

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ანა გურასპაშვილი

სამცხე-ჯავახეთის რეგიონის ვულკანური ქანებიდან  
ენერგოდამზოგავი მრავალფუნქციური  
ეკოლოგიური მასალების მიღება

სადოქტორო პროგრამა „ქიმიური – და ბიოლოგიური ინჟინერია”  
შიფრი – 0711

დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი  
2025 წ

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის  
ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი

ხელმძღვანელები: პროფესორი თეიმურაზ ჭეიშვილი  
პროფესორი მაია მშვილდაძე

რეცენზენტები: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

დაცვა შედგება 2025 წლის "-----" -----, ----- საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და  
მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის  
სხდომაზე,  
კორპუსი -----, აუდიტორია -----  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი

## შესავალი

თემის აქტუალურობა ენერგოდაზოგვის უმნიშვნელოვანესი ასპექტები უშუალო კავშირშია გლობალურ, მსოფლიო მასშტაბით არსებულ პრობლემებთან – ენერგომატარებლებზე მოთხოვნათა ზრდასა და მათი მარაგების კლებადობაზე. აღნიშნული საკითხის გადაწყვეტა პირდაპირ კავშირშია სითბური ენერგიის დანაკარგების მინიმუმამდე დაყვანასთან, ყველგან სადაც კი ეს შესაძლებელია. ამისათვის მრავალი მიდგომები და რეკომენდაციები იქნა შემუშავებული, მაგრამ პრობლემა დღესაც აქტიურად განიხილება – მრავალი კვლევები ტარდება სითბოს დანაკარგების მინიმიზაციის მიმართულებით. დღევანდელი მიდგომების გათვალისწინებით, პირველ რიგში ყურადღება ექცევა შენობა-ნაგებობებისა და თბური აგრეგატებიდან ატმოსფეროში მოხვედრილ სითბოს. არსებობს შეხედულება, რომ ამ გზით წარმოქმნილი თბური დანაკარგების რაოდენობა დაახლოებით 30%-ს შეიძლება აღწევდეს. საკითხის მეორე, უკვე ეკოლოგიურ მხარეს წარმოადგენს ის გარემოება, რომ სითბოს დანაკარგები უშუალოდ უკავშირდება ენერგომატარებლების არაეფექტურ - ზედმეტ ხარჯვას, რაც აისახება ატმოსფეროს დაბინძურებაზე და ყველა სახის „თბური ეფექტების“ წარმოქმნაზე.

სითბური დანაკარგების შემცირებასთან დაკავშირებით, განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა და პრიორიტეტულ მიმართულებათ ითვლება ეფექტური თბოსაიზოლაციო მასალების ფართო გამოყენებას ყველგან, სადაც კი ეს შესაძლებელია. ასეთი მასალების არაორგანული სახეობა, რომელიც სხვა სახის იდენტურ მასალებთან შედარებით, გამოირჩევა მაღალი საექსპლუატაციო მახასიათებლებით, სიმსუბუქით, წყალმედვეობით. ისინი გამოირჩევა ბიოლოგიური მდგრადობით, არ ღპება, არ იწვის და ა.შ. აღნიშნულმა ძირითადმა განაპირობა მათი ეკოლოგიურად უსაფრთხო პროდუქტებისადმი მიკუთვნება. აქედან, თანამედროვე სამშენებლო ინდუსტრიაში, თბოენერგეტიკაში, ქიმიური მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში და ა.შ. მათ გამოყენებას პრიორიტეტული მნიშვნელობა ენიჭება. უნდა

აღნიშნოს, რომ თბოსაიზოლაციო მასალების და მათ საფუძველზე დამზადებულ ნაწარმის გამოყენება, გარდა სითბური დანაკარგების შემცირებისა, შესაძლებელს ხდის მათგან მიღებული მრავალფუნქციური დანიშნულების, თბოსაიზოლაციო ელემენტების, კომპოზიტების და სამშენებლო კონსტრუქციების და სხვა სახეობათა მასალატევადობის და მასის შემცირებას.

არაორგანული თბოსაიზოლაციო მასალები გამოირჩევა სახეობათა და მათ მისაღებად გამოყენებული სანედლეულო ბაზის მრავალფეროვნებით. ასეთი მასალების მიღების ათამდე განსხვავებული ტექნოლოგიებია ცნობილი, მაგრამ პრაქტიკულად გამოიყენება გარკვეული სახეობის სანედლეულო მასალების თერმული დამუშავებით აფუება, რაც უზრუნველყოფს თბოსაიზოლაციო მსუბუქი ფორიანი მასალის მიღებას. სანედლეულო ბაზასთან მიმართებაში ცნობილია, რომ არაორგანული თბოსაიზოლაციო მასალების პრაქტიკულად მიღებული და გამოყენებული მასალების – აფუებულ პერლიტის, კერამზიტის და ქაფმინის დასამზადებლად, შესაბამისად გამოიყენება პერლიტური ქანები ადვილდნობადი თიხები ან თიხაფიქალი (კერამზიტი) და მეორადი/შეგროვილი ლეწი ან სპეციალურად მოხარშული მინიდან მიღებული გრანულატი (ქაფმინა). მაგრამ დღესაც მათი წარმოების ძირითად პრობლემად რჩება ხარისხის გაუმჯობესების და ფასის საკითხი. თბოსაიზოლაციო არაორგანული ფორიანი მასალების და მზა ნაწარმის ფასის საკითხის ძირითად განმსაზღვრელ პირობას წარმოადგენს მათი თვითღირებულების შემცირება. აღნიშნულის მიღწევის წამყვან გზად მიიჩნევენ როგორც სანედლეულო მასალების ხარჯის შემცირებას, ასევე ხელმისაწვდომი იაფი ნედლეულის გამოყენებას. რეკომენდირებულია სანედლეულო ბაზაში უფრო აქტიურად ბუნებრივი ქანების და ტექნოგენური ნედლეულის ჩართვა. აღნიშნულთან დაკავშირებით საქართველოს პირობებში ცნობილია ბუნებრივი ქანები, რომელთაც თერმული დამუშავებით, აფუებისადმი მიდრეკილება დაუდგინდა (პერლიტები, თიხაფიქალი, ადვილდნობადი თიხები, არგილიტები და ა.შ.), მაგრამ მათი

ძირითადი ნაწილის პრაქტიკული გამოყენებისათვის აუცილებელი პირობები (სანედლეულო ბაზის შესწავლა, სასურველი და ხარისხიანი პროდუქტის მიღების საწარმოო ტექნოლოგია და ა.შ.) დამუშავებული არ არის. გამონაკლისი არის ფარავნის პერლიტი, რომლისგან იწარმოება წვრილმარცვლოვანი აფუებული (დაახლოებით  $950 \pm 50^{\circ}\text{C}$ ) პერლიტი - საბათქაშე და სამშენებლო ბლოკების შემავსებლის სახით და ასევე როგორც აგრარული დანიშნულების ფოროვანი მასალა. იმის გათვალისწინებით, რომ პერლიტი ძირითადი ამოსავალი მასალაა - ინტერესმოკლებული არ იქნებოდა მისი მაღალტემპერატურული დამუშავებით სხვა სახის (მაგ. კერამიკის) მიღების შესაძლებლობის დადგენა.

აღსანიშნავია, რომ ბოლო წლებში აქტიურად განიხილება (ძირითადად საზღვარგარეთ-წამყვან ქვეყნებში) სხვადასხვა სანედლეულო ბაზაზე და განსხვავებული ტექნოლოგიებით კიდევ ერთი სახეობის თბოსაიზოლაციო და ამავე დროს სიმსუბუქით გამორჩეული არაორგანული ფორიანი მასალის – ქაფმინის და მისი ნაირსახეობის – ქაფსიტალის მიღება-გამოყენების საკითხი. ამ მიმართულებით ძირითადი აქცენტები კეთდება ნაკლებად მასალატევადი და კომბინირებული ტექნოლოგიებით მინისებრი თბოსაიზოლაციო მასალების მიღებაზე. ასეთი მიდგომით შესაძლებელი ხდება მასალის აფუებისა და ფორმის მიცემის (ე.ი. ნაწარმის საბოლოო სახით მიღება) პროცესების შეთავსება. აღნიშნულის მისაღწევად რეკომენდაციას უწევს როგორც წყალშემცველი მინერალების შემცველი მასალების (პერლიტი, ტუფი, დიატომატი, ცეოლითი და ა.შ.), და ნაკლებად, ისეთი ფართოდ გავრცელებული ნარჩენის (ტექნოგენური ნედლეული), როგორიცაა მინის (მინის ტარა, ფურცლოვანი/ფანჯრის მინა) ლეწის გამოყენება. ასეთი და სხვა სახის მინის ლეწის სახეობთა ძირითადი ნაწილის მოხმარება მინის ქარხნების მიერ ხდება, მათი მინის ხარშვის პროცესში ჩართვით. ქაფმინის მიღებისას კი, ხშირად ერთი სახეობის, მაგრამ შედგენილობით არაერთგვაროვანი ლეწი ვერ უზრუნველყოფს სასურველ ხარისხს. აქედან, ქაფმინის

მიღება უფრო რთული გზით ხდება: სპეციალური კაზმებიდან მინის გრანულების/ფრიტების მიღება, მათი შემდგომი დაფქვა და სპეციალური აფუხადი ნარევების მიღება, რაც მისი აფუებით მთავრდება.

ჩამოთვლილი პირობების გათვალისწინებით, საქართველოში არსებული სანედლეულო ბაზის გათვალისწინებით ჩვენს მიერ სრულად შესაძლებლად იქნა მიჩნეული ქაფმინის მიღების ტექნოლოგიის დაკავშირება ადგილობრივი ვულკანური მინის საბადოსთან (ჭიქიანის მთა/ჯავახეთის ქედი, რომელიც წალკის და ფარავანის წყალგამყოფ ქვაბულებს შორის). ეს მთა მთლიანად შედგება ობსიდიანისაგან – ის მაგმატური წარმოშობის ვულკანური მინაა.

ჭიქიანის მთის ობსიდიანი შეიძლება აღებულ იქნას საბაზო ტექნოგენურ ნედლეულად, რომელსაც ტექნოლოგიურობის გასაუმჯობესებლად შეიძლება დაემატოს სხვა სამრეწველო ნარჩენები – კერძოდ საქართველოში მოპოვებადი ბუნებრივი ნედლეული ან მისი გადამუშავება-გამდიდრების შედეგად წარმოქმნილი ნარჩენები (პერლიტი, პემზა და ა.შ.).

აქედან, მიჩნეული იქნა, რომ ტექნოგენური ხასიათის ბუნებრივი ნედლეული – ჭიქიანის მთის/ობსიდიანის და ასევე ფარავანის ტბის მიმდებარე ასევე ვულკანური წარმოშობის პერლიტის და პემზის მიზნობრივი სამრეწველო გადამუშავება ხელოვნურ აფუებულ მასალაში ან/და მათგან მიღებულ ნაწარმში, ხელს შეუწყობს საქართველოს სამრეწველო სანედლეულო ბაზის და სამრეწველო დარგების განვითარებას და ასევე სამცხე-ჯავახეთის კონკრეტულ რეგიონში არსებული ეკონომიკური და ეკოლოგიური პრობლემის გაუმჯობესებას.

**სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად მიზანს** წარმოადგენს არატრადიციული ნედლეულიდან - სამცხე-ჯავახეთის სამი სახეობის ვულკანური ქანის (ობსიდიანი, პემზა, პერლიტი) მაღალტემპერატურული დამუშავებით სხვადასხვა ფუნქციური დანიშნულების ენერგოდამზოგავი ფორიანი მასალების მიღების შესაძლებლობის დადგენა და შესაბამისად ნაკლებად მასალატევადი ტექნოლოგიების შემუშავება.

### **კვლევის მიზანი:**

- დადგინდეს სამივე საკვლევ ნედლეულისათვის (ობსიდიანი, პემზა, პერლიტი) მათი აფუების ხარისხზე თერმული დამუშავების პირობების გავლენა;
- შესწავლილ იქნას სამივე მასალის ქიმიური შედგენილობა, მათი სახეცვლილება და წონის დანაკარგები ფართო ტემპერატურულ ინტერვალში;
- შეირჩეს სანედლეულო მასალების თერმული დამუშავების შესაძლო ვარიანტები და განისაზღვროს ოპტიმალური რეჟიმები;
- დადგინდეს საკვლევი ნედლეულის მაქსიმალური აფუების შესატყვისი ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები (ტემპერატურა და დრო) მოცულობით სიმკვრივეთა მნიშვნელობების განსაზღვრა-შედარებით;
- შესწავლილ იქნას სამივე ნედლეულიდან მიღებული ფორიანი მასალებისთვის მოთხოვნადი, სტანდარტებით დადგენილი თვისებები და განისაზღვროს მიღებული მასალის რაობა არსებული სტანდარტით გათვალისწინებული კლასიფიკაციის მიხედვით;
- კვლევით მიღებული შედეგების საფუძველზე შეირჩეს კონკრეტული სანედლეულო მასალიდან შესაბამისი სახეობის ფორიანი მასალის მიღების ტექნოლოგია და მისი პრაქტიკულად განსახორციელებელი ტექნიკური რეკომენდაციები.

