს შორის [51].

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

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 4.

ცხრილი 4. ცემენტების ფიზიკურ-მექანიკური ტესტირების შედეგები

№	შემადგენლობა	ნარჩენი 90მკმ საცერზე	შეკვრის ვადები, წუთ.		სიმტკიცის ზღვარი 28 დღ., მპა		საშ. მაჩვ. მპა	სიმტკ. ცვლილ. %
			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

ცხრილი 4-ის გაგრძელება

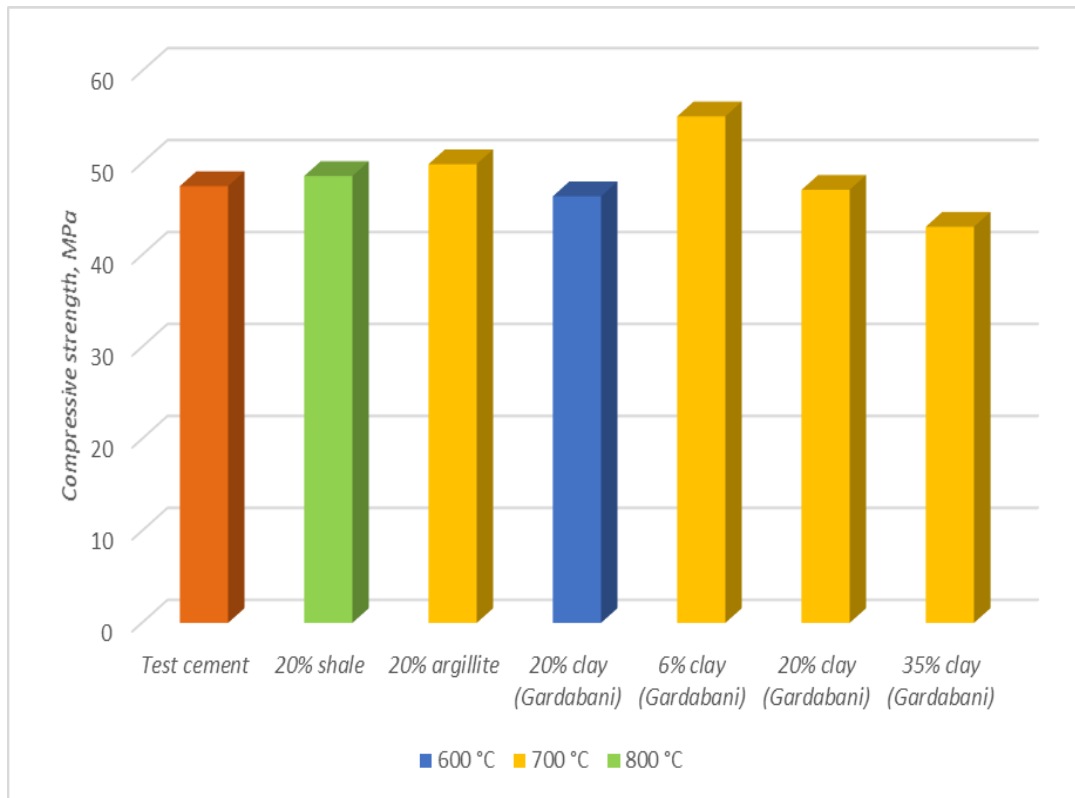
4	80% ცემ. + 20% თიხა (გარდაბანი) (600°C)	0.02	150	195	5.3 4.7 4.9	48.6 47.9 46.2 46.8 42.8 45.8	46.4	-2.3
5	94% ცემ. + 6% თიხა (გარდაბანი) (700°C)	0.01	143	208	7.0 7.3 7.4	52.6 54.2 56.9 56.3 56.8 53.7	55.1	+16.0
6	80% ცემ. + 20% თიხა (გარდაბანი) (700°C)	0.02	140	205	5.4 5.2 5.1	48.0 51.5 49.0 48.6 42.1 43.3	48.1	+1.3
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 11.

ცემენტების ხსნარებზე ჩატარებული სტანდარტული ტესტირების შედეგები კარგად ესადაგება ცემენტის ცომზე ჩატარებულ ტესტებს. 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.

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.



სურათი 11. ცემენტის ხსნარის პელაკების (160x40x40მმ) ჰიდრავლიკური აქტიურობა

(28 დღე-ღამის გამყარების შემდეგ, დანამატის სხვადასხვა შემცველობით (%), სხვადასხვა ტემპერატურაზე გამოძწვარი (°C) და 1 სთ დაყოვნებით)

ამრიგად, თიხოვანი ქანების ტემპერატურული მოდიფიცირებით 600-800°C ტემპერატურებზე მიღებულია ცემენტ/ბეტონის მაღალაქტიური პუცოლანური დანამატები. დადგენილია ქანების მოდიფიცირების ტემპერატურული რეჟიმი და ცემენტში დანამატების ოპტიმალური შემცველობა.

3.1.3 თიხოვანი ქანებიდან ცემენტის პუცოლანური დანამატის მიღების ინოვაციური ტექნოლოგიის შემუშავება

როგორც წინა თავში იქნა განხილული, პუცოლანური დანამატის მიღების ტექნოლოგია ითვალისწინებს თიხოვანი ქანების ტემპერატურულ დამუშავებას 600-800°C ტემპერატურებზე შემდგომი ბუნებრივი ნელი გაცივებით, როგორც ეს მსოფლიო პრაქტიკაშია ცნობილი. ამ დროს, ჩვენი აზრით, ადგილი აქვს პუცოლანურად აქტიური კომპონენტის - ამორფული მეტაკაოლინის გამკვრივებას და ხელახალ რეკრისტალიზაციას, რასაც

მოსდევს მისი პუცოლანური აქტიურობის დაცემა და შესაბამისად, ცემენტის მექანიკური სიმტკიცის შემცირება.

ჩვენს მიერ შემუშავებული 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.

ზემოთხსენებული ტექნოლოგიით სინთეზირებული იქნა პუცოლანური დანამატები, რომელთა გამოყენებით დამზადდა ცემენტები ერთნაირი რეცეპტით:

- კლინკერი - 75 მას.%
- პუცოლანური დანამატი - 20 მას.%
- თაბაშირი - 5 მას.%

ცემენტების დაფქვა ხორციელდებოდა ლაბორატორიულ ბურთულეზიან წისქვილში. მოწმდებოდა მათი დაფქვის სიწმინდე (ნარჩენი №009 საცერზე, მას.%).

ცემენტების მექანიკური სიმტკიცე განისაზღვრებოდა EN 196-1, ხოლო დაფქვის სიწმინდე EN 196-6 ევროსტანდარტის მეთოდიკების მიხედვით. შედეგები მოყვანილია ცხრილში 5.

როგორც ცხრილი 5–ის მონაცემებიდან ჩანს, პუცოლანური დანამატის ერთი და იგივე პროცენტული რაოდენობით და ერთი და იგივე სტანდარტული მეთოდით დამზადებული ცემენტებიდან, უკეთესი მექანიკური სიმტკიცე გააჩნია ცემენტებს, რომელშიც პუცოლანური დანამატის სახით გამოყენებულია სწრაფი გაცივების მეთოდით მიღებული თერმულად მოდიფიცირებული თიხოვანი ქანი.

ცხრილი 5. ცემენტების ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრები

თიხოვანი ქანის დასახელება	გაცივების მეთოდი	შთანთქმული CaO-ს რაოდ. მგ/გ	ნარჩენი საცერზე №009, მას.%	სიმტკიცე ლუნვაზე, მპა		სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა	
				2	28	2	28
				დღ.ღ.	დღ.ღ.	დღ.ღ.	დღ.ღ.
გარდაბნის თიხა	სწრაფი	121	1,5	5.8	8.7	22.5	46.3
	ნელი	87	1,5	4.3	7.3	18.3	42.7
თელეთის არგილიტი	სწრაფი	101	1,3	5.4	8.3	21.5	45.8
	ნელი	78	1,3	4.1	7.1	17.8	42.6
დურუჯის თიხაფიქალი	სწრაფი	93	1,2	5.1	8.1	20.8	44.4
	ნელი	68	1,2	3.9	6.8	17.4	42.5

3.2 თიხოვანი ქანების თერმული მოდიფიცირება ბეტონის მსუბუქი ფოროვანი შემავსებლის-კერამზიტის მიღების მიზნით

კერამზიტის მისაღებად ძირითად ნედლეულად შერჩეული იქნა მეტეხის, მირიანის, გარდაბნის ადვილადლღობადი თიხები, თელეთის არგილიტი და მდ. დურუჯის ხეობის (ყვარლის მიმდებარე ტერიტორია) თიხური ფიქალები.

ლაბორატორიაში შემოტანილი აღნიშნული თიხოვანი ქანების სინჯები წინასწარ დამუშავდა: გამოშრა, დაიმსხვრა, დაიფეკა და გაიცრა 1.0-0.16მმ საცრებში და განისაზღვრა თითოეული მათგანის ქიმიური შედგენილობა (ცხრ. 3). თიხოვანი ქანების აფუების უნარის დასადგენად თავდაპირველად განისაზღვრა ნორმალური კონსისტენციის ცომის მისაღებად საჭირო წყლის რაოდენობა (18-22%), რის შემდეგაც მოიზილა დასაყალიბებელი სინესტის მქონე თიხების ცომი. პარალელურად დამზადდა სინჯები, რომლებიც შეიცავდნენ ამაფუებელ დანამატს - ნახშირს 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 % ოდენობით 100 %-ზე ზევით.

ცომის ნიმუშები დაყოვნდა ექსიკატორში 4 სთ. განმავლობაში და შემდეგ მათგან ლაბორატორიულ პირობებში დამზადდა 3 – 20მმ დიამეტრის გრანულები. თიხის გრანულები გამოშრა ბუნებრივ პირობებში ჰაერზე

ოთახის ტემპერატურაზე (20 ± 5)°C-ის ტემპერატურაზე 5 სთ განმავლობაში, ხოლო შემდეგ - საშრობ კარადაში (100 ± 5)°C-ის ტემპერატურაზე.

თიხაფიქალებისგან კერამზიტის მიღება ორი მეთოდით ჩატარდა: პირველი - ზემოთმოყვანილი გრანულირების მეთოდით და მეორე - დამსხვრევა სხვადასხვა ზომის ნატეხებად ფრაქციების სახით.

თიხოვანი ქანების აფუების პროცესის ნორმალურად წარმართვისთვის და სხვადასხვა არასასურველი მომენტების თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია ნიმუშების თერმომომზადების რეჟიმის დადგენა, რომელიც გამორიცხავს გრანულების ფეთქებადობის პროცესს. თერმომომზადების ოპტიმალური ტემპერატურის დასადგენად თიხები გამოიცადა 200°C, 300°C, 400°C და 500°C ტემპერატურებზე 20 - 20 წუთის დაყოვნებით; გახურების სიჩქარე - 10 -20 °C/წთ შეადგენდა.

ნიმუშების გამოცდამ გვიჩვენა, რომ 200°C და 300°C ტემპერატურებზე ნიმუშების 20 წუთიანი დაყოვნების შედეგად, ისინი ინარჩუნებენ ფორმას, არ განიცდიან დახეთქვას. 400°C-ზე თერმული დამუშავებისას 10 – 40მმ ზომის ფრაქციებიდან ზოგიერთი დაიბზარა, ხოლო 1.25მმ-ზე ნაკლები ფრაქციებიდან ზოგიერთი შეცხვა. თერმოდამუშავების ტემპერატურის 500°C-მდე გაზრდამ ნიმუშების დახეთქვა გამოიწვია. ამრიგად, თერმოდამუშავების ოპტიმალურ ტემპერატურად, რა დროსაც ნიმუშები არ განიცდიან ფეთქებადობას, შეიძლება ჩაითვალოს 200°C - 300°C ტემპერატურული ინტერვალი.

გრანულების თერმული დამუშავება აფუების უნარის განსაზღვრის მიზნით თავდაპირველად ჩატარდა სამსაფეხურიანი გამოწვის რეჟიმით, რომელიც გულისხმობს გამოშრობას 105-110°C გადატანას 250°C-ზე გახურებულ ღუმელში, 20 წუთი დაყოვნებას აღნიშნულ ტემპერატურაზე და შემდგომ ტემპერატურის სწრაფად აწევას 1100 – 1250°C ტემპერატურაზე 10 წთ დაყოვნებით მაქსიმალურ ტემპერატურაზე.

პარალელურად განისაზღვრა, ნახშირით კორექტირებული ნიმუშების აფუების უნარი იგივე პირობებში.

თიხოვანი ქანების თერმოდამუშავების შედეგები მოყვანილია ცხრილში 6.

ცხრილინ. თიხოვანი ქანების გრანულების სამსაფეხურიანი რეჟიმით თერმოდამუშავების შედეგები

ნიმუშის დასახელება	თერმომომზადების ტემპერატურა - °C (დაყოვნების დრო - წთ)	თერმოდამუშავების ტემპერატურა - °C (დაყოვნების დრო - წთ)	ნიმუშის დახასიათება
მეტეხის თიხა	250 (20)	1100 (10)	შემცხვარი
	250 (20)	1150 (10)	შემცხვარი
	250 (20)	1180 (10)	აფუების პროცესი დაწყებულია. არათანაბარი წვრილი ფორებით. სიღრმეში წვრილი ბუმბუკებით.
	250 (20)	1200 (10)	ნიმუში გადაფუებულია. კრიალა ზედაპირით.
მირიანის თიხა	250 (20)	1100 (10)	შემცხვარი
	250 (20)	1150 (10)	შემცხვარი
	250 (20)	1200 (10)	ზედაპირი გადაკრიალებული. მოცულობაში შემცხვარი მასა.
	250 (20)	1240 (10)	ზედაპირი გადაკრიალებული. მოცულობაში შემცხვარი მასა.
გარდაბნის თიხა	250 (20)	1100 (10)	შემცხვარი
	250 (20)	1150 (10)	აფუების პროცესი დაწყებულია.
	250 (20)	1180 (10)	ნორმალური აფუება. მოცულობაში თანაბრად განაწილებული წვრილი ფორებით.
	250 (20)	1200 (10)	ნიმუშები გადაფუვდა. ფორები გაზრდილია.
არგილიტი	250 (20)	1100 (10)	შემცხვარი
	250 (20)	1150 (10)	შემცხვარი
	250 (20)	1200 (10)	ნიმუშები აფუებული. მოცულობაში არათანაბარი ზომის ფორებით.
	250 (20)	1250 (10)	ნიმუშები აფუებული. დაკრისტალეული. დიდი ფორებით. ზედაპირი გამლღვალი.
თიხაფიქალი გრანულა	250 (20)	1100 (10)	შემცხვარი
	250 (20)	1150 (10)	აფუება დაწყებულია წვრილი ფორებით.
	250 (20)	1200 (10)	ნიმუშები მოცულობაში გაზრდილი. აფუებული წვრილი ბუმბუკებით.
	250 (20)	1250 (10)	ტემპერატურა ზედმეტია. ნიმუშებს ფორმა დაეკარგა.

