

ნანა გაბრიაძე

*მანგანუმშემცველი საწარმოო ნარჩენებით გამოწვეული  
რიგი ეკოლოგიური პრობლემის გადაწყვეტისათვის  
ტექნოლოგიური პროცესების დამუშავება*

სადოქტორო პროგრამა ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია  
შიფრი - 0410

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ნანა გაბრიადის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „მანგანუმშემცველი საწარმოო ნარჩენებით გამოწვეული რიგი ეკოლოგიური პრობლემების გადაწყვეტისათვის ტექნოლოგიური პროცესების დამუშავება“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის“ ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს საგამოცდო კომისიაში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

2020 წ.

ხელმძღვანელი: პროფ. თეიმურაზ ჭეიშვილი

რეცენზენტი \_\_\_\_\_

რეცენზენტი \_\_\_\_\_

რეცენზენტი \_\_\_\_\_

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2020 წელი

ავტორი: ნანა გაბრიამე

დასახელება: „მანგანუმშემცველი საწარმოო ნარჩენებით გამოწვეული რიგი ეკოლოგიური პრობლემების გადაწყვეტისათვის ტექნოლოგიური პროცესების დამუშავება”

ფაკულტეტი : „ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის”

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პროცენტების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთ-მოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

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

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

## რეზიუმე

კარგადაა ცნობილი, რომ წიაღისეული ნედლეულის მადნების ხარისხი, მათ შორის ჭიათურის მანგანუმის მადნების, წლიდან-წლამდე კლებულობს და მაღალხარისხოვანი მადნების დეფიციტის აღმოსაფხვრელად საჭირო ხდება მადნების ღრმა გამდიდრების და წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების სრულყოფა. ამ მიმართულებით აქტუალურად შეიძლება მიჩნეულ იქნას ქ. ზესტაფონში ფეროშენადნობთა მიღების სრული საწარმოო ციკლის (ნედლეულისა და ნარჩენების ჩათვლით) ჩატარებისას წარმოქმნილი ნარჩენების სანედლეულო ბაზაში ჩართვა ან მიზნობრივი გამოყენება. საკითხის მნიშვნელობას განსაზღვრავს კიდევ ერთი გარემოება-ნარჩენები შეიცავენ 10-25% მანგანუმს. რაც ამავედროულად ნედლეულის მომპოვებელ და საწარმოო პროცესის განმახორციელებელი რეგიონების ეკოლოგიური პრობლემების განსზღვრის მიზეზიც არის. უფრო კონკრეტულად, ჭიათურის მანგანუმშემცველი მადნების გამდიდრებას თან ახლავს შლამების წარმოქმნა. ხოლო სილიკომანგანუმის დნობისას ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესების თანმხლები ნარჩენები. მიუხედავად აღნიშნული ნარჩენების ტექნოგენურობისა (ლითონური მანგანუმის 15 მას. %-ზე მეტი შემცველობა), მათი პირდაპირი დაბრუნება სადნობ ღუმელში ვერ ხერხდება და აღნიშნულის მიზეზი მათი წმინდაფრაქციულობაა. ამ მხრივ საგულისხმოა, რომ მადნის მოპოვებიდან სარეალიზაციო პროდუქტის მიღებამდე მანგანუმის დანაკარგების თითქმის 50 %-ს შეადგენს, რაც არც ეკონომიურად და არც ეკოლოგიური თვალსაზრისით არ არის მისაღები. აქედან, სილიკომანგანუმის მიღებასთან დაკავშირებული ტექნოლოგიური პროცესები მოითხოვს სრულყოფას, რაც უშუალოდ საწარმოო ნარჩენების მიზნობრივ გადამუშავებას-სასარგებლო ტექნოგენურ და ამავე დროს ეკოლოგიურად უსაფრთხო პროდუქტში გადაყვანას.

ჩატარებული კვლევა ორი მიმართულებით განხორციელდა. პირველი მიმართულების ობიექტს წარმოადგენდა სილიკომანგანუმის საწარმოო ფილტრში დაჭერილი მტვერი, ხოლო მეორე მიმართულებით კვლევა განხორციელდა მანგანუმშემცველი მადნების გამდიდრების შედეგად წარმოქმნილი ნარჩენის-შლამის გამოყენების მიმართულებით. მტვერთან მიმართებაში შესწავლილი იქნა მისგან ბრიკეტების მიღების შესაძლებლობა, ხოლო შლამის გამოყენებით დაიგეგმა ქვის სხმულის ნაწარმის მიღების შესაძლებლობის დადგენა.

დიდი რაოდენობით მტვერის შემცველი ბრიკეტების მიღება განხორციელდა „მტვერი-კოქსის წვრილმანი“ კომპოზიციაში, რომელთა კაზმის ბრიკეტირებისას შემკვრელ მასალად დასაბუთებულად შეირჩა თხევადი მინა. საწყისი ნედლეულის ფრაქციულობის მკვეთრი განსხვავების მიუხედავად, ექსპერიმენტით დადასტურდა მაღალი ხარისხის ბრიკეტების მიღების შესაძლებლობა, კერძოდ მტვერის მაქსიმალური (80 მას. %) შემცველობის ნარევებთან მიმართებაში. ასევე, ჩატარებულმა ექსპერი-

მენტმა აჩვენა, რომ დიდი რაოდენობით მტვრის შემცველი კაზმების ბრიკეტირებას კარგად უზრუნველყოფს კონკრეტული მახასიათებლების მქონე თხევადი მინა (სიმკვრივე 1250 კგ/მ<sup>3</sup>, მოდული 3), მისი 10-12 მას. %-ით კაზმზე დანამატად გამოყენებისას. შესწავლილი იქნა ბრიკეტების დაწნევის ძალის და შრობის პირობების გავლენა მის ძირითად საექსპლუატაციო თვისებებზე და დადგინდა, რომ საუკეთესო თვისებები მიიღწევა 16 მპა-ზე მეტი ძალით ბრიკეტირებისას და ბრიკეტების ხელოვნური შრობით (70-100°C; 24-12 წთ). მოყვანილი პირობები უზრუნველყოფენ მაღალ სიმტკიცის (7 მპა-ზე მეტი) და ცვეთამდეგობის (მეტია 70 %-ზე), დაბალი წყალშთანთქმის (ნაკლებია 4 %-ზე) მქონე ბრიკეტების მიღებას. ჩატარებული ექსპერიმენტის საფუძველზე შემუშავებულია რესპერაციული მტვრის დიდი ოდენობით შემცველი ბრიკეტების მიღების ტექნოლოგიური სქემა.

მადნების გამდიდრებისას წარმოქმნილი შლამის შედგენილობიდან გამომდინარე, მისი მიზნობრივი გამოყენება შეუძლებელი აღმოჩნდა. ამიტომ, მინის და წიდასიტალების ტექნოლოგიათა და მიდგომათა რეკომენდაციების გათვალისწინებით, მანგანუმშემცველი შლამის დანამატად შერჩეული იქნა სილიკომანგანუმის წარმოების კიდევ ერთი ნარჩენი - წიდა. „შლამი-წიდა“ კომპოზიციათა შედგენილობის გათვლით და მისგან მინამასალის მიღების სხვადასხვა არსებული ხერხით (მიდგომით) შეფასებით დაისახა ექსპერიმენტი, რომელიც მოიცავდა შლამის მაქსიმალური შემცველობის მინების სინთეზს და მათგან მინაკრისტალური მასალის (ქვის სხმულის) მიღების შესაძლებლობის დადგენას.

შლამის და წიდას საფუძველზე შედგენილი კაზმების სინთეზი განხორციელდა 1320 – 1350°C და გამოიკვეთა შლამის მაქსიმალური რაოდენობის (75 მას. % შლამი და 25 მას. % წიდა) შემცველი კაზმიდან ხარისხიანი მინის მიღების შესაძლებლობა. მიღებული მინების კრისტალიზაციის უნარის დადგენით და მახასიათებელი თვისებების მაჩვენებლების ცვლის საფუძველზე, ასევე თერმული და რენტგენოფაზური ანალიზების შედეგების გათვალისწინებით, დადგინდა თერმული დამუშავების ის პარამეტრები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მინის გადასვლას მინაკრისტალურ მასალაში: ოპტიმალური შედგენილობის მინის პოლიკრისტალურ მასალაში გარდაქმნას უზრუნველყოფს მისი 800-860°C ტემპერატურულ ინტერვალში 1-2 საათის განმავლობაში თერმოდამუშავება.

„შლამი-წიდა“ კომპოზიციაში მიღებული მინაკრისტალური მასალის თვისებათა შესწავლით (წყალშთანთქმა - 0,1 %; სიმტკიცე კუმშვაზე –125 მპა, ცვეთამდეგობა –1,2 კგ/მ<sup>2</sup>) დადგინდა, რომ 75% შლამი და 25% წიდა შედგენილობის მინის მიზნობრივი კრისტალიზაციით შესაძლებელია პოლიკრისტალური ფაზური შედგენილობის ქვის სხმულის მასალების და ნაკეთობების მიღება. დამუშავდა ორკომპონენტიანი კაზმიდან მინაკრისტალური მასალის (ქვის სხმული) მიღების ტექნოლოგიური სქემა, შეირჩა მის განსახორციელებლად საჭირო ძირითადი მოწყობა-დანადგარების რეკომენდირებული სახეობა და განისაზღვრა საწარმოო პროცესის ტექნოლოგიური პარამეტრები.

## Abstract

It is well known that the quality of fossil minerals ores, including Chiatura manganese ores, is getting worse from year to year and it becomes necessary to improve the deep concentration (beneficiation) of ores and production processes in order to eliminate deficit of high-quality ores. In this regard we can consider as topical the idea of introduction into raw material base of residuals originated during carrying-out the complete production cycle (including raw materials and waste) of ferroalloys receipt in Zestafoni or their targeted use. The importance of this issue is determined by another one circumstance – residuals contain 10-25% of manganese that at the same time is a reason of determination of ecological problems in regions implementing raw material extraction and production processes. More specifically, Chiatura manganese-containing ore beneficiation is accompanied by sludge formation, and silicomanganese melting is followed by formation of residuals accompanying current engineering processes at Zestafoni ferro-alloy plant. Despite the technogenic nature of the mentioned residuals (more than 15% content of metal manganese), their direct return to the melting furnace is not managed that is caused by pure fraction composition. In this regard, we have to bear in mind that ore losses reach almost 50% on its way from ore extraction to commercial product receipt that is inadmissible from both economic and ecological standpoint. Therefore, the engineering processes related to silicomanganese production need improvement that directly requires targeted processing of production waste – their transformation into profitable technogenic and, at the same time, ecologically safe products.

This research was conducted in two directions. The subject of first research was presented by a dust caught by the silicomanganese production filter, while the second direction of study was associated with the use of a sludge – the waste generated as a result of manganese-containing ore beneficiation. The opportunity of briquette receipt from the dust was studied, and the determination of possibilities of cast stone materials' manufacture using the sludge was scheduled.

Dust-containing briquettes were obtained in large quantities from the “dust – coke breeze” composition, where liquid glass was reasonably selected as a binding material during furnace charge (batch) briquetting. Despite distinct difference in fraction composition of the initial raw material, the experiment confirmed the opportunity of high-quality briquettes' receipt, in particular in case of mixtures with maximum dust content (80 mass.%). Carried-out experiments showed, as well that briquetting of furnace charge containing large quantities of dust is properly provided by liquid glass having specific characteristics (density 1250 kg/m<sup>3</sup>, module 3), when using its 10-12 mass. % as an additive to the furnace charge. The impact of briquettes pressing force and drying conditions on its performance properties was studied and it was established that the best properties are reached in case of briquetting with a force more than 16 MPa and under artificial drying of briquettes (70-100°C, 24-12 min). The mentioned conditions provide obtaining of

briquettes with high strength (more than 7 MPa) and wear resistance (more than 70%), and low water absorption (less than 4%). Process flow diagram for obtaining the briquettes with large quantity of respirator dust is developed based on carried out experiments.

Proceeding from sludge composition generated during ore beneficiation, its targeted use turned out to be impossible. That's why, taking into account recommendations for glass and slag glass-ceramic technologies and approaches, another one residual, namely slag was selected as an additive to manganese-containing sludge. Based on "sludge-slag" compositions formulation and estimation of glass materials receipt using different methods (different approaches) an experiment was scheduled that included the synthesis of glasses with maximum content of sludge and opportunities of obtaining the vitro-crystalline materials (cast stone material) from them.

Furnace charges composed on the basis of sludge and slag were synthesized at 1320-1350°C and the opportunity of quality glass receipt from furnace charge containing maximum quantity of sludge (75 mass.% of sludge and 25 mass.% of slag) was identified. Through establishment of crystallization ability of obtained glasses and based on the variation of characteristic properties indicator, as well as taking into account the results of thermal and X-ray phase analyses, there were determined those parameters, which provide glass conversion to vitro-crystalline material: transformation of glass with optimum composition into polycrystalline material is provided by its thermal processing in the temperature range of 600-800°C for 1-2 hours.

Through study of vitrocryalline material properties obtained from the "sludge-slag" composition (water absorption – 0,1%, compression strength – 125 MPa, wear resistance – 1,2 kg/m<sup>2</sup>) it was established that a targeted crystallization of glass containing 75% of sludge and 25% of slag makes it possible to obtain cast stone materials and articles with polycrystalline phase composition. Process flow diagram for receipt of vitrocryalline material (cast stone material) from two-component furnace charge was developed, recommended types of basic machinery and equipment necessary for its implementation were selected and technological parameters of manufacturing process were determined.

## შინაარსი

შესავალი .....	14
<b>1. ლიტერატურის მიმოხილვა .....</b>	<b>19</b>
1.1. მანგანუმის გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე .....	20
1.2. მანგანუმშემცველი ნარჩენების გადამუშავება .....	31
1.3. მინაკრისტალური მასალები საწარმოო ნარჩენების და მთის ქანების საფუძველზე, მათი მიღების საფუძვლები.....	39
1.4. წმინდაფრაქციული მანგანუმშემცველი ნარჩენების დანაჭროვნების ხერხების შეფასება .....	45
1.5. დასკვნა და სამუშაოს ძირითადი მიმართულების .....	54
<b>2. შედეგები და მათი განსჯა .....</b>	<b>56</b>
2.1. კვლევაში გამოყენებული საწარმოო ნარჩენების შეფასება და საწყისი ტექნოლოგიური ანგარიშები.....	56
2.1.1. მანგანუმშემცველი ასპირაციული საწარმოო მტვერი და კაზმები მის საფუძველზე .....	56
2.1.2. „მტვერი - კოქსი“ კომპოზიციის ნარევისათვის შემკვრელის შერჩევა .....	63
2.1.3. მანგანუმშემცველი შლამები და მათგან პეტრურგიული ნაწარმის მიღების შეფასება .....	67
2.1.4. „შლამი-წიდა“ კომპოზიციაში მინის მიღების და პეტრურგიულ მასალაში გარდაქმნისას წარმოქმნილი კრისტალური ფაზების სახეობათა შეფასება მეთოდებით .....	75
2.2. მანგანუმშემცველი საწარმოო მტვრის ბრიკეტირების პირობების დადგენა.....	83
2.2.1. „მტვერი-კოქსი“ ნარევის ბრიკეტირების პირობების დადგენა .....	83
2.2.2. შრობის პირობების გავლენა ბრიკეტების მექანიკურ მდგრადობაზე .....	92
2.3. „მტვერი - კოქსი“ შედგენილობის ბრიკეტების საექსპლოატაციო თვისებების დადგენა .....	98
2.3.1. საკვლევი ბრიკეტების მახასიათებელი თვისებების დადგენა .....	99
2.3.2. ბრიკეტების თვისობრივი მახასიათებლების სრულყოფის გზების განსაზღვრა .....	103
2.3.3. შედეგების განსჯა და გამოყენების ტექნოლოგიური რეკომენდაციები .....	112
2.4. მანგანუმშემცველი საწარმოო ნარჩენებიდან ქვის სხმულის მიღება .....	118
2.4.1. „შლამი - წიდას“ კომპოზიციაში მასალათა დნობით მიღება .....	118



2.4.2. „შლამი - წიდა“ კომპოზიციებში მიღებული მინების საწყისი თვისებების დადგენა .....	125
2.4.3. „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის შედგენილობის კორექტირება და კრისტალიზაციის ოპტიმალური პირობების დადგენა .....	135
2.4.4. „შლამი-წიდა“ შედგენილობიდან მიღებული მინაკრისტალური მასალის მახასიათებელი თვისებები და მისი საწარმოო პირობებში მიღების ტექნოლოგიური საკითხები.....	145
<b>3. კვლევაში გამოყენებული მეთოდები .....</b>	<b>148</b>
3.1. ინსტრუმენტალური ზოგადი მეთოდები.....	149
3.2. ბრიკეტების მიღების და მათი სპეციალურ თვისებათა შესწავლის მეთოდები .....	153
3.3. ქვის სხმულის მიღება, მათი ფიზიკურ - ქიმიური თვისებათა და სტრუქტურული კვლევის მეთოდები .....	155
<b>დასკვნა.....</b>	<b>159</b>
<b>გამოყენებული ლიტერატურა .....</b>	<b>162</b>

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. მანგანუმშემცველი მტვრისა და კოქსის ქიმიური შედგენილობა.....	58
ცხრილი 2. ზფქ-ის საწარმოო გაზგამწმენდში დალექილი საკვლევი მანგანუმშემცველი მტვრის საწყისი და გადაანგარიშებული ქიმიური შედგენილობა .....	59
ცხრილი 3. მანგანუმშემცველი მტვრის და კოქსის ქიმიური შედგენილობა .....	61
ცხრილი 4. მანგანუმშემცველი მტვრისა და კოქსის შემცველი კაზმების შედგენილობა (მას. %) .....	61
ცხრილი 5. ქვის სხმულის ძირითად სახეობათა ქიმიური შედგენილობა .....	70
ცხრილი 6. მანგანუმის მადნის გამდიდრების შედეგად მიღებული ნარჩენის (შლამის) გასაშუალოებული ქიმიური შედგენილობა .....	70
ცხრილი 7. მანგანუმის მადნის გამდიდრების შედეგად მიღებული შლამის კლასიფიცირებული ქიმიური შედგენილობა .....	71
ცხრილი 8. ქვის სხმულის და მანგანუმშემცველი შლამის ქიმიური შედგენილობები .....	72
ცხრილი 9. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის წიდევის შედგენილობა (გასაშუალოებული).....	73
ცხრილი 10. ზფქ-ის წილის და მანგანუმშემცველი შლამის საფუძველზე შედგენილი ნარევები .....	74
ცხრილი 11. $f_{si}$ - ფაქტორის სიდიდეები „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის შედგენილია ბებისათვის .....	78
ცხრილი 12. „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის შედგენილობათა მახასიათებელი წერტილების პარამეტრები .....	80
ცხრილი 13. „წიდა-შლამი“ საკვლევ კომპოზიციის შედგენილობის შესაფასებელი ბ. ხანის პიროქსენული მოდულის მნიშვნელობა .....	82
ცხრილი 14. შემკვრელად გამოყენებული თხევადი მინის სახეობათა მახასიათებლები .....	84
ცხრილი 15. შეფასების პირობითი კრიტერიუმები .....	85
ცხრილი 16. DCM შედგენილობის კაზმის და თხევადი მინის კომპოზიციებში მიღებული ნარევების დაყალიბების უნარის შეფასება .....	86
ცხრილი 17. ნარევების დაწნევისას მიღებული ნიმუშების შეფასების პირობითი სრული ბალური სკალა .....	88
ცხრილი 18. ბუნებრივ პირობებში გამშრალი B'- 3/4 შედგენილობის დაბრიკეტებული ნიმუშების მახასიათებელი თვისებები .....	100

<b>ცხრილი 19.</b> ხელოვნურად გამშრალი დაბრიკეტებული B” – ¾ შედგენილობის ნიმუშების მახასიათებელი, თვისებები.....	101
<b>ცხრილი 20.</b> სტანდარტული ბრიკეტების და „მტვერი-კოქსი“ კომპოზიციის B-¾ შედგენილობის ბრიკეტ-ნიმუშების თვისებათა მნიშვნელობები.....	102
<b>ცხრილი 21.</b> სამკომპონენტური კაზმის ძირითადი შემადგენელი მასალების რიგი მახასიათებელი .....	105
<b>ცხრილი 22.</b> მანგანუმის მადანში და რესპირაციულ მტვერში ძირითადი შემადგენელი ოქსიდების შემცველობა .....	106
<b>ცხრილი 23.</b> სამკომპონენტური „ მტვერი - მადანი - კოქსის“ კომპოზიციების საკვლევი შედგენილობები .....	107
<b>ცხრილი 24.</b> საკვლევი შედგენილობების მახასიათებელი თვისებები და მათი ფრაქციულობის კოეფიციენტის მნიშვნელობები .....	109
<b>ცხრილი 25.</b> თერმული დამუშავებით გამოწვეული საცდელი ბრიკეტების სახეცვლილება .....	112
<b>ცხრილი 26.</b> თერმული დამუშავების გამოწვეული ნიმუშების ხარისხობრივი სახეცვლილების შეფასების პირობითი სკალა .....	131
<b>ცხრილი 27.</b> „შლამი - წიდა“ კომპოზიციის ნიმუშების თერმოგარდაქმნათა ხარისხის თვისებრივი შეფასება .....	132
<b>ცხრილი 28.</b> თერმული დამუშავების გავლენა საცდელი ნიმუშების სიმკვრივეზე .....	132
<b>ცხრილი 29.</b> ქვის სხმულის სამრეწველო წარმოების ორი სახეობის მასალების და MSC-2 შედგენილობის მასალის თვისებათა მაჩვენებლები .....	144
<b>ცხრილი 30.</b> შლამის და წიდის საფუძველზე ქვის სხმულის მიღების ტექნოლოგიური პროცესის წარმართვის პირობები და პარამეტრები .....	146

## ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1. ა. გინზბერგის პროექციულ დიაგრამაზე „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის ხუთი შედგენილობის მახასიათებელი წერტილების განლაგება .....	80
ნახაზი 2. ნიმუშების პირობითი სიმტკიცე ორი სახეობის 8 მას. % თხევადი მინის გამოყენებისას.....	89
ნახაზი 3. ნიმუშების პირობითი სიმტკიცე ორი სახეობის 10 მას. % თხევადი მინის გამოყენებისას.....	89
ნახაზი 4. ნიმუშების პირობითი სიმტკიცე ორი სახეობის 12 მას. % თხევადი მინის გამოყენებისას.....	90
ნახაზი 5. ნიმუშების პირობითი სიმტკიცეზე დაწნების ძალების გავლენა (შემკვრელად $G_{mid}$ თხევადი მინის გამოყენებისას).....	90
ნახაზი 6. ბუნებრივ პირობებში (ოთახის ტემპერატურაზე) ბრიკეტების შრობის ხანგრძლივობის გავლენა მათ მექანიკურ სიმტკიცეზე.....	93
ნახაზი 7. ბუნებრივ პირობებში მრავადღიანი შრობის გავლენა ბრიკეტების მექანიკურ სიმტკიცეზე.....	94
ნახაზი 8. შრობის ტემპერატურის გავლენა ნიმუშების სიმტკიცეზე .....	96
ნახაზი 9. შრობის პირობების გავლენა მახასიათებელ თვისებათა ცვლის ტენდენციაზე .....	100
ნახაზი 10. ფრაქციულობის კოეფიციენტის გავლენა მახასიათებელი თვისებათა მნიშვნელობებზე .....	110
ნახაზი 11. საშრობში ბრიკეტების შრობის პროცესის რეკომენდირებული რეჟიმი .....	115
ნახაზი 12. ორ - და სამკომპონენტის კაზმებისა და მათგან მდგრადი ბრიკეტების მიღების რეკომენდირებული ტექნოლოგიური სქემა.....	117
ნახაზი 13. ნატეხვანი წიდის და ფხვიერი შლამის მომზადების რეკომენდირებული ტექნოლოგიური სქემა .....	122
ნახაზი 14. „შლამი - წიდა“ კომპოზიციაში კაზმების ნადნობების მიღების ტემპერატურული რეჟიმის გრაფიკი .....	123
ნახაზი 15. „შლამი - წიდა“ კომპოზიციაში მიღებული მასალების სიმკვრივეზე შედგენილობის გავლენა .....	128
ნახაზი 16. MS - შედგენილობის ნიმუშების თერმული დამუშავების სქემა - გრაფიკი .....	130
ნახაზი 17. თერმული დამუშავების ტემპერატურის გავლენა საკვლევი ნიმუშების სიმკვრივეზე .....	133
ნახაზი 18. საწყისი მინების და 800-900°C-ზე თერმულად დამუშავებით მიღებული MS-შედგენილობის მასალების სიმკვრივის მნიშვნელობათა ზრდის ( $\Delta d$ , %) მაჩვენებლები .....	133

<b>ნახაზი 19.</b> MS-2 (1) და MSC-2 (2) შედგენილობის მინების სიმკვრივეს (d) და კრისტალიზაციური უნარის (ბალები) დამოკიდებულება თერმული დამუშავების ტემპერატურაზე .....	137
<b>ნახაზი. 20.</b> MSC-2 შედგენილობის მინის თბური ხაზობრივი გაფართოების მრუდი.....	139
<b>ნახაზი 21.</b> MSC-2 შედგენილობის მინის თერმული ანალიზის მონაცემები .....	140
<b>ნახაზი 22.</b> დაკრისტალებული MSC-2 მინის დიფრაქტოგრამის ფრაგმენტი .....	140
<b>ნახაზი 23.</b> „შლამი-წიდა“ ნარევიდან ქვის სხმულის ნაწარმის მიღების რეკომენდირებული ტექნოლოგიური სქემა .....	145

## შესავალი

ოცდამეერთე საუკუნის ძირითად მახასიათებელ ნიშანს წარმოადგენს ტექნოგენეზის ინტესიფიკაცია და მასთან კავშირში მყოფი გარემოს უკლებლივ ყველა შემადგენელი ნაწილის (ატმოსფერო, ჰიდროსფერო, ლითოსფერო, ბიოსფერო) მეტ-ნაკლებად ძლიერი დეგრადაცია. აღნიშნულს ძირითადად განსაზღვრავს, როგორც ბუნებრივი, ასევე ტექნოგენური გეოქიმიური ფაქტორები, რადგან ისინი განაპირობებენ არასასურველი ბიოგეოქიმიური ციკლების არსებობას. ასეთ ციკლებში ჩართულია მრავალი ტოქსიკური ელემენტი, თან ისეთი მაღალი კონცენტრაციებით, რაც მიუღებელია ცოცხალი ორგანიზმების და განსაკუთრებით ადამიანის ყოფისათვის. არსებული მდგომარეობის სირთულეთა ახსნა იმ ცნობილი გარემოებიდანაა შესაძლებელი, რომლის მიხედვით ყოველწლიურად დედამიწაზე მცხოვრებ ერთ ადამიანზე 20 ტ-მდე სხვადასხვა სახის წიაღისეული მოიპოვება. მათი სასარგებლო პროდუქციაში გარდასახვას თან ახლავს დიდი ოდენობით სხვადასხვა ფიზიკურ მდგომარეობაში მყოფი ნარჩენების წარმოქმნა (მხოლოდ ბოლო ოც წელიწადში დაახლოებით 30 მლნ. ტ მტვრისებრი 8 და მლნ. ტ-ზე მეტი სპილენძის, ტყვიის, თუთიის შემცველი შლამური ნარჩენი). მათი გეოქიმიური მიგრაციულ პროცესებში ჩართვა-გლობალური რეგიონალური და ლოკალური ეკოლოგიური რისკის ფაქტორები ხდება. კერძოდ, ადამიანში მნიშვნელოვნად ირღვევა მიკროელემენტური ბალანსი და მრავალი არასასურველი ბიოქიმიური რეაქციების მიმდინარეობის შედეგად არასასურველი დაავადებები რჩება (კანცეროგენეზი, ტერატოგენეზი, მუტაგენეზი და სხვ.).

თანამედროვე მეცნიერულ-ტექნოლოგიური მიღწევების პარალელურად თანდათან იზრდება ეკოლოგიური პრობლემების სიმძაფრე და ამ მხრივ გამონაკლისი საქართველო არ არის. ჰაერის, წყლისა და გარემოს საყოფაცხოვრებო და საწარმოო ნარჩენებით დაბინძურება და დღეისათვის რიგ რეგიონში არსებული რთული ეკოლოგიური მდგომარეობა. კერძოდ ჭიათურა-ზესტაფონის რაიონებში არსებული არასახარბიელო ეკოლოგი-

ური მდგომარეობა გამოწვეულია აქ მოქმედ საწარმოებში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესებით – ჭიათურის რეგიონში მანგანუმშემცველი მადნების მოპოვება-გამდიდრებით და ზესტაფონში – სილიკომანგანუმის შენადნობის მიღების საწარმოო პროცესის წარმართვით. ორივე შემთხვევაში ადგილი აქვს სხვადასხვა სახის მანგანუმშემცველი ნარჩენების (შლამების, მტვრისებრი და სხვა სახის) წარმოქმნას, რაც ეკოლოგიურად არასასურველი გარემოების არსებობის წინაპირობა ხდება – მანგანუმით დაბინძურება, როგორც წყალსატევებში, ასევე ატმოსფერული ჰაერი და ნიადაგი. ამავე დროს, მანგანუმს ახასიათებს ცოცხალ ორგანიზმზე პოლიმორფული მოქმედება. ერთის მხრივ, მცირე რაოდენობით ის აუცილებელია ორგანიზმში ნივთიერებათა ცვლის პროცესების სრულყოფილი წარმართვისათვის. მაგრამ, ორგანიზმში მანგანუმის სიჭარბით მოხვედრისას ის იწვევს, როგორც სუსტ ალერგიას, ასევე ახდენს ძლიერ ტოქსიკურ მოქმედებას სასუნთქ ორგანოებზე და ცენტრალურ ნერვულ სისტემაზე. მოყვანილ მიზეზთა გამო, მანგანუმი ადამიანის ჯანმრთელობის მნიშვნელოვან რისკს წარმოადგენს, როგორც საწარმოო, ასევე არასაწარმოო პირობებში. უფრო კონკრეტულად, საქართველოს რიგ რაიონებში (ჭიათურა, ზესტაფონი) გამოვლენილია გარკვეული ცვლილებები მოსახლეობის ჯანმრთელობისა და ორგანიზმის ფუნქციურ მდგომარეობაში, რაც შეიძლება უკავშირდებოდეს აქ მოქმედ საწარმოთა ნარჩენების შლამების ან მტვრისებრი ნარჩენების არსებობას, რაც მოითხოვს მათ გაუვნებლებობას. ამისათვის კი საჭირო ხდება მანგანუმშემცველი გარკვეული სახის ეკოლოგიურად მავნე საწარმოო ნარჩენების გადამუშავების ახალი ტექნოლოგიური მიდგომების და მათი გადაწყვეტის გზების მოძიება. ბოლო წლებში აქტიურად განიხილება მანგანუმშემცველი წიდეების მტვრისებრი ნარჩენების და შლამების გავლენა ჭიათურის და ზესტაფონის რეგიონებში არსებულ ეკოლოგიურ პრობლემებზე და ასევე მათი სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესში დაბრუნების მიზნით. მანგანუმშემცველი ნარჩენებით გამოწვეული ეკოლოგიური რისკების აღმოსაფხვრელად და სილიკომანგანუმის მიღების ტექნოლოგიურ პრო-

ცესში მათი ტექნოლოგიური ნედლეულის სახით ჩართვას უკანასკნელ პერიოდში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. აღსანიშნავია სამუშაოები, რომლებიც მრავალკომპონენტური ნარეგების (წიდა, შლამი, რესპირაციული და ლითონური მტვერი და სხვ.) დაბრიკეტებას და ამ გზით მანგანუმშემცველი ნარჩენების მიზნობრივ გამოყენებას ითვალისწინებენ. მაგრამ ნაკლები ყურადღება ექცევა ისეთ ნარჩენებს, როგორცაა ეკოლოგიურად განსაკუთრებით მავნე მანგანუმშემცველი საწარმოთა რესპირაციული მტვერი და მანგანუმშემცველი ქანების გამდიდრების შედეგად წარმოქმნილი ნარჩენი – შლამი. მათი ფართოდ და მიზნობრივად სამრეწველო პროდუქტში გადაყვანის საკითხებს.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, აქტუალური ხდება მანგანუმშემცველი რიგი სახეობის (ეკოლოგიური პრობლემების გამომწვევი) ნარჩენის მიზნობრივად და სიღრმისეულად გადამუშავება და ამისათვის შესაბამისი ტექნოლოგიური გადაწყვეტილებათა დამუშავება. ამისათვის ჩვენს მიერ დაიგეგმა და განხორციელდა მრავალმტვერშემცველი ბრიკეტების და მრავალშლამშემცველი მინაკრისტალური (ქვის სხმულის სახეობის) მასალების მიღების პირობების შესწავლა და მათი საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესების დაგეგმვა. ამ მიმართულებით ჩატარებული კვლევითი სამუშაოებით დადგინდა მრავალმტვერშემცველი (70 – 80 მას. %) და კოქსის წვრილმანისაგან (ფრაქცია 0 – 5 მმ) შედგენილი კომპოზიციის ბრიკეტების პირობები, მათ შორის შემკვრელად გამოყენებული თხევადი მინის მახასიათებლების და ბრიკეტების შრობის ოპტიმალური პირობების გავლენა.

ექსპერიმენტული კვლევით დადგენილ იქნა მანგანუმშემცველი შლამის და წიდის ერთობლივ კომპოზიციებში ქვის სხმულის მისაღებად საჭირო შედგენილობები, მათგან მინის სინთეზის პირობები და მინაკრისტალური მასალის მიღებისათვის აუცილებელი თერმული დამუშავების პარამეტრები. განხორციელდა მიღებული ქვის სხმულის ტიპის მასალების თვისებათა შესწავლა, დამუშავდა ტექნოლოგიური ხასიათის რეკომენდა-



ციები მათ მიღებასთან მიმართებაში და განისაზღვრა გამოყენების პერსპექტიული მიმართულებები.

ნაშრომში დასმული **პრობლემა** უშუალოდ ითვალისწინებს ეკოლოგიურად მავნე მანგანუმშემცველი რიგი ნარჩენის ტექნიკურ მასალაში და პრაქტიკულად გამოყენებადი ნაკეთობებში გადაყვანის, შესაბამისი ახალი მიდგომების და ტექნოლოგიების დამუშავებას, მიღებული პროდუქტების ვარგისიანობის და პერსპექტიულობის დადგენას, რაც მეტად აქტუალურია ტექნიკური, ეკონომიკური და ეკოლოგიური მიმართულებით.

ნაშრომის მეცნიერული **კვლევის მიზანია**: დამუშავდეს ეკონომიკურად მნიშვნელოვანი მანგანუმშემცველი მტვრის სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესში დაბრუნებასა და მანგანუმის მადნების გამდიდრებისას წარმოქმნილი შლამებიდან სამრეწველო დანიშნულების პროდუქციის მიღება.

#### **კვლევის ძირითადი ამოცანებია:**

- მანგანუმშემცველი რესპირაციული მტვრის და კოქსის ანაცარიდან შედგენილი ორკომპონენტიანი, დიდი ოდენობით (50 მას.-ზე მეტი) მტვრისშემცველი, კაზმიდან ბრიკეტების მიღების პირობების დადგენა, რაც ითვალისწინებს შემკვრელის შემცველი ოპტიმალური შედგენილობის ნარევების შერჩევას, შემკვრელის სახეობისა და მისი მახასიათებლების გავლენის დადგენას ბრიკეტების ხარისხზე;

- მექანიურად მდგრადი ბრიკეტების მისაღებად საჭირო დაწნეხვის ძალის და მათი შრობის პირობების დადგენა;

- რესპირაციული მტვრის, წმინდაფრაქციული მადნის და კოქსის ანაცარის საფუძველზე, შემკვრელად თხევადი მინის გამოყენებით, „დამძიმებული“ ბრიკეტების მიღება და მათი საექსპლუატაციო თვისებების დადგენა;

- მანგანუმშემცველი შლამის და სილიკომანგანუმის მიღების შედეგად წარმოქმნილი წიდის საფუძველზე მინამასალების მიღების ტექნოლოგიური პირობების დადგენა;

- ქვის სხმულის ტიპის მიღებული მასალების მახასიათებელი მექანიკური და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების დადგენა, მათი გამოყენების პერსპექტიული სფეროების განსაზღვრა.

ჩატარებულ კვლევაში გამოყენებული იყო პროგნოზირების გათვლითი და ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის თანამედროვე მეთოდები: თერმული და რენტგენოსტრუქტურული ანალიზი, ქიმიური მდგრადობის, მექანიკური სიმტკიცის, წყალშთანთქმა და სხვა თვისებათა დადგენა.

სამუშაოს **მეცნიერული სიახლეს** წარმოადგენს წვრილდისპერსიული მტვრისებრი ნარჩენის განსაკუთრებით ჭარბად შემცველი ბრიკეტების მიღება წვრილფრაქციულ კოქსთან ბრიკეტირებითა და შემკვრელად დადგენილი სიმკვრივის თხევადი მინის გამოყენებით.

ორკომპონენტური, მხოლოდ ნარჩენების – მანგანუმის მადნის გადიდრების შლამი და სილიკომანგანუმის წარმოების წიდაშემცველი კაზმიდან ნადნობის მიღება და მათთან ქვის სხმულის სახეობის ნაწარმის მიღების კრისტალიზაციის პარამეტრების დადგენა.

**სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა** მდგომარეობს მანგანუმმტვერის დიდი ოდენობით შემცველი, მექანიკურად და თერმულად მდგრადი ბრიკეტების მიღებაში და საწარმოთა ნარჩენების საფუძველზე ფართოდ გამოყენებადი პეტრურგიული ნაწარმის მიღების ტექნოლოგიის დამუშავებაში.

**სამუშაოს აპრობაცია:** სადისერტაციო ნაშრობის ძირითადი დებულებები მოხსენდა ორ საერთაშორისო კონფერენციაზე:

**პუბლიკაციები:** სამუშაოს ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო ნაშრომში.

**სამუშაოს მოცულობა:** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შემდეგი ნაწილებისაგან: შესავალი, ლიტერატურის მიმოხილვა (ხუთი ქვეთავი), შედეგების განსჯით (3 თავი) და წარმოდგენილია ნაბეჭდ 171 ფურცელზე. შეიცავს რეზიუმეს, 23 ნახაზს, 30 ცხრილს, 115 ციტირებული ლიტერატურას.

## 2. ლიტერატურის მიმოხილვა

წინა საუკუნის მეორე ნახევრიდან მოყოლებული მკაფიოდ გამოიკვეთა რიგი მნიშვნელოვანი გარემოება, რომელთა აქტუალობა ყოველდღიურად მზარდი ხდება. კერძოდ თანამედროვე მეცნიერულ-ტექნოლოგიური მიღწევების პარალელურად თანდათან იზრდება ეკოლოგიური პრობლემებიც. საქართველო, ისევე როგორც მსოფლიოს მრავალი ქვეყანა, მეტად მწვავედ დგას ამ პრობლემის წინაშე. ჰაერის, წყლისა და გარემოს საყოფაცხოვრებო ნარჩენებით დანაგვიანება და დაბინძურება – ეს სწორედ ის ძირითადი საკითხებია, რომლებსაც საზოგადოება უკვე დიდი ხანია აქტიურად განიხილავს. ასევე ხშირად საუბრობენ იმის შესახებ, რომ დღეს არსებული მძიმე ეკოლოგიური მდგომარეობა გამოწვეულია ბუნებაზე საზოგადოების ინტენსიური ზემოქმედებით, მეურნეობის მრავალდარგობითა და ბუნებრივი რესურსების არარაციონალური ხარჯვით.

ამ მხრივ საგულისხმო ხდება საქართველოს ჭიათურის რეგიონში მანგანუმშემცველი მადნების მოპოვება-გამდიდრება და მათ საფუძველზე ზესტაფონში სილიკომანგანუმის შენადნობის მიღება. ჭიათურის რაიონში ადგილი აქვს „გამდიდრების კუდების“ - შლამების დაგროვებას, რაც ნიადაგის და წყალსაცავების დაბინძურების რეალური წყაროდ მიიჩნევა. ქ. ზესტაფონში და მის მიმდებარე რაიონებისათვის განსაკუთრებულ საფრთხეს წარმოადგენს ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის საწარმოო მტვერი და განსაკუთრებით გაზგამწმენდაში დალექილი და ტერიტორიაზე განთავსებული მტვერი, რაც ჰაერის დაბინძურების დიდ ეკოლოგიურ საფრთხეს წარმოადგენს. ამავე დროს ორივე სახის ნარჩენი მნიშვნელოვანია იმით, რომ დიდი ოდენობით შეიცავენ მანგანუმს, რაც აძლიერებს მათ მიერ გამოწვეულ ეკოლოგიურ საფრთხეს და ამავე დროს პერსპექტიულს ხდის მათ ეკოლოგიურად უსაფრთხო პროდუქტში მიზნობრივად გადაყვანას.

## 1.1. მანგანუმის გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე

ადამიანისათვის და ზოგადად ცოცხალი ორგანიზმისათვის მანგანუმს, როგორც მიკროელემენტს აქვს უდიდესი მნიშვნელობა, რადგან ის შეუცვლელია ორგანიზმში მიმდინარე არა ერთი მნიშვნელოვანი პროცესების წარმართვისათვის [1, 2].

ამავე დროს სპეციალური კვლევებით დადგენილია, რომ საქართველოს პირობებში ძირითადად მანგანუმით „მდიდარ“ ორ რეგიონში (ზესტაფონი, ჭიათურა), სადაც არსებობს მანგანუმის ორგანიზმში სიჭარბით მოხვედრის შესაძლებლობა, ხშირია ცვლილებები მოსახლეობის ჯანმრთელობისა და ორგანიზმის ფუნქციური მდგომარეობის მაჩვენებლებში [3 – 5].

მანგანუმი მიეკუთვნება ბუნებაში ფართოდ გავრცელებულ ელემენტს - იგი შეადგენს დედამიწის ქერქის 0,1%-ს. მანგანუმის შემცველი ნაერთებიდან უფრო ხშირად გვხვდება მინერალები - პიროლუზიტი ( $MnO_2$ ), ბრაუნიტი ( $Mn_2O_3$ ), ჰაუსმანიტი ( $Mn_3O_4$ ). მანგანუმი შედის 100-ზე მეტი მინერალის შემადგენლობაში. მათგან სამრეწველო მნიშვნელობა აქვს მხოლოდ მის ოქსიდებს. მანგანუმის 90-95% გამოიყენება შავ მეტალურგიაში. იგი გამოიყენებას პოულობს, აგრეთვე, ქიმიურ, ელექტროტექნიკურ და ელექტროქიმიურ, ფარმაცევტულ, მინის, კერამიკულ, პოლიგრაფიულ წარმოებაში და მედიცინაში [6 - 8].

დადგენილია, რომ მანგანუმი მნიშვნელოვან როლს ასრულებს მცენარეების ზრდაში და ხელს უწყობს ნაყოფში ნახშირწყლების დაგროვებას. მისი შემცველობა მცენარეებში 0,001 – 0,01 მას %-ს შეადგენს. შესაბამისად, საჭიროების შემთხვევაში სოფლის მეურნეობაში მანგანუმი მიზნობრივად გამოიყენება მინერალური მიკროსასუქების სახით [9 – 10].

მანგანუმი, ადამიანის ორგანიზმში ბიოლოგიური როლის მიხედვით, წარმოადგენს ე.წ. ესენციალური (სიცოცხლისათვის უმნიშვნელოვანეს) მიკროელემენტს. მისი მნიშვნელობა სრულად ეკვივალენტურია ვიტამინის ფუნქციასთან, მაგრამ ის ორგანიზმში გარემოდან შეიტანება (წყალი, საკვები). სხვა ესენციალურ მიკროელემენტებთან ერთად (Fe, Mn, Se, Zn, Co,

Mo და სხვ), მანგანუმი მონაწილეობს ორგანიზმის მეტაბოლური სისტემების და უჯრედების გენომური აპარატის რეგულაციაში. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მანგანუმის გავლენა შიდაუჯრედოვან სისტემებზე და ნატურალური კილერების (იმუნოციტოქსომების ეფექტურობის გაძლიერების ხარჯზე) სტიმულირებას და რეზინტესტურებას განაპირობებს. ასევე, ის მონაწილეობს ვიტამინი C-ს წარმოქმნაში და 6 მიმოცვლაში, ცილათა ციკლში, ორგანიზმის მიერ ლიპიდების ათვისებაში, ფერმენტულ სისტემის ჩამოყალიბებაში და სხვ. მანგანუმს, როგორც მიკროელემენტს, აქვს დიდი მნიშვნელობა – იგი აქტიურ მონაწილეობას ღებულობს ორგანიზმში მიმდინარე ნივთიერებათა ცვლის პროცესებში და იმუნიტეტზე [11 – 13].

ბუნებაში ფართო გავრცელების მიუხედავად, მანგანუმის ზრდასრული ადამიანის ორგანიზმში შემცველობა 12-20 მგ-ს შეადგენს, რიმელთა დიდი ნაწილი ძირითადად აკუმულირდება ძვლოვან ქსოვილებში და ასევე ღვიძლში, თირკმელებში და გულის კუნთში. მანგანუმით ყოველდღიური დეფიციტის შევსება მიკროსკოპიულ დოზებს შეადგენს, რაც დაახლოებით 2 მგ/დღეში განისაზღვრება, ხოლო დასაშვები, მაგრამ არასასურველი, მაქსიმალური რაოდენობა 11 მგ/დღეში არ უნდა აღემატებოდეს. იმის გათვალისწინებით, რომ ორგანიზმში მოხვედრილი მანგანუმის, ისევე როგორც სხვა საჭირო მიკროელემენტების, ათვისებადობა სრული არ არის. სასურველია ადამიანმა დღე-ღამეში მიიღოს 5 – 10 მგ მანგანუმი. ასევე ცნობილია, რომ 40 მგ და მეტი რაოდენობით მანგანუმის ორგანიზმში მოხვედრა ძლიერ ინტოქსიკაციას იწვევს. ამავე დროს, დღეისათვის ის არის დადგენილი მანგანუმის სასიკვდილო კონცენტრაცია, მაგრამ ცნობილია რომ მწვავე ინტოქსიკაცია ხშირად ფიქსირდება იმ ადამიანებში, რომლებიც მანგანუმის შემცველ ნივთიერებათა მიღება-გადამუშავების საწარმოებში არიან დაკავებული და ინტოქსიკაციის ძირითად წყაროდ მათ ორგანიზმში მანგანუმ-შემცველი მტვერის მოხვედრა მიიჩნევა [14 – 16].

ორგანიზმში სიჭარბით მოხვედრის შემდეგ მანგანუმი უკვე ნაწილდება ყველა ორგანოსა და ქსოვილში, ხოლო ზედმეტი დეპონირდება ღვიძ-

ლში, ფილტვებში, ელენთაში, ძვლებში, წვრილი ნაწლავების კედლებში და თავის ტვინში. სისხლში მანგანუმი ცირკულირებს მცირედ ხსნადი ფოსფორმჟავას მარილების სახით, ხოლო ორგანიზმიდან გამოიყოფა შარდთან, განავალთან და ოფლთან ერთად [17].

ცნობილია, რომ ადამიანის ორგანიზმში სხვადასხვა მიკროელემენტების და მაკროელემენტების უკმარისობა ან სიჭარბე, მათ შორის დისბალანსში, სხვადასხვა დაავადებათა და სინდრომების გამომწვევი მიზეზი შეიძლება გახდეს. აღნიშნულმა განაპირობა ახალი სახეობის დაავადებათა კლარის ჩამოყალიბება, რომელსაც მიკროელემენტოზი ეწოდება. მიკროელემენტოზების არსებობის წინაპირობითად მიიჩნევენ ტექნოგენურად სახეცვლილებულ ტერიტორიებს და ბუნებრივ (ნიადაგი, ქანები, წყალი) ფაქტორებს რომლებსაც ძირითადად განაპირობებენ ადამიანში და სხვა ცოცხალ ორგანიზმებში პათოლოგიათა ფართო სპექტრის განვითარებას [19-21].

ადამიანის და ზოგადად ცოცხალ ორგანიზმებში ელემენტების მოხვედრის ძირითად წყაროდ მიჩნეულია ატმოსფერული ჰაერი, ე.წ. ტრანსგრესიული გადატანისას მსხვილი საწარმოო ცენტრების მიერ გამოფრქვეული სამრეწველო მტვერი ზემოქმედებს არა მარტო ადგილობრივ მოსახლეობაზე, არამედ მეზობელ რეგიონებზე და ქვეყნებზეც. კარგადაა ცნობილი, რომ ერთი ქვეყნის შესაბამისი პროფილის საწარმოებიდან, ქიმიური მავნე ნაერთები მეზობელ ქვეყნებში გადაიტანება ატმოსფერული ნაკადებით. მაგალითად, შვეიცარიიდან ჰაერით გაიტანება გოგირდის ნაერთების 81 %, ნიდერლანდებიდან - 80 %, ხოლო ნორვეგიიდან - 76 % [22].

მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში არსებობს რეგიონები, რომლებშიც ატმოსფეროს დაჭუჭყიანება შესწავლილია და კრიტიკულად არის შეფასებული. ისეთ ინდუსტრიალურად განვითარებულ ქვეყანაში, როგორც აშშ, ჯანმრთელობისათვის მავნე ჰაერს შეისუნთქავს 100 მლნ-ზე მეტი მოქალაქე. გათვლებით აღნიშნულ ფაქტთან დაკავშირებით ქვეყნის ყოველწლიური ზარალი, რომელიც აერთიანებს მკურნალობის ხარჯს და დანაკარგებს (შრომის ნაყოფიერების დონის დაწევა), 40 მლრდ. დოლარს აღწევს. იგივე

მიზეზით, მეხიკოში ახალშობილთა 2/3-ს სისხლში აღნიშნება ტყვიის ისეთი კონცენტრაციები, რომლებიც საგრძნობლად აღემატება მსოფლიოს ჯანდაცვის ორგანიზაციის მიერ დადგენილ ნორმებს [23, 24].

ადამიანის ჯანმრთელობაზე არანაკლებ გავლენას ახდენენ ე.წ. ტექნოგენური ჰოდროგეოქიმიური ფაქტორები, რომელთაგან წამყვანი როლი სასმელად უვარგისი წყლის მოხმარებას უკავია. ცნობილია, რომ ის ზარალი, რომელიც გამოწვეულია მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე უხარისხო სასმელი წყლის მოქმედებით, სრულად შეესატყვისება სტიქიური უბედურებით, შიმშილით, ეპიდემიებით და სხვა გლობალური ფაქტორებით გამოწვეულ კატასტროფებს [25].

მიწისქვეშა და მდინარეთა წყლის დამაბინძურებლად მიიჩნევენ: ნავთობპროდუქტებს, ფენოლებს, რიგი ელემენტის სულფატებს, ქლორიდებს და აზოტიშემცველ ნაერთებს. წყლების დაბინძურებაში განსაკუთრებით დიდი წვლილი მიუძღვით ისეთ მძიმე ლითონების ნაერთებს, როგორცაა: სპილენი, თუთია, ტყვია, კადმიუმი, ნიკელი, მანგანუმი, ვერცხლისწყალი და სხვ. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მონაცემებით, მსოფლიოში არაკონდიციური წყლის მოხმარებით ავად ხდება დაახლოებით 500 მლნ ადამიანი. აღნიშნულის მიზეზად მიიჩნევენ მიკროელემენტების, როგორც დეფიციტს, ასევე სიჭარბის - წყალი ითვლება სასმელად, თუ მასში ყველა ელემენტი წარმოდგენილია ზღვ-ათა ზღვრებში.

მიკროელემენტოზები, რომელთა არსებობა ეფუძნება ბუნებრივ და ტექნოგენურ გეოქიმიურ ფაქტორებს დამთავრებულად მოქმედებს მცენარეთა მრავალსახეობაზეც და მათში ე.წ. ფიტოცენოზების განვითარების მიზეზი ხდება. საბოლოო შედეგი ვლინდება ზოგადად მცენარეებში და მათ შორის საკვებ პროდუქტებში (ხილი, ბოსტნეული, ცხოველთა საკვები ბალახები და ა.შ.) ტოქსიკანტების დაგროვებაში. ტოქსიკანტები შეიძლება წარმოდგენილი იყვნენ ტოქსიკური ლითონით (Ni, V, Mo და სხვ.) და ესენციალური ელემენტებით (Fe, Cu, Co, Cr, Mo, Mn და სხვ.). ამ უკანასკნელის ნიადაგში, წყალში და ჰაერში მაღალი კონცენტრაციებში (ზღვ-ს ზემოთ) არსებობისას

მნიშვნელოვანია, რომ ტოქსიკანტების ტრანსგერსიული გადანაცვლება (გადატანა) და საკვებ პროდუქტებში (მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის) დაგროვება ერთიან კვებით ჯაჭვში ჯდება და ადამიანში შეგროვდება [26, 27].

მანგანუმით ქრონიკული ინტოქსიკაციის დროს არჩევენ დაავადების 3 სტადიას - ფუნქციური ძვრები ღარიბი სიმპტომატიკით, დაწყებითი ტოქსიკური ენცეფალოპათია, მანგანუმისმიერი პარკინსონიზმი [28 - 31].

მანგანუმი ორგანიზმში ძირითადად აეროზოლების სახით სასუნთქი სისტემებიდან, ხოლო მცირე რაოდენობით - კუჭ-ნაწლავის ტრაქტით ხვდება. ორგანიზმში მისი შეღწევა შესაძლებელია დაუზიანებელი კანიდანაც, რეგიონში დიდი რაოდენობით მანგანუმის მოპოვების, გამდიდრების და მეტალურგიულ წარმოებაში გამოყენების დროს. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი ფაქტორია მანგანუმის მადნის მოპოვებისა და მისი საწარმოო გამოყენების რეგიონების მოსახლეობის ორგანიზმში მისი აეროზოლების სახით მოხვედრის შესაძლებლობა [16, 35, 37].

მანგანუმს ახასიათებს ორგანიზმზე პოლიმორფული მოქმედება. მისი მოქმედების შედეგად, როგორც სუსტი ალერგენისა, შესაძლებელია ორგანიზმის სენსიბილიზაცია და, შესაბამისად, ალერგიული დერმატიტის განვითარება; იგი ტოქსიკურ მოქმედებას ახდენს ძირითადად ცენტრალურ ნერვიულ სისტემაზე, რის შედეგადაც ვითარდება მანგანუმით გამოწვეული ქრონიკული პროფესიული ინტოქსიკაცია - მანგანიზმი; მტვრის ხანგრძლივი მოქმედების შედეგად ვითარება სასუნთქი სისტემის მტვრისმიერი დაავადება პნევმოკონიოზი - მანგანოკონიოზი, კონიოგენური ბრონქიტი და სხვა [5, 6].

მანგანუმის წარმოებაში დასაქმებულთა შორის მანგანუმი იწვევს როგორც მწვავე, ისე ქრონიკულ ინტოქსიკაციას. ამავე დროს, მანგანუმს ახასიათებს პოლიტროპული მოქმედება, რომელიც ვრცელდება ყველა სისტემასა და ორგანოზე, მაგრამ მთავარ სამიზნეს წარმოადგენს თავის ტვინი, რომლის დაზიანება ატარებს დიფუზიურ ხასიათს, კერძოდ, ის, როგორც შხამი,



შერჩევით მოქმედებს ქერქვეშა კვანძებსა და დიენცეფალურ არეზე, ნერვულ სისტემაზე. ამ დროს ვითარდება მანგანუმით გამოწვეული ქრონიკული პროფესიული ინტოქსიკაცია-მანგანიზმი; მტვრის ხანგრძლივი მოქმედების შედეგად ვითარდება სასუნთქი სისტემის მტვრისმიერი დაავადება პნევმო-კონიოზმი-მანგანოკონიოზმი, კონიოგენური ბრონქიტი [5, 16].

მანგანუმის წარმოებაში დასაქმებულთა შორის მანგანუმი იწვევს როგორც მწვავე, ისე ქრონიკულ ინტოქსიკაციას. მანგანუმით ინტოქსიკაციის პათოგენეზში თანამედროვე წარმოდგენით ძირითადი მნიშვნელობა ენიჭება მედიატორების - დოფამინისა და აცეტილქოლინის ცვლისა და თანაფარდობის მოშლას განგლიებში. აღმოჩენილია დარღვევები სტერილური ჰორმონების და ამინომჟავების ცვლაშიც.

მანგანუმით ქრონიკული ინტოქსიკაციის დროს არჩევენ დაავადების 3 სტადიას - ფუნქციური ძვრები ღარიბი სიმპტომატიკით, დაწყებითი ტოქსიკური ენცეფალოპათია, მანგანუმისმიერი პარკისონიზმი [5,26, 28].

