

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნატალია ომანიძე

ფორიანი მასალების მიღება წვრილმარცვლოვანი  
თიხაფიქლის და ტექნოგენური ორგანული დანამატების  
საფუძველზე

სადოქტორო პროგრამა „ქიმიური – და ბიოლოგიური ინჟინერია“  
შიფრი – 0410

დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი  
2018 წ

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის  
ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი  
სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი *თეიმურაზ ჭეიშვილი*

რეცენზენტები: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

დაცვა შედგება --2018-- წლის ”---21---” ---07---, ----- საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და  
მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე,  
კორპუსი -----, აუდიტორია -----  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი პროფ.

**ზ. გელიაშვილი**

## ნაწრომის ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალურობა:** ენერგომატარებელზე მოთხოვნათა ზრდის და ასევე მათი მარაგების კლებადობის ტენდენციები თანამედროვეობის უდიდეს პრობლემად არის მიჩნეული. აღნიშნული, თავის მხრივ, გარკვეული პრობლემების გადაწყვეტას მოითხოვს, რომელთაგან თავისი მნიშვნელობით გამოყოფენ შემომზღუდი კონსტრუქციების და თბური აგრეგატების სითბური იზოლაციის ეფექტურობის გაზრდას. უფრო კონკრეტულად, ისმება საკითხი, რომელიც უშუალოდ უკავშირდება სითბური ენერჯის დანაკარგების შემცირებას - სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო შენობების კედლებიდან. თბური აგრეგატების და სითბური ტრასების ზედაპირიდან ატმოსფეროში მოხვედრილი სითბოს რაოდენობის მინიმიზაციას. მიიჩნევენ, რომ სპეციალური თბოსაიზოლაციო მასალების მიზნობრივი გამოყენებით შესაძლებელია 30% და მეტი რაოდენობითაც საწვავ-ენერგეტიკული რესურსების დაზოგვა, რაც მოითხოვს სპეციალური მაღალეფექტური თბოსაიზოლაციო მასალების გამოყენებას.

თბოსაიზოლაციო მასალების გამოყენებით მიიღწევა არა მარტო სითბოს დაზოგვა, არამედ შესაძლებელი ხდება სამშენებლო კონსტრუქციების წონის შემცირებაც. მათი გამოყენების სფეროების მრავალფეროვნებას განსაზღვრავს მექანიკური სიმტკიცე, მაღალი ქიმიური და ბიომედეგობა, დაბალი ჰიდროსკოპიულობა და სხვ. ცნობილია, რომ ფორიანი მასალების მისაღებად გამოყენებული ნედლეულის სახეობიდან გამომდინარე, განასხვავებენ ორგანულ და არაორგანულ თბოსაიზოლაციო მასალებს, რომელთაგან თავის სიმტკიცით, ტემპერატურამედეგობით, წყალმედეგობით და სხვა თვისებებით, გამოირჩევიან არაორგანული ბუნების ფორიანი მასალები. მათი თვისებებიდან გამომდინარე ფორიან არაორგანულ მასალებს ფართოდ გამოიყენებენ ისეთ სამრეწველო დარგებში, როგორცაა: სამშენებლო საქმე (შემსუბუქებული სამშენებლო კონსტრუქციები, თბო- და ბერასაიზოლაციო ნაყარი და ხისტი საცალო ნაწარმი ფილების, ბლოკების და სხვ. ნაწარმის სახით) კერამიკური

ნაწარმის მაგ., ცეცხლგამძლეების წარმოებაში და ა.შ. ამავე დროს პერსპექტულად მიიჩნევენ მათ გამოყენებას ისეთ დარგებში, როგორცაა აგროტექნიკა, ნავთობგადამუშავება, მედიცინა და სხვ.

სანედლეულო ბაზის მხრივ, როდესაც განიხილება თბოსაიზოლაციო მასალების მიღების საკითხი, საგულისხმო ხდება ის გარემოება, რომ არაორგანული ფორიანი მასალების მიღება შესაძლებელია სხვადასხვა სახის ბუნებრივი და ტექნოგენური მასალიდან, რომლებიც სპეციფიური ტექნოლოგიებით გადამუშავდება. ფორიანი მასალის მიღება შესაძლებელია მინის ლენიდან (ქაფმინა), მაგმური (პერლიტენი, პეზშტეინები, ობრიდიანები) და ნალექი (მაგ., თიხები, თიხაფიქლები და სხვ.) ქანების გამოყენებით. ჩამოთვლილი ნედლეულის ფორიანი მასალაში გადაყვანა მათი მომზადებით და შემდგომი თერმული აფუებითარის შესაძლებელი. ბუნებრივი მასალებიდან ფორიანი მასალის მიღებასთან დაკავშირებით ორ პირობას გამოყოფენ: მასალის ქიმიურ-მინერალოგიურ შედგენილობას, ნედლეულად აღებული მასალის ფიზიკურ მდგომარეობას და ასევე თვისებებს, რომელთა ერთობა განსაზღვრავს გადამუშავებისათვის საჭირო ტექნოლოგიურ ოპერაციათა ნაირსახეობას და მათი წარმართვის სირთულეებს.

ფორიანი მასალების ნაირსახეობებიდან (აფუებული პერლიტები, ვერმიკულიტი და სხვა ქანები) განსაკუთრებულად გამოყოფენ ე.წ. კერამზიტს - უნივერსალურ მასალას, რომელიც გარკვეული შედგენილობის თიხებიდან და თიხაფიქალებიდან მიიღება. მიიჩნევენ, რომ კერამზიტი ერთ-ერთი საუკეთესო იაფი ნატურალური დამატებელია და აქედან, მასზე ძირითადი შემკვეთი - სამშენებლო ბიზნესია, მაგრამ ცნობილია კერამზიტის გამოყენების სხვა სფეროებიც (თბოსაიზოლაციო მასალები, მეზაღეობა და სხვ.). აღნიშნული მასალა ფართოდ იწარმოება და გამოიყენება მთელ მსოფლიოში, რადგან მათ სანედლეულო ბაზას ძირითადად თიხები წარმოადგენენ და იშვიათად გამოიყენებიან თიხაფიქლები, რომელთა გავრცელებულობა დედამიწაში ნაკლებია.

აფუებისადმი მიდრეკილი ბუნებრივი ქანები ფართოდაა გავრცელებული საქართველოში, მაგრამ მათგან პრაქტიკული გამოყენება მხოლოდ ფარავნის

პერლიტებმა ჰჰოვა - იწარმოება როგორც საბათქაშე, ასევე აგრარული დანი-  
შნულების მასალები. ნაკლებადაა შესწავლილი ადგილობრივი თიხოვანი ქანე-  
ბის აფუების საკითხი, მაგრამ გარკვეული მიღწევები იკვეთება კახეთის რეგი-  
ონში, მდ. დურუჯის ხეობაში არსებული ე.წ. ყვარლის ფიქლის სამრეწველო  
მიზნებში გამოყენებასთან მიმართებაში. ყვარლის ფიქლების გადამუშავების  
აუცილებლობას დამატებით განაპირობებს კიდევ ერთი უმნიშვნელოვანესი გა-  
რემოება, რომელიც მას უკავშირდება. ყვარლის რაიონში მწვავე ეკოლოგიური  
პრობლემების არსებობას განსაზღვრავს. ყვარლის ფიქლის, როგორც სანედლე-  
ულო ბაზის, გამოყენება რეკომენდირებულია კერძოდ ისეთ სამრეწველო  
სფეროებში, როგორიცაა: სამშენებლო საქმე (ცემენტის დაფქვის დანამატად ან  
ბეტონების შემდგომად), მინის და მინანქრის წარმოებათა სანედლეულო ბაზა,  
ქვის სხმის წარმოებაში, აფუებული მასალების მიღებისას და სხვ.

არაერთი სამეცნიერო კვლევით დადგინდა, რომ ტრადიციული ხერხის-  
თერმოაფუების გამოყენებით, შესაძლებელია ყვარლის ფიქლიდან აფუებული  
მასალების მიღება: ორსაფეხურიანი თერმული დამუშავების რეჟიმით მიღე-  
ბული იქნა სხვადასხვა ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივის მქონე ფორიანი მასა-  
ლები ( $350-650 \text{ კმ/მ}^3$ ), რომლებიც გამოირჩევიან დახურულფორებიანი სტრუქ-  
ტურით, მაღალი მექანიკური სიმტკიცით კუმშვაზე (15 მპა-მდე),  
წყალმედევობით ( $K_{\text{ვარბ.}}=0,75$ ) და ა.შ. ასევე შემუშავდა რეკომენდაციები ყვარლის  
ფიქლიდან თერმული აფუებით მიღებულ მასალათა გამოყენების შესაძლო  
სფეროებთან მიმართებაში. მათი გამოყენება რეკომენდირებულია ნაყარი თბო-  
საიზოლაციო მასალების სახით და რიგი სახეობის ბეტონების მისაღებად.  
აღსანიშნავია, რომ შემუშავდა ყვარლის ფიქლიდან ფორიანი მასალის მიღების  
ტექნოლოგიური სქემა და მას საფუძვლად დაედო ორსაფეხურიანი თერმული  
დამუშავების პროცესი, რომელშიც გამოირიცხა 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციუ-  
ლობის ბუნებრივი ყვარლის ფიქლის მარცვლების მონაწილეობა. აღნიშნულის  
მიზეზად დასახელდა ის გარემოება, რომ მსხვილ და წვრილმარცვლოვან ფრა-  
ქციების თანაარსებობის პირობებისათვის, თერმოაფუებისას ადგილი აქვს

პროცესის არასრულყოფილად ჩატარებას - მაღალი მოცულობითი სიმკვრივის მასალები მიიღება.

აღნიშნულის გათვალისწინებით, ჩვენს მიერ განხორციელდა 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის და მის საფუძველზე შედგენილი ნარევების აფუების პროცესის შესწავლა და ფორიანი მასალების მიღების ტექნოლოგიათა დადგენა; მიღებულ ფოროვან მასალათა პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობათა დადგენის მიზნით, შესწავლილ იქნა წმინდაფრაქციული აფუებული ყვარლის ფიქლიდან შემსუბუქებული სამშენებლო მასალების მიღების შესაძლებლობა.

ექსპერიმენტული კვლევით დადგინდა წვრილფრაქციული (5 მმ-ზე ნაკლები ზომის მარცვლები) ყვარლის ფიქლის აფუების შესაძლებლობა ერთსაფეხურიანი თერმული დამუშავებით და აღნიშნულ პროცესზე ორგანული ტექნოგენური დანამატების (ამორტიზირებული სამანქანო ზეთი, ქვანახშირის წვრილმანის, ხის ნახერხის) გავლენათა თავისებურებანი. განისაზღვრა მიღებული მასალების ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე, წყალშთანთქმა, სიმტკიცე კუმშვაზე და სხვ. ასევე დადგინდა ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების აფუებით მიღებული ფორიანი მასალის ქვიშის და ღორღის ფრაქციების გამოყენებით შემსუბუქებული ბეტონების მიღების შესაძლებლობა.

**სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს წმინდაფრაქციული, (ნაყარის სახით გამოყოფილი) ყვარლის ფიქლის გამოყენებით აფუებული მასალის მიღება, მათი აფუების პროცესზე ტექნოგენური დანამატების სახის და რაოდენობის, ასევე თერმული დამუშავების რეჟიმების გავლენის დადგენა; თერმული აფუებით მიღებული ფორიანი მასალების სამშენებლო საქმეში გამოყენების პერსპექტიულობის განსაზღვრა.**

**კვლევის ამოცანაა:**

- შესწავლილ იქნას წმინდაფრაქციული, ნაყარის სახით გამოყოფილი, ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესზე სხვადასხვა სახის ტექნოგენური ორგანული ბუნების დანამატების გავლენა;

- შეიძლება წმინდაფრაქციული (5 მმ-მდე ზომის მარცვლები) ყვარლის ფიქლის აფუების ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები, დანამატების რაოდენობის და თერმული დამუშავების რეჟიმების განსაზღვრით;

- დადგინდეს ტექნოგენური ტიპის დანამატების გავლენა მიღებულ ფორიან მასალათა საექსპლოატაციო თვისებებზე;

- განისაზღვროს წმინდაფრაქციული ყვარლის ფიქლის საფუძველზე მიღებული ფორიანი მასალებიდან შემსუბუქებული ბეტონების მიღების შესაძლებლობა.

**კვლევის ობიექტს** წარმოადგენს აფუებული მასალის მიღების ტექნოლოგიური პროცესიდან ყვარლის ფიქლის ნაყარის სახით გამოყოფილი წმინდა ფრაქციები (მარცვლების ზომით: ნაკლებია 5 მმ).

**კვლევის მეთოდები.** წმინდაფრაქციული ყვარლის ფიქლის თერმული აფუებით მიღებული ფორიანი მასალების შესწავლა განხორციელდა არაორგანულ ფოროვან თბოსაიზოლაციო და აკუსტიკურ მასალათა შესწავლაში მიღებული ტექნიკური ანალიზის და სპეციალური ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებათა შესწავლის მეთოდების გამოყენებით.

**ნაშრომის მეცნიერული სიახლე:** ყვარლის ფიქლის, როგორც გამოყოფილი წვრილფრაქციული მასალის ნაყარის, აფუების პროცესზე თერმული დამუშავების პირობების (რეჟიმების) და დანამატების გავლენის შესწავლა. ტექნოგენური ორგანული დანამატების (ამორტიზირებული სამანქანო ზეთი, ნახერხი, ქვანახშირის წვრილმანი) სახეობათა და მათი რაოდენობის გავლენის შედგენა წვრილფრაქციული ფიქლის აფუების ხარისხზე. ფორიანი მასალების მიღების პირობებისა და თვისებების ურთიერთდამოკიდებულებათა შესწავლა, იმ ოპტიმალური შედგენილობის ნარევების დადგენა, რომლებიც ფიქლის აფუების მაღალ ხარისხს და თვისობრივად სასურველ მასალათა მიღებას განსაზღვრავენ.

**ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება:** ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების და ორგანული ბუნების მასალების (სამი სახის ტექნოგენური დანამატის) რაოდენობის შერჩევით ოპტიმალური შედგენილობის ისეთი ნარე-

ვების მიღება, რომლებიც თერმულ დამუშავებისას მაღალფორიანი და კარგი საექსპლუატაციო თვისებებიანი მასალების მიღებას უზრუნველყოფენ. ჩატარებული კვლევით დადგინდა ფორიანი მასალების ერთსაფეხურიანი თერმული დამუშავების რეჟიმით მიღების და მათ საფუძველზე შემსუბუქებული ბეტონების დამზადების შესაძლებლობა.

**სამუშაოს მოცულობა და სტრუქტურა:** დისერტაცია მოიცავს 105 გვერდს, 18 ცხრილს, 19 ნახაზს. დისერტაცია შედგება შესავლისაგან, ლიტერატურის მიმოხილვისაგან, ექსპერიმენტალური ნაწილისაგან (ხუთი თავი), დასკვნისა და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან.

## თავი I. ლიტერატურის მიმოხილვა

ლიტერატურის მიმოხილვაში, ფორიანი არაორგანულ მასალათა მიღება-გამოყენების საკითხების გარშემო არსებული მონაცემები წარმოდგენილია ხუთი ქვეთავით. კერძოდ, ქვეთავებში მოყვანილ მონაცემებში განხილულია ბუნებრივი და ხელოვნური ფორიანი მასალების სამრეწველო სახეობათა დახასიათება, მათ მისაღებად გამოყენებული ბუნებრივი ქანების სტრუქტურის მოწყობის საკითხები, ხელოვნური ფორიანი მასალების მიღების ხერხები, ყურადღება დაეთმო პრაქტიკულად გამოყენებულ ხელოვნურ ფორიან მასალებს, მათ წარმოებას და გამოყენებას, საქართველო პრაქტიკულად გამოყენებად სანედლეულო ბაზას, თიხების და თიხაფიქლების საფუძველზე მიღებულ ფორიან მასალებს და მათ შორის კერამზიტს. ცალკეული ქვეთავი აქვს დათმობილი მდ. დურუჯის ხეობაში არსებულ თიხაფიქლებს, მათი შესწავლის დონეს და გამოყენების პერსპექტივებს. ბოლო, მეხუთე ქვეთავი დაეთმო ლიტერატურაში არსებული მასალის შეჯერებას და კვლევის ძირითადი მიმართულების განსაზღვრას.

ლიტერატურის მიმოხილვის მოკლე რეზიუმეში წარმოდგენილია ფორიანი არაორგანული მასალების მნიშვნელობა და მათ მისაღებად გამოყენებული ნედლეულების ძირითადი სახეობანი და აღინიშნა, რომ საქართველოში



მოიპოვება არაერთი სახეობის ნედლეული, რომელთა გამოყენება შეიძლება ფოროვანი მასალების მისაღებად და მათ შორის მოიხსენიება ყვარლის ფიქალი, როდესაც საკითხის აქტუალობას განსაზღვრავს მასთან დაკავშირებული ეკოლოგიური პრობლემები. აქვეა წარმოდგენილი ის არგუმენტები, რომლებმაც განაპირობეს ჩატარებული კვლევის მიმართულება და მნიშვნელობა.

ბუნებრივ და ხელოვნურ ფორიან მასალათა თაობაზე მოყვანილ მასალაში აღინიშნა მათი შემვსებლად ფართო გამოყენება სამშენებლო საქმეში. ყურადღება მიექცა რიგ ბუნებრივ (პემზა, ტუფი, ვულკანური წიდეები) ფოროვან მასალათა წარმომავლობას და პრაქტიკულ გამოყენებას. აღინიშნა, რომ ხელოვნურ ფოროვან მასალათა სახეობა ისევე მრავალფეროვანია, როგორც მათი მიღების ხერხები და გამოყენებული ნედლეული. წარმოდგენილია ნედლეულის მიმართ არსებული მოთხოვნები თერმოაფუებით ფოროვანი მასალის მიღება შესაძლებელია, თუ მასალას უნარი შესწევს გადავიდეს პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში და აფუვდეს მასში წარმოდგენილი ბმული წყლის აორთქლებით ან სხვა ნაერთთა მიერ გამოყოფილი დისოციაციის პროდუქტებით. აქვეა წარმოდგენილი სტრუქტურული მოწყობის მიხედვით არაორგანულ ფოროვან მასალათა კლასიფიკაცია და ის ძირითადი მოთხოვნები, რომლებიც ასაფუებლად გამიზნულ ქანს უნდა გააჩნდეს. ამავე ქვეთავში ასევე წარმოდგენილია ჩატარებული სამუშაოს გადასაწყვეტად შერჩეული ხერხები: თერმული აფუება და აფუების პროცესის მარეგულირებლად შერჩეული დანამატების გამოყენება.

ტრადიციული ფოროვანი მასალების მიღება-გამოყენების შესახებ აღინიშნა, რომ მასალათა თვისებას განსაზღვრავს მის მისაღებად აღებული ნედლეული, რომელიც რიგ პირობებს უნდა აკმაყოფილებდნენ: გარკვეული ქიმიურ-მინერალოგიური შედგენილობა და ნედლეულის გადამუშავება-მომზადებასთან დაკავშირებული ტექნოლოგიურ ოპერაციათა სირთულეები. ლიტერატურაში არსებული მონაცემების საფუძველზე უპირატესობა ენიჭება ქანებიდან და ქარსებიდან მიღებულ ფოროვან მასალებს, რომელთა ტექნოლოგიური პროცესთა ციკლი ხანმოკლეა. აქვეა მოყვანილია ორი სახეობის ფოროვანი

მასალის (პერლიტი და ვერმიკულიტი) წარმოების თავისებურება და ის პირობები, რომლებიც მათი მიღების ტექნოლოგიას უკავშირდება; მოყვანილია პერლიტის და ვერმიკულიტის თვისებები, აღწერილია მათი გამოყენების სფეროები. აღინიშნა, რომ საქართველოში არსებობს ვულკანური წარმოშობის ქანების ისეთი საბადოები (ფარავნის პერლიტები, ახალციხის და ასპინძის პეხშტეინები), რომელთა მარაგები დიდია, ხოლო მოპოვება ხშირად ღია წესით ხდება. ხაზგასმულად აღინიშნა, რომ კერმიკულიტის და პერლიტის გამოყენების სფეროებში სრული თანხვედრა არსებობს, მაგრამ მთელი რიგი მაჩვენებლებით ქარსიდან მიღებულ ვერმიკულიტს ენიჭება უპირატესობა, მაგრამ მიღების ტექნოლოგიის სიმარტივეთ პერლიტის აფუების პროცესი გამოირჩევა.

მომდევნო მესამე ქვეთავი დაეთმო აფუებული და თიხაფიქლების საფუძველზე მიღებულ მასალას-კერამზიტს. ეს მასალა ძირითადად გამოიყენება თბოსაიზოლაციო ბეტონების შემვსებლად. მათი მიღების საწარმოო ტექნოლოგია ეფუძნება ადვილადდნობადი თიხოვანი ქანების ჩქაროსნულ გამოწვას. აფუებული მასალა ძირითადად ხრემის ან ღორღის სახით გამოიყენება, მაგრამ მოთხოვნადია ქვიშის ფრაქციებიც. ის ფართოდ წარმოებადი პროდუქტია - მისი მიღება მსოფლიოს მრავალ ქვეყნებში ხდება. მოყვანილია იმ თიხების რაობა, რომელთა გამოყენება მმიზანშეწონილია კერამზიტის წარმოებისათვის: რკინის მაღალი შემცველობით გამორჩეული თიხები და თიხაფიქლები (უფრო იშვითად, რადგან მათი საბადოები ნაკლებად გავრცელებულია), არგალიტები და სხვა თიხოვანი ძნელადაფუებადი თიხები (საჭიროებენ დანამატის შეყვანას). ასევე მგანიხილება თიხების ის კატეგორიები, რომლებიც აფუების მაღალი კოეფიციენტით ხასიათდებიან და განხილულია მათი ტიპური წარმომადგენლების ქიმიური შედგენილობები. აღინიშნა, რომ კერამზიტის მისაღები მასალების შეფასებისას შესაძლებელია სპეციალური გამოკვლევების საფუძველზე მიღებული ფორმულების გამოყენება. ამავე ქვეთავში აღწერილია თიხებში შემავალი ნედლეული ოქსიდის როლი აფუების პროცესის წარმართვაში, მათ შორის რკინის ოქსიდებთან მიმართებაში.