როგორც ცხრ.6-ის მონაცემებიდან ჩანს, წინასწარ 250 °C-ზე თერმომომზადებული ნიმუშები თერმულად დამუშავდა 1100°C, 1150 °C, 1200°C და 1250°C ტემპერატურებზე 10 წთ დაყოვნებით.

1100°C ტემპერატურაზე ყველა ნიმუში შემცხვარია, ასევე - 1150 °C-ზე დამუშავებულიც. განსხვავებით, გარდაბნის თიხაზე მიღებული ნიმუშებისგან, რომლებშიც 1150°C ტემპერატურაზე აფუების პროცესი დაწყებულია - ჩნდება უწვრილესი ბუშტები. 1200-1150 °C ტემპერატურაზე დაყოვნებისას, თიხოვანი ქანების სახეობიდან გამომდინარე, აღინიშნება განსხვავებული შედეგები. მეტეხის და გარდაბნის თიხებისთვის 1200°C ტემპერატურა მაღალია, ადგილი აქვს ფორების ზრდას და ზედაპირის გამინებას. მირიანის თიხა შემცხვარი რჩება, არგილიტისთვის და თიხაფიქალითვის - 1200°C საკმარისია. ტემპერატურის გაზრდა 1250 °C-მდე არ მოქმედებს მირიანის თიხის აფუების პროცესზე, ხოლო არგილიტისთვის და თიხაფიქლისთვის - ეს უკვე გამინების პროცესის დაწყებას უწყობს ხელს.

მიღებული შედეგების გაანალიზებით განისაზღვრა აფუების ინტერვალი თითოეული სახეობის თიხოვანი ქანისთვის.

აფუების უნარის გასაძლიერებლად ჩატარდა თიხების შემადგენლობების კორექტირება ნახშირის დანამატით. ოპტიმალური რაოდენობის დასადგენად შერჩეულ იქნა ნახშირის დანამატები 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 % ოდენობით 100 %-ზე ზევით.

ამ შემთხვევაშიც დაყალიბდა გრანულები, რომლებმაც გაიარეს თერმომომზადების პროცესი 250°C-ზე 10 წთ დაყოვნებით, ხოლო შემდეგ მათი თერმოდამუშავება ჩატარდა 1170 - 1200°C ტემპერატურების ფარგლებში. აღსანიშნავია, რომ ნახშირის ოპტიმალურმა რაოდენობამ შეადგინა 0.5%. 1.0, 1.5 და 2.0 % ნახშირის დანამატმა უარყოფითი გავლენა მოახდინა ყველა სახეობის თიხოვანი მასალის აფუების ხარისხზე: ნიმუშები გადაფუვდა დიდი ზომის ღრმულების წარმოქმნით, ხოლო გარდაბნის თიხის ნიმუშში 0.5% ნახშირის დანამატებამ გამოიწვია კრისტალიზაციის

პროცესების განვითარება - ნიმუშების ზედაპირზე მოწითალო ფერის ქვისმაგვარი თხელი ქერქი წარმოიქმნა.

რაც შეეხება მირიანის თიხას, 1.0% ნახშირის დამატებისას, მის მოცულობაში ორო დიდი ღრმული წარმოიქმნა, გამინებული ზედაპირის პირობებში, ხოლო 0.5% ნახშირის დამატებამ - არანაირი შედეგი არ გამოიღო.

ამრიგად, ექსპერიმენტებმა გვიჩვენა ექსპერიმენტული ნედლეულის - ადგილობრივი თიხოვანი ქანების ვარგისიანობა აფუებული მასალის, ე. წ. კერამიკის მისაღებად, როგორც ამაფუებელი დანამატით, ასევე მის გარეშე. გამონაკლისს წარმოადგენს მირიანის თიხა, რომელსაც აფუების უნარი არ გააჩნია, ამიტომ შემდგომი ექსპერიმენტები მასზე არ გაგრძელდება.

შემდეგ ეტაპზე ექსპერიმენტები ჩატარდა ორსაფეხურიანი გამოწვის რეჟიმით, რომელიც გულისხმობს დაყალიბებული გრანულების შრობას 105 – 110°C ტემპერატურაზე და შემდგომ ტემპერატურის სწრაფად აწევას პირდაპირ აფუების ოპტიმალურ ტემპერატურებზე. შედეგები მოყვანილია ცხრილში 7.

ცხრილი 7. 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.

მიღებული შედეგების მიხედვით აღნიშნული თიხოვანი ქანების საფუძველზე ლაბორატორიულ პირობებში მომზადდა თითოეული

სახეობის გრანულები 2 – 2 კგ რაოდენობით, რომელთა აფუება ჩატარდა ლაბორატორიულ მუფელის ელექტროლუმელში შერჩეული რეჟიმით. გამოწვის ხანგრძლივობამ აფუების მაქსიმალური ტემპერატურამდე შეადგინა 2 სთ, ხოლო მაქსიმალურ ტემპერატურაზე დაყოვნების დრომ - 15წთ.

მეტეხის თიხისაგან დამზადებული გრანულების აფუება მიმდინარეობს აღნიშნულ რეჟიმში, მაგრამ აფუებული გრანულები განიცდის დეფორმაციას და ხდება მათი გაბრტყელება. გამოირჩევა არაერთგვაროვნებით ფორმის შენარჩუნების მხრივ ფრაქციული შედგენილობის მიხედვით.

ექსპერიმენტების შედეგების მიხედვით კერამზიტის მისაღებად ოპტიმალურ ნედლეულად შეიძლება ჩაითვალოს გარდაბნის თიხა, თელეთის არგილიტი და ყვარლის თიხაფიქალი.

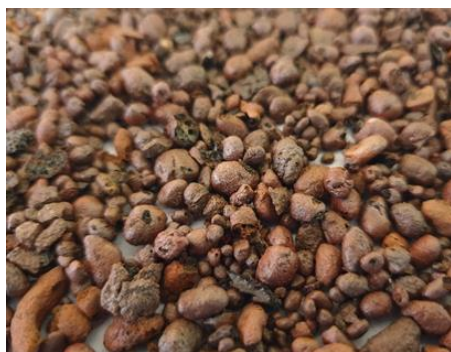
სურათებზე (12-17) ნაჩვენებია ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული კერამზიტის ნიმუშები.



სურათი 12. კერამზიტი მიღებული გარდაბნის თიხისგან (5-20მმ)



სურათი 13. კერამზიტი მიღებული თელეთის არგილიტისგან (10-20მმ)



სურათი 14. კერამზიტი მიღებული ყვარლის თიხაფიქლისგან (5მმ-მდე)



სურათი 15. კერამზიტი მიღებული ყვარლის თიხაფიქლისგან (5-10მმ)



სურათი 16. კერამზიტი მიღებული ყვარლის თიხაფიქალისგან (10-20მმ)



სურათი 17. კერამზიტი მიღებული ყვარლის თიხაფიქალისგან (20-40მმ)

3.2.1 მიღებული კერამზიტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ტესტირება

შესწავლილი იქნა ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული 10-20მმ ზომის კერამზიტის ძირითადი თვისებები (ცხრ.8), რომელთა მნიშვნელობები გოსტი 9758-2012 მოთხოვნების ფარგლებშია.

ცხრილი 8. ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული კერამზიტის ძირითადი თვისებები

ნედლეულის სახე	ნაყარი სიმკვრივე, კგ/მ ³	მარკა ნაყარ სიმკვრივეზე	ჭეშმ. სიმკვრივე, გ/სმ ³	წყალშთანთქმა, %	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
ყვარლის თიხაფიქალი გრანულა	458	M350	2.42	1.36	3.1	0.145
ყვარლის თიხაფიქალი	275	M300	2.42	5.70	3.9	0.009

ამრიგად, საქართველოს თიხოვანი ქანების: ყვარლის თიხაფიქალის, თელეთის არგილიტის და გარდაბნის თიხის ტემპერატურული

მოდიფიცირებით 1170-1200 °C-ის ფარგლებში შესაძლებელია ბეტონის მსუბუქი შემავსებლის - კერამზიტის მიღება.

ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული კერამზიტისგან ზავრიევის სამშენებლო მექანიკის, სეისმომედეგობის და საინჟინრო ექსპერტიზის დეპარტამენტში (სსიპ ლევან სამხარაულის სახელობის სასამართლო ექსპერტიზის ეროვნული ბიურო) დამზადდა და გამოიცადა მსუბუქი ბეტონები.

3.2.2 მიღებული კერამზიტის გამოყენებით დამზადებული მსუბუქი ბეტონების კვლევა

მიღებული მსუბუქი შემავსებლების, კერამზიტის ბაზაზე გაანგარიშებულ იქნა მსუბუქი კონსტრუქციული ბეტონის შედგენილობები სამივე შემთხვევისათვის. ბეტონის მისაღები კლასია B12,5. ცემენტის ხარჯი სამივე მსუბუქ შემავსებზე დამზადებული ბეტონისათვის არის 290 კგ. არგილითით, გარდაბნის თიხით და დურუჯის თიხაფიქლით მიღებული კერამზიტბეტონებისაგან დამზადებული იქნა 3-3 კუბის ფორმის ნიმუში ზომებით 10x10x10 სმ. რომლებიც გამოიცადა ჯერ წყალშთანთქმაზე, ხოლო შემდეგ კუმშვაზე სიმტკიცეზე. ექსპერიმენტის შედეგები მოყვანილია ქვემოთ:

კერამზიტბეტონის გამოცდა წყალშთანთქმაზე

კერამზიტბეტონის ნიმუშები წყალშთანთქმაზე გამოიცადა ГОСТ 12730.3-78 -ის („ბეტონები. წყალშთანთქმის განსაზღვრის მეთოდები“) მიხედვით; ნიმუშების გამოშრობა და მუდმივ მასამდე მიყვანა 105±5 °C ტემპერატურაზე ვენტილირებად საშრობ ლუმელში (Controls), მოდელი 10-D1397; ნიმუშების ასაწონად გამოყენებულ იქნა სასწორი სიზუსტით 0,1 გრ., KERN 572. ნიმუშების აწონვა განხორციელდა მათი გამოშრობის და წყალში გაჟღენთვის შემდეგ. შედეგები მოცემულია ცხრილებში -(9-11).

**ცხრილი 9. არგილითისგან მიღებული კერამზიტბეტონის წყალშთანთქმაზე
გამოცდის შედეგები**

№	გამომშრალი ნიმუშის მასა გრ.	გაჟღენთილი ნიმუშის მასა გრ.	წყალშთან თქმა, გრ.	მასითი წყალშთანთ ქმა, %	საშუალო მ.წ.შ.
არგილიტის კერამზიტბეტონი					7,37%
1	1447,1	1559,4	112,3	7,76	
2	1457,5	1559,8	102,3	7,02	
3	1458,4	1565,1	106,7	7,32	

შენიშვნა: მ.წ.შ - მასითი წყალშთანთქმა.

**ცხრილი 10. გარდაბნის თიხისგან მიღებული კერამზიტბეტონის წყალშთანთქმა-ზე
გამოცდის შედეგები**

№	გამომშრალი ნიმუშის მასა გრ.	გაჟღენთილი ნიმუშის მასა გრ.	წყალშთან თქმა, გრ.	მასითი წყალშთანთქ მა,(მ.წ.შ) %	საშუალო მ.წ.შ.
გარდაბნის თიხის კერამზიტბეტონი					6,19%
ნიმუში 1	1540,4	1648,5	108,1	7,02	
ნიმუში 2	1516,5	1612,4	95,9	6,32	
ნიმუში 3	1517,8	1597,4	79,6	5,24	

**ცხრილი 11. დურუჯის თიხაფიქალისგან მიღებული კერამზიტბეტონის წყალ-
შთანთქმაზე გამოცდის შედეგები**

№	გამომშრალი ნიმუშის მასა გრ.	გაჟღენთილი ნიმუშის მასა გრ.	წყალშთანთქმა, გრ.	მასითიწ ყალ შთან.	საშუალო მ.წ.შ.
დურუჯის თიხაფიქალის კერამზიტბეტონი					9,84%
ნიმუში 1	1452,0	1607,5	155,5	10,71	
ნიმუში 2	1477,9	1606,3	128,4	8,69	
ნიმუში 3	1405,8	1548,1	142,3	10,12	

ცხრილების მონაცემებიდან ჩანს, რომ კერამზიტზე დამზადებული ნიმუშების საშუალო მასითი წყალშთანთქმა მერყეობს (6,19 - 7,37 - 9,84)%- შორის, ყველაზე ნაკლები წყალშთანთქმის უნარი გამოავლინა გარდაბნის თიხისგან დამზადებულმა კერამზიტმა.

კერამზიტბეტონის ნიმუშების კუმშვაზე სიმტკიცის დადგენა

ნიმუშების გამოცდა კუმშვაზე წარმოებდა ნორმატიული დოკუმენტის EN 12390-3 „ბეტონის კუმშვაზე გამოცდა“ გათვალისწინებით, წნეხ CONTROLS

ADVANTEST9 50-C9842-ზე. ბეტონის ნიმუშების გამოცდის შედეგები მოყვანილია ცხრილებში -(12-14).

ცხრილი 12. არგლითისგან მიღებული კერამზიტბეტონის ნიმუშების კუმშვაზე გამოცდის შედეგები

№	ნიმუშის ზომები, სმ	ნიმუშის მოცულობითი მასა კგ/მ ³	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 13. გარდაბნის თიხის კერამზიტბეტონის ნიმუშების კუმშვაზე გამოცდის შედეგები

№	ნიმუშის ზომები, სმ	ნიმუშის მოცულობითი მასა კგ/მ ³	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 14. თიხაფიქლის კერამზიტბეტონის ნიმუშების კუმშვაზე გამოცდის შედეგები

№	ნიმუშის ზომები, სმ	ნიმუშის მოცულობითი მასა კგ/მ ³	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

როგორც ცხრილებიდან ჩანს, ყველაზე მაღალი სიმტკიცე კუმშვაზე აჩვენა:

- გარდაბნის თიხის აფუებით მიღებული კერამზიტით დამზადებული კონსტრუქციული კერამზიტბეტონის ნიმუშებმა - 18,92 მპა (მარკა 200, B15 კლასი);
- შემდეგ მოდის დურუჯის თიხაფიქლის აფუებით მიღებული კერამზიტისგან დამზადებული კერამზიტბეტონის ნიმუშების საშუალო სიმტკიცე: 17,79 მპა (მარკა 200, B12,5 კლასი);
- ბოლოს კი არგილითის აფუებით მიღებული კერამზიტისგან დამზადებული ნიმუშების საშუალო სიმტკიცეა - 15,24 მპა (მარკა 150, B12,5 კლასი).