ნევროლოგიური ცვლილებების და პათოლოგიების სუბლინკური ნიშნების დროულად გამოვლენას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს პათოლოგიური პროცესის პროგნოზირების და ეფექტური სამკურნალო-პროფილაქტიკური ღონისძიებების ჩასატარებლად.

მანგანუმი ჯანმრთელობის მნიშვნელოვან რისკს წარმოადგენს, როგორც საწარმოო, ისე არასაწარმოო პროცესებში მოქმედებისას. მიზნობრივი შესწავლით, გამოვლენილია გარკვეული ცვლილებები მანგანუმით მდიდარი რეგიონების (ჭიათურა, ზესტაფონი) მოსახლეობის ჯანმრთელობასა და ორგანიზმის ფუნქციური მდგომარეობის მაჩვენებელში [3]. კერძოდ, ანალიზური ეპიდემიოლოგიური კვლევის შედეგად, რომლის მიზანს ჭიათურის მაღაროს მუშებზე პროფესიული ფაქტორების მავნე ზეგავლენის შესწავლა შეადგენდა, გამოვლინდა – კვლევაში 330 რესპოდენტი მონაწილეობდა: 165 მუშა, ანუ ძირითადი (ექსპოზირებული) ჯგუფი და 165 საკონტროლო (არა-ექსპოზირებული) პირი. არაექსპოზირებულთა შერჩევა მოხდა ჭიათურის მიმდებარე ტერიტორიაზე მცხოვრები პოპულაციიდან, რომლებსაც არა-

სოდეს უმუშავიათ მაღაროში და ამასთან, ასაკის, სქესისა და საცხოვრებელი ადგილის მიხედვით შეესაბამებოდნენ ძირითად ჯგუფს. ორივე ჯგუფის გამოკითხვა ჩატარდა სტანდარტული კითხვარით, რომელიც მომზადდა ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მიერ რეკომენდირებული კითხვარების შესაბამისად, მონაცემთა დამუშავება ხდებოდა Epi Info-ს დახმარებით.

გამოკითხულ მაღაროს მუშათა 81 %-ს მამაკაცები შეადგენდნენ, 19 %-ს ქალები; მუშების 68,5 % სოფლად მაცხოვრებელია და 31,5 % ცხოვრობს ქალაქად, თითქმის ასეთივე იყო საკონტროლო პირების სქესისა და საცხოვრებელი ტერიტორიის მიხედვით განაწილება.

კვლევის შედეგების მიხედვით, მუშათა შორის მაღალია კუჭ-ნაწლავის, რადიკულიტის, ჰიპერტონიის, ბრონქიტის და პნევმონიის შემთხვევები. კუჭ-ნაწლავის დაავადებები ძალიან ხშირად კვების რეჟიმის დარღვევასთან და არასწორ კვებასთანაა დაკავშირებული. ამდენად, გასტრიტის და წყლულის მაღალი გავრცელება ქვეყანაში არსებული ზოგადი ტენდენციის ამსახველია, თუ პროფესიულ ფაქტორებთან დაკავშირებული, ამას ანალიზური კვლევა უჩვენებს. რაც შეეხება ჰიპერტონულ დაავადებას, ის არა მარტო მუშებში, არამედ საქართველოს მთელ მოსახლეობაში ფართოდაა გავრცელებული და ავადობისა და სიკვდილიანობის ერთ-ერთი უმთავრესი მიზეზია. მუშათა შორის მაღალი იყო პნევმონიის, ბრონქიტის, ბრონქული ასთმის გავრცელება. მანგანუმის დიოქსიდის და ტრიოქსიდის ინჰალაცია ფილტვებში ანთებით პროცესებს და სასუნთქი გზების დაავადებების გავრცელებას იწვევს.

გამოკითხულ მუშათა შორის მაღალი იყო საერთო სისუსტის, ძილის დარღვევის, უძილობის, თავბრუსხვევის გავრცელება. გამოკითხულთა შედარებით ნაკლებმა პროცენტმა (15 %) მიუთითა ვეგეტაციური დისფუნქციით მიმდინარე ცენტრალური ნერვული სისტემის ფუნქციური ცვლილებებისათვის დამახასიათებელი ჩივილების - ხელებისა და ფეხებში სისუსტის ან დაბუჩების (20 %) შესახებ.

თუმცა, კვლევები აღნიშნული მიმართულებით აშკარად არასაკმარისია სარწმუნო დასკვნების გამოსატანად. ამდენად, საკითხი, დამატებითი კომპლექსური კვლევის საფუძველზე, დაზუსტებას საჭიროებს.

უფრო კარგად არის შესწავლილი მანგანუმის საწარმოო მოქმედების ეფექტები, რადგან ეს პრობლემა საქართველოს შრომის მედიცინის სპეციალისტთა კვლევის ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულებაა [5,16].

აშშ ჩატარებული კვლევის შედეგების მიხედვით მანგანუმის ორგანიზმზე ზემოქმედების ნერვული ეფექტებიდან ძირითადად გამოიყო შეუქცევადი პარკისონიზმი. შეფასებების მიხედვით შედეგები მიიღეს 500 ათასიდან 1,5 მილიონი ადამიანის ჯანმრთელობის მდგომარეობის შესწავლის შემდეგ. შესაბამისად პრაქტიკოსმა ექიმებმა აუცილებლად უნდა გაითვალისწინონ დიფერენცირებული დიაგნოსტიკის დროს მანგანუმის პროფესიული ზემოქმედება. პროფპათოლოგებს შეუძლიათ შეასრულონ გადამწყვეტი როლი მანგანუმის ნეგატიური ზემოქმედების თავიდან ასაცილებლად [42].

მანგანუმი, როგორც ესენციური მიკროელემენტი, რომლის ნაკლებობა აფერხებს ორგანიზმის ბიოლოგიური ციკლის განხორციელებას, აქტიურად ერთვება ცილების, ნუკლეინის მჟავების, ამინომჟავების, ფერმენტების, ვიტამინების, ჰორმონების შემადგენლობაში ან გავლენას ახდენს მათ აქტივობაზე, მონაწილეობს და ინარჩუნებს პოტენციალს უჯრედის აგზნებისა და იონების ტრანსპორტირების დროს [5, 34, 38].

მნიშვნელოვანია მანგანუმის გავლენა რეპროდუქციულ ჯანმრთელობაზე. კვლევებით დადგენილია მანგანუმის მოქმედებით გენერაციული ფუნქციის და სპერმატოგენეზის დარღვევა, კერძოდ, აქტივობისა და განაყოფიერების უნარის დათრგუნვა. იცვლება მესტრუალური ციკლი. ორგანიზმზე მანგანუმის შენაერთების მოქმედება იწვევს ცვლილებებს, როგორც პირველი, ასევე მეორე თაობის მემკვიდრეობაში, რაც გამოიხატება მკვდარი და განუვითარებელი ემბრიონების რიცხვის გაზრდით, შთამომავლების

სიცოცხლისუნარიანობის შემცირებით და სქესობრივი მომწიფების შეფერხებით [3, 29, 33, 36].

ასევე უნდა აღინიშნოს მანგანუმის გავლენა მამაკაცების ფერტილობაზე. სხვადასხვა დროს შრომის მედიცინის ექსპერტების, პროფპათოლოგების დასკვნები და ექსპერტიმენტულ ცხოველებზე ჩატარებული კვლევის შედეგები ადასტურებენ მანგანუმის ზემოქმედებას მამაკაცთა ფერტილობაზე. ჩატარებული ჯვარედინი კვლევის შედეგად შეფასებულ იქნა კლინიკაში, უშვილობის დიაგნოზით 200 პაციენტის სისხლში მანგანუმის და სელენის კონცენტრაცია. ასევე იქნა განსაზღვრულია კორელაცია მანგანუმის რაოდენობასა და სპერმის რაოდენობას შორის, ასევე გათვალისწინებულ იქნა სხვადასხვა რისკფაქტორების ზემოქმედება [41].

კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ მანგანუმის მაღალი კონცენტრაცია დაკავშირებული იყო მომეტებულ რისკთან სპერმატოზოიდების მოძრაობის უნარის შემცირებასთან. კვლევის შედეგად მიიღეს დასკვნები: მანგანუმით და მისი ნაერთებით დაბინძურებული გარემოს ზემოქმედება დაკავშირებულია მამაკაცის ორგანიზმში სპერმატოზოიდების კონცენტრაციასა და მოძრაობის უნარის შემცირებასთან.

მანგანუმი თავისუფლად გადის პლაცენტარულ ბარიერს, რომ დააკმაყოფილოს ნაყოფის მოთხოვნილება ამ მიკროელემენტზე. ქალის რძეში მანგანუმის რაოდენობა მერყეობს 3,4 – 10 მკგ/ლ ფარგლებში და დამოკიდებულია რძის შედგენილობასა და გარემოს ეკოლოგიურ სიტუაციაზე.

დადგენილია, რომ ნაყოფზე და ბავშვზე მანგანუმის მცირე დოზების ხანგრძლივი ზემოქმედების შესაძლებლობა არსებობს, კერძოდ, დედის ორგანიზმიდან დაბადებამდე, ასევე ძუძუთი კვების ან ხელოვნური კვების პროცესში, მანგანუმის ჭარბი რაოდენობის ჩართვა კვებით ჯაჭვში, გარემოს ობიექტების (ნიადაგი, ჰაერი, წყალი) მანგანუმის შენაერთებით დაბინძურების გამო, ქმნის ბავშვის ორგანიზმზე მანგანუმის შენაერთების მცირე კონცენტრაციების კომპლექსური (ჰაერი, წყალი, ნიადაგი, საკვები) ზემოქმედების პოტენციურ საშიშროებას [29-33, 38].

განსაკუთრებით შესწავლას საჭიროებს მანგანუმის ზემოქმედება ბავშვის ცენტრალურ ნერვულ სისტემაზე. 200-მდე ქიმიური ნივთიერება (მათ შორის მანგანუმის ნაერთები), როგორც ცნობილია მოქმედებს რა ადამიანის ჯანმრთელობაზე იწვევს კლინიკურად ნეიროტოქსიკურ ეფექტებს მოზრდილებში. დამატებითი კვლევებით აღმოჩენილია მრავალი ქიმიური ნივთიერება, რომლებიც იწვევენ ნეიროტოქსიკურობას, მაგრამ როგორ მოქმედებს ეს ნივთიერებები ახალშობილის ტვინზე არ არის ცნობილი და შესაბამისად საკითხიც არ რეგულირდება, რათა დავიცვათ ბავშვები.

ასევე უნდა აღინიშნოს მანგანუმით დაბინძურებული სასმელი წყლით გამოწვეული ჯანმრთელობის რისკების შესახებ. ჩატარებული კვლევის დროს შეფასებულ იქნა მანგანუმით დაბინძურებული სასმელი წყლის მიღებისას განვითარებული რისკი ადამიანის ჯანმრთელობაზე. წყალმომარაგების სისტემაში კანადის პროვინცია კვებეკში მოსახლეობას მიეწოდებოდა მანგანუმის შემცველი წყალი. შემოწმდა ჰიპოთეზა, რომ სასმელი წყლიდან მიღებული მანგანუმის გარკვეული რაოდენობა უნდა იყოს მიზეზი მანგანუმის მაღალი შემცველობისა თმებში, რომელიც თავის მხრივ დაკავშირებული იქნებოდა ბავშვთა ჰიპერაქტიულ ქცევის მომატებასთან. კვლევაში მონაწილეობა მიიღო 46-ა ბავშვმა, 24 ბიჭი და 24 გოგო 6-დან 15 წლის (მედიანა 11 წელი ) ასაკში. მათ სახლში სასმელად მიეწოდებოდა მანგანუმით დაბინძურებული წყალი სხვადასხვა ჭაბურღილიდან და შესაბამისად მანგანუმის განსხვავებული შემცველობით. პირველ ჭაბურღილში მანგანუმის კონცენტრაცია იყო 6300 კგრ/ლ-ზე, ხოლო მეორე ჭაბურღილში 160 მკგრ/ლ-ზე. კვლევის შედეგად დადასტურდა, რომ ბავშვებს, რომლებიც სასმელად იყენებდნენ პირველი ჭაბურღილის წყალს აღნიშნებოდათ თმებში მანგანუმის რაოდენობის მაღალი მაჩვენებელი და ასევე ჰიპერაქტიურობა და ქცევითი პრობლემები. კვლევის შედეგები, კიდევ ერთხელ ადასტურებს, რომ აუცილებელია დამატებითი კვლევების ჩატარება მანგანუმით დაბინძურებული სასმელი წყლის მიღებით გამოწვეული ჯანმრთელობის რისკების შესაფასებლად.

მაგალითის სახით შეიძლება მოყვანილ იქნას რუსეთში განხორციელებული კვლევა, რომელიც ჩატარდა სასმელი წყლის არადაამაკმაყოფილებელი ხარისხიან ტერიტორიაზე (სასმელ წყალში მანგანუმის კონცენტრაცია 1,5-ჯერ აღემატებოდა ზღვ-ას). შესწავლილი იქნა 7 წ-მდე ასაკის 145 ბავშვის ჯანმრთელობა (ძირითადი ჯგუფი) და პარალელურად 40-მდე ბავშვი, რომელიც მოიხმარდა Mn-ის დასაშვები რაოდენობით შემცველ სასმელ წყალს (საკონტროლო ჯგუფი). დადგინდა, რომ ბავშვთა ძირითადი ჯგუფის, საკონტროლო ჯგუფთან შედარებით, ჯანმრთელობის პრობლემები ძირითადად ვეგეტატიური ხასიათისაა და ვლინდება: ჭარბოფლიანობაში (2,5-ჯერ მეტი), ნერვიულ სისტემის მოშლილობაში (2,5-ჯერ) მგზავრობათა აუტანლობაში (4-ჯერ). თანმხლები სენის გამოვლინება დაფიქსირდა მეტყველების გვიან დაწყებაში და ნერვულ-ფსიქიური მაჩვენებლებისას ასაკობრივ ჩამორჩენაში (3,5-ჯერ უფრო ხშირი) [45].

აღსანიშნავია ბოლო წლებში ჩატარებული კვლევები, კერძოდ მათში ქ. ზესტაფონში და მიმდებარე ტერიტორიაზე ფეროშენადნობთა ქარხნის ტერიტორიიდან გაფრქვეული სამრეწველო მტვრისაგან გამოწვეული ეკოლოგიური საფრთხეები იქნა განხილული.

აღნიშნული მიმართულებით ჩატარებული კვლევებით განხორციელდა ზესტაფონის რაიონში ატმოსფეროსა და ნიადაგის დაბინძურების წყაროებისა და ჰაერის დამაბინძურებელი ნივთიერებათა სახეობათა დადგენა. ატმოსფეროსთან მიმართებაში, მისი დაბინძურების გამომწვევი და მასში არსებული აეროზოლების წარმოქმნის ძირითად წყაროდ მიჩნეულია ფეროშენადნობთა ქარხანა. აეროზოლების შედგენილობაში წარმოდგენილია მტვრისებრი შემადგენილი და მათ შორის მანგანუმის დიოქსიდი, რომელთა კონცენტრაციათა ცვალებადობას განსაზღვრავს მეტეოროლოგიური პირობები და შესაბამისად წლის სხვადასხვა პერიოდში განსხვავებულია. ატმოსფეროს დამაბინძურებელი და მასში აეროზოლის სახით წარმოდგენილი შემადგენლის წყაროებად მიჩნეულია ფეროშენადნობთა ქარხნის ორი ძირითადი საწარმოო უბანი: ნედლეულის გადამუ-

შავება - მომზადების უბანი და სილიკომანგანუმის გამოდნობისას წარმოქმნილი მტვერი. ნაშრომთა ავტორები საწარმოო პროცესში წარმოქმნილ მტვერს ორ სახეობად აჯგუფებენ: ორგანიზებული და არაორგანიზებული. ორგანიზებულად წოდებული მტვერის წარმოქმნა ხდება სადნობ ღუმელში მიღებული ტექნოლოგიური აირების, გამფილტრავ სისტემაში შესვლისას გატანილი და ატმოსფეროში გაფრქვეულის საფუძველზე. არაორგანიზებული მტვერი წარმოიქმნება სადნობი ნარევის შემადგენელი მასალების (ძირითად მანგანუმის მადნის და კოქსის) ფრაქციებად დაყოფა და მათი რაოდენობა ღუმელში ჩაყრის პროცესში [46-48].

## 1.2. მანგანუმშემცველი ნარჩენების გადამუშავება

კარგადაა ცნობილი, რომ წიაღისეულის მოპოვება და შემდგომი გადამუშავება ემსახურება კონკრეტულ მიზანს - ისეთი ნედლეულის მიღებას, რომელიც უზრუნველყოფს ეკონომიკურად მისაღები და ტექნოლოგიურად სრულყოფილი პროცესების განხორციელებას. ნებისმიერი სახის წიაღისეულის გამდიდრებას თან ახლავს გარკვეული სახის ნარჩენების წარმოქმნა, რომლებიც ხშირად დედამიწის ზედაპირზე ნაყარის ან სპეცსაცავებში შლამის სახით გროვდება, იკავებს მნიშვნელოვან ფართობს და ეკოლოგიური პრობლემების წარმოქმნის ერთ-ერთი ძირითადი ფაქტორი ხდება. სამრეწველო ინდუსტრიის სიმძლავრეების ზრდის დინამიკა განსაზღვრავს ძირითადი შემადგენელი ნივთიერების შემცველობით მდიდარი ქანების მოპოვებითი სიმძლავრეების შემცირებას, ხოლო ღარიბი ქანების გამდიდრება ზრდის მათი გადამუშავებისას წარმოქმნილი ნარჩენების რაოდენობას. ამგვარი ნარჩენების (ე.წ. „ფუჭი ქანები“) უტილიზაცია მრავალი ქვეყნის პრობლემას უქმნის და ამ მხრივ საქართველო გამონაკლის არ წარმოადგენს. კონკრეტულ პრობლემათა შორის შეიძლება გამოიყოს ჭიათურის რეგიონი, სადაც მოიპოვება მანგანუმშემცველი მადანი, რომლის გამდიდრების შედეგად ასობით ათასი ტონა, ნარჩენი ე.წ. შლამი დაგროვდა. აღნიშნული მასალის ტექნოგენურობის შეფასება და მისგან გარკვეული

დანიშნულების მასალების მიღების შესაძლებლობა შესწავლილი იყო რიგ სამუშაოში, მაგრამ დღემდე რჩება მნიშვნელოვან გადასაწყვეტ საკითხად.

მანგანუმის მადნების გამდიდრების შედეგად წარმოქმნილი შლამების სილიკატურ დარგში გამოყენების შესაძლებლობის დადგენას არა ერთი კვლევა მიეძღვნა. პირველ რიგში გამოვყოფდით იმ სამუშაოებს, რომელთა მიზანს წარმოადგენდა შლამის მონაწილეობით შედგენილ გარკვეულ კომპოზიციებში მიმდინარე მაღალტემპერატურული პროცესების შესწავლა [49].

საკვლევ ობიექტად ავტორის მიერ აღებული იქნა „ფსევდოოთხმაგი სისტემა“ წოდებული კომპოზიცია: „შლამი –  $SiO_2$  –  $CaCO_3$  –  $Na_2CO_3$ “ აღნიშნულ სისტემაში ავტორი შემოიფარგლა შედგენილობებით:  $SiO_2$  – ს; (65–76%), CaO-სა ( 0–16,9%) და  $Na_2O$  – ს (0–17,6 %), რასაც შეესატყვისებოდა საკვლევ სისტემაში შემავალი კაზმის ინგრედიენტების შემცველობები (მას %): შლამი – 5-70; კვარცის ქვიშა – 30-50; ხოდა 0–30 და კალციტი 0-30. ჩატარებული თერმოდინამიკური ანგარიშებისა და პეტროქიმიური ხერხების გამოყენებით, ორ - , სამ - და ოთხკომპონენტიანი კაზმების ფიზიკურ -ქიმიურ კვლევის საფუძველზე დადგინდა საკვლევ ობიექტად აღებული ფსევდოოთხმაგი სისტემის კომპოზიციებში მიმდინარე პროცესების ნაირსახეობა და ტემპერატურით განსაზღვრული მათი წარმოქმნის თანმიმდევრობა, თერმულ დამუშავებით გამოწვეული კრისტალურ ფაზათა წარმოქმნა-გარდაქმნა, თხევადი ფაზის როდენობა და სხვ. ავტორის აზრით, მიღებულმა შედეგებმა ხელი უნდა შეუწყოს კონკრეტული სახის საწარმოო ნარჩენის საფუძველზე სხვადასხვა სახეობის სილიკატური მასალების მიღების საქმეს, კერძოდ მათი ტექნოლოგიის დაგეგმვა - დამუშავებას.

მიღებული შედეგები ჩვენთვის საინტერესოა იმ ნაწილში, რომ შლამის ჩართვა შესაძლებელია სხვადასხვა სახის სილიკატურ მრეწველობაში მიღებული მასალებისათვის.

კონკრეტული საკითხის, კერძოდ ტექნოგენური ნედლეულის შემცველ კომპოზიციიდან მეცნიერებისა და ტექნიკის მრავალ დარგში



გამოყენებულ მინაკერამიკის მიღებას, მიეძღვნა საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შესრულებული სამუშაოები [50 – 53].

კვლევის ძირითად ობიექტად აღებული იქნა ჭიათურის ადგილმდებარეობის მანგანუმშემცველი ნარჩენები. მაკორექტირებელ კომპონენტებად შეირჩა საჩხერის ადგილმდებარეობის (ბაჯითის საბადო) ქვიშა, ბუნებრივი CaO-სა და MgO-ს შემცველი ნედლეული (დოლომიტი) და კალცინირებული სოდა. აღნიშნულ კომპოზიციას ჩაუტარდა თერმოდინამიკურ-პეტროგრაფიული შეფასება, რაც განხორციელდა ჯიბსის თავისუფალი ენერგიების მინიმიზაციისა და ფაზურ წონასწორობათა დებულებებით. თავის მხრივ, უკანასკნელი ეფუძნებოდა კრისტალოქიმიურ კლასიფიკაციაში მიღებულ სტრუქტურულ ინგრედიენტთა მეთოდს. ნარჩენის (შლამის) მინერალურ და ქიმიური შედგენილობათა ანალიზის საფუძველზე შედგენილი იქნა ოთხკომპონენტიანი კომპოზიცია, რომლისთვისაც შეფასდა 100-ზე მეტი მოსალოდნელი რეაქცია, რაც განხორციელდა ფართო ტემპერატურულ ინტერვალში ჯიბრის თავისუფალი ენერგიისა და რიგი მყარფაზა რეაქციების კინეტიკის შეფასებით. შესაბამისი გათვლებით დადგინდა, რომ შლამის (მადნის გამდიდრების ნარჩენის) საფუძველზე შედგენილ კაზმებში 298 - 1173 K ინტერვალში მოსალოდნელია მყარფაზა რეაქციების წარმართვა  $SiO_2$ -სა და  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$  (დოლომიტი) და  $Na_2CO_3$ -ის (სოდა) მონაწილეობით. იგივე ინტერვალში მოსალოდნელად არის მიჩნეული მანგანუმის ჰიდროოქსიდების გარდაქმნა-გაუწყლოება, ჰემატიტის, კარბონატებისა და  $SiO_2$ -ს ურთიერთქმედება. ტემპერატურული ინტერვალის ბოლოსკენ მიღებულ პროდუქტში წამყვანი ფაზებია: მინდვრის შპატები, კვარცი და მანგანუმის ნაერთთა გარდაქმნით წარმოქმნილი ჰაუსმანიტი.

ტემპერატურის აწევა (ინტერვალი 1173–1473 K) განსაზღვრავს ფაზური შედგენილობის მნიშვნელოვან გარდაქმნას, რადგან მოსალოდნელი ხდება თხევადი ფაზის წარმოქმნა, რომელთანაც თანაარსებობაშია რიგი კრისტალური ფაზა (პიროქსენები, მინდვრის შპატი და კვარცი).

უფრო მაღალი ტემპერატურები უნდა იწვევდეს თხევადი ფაზის რაოდენობის ზრდას, რომელშიც ინტეგრირებულია კვარცი და პიროქსენები, (1473–1623 K ინტერვალი). ხოლო 1623 K-ზე (დაახლოებით 1350 – 1400°C-ზე), გათვლების საფუძველზე, მოსალოდნელია მხოლოდ ამორფული (გამინებული) ფაზის არსებობა.

იგივე ავტორთა მიერ განხორციელდა რიგი ოთხკომპონენტური კომპოზიციის ექსპერიმენტული კვლევა - ჯერ მინის სინთეზი, ხოლო შემდგომ თვისებათა კვლევა. კაზმების დიფერენციალურ - თერმული ანალიზი და გარკვეულ ტემპერატურაზე დამუშავებულ კაზმებში მიღებული კრისტალური პროდუქტის იდენტიფიკაცია რენტგენოფაზური ანალიზით [51, 53].

ჩატარებული კვლევებით დადასტურდა, რომ ოთხკომპონენტური კაზმში თხევადი ფაზის წარმოქმნა მოსალოდნელია 800°C-ზე უფრო მეტ ტემპერატურებზე, ხოლო კრისტალური ფაზების არსებობა 1300°C-ზეც ფიქსირდება. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ავტორები მიიჩნევენ, რომ რენტგენოფაზური მონაცემების მიხედვით, კარგი თანხვედრა არსებობს თერმოდინამიკურ - პეტროქიმიური პროგნოზირებისა და პრაქტიკულად კვლევით მიღებულ შედეგებს შორის.

სინთეზირებული მინის იძულებითი დაკრისტალებით დადასტურდა, რომ 1173 -1273 K-ზე თერმოდამუშავება იწვევს მათ კრისტალიზაციას, რაც დასტურდება რენტგენოფაზური ანალიზით გარკვეული შედგენილობის კრისტალური ფაზების გამოვლენა - ინდენტიფიკაციის.

კიდევ ერთი სამუშაოს, რომელსაც მიზნობრივად იქნა გამოყენებული მანგნუმის მადნის გამდიდრების შედეგად წარმოქმნილი შლამი, მიზანს წარმოადგენდა გამდიდრების ნარჩენის შემცველი და აქედან მრავალმინერალური კომპოზიციის საფუძველზე მინანქრის შედგენილობის პროექტირება [54, 55].

შესასწავლად შერჩეულ კომპოზიციაში შლამის გარდა წარმოდგენილია ბაჯითის საბადოს ქვიშა  $SiO_2$  კრისტალური  $(Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O)$  ბორაკი, კალცინირებული სოდა  $(Na_2CO_3)$ -ი. რადგან კვლევა ითვალისწინებდა ე.წ.

გრუნტის მინანქრების მიღებას, ფსევდოსამკომპონენტის სისტემას ემატება კლასიკურად ცნობილი მინანქრის ლითონთან შეჭიდულობის უზრუნველყოფი კობალტის ოქსიდი (CoO). აღნიშნული მასალებიდან კაზმის შედგენისას შერჩეულია საბაზო შედგენილობის და მომინანქრებაში ხშირად გამოყენებული გრუნტის შედგენილობა. აღნიშნულიდან გამომდინარე კვლევა ჩატარდა ოთხკომპონენტის კომპოზიციაზე, რომელშიც კაზმის შემადგენელი მასალები შემდეგი რაოდენობითაა წარმოდგენილი (მას %): შლამი – 43,41; ბაჯითის ქვიშა – 23,69; სოდა კალცინირებული – 18,75, ბორაკი – 47,4; CoO – 0,9. აღნიშნული შედგენილობის კაზმის ულუფის მასა (ნედლეულის ჯამი), რომელიც უზრუნველყოფს 100 წ.ნ. მინანქრის მიღებას შეადგენს 134,15 წ.ნ.-ს. მოყვანილი შედგენილობის კაზმისათვის ჩატარდა თერმოდინამიკური შეფასება ჯიბსის თავისუფალი ენერჯის მინიმუმაციის მეთოდით, რომლის რეალიზაციისათვის სამუშაოთა ავტორებმა გამოიყენეს ოთხი სხვადასხვა მიდგომა (ულისხის I და II მიახლოება, შვარცმან - ტემკინის მეთოდი და კლასიკური მიდგომა). ჩატარებული გათვლებით დადგინდა ოთხკომპონენტის სისტემაში მოსალოდნელ რეაქციას და მისი თხევად მდგომარეობაში გადასვლის მოსალოდნელი ტემპერატურა. შემდგომში, უკვე ექსპერიმენტალურმა კვლევამ აჩვენა, რომ არსებობს კარგი კორელაცია თეორიული და პრაქტიკული გამოსავალთა შორის. კერძოდ, ლაბორატორიულ პირობებში განხორციელდა მინანქრის ფრიტის მიღება და რაც მნიშვნელოვანია, დამზადდა მომინანქრებული ლითონის ნაკეთობა.

მანგანუმის სამთო-მეტალურგიული ნარჩენების გარკვეულ სახეობათა სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესში დაბრუნების გზების მოძიების საკითხს ეხმოვანება კვლევა, რომელიც მიზნად ისახავდა წიდის, როგორც მანგანუმემცველი ნედლეულის (მანგანუმის 20%-მდე შემცველობა), მანგანუმშემცველი დანამატებით „გამდიდრებას“. ამისათვის რეკომენდირებულია ტექნოლოგია, რომლის მიხედვით მიზანშეწონილადაა მიჩნეული ჯერ კიდევ თხიერი წიდისა და წვრილფრაქციული მასალების ურთიერთ შერწყმა. წიდის დანამატებით რეკომენდირებული ეკოლოგიური საფრთხეების გა-

მომწვევი ფეროშენადნობთა ქარხნის მტვრისა და მადნების გამდიდრების ნარჩენების (შლამი) გამოყენება. მათი მონაწილეობით წარმოქმნილი კონგლომერატი (წიდისა და დანამატების შეცხოვით მიღებული) მიჩნეულია მანგანუმშეცელი წიდის სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესში დაბრუნების და ამავე დროს გარემოს დაბინძურებისაგან დაცვის ერთ-ერთ მისაღებ გზად [56].

საგულისხმოა მანგანუმშემცველი ნედლეულის და საწარმოო ნარჩენების მიზნობრივი შესწავლის შედეგები, რომელიც განხორციელდა მანგანუმის კონცენტრანტის წარმოების ორი სახეობის ნარჩენებთან მიმართებაში. ერთი მათგანი 7,3 % საერთო მანგანუმს და 4,2 %  $MnO_2$ -ს შეიცავდა, ხოლო მეორეში საერთო მანგანუმის შემცველობა 13,0-ით და  $MnO_2$  -ის კი 11,6 %-ით იყო წარმოდგენილი. აღნიშნული მასალებიდან ბაზარზე მოთხოვნადი ქიმიური ნაერთებთა მისაღებად შემუშავებულია ზემოდ ჩამოთვლილი ნარჩენების გადამუშავების ტექნოლოგიები. კერძოდ, მომზადდა ნარევი, რომელშიც ნარჩენებთან ერთად წარმოდგენილი იყო ნახშირი (ტყიბულის საბადო). ნარევის 800–850°C-ზე თერმული დამუშავებით მიიღწეოდა მანგანუმის აღდგენის მაღალი ხარისხი, შემდგომში მიღებულ მასალას გოგირდის მჟავით გამოტუტვა უტარდებდა. რის შემდეგ ხსნარი მინარევებისაგან იწმინდებოდა და მიიღებოდა მანგანუმის სულფატის მაღალი კონცენტრაციით შემცველი ხსნარები. ასეთი ხსნარების ელექტროლიზით მიღებული იქნა დაახლოებით 92 %  $MnO_2$ -ს, შემცველი პროდუქტი. სამუშაოს შედეგებში მითითებულია, რომ მანგანუმის შემცველი სამრეწველო ნარჩენებიდან, მათი კომპლექსური გადამუშავებით, შესაძლებელია მსოფლიო ბაზარზე ზრდადი მოთხოვნილების მქონე ორი სახეობის პროდუქტის მიღება და ესენია: ელექტროლიზური  $MnO_2$  და  $MnSO_4$  [57].

საინტერესო ჩანაფიქრი იყო ჩადებული სამუშაოში, რომელიც ითვალისწინებდა მოდელურ  $CaO - BaO - Al_2O_3 - TiO_2$  სისტემაში, დანამატების სახით 100%-ს ზემოთ  $Fe_2O_3$  და  $Mn_2O_3$  -ს შეტანას. სამუშაო მიზნად ისახავდა ასეთი შედგენილობის, მინების კომპლექსურ შეწავლას. კერძოდ, მათი

ფიზიკური, მექანიკური და ქიმიური თვისებების დადგენას და მათი იძულებითი კრისტალიზაციით მიღებული მინაკრისტალური მასალების შესწავლას, რათა შემდგომი შედეგების განზოგადოება გადატანილი ყოფილიყო ისეთ მინებზე, რომელთა სანედლეულო ბაზას ტექნიკური ნედლი მასალები და საუტილიზაციო ნარჩენები წარმოადგენს [58].

საბაზო ხუთკომპონენტის შედგენილობების დანამატად აღებული  $Fe_2O_3$  და  $Mn_2O_3$  რაოდენობა 2,5 დან 20%-მდე შეადგენდა (ბიჯი 2,5 %), ხოლო მინების სინთეზი  $1500^{\circ}C$ -ზე ჩატარდა. მიღებული მინების კრისტალიზაციური უნარის შესწავლით დადგინდა, რომ  $Mn_2O_3$ -ის შეტანით მიიღწევა წვრილმარცვლოვანი დაკრისტალება, როდესაც ოქსიდის რაოდენობა არ ახდენს გავლენას მინების კრისტალიზაციის ტემპერატურულ ინტერვალზე: ქვედა ზღვარი დაახლოებით  $950^{\circ}C$  -ს, ხოლო ზედა კი  $1075 - 1100^{\circ}C$ -ს შეადგენს. მინის შედგენილობაში რკინის ოქსიდის შეტანა 10 %-ზე ზემოთ მკვეთრად ცვლის კრისტალიზაციის ტემპერატურულ ზღვრებს. კერძოდ ქვედა ტემპერატურული ზღვარი მკვეთრად ეცემა ( $Fe_2O_3$ -ის რაოდენობის 10 - დან 20 მას. %-მდე ზრდის პირობებში)  $875^{\circ}C$  დან  $775^{\circ}C$  -მდე, ხოლო ზედა ზღვარი უმნიშვნელოთ ( $1050 -$  დან  $1075^{\circ}C$  -მდე) იზრდება.

მანგანუმშემცველ ნარჩენთა ერთ-ერთ ნაირსახეობას წარმოადგენს მტვერი, რომელიც წარმოიქმნება ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის საწარმოო სადნობი აგრეგატების ექსპლოატაციისას. მტვერისებრი მასალათა თავისებურებიდან გამომდინარე, ისინი ადვილად ტოვებენ წარმოქმნის წყაროს და უნარი შესწევთ გადაადგილდნენ ატმოსფერული ნაკადების ზემოქმედებით.

ფერაშენადნობთა ქარხნის (შ.პ.ს. „ჯორჯიან მანგანეზი“) საწარმოო საამქროების პირობებში გამწმენდი მოწყობილობის ექსპლოატაციისას მტვერის წარმოქმნა უკავშირდება მის აერაციულ ფანჯრებიდან ამოფრქვევას. მიზნობრივი კვლევებით დადგინდა, რომ აღნიშნული მტვერი შეიცავს მანგანუმის დიოქსიდს და ამოფრქვევის მომენტში აირმტვრიანი ნარევის ტემპერატურა  $30-60^{\circ}C$ -ა. მისი სიჩქარე დაახლოებით 1 მ/წმ-შია, ხოლო კონცენ-

ტრაცია მკვეთრად ცვალებადია (დაახლოებით 1-დან 6-მდე მგ/მ<sup>3</sup>). სამრეწველო მტვრის ვერტიკალური გავრცობის შეფასება ჩატარდა რიცხვითი მოდელირებით. ქ. ზესტაფონის და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე მტვრის ვერტიკალური გავრცობის (შტილის პირობებში) შესწავლა - შეფასებით დადგინდა, რომ აღნიშნულთან მიმართებაში ძირითადი გამსაზღვრელი ფაქტორი-თერმული კონვექციაა. მაგრამ არსებობს ერთი მნიშვნელოვანი თავისებურება, რომელიც უკავშირდება მტვრის გავრცელების მექანიზმს: ის ორი ვერტიკალური ცილინდრული ნაკადის სახით მოძრაობს, რომელთა ბოლოების ურთიერთშერწყმა დაახლოებით 200 - 350 მ სიმაღლეზე ხდება.

ამავე შრომაში მოყვანილია ერთი საყურადღებო გარემოება, რომელიც თუმცა მოდელირებითაა მიღებული, რომ მტვრის კონცენტრაცია, ჰაერის უმოძრაობის პირობებში (შტილი), ძალზე დიდია (3-ჯერ აღემატება ზდკ-ას) ამოფრქვევის ადგილის თავზე თითქმის 100 მეტრიან ვერტიკალზე, ხოლო მტვრის შემცველობა ჰაერში კლებულობს უფრო დაბალ და მაღალ სიმაღლეებზე.[59].

ჩვენი კვლევის ამოცანებიდან გამომდინარე, შეიძლება აღინიშნოს სამუშაო, რომელიც სილიკომანგანუმის მიღების ახალ ტექნოლოგიურ სქემის დამუშავებას მიეძღვნა [60].

აღნიშნულ კომპლექსურ ნაშრომში მკაფიოდ არის ნაჩვენები სილიკომანგანუმის წარმოების გარკვეული შედგენილობის კაზმში (გრანულირებული წიდა, მანგანუმიანი მტვერი, კოქსის ანცერი ლითონური მტვერი) ერთობლივი არევით, შემკვრელის დამატებით და მათი ერთობლივი დაბრიკეტებით, შესაძლებელია სილიკომანგანუმის დნობის საწარმოო პროცესში გამოყენებადი მასალების მიღება. აღსანიშნავია, რომ კაზმებში მტვრის შემცველობა არ აღემატება 30 მას % -ს [61, 62].

### 1.3. მინაკრისტალური მასალები საწარმოო ნარჩენების და მათის ქანების საფუძველზე, მათი მიღების საფუძვლები

საწარმოო ნარჩენები, რომლებიც წარმოადგენენ სხვადასხვა წარმოებათა საქმიანობის თანამდევ პროდუქტს, წარმოიქმნება გადამამუშავებელ საწარმოთა მიერ სასარგებლო წიაღისეულის გადამამუშავების ან სამრეწველო პროცესების ჩატარების შედეგად. საწარმოო ნარჩენების წარმოქმნა, თავის მხრივ, აქტუალურს ხდის მათი გამოყენების საკითხს, რადგან მილიონობით ტონა ნარჩენის მიზნობრივი უტილიაციის საკითხი წარმოადგენს როგორც ეკონომიკური, ასევე ეკოლოგიური ხასიათის მნიშვნელოვან ამოცანას [63].

აღნიშნულის გათვალისწინებით, წარმოდგენილი იქნა არა ერთი რეკომენდაცია, რომელიც ითვალისწინებს საწარმოო ნარჩენების სასარგებლო პროდუქტში გადაყვანას. პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს პრაქტიკაში დიდი ოდენობით გამოყენებული მეტალურგიული (ბრძმედული) წიდეები. დღეისათვის ასეთი წიდეები ფართოდ გამოიყენება ცემენტის წარმოებაში - წიდაცემენტის მიღებისას, მაგრამ ბეტონების შემავსებლად და ღორღად, სხმულ საგზაო ფილების და სხვა სახის ხურვამდეგი ნაწარმის მისაღებად. ეს უკანასკნელი ეფუძნება საწარმოო მეთოდების გამოყენებით, ე.წ. წიდა - , ნაცარ - და პეტროსიტალებში ან ქვის სხმულში მათ გარდაქმნას. მათი მიღება - გამოყენების წინაპირობას წარმოადგენს ხელმისაწვდომი იაფი სანედლეულო ბაზა, ხოლო შესაბამისი სამრეწველო ტექნოლოგიები ფართოდ არის გავრცელებული მრავალ განვითარებულ ქვეყნებში (გერმანია, პოლონეთი, დიდი ბრიტანეთი, იაპონია და სხვ.) [64,65].

წიდასიტალების შედგენილობას განსაზღვრავს იმ მინის ქიმიური შედგენილობა, რომლის დაყალიბება (ნაწარმის მიღება) შესაძლებელია ამა თუ იმ საჭირო ხერხით, რასაც ნაწარმის სახე (ფორმა) განსაზღვრავს. როგორც ცნობილია წიდეები (ძირითადად ბრძმედის) განსხვავდებიან თავისი ფუძიანობით, მაგრამ ყველა მათგანი - დიდი ოდენობით შეიცავს CaO და MgO-ს (30-50 მას.%). ამიტომ წიდასიტალის მისაღებ კაზმში, ძირითად კომპონენტის - წიდასთან ერთად საჭირო ხდება კვარცის ქვიშის და სხვა ნედლეულის

დამატება. წილური მინის მისაღებად და შემდგომი მისი წიდასიტალში გადასაყვანად, სასურველად მიიჩნევა შემდეგი შედგენილობის კაზმის გამოყენება (მას.%): ბრძმედის წიდა 50 – 65, კვარცის ქვიშა 20 – 40, თიხა 10-მდე, გამასუფთავებელ - აღმდგენლები (ძირითადად სულფატები და ნახშირი) 10-მდე და კრისტალიზატორები (ხშირად სულფიდური, ოქსიდური, ფტორიდული) 0,5–10. კრისტალიზაციის კატალიზატორად (ნუკლეატორად) ხშირად გამოიყენება:  $MnS + FeS$ . ძირითადად ბინარული შეუღლებით (ჯამში 5% - მდე), ასევე ფტორიდებთან (ელემენტარული F-ის რაოდენობა 2,5% -მდე) კომბინაციით, ასევე  $TiO_2$  -ის და  $P_2O_5$  - ის კომბინაციით შედგენილი ნარევები (6% -მდე  $TiO_2$  და 10% - მდე  $P_2O_5$ ) და ქრომის ოქსიდი (3% -მდე).

თავისი სტრუქტურით წიდასიტალი წარმოადგენს 60–70%-ით კრისტალური ფაზების შემცველ მასალას, როდესაც მათი მარცვლების (ზომები არ აღემატება 0,5–1 მკმ) შემაკავშირებლად (შუაშრეების სახით) ამორფული მინა წარმოგვიდგება. მაგრამ, მაღალი სიმტკიცის და ანტიკოროზიული თვისებების განსაზღვრული ორივე ფაზათა (კრისტალების და მინა) რიგ თვისებათა თანხვედრა ხდება, კერძოდ მათი სიმკვრივის, თერმული გაფართოების და სხვა ურთიერთ შერწყმა - განაწილებასთან მიმართებაში. წიდა-მინაში (ნუკლეატორების შემცველი), ორსაფეხურიანი თერმული დამუშავებით, წარმოქმნილი კრისტალური ფაზების შედგენილობის მიხედვით განასხვავებენ ექვსი ძირითადი სახეობის წიდასიტალებს: ვოლასტონიტური, პიროქსენული, პიროქსენული რკინაშემცველი, ანორტიტული, მელილიტური, ფორსტერიტული. წიდამინების დაკრისტალების პროცესის შესწავლით დადგენილია, რომ პიროქსინული ტიპის სიტალების მისაღებად ძირითადში ეფექტურია ქრომის ოქსიდის, როგორც ნუკლეატორის, გამოყენება. მელელიტური ტიპის წიდასიტალების მისაღებად რეკომენდირებულია  $FeS$  და  $ZnS$  ან  $Cr_2O_3$ -ის მინაში შეყვანა. ვოლასტონიტური კრისტალური ფაზების შემცველი წიდასიტალების მიღება მიიღწევა (კრისტალიზაციის ჩანასახების წარმოქმნისათვის)  $FeS$ ,  $MnS$ ,  $ZnS$  ან ფტორშემცველი ნაერთების



გამოყენებით. პიროქსენული წიდასიტალების მისაღებად ნუკლეატორებად იღებენ ფტორიდებს (თავისუფალი F-ის 1–1,4 %-ზე გადაანგარიშებული) ან ქრომის ოქსიდს (შემცველობა 1–1,5%).

ლიტერატურის წყაროებში წარმოდგენილია ინფორმაცია იმის თაობაზე, რომ ფეროშენადნობ წარმოებათა სილიკომანგანუმთან წიდეები, რომლებიც დაახლოებით 20% MnO-ს შეიცავენ, გარკვეულ ინტერესს წარმოადგენენ წიდასიტალების მისაღებად. კერძოდ ნაჩვენებია, რომ 70–75 % წიდის, 25–30 % ქვიშის და ტუტეშემცველი მასალიდან (5%  $Na_2O$ -ზე გადაანგარიშებით) შედგენილი კაზმიდან შესაძლებელია ისეთი მინის მიღება, რომელიც უზრუნველყოფს თერმული დამუშავებით წიდასიტალის წარმოქმნას. მოყვანილი შედგენილობის მინაში კრისტალიზაციის კატალიზატორად რეკომენდირებულია 9% ტიტანის დიოქსიდის ან 0,6%  $Cr_2O_3$ -ის კაზმში შეტანა. ნაჩვენებია, რომ მიღებული წიდასიტალები ტექნოლოგიური, ფიზიკო - მექანიკური და მექანიკური თვისებებებით მსგავსებას იჩენენ ე. წ. ვოლასტონიტური წიდასიტალებთან [64; გვ. 237].

რაც შეეხება ნაცარსიტალების მიღებას – მის ძირითად ნედლეულს წარმოადგენს თბოელექტროსადგურებში მყარი საწვავის (ნახშირის) წვისას წარმოქმნილი ნარჩენი - ნაცარი. ცალკეული თბოელექტროსადგური აგროვებს მტვრისებრივ ნაცარს ე.წ. ნაცარსაყრელებზე, რომელთა ფართობები ძალზე დიდია (ასეულობით ჰექტარი) და წარმოადგენს მტვერწარმოქმნის ინტენსიურ წყაროს. ორივე ფაქტორი განსაზღვრავს ეკოლოგიური რისკფაქტორების არსებობას და ამასთან სავარგულების ფართობების მნიშვნელოვან შემცირებას. ამავე დროს, ნაცარი ალუმინსილიკატურ ნედლეულს წარმოადგენს და მისი შემადგენლობა მეტ-ნაკლებად მუდმივია თუ საწვავის მომწოდებელი არ იცვლება. ცნობილია, რომ ზოგადად თბოელექტროსადგურების ნაცრის შედგენილობაში წარმოდგენილია (მას.%):  $SiO_2$  35-45;  $Al_2O_3$  30-38, (FeO +  $Fe_2O_3$ ) 8 – 12; (CaO + MgO) 4-5;  $SO_3$  1 – 2; ( $Na_2O$  +  $K_2O$ ) 2 – 5. ნაცარსიტალის მისაღებ კაზმში რეკომენდირებულია გარკვეული თიხოვანი და კირქვოვანი მასალების შეტანა და ზოგადად კაზმთან მიმარ-

თებაში რეკომენდაცია შემდეგია (მას.%): ნაცარი 60–70, კაოლინი 15–20; კირქვა 10–15. წვრილმარცვლოვანი ნაცარსიტალის მიღების წინაპირობას წარმოადგენს რკინის ოქსიდთა მაღალი შემცველობა, რომელიც ნაცრიდან მიღებულ მინაში არანაკლებ 12% უნდა იყოს. აღნიშნული პირობის დასაკმაყოფილებლად ხშირად საჭირო ხდება კაზმში 5 – 10 მას.% ალმადნის ნამწვის დამატება.

მინაკრისტალური მასალის (სიტალის) კიდევ ერთი სახეობა - პეტროსიტალები მიიღება სხვადასხვა გეოლოგიური წარმოშობის ქანებიდან: ამოფრქვეული (ბაზალტი, გრანიტი, ნეფელინ-სიენიტები და სხვ.), ნალექი (თიხები, მერგელები და სხვ.) და მეტამორფული (ფიქლები, სერპენტინიტები და სხვ.). აღნიშნული ტიპის სიტალების მიღების ტექნოლოგიის თავისებურება მდგომარეობს მათი მიღებისას მონოკაზმის გამოყენების შესაძლებლობაში, როდესაც მასალა (დნობისათვის მომზადებული ფრაქციულობის ქანი) ხშირად საჭიროებს მხოლოდ კრისტალიზაციის კატალიზატორის დამატებას. შესწავლილია, რომ ბაზალტისაგან მიღებული ნადნობების წვრილმარცვლოვან კრისტალიზაციას უზრუნველყოფს 2-4%  $CaF_2$ , ნეფელინ-სიენიტების შემთხვევაში -  $TiO_2$  (3–5%) ან  $Cr_2O_3$  (0,5–1,0%). ძირითად მიმართულებად, პეტროსიტალების მიღებისას, მიიჩნევენ ოთხკომპონენტურ  $CaO - MgO - Al_2O_3 - SiO_2$  სისტემას, რომელშიც გამოყოფენ დიოფსიდის ველს და ცდილობენ ისეთი შედგენილობის ქანების შერჩევას, რომლებიც მონოკაზმის ან მცირე ოდენობის სხვა დანამატებით, შემდეგი შედგენილობის მინების სინთეზის საშუალებას იძლევიან (მას. %): 48–55  $SiO_2$ ; 11–15  $Al_2O_3$ ; 9–18 CaO; 6–15 MgO და 2–3  $Fe_2O_3$ .

აღნიშნულ პირობას ძირითადში აკმაყოფილებენ ადვილად დნობადი კირქვოვანი თიხები, რომელთა ნადნობების მიმართულ დაკრისტალებას უზრუნველყოფენ:  $P_2O_5$ ,  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$  და სხვა ოქსიდები.

სხვა შემთხვევაში (პერლიტები, ფიქალები, ტეფრიტო-ბაზალტები და სხვ.) საწყისი ძირითადი ნედლეული საჭიროებს კორექტირებას, და ხშირად კაზმში დანამატების სახით შეიტანება კვარცის ქვიშა, კირქვიანი მასალები ან

ტუტემემცველი ნაერთები. პეტროსიტალების თავისებურებებს წარმოადგენს ის გარემოება, რომ მათი მიღება შესაძლებელია იძულებითი დაკრისტალების, როგორც ტრადიციული ორსაფეხურიანი, ასევე ერთსაფეხურიანი თერმული დამუშავების რეჟიმებით. ეს უკანასკნელი განსაზღვრავს პეტროსიტალების წარმოების ეკონომიკურ მიზანშეწონილობას.

რაც შეეხება მინაკრისტალური მასალების მიღებას – კლასიკური მიდგომების საფუძველზე საჭიროა:

- გარკვეული შედგენილობის მინის მიღება (ხარშვა), რომელიც თავისი შედგენილებიდან გამომდინარე უზრუნველყოფს სასურველი რაოდენობით და სახეობის კრისტალური ფაზების წარმოქმნის წინაპირობას;
- მიმართული (იძულებითი) კრისტალიზაციის პროცესის წარმართვისათვის მინაში შერჩეული ტიპის კატალიზატორის (ნუკლეატორის) შეყვანა;
- შერჩეული ხარისხით სასურველი ფორმის ნაწარმის დაყალიბება.
- კატალიზატორშემცველი მინიდან დაყალიბებული ნაწარმის (ნაკეთობის) სპეციალური თერმული რეჟიმით დამუშავება.

მინაკრისტალური მასალის მიღების ოთხი ეტაპისაგან შედგენილი პროცესებიდან, პირველი სამი არ განსხვავდება მინის ნაწარმის მიღების ტრადიციულ ტექნოლოგიებისაგან [63, 66, 67].

რაც შეეხება საბოლოო მეოთხე ეტაპს – ტემპერატურულ დამუშავების, მისი დანიშნულებაა:

- ა) კრისტალიზაციის ცენტრების მაქსიმალური რაოდენობით წარმოქმნა (აღნიშნულის უზრუნველყოფა ხდება მინაში ნუკლეატორების მიზნობრივად შეტანით);
- ბ) მინის დაკრისტალების ხარისხის – კრისტალების სასურველი რაოდენობის მიღება (როგორც წესი მოცულობის არანაკლები 50 %-სა);
- გ) მინაკრისტალურ მასალაში სასურველი ფაზური შედგენილობის (მონო- ან პოლიკრისტალური სტრუქტურა) უზრუნველყოფა.

კარგად ცნობილი და დადგენილი (ტამანის მიერ) კანონზომიერებებათა მიხედვით, მინის მიმართული (იძულებითი) კრისტალიზაციის განსახორციელებლად საჭიროა დაყალიბებული მინის ნაწარმის ორსაფეხურიანი თერმული დამუშავება - დაბალტემპერატურული (I საფეხური) და მაღალტემპერატურული (II საფეხური). პირველი საფეხური უზრუნველყოფს კრისტალიზაციის ცენტრების საჭირო რაოდენობით წარმოქმნას. ხოლო მეორე საფეხური – წარმოქმნილ ცენტრებზე შედგენილობით სასურველი ძირითადი კრისტალური ფაზების წარმოქმნა - ზრდას. ორივე საფეხურის შესატყვისი ტემპერატურების განმსაზღვრელი ფაქტორი არის მინის შედგენილობა და ამიტომ პრაქტიკულად ინდივიდუალურია ყველა ცალკეული შედგენილობის მინებისათვის - ხშირად საჭირო ხდება მათი ექსპერიმენტული გზით დადგენა. ამ მხრივ შემუშავებულია (პრაქტიკული გამოცდილება) გარკვეული რეკომენდაციები:

- პირველი საფეხურის ტემპერატურა შეესატყვისება გამინების ტემპერატურის ( $T_g$ ), მაგრამ  $30-80^{\circ}\text{C}$ -ით მასზე მეტია ( $T_g$ -ს დადგენა შეიძლება დილატომეტრული მრუდით);
- მეორე საფეხურის შესატყვისი ტემპერატურა მინის ტრანსფორმაციის  $T_f$  ტემპერატურაზე მეტია და პრაქტიკულად მეორე საფეხურის ტემპერატურა მოითხოვს მინის კრისტალიზაციის უნარის შესწავლას და/ან დიფერენციალურ-თერმული ანალიზით მიღებული DTA-მრუდის შეფასებას - ეგზოთერმული ტემპერატურათა ცოდნას.

არანაკლებად მნიშვნელოვანია უკვე დადგენილი I და II თერმული დამუშავების საფეხურებზე მინის ნაწარმის დაყოვნების დრო ( $\tau$ ). პირველ საფეხურზე თერმული დამუშავების დროს მოკლე ან გრძელი პერიოდი იწვევს, შესაბამისად, ჩანასახების რაოდენობის ცვლას მათი შემცირების ან სიჭარბის მიმართულებით, რაც საბოლოო კრისტალების სახის და რაოდენობის განმსაზღვრელი ხდება. არანაკლებ მნიშვნელოვანია II საფეხურზე დაყოვნების დრო, რაც უზრუნველყოფს მინის მთელ მოცულობაში კრისტალიზაციას. ორივე საფეხურის სწორად შერჩეული თერმული რეჟიმები (ტე-

მპერატურა და დაყოვნების დრო) უზრუნველყოფს სასურველი სტრუქტურული მოწყობის (კრისტალური ფაზების შედგენილობა, ზომა, რაოდენობა) და თვისების მქონე მინაკრისტალური მასალის მიღებას.

#### **1.4. წმინდაფრაქციული მანგანუმშემცველი ნარჩენების დანაჭროვნების ხერხების შეფასება**

ტექნოლოგიური პროცესების ინტესიფიკაცია, სამრეწველო შენობების, ტერიტორიების და გარემოს დამტვერიანების შემცირება ყველა წარმოებისათვის აქტუალურ საკითხს წარმოადგენს. ამ მიმართულებით, ტექნოლოგიური პროცესის ინტესიფიკაციისა და საწარმოო ციკლში მტვერწარმოქმნის შემცირებას ძირითადად უზრუნველყოფს სხვადასხვა სახის წმინდაფრაქციული მასალების დანაჭროვნება.

მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში აუცილებელი ხდება დატენიანებული და მშრალი წმინდადისპერსული მასალების გადამუშავება, რისთვისაც ისინი გრანულირებულ მდგომარეობაში გადაიყვანება. ამისათვის მათი სხვადასხვა ხერხებით დანაჭროვნება ხდება. თვით მასალების დანაჭროვნება ეს არის პროცესი, რომლის მეშვეობით მასალათა წვრილმანის გარდაქმნა ხდება ნატეხოვანი სხვადასხვა ფორმის ნამზადში. ასეთი ნატეხები, თავის მხრივ, გარკვეული სასურველი თვისებების მატარებელი ხდება, რაც განსაზღვრავს მათი საწარმოო პროცესში გამოყენების უფრო მაღალ ეფექტურობას.