მოყვანილია კერამიკის მიღების ტექნოლოგიური პარამეტრები და საწარმოო ტექნოლოგიების თავისებურებანი, ნედლეულის მომზადების ხერხების აღწერით.

მომდევნო ქვეთავი დათმობილი აქვს ყვარლის ადგილმდებარეობის ფიქლებს, მისი წარმოშობის მიზეზებს და იმ პრობლემებს, რომლებიც არსებობს მდ. დურუჯის ხეობაში და მთლიანად ყვარლის რეგიონში. განხილულია ყვარლის ფიქლის მიზნობრივად შესწავლის შედეგები, რომლებიც რამოდენიმე მკვლევართა ჯგუფის მიერ იქნა მიღებული. ნაჩვენებია, რომ აღნიშნულ სამუშაოებში გამოთქმულია მოსაზრება მისი სამრეწველო დარგებში გამოყენების თაობაზე (მინის წარმოება, მომინაქრება, დაბალტემპერატურული გამოწვის კერამიკა და სხვ.). მოყვანილია იმ სამუშაოთა შედეგები, რომლებიც ტრაქიტის, პერლიტის და სხვა სახის ბუნებრივი მასალების და ყვარლის ფიქლით ერთობლივი შეცხოვით მიღებულ მასალებს განიხილავს. ასევე წარმოდგენილია ისეთი კვლევების შედეგები, რომელიც ეხებანედლი და დაბალ ტემპერატურაზე (700 – 800°C) გააქტიურებული ფიქლის გამოყენებას ცემენტის და ბეტონების მიღების მიმართულებით. ამავე ნაწილშია მოყვანილი ყვარლის ფიქლის აფუებისადმი ჩატარებული კვლევების შედეგები: დაკონკრეტდა ის პირობები (თერმოდამუშავების ტემპერატურა, ხანგრძლივობა, საწყისი ნედლეულის გრანულომეტრია), რომლებიც უზრუნველყოფენ ფიქლიდან ფოროვანი მასალების მიღებას. წარმოდგენილია ასევე ყვარლის ფიქლიდან მაღალფოროვანი მასალის მიღების ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც ითვალისწინებს მხოლოდ 5 მმ-ზე მეტი ზომების ფიქლის მარცვლების (ნატეხების) აფუებას თერმოდამუშავების ორსაფეხურიანი რეჟიმით.

ლიტერატურის მიმოხილვის მე-5 ქვეთავში წარმოდგენილია დასკვნები, რომლებიც შესწავლილ საკითხთან დაკავშირებული სამუშაოების ანალიზის საფუძველზე ჩატარდა. აღინიშნა, რომ ყველა ის სამუშაო, რომელიც გაკეთდა და მომავალში გაკეთდება – ემსახურება როგორც ადგილობრივი საწარმოო სანედლეულო ბაზის გაფართოებას, ასევე ყვარლის რეგიონში ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნებას. წარმოდგენილია ის ექსპერიმენტებით არგუმენტი-

რებული ფაქტი, რომ ასაფუებელ ქანში წვრილფრაქციული (5 მმ-ზე ნაკლები ზომის მარცვლები) შემადგენლის არსებობა იწვევს ქანის არათანაბარზომიერ აფუებას და რეკომენდირებულია მათი ტექნოლოგიური პროცესებიდან ამოღება (ნაყარის სახით გამოყოფა).

ლიტერატურაში არსებულ მონაცემთა გათვალისწინებით, განისაზღვრა ჩასატარებელი კვლევის წინაპირობა - წმიდაფრაქციული ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესის შესაძლო გზების მოძიების და მიღებული ფოროვანი მასალების გამოყენების შესაძლო სფეროების განსაზღვრით, კერძოდ მათ საფუძველზე შემსუბუქებული სამშენებლო მასალის მიღების შესაძლებლობის დადგენით.

## თავი 2. შედეგები და მათი განსჯა

### ყვარლის ფიქლის ქიმიურ-მინერალოგიური შესწავლის შედეგების ანალიზი

წგანხილულია ყვარლის ფიქლის, როგორც ბუნებრივი ქანის, შესწავლის შედეგების ამსახველი მასალა, კერძოდ ქანში არსებული ძირითადი კრისტალური ფაზების სახეობა და შესწავლილია ყვარლის ფიქლის სინჯთა ქიმიური შედგენილობები.

ქიმიურ შედგენილობათა შედარებითი ანალიზით იკვეთება გარკვეული თავისებურებანი, რაც ძირითადად განისაზღვრა მათ შედგენილობაში  $MgO/CaO$  ფარდობების ფართო ზღვრებით (1,2-დან 5,1-მდე), შედგენილობებში  $SiO_2$  და  $Al_2O_3$  ცალ-ცალკე აღებული შემცველობათა სხვაობით, მაგრამ მათი ჯამური შემცველობის სტაბილურობით (76 – 77 მას. %), რკინის და ტუტე ოქსიდთა დაუდგენელი თანაფარდობით, ხურების დანაკარგების არაიდენტურობით (3,5 – 6 წონ. %). წარმოდგენილია ჩატარებულ სამუშაოში გამოყენებული ყვარლის ფიქლის და სხვადასხვა კვლევებში შესწავლილი იგივე ქანის გასაშუალოებული შედგენილობა, რომლის თანახმად ნაერთა ძირითადი ჯგუფები:  $SiO_2 + Al_2O_3$ ,  $FeO + Fe_2O_3$ ,  $MgO + CaO$ ,  $Na_2O + K_2O$  და ხურების დანაკარგები საშუალოდ  $\pm 0,2\%$ -ან სხვაობას იძლევიან (ცხრ. 1).

ცხრილი 1. სხვადასხვა კვლევებში შესწავლილი ყვარლის ფიქლის  
 გასაშუალოებული (1) და საცდელი (2) სინჯის ქიმიური  
 შედეგნილობები

№	ქიმიური ნაერთები და მათი შემცველობა, მას. %									
	$SiO_3$	$Al_2O_3$	$FeO + Fe_2O_3$	$MgO + CaO$	$Na_2O + K_2O$	$SO_3$	სხვა ნაერთები	ორგანული შემადგენელი	ხურების დანაკარგები	ჯამი
1	56,8	20,0	7,0	3,8	5,0	0,7	0,-5	0,9	5,6	100,0
2	57,6	19,4	7,2	4,2	4,7	0,9	-	-	6,0	100,0
Δ %	+0,8	-0,6	0,2	+0,4	-0,3	+0,2	-0,2	0,9	+0,4	

შედეგნილობის გადახრა: (+ Δ) - საცდელ ნიმუშში ნაერთის მეტი შემცველობაა;  
 (- Δ) - საცდელ ნიმუშში ნაერთის ნაკლები შემცველობაა.

ნაშრომში ხაზგასმულია, რომ ბუნებრივი ქანის შედეგნილობის გარდა, თვსებებს მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს მისი მინერალოგიური შედეგნილობა, რაც განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ალუმინოსილიკატური შედეგნილობის (მაგ., თიხები, მინდვრის შპატები და სხვ.) ნედლეულის თერმული დამუშავების შემთხვევაში. აღნიშნულის მიზეზი – მათში არსებული მინერალების ხშირად შეუქცევადი გარდაქმნები ხდება (მინერალების დაშლა ან ლღობა, მათი მონაწილეობით მყარფხური რეაქციების მიმდინარეობა და სხვ.).

ყვარლის ფიქალთან მიმართებაში ჩატარებული მინერალოგიური შესწავლა (მათ შორის საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში) ძირითადად განხორციელდა პეტროგრაფიული შესწავლის და რენტგენოფაზური კვლევის მეთოდებით. ფიქლის შესწავლის ძირითადი შედეგები იმაზე მიუთითებს, რომ ფიქალი არის კლფდოვანი ნაშალი ქანი და ბუნებრივ მდგომარეობაში ის წარადგენს წვრილმარცვლოვანი ზონალური აგებულების თიხაფიქალს და მასში მრავალი სახის მინერალებია წარმოდგენილი. მინერალებიდან მაღალი შემცველობით გამოირჩევიან კვარცი და პლაგიოკლაზი - დედამიწის ქერქის შიდა შრეების მთავარი ქანწარმომქმნელი მინერალები. რაოდენობრივად მნიშვნელოვან მომდევნო შემადგენლებს ქლორიტების ჯგუფის მინერალები წარმოადგენენ: მაგნიუმის, რკინის და ალუმინის ოქსიდების შემცველი ნაერთები, რომლე-

ბიც მეტამორფული ქანების წარმომქმნელებად მიიჩნევიან. ფიქალში მცირე რაოდენობით წარმოდგენილია კალიუმის მინდვრის შპატის კრისტალები, რომლებიც რკინაშემცველ მინერალების (მაგნეტიტი, პირიტი, მაგელიტი, გარცენიტი) მსგავსად ძირითადად კრისტალური ჩანართებით არიან წარმოდგენილი.

ორგანული ბუნების ჩანართების არსებობა პრაქტიკულად ფიქლის ყველა სინჯში გამოვლინდა, მაგრამ მათი რაოდენობა ძალზე მცირეა და, როგორც წესი, ძალიან წვრილი ზოლების ან ცალკეული ჩანართების სახით განლაგდება.

ყვარლის ფიქლის მინერალოგიური შედგენილობის დადგენა რენტგენო-ფაზური ანალიზით სრულ სურათს არ იძლევა და პეტროგრაფიულ შესწავლასთან თანხვედება მხოლოდ კვარცის, მინდვრის შპატის, თიხოვანი მინერალების არსობით განისაზღვრება, მაგრამ ვერ დადგინდა რკინაშემცველი მინერალების რაობა, რაც ძალზე მნიშვნელოვანია ფიქლის აფუების პროცესის პროგნოზირება-ახსნისათვის.

თერმული ანალიზით დადგენილ იქნა, რომ ყვარლის ფიქლის თერმოდამუშავებისას მიმდინარეობს გარდაქმნები, რომლებიც 500 – 800°C-იან ინტერვალში ფიქსირდებიან. აღნიშნული ინტერვალის სრულად ემთხვევა ჰიდროალუმინსილიკატების და რკინის ოქსიდთა გარდაქმნებს, მაგრამ რენტგენოფაზური ანალიზით ფიქსირდება სხვა შესაძლო გარდაქმნები, რომლებიც ამორფული ფაზის წარმოქმნას განსაზღვრავენ. თერმული დამუშავება ასევე ცვლის ყვარლის ფიქლის ნატეხების ზედრაპირულ შეფერილობას, რომელიც 600°C და უფრო მაღალ ტემპერატურებზე შეინიშნება. თერმული დამუშავებისას წარმოქმნილი ფერთა გამმას (მურა ფერი, ჩალიფერი, მოყავისფრო-მოწითალო, მუქი ყავისფერი, შავი ფერი), რკინის ოქსიდთა ტემპერატურულ გარდაქმნას უნდა უკავშირდებოდეს.