კერამზიტბეტონის სითბოგამტარობის კოეფიციენტის განსაზღვრა

განისაზღვრა კერამზიტბეტონების სითბოგამტარობა, რომლებიც დამზადდა გარდაბნის თიხის და ყვარლის თიხაფიქალის აფუების შედეგად მიღებული კერამზიტისგან.

კერამზიტბეტონი №1 (სურ.1) – მიღებულია გარდაბნის თიხის აფუებით 1180 °C-ზე.

- ბეტონის კლასი - B10
- ბეტონის მარკა - M150
- ცემენტის ხარჯი 1მ³ ბეტონზე - 200 კგ
- ბეტონის საშუალო სიმკვრივე - 1338 კგ/მ³
- სითბოგამტარობის კოეფიციენტი $\lambda = 0.424$ ვატ / მ · K
- წინაღობა სითბოს გამტარებლობაზე $R = 0.045$ მ² / K · ვატ

კერამზიტბეტონი №2 (სურ.19) – მიღებულია ყვარლის თიხაფიქალის აფუებით 1190 °C-ზე.

- ბეტონის კლასი - B3.5
- ბეტონის მარკა - M50
- ცემენტის ხარჯი 1მ³ ბეტონზე - 100 კგ
- ბეტონის საშუალო სიმკვრივე - 977 კგ/მ³
- სითბოგამტარობის კოეფიციენტი $\lambda = 0.245$ ვატ / მ · K
- წინაღობა სითბოს გამტარებლობაზე $R = 0.069$ მ² · K / ვატ



სურათი 18. კერამზიტბეტონი №1 - კერამზიტი მიღებულია გარდაბნის თიხის აფუებით 1180 °C -ზე



სურათი 19. კერამზიტბეტონი №2 - კერამზიტი მიღებული ყვარლის თიხაფიქალის აფუებით 1190 °C-ზე

როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს, ბეტონში ცემენტის შემცველობის რეგულირებით შესაძლებელია სხვადასხვა სიმკვრივის, სიმტკიცის და სითბოგამტარობის მსუბუქი ბეტონების მიღება.

ამრიგად, ჩატარებული სამუშაოების შედეგად შემუშავებულია საქართველოს თიხოვანი ქანების (თიხაფიქალების, არგილიტების და ადვილლობადი თიხების) მოდიფიცირებით 1000 – 1200°C-ის ინტერვალში მსუბუქი ბეტონის შემავსებლის -კერამზიტის მიღების ტექნოლოგიები.

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

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, რომელიც საშუალებას იძლევა, მივიღოთ დაბალი სიმკვრივის მსუბუქი თბოსაიზოლაციო ბეტონი სითბოგამტარობის კოეფიციენტით - $\lambda = 0.245$ ვატ / მ · K.

3.3 აფუებული მასალის მიღების შესაძლებლობის კვლევა თიხაფიქალების საფუძველზე

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

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

II - მდინარის ლამი - წვრილმარცვლოვანი ქვიშის სახით.

ნედლეულის გრანულომეტრიული შედგენილობის საცრითი ანალიზით გასაზღვრის შედეგები მოყვანილია ცხრილში 15.

ცხრილი 15. თიხაფიქალების გრანულომეტრიული 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
							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 ცხრილი 15 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 - 0,16მმ-ში გასული, რომელიც 67%-მდე აღწევს.

თითოეული სახეობიდან შერჩეულ იქნა საშუალო სინჯები, რომელთა საფუძველზეც განისაზღვრა მათი ქიმიური შედგენილობა. შედეგები მოცემულია ცხრილში 16.

ცხრილი 16. ნედლეულის ქიმიური შედგენილობა მასურ %-ში

№	ნედლეულის დასახელება	ხურბითი დანაკარგი	სინესტე	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +FeO	P ₂ O ₅	
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 ₃	Na ₂ O	K ₂ O	C	ჰუმუსი
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

როგორც ცხრილი 16-ის მონაცემებიდან ჩანს, თიხაფიქალების ორივე სახეობისათვის დამახასიათებელია ძირითადი კომპონენტების SiO₂, Al₂O₃ და Fe₂O₃+FeO თითქმის ერთნაირი შემცველობა.

ვინაიდან თიხაფიქალის I სახეობა ძალიან არაერთგვაროვანია, პარალელურად განისაზღვრა ქვიშოვანი ფრაქციის (<1მმ) ქიმიური შედგენილობაც (ცხრ.16), რომელმაც გვიჩვენა SiO₂-ის შემცირება ~5%-ით სრულ

ნარევთან შედარებით: 1%-ის ფარგლებში ცვლილება Al_2O_3 და რკინის ოქსიდების რაოდენობებს შორის, ასევე CaO-ს 1,2%-ით მომატება, წვრილ ფრაქციაში გაზრდილი C და ჰუმუსის შემცველობაც.

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 ელექტროლუმელში $1280-1330^{\circ}C$ ტემპერატურის ინტერვალში. ექსპერიმენტის შედეგები მოცემულია ცხრილში 17.

ცხრილი 17. თიხაფიქალების სხვადასხვა ფრაქციების აფუების შედეგები

№	მასალის ზომები	თერმოდამუშავების ტემპერატურა, °C და დრო τ-15წთ	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 გამღვალა, არათანაბარი მსხვილი ფორებით.
4	II (1-0,25) მმ	1300-1320	ნიმუში გამღვალა, 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 შემცხვარია, ზედაპირზე ალაგ-ალაგ მსხვილი ფორები.
8	II (სრული)	1280-1300	ნიმუში ზედაპირზე გამღვალა, მოცულობაში სხვადასხვა ზომის ფორებით.

როგორც ცხრ.17 მონაცემებიდან ჩანს, თიხაფიქალების ნარევის (I სახეობა) თერმული დამუშავებით $1250 - 1320^{\circ}C$ 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.

1მმ-ზე ნაკლები ფრაქციის (ცხრ.17 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 თანაბარფორიანი აგებულებით გამოირჩევა წმინდა ფრაქცია (<0,16მმ) (ცხრ.17, ნიმ. №6).

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

შემდგომ ეტაპზე, თიხაფიქალების ორივე სახეობა დაიმსხვრა, დაიფიქვა და მოხდა მათი გასაშუალოება. დაფქული მასალის ხვედრითი ზედაპირი 3200 სმ²/გ შეადგენდა.

სრული ფრაქციული შედგენილობის დაწვრილმანებული, გასაშუალოებული სინჯების (№7 და №8) თერმული დამუშავებით მიღებულ იქნა არათანაბრად აფუებული ნიმუშები მსხვილი და წვრილი ფორებით (ცხრ. 17). ვნახეთ, რომ დისპერსულობის გაზრდით ნიმუშებისათვის აფუება 20°C-ით დაბალ ტემპერატურაზე იწყება. ამრიგად, დისპერსულობა გავლენას ახდენს აფუების ინტერვალზე და ხარისხზე.

კვლევების შედეგებიდან ჩანს, რომ თიხაფიქალების ორივე სახეობა ხასიათდება რა აირწარმომქმნელი 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.

3.3.1 აფუებული მასალის მიღების შესაძლებლობის კვლევა თიხებისა და არგილიტების საფუძველზე

თიხაფიქალების პარალელურად აფუების უნარის შესწავლის მიზნით გამოკვლეული იქნა თელეთის არგილიტი და სხვადასხვა ადგილმდებარეობის (მეტეხის, მირიანის და გარდაბნის) თიხები, რომელთა ქიმიური შედგენილობები და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შესწავლილ იქნა და მოცემულია ცხრილში 3.

აფუების უნარის დასადგენად მოხდა მათი დაწვრილმანება 0.2მმ-ზე ნაკლები ზომის ფრაქციის სახით. მიღებული ფხვნილისგან დაყალიბდა ნიმუშები - ფილების სახით და ჩატარდა მათი თერმული დამუშავება 1160 - 1250 °C ტემპერატურულ ინტერვალში. შედეგები მოყვანილია ცხრილში 18.

ცხრილი 18. თიხების თერმული დამუშავების შედეგები

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

როგორც ცხრილი 18-ის მონაცემებიდან ჩანს, ყველა სახეობის თიხოვანი ქანის თერმული დამუშავებისას, მათი შეცხოვა-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 აუფუებელია.

აქედან გამომდინარე, შემდგომი კვლევებისთვის ერთგვაროვანი სტრუქტურის მქონე თანაბარფორებიანი აფუებული მასალის მისაღებად საჭირო გახდა აღნიშნული თიხების და არგილიტის ნარევიების დამუშავება.

3.3.2 აფუებული მასალის მიღების შესაძლებლობის კვლევა თიხაფიქალების, თიხებისა და მაკორექტირებელი დანამატების საფუძველზე

როგორც ჩატარებული კვლევის შედეგებიდან ჩანს, ერთგვაროვანი სტრუქტურის მქონე თანაბარფორებიანი აფუებული მასალის მიღება უშუალოდ ნედლეულის თვითაფუების საშუალებით მინის წინასწარი მაღალტემპერატურული ხარშვის და ცეცხლგამძლე ფორმების გამოყენების გარეშე საჭიროებს ისეთი ტექნოლოგიური პარამეტრების გაუმჯობესებას, როგორცაა შეცხოვისა და აფუების ინტენსიურობის დარეგულირება, ნალღობის პიროპლასტიკური მდგომარეობის ტემპერატურის დაწვევა, აფუების ინტერვალის გაფართოება. ოპტიმალური თვისებების მქონე მასალის მიღების შესაძლებლობის სტაბილურობა.

ამ საკითხების გადასაჭრელად შეირჩა სხვადასხვა სახის ბუნებრივი მაკორექტირებელი დანამატები, ისეთი, როგორცაა მჟავური წარმოშობის

ვულკანური ქანები, თიხა, პემზა, ასევე ტექნოლოგიური ნარჩენები სხვადასხვა წიდების სახით.

პარალელურად გამოიცადა შერჩეული თიხების და თიხაფიქალების ნარევები დასახული მიზნების მისაღწევად.

მაკორექტირებელი დანამატების ქიმიური შემადგენლობები მოყვანილია ცხრილში 19.

როგორც ცხრ.19-ის მონაცემებიდან ჩანს, მყავური წარმოშობის ვულკანური ქანის - დავით გარეჯის კვარც-ადულარიანი მეტასომატიტის შერჩევა განაპირობა, ტუტე ოქსიდების, კერძოდ, K_2O -ს გაზრდილმა შემცველობამ და $BaSO_4$ -ის არსებობამ, რომელიც მაღალ ტემპერატურაზე დისოციაციის შედეგად SO_3 -ს აირის სახით გამოყოფს. ამან ასევე ხელი უნდა შეუწყოს ნარევის პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლას უფრო დაბალტემპერატურულ ინტერვალში და ფორების წარმოქმნის ახალ წყაროდ იქცეს.

ბორჯომის პემზაში რკინის ოქსიდების და ტუტე ლითონების მაღალი შემცველობა სილიციუმის დაბალ შემცველობასთან ერთად, სავარაუდოდ ხელს შეუწყობს დაბალლობადი ევტექტიკის ჩამოყალიბებას და პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის ტემპერატურის შემცირებას.

წარმოების ნარჩენები წიდების სახით - რუსთავის მეტალურგიული ქარხნის წარმოების მარტენის და ბრძმედის წიდები, ასევე ზესტაფონის ფეროშენადნობთა წარმოების წიდები - მანგანუმშემცველი მტვერი და შლამი, აგრეთვე რუსთავის მანგანუმის მონოსულფატის წარმოების ნარჩენი სულფატური შლამი, როგორც ცხრ.19-დან ჩანს, ხასიათდებიან რკინისა და მანგანუმის ოქსიდების მაღალი შემცველობით. ეს უკანასკნელნი, ლიტერატურული მონაცემებით თერმული დამუშავებისას სხვადასხვა სახის აირების გამოყოფით გამოირჩევიან, რამაც თიხაფიქალებთან შეცხოებისას მათი ადვილლლობადობა უნდა განაპირობოს და გაზარდოს ნარევეში აირადი ნაერთების რაოდენობა[52-58].

შევისწავლეთ არგილიტის, მეტეხის და გარდაბნის თიხების დანამატების გავლენა თიხაფიქალების აფუების ხარისხზე.

შერჩეული მაკორექტირებელი დანამატების და თიხა-ფიქალების საფუძველზე შედგა ექსპერიმენტული კაზმები, რომლებშიც დანამატის ოპტიმალური რაოდენობის დასადგენად მათი რაოდენობა შეადგენდა 25, 30, 35, 40 წონით ნაწილს.

თიხების მაკორექტირებელ დანამატად გამოყენებისას, მათი რაოდენობა განისაზღვრა 20 წონითი ნაწილით, ხოლო მეორე მხრივ, შესწავლილ იქნა თვით თიხების გამოყენება ძირითად ნედლეულად, ხოლო დანამატებად, ზემოთ მოყვანილი შერჩეული მასალები.

ნიმუშების მომზადება წარმოებდა შემდეგი ტექნოლოგიით: წინასწარ დაწვრილმანებული (დამსხვრეული და დაფქვილი) დოზირებული კომპონენტები ლაბორატორიულ პირობებში ხელით ირეოდა მასის გაერთგვაროვნებამდე. ნახევრად მშრალი მეთოდით ნიმუშების დასაყალიბებლად საჭირო სინესტეს (7-12%) უზრუნველყოფდა სულფატურ-სპირტოვანი ბუყის (სსბ) წყალხსნარის დამატება (6-8 მლ). დანესტიანებული ნიმუშები იწნებოდა ლაბორატორიულ წნეხზე ზომით (5,3x5,3x2) სმ. დაყალიბებული ნიმუშები ფორმის გარეშე თავსდებოდა ცეცხლგამძლე ფილებზე. ნიმუშების შეცხოვა-აფუება წარმოებდა ლაბორატორიულ ელექტროლუმელში, სადაც ტემპერატურის მატების სიჩქარე შეადგენდა 10-12 გრად./წთ.