კარგადაა ცნობილი, რომ თანამედროვე ტექნოლოგიები მოითხოვენ ღრმა გადამუშავებით მიღებული შავი და ფერადი ლითონების ან ქიმიური მრეწველობაში გამოყენებული მადნების კონცენტრირების გამოყენებას. აღნიშნულის განმსაზღვრელი ის გარემოებაა, რომ ბუნებრივი ქანების (ნედლეულის) ტექნოლოგიურ პროცესში უშუალო გამოყენება ხშირად მიზანშეწონილი არ არის. როგორც წესი, ბუნებრივი მასალები ღრმა გადამუშავებას განიცდიან – მათ მსხვრევა, სხვადასხვა ხერხებით გამდიდრება, ფრაქციებად დაყოფა და სხვა სახის ოპერაციები უტარდებათ. ასეთი გზით

გადამუშავებული ნედლეულის მიღებისას ბევრი ისეთი წმინდაფრაქციული მასალა წარმოიქმნება, რომელთა საწარმოო პროცესში გამოყენება მიზანშეწონილად ვერ ჩაითვლება. ლითონური და არალითონური წიაღისეულის სახეობიდან და გადამუშავების ტექნოლოგიებიდან გამომდინარე, მიღებული წვრილმარცვლოვანი ნარჩენების შემდგომი გარდაქმნისათვის გამოყენებული დანაჯროვნება შეიძლება განხორციელდეს შემდეგი ფართოდ გავრცელებული ხერხებით [68-70]:

- აგლომერაცია;
- ბრიკეტირება;
- მოგუნდვა.

დანაჯროვნების პროცესში გამოყენებული წვრილმარცვლოვანი პროდუქტის მარცვლების სისხო განისაზღვრება მასალათა შემდგომი გადამუშავების ტექნოლოგიით და დასანაჯროვანი მასალის თავისებურებებით. როგორც წესი, დანაჯროვნებას მოითხოვს ნედლეულის 10 მმ-ზე ნაკლები სიმსხოს ნაწილაკები, რადგან მოყვანილი სიმსხოს მატარებელი მასალა ამცირებს კაჰმის აირგამჭოლობას და ზრდის მასალის გატანას ღუმელიდან (მტვერიანობის ზრდა).

ცალკეული სამრეწველო პროდუქტის წარმოებათა სიმძლავრეთა ზრდა განსაზღვრავს წმინდაფრაქციული ნედლეულის ან კონცენტრატის მზარდ გამოყენებას და მათ წილს ისეთი მძლავრ-ინდუსტრიულ წარმოებათა მიმართებაში, როგორცაა მეტალურგია და ქვანახშირის მოპოვება. დანაჯროვნების ტენდენციათა ზრდა არსებობს ასევე ბიომასალების მიღების და გადამუშავების ტექნოლოგიურ პროცესებში (ნახერხი, ცხოველთა საკვები ბალახები, კომბინირებული საკვებები და სხვ.).

დანაჯროვნებისას გამოყენებული ხერხების ზოგადი არსი შემდეგია:

**აგლომერაცია** წარმოადგენს წვრილი მასალების დანაჯროვნების თერმულ პროცესს. სააგლომერაციო მასალები, ყველაზე ხშირად, წარმოდგენილი არიან მადნების წვრილმანით, მადნის ან სამრეწველო მტვრით, ცეცხლიკის მტვრით და სხვა ისეთი მასალებით, რომელთა მარცვლების

ზომა 10 მმ-ზე ნაკლებია. აგლომერაციის პროდუქტი – აგლომერატი – ხშირად წარმოადგენს ისეთი დარგების წამყვან პროდუქტს, როგორცაა შავი და ფერადი მეტალურგია და სხვა [70].

**ბრიკეტირება** ეს არის მასალის გადამუშავება გეომეტრიული ფორმის მქონე ნაჭრებში, რომელთა გარე სახეს განსაზღვრავს ბრიკეტირების ხერხი. ბრიკეტირების განხორციელება ხდება ლენტურ, ვალცებიან, საშტემპელო და რგოლურ წნეხებში. ბრიკეტირება ხშირად გამოიყენება წმინდა წიაღისეული მასალების და საწვავის. ასევე სამრეწველო ნარჩენების (მტვერი, შლაკები, ლითონის ბურბუშელა, ნახერხი და სხვ.) უტილიზაციისათვის და შემდგომი გამოყენებისათვის. ბრიკეტების გამყარების მიზნით ხშირად გამოიყენებენ შემკვრელს-შემაკავშირებელ დანამატებს (ბითუმი, თხევადი მინა, ცემენტები და სხვ.). ბრიკეტირება ასევე ფართოდ გამოიყენება სოფლის მეურნეობაში თივის, საკვების და სხვა პროდუქტის დაბრიკეტირებისათვის [68, 69].

**მოგუნდვა** გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭირო ხდება ძალზე წმინდა, ძირითადად მტვრისებრი (მარცვლების ზომა 0,5 მმ-ზე ნაკლები) მასალების დანაჭროვნება. წინასწარ დატენიანებული მასალა გარდაიქმნება სხვადასხვა ზომის გუნდაში, რისთვისაც გამოიყენებენ მბრუნავ დოლებს ან თეფშისებრ გრანულატორს. ხშირად მასალის გუნდას თერმულად ამუშავებენ და ამის მიზანი მათი სიმტკიცის გაზრდაა [71 – 72].

ჩამოთვლილი მეთოდებით მასალათა ნაწილაკების დანაჭროვნების შედეგად მიიღება:

- აგლომერაციისას – 5-60 მმ სისხო აგლომერატი;
- მოგუნდვისას – 9-16 მმ სიმსხო გუნდები;
- ბრიკეტირებისას – სხვადასხვა გეომეტრიული ფორმის, გაბარიტებისა და მასის (წონის) მქონე ბრიკეტები;

**სტატისტიკა:** დანაჭროვნებული მასალების საერთო რაოდენობიდან აგლომერატი 70-ს, გუნდები 28 %-ს და ბრიკეტები 2 %-ს შეადგენს.

მასალათა აგლომერაცია, როგორც წესი სააგლომერაციო ქარხნებში მიმდინარეობს და ამასთან ერთად გასათვალისწინებელია, რომ აგლომერატის მიღების პროცესი ტექნოლოგიურად საკმაოდ რთულია [69, 70].

**გრანულაცია (დაგუნდავება)** გარკვეული ზომისა და ფორმის ნაწილაკების (გრანულები) ფორმირების პროცესს წარმოადგენს. თვით გრანულაციის ზომა დამოკიდებულია დასაგრანულებული მასალის სახეობაზე, მისი დამუშავებისათვის შერჩეულ მეთოდზე და გამოყენების საწარმოო პროცესზე. გრანულების (გუნდების) ზომა, ჩვეულისამებრ შეადგენს (მმ-ში):

- მინერალური სასუქებისათვის 1– 4;
  - კაუჩუკისა და რეზინის ნარეგებისათვის 15-25;
  - წამლებისათვის (ტაბლეტები) 3-25 ან (მიკროგრანულები) 1 მმ-ზე ნაკლები;
  - გუნდები მტვრისაგან ან წმინდაფრაქციული ნედლეულიდან 5-30 მმ.
- გრანულაცია შეიძლება ეფუძნებოდეს დაგუნდვის შემდეგ პროცესებს:
- ფხვნილისებრი მასალების დატკეპვნა;
  - მასალათა დისპერგირებას და მათ გამოკრისტალებას ნადნობებიდან ან ხსნარებიდან;
  - მასალათა მსხვილი ნატეხების დაქუცმაცებას შემდგომი დაგუნდავებით.

გრანულირების ეფექტურობის ძირითად მაჩვენებლად მიიჩნევენ სასაქონლო (კონდიციური) ფრაქციების გამოსავალს, მიღებული გრანულების ხარისხს (ფორმას, სიმტკიცეს, ნაყარ მოცულობით წონას), მათი გრანულომეტრული შედგენილობის ერთგვაროვნებას ზომებში თანხვედრას.

საგულისხმოა, რომ გრანულირების პროცესი შეიძლება ჩატარდეს დასაშვებზე მცირე ან მეტი ზომის ნაწილაკების (გრანულების) დაბრუნებით დაგუნდავების ეტაპზე (რეტროგრადული გრანულაცია) ან მის გარეშე (ღია არარეტროგრადული გრანულაცია). პირველი სქემის მიხედვით სასუქები გრანულირდება, მეორეთი კი პოლიმერები, ნამლები და შლამები და სხვა სამრეწველო (მეტალურგიული და სილიკატური) დანიშნულების პროდუ-



ქცია. საწარმოო პროცესში დაბრონებული ე.წ. „წუნის“ რაოდენობა განისაზღვრება სპეციალური კოეფიციენტით. ეს მაჩვენებელი მაგ., სასუქების გრანულირებისას 0,3-დან 15-მდე შეიძლება იყოს.

სხვადასხვა ნივთიერებისათვის გრანულატის (გუნდის) ფორმის მიცემა აუმჯობესებს მათი შენახვისა და ტრანსპორტირების პირობებს. გრანულირებული პროდუქტის შემდგომი გამოყენება წარმოებათა წარმადობის გაზრდას და რაც მნიშვნელოვანია, შრომის პირობების გაუმჯობესებას უწყობს ხელს, ამცირებს ნედლეულის დანაკარგს და ზრდის მზა პროდუქციის გამოსავლიანობას.

განვიხილოთ გრანულირების (მოგუნდვის) ძირითადი მეთოდები და ამისთვის გამოყენებული მოწყობილობა-დანადგარების პრინციპული მოწყობა-მუშაობის თავისებურებანი.

დაგუნდავების პროცესის ძირითად სტადიას წარმოადგენს მასალათა ნაწილაკების დასველება (დანამვა) შემკვრელით, რის შედეგად წარმართება ნაწილაკების ურთიერთ შეკავშირება (აგლომერაცია) და წარმოიქმნება დაკომპილი ნაწილაკები – ე.წ. აგრეგატები. ასეთ აგრეგატებზე ხდება სხვა ნაწილაკების დაშრევა და ნაწილაკის გამსხვილება, როდესაც სიმსხოს უკვე დაგუნდვის დრო (ხანგრძლივობა) განსაზღვრავს. შემკვრელად ხშირად გამოიყენებენ წყალს, კირის რძეს, თიხის სუსპენზიას, ცემენტის წყალხსნარს, შლამებს და სხვ.

წვრილფრაქციული მასალების კომპტვის პროცესის ჩასატარებლად გამოიყენებენ დოლისებრ, თეფშისებრ, ჩქაროსნულ და ვიბრაციულ გრანულატორებს [69].

გრანულაციის ნებისმიერი მეთოდის გამოყენებით მიიღება ტენიანი, ე.წ. „ნედლი“ გუნდა (გრანულატი). „ნედლი“ გრანულატის ხარისხზე შემდეგი ფაქტორები ახდენს გავლენას:

- დაგუნდვისათვის გამოყენებული კაზმის ტენიანობა;

- მყარი ნედლეულის გრანულომეტრული შედგენილობა, ანუ ფრაქციული შედგენილობა (რა თანაფარდობაა მასალაში სხვადასხვა ზომის ნაწილაკებს შორის);

- კაჟმის კომპონენტთა შერევის ხარისხი;

- ტენშემცველობასთან და გრანულომეტრულ შედგენილობასთან მიმართებაში კაჟმის მუდმივობა;

- დანადგარის წარმადობის (დატვირთვის) სტაბილურობა.

მასალათა წმინდა ფრაქციების გრანულირებით მიიღება მომრგვალებული (ფორმით სფეროსთან მიახლოებული) გუნდა (ძირითად 1-დან 30 მმ-მდე ზომით). მათთვის სიმტკიცის მინიჭებით ხდება შრობით და საჭიროების შემთხვევაში გამოწვით. შრობის პროცესს ატარებენ 150-200°C ტემპერატურულ ინტერვალში, ხოლო გამოწვა ხდება 1200 - 1300°C-ზე და ამისათვის სპეციალური გამოსაწვავი მანქანები გამოიყენება.

ნედლი გუნდას გამოწვა მიზნად ისახავს:

- გრანულირების ადგილიდან მომხმარებლამდე ტრანსპორტირებისას გუნდას მინიმალური მსხვრევა;

- მიღებული გუნდების ატმოსფეროს მოვლენათა მიმართ მდგრადობა, რაც მათი სხვადასხვა პირობებში დასაწყობების უზრუნველყოფაა;

- დაგუნდავებული მასალების (გრანულატის) მინიმალური რღვევა (დაშლა) ღუმელში (თბოაგრეგატში) არსებულ პირობებში (მაღალ ტემპერატურაზე) მოხვედრისას.

გუნდას გამოწვის პროცესში მრავალი სახის ფიზიკურ-ქიმიურ გარდაქმნას აქვს ადგილი:

- ტენის მოცილება (ჰიდრატული და ჰიგროსკოპული);

- კარბონატების ( $MgCO_3$ ,  $CaCO_3$ ) დაშლა (თუ ისინი დასაგუნდავებელი მასალის შედგენილობაში არიან წარმოდგენილი);

- ჟანგვა-აღდგენით პროცესების წარმართვა (რკინის ან მანგანუმის ოქსიდების შემცველობისას).

ამავე დროს, უნდა აღინიშნოს, რომ შემკვრელისა და დანამატების ახალ სახეობათა და დაგუნდავების ტექნოლოგიური გადაწყვეტის საკითხითა გარშემო მიება დღემდე მიმდინარეობს.

ღარიბი მადნების ღრმად გამდიდრების შედეგად მიღებული მტვრისებრი კონცენტრატები, საწარმოო ნარჩენები (წვრილმანის ან მტვრის სახით), ძნელად ტრანსპორტირებადი მასალა (ნახერხი, ლითონის ბურბუშელა და სხვ.) და ა.შ. უშუალოდ საწარმოო პროცესისათვის ხშირად გამოუყენებელი ხდება. ყველა ცალკეულ შემთხვევაში მიზეზთა გრძელი ჩამონათვალი მოიყვანება და ამჟამად მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში ამ საკითხის გარშემო ფართო კვლევები მიმდინარეობს, რომელთა მიზანს წარმოადგენს არაკონდიციური მასალების დანაჭროვნება. ამ მიმართულებით ერთ-ერთ პერსპექტიულ მეთოდად დაბრიკეტების მეთოდს მიიჩნევენ.

**დაბრიკეტება** ეწოდება შემკვრელი ნივთიერებების დანამატებით ან მათ გარეშე მტვრისებრი და სხვა სახის მასალების ერთნაირი ფორმის ნაჭრებად (ე.წ. ბრიკეტების) დაწნეხვის პროცესს [73, 74].

მაშასადამე, ბრიკეტი წარმოადგენს დაწნეხვით მიღებულ დანაჭროვნებულ მასალას. ეს უკანასკნელი, როგორც წესი, ისეთი კაზმიტაა წარმოდგენილი, რომელიც შეიცავს ძირითად ნივთიერებას (მადანი, კონცენტრატი, მტვერი, შლამი და ა.შ.) და შემკვრელ დანამატს. საწყის მასალებთან შედარებით, ბრიკეტი დიდი ზომებით ხასიათდება, რაც ხშირად დიდ მნიშვნელობას იძენს რიგი მეტალურგიულ და სილიკატური მრეწველობის ტექნოლოგიურ პროცესებში, რადგან ბრიკეტების გამოყენება იწვევს კაზმის აირგანვლადობის ზრდას და საგრძნობლად ამცირებს მტვრისებრი გამონატანის რაოდენობას. გარდა ამისა, ბრიკეტის კაზმი შეიცავს ტექნოლოგიური პროცესის ჩატარებისათვის საჭირო ყველა კომპონენტს (ძირითადი მადანი, დანამატები, აღმდგენლები და სხვ.), რომელთა შორის ბრიკეტირებისას წარმოქმნილი მჭიდრო კონტაქტი ხელს უწყობს მათ შორის შესაძლო ურთიერთქმედების პროცესის სრულად და მოკლე დროში წარმართვას.

დაბრიკეტებისათვის გამოიყენება, როგორც არაორგანული შემკვრელი ნივთიერებები (მინერალური ბუნების შემკვრელი), ასევე ორგანული ნივთიერებები. არაორგანული შემკვრელებიდან ხშირად გამოიყენება: კირის რძე, სულფიტ-სპირტოვანი ღურღო, თხევადი მინა, კაუსტიკური მაგნეზიტი, ცემენტი და სხვ. ორგანული შემკვრელებიდან წამყვანი ადგილი უკავიათ ქვანახშირის სქელ ფისს, ნავთობის ბითუმს და სხვა.

შემკვრელი ნივთიერების შერჩევასა და ითვისებისწინებენ რიგ ძირითად მოთხოვნებს:

- მაღალი შემკვრელობა;
- არადეფიციტურობა და სიიაფე;

ბრიკეტები ფართოდ გამოყენება შავ და ფერად მეტალურგიაში, როდესაც ლითონშემცველი ნედლეულის წვრილმანის ბრიკეტირება ოთხი სახის ოპერაციას მოიცავს:

- ნედლეულის გაცხავებას (ფრაქციებად დაყოფას);
- საჭირო ფრაქციულობის ნედლეულის და შემკვრელის შერევას;
- დაწნება (ბრიკეტირება);
- შრობა (საჭიროების შემთხვევაში).

მიღებული ბრიკეტების სიმკვრივე 3200 – 3500 კგ/მ<sup>3</sup> შეადგენს, კუმშვაზე სიმტკიცე კი დაახლოებით 4,5 მპა-ა.

მიღებული ნარევის ბრიკეტირების არსი იმაშია, რომ მასალის ფხვიერი წვრილმანი, მცირეოდენი შემკვრელის დანმატებით (5-10 % შემკვრელი) მიეწოდება ბრიკეტ-წნებს, რომელიც უზრუნველყოფს მართკუთხა, ცილინდრული ან ოვალური ფორმის და 20 – 150 მმ ზომის მქონე ბრიკეტების მიღებას. ბრიკეტების სასურველი სიმტკიცის უზრუნველყოფა მიიღწევა მათი შრობით ან თერმული დამუშავებით 150 – 500°C ტემპერატურულ ინტერვალში. ბრიკეტირება განსაკუთრებით მიღებულია ფერად მეტალურგიაში და ამის მიზეზი არის ის, რომ ფერადი ლითონების მადნების თავისებურებიდან გამომდინარე, მათი დანაჭროვნების სხვა მეთოდები ნაკლებად ეფექტურია. ფერად ლითონთა მადნებიდან მიღებული ბრიკეტების სი-

მტკიცე საკმარისია იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილი იქნას მათი დნობის საწარმოო პროცესის კარგ დონეზე წარმართვა.

მეტალურგიის გარდა ბრიკეტირება ფართოდ გამოიყენება ნახშირის მრეწველობაში, რადგან ის მიიჩნევა ქვანახშირის წვრილმანის და მტვრის წვის მარგი ქმედების კოეფიციენტის ზრდის განმსაზღვრელ ფაქტორად. ამავე დროს, ბრიკეტირებული ნახშირის შენახვა და ტრანსპორტირება უფრო მოსახერხებელია.

ბრიკეტირება ასევე ქმნის სანედლეულო ბაზის რეზერვებს ზრდის შესაძლებლობას ისეთი მიმართულებებით, როგორცაა:

- ცეცხლრიკის მტვრის უტილიზაცია;
- უნარი უზრუნველყოს ბრიკეტის მექანიკური სიმტკიცე, ტენმედეგობა და თერმული მდგრადობა;
- არ უნდა შეიცავდეს მავნე მინარევებს, რომლებიც ხელს შეუშლიან ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესის სწორ წარმართვას;
- არ უნდა აბინძურებდეს გარემოს და უარყოფითად მოქმედებდეს მომსახურე პერსონალის მუშაობის პირობებზე.

გარკვეული პროდუქციის მიღების ან გამოყენების თავისებურება განაპირობებს ბრიკეტის გარესახეს და ზომას. დღეისათვის, დაწნების სხვადასხვა ხერხების გამოყენებით მიიღება (იწარმოება) გრანულების, ფილების, ტაბლეტების, ფუთების და სხვა მრავალი ფორმის და მასის პროდუქცია [65, 69].

ბრიკეტირების პროცესის განსახორციელებლად განსხვავებული მუშაობის პრინციპის მქონე მანქანა-დანადგარები გამოიყენება. მაგ., ფოსფატური წიდებისა და ზოგიერთი სახის სასუქის გრანულებისათვის ლილვებიანი ან ვალციანი წნეხები გამოიყენება. სამკურნალო პრეპარატების და ვიტამინების ტაბლეტირება შესატყვისი დასახელების მანქანების გამოყენებას მოითხოვს და ა.შ. [69,70].

ქვანახშირის მრეწველობასთან მიმართებაში აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ შესაბამის წვრილმანის ან მტვრისებრი ფრაქციების (ე.წ. შტიბი)

ბრიკეტირება შეიძლება წარიმართოს შემკვრელის გამოყენებით (რიგი სახეობის ქვანახშირი, ტორფი) ან მის გარეშე. პროცესის ტექნოლოგიური თავისებურება იმაშია, რომ შემკვრელის გარეშე ბრიკეტირება საჭიროებს 100 – 250 მკა წნევას, ხოლო შემკვრელით მხოლოდ 20–80 მკა წნევაც საკმარისია.

### 1.5. დასკვნა და სამუშაოს ძირითადი მიმართულების განსაზღვრა

არსებული ლიტერატურის წყაროების შესწავლით და შეფასებით დადგინდა რომ:

1. მანგანუმი მიეკუთვნება ცოცხალი ორგანიზმისათვის აუცილებელ მიკროელემენტს თუ ორგანიზმს მიეწოდება დოზირებული სახით, მაგრამ თუ მანგანუმი სიჭარბით მიეწოდება, მაშინ ის მრავალი დაავადების (განსაკუთრებით ნერვული სისტემის და სასუნთქი ორგანოების) მიზეზი ხდება.
2. საქართველოში და მსოფლიოს სხვა ქვეყნებში ჩატარებული კვლევებით დადასტურდა, რომ მანგანუმის ჭარბი ოდენობით ორგანიზმში მოხვედრის ძირითად წყაროს წარმოადგენს ატმოსფერული ჰაერი, რომელიც შეიცავს მანგანუმშემცველ მტვერს და დაბინძურებული სასმელი წყალი მანგანუმის შემცველობა აღემატება ზდკ-ის მნიშვნელობებს);
3. მანგანუმის ჰაერში მოხვედრა უკავშირდება მანგანუმშემცველი ნედლეულის მექანიკურ დამუშავებას (მადნების მსხვრევა-ფრაქციებად დაყოფა ანუ გაცრა) და საწარმოო პროცესებს (მტვრის გამოყოფა სადნობი ღუმელებიდან, საბოლოო პროდუქტის დაქუცმაცება, დახარისხება და სხვ.).
4. მანგანუმის წყალსაცავებში (მდინარეები, გრუნტის წყლები და სხვ.) მოხვედრის ძირითად წყაროს წარმოადგენს მანგანუმშემცველი შლამების საგროვი საცავები და საწარმოო მყარი ნარჩენების ნიადაგზე უკონტროლო განთავსება;

5. მანგანუმშემცველი ნარჩენები აეროზოლებისა და შლამების სახით სერიოზული ეკოლოგიური საფრთხეების მიზეზია და საბოლოო ჯამში ცოცხალი ორგანიზმების და მათ შორის განსაკუთრებით ადამიანის ჯანმრთელობაზე სერიოზულ უარყოფით ზეგავლენას ახდენს;
6. მანგანუმშემცველი შლამების გადამუშავების გზად მიჩნეულია მათი მონაწილეობით მინასაფარების მიღება და მანგანუმშემცველი შენადნობების კაზმში მიზნობრივი შეყვანა;
7. მანგანუმშემცველი საწარმოო მტვრის (ღუმელიდან გამოსული ან, მანგანუმშემცველი ნედლეულის და მზა პროდუქტის დაქუცმაცებისას წარმოქმნილი) გამოიყენება მრავალკომპონენტური კაზმების შემადგენელ ინგრედიენტად, რომელთა ბრიკეტირებით მიიღება ტექნოგენური მასალა;
8. მანგანუმშემცველი მტვრისებრი და შლამისებრი მასალების მიერ წარმოქმნილი ეკოლოგიური საფრთხეების (ძირითადად ადამიანის ჯანმრთელობასთან დაკავშირებული) აღმოსაფხვრელად საჭიროდ შეიძლება იქნას მიჩნეული მათი გადამუშავების ისეთი ტექნოლოგიების დამუშავება, რომლებიც მავნე ნარჩენებიდან უსაფრთხო მასალების მიღების შესაძლებლობას იძლევა;
9. მანგანუმშემცველი საწარმოო მტვრისა და გამდიდრების ნარჩენი შლამების ამოცანის გადაწყვეტის პერსპექტიულ მიმართულებებად შესაძლებელია მიჩნეულ იქნას მეტალურგიაში და სილიკატურ წარმოებაში ფართოდ გავრცელებული წმინდაფრაქციული მასალების ბრიკეტირების ხერხი და მინის (მინაკრისტალური) მასალების მიღების ცნობილი ტექნოლოგიური მეთოდები და მიდგომები.

## 2. შედეგები და მათი განსჯა

საკვლევ ობიექტს წარმოადგენდა ორი სახის მანგანუმშემცველი საწარმოო ნარჩენი: ზფქ-ის სილიკომანგანუმის დნობის პროცესში წარმოქმნილი და ფილტრებში დალექილი მტვერი (შემდგომ „მტვერი“) და ჭიათურის მანგანუმის მადნების გამდიდრებისას წარმოქმნილი შლამები (შემდგომ „შლამი“). მათგან პირველი წმინდადისპერული მტვერითაა წარმოდგენილი და რეალურ საფრთხეს უქმნის ატმოსფერულ ჰაერს, ხოლო მეორე – ხვდება რა მდინარეთა წყალში ეკოლოგიურ საფრთხეს უქმნის, როგორც მოსახლეობას, ასევე მეცხოველეობას და აგროინდუსტრიას. მოყვანილი გარემოებანი იმ ძირითად მიზეზთა ჯგუფს მიეკუთვნება, რომლებიც აუცილებელს ხდის მათი „აგრესიულ“ ფორმიდან „პასიურ“ ანუ ეკოლოგიურად უსაფრთხო მდგომარეობაში გადაყვანას და შესაბამისად რეგიონებში (ჭიათურა-ზესტაფონი) ეკორისკების გამორიცხვას.

გარდა ეკოლოგიური საკითხებისა, არანაკლებად მნიშვნელოვანია აგრეთვე მანგანუმშემცველი ორივე სახის (მტვერი და შლამი) ნარჩენის ტექნოგენურ პროდუქტში გადაყვანა და ამ მიმართულებით მათი მიზნობრივი გამოყენების ტექნოლოგიური პროცესების დამუშავება, რაც განსაზღვრავს სამრეწველო დანიშნულების პროდუქტების შექმნას.

### 2.1 კვლევაში გამოყენებული საწარმოო ნარჩენების შეფასება და საწყისი ტექნოლოგიური ანგარიშები

#### 2.1.1. მანგანუმშემცველი რესპირაციული საწარმოო მტვერი და კაზმები მის საფუძველზე

ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის რესპირაციული მტვერი თავის შედგენილობაში დიდი ოდენობით შეიცავს მანგანუმს. ქარხნის ლაბორატორიის მონაცემებით მასში ლითონური მანგანუმის შემცველობა 22 - 26 მას.%-ის ზღვრებში მერყეობს, რაც თავის მხრივ მისი ტექნოგენურ ნედლეულად მიჩნევის საწინდარს ქმნის. მაგრამ წმინდაფრაქციული მტვერი-



სებრი (ნაწილაკების ძირითადი ნაწილის ზომა 0,1 მმ-ზე ნაკლებია) სილიკომანგანუმის გამონადნობის პროცესში დაბრუნება მიზანშეწონილი არ იქნებოდა, რადგან ღუმელიდან ამომავალი აირები მას წაიტაცებს და ტექნოლოგიურ პროცესში რფექტურ ჩართვას შეუძლებელს გახდის. აქედან გამომდინარე, ქიმიური შედგენილობით ტექნოგენური მანგანუმშემცველი რესპირაციული მტვერი წინასწარ მომზადებას მოითხოვს. მტვრის „მომზადებას“ და საწარმოო პროცესში ჩართვას ხელს შეუწყობდა მასთან ერთად გარკვეული ფრაქციულობის აღმდგენის თანაობა. აღმდგენი, თავისი ქიმიური შედგენილობიდან გამომდინარე, სილიკომანგანუმის ნადნობის მიღებას უზრუნველყოფა, ხოლო მისი ფრაქციულობა (სასურველია  $\delta > 0,5$  მმ) ხელს შეუწყობდა მტვრისებრი მასალების გამოყენებისათვის აუცილებლად მიჩნეული დანაჭროვნების პროცესის ჩატარების [69-70].

ამ მიმართულებით საგულისხმოა სამუშაოები, რომლებშიც განხორციელდა მხოლოდ 30%-მდე მანგანუმშემცველი რესპირაციული მტვრის გამოყენებით რთული შედგენილობის (როგორც მასალათა ქიმიური შედგენილობით, ასევე მათი ფრაქციულობის თვალსაზრისით) ნარევების ბრიკეტირება [60-62].

ჩვენს მიერ მანგანუმშემცველი რესპირაციული მტვრის ტექნოგენურ მასალაში გადაყვანის მიზნით, კვლევის ობიექტად მიზნობრივად აღებული იქნა კონკრეტული „მტვერი-კოქსი“ (Dust-Coke) შედგენილობის ნარევები, რომელთაც მიენჭათ ინდექსი „DC“. გადასაწყვეტი ამოცანის თავისებურება მდგომარეობდა იმაში, რომ მცდელობა ითვალისწინებდა 50 მას. % და მეტი მტვრის შემცველობის მასალების მიღების და მიზნობრივ გამოყენებას.

კვლევისათვის აღებული საწყისი მასალები, მტვერი და კოქსი ხასიათდებიან სხვადასხვა გრანულომეტრით: მტვერში წარმოდგენილი ნაწილაკების ძირითადი ნაწილის ზომა ( $\delta$ ) 0,1 მმ-ზე ნაკლებია, ხოლო ნარევის მეორე ინგრედიენტის კოქსის მარცვლების ზომა  $\delta \leq 3$  მმ-ს შეადგენდა.

საკვლევი ნარევების შემადგენელი მასალები ასევე განსხვავებული ქიმიური შედგენილობისაა, მაგრამ მტვერი - განსაკუთრებულად რთული

შედგენილობის მასალაა. ზფქ-ის ლაბორატორიის მონაცემების მიხედვით მტვრისა და კოქსის შედგენილობა სტაბილურობით არ გამოირჩევა და ნედლეულში ცალკეული ოქსიდების შემცველობა ფართო ზღვრებში შეიძლება მერყეობდეს. აღნიშნულის ამსახველი მონაცემები წარმოდგენილია 1-ლ ცხრილში.

**ცხრილი 1. მანგანუმშემცველი მტვრისა და კოქსის ქიმიური შედგენილობა**

№	მასალა	კომპონენტების შემცველობა %								
		Mn	$SiO_2$	CaO	$Fe_2O_3$	$Al_2O_3$	MgO	P	C	$H_2O$
1	მანგანუმ-შემცველი მტვერი	25-30	17-36	3 - 8	2 - 4	2 - 6	1 - 3	0,1-0,3	2 -4	1 - 2
2	კოქსის ანაცარი	-	-	-	-	-	-	-	83-85	10-12

შენიშვნა:\* – ცხრილის სტრუქტურა და მასში მოტანილი მონაცემები შეესატყვისება დედანს [60].

ცხრილში მოყვანილი მანგანუმშემცველი მტვრის შედგენილობებთან მიმართებაში უნდა აღინიშნოს მასში წარმოდგენილი ცალკეული ნაერთების ფუნქციონალური დანიშნულება. კერძოდ, სილიკომანგანუმის შენადნობის მისაღებად მნიშვნელოვანია რესპირაციულ მტვერში მანგანუმის და სილიციუმის ოქსიდების არსებობა. სხვა დანარჩენი შემადგენელი (ჯამში დაახლოებით 20%-მდე) პრაქტიკულად „ბალასტს“ წარმოადგენს. რაც შეეხება კოქსის შედგენილობას - არ არის წარმოდგენილი მისი არაწვადი შემადგენელი, რაც კოქსის წვის შედეგად წარმოქმნილი ნაცრის არსებობას განაპირობებს.

ჩვენს მიერ შესასწავლად აღებული ზფქ-ს მტვრის შედგენილობა, რომელიც რიგ პოზიციებში განსხვავდება 1-ლ ცხრილში მოცემულ ნივთიერებათა რაოდენობას, მოყვანილია მე-2 ცხრილში, კერძოდ მისი საწყისი და გასაშუალოებული ქიმიური შედგენილობის ჩვენებით. ვინაიდან ზფქ-ს ლაბორატორიის მიერ მოწოდებული მტვრის ქიმიურ ანალიზში მოყვანილია ლითონური მანგანუმის შემცველობა, ხოლო პრაქტიკულად აღდგე-

ნის პროცესი საჭიროებდა აღმდგენის (ჩვენს შემთხვევაში კოქსის წვრილ-მანი) საჭირო რაოდენობის დადგენას, ჩატარდა ლითონური მანგანუმის რაოდენობის გადათვლა პირობითად მანგანუმის უმაღლესი დაჟანგულობის ოქსიდურ ნაერთზე  $MnO_2$ -ზე, ხოლო შემდეგ მიღებული შედგენილობის 100%-ზე დაყვანა (ცხრ. 2).

ცხრილში წარმოდგენილი მონაცემები საჭიროებს განმარტებებს: „ძირითად შემადგენლებად“ მიიჩნევა. სილიკომანგანუმის შენადნობის მისაღებად აუცილებელი ნაერთები (მანგანუმის და სილიციუმის ოქსიდები, ნახშირბადი), ხოლო „არაძირითადი შემადგენლები“ აერთიანებს საწყის ნედლეულში შემავალ სხვა „ბალასტურ“ ნაერთებს (რკინის და სხვა ელემენტთა ოქსიდები, ტენი და ა.შ.). ჩვენი საბოლოო მიზნის – საწარმოო ფილტრში დაჭერილი რესპირაციული მტვრის სილიკომანგანუმის დნობის ტექნოლოგიურ პროცესში დაბრუნების შესაძლებლობის განსაზღვრისათვის, ცხრილში წარმოდგენილი შედგენილობები წამყვანი ფაქტორი ვერ იქნება. მაგრამ, მათ ღირებულებას განსაზღვრავს საწყისი კაზიმების შემადგენელი, მტვრის და კოქსის ფარდობითობის დადგენა.

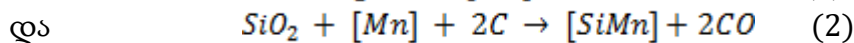
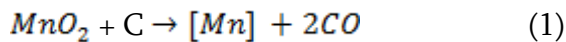
**ცხრილი 2. ზფქ-ის საწარმოო გაზგამწმენდში დალექილი საკვლევი მანგანუმშემცველი მტვრის საწყისი და გადაანგარიშებული ქიმიური შედგენილობა**

№	მასალის დასახელება	ქიმიური შედგენილობა (მას. %)				
		ძირითადი შემადგენლები			არაძირითადი შემადგენლები	ჯამი
		Mn	$MnO_2$	$SiO_2$		
1	მტვრის შედგენილობა (ზფქ-ის მონაცემები)	22 - 26	-	37-41		-
2	მტვრის გასაშუალოებული შედგენილობა	24	-	39	23	100
3	მტვრის ოქსიდური შედგენილობა (გასაშუალოებული)	-	38	39	23	100

საკვლევად აღებული მტვრის ქიმიური შედგენილობის ანალიზმა აჩვენა, რომ მის შედგენილობის ძირითად ნაწილს (77 %) წარმოადგენენ მან-

განუმის და სილიციუმის ოქსიდები, რომლებიც მის საწარმოო ღირებულებას განსაზღვრავენ. ამავე დროს, მათში წარმოდგენილი მანგანუმის და სილიციუმის ოქსიდების თანაფარდობა დაახლოებით 1:1-ს შეადგენს.

სილიკომანგანუმის შენადნობის ტექნოლოგიაში მტვრისებრი ნარჩენის გამოდნობის ღუმელში დაბრუნება გარკვეულ სირთულეებთანაა დაკავშირებული, რომელთა გადაწყვეტა მის დაგუნდავებას მოითხოვდა. არსებული საკითხის გადაწყვეტამ გამოიწვია მტვრისაგან და სხვა უფრო მსხვილფრაქციული მასალისაგან ისეთი კაზმის მიღება და შემდგომი დაგუნდავება, რომელიც უზრუნველყოფდა სილიკომანგანუმის დნობით მიღების ტექნოლოგიურ პროცესში საწარმოო მტვრის ეფექტურ ჩართვას. აღნიშნულიდან გამომდინარე, კვლევის ობიექტად შეირჩა კომპოზიცია, რომელშიც მანგანუმშემცველ მტვერთან ერთად წარმოდგენილი იქნა ალდგენი, რომელიც ხელს შეუწყობდა მტვერში წარმოდგენილ  $MnO_2$  და  $SiO_2$ -ს ლითონურ მდგომარეობამდე აღდგენით. თეორიულად აღდგენის პროცესი შემდეგი სახით (რეაქციებით) ჩაიწერება:



მაგრამ სილიკომანგანუმის შენადნობის მიღების პროცესი მრავალსაფეხურიანია და ზოგადად მოიცავს ნახშირბადის მონოოქსიდის წარმოქმნას, მის მონაწილეობას მანგანუმის ოქსიდთა აღდგენის პროცესში, მანგანუმის და სილიციუმის კარბიდების წარმოქმნას და ა.შ. [60].

აღდგენის პროცესის ჩატარების უზრუნველსაყოფად მტვრის საფუძველზე შედგენილი კომპოზიციის მეორე ძირითად კომპონენტად აღებული იქნა კოქსი. ორივე მასალის ქიმიური შედგენილობა მოყვანილია მე-3 ცხრილში. ამავე დროს, პერსპექტივაში დაგუნდავებისადმი მიდრეკილი კაზმის მისაღებად გასათვალისწინებელი იყო კიდევ ერთი ფაქტორი - დასაგუნდავებელი ნარევის შედგენილობაში სასურველია განსხვავებული, მაგრამ არა რადიკალურად, ფრაქციულობის მქონე მასალების ჩართვა [69, 70].

მოყვანილი პირობების გათვალისწინებით ჩვენს მიერ შერჩეული იქნა, ისევე ზფქ-ში კოქსის გაცრისას წარმოქმნილი, წმინდაფრაქციული ნარჩენები ( $\delta \leq 3$  მმ), რომელშიც ნახშირბადის შემცველობა დაახლოებით 84 %-ს შეადგენს. ორივე საკვლევი მასალის ქიმიური შედგენილობები მოყვანილია მე-3 ცხრილში, რის საფუძველზეც განხორციელდა საკვლევი კაზმის შედგენილობათა განსაზღვრა.

**ცხრილი 3. მანგანუმშემცველი მტვრის და კოქსის ქიმიური შედგენილობა**

№	მასალის დასახელება	ნივთიერებათა შემცველობა (მას. %)			
		$MnO_2$	$SiO_2$	C	ტენი და სხვა შემადგენლობა
1	მანგანუმშემცველი მტვერი (ოქსიდური, დაყვანილი)	38,0	39,0	-	33
2	კოქსი (წვრილმანი)	-	-	84	16,0

მანგანუმშემცველი მტვრისა და კოქსის წვრილმანის შემცველი კაზმების შედგენილობების ანგარიში ითვალისწინებდა კოქსში წარმოდგენილი ნახშირბადით მანგანუმის და სილიციუმის ოქსიდების გამოსახულებათა (1) და (2) მიხედვით. სრულ აღდგენას (თეორიულად საჭირო ნახშირბადის და პრაქტიკულად საჭირო კოქსის) და საწარმოო პროცესების თავისებურებებიდან გამომდინარე კოქსის რაოდენობის კონკრეტული სიჭარბის კოეფიციენტით აღებას. შესაბამისი გათვლის შედეგები წარმოდგენილია მე-4 ცხრილში.

**ცხრილი 4. მანგანუმშემცველი მტვრისა და კოქსის შემცველი კაზმების შედგენილობა (მას. %)**

შედგენილობის ინდექსი	კაზმში წარმოდგენილი მტვრის რაოდენობა	აღმდგენის რაოდენობა (თეორიული)	კაზმში კოქსის შემცველობა	
			სიჭარბის კოეფიციენტი $K_1 = 1$	სიჭარბის კოეფიციენტი $K_2 = 2$
DC - 0	100	16,0	<b>19,0*</b>	<b>38,0*</b>
DC - 1	90	14,4	17,1	34,2
DC - 2	80	12,8	15,2	30,4
DC - 3	70	11,2	13,3	26,6
DC - 4	60	9,6	11,4	22,8
DC - 5	50	8,0	9,5	19,0

შენიშვნა: \* – კოქსის რაოდენობა 100 მას. % მტვრის ზემოთ.

კვლევისათვის შეირჩა ხუთი (D –1-დან DC–5-მდე) შედგენილობის ორკომპონენტური კაზმი, რომელშიც აღმდგენის შემცველ მასალას-კოქსს შეესიტყვებოდა მე-4 ცხრილში მოყვანილი მისი გასაშუალოებული რაოდენობა (25-დან 14-მდე მას. %).

საკვლევი კაზმების ერთგვაროვნების შეფასებისათვის მარტივი ხერხი იქნა შერჩეული. მიდგომა იმაში მდგომარეობდა, რომ ხუთივე (DC–1-დან DC–5-მდე) ნარევი მზადდებოდა „ჰაერზე გამშრალ“ მდგომარეობაში მყოფ მასალებიდან, რომელთა შერევისას (ფაიფურის ფილი 3-4 წუთი) ემატებოდა 5 მას.% წყალი 100 მას.% კაზმის ზემოთ. დატენიანებული კაზმები იწნებოდა ყალიბში 12 მპა წნევით და ამის შემდეგ ხდებოდა მიღებული ნაწნეხის ვიზუალური შეფასება. კერძოდ, შეფასების კრიტერიუმს წარმოადგენდა ნაწნეხში კაზმის მასალათა გადანაწილება-ურთიერთ შერწყმა, რაც ვიზუალურად მათი 4-ჯერადი გადიდების ლუპით დათვალიერებით ხდებოდა. ამ გზით დადგინდა, რომ კარგი შედეგი მიიღწევა DC – 2, DC – 3 და DC – 4 (80, 70 და 60 მას.% მტვრის შემცველობით) შედგენილობებში. კვლევის პირობებში ისინი უზრუნველყოფენ მანგანუმშემცველი მტვრის ნაწილაკებით კოქსის მარცვლების მეტ-ნაკლებად კარგი (თანაბარზომიერი) შემოგარსვლას. DC–5 შედგენილობის შემთხვევაში დაბრიკეტირებულ ნარევებში მკაფიოდ შეიმჩნევა კოქსის მარცვლების სიჭარბე და ბრიკეტების ფაქტურა არათანაბარი და უხეში (ტლანქი) მიიღება. DC–1 შედგენილობის კაზმიდან (90 მას. % მტვერი და 10 მას. % კოქსი) მიიღება ბრიკეტები, რომლის მტვრის შემადგენელში დაფიქსირდა კოქსის მარცვლების წერტილოვანი ჩართვა. მიღებული შედეგების საფუძველზე „მტვერი-კოქსი“ კომპოზიციაში შემდგომი კვლევა ჩატარდა ერთ გასაშუალოებულ 100 მას. % კაზმზე გადაანგარიშებულ შედგენილობაზე (შედგენილობა DCM). საკვლევად აღებული DCM შედგენილობის კაზმი შეიცავს:

რესპირატიული მტვერი	—	80 მას. %
წვრილმანი კოქსის	—	20 მას. %
ჯამი	—	100 მას. % კაზმი

### 2.1.2. „მტვერი - კოქსი“ კომპოზიციის ნარევისათვის შემკვრელის შერჩევა

როდესაც საჭიროა მტკიცე ნაჭრების (ბრიკეტების), ანუ წვრილმარცვლოვანი მასალებისათვის მაქსიმალურად ერთგვაროვანი შედგენილობის და ერთნაირი ფორმის მიცემა, ტექნოლოგიურ პროცესებში მათი შემდგომი გამოყენებით, მიმართავენ ბრიკეტირებას. წმინდა ფრაქციული მასალებისა და შემკვრელის დამატებით მიღებული ნარევეების დაბრეკეტირება მიიჩნევა ყველაზე მარტივ და ეკონომიურ ხერხად. ასეთი ტექნოლოგიით შესაძლებელი ხდება ტექნოლოგიურ პროცესებში უშუალო შეტანისათვის გამოყენებული, მაგრამ თავისი შედგენილობით ღირებული, მრავალი სახის ნივთიერების (მყარი საწვავი, ქანი ტექნოლოგიური ნარჩენი და სხვა საწარმოო ტექნოლოგიურ პროცესებში ჩართვა [70, 71].

ბრიკეტირების პროცესის ძირითად ფაქტორად მიიჩნევენ შემკვრელ ნივთიერებებს, რომელთა რიგი წამყვანი თვისება განსაზღვრავს ბრიკეტირების ტექნოლოგიური პროცესის წარმართვას და საბოლოო ჯამში ვარგისიანი (მტკიცე და ფორმაშენარჩუნებული) პროდუქტის-ბრიკეტების მიღებას უზრუნველყოფს. ამავე დროს, შემკვრელის შერჩევისას ითვალისწინებენ კიდევ რამოდენიმე გარემოებას, რომლებიც მათი თავისებურებიდან და პროდუქტის მიღების ტექნოლოგიური პროცესის წარმართვის პირობებს უკავშირდება. ეს გარემოებანი, რომლებიც უშუალოდ მიზნობრივად ვალცებიან წნეხით ბრიკეტირებას ითვალისწინებს, დეტალურადაა ჩამოყალიბებული რიგ ნაშრომში [68 – 70, 75, 76].

არაორგანული მინერალური შემკვრელები, მაგალითად ცემენტი ან კირი, გარდა შეკვრის უნარისა, მრავალ მეტალურგიულ პროცესში, ასევე წარმოჩინდებიან საფლუსე დანამატის როლში. ეს უკანასკნელი მნიშვნელოვანი დადებითი ტექნოლოგიური პირობაა, მაგრამ ვერც ცემენტი, (შესაბამისი წყალხსნარი) და მით უფრო კირი (კირის რძე) ვერ უზრუნველყოფენ სასურველი საწყისი სიმტკიცის მქონე ბრიკეტების მიღების და საერთო ჯამში „სასაქონლო“ ბრიკეტების გამოსავალი 60%-ს არ აღემატება. აქედან, ამ მიმართულებით უკვე რეალიზებულ ტექნოლოგიებში, როგორც წესი, არაორ-

განულ შემკვრელს უმატებენ თხევად კომპაუნდირებულ შემკვრელებს, რაც ზრდის ხარისხიანი ბრიკეტების გამოსავლიანობას და საწყის სიმტკიცეს. მაგრამ სასურველი სიმტკიცისა და წყალმდეგობის მიღწევა (ბრიკეტების ტრანსპორტირებისათვის აუცილებელი) მოითხოვს მათ ხანგრძლივ დაყოვნებას - სიმტკიცის აკრეფვას.

პირობითად „თხვადი“ შემკვრელებიდან, რომლებსაც უნარი შესწავთ უზრუნველყონ წვრილფრაქციული მასალების შეკვრა, თავისი ეკონომიურობით და გამოყენების სიმარტივით, გამოყოფენ ორგანულ (ძირითადად ნავთობპროდუქტების სხვადასხვა მოდიფიკაციები) და ასევე ორგანული წარმოშობის შემკვრელებს საწარმოო ნარჩენების (სულფიტ - სპირტული დურდო, შაქრის წარმოების ბადაგი და სხვ.) სახით. შემკვრელთა ამავე ჯგუფს მიეკუთვნება არაორგანული ბუნების შემკვრელი – თხვადი მინა, როგორც ნატრიუმიანი, ასევე კალიუმიანი.

ნავთობპროდუქტ - შემკვრელებით მიღებული ბრიკეტების გამოყენება მთელ რიგ ღუმელებში (ბოვისებრი, შახტური და ა.შ. ) მიზანშეწონილი არ არის, რადგან მათ ახასიათებს, როგორც დაბალი თერმული სიმტკიცე, ასევე ფისოვანი ნივთიერებათა აქროლადობა. დაბალი თერმული მედეგობა, რაც ვლინდება ღუმელებში ბრიკეტების მიერ შექმნილ ნაყარის სვეტში, ბრიკეტების ნაადრევი „ჩაშლით“ (მათი გაქყლეტა უკვე 150 – 250°C-ზე ხდება), რაც დნობის პროცესის ხელშემშლელი ფაქტორი ხდება. აღნიშნულს ერთვის აქროლადი ფისოვან ნივთიერებათა გამოყოფა, რომელიც ილექება აირგამყვან სისტემაში (გამოგნესავს აირსადენებს) ან უკონტროლოდ ხვდება ატმოსფეროში. ამ მიზეზთა გამო, როდესაც ბრიკეტირებისას გამოიყენებენ ბითუმს ან ქვანახშირის სქელ ფისს, რეკომენდირებულია ბრიკეტების წინასწარი დამუშავება, რაც 700 – 900°C-ზე ბრიკეტების თერმული დამუშავების ჩატარებითაა რეკომენდირებული [75].

სულფიტურ - სპირტოვანი დურდი ხასიათდება მაღალი სიბლანტეობით და წებვადობით. ის წყალში კარგად ხსნადი პროდუქტია, მაგრამ ორი უარყოფითი მხარე აქვს. ერთი მათგანი მის შედგენილობას უკავშირდება -



ის მაღალგოგირდშემცველი მასალაა (3–6 % გოგირდი). მეორე არასასურველი თვისება კი მისი თერმულ არამდგრადობით განისაზღვრება, რადგან 350 – 500°C ინტერვალში ის სრულად იშლება და ამ დროს ადგილი აქვს საწარმოო პროცესისათვის არასასურველი და ეკოლოგიურად მიუღებელი გოგირდის ჟანგბადნაერთების წარმოქმნას [75, 76].

შაქრის წარმოების ნარჩენი – ბადაგი ვერ უზრუნველყოფს მიღებული ბრიკეტების ტენმედეგობას და თერმულ სიმტკიცეს. ამიტომ დამოუკიდებელი სახით ბრიკეტების მიღებისას ის არ გამოიყენება, მაგრამ ცნობილია მისი დადებითი გავლენა კომპაუნდ-შემკვრელის სახით, როდესაც მას ცემენტის ან კირის წყალხსნარების (შემკვრელების) დანამატად გამოიყენებენ [77].

თხევდი მინა, მისი ბრიკეტების შემკვრელად გამოყენებისას, უზრუნველყოფს ბრიკეტების მაღალ თერმულ სიმტკიცეს (დაახლოებით 900°C-მდე) და ასევე კარგ ტენმედეგობას. მისი კიდევ ერთი დადებითი მხარე უკავშირდება მის შედგენილობას – ის ნატრიუმის სილიკატს წარმოადგენს. აქედან ტექნოლოგიურ პროცესზე, რომელიც ძირითადად ქანების მაღალტემპერატურულ დამუშავებას – დნობას უკავშირდება, რაიმე მავნე მინარევების შემტანი არ არის, რადგან ყველა ქანი (წიაღისეული), როგორც წესი, მეტ-ნაკლებად შეიცავს ნატრიუმის და სილიციუმის ოქსიდებს. თხევადი მინის გამოყენებით დაბრიკეტებული მასალები წარმატებით გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის (შახტური, მარტენის, ელექტროდნობის და სხვ.) ღუმელებში. მაგრამ ამ მიმართულებით ჩატარებულმა კვლევებმა უჩვენა, რომ თხევადი მინის ბრიკეტების შემკვრელად გამოყენებისას პრაქტიკულად საჭირო ხდება გარკვეული პირობების დაცვა, რომელთა რეალიზაცია (როგორც მიიჩნევენ პრაქტიკოსები) მეტ-ნაკლებად ზღუდავს ბრიკეტებისას თხევადი მინის შემკვრელად გამოყენებას. ძირითად მიზეზად მიიჩნევენ დასაბრიკეტებელი ნარევის მომზადების ხანგრძლივობას (20–40 წთ-ანი შერევა), რაც აუცილებელია თხევადი მინის ბრიკეტად შესაკვრავ მასალათა ნაწილაკებს შორის თანაბარზომიერი გადანაწილებისათვის. მეორე მიზეზი უშუალოდ ბრიკეტების მიერ მექანიკური სიმტკიცის მიღწევის დროს უკავშირდება.

პრაქტიკული გამოცდილებიდან რეკომენდირებულია ბრიკეტების შემდეგ ბრიკეტების ხელოვნური შრობა, რაც დამატებითი თბოტექნიკური დანადგარის (მაგ., კონვეირული, მაღალწარმადობიანი საშრობი) საწარმოო ციკლში ჩართვას მითხოვს. ამავე დროს აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ შესწავლილი იქნა თხევადი მინის გამოყენებით, როგორც მტვრისებრი ქანებისა და საკერძე მტვრის, ასევე უფრო ფორიანი მასალების (წვრილფრაქციული მადნების) ბრიკეტების სკითხი. მტვერთან მიმართებაში მიიჩნევენ საჭიროდ 15 – 18% თხევადი მინის დამატებას, ხოლო სხვა სახის ნარევებში (მაგ., წვრილფრაქციული მადანი (76 %) - კოქსის წვრილმნი (8 %) - კირქვა (16 %) ) 9 %-მდე თხევადი მინის შეყვანას [75].

მიუხედავად არსებული წინაპირობებისა, თხევადი მინა მიიჩნევა ისეთ შემკვრელად, რომელშიც შერწყმულია ყველა ის დადებითი მხარეები, რომლებითაც ხასიათდება ორგანული და მინერალური შემკვრელები. აღნიშნული მტკიცებულება ეფუძნება იმ ფართო ექსპერიმენტურ მასალას, რომელიც მიღებულია სხვადასხვა სახის ნედლეულის, მათ შორის წვრილფრაქციულის, თხევადი მინით ბრიკეტებისას [75, 78].

თხევად მინასთან ნატრიუმის (მონო, დი- და ტრი) სილიკატების მიმართებაში აღსანიშნავია შესაბამის ლიტერატურაში მოყვანილია რეკომენდაციები თხევადი მინის სხვადასხვა დანიშნულებით გამოყენების თაობაზე. მათ საფუძვლად უდევს თხევად მინის გრანულატში  $SiO_2$ -ის შემცველობა ან თხევადი მინის ( $Na_2O \cdot mSiO_2$ ) მოდული (m) და ასევე ხსნარის სიმკვრივე [79, 80]

შესაბამისი სტანდარტის მიხედვით თხევადი მინა, მისი გამოყენების სფეროების მიხედვით, უნდა შეიცავდეს  $SiO_2$ -ს (მას %):

- სამსმელო წარმოება (29,5 – 36,0);
- კატალიზატორის, ადსორბენტის და ელექტროდების წარმოება (24,8 – 34,3);
- სინთეტიკური სარეცხი საშუალებანი და ქიმიური წარმოება (24,1 – 35,0];

– მშენებლობა და ფლოტაცია (24,8 – 36,7);

– წებო და განჯითხვითი სამუშაოები (24,8 – 34,0);

თხევადი მინის მწარმოებელ ქარხნებში აწარმოებენ ჯერ  $Na_2O \cdot mSiO_2$  სილიკატის გრანულატს (მოდული  $m = 2,5 - 3,5$ ), რომელთაგან ფართოდ გამოყენებადია  $m = 2,75 - 3,3$  გრანულატი. მისი ავტოკლავში ან ცხელ წყალში გახსნით, მიიღება თხევადი მინა. თხევადი მინის ტრანსპორტირების ხარჯების შესამცირებლად და საბაზრო მოთხოვნილებათა მრავალმხრივი მიმართულებათა დასაკმაყოფილებლად, რეალიზდება 1,5–1,52 გ/სმ<sup>3</sup> ე.ი. მაღალი სიმკვრივის თხევადი მინა. აღნიშნული კონცენტრაციის თხევადი მინის დაყვანა სასურველ სიმკვრივეებამდე სირთულეს არ წარმოადგენს – განზავება მხოლოდ წყლის დოზირებულ (მოდულიდან და საწყისი სიმკვრივიდან გამომდინარე) დამატებას და კარგ მორევას მოითხოვს [80].