საქართველოს სამეცნიერო ცენტრებში და ასევე სტუ-ში ჩატარებული კვლევების საფუძველზე, ყვარლის ფიქლის, როგორც პერსპექტიულად მიჩნეულ სანედლეულო ქანზე, შემდეგი ზოგადი ხასიათის შეჯერებული შეფასება შეიძლება გაკეთდეს:

- ყვარლის ფიქალი წარმოადგენს ალუმინსილიკატურ, ქიმიური და მინერალოგიური შედგენილობით რთულ, მაგრამ ძირითადად ერთგვაროვან მასალას;

- თერმული დამუშავება 800°C-ზე უფრო მაღალ ტემპერატურებზე იწვევს ყვარლის ფიქლის ღრმა სტრუქტურულ გარდაქმნას და აფუებას. ზღვრულ ტემპერატურად შეიძლება მიჩნეულ იქნას 1300°C, როდესაც ფიქალი ინტესიურ ლხობას იწყებს, ხოლო აფუების პროცესი შენელდება;

- ყვარლის ფიქლის შედგენილობაში წარმოდგენილი რკინაშემცველი ოქსიდური, შპინელისებრი და სხვა სახის ნაერთები, რომლებიც ჰიდროალუმინსილიკატების მსგავსად, სახეცვლილებას განიცდიან 500°C-ზე ზემოთ თერმოდამუშავების პროცესში;

- რკინის ნაერთთა მოსალოდნელი თერმოგარდაქმნები დასტურდება ყვარლის ფიქლის მარცვლების ზედაპირის ფერთა შესამჩნევი ცვლით და მის მიერ გამოვლენილი აფუებისადმი მიდრეკილებით.

### **ორგანული ბუნების ტექნოგენური ნარჩენების გავლენა ყვარლის ფიქლის დინამიკური რეჟიმით ჩატარებულ თერმოაფუებაზე**

წინამორბედი სამუშაოებით და მათ შორის სტუ-ში ჩატარებული კვლევებით დადასტურდა ყვარლის ფიქლის აფუების შესაძლებლობა 1200 – 1300°C ინტერვალში, შესწავლილი იქნა ბუნებრივი ქანის მარცვლების ზომის გავლენა აფუების პროცესზე და აღნიშნულის საფუძველზე შედგენილი იქნა შესაბამისი ტექნოლოგიური სქემა. შემუშავებული ტექნოლოგიით საჭიროდაა მიჩნეული ორი ურთიერთკავშირში მყოფი პროცესების ჩატარება: ყვარლის ფიქლის ფირფიტოვანი ნატეხების მსხვრევა და მსხვრევის პროცესში წარმოქმნილი ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციის გამოყოფა ნაყარის (ნარჩენის) სახით. რაც როგორც შემუშავებული, ასევე ნებისმიერი ტექნოლოგიური პროცესის ნაკლოვანებად შეიძლება ჩაითვალოს. ამ მხრივ ფიქლის აფუების შემუშავებული ტექნოლოგია გამონაკლისი არ არის, რადგან სხვა მსგავს ტექნოლოგიებში (მაგ.,

თიხების თერმო აფუებით მიღებული კერამიტი) იგივე აუცილებლობა დგება. ნედლეულის წმინდაფრაქციული შემადგენლის ტექნოლოგიური პროცესებიდან გამორიცხვის მიზეზი, როგორც აღინიშნა, არის თერმოდამუშავების პროცესში მცირე ზომის მარცვლების ნაადრევი შეცხობა და ლღობა, რაც ხელშემშლელი ფაქტორია მსხვილმარცვლოვანი ფრაქციების პროცესისათვის.

აღნიშნულმა მიზანშეწონილად გახადა 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის თერმოაფუების პროცესის შესწავლა, რომლის საბოლოო მიზანს მისგან ფოროვანი, სამრეწველო დანიშნულების მასალების მიღების შესაძლებლობის დადგენა წარმოადგენდა. კვლევის ჩატარების წინაპირობა განისაზღვრა იმ გარემოებით, რომ არსებული მონაცემების საფუძველზე ყვარლის ფიქლის თერმოაფუების განმსაზღვრელი ფაქტორი – მასში რკინის ოქსიდურ ნაერთთა არსებობაა. ასეთ ნაერთებს უნარი შესწევთ მრავალმხრივი მონაწილეობა მიიღონ აფუების პროცესში. აღნიშნულის განმსაზღვრელი რკინის ვალენტურ-კოორდინაციული მდგომარეობა უნდა ყოფილიყო, რაც უშუალო კავშირშია თერმული დამუშავების ტემპერატურაზე და გარემოზე. აქედან გამოიკვეთა კვლევის ობიექტი: ყვარლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციებით და ორგანული დანამატებით შედგენილი კომპოზიციები.

ორგანული დანამატების სახეობათა შერჩევას მნიშვნელოვნად იქნა მიჩნეული ეკონომიკური ფაქტორი-დანამატის ხელმისაწვდომობა და ფასი. ასეთი მიდგომით დანამატად აღებული იქნა: ამორტიზირებული სამანქანო ზეთი, ნახერხი და ქვანახშირის წვრილმანი.

კვლევის საწყისი ეტაპი მიზნად ისახავდა წვრილმარცვლოვან ყვარლის ფიქლის აფუებაზე ორგანული დანამატის გავლენის დადგენას. კვლევა ჩატარდა ნარევებზე, რომელთა შემადგენელ ინგრედიენტებს წარმოადგენენ:

- სხვადასხვა ფრაქციულობის (0,5 – 1, 1 – 2, 2 – 3, 3 – 5 მმ მარცვლები) ყვარლის ფიქალი;
- ორგანული ბუნების ტექნოლოგიური სამი განსხვავებული დანამატი (დანამატის რაოდენობა 1-დან 5%-მდე, ბიჯი 1%).



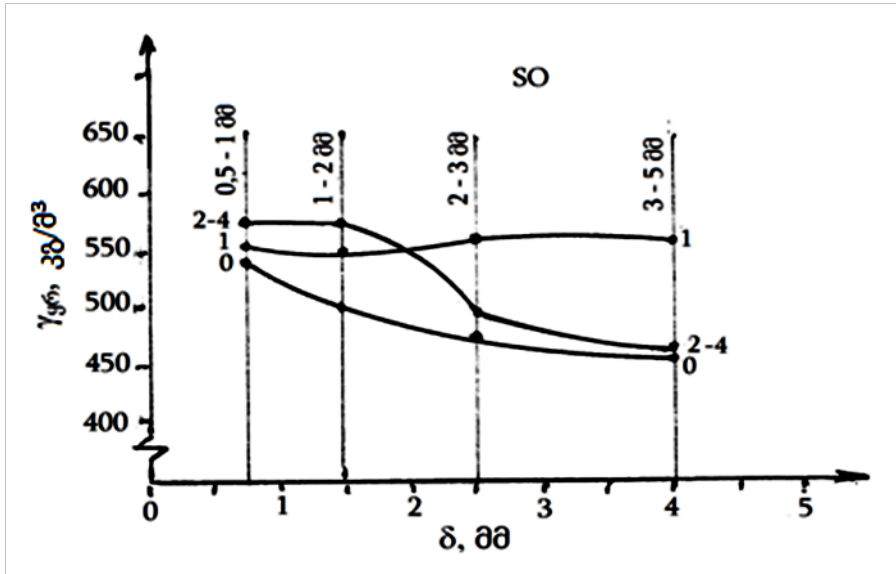
შედგენილი ნარეგების თერმული დამუშავება ჩატარდა ტემპერატურათა უწყვეტი ზრდის რეჟიმით (დინამიკური რეჟიმი), როდესაც ლუმელში ტემპერატურათა ზრდის სიჩქარე  $10^{\circ}\text{C}/\text{წთ}$  შეადგენდა. თერმოდამუშავების მაქსიმალური ტემპერატურა განისაზღვრა  $1200^{\circ}\text{C}$ -ით, როდესაც აღნიშნულ ტემპერატურაზე დაყოვნების დრო 10-15 წუთს შეადგენდა.

დანამატად აღებული სამი სახის ორგანული ნივთიერებებიდან შედგენილი იქნა სამი სახის კომპოზიცია:

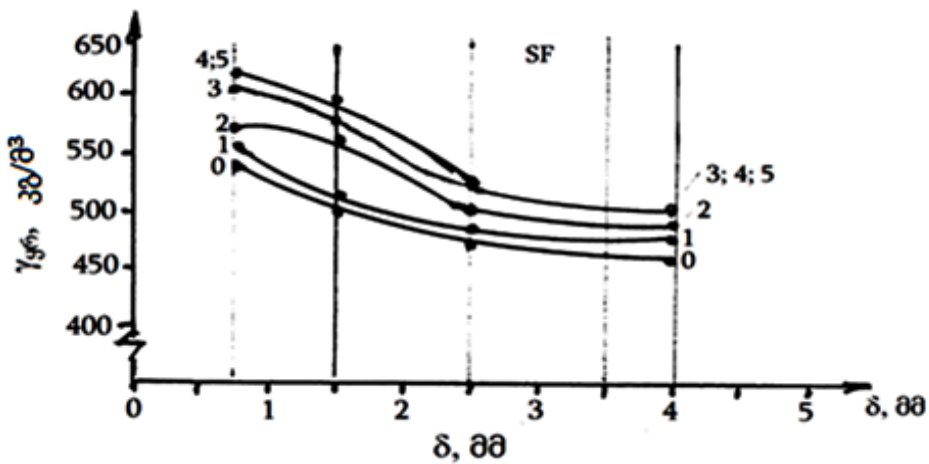
- ფიქალი + ზეთი (სერია SO)
- ფიქალი + ნახერხი (სერია SF)
- ფიქალი + ნახშირი (სერია SC).

ტემპერატურის აწევის დინამიკური რეჟიმის პირობებში, ოთხი სხვადასხვა ფრაქციულობის ფიქალის აფუებაზე ორგანული დანამატების გავლენა წარმოდგენილია ნახ.2-ნახ.4-ზე. გრაფიკულ მასალაზე შესაბამისი სერიის მრუდის ამსახველი რიცხვი (ნომერი) აღნიშნავს ნარეგში წარმოდგენილი დანამატის რაოდენობას (0-„სუფთა“ ფიქალი, 1, 2, 3, 4, 5 - შესაბამისი დანამატის რაოდენობას წონ.%-ში ფიქლის 100 წონ.%-ს ზევით).