ცხრილი 19. მაკორექტირებელი დანამატების ქიმიური შედგენილობები, მას%-ში

№	ნედლეულის დასახელება	სინესტე	ბ. დ.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	P ₂ O ₅	MnO	CaO	MgO	BaO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Fe	MnO ₂
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2	კვარც-ადულარიანი მეტასომატიტი (დ. გარეჯის)	0,12	0,1	78,0	0,1	9,0	1,0	0,06	0,03	-	1,64	2,76	1,05	0,16	6,0	-	-
2	პემზა (ბორჯომი)	0,38	1,34	53,5	1,16	17,8	7,92	0,4	0,16	6,9	4,9	-	0,07	4,0	1,5	-	-
3	წიდა მარტენის (რუსთავის)	0,4	11,6	24,5	0,2	6,53	18,65	0,2	2,63	22,3	3,83	-	2,27	1,3	0,2	7,4	-
4	წიდა ბრძმედის (რუსთავის)	0,26	5,23	25,6	0,15	8,5	15,79	0,22	0,5	31,2	4,62	-	0,75	1,13	0,15	-	5,9
5	წიდა (ზესტ. ფერო.)	0,02 - 0,07	-	40,6 - 42,6	-	8,3 - 9,8	1,16 - 1,2	0,02 - 0,2	19,7	14,4 - 15,6	5,6 - 7,2	1,31 - 2,1	1,65 - 1,97	1,0 - 1,7	1,4 - 2,0	-	20,4
6	მანგან. სულფატ. შლამი (რუსთ.)	5,5	13,21	14,6	0,16	3,5	4,24	0,62	21,35	1,10	0,82	-	6,8	1,0	0,5	-	26,6
7	Mn-შემცველი მტვერი	2.85	-	23.7	0.22	6.2	3.9	0.07	12.70	1.41	0.2	-	5.4	3.2	13.0	-	14.46

შეცხოვა-აფუების ტემპერატურული ინტერვალის დადგენაში იგულისხმებოდა ტემპერატურები, რომელთაგან პირველი შეესაბამება შემცხვარი მასალის გადასვლას ბლანტი მდგომარეობისაკენ, შემდგომ ეტაპზე - მასალის პიროპლასტიკურ მდგომარეობას, და ბოლოს, პიროპლასტიკურიდან თხელ დენად მდგომარეობაში გადასვლის ტემპერატურას. ნიმუშების დაყოვნება მაქსიმალურ ტემპერატურაზე 10-20წთ. შეადგენდა. აფუებული ნიმუშის სტრუქტურის სტაბილიზაციის მიზნით - ჩაჯდომის თავიდან ასაცილებლად ნიმუშები სწრაფად ცივდებოდა - ტემპერატურა ღუმელში მკვეთრად ეცემოდა 800-900°C-მდე, ხოლო შემდეგ მიმდინარეობდა აფუებული ნიმუშების გამოწვა 550-600°C და შემდგომ გაციება ოთახის ტემპერატურამდე.

სულფატურ-სპირტოვანი ბუყის გამოყენება განაპირობა მისმა უნარმა მიანიჭოს დაყალიბებულ ნიმუშს გარკვეული მექანიკური სიმტკიცე, როგორც შემკვრელმა კომპონენტმა, რათა შემდგომ დაუზიანებლად მოხდეს მისი მოთავსება ღუმელში.

გარდა ამისა, სულფატურ-სპირტოვანი ბუყი - CCB [25] გამოკვლევის მიხედვით ხელს უწყობს ნარევის თანაბარ აფუებას და მისი ტემპერატურული ინტერვალის გაფართოებას, ასევე ანიჭებს მასალას პლასტიურობას და დაბლა სწევს ტემპერატურას.

თიხაფიქლების და მაკორექტირებელი დანამატების კომპოზიციების შეცხოვა-აფუების შესწავლის შედეგები მოცემულია ცხრილში 20. აქვე განხილულია დანამატების ოპტიმალური რაოდენობების კვლევის მახასიათებლები.

ნიმუშების ინდექსის აღმნიშვნელი პირველი ციფრი 1 შეესაბამება თიხაფიქლების პირველ სახეობას (იხ. ცხრილი 15.), ციფრი 2 შეესაბამება თიხაფიქლების II სახეობას (მდინარის ლამი).

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, დაყალიბებული ნიმუშების თერმული დამუშავება მიმდინარეობდა სპეციალური ცეცხლგამძლე ფორმების გამოყენების გარეშე, რაც ნიმუშებს თავისუფალი, ყოველმხრივი

აფუების საშუალებას ანიჭებდა. ნიმუში ზომიერ იმატებს როგორც სიგრძე-სიგანეში, ასევე სიმაღლეში, განსხვავებით ფორმაში აფუებულისგან, როდესაც ნიმუშის ზომები ფორმაში შეზღუდულია და მისი აფუება მიმდინარეობს მხოლოდ სიმაღლეში. ჩვენს შემთხვევაში 50 გრ-ანი (5,3 x 5,3 x 0,8) სმ ზომის ნიმუშების აფუების შედეგად მიღებული ნიმუშების ზომები საშუალოდ იზრდებოდა 7 x 7 x 1.5 სმ-მდე.

ცხრ.20 -ის მონაცემებიდან ჩანს, რომ მაკორექტირებელი დანამატების შეყვანამ ზოგადად დადებითი გავლენა იქონია როგორც მასალის სტრუქტურის გაერთგვაროვნებაზე, ასევე პიროპლასტიკური მდგომარეობის შესაბამისი ტემპერატურის შემცირებაზე. დანამატებმა ხელი შეუწყო აფუების პროცესის ინტენსიურობის დარეგულირებას, რამაც განაპირობა მოცულობაში ძირითადად თანაბრად განაწილებული მეტ-ნაკლებად ერთნაირი ზომის იზოლირებული ფორების ჩამოყალიბება.

კვარც-ადულარიანი მეტასომატიტით, თიხა-ფიქალების კორექტირებისას დანამატის ოპტიმალურმა რაოდენობამ ასევე 35 წ. ნაწ. შეადგინა. აფუების ტემპერატურა I სახეობის თიხა-ფიქალებში 1200-1230 °C-მდე შემცირდა (ნიმ. 1.1., ცხრ.20). II სახეობის შემთხვევაში დანამატის გავლენით ტემპერატურა უმნიშვნელოდ მცირდება.

ბორჯომის რაიონის პემზის დანამატის ოპტიმალური რაოდენობა I სახეობის თიხა-ფიქალისათვის 20 წ. ნაწ. შეადგენს (ნიმ.1.2.; ცხრ.20), ხოლო II სახეობა- ლამისთვის - 25 წ. ნაწ. (ნიმ.2.2.; ცხრ.20). პემზის დანამატები დადებითად მოქმედებს როგორც მასალის აღნაგობის გაერთგვაროვნებაზე, ასევე დაბლა სწევს პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის ტემპერატურას, განსაკუთრებით I სახეობის თიხა-ფიქალებში (ნიმ.1.2.) (1200-1230°C).

მეტალურგიული წარმოების ნარჩენებში - ბრძმედისა და მარტენის წიდების სახით საკმაოდ დაბლა დასწია აფუების ტემპერატურული ინტერვალი 30 წ. ნაწილით შემცველობისას. ერთგვაროვნების მხრივ უკეთესი მაჩვენებლებით გამოირჩევა I სახეობის თიხა-ფიქალის ნიმუშები

(ნიმ.1.3, 1.4.; ცხრ.20), რომელთა მოცულობა ძირითადად უწვრილესი ფორებისგან შედგება, თუმცა ალაგ-ალაგ უფრო დიდი ზომის ფორებიც გვხვდება. აქ შეინიშნება ფორების გაერთიანება, თუმცა ერთეული რაოდენობით.

ცხრილი 20. ოპტიმალური შედგენილობების მახასიათებლები

ნიმუშის ინდექსი	კაზმის შემადგენლობა	აფუების ტემპერატურა, °C, დაყოვნების დრო, წთ.	ნიმუშის აღწერილობა
1.1.	65 ფ. + 35 კვ.ად.მ.	1200-1230 15 წთ.	თანაბრად აფუებული მთელ მოცულობაში, ფორები სხვადასხვა ზომისაა, უწვრილესი 0,5-1მმ, აღინიშნება დიდი ზომისაც. ნიმუში კარგად აფუებული.
2.1.	65 ლ. + 35 კვ.ად.მ.	1280-1320 15 წთ.	თანაბრად აფუებული ნიმუში განსხვავებული ზომების ფორებით.
1.2.	80 ფ. + 20 კ.ბ.	1200-1230 20 წთ.	მოცულობაში თანაბრად განაწილებული თანაბარზომიანი ფორებით. 2-2,5მმ-ის, ერთეული ფორები 3-4მმ-იანი.
2.2.3.	75 ლ. + 25 კ.ბ.	1280-1310 20 წთ.	თანაბრად აფუებული, წვრილფოროვანი.
1.3.	70 ფ. + 30 ბრმ.	1160-1200 15 წთ.	მოცულობაში აფუებული, ძირითადად წვრილი ფორებით, შეიმჩნევა ოდნავ მსხვილი ფორებიც. ზედაპირი გამინებული, ფორები შიგადაშიგ გაერთიანებული, ერთეული ნიჟარები 5მმ ზომის.
1.4.	70 ფ. + 30 მარტ.	1180-1210 15 წთ.	აფუებული უწვრილესი, თითქმის შეუმჩნეველი არათანაბრად განლაგებული ფორებით. კიდევში უფრო მომატებული ზომის ფორები.
2.4.	70 ლ. + 30 მარტ.	1210-1250 15 წთ.	აფუებული არათანაბარი ფორებით, ზედაპირი ნაკლებად გამინებული.
1.5.	70 ფ. + 25 ზ.მ. 70 ფ. + 30 ზ.მ.	1160-1180 15 წთ.	მოცულობაში თანაბრად აფუებული, ძირითადად წვრილი 1-2მმ ფორებით, იშვიათად უფრო დიდი ზომის - 3-4მმ დიამეტრით.
2.5.	70 ფ. + 30 ზ.მ.	1160-1190 15 წთ.	მოცულობაში თანაბრად აფუებული საშუალო ზომის ფორებით.
1.6.	75 ფ. + 25 ს.შ. 70 ფ. + 30 ს.შ.	1110-1150 15 წთ.	მოცულობაში თანაბრად აფუებული 1-2მმ ზომის ფორებით. დაიკვირვება 3-4მმ ფორებიც.

ცხრილი 20-ის გაგრძელება

2.6.	70 ლ. + 30 ს.შ.	1180-1220 15 წთ.	მოცულობაში თანაბრად აფუებული შერეული ზომის ფორებით.
1.7.	82 ფ. +18 MnSO ₄ -5H ₂ O	1140-1180 10 წთ.	მოცულობაში აფუებული, ძირითადად ფონი ძალიან წვრილი ფორებით, მასში გაბნეული 2-3მმ ფოებიც, ზედაპირი ქვისმაგვარი, კრიალას გარეშე.
1.8.	70 ფ. + 30 Mn-ის მტვერი	1135-1140 15წთ	თანაბარი აფუება მთელ მოცულობაში. ძირითადად ფორები 1-2მმ დიამეტრის, ალაგ-ალაგ დიდი ზომის ფორები.
1.9.	80 ფ. + 20 არგილიტი	1220-1230 10წთ	არათანაბარი აფუება, შუა ფენებში განფენადობა. სიღრმეში ერთიანი დიდი ღრმული მთელ ფართზე. ზედაპირი გადამლღვალი.
1.10.	80 ფ. + 20 გარდაბნის თიხა	1220-1230 15წთ	ზედაპირზე ნიმუში აფუებული, სიღრმეში შემცხვარი. ზედაპირზე არათანაბარი ბუშტები 1-2მმ და 3-4მმ დიამეტრის.
1.11.	80 ფ. + 20 მეტეხის თიხა	1220-1230, 20წთ	ნიმუში აფუებული არათანაბარი ფორებით, უმთავრესად წვრილი, შიგადაშიგ უფრო მსხვილი ~2მმ ზომის. ზედაპირი გაკრიალებული.
1.12.	65 არგ. + 35 გარდაბნის თიხა	1180-1200, 20წთ	ზედაპირზე დიდი ზომის ფორები, ზედმეტად გადაფუებული. სიღრმეში არათანაბარი, წვრილი და მსხვილი ფორებით 2-5მმ ზომის.
1.13.	80 გარდაბნის თიხა + 20 ფ.	1180-1200 15წთ	თანაბრად აფუებული მთელ მოცულობაში. განაწილებული ძირითადად წვრილი და უწვრილესი ფორებით სხვადასხვა დიამეტრის 1-2მმ ზომის.
1.14.	70 არგ. + 30 ზესტ. წიდა	1130-1160 20წთ	სიღრმეში მკვეთრად შემცხვარი. ზედაპირზე ალაგ-ალაგ დაწყებულია აფუება უწვრილესი ბუშტებით.
1.15.	70 გარდაბნის თიხა + 30 Mn-ის მტვერი	1130-1150 20წთ	არათანაბარი აფუება. სიღრმეში და ძირზე დიდი ღრმულები. შუაში დაიკვირვება 2-4მმ ზომის ფორები. ზედაპირი წვრილი ფორებით დაფარული.

II სახეობის ნიმუშები უფრო არათანაბარი სტრუქტურით ხასიათდება. (ნიმ. 2.3., 2.4., ცხრილი 20).

აღნიშნულ წიდეებში რკინისა და კალციუმის ოქსიდების დიდი რაოდენობით შემცველობამ, SiO₂-ის დაბალ ოდენობასთან ერთად,

ექსპერიმენტული კაზმების პირობლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის ტემპერატურის შემცირებას შეუწყო ხელი, მაგრამ ამავდროულად CaO-ს მაღალი რაოდენობა, როგორც ცნობილია, იწვევს ნაღობის სწრაფად გათხევადებას ტემპერატურის ვიწრო ინტერვალში და, შესაბამისად, მის დეფორმაციას, რაც ექსპერიმენტული ნიმუშების ზედაპირზე გამოიხატა თხელი მინისებური აფსკის წარმოქმნით.

ზესტაფონის ფეროშენადნობთა წარმოების მანგანუმშემცველი ნარჩენებით თიხაფიქალების კორექტირებამ დადებითი შედეგები მოგვცა 25-30 წონითი ნაწილის დამატებისას. ამ შემთხვევაში ნიმუშებისთვის დამახასიათებელია ერთგვაროვანი, თანაბარფორებიანი აგებულება, საშუალო და წვრილი ზომის ფორებით, ასევე თითქმის 100°C-ით შემცირებული აფუების ტემპერატურა (ნიმ. 1.5., 2.7., ცხრ.20.), რომლის აფუების ტემპერატურაც 1110-1150°C შეადგენს.

როგორც მანგანუმის შემცველი მასალების კვლევის შედეგებიდან ჩანს, მიუხედავად მათში ერთდროულად სხვადასხვა კომპონენტების სხვადასხვა ოდენობით არსებობისა, ძირითად განმსაზღვრელ ფაქტორს კვლევის შედეგისთვის წარმოადგენს მათში MnO-ის შემცველობა, რომლის რაოდენობა 6 მას. %-დან 10 მას. %-მდე იზრდება. MnO-ს კონცენტრაციის შემდგომი მატება პირიქით ეფექტს იწვევს. ნარჩენების 35-40 წ. ნაწ. -მდე გაზრდით აფუების ტემპერატურაც იზრდება, რისი მიზეზიც, ჩვენი აზრით, მანგანუმის ცუდი თბოგამტარობაა. შედეგად მაღალმანგანუმშემცველი ნიმუშები გვერდებზე (გამახურებლებთან ახლოს) და შუაში სხვადასხვაგვარად ფუვდება, ეს კი თავისთავად თხოულობს აფუების ტემპერატურის მატებას. აღსანიშნავია, რომ მანგანუმშემცველი ნიმუშები შედარებით მაღალი მექანიკური სიმტკიცით გამოირჩევა. უშუალოდ მანგანუმის ნაერთის გავლენის დასადგენად მინარევების გარეშე, შემდგომ ეტაპზე თიხაფიქალის კორექტირება მოხდა $MnSO_4$ -ის მეშვეობით, რომლის ოპტიმალურმა რაოდენობამ 18 წ. ნაწილის ოდენობით აფუების

ტემპერატურა 1140-1180°C ინტერვალამდე შეამცირა (ნიმ.1.7.; ცხრ.20). თუმცა სტრუქტურულად მანგანუმშემცველი კომპლექსური შედგენილობის

ნარჩენების გამოყენებით მიღებული ნიმუშები უფრო თანაბარ ფოროვანი აგებულებისაა.