აღსანიშნავია, რომ თხევადი მინის წებვადობის (შეკვრის უნარის) გასაძლიერებლად სხვადასხვა სახის დანამატები გამოიყენება. კერძოდ დადგენილია, რომ მის წებვადობას ზრდის შარდოვანა, შაქარი, კაზეინი და სხვა მასალები. აგრეთვე ცნობილია, რომ თხევადი მინის გამყარებას აჩქარებს ცემენტის, კირის, ფტორშემცველი ნაერთების და სხვათა დამატება [80].

თხევად მინასთან მიმართებაში არსებული პრაქტიკული გამოყენების გამოცდილება ჩვენს მიერ მიჩნეულ იქნა იმ არგუმენტირებულ წინაპირობად, რომელიც მანგანუმშემცველი რესპირაციული მტვრისა და კოქსის წვრილმანის საფუძველზე შედგენილი ნარევების ბრიკეტირების შესაძლებლობას უზრუნველყოფდა.

### 2.1.3. მანგანუმშემცველი შლამები და მათგან პეტრურგიული ნაწარმის მიღების შეფასება

ზფქ - ის რესპირაციულ მტვერთან ერთად, კვლევის მეორე ძირითად ობიექტს წარმოადგენდა მანგანუმის მადნების გამდიდრების შედეგად წარმოქმნილი ნარჩენი-შლამები. ისინი გამოირჩევიან ქიმიურ - მინერალოგიური შედგენილობის სირთულით, რადგან შეიცავენ 16-მდე ქიმიურ ნაერთს და უფრო მეტი რაოდენობით მინერალებს. შლამის ქიმიურ-მინერა-

ლოგიური გარდაქმნების კინეტიკური და თერმოდინამიკური შეფასება დეტალურადაა განხილული იმ ნაშრომებში, რომლებშიც გახორციელდა შლამის მონაწილეობით შედგენილი სამ - და ოთხკომპონენტური კაზმებიდან მინამასალების მისაღებად. ავტორების მიერ შედგენილ კომპოზიციებში შლამის დანამატად აღებული იქნა ბუნებრივი (ქვიშა, კირქვა და სხვ.) და ხელოვნური (სოდა, სულფატი და სხვ.) სანედლეულო მასალები, რაც დიდი ვარაუდით ართულებს და აძვირებს მათი მიღების ტექნოლოგიას [49 – 55].

ჩვენი სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა შლამის გამოყენებით სხვა სახის მინამასალის – ქვის სხმულის მიღება და მისი წარმოების ისეთი ტექნოლოგიის დამუშავება, რომელიც მინიმუმამდე დაიყვანდა სანედლეულო ხარჯებს და პერსპექტივაში უზრუნველყოფდა ფართო დანიშნულების ეკონომიურ სამშენებლო და სამრეწველო ნაკეთობათა წარმოებას. ქვის სხმულის ნაწარმი გამოიყენება ყველგან, სადაც საჭირო ხდება ქიმიური მდგრადობით, ცვეთამედეგობით და ელექტრობის საიზოლაციო თვისებების მქონე მასალათა (ნაკეთობათა) გამოყენება. დღეისათვის, სხვადასხვა ინდუსტრიალურად განვითარებულ ქვეყნებში (აშშ, საფრანგეთი, გერმანია, პოლონეთი და სხვ.) ქვის სხმულის ტექნოლოგიით (პეტრურგია) ამზადებენ ქიმიურად და მექანიკურად მდგრად ფილებს, სითხეების და ფხვიერი მასალების ტრანსპორტირებისათვის - მილებს და ღარებს, ხეხვამედეგ სამრეწველო დანიშნულების მოსაპირკეთებელ ფილებს, სადინარებს, სამშენებლო ნაწარმს – მსხვილგაბარიტიანი ფილების, სავალი ნაწილის ბორდიურებს და დასაგები ფილების სახით, ენერგეტიკაში – იზოლატორების დასამზადებლად და სხვა [81, 82].

ქვის სხმულის ნაწარმის მისაღებად ფართოდ გამოიყენება ქანები (ბაზალტი, გრანიტი და სხვ.) და ასევე ხშირად ლითონთა გამოდნობის შედეგად წარმოქმნილი წიდეები (შავი და ფერადი მეტალურგიის). ქვის სხმულის მიღება ეფუძნება პეტრურგიას – მასალათა (ნარჩენების) დნობას და შემდგომ დაყალიბება-გამოწვას. როგორც წესი, ძირითად ნედლეულს (სხვადასხვა სახის ნარჩენს) ემატება მამოდიფიცირებელი და სხვა საკაზმე

მასალები. მათი დანიშნულება იმაში მდგომარეობს, რომ ტექნოლოგიურად მისაღებ ტემპერატურებზე მოხდეს ნადნობის მიღება ( $1450^{\circ}\text{C}$  - ზე ნაკლები) და შემდგომი თერმოდამუშავებით უზრუნველყოფილი იქნას ნადნობის დაკრისტალება-ქვისმაგვრ ნაწარმში გადასვლა. მამოდიფიცირებლებად აიღა პრომოვანი რკინაქვა, მლხოხელი შპატი ( $\text{CaF}_2$ ) ან სხვა მასალა.

ქვის სხმულის მიღების ტექნოლოგიური პროცესები ძირითადად უკავშირდება გადასამუშავებელი ნედლეულის სახეობას და მისგან მიღებული ნადნობის სასურველი თვისებების მატარებელ ნაწარმში გარდაქმნას. აღსანიშნავია, რომ ქვის სხმულის დასახელება განისაზღვრება (მიღებული პრაქტიკაა) იმ ნედლეულთა დასახელებით, რომელთა გამოყენებით შედგენილი იქნა მათ მისაღებად გამოყენებული კაზმი. ასე, მაგალითად, განასხვავებენ „ბაზალტ-დოლომიტურ“, „ბაზალტ-წიდა“, „გაბროპორიტულ“, „სპილენძურ“ „ნაცარ-წიდურ“ და სხვა დასახელების პეტრურგიული ხერხით მიღებულ ქვის სხმულის ნაწარმს (შედგენილობას) [83].

ჩვენს მიერ ჩატარებული ლიტერატურის ანალიზით, მეტალურგიული წიდებიდან მიღებული ქვის სხმულის ქიმიური შედგენილობები გამოირჩევიან ტუტე ოქსიდთა დაბალი შემცველობით (2-4 მას. %), მაგრამ მათში დიდი ოდენობით არის წარმოდგენილი ტუტე-მიწა და რკინის ოქსიდები. კერძოდ, ძალზე ხშირად მათ შედგენილობაში წარმოდგენილია 13-17 % ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ ), 16-20 % ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ ). ალუმინსილიკატური შემადგენლის შემცველობა ( $\text{SiO}_2$  და  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 62-64 %-ს შეადგენს (ცხრილი 5). ქვის სხმულის მისაღებ შედგენილობებში ჩვენი ყურადღება მიიქცია მცირე რკინის შემცველი წიდებიდან მიღებულმა პეტრურგიულმა მასალებმა. აღნიშნულის წინაპირობა იყო ის, რომ საკვლევ ობიექტად აღებული მანგანუმის მადნის გამდიდრებისას წარმოქმნილი შლამები ხასიათდებიან რკინის ოქსიდების (2,6 მას. %) და ტუტეოქსიდების (3,5 მას. %) დაბალი შემცველობით (ცხრილი 5).

ცხრილი 5. ქვის სხმულის ძირითად სახეობათა ქიმიური შედგენილობა

N	ნაწარმის სახეობა	ქიმიური შედგენილობა (მას. %)			
		$SiO_2 + Al_2O_3$	RO	$R_2O$	$FeO + Fe_2O_3$
1	მრავალრკინაშემცველი				
1.1	- ზღვრები	62 - 66	16 - 20	2 - 4	13 - 17
1.2	- გასაშუალოებული	64	18	3	15
2.	მცირერკინაშემცველი				
2.1	- ზღვრები	70 - 74	12 - 20	1 - 3	8 - 12
2.2	- გასაშუალოებული	72	16	2	10

რაც შეეხება საკვლევი შლამის ქიმიურ შედგენილობას ის მოყვანილია მე-6 ცხრილში. შემდგომ განხორციელდა შლამში შემავალი ოქსიდების და-ჯგუფება მათი ქიმიური შედგენილობის და თვისებრივი მახასიათებლების მიხედვით. უფრო კონკრეტულად – ჩვენ მივმართეთ სილიკატურ დარგებში არსებულ შეხედულებებს [82, 84].

ცხრილი 6. მანგანუმის მადნის გამდიდრების შედეგად მიღებული ნარჩენის (შლამის) გასაშუალოებული ქიმიური შედგენილობა

ოქსიდები და მათი რაოდენობა		ოქსიდები და მათი რაოდენობა	
ქიმიური ფორმულა	შემცველობა, მას. %	ქიმიური ფორმულა	შემცველობა, მას. %
$P_2O_5$	0,3	MnO	6,9
$TiO_2$	0,3	CaO	4,4
$MnO_2$	8,5	MgO	1,4
$SiO_2$	53,5	$K_2O$	1,4
$Al_2O_3$	10,2	$Na_2O$	2,1
$Fe_2O_3$	2,5	$SO_3$	0,4
FeO	0,1	$CO_2$	4,6
BaO	0,8	$H_2O$	2,6

მე-6 ცხრილში მოყვანილი შედგენილობის ტრანსფორმაციით, რომელიც ჩვენს მიერ განხორციელდა, ინდივიდუალურ თვისებათა მატარებელი  $SiO_2$  და  $Al_2O_3$  დამოუკიდებელ შემადგენლებად დარჩა. RO-ტიპის ოქსიდურ ნაერთებად წარმოგენილი იქნა CaO, MgO და BaO, ხოლო  $R_2O$ –ს მიეკუთვნა  $K_2O$  და  $Na_2O$ . რაც შეეხება RO,  $R_2O_3$  და  $RO_2$  ტიპის პოლივალენტური ელემენტებით შედგენილ ოქსიდურ ნაერთებს, ისინი FeO +  $Fe_2O_3$  და MnO

+  $MnO_2$  ცალ-ცალკე შეჯამებით იქნა განსაზღვრული. „ხურების დანაკარგებში“ შეჯამდა  $CO_2$ -ის და  $H_2O$ -ს რაოდენობა, მაგრამ დამოუკიდებელ შემდგენლად დარჩა  $SO_3$ . მოყვანილი მიდგომით გამოსახული შლამის ქიმიური შედგენილობა წარმოდგენილია მე-7 ცხრილში. აქვეა მოყვანილი ცალკეულ ოქსიდთა პოტენციური შესაძლებლობა წარმოქმნას რთული შედგენილობის ალუმინოსილიკატები, სილიკატები ან შეასრულოს მალლობის (მალ) და ნუკლეატორის (ნუკ) ანუ ჩანასახწარმოქმნელის ფუნქცია (თუ მასალა გამღვალ მდგომარეობაში იქნა გადაყვანილი).

ცხრილი 7. მანგანუმის მადნის გამდიდრების შედეგად მიღებული შლამის კლასიფიცირებული ქიმიური შედგენილობა

ჯგუფის N	ოქსიდთა ჯგუფში შემავალი ოქსიდები და მათი რაოდენობა		ოქსიდების ჯამური რაოდენობა, მას. %	რთულ ნაერთთა წარმოქმნის უნარი		
				ალუმინ-სილიკატები	სილიკატები	სხვა ფუნქცია
1	$RO_2$	$SiO_2$	53,5	+	+	
2	$R_2O_3$	$Al_2O_3$	10,2	+	-	
3	RO	CaO, MgO, BaO	6,6	+	+	
4	RO + $RO_2$	MnO, $MnO_2$	15,4	-	+	მალ.
5	RO + $R_2O_3$	FeO $Fe_2O_3$	2,6	-	+	მალ.
6	$R_2O$	$K_2O$ $Na_2O$	3,5	+		მალ.
7	$R_2O_5 + RO_2$	$P_2O_5$ $TiO_2$	0,6	-	-	ნუკ
8	$RO_3$	$SO_3$	0,4	-	-	მალ.
9	ხ.დ.	$CO_2$ $H_2O$	7,2			აქრ.
ჯ ა მ ი			100,0			

შენიშვნა: (+) მოსალოდნელია; (-) ნაკლებად შესაძლებელია; მალ - მალლობელი; ნუკ - ნუკლეატორი; აქრ - აქროლადი.

შლამების მოყვანილი სახით წარმოდგენით შესაძლებელი გახდებოდა მათი ტექნოლოგიურ პროცესში შესაძლო ჩართვის შეფასება, რაც მანგანუმ-შემცველი შლამიდან ქვის სხმულის მიღების შესაძლებლობის შეფასებას

მოითხოვდა ანუ ცნობილი მცირერკინიანი ქვის სხმულის და საკვლევი შლამის შედგენილობათა შედარებით ანალიზს. ამისათვის ჩვენს მიერ შედგენილი იქნა შესადარებელი ცხრილი, იმ პირობიდან გამომდინარე, რომ მანგანუმის ( $MnO$  და  $MnO_2$ ) და რკინის ოქსიდები ( $FeO$  და  $Fe_2O_3$ ) ნაღბებში მსგავსი ფუნქციური დატვირთვის მატარებლები - მალღობლებისათვის დამახასიათებელ თვისებებს ავლენენ [85].

შედარებითი მასალა, რომელიც მე-8 ცხრილშია წარმოდგენილი, გვიჩვენებს, რომ მანგანუმშემცველ შლამი (საკვლევი ობიექტი), არსებულ პროდუქტთან (მცირერკინიანი ქვის სხმული) მიმართებაში ძირითადად მსგავსებას ავლენს  $SiO_2$  და  $Al_2O_3$ , ასევე  $R_2O$  ოქსიდების შემცველობებში (გადახრა 2%-ს ფარგლებშია).

**ცხრილი 8. ქვის სხმულის და მანგანუმშემცველი შლამის ქიმიური შედგენილობები**

N	დასახელება	ქიმიური შედგენილობა (მას. %)			
		$SiO_2 + Al_2O_3$	RO(CaO+MgO)	$R_2O$	მანგანუმის და რკინის ოქსიდების ჯამი
1.	ქვის სხმული	72	16	2	10
2.	მანგანუმშემცველი შლამი (დაყვანილი შედგენილობა)	70	7	4	19
	სხვაობა ( $\pm \Delta$ , %)	-2	-9	+ 2	+ 9

ამავე დროს, მნიშვნელოვანი განსხვავება ფიქსირდება ტუტემიწა ოქსიდთა და მანგანუმ-რკინა ოქსიდთა ჯამურ შემცველობებში. კერძოდ, შლამი ნაკლები ოდენობით შეიცავს ტუტემიწაოქსიდებს (სხვაობა 9 %), მაგრამ მასში სიჭარბითაა წარმოდგენილი პოლივალენტურ ელემენტთა (მანგანუმის და რკინის) ოქსიდები (სხვაობა ასევე 9 %-ია).

აღნიშნული ფაქტები იმაზე მიუთითებს, რომ „სუფთა“ მანგანუმშემცველი შლამიდან ქვის სხმულის მიღება პრაქტიკულად მიუღწევადი იქნებოდა. შლამის შედგენილობის მაკორექტირებელი ნედლეულის შერჩევასა გასათვალისწინებელი ხდებოდა ის გარემოება, რომ საჭირო იქნებოდა ისე-



თი დანამატის შერჩევა, რომელიც ნაკლები ოდენობით შეიცავდა პოტენციურად მაღლობად მიღებულ მანგანუმის ოქსიდებს, ხოლო მასში დიდი ოდენობით უნდა ყოფილიყო წარმოდგენილი R0 ტიპის ოქსიდები. ამავე დროს, შერჩეული ნედლეული დაბალი ღირებულების და ხელმისაწვდომი უნდა ყოფილიყო.

**ცხრილი 9. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის წიდების შედგენილობა (გასაშუალოებული)**

ძირითადი ოქსიდური ნაერთების შემცველობა (მას. %)					
$SiO_2 + Al_2O_3$	CaO+MgO	MnO+FeO	სხვა ოქსიდები	ხურების დანაკარგი	ჯამი
43,2+16,6	19,8+2,8	16,0+1,3	0,2	0,1	-
59,8	22,6	17,3	0,2	0,1	100,0

ზესტაფონი - ჭიათურის რეგიონში არსებული და ტექნოგენურ ნედლეულად პერსპექტიული ხელმისაწვდომი მასალებიდან, ჩვენი არჩევანი გაკეთდა ისევ ზფქ-ის ნარჩენზე - კერძოდ წიდაზე. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის წიდები მეტ-ნაკლები ერთგვაროვნებით გამოირჩევიან (ცხრილი 11). ხოლო გასაშუალოებული შედგენილობიდან გამომდინარე წიდაში (შლამთან შედარებით) დიდი რაოდენობითაა (22 %-ზე მეტი) წარმოდგენილი RO(CaO + MgO), მაგრამ ნაკლებია  $SiO_2$ -ს და  $Al_2O_3$ -ის რაოდენობა (დაახლოებით 60 მას. %). აქედან გამომდინარე, საბოლოო შედარება (წიდის ჩართვა-უარყოფის საკითხი) უნდა გადაეწყვიტა იმ კომპოზიციების მოსალოდნელ შედგენილობებს, რომლებიც „წიდა-შლამის“ ნარევებში მიიღება. ამიტომ ჩვენ გავიანგარიშეთ სამი ნარევის მოსალოდნელი ქიმიური შედგენილობა, რომელიც მიიღება წიდა/შლამი ფარდობებიდან: 3/1;1/1; 1/3.

შესაბამისი ანგარიშით მიღებული შედეგები მოყვანილია მე-10 ცხრილში.

ცხრილი 10. ზფქ-ის წილის და მანგანუმშემცველი შლამის საფუძველზე შედგენილი ნარევი

N	კაზმის კომპონენტები	კომპონენტის %-ული თანაფარდობა	ქიმიური შედგენილობა, მას. %								ბ.დ.	ჯამი, %
			$SiO_2$	$Al_2O_3$	RO	$R_2O$	MnO+MnO <sub>2</sub>	$FeO + Fe_2O_3$	$R_xO_y$			
1	წიდა	100	43,2	16,6	22,6	-	16,0	1,3	0,2	0,1	100,0	
	შლამი	-										
	ჯამი		43,2	16,6	22,6	-	16,0	1,3	0,2	0,1	100,0	
2	წიდა	75	32,4	12,5	16,9	-	12,0	1,1	0,2	-		
	შლამი	25	13,4	2,6	1,6	0,8	3,9	0,6	0,2	1,9		
	ჯამი		45,8	15,1	18,5	0,8	15,9	1,7	0,3	1,9	100,0	
3	წიდა	50	21,6	8,3	11,3	-	8,0	0,7	0,1	-		
	შლამი	50	26,8	5,1	3,3	1,7	7,7	1,3	0,3	3,8		
	ჯამი		48,4	13,4	14,6	1,7	15,7	2,0	0,4	3,8	100,0	
4	წიდა	25	10,8	4,2	5,6	-	4,0	0,4	-	-		
	შლამი	75	40,2	7,7	4,9	2,5	11,6	1,9	0,5	5,7		
	ჯამი		51,0	11,9	10,5	2,5	15,6	2,3	0,5	5,7	100,0	
5	შლამი		10,2	10,2	6,6	3,5	15,4	2,6	0,6	7,6		
	ჯამი	100	53,5	10,2	6,6	3,5	15,4	2,6	0,6	7,6	100,0	

გათვლები გვიჩვენებს, რომ შლამის ჩანაცვლება წილით ამცირებს  $SiO_2$ -სა და  $Al_2O_3$ -ს ჯამურ შემცველობას, მაგრამ ეს ცვლილება საგრძნობი არ არის. მე-5 შედგენილობაში („სუფთა“ შლამი), აღნიშნულ ოქსიდთა ჯამი 63,7 მას. %-ს, ხოლო საწყის N1-ლ შედგენილობაში (წიდა) ის 59,8 %-ს უტოლდება. შლამის (გამდიდრების ნარჩენის) წილით ჩანაცვლება მკვეთრ ზეგავლენას ახდენს  $R_2O$  და RO ტიპის ოქსიდების შემცველობაზე. შლამის მაგიერ წიდის შეყვანა თითქმის 15 %-ით ზრდის RO-ს, ხოლო 3,5 %-დან პრაქტიკულად ნულამდე დაიყვანს  $R_2O$  - ოქსიდებს. რაც შეეხება კიდევ ერთ შემადგენელთა რაოდენობას, კერძოდ მანგანუმის და რკინის ოქსიდებს, მათი ჯამური რაოდენობა უმნიშვნელოდ იცვლება, მაგრამ შეიმჩნევა რკინის ოქსიდთა შემცველობის განახევრება (1,3 მას % N1-ს შედგენილობა და 2,6 % N5 შედგენილობა). ე.ი. ჩატარებული გათვლების შეჯერებით შეიძლება განისაზღვროს არსებული ტენდეციები: გამდიდრების ნარჩენების (შლამის) რაოდენობის შემცირება წიდის ხარჯზე ზრდის ნარჩენების ტუტიანობს და ამცირებს ძნელადდნობადი  $SiO_2$ -სა და  $Al_2O_3$ -ის შემცველობებს. ამავე დროს, თავისი შედგენილობით „შლამი-წიდა“ კომპოზიციათა შედგენილობები განსხვავდებიან „კლასიკური“ ქვის სხმულის შედგენილობებისაგან (ცხრილი 6) იმ ნაწილში, რომ ჩვენს მიერ შედგენილი კომპოზიციები უხვად შეიცავენ მანგანუმს (ცხრილი 10).

აღნიშნულიდან გამომდინარე, პასუხს ითხოვდა კითხვა თუ რა გავლენას მოახდენდა მანგანუმის ნაერთები მიღებული კომპოზიციების უნარზე წარმოექმნათ ქვის სხმული, რაზეც პასუხი შესაბამის შეფასებებს უნდა გაეცა (იხ. თავები 2.1.4 და 2.1.5).

#### **2.1.4. „შლამი-წიდა“ კომპოზიციაში მინის მიღების და პეტრიუგიულ მასალაში გარდაქმნისას წარმოქმნილი კრისტალური ფაზების სახეობათა შეფასება გათვლითი მეთოდებით**

ქვის სხმულის ნაწარმში მისაღებად გამოყენებული ნედლეულის შეფასებისას ითვალისწინებენ მის ქიმიურ და მინერალოგიურ შედგენილობის „კლასიკური“ ქვის სხმულის მისაღებად (კოროზიამედეგი და ხეხვამე-

დეგი სახეობა) ძირითადად რეკომენდირებულია ფუძე მაგმატური ქანების გამოყენება, რომელთა მიახლოებული შედგენილობაა: 50 %  $SiO_2$ ; 13 % CaO; 10 % MgO; 15 %  $Al_2O_3$  და 15 % (FeO +  $Fe_2O_3$ ). დასაშვებია სხვა სახის ნედლეულის გამოყენება, მაგრამ მათგან მიღებული ქვის სხმულის ნაწარმი უნდა ხასიათდებოდეს სასურველი საექსპლუატაციო თვისებებით. რაც შეეხება ნედლეულის მინერალოგიურ შედგენილობას - მას ასევე მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება ლღობის პროცესის წარმართვაში და ნადნობების კრისტალიზაციური უნარის გამოვლენაში. საკითხის სირთულიდან გამომდინარე, პეტრურგიული ნედლეულის შეფასება და სწორი შერჩევა მოითხოვს ექსპერიმენტულ შესწავლას, რაც ხშირად ხანგრძლივ პროცესს წარმოადგენს. ამავე დროს არსებობს ნედლეულის შეფასების (მისგან სასურველი შედგენილობის ქვის სხმულის მიღების უზრუნველყოფით) წინასწარი შეფასების ხერხები [83, გვ. 76].

არსებული შეფასების ხერხიდან ჩვენ ავირჩიეთ ისეთი ხერხები, რომლებსაც გარკვეული შედგენილობის მინაში სასურველად მიჩნეული პიროქსნეული შედგენილობის ფაზების წარმოქმნა შეუძლიათ უზრუნველყონ. კერძოდ ჩატარდა შესაბამისი ანალიზი ა. გინბერგის, ასევე ბ. ხანის მიერ შემოთავაზებული გათვლითი მეთოდების მიხედვით, ხოლო „შლამი-წიდა“ ნარევიდან მიღების შესაძლებლობა შეფასდა ა. აპენის მიერ შემოთავაზებული  $f_{Si}$ - ფაქტორით [83, გვ. 77, 85, 87].

სამივე ავტორის მიერ შემოთავაზებული გათვლები ჩატარდა „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის ხუთივე შერჩეული შედგენილობისათვის, რომლებიც მე-10 ცხრილშია მოყვანილი.

ა. აპენის მიხედვით მინის სტრუქტურის მდგრადობის და შესაბამისად მინის წარმოქმნის უნარის შეფასება  $f_{Si}$  -კოეფიციენტით (ფაქტორით) ხდება, რაც შეესატყვისება მინაში კაჟბად-ჟანგბადის რიცხვის ( $R = O/Si$ ) უკუპროპორციულ სიდიდეს  $f_{Si} = Si/O$  და მისი გათვლისათვის შემოთავაზებულია ზოგადი ხასიათის ფორმულა:

$$f_{Si} = \frac{n_{SiO_2}}{n_{Me_2O_4} + n_{MeO} + 3n_{Me_2O_3} + 2n_{MeO_2} + 5n_{Me_2O_5} + 3n_{MeO_3}} \quad (3)$$

პრაქტიკულად  $f_{Si}$  - ფაქტორის მნიშვნელობა 0,25-დან 0,5-მდე ზღვრებში განლაგდება და მის ცალკულ მახასიათებელ სიდიდეებს გარკვეული ნაერთის მოლეკულური ფორმულა, კაჟბად-ჟანგბადოვანი რადიკალის სახეობა და სტრუქტურათა წყობა შეესატყვისება. სტრუქტურათა სახეობის მიხედვით  $f_{Si} = 0,5$  ადგილი აქვს სამგანზომილებიანი ბადის არსებობას ( $[SiO_2]_{\infty}$ ),  $f_{Si} = 0,4$ -ს შეესატყვისება ორგანზომილებიან ბადეს ( $[SiO_4]_{\infty}$ ),  $f_{Si} = 0,333$ -ის შემთხვევაში გვაქვს ერთგანზომილებიანი უწყვეტი ხაზობრივი გავრცობის რგოლური ან ჯაჭვური სტრუქტურა ( $[SiO_3]_{\infty}$ , ხოლო დისკრეტული ტეტრაედების ( $[SiO_3]_1$ ) არსებობას გამოხატავს  $f_{Si} = 0,25$  მნიშვნელობა. მიიჩნევენ, რომ მინის წარმოქმნა შესაძლებელია  $f_{Si} = 0,333$  შემთხვევაში, მაგრამ ამ წესიდან არსებობს გამონაკლისი, რაც ე.წ. ინვერტული მინების წარმოქმნას უკავშირდება [84].

ჩვენს მიერ საანალიზო ( $f_{Si}$ - ფაქტორით) აღებული იქნა „შლამი-წიდა“ ხუთივე შედგენილობის (ცხრილი 10) ნაწილობრივ ტრანსფორმირებული შედგენილობები, რაც განხორციელდა შემდეგი მოსაზრების გათვალისწინებით:

- მაღალ ტემპერატურებზე მინის სინთეზი განაპირობებს  $FeO \leftrightarrow Fe_2O_3$  და  $MnO \leftrightarrow MnO_2$  წონასწორობათა მარცხნივ გადახრას, რაც მეტი ალბათობით შესაძლებელს ხდის პოლივალენტური ელემენტების არსებობას FeO-სა და MnO-ს სახით;
- MnO-ში და FeO-ში წარმოდგენილი  $Mn^{2+}$  და  $Fe^{2+}$  კატიონები მინის სტრუქტურაში სხვა  $R^{2+}$  კატიონების (მაგ., CaO, BaO, ZnO და ა.შ.) მსგავსი ფუნქციის მატარებელია და მათი ერთი პირობითი RO ტიპის ოქსიდების ჯგუფში წარმოდგენა დასაშვები ხდება.

კვლევის ობიექტად აღებული „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის შედგენილობათა (ცხრილი 10) გათვალისწინებით,  $f_{si}$  - ფაქტორის გასათვლელად გამოყენებული იქნა გამოსახულება:

$$f_{Si} = \frac{n SiO_2}{n R_2O + n_{RO} + 3n Me_2O_3 + 2n MeO_2} \quad (4)$$

სადაც შესაბამისი ოქსიდების ( $SiO_2$ ,  $R_2O$ ,  $R_2O_3$  და  $RO_2$ ) შემცველობა (n) წარმოდგენილია მოლ. %-ში.

საკვლევ შედგენილობათა ოქსიდების შემცველობის მას.%-დან მოლ. %-ში გადასაყვანად გამოყენებული იქნა გათვლის რეკომენდირებული მეთოდები [67, 86].

საკვლევად შერჩეული „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის შედგენილობაში წარმოდგენილი ოქსიდები, ოქსიდურ ჯგუფად დაყოფილი, მოყვანილია მე-11 ცხრილში, სადაც წარმოდგენილია ასევე გათვლილი  $f_{si}$  - ფაქტორები.

**ცხრილი 11.  $f_{si}$  - ფაქტორის სიდიდეები „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის შედგენილია ბებისათვის**

შედგენილობა	კაზმის შედგენილობა		ოქსიდთა შემცველობა ჯგუფებში (მას. %)				ოქსიდთა შემცველობა (n) ჯგუფებში (მოლ. %)				$f_{si}$ - ფაქტორის მნიშვნელობა
	წიდა	შლამი	$SiO_2$	$Al_2O_3$	RO	$R_2O$	$SiO_2$	$Al_2O_3$	RO	$R_2O$	
№ 1	100	-	43,4	16,8	39,8	-	48,4	12,1	39,5	-	0,35
2	75	25	46,9	15,7	37,2	0,9	50,3	10,7	38,0	1,0	0,37
3	50	50	50,1	13,9	34,1	1,9	52,9	9,3	35,7	2,1	0,39
4	25	75	55,1	12,6	29,8	2,5	56,6	8,6	32,0	2,8	0,41
5	-	100	59,8	10,9	25,5	3,8	59,1	7,3	30,2	3,4	0,43

ა. აპენის მიხედვით  $f_{si}$  - ფაქტორების გათვლებით გამოვლინდა, რომ სტაბილური სტრუქტურის მინის მიღება შესაძლებელია N4 ( $f_{si}=0,41$ ) და N5 ( $f_{si}=0,43$ ) შედგენილობების კაზმიდან, რომლებშიც შლამის რაოდენობა 75 %-ზე მეტია, მაგრამ იგივე  $f_{si}$  ფაქტორები მოახლოებულია  $f_{si}=0,4$  მარეგულირებელ მნიშვნელობასთან N3 შედგენილობისათვის ( $f_{si}=0,39$ ), ე.ი. აქაც მოსალოდნელია მინის მიღება. ზოგადი დასკვნის სახით, შეიძლება გამოითქვას ვარაუდი, რომ  $f_{si}$ -ფაქტორების მიხედვით მოსალოდნელია მინის წარმოქმნა „წიდა-შლამის“ კომპოზიციებში, როდესაც შლამი/წიდა

ფარდობა 1-ზე მეტს შეადგენს (50 მას. %-ზე მეტი შლამის შემცველობით). მე-11 ცხრილში წარმოდგენილი შედგენილობების ანალიზით აღნიშნული შედეგი ლოგიკურად უნდა ჩაითვალოს, რადგან N1-დან N5 შედგენილობისკენ გადასვლით ( $f_{Si}$ -ს მნიშვნელობა იცვლება 0,35-დან 0,43-მდე) ადგილი აქვს მინის სტრუქტურული ბადის წარმომქმნელი  $Si^{4+}$  და  $Al^{3+}$  კატიონების რაოდენობის ზრდას (ჯამში  $SiO_2 + Al_2O_3$  60,5-დან 66,4 მას. %-მდე) და მოდიფიკატორის გათვლებით მიღებული შედეგების ( $RO + R_2O$ ) ასევე დაახლოებით 6 %-ანი კლება. გათვლების მიხედვით „წიდა-შლამი“ კომპოზიციაში მოსალოდნელია მინაწარმომქმნელი ნაღვლების მიღება.

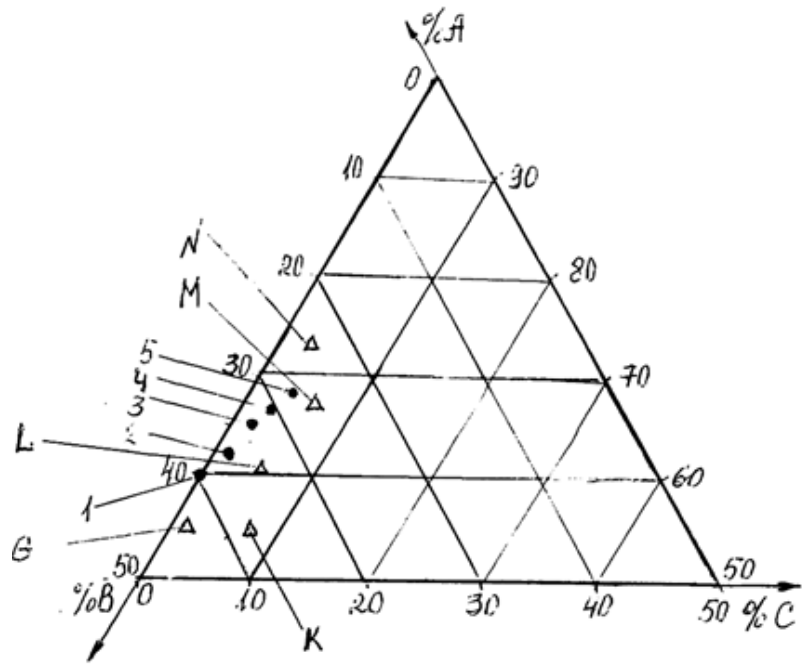
ა. გინზბერგის მიერ შემოთავაზებული შედგენილობის შემფასებელი მიდგომა ითვალისწინებს შესაბამისი გათვლებით მიღებული მნიშვნელობების პროექციულ დიაგრამაზე დატანას (ნახ. 1). ასეთი დიაგრამის წვეროები (A, B და C) გამოსახვენ სხვადასხვა ფუნქციური დანიშნულების ოქსიდების ჯამს: A-წერტილი წარმოადგენს მჟავა ხასიათის მატარებელი ოქსიდების ჯამს ( $A = \% SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2$ ), B-ფუძე ჯგუფის ოქსიდები, როდესაც  $B = \% (FeO \leftrightarrow Fe_2O_3) + \% (MgO + CaO) + \% MnO$ , ხოლო C- ტუტე ოქსიდთა ჯგუფში ორი ოქსიდია წარმოდგენილი ( $C = \% NaO + \% K_2O$ ). პროექციული დიაგრამა დაყოფილია სამკუთხედებად, რომელთა სამუშაო არეები (K, L, M, N, G) შერჩეულ შედგენილობათა ქვის სხმულის მიღებისადმი მიდრეკილებას განსაზღვრავს: K და L სამკუთხედების ველში მოხვედრილი შედგენილობები შეფასდება როგორც ქვის სხმულის მისაღებად საუკეთესო შედგენილობები; M-სამკუთხედში მოხვედრილი შედგენილობის ამსახველი წერტილი შედგენილობის საშუალო ხარისხზე მიუთითებს, ხოლო N და G სამკუთხედებში მოხვედრილი წერტილი იმის დასტურია, რომ შედგენილობიდან ქვის სხმულის მიღება შეუძლებელია პრაქტიკულად განუხორციელებელი იყოს. ცხრილი 12-ის სადუბველზე ზფქის წიდის და მანგანუმშემცველი შლამის გამოყენებით შედგენილი ხუთი კომპოზიციისას მახასიათებელი წერტილების კოორდინატთა დადგენის

შედგები მოყვანილია მე-12 ცხრილში, ხოლო წერტილების განლაგება ა. გინზბერგის პროექციულ დიაგრამაზე წარმოდგენილია 1-ლ ნახაზზე.

**ცხრილი 12. „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის შედგენილობათა მახასიათებელი წერტილების პარამეტრები**

შედგენი- ლობის №	შემცველობა (მას. %)		გათვლილი პარამეტრები			შედგები*	
	წიდა	შლამი	A	B	C	განლაგება (ველი)	ქვის სხმულის მიღება
1	100	-	60,0	40,0	0,0	K/L/G	+ (?)
2	75	25	62,0	37,0	1,0	L	++
3	50	50	64,0	34,0	2,0	L	++
4	25	75	66,0	31,0	3,0	L	++
5	-	100	68,0	28,0	4,0	M	+?

\* განმარტება იხ. ტექსტში



**ნახაზი 1. ა. გინზბერგის პროექციულ დიაგრამაზე „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის ხუთი შედგენილობის მახასიათებელი წერტილების განლაგება**  
შენიშვნა: Δ - დიაგრამის ცალკეული არეების პირობითი გამოყოფის აღნიშვნა

პროექციული დიაგრამის ხუთ პირობით კონცენტრაციულ სამკუთხედში შედგენილობათა წერტილების განლაგების ანალიზით შეიძლება რიგი ზოგადი დასკვნის გაკეთება. კერძოდ, ქვის სხმულის, როგორც მინაკრის-



ტალური მასალის მიღება ნაკლებად შესაძლებელია წიდის მონოკაზმიდან (შედგენილობა N1), რადგან დიაგრამაზე წერტილის განლაგება სამი მახასიათებელი სამკუთხედის (G, K, L) შერწყმის წერტილში (ტუტეები C=0 %, მჟავა ხასიათის ოქსიდები A = 60 % და ფუძე ოქსიდები B = 40%), რომელთაგან ერთი („G” უბანი) – ქვის სხმულის მიღებას დიდი ალბათობით გამორიცხავს.

ასევე ნაკლებად მოსალოდნელია მიზნობრივი პროდუქტის მიღება „სუფთა“ შლამიდან, რადგან მისი შეფასების ამსახველი წერტილი (N5) განლაგებულია დიაგრამის L-ველში, რაც მასალის საშუალო ხარისხზე მიუთითებს და შესაბამისად სათუოდ ხდის დასახული მიზნის განხორციელებას. რაც შეეხება „შლამი-წიდის“ ბინარულ კომპოზიციაში შედგენილ ნარევებს, მათი შესატყვისი შედგენილობების წერტილები (N 2-4) განლაგდა პროექციული დიაგრამის ქ-ველში, რაც გულისხმობს, რომ აღნიშნული შედგენილობები დიდი ალბათობით მიდრეკილნი უნდა იყვნენ ქვის სხმულის წარმოქმნისადმი.

უნდა აღინიშნოს, რომ გინზბერგის დიაგრამა ვერ იძლევა პასუხს სანედლეულო მასალათა შედგენილობაში შემავალი მთავარი შემადგენელი ოქსიდების ურთიერთობათა მიმართებაში, რაც საბოლოოდ განსაზღვრავს ქვის სხმულში არსებული კრისტალური და მინისებრი ფაზების სტრუქტურულ მოწყობას. აღნიშნული პრობლემის ნაწილობრივი გადაწყვეტის საშუალებას იძლევა ე.წ. „პიროქსენული მოდული“, რომელიც შემოთავაზებულია ბ. ხანის მიერ და რომელიც მიიჩნევა პეტრურგიული ნედლეულის და ნადნობების „მჟავა-ფუძე“ მახასიათებლების შემფასებელ კრიტერიუმად. საგულისხმოა, რომ ბ. ხანის მიერ შემოთავაზებული პიროქსენული მოდულით ( $M_F$ ) შესაძლებელს ხდის პეტრურგიული ნადნობების ღრმა შეფასებას, რადგან ის ურთიერთკავშირშია ნადნობების სიბლანტესთან [28].

ბ. ხანის პიროქსენული მოდულის  $M_F$  გათვლა შესაძლებელია ფორმულით:

$$M_p = 2 + \frac{\sum i_{R^{2+}}}{\sum i_{R^{4+}} - \sum i_{R^+}} \quad (5)$$

სადაც:  $\sum i_{R^+}$  - ტუტე ლითონთა იონების რაოდენობა;

$\sum i_{R^{2+}}$  - ტუტემიწა ლითონთა იონების რაოდენობა;

$\sum i_{R^{4+}}$  - ოთხვალენტური ლითონების იონების რაოდენობა.

პიროქსენული მოდულის (ფორმულა 5) მნიშვნელობის მიხედვით შესაძლებელია დიდი ალბათობით ამა თუ იმ ნედლეულის ნაღობიდან მიღებული ქვის სხმულის ნაწარმში მოსალოდნელი კრისტალურ ფაზათა დადგენა. მხოლოდ ერთი სახის პიროქსენული ფაზების არსებობა მოსალოდნელია თუ  $M_p = 3 \pm 0,1$ . პიროქსენების და პლაგიოკლაზების თანაარსებობა - როდესაც  $M_p < 3$ , ხოლო  $M_p > 3$  შემთხვევაში შესაძლებელია პიროქსენებთან ერთად ოლივინის არსებობაც.

**ცხრილი 13. „წიდა-შლამი“ საკვლევ კომპოზიციის შედგენილობის შესაფასებელი ბ. ხანის პიროქსენული მოდულის მნიშვნელობა**

შედგენილობის N	ნარევენის შედგენილობა (მას. %)		კატიონთა შემცველობა (მოლური წილი)			პიროქსენოლი მოდულის ( $M_p$ ) მნიშვნელობა
	წიდა	შლამი	$\sum i_{R^{4+}}$	$\sum i_{R^{2+}}$	$\sum i_{R^+}$	
1	100	-	0,390	0,295	0	2,75
2	75	25	0,393	0,283	0,09	2,71
3	50	50	0,405	0,255	0,020	2,65
4	25	75	0,417	0,232	0,024	2,59
5	0	100	0,427	0,212	0,033	2,53

პიროქსენული მოდულის გათვლისათვის საჭირო გახდა ჩვენს მიერ საკვლევად შერჩეული „წიდა-შლამის“ კომპოზიციაში შერჩეული ხუთი შედგენილობის მას. %-დან მოლ. %-ში გადათვლილი შედგენილობებიდან (ცხრილი 11) და შემდეგ ცალკეული ოქსიდების კათიონური შემადგენლის რაოდენობის განსაზღვრა. შესაბამისი ანგარიშები ჩატარდა ლიტერატურაში არსებული გათვლის მეთოდების საფუძველზე [86, 87].

## 2.2. მანგანუმშემცველი საწარმოო მტვრის ბრიკეტების პირობების დადგენა

როგორც აღინიშნა, ჩვენს მიერ (შესაბამისი ანგარიშების და კაზმების ერთგვაროვნების შეფასების ჩატარების შემდეგ) შერჩეული იქნა „მტვერი-კოქსი“ ერთი საცდელი შედგენილობა, რომელშიც, კაზმის 100 მას. %-ში, მტვრის რაოდენობა 80 მას. %, ხოლო კოქსის წვრილმანის რაოდენობა 20 მას. %-ს შეადგენდა (შედგენილობა DCM). ბინარული ნარევის ბრიკეტებისათვის შემკვრელად გამოყენებული იქნა თხევადი მინა, რომელიც გარკვეული ოდენობით ემატებოდა საკვლევად აღებული DCM შედგენილობის ნარევის (100 %-ზე ზემოთ).

საცდელი მტვერი - კოქსის წვრილმანი ნარევის დაწნეხვის პროცესზე და შესაბამისად ნიმუშების ხარისხზე ზეგავლენა შეემლო მოეხდინა შემდეგ პარამეტრებს:

- დაწნეხვის ძალა;
- შემკვრელის სახე (კონცენტრაცია, შედგენილობა) და რაოდენობა;
- დაწნეხილი ნიმუშის გამოყენებამდე დაყოვნების ხანგრძლივობა;

დაბრიკეტების პირობები, თავის მხრივ, განსაზღვრავს ბრიკეტების წამყვან საექსპლუატაციო მახასიათებლებს:

- დაბრიკეტებული ნიმუშის მექანიკური სიმტკიცე და

ცვეთამედეგობა;

- დაბრიკეტებული ნიმუშების ტენმედეგობა და თერმომდგრადობა.

### 2.2.1. „მტვერი-კოქსი“ ნარევის ბრიკეტების პირობების დადგენა

DCM შედგენილობიდან ვარგისიანი ე.ი. პირველ რიგში მექანიკურად მდგრადი ბრიკეტის მიღების უზრუნველსაყოფად ჩვენს მიერ მიზნობრივად განხორციელდა კვლევები, რომლებშიც გამოყენებული იქნა სხვადასხვა კონცენტრაციის თხევადი მინა. კერძოდ, „მტვერი-კოქსის“ DCM შე-

დგენილობის ნარევის ბრიკეტირებისათვის. თხევადი მინა მომზადდა სამი სახეობის, რომელთა შორის განსხვავება ნატრიუმის სილიკატის შემცველობით (კონცენტრაციით) განისაზღვრებოდა. სამივე სახეობის შემკვრელად აღებული თხევადი მინის მახასიათებლები მოყვანილია მე-14 ცხრილში, სადაც ასევე წარმოდგენილია შემკვრელში მყარი ( $SiO_2 + Na_2O$ ) და თხევადი (წყალი) შემადგენლების შემცველობა.

**ცხრილი 14. შემკვრელად გამოყენებული თხევადი მინის სახეობათა მახასიათებლები**

N	პირობითი აღნიშვნა	სილიკატური მოდული (m)	თხევადი მინის კონცენტრაცია, %	თხევადი მინის განსაზღვრული სიმკვრივე (d), გ/სმ	თხევადი მინის შედგენილობა (მას.%)	
					$SiO_2 + Na_2O$	$H_2O$
1	$G_{max}$	3,0	35,0	1,38	45,9	54,1
2	$G_{mid}$	3,0	27,5	1,25	34,3	65,7
3	$G_{min}$	3,0	20,0	1,15	22,2	77,8

წინასწარ მომზადებული DCM-ის შედგენილობის ნარევის სამივე სახის თხევადი მინა ემატებოდა 6, 8, 10, 12 და 16 წ.ნ. ოდენობით. ე.ი. მაღალი, საშუალო და სუსტი კონცენტრაციის თხევადი მინის (შესაბამისად აღინიშნა  $G_{max}, G_{mid}, G_{min}$ ) დამატებით სულ მომზადდა და საკვლევი ნარევიდან დაიწნება 18 შედგენილობის საცდელი ნარევი. კვლევის ამ ეტაპზე ყველა ნიმუშის (ნარევი DCM + G ) დაყალიბების საწნეხი ძალა შეადგენდა 12 მპა-ს.

გარდა დაწნეხის ძალის მუდმივობისა, ჩატარებულ ექსპერიმენტში უცვლელი რჩებოდა დასაწნეხი ულუფის მასა. ამისათვის წინასწარ მზადდებოდა DCM შედგენილობის კაზმი (შემადგენელ კომპონენტთა 2-3 წუთიანი არევით), რომელიც ხუთ (წონით ერთნაირ) ნაწილად იყოფოდა (20 – 20 გ). კაზმის ცალკეულ ნაწილს ემატებოდა 1,2; 1,6; 2; 2,4 და 3,2 გ თხევადი მინა ( $G_{max}, G_{mid}$  ან  $G_{min}$ ) და ნარევის ინტესიური არევით (1-1,5 წუთი მზადდებოდა დასაწნეხი ულუფა. შესაბამისი შედგენილობის ნარე-

ვები მყისიერად მოთავსდებოდა საწნებ ყალიბში და დაწნევით (წნევა 12 მპა), მანომეტრის მაჩვენებლის შესაბამის ნიშნულამდე მიყვანით მიიღებოდა საცდელი ნიმუშები-ბრიკეტები.

ყალიბიდან ამოღების შემდეგ ბრიკეტ-ნიმუშები მოწმდებოდა ვიზუალურად, ხოლო მათი შეფასება ხდებოდა წინასწარ შერჩეული პირობითი (ბალური) სისტემით (ცხრილი 15). საცდელი ნიმუშების შედგენილობა და მათი გარესახის ოთხბაღიანი სისტემით შეფასების შედეგები მოყვანილია მე-16 ცხრილში.

ნიმუშების შეფასებისათვის მიღებული ოთხბაღიანი სისტემას საფუძვლად დაედო ბრიკეტების წარმოქმნის უნარი, რაც შეფასდა დაწნევის შემდგომ ყალიბიდან ამოსული დორმის ცილინდრული ფიზიკური მდგომარეობის (გარე გეომეტრიული სახე) შენარჩუნების უნარით (ცხრილი 15).

**ცხრილი 15. შეფასების პირობითი კრიტერიუმები**

შ ე ფ ა ს ე ბ ა	შ ე დ ე გ ი
0 ბალი (არადამაკმაყოფილებელი)	ყალიბიდან ამოსვლისთანავე ნიმუში იშლება უფორმო ფხვიერ ნაწილაკებად
I ბალი (ცუდი ხარისხი)	ნიმუშის ფორმის ერთიანობა შენარჩუნებულია, მაგრამ ყალიბიდან გადატანისას ნიმუში კარგავს ფორმას
II ბალი (დაბალი ხარისხი)	ყალიბში დაწნევით მიიღება ფორმამდეგი ნიმუში, რომელიც ადგილგადასაცვლებისას ნაწილობრივ იშლება (მსხვილ ნატეხებად);
III ბალი (დამაკმაყოფილებელი ხარისხი)	ნიმუში ინარჩუნებს ფორმას და ტრანსპორტაბელურია (კარგად გამოდის ფორმიდან და უმსხვრელად გადაიტანება).

მიღებული შედეგების თანახმად, „კოქსი-შლამი“ კომპოზიციის DCM შედგენილობის დაწნევით დადებითი შედეგების მიღება შესაძლებელია სხვადასხვა კონცენტრაციის (სიმკვრივის) თხევადი მინის გამოყენებით.

ამავე დროს, დაყალიბების ხარისხის განმსაზღვრელად თხევადი მინის სახეობა და მისი ნარევეში შემცველობა შეიძლება იქნას მიჩნეული.

მიღებული შედეგების მიხედვით შეგვიძლია გავაკეთოდ ზოგადი შეფასება, კერძოდ საცდელი კაზმების დაწნეხის უნართან მიმართებაში: თვისობრივად მისაღები ნარევეები უნდა შეიცავდნენ (3 ბალით შეფასებული N5, 10 და 12 ნიმუშები) შემდეგი სახისა და რეცეპტით საჭირო ოდენობით შემკვრელს (თხევად მინას):

- $G_{max}$  ( $d = 1,38$  გ/სმ<sup>3</sup>; 35 %-ანი კონცენტრაცია) 16 წ.ნ.თხევადი მინა/100 წ.ნ. კაზმის ზემოთ (ნიმუში A – 5);
- $G_{mid}$  ( $d = 1,25$  გ/სმ<sup>3</sup>; 27,5 %-ანი კონცენტრაცია) –10 -12 წ.ნ.თხევადი მინა/100 წ.ნ. კაზმის ზემოთ (ნიმუშები B-3 და B-4);
- $G_{min}$  ( $d = 1,15$  გ/სმ<sup>3</sup>; 20 %-ანი კონცენტრაცია) თხევადი მინის გამოყენება მიზანშეწონილი არ არის, თხევადი მინის მიერ დასაწნებ ნარევეში შეტანილი ჭარბი წყლის გამო. (ნიმუშები C – 1 ÷ C – 5) და B-4);

**ცხრილი 16. DCM შედგენილობის კაზმის და თხევადი მინის კომპოზიციებში მიღებული ნარევეების დაყალიბების უნარის შეფასება**

ნარევის შედგენილობა	სერია და №	შემკვრელის (G) რაოდენობა, %	დაყალიბებული ნიმუშის შეფასება (ბალები)	ბრიკეტ-ნიმუშის ზედაპირის გამოჩენილი სახეცვლილება	შეჯერებული შედეგი
DCM+ $G_{max}$	A-1	6	0	–	უარყ.
	A-2	8	I	–	უარყ.
	A-3	10	II	–	უარყ.
	A-4	12	II	–	უარყ.
	A-5	16	III	დატენიანებული ზედაპირი	დადებული
DCM + $G_{mid}$	B-1	6	I	–	უარყ.
	B-2	8	II	–	უარყ.
	B-3	10	III	–	დადებული
	B-4	12	III	–	დადებული
	B-5	16	III	სველი ზედაპირი	უარყ.
DCM + $G_{min}$	C-1	6	I	–	უარყ.
	C-2	8	II	ზედაპირული თეთრი ლაქები	უარყ.
	C-3	10	II	ზედაპირული თეთრი ლაქები	უარყ.
	C-4	12	III	სველი ზედაპირი	უარყ.
	C-5	16	III	სველი ზედაპირი	უარყ.

ამ ეტაპზე ჩატარებული კვლევის საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს ზოგადი დასკვნა: ნიმუშების სასურველ დონემდე დაწნეხვას უზრუნველყოფს „მტვერი-კოქსი“ DCM + G კომპოზიცია, როდესაც შემკვრელად (G) 10-12 წ.ნ. 1,25 გ/სმ<sup>3</sup> სიმკვრივისა და 27,5 % კონცენტრაციის მქონე თხევადი მინა (G mid), როდესაც მისი, როგორც შემკვრელ-დანამატად აღებული რაოდენობა 10 – 12 მას. %-ს შეადგენს.

DCM + G<sub>max</sub> შედგენილობის ნარევების დაწნეხვისადმი მიდრეკილების უფრო ზუსტი სურათის შესადგენად, ჩვენს მიერ კიდევ ერთი მიმართულებით დაიგეგმა და განხორციელდა ექსპერიმენტი. კერძოდ, დაზუსტებას მოითხოვდა საკითხი, თუ რა გავლენას ახდენს ბრიკეტის დაწნეხვის ძალა მიღებული ბრიკეტების მექანიკურ მდგრადობაზე. ამისათვის შესწავლილი სერიებიდან (A, B და C) გამოიყო 3–3 ნარევი, რომელიც ოპტიმალური რაოდენობით შეიცავენ თხევად მინას და 120 მკა ძალით დაწნეხვისას დამაიმედებელი შედეგების მიღება უზრუნველყვეს (ნიმუშები შეფასდა II –III ბალით). ასეთი მიდგომის საფუძველზე არჩეული იქნა მე-16 ცხრილში მოყვანილი A-2, A-3 და A-4 (შემკვრელი G<sub>max</sub>) B-2, B-3 და G<sub>mid</sub>) შედგენილობის ნარევები. შერჩეული ნიმუშების დაწნეხვა განხორციელდა 10,0 – 22,0 მკა ძალვით. საწნეხი ნიმუშებისათვის ნარევების მომზადება და თვით წნეხილი ნიმუშების შეფასება საწყის ეტაპზე ჩატარებული ექსპერიმენტის პირობების იდენტური იყო. დაწნეხვის ძალვების სიდიდეთა ბიჯი 2,0 მკა-ს შეადგენდა, ე.ი. ნიმუშები დაიწნეხა: 10; 12; 14; 16; 18; 20 და 22 მკა-ი წნევის გამოყენებით.

წნეხვის შედეგად მიღებული ნიმუშების პირობით ბალების შეფასების კრიტერიუმებს (ჩვენს მიერ მიღებული პირობით ოთხბალიან სისტემას) კიდევ სამი შეფასება (მე-IV, მე-V, მე-VI) დაემატა. ეს ბალები უკვე მექანიკური სიმტკიცის შეფასებას დამატებით პირობას ასახავენ - როგორ უძლებენ ხელოვნურად (გამიზნულად) ჩატარებულ დარტყმას. ამისათვის „ახლადდაწნეხილი“ ნიმუშები ერთი მეტრი სიმალიდან, თავისუფალი ვარდნის პირობებში ეცემოდა ლითონის ფილას. ნიმუშების დარტყმის

მიმართ მდგრადობის შეფასება მათი ფიზიკური მდგომარეობის შეცვლის მიხედვით ხდებოდა. კერძოდ, ფილასთან შეხებაში მოსული ნიმუშების პირობითი შეფასება შემდეგნაირად განხორციელდა:

- ფილასთან შეჯახების შედეგად ნიმუში იმსხვრევა სრულად (IV ბალი);
- ფილასთან შეჯახების შემდეგ ნიმუში მსხვილ ნატეხებად იშლება (V ბალი);
- ფილასთან შეჯახება ნიმუშს სახეს არ უცვლის და მხოლოდ მცირე (უმნიშვნელო) ზიანს აყენებს, რაც გამოიხატება ნაწიბურების ჩამოშლაში ან ნიმუშში ცალკეული ბზარების წარმოქმნაში (VI ბალი).

დაწნევის პროცესისა და ამ გზით მიღებული ნიმუშების პირობითი სიმტკიცის (მექანიკური მდგრადობა დარტყმაზე) შეფასების სრული სკალა, რომელიც გამოყენებული იქნა შესაბამის გრაფიკული მასალის შედგენისას, მოყვანილი მე-17 ცხრილში.