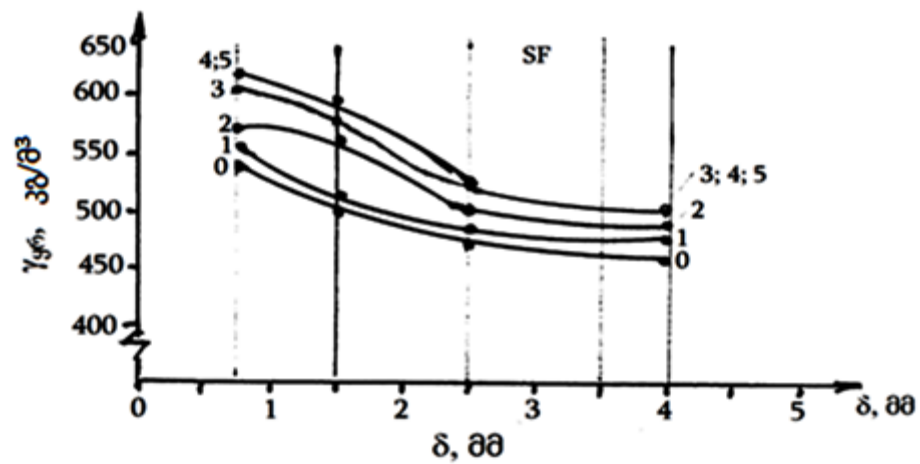
ექსპერიმენტით მიღებული შედეგების მიხედვით, ორგანული დანამატის სახეობის და რაოდენობის გავლენა ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვან ფრაქციების აფუების ხარისხზე განსხვავებულია, მაგრამ ზოგადად დაფიქსირდა შემდეგი სახის კანონზომიერება: ყვარლის ფიქლის ფრაქციულობის ზრდა ამცირებს ნაყარი სიმკვრივის მნიშვნელობებს, მაგრამ ორგანული დანამატის რაოდენობის ზრდა, პირიქით, ზრდის მიღებულ ფოროვან მასალათა სიმკვრივეს (ნახ. 1-3). მიღებული შედეგების საფუძველზე დადგინდა, რომ ყვარლის ფიქლის მთელი სპექტრისათვის (0,5 – 5 მმ) დანამატის ეფექტურობის დონე შემდეგ მწკრივით შეილება ჩაიწეროს:  $S \rightarrow SO \rightarrow SF \rightarrow SC$ , რაც მიუთითებს, რომ უკეთესად აფუვდება ნედლი ფიქალი, ხოლო ყოველგვარი ორგანული დანამატი (თერმული დამუშავების დინამიკური ხერხით აფუებისას) ამცირებს აფუების პროცესის წარმართვის პროცესს. ექსპერიმენტით კიდევ ერთი თავისებურება გამოავლინდა: SO-სერიის შედგენილობათა აფუებით



ნახ. 1. ზეთის დანამატის რაოდენობის გავლენა დინამიკური რეჟიმით აფუებული ყვარლის მოცულობით სიმკვრივეზე



ნახ. 2. ნახერხის დანამატის რაოდენობის გავლენა დინამიკური რეჟიმით აფუებული ყვარლის ფიქლის მოცულობით სიმკვრივეზე



ნახ. 3. ნახშირის დანამატის რაოდენობის გავლენა დინამიკური რეჟიმით აფუებული ყვარლის ფიქლის მოცულობით სიმკვრივეზე

(დანამატი ზეთი) - მკვრივად შეცხობილი, მაგრამ SF და SC სერიათა შემთხვევაში (დანამატი, შესაბამისად, ნახერხი და ნახშირი) ძირითადად ფხვიერი სახის მასალა მიიღება, რაც შეიძლება აიხსნას ზეთის დანამატის მოსალოდნელი ნაადრევი ამოწვით ნარევიდან, როდესაც ნახერხის და ნახშირის წვის შედეგად მყარი ნაცრის წარმოქმნა შესაძლებელია, რომელიც ფიქლის მარცვლების აგრეგატებად შეცხობის ხელშემშლელი პირობა შეიძლება ყოფილიყო.

სამივე (SO, SF, SC) კომპოზიციათა თერმოაფუებით მიღებულ ფოროვან მასალებს განესაზღვრთ სიმტკიცე კუმშვაზე ( $\sigma$ ) და დადგინდა მათი მოცულობითი წონა ( $\gamma_{gr}$ ), ფრაქციულობის ( $\delta$ ) და დანამატის რაობის ურთიერთდამოკიდებულება: რაც მეტია მარცვლების ზომა და მოცულობითი მასა, მით უფრო მაღალი სიმტკიცის ( $\sigma$ ) მაჩვენებლებით ხასიათდებიან მიღებული ფოროვანი მასალები (ცხრ. 2).

ცხრილი 2. ოპტიმალური ნარევიდან მიღებული აფუებული მშრალი მასალების ნაყარი მოცულობითი წონები და სიმტკიცე კუმშვაზე

მასალის ინდექსი	მშრალი აფუებული მასალის მოცულობითი წონები ( $\gamma_{gr}$ , კგ/მ <sup>3</sup> და სიმტკიცე კუმშვაზე ( $\sigma^1$ , მპა)							
	ფრ. 0,5 – 1 მმ		ფრ. 1 – 2 მმ		ფრ. 2 – 3 მმ		ფრ. 3 – 5 მმ	
	$\gamma_{gr}$	$\sigma^1$	$\gamma_{gr}$	$\sigma^1$	$\gamma_{gr}$	$\sigma^1$	$\gamma_{gr}$	$\sigma^1$
S	540	8,2	500	7,9	475	7,2	460	6,7
SO-2	560	9,9	550	9,8	490	7,7	480	7,5
SF-4	620	12,4	595	11,3	525	8,9	505	6,2
SC-4	595	13,3	595	13,2	525	9,1	495	7,9

მიღებული ფოროვანი მასალების კიდევ ერთი მახასიათებელი თვისება – წყალმედეგობა დადგენილი იქნა უკვე წყლით გაჯერებული აფუებული ფიქლის სხვადასხვა ფრაქციულობის მარცვლებისათვის კუმშვაზე სიმტკიცის ( $\sigma$ ) შესწავლით და წყალმედეგობის განმსაზღვრელი კოეფიციენტის ( $K_{გრ.}$  - გარბილების კოეფიციენტი) გათვლით:  $K_{გრ.} = \sigma'' / \sigma'$  (ცხრ. 3).

მიღებული შედეგების საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ „ყვარლის ფიქალი-დანამატი“ შესწავლილ კომპოზიციებში შესაძლებელია მაღალი სიმტკიცით (6,7-13,3 მპა) და წყალმედეგობით ( $K_{გრ.}$  მეტია ოპტიმალურად მიჩნეულ 0,75 მნიშვნელობაზე) გამორჩეული მასალების მიღება.

ცხრილი 3. ოპტიმალური ნარევიდან მიღებული აფუებული და წყლით  
გაჯერებული მასალების სიმტკიცე კუმშვაზე და გარბილების  
კოეფიციენტის სიდიდეები

მასალის ინდექსი	წყლით გაჯერებული აფუებული მასალების სიმტკიცე კუმშვაზე ( $\sigma^*$ , მპა) და გარბილების კოეფიციენტის ( $K_{გარბ.}$ ) სიდიდეები							
	ფრ. 0,5 – 1,0 მმ		ფრ. 1 – 2 მმ		ფრ. 2 – 3 მმ		ფრ. 3 – 5 მმ	
	$\sigma^*$	$K_{გარბ.}$	$\sigma^*$	$K_{გარბ.}$	$\sigma^*$	$K_{გარბ.}$	$\sigma^*$	$K_{გარბ.}$
S	6,8	0,83	5,9	0,76	5,2	0,72	4,7	0,70
SO-2	8,1	0,83	7,8	0,80	6,0	0,78	5,6	0,75
SF-4	10,4	0,84	10,0	0,81	6,9	0,79	6,2	0,76
SC-4	11,3	0,85	10,8	0,82	11,4	0,80	6,1	0,76

ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციებისაგან და სამი სახის ტექნო-გენური დანამატის - ზეთის, ნახერხის და ნახშირის გამოყენებით შედგენილი ნარევების აფუებით დადგინდა, რომ აფუების პროცესის ტემპერატურის უწყვეტი ანუ დინამიკური ზრდის პირობებში:

- ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების აფუების პროცესზე გავლენას ახდენს როგორც ფიქლის მარცვლების გრანულომეტრია, ასევე ორგანული ბუნების ტექნოგენური დანამატის სახეობა;
- ყვარლის ფიქლის აფუებისადმი მიდრეკილებას ზრდას განსაზღვრავს მისი მარცვლების ზომა, ხოლო დანამატებიდან საუკეთესო შედეგი მიიღწევა ნახშირის წვრილმანის გამოყენებით; ამ უკანასკნელის ოპტიმალური რაოდენობა 3 – 4%-ს ზღვრებშია;
- ორგანული დანამატების გამოყენებით მიიღება სასურველი სიმტკიცის და წყალმედველობით გამორჩეული მასალა;
- დანამატად ნახშირის წვრილმანის გამოყენებას შემდეგი დადებითი მხარეები აქვს - ის კარგად ერევა (ნახერხთან შედარებით) ფიქალს და ნა-ადრევად არ ამოიწვება (ზეთის მსგავსად) ნარევების თერმული დამუშავების პროცესის ჩატარებისას.

მიღებული დამამუშავებელი შედეგებიდან გამომდინარე, შემდგომი კვლევა გაგრძელდა ფიქალის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციებითა და ნახშირის წვრილმანის საფუძველზე შედგენილ ნარევებზე, მათი თერმული აფუებით და რიგ მახასიათებელ თვისებათა დადგენით. იმ პირობის გათვალისწინებით, რომ აფუებული მასალების მიღების საწარმოო ტექნოლოგია მოითხოვს დოლისებრი მბრუნავი ღუმელების

გამოყენებას, რომლებშიც საწყის მასალას უშუალოდ მაღალტემპერატურულ გარემოში უწევს მოხვედრა, მომდევნო ექსპერიმენტი უკვე თერმული დამუშავების სტატიკური რეჟიმით ჩატარდა.

### **ტექნოგენური ნარჩენების გავლენა ყვარლის ფიქლის სტატიკური რეჟიმით ჩატარებულ თერმოაფუებაზე**

ექსპერიმენტი ჩატარდა 0,5-დან 5 მმ-მდე მარცვლების ზომის მქონე ყვარლის ფიქალზე, როდესაც დანამატად გამოყენებული იქნა ორი განსხვავებული ბუნების მასალა - ქვანახშირის წვრილმანი და დოლომიტი. დანამატად დოლომიტის შერჩევას მხედველობაში იქნა მიღებული ის გარემოება, რომ მას ახასიათებს დისოციაციის უნარი ფართო ტემპერატურულ ინტერვალში, რასაც შეეძლო ხელი შეეწყო ფიქლის აფუების პროცესისათვის, რომლის წარმართვა შესაძლებელია 950°C-ზე ზევით. გარდა აღნიშნულისა, დოლომიტის შედგენილობაში წარმოდგენილ  $\text{CaO}$  და  $\text{MgO}$ -ს, გარკვეულწილად შეეძლო მაღლობლის ფუნქცია გამოევიდინა ისეთი ალუმინოსილიკატური ბუნების მასალასთან მიმართებაში, როგორც ფიქალია და ამით ხელი შეეწყოთ მისი პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში უფრო დაბალ ტემპერატურაზე გადასვლისათვის.