ფიქლების სხვადასხვა სახეობებზე ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგებიდან ჩანს დანამატების განსხვავებული ზემოქმედება თითოეულ მათგანზე. ლამის გამოყენებისას კომპოზიციები შედარებით თანაბარ ფოროვანი აგებულებით ხასიათდება. ტემპერატურის შემცირების მხრივ უკეთესი შედეგები აღინიშნება ტექნოლოგიური ნარჩენების (რკინისა და მანგანუმის წილების) გამოყენების დროს.

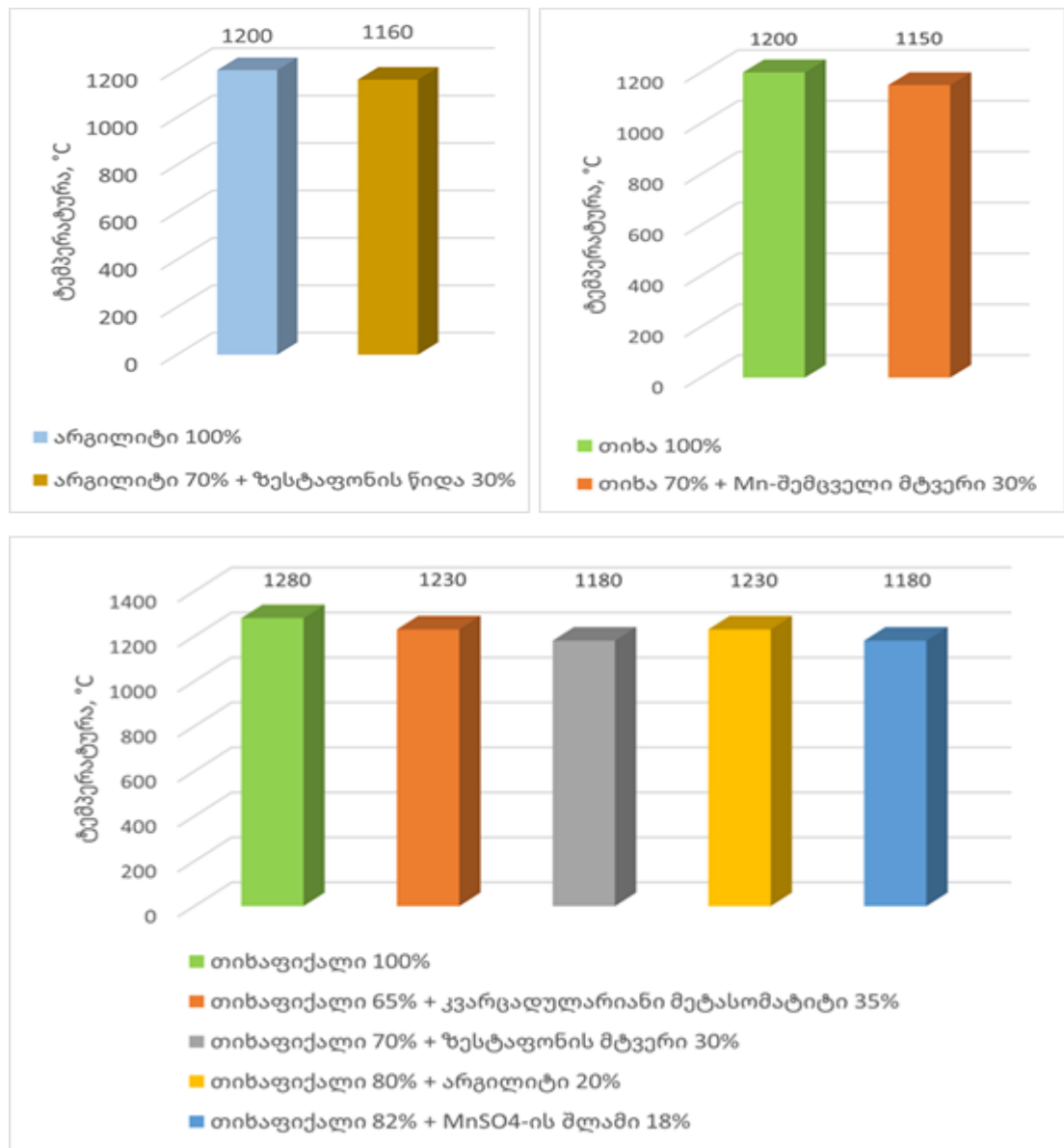
ყველაზე უკეთესი მახასიათებლებით როგორც აღნაგობის, ასევე ტემპერატურის დარეგულირების მხრივ, გამოირჩევა I სახეობის თიხა-ფიქალებზე შექმნილი კომპოზიციები. მათ შორის, განსაკუთრებით აღსანიშნავია მეტასომატიტით კორექტირებული შემადგენლობები, რომელთა სტრუქტურა მთელ მოცულობაში თანაბარზომიერი ერთგვაროვანი ფორებით ხასიათდება. ამ გარემოების გათვალისწინებით, შემდგომი ოპტიმიზაცია თიხების დანამატების გამოყენებით ჩატარდა I სახეობის თიხაფიქალზე.

თიხაფიქალებზე არგილიტის, გარდაბნის და მეტეხის თიხების დანამატებმა (ნიმ. 1.9., 1.10., 1.11. ცხრ.20) 20 მას. ნაწ. ოდენობით, თერმოდამუშავების ტემპერატურა უმნიშვნელოდ შეცვალა, ხოლო აფუების ხარისხის გაუმჯობესებას ადგილი არ ჰქონია. მოცულობაში აღინიშნება ძირითადად შემცხვარი მასა, ხოლო ზედაპირი ბუშტების არათანაბარი განაწილებით ხასიათდება. მეტეხის თიხის შემთხვევაში (ნიმ. 1.10.) ზედაპირი გამინებულია. არგილიტი და გარდაბნის თიხის ნარევი (ნიმ. 1.12., ცხრ.20) 1180-1200°C ტემპერატურის ფარგლებში გარეგნულად ზედმეტად გადაფუებულია, მაგრამ სიღრმეში აღინიშნება წვრილი და მსხვილი ბუშტების არათანაბარი განაწილება. შედარებით გაუმჯობესებული აღნაგობა დაფიქსირდა ნიმუშში 1.13, რომელშიც გარდაბნის თიხა

კორექტირებულია 20 წ. ნაწ. თიხაფიქალით. აქ 1180-1200°C ტემპერატურულ ინტერვალში მოცულობაში თანაბრად განაწილებული სხვადასხვა დიამეტრის ფორები წარმოიქმნება.

არგილიტის და გარდაბნის თიხის კორექტირებამ მანგანუმშემცველი ნაერთებით წიდის და მტვერის სახით (ნიმ. 1.14., 1.15., ცხრ.20) თერმოდამუშავების ტემპერატურა კი დასწია 1130-1160°C ტემპერატურამდე, მაგრამ აფუების ხარისხის გაუმჯობესებაზე დადებითად ვერ იმოქმედა.

დანამატების გავლენა თიხოვანი ქანების აფუების ტემპერატურაზე გრაფიკულად წარმოდგენილია სურათზე 20.



სურათი 20. დანამატების გავლენა თიხოვანი ქანების აფუების ტემპერატურაზე

როგორც ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა გვიჩვენა, დანამატების ეფექტური გავლენა მხოლოდ გარკვეულ ზღვრამდე მოქმედებს. თიხაფიქალების შემცველობის შემცირება 50%-ზე დაბლა იწვევს აფუების ინტენსივობის მკვეთრად შესუსტებას.

ნედლეულის ნარევის ქიმიური შედგენილობის განსაზღვრით (ცხრ. 21.) ჩანს, რომ ნედლეულის შემადგენელი კომპონენტების ოპტიმალური შემცველობა აფუების პროცესის სწორ წარმართვაზე გარკვეულწილად გავლენას ახდენს და ძირითადი კომპონენტებისათვის მისი ცვლილება ეფექტურია შემდეგ ფარგლებში: SiO_2 – 52-68%; Al_2O_3 – 15-19%, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ – 5-9%; R_2O – 1-6%. მჟავური ოქსიდების შემდგომი შემცირება იწვევს თხევადდენადი მასის წარმოქმნას, რომელსაც აფუების უნარი არ გააჩნია, ხოლო მათი მატება-გარბილების ტემპერატურის ზრდას.

ცხრილი 21. ოპტიმალური ნარეგების ქიმიური შედგენილობები

ნიმუშის ინდექსი	ნიმუშის შედგენილობა	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +FeO	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	BaO
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
1.1.	65 ფ. + 35 კვ.ად.მ.	68,44	0,69	15,71	5,14	1,08	1,35	0,19	1,55	4,40	0,17	0,77	0,53
1.2.	80 ფ. + 20 პ. ბ.	59,15	0,98	18,55	8,94	2,91	2,45	0,25	2,79	3,04	0,24	0,2	-
1.3.	70 ფ. +30 ბრძმ. წ.	51,5	0,7	16,52	12,44	10,91	2,74	0,34	1,93	2,27	0,24	0,41	-
1.4.	70 ფ. + 30 მარტ. წ.	52,79	0,81	16,68	9,02	11,29	3,96	1,02	1,9	2,25	0,27	0,56	-
1.5.	70 ფ. + 30 ზ. მ.	56,4	0,66	16,35	5,21	5,35	2,98	6,19	2,07	2,73	0,18	0,66	0,6
1.6.	70 ფ. + 30 ს. შ.	60,09	0,69	16,75	5,15	1,86	1,38	9,73	1,63	2,33	0,18	1,4	-
1.7.	82 ფ. + 18 MnSO ₄ ·5H ₂ O	54,99	0,82	17,53	6,11	1,42	1,63	5,9	1,96	2,8	0,21	6,63	-

3.3.3 ნარევის შემადგენელი ინგრედიენტების ურთიერთგავლენის კვლევა ტექნოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესების მიზნით

ჩატარებული კვლევების შედეგად თიხაფიქალების და მაკორექტირებელი დანამატების საფუძველზე დამუშავდა შემადგენლობები, რომლებიც საწყის ნედლეულთან შედარებით შეცხობა-აფუების უფრო დაბალი ტემპერატურით და თანაბარფორებიანი სტაბილური აგებულებით ხასიათდება.

როგორც ცხრ.20 მონაცემებიდან ჩანს, მეტასომატიტით და პემზით კორექტირებული კაზმების აფუება 1200°C-დან იწყება, ხოლო რკინა და მანგანუმშემცველი ნაერთებით კორექტირებული შემადგენლობების აფუების ტემპერატურები 1200°C-ზე დაბლა მდებარეობს. თუმცა, აღნაგობის მიხედვით ბუნებრივი დანამატებიანი ნიმუშები გაცილებით უკეთესი მაჩვენებლებით ხასიათდება.

ამის გათვალისწინებით, დამუშავებული შემადგენლობების შემდგომი ოპტიმიზაცია წარიმართა მაღალბოლო ოქსიდების შეყვანით ზემოთ აღნიშნულ ნარევებში.

მაღალბოლო ოქსიდებად შერჩეულ იქნა მანგანუმის, ბორის, ტუტელითონების, კერძოდ, ნატრიუმის ნაერთები; ამ ოქსიდების შემცველობამ, ჩვენი აზრით, ნარევების თერმული დამუშავებისას ხელი უნდა შეუწყოს დაბალბოლო ევტექტიკის წარმოქმნას და, შესაბამისად, პიროპლასტიკური მდგომარეობის უფრო დაბალტემპერატურულ ინტერვალში გადმონაცვლებას. ხოლო ბუნებრივი მაკორექტირებელი დანამატების აუცილებლობა, განპირობებულია თანაბარზომიერი ფოროვანი სტრუქტურის შენარჩუნებით.

მანგანუმის ოქსიდი ზესტაფონის ფეროშენადნობთა წარმოების წილის სახით შეყვანილ იქნა კვარცადულარ-მეტასომატიტიან და პემზის შემცველ შემადგენლობებში 10-25 წონ. ნაწილის ოდენობით.

მიღებული ნიმუშების თერმული დამუშავების შედეგები მოყვანილია ცხრილი № 22.

ცხრილი 22. კაზმების შემადგენლობები და აფუებული ნიმუშების მახასიათებლები

ნიმუშის ინდექსი	კაზმის შედგენილობა	აფუების ტემპერატურა და დრო	ნიმუშის დახასიათება
1.17.	60 ფ. + 20 კვ.ად.მ. + 20 ზ. მ.	1180-1200 15 წთ.	თანაბრად აფუებული, ფორები ძირითადად 1-2მმ-იანი, იშვიათად გვხვდება 3-3,5მმ დიამეტრით.
1.18.	65 ფ. + 15 პ. ბ. + 20 ზ. მ.	1170-1190 20 წთ.	თანაბრად აფუებული, მოცულობაში ძირითადი ფონი უწვრილესი ფორებია, შიგადაშიგ გადიდებული ფორები 4-5მმ-მდე.
1.19.	60 ფ. + 20 პრძ. + 20 ზ. მ.	1170-1200 15 წთ.	არათანაბარი აფუება, შუაგული ძირში შემცხვარი, ზედა ფენა აფუებული არათანაბარი ზომის ფორებით, მაქსიმუმ 5მმ-მდე ზომით.
1.20.	75 ფ. + 15 თ. + 10 ს. შ.	1160-1180 10 წთ.	აფუებული მოცულობაში სხვადასხვა ზომის ფორებით, უწვრილესიდან მსხვილ 3-4მმ-ის ზომამდე. ფორების სიდიდე იზრდება ქვევიდან ზევით.
1.21.	60 ფ. + 30 მ. + 10 H ₃ BO ₃	1150-1170 20 წთ.	მოცულობაში თანაბარი აფუება, ფორები სხვადასხვა ზომის, ძირიდან ზედაპირისკენ სიმაღლეზე ფორების დიამეტრი იზრდება.
1.22.	75 ფ. + 15 პ. ბ. + 10 H ₃ BO ₃	1080-1110 15 წთ.	თანაბრად აფუებული ნიმუში, სხვადასხვა ზომის ფორებით.
1.23.	60ფ. + 30 პ. ბ. + 10 H ₃ BO ₃	1050-1100 15 წთ.	კარგად აფუებული-ღრუბელივით, თანაბარი მთელ მოცულობაში, წვრილი ერთგვაროვანი ფორებით.
1.24.	66 ფ. + 26 ბრძ. +8 H ₃ BO ₃	1080-1130 15 წთ.	მოცულობაში თანაბრად აფუებული ერთნაირი ზომის უწვრილესი ფორებით, ზედაპირი გამინებულია.
1.25.	65 ფ. + 25 ზმ. + 10 H ₃ BO ₃	1000-1030 15 წთ.	თანაბრად აფუებული, ფორები სხვადასხვა ზომის, ძირითადად წვრილი, ნიმუში საკმაოდ მსუბუქი.
1.26.	65 ფ. + 25 ს. შ. + 10 H ₃ BO ₃	1070-1100 15 წთ.	მოცულობაში აფუებული, ძირითადად წვრილფოროვანი აგე-ბულეების. ზედაპირი ქვის მაგვარი.
1.27.	65 ფ. + 25 მ. მტ. + 10 H ₃ BO ₃	950-1000 15 წთ.	აფუებული უწვრილესი ფორებით, თანაბრად აფუებული, იშვიათად დაიკვირვება 2მმ-მდე ზომის ფორები.
1.28.	20 ფ. + 70თ.გ. + 10 H ₃ BO ₃ +	1060-1090 10 წთ.	არაერთგვაროვანი ნიმუში, შუაგულში მუქი ფერის, შემცხვარი აფუებული მასა დიდი ღრმულით, გვერდზე დაწყებული აქვს აფუება უწვრილესი ფორებით.
1.29.	58 ფ. + 28მ . + 8 H ₃ BO ₃ + +6 Na ₂ CO ₃	1060-1080 10 წთ.	თანაბარი, წვრილფოროვანი აფუება; ძირში უწვრილესი ფორებით, ზედაპირიზე ფორების დიამეტრი 2მმ.