**ცხრილი 17. ნარეგების დაწნევისას მიღებული ნიმუშების შეფასების პირობითი სრული ბალური სკალა**

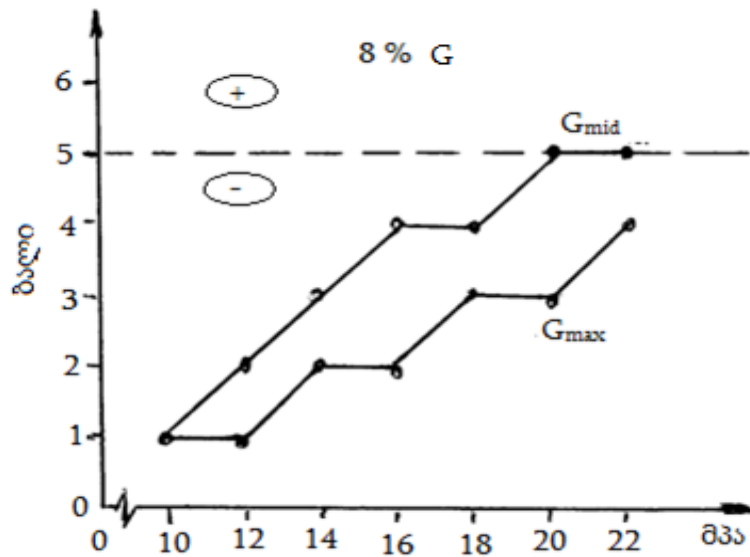
პირობითი შეფასება (ბალები)	დაყალიბებული ნიმუშის ხარისხის შეფასება (ვიზუალური)	დაყალიბებული ნიმუშის მექანიკური მდგრადობა დარტყმაზე (ვარდნით)
0 (არსებული)	არადამაკმაყოფილებელი	იხ. ცხრილი 16
I (არსებული)	ცუდი	„
II (არსებული)	დაბალი	„
III (არსებული)	დამაკმაყოფილებელი	„
IV (დამატებული)	დამაკმაყოფილებელი	იმსხვრევა სრულად (ძირითადად მცირე ზომის ნატეხები)
V (დამატებული)	კარგი	იმსხვრევა ნაწილობრივ (ძირითადად მსხვილი ნატეხები)
VI (დამატებული)	ძალიან კარგი	ინარჩუნებს ძირითად ფორმას

ჩვენს მიერ შემოთავაზებული სკალის მიხედვით სასურველ სიმტკიცებად შეიძლება ჩაითვალოს V და VI ბალით შეფასებული მდგომარეობა. ამ ბალების შესატყვისი ნიმუშების მექანიკური სიმტკიცე ვარდნაზე ითვალისწინებს დაყალიბებული ნიმუშების ნაწილობრივი დაშლას – ნი-

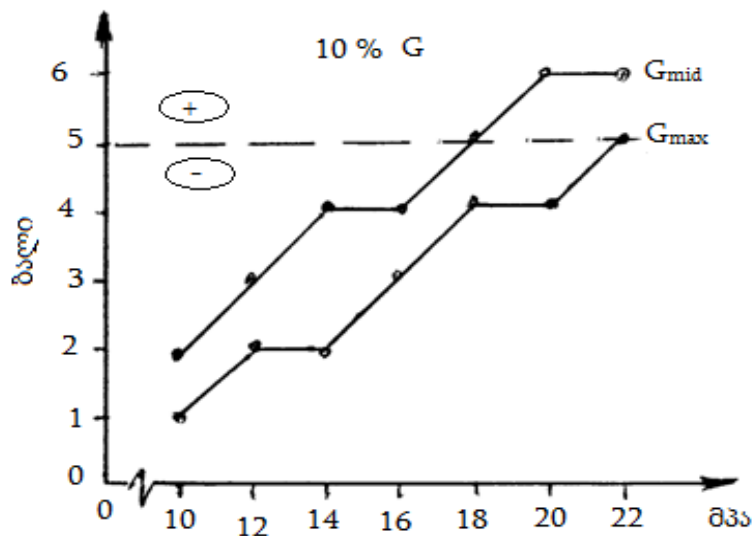


მუშების მსხვილ ნატეხებად იშლება, ან ძირითადად ინარჩუნებს ფორმის – ნიმუშს აქვს მცირეოდენი ჩამონატეხები, მაგრამ მთლიანობაში ის ყალიბიდან ამოსულ საცდელ ნიმუშთან კარგ შესაბამისობაშია.

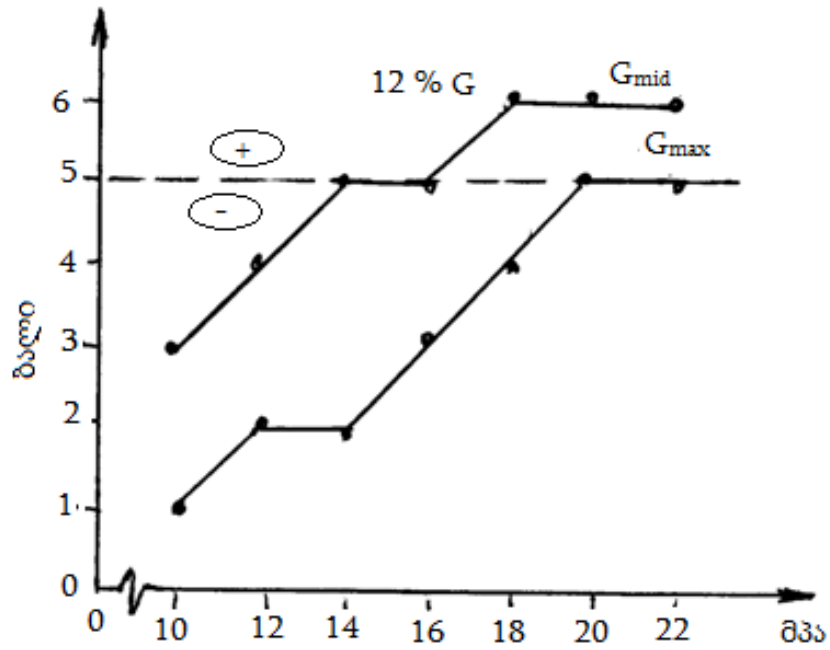
ორი სახის ( $G_{mid}$  და  $G_{max}$ ) თხევადი მინის გამოყენებით მიღებული ნიმუშების მექანიკური სიმტკიცის (პირობითი ბალებით შეფასება) დამოკიდებულება დაწნეხის ძალასთან მიმართებაში წარმოდგენილია მე-2, მე-3 და 4 ნახაზზე.



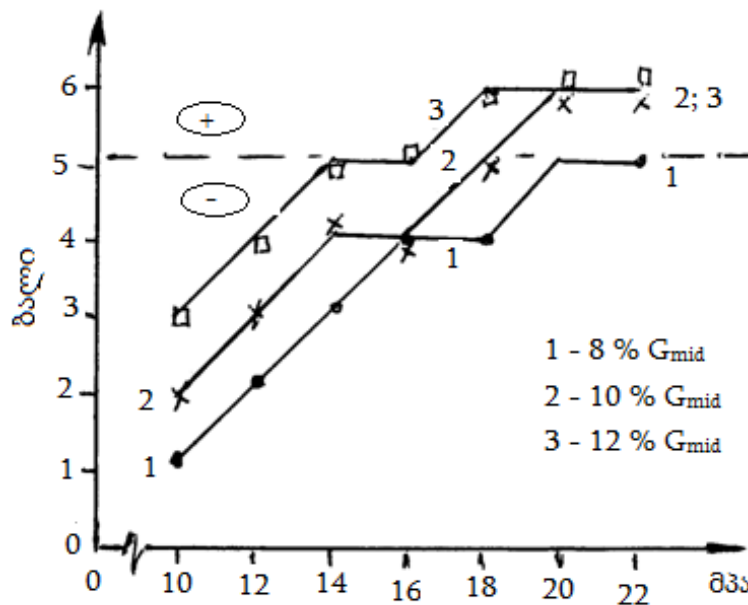
ნახაზი 2. ნიმუშების პირობითი სიმტკიცე ორი სახეობის 8 მას. % თხევადი მინის გამოყენებისას.



ნახაზი 3. ნიმუშების პირობითი სიმტკიცე ორი სახეობის 10 მას. % თხევადი მინის გამოყენებისას



ნახაზი 4. ნიმუშების პირობითი სიმტკიცე ორი სახეობის 12 მას. % თხევადი მინის გამოყენებისას



ნახაზი 5. ნიმუშების პირობითი სიმტკიცეზე დაწნების ძალების გავლენა (შემკვრელად  $G_{mid}$  თხევადი მინის გამოყენებისას)

ნიმუშების პირობითი სიმტკიცის დადგენის მიმართულებით მიღებულმა შედეგებმა გვიჩვენა, რომ 8, 10 და 12 მას. % მაღალი სიმკვრივის ( $G_{max}$ ) თხევადი მინის გამოყენება ყოველთვის ვერ უზრუნველყოფს სასურველ შედეგს. როგორც კვლევის შედეგების ანალიზიდან ჩანს, დაწნების სრულ

დიაპაზონში (10–22 მჰა) ნიმუშები სასურველ სიმტკიცეს ავლენენ მხოლოდ 10 და 12 მას. %  $G_{max}$  თხევადი მინის შემცველობისას და დაწნების მაღალი ძალების შემთხვევაში (20 – 22 მჰა).

უკეთესი შედეგი მიღებული იქნა შემკვრელად  $G_{mid}$  სიმკვრივის თხევადი მინის გამოყენების შემთხვევაში. აღნიშნული თხევადი მინა უზრუნველყოფს დაწნებილი ნიმუშების სასურველ მექანიკურ მდგრადობას (გარკვეული სიდიდის დაწნების ძალების გამოყენებისას):

- 8 მას. % ( $G_{mid}$ ) შეცველობისას და 20 – 22 მჰა-ზე წნებისას;
- 10 მას. % ( $G_{mid}$ ) შემცველობისას და 18 – 22 მჰა-ზე წნებისას;
- 12 მას. % ( $G_{mid}$ ) შემცველობისას და 14 – 22 მჰა-ზე წნებისას.

ჩატარებული კვლევის მონაცემების მიხედვით საუკეთესო შედეგები მიიღწევა ჩვენს მიერ გამოყენებული საშუალო სიმკვრივის ( $d = 1,25$  გ/სმ<sup>3</sup>) თხევადი მინის ( $G_{mid}$ ) შემთხვევაში. საკვლევი (DCM + G) ნარევის ვარგისიანობის შეფასებით, დადგინდა, რომ  $G_{mid}$  კონცენტრაციის თხევადი მინის ის ოპტიმალური რაოდენობა, რომელიც მაქსიმალურ მექანიკურ მდგრადობას უზრუნველყოფს, 10-12 მას.%-ს შეადგენს. ასევე მნიშვნელოვანია, რომ აღნიშნული შედეგი ვრცელდება დაწნების ძალების ფართო ინტერვალში, როდესაც დაწნების ძალა 16 – 22 მჰა-ს შეადგენს.

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე, გამოიკვეთა მომდევნო კვლევის ჩატარების პირობები: შემკვრელად სასურველია  $G_{mid}$  თხევადი მინის 10 და 12 მას. % ოდენობით გამოყენება, ხოლო დაწნების ძალა 18-22 მჰა-ს უნდა შეადგენდეს.

პრაქტიკულად, წარმოდგენილი პირობიდან გამომდინარე, შემდგომი მიზნობრივი კვლევა ჩატარდა შესწავლილი შედგენილობის ორ B-3 და B-4 ნარევებზე:

შედგენილობა B - 3		შედგენილობა B - 4
მტკვრი 80 მას. %	ძირითადი	მტკვრი 80 მას. %
კოქსი 20 მას. %	კომპონენტები	კოქსი 20 მას. %

თხევადი მინა ( $G_{mid}$ ) 10 მას. % (შემკვრელი) თხევადი მინა ( $G_{mid}$ ) 12 მას. %

ორივე შედგენილობის ნიმუშების დაწნეხის ძალვა შეადგენდა 18 მპა-ს. ამ პირობებში მიღებული ნიმუშები გამოყენებული იქნა მომდევნო კვლევაში, რომელიც მიზნად ისახავდა მიღებული ბრიკეტების საექსპლუატაციო თვისებათა მახასიათებლების გაუმჯობესებას.

### **2.2.2. შრობის პირობების გავლენა ბრიკეტების მექანიკურ მდგრადობაზე**

როგორც აღინიშნა, საწყის ეტაპზე მიღებული ნიმუშების მექანიკური მდგრადობის შეფასება განხორციელდა დაწნეხილი ნიმუშების ყალიბიდან ამოღებისთანავე, ანუ პირობითად-მყისიერად, დაწნეხილი ნიმუშის ლითონის ფილაზე ვარდნით. მომდევნო კვლევის მიზანს წარმოადგენდა დაყალიბებული ნიმუშების კუმშვაზე სიმტკიცის შესწავლა, კერძოდ ჰიდრავლიკური წნეხის გამოყენებით. ამისათვის დაიგეგმა ექსპერიმენტი, რომელსაც პასუხი უნდა გაეცა კითხვაზე - როგორია ოპტიმალური შედგენილობის ნარევიდან მიღებული ბრიკეტების სიმტკიცე და რა გავლენას ახდენს მასზე ბრიკეტების შენახვის ხანგრძლივობა ან შრობის პირობები.

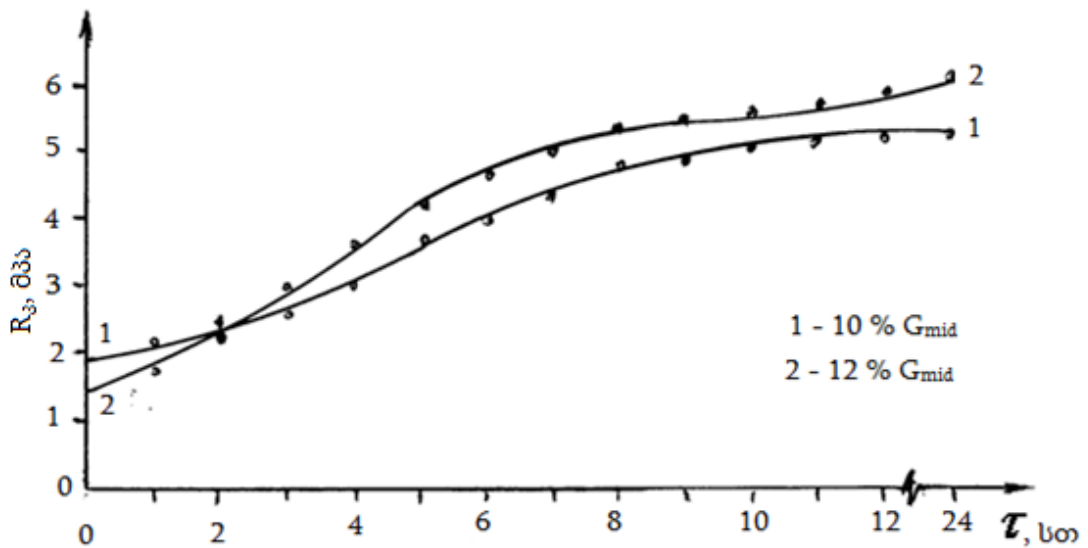
პირველ კითხვაზე პასუხის მისაღებად შემდეგი ხასიათის კვლევა დაიგეგმა და განხორციელდა. დაყალიბდა B-3 და B-4 შედგენილობის ოცდაათ-ოცდაათი ნიმუში, რომლებიც განთავსდა რამოდენიმე მოჭიქურებულ ფაიფურის ფილაზე და გარკვეული დროით მოხდა მათი დაყოვნება ჰაერზე (ოთახის ტემპერატურა). დაყოვნებათა შორის დროის ბიჯი შეადგენდა 1 საათს, რის შემდეგაც ორ-ორი ნიმუშის სიმტკიცე კუმშვაზე განისაზღვრებოდა ჰიდრავლიკური წნეხის გამოყენებით. უნდა აღინიშნოს, რომ 1 საათიანი ინტერვალი აღებული იქნა 1-12 საათიანი პერიოდისათვის, ხოლო შემდგომი გამოცდა უკვე ნიმუშების დაყალიბებიდან 24 საათის შემდეგ მოხდა.

ოთახის პირობებში დაყოვნებული ნიმუშების მექანიკური სიმტკიცის შესწავლის შედეგები წარმოდგენილია გრაფიკული მასალის სახით, კერძოდ შედეგები წარმოდგენილია ერთდღიანი და ერთთვიანი დაყოვნება

გავლილი ნიმუშისათვის. ბუნებრივ პირობებში (ოთახის ტემპურატურაზე) დაყოვნების ანუ პრაქტიკულად შრობის შედეგად მიღებული სიმტკიცის კუმშვაზე ცვლილება მოყვანილია მე-6 ნახაზზე.

ორივე ნიმუშისათვის (10 და 12 მას. %  $G_{mid}$  თხევადი მინის შემცველობა) სიმტკიცის მზარდი მატება ფიქსირდება შრობის მთელი პერიოდისათვის, მაგრამ განსაკუთრებით შესამჩნევია 7 – 8 საათიანი დაყოვნების შემთხვევაში. შრობის ხანგრძლივობის ზრდით 24 საათამდე სიმტკიცის მატებას აქვს ადგილი, მაგრამ ის უკვე უმნიშვნელოა.

ბუნებრივი შრობის 7 – 8 საათიანი პერიოდი უზრუნველყოფს სიმტკიცის თითქმის სამმაგ ზრდას: 1,5 – 1,8 მპა-დან 5,2 – 5,5 მპა-მდე. 1,5 – 1,8 მპა-დან 5,2 – 5,5 მპა-მდე. ამავე დროს ორივე სახის B-3 და B-4 შედგენილობის ნიმუშებისათვის (10 და 12 მას. % თხევადი მინა) სიმტკიცის მატების თავისებურება ფიქსირდება.



ნახაზი 6. ბუნებრივ პირობებში (ოთახის ტემპურატურაზე) ბრიკეტების შრობის ხანგრძლივობის გავლენა მათ მექანიკურ სიმტკიცეზე

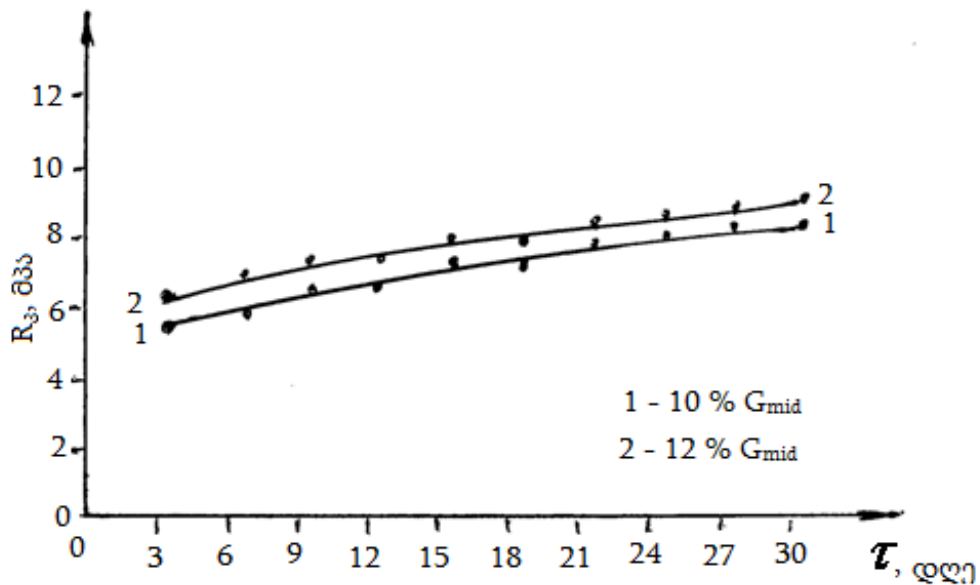
აღნიშნული იმაში გამოიხატა, რომ 12 მას. % თხევადი მინის შემცველი ნიმუში სამსაათიანი ჰაერზე დაყოვნების პირობებში უფრო ნაკლებ სიმტკიცეს ავლენს, მაგრამ შემდგომ სურათი რადიკალურად იცვლება და თავისი სიმტკიცის მაჩვენებლებით ის აღემატება 10 მას. % თხევადი მინის შე-

მცველ ნიმუშს. ნიმუშებს შორის (მათი სიმტკიცის მიმართ) სხვაობა განსაკუთრებით შრობის 8 – 9 საათიან ინტერვალზე მოდის. აღსანიშნავია, რომ მე-6 ნახაზზე წარმოდგენილი „ $R_3$ - $\tau$ “ დამოკიდებულებათა მიხედვით ჰაერზე 1 დღიანი (24 სთ) დაყოვნების შემდეგ 10 და 12 %  $G_{mid}$  შემცველი ნიმუშებისათვის სიმტკიცეთა სხვაობა მხოლოდ 0,8 მპა-მდე შეადგენს.

ნიმუშების საბოლოო გამოცდა ჩატარდა მათი დაყალიბებიდან ერთი თვის თავზე, ანუ 30 დღიანი დაყოვნების, „საჰაერო-მშრალ“ ნიმუშისათვის, როდესაც შუალედური გამოცდებს შორის ბიჯი შეადგენდა 3 დღეს.

კვლევამ აჩვენა, რომ გრძელვადიან შრობას (1 თვემდე) შეუძლია გამოიწვიოს კუმშვაზე სიმტკიცის ( $R_3$ ) შემდგომი ზრდა, რაც განსაკუთრებით შესამჩნევია 15 დღემდე დაყოვნების პერიოდისათვის. ამ დროს ადგილი აქვს სიმტკიცის 40 – 70 %-ან ზრდას. კერძოდ, დამოკიდებულება „ $\tau - R_3$ “ ანალიზით (მე-7 ნახაზის მიხედვით) დაფიქსირდა:

- B-3 ნიმუში (10 მას. %  $G_{mid}$ ) –  $R_3$ -ს ზრდა 5,2-დან 7,0 მპა-მდე;
- B-4 ნიმუში (12 მას. %  $G_{mid}$ ) –  $R_3$ -ს ზრდა 5,9-დან 7,8 მპა-მდე;



ნახაზი 7. ბუნებრივ პირობებში მრავადღიანი შრობის გავლენა ბრიკეტების მექანიკურ სიმტკიცეზე

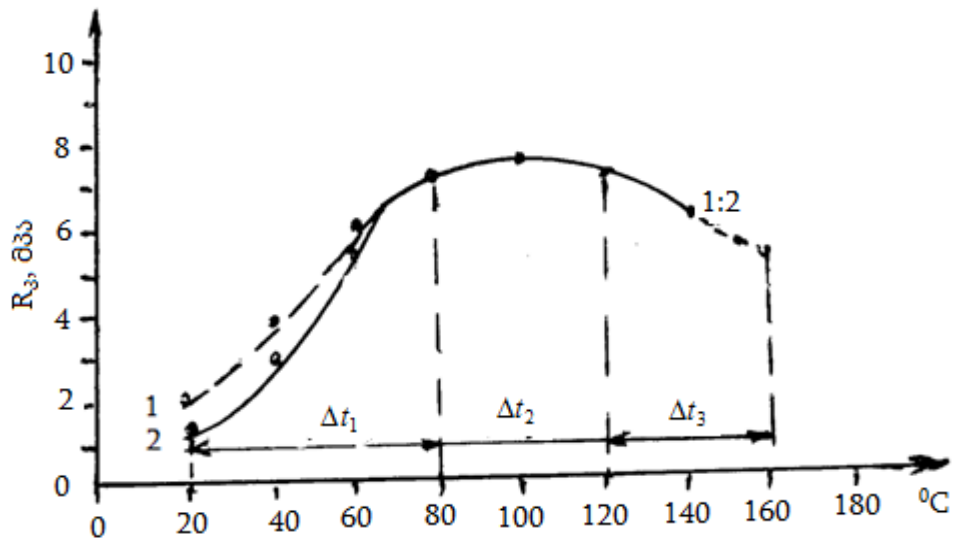
15 დღიანი დაყოვნების შემდეგ სიმტკიცე უკვე უმნიშვნელოდ იზრდება (დაახლოებით 1 მპა-ით) და რაც საგულისშობა 30 დღის შემდეგ სიმტკიცეთა განსხვავება (N1 და N2 ნიმუშისათვის), უმნიშვნელოა და

დაახლოებით 0,4 – 0,5 მპა-მდე შეადგენს. ნიმუშების საბოლოო სიმტკიცე კუმშვაზე 8 მპა-ს აღმატება, რაც ბრიკეტებისათვის მისაღებ სიმტკიცედ შეიძლება ჩაითვალოს.

საწარმოო პირობებიდან (ბრიკეტების დნობაზე დაჩქარებულად წარმართა) გამომდინარე, ჩვენ კიდევ ერთი მიმართულებით ჩავატარეთ კვლევა - ნიმუშები ხელოვნურად იქნა გამომშრალი. ამისათვის გამოყენებული იქნა საშრობი კარადა, ხოლო შრობა წარიმართა 40 – 160°C ინტერვალში. საშრობ კარადაში გამომშრალი ნიმუშები ცივდებოდა ოთახის ტემპერატურამდე, რის შემდეგ ხდებოდა მათი მექანიკური სიმტკიცის დადგენა, რაც ასევე წნეხზე დაწნეხვით განხორციელდა.

დაყალიბებით მიღებული ნიმუშების (10 და 12 მას.%  $G_{mid}$  შემცველი) შრობა განხორციელდა 20°C-ანი ბიჯით (ე.ი. 40, 60, 80, 100, 120, 140 და 160°C-ზე), როდესაც შრობის შერჩეულ ტემპერატურაზე დაყოვნების დრო 20-25 წთ-ს შეადგენდა. ამ მიმართულებით ჩატარებულ კვლევაში პარალელურად მოხდა 3-3 ნიმუშების შესწავლა, ხოლო კუმშვაზე სიმტკიცის ( $R_3$ ) სიდიდე მიიღებოდა საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობის გათვლით. კვლევის შედეგად მიღებული ექსპერიმენტული მასალა (დამოკიდებულება „ $R_3 - t$ “) წარმოდგენილია გრაფიკის სახით მე-8 ნახაზზე.

მიღებული ექსპერიმენტალური მასალა გვიჩვენებს, რომ შრობის პროცესის ტემპერატურა მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს მიღებული ნიმუშების სიმტკიცეზე და ამ მხრივ სამი ტემპერატურული ( $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$  და  $\Delta t_3$ ) ინტერვალი შეიძლება გამოიყოს. კერძოდ, მე-8 ნახაზზე წარმოდგენილი გრაფიკების მიხედვით, ხელოვნური შრობის ტემპერატურის ზრდა 40-დან 80°C-მდე ტემპერატურულ ინტერვალში ( $\Delta t_1$ ) იწვევს კუმშვაზე სიმტკიცის ( $R_3$ ) მკვეთრ ზრდას (დაახლოებით 4-ჯერადს). 80°C-ის ზემოთ, უკვე 80 - 120°C ტემპერატურულ ინტერვალში ( $\Delta t_2$ ), სიმტკიცის სიდიდეები ნაკლებად იცვლება და შეიძლება ითქვას სტაბილურდება. ტემპერატურის შემდგომი ზრდა ( $\Delta t_3$  ინტერვალი) უკვე იწვევს ნიმუშების სიმტკიცეთა სიდიდეების შემცირებას.



ნახაზი 8. შრობის ტემპერატურის გავლენა ნიმუშების სიმტკიცეზე

მიღებული შედეგების შეჯერებით: 10 და 12 % თხევადი მინის ( $G_{mid}$ ) შემცველი ნიმუშების მექანიკური სიმტკიცე კუმშვაზე მნიშვნელოვნად განსხვავდება (იზრდება) 40-დან 80°C-მდე შრობის პირობებში და ისინი პრაქტიკულად იდენტურია (უცვლელია) 100 – 120°C ტემპერატურულ ინტერვალში შრობის შემთხვევაში. მიღებული შედეგები (ტემპერატურის ზრდით გამოწვეული სიმტკიცეთა მკვეთრი ზრდა  $\Delta t_1$ -ინტერვალში, შემდეგ თვისების სტაბილიზაცია  $\Delta t_2$ - ინტერვალში და მომდევნო კლება  $\Delta t_3$ - ინტერვალში) უნდა უკავშირდებოდეს შემკვრელს - თხევად მინას. თხევადი მინა წარმოადგენს, როგორც ცნობილია, ჰიდროსილიკატს და ამავე დროს თხევად მდგომარეობაში. მოყვანილი მიზეზის გამო მას ტემპერატურის ზეგავლენით შეუძლია დაკარგოს ჰიდრატული წყალი.

თხევადი მინის მიერ წყლის დაკარგვის პროცესი, ნიმუშის ხელოვნური შრობის პირობებში, შესაძლოა დაჩქარებულად წარიმართოს და დროის უკმარისობის გამო შეასუსტოს თხევადი მინის (როგორც შემკვრელის) უნარი ერთმანეთს დააკავშიროს კაზმის კომპონენტები (მტვერი და კოქსის წვრილმანი). აღნიშნულის შესაძლებლობაზე ის გარემოება მიუთითებს, რომ ხელოვნური ტემპერატურული შრობის პირობებში მიღებული ნიმუშების სიმტკიცე უფრო დაბალია და 7 მპა-ს არ აღემატება (ნახ. 7). ამავე დროს, ბუნებრივ პირობებში ხანგრძლივად გამომშრალი ნიმუშების სიმ-



ტვიცე კუმშვაზე უფრო მაღალია და 8 მპა-ზე მეტია, ე.ი. სხვაობა 1 მპა-ზე მეტი სიდიდით დაფიქსირდა. ექსპერიმენტის შედეგებმა კიდევ ერთი თავისებურებების დაფიქსირება გახდა შესაძლებელი. კერძოდ, თუ სხვადასხვა რაოდენობით თხევადი მინის ( $G_{mid}$ ) შემცველი ნიმუშებისათვის  $80^{\circ}\text{C}$ -მდე აშკარად ვლინდება მათ სიმტკიცეების მნიშვნელობა შორის სხვაობა, უფრო მაღალ ტემპერატურებზე  $R_3$ -მნიშვნელობათა სრულ თანხვედრას აქვს ადგილი (ნახ. 8).

გარდა მექანიკური სიმტკიცისა, საკვლევი ნიმუშების შეფასება ხდებოდა ვიზუალურად - სხვადასხვა პირობებში გამომშრალი ნიმუშების გარე სახის შესაძლო ცვლილებათა დასაფიქრებლად. ამ უკანასკნელთან მიმართებაში უნდა აღინიშნოს, რომ არც ბუნებრივი და არც ხელოვნური შრობის პირობებში ნიმუშების ზედაპირის მდგომარეობაში ცვლილებები არ დაფიქსირდა.

ჩატარებელი კვლევის შედეგების ანალიზით, „მტვერი კოქსის წვრილმანი“ კომპოზიციაში მდგრადი ბრიკეტების მიღება შესაძლებელი შემდეგი პირობების დაცვით:

- დიდი რაოდენობით (80 მას. %) მტვრის შემცველი კაზმის შემკვრელად 10 – 12 მას. % თხევადი მინის გამოყენება 100 მას. % კაზმის ზემოთ;
- „მტვერი-კოქსის“ კომპოზიციის ბრიკეტების დაწნევის მინიმალური ძალა 16 მპა უნდა იყოს;
- ბრიკეტების საექსპლუატაციო მექანიკური სიმტკიცის უზრუნველყოფისათვის რეკომენდებულია მათი ბუნებრივი (რამოდენიმე დღე ოთახის ტემპერატურაზე) ან ხელოვნური შრობა არანაკლებ  $70-100^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურულ ინტერვალში.

### 2.3. “მტვრი - კოქსი” შედგენილობის ბრიკეტების საექსპლოატაციო თვისებების დადგენა

ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის საუტილიზაციო ნარჩენების - რესპირაციული მტვრისა და კოქსის წვრილმანის საფუძველზე მიღებული იქნა ბრიკეტები, რომლებიც ზფქ - სათვის შიდა მოხმარების ტექნოგენური პროდუქტს წარმოადგენს. ზოგადად, საწარმოო ბრიკეტები დაგუნდავების ადგილიდან ღუმელამდე ტრანსპორტირებას მოითხოვს, რაც შესაძლებელია გარკვეულ მონაკვეთზე ღია ცის ქვეშ წარიმართოს. თვით ტრანსპორტირების პროცესი შეიძლება მოიცავდეს ბრიკეტების ვარდნას (მაგ., ტრანსპორტიორის ლენტზე, წინასწარი შენახვის ბუნკერში ან სატვირთო საშუალების ბორტზე). აღნიშნული ფაქტორები, განსაზღვრავს ბრიკეტებთან მიმართებაში ისეთი თვისებების დადგენას, როგორცაა წყალშთანთქმა და ცვეთამედეგობა. ეს უკანასკნელო პირდაპირ დამოკიდებულებაშია ბრიკეტების მექანიკურ სიმტკიცესთან, რაც თავის მხრივ ბრიკეტების დასაწყობების პირობებს განსაზღვრავს (მათი ნაყარის სიმაღლეს ღია საწყობში ან ბუნკერში).

ამავე დროს, ბრიკეტების მიწოდების საბოლოო წერტილს წარმოადგენს სადნობი ღუმელი. რომლის მაღალტემპერატურულ სამუშაო სივრცეში მოხვედრისას ის მყისიერ თერმულ ზემოქმედებას განიცდის. აქედან, მნიშვნელოვანი ხდება ბრიკეტების თერმომედეგობა – პრაქტიკულად სასურველია ბრიკეტების დაუმლელად მოხვედრა ღუმელის მაღალტემპერატურულ ზონაში. აღნიშნული მოითხოვს ბრიკეტების თერმომედეგობის დადგენას, მაგრამ სხვა მასალებთან შედარებით ბრიკეტების მიმართ მიდგომა უფრო მარტივად წარმოგვიდგება. უფრო კონკრეტულად, ტემპერატურა ბრიკეტების მხოლოდ მისი შემადგენელი ინგრედიენტებს შორის, მჭიდრო კონტაქტების ხარჯზე, ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების ინტენსიურობის ზრდას განაპირობებს.

ამასადამე, თუ შევაჯერებთ ბრიკეტების, როგორც სამრეწველო ნედლეულის ერთ - ერთი სახეობის, მიღებიდან ღუმელის სადნობ ზონამდე

გასავლელ გზას, შეიძლება გამოვყოთ მათი ხარისხის განმსაზღვრელი რამოდენიმე წამყვანი თვისება:

- სიმტკიცე კუმშვაზე;
- ცვეთამდედგობა;
- თერმომდედგობა;
- წყალშთანთქმა.

### 2.3.1. საკვლევი ბრიკეტების მახასიათებელი თვისებების დადგენა

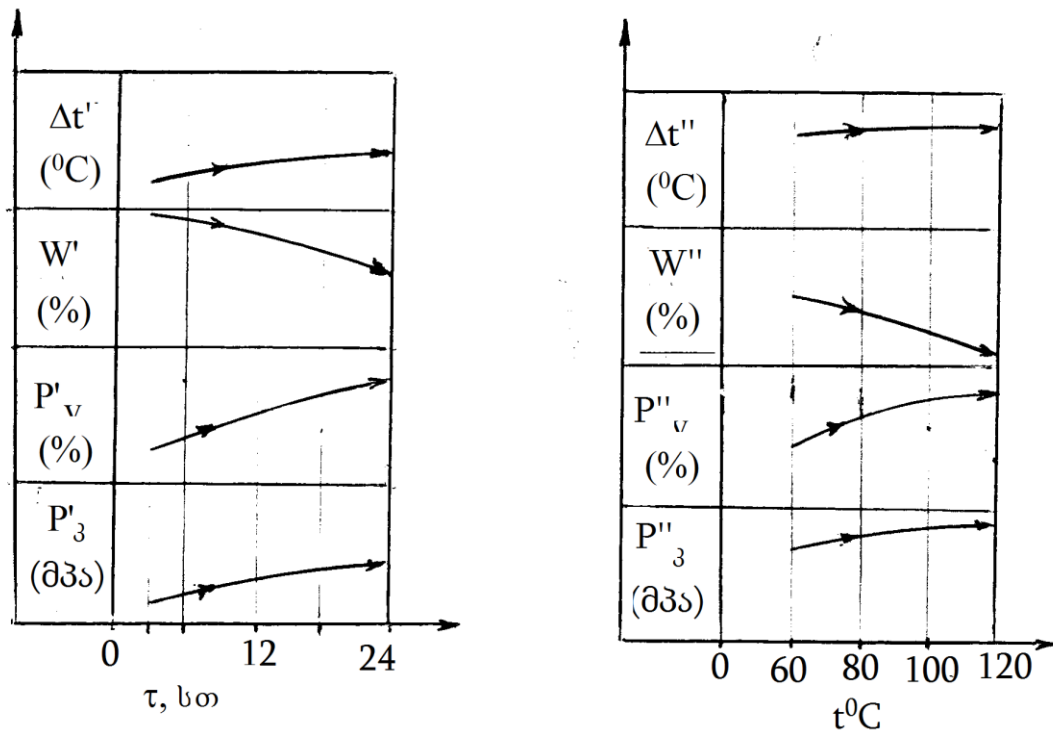
ჩამოთვლილ მახასიათებელ თვისებათა დადგენა, „ რესპირაციული მტვერი - კოქსის წვრილმანი“ შედგენილობის ბრიკეტებისთვის, როდესაც შემკვრელად გამოყენებული იქნა თხევადი მინა, განხორციელდა შესაბამისი მეთოდის გამოყენებით, რაც აღწერილია მე - 3 თავში.

საკვლევ ობიექტს წარმოადგენდა ერთი შედგენილობის ნარევი, რომელსაც მიენიჭა ინდექსი  $B - 3/4$  და ფაქტობრივად ის  $B - 3$  და  $B - 4$  ნარევების გასაშუალებულ შედგენილობისაა (მას.%): მტვერი - 80, კოქსის წვრილმანი 20, „საშუალო“ კონცენტრაციის ( $G_{mid}$ ) თხევადი მინა - 11 (100%-ს ზემოთ). აღნიშნული შედგენილობის ნარევებისგან ცილინდრული ფორმის ნიმუშების დაბრიკეტება (თითოეული ულუფის მასა 20 გ-ს შეადგენდა) განხორციელდა 18 მპა ძალვით, ჰიდრავლიკური წნეხის გამოყენებით. დაბრიკეტებულ ნიმუშებს ჩაუტარდათ ხელოვნური და ბუნებრივი შრობა, რის შემდეგაც ექსპერიმენტალურად განესაზღვრათ მახასიათებელი თვისებები. კომპლექსური კვლევისათვის გამიზნული  $B' - 3/4$  ნიმუშების ბუნებრივი შრობა განხორციელდა ოთახის ტემპერატურაზე მათი 3, 6, 12 და 24 საათიანი დაყოვნებით. ხელოვნური შრობა (ნიმუში  $B' - 3/4$ ) პირობები ოთხ ტემპერატურაზე (60, 80, 100 და 120°C) 20 წუთის განმავლობაში დაყოვნებით ორ განსხვავებულ პირობებში გამომშრალი ნიმუშების  $B'' - 3/4$  მახასიათებელი თვისებები მოყვანილია მე-18 და მე-19 ცხრილში.

ცხრილი 18. ბუნებრივ პირობებში გამშრალი B'- 3/4 შედგენილობის დაბრიკეტებული ნიმუშების მახასიათებელი თვისებები

№	შრობის პირობები		მახასიათებელი თვისებების მნიშვნელობა			
	დრო ( $\tau$ ) სთ	ტემპ.-რა ( $t$ ), °C	სიმტკიცე კუმშვაზე ( $P'_3$ ), მპა	ცვეთადობა დარტყმითი ( $P'_{GG}$ ), %	წყალშთანთქმა ( $W'$ ), %	თერმომედეგობა ( $\Delta t'$ ), °C
1	3	$20 \pm 2$	2,3	35,6	18,3	140
2	6	„	4,2	49,1	14,5	180
3	12	„	5,1	57,4	11,8	220
4	24	„	5,6	68,2	7,4	240

ორი განსხვავებულ პირობებში გამომშრალი ნიმუშების რაოდენობა, კონკრეტულ თვისებათა კვლევის პირობებში, სხვადასხვა იყო. სიმტკიცე კუმშვაზე წყალშთანთქმა და თერმომედეგობა განისაზღვრა 3 – 3 ნიმუშზე, ხოლო ცვეთადობა (დარტყმითი ხერხი) შეფასდა 5 – 5 ნიმუშის გამოცდით. ამავე დროს, თერმომედეგობის განსაზღვრისას აღებული ბიჯი (ინტერვალი) 20°C-ს შედგენდა, ხოლო თერმომედეგობის ზღვრული მინიმალური ტემპერატურა აღებულია იმ შემთხვევისათვის, როდესაც სამი ნიმუშიდან არცერთმა არ დაკარგა ფორმის მთლიანობა (არ დაიშალა ნატეხებად).



ნახ. 9. შრობის პირობების გავლენა მახასიათებელ თვისებათა ცვლის ტენდენციაზე  
 ა. ბუნებრივი შრობა; ბ. ხელოვნური შრობა

**ცხრილი 19. ხელოვნურად გამშრალი დაბრიკეტებული B'' – 3/4 შედგენილობის ნიმუშების მახასიათებელი, თვისებები**

	შრობის პირობები		მახასიათებელი თვისებების მნიშვნელობა			
	დრო ( $\tau''$ ) წთ	ტემპ.-რა ( $t''$ ), °C	სიმტკიცე კუმშვაზე ( $P'_3$ ), მპა	ცვეთადობა დარტყმითი ( $P''_{\text{ცვ}}$ ), %	წყალშთანთქმა ( $W''$ ), %	თერმომედეგობა ( $\Delta t''$ ), °C
1	20 - 25	60	7,0	60,4	7,4	320
2		80	7,5	68,7	5,2	380
3		100	7,8	78,4	3,7	420
4		120	7,6	78,0	3,7	400

მიღებული შედეგების მიხედვით, ზოგადი შეფასებით, ბუნებრივ პირობებში გამომშრალი (შედგენილობა  $B' - 3/4$ ) და დაწნეხილი ნიმუშები ყველა თვისებათა მაჩვენებლების მიხედვით ჩამორჩებიან ხელოვნურად და ამავე დროს 80 – 100°C-ზე გამომშრალ ნიმუშებს. მეტ-ნაკლები თანხვედრა დაფიქსირდა ხელოვნურად 60°C-ზე და ბუნებრივად 24 საათის განმავლობაში, გამომშრალი ნიმუშებისათვის. თვისებათა შესატყვისობა დაფიქსირდა წყალშთანთქმის ( $W'$  და  $W''$  მნიშვნელობები 7,4 %) და ცვეთამედეგობაში ( $P'_{\text{ცვ}} = 56,1$  % და  $P''_{\text{ცვ}} = 54,4$  %). მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან  $B' - 3/4$  და  $B'' - 3/4$  ნიმუშების ისეთი თვისებები, როგორცაა სიმტკიცე კუმშვაზე ( $P'_3 > P''_3$ ) და თერმომედეგობა ( $\Delta t'' > \Delta t'$ ), რაც განსაკუთრებით იკვეთება საუკეთესო თვისებების მატარებელი 24 საათიანი შრობის გავლილი და 100°C -ზე ხელოვნურად გამომშრალი ნიმუშებისათვის.

ყველა თვისებასთან მიმართებაში კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი დამოკიდებულება გამოიკვეთა:

ნიმუშების კუმშვაზე სიმტკიცის მნიშვნელობათა ზრდა პროპორციულად აუმჯობესებს სხვა მახასიათებელი თვისებების პარამეტრებს. აღნიშული სრულად ვლინდება ორივე საკვლევი  $B' - 3/4$  და  $B'' - 3/4$  შედგენილობის ნიმუშებისათვის. კერძოდ, ბუნებრივად გამომშრალი მასალების შრობის ხანგრძლივობის გაზრდით განპირობებული  $P'_3$ -ის და  $P''_3$ -ის მნიშვნელოვანი ზრდა ამცირებს წყალშთანთქმას ( $W'$ ,  $W''$ ) ამავე დროს ზრდის ცვეთამედეგობის ( $P'_{\text{ცვ}}$  და  $P''_{\text{ცვ}}$ ) და თერმომედეგობის ( $\Delta t'$  და  $\Delta t''$ ).

მიღებული შედეგების გრაფიკული სახე მოყვანილია მე-9 ნახაზზე, სადაც წარმოდგენილია ბუნებრივ პირობებში გამშრალი და ხელოვნური შრობით ჩატარებული პროცესის გავლენა დაწნეხილი ნიმუშების თვისობრივ მაჩვენებლების ცვლის ტენდენციებზე.

მიღებული ბრიკეტების (ნარევი „მტვერი-კოქსი - თხევად მინა“) მახასიათებელი თვისებები შედარებული იქნა სტანდარტიზირებული ბრიკეტების მიმართ არსებულ მოთხოვნებს. სტანდარტით ბრიკეტების მიმართებაში გასათვალისწინებელია და რეგლამენტირებულია ორი თვისება: წყალშთანთქმა (W) და ცვეთამედეგობა ( $P_{\text{ც}}$ ), რომელთა მნიშვნელობები უნდა შეადგენდეს:  $W \leq 3\%$  და  $P_{\text{ც}} \geq 77,5\%$  საკონტროლო საცერზე ნარჩენი მასალის რაოდენობის მიხედვით [88].

ზოგადად ბრიკეტების მიმართ არსებული მოთხოვნებისა და ჩვენს მიერ მიღებული და თვისობრივად საუკეთესო ბრიკეტების მაჩვენებლების შედარება მოყვანილია მე-20 ცხრილში. კერძოდ, შესადარებლად აღებული იქნა B-3/4 შედგენილობა (80 % მტვერის, 20 % კოქსის წვრილმანის, 1,25 გ/სმ<sup>3</sup> სიმკვრივის 11 % თხევადი მინის შემცველი ნარევი), რომელიც 18 მპა ძალით დაიწნება და ამასთან მას ჩაუტარდა ხელოვნური შრობა 100°C-ზე (აღნიშნულ ტემპერატურაზე 20-25 წუთით დაყოვნებით).

**ცხრილი 20. სტანდარტული ბრიკეტების და „მტვერი-კოქსი“ კომპოზიციის B-3/4 შედგენილობის ბრიკეტ-ნიმუშების თვისებათა მნიშვნელობები**

№	თვისება	თვისების აღნიშვნა და განზ. ერთ		ბრიკეტების თვისებათა მაჩვენებელში		მიღებული (საკვლევი) ბრიკეტების შეფასება
		ინდექსი	განზ. ერთ.	სტანდარტი	საკვ. B-3/4; შრობ.	
1	სიმტკიცე კუმშაზე	$P_3$	მპა	**	7,8	-
2	ცვეთამედეგობა (საკონტროლო საცერზე ნარჩენი)	$P_{\text{ც}}$	%	$\geq 77,5$	78,4	უკეთესია აჭარბებს დასაშვებს
3	წყალშთანთქმა	W	%	$\leq 3^*$	3,7	-
4	თერმომედეგობა	$\Delta t$	°C	**	400	-

შენიშვნა: (\*) გამოუმშრალი მასალების გამოყენებისას; (\*\*) - არ მოეთხოვება

რაც შეეხება წყალშთანთქმას, ჩვენს მიერ შესაბამისი კაზმის მისაღებად გამოყენებული იქნა მანგანუმშემცველი რესპირაციული მტვერი და კოქსის წვრილმანი ე.წ. ჰაერზე გამშრალ მდგომარეობაში, ხოლო ბრიკეტზე სტანდარტით დასაშვებია 27 % ტენშემცველი ბრიკეტების მიღება. აღნიშნული შეიძლება ჩაითვალოს საკვლევი ნიმუშის მიღება ცოტაოდენ გაზრდილი წყალშთანთქმის უნარით.

მიღებული შედეგების საფუძველზე შესაძლებელია დავასკვნათ, რომ საკვლევ „მტვერი-კოქსი“ კომპოზიციაში შესაძლებელია დიდი ოდენობით მანგანუმშემცველი რესპირაციული მტვერის შემცველი (80 %) ბრიკეტების მიღება, რომლებიც ხასიათდებიან მაღალი სიმტკიცით და ცვეთამედეგობით, დაბალი წყალშთანთქმის უნარით და დასაშვები თერმომედეგობით.

### **2.3.2. ბრიკეტების თვისობრივი მახასიათებლების სრულყოფის გზების განსაზღვრა**

გარდა ძირითადი ფიზიკური მახასიათებლებისა (მექანიკური სიმტკიცე-კუმშვაზე და ცვეთაზე, წყალშთანთქმა, თერმომედეგობა), რომლებითაც შეფასდა მიღებული ბრიკეტები, მათი პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით, გამოყოფენ კიდევ ერთ ფაქტორს ე.წ. „ბრიკეტის სიმძიმეს“. დამძიმებული ბრიკეტების მიღება - გამოყენება მიზანშეწონილადაა მიჩნეული ისეთ ტექნოლოგიურ პროცესებში, რომლებიც შენადნობების მიღებას ითვალისწინებს დნობის ვერტიკალურ ღუმელში. ასეთ ღუმელში ნედლეულის შემცველი ბრიკეტების ან ნარევების (კაზმის) მოძრაობა ზემოდან (თალი) ქვემოთ (სადნობ ზონაში) მიმდინარეობს. ამასთან დაკავშირებით, ფეროშენადნობთა ტექნოლოგია გარკვეული ტექნოლოგიური პირობების გათვალისწინებას მოითხოვს. ამის მიზეზი - ოქსიდურ ნაერთებიდან გარკვეულ ელემენტთა აღდგენას და მათი მაღალ ტემპერატურებს შერწყმით სასურველი შენადნობის (ჩვენს შემთხვევაში - სილოკომანგანუ-

მის) მიღებაა. აღნიშნულ მასალათა მიღების ტექნოლოგია რთულ ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესებს უკავშირდება და განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ნახშირბადის კაზმიდან ნაადრევი ამოწვა და ნედლეულის ნარევის (კაზმის) ან ბრიკეტების კომპაქტურობა ღუმელში მოძრაობისას. ორივე სახეობის საწვავსა და ნაწარმს ბაზა (კაზმი და/ან ბრიკეტი) მით უფრო ეფექტურია, რაც უფრო მეტია მათი სიმკვრივე, რადგან ღუმელში არსებული აღმავალი აირების ნაკადი უფრო ნაკლებ უარყოფით ზეგავლენას ახდენს ბრიკეტების „წყობის“ ზედმეტად გაფხვიერებულ მდგომარეობაში გადაყვანას [89, 90].

ბრიკეტის „სიმძიმის“ საკითხი განსაკუთრებით აქტუალურია ჩვენს მიერ განხორციელებული 80 მას.% რესპირაციულ მტვრის შემცველი ნარევიდან მიღებულ ბრიკეტებთან მიმართებაში. აღნიშნულის არგუმენტაცია მოპოვებული იქნა ჩვენს მიერ მიზნობრივად ჩასატარებელ კვლევებით.

პირველ რიგში დადგინდა ორკომპონენტური კაზმის („მტვერი - კოქსი“) საწყისი მასალების - მტვრის და კოქსის წვრილმანის მოცულობითი წონები და ამისათვის მათ ჩაუტარდათ საკონტროლო გაცრა და საკვლევა და აღებული იქნა  $\delta \leq 0,5$  მმ ფრაქციულობის მტვერი და  $\delta \leq 3,0$  მმ ფრაქციულობის კოქსი. ორივე ნედლეულს დაუდგინდათ მოცულობითი წონები: მტვრისათვის  $V_{\text{მტვ}} = 640$  კგ/მ<sup>3</sup>, ხოლო კოქსის წვრილმანის  $V_{\text{კოქ}} = 890$  კგ/მ<sup>3</sup>. B – ¾ შედგენილობის ნარევის 18 მპა ძალით დაბრიკეტებული ნიმუშის მოცულობითი ხვედრითი წონა შეადგენდა დაახლოებით  $d = 1,82$  გ/სმ<sup>3</sup>.

საკვლევად შერჩეული B – ¾ შედგენილობის ორკომპონენტური კაზმის ბრიკეტების მოცულობითი წონის გაზრდის მიზნით მიზანშეწონილად მივიჩნიეთ გამოგვეყენებინა ისევ ზფქ-ში არსებული და გამდიდრებული მანგანუმშემცველი მადნის სეპარირების შედეგად წარმოქმნილი ნარჩენი პროდუქტი - წმინდა ფრაქციული მადანი. მანგანუმის წმინდაფრაქციული მადნის გამოყენება სილიკომანგანუმის მიღების ტექნოლოგიურ პროცესში არ ხდება და აღნიშნულის ძირითადი მიზეზი - მისი სადნობი კაზმიდან სადნობ ღუმელში აირგამტარობის შემცირება მიიჩნევა.



„მტვერი - კოქსი“ კომპოზიციის ბრიკეტების დასამძიმებლად აღებული წვრილფრაქციური მადანი შემდეგი მახასიათებლების მატარებელია:  $\delta \leq 0,5$  და  $V_{\text{მოც}} = 1730$  კგ/მ<sup>3</sup> (განსაზღვრულია ჩვენს მიერ). თუ შევადარებთ მანგანუმშემცველი ორი სანედლეულო მასალის - მტვრისა და მადნის წვრილმანის მოცულობით ნაყარ წონებს და ასევე კოქს და  $(K_1 = V_{\text{ად}}/V_{\text{მოც}} = 1730/(640 \approx 2,7)$  მადნის ნარჩენს  $(K_2 = 890/640 \approx 1,9)$ , ნათლად იკვეთება საკვლევ კაზიმების „დამამძიმებლად“ მადნს წვრილმანის შეყვანა. სამივე სანედლეულო მასალების დადგენილი რიგი მახასიათებელი მიყვანილია 21 ცხრილში.

**ცხრილი 21. სამკომპონენტური კაზიმის ძირითადი შემადგენელი მასალების რიგი მახასიათებელი**

N	ნედლეულის დასახელება	ნედლეულის მახასიათებელი		მოცულობით სიმკვრივეთა ფარდობა ( $V/V_{\text{მოც}}$ )
		ფრაქციულობა ( $\delta$ ), მმ	მოცულობითი სიმკვრივე ( $V_{\text{მოც}}$ ), კგ/მ <sup>3</sup>	
1	მანგანუმშემცველი მტვერი	$0 \leq \delta \leq 0,5$	640	1,0
2	კოქსი (წვრილმანი)	$0 \leq \delta \leq 3,0$	890	1,4
3	მადანი (წმინდაფრაქციული)	$0 \leq \delta \leq 5,0$	1730	2,7

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ჩვენს მიერ ჩატარდა დამატებითი ექსპერიმენტი, რომელიც საწარმოო მანგანუმშემცველ მტვრის გარდა მიზნად ისახავდა წმინდა ფრაქციული (მტვრის წარმოქმნისადმი მიდრეკილი) ზფქ - ში მანგანუმის მადნის სეპარირებიდან ნარჩენ პროდუქტს - წვრილფრაქციულ მადანს. ორივე მანგანუმშემცველი ნარჩენი და კოქსის წვრილმანი იმ სამკომპონენტური კაზიმის ინგრედიენტებს წარმოადგენენ, რომლებიც ჩვენს საკვლევ ობიექტად იქნა შერჩეული.

მანგანუმშემცველი საწარმოო ნარჩენების (მტვერი და წვრილფრაქციული მადანი, კოქსის წვრილმანი) სილიკომსნგანუმის სადნობ ელექტროლუმელიდან ნაადრევი ამოფრქვევის თავიდან ასაცილებლად გამოყენებული იქნა ნარევის ბრიკეტირება. მანგანუმშემცველი მტვრის ბრიკეტირება ჩვენ მიერ „მტვერი - კოქსი“, ნარევის დაბრიკეტირების უნარის

შესწავლით დადასტურდა. ბრიკეტირებისას შემკვრელად აღებული იქნა გამოცდილი  $d = 1,25$  გ/სმ<sup>3</sup> სიმკვრივის და  $m = 3$  მოდულის თხევადი მინა. თხევადი მინის სხვა სახის ნარევების ხარისხიანი დაბრიკეტირების ჩატარების შესაძლებლობა დადგენილი სხვა შრომებში [91, 93].

კვლევაში გამოყენებული მანგანუმშემცველი ჭიათურის გამდიდრებული მადნის ქიმიური შედგენილობა (ზფქ - ის ლაბორატორიის მონაცემებით) შემდეგია (მას. %): 36,1 Mn; 22,2  $SiO_2$ ; 0,2P; 12,3  $H_2O$  მადნის და მეორე კომპონენტის - რესპირაციული მტვრის ოქსიდური შედგენილობა, მანგანუმის  $MnO_2$ -ზე გადაანგარიშებული, მოცემულია 22 ცხრილში. აღსანიშნავია, რომ აღმდგენად აღებული იქნა კოქსის წვრილმანი ნახშირბადის 84%-იანი შემცველობით.