შედგენილი კაზმების თერმული დამუშავება განხორციელდა სტატიკური რეჟიმით, რაც ითვალისწინებდა ცხელ ღუმელში შამოტის ან ლითონის ჭურჭელში ჩაყრილი ნარევების მოთავსებას. ღუმელში ტემპერატურა 1200 – 1250°C-ს შეადგენდა და ამ ტემპერატურაზე. 10 – 15 წუთიანი დაყოვნების შედეგად მიღებული ფოროვანი მასალა ცივდებოდა ოთახის ტემპერატურაზე. მოცულბითი წონის განსაზღვრისათვის აფუებული მასალა საცრითი ანალიზით 0,5-დან 5 მმ-მდე ფრაქციებად იყოფოდა.

კვლევაში გამოყენებულ ნარევებში ფიქალს 100 წონ.%-ს ზევით ემატებოდა ხუთ-ხუთით წონ. % ქვანახშირის წვრილმანი ან  $\text{N}_2$  საცერში გასული დოლომიტი. თერმოდამუშავებით მიღებული მასალების მოცულობით მასებთან მიმართებაში ჩატარებული კვლევით დადგინდა, რომ 0 – 10 მმ ფრაქცი-

ულობის (მარცვლების ზომით) აფუებული მასალებისათვის შესაძლებელია 350-დან 840-მდე (დოლომიტშემცველი ნარევი) ან 280-დან 650-მდე კგ/მ<sup>3</sup> (ნახშირის დამატებით) ნაყარი მოცულობითი მასის ფოროვანი მასალების მიღება. ექსპერიმენტის შედეგებიდან გამომდინარე შეიძლება შემდეგი სახის ზოგადი სახის დასკვნის გაკეთება: ნახშირის წვრილი მინის გავლენა ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესზე, დოლომიტზე უფრო ეფექტურია( ცხრ. 4).

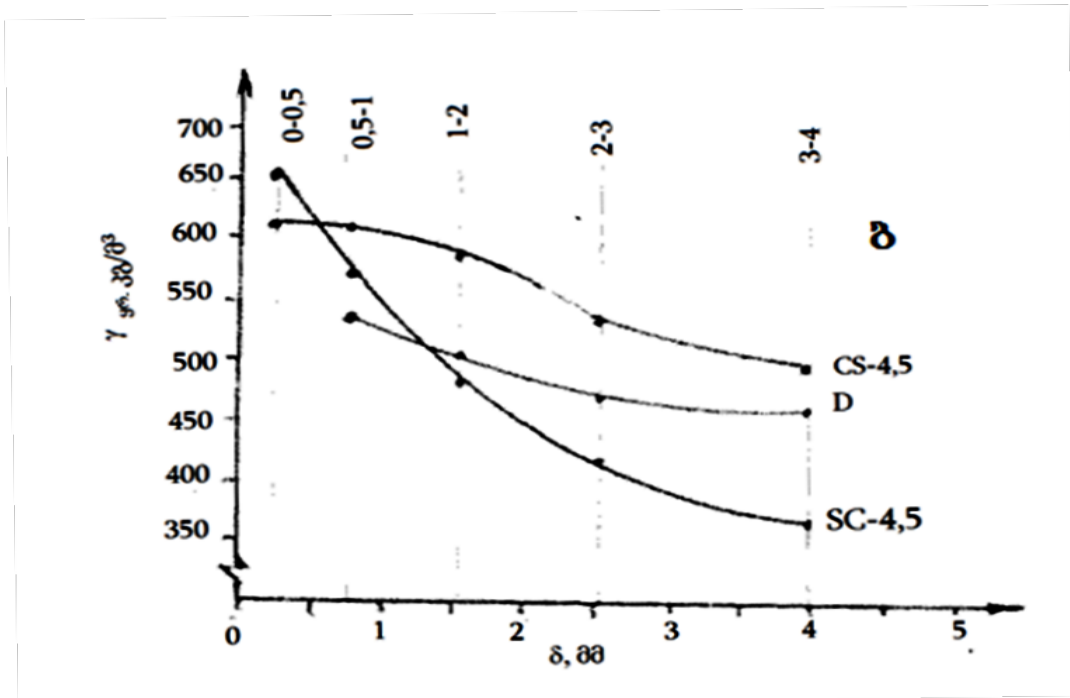
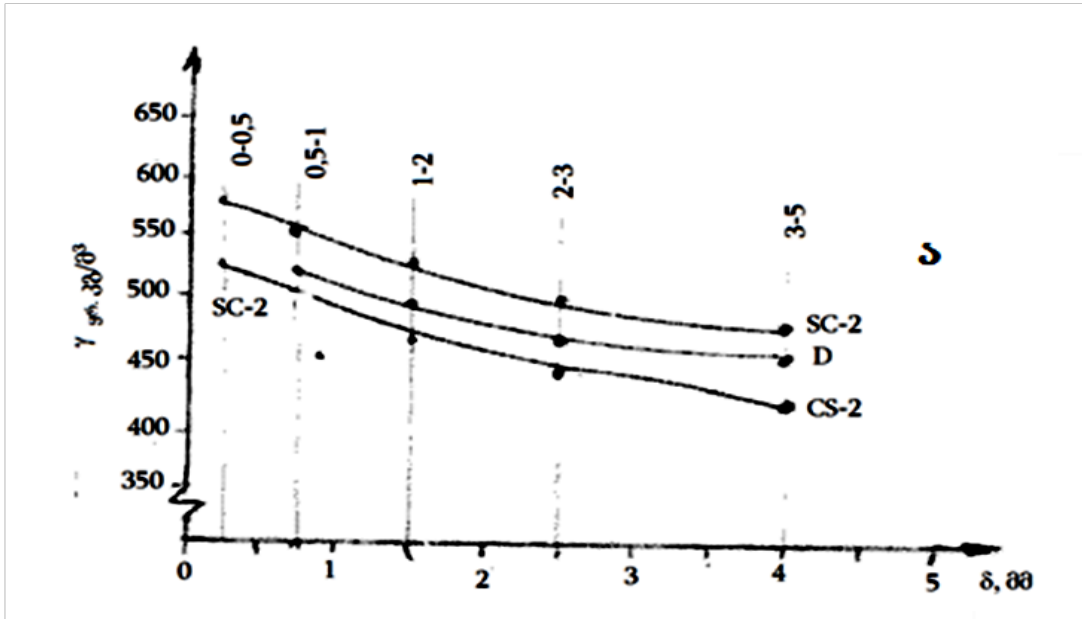
ცხრილი 4. ყვარლის ფიქლისა და დანამატებისაგან (5-5% ქვანახშირი ან დოლომიტი) შედგენილი კაზმის აფუებით მიღებული ფოროვანი მასალების ნაყარი მოცულობითი მასა

აფუებული მასალის ფრაქციულობა, მმ	ნაყარი მოცულობითი წონები, კგ/მ <sup>3</sup> (გასაშუალოებული მნიშვნელობა)	
	დოლომიტის დამატებით	ქვანახშირის დამატებით
5 – 10	350	280
3 – 5	440	315
1 - 3	615	450
0,5 – 1	710	570
< 0,5	840	650

მიღებული შედეგების და ხელოვნურ ფოროვან მასალათა შესახებ არსებული ნორმატიული დოკუმენტის (სტ. 32496 – 2013) საფუძველზე გაკეთდა შეფასება, რომლის თანახმად, დოლომიტის და ასევე ქვანახშირის დამატებით, შესაძლებელია ყვარლის ფიქლიდან პრაქტიკულად გამოყენებადი ფოროვანი მასალების მიღება (ცხრ. 5.).

ცხრილი 5. კერამზიტის და აფუებული ფიქლის თვისებათა შედარებითი მონაცემები

მასალის ფრაქციები და მარცვლების ზომა, მმ	ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>			სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა		
	კერამზიტის მახასიათებლები		აფუებული ფიქალი	კერამზიტის		აფუებული ფიქალი
	მარკა*	მოცულობითი სიმკვრივე	მოცულობითი სიმკვრივე	მარკა*	სიმტკიცე	სიმტკიცე
ქვიზა (< 5 მმ)	M400	350-400	410 - 450	Π 200	4,5 – 5,5	5,1 – 5,6
	M450	400-450		Π 250	5,5 – 6,5	
	M500	450-500		Π 300	6,5 – 8	
ხრეში (5-10 მმ)	M600	500 – 600	510 - 595	Π350	8 – 10	9,2 – 10,8
	M700	600 - 700		Π 450	>10	



ნახ. 4. ყვარლის ფიქლის 2(ა) ან 5%-იანი (ბ) ნახშირის დამატებით შედგენილი ნარეგების აფუებით მიღებული მასალების მოცულობითი სიმკვრივე.

მიღებული შედეგების გათვალისწინებით შედგენილი იქნა ფიქალი-ნახშირი ნარეგები, როდესაც ფიქალის 100 მას.%-ს 1%-ანი ბიჯით ემატებოდა 1-დან 5 მას. %-მდე ნახშირის წვრილმანი. აფუების პროცესი ჩატარდა 1250°C-ზე, საკვლევი ნარევის ლუმელში შეტანით და აღნიშნულ ტემპურატურაზე 10 წუთიანი დაყოვნებით. ე.ი. სტატიკური თერმოდამუშავების რეჟიმის გამოყენებით. მიღებული ფოროვანი მასალების ფრაქციებად დაყოფის შემდეგ განისაზღვრა ნაყარი

მოცულობითი მასა. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ნახ.4-ზე სადაც შედარების მიზნით მოყვანილია გრაფიკული მასალა, რომელიც ასახავს წარმოდგენილია საწყისი ნედლეულის (D), სტატიკური (SC) და დინამიკური (CS) თერმოდამუშავებით მიღებული აფუებული მასალების გრანულომეტრიის (δ) გავლენას ფოროვანი მასალების მოცულობით სიმკვრივეზე (γ<sub>ფრ.</sub>). დადგინდა, რომ აფუების პროცესის ძირითადი განმსაზღვრელი ორი პირობაა - მისი თერმული დამუშავების რეჟიმი და ფოროვან მასალათა გრანულომეტრია. კერძოდ, სტატიკური რეჟიმით მიიღება უფრო დაბალი მოცულობითი სიმკვრივის (γ<sub>ფრ.</sub>) მასალები (მრუდები CS, ნახ. 4). სიმკვრივის მნიშვნელობებს თერმოაფუების რეჟიმის ორივე სახეობისათვის ასევე განსაზღვრავს აფუებული მასალების მარცვლების ზომა (δ), რაც 2 და 5% ნახშირის შემცველობისათვის ნახ.4-ზე წარმოდგენილი CS და SC მრუდების სვლით აისახა. დადგინდა, რომ თერმოდამუშავების სტატიკური რეჟიმის გამოყენებით, ნახშირის დამატება ცვლის აფუების ხარისხს მისი შემცველობის 4 წონ. %-მდე, ხოლო ნახშირის წვრილმანის რაოდენობის შემდგომი ზრდის შემთხვევაში შედეგები სტაბილურდება და უცვლელი რჩება.