**კვლევის ობიექტს** წარმოადგენს სამცხერ-ჯავახეთის რეგიონში არსებული სანედლეულო ბაზა - ვულკანური წარმოშობის და შედგენილობით სილიკატური ბუნების სამი ქანი: ობსიდიანი, პემზა და პერლიტი.

**კვლევის მეთოდები** შეირჩა საკვლევი ნედლეულის და მისგან თერმული დამუშავებით მიღებული ფორიანი მასალების სახეობიდან გამომდინარე: ტექნიკური და ქიმიური ანალიზის მეთოდები; სილიკატური დარდის მასალების ზოგადი კვლევის მეთოდები; არაორგანულ ფოროვან მასალათა ზოგადი და სტანდარტებით გათვალისწინებული (ტექნიკური მოთხოვნები) და რეგლამენტირებული თვისებათა დადგენის მეთოდები.

**ნაშრომის მეცნიერული სიახლე:** ობსიდიანის, პემზის და პერლიტის, ასევე მათი მაღალთერმული (900 – 1300°C) დამუშავებით მასალაში გარდაქმნათა პროცესების შესწავლა - შეფასება, ცალკეული მასალის აფუების ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრების დადგენა, მიღებულ მასალათა თვისებათა შეფასებით მათი რაობის ფუნქციონალური დანიშნულების და დადგენა.

**ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება.** ნედლეულად აღებული სამივე ქანს, მათი მაღალტემპერატურული თერმული დამუშავებისას, დადგენილი ოპტიმალური პარამეტრების გათვალისწინებით, ყოველგვარი დანამატების გარეშე, უზრუნველყოფს ორი სახის, ფორიანი და გამოყენების სფეროებით მრავალფუნქციური მასალის მიღებას. კერძოდ, პემზიდან და პერლიტიდან მიიღება მშენებლობაში და ენერგეტიკაში ფართოდ გამოყენებული ფორიანი მასალა - კერამზიტი (M500 და M700), ხოლო ობსიდიანიდან – სამშენებლო ინდუსტრიაში, ქიმიური მრეწველობის დარგებში და მრავალ სხვა სფეროში გამოყენებული D – 200 მარკის ქაფმინა. აღნიშნულის საფუძველზე სამივე მასალას გაეწიოს რეკომენდაცია – მათი გამოყენება შესაძლებელია ენერგო-ეფექტური, ეკოლოგიურად უსაფრთხო და მრავალფუნქციური მსუბუქი მასალების სანედლეულო ბაზად.

**დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა.** დისერტაცია წარმოდგენილია 111 ნაბეჭდ გვერდზე. ნაშრომი შეიცავს შემდეგ თავებს: რეზიუმეს ორ (ქართულ და ინგლისურ) ენაზე, შესავალს, ლიტერატურის მიმოხილვას, ექსპერიმენტულ ნაწილს (ორი თავი და 8 ქვეთავი) და დასკვნებს, გამოყენებული ლიტერატურის სიას, 23 ცხრილს და 17 ნახაზს.

**ნაშრომის აპრობიზაცია** კვლევის შედეგები წარმოდგენილია და მოხსენებულია ერთ საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“: თ. ჭეიშვილი, ა. გურასპაშვილი, მ. მშვილდაძე „თბოსაიზოლაციო მინისებრი მასალები ტექნოგენური ნედლეულის საფუძველზე“ კონფერენციის პროგრამა. სექცია 1. ჰარემოს დაცვა და ახალი ტექნოლოგიები. თბილისი, სტუ, 12.06.24 წ.



## 1. ძირითადი შინაარსი

### 1.1. სანედლეულო ბაზის შერჩევა და მათი კვლევისათვის მომზადება

ენერგოდამზოგავ ფორიან არაორგანულ მასალათა მისაღებად პერსპექტიულად მიჩნეულ იქნა საქართველოს სამცხე-ჯავახეთის რეგიონში არსებული და სამრეწველო დარგებში ნაკლებ გამოყენებული სამი ბუნებრივი ნედლეული/ვულკანური ქანი – ობსიდიანი, პერლიტი და პემზა.

საკვლევ ობიექტად შერჩეულ სამივე ნედლეულს – ობსიდიანს, პერლიტსა და პემზას ჩაუტარდა მათი შემდგომი კვლევისათვის წინასწარი მომზადება: დაქუცმაცება, გაცრა და ქიმიური შედგენილობის დადგენა.

საკვლევად აღებული ნედლეულები წარმოადგენდნენ: ობსიდიანი – დიდი ზომის და წონის შავი ფერის მასიურ ნატეხებს (ბელტებს), პერლიტი – რუხი ფერის ნაჭროვან და ფხვნილოვანი შემადგენლებიდან შემდგარ ნარევს, ხოლო პემზა - მოყავისფრო ნატეხებით. სამივე სახეობის ნედლეული საჭიროებდა წინასწარ მომზადებას, რომლის პირველი ეტაპი, მათი ფიზიკური მდგომარეობიდან გამომდინარე სხვადასხვა რეკომენდირებული ხერხების გამოყენებით ჩატარდა.

ობსიდიანის ბელტები (თითოეული 1კგ-ზე მეტი წონით) წინასწარ იმსხვრეოდა ჩაქუჩით და შემდგომ ხდებოდა მისი მომცრო ნატეხების (50 მმ-ზე ნაკლები ზომის) ლაბორატორიულ ყბებიან მსხვრევანაში დაქუცმაცება. საკონტროლო გაცრა ტარდებოდა N20 საცერში (ბადის ნახვრეტების დიამეტრი 20 მმ) და საცერზე ნარჩენი ხელმეორედ იმსხვრეოდა.

მეორე ნედლეული – პერლიტი, ნატეხი - ფხვნილი ნარევის სახით წარმოადგენილი, ჯერ იცრებოდა N20 საცერში, ხოლო შემდგომ საცერზე ნარჩენი მასალა, ობსიდიანის მსგავსად, იმსხვრეოდა ლაბორატორიულ ყბებიან მსხვრევანაში, საკონტროლო გაცრის ჩატარებით (საცერი N20) და საცერზე ნარჩენის ყბებიან მსხვრევანაში დამატებით დაქუცმაცებით.

მესამე ნედლეული – პემზა, წარმოდგენილი იყო მცირე და საშუალო ზომის ნატეხებით (20-50 მმ). ამიტომ, მას წინასწარი გაცრა უტარდებოდა N20 საცერში და საცერზე ნარჩენი იმსხვრეოდა ყბებიან მსხვრევანაში.

დამუშავების პირველ ეტაპზე მსხვრევანაში გატარებულ - დაქუცმაცებულ მასალას ჩაუტარდა საცრითი ანალიზი. ამისათვის გამოყენებული იქნა საცრის ნაკრები: N2; 3; 5; 10; 15; 20. მასალათა გაცრის შედეგად მიღებული იქნა საკვლევ მასალათა სხვადასხვა ფრაქციულობის სინჯები, რომლებიც მიზნობრივად გამოიყენებოდა სხვადასხვა თვისებების დასადგენად.

ფარავნის ობსიდიანის, პერლიტის და პემზის ქიმიური შედგენილობათა შედეგები წარმოდგენილია -ლ ცხრილში.

**ცხრილი 1. ობსიდიანის და პერლიტის საკვლევი ნიმუშების ქიმიური შედგენილობა**

| მასალის<br>შემადგენლები | საკვლევი მასალის დასახელება და შედგენილობა |           |       |
|-------------------------|--------------------------------------------|-----------|-------|
|                         | ობსიდიანი                                  | პერლიტი   | პემზა |
| $SiO_2$                 | 73,81                                      | 73,07     | 71,81 |
| $Al_2O_3$               | 14,79                                      | 12,56     | 15,10 |
| $Fe_2O_3$               | 1,25                                       | 1,83      | 1,83  |
| CaO                     | 1,02                                       | 1,38      | 1,27  |
| MgO                     | 1,39                                       | 1,39      | 0,92  |
| $Na_2O$                 | 2,88                                       | 3,41      | 3,63  |
| $K_2O$                  | 4,09                                       | 2,48      | 3,76  |
| MnO/TiO <sub>2</sub>    | 0,30 (MnO)                                 | 0,21(MnO) | 0,21  |
| ხურების დანაკარგი*      | 0,47                                       | 3,67      | 1,47  |
| ჯამი                    | 100,0                                      | 100,0     | 100,0 |

შენიშვნა: (\*) – ხურების დანაკარგები მიღებულია ნიმუშების 1000°C თერმული დამუშავებისათვის.

ჩატარებული ქიმიური ანალიზის შედეგების შეჯერებით, ვინაიდან ობსიდიონის შედგენილობაში, პერლიტთან და პემზათთან შედარებით, უფრო მეტი რაოდენობითაა წარმოდგენილი ალუმინ-სილიკატური სტრუქტურის წარმომქმნელი (ძნელადღვრადი  $SiO_2$  და  $Al_2O_3$  ოქსიდები) და ნაკლები რაოდენობით ძირითადი მალღობელი  $R_2O$  ( $Na_2O$  და  $K_2O$ ) ოქსიდები, მასში ადვილდნობადობის განმსაზღვრელი  $\xi = (SiO_2 + Al_2O_3)/(Na_2O + K_2O)$  ფარდობა მაღალია და შეადგენს  $\xi_{ობს} = 88,6/4,27 = 20,75$ .

პერლიტში იგივე ფარდობის შემადგენელი წევრების სიდიდე, რადგან:  $(SiO_2 + Al_2O_3) = 85,63$  და  $(Na_2O + K_2O) = 5,89$ , შეადგენს  $\xi_{პერ} = 85,63/5,89 = 14,53$ ,

ხოლო პემზაში  $\xi_{კემზ.} \approx 11$  შეადგენს. ვინაიდან  $\xi_{ობს.}$  საგრძნობლად მეტია  $\xi_{კერ.}$  და  $\xi_{კემზ.}$ -ზე, მოსალოდნელი ხდება პერლიტის და პემზის უფრო დაბალ ტემპერატურებზე გარბილება და ღლობა. მაგრამ, აფუებისათვის საჭირო აქროლადების რაოდენობა ( ხურების დანაკარგები) მეტია პერლიტში და პემზაში (შესაბამისად, 3,67 და 1.47 %), როდესაც ობსიდიანში ხურების დანაკარგები მხოლოდ 0,47 %-ს შეადგენს.

საწყისი ნედლეულის სამივე სახეობას განესაზღვრა მოცულობითი წონები (მარცვლების ზომა 10-დან 15 მმ-მდე), როდესაც პარალელურ კვლევაში მონაწილეობდა თითოეული მასალის სამ-სამი სინჯი. ჩატარებული კვლევით მიღებული შედეგები მოყვანილი მე-2 ცხრილში.

**ცხრილი 2. ობსიდიანის, პერლიტის და პემზის იდენტური ფრაქციულობის ფხვნილების მოცულობითი წონები**

| ნედლეულის დასახელება | განზ. ერთ         | $\gamma_{გრ}^0$ მნიშვნელობები |                         |                     |
|----------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------|
|                      |                   | ნიმუშის N                     | ცალკეული ნიმუშის/სინჯის | საშუალო მნიშვნელობა |
| ობსიდიანი            | კგ/მ <sup>3</sup> | 1                             | 1410                    | 1420                |
|                      |                   | 2                             | 1420                    |                     |
|                      |                   | 3                             | 143                     |                     |
| პერლიტი              | კგ/მ <sup>3</sup> | 1                             | 1350                    | 1350                |
|                      |                   | 2                             | 1395                    |                     |
|                      |                   | 3                             | 1110                    |                     |
| პემზა                | კგ/მ <sup>3</sup> | 1                             | 1215                    | 1210                |
|                      |                   | 2                             | 1200                    |                     |
|                      |                   | 3                             | 1205                    |                     |

მიღებული შედეგების მიხედვით, როდესაც იდენტური ფრაქციის ობსიდიანის, პერლიტის და პემზის სინჯებისათვის დაფიქსირდა, მათი ქიმიური შედგენილობის მსგავსების პირობიდან გამომდინარე, საკმაოდ მნიშვნელოვანი ნაყარი სიმკვრივეთა შორის სხვაობა. აღნიშნული ფაქტი გამოწვეული უნდა იყოს იმ გარემოებით, რომ პერლიტი და პემზა - მარცვლებშიც ინარჩუნებს ფორიანობას და აქედან ისინი ნაყარშიც ობსიდიანზე უფრო მსუბუქია. აღნიშნული აისახა ნაყარ სიმკვრივეთა სიდიდეთა სხვაობის მნიშვნელობაში (სხვაობა 100-200 კგ/სმ<sup>3</sup>-ზე მეტს შეაგენს).

## 1.2. ფარავნის ობსიდიანის, პერლიტის და პემზის თერმული დამუშავების შედეგები

ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენებით ფორიანი მასალების მიღების შესაძლებლობის დადგენა, კონკრეტულად ფარავნის ობსიდიანის, პემზის და პერლიტის საფუძველზე, მოითხოვდა მათზე მაღალტემპერატურული თერმული დამუშავების ( $800 - 1300^{\circ}\text{C}$ ) გავლენის შესწავლას.