**ცხრილი 22. მანგანუმის მადანში და რესპირაციულ მტვერში ძირითადი შემადგენელი ოქსიდების შემცველობა**

N	მასალის დასახელება	მატერიალური შედგენილობა (მას. %)		
		$MnO_2$	$SiO_2$	ტენი და სხვა შემადგენელი
1	მანგანუმშემცველი წვრილფრაქციული გამდიდრებული მადანი	54,0	22,0	26,0
2	მანგანუმშემცველი რესპირაციული საწარმოო მტვერი	38,0	39,0	33,0

$MnO_2$  და  $SiO_2$  -ის აღსადგენად მიახლოებით საჭირო ნახშირბადის და მისი შემცველი კოქსისი ანგარიში ჩატარდა განტოლებები (1) და (2) გამოყენებით და კოქსში 84% ნახშირბადის შემცველობის პირობისათვის.

სულ შედგენილი იქნა ხუთი ნარევი, რომელთა შედგენილობა მოყვანილია 23 ცხრილში. მიღებული კაზმების დაბრიკეტება განხორციელდა 18 მპა დაწნევით. შემკვრელ მასალად გამოყენებული იქნა  $G_{mid}$  შედგენილობის თხევადი მინა (სიმკვრივე 1250 კგ/მ<sup>3</sup>). როგორც წინა კვლევებში, აქაც საწყისი ნედლეული საჰაერო - მშრალ მდგომარეობაში იმყოფებოდა.

ცხრილში წარმოდგენილ ხუთივე შედგენილობათა დაგეგმვის პრინციპი მდგომარეობდა იმაში, რომ საწყის B –  $\frac{3}{4}$  შედგენილობასთან განსხვა-

ვებით მტვერის საწყისი რაოდენობა შეადგენდა 70 მას. %-ს, ხოლო მადნის წვრილმანის 20 მას. % -ს, კოქსის წვრილმანის 10 მას. %, რაც ჯამში 100%-ს შეადგენდა (შედგენილობა A). შემკვრელად აღებული თხევადი მინის რაოდენობა 12 მას.% ოდენობით ემატებოდა 100 მას % კაზმს.

მომდევნო, B ინდექსით აღნიშნული შედგენილობა უკვე 5 მას.%-ით ნაკლებ მტვერს (65 მას. %) შეიცავდა, რასაც თან ახლდა 35%-ის შემდეგი სახის გადანაწილება: 22 მას. % მანგანუმის მადნის წმინდა ფრაქციები და 13 % კოქსისი წვრილმანი, ასეთ გადანაწილების საფუძვლად დაედო მანგანუმის მადანში, მტვერთან შედარებით, მანგანუმის მაღალი შემცველობა. აქედან, კაზმში იზრდება მანგანუმის რაოდენობა, რაც მოითხოვს აღმდგენის - კოქსის რაოდენობის გაზრდას. ასეთივე მიდგომით 23 ცხრილში წარმოდგენილ შედგენილობებში, მტვერის და თხევადი მინის შემცველობის კლება და, სამაგიეროდ, მადნის და კოქსის რაოდენობის ზრდა.

**ცხრილი 23. სამკომპონენტური „მტვერი - მადანი - კოქსის“ კომპოზიციების საკვლევ შედგენილობები**

N	დაბრიკეტებული ნარევის მატერიალური შედგენილობა	ინდექსი	შედგენილობათა ინდექსი და კაზმების მატერიალური შედგენილობა (მას. %)					
			B – ¾	A	B	C	D	E
1	მტვერი (აირგამწმენდიდან)	$P_1$	80	70	65	60	55	50
2	მადანი (წმინდაფრაქციული)	$P_2$	-	20	22	25	27	30
3	კოქსის წვრილმანი	$P_3$	20	10	13	15	18	20
	ჯამი (მას. %)		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
4	შემკვრელი (თხევადი მინა) 100%-ზე ზემოთ		12	12	12	11	10	8
	სულ (მას.%)		112,0	112,0	112,0	111,0	110,0	108,0
5	დაბრიკეტებული ნიმუშების მოცულობითი სიმკვრივე (გ/სმ <sup>3</sup> )		1,71	1,74	-	1,96	-	1,97

ხუთივე შედგენილობაში (A-დან E -მდე) კაზმის კომპონენტთა შემცველობა შემდეგ ზღვრებში იცვლებოდა: 70 – 50 მას. % მტვერი, 20 – 30 მას. %

წმინდა ფრაქციული მადანი და 10 – 20 მას. % კოქსის წვრილმანი. მტვერთან შედარებით „მსხვილი“ ფრაქციულობით მადნის და კოქსის რაოდენობათა ზრდა შესაძლებელს ხდიდა თხევადი მინის რაოდენობის შემცირებას, რაც მისი რაოდენობს (100 მას.% კაზმის ზემოთ) 12-დან 8 მას. %-მდე დაყვანაში გამოისახა.

როგორც აღინიშნა 23 ცხრილში მოყვანილ შედგენილობის კაზმების დაბრიკეტირება განხორციელდა 16 მკა წნევით, რის შემდეგ მათ ჩაუტარდათ ხელოვნური შრობა  $95 \pm 5^{\circ}\text{C}$ -ზე 20 – 25 წუთის განმავლობაში.

პირველ რიგში დადგენილი იქნა ჩვენთვის მნიშვნელოვანი საკითხი, თუ როგორ ზეგავლენას ახდენს შედგენილობის შეცვლა ნიმუშების მოცულობითი სიმკვრივე მნიშვნელობები. ამ მიმართულებით დავადგინეთ ერთნაირ პირობებში მიღებული სამი შედგენილობის (A, C, E) ცილინდრული ფორმის ბრიკეტების მოცულობითი სიმკვრივის მნიშვნელობები. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია 23 ცხრილში, ცალკე გამოყოფილ მე-5 სტრიქონში. მიღებული შედეგებიდან ჩანს და ეს მოსალოდნელი იყო, რომ ორკომპონენტთან, მტვრისა (80%) და კოქსისი (20%) შემცველ B –  $\frac{3}{4}$  კომპოზიციაში, ძირითადად 30%-იანი მტვრის ჩანაცვლება წმინდა ფრაქციული მადნით, შესამჩნევად ზრდის ნიმუშების მოცულობით სიმკვრივეს, ე.ი. განსაზღვრავს ბრიკეტის მოსალოდნელ „დამძიმებას“. კერძოდ, ორკომპონენტთან B -  $\frac{3}{4}$  და სამკომპონენტთან შედგენილობა E-ს მოცულობით სიმკვრივეთა მატების სხვაობამ თითქმის 12% შეადგინა. დაბრიკეტირებულ და მიზნობრივად გამომშრალ ნიმუშებს ასევე დაუდგინდათ. ძირითადი მახასიათებელი თვისებების მნიშვნელობები და ამ მიმართულებით ჩატარებული კვლევის შედეგები მოყვანილია 24 ცხრილში. „მსუბუქი“ B –  $\frac{3}{4}$  შედგენილობიდან „მძიმე“ შედგენილობებზე (A, B, C, D, E) გადასვლით გამოწვეული თვისებათა ცვლილების დასაფიქსირებლად. ამავე ცხრილში წარმოდგენილი უკვე შესწავლილი B –  $\frac{3}{4}$  შედგენილობის ბრიკეტების მახასიათებელი თვისებები.

**ცხრილი 24. საკვლევი შედგენილობების მახასიათებელი თვისებები და მათი ფრაქციულობის კოეფიციენტის მნიშვნელობები**

შედგენილობა	ნარევის (კაზმის) ფრაქციულობის კოეფიციენტი ( $K_{გრ.}$ )	მახასიათებელი საექსპლუატაციო თვისებები			
		სიმკვრივე კუმშვაზე ( $P_3$ ), მპა	ცვეთამედეგობა ( $P_6$ ), %	წყალშთანთქმა ( $W$ ), %	თერმომედეგობა ( $\Delta t$ ) <sup>0</sup> , C
B - 3/4	4,0	7,8	78,4	3,7	400
A	2,3	8,1	82,1	3,2	იხ. ცხრ. 25
B	1,9	8,3	84,5	3,1	„
C	1,5	8,2	86,0	3,5	„
D	1,2	7,9	83,9	3,7	„
E	1,0	7,5	80,0	3,9	„

საკვლევი ბრიკეტების შედგენილობაში სამი ძირითადი კომპონენტი (მტვერი, მადანი, კოქსი) შედის და მათი კონცენტრაცია კაზმებში ცვლადია. აქედან, მათი „თვისება - შედგენილობა“ ურთიერთკავშირების დასადგენად, მიზანშეწონილად მივიჩნიეთ კაზმის გრანულომეტრიასთან დაკავშირებული გარკვეული გათვლების ჩატარება. კერძოდ, საკვლევ შედგენილობათა დასახასიათებლად (მათში წარმოდგენილი მასალათა რაოდენობიდან და ფრაქციულობიდან გამომდინარე), ჩვენ გავთვალეთ კაზმის ფარდობითი ფრაქციულობის კოეფიციენტი:

$$K_{გრ} = \frac{P_1}{P_2 + P_3} \quad (6)$$

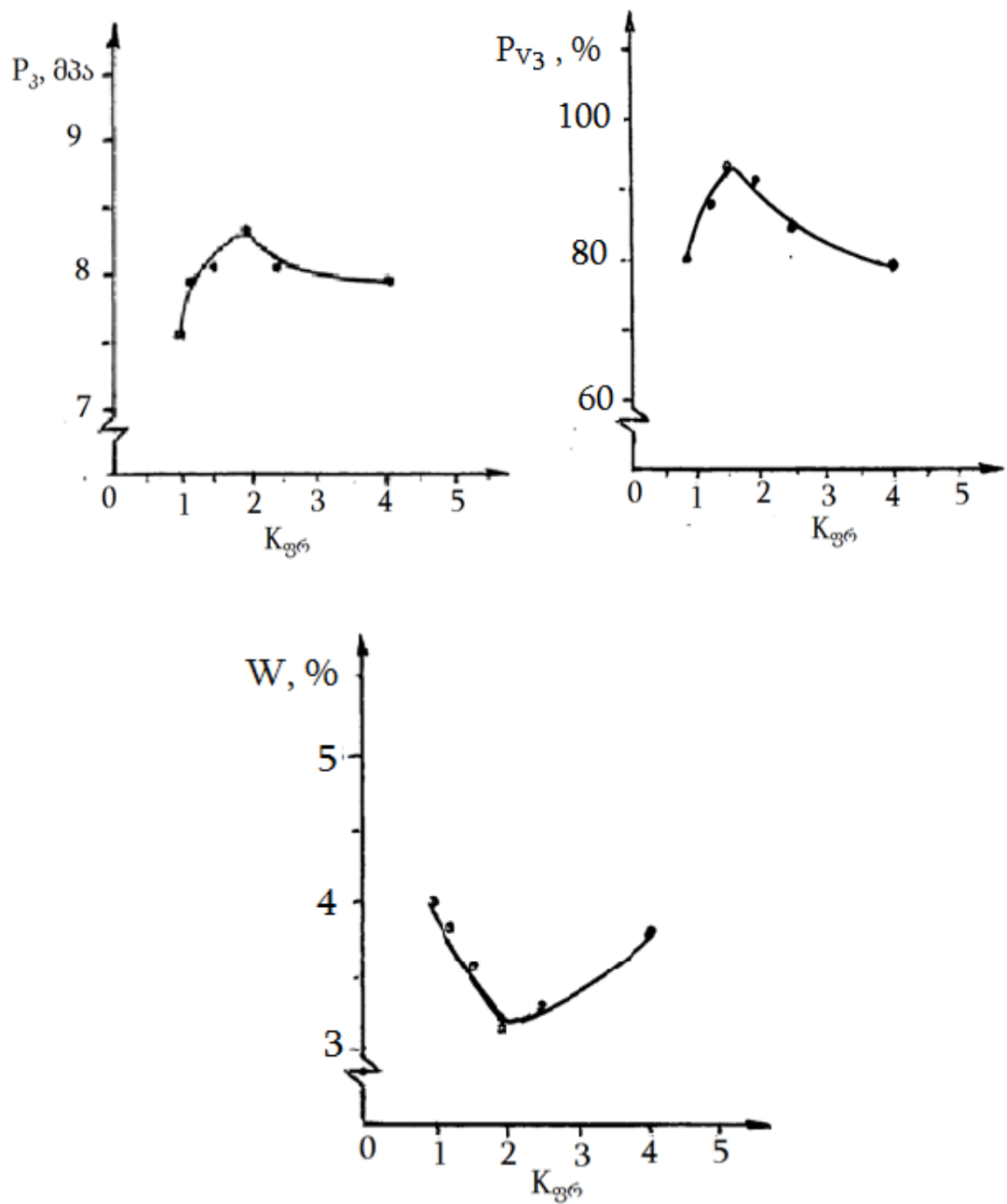
სადაც:  $P_1$  – კაზმში მტვრის ( $\delta \leq 0,5$  მმ) შემცველობა;

$P_2$  – კაზმში წვრილმარცვლოვანი მადნის ( $\delta \leq 5$  მმ)

შემცველობა;

$P_3$  – კაზმში კოქსის წვრილმანის ( $\delta \leq 3$  მმ) შემცველობა.

ფორმულაში წარმოდგენილი კაზმის კომპონენტთა ( $P_1, P_2, P_3$ ) რაოდენობა მოყვანილია 23-ე ცხრილში, ხოლო საწყისი B – 3/4 ნარევის შედგენილობაში წარმოდგენილია:  $P_1 = 80$  მას. %;  $P_2 = 20$  მას. %,  $P_3 = 0$  მას. % და  $G_{mid} = 11$  მას. %, 100 მას. % კაზმის ზემოთ.



ნახაზი 10. ფრაქციულობის კოეფიციენტის გავლენა მახასიათებელი თვისებათა მნიშვნელობებზე

ფორმულა (6)-ით წარმოდგენილი  $K_{გრ}$ -ს კოეფიციენტი ფაქტობრივად განსაზღვრავს, თუ რამდენჯერ აღემატება მტვრის რაოდენობა კაზმში წარმოდგენილ მადნის და კოქსის ჯამურ შემცველობას. აღნიშნული კოეფიციენტის გავლენა სამ მახასიათებელ თვისებაზე წარმოდგენილია მე-10 ნახაზზე და აქ მოყვანილი მრუდების სვლა  $K_{გრ.} \approx 1,5 - 2$  მნიშვნელობისა-

თვის გარკვეულ ტენდეციათა ცვლილებაზე მიუთითებს. კერძოდ, ბრიკეტების კუმშვაზე სიმტკიცისა ( $P_3$ ) და ცვეთამდეგობის ( $P_6$ ) მრუდები მსგავსებას ავლენენ, მაგრამ ნიმუშების წყალშთანთქმა ( $W$ ) სხვაგვარი დამოკიდებულებისაა. აღნიშნული იმის აღმნიშვნელია, რომ მანგანუმშემცველი მტვრის 60 მას.%-მდე დაწევის შემთხვევაში ადგილი აქვს მიღებული ბრიკეტების მექანიკური მახასიათებლების (სიმტკიცე და ცვეთამდეგობა) ზრდას (შედგენილობები A, B, C). შედგენილობები D და E, რომლებიც მტვრისა და მადანი პლუს კოქსისი ჯამურ შემცველობათა ფარდობა ერთს უახლოვდება ( $K_{\text{გ}} = 1,0$  და  $1,2$ ) სურათი იცვლება და თვისებები საგრძნობლად უარესდება. რაც შეეხება ტენშემცველობას - აქ ტენშემცველობის მნიშვნელოვანი კლება გამოწვეული უნდა იყოს A და B შედგენილობებში, B –  $\frac{3}{4}$  შედგენილობასთან მიმართებაში, ჰიგროსკოპიული კოქსის მცირე შემცველობით (შესაბამისად, 10 და 13 მას.%). როდესაც კოქსის რაოდენობა იზრდება (შედგენილობებში C, D და E მისი შემცველობა 15 - დან 20 მას% - მდე იზრდება), ადგილი აქვს წყალშთანთქმისადმი მიდრეკილების ზრდას.

როგორც ცნობილია, სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესი ელექტროლუმელებში უწყვეტად მიმდინარეობს და აქედან გამომდინარე სანედლეულო ბრიკეტების მიწოდება უშუალოდ ცხელ გარემოში ხდება, ამიტომ, ბრიკეტების ხარისხის მიმართ ძირითადი მოთხოვნა ითვალისწინებს მათ თერმულ მდგრადობას. ამ მიზნით მიღებული საკვლევი ბრიკეტების თერმომდეგობის განსაზღვრა განხორციელდა მუფელის ღუმელში, ორი განსხვავებული ტემპერატურული რეჟიმით.

დამუშავებული ნიმუშებისათვის შესაბამისი კაზმების დაბრიკეტებით მიღებული ნიმუშებისათვის შერჩეული იქნა ორი ტემპერატურული რეჟიმი: ერთი რეჟიმი ითვალისწინებდა ბრიკეტების თერმულ დამუშავებას 40-420°C ინტერვალში, ტემპერატურის დინამიკურ რეჟიმში ზრდის პირობებში (10°C/წთ). მეორე რეჟიმის შემთხვევაში ბრიკეტები წინასწარ გახურებულ (600, 700, 800 და 900°C) ღუმელში განთავსდა. თერმულად დამუშავებული ბრიკეტების შეფასება განხორციელდა ვიზუალურად, მათ

მიერ ერთიანობის შენარჩუნებისა და გარესახის შეცვლასთან მიმართებაში. ბრიკეტების ორ განსხვავებული რეჟიმით თერმული დამუშავების შედეგები წარმოდგენილია 25-ე ცხრილში.

**ცხრილი 25. თერმული დამუშავებით გამოწვეული საცდელი ბრიკეტების სახეცვლილება**

ნიმუშის შედგენილობა	დამუშავება დინამიკურ რეჟიმში (40 – 420°C)	თერმული დამუშავების (°C) შედეგები (ფიზიკური მდგომარეობა/ფერი)*			
		600°C	700°C	800°C	900°C
A	O/O	O/X	O/X	O/X	X/X
B	O/O	O/X	O/X	O/X	X/X
C	O/O	O/X	O/X	O/X	X/X
D	O/O	O/O	O/O	O/O	X/X
E	O/O	O/O	O/X	X/X	X/X

(\* ) პირობითი აღნიშვნა: O - ნიმუშის ფიზიკური ერთიანობა ან ფერი არ შეცვლილა; X - ნიმუშის ფორმა დაირღვა ან მოხდა ფერის შეცვლა.

მიღებული დაბრიკეტირებული ნიმუშების შესწავლა-შეფასების საფუძველზე გამოვლინდა მათი კარგი მდგრადობა ტემპერატურის დინამიკურ რეჟიმში დამუშავების პირობისათვის. თერმული დარტყმის პირობებში ნიმუშები ფორმის ერთიანობას ინარჩუნებენ 600 და 700°C-ზე, მაგრამ 800°C-ზე თერმოდარტყმას ვერ უძლებს C და E შედგენილობის ბრიკეტები. თერმული დამუშავების ტემპერატურის 900°C-ზე აწევსას, ყველა საცდელი ნიმუში იბზარება და მეტ-ნაკლებად კარგავს ფიზიკურ (ფორმის) მთლიანობას.

აღნიშნულის მიუხედავად, მიღებული შედეგები იმაზე მეტყველებს, რომ სამკომპონენტური ნარევიდან მიღებული ბრიკეტები მაღალი თერმული მდგრადობით ხასიათდება, რაც მათ მაღალ ტექნოლოგიურობაზე მეტყველებს.

**2.3.3. შედეგების განსჯა და გამოყენების ტექნოლოგიური რეკომენდაციები**

მიღებული შედეგების შეჯერებით შეიძლება ზოგადი ხასიათის დასკვნის გამოტანა: ეკოლოგიური საფრთხეების წარმომქმნელი მანგანუმში-



ცველი მტვრის გამოყენება შესაძლებელია ტექნოგენური მასალის - მანგანუმშემცველი ბრიკეტების მისაღებად, როდესაც დასაბრიკეტებელი კაზმების მატერიალურ შედგენილობაში დიდი ოდენობით (50 – 80 მას.%) მტვერია წარმოდგენილი. ბრიკეტების მიღება შესაძლებელია ორკომპონენტური „რესპირაციული მტვერი-კოქსის წვრილმანი“ და სამკომპონენტური „რესპირაციული მტვერი-მანგანუმშემცველი წვრილფრაქციული მადანი - „კოქსის წვრილმანი“ კომპოზიციებში და მათი კაზმების შემკვრელად თხევადი მინის გამოყენებით. ამასთან მექანიკურად მტკიცე და ცვეთამდეგი ბრიკეტირებას უზრუნველყოფს 1,25გ/სმ<sup>3</sup> სიმკვრივისა და 100 % კაზმის ზემოთ აღებული 10 – 12 მას.% თხევადი მინა.

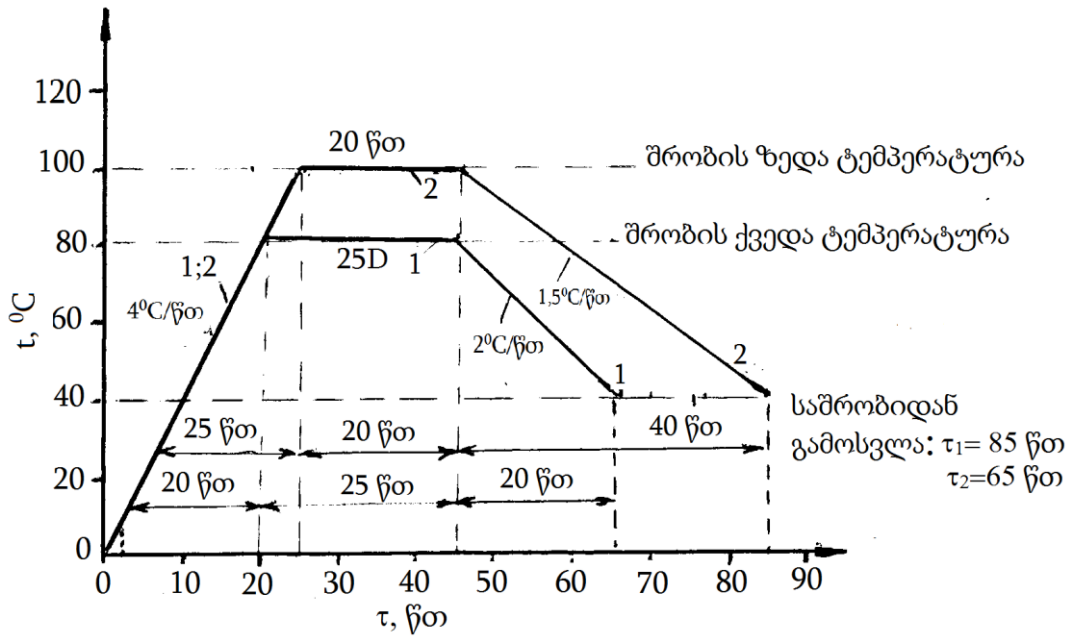
ორკომპონენტური, მტვრის და კოქსის შემცველი, კომპოზიციაში მიღებული მასალების პრაქტიკულ ღირებულებების განსაზღვრავს მათში ლითონური მანგანუმის მაღალი (20 – 25 მას.% - იანი) შემცველობა, ხოლო ეკოლოგიურ მნიშვნელობას - ჯანმრთელობისათვის მავნე მანგანუმშემცველი მტვრის მაღალი დონის უტილიზაცია, რაც გამოიხატება დიდი ოდენობით მტვრის ტექნოგენურ პროდუქტში გადაყვანით.

ორივე კომპოზიციაში მექანიკურად მდგრადი (სიმტკიცე კუმშვაზე 6-დან 8-მდე მპა, ცვეთამდეგობა 60-დან 80-მდე %) ბრიკეტების მიღებას უზრუნველყოფს მტვრის შემცველობის ბრიკეტების ბუნებრივი (  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  , 24 სთ - ზე მეტი) ან ხელოვნური (80 – 100°C, დაყოვნების დრო 20 – 25 წთ) შრობა. იგივე პირობები უზრუნველყოფენ ბრიკეტების დაბალი წყალშთანთქმის უნარს (თითქმის 4-დან 7%-მდე), ხოლო 400°C-მდე თერმომდეგობობით გამორჩეული ბრიკეტების მიღებას. დადგინდა, რომ მტვრის მაქსიმალური შემცველობის (80 მას.%) 16 მპა დაწნეხვით მიღებული ბრიკეტები ხასიათდებიან დაბალი მოცულობითი სიმკვრივით (1710 კგ/მ<sup>3</sup>), რაც (მათი დაბალი თერმომდეგობიდან გამომდინარე) არ გამორიცხავს ბრიკეტების ლუმელში მოხვედრისას მათ მსხვრევას და შემდგომ ლუმელიდან გამომავალი აირებით გამოტანას.

აღნიშნული ნაკლის აღმოფხვრა შესაძლებელი გახდა ორკომპონენტური ნარევიდან (მტვერი და შლამი) სამკომპონენტური ნარევებზე გადასვლით. მესამე კომპონენტად შერჩეული იქნა მანგანუმის მადნის წმინდაფრაქციული ნარჩენი, რომელიც ბინალურ კაზმში შეიყვანებოდა მანგანუმშემცველი მტვერის ნაცვლად. ამით მიიღწეოდა სამკომპონენტური შედგენილობათა ტექნოგენურობა – მანგანუმის რაოდენობა სამკომპონენტური კაზმში იზრდებოდა და ამავე დროს მოსალოდნელი ხდებოდა სამი (მტვერი, მადანი, კოქსი) ფრაქციულობით განსხვავებული მასალისაგან შემდგარი ნარევიდან უკეთესი თვისებების მატარებელი ბრიკეტების მიღება. ამავე დროს გასათვალისწინებელი არგუმენტს წარმოადგენდა კიდევ ორი გარემოება - ერთი მანგანუმშემცველი სამრეწველო ნარჩენი ჩაენაცვლებოდა მეორეთი, მაგრამ იმ პირობიდან გამომდინარე, რომ მანგანუმშემცველი მტვერის (ეკოლოგიურად განსაკუთრებით საშიში) რაოდენობა კაზმის მატერიალურ ბალანსში ნახევარი ან მეტი იქნებოდა.

სამკომპონენტური (მტვერი - მადანი - კოქსი) საკვლევი ნარევების შედგენილობაში, წარმოდგენილი კომპონენტების ურთიერთგადასაცვლებით და შესაბამისი ნარევების ბრიკეტირებით ( $P = 16$  მპა ), ბრიკეტების ხელოვნური შრობის, მიღებულია მაღალი მოცულობითი სიმკვრივის ( $1970$  კგ/მ<sup>3</sup>-მდე), მექანიკური სიმტკიცის (კუმშვაზე  $8$  მპა-ზე მეტი), დაბალი წყალშთანთქმის მქონე (3-დან 4%-მდე). ბრიკეტები ხასიათდებიან დაბალი წყალშთანთქმის მქონე (3-დან 4 %-მდე) ბრიკეტირებული ტექნოგენური ნედლეული. ბრიკეტები ხასიათდებიან დაბალი წყალშთანთქმით (3-დან 4%-მდე), მაღალი ცვეთამედეგობით ( $78 - 86$  %) და გამორჩეულად მაღალი თერმომედეგობით ( $800^{\circ}\text{C}$  - მდე).

კვლევის შედეგების შეჯერებით (შედგენილობა, მახასიათებელი თვისებები) შეიძლება გამოყოს  $16$  მპა და შემკვრელად  $11 \pm 1$  მას.% შემცველი ორ - და სამკომპონენტური შედგენილობები, რომლებიც საჭიროებენ აუცილებელ შრობის  $80 - 100^{\circ}\text{C}$  ინტერვალში, აღნიშნულ შრობის ტემპერა



ნახაზი 11. საშრობში ბრიკეტების შრობის პროცესის რეკომენდირებული რეჟიმი;

1. დაბალტემპერატურული შრობა; 2. მაღალტემპერატურული შრობა. ტურაზე 20 – 25 წუთის დაყოვნებით. აღნიშნული პირობებით მიღებული ბრიკეტ-ნიმუშები თავის შედგენილობაში უნდა შეიცავდნენ: ორკომპონენტის კომპოზიციაში – 80 მას.% მტვერი და 20 მას.% კოქსის წვრილმანი, ხოლო სამკომპონენტის კომპოზიციაში – (70-60 მას%) მტვერი, (20-25 მას.%) მადანი და (10 - 15 მას.%) კოქსი. რაც შეეხება ბრიკეტების შრობის პირობებს - ის შესაბამისი გრაფიკების სახით წარმოდგენილია მე-11 ნახაზზე.

ორ - და სამკომპონენტის ნარევიდან ხარისხობრივად სასურველი (საჭირო თვისობრივი მახასიათებლის მიხედვით და მიზნობრივად მისაღები) შედგენილობათა მიღების ტექნოლოგიები წარმოდგენილია მე-12 ნახაზზე მათი მიღების შესაბამისი ტექნოლოგიური სქემების სახით. შედგენილი ტექნოლოგიური სქემები ითვალისწინებს იმ ძირითად ეტაპებს, რომლებიც ჩატარებული კვლევებით იქნა დადგენილი და ასევე ბრიკეტირების პროცესის იმ მნიშვნელოვან გარემოებას, რომელიც დღეისათვის არსებულ ბრიკეტ - პრესების მაღალ წარმადობას უკავშირდება [69, 70, 94 – 96 ].

ნედლეულის ფიზიკური მახასიათებლიდან გამომდინარე, საწყისი ნედლეული აუცილებლად საჭიროებს გაცრას, რომელმაც უნდა გამოირიც-

ხოს არასასურველი (განსაკუთრებით მსხვილმარცვლოვანი) ფრაქციულობის მექანიკურად მოხვედრილი უცხო ჩანართების ჩაბმა ტექნოლოგიურ პროცესში. კაზმის შედგენილობის (რეცეპტის) დაცვა საჭიროებს ავტომატური დოზატორების, კერძოდ წონითი დოზატორის გამოყენებას. ცალკე საკითხია და ამასთან ტექნოლოგიურად მნიშვნელოვანია კაზმის შემრევის ტიპის შერჩევა. ჩვენს შემთხვევაში (ძირითადი ფაქტორი შემკვრელის სახეობაა) შესაძლებლად მივიჩნევთ თეფშისებური შემრევის ან წინამდგენიანი ორლილვა შემრევის გამოყენება, რომლებიც მაღალწარმადობიანია და ამავე დროს მათი ექსპლუატაცია (მათ შორის გაწმენდა შემკვრელ შემცველი კაზმისაგან) ადვილია.

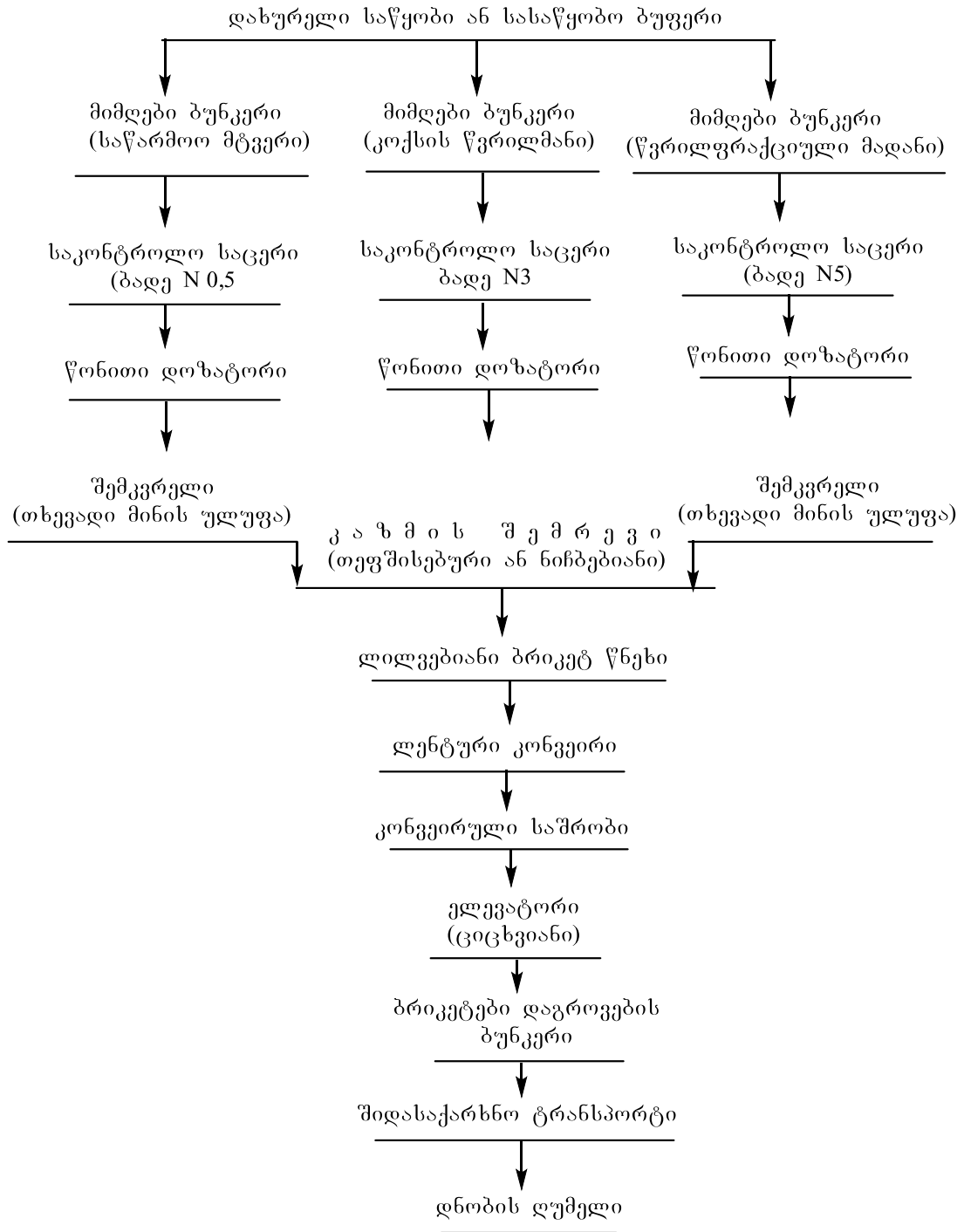
ბრიკეტების მისაღებად მიზანშეწონილად მივიჩნევთ შესაბამის ფორმის უჯრედებიანი ვალციანი წნეხის გამოყენება, რომელიც ფართოდ გამოიყენება ბრიკეტირებისას და ამავე დროს მათი ექსპლოატაციის გამოცდილება არსებობს ზფქ-ში.

დაბრეკტირებული მასალა საჭიროებს შრობის, აქ გასათვალისწინებელი გახდა ექსპერიმენტით დადგენილი წინაპირობა - ნედლი ახალდაწნეხილ ბრიკეტები დაბალი მექანიკური სიმტკიცით ხასიათდებიან. აღნიშნულის გათვალისწინებით წნეხიდან გამოსული ბრიკეტები ვარდნის გარეშე უნდა ხვდებოდნენ ტრანსპორტიორის ლენტზე და ამ გზით ფრთხილად გადაიტანებოდნენ საშრობში.

საშრობის არსებული არა ერთი სახეობიდან უპირატესობა მიენიჭა კონვეიერულ გვისაბისებს საშრობს, რომლის მეშვეობით ბრიკეტები სრულად გაივლიან შრობის უწყვეტ პროცესს (ნელი გაცხელება - შრობის ტემპერატურაზე დაყოვნება - გაცივება).

საშრობის ტემპერატურული რეჟიმების შერჩევისას გათვალისწინებულია, რომ ჩქარი შრობა შეიძლება გახდეს ბრიკეტების მსხვრევის მიზეზი. ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული შრობის პროცესის პირობების გათვალისწინებით, რეკომენდაციას ვაძლევთ ბრიკეტების შრობის რეჟიმს, რომელიც გრაფიკის სახით წარმოდგენილია მე-12 ნახაზზე.

## ნედლეულის საწყობები



**ნახაზი - სქემა 12. ორ - და სამკომპონენტო კაზმებისა და მათგან მდგრადი ბრიკეტების მიღების რეკომენდირებული ტექნოლოგიური სქემა**

გამომშრალი ნაწარმი (ბრიკეტები), ნედლი ბრიკეტებიდან განსხვავებით ხასიათდებიან მაღალი მექანიკური სიმტკიცით და ცვეთამდებობით, რაც მისი შემდგომი გადატანა - შენახვის პროცესების მრავალფე-

როვან არჩევანს იძლევა. საწარმოო პირობებიდან გამომდინარედ, რეკომენდაციას უწევთ ბრიკეტების ელევატორით სასაწყობო სახარჯო ბუნკერში განთავსებას და აქედან ნებისმიერ სატრანსპორტო საშუალებით (ტრანსპორტიორი, თვითსაცლელით და სხვ.) ფეროშენადნობთა საწარმოო ღუმელთან მათ გადატანას.

## **2.4. მანგანუმშემცველი საწარმოო ნარჩენებიდან ქვის სხმულის მიღება**

ქვის სხმულის მიღების საკითხის გადასაწყვეტად ჩვენს მიერ შეირჩა ორი საწარმოო ნარჩენი: გრანულირებული წიდა და მანგანუმის მადნის გამდიდრების შედეგად წარმოქმნილი შლამი. მათი შერჩევის წინაპირობა განხილულია თავი 2.2-ში, ხოლო ორივე ნარჩენის ქიმიური შედგენილობა წარმოდგენილია მე-8 ცხრილში.

### **2.4.1. „შლამი - წიდას“ კომპოზიციაში მასალათა დნობით მიღება**

ექსპერიმენტის მსვლელობა მოითხოვდა შესაბამისი შედგენილობის კაზმის მიღებას. როგორც უკვე წინა გათვლებით დასაბუთდა (თავი 2.1), საცდელად შერჩეული იქნა ხუთი ნარევი, რომელთა შედგენილობაში ძირითადი (გადასამუშავებელი) კომპონენტს წარმოადგენდა მანგანუმშემცველი შლამი, ხოლო დანამატად აიღებოდა წიდა. მათი შესატყვისი ლათინურენოვანი დამწერლობიდან გამომდინარე (შლამი - mun; წიდა - slag), შერჩეულ ნარევებს მიენიჭა აბრევიატურა “MS”. შესასწავლად აღებული იქნა ხუთი ნარევი, რომელშიც 25% - იანი ბიჯით ხდებოდა შლამის ჩანაცვლება წიდით:

1. MS -1 – შლამი 100,0 წონ.% („სუფთა“ შლამი)
2. MS -2 – შლამი 75 წონ.%  
წიდა 25 წონ.%
3. MS -3 – შლამი 50 წონ.%

წიდა 50 წონ. %

4. MS -4 – შლამი 25 წონ.%

წიდა 75 წონ. %

5. MS -5 – წიდა 100,0 წონ., %, („სუფთა“ წიდა)

ხუთივე ნარევის შედგენამდე განხორციელდა მასალების წინასწარი მომზადება, რადგან ნარევების (კაზიმების) შესადგენად გამოყენებული მასალები – გრანულირებული წიდა და გამომშრალი შლამი განსხვავებული ფიზიკური მდგომარეობით გამოირჩევიან.

საკვლევ ობიექტად აღებული წიდა ძირითადად წარმოადგენდა 30 – 50 მმ ზომის მასალის ნატეხებს, ხოლო „საჰაერო - მშრალი“ მდგომარეობაში მყოფი შლამი – ფხვნილისებრი და ფხვიერი მასალაა, მაგრამ გრანულომეტრით არაერთგვაროვანი – მასში სხვადასხვა სახის ჩანართებია წარმოდგენილი.

მინის და მინაკრისტალები მასალების ტექნოლოგიაში (რომლებიც ქვის სხმულის მიღებასთან მსგავსებას ავლენს) არსებობს ასეთი სახეობის ნედლეულის გადამუშავების (მომზადების) ტექნოლოგიები. წიდის და შლამის ანალოგებად ჩვენს შემთხვევაში აღებული იქნა, შესაბამისად, მინის ლეწი და კირქვა (წიდისათვის) და ბუნებრივი (საკარიერო) ქვიშა (შლამისთვის) [82, 94].

საკვლევ მასალათა მიმართებაში, ფიზიკურად უფრო ერთგვაროვანი და ამავე დროს ბუნებრივად მშრალ მდგომარეობაში მყოფი მასალა – წიდაა. მისი საწყის მდგომარეობაში საკვლევ კაზიმებში შეტანა (ნატეხოვანი მსხვილფრაქციული ნედლეული) შეუძლებელი იქნებოდა, რადგან გაართულებდა ერთგვაროვანი კაზიმის (წმინდა ფრაქციული შლამთან ერთად) და მისგან ნადნობის მიღებას. ამიტომ, ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის წიდების შესაბამისად მომზადება (პირველ რიგში მსხვილფრაქციულიდან წმინდაფრაქციულში გადაყვანა) აუცილებელი გახდა. ზფქ-ს და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე, ღია ცის ქვეშ მყოფი წიდა, ხელოვნურ არასასურველ მინარევისაგან (მიწა, რკინის დეტალები, მერქანი ან სხვ.) თავისუფალი

ვერ იქნებოდა. აღნიშნულიდან გამომდინარე აუცილებელი გახდა საკვლე-  
ვი წილის ულუფის წინასწარი დამუშავება: გარეცხვა, მაგნიტური სეპარი-  
რება, რის შემდეგ მისაღები გახდებოდა წილის დაქუცმაცების ჩატარება.

წილის ლაბორატორიულ პირობებში მომზადება რამოდენიმე ეტაპად  
განხორციელდა, რაც საბოლოოდ შესაბამის ტექნოლოგიურ ოპერაციათა  
სქემის სახით იქნა წარმოდგენილი. ლაბორატორიულად წილის დამუშა-  
ვება შემდეგნაირად წარიმართა: აღებული იქნა 5კგ მასის ნატეხოვანი წიდა,  
რომელიც ოთხკუთხედ ცხურისებრ საცერზე დაიყარა და გამდინარე  
წყლით გაირეცხა. გარეცხილი წილის ნატეხები გაიშალა ცელოფნის ნა-  
ჭერზე და მათი შეშრობის შემდეგ, მუდმივი ძლიერი მაგნიტის რამდენ-  
ჯერმე გატარება მოხდა ნატეხებს შორის. უკვე მშრალი და მაგნიტით სეპა-  
რირებული წიდა გადატანილ იქნა სამსხვრევად, და ეს ოპერაცია ლაბო-  
რატორიულ ყბის მსხვრევაში განხორციელდა. მსხვრევანის გამოსასვლელი  
მუშა ჭრვრეტეს სიგანე (ყბესშორისი დაშორება) 1 სმ-ს შეადგენდა. წილის  
მსხვრევანაში ორჯერადი გატარების შემდეგ ის გაიცრა საცერთა ნაკრებში:

- მრგვლავხვრელიანი ლითონის ზადით (№ № 40, 20,10, 3, 2);
- უჯრედოვანი (მავთულის) ზადით (№ 1 და 0,5).

ყბებიან მსხვრევანაში ორჯერადი გატარებით დამუშავებულ 5,0 კგ წი-  
ლის საცრითი ანალიზის შედეგები შემდეგია:

ნარჩენი საცერზე № = 40 ( $\delta > 40$ მმ )	0	0
ნარჩენი საცერზე № = 20 ( $20 < \delta < 40$ მმ )	0,3	6
ნარჩენი საცერზე № = 10 ( $10 < \delta < 20$ მმ )	1,2	22
ნარჩენი საცერზე № = 5 ( $5 < \delta < 10$ მმ )	1,0	20
ნარჩენი საცერზე № = 3 ( $3 < \delta < 5$ მმ )	0,9	16
ნარჩენი საცერზე № = 2 ( $2 < \delta < 3$ მმ )	0,7	14
ნარჩენი საცერზე № = 1 ( $1 < \delta < 2$ მმ )	0,6	12
ნარჩენი საცერზე № = 0,5 ( $0,5 < \delta < 1$ მმ )	0,2	4
გასული საცერში № = 0,5 ( $\delta < 0,5$ მმ )	0,1	2
ჯამი	5,0 კგ	100.0 %



შემდგომი ლაბორატორიული კვლევებისათვის ჩვენ ავიღეთ  $0 \leq \delta \leq 3$  მმ ფრაქციულობის წიდის მარცვლების შემცველი სინჯი, რომელიც გამოვიყენეთ ლაბორატორიულ პირობებში ფრაქციულობით მეტ - ნაკლებად ერთგვაროვანი (წმინდაფრაქციული შლამის მონაწილეობით) კაზმის მისაღებად.

კაზმების შესადგენად გამოსაყენებელი შლამისათვის (ულუფა 3 კგ) შემდეგი წინასწარი მოსამზადებელი სამუშაოები ჩატარდა: შლამის გაშრობა ( $110 = 5^{\circ}\text{C}$ ; 1,5 – 2 სთ-ის განმავლობაში) საშრობში და გაცრა. გაცრის ჩატარება მიზნად ისახავდა შლამში წარმოდგენილი უცხო მინარევების მოშორებას და ამისათვის გამოყენებული იქნა საცერთა ნაკრები ბადეებით: № 5 და №3. კვლევისათვის აიღებოდა №3 საცერში გასული მასალა, ე.ი. შლამის ნაწილაკების ზომა ( $\delta$ ) 3 მმ-ზე ნაკლები იყო. აღსანიშნავია, რომ №5 და №3 საცერზე დარჩენილი შლამის, რაოდენობა მნიშვნელოვან სიდიდეს წარმოადგენს:

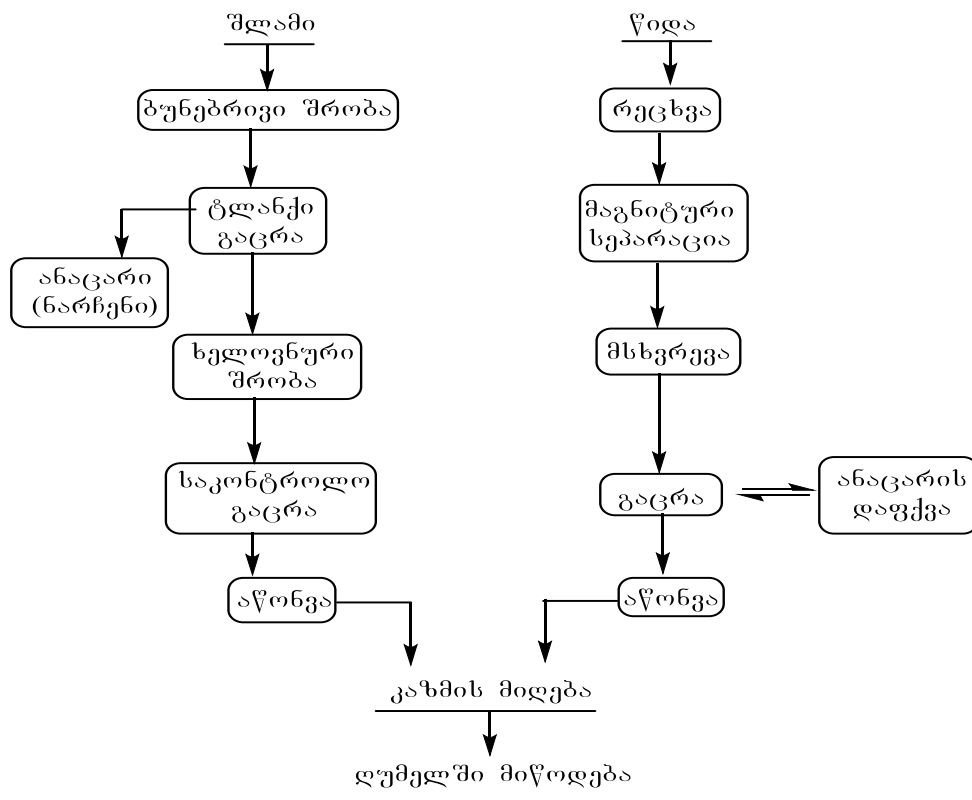
		კგ	%
- ნარჩენი საცერზე 5	} ( $\delta > 3$ მმ)	<b>0,14</b>	<b>4,5</b>
- ნარჩენი საცერზე 3			
- გასული საცერში 3	( $\delta < 3$ მმ)	<b>2,86</b>	<b>95,5</b>
<b>ჯამი</b>		<b>3,0</b>	<b>100,0</b>

ანაცარში ძირითადად გვხვდება ქვისმაგვარი და ორგანული წარმოშობის მინარევები, მაგრამ ადგილი აქვს ისეთი დაკომპტილი აგლომეტების არსებას, რომელთა გაფხვიერება გარკვეულ ძალას მოითხოვს.

ლაბორატორიულ პირობაში ჩატარებულმა მასალათა მომზადებამ, წიდის და შლამის პროტოტიპი მასალების მომზადების რეკომენდირებულ ტექნოლოგიათა შეჯერებით, შესაძლებელია მათი საკაზმე მასალაში გადაყვანის შემდეგი სქემის წარმოდგენა:

საკვლევად შერჩეულ ხუთი კომპოზიციის კაზმის (MS-1-დან MS-5-მდე) მისაღებად, გამოყენებული შლამის და წიდის ულუფების აწონვის შემდეგ (რეცეპტის მიხედვით). მოხდა კაზმის შერევა, რაც ჩატარდა ფაიფურის ფილის მეშვეობით. მიღებული კაზმების (100 გ მინის მიღებისა-

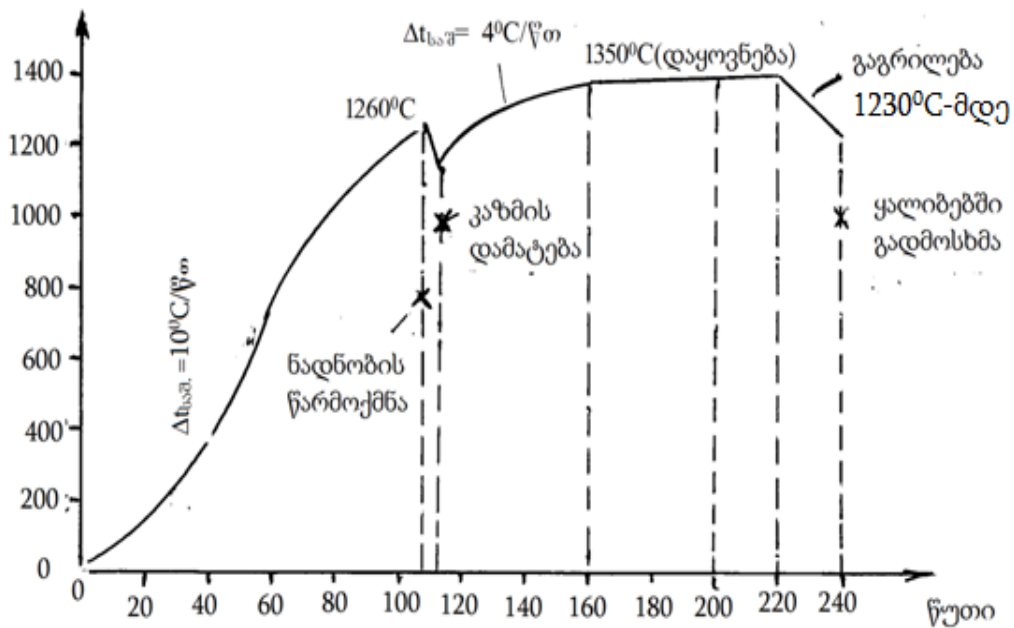
თვის აუცილებელი) 2/3 ნაწილი მოთავსდა დაახლოებით 80 მლ ტევადობის ფაიფურის ქოთნებში, რომლებიც განთავსდა ელექტროგამახურებლიან ლუმელში. ლუმელის ქვედზე მოთავსებული კაზმიანი ქოთნების გახურება და მათი ლღობის ტემპერატურამდე მიყვანა, ასევე თვით ხარშვის პროცესის ჩატარება გარკვეული თანმიმდევრობით წარიმართა. საკვლევი კაზმების ხარშვის მოსალოდნელი ტემპერატურის შეფასება გაკეთდა მათ მიერ წარმოქმნილი ნაღწობების ქიმიური შედგენილობისა და არსებული პრაქტიკული მონაცემებიდან გამომდინარე.



ნახაზი-სქემა 13. ნატეხოვანი წილის და ფხვიერი შლამის მომზადების რეკომენდირებული ტექნოლოგიური სქემა

კერძოდ, კაზმებიდან მიღებული ნაღწობები დიდი ოდენობით შეიცავენ  $Al_2O_3$  და CaO -ს (ძნელადდნობადი შემადგენელი), მაგრამ მათში ასევე წარმოდგენულია მნიშვნელოვანი ოდენობით მანგანუმის, რკინის და ტუტე ლითონთა ოქსიდები. შლამის მონაწილეობით მიღებული მინსებრი მასალების (მაგ. მინანქრების) სინთეზი მოითხოვს 1300°C-ს. აქედან, მინის

სახარში ლუმელის (სილიკატის ღეროვანი გამახურებლებიანი) შესაძლებლობიდან გამომდინარე შერჩეული იქნა 1350°C-ზე სინთეზის ჩატარება. სრულად „შლამი - წიდა“ ხუთივე შედგენილობის კაზმის ხარშვა პარალელურ რეჟიმში განხორციელდა იმ პირობიდან გამომდინარე, რომ ლუმელში ტემპერატურათა ზრდის სიჩქარე საშუალოდ დაახლოებით 10°C/წთ-ში შეადგენდა. უნდა აღინიშნოს, რომ ქოთნებში მოთავსებული კაზმების გახურების შედეგად წარმოქმნილი ნადნობების მასის გაზრდისათვის, ხარშვის პროცესში ქოთნებში დამატებით ჩაიყრებოდა (კაზმის დამატება) საწყისი ულუფიდან დარჩენილი კაზმის 1/3 ნაწილი. ასეთი მეთოდის გამოყენებით მიიღწეოდა დაახლოებით 100 გ ნადნობის მიღება. საკვლევ კაზმების ხარშვის სრული გრაფიკი წარმოდგენილია მე-14 ნახაზზე.



ნახაზი 14. „შლამი - წიდა“ კომპოზიციაში კაზმების ნადნობების მიღების ტემპერატურული რეჟიმის გრაფიკი

სრულად ხარშვის პროცესმა 4 სთ მოითხოვა და ის პირობითად ხუთ ეტაპად დაიყო:

– ლუმელში ტემპერატურის აწევა კაზმის დნობის

ტემპერატურამდე (20 – 1260°C )

– 105 წთ

- კაზმის დამატებით გამოწვეული ტემპერატურის  
ვარდნა და მისი კომპენსაცია (1260 – 1100 – 1260°C ) – 35 წთ
- ღუმელში ტემპერატურის აწევა 1350°C-მდე – 50 წთ
- ხარშვის ტემპერატურაზე დაყოვნების დრო – 30 წთ
- ღუმელის გაგრილება და მინამასის გადმოსხმისათვის  
მომზადება ( 1350°C – 1230 °C ) – 20 წთ

-----

სულ : 240 წთ (4 სთ)

უნდა აღინიშნოს, რომ კაზმების ხარშვის პროცესში გარკვეული თავისებურება გამოვლინდა, რაც უშუალოდ მათი დნობის პროცესში ქცევას უკავშირდება. პარალელურ რეჟიმში ჩატარებული ხუთივე კაზმის ხარშვით დადგინდა, რომ:

- საკვლევი კაზმებიდან ყველაზე ადრე, (დაახლოებით 1200°C-ზე) თხევად ფაზას იძლევა „სუფთა“ წიდა (შედგენილობა MS – 5), მაგრამ 1350°C-ზეც კი ნაღნობი არაერთგვაროვანი რჩება (მრავალი ბუმტის შემცველობა და მინისებრი ჩანართები);

- გახურებისას აქტიურად აფუვდება და გადმოედინება ქოთნიდან, (დაახლოებით 1200 – 1250°C ) „სუფთა“ შლამი (შედგენილობა MS – 1 );

- მეტ-ნაკლებად ერთგვაროვანი ნაღნობების მიიღება 25-75 მას. % რაოდენობით წიდის და შესაბამისად 75 – 25 მას. % შლამის შემცველ კაზმებში (MS - 2 – MS - 4 შედგენილობები).