### **ტექნოგენური ნედლეულის საფუძველზე მიღებული ფოროვანი მასალების მახასიათებელი თვისებების დადგენა და მათი სამშენებლო საქმეში გამოყენების შესაძლებლობის შესწავლა**

თვისებათა შესწავლა ჩატარდა სამი სახის მასალას: საწყის ბუნებრივ ქანს, დინამიკური და სტატიკური თერმოდამუშავებით მიღებულ ფოროვან მასალებს. თვისებათა შედარებითი შესწავლა განხორციელდა მასალებისათვის, რომელთა საწყისი ნარევი შეიცავდა წმინდაფრაქციულ ( $\delta < 2$  მმ) იმ პირობისათვის, რომ 100 წ.ნ/ ფიქალს ემატეოდა 4 წ.ნ. ნახშირი. სტატიკური თერმოდამუშავება ჩატარდა 1250°C-ზე (15 წუთიანი დაყოვნება), ხოლო დინამიკური 1200°C-ზე (დაყოვნება 10 წთ). აფუებით მიღებული მასალიდან საცრითი ანალიზით გამოიყო ქვიშის, ხრეშის და თორღის ფრაქციები, რომლებიც შემდგომ კვლევებში იქნა გამოყენებული. სხვადასხვა რეჟიმებით ჩატარებული აფუებით მიღებულ



მასალათა თვისებების შესწავლით მიღებული შედეგები წარმოდგენილია მე-6 ცხრილში.

ცხრილი 6. ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების გამოყენებით მიღებული ფოროვანი მასალების მახასიათებელი თვისებები

N	მახასიათებელი თვისებები	განზ. ერთ.	აფუებული ყვარლის ფიქლის ქვიშა (ხრეში) ფრაქციები	თერმოდამუშავების რეჟიმი და მასალათა სახეობა	
				დინამიკური	სტატიკური
				ქვიშა (ხრეში)	ქვიშა (ხრეში)
1	მასალის ფრაქციულობა	მმ	0 – 5 (5 – 10)	0 – 5 (5 – 10)	0 – 5 (5 – 10)
2	ნაყარი სიმკვრივე (საშუალო მოცულობითი მასა)	კგ/მ <sup>3</sup>	550 (1220)	595 (510)	450 (410)
3	აფუების კოეფიციენტი	-	x (x)	(უარყოფითია) (2,2)	1,2 (2,9)
4	წყალშთანთქმა (საშუალო)	%	37 (22)	9 (16)	24 (20)
5	სიმტკიცე კუმშვაზე (ფარდობითი)	მპა	13,8 (4,9)	10,8 (5,6)	9,2 (5,1)
6	წყალმდეგობა (გარბილების კოეფიციენტი)	-	> 0,9 (> 0,9)	> 0,75 > 0,75	> 0,70 > 0,70

ფორიანობის განისაზღვრით დადგინდა, რომ აფუებულ მასალათა ფორიანობა დამოკიდებულია მასალის მიღების ხერხზე:

- სრული (ჭეშმარიტი) ფორიანობა შეადგენს დაახლოებით 75% დინამიკური რეჟიმით, ხოლო 77 %-ს სტატიკური რეჟიმით მიღებული მასალებისათვის;
- მოჩვენებითი (ღია) ფორიანობა შეადგენს დაახლოებით 4 %-ს დინამიკური და 8 %-ს სტატიკური რეჟიმით მიღებული მასალებისათვის;
- დახურული ფორიანობა შეადგენს (დაახლოებით):  
71 %-ს (დინამიკური რეჟიმით თერმოაფუებული მასალა) და  
69 %-ს (სტატიკური რეჟიმით თერმოაფუებული მასალა).

მონაცემთა შედარებამ აჩვენა, რომ ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული აფუებული ფიქლის მახასიათებლები სრულ შესატყვისობაშია პრაქტიკულად გამოყენებადი კერამზიტის პარამეტრებთან (სტ. 32496 – 2013).

თვისებათა შესწავლით მიღებული დამაიმედებელი შედეგების გათვალისწინებით ჩვენს მიერ ჩატარდა აფუებული ყვარლის ფიქლების გამოცდა მსუბუქი ბეტონის შემსვებლის სახით, მათი გამოყენების შესაძლებლობის დასადგენია. ლაბორატორიული კვლევისათვის თიხაფიქალი აღებული იქნა ორი გრანულომეტრიის მარცვლების სახით:

ხრეში: 5 – 10 მმ (გამოყოფილი საცრითი ანალიზით);

ქვიშა: 0 – 5 მმ (ხელოვნურად შედგენილი 3 – 5, 1 – 3 და < 1 მმ ფრაქიულობის მასალიდან, მათი თანაფარდობის 1 : 1 : 1 პირობისათვის) შემკვრელად გამოყენებული იქნა ცემენტი M 400.

შედარებითი შედეგების მისაღებად, პარალელურად კვლევა ჩატარდა ცნობილი ბუნებრივი ფოროვანი მასალის - პემზის გამოყენებით. პემზის მომზადება მოიცავდა მათი ნატეხების დაქუცმაცებას და ფოროვანი ფიქლის მსგავსად ფრაქციებად დაყოფას. აფუებული ფიქლის და ბუნებრივი პემზის საფუძველზე შედგენილი იქნა ბეტონის ნარევები, რომელთა შემადგენლობა მოყვანილია მე -7 ცხრილში.

ცხრილი 7. აფუებული ფიქალის(ფ) და ბუნებრივი პემზის (პ) საფუძველზე შედგენილი ნარევების შედგენილობა (მას. %)

ნარევის აღნიშვნა	ნარევი კომპონენტები და მათი სახეობა				ცემენტი M 400	წყალი, მლ
	ბუნებრივი პემზა		აფუებული ფიქალი			
	ქვიშა	ლორღი	ქვიშა	ლორღი		
პ - I	450	-	-	-	150	150
პ - II	225	225	-	-	150	130
პ - III	340	110	-	-	150	135
ფ - IV	-	-	450	-	150	150
ფ - V	-	-	225	225	150	140
ფ - VI	--	-	340	110	150	140

ცხრილში წარმოდგენილი რეცეპტების მიხედვით, საცდელ ბეტნებში კომპონენტთა თანაფარდობა შეადგენდა:

(პ - I) ან (ფ - I) – 1ც. : 3 ქვ.

(პ - II) ან (ფ - II) – 1ც. : 1,5 ღ : 1,5 ქვ.

(პ - III) ან (ფ - III) – 1ც. : 0,75ღ : 2,25 ქვ.

ოთხასიანი მარკის (M 400) ცემენტის, გარკვეული ფრაქციულობის აფუებული ფიქალის ან ბუნებრივი პემზის და წყლის საფუძველზე შედგენილი იქნა ბეტონის ნარევები, რომელთა რეცეპტების წინაპირობას შეადგენდა ბეტონის შემადგენლებს შორის დადგენილი თანაფარდობა, რომლებიც მოყვანილია მე-7 ცხრილში და მის თანმხლებ პირობებში. ლაბორატორიულ პირობებში დამზადებული იქნა 5×5×5 სმ ზომის შემსუბუქებული ბეტონის საცდელი კუბები (ნიმუშები) – შესაბამისი შედგენილობის ბეტონებიდან დამზადდა ორ-ორი ნიმუში.

დაყალიბებული ბეტონის კუბები (12 ერთეული) ფორმებთან ერთად გადანაწილ იქნა და 24 საათის განმავლობაში ინახებოდა ჰიდრავლიკურ საკეტიან სარეჟიმო კამერაში 20 ±1°C ტემპერატურის და 90 % ფარდობითი ტენიანობის პირობებში, ხოლო მომდენო 28 დღე-ღამე უკვე თერმორეგულირებად წყლიან აბაზანაში, 20 ± 1°C ტემპერატურაზე. 28 დღე-ღამის შემდეგ ჩატარდა ექვსივე სახეობის 12 ნიმუშის ტესტირება წყალშთანთქმაზე და სიმტკიცეზე. ტესტირების შედეგები წარმოდგენილია მე-8 ცხრილში, სადაც ასევე მოყვანილია მიღებული მასალების სიმკვრივეთა სიდიდეები.

ცხრილი 8. აფუებული ფიქალის (ფ) და ბუნებრივი პემზის (პ) საფუძველზე მიღებული ბეტონის კუბების ტესტირების შედეგები

ნიმუშის N	თვისებათა მნიშვნელობები		
	სიმკვრივე, გ/სმ <sup>3</sup>	წყალშთანთქმა, მას. %	სიმტკიცე კუმშვაზე, კგ/სმ <sup>2</sup>
პ - I	1,53	19,5	138,7
პ - II	1,49	20,1	132,6
პ - III	1,45	20,8	130,4
ფ - IV	1,36	21,6	127,3
ფ - V	1,26	23,4	122,5
ფ - VI	1,08	25,2	118,2

კვლევის მიმდინარე ეტაპზე, ტესტირების შედეგებიდან გამომდინარე, შესაძლებელი გახდა ზოგადი ხასიათის დასკვნების გამოტანა: აფუებული ყვარლის ფიქალიდან შესაძლებელია შემსუბუქებული ბეტონების მიღება. პემზაბეტონებთან შედარებით ისინი უფრო მსუბუქია (სიმკვრივეების დაბალი მნიშვნელობებით ხასიათდებიან), ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებლებით, აფუებული ფიქლის

გამოყენებით მიღებული ბეტონები თითქმის არ ჩამოუვარდებიან პემზო-ბეტონებს.