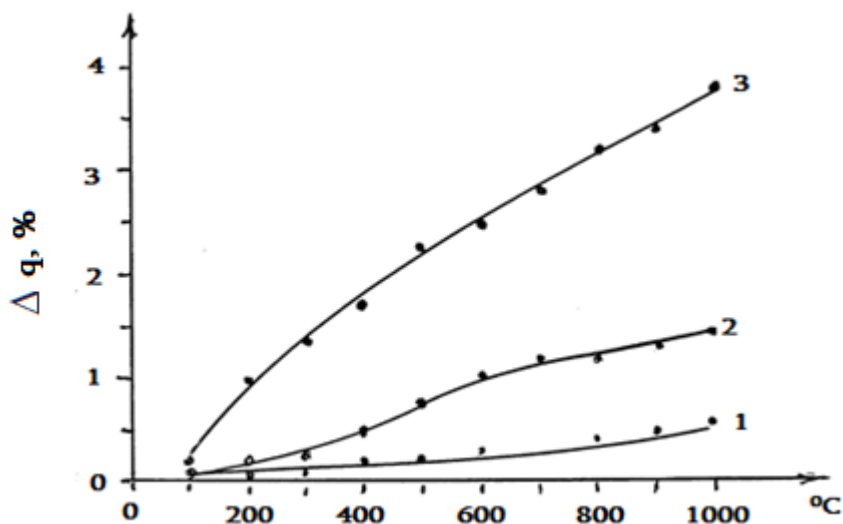
საჭიროების მიხედვით, კონკრეტული სახეობის კვლევაში გამოიყენებული იქნა ოთახის ტემპერატურაზე ჰაერზე გამომშრალი ან ელექტროსაშრობ კარადაში  $130^{\circ}\text{C}$ -ზე 3-4 სთ განმავლობაში გამომშრალი (შემდგომ თავდახურულ მინის ჭურჭელში შენახული) მასალათა სინჯები.

შემფასებელი კვლები ჩატარდა რამოდენიმე მიმართულებით. კერძოდ, დადგინდა სხვადასხვა ტემპერატურაზე თერმული დამუშავებით გამოწვეული სამივე საკვლევად აღებული მასალის ხურებითი დანაკარგი.

განისაზღვრა გარბილების და ლღობის ტემპერატურები და მათი აფუების ხარისხი, რასაც უნდა გაეწყვიტა მათი მონაწილეობით სასურველი პროდუქტის მსუბუქი ფორიანი მასალის მიღების შესაძლებლობა.

**თერმული დამუშავებით გამოწვეული წონითი დანაკარგები** ობსიდიანის, პერლიტის და პემზის დანაკარგების მიზნობრივად შემფასებელი/შედარებითი კვლევა განხორციელდა შემდეგ სახის ექსპერიმენტის ჩატარებით. საკვლევად აღებული იქნა წინასწარ  $130^{\circ}\text{C}$ -ზე 1-1,5 სთ-ის განმავლობაში მაღალტემპერატურული შრობის გავლილი. დამუშავებული ფხვნილოვანი (მარცვლების გრანულომეტრია 3-დან 5 მმ-მდე) მასალა. სინჯის წონა დაახლოებით 5 გ-ს, ხოლო აწონვის სიზუსტე, ანალიზური სასწორის გამოყენებით,  $\pm 0,001$  გ შეადგენდა.

საკვლევ მასალათა დანაკარგების ( $\Delta g, \%$ ) ცვლის ტენდენცია გახურების ტემპერატურასთან ( $t^{\circ}\text{C}$ ) მიმართებაში წარმოდგენილია 1-5 ნახაზზე. წონის კვლების დინამიკა განსაკუთრებით ახასიათებს პერლიტს და ნაკლებად ორ სხვა მასალას: ძალზე მცირე – ობსიდიანს და ცოტათი მეტი პემზას.



ნახაზი. 1. საკვლევი მასალათა თერმული დანაკარგები  
1 - ობსიდიანი; 2 - პემზა; 3 - პერლიტი

აღნიშნული შედეგი ჩატარებული კვლევის მეთოდოლოგიური პირობებით შეიძლება ყოფილიყო გამოწვეული, ვინაიდან ჩვენს შემთხვევაში 130°C წინასწარ თერმულად დამუშავებული საკვლევი ნედლეული იქნა აღებული. აღნიშნულ ტემპერატურაზე ნიმუშების თერმულ დამუშავებას შეიძლება გამოეწვია დაბალტემპერატურული აქროლადი შემადგენლის ნაწილის უფრო სრული დაკარგვა.

**საკვლევი მასალების გარბილების და ლღობის ტემპერატურების დადგენა** – მახასიათებელ თერმული თვისებებიდან განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენდა. საკვლევი სამივე მასალის გარბილების და ლღობის ტემპერატურა, რადგან ამ ორი მახასიათებელ ტემპერატურათა შორის განლაგდება ის ტემპერატურული ინტერვალი, რომელიც უზრუნველყოფს მასალათა ე.წ. პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლას და მათ ფორიან მასალაში გადასვლას.

ორივე მახასიათებელი ტემპერატურის მნიშვნელობათა დასადგენად აღებული საწყისი ნიმუშების ფრაქციულობა დაახლოებით 10 – 15 მმ დიამეტრის მარცვლებს წარმოადგენდა.

ნიმუშების თერმული დამუშავება განხორციელდა (გარბილება და ლღობა პროცესების თანმიმდევრულად ჩატარება) 900 – 1300°C ტემპერა-

ტურულ ინტერვალში, როდესაც ღუმელში ტემპერატურა 12-15°C/წთ სიჩქარით იზრდებოდა. კვლევის ამ ეტაპზე სასურველი ტემპერატურის მიღწევისას და 15-20 წუთის განმავლობაში დაყოვნების შემდეგ ნიმუშები (ფილაზე მყოფი) გამოიტანებოდა ღუმელიდან და მყისიერად ცივდებოდა ოთახის ტემპერატურაზე. ნიმუშების შეფასება ყოველ 50°C-ანი მატების შემდეგ ხდებოდა.

**ცხრილი 3. საკვლევი მასალების (ობსიდიანი, პერლიტი, პემზა) 800-1300°C-ზე თერმული დამუშავებით მიღებული შედეგები**

| მასალათა ნიმუშების თერმული დამუშავება | ნედლეულის დასახელება                                  |                                                             |                                                             |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                                       | ობსიდიანი                                             | პერლიტი                                                     | პემზა                                                       |
| 20°C<br>(საწყისი ნიმუში)              | მინისებრი მასალა ფერი (მასაში) - შავი                 | ქვისმაგვარი მასალა ფერი - რუხი                              | ფორებშემცველი მასალა ფერი - ყავისფერი                       |
| 800 °C                                | ფორმით იგივე, რაც საწყისი ნიმუში ფერი - შავი          | ფორმით იგივე, რაც საწყისი ნიმუში ფერი - რუხი                | ფორმით იგივე, რაც საწყისი ნიმუში ფერი - აგურისფერი          |
| 900 °C                                | ფორმით იგივე, რაც საწყისი ნიმუში ფერი - შავი          | ფორმით იგივე, რაც საწყისი ნიმუში ფერი - რუხი                | ფორმით იგივე, რაც საწყისი ნიმუში ფერი - ღია აგურისფერი      |
| 1000 °C                               | ნიმუშის წიბოები გალღვა ფერი - შავი                    | ნიმუშის ფორმა უცვლელი ფერი - ჩალისფერი                      | იგივე, რაც საწყისი მასალა ფერი - ღია აგურისფერი             |
| 1100°C                                | ფორიანი მასალის წარმოქმნა ფერი რუხი-ყავისფერი ელფერით | სუსტად აფუებული მასალა მინისებრი ზედაპირით ფერი - მუქი რუხი | იგივე, რაც საწყისი მასალა ფერი - ღია აგურისფერი             |
| 1200°C                                | მაღალფორიანი მასალის წარმოქმნა ფერი - რძისფერი        | გამინებული „ჩამჯდარი“ მასალა ფერი - მოყავისფრო              | სუსტად აფუებული მასალა, მინისებრი ზედაპირი ფერი - ყავისფერი |
| 1300°C                                | ნიმუში „ჩაჯდა“ ფერი - რძისფერი                        | ნიმუში „ჩაჯდა“ ფერი - მიყავისფრო                            | ნიმუში „ჩაჯდა“ ფერი - ყავისფერი                             |

საცდელი ნიმუშების სახასიათო სახეცვლილება სხვადასხვა ტემპერატურაზე თერმული დამუშავების შემდეგ, აღწერილია მე-2 ცხრილში, ხოლო ფოტომასალა მე-2 ნახაზზე.

| ნედლეული  | საწყისი                                                                           | 900°C                                                                             | 1000°C                                                                            | 1100°C                                                                              | 1200°C                                                                              |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ობსიდიანი |  |  |  |  |  |
| პერლიტი   |  |  |  |  |  |
| პემზა     |  |  |  |  |  |

ნახაზი 2. საკვლევი ნიმუშების თერმული დამუშავების შედეგების ამსახველი ფოტომასალა

დადგინდა, რომ პერლიტის გარბილების და დნობის ტემპერატურა დაახლოებით 500°C-ით ნაკლებია, ვიდრე ობსიდიანისათვის და პემზისათვის იქნა დადგენილი:

*ობსიდიანი*

- გარბილების ტემპერატურათა ინტერვალი ..... 1050 - 1100°C
- ლღობის ტემპერატურათა ინტერვალი ..... 1150 - 1200°C

*პერლიტი*

- გარბილების ტემპერატურა ინტერვალი ..... 1100 - 1150°C
- ლღობის ტემპერატურა ინტერვალი ..... 1200 - 1250°C

*პემზა*

- გარბილების ტემპერატურა ინტერვალი ..... 1050 - 1100°C
- ლღობის ტემპერატურა ინტერვალი ..... 1150 - 1200°C

### 1.3. თერმულად დამუშავებული საკვლევი მასალების აფუების უნარის დადგენა

ობსიდიანის, პერლიტის და პემზის - მათი მაღალტემპერატურული აფუების და ქაფმინის წარმოქმნის უნარი შეფასდა 900 - 1250°C-ზე თერმული დამუშავებით (ბიჯი 100°C), აფუების კოეფიციენტის ( $K_a$ ) დადგენით.

შედარებითი კვლევები ჩატარდა თერმული დამუშავებით წარმოქმნილ მასალათა შეცხოვილ-შემცხვარი მასის დაქუცმაცებით მიღებული ფრაქციის მარცვლებისათვის (ზომა 10-დან 15 მმ-მდე). ტევადობის ფაიფურის ქოთანში, შემდგომ ნიმუშიანი ქოთანი იდგმებოდა პროგრამული უზრუნველყოფით აღჭურვილ მუფელის ღუმელში. ოთახის ტემპერატურიდან თერმული დამუშავებისათვის დადგენილ ტემპერატურამდე ტემპერატურის აწევის დრო 2 – 2,5 საათს შეადგენდა, რაც ღუმელში ტემპერატურის აწევის სიჩქარის 7-10°C/წთ უზრუნველყოფდა. მასალის ნიმუშები თავსდებოდა ხურვალმედვე ცილინდრულ, დაახლოებით 300 მლ ტევადობის ქოთანში, რომელიც იდგმებოდა ელექტრგამახურებლიან მუფელის ღუმელში ცდისათვის დადგენილ ტემპერატურაზე. მაქსიმალურ ტემპერატურაზე დაყოვნება 15 წთ განმავლობაში განხორციელდა. თერმული დამუშავების შედეგად მიღებულ და ფრაქციებად დაყოფილ მასალებს დაუდგინდათ მოცულობითი წონა. ამისათვის თერმულად დამუშავებული ფხვნილების გარდაქმნით (შელღობა-აფუების პროცესების ჩატარება) მიღებული და ქოთნიდან ამოღებული მასალები ქუცმაცდებოდა და იცრებოდა. საკვლევად შეირჩა მარცვლები ზომით (მმ):  $5 \leq \delta \leq 10$ ;  $10 \leq \delta \leq 15$ ;  $15 \leq \delta \leq 20$ .

10 – 15 მმ ფრაქციულობის საწყისი და სხვადასხვა ტემპერატურაზე თერმულად დამუშავებული მასალების მოცულობითი სიმკვრივის დადგენით მიღებული შედეგები წარმოდგენილია მე-4 ცხრილში, საიდანაც ჩანს, რომ ობსიდიანის თერმული დამუშავება უზრუნველყოფს ფორიანი მასალის მიღებას, რაც დასტურდება როგორც მინისებრი ფორიანი მასალის წარმოქმნით (ვიზუალური შეფასება), ასევე ნაყარი სიმკვრივის შემცირებით, და აფუების კოეფიციენტის ( $K_\alpha = \gamma_{gr}/\gamma'_{gr}$ ) ზრდით (ნახ. 3), რაც დამოკიდებულებაშია ტემპერატურის გარკვეულ სიდიდემდე ზრდასთან.