ცხრილი 22-ის გაგრძელება

1.30.	61 ფ. + 21 ს. შ. + 8 H ₃ BO ₃ + +10 Na ₂ CO ₃	1000-1050 10 წთ.	თანაბრად აფუებული წვრილ- ფოროვანი სტრუქტურით.
1.31.	84 ფ. + 8 H ₃ BO ₃ + 8 Na ₂ CO ₃	1020-1050 15 წთ.	თანაბრად აფუებული, ძირში უწვრი- ლესი ზომის ფორებით, ზედაპირის- კენ ზომებში იზრდება, ნიმუში საკმაოდ მსუბუქი.
1.32.	90 ფ. + 10 H ₃ BO ₃	1070-1110 15 წთ.	მოცულობაში აფუებული, უმეტესად წვრილი ფორებით, თანაბარი აფუება.
1.33.	71 ფ. + 15 ს. შ. + 14 H ₃ BO ₃	980-1020 15 წთ.	მოცულობაში თანაბარფოროვანი აფუება.

მანგანუმშემცველი წილის შეყვანა ფიქალი-მეტასომატიტიანი კაზმის აფუების ტემპერატურას ამცირებს 1180-1200°C ფარგლებამდე. (ცხრ.22; ნიმ.1.17.). მთელ მოცულობაში სხვადასხვა ზომის ძირითადად წვრილი თანაბრად განაწილებული ფორები აღინიშნება.

აღნიშნული ნარევების ქიმიური შედგენილობების (ნიმ.1.1.; ცხრ.21) შედარებით ჩანს, რომ მანგანუმის ოქსიდის შეყვანამ 4,3 მას.% ოდენობით. მასთან ერთად CaO-ს მომატებამ ასევე 4 მას.%-მდე, ძირითადად SiO₂ შემცირება გამოიწვია (ნიმ.1.17.; ცხრ.22), რამაც დადებითად იმოქმედა ნარევის შეცხოების ტემპერატურის შემცირებაზე.

ფიქალი-პემზიან კაზმში წილის შეყვანით (ნიმ.1.18.; ცხრ.22) 15 წ. ნაწ.-ის ოდენობით აფუების ტემპერატურა საწყის ნარევებთან შედარებით 30-40^o-ით მცირდება, მაგრამ აფუების ინტერვალი ანალოგიურია ფიქალი-მანგანუმშემცველი წილის (ნიმ.1.15; ცხრ.20.) ორკომპონენტური კომპოზიციის აფუების ტემპერატურის, ორივე შემთხვევაში ნიმუშების აფუება 1160-1180°C ტემპერატურის ინტერვალში მიმდინარეობს. როგორც ცხრ.21-ის მონაცემებიდან ჩანს, ამ ნარევებს თითქმის მსგავსი ქიმიური შედგენილობა გააჩნიათ, რაც განაპირობებს მათ ანალოგიურ მახასიათებლებს.

იგივე კანონზომიერება აღინიშნა ფიქალი-რკინაშემცველი წილის კაზმზე მანგანუმის წილის დამატებისას (ნიმ.1.19.; ცხრ.22.). ამ შემთხვევაში ნიმუშის აფუების ხარისხი გაუარესდა, ხოლო ტემპერატურა უცვლელი დარჩა. როგორც ცხრ.21-ს მონაცემებიდან ჩანს კაზმის ძირითად

კომპონენტებს - Ca, Fe და Mn-ს შორის არაეფექტური თანაფარდობა ჩამოყალიბდა, რამაც აფუების ხარისხის გაუარესება გამოიწვია.

ფიქალი-თიხის კომპოზიციაზე MnO-ს შესაყვანად, განსხვავებით დანარჩენი შემადგენლობებისაგან, გამოყენებულ იქნა სულფატური შლამი 10 წ. ნაწ. -ის ოდენობით. თიხაც და მანგანუმის წიდა საკმაო ოდენობით შეიცავენ CaO-ს, რომლის ჭარბი რაოდენობა, გამლღვალ მასას თხელდენადობას ანიჭებს. ამიტომ კაზმის ნარევის კორექტირება წარმოებულ იქნა სულფატური შლამით, რომელიც CaO-ს თითქმის არ შეიცავს.(ნიმ.1.22.)

MnO-ს დამატებით ნარევის აფუების ტემპერატურა საწყის შემადგენლობასთან შედარებით 30-40°C -ით შემცირდა.

გაცილებით ეფექტური გამოდგა დასახული მიზნის მისაღწევად ბორის ოქსიდის დამატება ზემოთ განხილული კაზმების ნარევებზე. I სახეობის თიხა-ფიქალების და ბუნებრივი დანამატების კომპოზიციებზე (ნიმ.1.21., 1.22., 1.23., 1.24., 1.25., 1.26., 1.27.; ცხრ.22) 10 წ. ნაწ. H₃BO₃ დამატებით ნარევების აფუების ტემპერატურა საწყის შემადგენლობასთან შედარებით მკვეთრად მცირდება.

მეტასომატიტიან ნიმუშებში 5,9 მას.% B₂O₃-ს შემცველობა აფუების ტემპერატურას ამცირებს 1140-1170 °C-მდე, ხოლო პემზიან, რკინის წიდიან და სულფატური შლამის შემცველ ნიმუშებში (ნიმ.1.22., 1.23., 1.24., 1.26.; ცხრ.22) აფუების ტემპერატურა 1100 °C -ის ფარგლებში მერყეობს.

ფიქალი-მანგანუმის წიდის ნარევეზე ბორმჟავას დამატებით აფუების ტემპერატურა 1000-1030°C-მდე მცირდება (ნიმ.1.25.; ცხრ.22), როგორც ცხრ.21-ის მონაცემებიდან ჩანს, 5,9 მას% B₂O₃-ის შეყვანით ნარევეში Fe₂O₃ და CaO-ს გაზრდით 5 მას%-მდე, ამავედროულად SiO₂ შემცირებით 54 მას%-მდე, MnO- B₂O₃-თან ერთად დაბალდობადი ევტექტიკის ჩამოსაყალიბებლად ხელშემწყობ გარემოს ქმნის, რაც იწვევს აფუების ტემპერატურის მკვეთრ შემცირებას.

ბორის ოქსიდის დამატებამ 1.28. ნიმუშზე აფუების ტემპერატურის შემცირებაზე ასევე დადებითად იმოქმედა. ტემპერატურამ 1060-1090°C-მდე დაიწია, მაგრამ ზედაპირზე წარმოიქმნა მინისებური ქერქი.

აფუების ტემპერატურის მაქსიმალურად შემცირების მიზნით ბორის ოქსიდის შემცველ შემადგენლობებზე გამოიცადა დამატებით ნატრიუმის ოქსიდის მოქმედება. მეტასომატიტ-ბორიან კომპოზიციაზე Na₂O-ს დამატებამ 5,9 მას.%-ის ოდენობით აფუების ტემპერატურა 1060-1080 °C-მდე ჩამოსწია (ნიმ.1.29.; ცხრ.22), რაც თითქმის 80°C -ით დაბალია საწყისი 3-კომპონენტური ნარევის აფუების ტემპერატურაზე (ნიმ.1.21.; ცხრ.22).

ფიქალი-სულფატური შლამი - ბორის ნარევეზე Na₂O-ს დამატება ასევე იწვევს აფუების ტემპერატურის შემცირებას 1000-1050°C ფარგლებში (ნიმ.1.30.; ცხრ.22.), მაგრამ სტრუქტურულად საწყისი 3-კომპონენტური ნარევი (ნიმ.1.26.; ცხრ.22) უკეთესი აღნაგობით ხასიათდება.

სუფთა ფიქალზე ბორისა და ნატრიუმის ნაერთების დამატებამ თითოეული 8 წ. ნაწილის ოდენობით ასევე დადებითი ეფექტი მოგვცა. აფუების ტემპერატურამ 1030-1050°C ფარგლებში გადმოინაცვლა (ნიმ.1.31.; ცხრ.22). ხოლო ამ უკანასკნელი შემადგენლობიდან (ნიმ.1.31.; ცხრ.22) ნატრიუმის ოქსიდის გამორიცხვამ ნარევის აფუების ტემპერატურა კვლავ მაღლა ასწია - 1070-1110°C ინტერვალამდე (ნიმ.1.32.; ცხრ.22). ფიქალზე B₂O₃-ის დამატება 5,9 მას.%-ის ოდენობით თვით ფიქალის აფუების საწყის ტემპერატურას 1260-1280°C-დან 1070-1110 °C-მდე ამცირებს, თითქმის 1500-ით, მაგრამ სტრუქტურულად ფიქალი- B- Na კომპოზიციის ნარევი სჯობია.

შემადგენლობების ოპტიმიზაციის მიმართულებით ჩატარებული კვლევების შედეგიდან ჩანს, რომ Mn, B და Na-ის ოქსიდებმა ზოგადად დადებითი გავლენა მოახდინა ნარევის აფუების ტემპერატურის შემცირებაზე.

მანგანუმის და ბორის ზემოქმედება მეტასომატიტის შემცველ ნარევეებზე ანალოგიურ ხასიათს ატარებს. ორივე შემთხვევაში ნარევის (ნიმ.1.17., 1.21. ცხრ.22) აფუების ტემპერატურა მცირდება.

პემზიან ნიმუშებზე Mn-ის ნაერთის დანამატი ნაკლებ ეფექტურია, მაშინ როცა ბორის დამატების შემთხვევაში აფუების ტემპერატურა 1050-1100°C -მდე მცირდება.

ასევე უფრო ეფექტურია ბორის მოქმედება ბრძმედის წიდიანი ნიმუშების (ნიმ.1.24.; ცხრ.22) ტემპერატურის შემცირებაზე. ამ შემთხვევაში აფუების ტემპერატურა 1080-1130°C ინტერვალშია, ხოლო მოცულობა თანაბარი წვრილფორებიანი აღნაგობით ხასიათდება.

ბორისა და მანგანუმის ოქსიდების ერთობლიობა ზესტაფონის წიდის გამოყენების შემთხვევაში (ნიმ.1.25.; ცხრ.22) აფუების ტემპერატურას 1000-1030°C ფარგლებამდე ამცირებს, საპირისპიროდ მხოლოდ ფიქალი-ზესტაფონის წიდიანი ნარევისა (ნიმ.1.5.; ცხრ.20), რომლის აფუების ტემპერატურა 1160-1180°C ფარგლებშია.

ზესტაფონის წიდის ნაცვლად მანგანუმის ოქსიდის შეყვანით სულფატური შლამის საშუალებით ფიქალი-ბორის კომპოზიციაში, მისი აფუების ტემპერატურამ შედარებით მაღლა აიწია 1070-1100°C ფარგლებში (ნიმ.1.26.; ცხრ.22). ე. ი., ამ შემთხვევაში სულფატური შლამის ზემოქმედება ნაკლებად ეფექტური გამოდგა.

აღნიშნულ შემადგენლობაში მანგანუმის და ბორის ოქსიდების რაოდენობების გათანაბრებამ თითოეულის 8,6 მას.%-ის შემცველობით, დადებითად იმოქმედა ნარევის შეცხოვა-აფუების პროცესზე. აფუების ტემპერატურული ინტერვალი 980-1020°C-მდე შემცირდა.

ფიქალზე ბორისა და ნატრიუმის ოქსიდების ერთობლივი ზემოქმედებით ნარევის (ნიმ.1.31.; ცხრ.22) აფუების ტემპერატურა 1020-1050°C-ის ფარგლებშია. Na₂O-ს შეყვანამ 6,76 მას.%-მდე, B₂O₃ – 4,86 მას.% და რკინის ოქსიდების 6,3მას.% ერთობლივი შემცველობისას, SiO₂-ის შემცირება გამოიწვია 56,6 მას.%-მდე. შედეგად ძირითად კომპონენტებს შორის ჩამოყალიბდა ოპტიმალური თანაფარდობა, რაც ხელს უწყობს ნარევის პიროპლასტიკური მდგომარეობის უფრო დაბალტემპერატურულ ინტერვალში ჩამოყალიბებას.

თიხების კვლევის შედეგებმა გვაჩვენა, რომ დამოუკიდებლად მათი ძირითად ნედლეულად გამოყენება არაეფექტურია. თიხაფიქალებით კორექტირებისას, მიუხედავად მათი დადებითი ზემოქმედებისა თერმოდამუშავების ტემპერატურაზე, მასალის სტრუქტურის გაუმჯობესებას ისინი ვერ უზრუნველყოფენ.

საკვლევი თიხებიდან შედარებით უკეთესი მაჩვენებლებით გამოირჩევა გარდაბნის თიხა, ამიტომ აღნიშნული თიხის და თიხაფიქალის ნარევეზე გამოიცადა ბორის ოქსიდის დანამატი, რომელმაც აფუების ტემპერატურის შემცირების მხრივ დადებითი შედეგი მოგვცა, მაგრამ სტრუქტურულად მიღებული ნიმუშები წაყენებულ მოთხოვნებს ვერ აკმაყოფილებს.