იდენტურ პირობებში ჩატარებული ხუთი შედგენილობის ლაბორატორიული ხარშვის შედეგების მიხედვით ასევე უნდა აღინიშნოს:

- MS - 2, MS- 3 და MS - 4 შედგენილობებიდან. ყველაზე ძნელად სუფთავდება ბუმტებისაგან (ითხოვს მეტ დროს ხარშვისას) MS-2 შედგენილობა, რომელშიც შლამი/წიდა ფარდობა 3-ს შეადგენს;

- ნაღნობში გადასვლის და სუფთა ნალღობის წარმოქმნის შედარებით კარგი უნარი გამოავლინა MS -3 და MS – 4-მა შედგენილობებმა;

– ორკომპონენტური კაზმებიდან მიღებული ნაღობები (MS-2, MS-3 და MS-4) ხასიათდებიან კარგი დენადობით და ადვილად ავსებენ ყალიბებს;

– MS-1 და MS-5 მონოკაზმებიდან მიღებული ნაღობები ძნელადდენადები არიან და მათი გასუფთავების ხარისხი (ბუმტების შემცველობის გამო) დაბალია.

ჩატარებული ხარშვის შედეგად მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე საკვლევი კაზმები, ერთგვაროვანი ნაღობის წარმოქმნის უნარის მიხედვით, შემდეგი მწკრივით შიძლება წარმოვადგინოთ:

$(MS - 4) > (MS - 3) > (MS - 2) > (MS - 5) > (MS - 1)$ .

მაშასადამე, შედარებით უკეთესად სუფთავდება უხვწიდიანი კაზმებიდან მიღებული ნაღობები, რომელთა დანამატად შლამი შეიძლება ჩაითვალოს. მაშასადამე, ხარისხით გამორჩეული ნაღობის წარმოქმნის უნარით ორკომპონენტური „შლამი - წიდა“ უხვწიდიანი კომპოზიციები ხასიათდებიან, მაგრამ მინას ყველა ორკომპონენტური ნარევი იძლევა.

ჩვენს წინაშე დასმული ამოცანა ითვალისწინებდა მანგანუმშემცველი შლამის მაქსიმალურ „გაუვნებლობას“, რაც მოითხოვდა დაგეგმილი მასალის ქვის სხმულის ისეთი კაზმებიდან მიღებას, რომელთა შედგენილობა უპირატესი (დიდი) ოდენობით წარმოდგენილი უნდა ყოფილიყო მადნების გამდიდრების პროცესში მიღებული შლამი. MS - 2, MS - 3 და MS - 4 შედგენილობებს შორის ქვის სხმის ტექნოლოგიაში გამოსადეგი შედგენილობის განსაზღვრა მხოლოდ შესაბამისი ნაღობებიდან მიღებული მასალების თვისებათა შესწავლას უნდა გადაეწყვიტა.

#### **2.4.2. „შლამი - წიდა“ კომპოზიციებში მიღებული მინების საწყისი თვისებების დადგენა**

როდესაც განიხილება ქვის სხმულის ნაწარმის ვარგისიანობა, ამათუ იმ ფუნქციონალური დანიშნულებით გამოყენების პერსპექტიულობის დასადგენად, მიმართავენ მისი რიგი საექსპლუატაციო თვისებების დადგენას.

ამ თვისებათა შორის გამოარჩევენ ქიმიურ მდგრადობას და მექანიკურ სიმტკიცეს, რაც სხვა მასალებთან შედარებით (მაგ., ლითონები, მინა, კერამიკა, ბეტონი და ა.შ.) ქვის სხმულის ტიპის მასალებს უკეთესი აქვს. აქვე გასათვალისწინებელი ხდება ის გარემოება, რომ ქვის სხმული წარმოადგენს კომპოზიციურ მასალას, რომელიც სხვადასხვა ნედლეულიდან მიღებული ნაღობის სპეციალური თერმული რეჟიმით ჩატარებული გადაცივებისას წარმოიქმნება. მაგრამ არსებობს ქვის სხმულის მიღების კიდევ ერთი გზა – ნაღობის გადაცივება და შემდგომი მეორადი თერმული დამუშავება. ორივე შემთხვევაში გვაქვს ქვისმაგვარი ხელოვნური მასალა – მისი მოცულობის ძირითადი ნაწილი კრისტალურ შემადგენელზე მოდის, ხოლო მასში შედარებით მცირეა კრისტალების შემაკავშირებელი („შემკვრელი“), როგორც წესი, ამორფული ბუნების (მინისებური) ფაზა. ამიტომ, როდესაც განიხილება ქვის სხმულის ტიპის მასალების თვისებები, ყურადღება ექცევა იმ გარემოებას, რომ ჯამური თვისებების ჩამოყალიბება ხდება კრისტალური და ამორფული შემადგენლების თვისებების შერწყმით. წამყვან თვისებათა ანალიზი უფრო შედეგიანია, როდესაც ცნობილია ნაღობის სწრაფი გადაცივებით მიღებული მასალის და მისგან სპეციალური თერმული დამუშავებით წარმოქმნილი ქვის სხმულის თვისებები.

გარკვეული შედგენილობის კაზმების დნობით და მიღებული მასის ყალიბებში ჩამოსხმით და შემდგომი გადაცივებით მიღებული ნიმუშები, შერჩეული თერმული დამუშავების რეჟიმებით დამუშავებისას, გარდაიქმნებიან დაკრისტალბულ მასალაში. ე.ი. ამორფული მასალა გადადის ამორფულ-კრისტალურ მასალაში, რაც მათი სტრუქტურულ მოწყობას მკვეთრად ცვლის. აქედან, მინა - მინაკრისტალური მასალის გარდაქმნა იწვევს თითქმის ყველა ძირითად თვისებათა ცვლას. თვისებათა ცვლის ხარისხი კი ის ინდიკატორი ხდება, რომელიც გარდაქმნის ხარისხის შეფასების საშუალებას იძლევა. გადასვლის პროცესის ყოველმხრივი ანალიზისათვის ირჩევენ ერთ ან ორ მახასიათებელ თვისებას, რომელთა

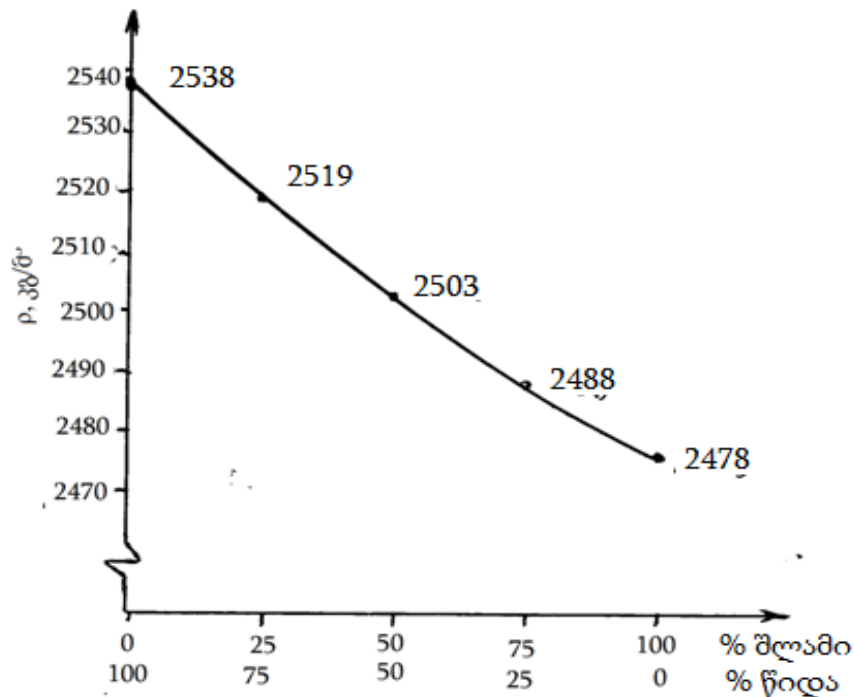
დადგენა ნაღობის გადაცივებით მიღებული მინისათვის პირველი რიგის ამოცანას წარმოადგენს [63 – 65].

საკვლევ ობიექტად აღებული „შლამი-წიდა“ კომპოზიციაში მიღებული მინების თვისება-იდიკატორად ჩვენ შევირჩიეთ სიმკვრივე, რომელიც მასალათა მოსალოდნელ გარდაქმნათა მაღალი სიზუსტით დადგენის საშუალებას იძლევა. ე.ი. მიმდინარე ეტაპზე კვლევის კონკრეტულ მიმართულებას წარმოადგენდა „შლამი-წიდა“ კომპოზიციაში მიღებული საცდელი ნიმუშების სიმკვრივის დადგენა ჰიდროსტატიკური მეთოდით. შემდგომში, ნიმუშების შერჩეული რეჟიმებით თერმული დამუშავებით (კრისტალიზაციური უნარის შეფასების შემდეგ) მიღებული მასალების ისევ სიმკვრივეთა დადგენა და მათი შედარება საწყის მნიშვნელობებთან. შეფასების კრიტერიუმს ამ შემთხვევაში წარმოადგენს სიმკვრივის მნიშვნელობათა ცვლილება-მოსალოდნელი ზრდა, როდესაც მასალათა შიდა სტრუქტურის მაქსიმალური გარდაქმნა (მოწესრიგება) სიმკვრივეთა სხვაობის ყველაზე დიდ მნიშვნელობას უკავშირდება [81, 93].

უფრო დეტალურდ, კვლევის მიმდინარე გეგმა მოიცავდა საწყისი მინის ნიმუშების სიმკვრივის დადგენას, მათი კრისტალიზაციისადმი მიდრეკილების შესწავლას, კრისტალიზაციის მაქსიმუმის ტემპერატურულ ინტერვალში ნიმუშების დამუშავების და დაკრისტალიზებული ნიმუშების სიმკვრივეთა განსაზღვრას. ბოლო ეტაპი მოიცავდა საწყისი და დაკრისტალიზებული ნიმუშების სიმკვრივეთა შედარების და სტრუქტურული გარდაქმნისადმი (მინაკრისტალური ქვის სხმულის სახეობის მასალაში ნიმუშების გარდაქმნის) ხარისხის შეფასებას. ამ გზით შესაძლებელი გახდებოდა იმ MS- შედგენილობის მასალების გამოვლენა, რომელიც პერსპექტიულნი იქნებოდნენ სასურველი მასალების მიღების თვალსაზრისით.

ხუთი სხვადასხვა შედგენილობის ორკომპონენტური „წიდა-შლამი“ კომპოზიციის MS-1 და MS-5 შედგენილობის ნიმუშების სიმკვრივეთა დადგენა ჰიდროსტატიკური აწონვის მეთოდით განხორციელდა.

ხუთივე შედგენილობის მასალათა ნიმუშების 3 – 3 ნატეხისათვის განსაზღვრული სიმკვრივეთა მნიშვნელობებიდან აიღებოდა საშუალო არითმეტიკული. უნდა აღინიშნოს, რომ შედგენილობების სიმკვრივეთა დამოკიდებულების დაკავშირება უშუალოდ მიღებული მასალათა გათვლილ ქიმიურ შედგენილობებთან (ადიტიურობით) ვერ მოხერხდა, მათი მრავალ კომპონენტურობის გამო ამავე დროს, მიღებული ექსპერიმენტალური შედეგებიდან შეიძლება ზოგადი ხასიათის შეფასების გაკეთება: შედარებით მაღალი სიმკვრივეთ ხასიათდება წიდის ნაღნობის გადაცივებით მიღებული მასალა ( $\rho=2538\text{კგ/მ}^3$ ), ხოლო დაბალი სიმკვრივე დაფიქსირდა შლამის მონოკაზმიდან მიღებული მასალის შემთხვევაში ( $\rho=2476\text{ კგ/მ}^3$ ). მიღებული განსხვავება უნდა უკავშირდებოდეს სინთეზირებული მასალების მატერიალურ და მასთან დაკავშირებულ ქიმიურ შედგენილობას, რაც მე-15 ნახაზზე წარმოდგენილი მასალიდან მკაფიოდ იკვეთება.



ნახაზი 15. "შლამი - წიდა" კომპოზიციაში მიღებული მასალების სიმკვრივეზე შედგენილობის გავლენა

როგორც აღინიშნა, გარკვეულ მდგომარეობაში მყოფი მასალები (კერძოდ ამორფული ბუნების) მიდრეკილნი არიან შიდა სტრუქტურული გარდაქმნებისათვის, რაც მათ თვისებათა ცვლას განაპირობებს. გამონაკლისი,



ამ მხრივ, არც „შლამი - წიდა“ კომპოზიციაში მიღებული მასალები (მინე-ბი) უნდა ყოფილიყვნენ.

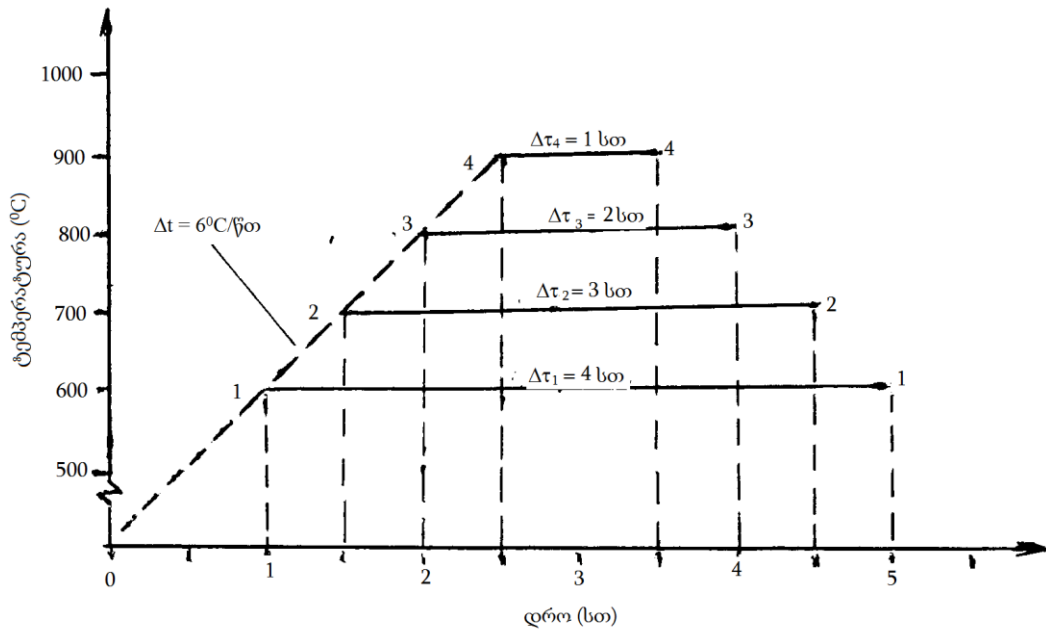
ჩვენს წინაშე არსებული საკითხის გადაწყვეტა მოითხოვდა მიღებული მასალების თერმულ დამუშავებას და ასეთინაირად დამუშავებული ნიმუშებისათვის სიმკვრივეთა მნიშვნელობების დადგენას – მოსალოდნელ მოცულობით გარდაქმნათა ფიქსირებას. მოსალოდნელ გარდაქმნათა არსებობას უნდა გამოეწვია საცდელ მასალათა გარესახის ცვლილება და საკონტროლო თვისების – სიმკვრივის მნიშვნელობათა ცვლა. ამისათვის, საცდელი ნიმუშების თერმული დამუშავება განხორციელდა 600°C და უფრო მაღალ ტემპერატურებზე, როდესაც მოსალოდნელია მასალათა შიდა სტრუქტურული გარდაქმნები [62, 63, 82].

ცნობილია, რომ ყოველგვარი შიდა სტრუქტურული გარდაქმნა უკავშირდება ტემპერატურას და გარკვეულ ტემპერატურაზე მასალას დაყოვნების დროს. ეს უკანასკნელი, როგორც წესი, სტრუქტურულ გარდაქმნათა ხარისხს განსაზღვრავს. არსებული პრაქტიკული გამოცდილების თანხმად, რაც ნაკლებია თერმული დამუშავების ტემპერატურა, მით უფრო მეტი ხანგრძლივობით, მეტ დროს საჭიროებს მინისებრი მასალების სტრუქტურათა გადაწყობა.

მოყვანილი მიდგომების გათვალისწინებით MS შედგენილობის ხუთივე მასალის ნიმუშებისათვის შერჩეული იქნა ტიპური (მაგრამ ცალკეულ შედგენილობის მასალებისათვის ინდივიდუალური) თერმული დამუშავების რეჟიმი, რომლის ჩატარების პირობები მე-16 ნახაზზეა წარმოდგენილი. გრაფიკულად წარმოდგენილი ტემპერატურათა ცვლის და დაყოვნების ხანგრძლივობის შერჩევისას შემდეგი წინაპირობით ვისარგებლეთ:

- ნიმუშების თერმული დამუშავების ბიჯი – 100°C
- ნიმუშების ცალკეულ ტემპერატურაზე დაყოვნება – (1 ÷ 4) სთ;
- თერმოდამუშავების მუფელში ტემპერატურის აწევის სიჩქარე (მაბვის რეგურებად მუფელში) განისაზღვრა 5÷6 °C /წთ.

ექსპერიმენტის ჩატარებისას ნიმუშები (3 -3 ცალი თითოეული შედგენილობიდან) განთავსდებოდა უჭიქური ფაიფურის ფილაზე, შემდეგ თავსდებოდა „ცივ“ ღუმელში, რის შემდეგ ღუმელში მიიღწეოდა სასურველი ტემპერატურა.



ნახაზი 16. MS - შედგენილობის ნიმუშების თერმული დამუშავების სქემა - გრაფიკი

ღუმელის გამახურებელზე მიწოდებული ძაბვის რეგულირება შუალედური ტრანსფორმატორით ხდებოდა, რაც საშუალებას იძლევა მასში დაახლოებით 6°C/წთ სიჩქარით ტემპერატურის ზრდის მიღწევას. სასურველ ტემპერატურაზე მიყვანილი ნიმუშები შერჩეულ ტემპერატურაზე ყოვნდებოდა:

- 600 °C -ზე დაყოვნება შეადგენდა 4 სთ-ს;
- 700 °C -ზე დაყოვნება შეადგენდა 3 სთ-ს;
- 800 °C -ზე დაყოვნება შეადგენდა 2 სთ-ს;
- 900 °C -ზე დაყოვნება შეადგენდა 1 სთ-ს.

გარკვეული დროით შერჩეულ ტემპერატურაზე დაყოვნების შემდეგ, ნიმუშებიანი ფაიფურის ფილის ღუმელიდან გამოტანა და თერმულად და-

მუშავებული ნიმუშების ჰაერზე გაცივება ხდებოდა. ამის შემდეგ, ცალკეული შედგენილობის 3 ცალი ნიმუშის გარე სახე ვიზუალურად შეფასდებოდა და მათი სიმკვრივის განსაზღვრა ხდებოდა. სიმკვრივის სიდიდეთა დადგენის შემდეგ ნიმუშები იმსხვრეოდა და უკვე გადანატეხების ადგილზე მათი უკვე ვიზუალურად შეფასება ხდებოდა. თერმული დამუშავებით გამოწვეული საცდელ მასალათა სახეცვლილების შეფასება ცნობილი (ასეთ შემთხვევაში მიღებული) „სკალის“ გამოყენებით განხორციელდა [67, 87].

ნიმუშებით შეფასებს სკალის მიხედვით თერმოგარდაქმნათა ექვსი სახეობა შეიძლება არსებობდეს, რაც 26-ე ცხრილშია მოყვანილი. აღნიშნული სკალის მეშვეობით შეფასებული საკვლევი ნიმუშების თერმოდამუშავებით შესაძლო გარდაქმნები იგივე ცხრილში სახით არის წარმოდგენილი.

**ცხრილი 26. თერმული დამუშავების გამოწვეული ნიმუშების ხარისხობრივი სახეცვლილების შეფასების პირობითი სკალა**

შეფასების კატეგორია (ბალებში)	თერმული დამუშავებით მიღებული გარდაქმნათა ხარისხი
I	ნიმუში უცვლელია
II	ნიმუშის ზედაპრის ცალკეულმა მონაკვეთებმა შეიცვალა სახე
III	ნიმუშის ზედაპირმა სრულად შეიცვალა სახე
IV	ნიმუშის ზედაპირისაგან მიმდებარე სიღრმისეული შრე წარმოიქმნა
V	ნიმუშის მოცულობის ნახევარმა სახეცვლილება განიცადა
VI	ნიმუშის მთლიანმა მოცულობამ სახეცვლილება განიცადა.

თერმული დამუშავებით მიღებული საკვლევ ნიმუშთა სახეცვლილება, რაც 27-ე ცხრილშია მოყვანილი, შემდეგი შედეგები მოგვცა:

- 600 და 700°C-ზე თერმოდამუშავება ვიზუალურად შესამჩნევ ნიმუშების სახეცვლილებას არ იწვევს;
- 700°C სახეცვლილება დაფიქრდა მხოლოდ MS - 1 და MS -2 შედგენილობის ნიმუშებისათვის;
- 800°C-ზე სახეცვლილება (სხვადასხვა ხარისხით) დაფიქსირდა ყველა საცდელი ნიმუშისათვის (MS - 1; MS - 2; MS - 3; MS - 4;

MS - 5);

– 900 °C -ზე თერმოდამუშავებელი ნიმუშებიდან გარდაქმნის

(სახეცვლილების) ხარისხს ინარჩუნებ ან აღრმავებს ყველა

შედგენილობის ნიმუშები;

– ნიმუშების სრული მოცულობით გარდაქმნა არც ერთი შედგენილობისათვის არ დაფიქსირდა.

**ცხრილი 27. „შლამი - წიდა“ კომპოზიციის ნიმუშების თერმოგარდაქმნათა ხარისხის თვისებრივი შეფასება**

№	თერმოდამუშავების პირობები		ნიმუშებიდან ინდექსები და თერმოგარდაქმნათა შემდარებელი ბალები				
	t°C	τ, სთ	MS-1	MS-2	MS-3	MS-4	MS-5
1	600	4	I	I	I	I	I
2	700	3	II	III	II	I	I
3	800	2	III	IV	IV	III	II
4	900	1	III	V	IV	III	III

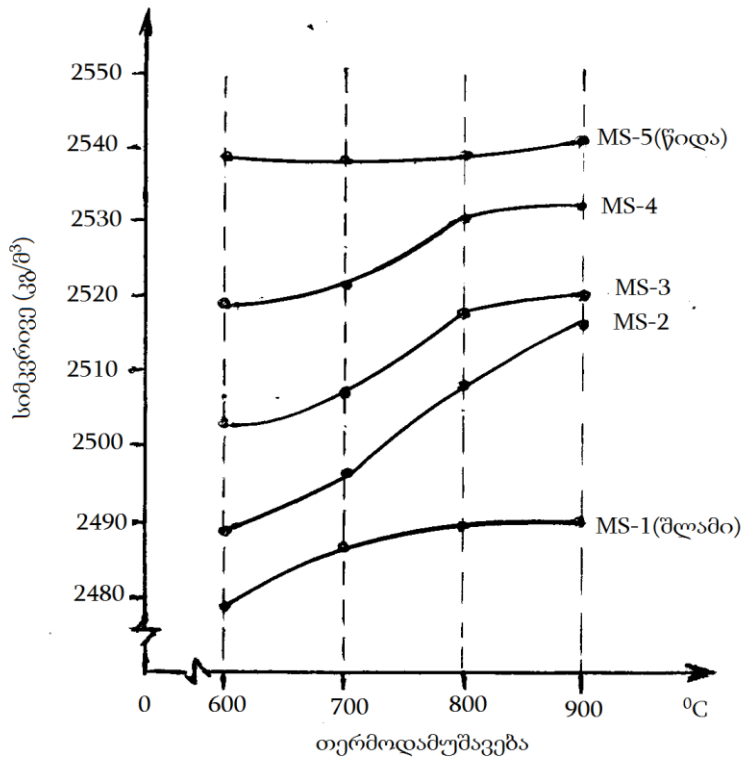
ცხრილში მოყვანილი შედეგებიდან ყურადღებას იქცევს MS - 2, MS - 3 და MS - 4, ანუ შლამის და წიდის ნარევიდან მიღებული ნიმუშები და მათ შორის MS - 2, MS-3 შედგენილობების (მათ კაზმში შლამის შემცველობა 75 და 50 მას. %-ა) გამოყოფა შეიძლება, რომლებშიც მაქსიმალური ხარისხის მოცულობითი სახეცვლილება დაფიქსირდა.

**ცხრილი 28. თერმული დამუშავების გავლენა საცდელი ნიმუშების სიმკვრივეზე**

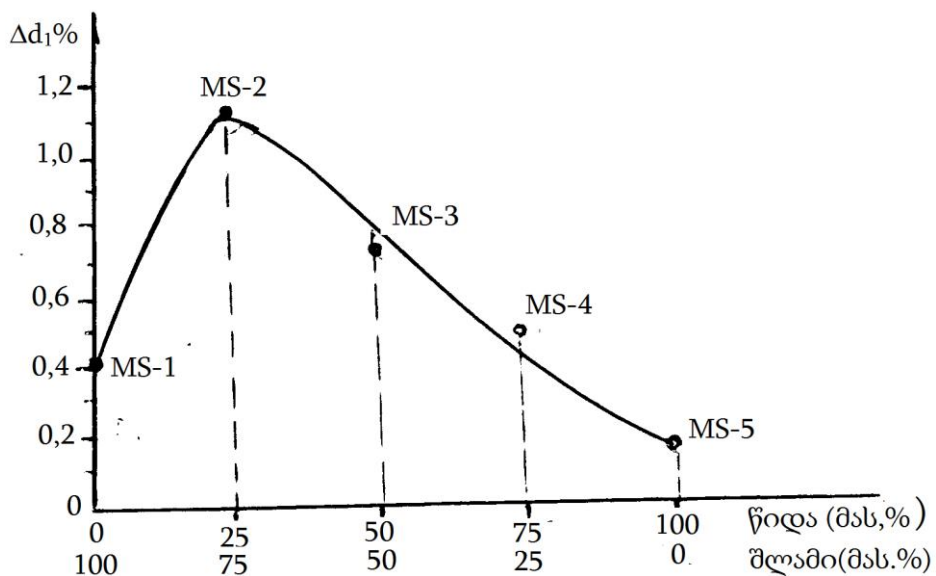
ნიმუშების თერმული დამუშავების პარამეტრები		სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>				
t, °C	τ, სთ	ნიმუში MS-1	ნიმუში MS-2	ნიმუში MS-3	ნიმუში MS-4	ნიმუში MS-5
600	4	2478	2488	2503	2519	2538
700	3	2482	2496	2507	2521	2536
800	2	2488	2508	2518	2530	2538
900	1	2490	2516	2520	2531	2540

საცდელი ნიმუშების თერმული დამუშავებით გამოწვეული სტრუქტურული ტრანსფორმაციათა უკვე ოდენობითი შეფარდების მოსაძიებლად

ჩატარდა სხვადასხვა რეჟიმებით დამუშავებული თვისების ნიმუშებისა-  
თვის საკონტროლო თვისების- სიმკვრივის სიდიდეთა დადგენა.



ნახაზი 17. თერმული დამუშავების ტემპერატურის გავლენა საკვლევი ნიმუშების სიმკვრივეზე



ნახაზი 18. საწყისი მინების და 800-900°C-ზე თერმულად დამუშავებით მიღებული MS-შედგენილობის მასალების სიმკვრივის მნიშვნელობათა ზრდის ( $\Delta d$ , %) მაჩვენებლები.

სხვადასხვა თერმული რეჟიმებით დამუშავებული ნიმუშების სიმკვრივე წარმოდგენილია 28-ე ცხრილში, ხოლო მათი ვიზუალიზაცია გრაფიკულად განხორციელდა (ნახ. 17). თერმოდამუშავებული მასალების კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ თერმული დამუშავება განსაკუთრებით შესაძლებელია ცვლის ისეთი ნიმუშების სიმკვრივეს, რომლებიც „შლამი - წიდა“ ნარევიდან იქნა მიღებული. მაგრამ, თერმული დამუშავების ტემპერატურათა ზრდით გამოწვეული სიმკვრივის განსაკუთრებული მატება შეიმჩნევა MS - 2 და შედარებით ნაკლებად MS - 3 შედგენილობებისათვის. უმნიშვნელოდ იცვლება სიმკვრივე (თერმოდამუშავების პირობებთან მიმართებაში) MS - 1 და MS - 5 შედგენილობის ნიმუშებში, ე.ი. შლამის (MS-1) და წიდის (MS - 5) მონოკაზიმების დნობის შედეგად მიღებულ მასალებში. მიღებული შედეგების დასტურად შეიძლება მოყვანილი იქნას მე-18 ნახაზზე წარმოდგენილი სიმკვრივეთა ცვლის და შედგენილობათა დამოკიდებულების გრაფიკი, რომლიდან ჩანს, რომ შიდა სტრუქტურული გარდაქმნებისადმი ( $\Delta d = mak$ ) განსაკუთრებულ მიდრეკილებას MS-2 შედგენილობა იჩენს.

მიღებული შედეგების მიხედვით, ქვის სხმულის მისაღებად პერსპექტიულად შეიძლება მივიჩნიოთ MS - 2 და MS - 3 შედგენილობები, რომელთა შედგენილობები მიდრეკილნი არიან ხარისხიანი ნადნობების წარმოქმნისადმი და ასევე თერმული დამუშავების მათი სტრუქტურები უფრო მკვეთრად ავლენენ მიდრეკილებას მოცულობითი ტრანსფორმაციისაკენ (სიმკვრივის ცვლის ტენდეციების გათვალისწინებით).

მაგრამ კვლევის ამოცანებიდან გამომდინარე, კერძოდ კი შლამის სასურველი მაქსიმალური უტილიზაციის გათვალისწინებით, ჩვენს მიერ უპირატესობა MS-2 (შლამი 75 და წიდა 25 მას. %) შედგენილობას მიენიჭა. ამასთან ეს შედგენილობა კარგად იხარშება, 800 – 900°C ტემპერატურებზე კრისტალიზაციისადმი მაღალ მიდრეკილებას ავლენს (28-ე ცხრილის მიხედვით შეფასდა IV და V ბალით) და დაკრისტალებისას (სხვა შედგენილობებთან შედარებით) მინის სტრუქტურა შედარებით ღრმა სტრუქ-

ტურულ გარდაქმნებს (მე-18 ნახაზის მიხედვით სიმკვრივის ზრდა ( $\Delta d$ ) მაქსიმალურია და 1,13%-ს უტოლდება) უნდა განიცდიდეს.

ამავე დროს, 75 მას. % შლამის და 25 მას. % წილის შემცველი კაზმიდან მიღებული მინამასალის ქვის სხმულის ნაწარმისათვის მიკუთვნება და შესაბამისი რეკომენდაციების გაცემა აუცილებელს ხდის მიზნობრივი კვლევის ჩატარებას. კერძოდ, ამისათვის საჭირო გახდება მათი შედგენილობის და თერმული დამუშავების რეჟიმების დაკონკრეტება და ოპტიმალური პარამეტრების დადგენა. აღნიშნულზე პასუხი უნდა გაეცა მინების თერმოგრაფიული ანალიზის მეთოდებით შესწავლას. შედგენილობაში ნუკლეატორის შეტანით და ასეთი შედგენილობის მინის დაკრისტალების უნარს. ასევე მნიშვნელოვანი ხდება იმ ფაზათა დადგენა, რომლებიც საკვლევ მასალათა თერმულ დამუშავებისას წარმოიქმნება და ძირითადად მათი თვისებების განმსაზღვრელი ფაქტორად მოგვევლინება.

და ბოლოს, პეტრურგიული ნაწარმის - ქვის სხმულის მიღების შესაძლებლობაზე პასუხი უნდა გაეცა ოპტიმალური თერმული დამუშავებით მიღებული ნაწარმის ძირითად მახასიათებელ თვისებებს – თუ რამდენად შეესატყვისება მიღებული MS-2 შედგენილობის მასალა ცნობილი შედგენილობის და იდენტური დანიშნულების მასალებს.

#### **2.4.3. „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის შედგენილობის კორექტირება და კრისტალიზაციის ოპტიმალური პირობების დადგენა**

ჩვენს მიერ სინთეზირებულ მინებთან მიმართებაში ჩატარებული კრისტალიზაციური უნარის შესწავლით (შედეგები მოყვანილია 27-ე ცხრილში) დადგინდა, რომ ხუთივე შედგენილობის მინები 900°C-ზე თერმოდამუშავებისას ბოლომდე არ კრისტალდებიან - სრული მოცულობითი კრისტალიზაცია მიღწევადი არ აღმოჩნდა. აღნიშნულმა გარემოებამ მოითხოვა შედგენილობებში დამატებით კრისტალიზაციის კატალიზატორის შეყვანა. თუ გავითვალისწინებთ ლიტერატურის მონაცემებს, ქვის სხმულის ფაზურ შედგენილობაში სასურველია პიროქსენული კრისტალური ფაზების

წარმოქმნა და ამავედროულად ამისთვის რეკომენდაცია ეძლევა ორი სახეობის ნუკლეატორს:  $\text{CaF}_2$  (2 მას. %) და  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0,5 – 0,6 მას. %) [68, 83].

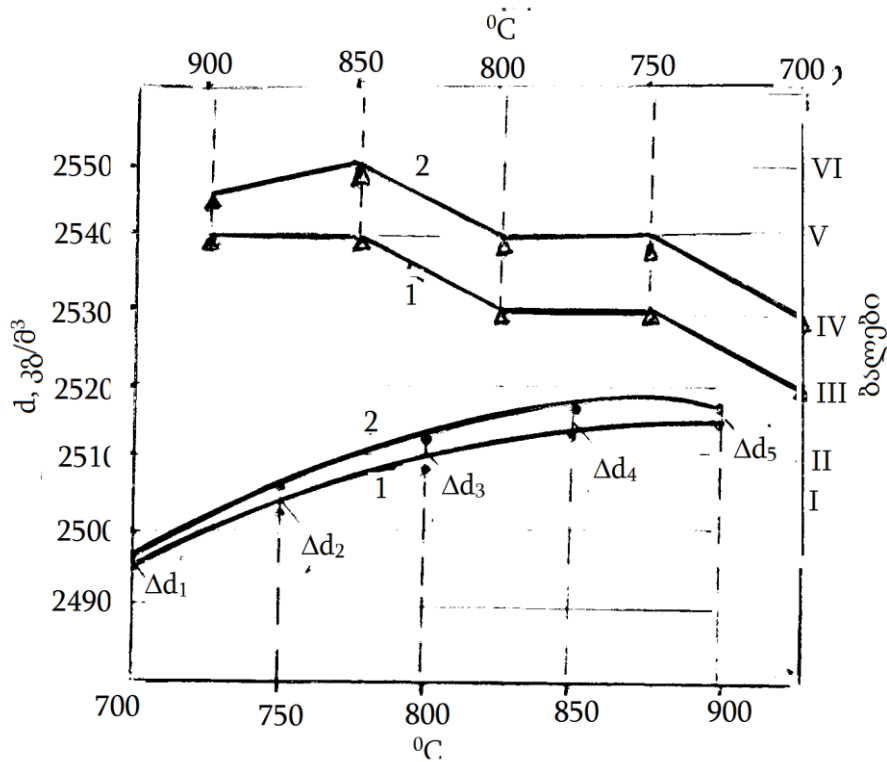
არსებული რეკომენდაციების გათვალისწინებით და MS-2 შედგენილობის სრული მოცულობითი კრისტალიზაციის მისაღწევად, ჩვენ შემდგომ კვლევებში გამოვიყენეთ,  $\text{CaF}_2$  ეკოლოგიურდ მისაღები  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  და შევისწავლეთ შემდეგი შედგენილობის კაზმებიდან მიღებული მინა და მინამასალა (შედგენილობა ინდექსით MSC-2):

შლამი	—	75 მას. %	}	100 მას. %
წიდა	—	25 მას. %		
$\text{Cr}_2\text{O}_3$ — 0,6 მას. %, 100 % კაზმის ზემოთ				

MSC-2 შედგენილობიდან მინის სინთეზის პირობები MS-2 შედგენილობის იდენტური იყო ( $1350^\circ\text{C}$ , ხარშის ტემპერატურაზე დაყოვნების დრო 30 წთ). დაყალიბებული ნიმუშებს ჩაუტარდა მოწვა ( $550^\circ\text{C}$ , დაყოვნება 2 სთ), რის შემდეგ განხორციელდა მათი თვისების შესწავლა.

MSC-2 შედგენილობის მინისათვის პირველ რიგში დადგინდა მისი კრისტალიზაციური უნარი  $700\text{--}900^\circ\text{C}$  ტემპერატურულ ინტერვალში (ტემპერატურული ბიჯი  $50^\circ\text{C}$ -ს შეადგენდა). კრისტალიზაციის ნუკლეატორის შემცველმა მინამ (შედგენილობა MSC-2) გამოავლინა მაღალი კრისტალიზაციური უნარი, რაც კონკრეტულად გამოიკვეთა იმ ფაქტში, რომ V ბალით შეფასებული კრისტალიზაციის დონემ ჩამოიწია  $750\text{--}800^\circ\text{C}$ -ზე, ხოლო  $850^\circ\text{C}$ -ზე დაფიქსირდა MSC-2 მინის სრული მოცულობითი წვრილმარცვლოვანი კრისტალიზაცია, რაც შედეგის დადებითად შეფასების საშუალებას იძლევა. ორივე MS-2 და MSC-2 შედგენილობის მინების კრისტალიზაციური უნარის შესწავლის და ბალური სისტემით შეფასების შედეგები წარმოდგენილია მე-19 ნახაზზე.





ნახაზი 19. MS-2 (1) და MSC-2 (2) შედგენილობის მინების სიმკვრივეს ( $d$ ) და კრისტალიზაციური უნარის (ბალები) დამოკიდებულება თერმული დამუშავების ტემპერატურაზე

შენიშვნა: (.) - სიმკვრივე; ( $\Delta$ ) - ბალები.

აქვეა მოყვანილი ორივე საკვლევი მინის იგივე თერმული რეჟიმებით დამუშავებული მინების სიმკვრივეები. სიმკვრივეთა ტემპერატურასთან დამოკიდებულების მრუდების განლაგების მიხედვით შეიძლება ითქვას, რომ MSC-2 (ნუკლეატორის შემცველი) მინას სიმკვრივეთა უფრო მაღალი მნიშვნელობით აქვს, ვიდრე MS-2 მინას. ამავე დროს, სიმკვრივეთა სხვაობა ( $\Delta d$ ) განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ნიმუშების 800 და 850°C დამუშავებისას. მიღებული შედეგებიდან შეიძლება გაკეთდეს შუალედური დასკვნა: ნუკლეატორის (0,6 მას. %  $Cr_2O_3$ ) შეყვანა მინებში მნიშვნელოვნად უწყობს ხელს მინის კრისტალიზაციას და შესაბამისად ქმნის ხარისხიანი პეტროგრაფიული ნაწარმის მიღების შესაძლებლობას.

ჩატარებული კვლევით მიღებული შედეგი ზოგადი ხასიათის მატარებელია და ვერ იძლევა პასუხს კითხვაზე, თუ რომელ ტემპერატურულ ინტერვალში რეალურად შესაძლებელია მონოკრისტალური ბუნების ქვის

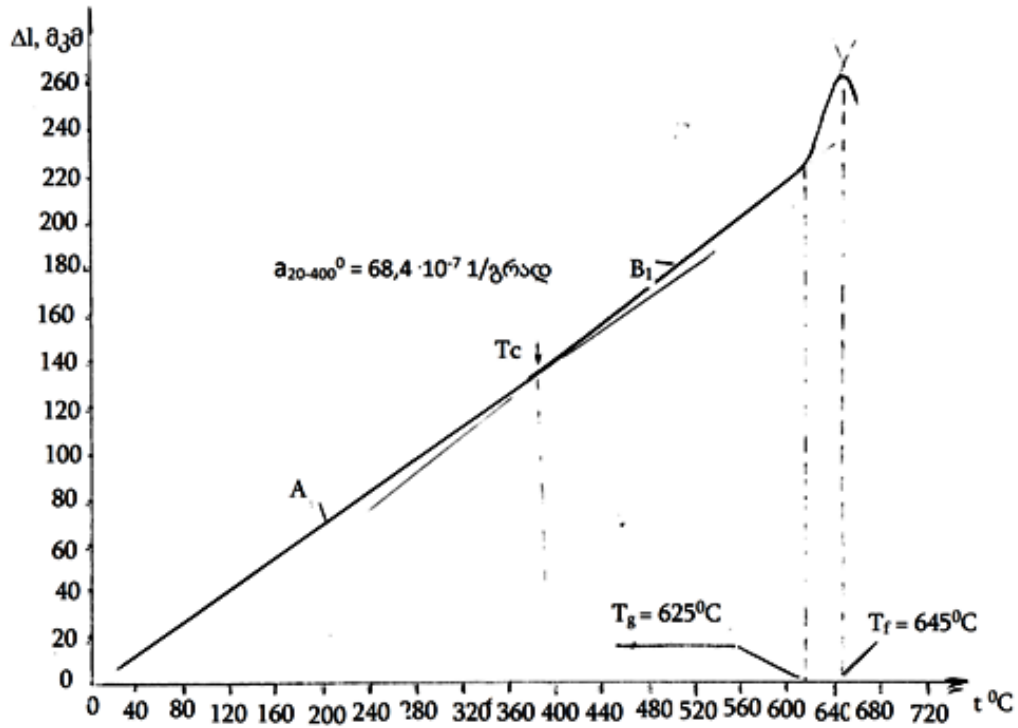
სხმულის მიღება და რა სახის კრისტალური ფაზების არსებობას აქვს ადგილი MSC-2 შედგენილობაში.

კიდევ ერთი პრაქტიკულად მნიშვნელოვანი საკითხი უშუალოდ უკავშირდება ნადნობიდან მიღებული ნაწარმის თერმული დამუშავების ისეთ პირობას, როგორცაა მინის ნადნობის გადაცივებით მის ჯერ პლასტიკურ, ხოლო შემდგომ მყარ მდგომარეობაში გადასვლა. ბოლო საკითხის მნიშვნელობას განსაზღვრავს ის ცნობილი ფაქტი, რომ დაყალიბებულმა ნაწარმმა ქვის სხმულის მიღების ტექნოლოგიურ პროცესში არ უნდა დაკარგოს ფორმა (დაბალი სიბლანტეები) ან არ დაიმსხვრეს (დაბალი ტემპერატურები და შესაბამისად მაღალი სიბლანტეებით გამოწვეული).

მოყვანილი წინაპირობიდან გამომდინარე ჩატარდა მიზნობრივი კვლევა-შესწავლილი იქნა MSC-2 შედგენილობის მინის თერმული ხაზობრივი გაფართოება და ჩატარდა თერმული ანალიზი. უკვე გარკვეული რეჟიმით დაკრისტალბულ MSC-2 შედგენილობის მინაკრისტალური მასალას დაუდგინდა მასში არსებული კრისტალების სახეობა.

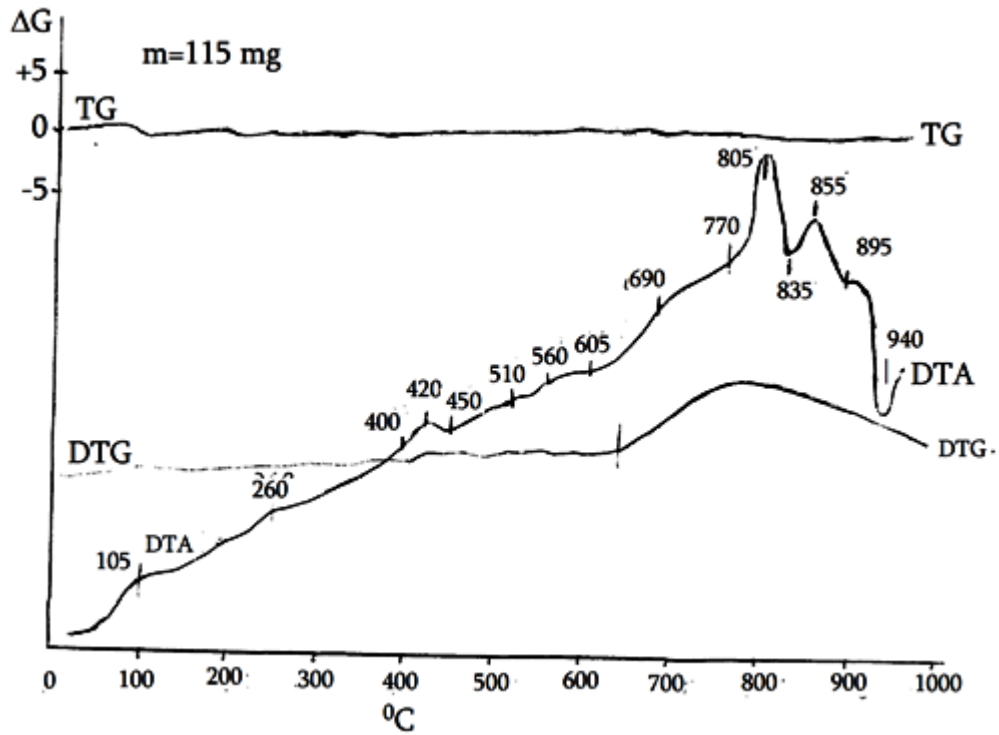
MSC-2 საწყისი მინის თერმული გაფართოების მრუდის სვლა ძირითადად არ განსხვავდება სილიკატური მინებისათვის ცნობილი „ $\Delta l - t$ “ დამოკიდებულებიდან და დაბალტემპერატურულ უბანში მას სწორხაზოვანი სვლა ახასიათებს, რაც მე-20 ნახაზზე წარმოდგენილი შედეგიდან ჩანს (მონაკვეთი A). „დაგრძელება-ტემპერატურა“ დამოკიდებულება ასევე სწორხაზოვანია. გარდატეხის წერტილიდან ( $T_c \approx 400^\circ\text{C}$ ) გამინების მახასიათებელ ტემპერატურამდე ( $T_g$ ) (მონაკვეთი B). დაგრძელების მრუდზე არსებული ტეხილი მინის დიფერენცირებულ სტრუქტურაზე უნდა მიუთითებდეს, როდესაც მასში სხვადასხვა შედგენილობის შემადგენლები განსხვავებული გაფართოებით ხასიათდებიან. საკვლევი მინის თბური ხაზობრივი გაფართოების მრუდის მეშვეობით გათვლილი იქნა ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი ( $\alpha = 68,4 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) და რაც მნიშვნელოვანია ორი ტექნოლოგიური მახასიათებელი: გამინების ტემპერატურა ( $T_g = 625^\circ\text{C}$ ) და მინის ტრანსფორმაციის ტემპერატურა ( $T_f = 645^\circ\text{C}$ ). მათგან  $T_g$ -ს

მნიშვნელობით შეირჩევა მინის მოწვის უმაღლესი ტემპერატურა, ხოლო  $T_f$ -ით განისაზღვრება მინის ნაწარმის ყალიბიდან ამოღების და ფორმის შენარჩუნების უნარი [62].

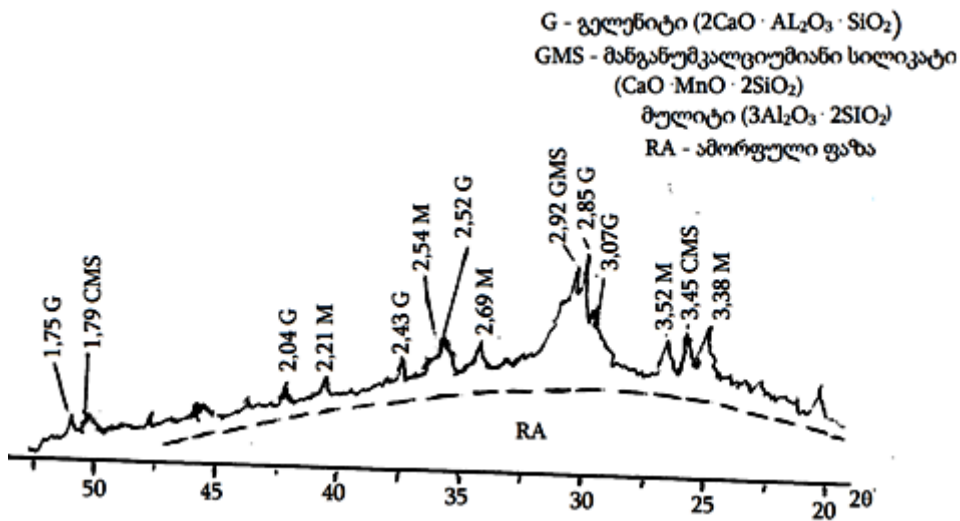


ნახაზი. 20. MSC-2 შედგენილობის მინის თბური ხაზობრივი გაფართოების მრუდი

თერმული ანალიზის შედეგები, MSC-2 შედგენილობის მინისათვის, წარმოდგენილია მე-21 ნახაზზე. სამი მახასიათებელი მრუდიდან (DTA, TG, DTG) ჩვენთვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა ჰქონდა DTA მრუდს ანუ გახურების დიფერენციალურ მრუდს. მას უნდა გაეცა პასუხი კითხვაზე - როგორია ტემპერატურათა ის ჭეშმარიტი ინტერვალი, როდესაც საკვლევ მინაში იწყება და მთავრდება კრისტალების წარმოქმნა-ჩამოყალიბება.



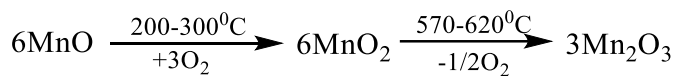
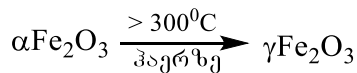
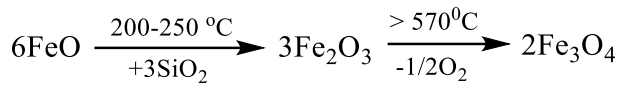
ნახაზი 21. MSC-2 შედგენილობის მინის თერმული ანალიზის მონაცემები



ნახაზი 22. დაკრისტალებული MSC-2 მინის დიფრაქტოგრამის ფრაგმენტი

MSC-2 შედგენილობის მინის სამი მახასიათებელი DTA, DTG და TG მრუდეებიდან განსაკუთრებით ინფორმაციული აღმოჩნდა DTA -მრუდი, რომელზეც შეიძლება გამოიყოს ორი უბანი: 690°C-მდე და 690 - 950°C შემოფარგლული მონაკვეთებით. 690°C-მდე მრავალი მცირე ინტესივობის თერმოეფექტები ფიქსირდება, რომელიც საცდელი ნიმუშის (მინის ფხვნილი)

მარცვლების ზედაპირზე მიმდინარე პროცესებს უნდა უკავშირდებოდეს. აღნიშნულის წინაპირობას ქმნის მინის შედგენილობაში წარმოდგენილი მანგანუმის და რკინის ოქსიდები, რომელთა რიგი თერმული ჟანგვა-აღდგენის რეაქციები აღნიშნულ (690°C-მდე) ტემპერატურულ ინტერვალ-ზე მოდის [6]:



ამავე დროს, მოსალოდნელი დაბალტემპერატურული ზედაპირული პროცესები იმდენად ნაკლებად ინტენსიურია, რომ მათი გამოკვეთილი ასახვა TG და DTG მრუდებზე არ მოხდა.

განაკუთრებით ინფორმაციულია DTA მრუდის 605°C-ზე ზემოთ მიმდინარე პროცესების ხასიათი. აქ შეგვიძლია გამოვყოთ 605 – 690°C სუსტი ენდოფექტი, რომელიც საკვლევი მინის მყარი მდგომარეობიდან პლასტიკურ და შემდგომ გამღვალ მდგომარეობაში გადასვლით შეიძლება ყოფილიყო გამოწვეული. მომდევნო ტემპერატურული მონაკვეთი, რომელიც ფაქტიურად 690°C-დან იწყება და 770°C-ით მთავრდება – მინაში, სტრუქტურული გადაწყობას დასაწყის უნდა უკავშირდებოდეს, რადგან 690°C-ზე ზემოთ მინა ბლანტი ნადნობითაა წარმოდგენილი. DTA მრუდის სვლის მიხედვით, განსაკუთრებულ ყურადღებას იქცევს 770-895°C-ანი ინტერვალ-ი, სადაც ორი სხვადასხვა ინტენსივობის პიკია განლაგებული. ორივე თერმოექტი ეგზოთერმულ პროცესებს უნდა უკავშირდებოდეს. რაც მინაში კრისტალიზაციის პროცესის მიმდინარეობაზე მიუთითებს. მათგან თავისი ინტენსივობით გამოირჩევა 770-835°C ინტერვალ-ი რომლის პიკის მაქსიმუმი 805°C-ზე მოდის. მომდევნო ეგზოფექტი უფრო სუსტია და განლაგდება 835-895°C ან მონაკვეთში (პიკის მაქსიმუმი 855°C-ზეა). მრუდის შემდგომი

სვლა მიუთითებს, რომ 895°C-დან მოსალოდნელია მინის საბოლოო დნობა, რომლის ამსახველი ენდოფექტის მაქსიმუმი 940°C-ზე ფიქსირდება.

ფართო ტემპერატურულ ინტერვალში (770-დან 895°C) განლაგებული ორი ეგზოფექტის პიკი შესაძლებელს ხდის გამოთქვას გარკვეული მოსაზრება: MSC-2 შედგენილობის მინის ინტენსიური მიზნობრივი კრისტალიზაციის ჩატარება, მისგან ქვის სხმულის მისაღებად, შესაძლებელია ვიწრო 800-860°C ტემპერატურულ ინტერვალში. ამ დროს მოსალოდნელი ხდება პოლიკრისტალური (ორი ეგზოპიკი) შედგენილობის ქვის სხმულის მიღება.

აღნიშნული ვარაუდის დასტური 850°C ± 10°C-ზე თერმული დამუშავებით (დაყოვნება აღნიშნულ ტემპერატურაზე 2 სთ) მიღებული მასალების რენტგენოგრაფიული ანალიზს უნდა მოეცა. რენტგენოგრაფიული ანალიზით მიღებული დიფრაქტოგრამა მოყვანილია მე-22 ნახაზზე.

მიზნობრივად დაკრისტალებული MSC-2 შედგენილობის მინის რენტგენოგრაფიული ანალიზით მიღებულ დიფრაქტოგრამაზე წარმოდგენილი მახასიათებელი პიკების სიბრტყესშორისი მანძილების ( $d_{hkl}$ ) მეშვეობით მოხდა დაკრისტალებისას წარმოქმნილი კრისტალური ფაზების იდენტიფიკაცია. მიღებული შედეგებიდან ჩანს, რომ MSC-2 მინის დაკრისტალებისას ადგილი აქვს სამი კრისტალური ფაზის არსებობას: გელენიტი ( $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ ), მანგანუმკალციუმიანი სილიკატი ( $CaO \cdot MnO \cdot 2SiO_2$ ), და მულიტი ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ). მათგან მანგანუმკალციუმიანი სილიკატი შეიძლება მიეკუთვნოს პიროქსენებს, რომელთა ზოგადი ფორმულა შემდეგნაირად ჩაიწერება:  $AB[Si_2O_6]$ . თუ ვიმსჯელებთ პიკების ინტენსივობით - გელენიტი ძირითად კრისტალურ ფაზათ შეიძლება მივიჩნიოთ. რაც შეეხება მულიტის ალუმინსილიკატური კრისტალური ნაერთია, მაგრამ გელენიტთან და მანგანუმკალციუმიანი სილიკატთან შედარებით მისი რაოდენობა მცირე უნდა იყოს.

მაშასადამე, „წიდა-შლამი“ ნარევიდან შესაძლებელია ისეთი მინის სინთეზი (კერძო შემთხვევისათვის MSC-2 მინა მიიღება 75 მას. % შლამისა

და 25 მას. % წიდისაგან), რომლის 820-850°C-ზე დაკრისტალეზით შესაძლებელია პოლიკრისტალური ფაზური შედგენილობის მასალის მიღება. მაგრამ, მიღებული მასალის ქვისსხმულის ტიპის მასალათა კატეგორიას მიეკუთვნება საჭიროებდა მათი თვისებების დადგენას და არსებულ სახეობათა ქვის სხმულის მახასიათებლების თვისებებთან შედარებას.

#### **2.4.4. „შლამი-წიდა“ შედგენილობიდან მიღებული მინაკრისტალური მასალის მახასიათებელი თვისებები და მისი საწარმოო პირობებში მიღების ტექნოლოგიური საკითხები.**

ქვის სხმულის სახეობის მასალების მიმართ ორი ძირითადი განმსაზღვრელი პირობა არსებობს. მათგან პირველი პირობა ითვალისწინებს ძირითადად სამრეწველო და საწარმოო ნარჩენებიდან ნაღობის მიღებას, მის დაყალიბების (ნაწარმისათვის საჭირო ფორმის მიცემის) და საბოლოო ოპერაციის- დაკრისტალეზის ჩატარებას. ამ უკანასკნელი ოპერაციის დანიშნულებაა - მიღებულ იქნას თვისებებით გამორჩეული ნაწარმი. მეორე პირობა კი უშუალოდ მასალის მიღების ეკონომიკური მხარით და საექსპლუატაციო თვისებებით განისაზღვრება.