წარმოდგენილი შედეგები ადასტურებს, რომ 950-1100 °C ინტერვალში ტემპერატურის ზრდა თითქმის ორჯერ ამცირებს ნაყარი წონის ( $\gamma_{gr}$ ) სიდიდეებს პერლიტის და პემზის შემთხვევაში.



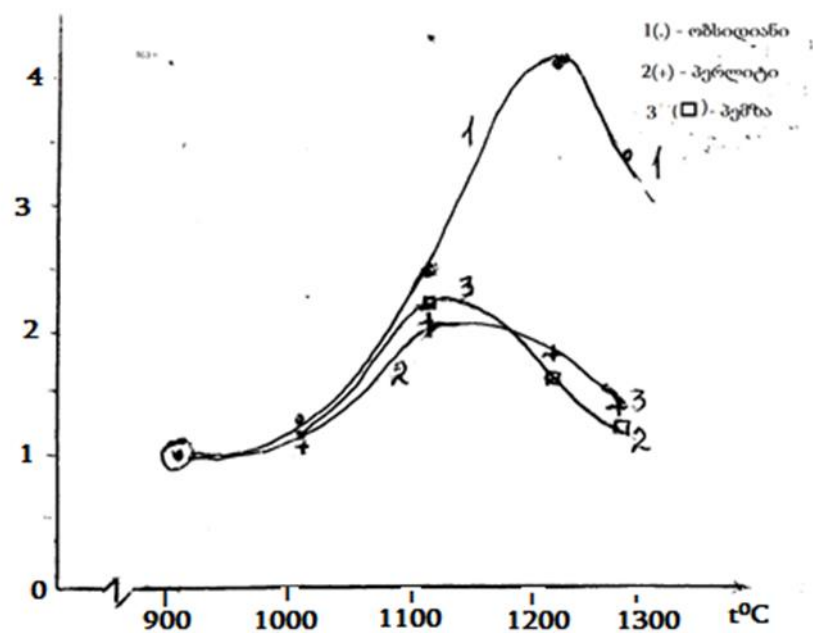
**ცხრილი 4. სხვადასხვა ტემპერატურაზე დამუშავებული საკვლევი  
ნედლეულის მოცულობითი სიმკვრივე ( $\gamma'_{gr}$ , კგ/მ<sup>3</sup>)**

| თერმული დამუშავების<br>ტემპერატურა ( $t^{\circ}\text{C}$ ) და<br>ხანგრძლივობა ( $\tau$ , წთ) |                | საკვლევ მასალათა დასახელება და<br>მათი მოცულობითი სიმკვრივე/დანაყა-<br>რის მასა ( $\gamma'_{gr}$ ) სხვადასხვა ტემპერა-<br>ტურაზე |         |       | ფრაქცია<br>დ, |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|---------------|
| $t^{\circ}\text{C}$                                                                          | ( $\tau$ , წთ) | ობსიდიანი                                                                                                                        | პერლიტი | პემზა | მმ            |
| 900                                                                                          | 15             | 1420                                                                                                                             | 1350    | 1210  | 10-15         |
| 1000                                                                                         | „              | 1360                                                                                                                             | 1250    | 1110  | „             |
| 1100                                                                                         | „              | 505                                                                                                                              | 670     | 805   | „             |
| 1200                                                                                         | „              | 305                                                                                                                              | 650     | 1005  | „             |
| 1250                                                                                         | „              | 560                                                                                                                              | 1030    | 1180  |               |

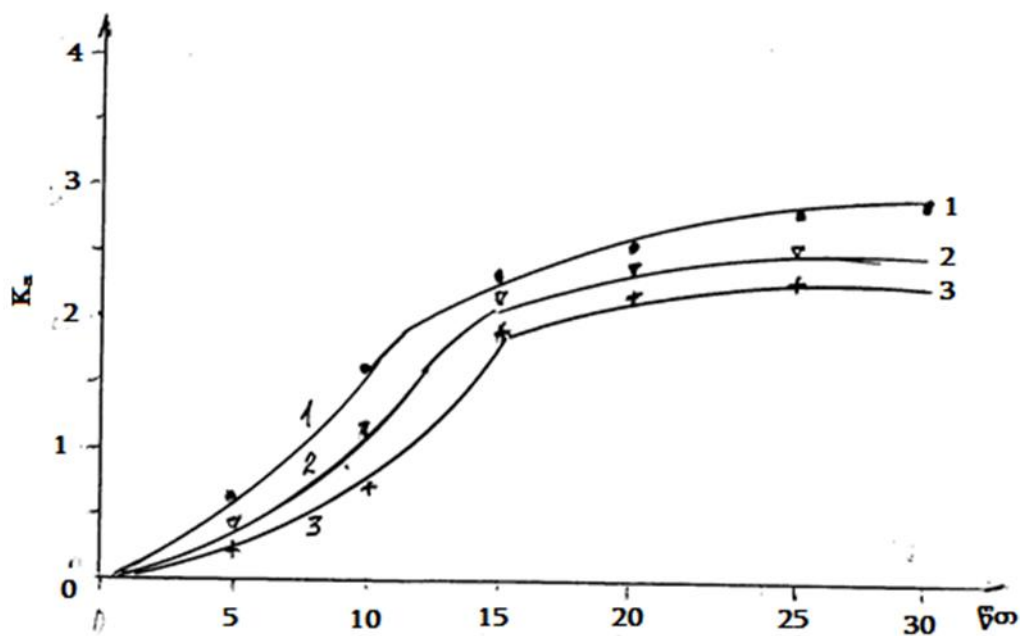
ტემპერატურის შემდგომი ზრდა 1200°C-მდე მკვეთრად ზრდის  $\gamma'_{gr}$ -ის მნიშვნელობას ორივე ნედლეულისათვის, მაგრამ ამცირებს თერმულად დამუშავებულ ობსიდიონის მოცულობით წონის მნიშვნელობებს (4-ზე მეტად). ტემპერატურათა შემდგომი ზრდა ამცირებს ნაყარი სიმკვრივის სიდიდეს. აღნიშნული განპირობებული უნდა იყოს უკვე ფორმირებული ფორიანი სტრუქტურის „ჩაჯდომით“ რისი გამომწვევი მიზეზი შეიძლება იყოს ოპტიმალური აფუებისადმი საჭიროზე უფრო მაღალი ტემპერატურა. შეიძლება გამოითქვას ვარაუდი, რომ 1100°C-ზე პერლიტის და პემზის მდგომარეობა შეესატყვისება აფუებისათვის სასურველ პიროპლასტიკურ მდგომარეობას, ხოლო 1100°C-ზე ზემოთ ადგილი აქვს სიბლანტეების სასურველთან შედარებით საგრძნობ კლებას, რაც დენადს ხდის პროდუქტში წარმოქმნილ მინამასალის მინისებრ შემადგენელს და ამ გზით ხდება მიღებული პროდუქტის ფოროვან-უჯრედოვანი სტრუქტურის „ჩაჯდომა“. აღნიშნული, როგორც მოსალოდნელი იყო ამცირებს მის მოცულობას და ზრდის მარცვლების სიმკვრივეს. ამ გზით ხდება მასალის ნაყარი სიმკვრივის სიდიდეების ზრდა და აფუების კოეფიციენტის კლება (ნახ. 3).

აფუების კოეფიციენტის ( $K_a$ ) სიდიდეთა კლების მიხედვით, (შერჩეულ ტემპერატურაზე: 1100°C) 15 წთ-ნი დაყოვნებით, საკვლევი მასალები შემდეგ რიგით შეიძლება იქნან წარმოდგენილი:

ობსიდიანი ( $K_a=2,3$ )  $\rightarrow$  პერლიტი ( $K_a = 2,1$ )  $\rightarrow$  პემზა ( $K_a = 1,9$ )



ნახაზი 3. ობსიდიანის, პერლიტის და პემზის აფუების მოცულობითი კოეფიციენტის დამოკიდებულება ტენპერატურაზე



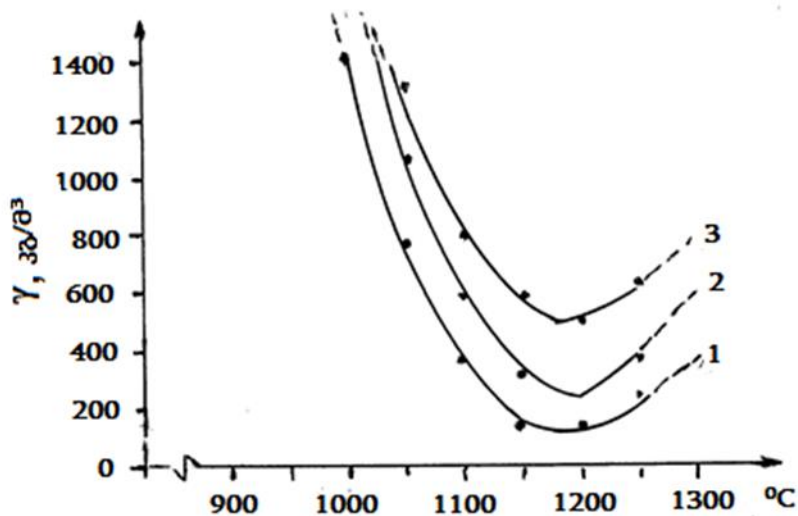
ნახაზი 4. ობსიდიანის (1), პერლიტის (2) და პემზის (3) ზედა აფუების მოცულობითი კოეფიციენტის ( $K_a$ ) დამოკიდებულება თერმული დამუშავების ხანგრძლივობაზე (თერმოდამუშავება 1100°C)

შესწავლილი იქნა თერმოდამუშავების ხანგრძლივობის ( $\tau$ ) გავლენა ( $t = 1100^\circ\text{C}$  პირობისათვის) საკვლევ მასალათა აფუების პროცესზე და მის განმსაზღვრელ აფუების მოცულობით კოეფიციენტზე (დამოკიდებულება „ $K_\alpha - \tau$ “). თერმული დამუშავების რეჟიმი: ტემპერატურის აწევის სიჩქარე  $10-12^\circ\text{C}/\text{წთ}$ , ხოლო  $1100^\circ\text{C}$  დაყოვნების დრო განისაზღვრა  $5 - 30$  წთ-იანი ინტერვალით (ბიჯი  $5$  წთ). შესაბამისი პირობების შესატყვისი  $t(^\circ\text{C})$  და  $\tau$  (წთ) პარამეტრებისათვის მიღებული იქნა გათვლით  $K_\alpha$ -ს მნიშვნელობები  $10 - 15$  მმ ფრაქციული მასალისათვის. შედეგები წარმოდგენილია მე-4 ნახაზზე. ჩატარებული კვლევა აჩვენებს, რომ თერმული დამუშავების ოპტიმალური დრო, სამი სახეობის საკვლევი მასალისათვის, შეიძლება განისაზღვროს  $15 - 20$  წუთიანი დაყოვნებით.

#### 1.4. სხვადასხვა ტემპერატურაზე მიღებული აფუებული მასალების ფრაქციულობის გავლენა მოცულობით სიმკვრივეზე

სხვადასხვა ტემპერატურაზე დაყოვნების დრო  $15$  წთ. მიღებულ და განსხვავდება ფრაქციულობის ფორიან მასალებს განესაზღვრათ მოცულობითი ნაყარი სიმკვრივე ( $\gamma_{gr}$ ). შედეგები წარმოდგენილი იქნა ყველა მასალისათვის ცალ-ცალკე „ $\gamma_{gr} - t$ “ (სადაც  $t$ - თერმული დამუშავების ტემპერატურა) დამოკიდებულების სახით. შედეგები წარმოდგენილია მე-5, მე-6 და მე-7 ნახაზებზე.

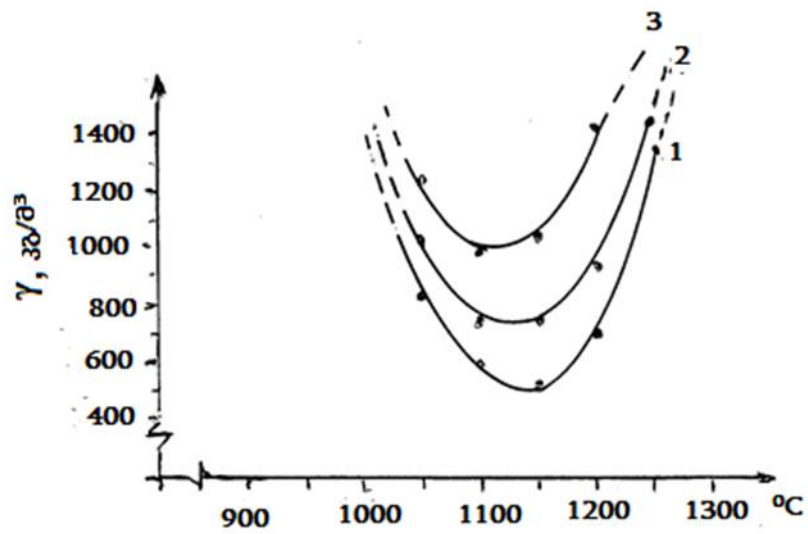
სამივე ნედლეულთან მიმართებაში ერთი კანონზომიერება გამოკვეთა და ის უკავშირდება მასალათა ფრაქციულობის ( $\delta$ ) გავლენას მოცულობითი სიმკვრივის ( $\gamma$ ) მნიშვნელობებზე. ზოგადად, საკვლევი ყველა ცალკეული მასალისათვის გამოკეთდა მოცულობითი სიმკვრივის შემცირება მასალის ფრაქციულობის ზრდასთან მიმართებაში.