## დასკვნა

1. შესწავლილია წმინდაფრაქციული (5 მმ-მდე მარცვლების ზომით) ყვარლის ფიქლის აფუების შესაძლებლობა და თერმოაფუების პროცესზე სხვადასხვა ორგანული დანამატების და თბური რეჟიმების გავლენა;
2. დადგინდა, რომ ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესში ორგანული დანამატების (ამორტიზებული ზეთი, ნახერხი, ქვანახშირის წვრილმანი) გავლენა ინდივიდუალურია და განისაზღვრება დანამატის სახეობით და რაოდენობით;
3. ყვარლის ფიქლის წვრილმანისა და ტექნოგენური დანამატებიდან შედგენილი ნარევის აფუების ხარისხს განსაზღვრავს თერმული დამუშავების რეჟიმი-დინამიკური (ოთახის ტემპერატურიდან აფუების ტემპერატურამდე  $10^{\circ}\text{C}/\text{წთ}$  ზრდა) და სტიტიკური ( $1200 - 1250^{\circ}\text{C}$  თერმული დამუშავება 10-15 წუთიანი დაყოვნებით).
4. დადგინდა, რომ ყვარლის ფიქლის და თრგანული დანამატიანი ნარევის დინამიკური თერმოდამუშავებისას აფუების მაქსიმუმი მიიღწევა 2 მას.% ზეთის, 3-4 მას.% ნახშირის ან ნახერხის კაზმში შეყვანით;
5. აფუების პროცესების შესწავლით დადგინდა, რომ ნარევების დინამიკური თერმოდამუშავებით მიიღება დაბალფორიანი მასალები, რომელთა მოცულობითი მასა  $550-600 \text{ კგ/მ}^3$ -ა, რაც უფრო მაღალია ვიდრე ფიქლის მონოკაზმისათვის არის დამახასიათებელი ( $450-550 \text{ კგ/მ}^3$ );
6. დადგინდა, რომ ორკომპონენტიანი ნარევების აფუების უფრო მაღალ ხარისხს უზრუნველყოფს თერმული დამუშავების სტატისტიკური რეჟიმში ჩატარება, იმ პირობიდან გამომდინარე, რომ დანამატად

ქვანახშირის წვრილმანი გამოიყენება და მისი რაოდენობა არანაკლებ -4 მას.%-ს შეადგენს;

7. შესწავლილია ორივე სახის თერმოდამუშავების რეჟიმებით მიღებული ფოროვანი მასალების თვისებები და გაკეთდა ზოგადი დასკვნა, რომ მასალების თვისებებს განსაზღვრავს მათი მოცულობითი მასა და ფრაქციულობა - რაც ნაკლებია ფოროვანი მასალის ფრაქციულობა და მეტია ნაყარი მოპცულობითი წონა, მით უფრო მაღალი საექსპლოატაციო თვისებები მიიღწევა;
8. თერმული დამუშავების განსხვავებული რეჟიმებით მიღებულია ძირითად ქვიშის და ხრემის კლასიფიკაციის ფოროვანი მასალები, რომლებიც ხასიათდებიან დაბალი ნაყარი სიმკვრივით (400 – 600 კგ/მ<sup>3</sup>), მისაღები წყალშთანთქმით (9-24%), მაღალი წყალმედევობით (გარბილების კოეფიციენტი - 0,7-ზე მეტია) და გამორჩეული მექანიკური სიმტკიცით (5 – 13 მპა-კუმშვაზე გამოცდისას);
9. მიღებული ფოროვან მასალათა სტრუქტურული მოწყობის შესწავლით დადგინდა, რომ ფიქლიდან ფოროვან მასალათა მიღების თბოდამუშავების რეჟიმები უზრუნველყოფენ სხვადასხვა ფორიანობის მქონე ისეთ მასალათა მიღებას, რომელთა ჭეშმარიტი ფორიანობა 75-77% შეადგენს, ხოლო დახურული ფორების რაოდენობა 69-71%-ია.
10. დინამიკური და სტატიკური რეჟიმებით მიღებული მასალების თვისებათა ანალიზით და მსგავსი სახეობის პროდუქციის (მაგ., კერამზიტი) მიღების არსებულ ტექნოლოგიათა გათვალისწინებით, შესაძლებლადაა მიჩნეული ფოროვანი მასალის მიღება „წვრილმარცვლოვანი ფიქალი - ქვანახშირის წვრილმანი” ნარევიდან, მათი ერთსაფეხურიანი სტატიკური თერმოდამუშავებით, არსებული ტიპის მბრუნავ ღუმელებში (აფუება 1230±20°C, დაყოვნება 10 – 15 წთ);
11. ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული შესწავლით დადგინდა, რომ მიღებული ფორიანი მასალების ქვიშა-ხრემის ფრაქციებით შესა-

ძლებელია შემსუბუქებული ბეტონის (მოცულობითი წონა 1100 – 1530 კგ/მ<sup>3</sup> და სიმტკიცე კუმშვაზე 11,8 – 13,8 მპა) ნაწარმის მიღება.

#### დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში

1. Чеишвили Т.Ш., Джавашвили З.Г., Оманидзе Н.Ш. Пористые материалы на основе местных глинистых сланцев и их свойства. Химический журнал Грузии. Т.16, №1, 2016, с. 213 – 216
2. თ. ჭეიშვილი, ნ. ომანიძე. ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების აფუების პროცესის შესწავლა. კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები. ტ. 19, 2(38), 2017, გვ. 73 – 77.
3. ნ. ომანიძე, თ. ჭეიშვილი. წვრილმარცვლოვანი თიხაფიქალის აფუების ხარისხისა და მახასიათებელი თვისებების ურთიერთდამოკიდებულების საკითხისადმი. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი. ტ. 17, № 1, 2017 გვ.

#### დისერტაციის ძირითადი შედეგების აპრობაცია

ნ. ომანიძე. ყვარლის ფიქლის აფუებაზე ორგანული ბუნების დანამატების გავლენა. სტუდენტთა 85-ე ღია საერთაშორისო კონფერენცია. თბილისი, სტუ, 2017 წ.

## Abstract

Raised demands for energy carriers and at the same time stock reduction trends are considered as a major problem of contemporaneity. The above mentioned requires solution of variety of problems, among which according to their importance one can single out increase in efficiency of thermal insulation of enclosing structures and thermal generating units. In particular, there is on the agenda a task, which is directly connected to reduction of heat losses – minimization of heat quantity entering the atmosphere from the walls of industrial and domestic buildings, and from surfaces of thermal generating units, heating lines and other surfaces. It is considered that intended use of special heat insulating materials can secure 30% and more saving of heat and power resources that requires the use of special high-efficiency heat insulating materials. Basic part of heat insulating materials is represented by porous materials, which are characterized by low density (less than 600 kg/m<sup>3</sup>) and low thermal conductivity (doesn't exceed 0,18 Wt/g·K). Use of heat insulating materials makes possible achievement of not only heat economy, but also weight reduction of building constructions. In general, diversity of areas of their application is determined by mechanical strength, high chemical and biological resistance, low hygroscopic properties, temperature resistance etc. Full compliance with mentioned characteristics is demonstrated by porous materials of inorganic nature, which are widely used in various fields of industry, such as: construction (light-weight structures), ceramics (light-weight wares), agricultural industry. Use of porous inorganic materials is considered as prospective in oil processing field, medicine and other field.

Wide application of inorganic porous materials, besides their unique properties is determined by raw material base – it is possible to receive them from natural rocks and technogenic materials, which are processed using specific technologies. Porous materials can be obtained both from broken glass (foam glass), and on the basis of magmatic (perlites, pitchstones) and sedimentary rocks (eg., clays, clayey micas etc.). Processing of these raw materials into porous materials requires the preparation and swelling through consequent thermal processing. Basic condition of getting porous materials from one or another natural rocks by thermal swelling – chemical-mineralogical composition of raw materials and their processing – is a difficulty related to implementation of swelling technologies. Among the diversity of artificial porous materials (foamed perlite, obsidian, vermiculite etc.) they single out keramzit (claydite or bloating clay), which is obtained from clays and clayey micas of certain composition. Keramzit is considered as one of the cheapest natural heat insulators and its basic consumer is construction business, though there are also known other areas of its use (heat insulating wares, gardening etc.). Mentioned material is widely produced and used worldwide, since the raw material base of their receipt is basically represented by accessible clays, though clayey micas less expanded in the mineral resources are also used.

Natural rocks which are subject to swelling are widely spread in Georgia, but foamed materials – plasters and products for agricultural purposes are produced almost only from Paravani perlites. The issue of swelling of local clayey rocks is less studied, though some results are obtained in Kakheti region, regarding industrial use of Kvareli slate, mantle rock available in Duruji River valley. Importance of this issue is also predetermined by the fact that increased quantity of slate becomes a reason of acute ecological problem in Kvareli district. According to available data, use of Kvareli slate as raw material base is recommended in construction business (as additive for cement milling or concrete filler), foundry production of glass and stone, for receipt of foamed materials etc.

It was established according to previous studies that using traditional way – thermal swelling it is possible to get porous materials from Kvareli slate. There is recommended two-stage mode of thermal swelling (first stage – 700-800°C, second stage – 1200-1250°C), which secures production of such porous materials, which are characterized by low bulk density (350-600 kg/m<sup>3</sup>), high mechanical compressive strength (up to 15 MPa) and water resistance ( $k_{\text{soft.}} \geq 0,75$ ). Process scheme of porous material production from Kvareli slate is elaborated, which eliminates participation of natural Kvareli slate grains with less than 5 mm fraction size and due to mentioned reason the possibility of full-value conduct of swelling process with their involvement is established.

Taking into account the above mentioned we have studied the process of thermal swelling of hardly-foamed Kvareli slate with less than 5 mm fraction size and have established porous material production technologies, in particular, targeted use of additive of natural origin. In order to establish the opportunities of practical application of obtained materials there was studied a possibility of production of light-weight construction materials from them.

Research subject was the study of propensity to swelling of mixtures (furnace-charge) composed of Kvareli slate of small fraction (grains with size less than 5 mm) and technogenic organic additives (worked-out oil, sawdust, coal fines), study of properties of obtained porous materials and establishment of possibility of their use in construction field.

Thermal processing of surveyed mixtures was conducted by two modes: temperature rise from room temperature to swelling temperature (dynamic mode, rate of temperature rise 10°C/min) or insertion of test furnace-charge into high-temperature medium (furnace heated up to swelling temperature) (static mode). In both cases swelling temperature is 1200-1250°C, while delay at this temperature was 10-15 minutes. Properties of obtained porous materials were established according to technical analysis and methods of study of physical-chemical properties acceptable in the area of exploration of inorganic porous heat insulating and acoustic materials.

According to carried out researches it was established that in case of identical thermal processing, under conditions of dynamic thermal processing the swelling maximum of finely-grained Kvareli slate fraction is reached when taking of 2 mass. % of oil, 3-4 mass. % of sawdust or coal fines as additives. Average bulk density of porous materials obtained under the given preconditions is 550-600 kg/m<sup>3</sup>. It was also



established that swelling process runs more intensively during thermal processing by static mode that secures receipt of porous materials with 400-600 kg/m<sup>3</sup>. In case of thermal swelling by static mode the use of coal fines is recommended in the form of 3-4 mass. % additive per 100 mass. % of slate.

Porous materials of sand and gravel granulometry, which are characterized by low bulk density (400-600 kg/m<sup>3</sup>), acceptable water absorption (9-24%), high water resistance (softening factor >0,7) and good mechanical strength (5-13 MPa). It was established that swelling of Kvareli slate allows obtaining of such materials, actual porosity of which is 75-77%, while quantity of closed pores is 69-71%.

By analysis of properties of obtained properties and technologies of similar product – keramzit there was considered as a possible and recommended to obtain porous materials from the mixture of “finely-grained slate – coal fines” (with addition of 4 mass. % of coal), and to conduct a process by the one-stage thermal processing mode (maximum temperature 1230±20°C, delay – 10-15 min).

In order to establish the sphere of practical application of obtained porous materials with sand-gravel fractions there were obtained and tested concrete samples (bulk density 1100-1530 kg/m<sup>3</sup>, compressive strength 11,8-13,8 MPa) that demonstrated the prospects of receipt of light-weight concrete products from them.