3.3.4 ოპტიმალური შედგენილობების შერჩევა და მათი ფიზიკურ მექანიკური მახასიათებლების განსაზღვრა

წინა თავებში განხილული საკითხების შესწავლის შედეგებზე დაყრდნობით შერჩეულ იქნა ოპტიმალური შედგენილობები, როგორც შეცხოვა-აფუების ტემპერატურების მაჩვენებლებიდან გამომდინარე, ასევე აფუებული ნიმუშების სტრუქტურის მიხედვით.

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

ოპტიმალური ნედლეულის კაზმების შემადგენლობები და მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში 23.

აღნიშნული კაზმების საფუძველზე მომზადდა ნიმუშები: (11 X 5.5 X 1.7) სმ და (10 X 10 X 2) სმ ზომის, დაიწნება ნახევრად მშრალი მეთოდით. შემკვრელად გამოყენებულ იქნა სულფატურ-სპირტოვანი ბუყის წყალხსნარის ($d = 1.06$ -დან $- 1.3$ გ/სმ³-მდე) გამოყენებით.

ნიმუშების თერმული დამუშავება წარმოებდა ლაბორატორიულ ელექტროლუმელებში, როგორც კარბორუნდის გამახურებლების გამოყენებით, ასევე SNOL-ის ტიპის მუფელის ელექტროლუმელებში.

ცხრილი 23. ოპტიმალური შემადგენლობების მახასიათებლები

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

კარბორუნდის გამახურებლიან ელექტროლუმელში სამუშაო კამერის ზომა შეადგენდა (220 X 250 X 200)მმ; ტემპერატურული რეჟიმის დაცვას უზრუნველყოფდა 2 ც. PHO ტიპის ავტოტრანსფორმატორი. ღუმელის კონსტრუქცია და შიდა არე უზრუნველყოფდა თერმოდამუშავებისთვის საჭირო ტემპერატურის სწრაფად აწევას. ტემპერატურის მატება მიმდინარეობდა შერჩეული რეჟიმით: 10 – 15 გრად./წთ-ში.

როგორც ცხრ.23-დან ჩანს, დიდი ზომის ნიმუშების აფუების ტემპერატურული ინტერვალი ანალოგიურია ზემოთგანხილული ნიმუშების ტემპერატურისა. ნიმუშების ზომის ზრდის მიხედვით აფუების ტემპერატურა ოდნავ იცვლება.

მიღებული ნიმუშები ძირითადად თანაბარი აფუებით ხასიათდება, მთელს მოცულობაში თანაბრად განაწილებული წვრილი და შედარებით დიდი ზომის სფერული ფორმის ფორებით.

განსაკუთრებით გამოირჩევა ნიმუში 1.1 ფიქალისა და კვარც-ადულარიანი მეტასომატიტის საფუძველზე, რომლის სტრუქტურა შედგება მთელ მოცულობაში თანაბრად განაწილებული ერთნაირი ზომის 2–3მმ დიამეტრის მქონე სფერული ფორმის ფორებისგან.

ოპტიმალური შემადგენლობების გამოცდის შედეგებიდან ჩანს, რომ შედარებით დიდი ზომის აფუებულ ნიმუშებში ფორების მოცულობაში თანაბარი განაწილება, უპირველეს ყოვლისა, დამოკიდებულია თერმოდამუშავებისას ღუმელში შექმნილი ტემპერატურული ველის ერთგვაროვნებაზე. ლაბორატორიულ სილიტებიან ელექტროღუმელში გამოცდისას, სადაც სილიტები განლაგებულია ღუმელის გვერდებში, სილიტების სიახლოვეს მოთავსებული ნიმუშების გვერდები შესაბამისად უფრო მეტად ხურდება, რაც გვერდებზე ფორების გადიდებას და გვერდების წიბოების ზედმეტად გადაღობას იწვევს. ასევე აფუებისას ნაკეთობის სიმაღლის მიხედვით ფორიანობა იზრდება ქვევიდან ზევით - ზედა ფენების ქვედა ფენებზე დაწოლის შედეგად.

ზემოთაღნიშნულის გათვალისწინებით, დიდი ზომის (10 X 10 X 2)სმ ნიმუშების თერმოდამუშავება ჩატარდა მუფელის ღუმელში, კამერის ზომით (125 X 200 X 310)მმ, სადაც შეცხოვა-აფუების პროცესი მიმდინარეობს თანაბარზომიერად, ტემპერატურის თანდათან აწევით. ამ ტიპის ღუმელებში ტემპერატურული არის გაფართოვება იოლი მისაღწევია, რადგან სპირალების განლაგებულია როგორც ძირში, ასევე გვერდებზე, რათა ნიმუშების გახურება მოხდეს თანაბრად და აირები ზემოთ წამოვიდეს.

გარკვეული სირთულეები მაინც აღინიშნებოდა თერმოდაამუშავების ბოლო ეტაპზე, როდესაც აფუებული თანაბარფორებიანი სტრუქტურის შესანარჩუნებლად საჭირო ხდება ღუმელში ტემპერატურის მყისიერი დაწევა დაახლოებით 700-800°C ტემპერატურამდე, რათა ნიმუშის უცხად გაცივებით დაფიქსირდეს აფუებული ფორებიანი აგებულება, არ მოხდეს ნიმუშის ჩაჯდომა.

რადგანაც ჩვენს პირობებში ელექტროლუმელის კარგი თბოიზოლაციის გამო ვერ ხერხდება ტემპერატურის სწრაფი შემცირება, ნიმუშის სტრუქტურის შესანარჩუნებლად აფუებული ნიმუში უცხად გადაგვქონდა დაბალტემპერატურულ ღუმელში, სადაც ტემპერატურა 750°C-მდე აღწევს. ნიმუშის გადატანისას ტემპერატურა ნელ-ნელა მცირდებოდა 650°C-მდე, ხოლო შემდეგ წარმოებდა ნიმუშის გამოწვა 600-650°C ტემპერატურის ინტერვალში და შემდეგ ნიმუშის გაცივება თავისუფალი რეჟიმით.

ოპტიმალური შედეგნილობებიდან აფუებული მასალის სტრუქტურის მიხედვით შეირჩა რამდენიმე შედეგნილობა და განისაზღვრა მათი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები. შედეგები მოყვანილია ცხრილში 24.

ცხრილი 24. აფუებული ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრები

ნიმუშის შედეგნილობა	მოცულ ობითი მასა, კგ/მ ³	წყალ შთანთქ მა, %	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, მპა	ფორების საშუალო დიამეტრი, მმ	თბოგამტარობის კოეფიციენტი 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+ 10H ₃ BO ₃	870	2.13	5.1	2 – 4	0.138
65ფ+25მ.მტ+ 10H ₃ BO ₃	670	12.4	3.5	0.4-2	0.148
84ფ+8Na ₂ CO ₃ + 8H ₃ BO ₃	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

ცხრილიში 25 წარმოდგენილია ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნაკეთობების ღია და დახურული ფორების % რაოდენობები.

ცხრილი 25. ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნაკეთობების ღია და დახურული ფორე-ბის % რაოდენობები

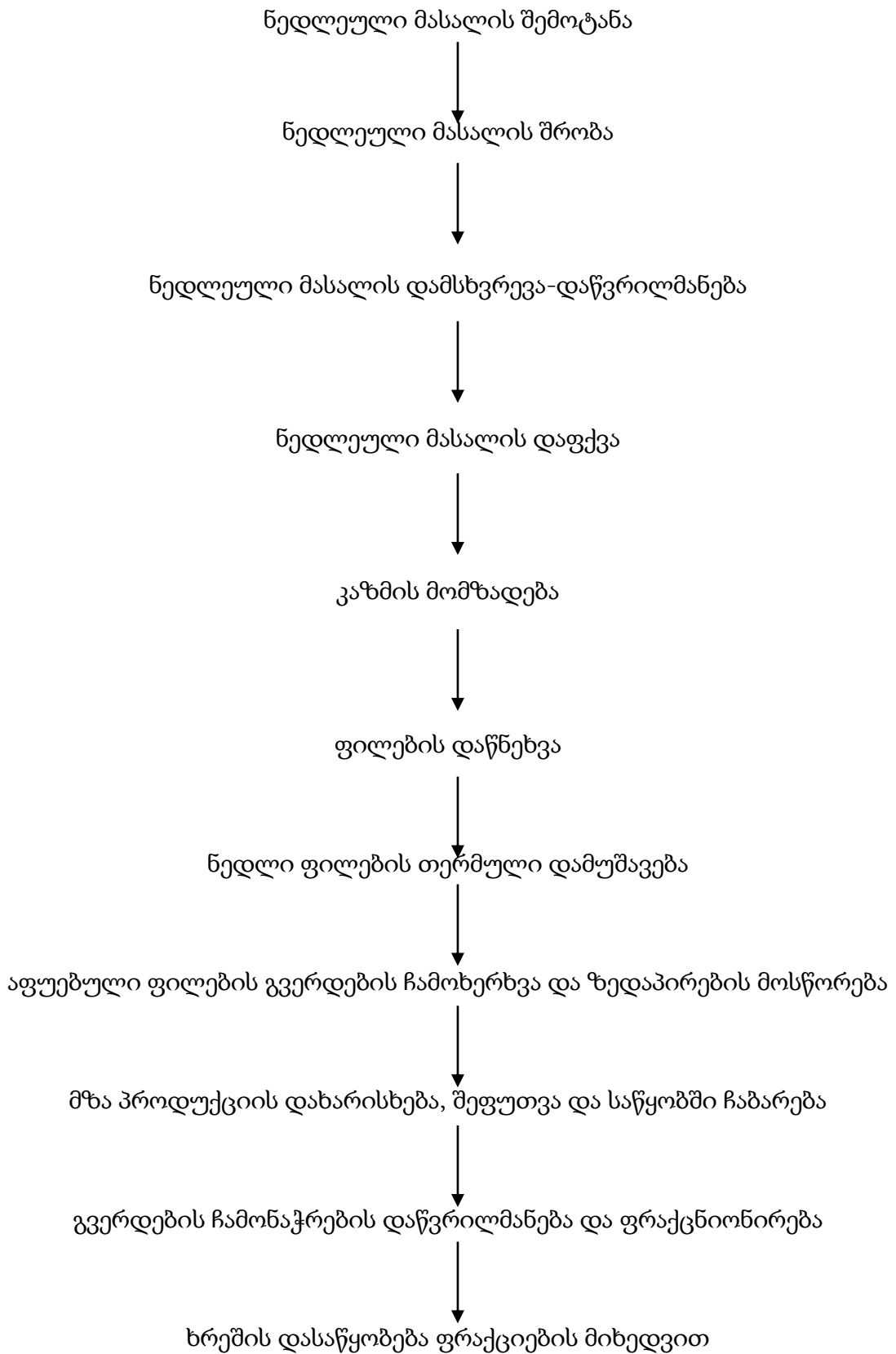
ნიმუშის შედგენილობა	ჭეშმარიტი ფორიანობა %	ღია ფორიანობა %	დახურული ფორიანობა %
65ფ+35კვ.ად.მ	86.7	1	85.7
70ფ+35ზ.წ	70	1.33	68.7
70არგ+30ზ.წ	69.5	3.38	66.12
75ფ+15პ+10H ₃ BO ₃	68	1.66	63.3
65ფ+25მ.მტ+10H ₃ BO ₃	73	10.45	62.55
84ფ+8Na ₂ CO ₃ +8H ₃ BO ₃	74	1.71	72.3
არგილიტი	63	0.95	62.05
თიხა გარდაბანი	62	2.15	59.85

როგორც ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების განსაზღვრამ გვიჩვენა, აფუებული ნიმუშების მოცულობითი მასა 650–დან 1000 კგ/მ³ ფარგლებშია, ხოლო წყალშთანთქმა არ აღემატება 12%-ს, რაც მიუთითებს მასალაში უმეტესად დახურულ ფორეიანი სტრუქტურის არსებობაზე.

თიხაფიქალების თითოეული სახეობისათვის დადგინდა მინერალოგიური, ქიმიური და ფრაქციული შედგენილობა, განისაზღვრა მათი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები. თერმული დამუშავებით გამოვლინდა თითოეული სახეობის თვითაფუების უნარი და აფუების ტემპერატურული ინტერვალი ფრაქციული შემადგენლობის მიხედვით.

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

3.3.5 ფორიანი თბოსაიზოლაციო ფილების წარმოების მოკლე ტექნოლოგიური სქემა



დასკვნა

შესწავლილ იქნა საქართველოს თიხოვანი ქანები - ყვარლის თიხაფიქალი, თელეთის არგილიტი და მეტეხის, მირიანის და გარდაბნის ადგილმდებარეობის ადვილლლობადი 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 შემადგენლობაში 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.
- 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 (იხ დანართი 9 და 10).

- ჩატარებული სამუშაოების შედეგად შემუშავებულია საქართველოს თიხოვანი ქანების (თიხაფიქალების, არგილიტების და ადვილადღობადი თიხების) მოდიფიცირებით 1170 – 1200°C-ის ინტერვალში მსუბუქი ბეტონის შემავსებლის -კერამზიტის მიღების ტექნოლოგიები.

- შემუშავებულია კერამზიტის მიღების სხვადასხვა მეთოდები, დადგენილია ტემპერატურული რეჟიმები და სხვადასხვა პარამეტრის 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 (λ): 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 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.

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

- განსაკუთრებით აღსანიშნავია კერამზიტბეტონი, 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.

- შესწავლილ იქნა ნედლეულის კაზმების შემადგენელი კომპონენტების ურთიერთგავლენა შეცხოვა-აფუების პროცესების სწორად წარმართვაზე, ამ მიზნით ჩატარდა ექსპერიმენტები მალღობელი ოქსიდების (MnO_2 , B_2O_3 , Na_2O) გავლენის დასადგენად მასალის ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე.

- ლაბორატორიულ პირობებში ნედლეულის კაზმების წინასწარი დაწნეხვით ნახევრად მშრალი მეთოდით და მათი გამოწვით $1000-1180^{\circ}C$ ტემპერატურის ფარგლებში, ცეცხლგამძლე ფორმების გამოყენების გარეშე, მიღებულ იქნა ფორიანი თბოსაიზოლაციო ნიმუშები, (იხილიეთ დანართი 1-8) - ფილები, ზომით $115 \times 55 \times 27$ მმ, რომელთა მოცულობითი მასაა $657 - 1003$ კგ/მ³, წყალშთანთქმა $3.7 - 10.1\%$, სიმტკიცე კუმშვაზე $2.9 - 6.7$ მპა, ფორების დიამეტრი ძირითადად $0.5-დან 5$ მმ-მდეა.