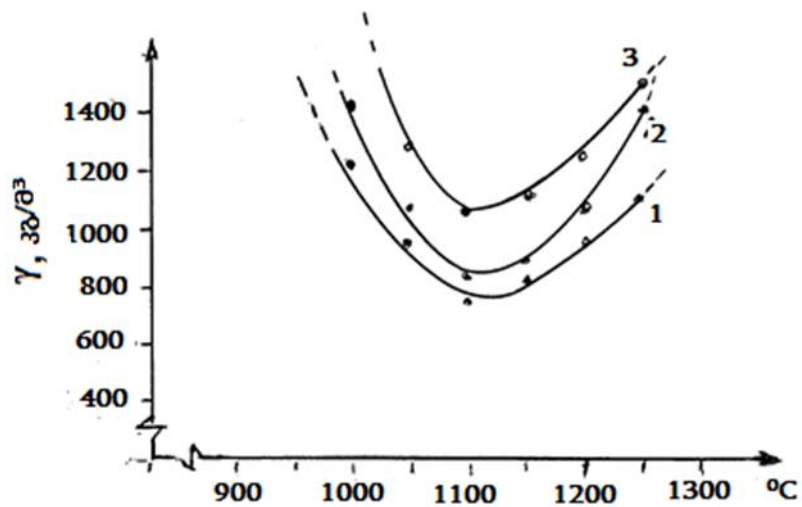
ნახაზი 5. ობსიდიანის მარცვლების ზომის გავლენა მოცულობითი სიმკვრივის მნიშვნელობაზე მასალათა ფრაქციულობა (ბ):  
1 – (15 – 20 მმ); 2 – (10 – 15 მმ); 3 – 15 20 მმ)

ობსიდიონთან მიმართებაში უნდა აღინიშნოს (ნახ. 11) ყველა შესწავლილი ფრაქციისათვის  $\gamma$ -ს მნიშვნელობათა თანაბარზომიერი და მნიშვნელოვანი კლება 1000 – 1150°C ტემპერატურულ ინტერვალში, რაც პრაქტიკულად გამოისახა აფუებული ობსიდიანი  $\gamma$ -ს მნიშვნელობათა 3-დან 6-ჯერად კლებაში (ნახ. 5)

კიდევ ორი მასალის - პემზის და პერლიტის საფუძველზე მიღებული ფორიანი მასალებისათვის, „ობსიდიანთან შედარებით, ტემპერატურის ზრდასთან მიმართებაში ნაყარი წონების შემცირების ნაკლები ცვლილება დაფიქსირდა (ნახ. 6 და 7). ამავე დროს, საკვლევად აღებული განსხვავებული ფრაქციულობის სინჯების  $\gamma$ -ს მნიშვნელობათა შორის სხვაობა პემზის შემთხვევაში უფრო მკვეთრია, რაც განსაკუთრებით მსხვილ ფრაქციულობას (10 – 15 და 15 – 20) ახასიათებს. პემზა ასევე ხასიათდება მოცულობითი სიმკვრივის უფრო დაბალი მნიშვნელობებით, ვიდრე პერლიტისათვის იქნა მიღებული. ამასთან საკვლევი ყველა ფრაქციულობის აფუებული პემზასა და პერლიტისათვის გამოვლინდა  $\gamma$ -ს მნიშვნელობა გამოკვეთილად კლება 1100°C-ზე.



ნახაზი 6. პემზის მარცვლების ზომის გავლენა მოცულობით სიმკვრივის მნიშვნელობებზე მასალათა ფრაქციულობა (δ):  
1 – (15 – 20 მმ); 2 – (10 – 15 მმ); 3 – 15 20 მმ)



ნახაზი 7. პერლიტის მარცვლების ზომის გავლენა მოცულობით სიმკვრივის მნიშვნელობებზე მასალათა ფრაქციულობა (δ):  
1 – (15 – 20 მმ); 2 – (10 – 15 მმ); 3 – 15 20 მმ)

მიღებული შედეგების საფუძველზე შეიძლება ზოგადი ხასიათის დასკვნის გაკეთება: საკვლევ მასალათა აფუების ხარისხის ზრდა, რაც უკავშირდება მოცულობითი სიმკვრივის კლებას ტემპერატურასთან მიმართებაში,

დამოკიდებულია სანედლეულო მასალათა ბუნებაზე და აფუებულ მასალათა ფრაქციულობაზე.

### 1.5. თერმოდამუშავებით მიღებული მასალებისათვის შესაბამისი სტანდარტებით მოთხოვნილი მახასიათებლების დადგენა

ფორიანი მასალის ორი ძირითადი სახეობის - ქაფმინის და კერამზიტის მოთხოვნილი მახასიათებლები მოყვანილია მათ სტანდარტებში. შესაბამისად, ორი მოყვანილი სახეობის მასალისათვის სტ. 33949-2016 ქაფმინის (შენობა-ნაგებობათა თბოსაიზოლაციო მასალები) და სტ. 32446-2013 (ფორიანი შემავსებლების მსუბუქი ბეტონებისათვის).

ქაფმინასთან მიმართებაში (სტ. 33949-2016) შემდეგი ტექნიკური მოთხოვნებია დასადგენი: სიმკვრივე, თბოგამტარობა, სიმტკიცე კუმშვაზე, ტენიანობა (მოცულობითი წყალშთანთქმა და სორბციული ტენიანობა), ხოლო კერამზიტისათვის (კერამზიტული ხრემის) სხვა ფოროვან შემავსებლებად გამოყენებულ მასალათა შორის სტ. 32496-13-ში არის მოყვანილი და მოიცავს შემდეგ მახასიათებლებს: სიმტკიცე ცილინდრში მარცვლების დაწნეხვით და წყალმედვეობის განმსაზღვრელი ე.წ. „გარბილების კოეფიციენტის“ დადგენა, წყალშთანთქმა, თბოგამტარობა). აღნიშნული თვისებები განესაზღვრება 10-15 მმ ფრაქციულობის ყველა სახის ფორიან მასალას.

ფორიანი მასალების მისაღები სანედლეულო ბაზის გასაფართოებლად შერჩეული სამი ახალი სახის ნედლეულის თერმული დამუშავებით მიღებული იქნა ორი სახეობის ფორიანი მასალა, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება როგორც გარე სახით, ასევე სტრუქტურული მოწყობით. ნედლეულის აფუების უნარის დადგენით (განისაზღვრა აფუების კოეფიციენტი  $K_{\alpha}$  იდენტურ პირობებში დამუშავებული მასალებისათვის) და მიღებული შედეგების მიხედვით სამივე მასალა  $K_{\alpha}$ -ს ზრდის მიხედვით შემდეგი თანმიმდევრობით იქნა წარმოდგენილი: პემზა → პერლიტი → ობსიდიანი. აღნიშნული მწკრივი შეესატყვისება ფართო ტემპერატურულ

ინტერვალში და სხვადასხვა ფრაქციულობის თერმოდამუშავებულ მასალებს (ნახ. 11-13).

ოქსიდირების შემთხვევაში  $K_{\alpha}$ -ს სიდიდე 1100-დან 1200°C ჩათვლით თითქმის ორჯერ იზრდება და  $K_{\alpha} > 4$ -ზე სიდიდეს იძლევა (ცხრილი 5).

**ცხრილი 5. საწყისი ნედლეულის და მათი აფუებით მიღებული მასალების ნაყარი სიმკვრივები**

| N | მასალა       | საწყის ნედლეულის ნახარი სიმკვრივე კგ/მ³ | თერმულად დამუშავებული მასალის სიმკვრივე, კგ/მ³ | $K_{\alpha}$ -ს სიდიდე | თერმული დამუშავების პარამეტრები                                  |
|---|--------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1 | პემზა        | 1250                                    | 430                                            | 2,9                    | $t = 1100 \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,<br>$t_{\text{წ}} = 15-20$ წთ |
| 2 | პერლიტი      | 1350                                    | 670                                            | 2.0                    | $t = 1100 \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,<br>$t_{\text{წ}} = 15-20$ წთ |
| 3 | ოქსიდირებული | 1420                                    | 505                                            | 3,1                    | $t = 1100 \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,<br>$t_{\text{წ}} = 15-20$ წთ |
| 4 | ოქსიდირებული | 1420                                    | 305                                            | 4,1                    | $t = 1200 \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,<br>$\tau = 25-30$ წთ         |

შენიშვნა: (1) საწყისი ნედლეულის და აფუებით მიღებული პროდუქტის ფრაქციულობა შეადგენს 10-15 მმ

სტანდარტების მოთხოვნათა გათვალისწინებით, პემზა-პერლიტისაგან და ოქსიდირებისაგან მიღებულ ფოროვან მასალებისათვის დადგენილი იქნა წყალშთანთქმის და სორბციული უნარი (ცხრილი 6).

**ცხრილი 6. მიღებულ მასალათა სხვადასხვა ფრაქციების წყალშთანქმე და სორბციული უნარი**

| თვისება                               | სტანდარტის მოთხოვნა | აფუებული მასალის დასახელება და ფრაქციები <sup>(2)</sup> |      |      |       |      |      |              |      |      |
|---------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------|------|------|-------|------|------|--------------|------|------|
|                                       |                     | პერლიტი                                                 |      |      | პემზა |      |      | ოქსიდირებული |      |      |
|                                       |                     | A                                                       | B    | C    | A     | B    | C    | A            | B    | C    |
| წყალშთანთქმ (W, %)                    | $< 20\%$            | 19,3                                                    | 18,1 | 17,3 | 18,9  | 18,2 | 17,6 | -            | -    | -    |
|                                       | $< 0,5\%$           | -                                                       | -    | -    | -     | -    | -    | 0,41         | 0,38 | 0,34 |
| სორბციული <sup>(1)</sup> უნარი (S, %) | $< 0,7$             | -                                                       | -    | -    | -     | -    | -    | 0,47         | 0,40 | 0,38 |

შენიშვნა: (1) მხოლოდ ქაფმინისთვის განისაზღვრება

(2) A -  $\delta = 5 - 10$  მმ; B -  $\delta = 10 - 15$  მმ; C -  $\delta = 15 - 20$  მმ

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა, რომ ნაყარი სიმკვრივეთა მნიშვნელობებით აფუებული პერლიტის ( $\gamma'_{\text{გრ}} =$

670 კგ/ძ) და პემზა ( $\gamma'_{გრ} = 430$  კგ/ძ) მიეკუთვნება, შესაბამისად M700 და M500 მარკის კერამიტი, რომელიც აკმაყოფილებს შესაბამის სტანდარტების მოთხოვნას წყალშთანთქმის უნარის მიხედვით. არსებულ მოთხოვნებს აკმაყოფილებს აგრეთვე ობსიდიანიდან 1200°C მიღებული ქაფმინა, ( $W \approx 0,4\%$ ;  $\rho \approx 0,43\%$ ) რომელიც სრულად აკმაყოფილებს წყალშთანთქმაზე და სორბციულ უნარზე მოთხოვნებს.

უნდა აღინიშნოს, რომ სტანდარტის მიხედვით, ექსპერიმენტის შედეგებით M 500 და M 700, შესაბამისად პემზიდან და პერლიტიდან მიღებული მასალების სიმტკიცე კუმშვაზე განსხვავებული უნდა იყოს.

ჩვენს მიერ ჩატარდა ექსპერიმენტი, რომლითაც დადგინდა ხრეშის ნომეკლატურაში შემავალი A, B და C ფრაქციის ფორიანი (აფუებული) მასალების სიმტკიცე კუმშვაზე.

**ცხრილი 7. აფუებული პერლიტის და პემზის მარცვლების მექანიკური სიმტკიცე<sup>(1)</sup>**

| ფორიანი მასალის დასახელება | მარცვლების ზომები, მმ | წნეხის მიერ განხორციელებული დაწოლა (კგძ) | საცდელი ყალიბის პუანსონის ფართი სმ² | ფარდობითი სიმტკიცე კუმშვაზე |     |
|----------------------------|-----------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----|
|                            |                       |                                          |                                     | კგძ/სმ²                     | მპა |
| აფუებული პერლიტი           | 5 – 10                | 3310                                     | 45                                  | 73,5                        | 7,4 |
|                            | 10 – 15               | 3070                                     | „                                   | 68,2                        | 6,8 |
|                            | 15 – 20               | 2820                                     | „                                   | 62,7                        | 6,3 |
| აფუებული პემზა             | 5 – 10                | 3080                                     | 45                                  | 68,4                        | 6,8 |
|                            | 10 – 15               | 2830                                     | „                                   | 62,9                        | 6,3 |
|                            | 15 – 20               | 2540                                     | „                                   | 56,4                        | 5,6 |

შენიშვნა: (1) – სპეციალურ, მარცვლოვანი მასალების საწნებ ცილინდრებში

ორი ნედლეულიდან (პერლიტი და პემზა) მიღებული ფორიანი მასალის A, B და C ფრაქციების მარცვლების კუმშვაზე სიმტკიცის მონაცემები წარმოდგენილია მე-7 ცხრილში.

ვინაიდან აფუებით მიღებულ ფორიან მასალათა A, B და C ფრაქციები (მარცვლების ზომა 5-დან 20 მმ-მდე) მიეკუთვნებიან ე.წ. ხრეშის კატეგორიას. აქედან, მასალათა ხრეშის კატეგორიის ზომებისათვის კუმშვაზე სიმტკიცის საშუალო მნიშვნელობა არის:

- კერამიტი (პერლიტიდან): 6,8 მპა (სტანდ. მიხედვით მარკიაობა: II 300)



- კერამზიტი (პემზიდან): 6,2 მპა (სტანდ. მიხედვით მარკიანობა: II-250)

რაც შეეხება იგივე ფოროვან მასალების წყლის მიმართ მდგრადობას ანუ მათი გარბილების კოეფიციენტს, მისი მნიშვნელობის ( $K_{(გარბ.)} = n_3/n_3'$ ) გასაანგარიშებლად სიმტკიცე კუმშვაზე განესაზღვრათ იგივე ფრაქციულობის მასალებს, მაგრამ წყალში 48 სთ-ანი დაყოვნების შემდეგ. წყალში დაყოვნებულ მასალათა სიმტკიცე კუმშვაზე ( $n_3'$ ) და გარბილების კოეფიციენტის მნიშვნელობები წარმოდგენილია მე-7 ცხრილში.

**ცხრილი 8. მშრალი და წყალში დაყოვნებული მასალების სიმტკიცე კუმშვაზე და გარბილების კოეფიციენტის მნიშვნელობა**

| N | მასალის დასახელება | აფუებული მასალის<br>გასაშუალებული სიმტკიცის<br>კუმშვაზე მნიშვნელობები (მპა) |                                       | გარბილების<br>კოეფიციენტი<br>( $K_{გარბ.}$ ) |
|---|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|
|   |                    | მშრალი მასალა $n_3$                                                         | წყლით გაჯერებული<br>მასალა ( $n_3'$ ) |                                              |
| 1 | აფუებული პერლიტი   | 6,8                                                                         | 5,2                                   | 0,76                                         |
| 2 | აფუებული პემზა     | 6,2                                                                         | 4,5                                   | 0,75                                         |

აქედან, ორივე მასალისათვის  $K_{გარბ.}$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა დაახლოებით იდენტურია და შესაბამის სტანდარტის მოთხოვნებს ( $K_{გარბ.}^{სტ} \geq 0,75$ ), აკმაყოფილებს. შედარებით უკეთესი წყალმედველობით გამოირჩევა პერლიტიდან მიღებული ფორიანი მასალა ( $K_{გარბ.} = 0,76$ ).

ოზსიდიანიდან მიღებული ქაფმინა სიმტკიცე კუმშვაზე განესაზღვრა აფუებული კუბის ფორმის  $20 \times 20 \times 20$  ( $\pm 1$  მმ სიზუსტით) ნიმუშების გამოყენებით. კვლევა ჩატარდა პარალელურად ხუთ ნიმუშზე, ნიმუშების ჰიდრავლიკურ (5 ტონიანი) წნეხზე გამოცდით. შედეგები მოყვანილია მე-8 ცხრილში.

ქაფმინის სიმკვრივიდან გამომდინარე და სტ. 33949-2016 სიმტკიცის მიმართ მოთხოვნათა შესაბამისად, მიღებული ქაფმინის სიმტკიცის საშუალო მნიშვნელობიდან, სრულად აკმაყოფილებს მის მიმართ არსებულ მოთხოვნებს ( $n_3 \geq 0,8$  მპა).

## 1.6 საქართველოს სანედლეულო ბაზაზე მიღებული ქაფმინის და კერამზიტის მოქმედ სტანდარტებთან შესაბამისობის დადგენა

ლაბორატორიული კვლევებით დადგინდა ყველა ის თვისება, რომელიც მოთხოვნადია შესაბამისი სტანდარტებით: ობსიდიანიდან მიღებული ქაფმინა - სტანდარტი GOST 33949-2016 და პემზა-პერლიტიდან მიღებული კერამზიტი - სტანდარტი GOST 32496-2013. ლაბორატორიულ პირობებში ობსიდიანიდან, პემზიდან და პერლიტიდან მიღებული ორი სახის პროდუქტის - ქაფმინის და კერამზიტის ვარგისიანობა, უნდა გადაეწყვიტა მათ თვისებათა შესწავლით მიღებული შედეგების შედარებას შესაბამის სტანდარტებში არსებულ მოთხოვნებთან.

აღნიშნულ შედარებების ჩატარებისა და დადებითი შედეგების გამოვლენის შემთხვევაში იქმნებოდა შესაძლებელი მიღებულ მასალათა მარკიანობის დადგენა, ისევე შესაბამის სტანდარტებში არსებულ შესაბამის მონაცემთა ბაზის გამოყენებით (მიღებულ მასალათა მარკიანობა მოცულობით წონის/ხვედრითი სიმკვრივის და კუმშვაზე სიმტკიცის მიხედვით).

### ცხრილი 9. ობსიდიანიდან მიღებული და სტანდარტით მოთხოვნილი ქაფმინის თვისებები.

| მოთხოვნილი<br>(მახასიათებელი)<br>თვისება | განზომილების<br>ერთეული               | თვისებათა მნიშვნელობა <sup>(1)</sup> |                         | მარკიანობა<br>(D),<br>სიმკვრივის<br>და<br>სიმტკიცის<br>მიხედვით |
|------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                                          |                                       | ქაფმინა<br>(GOST<br>33949 –<br>2016) | ქაფმინა<br>ობსიდიანიდან |                                                                 |
| ხვედრითი<br>სიმკვრივე                    | d, კგ/მ <sup>3</sup>                  | $8 \leq d \leq 200$                  | 182,0 <sup>(2)</sup>    | D – 180                                                         |
| სიმტკიცე<br>კუმშვაზე                     | P, მპა                                | $0,3 \leq P \leq 2,0$                | 0,810                   | D – 130                                                         |
| სორბციული<br>უნარი                       | S, %                                  | < 0,7                                | 0,420                   | -                                                               |
| თბოგამტარობის<br>კოეფიციენტი             | $\lambda_{25^{\circ}\text{C}}$ ვტ/მ·K | $\leq 0,065$                         | 0,055                   | -                                                               |

<sup>(1)</sup> – თერმული დამუშავების პარამეტრები:  $t = 1200^{\circ}\text{C}$ ;  $\tau = 20$  წთ

<sup>(2)</sup> – d-ს გასაშუალებელი მნიშვნელობა

ობსიდიანიდან მიღებული ქაფმინისათვის ჩატარებული შესაბამისი შედარების შედეგები მოყვანილია მე-9 ცხრილში, ხოლო პემზიდან და პერლიტიდან მიღებული კერამზიტისთვის მე-10 ცხრილში.

**ცხრილი 10. პერლიტიდან და ქაფმინიდან მიღებული და სტანდარტით მოთხოვნადი კერამზიტის თვისებები**

| მოთხოვნადი თვისება                    | განზ. ერთ                         | თვისებათა მნიშვნელობა GOST 32496 – 2013-ს მიხედვით | კერამზიტის მისაღები <sup>(1)</sup> ნედლეული და თვისება |       |
|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
|                                       |                                   |                                                    | პერლიტი                                                | პემზა |
| მოცულობითი სიმკვრივე                  | $\gamma$ , კგ/მ <sup>3</sup>      | 100 - 1200                                         | 670                                                    | 430   |
| სიმტკიცე კუმშვაზე                     | P, მპა                            | 0,5 - 100                                          | 6,8                                                    | 6,2   |
| წყალშთანთქმა                          | W, %                              | < 20% <sup>(2)</sup>                               | 18,2                                                   | 18,2  |
| თბოგამტარობის კოეფიციენტი             | $\lambda_{25^{\circ}C}$<br>ვტ/მ·K | < 1,8                                              | 1,35                                                   | 1,21  |
| წყალმედევობა (გარბილების კოეფიციენტი) | $\geq 0,75$                       | $\geq 0,75$                                        | 0,76                                                   | 0,75  |

<sup>(1)</sup> – თერმული დამუშავების პარამეტრები:  $t = 1100^{\circ}C$ ;  $\tau = 20$  წთ

<sup>(2)</sup> – დასაშვებია 20-30%, აღებულია უმცირესი სიდიდე  $W < 20\%$

შედარებითი ანალიზით დადგინდა, რომ ქაფმინის (მარკიანობა D 200) მიღება შესაძლებელია ბუნებრივი მინის - ობსიდიანის საფუძველზე. პერლიტიდან და პემზიდან მიიღება მოცულობით სიმკვრივით განსხვავებული კერამზიტი და მათი მარკიანობა შესაბამისად შეფასდა მარკიანობით M 700 და M 500.

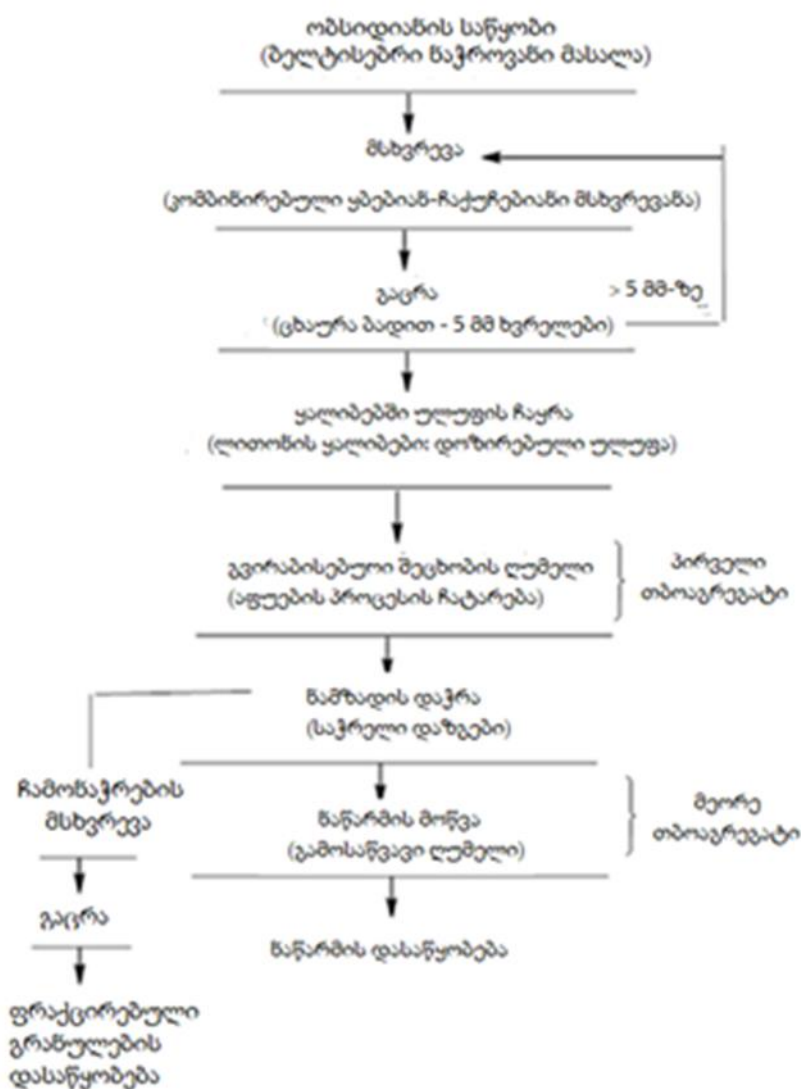
## 2. ახალ სანედლეულო ბაზაზე მიღებული ქაფმინის და კერამზიტის ტექნოლოგიურობის შეფასება

### 2.1. ობსიდიანიდან ქაფმინის მიღების რეკომენდირებული ტექნოლოგია

ჩატარებული კვლევითი სამუშაოს ძირითად შედეგებზე დაყრდნობით და შესაბამისი ლიტერატურაში მოყვანილ რეკომენდაციათა საფუძველზე შესაძლებელი გახდა ობსიდიანიდან ქაფმინის მიღების სარეკომენდაციო

ტექნოლოგიური სქემის (ნახ. 8) და პროცესის ჩატარების პარამეტრების მოყვანა (ცხრილი 11).

### რეკომენდირებული ქაფმინის ნაწარმის მიღება



ნახაზი 8. ობსიდიანიდან ქაფმინის ნაწარმის მიღების რეკომენდირებული ტექნოლოგიური სქემა

ობსიდიანის ფხვნილოვანი ფრაქციების გვირაბისებურ ღუმელში შეცხობა-აფუებით, ტრადიციულად სპეციალურ ყალიბებში პროცესის ჩატარებით.