ამრიგად, კვლევის შედეგების გამოყენება შესაძლებელია საფუძვლად დაედოს ადგილობრივი არადეფიციტური თიხოვანი ქანების (ადვილლოზადი თიხების, არგილიტების და თიხაფიქალების) საფუძველზე ენერგოდამზოგავი სამშენებლო მასალების: ცემენტ/ბეტონის მაღალაქტიური პუცოლანური დანამატის, მსუბუქი ბეტონის შემავსებლის - კერამიტი 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.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. European Commission. "DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL" of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. 18.06.2010. Official Journal of the European Union L 153/13.
2. European Commission. "DIRECTIVE 2012/27/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL" of 25 October 2012 energy efficiency, <https://enr-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/>.
3. „საქართველოს კანონი ენერგოეფექტურობის შესახებ “. №5898, 21.05.2020.
4. „საქართველოს კანონი შენობების ენერგოეფექტურობის შესახებ “. №5900, 21.05.2020.
5. Тандилова К.Б., Бибилашвили Б.В., Гегенава А.Г. Исследование цементов с добавкой местных туфов Дзегвского и Тедзамского месторождений. Сб.трудов «ГрузНИИСтром».Тбилиси, 1984. с.54-61.
6. კ. თანდილოვა, ე. ბაიდოშვილი. სურპსარის ვულკანური წიდის შესწავლა სხვადასხვა სახის ცემენტების მისაღებად. ”საშენი მასალები და ნაკეთობები”, N1, თბილისი, 1993. გვ.14-17.
7. Шапакидзе В.Н., Шапакидзе Е.В., Геджадзе И.В. Разработать технологию производства обычного, в т.ч. высокопрочного и гиротехнического, цементов на базе отходов меднопиритовой руды Маднеульского ГОК. Отчет КИМС. Тбилиси,1984. 172 с.
8. ე. მამალაძე, რ. მამალაძე, გ. მეფარიშვილი და სხვ. პორტლანდცემენტის კლინკერზე აქტიურ მინერალურ დანამატად ადგილობრივი პერლიტის გამოყენების შესახებ. სტუ-ს შრომები, თბილისი, 2005. გვ.104-109.
9. Схвитаридзе Р.Е., Саруханишвили А.В., Долидзе О.В., Долидзе Г.О. Практика исполь-зования отвального доменного шлака в качестве минеральной добавки в производстве цемента. სტუ-ს შრომები, თბილისი, 2005. გვ.114-120.
10. Dr. K. Srinivasu, M. L. N. Krishna Sai, Venkata Sairam Kumar N. A. Review on Use of Metakaolin in Cement Mortar and Concrete. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 3, Issue 7, July, 2014.
11. Jiping Bai, Stan Wild, Albinas Gailius. Accelerating early strength development of concrete using metakaolin as an admixture. Material Science, 2004, Vol.10(4), 338-344.

12. Siddigye R., Klaus I, Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete. *Applied Clay Science*. 2009. Vol. 43. No. 3-4. Pp. 392-400.
13. Gaifullil AR., Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R. The influence of clay additives in Portland cement on the compressive strength of the cement stone. *Mag. Civil Eng.*, 2015, 7, 66-73. DOI: 10.5862/MCE.59.7
14. Scrivener K.L., Nonut A. Hydratation of Cementations Materials, Present and Future. *Cement and Concrete Research*. 2011. №41. P. 651–665.
15. Ramachandran V.S. *Concrete Admixtures Handbook – Properties, Science and Technology*. 2nd ed. William Andrew Publishing. – New York, 1999. – 964 p.
16. Castello L.R., Hemandes H.J.F., Scrivener K.L., Antonic M. Evolition of calcined clay solid as supplementary cementitious materials // *Proceedings of a XII International congress of chemistry of cement*. Madrid: Instituio de ciencias de la Construction “Eduardo torroja”. 2011. 117.
17. Habert G., Choupay N., Escadeillas G., Guillaume D., Montel J.M. Clay Content of Argillites Influence of Cement Based Mortars // *Applied Clay Science*. 2009. Vil. 43. No.3-4. 322-330.
18. Fernandes R., Martirena F., Scrivener K.L. The origin of the Pozzolanic Activity of Calcined Clay Minerals: A Comparison Between Kaolinite, Illiite and Montmorillonite // *Cemnet and Concrete Research*. 2011, Vol. 41. No.1. 113-122.
19. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R. Construction and mineral binders of past, present and future. *Building Mater.*, 2013, 1, 124-128.
20. Konovalov V.M., Glikin D.M., Solomatova S.S. Use of Argillites in the Production of Mixed Cements // *Modern problems of science and education*. 2015. No.2-2.
21. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R, Gaifullin A. R., Influence of the addition of dispersed fine polymineral calcined clays on the properties of Portland cement paste. *Advances in Cement Research*, V. 29 (1), 2017, 21-32.
22. Shapakidze E., Nadirashvili M., Maisuradze V., Gejadze I., Avaliani M. Modifying the Properties of the Cement at Addition of Metakaolin Received by Heat Treatment of Shales//5th International Conference “Nanotechno-logies”, November 19– 22, 2018, Tbilisi, Georgia (Nano – 2018), Abstracts, 163.
23. Shapakidze E., Nadirashvili M., Maisuradze V., Gejadze I., Petriashvili T., Avaliani M., Todradze G. Elaboration of Optimal Mode for Heat Treatment of



- Shales for Obtaining Metakaolin. Eur. Chem. Bull. 2019, 8(1), 31-33. DOI: 10.17628/ecb.2019.8.31-33.
24. Rakhimov R.Z., Khaliullin M.I., Gaifullin A.R. Composition and Pozzolanic Properties of Haydite Dust. Construction Sciences. Bulletin of Kazan Technological University. No.4. 2013. 120-124.
 25. Онацкий С.П. – Производство керамзита. Изд. Литературы по строительству. М. 1971. с.310.
 26. Шустер Р.Л., Рахимова Р.А. Сланцы, как сырьё для получения лёгких заполнителей бетона. Из. «Недра». М. 1974. с.63.
 27. ГОСТ 32026-2012 Сырьё глинистое для производства керамзитового гравия, щебня и песка. Технические условия.
 28. Роговой М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики. «Стройиздат». М. 1974. с.319.
 29. ე. შავაკიძე, რ. სხვიტარიძე, ი. ქამუშაძე, ლ. გაბუნია, ი. გეჯაძე. ენერგოეფექტური სამშენებლო მასალების წარმოების პერსპექტივები საქართველოში. სამთო ჟურნალი, თბილისი, 2017. N2(39). გვ. 61-66.
 30. E. Shapakidze, R. Skhvitaridze, I. Gejadze, I. Kamushadze, L. Gabunia, T. Petriashvili. Development of technology for production of aggregate for lightweight concrete - claydite based on the shales of Georgia. 5th International Scientific-Practical Conference on Up-to- date Problems of Geology: Power of Geology is the Precondition for Regeneration of Economics. Georgian Technical University. 2019. p. 128-130.
 31. E. Shapakidze, I. Gejadze, M. Nadirashvili, V. Maisuradze, T. Petriashvili, A. Skhvitaridze. Using Clay Rocks of Georgia to Obtain High-Active Pozzolanic Additives to Portland Cement. International Journal of Applied Engineering Research. Volume 14, Number 18 (2019) pp. 3689-3695.
 32. შავაკიძე ე.ვ., სხვიტარიძე რ.ე., Камушадзе И.Г., Габунია Л.В., Геджадзе И.В., Петриашвили Т.Т. Разработка режима термического модифицирования глинистых пород с целью их пуццолановой активации. სამთო ჟურნალი, თბილისი, 2020. N1(43). გვ. 71-76.
 33. Китайцев В.А. – Технология теплоизоляционных материалов. Изд. лит. по строительству. М. 1970. с.227.
 34. Горлов Ю.П. – Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. «Высшая школа». М. 1989. с.384.



35. Шустер Р.Л., Рахимова Р.А. – Сланцы, как сырьё для получения лёгких заполнителей бетона. Изд. «Недра». М. 1974. с.63.
36. Шустер Р.Л., Путилин Ю.М. – Производство керамзитового гравия и песка из гидрослюдистых сланцев. Казахский НИИ минерального сырья. Алма-Ата. 1969. с.31.
37. Гервидс И.А. – Керамзит. Госстройиздат. М. 1957. с.3-15.
38. Петров В.П. – Перлит, его особенности и распространение. В кн. «Перлит и вермикулит». «Госгеолтехиздат». М. 1962. с.53.
39. Габуния Н.В., Габуния Л.В., Меипариани И.И. – Отчёт по теме 79-10/ст «Исследование и разработка технологии получения строительных вспученных материалов типа пеностекла на базе местных видов сырья». НТО «ГрузНИИстром». Тбилиси. 1979. с.100.
40. Габуния Н.В., Напетваридзе И.Г., Маисурадзе В.Д. – Использование сланцев для производства вспученных материалов строительного назначения. Сб. Научных трудов «ГрузНИИстром». Тбилиси. 1984. с.32-41.
41. Хведелидзе Т.А. – Исследование получения силикопористых материалов методом двухстадийного вспучивания. Автореферат диссертации на соискание уч. степени канд. техн. наук. Киев. 1967. с.21.
42. ნ. გაბუნია, ც. ნაფეტვარიძე, ლ. გაბუნია, ი. ქამუშაძე - შემსუბუქებული თბოსაიზოლაციო მასალები ადგილობრივი ქანების საფუძველზე. სტუ-ს შრომები № 4(458). თბილისი. 2005. გვ.37-38.
43. საქართველოს პატენტი გამოგონებაზე P 3382 „ნედლეულის ნარევი ფორიანი მასალის მისაღებად“. ნ.გაბუნია, ლ.გაბუნია, ც.ნაფეტვარიძე, ი.ქამუშაძე. 2004. 11. 25 № 22. „საქპატენტი“.
44. საქართველოს პატენტი სასარგებლო მოდელზე № 118, C 04 B 33,00. 1996.
45. ა. მირიანაშვილი, რ. სხვიტარიძე, ლ. კოიჯუნენი, თ. დოლიძე, თ. ნიკოლეიშვილი - მდ. დურუჯის ხეობის თიხაფიქლების საშენ მასალათა წარმოებაში გამოყენების შესაძლებლობათა შესახებ. სამთო ჟურნალი № 2(7). 2001. თბილისი. გვ.57-58.
46. რ. სხვიტარიძე, ა. საკანდელიძე - კავკასიონის მთავარი ქედის სამხრეთ ფერდობის თიხური ფიქლები - ახალი ნედლეული საშენი მასალების საწარმოებლად. სტუ-ს შრომები. 2005. (458) გვ.125-129.
47. Шилл Ф. – Пеностекло, производство и применение. Госстройиздат. М. 1965. с.



48. მ. ხუციანიძე, მ. შავლაყაძე, თ. ჭეიშვილი - მანგანუმშემცველი ხელოვნური მასალების გრანულომეტრიის გავლენა მათ ტესტურ რეაგენტში ხსნადობაზე. ჟ. "კერამიკა". 1(27). 2012. გვ.56-59.
49. Kirsanova A.A., Kramar L.Ya., Chernykh T.N., Argynbaev T.M., Stafeeva Z.V. Complex modifier with metakaolin for obtaining cement composites of high early strength and stability. Bull. South Ural State Univ. (Ser. Constr. Eng. & Archit.), 2013, 13(1), 49-56.
50. Krasnobaeva, S. A. Medvedeva, I. N. Brikov, A. S.. Stafeeva. Z. V., Properties of materials based on Portland cement with addition of the metakaolin MKJL. Cement Appl., 2015, 1(2), 50-55.
51. Мальквори Дж. Пуццолановый портландцемент // Четвертый международный конгресс по химии цемента, 1964. С. 576-585.
52. Шаль Б.В. – Исследование физико-химических процессов газовой выделения и выявления газовой фазы на вспучиваемость легкоплавких глин. Автореферат канд. дисс. Томск. 1072. с.1-20.
53. Будников П.П. – Газотемпературные условия и газовой выделение при обжиге керамзита – «Стройматериалы». 1967. № 9. с.22-24.
54. Мануилова Н.С. и др. – Участие воды в процессах вспучивания глинистых пород. Сб. ВНИИСтром. № 1(29). Стройиздат. 1964. с.27.
55. Крупа А.А. – Физико-химические основы получения пористых материалов из вулканических стёкол. Изд. «Высшая школа». Киев. 1978. с.135.
56. Павлушкина Н.М. Химическая технология стекла и ситаллов. Стройиздат. М. 1983. с.432.
57. Наседкин В.В. – Основные закономерности формирования месторождений водосодержащих стёкол и пути их промышленного использования. В кн. «Перлиты». Изд. «Наука». 1981. с.295.
58. ლ. გაბუნია, ე. შაფაქიძე, გ. მაღალაშვილი, ი. გეჯაძე - მდ. დურუჯის ხეობის თიხა-ფიქალების შესწავლა სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში გამოყენების მიზნით. სსიპ კავკასიის ალექსანდრე თვალჭრელიძის მინერალური ნედლეულის ინსტიტუტის შრომათა კრებული. 2009. გვ.399-401.

დაწარმო

დანართი

№	ფოტო	კაზმის შემადგენლობა, %	სითბოგამტარობის კოეფიციენტი, λ, ვატ/მ·K
1		<p>თიხაფიქალი - 65</p> <p>კვარცაღულარიანი მეტასომატიტი - 35</p>	0.110
2		<p>თიხაფიქალი - 60</p> <p>პემზა - 20</p> <p>H₃BO₃ - 10</p>	0.138

3		<p>თიხაფიქალი - 65</p> <p>მანგანუმზემცველი მტვერი - 25</p> <p>H₃BO₃ - 10</p>	0.137
4		<p>თიხაფიქალი - 84</p> <p>H₃BO₃ - 8</p> <p>Na₂CO₃ - 8</p>	0.156

5		<p>თიხაფიქალი - 70</p> <p>სულფატური მანგანუმშემცველი შლამი - 20</p> <p>H₃BO₃ - 10</p>	0.148
6		<p>თიხაფიქალი - 65</p> <p>მანგანუმშემცველი წიდა - 25</p> <p>H₃BO₃ - 10</p>	0.137





საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი
საქპატენტი

პატენტი

U 2021 2073 Y
სასარგებლო მოდელი

დასახელება: ცემენტის პუცოლანური დანამატის მიღების ხერხი

პატენტმოვლელი: ელენა შაფაქიძე; რაჟდენ სხვიტარიძე; იზოლდა ქამუშაძე; ლამარა გაბუნია; იოსებ გეჯაძე; მარინე ნადირაშვილი; ვერა მაისურაძე; თამარ პეტრიაშვილი; ივ.ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი; შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდი

გამომგონებელი: ელენა შაფაქიძე; რაჟდენ სხვიტარიძე; იზოლდა ქამუშაძე; ლამარა გაბუნია; იოსებ გეჯაძე; მარინე ნადირაშვილი; ვერა მაისურაძე; თამარ პეტრიაშვილი

განაცხადის შეტანის თარიღი: 04-07-2019

რეგისტრაციის თარიღი: 12-03-2021



მინდია ლავითაძე
თავმჯდომარე