ქაფმინის მიღების დღეისათვის ფართოდ გამოყენებული „ტიპური ტექნოლოგია“ და ობსიდიანიდან მისი მიღების ტექნოლოგიათა შედარებით,

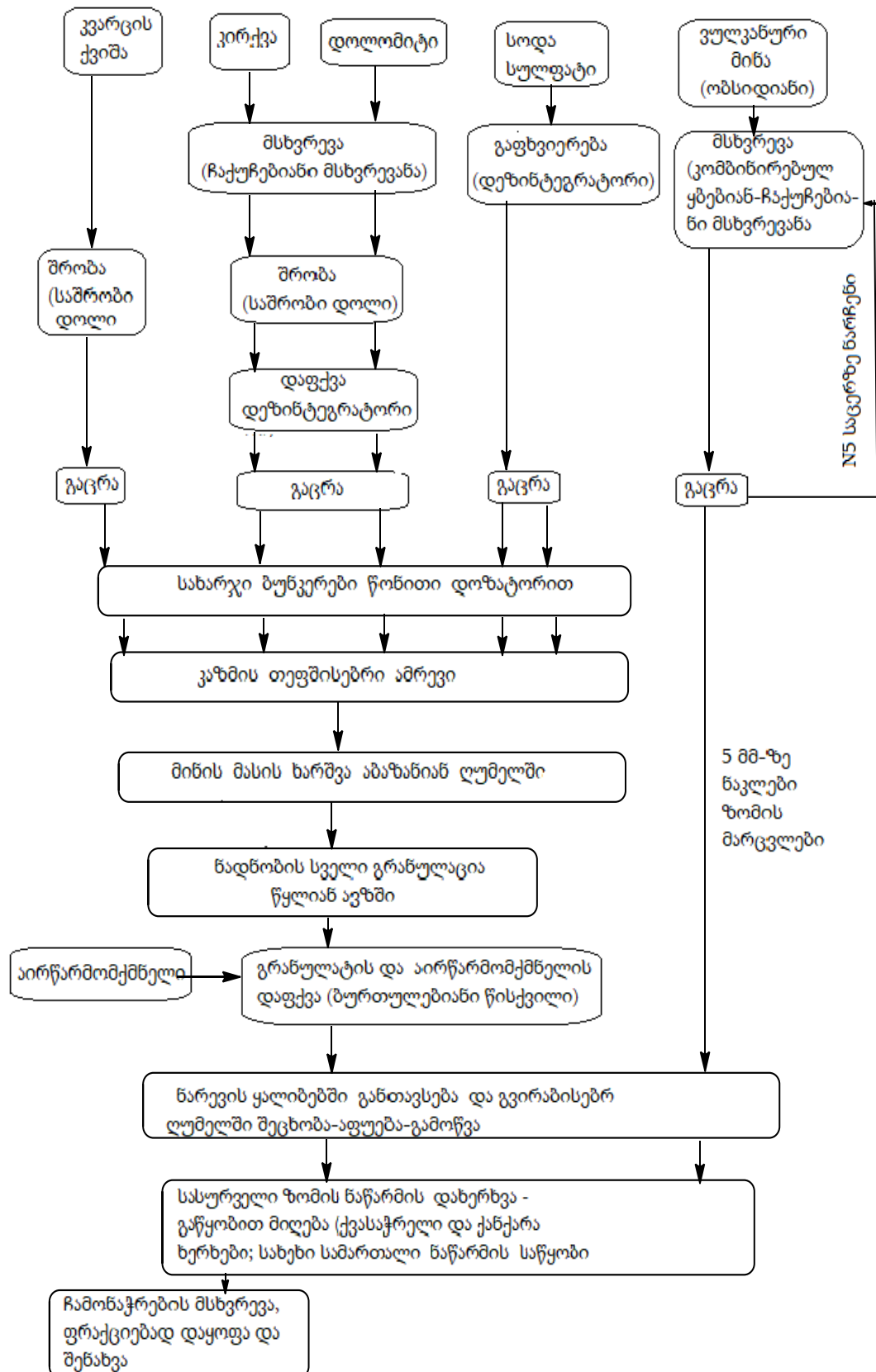
რაც მე-9 ნახაზზე შესაბამისი ტექნოლოგიური სქემებით არის წარმოდგენილი, გვიჩვენებს ობსიდიანის სანედლეულო ბაზაში გამოყენების უპირატესობას. აღნიშნულს განსაზღვრავს ქაფმინის ობსიდიანიდან მიღების ნაკლებად ენერგოტევადი „მოკლე“ ტექნოლოგიური ციკლი და ამასთან სანედლეულო ბაზის მასალატევადობის მკვეთრი შემცირება.

**ცხრილი 11. ობსიდიონიდან ქაფმინის მიღების ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესები და მათი წარმართვის პარამეტრები**

| ეტაპი | ძირითადი პროცესები                                        | ძირითადი ტექნოლოგიური ეტაპების და პროცესების დასახელება                   | განზ. ერთ.               | მნიშვნელობა                                 | შენიშვნა                        |
|-------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|
| A     | -                                                         | ნედლეულის მომზადება                                                       |                          |                                             |                                 |
|       | 1                                                         | ობსიდიანის დაქუცმაცება კომბინირებულ (ყბებიან-ჩაქუჩებიან) მსხვრევანაში     | მმ                       | მარცვლების ზომა $\leq 5$ მმ                 |                                 |
|       | 2                                                         | მარცვლოვანი ულუფის ჩაყრა ლითონის ყალიბებში                                | კპ                       | დიზირებული ოდენობით                         |                                 |
| B     | მასალის შეცხოვა გვირაბისებურ ღუმელში                      |                                                                           |                          |                                             |                                 |
|       | 1                                                         | ტემპერატურა ყალიბების შესვლის მხრიდან                                     | $^{\circ}\text{C}$       | 400 - 500                                   |                                 |
|       | 2                                                         | აფუების ტემპერატურის მიღწევა                                              | $^{\circ}\text{C}$<br>სთ | $1200 \pm 25$<br>1,5 – 2,5                  |                                 |
|       | 3                                                         | მარცვლების შეცხოვა აფუების პარამეტრები<br>- ტემპერატურა<br>- ხანგრძლივობა | $^{\circ}\text{C}$<br>სთ | $1200 \pm 25$<br>0,5 – 1,0                  | ნამზადის სისქის გათვალისწინებით |
|       | 4                                                         | აფუებული მასალის ჩქარი გაცივება                                           | $^{\circ}\text{C}$<br>სთ | $1200 \rightarrow (600 \pm 50)$<br>2,5 - 3  | ნამზადის სისქის გათვალისწინებით |
| C     |                                                           | ქაფმინის ნამზადის დაჭრა-გასწორება                                         | წთ                       | 2 - 5                                       |                                 |
| D     | ქაფმინის ნაწარმის მოწვა კამერულ კონვეიერულ მოწვის ღუმელში |                                                                           |                          |                                             |                                 |
|       | 1                                                         | დახურულ კამერაში მოწვა                                                    | $^{\circ}\text{C}$<br>სთ | $(600 \pm 50) \rightarrow 250$<br>2,5 – 4,0 | ნაწარის ზომების გათვალისწინებით |
|       | 2                                                         | კონვეიერის ღია ნაწილი                                                     | $^{\circ}\text{C}$<br>სთ | $250 \rightarrow 50$<br>1 – 1,5             |                                 |

შენიშვნა: ცხრილში მოყვანილი ობსიდიანიდან ქაფმინის მიღების ტექნოლოგიური პარამეტრები შედგენილია ლაბორატორიული კვლევის შედეგად მიღებული

შედეგების საფუძველზე და მომავალში მოითხოვს კორექტირებას საწარმოო გამოცდების შედეგების გათვალისწინებით.



ნახაზი 9. ქაფმინის მიღების ტრადიციული და რეკომენდირებული ახალი (ობსიდიანის გამოყენებით) ტექნოლოგიური სქემა

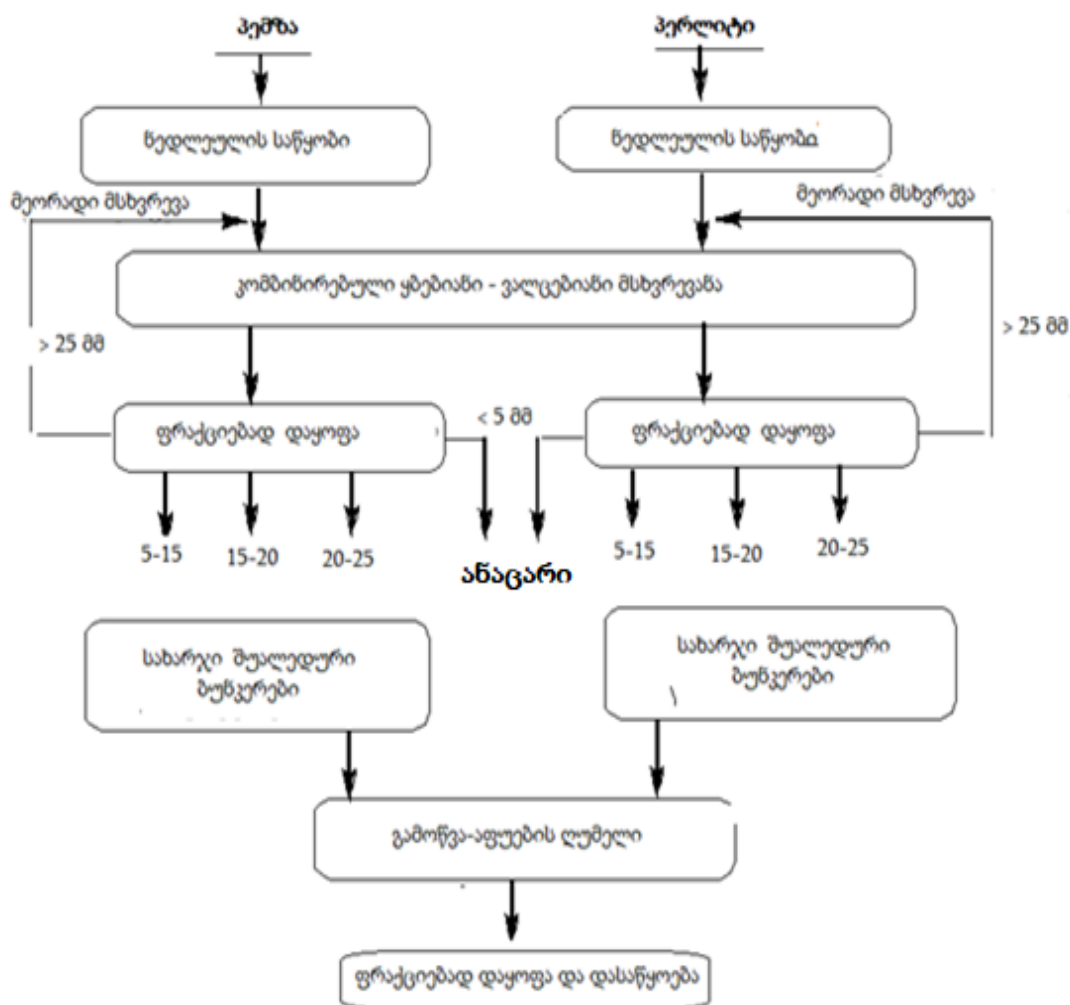
## 2.2. პემზიდან და პერლიტიდან კერამზიტის მიღების ტექნოლოგიური რეკომენდაციები

ცნობილია ასევე, რომ არსებობს ხელოვნური თერმოაფუების გზით მიღებული, ქაფმინის მსგავსად უჯრედოვანი აგებულების, მაგრამ უფრო „მძიმე“ თბოსაიზოლაციო მასალა - კერამზიტი.

დღეისათვის დამუშავებულია შესაბამისი ტექნოლოგიური და პრაქტიკულად კერამზიტი იწარმოება ადვილდნობადი თიხებიდან და ქვისმაგვარი თიხა ფიქლებიდან, შესაბამისად, ე.წ. პლასტიკური და მშრალი მეთოდებით. მეთოდის სახეობა დამოკიდებულია საწყისი ნედლეულის სახეზე. მშრალი მეთოდი გამოიყენება მყარი სახეობის ნედლეულის (ფიქალი, თიხაფიქალი, არგელითი და ა.შ.) გამოყენებით. ასეთი მასალები საჭიროებს პირველად გადამუშავების - მსხვრევას, რომლის შედეგად მიიღება მარცვლოვანი სახის ნედლეული. მის მზრუნავ ღუმელში აფუების და ზომით მეტ-ნაკლებად ერთგვაროვანი კერამზიტის ნატეხების/მარცვლების მიღების შემდეგ, ის იმსხვრევა და იყოფა ფრაქციებად - შესაბამისი ზომის ბადის მქონე ცხაურაში გატარებით. ფრაქციებად დაყოფილი პროდუქტი საწყობიდან მიეწოდება მომხმარებელს.

ვინაიდან ჩვენს მიერ ჩატარებული სამუშაოს ერთ-ერთ მიზანს წარმოადგენდა კერამზიტის სახის თბოსაიზოლაციო მასალის მიღება საქართველოს პერლიტიდან და პემზიდან - არჩევანი მშრალ მეთოდზე გაკეთდა.

კერამზიტის მიღება შესაძლებელია ორი სახის გამოწვა-აფუების პროცესების ჩატარებით – უწყვეტი ქმედებისას მზრუნავ ღუმელში და ორსაფეხურიანი პროცესით (ორი განსხვავებული დანიშნულების დოლისებრი ღუმელების შერწყმით). ორივე ვარიანტი ფართოდ გამოიყენება კერამზიტის მიღების ტექნოლოგიურ პროცესში, მაგრამ კვლევაში აღებული და კერამზიტის მისაღებად გამოყენებული პემზა და პერლიტი წარმოადგენენ წყალშემცველ ნედლეულის. ამასთან მათში წყლის შემცველობა მაღალი არ არის (5 %-ზე ნაკლები).



ნახაზი 10. საქართველოს პეშვიდან და პერლიტიდან კერამიკის მიღების რეკომენდირებული ტექნოლოგიის სქემა

წყლის მოლეკულების შენარჩუნება და მათი მასალათა აფუების პროცესში ჩართვა მოითხოვს წყლის დაზოგვას, ე.ი. აფუებისათვის საჭირო ტემპერატურამდე მაქსიმალურად აორთქლების შემცირებას. დამატებით, არსებული პრაქტიკული რეკომენდაციების გათვალისწინებით (ცნობილია, რომ უწყვეტი ქმედების მზრუნავ ლუმელში ძირითადად თიხებიდან პლასტიკური მეთოდით დამზადებული და გადიდებული ტენშემცველობით გამორჩეული თიხოვანი მასალიდან მიღებული გარანულები), ჩვენი არჩევანი შეჩერდა გამოწვის ორსაფეხურიან პროცესზე.



**ცხრილი 12. საქართველოს პემზიდან და პერლიტიდან კერამზიტის  
ორსაფეხურიანი პროცესით მიღების ტექნოლოგიური პარამეტრები**

| № | თბოაგრეგატის, ტექნოლოგიური პროცესის ეტაპების და პარამეტრების დასახელება       | განზ. ერთ | ტექნოლოგიური პარამეტრების მნიშვნელობა |
|---|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------|
| 1 | ორი მბრუნავი მილა თბოაგრეგატი                                                 |           |                                       |
| 2 | მასალის წინასწარი გახურების ღუმელი                                            | ცალი      | 1                                     |
|   | - ტემპერატურა ჩატვირთვის მხრიდან                                              | °C        | 250-მდე                               |
|   | - თერმულად დამუშავებული მასალის გამოსვლა-გადანაცვლება მეორე (აფუების) ღუმელში | °C        | 400 - 450                             |
| 3 | ძირითადი (აფუების) ღუმელი                                                     | ცალი      | 1                                     |
|   | - ტემპერატურა გამთბარი მასალის მიღების მხრიდან                                | °C        | 550 – 600                             |
|   | - ღუმელიდან გამოსული მასალის ტემპერატურა                                      | °C        | 300 – 350                             |
|   | - ღუმელის ტემპერატურა აფუების ზონაში                                          | °C        | 1100 ± 25                             |
|   | - მასალის აფუების ზონაში დაყოვნების დრო                                       | წთ        | 20 - 25                               |

აღნიშნული ორსაფეხურიანი ტექნოლოგია განხორციელდება ორ შეუღლებულ, სიგრძის მოკლე, მაგრამ მასალათა სხვადასხვა ტემპერატურულ პირობებში დასამუშავებელი დოლისებრი ღუმელებიდან. მათგან პირველი (ნედლეულის მიმღები) დოლისებრი ღუმელი მასალის მოკლე დროში ეფექტურ გაცხელებას (მარცვლოვანი მასალა მბრუნავ დოლში გადაადგილდება). მეორე – მაღალ ტემპერატურიანი (აფუების განხორციელებული) ღუმელში მასალის მოხვედრისას ის ინტესიურად ხურდება, აფუვდება და ნაჭროვანი კერამზიტის სახით გამოდის/გადმოიყრება ღუმელის ბოლოდან, ხოლო შემდგომ იმსხვრევა და ფრაქციებად იყოფა.

## დასკვნა

1. ადგილობრივი, დღემდე პრაქტიკულად სამრეწველო დანიშნულებით გამოუყენებელი ნედლეულის - ვულკანური ქანების (ობსიდიანი, პემზა, პერლიტი) საფუძველზე დაიგეგმა და განხორციელდა მსუბუქი ფორიანი მასალების (ქაფმინა და კერამზიტი)- მიღების შესაძლებლობის შესწავლა.

2. შესწავლული იქნა მსუბუქი ფორიანი მასალების მისაღები ნედლეულის - სამი სახეობის მაგმატური ქანის (ობსიდიანი, პერლიტი, პემზა), ქიმიური შედგენილობა და ჩატარდა მათგან ფორიანი მასალების მიღების შემფასებელი ანალიზი - ისინი წარმოადგენენ მცირე ტუტეშემცველ ალუმინ-სილიკატებს, ამასთან აქროლადების განსხვავებული შემცველობით.

3. დადგინდა საკვლევად შესაბამისი საბადოებიდან ჩამოტანილი ობსიდიანის (შავი ფერის ბელტები), პემზის (აგურისფერი ფხვნილ-ნატეხოვანი ფრაქციულობის სინჯი) და პერლიტის (ნაცრისფერი სხვადასხვა ფრაქციულობის მარცვლები და ნატეხები) მოცულობითი სიმკვრივე (ფრაქცია 10-15 მმ შეადგენს ობსიდიანისათვის 14/20 პერლიტისათვის 1350 და პემზისათვის 1210 კგ/მ<sup>3</sup>;

4. შესწავლილ იქნა საკვლევი სამივე ვულკანური ქანის ქცევა თერმული დამუშავების პირობებში და ექსპერიმენტალურად დადგინდა, რომ 1000°C ტემპერატურამდე ადგილი აქვს მასალათა წონის კლებას, რომლის მაქსიმუმი ობსიდიანისათვის შეადგენს 0,43%-ს, პემზისათვის 1,4 %, ხოლო პერლიტისათვის 3,56 %. ამასთან, მასალათა მიერ მოსალოდნელი წყლის დაკარგვის მაქსიმალური ინტენსიობა დაფიქსირდა: ობსიდიანისთვის 600-1000°C, პერლიტისა და პემზისათვის 400-700°C ტემპერატურულ ინტერვალებში;

5. დადგინდა, რომ სამივე ქანის გარბილების ტემპერატურათა ინტერვალი შეადგენს 1050-1100°C-ს, ხოლო ლღობის ტემპერატურა 1100-1200°C. დაბალი გარბილების ტემპერატურებით ხასიათდება პერლიტი და პემზა, ხოლო ლღობა-გამინების უნარით გამოირჩევა ობსიდიანი (დაახლოებით 1100°C).

6. საკვლევი მასალების პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის უნარი შეფასდა ტემპერატურათა 1000-1200°C ინტერვალით, თერმული დამუშავებით მიღებული მასალათა მოცულობითი სიმკვრივის შეფასებით. დადგინდა რომ აღნიშნულ ტემპერატურულ ინტერვალში - ტემპერატურის ზრდა განაპირობებს ნაყარი მოცულობითი წონების კლებას: ობსიდიანისათვის 1420-დან 200 კგ/მ<sup>3</sup>-მდე; პერლიტისათვის 1950-დან 670 კგ/მ<sup>3</sup>-მდე, ხოლო პემზისათვის 1210-დან 430 კგ/მ<sup>3</sup>-მდე.

7. ოპტიმალურ პირობებში მიღებული ფოროვან მასალებს დაუდგინდათ ქაფმინაზე და კერამზიტზე არსებული სტანდარტებით გათვალისწინებული მახასიათებელი თვისებები: წყალშთანთქმა, სორბციული უნარი, სიმტკიცე კუმშვაზე, წყალმედევობა და სხვ. დასტურდა მიღებული მასალების ფუნქციონალური დანიშნულებით (კერამზიტი - პემზა და პერლიტიდან ქაფმინა - ობსიდიანიდან) გამოყენების პერსპექტიულობა.

8. სამივე საკვლევი მასალის - ვულკანური წარმოშობის ქანების თერმული დამუშავებით მიღებული პროდუქტის თვისებათა შესწავლით დადგინდა, რომ მათ საფუძველზე შესაძლებელია ფორიანი მასალის მიღება, როდესაც ქაფმინის მიღების შესაძლებლობა დაფიქსირდა მხოლოდ ბუნებრივი მინის-ობსიდიანის თერმული დამუშავებით 1150-1200°C ტემპერატურულ ინტერვალში. მიღებული ქაფმინის მარკიანობა შეესატყვისება D-200 ტიპის ქაფმინებს.

9. პემზა და პერლიტის 1100°C თერმული დამუშავებით შესაძლებელია კერამზიტის ტიპის მასალის მიღება, რომელთა მარკიანობა შეფასდა M 500 და M 700.

## სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში

1.ჭეიშვილი თ.შ., სხვიტარიძე რ.ე., ლოლაძე გ.ზ., ზაქარია მ.შ., მუხათგვერდელი ნ.ნ., სხვიტარიძე ა.რ., გურასპაშვილი ა.ნ. LECA-ს მისაღები სანედლეულო ბაზის გასაფართოებლად ადგილობრივი სილიკატური ნედლეულის შერჩევა და ტექნოლოგიურობის შეფასება. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი. ტ. 2. 2024. გვ. 65-72

### 2.თ.ჭეიშვილი მ.მშვილდაძე ა. გურასპაშვილი

თბოსაიზოლაციო მინისებური მასალები ტექნოლოგიური ნედლეულის საფუძველზე.საერთაშორისო სამეცნიერო- ტექნიკური კონფერენცია.გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება. შრომები.საგამომცემლო სახლი.სტუ,გვ.144-151

<https://gtu.ge/ctmf/pdf/conferences/file6.pdf>

### 3.გურასპაშვილი ა.ნ. ფორიანი მსუბუქი არაორგანული მასალების მიღება

ვულკანური ქანების საფუძველზე. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი.ტ.1, 2025. გვ. 117-120

4.Ana Guraspashvili, Maia Mshvildadze, Teimuraz Cheishvili. Extraction and study of Foam Glass From Volcanic Rock-obsidian. International Journal of Progressive Scieces and Tecnologies. V. 50, N2 (2025) p. 296-299. Doi: <http://dx.doi.org/10.52155/ijpsat.v.50> 2.7233

## Abstract

Energy efficiency has been and remains a pressing issue throughout the world, and especially in Georgia, where less attention is paid to the use of energy-saving materials in industrial buildings and civil housing construction. Due to this, the heat spent on heating has increased, which unjustifiably increases the amount of heat spent per 1 m<sup>2</sup> of buildings and, accordingly, the amount of fuel. The other side of this problem is the amount of fuel and, accordingly, flue gases required to obtain the heating agent, which leads to the emergence of additional ecological problems. It is important that energy problems are also directly related to financial costs, which are caused by the aimless consumption of energy carriers.

In order to achieve energy efficiency, many solutions are being worked on in the world, but among them, the widespread use of thermal insulation materials is highlighted wherever possible. In many countries, for this purpose, porous organic and inorganic materials of various purposes and obtained by various technologies are produced, which are widely used (products, fillers, thermal insulation coatings, etc.) in industrial sectors and the construction industry. In terms of the number of materials and products produced from them, two types of thermal insulation materials of inorganic nature can be distinguished - expanded clay and expanded glass. Expanded clay is obtained using raw materials such as clays or shales, while glass is currently mainly produced from fritted granules made of specially cooked glass, which in all cases increases the number of technological process operations (expanded clay from clay, glass from granulate) and, accordingly, the energy consumption of their production. When it comes to obtaining inorganic porous thermal insulation materials, the following main factors become important: cheap raw material base, low material capacity and less energy-intensive technologies for the production of thermal insulation materials. No less important are the characteristic properties of the obtained materials, such as bulk density, porosity level and pore shape, mechanical strength, water absorption and water resistance, environmental safety, etc. To eliminate the above-mentioned shortcomings, it remains relevant to expand the raw material base for porous materials that ensure the production of ceramic and foam concrete using increasingly material-intensive and energy-efficient technologies.

The main goal of the work was to expand the available raw material base of porous and cellular thermal insulation materials of the expanded clay and expanded glass types. This was achieved in the Samtskhe-Javakheti region, in the area of Lake Parvan, by studying existing and less used raw materials - obsidian, perlite and pumice - and conducting research on obtaining porous materials with the required characteristics from them. By conducting the high-temperature thermal treatment of the above materials, the foaming process of the monoclase and determining the optimal foaming parameters, two types of cellular structure, low bulk density and the corresponding standard of leguminous properties, ecological porous multifunctional materials - expanded clay and expanded glass, were obtained in laboratory conditions.