ცნობილია, რომ ქვის სხმულის ნაწარმი დანიშნულების მიხედვით ორ ძირითად ჯგუფად იყოფა და ესენია: ცვეთამედეგი და თერმომედეგი მასალები და ნაკეთობა. ორივე მათგანს ერთნაირი მახასიათებელი თვისებებით აფასებენ, მაგრამ არსებული მოთხოვნები საგრძნობლად განსხვავდება.

ჩვენ მიერ ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული საცდელ ნიმუშებს ჩაუტარდათ კვლევა, მაგრამ ექსპერიმენტალური გზით მიღებული სრული შედარებითი კვლევა ვერ მოხერხდა და აღნიშნულის მიზეზი შესაბამისი ბაზის არასრულყოფილება იყო. არსებული ლიტერატურის მონაცემების მიხედვით ქვის სხმულის ნაწარმს 10 განსხვავებული მაჩვენებლობით აფასებენ. ორი სახეობის (ცვეთამედეგი და თერმომედეგი) ქვის სხმულის არსებული მასალების მაჩვენებლების სრული ჩამონათვალი და თვისებათა სიდიდეთა საჭირო ზღვრები ნაჩვენებია 29-ე ცხრილში.

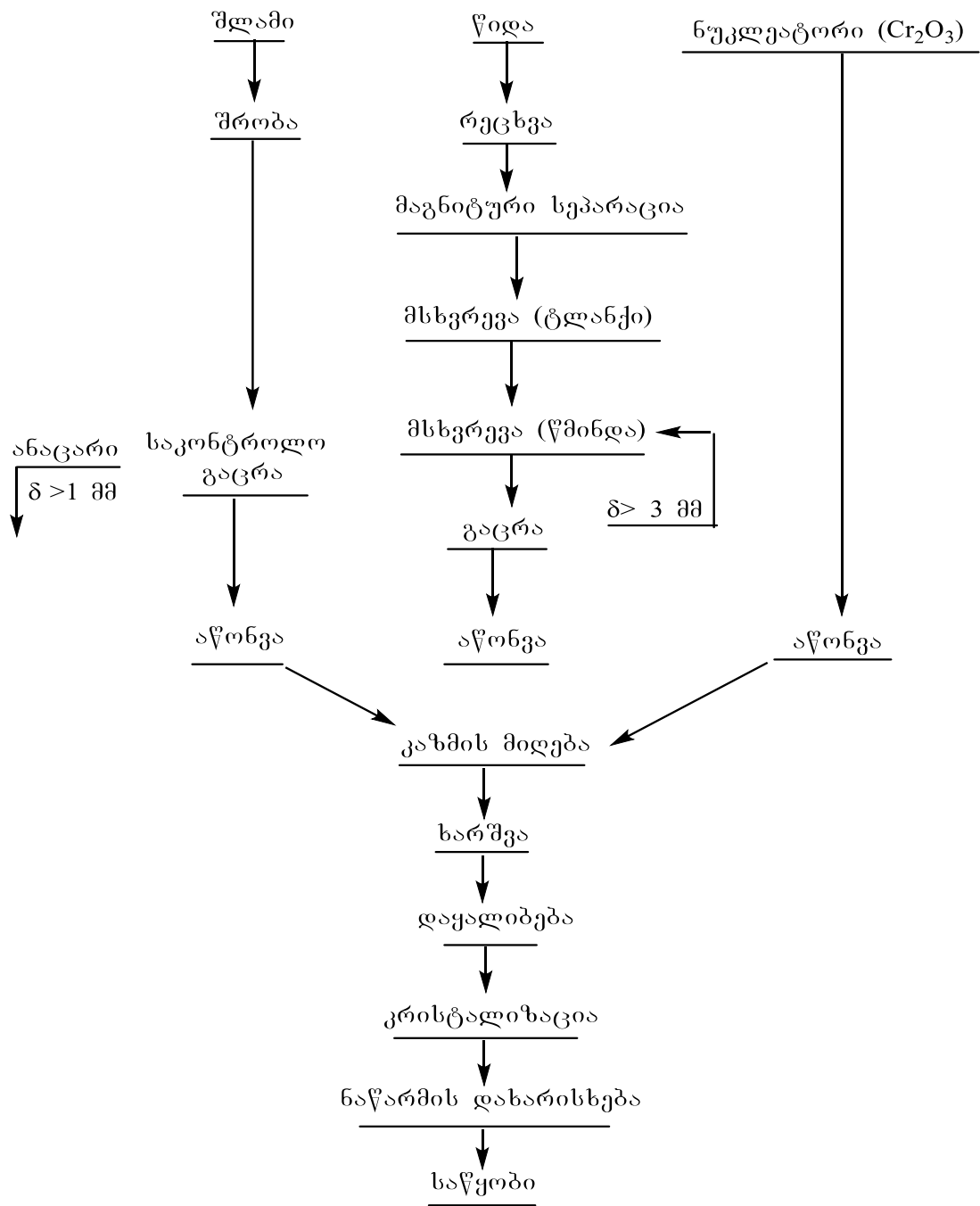
**ცხრილი 29. ქვის სხმულის სამრეწველო წარმოების ორი სახეობის მასალების და MSC-2 შედგენილობის მასალის თვისებათა მაჩვენებლები**

N	თ ვ ი ს ე ბ ა	განზ.ერთ	მაჩვენებლების მნიშვნელობა		
			ცვეთამე-დეგი ქვის სხმული	თერმომედეგი ქვის სხმული	MSC-2 მასალა
1	მოცულობითი მასა (სიმკვრივე)	კგ/მ <sup>3</sup>	2900-3000	2800-2900	2678
2	წყალშთანთქმა	%	0,13-მდე	0,7-მდე	0,1-მდე
3	სიმტკიცე კუმშვაზე	მპა	250-500	100 – 260	125
4	სიმტკიცე ღუნვაზე	მპა	30 – 50	10 – 30	11
5	დარტყმითი სიბლანტე	კჯ/მ <sup>2</sup>	>125	> 1,05	1,10
6	დრეკადობის მოდული	მპა	>100	> 43	არ განის.
7	თბოგამტარობა	ვტ/(მ. °C)	< 1,52	< 1,07	არ განის.
8	ხვედრითი თბოტევადობა	კჯ/(კგ·°C)	< 0,8	< 0,7	არ განის.
9	გაფართოების ხაზობრივი კოეფიციენტი	$\alpha \cdot 10^7, ^\circ\text{C}^{-1}$	80 – 83	58 – 60	59
10	ცვეთამედეგობა	კგ/მ <sup>2</sup>	< 1,0	< 1,4	1,2

მრეწველობაში გამოყენებული ქვის სხმულის ნაწარმის და ჩვენს მიერ მიღებული MSC-2 შედგენილობის დაკრისტალებული მინამასალის შვიდი მახასიათებელ თვისებათა შედარებით შეიძლება გაკეთდეს შეფასება - ჩვენს მიერ „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის კაზმიდან (75 % შლამი და 25 მას. % წიდა) შესაძლებელია ქვის სხმულის მიღება, რომელიც თავისი მახასიათებლებით შეესატყვისება ცნობილ თერმომედეგ ქვის სხმულს.

კარგადაა ცნობილი, რომ ქვის სხმულის და მისი ანალოგი მასალის - წიდასიტილის მიღების ტექნოლოგია მთლიანობაში მინის ნაწარმის მიღების ტექნოლოგიასთან მსგავსებას ავლენს. განსხვავება მხოლოდ ნადნობიდან დაყალიბებით მიღებული ნაწარმის თერმული დამუშავების მეთოდში ვლინდება. მინის ნაწარმი, მასში არსებული ძაბვების მოსახსნელად, ე.წ. მოწვის ოპერაციას გადის. ქვის სხმულის ნაწარმის მიღება საჭიროებს მოწვის ტემპერატურაზე უფრო მაღალ ტემპერატურაზე კრისტალიზაციის პროცესის განხორციელებას.





ნახაზი - სქემა 23. „შლამი-წილა“ ნარევიდან ქვის სხმულის ნაწარმის მიღების რეკომენდირებული ტექნოლოგიური სქემა

კრისტალიზაციის შედეგად ნაწარმში წარმოიქმნება მისი თვისებების ძირითადი განმსაზღვრელი კრისტალური ფაზები. ამისათვის მინის ნაწარმის თერმული დამუშავების სპეციალურ გვირაბისებურ ღუმელებში -

**ცხრილი 30. შლამის და წიდის საფუძველზე ქვის სხმულის მიღების ტექნოლოგიური პროცესის წარმართვის პირობები და პარამეტრები**

N	ძირითადი საწყისი მასალა	ძირითადი პროცესების დახასიათება			რეკომენდირებული დანადგარები და მოწყობილობა		
		საწყისი მასალა	ტექნოლოგიური ოპერაცია	ტექნოლოგიური პროცესის შედეგი და ჩატარების პირობები (რეჟიმები)			
1	ნედლეულის მომზადება	შლამი	შრობა	200°C; 15-20 წთ	საშრობი დოლი		
			საკონტროლო გაცრა	საკაზმე ფრაქციის მიღება ( $\delta \leq 1$ მმ)	ცხურა ბადეებით N3 და N1		
			აწონვა	$\pm 0,3$ % სიზუსტით	წონითი დოზატორი		
		წიდა	რეცხვა	ბუნებრივი მექანიკური მინარეგების მოშორება	ცხურა ბადით N20		
			მაგნიტური სეპარაცია	ლითონის მინარეგების მოშორება	ელექტრომაგნიტ. სეპარ.		
			ტლანქი დაფქვა	წიდის მსხვილი ნატეხების მსხვრევა	ყბებიანი მსხვრევანა		
			წმინდა დაფქვა	წმინდა ფრაქციული წიდის მიღება	ჩაქუჩებიანი მსხვრევანა		
			გაცრა	საკაზმე ფრაქციის მიღება ( $\delta \leq 3$ მმ)	ცხურა ბადით N3		
			აწონვა	$\pm 0,3$ % სიზუსტით	წონითი დოზატორი		
		ქრომის ოქსიდი	აწონვა	$\pm 0,01\%$ სიზუსტით	ლაბორატორ. სასწორი		
		2	კაზმის მიღება	ნედლეული აწონილი ულუფები	შერევა	ნარევის (კაზმის) ერთგვაროვნებამდი (8-10 წთ)	კონტეინერული ამრევი
		3	მინის მიღება	კაზმი	ხარშვა	1400 $\pm$ 50°C ნადნობის სრული გასუფთავება	უწყვეტი ქმედების რეგნერატორებ. ღუმელი
4	ნაწამის მიღება	მინის ნადნობი	დაყალიბება	დაწნეხვა, ჩამოსხმა ცენტრიდანული დაყალიბება და სხვ.	შესაბამისი დამყალიბებ. მანქ.-დანადგ.		
5	კრისტალიზაცია	ნაწარმი	თერმული დამუშავება	$550^{\circ}\text{C} \xrightarrow{20^{\circ}\text{C}/\text{წთ}} (820 \pm 10^{\circ}\text{C})$ $\xrightarrow{5^{\circ}\text{C}/\text{წთ}} 250^{\circ}\text{C} \xrightarrow{30^{\circ}\text{C}/\text{წთ}}$ → პაერზე გაცივება	კონვეიერული ღუმელი-კრისტალიზატორი		
6	დახარისხება	ქვის სხმული	ხარისხის შემოწმება	შესაბამისი დანიშნულების ნაწარმზე ტექნიკური პირობების თანახმად	საკოტროლო მოწყობილობ. და აპარატურა		

კრისტალიზატორებში ხდება. ასეთი ღუმელები თავისი სიგრძით განსხვავდება მოწვის პროცესისათვის საჭირო ღუმელებისაგან ის უფრო გრძელია, რადგან საკრისტალიზაციო ღუმელში მინის ნაწარმის დამუშავება მეტ დროს მოითხოვს.

სხვადასვა სახეობის ნედლეულის საფუძველზე მინის და მისგან წარმოებული ქვის სხმულის და წიდასიტალების მიღების ტექნოლოგია ცნობილია და შეიძლება ითქვას სრულყოფილებამდე მოყვანილი ლიტერატურაში. ამიტომ „შლამი-წიდა“ კომპოზიციაში წარმოდგენილი საწყისი ნედლეულის თავისებურებიდან გამომდინარე, ჩვენს მიერ შედგენილი იქნა ქვის სხმულის მიღების მოდიფიცირებული სქემა. 23-ე ნახაზზე წარმოდგენილ სქემაში გათვალისწინებულია საწყისი ნედლეულის (შლამის და წიდის) მათი თავისებურებიდან გამომდინარე, მომზადების აუცილებლად მიჩნეული ეტაპები და სხვა საჭირო ტექნოლოგიური ოპერაციები [64, 65].

ჩვენს მიერ შედგენილ ტექნოლოგიურ სქემაში წარმოდგენილ ცალკეულ ოპერაციათა მიმართ გარკვეული მოთხოვნები არსებობს, რაც პირველ რიგში მინის ხარშვის, ნაწარმის დაყალიბების და განსაკუთრებით მისი დაკრისტალების პირობების გათვალისწინებას მოითხოვს. ნედლეულის მომზადების, კაზმის შედგენა-შერევის და ხარშვის, დაყალიბების და დაკრისტალების პროცესების მიმართ არსებული მოთხოვნები და მათი ჩატარების პირობები მოყვანილია 30-ე ცხრილში. ამავე ცხრილშია წარმოდგენილი სრული საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესის ჩასატარებლად აუცილებელი (რეკომენდირებული) დანადგარების და მოწყობილობათა ნუსხა. ცალკეული საწარმოო ეტაპების სწორი წარმართვა დამოკიდებულია მოწყობილობა-დანადგარების სწორ არჩევანზე, მათი წარმადობისა და ტექნიკური მახასიათებლების სრულ შეფასებას. 30-ე ცხრილში წარმოდგენილი რეკომენდირებული დანადგარების და მოწყობილობის სახეობათა წინასწარი შერჩევა შესაძლებელია განხორციელდეს შესაბამის ლიტერატურაში არსებულ მონაცემებზე [94, 95].

### 3. კვლევაში გამოყენებული მეთოდები

კვლევის ამოცანებიდან გამომდინარე სამუშაო ორი განსხვავებული მასალის მიღებას ითვალისწინებდა, მაგრამ ორივე სახეობის მასალის საფუძველს წარმოადგენდა საწარმოო ნარჩენი. ერთი ნარჩენი წარმოდგენილი იყო მტვრისებრი მასალით - ზესტაფონის ფეროშენადნობი ქარხნის სილიკომანგანუმის მიღებისას წარმოქმნილ და ფილტრში დაჭერილ მანგანუმშემცველ მტვერს. მისი სამრეწველო ღირებულებიდან გამომდინარე (25 მას. %-მდე მანგანუმი შეიცავს) შესწავლილი იქნა მტვრისა და საწარმოში ნარჩენი პროდუქტის-კოქსის წვრილმანის გამოყენებით ბრიკეტების მიღება. ასეთი ბრიკეტების გამოყენება ეკონომიკურად და ეკოლოგიურად მიზანშეწონილად შეიძლება ჩაითვალოს. მაგრამ ზფქ-ის სილიკომანგანუმის დნობის ღუმელში დაბრუნებული მანგანუმშემცველი მტვერი – ბრიკეტირებული სახით მოითხოვს იმ პირობის დაცვას, რომ ბრიკეტი გარკვეული მახასიათებლების მატარებელი უნდა იყოს. ბრიკეტის მიმართ მოთხოვნები შემოიფარგლება რიგი თვისებებით: სიმტკიცე კუმშვაზე, ცვეთამედეგობა, წყალშთანთქმა და სხვა. აღნიშნული პირობების დაკმაყოფილება შეუძლია მხოლოდ დადგენილ პირობებში დაწნეხილ ბრიკეტს. თავის მხრივ ბრიკეტის ხარისხს განსაზღვრავს საწყისი კაზმი, დაწნეხვის ძალა, შემკვრელის სახეობა და რაოდენობა. შესაბამისად, მტვრის ბრიკეტირების პროცესის და თვით ბრიკეტების ხარისხის დასადგენად საჭირო ხდება კვლევის შემდეგი მეთოდების გამოყენება:

- კაზმის მიღება;
- დაწნეხვა ყალიბებში;
- ბრიკეტის თვისებების - მექანიკური სიმტკიცის, ცვეთამედეგობის,
- წყალშთანთქმის და თერმომედეგობის განსაზღვრა.

რაც შეეხება საკვლევად აღებულ მეორე, ასევე მანგანუმშემცველ წვრილფრაქციულ შლამს და დამხმარე მასალად აღებულ ასევე ზფქ-ის საწარმოო პროცესში დარჩენილ წიდას - მათი გამოყენება დაიგეგმა ე.წ. ქვის სხმულის სახეობის ნაწარმის მისაღებად. ქვის სხმული წარმოადგენს

მინაკრისტალურ, ნარჩენებიდან მიღებულ მასალას, რომლის მიღება შესაძლებელია გარკვეული შედგენილობის მინისგან, მაგრამ მისი სპეციალური თერმული რეჟიმით დამუშავების განხორციელებით. მინის ხარშვა, მისი დაკრისტალება და მიღებული სასურველი ნაწარმის ვარგისიანობის განსაზღვრა მოითხოვს, როგორც სტრუქტურული კვლევის, ასევე მასალათა ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შესწავლის მეთოდების ფართოდ გამოყენებას.

ორივე სახის, ნარჩენების საფუძველზე შექმნილი მასალის (ბრიკეტი და ქვის სხმული) მიღება-გამოყენების ძირითადი საკითხების შესასწავლად გამოყენებული იქნა ლაბორატორიული ხელსაწყოები და სპეციალურ ლიტერატურაში წარმოდგენილი მეთოდები. მეთოდიკებთან მიმართებაში მოხდა მათი სამ ნაწილად დაყოფა, რომლებშიც მოყვანილია:

- პირველ რიგში (თავის 3.1) წარმოდგენილია ორივე სახის მასალისათვის მისაღებად გამოყენებული ზოგადი მეთოდები და კერძოდ ნედლეულის გაცრა, შრობა, აწონვა, კაზმის შერევა, ნაყარი მასის და მოცულობითი სიმკვრივის განსაზღვრა, თერმული დამუშავება, წყალშთანთქმა, სიმტკიცე კუმშვაზე და სხვა.
- მეორე ნაწილში (თავი 3.2) აღწერილია ბრიკეტების მიღების და ძირითადი თვისებების შესწავლის მეთოდები (დაწნევა, მექანიკური სიმტკიცე დარტყმაზე და კუმშვაზე, ცვეთამედეგობა და სხვ.).
- მესამე ნაწილში (თავი 3.3) მოყვანილია ქვის სხმულის მიღებისა და თვისებათა კვლევის მეთოდები: ხარშვა, სიმკვრივე, კრისტალიზაცია, მექანიკური სიმტკიცე, ღუნვა, ხეხვამედეგობა, თბური გაფართოება და ასევე მათი სტრუქტურული კვლევის მეთოდები.

### 3.1. ინსტრუმენტალური ზოგადი მეთოდები

მასალათა მსხვრევა – გამოყენებული იქნა მხოლოდ ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის ნარჩენის – წიდის დასაქუცმაცებლად. მსხვრევა

განხორციელდა ლაბორატორიულ ყებებთან მსხვერვანაში, გამოსასვლელი ხვრელის სიგანის რეგულატორით, მასალის ორჯერადი გატარებით [94].

**მასალათა გაცრა** გამოყენებული იქნა სანედლეულო მასალების საც-რითი ანალიზისათვის და მასალათა სინჯების ფრაქციებად დასაყოფად. გამოიყენებოდა ორი სახის საცერი: მსხვილფრაქციული მასალებისათვის - ლითონის ნახვრეტის მიხედვით (ხვრელების დიამეტრი 1 მმ და მეტი და წვრილფრაქციული მასალებისათვის სხვადასხვა ნომრის ნაქსოვი ლითონური ბადით [87, 98.]

**შრობა.** ექსპერიმენტულ კვლევაში გამოყენებული იქნა ბუნებრივი და ხელოვნური შრობის პროცესები.

ბუნებრივი შრობა ჩატარდათ საჰაერო-მშრალ მდგომარეობაში მყოფ გამოყენებულ სანედლეულო მასალებს და ბრიკეტებს. მასალები გაშლილ მდგომარეობაში თხელი ფენის სახით შრებოდა ოთახის ტემპერატურაზე (20 – 25°C) არანაკლები 48 სთ, ხოლო ბრიკეტების ბუნებრივი შრობა ასევე ოთახის ტემპერატურაზე ხდებოდა, მაგრამ განსაზღვრული დროით.

ხელოვნური შრობა მასალებს და ბრიკეტებს უტარდებოდათ სხვადა-სხვა ტიპის კამერულ ელექტროსაშრობებში, რომლებიც აღჭურვილნი იყ-ვნენ ტემპერატურის რეგულატორებით. საჭიროების შემთხვევაში სანედლე-ულო მასალების შრობა წარიმართებოდა 110 ± 2°C ტემპერატურაზე 4–5 საათიანი დაყოვნებით ან 180°C-ზე 20-30 წთ-ანი დაყოვნებით [87, 98].

**აწონვა.** ბრიკეტების და ქვის სხმულის კაზმების ნედლეული მასალები იწონებოდა თევზებიან ტოლმხარა სასწორზე (აწონვის სიზუსტე ± 0,1 გ). ასეთივე სასწორზე დადგინდა მასალათა ნაყარი წონა (მასა). ბრიკეტების (ნიმუშების) მოცულობითი მასის და სიმკვრივეთა დასადგენად გამოიყენე-ბოდა ელექტრონული ანალიზური სასწორები (აწონის სიზუსტე ± 0,0001 გ).

**კაზმის შერევა.** დასაბრიკეტებელი კაზმი და ქვის სხმულის ნადნობის მისაღები კაზმების შერევა ხდებოდა საშუალო და დიდი ზომის ფაიფურის

ფილში, ასევე ფაიფურის ფილთაქვით. შერევის ხანგრძლიობა შეირჩეოდა ვიზუალურად შეფასებული ერთგვაროვანი კაზმის მიღებამდე.

**ნაყარი წონის (სიმკვრივე)** დადგენა განხორციელდა საკვლევი მასალის წონის შეფარდებით პირამდე შევსებული ცილინდრული ფორმის საზომი ჭურჭლის მოცულობასთან იმ მეთოდიკის გამოყენებით, რომელიც წარმოდგენილია [98, 99]-ში.

**მოცულობითი სიმკვრივე** განისაზღვრა მიღებული ნიმუშის (ბრიკეტის) წონის (მშრალ მდგომარეობაში) შეფარდებით ნიმუშის მოცულობასთან. ექსპერიმენტის მსვლელობა სრულად შეესატყვისებოდა სპეციალური ლიტერატურაში წარმოდგენილს [98, 99].

**თერმულ დამუშავება**, რომელიც საჭირო გახდა ბრიკეტირებული მასალების თერმომედეგობის და ქვის სხმულის მიღების პირობების დასადგენად, ჩატარდა CHOI ტიპის ელექტროლუმელებში, რომელთა ელექტროენერგიით კვება განხორციელდა მარეგულირებელი ელექტროტრანსფორმატორით. ელექტროტრანსფორმატორით და მუფელური ლუმელის ტემპერატურის რეგულატორით უზრუნველყოფილი იქნა სასურველ (შერჩეულ) ტემპერატურაზე საცდელი მასალების ნიმუშების თერმოდამუშავება [67. 87].

**სიმტკიცე კუმშვაზე.** კუმშვაზე სიმტკიცის განსაზღვრა ჩატარდათორივე სახის მასალებს – ცილინდრული ფორმის ბრიკეტებს და პრიზმული ფორმის მინაკრისტალური მასალების ნიმუშებს.

**ბრიკეტები**, რომელთა დიამეტრი შეადგენდა 2,52 მმ-ს (ორივე ძირის ფართობი  $S = 5 \text{ სმ}^2$ ), გამოიცადა ჰიდრაულიკური 5 ტ-ანი წნეხით იმ ძალების მიღწევამდე, რომლებიც ნიმუშის მთლიანობის რღვევას იწვევდნენ.

**მინაკრისტალური (ქვის სხმული)** მასალების ნიმუშების (რომბი, გვერდის სიგრძით 20 მმ და წიბოს ფართობი  $4 \text{ სმ}^2$ ) გამოიცადა და განხორციელდა 50 ტონიან ჰიდრაულიკურ წნეხზე იმ დაწნეხვის ძალის მიღწევამდე, რომელზეც ნიმუში ნატეხებად იმსხვრეოდა.

ორივე შემთხვევაში, სიმტკიცე კუმშვაზე იანგარიშებოდა 3-3 იდენტურ პირობებში მიღებული ნიმუშებისათვის, წნეხით დაფიქსირებული კუმშვაზე სიმტკიცისა და ნიმუშის მუშა გვერდის ფართის ფარდობიდან, როგორც მნიშვნელობათა საშუალო არითმეტიკული სიდიდე [68, 98, 99].

**წყალშთანთქმა.** წყალშთანთქმის განსაზღვრა ფორებზემცველი მასალისათვის კერამიკა აუცილებელი და მოთხოვნადი პარამეტრია. წყალშთანთქმის უნარის დადგენა საჭირო ხდება კერამიკული და მჭიდა მასალე-ბიდან დამზადებული ნაკეთობებისათვის, ქვის სხმული ნაწარმისათვის და ბრიკეტირებით მიღებული მასალა-ნაკეთობისათვის [98, 99, 102].

წყალშთანთქმის დასადგენად აიღებოდა ბრიკეტის ან ქვის სხმულის (ნატეხები) 3 – 3 ნიმუში, რომელთაც უტარდებოდა შრობა  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$  2 საათის განმავლობაში, რის შემდეგ ნიმუშები ცივდებოდა სილიკოგელიან ექსიკატორში. საცდელი ნიმუშები იწონებოდა  $\pm 0,1$  გ სიზუსტით, იდებოდა უჟანგავი ლითონის ბადეზე. ნიმუშებიანი ბადე იდგმებოდა ისევ გამოხდილი წყლით 2/3-ზე შევსებული ექსიკატორების ფაიფურის სადგარზე. წყლის დონე ნიმუშების ზემოთ არანაკლებ 20 მმ-ს შეადგენდა.

წყალში დაყოვნების დრო დამოკიდებული იყო საცდელი ნიმუშების სახეობაზე და შეადგენდა:

- ბრიკეტირებისათვის 2 სთ-ს;
- ქვის სხმულის ნიმუშებისათვის 48 სთ-ს.

წყალში დაყოვნებული ნიმუშები, სადებთან ერთად ამოიღებოდა წყლიანი ჭურჭლიდან (ექსიკატორიდან) და უძრავად თავსდებოდა 2-3 წთით სადგარზე, რა დროშიც თავისუფალი (არაშთანთქმული) წყალი ჩამოიწერებოდა ნიმუშებიდან. ამის შემდეგ ნიმუშები კვლავ იწონებოდა. წყალშთანთქმა (% X) იანგარიშებოდა. როგორც წყალში დაყოვნებული ერთი შედგენილობის (სახეობის) რამოდენიმე ნიმუშების ჯამური მასის ( $m_1$ ) და იგივე სახეობის მშრალი (საწყისი) ნიმუშების მასის ( $m_0$ ) სიდიდეთა ფარდობიდან:  $\% X = (m_1 - m_0)/m_0$ .



### 3.2. ბრიკეტების მიღების და მათი სპეციალურ თვისებათა შესწავლის მეთოდები

**ბრიკეტების მიღება.** კაზმის რეცეპტის მიხედვით აწონილი საკაზმე მასალებიდან (მტვერი, კოქსის წვრილმანი და რიგ შემთხვევაში მანგანუმის მადნის წვრილმანი) მიღებული კაზმის გარკვეული ულუფა (ძირითადად 25 გ) თავსდება ლითონის ყალიბში, კერძოდ მის მატრიცაში. წინასწარ მატრიცის ძირში ფიქსირდებოდა სახსნელი ძირი და კაზმის მატრიცის ღრუში მოთავსების შემდეგ კაზმის ნაყარის თავზე ჩაეშვებოდა პუანსონი. კაზმიანი ყალიბი თავსდება ჰიდრაულიკური წნეხის თეფშებს შორის და წარიმართებოდა ცილინდრული ფორმის ბრიკეტის დაწნეხვის პროცესი, წნეხის მანომეტრზე სასურველი დაწნეხვის ძალის მიღწევამდე. კვლევაში გამოყენებული იქნა ორი სახის სამუშაო ხვრელის განსხვავებული დიამეტრის მქონე, ყალიბები. პირველი ყალიბის სამუშაო ცილინდრის დიამეტრი  $D_1=1,13$  მმ (კვეთის ფართობია  $S_1 = 1$  სმ<sup>2</sup>), ხოლო მეორეს დიამეტრი  $D_2=2,52$  და მისი კვეთის ფართობი  $S_2 = 5$  სმ<sup>2</sup>-ს შეადგენდა. საცდელი ცილინდრული ფორმის ნიმუშების (ბრიკეტების) დაწნეხვისას გამოყენებული იქნა ჰიდრაულიკური წნეხები (5 ტონიანი), ხოლო დაწნეხვის ძალის ზრდა დაახლოებით შეადგენდა 30 კგ/სმ<sup>2</sup> ერთ წამში (3 მპა.წმ), რაც უზრუნველყოფდა სხვადასხვა ძალით დაწნეხით ბრიკეტების მიღებას (ბრიკეტირების დრო) 4 – 8 წამში.

**მექანიკური სიმტკიცე დარტყმაზე და ცვეთამდეგობა.** ორივე თვისება მსგავსი მეთოდით ჩატარებული ექსპერიმენტით განხორციელდა, რადგან ბრიკეტების საწყისი სიმტკიცე (დაყალიბების პროცესის დასრულებისთანავე) და ცვეთამდეგობის შეფასების ერთ-ერთი ვარიანტი ითვალისწინებს განსხვავებულ სიმაღლიდან ბრიკეტის ვარდნას ბრტყელ ლითონის ფილაზე [100].

ორივე შემთხვევაში აღებული გამოცდის მეთოდი, საწარმოო გამოცდებთან შედარებით, ნაწილობრივად შეცვლილი გამოიყენებოდა.

ბრიკეტების მექანიკური სიმტკიცე დარტყმაზე შეფასდებოდა დაწნე-  
ხილი და ყალიბიდან ამოღებული ბრიკეტ-ნიმუშის 1 მ სიმაღლიდან ლი-  
თონის ფილაზე ვარდნით და შეფასების პირობით სკალის გამოყენებით.  
ექსპერიმენტალურად მოწმდებოდა ერთი შედგენილობის ოთხი ნიმუში,  
მათი შეფასების შედეგები შეჯერდებოდა და ამის შემდეგ გამოიყენებოდა  
შეფასების საშუალო ბალი.

ბრიკეტების ცვეთამდეგობის დადგენა. შესაბამისი სტანდარტით  
დასაშვებია ორი ხერხის გამოყენება. ერთი მათგანი საჭიროებს სპეციალურ  
ცილინდრულ ფოლადის დოლს, რომლის შიდა კედელზე სამი ფოლადის  
გრძივი კუთხოვანაა მიდუღებული. აღნიშნული სახეობის დანადგარი ჩვენ  
არ გვქონდა, ამიტომ მივმართეთ მეორე რეკომენდირებულ მეთოდს –  
ბრიკეტის ლითონის ფილაზე ჩამოგდებას. სტანდარტისაგან განსხვავებით  
(ითვალისწინებს 4 კგ მასის მთელი ბრიკეტის ერთდროულ ჩამოყრას  
ლითონის მასიურ ფილაზე), ჩვენ ექსპერიმენტში ვახდენდით 1,5 მეტრი-  
დან თითოეული ბრიკეტის ცალ - ცალკე ჩამოგდებას ფოლადის ფილაზე.  
ბრიკეტების ნარჩენები იცრებოდა N20 საცერში, რის შემდეგ ვაწარმო-  
ებდით გათვლებს: ცვეთადობა დარტყმაზე ( $P_{\text{ცვ}},\%$ ) იანგარიშებოდა საცერ-  
ზე დარჩენილი ბრიკეტების ნატეხების მასის ( $m$ ) შეფარდებით გამოცდილი  
ბრიკეტების საერთო მასასთან ( $M$ ):  $P_{\text{ცვ}} = (m/M) \cdot 100$

თერმომდეგობა. როგორც ბრიკეტების აუცილებელი მახასიათე-  
ბელი თვისება სტანდარტებით არ არის რეგლამენტირებული, მაგრამ  
მიზნობრივად მაღალტემპერატურული ღუმელში მოხვედრილი ბრიკეტი  
განიცდის თერმულ დარტყმას და ხშირად ნაადრევად იმსხვრევა. აქედან,  
ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა ბრიკეტების თერმომდეგობა. ზოგადად,  
თერმომდეგობის განსაზღვრა უტარდება კერამიკული ნაწარმის გარკვეულ  
სახეობას და მათ შორის ცეცხლგამძლე აგურის თერმული ციკლებით  
(1300°C-დან წყალში გადატანით) გამოცდისას [101].

სტანდარტში ცეცხლგამძლე მასალების გამოცდის ხერხი ჩვენს შემ-  
თხვევაში მისაღები ვერ იქნებოდა. ამიტომ ექსპერიმენტალურად მიერ

თერმომდეგობის შესწავლა განხორციელდა. მოდიფიცირებული, ნებისმიერი მომცრო ზომის ნიმუშების (ფორმა - ფირფიტა, ძელაკი ზომებით  $5 \times 5 \times (2 \div 50)$  მმ) თერმომდეგობის განმსაზღვრელი და ლაბორატორულ პრაქტიკაში მიღებული ე.წ. მრღვევი ტემპერატურული სხვაობის მეთოდი [98].

ჩვენს მიერ განხორციელებული კვლევაში მიღებული იქნა თერმომდეგობის დადგენისას შემდეგი სახის ექსპერიმენტის ჩატარება :

- საწყის ტემპერატურად აიღებოდა  $100^{\circ}\text{C}$  და ამ და უფრო მაღალ ტემპერატურაზე ნიმუშის დაყოვნება არა ნაკლები 30 წუთის განმავლობაში ხდებოდა.
- შემდგომი  $100^{\circ}\text{C}$ -ზე იგივე ნიმუშის თერმული დამუშავების ტემპერატურა აიღებოდა გარკვეული ტემპერატურული ბიჯით ( $\Delta t_1 = 50^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta t_2 = 100^{\circ}\text{C}$ ) სადაც  $n$  ტემპერატურაზე ექსპერიმენტის საბოლოო შედეგით განისაზღვრება. თანმიმდევრულად დამუშავებული და ჰაერზე გაცივებულ ნიმუშებს ვიზუალურად ათვალიერებენ და მასზე არ აღენიშნება ხილვადი ბზარები ან ნიმუში არ კარგავს მთლიანობას, ის ისე უბრუნდება ღუმელის სამუშაო კამერას და ამის შემდეგ ღუმელში ტემპერატურა იზრდება  $\Delta t_1$  ან  $\Delta t_2$  ბიჯის შესატყვისი მატებით;
- ტემპერატურათა თანმიმდევრული ზრდა და ნიმუშების ჰაერზე გაცივება გრძელდება ნიმუშებზე მრღვევი ტლანქი ბზარების ან ნიმუშის ნატეხებად დაშლამდე, რაც ითვლება ზღვრულ თერმომრდეგობის ტემპერატურად.

### **3.3. ქვის სხმულის მიღება, მათი ფიზიკურ - ქიმიური თვისებათა და სტრუქტურული კვლევის მეთოდები**

მინის ხარშვა და ნიმუშების დაყალიბება. „შლამი - წიდა“ კომპოზიციაში შედგენილი კაზმების ხარშვა ( $1350 \pm 25^{\circ}\text{C}$  ინტერვალში) განხორციელდა ღეროვანი კარბორუნდის (სილიტის) გამახურებლიდან ღუმელში. ღუმელის ელექტროდენით კვების უზრუნველყოფად ორი ზეთის ტრანსფორმატორი (220 ვლტი, 40 ამპერი). ხარშვის ტემპერატურის გაზომვები

ხდებოდა პლატინა-პლატინა როდიუმის (ტიპი ТПП-1) თერმოწყვილით, რომელიც შეერთებული იყო პირომეტრულ ვოლტრმეტრთან. საცდელ კვლევებში კაზმები განთავსდებოდა ფაიფურის, დაახლოებით 100 მლ ტევადობის ქოთნებში, ხოლო მინების მიზნობრივი კვლევისათვის რამოდენიმე ოპტიმალური შედგენილობის მინის ხარშვა ჩატარდა 250 მლ ტევადობის შამოტის ქოთნებში. მინის ნადნობების გადმოსხმა ხდებოდა ხურვალმედეგი ლითონისგან დამზადებულ ყალიბებში, რომლებიც უზრუნველყოფდნენ შემდგომი კვლევისათვის საჭირო ფორმის და ზომების ნიმუშების მიღებას.

მიღებული ნიმუშების მიზნობრივი თერმული დამუშავება მოიცავდა ან მათ მოწვას ან დაკრისტალებას, რაც 500 – 900°C ტემპერატურულ ინტერვალში განხორციელდა და ამისათვის  $\text{CHOL}$  - ტიპის ელექტროგამახურებელი, ტემპერატურის მარეგულირებლებით აღჭურვილ მუფელურ ღუმელებში ჩატარდა. ნიმუშებისათვის სასურველი ზომების მიცემა დამატებითი მოჭრა-მოხეხვის ოპერაციებით ჩატარდა.

**სიმკვრივე** დაუდგინდათ როგორც სინთეზირებულ მინებს, ასევე მათი მიზნობრივი დაკრისტალებით მიღებული ქვის სხმულის ნიმუშებს. სიმკვრივე დადგინდა ჰიდროსტატიკური აწონვის მეთოდით, არსებული მეთოდოლოგიის სრული დაცვით [67, 87].

**კრისტალიზაციის უნარის** დადგენა განხორციელდა ე.წ. მასობრივი დაკრისტალების მეთოდით, რომელიც აღწერილია შესაბამის მეთოდურ ლიტერატურაში [87, 103].

აღნიშნული მთოდით კრისტალიზაციისადმი მიდრეკილების უნარი დაუდგინდათ ყველა შედგენილობის მინის საცდელ ნიმუშებს - ნატეხებს 600 – 900°C ტემპერატურულ ინტერვალში. თითოეული მინის სამ-სამი ნატეხი (2 – 4 გ მასის) განლაგდებოდა ფაიფურის უჭიქურო ფილაზე და შეიტანებოდა მუფელის ტიპის ელექტროღუმელში, სადაც დადგენილი დროის განმავლობაში განიცდიდა თერმულ დამუშავებას. ნიმუშებიანი ფილა გამოიტანებოდა მუფელიდან და ცივდებოდა ჰაერზე. თერმული

დამუშავებით გამოწვეული მინების სახეცვლილების შეფასება ხდებოდა ამ მეთოდში მიღებული მინის კრისტალიზაციის ხარისხობრივი შეფასების ექსპლანატიური შკალით [87].

**ხეხვამდეგობა**, როგორც მასალის ზედაპირის მექანიკური ცვეთისადმი მდგრადობა რეგლამენტირებულია საერთაშორისო სტანდარტით [104, 105].

ჩვენ მიერ ქვის სხმულისათვის (ნიმუშების ზომა  $a \times b \times h$  შეადგენდა  $50 \times 50 \times (6-8 \text{ მმ})$ ) განხორციელდა სტუ-ს სილიკატების მიმართულების ლაბორატორიაში არსებულ სპეციალურ სახეხ დისკზე. დისკის ზედაპირთან შეხებაშია სპეციალურ მკლავური ბერკეტული სამაგრში განთავსებული წინასწარ ცნობილი წონის ნიმუში. დისკოზე განთავსდება აბრაზიული მასალის (კორუნდის ფხვნილი) თხელი (დაახლოებით 0,2 მმ-ანი) ფენა. დისკის ბრუნვას უზრუნველყოფს ამძრავი მექანიზმი (5 ბრ/წთ). ხეხვამდეგობის განსაზღვრის ხანგრძლივობა 1 სთ-ს შეადგენდა. ხეხვამდეგობის კოეფიციენტი განისაზღვრება წონის დანაკრგით (კგ) ზედაპირის  $1\text{მ}^2$ -დან ( $K_{\text{ხეხ}}, \text{კგ/მ}^2$ ).

**თბური გაფართოება** განისაზღვრა ვერტიკალური კვარცის დილატომეტრით (მოდიფიკაცია DKB - 4A). ნიმუშის დაგრძელების ( $\Delta l$ ) სიდიდეთა ტემპერატურასთან ( $t$ ) დამოკიდებულების მრუდის აგების შემდეგ, განხორციელდა მინამასალის ხაზობრივი თბური გაფართოების კოეფიციენტის, გამინების და ტრანსფორმაციის ტემპერატურების დადგენა, რაც შესაბამისი ლიტერატურის საფუძველზე განხორციელდა [ 63, 67, 87 ].

**სტრუქტურული კვლევის მეთოდები** ძირითადად გამოყენებული იქნა სინთეზირებული მინების მინიკრისტალური სტრუქტურის მქონე ქვის სხმულის სახეობის მასალაში გარდაქმნის პირობებისა და დონის დასადგენად. ამისათვის გამოყენებული იქმნა თერმული და რენტგენოფაზური ანალიზის მეთოდები.

*თერმული ანალიზი* განხორციელდა „პაულიკ, პაულიკ, ერდვის“ სისტემის დერივატოგრაფით. ნიმუშების შესწავლის ინტერვალი შემოი-

საზღვრა 1000°C -ით, ხოლო საცდელი ულუფის მასა 120 მგ-ის ფარგლებში იყო. გაზომვებში მიღებული ტემპერატურის აწევის სიჩქარე შეადგენდა 10°C/წთ-ში. თერმული ანალიზის შედეგების ანალიზი ჩატარდა იმ რეკომენდაციების გათვალისწინებით, რომლებიც წარმოდგენილია სპეციალურ წყაროებში [106 – 109].

*რენტგენოსტრუქტურული ანალიზი* გამოყენებული იქნა სინთეზირებული მინების მიმართული კრისტალიზაციით მიღებული მასალების (ქვის სხმულის) ფაზური შედგენილობის განსაზღვრისათვის. შესაბამისი კვლევა ჩატარდა DPOH – 1,5 დანადგარზე, მასალათა ფხვნილების (აქატის მექანიკური ფილით დაფქული) გამოყენებით რედგენოგრამების აზომვით და გაანგარიშებით, ფაზათა შემდგომი იდენტიფიკაციით. რენტგენო-ფაზურ ანალიზთან მიმართებაში ყველა სახის სამუშაოები განხორციელდა შესაბამის საცნობარო და მეთოდურ ლიტერატურაში არსებული მონაცემებისა და რეკომენდაციების გათვალისწინებით [67, 87, 110 – 115].

## დასკვნა

1. ზესტაფონის და ჭიათურის რეგიონებში რეალურად არსებობს ჯან-მრთელობაზე უარყოფითად მომქმედი ეკოლოგიური პირობები, რომლებიც ძირითადად გამოწვეულია მანგანუმშემცველი საწარმოო მტვრისებრი და შლამისებრი ნარჩენებით. აღნიშნული მოითხოვს მავნე ნარჩენების ეკოლოგიურად უვნებელ ფორმაში გადაყვანას - ტექნოგენურ მასალებში და სამრეწველო დანიშნულების ნაკეთობებში გადაყვანის გზით;
2. დადგინდა, რომ შესაძლებელია მანგანუმშემცველი საწარმოო რესპირაციული მტვრის საფუძველზე, მისი კაზმში დიდი რაოდენობით 80 მას. %-მდე შემცველობისას, საექსპლოატაციო მაღალი მაჩვენებლების მქონე ბრიკეტების მიღება იმ პირობისათვის, რომ შემკვრელად გამოიყენება თხევადი მინა;
3. გამოკვლევებით დადგინდა, რომ მაქსიმალური რაოდენობით რესპირაციული მტვრისა და კოქსის წვრილმანის (თანაფარდობა 80/20) ნარევის ბრიკეტირების მაღალ ხარისხს უზრუნველყოფენ ნარევის შემკვრელად გამოყენებული თხევადი მინის მახასიათებლები (სიმკვრივე 1250 კგ/მ<sup>3</sup>, შემცველობა 8-12 მას. %) და ბრიკეტების დაწნევის ძალა (არა ნაკლები 16 მპა);
4. „ნედლი“ ბრიკეტების მექანიკური მდგრადობის კუმშვაზე ( $P_3$ ) გაზრდის მიზნით შესწავლილ იქნა მათ სიმტკიცეზე შრობის პირობების გავლენა და დადგინდა, რომ საექსპლოატაციო პირობებს ( $P_3 > 6$ ) აკმაყოფილებენ ოთახის ტემპერატურაზე არა ნაკლები 24 სთ-ის ან ხელოვნურად 70 – 100°C ტემპერატურულ ინტერვალში (შესაბამისად 24-12 წუთიანი დაყოვნებით) გამომშრალი ნიმუშები;
5. მახასიათებელ თვისებათა შესწავლით დადგინდა, რომ შესაძლებელია მტვრის დიდი ოდენობით (80 მას. %) და კოქსის წვრილმანის (20 მას. %) ნარევის ბრიკეტირებით (შემკვრელი 11 მას. % თხევადი მინა) და ბრიკეტების შემდგომ ხელოვნური შრობით მაღალი საექს-

პლოატაციო თვისების და ეკონომიკურად მომგებიანი (ლითონური მანგანუმის შემცველობა 20 მას. % და მეტი) ბრიკეტების მიღება. ლაბორატორიული კვლევებით დადგინდა მტვრის დიდი ოდენობის შემცველი ბრიკეტების კარგი საექსპლოატაციო თვისებები: სიმტკიცე კუმშვაზე – 7,8 მპა, ცვეთამედეგობა 78,4 %, წყალშთანთქმა 3,7 %, თერმომედეგობა 400°C-მდე;

6. დადგინდა, რომ შემკვრელად თხევადი მინის გამოყენებისას, შესაძლებელია მანგანუმშემცველი რესპირაციული მტვრის (50 – 70 მას. %) და ჭიათურის წმინდაფრაქციული მადნების (10-30 მას%) კოქსის წვრილმანთან ერთობლივი ბრიკეტირება, რის შედეგად მიიღება 25 – 30 მას. %. ლითონური მანგანუმის შემცველი და ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლებით (სიმტკიცე 7,5 – 8,3 მპა; წყალშთანთქმა 3,1 – 3,9 %); ცვეთამედეგობა 78-86 %; თერმომედეგობა 700-800°C) გამორჩეული „დამძიმებული“ (მოცულობითი სიმკვრივე მეტია 1700 კგ/მ<sup>3</sup>) ტექნოგენური ბრიკეტები;
7. შეფასდა მანგანუმშემცველი შლამის და ნარჩენი გრანულირებული წილის გამოყენების პერსპექტიულობა მათგან ქვის სხმულის ნაწარმის მიღების თვალსაზრისით; გამოვლინდა მინის შედგენილობები, რომელთა მიზნობრივი კრისტალიზაციით შესაძლებელი გახდებოდა მინაკრისტალური მასალის - ქვის სხმულის მიღება;
8. ჩატარებული ექსპერიმენტალური ხარშვებით დადგინდა, რომ „შლამი-წიდა“ ნარევებში ხარისხიანი მინისებრი ნადნობების სინთეზი შესაძლებელია კაზმებიდან, რომელთა შედგენილობაში შლამის შემცველობა 75-50 მას. %-ს შეადგენს.
9. „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის მინების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შესწავლით გამოვლინდა დიდი ოდენობით შლამის შემცველი ოპტიმალური შედგენილობის (75 მას. % შლამი და 25 მას. % წიდა) მინა, რომელიც განსაკუთრებით მიდრეკილია მოცულობითი



სტრუქტურული გარდაქმნისადმი 700 – 900°C ტემპერატურულ ინტერვალში თერმოდამუშავებისას;

10. ოპტიმალური შედგენილობის მინის თერმული და რენტგენოფაზური ანალიზის შედეგებით დადგინდა ის ოპტიმალური ტემპერატურული ინტერვალი 800 – 860°C, რომლის ფარგლებში თერმულად დამუშავება განაპირობებს მინისაგან პოლიკრისტალური შედგენილობის მინამასალის (ქვის სხმულის) მიღებას;
11. მიღებული მინაკრისტალური მასალისათვის განისაზღვრა მოცულობითი სიმკვრივე (2678 კგ/მ<sup>3</sup>), წყალშთანთქმა (0,1 %), სიმტკიცე კუმშვაზე (125 მპა), ხეხვამედეგობა (1,2 კგ/მ<sup>2</sup>) და სხვა მახასიათებელი თვისება, რომელთა შეჯერებით გაკეთდა დასკვნა, რომ 75 მას. % შლამის და 25 მას. % წიდის (ნუკლეატორი 0,6 მას. %  $Cr_2O_3$ ) ნარევიდან შესაძლებელია ქვის სხმულის მასალის და ნაკეთობის მიღება.
12. დამუშავდა „მტვერი-კოქსი“ და „შლამი-წიდა“ კომპოზიციებში, შესაბამისად, ტექნოგენური დანიშნულების ბრიკეტების და ქვის სხმულის ნაწარმის მიღების ტექნოლოგიურ ოპერაციათა სქემები; წარმოდგენილია მათი პერსპექტივაში პრაქტიკული განხორციელებისათვის საჭირო ტექნოლოგიური პარამეტრები და კონკრეტული რეკომენდაციები.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks.  
<http://www.who.int/quantifying-ehimpacts/publications/preventing-disease/en/>.
2. ჯანმრთელობის დაცვა, სტატისტიკური ცნობარი - 2014  
[http://www.ncdc.ge/AttachedFiles/Yearbook\\_2014\\_GRO%20%281%29\\_bf642a7-f54e-445a-alb2-c6759c4c338c.pdf](http://www.ncdc.ge/AttachedFiles/Yearbook_2014_GRO%20%281%29_bf642a7-f54e-445a-alb2-c6759c4c338c.pdf)
3. უაირმანი მ., მირცხულავა მ. „მანგანუმის სამთო წარმოებასთან დაკავშირებული ლითონებით დაბინძურების, ეკოლოგიური და ადამიანის ჯანმრთელობის რისკების შეფასება ჭიათურაში (საქართველო)“; სამეცნიერო კვლევის ანგარიში, 2011 წ. თბილისი.  
<https://ka.wikipedia.org/>
4. კვერენჩილაძე რ. შრომის ჰიგიენა. თბილისი, 2005.
5. ჯავახაძე რ., ღვინერია ი., ჟურული მ., წერეთელი მ. „პროფესიული დაავადებების განვითარების დინამიკა და შრომის პირობები მანგანუმის წარმოებაში“ - ნ. მახვილაძის სახელობის შრომის მედიცინისა და ეკოლოგიის სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტი, თბილისი 2012
6. Рипан Р. Четяну И. Неорганическая химия. Т. Химия металлов. М., изд. Мир.1972
7. Роде Е.Я. Кислородные соединения марганца. М., Изд. АН.1952 г.
8. Справочник по электротехническим материалам. Т. 3. Л., Энергоиздат, 1952 г.
9. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений. Л., Химия, 1983 г.
10. ჰეივე ი. მიკროელემენტები და მათი მნიშვნელობა სოფლის მეურნეობაში. თბილისი. გამომც. საქართველო, 1962 წ.
11. Stgmu. Ru / userfiles / dtpts/ gtntral biorganie chtmistry ?sptcialitet / lechtbebni/ 07-57-57 litvinova – biogentypt – elemthtu – 21 – 08 –09 pdf..
12. Берлянг А., Ершов Ю. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биоэлементов. М., Высш.шк., 2007

13. Слесарев В. И. Химия. Основы химии живого . – СПб, Химиздат, 2005
14. Idr – vtstnik ru /articles/ mtdia / 2016/11/24/rol – mangatsa – v – organizmt/ Роль марганца в организме
15. Poedim ru/confent 1034 – marganec Роль марганца в организме человека.
16. რ. კვერენხილაძე. „გარემოს ჰიგიენა“. თბილისი, 2008 წ.
17. ვ. სააკაძე „პროფესიული დაავადებები“. თბილისი, 2000 წ.
18. Parmacognosy. Com. Na / index. Php (makro – i mikro – chudesa/ marganets – krepriye – nervi – khoroshege – nastrbenige. Марганец; крепкие нервы, хорошее настроение
19. Жаворонков А.А. Михалева Л. М. Авцын А.П. Микроэлементозы – новый класс болезней человека, животных и растений Проблемы биогеохимии и геофизической экологии. М. Наука, 1999
20. Авцын А.П. Жаворонков А.А. Биогеохимические эндени ( микроэлементозы) человека Руководство по медицинской географии Под ред. А.А. Кеплера, СПб,1993 г.
21. Алексеико В.А. Алексеенко Л. П. Биосфера и жизнедеятельность. М., Логос, 2002
22. Рустамбекова С.А. Барабошкина Т. А. Микроэлементозы и факторы экологического риска Под ред. В.В.Горшкова. М. Универс. Кн. Логос, 2006
23. Page A.L. Steinnts S. Atmospheric deposition as a source of trace elements in soils. Global and Planet. Chenge,1990
24. Сагт Е., Ревух Б.А.,Янин Е. П.. Геохимия окружающей среды. М., изд Недра, 1990
25. Семин В.А. Основы рационального водопользования и охраны водной среды М., Высш.школа, 2001
26. Голдовская Л.Ф. Химия окружающей среды М., Мир 2005.

27. Ковальский В.В. Геохимическая среда и жизнь. М., Наука, 1982 г.
28. Collipp P.J, Chen S.Y, Maitinsky S (1983) Manganese in infant formulas and learning disability. *Annals of nutrition and metabolism*, 27: 488 – 494.
29. Cook D.G, Fahn S, Brait K.A (1974) Chronic manganese intoxication. *Archives of neurology*, 30: 59-64.
30. Curtin D, Ryan J, Chaudhary RA (1980) Manganese adsorption and desorption in calcareous Lebanese soils. *Journal of the Soil Science. Society of America*, 44:947-950.
31. Devidsson L, Cederblad A, Hegebo E, Lonnerdal B, Sandström B (1988) Intrinsic and extrinsic labeling for studies of manganese absorption in humans. *Journal of nutrition*, 118:1517-1524.
32. Davis CD, Malecki EA, Greger JL (1992) Interactions among dietary manganese, heme iron and non-heme iron in women. *American journal of clinical nutrition*, 56:926-932.
33. Davis DW, Hsiao K, Ingels R, Shiklya J (1988) Origins of manganese in air particulates in California. *Journal of the Pollution Control/ Association*, 38:1152-1157.
34. თ. ბუდალაშვილი „ატმოსფერული ჰაერის ხარისხი საქართველოში და დაბინძურების წყაროები; სტრატეგიული განვითარების ცენტრის ბიულეტენი N106-2006. გვ. 38-51.
35. Friedman BZJ, Freeland-Graves JH, Bales CW, Behmardi F, Dhorey-Kutschke RL, Willis RA, Crosby JB, Trickett PC, Houston SD (1987) Manganese balance and clinical observations in young men fed a manganese-deficient diet. *Journal of nutrition*, 117:133-143.
36. ეროვნული მოხსენება გარემოს მდგომარეობის შესახებ“ საქართველოს გარემოს დაცვისა და ბუნებრივი რესურსები სამინისტრო, 2005
37. Mr P.D. Howe, Mr H.M. Malcolm, and Dr S, Dobson, „MANGANESE AND ITS COMPOUNDS: ENVIRONMENTAL ASPECTS”, World Health Organization, Geneva, 2004. [http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/cicad63, rev 1 pdf.](http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/cicad63_rev1.pdf)
38. Robert O. Wright, Chitra Amarasiriwardena, Alan D. Woolf, Rebecca Jim, David C. Bellinger. „Neuropsychological correlates of hair arsenic, manganese, and cadmium levels in school-age children residing near a hazardous

- waste site". Meiro Toxicology Volume 27, Issue 2, March, 2006, Pages 219-216.  
<http://www.Sciencedirect.Com/science/article/pli/So161813X05001804>
39. Maruse Bouchard, Francois Laforest, Louse Vandelac, David Bellinger and Donna Mergler. Hair Manganese and Hyperactive Behaviors: Pilot Study of School-age Children Exposed through Tap Water, Environmental Health Perspectives, vol. 115, No.1 (Jan., 2007), pp. 122-127.  
<http://www.jstor.org/stable/4133077?seq=1> page scan tab contents.
40. Wirth. Julia J. Rossano, Mary G.; Daly, Douglas C.; Paneth, Nigel; Puscheck, Elizabeth; Patter, Rachel C Diamond. Michael P. Ambient Manganese Exposure is Negatively Associated With Human Sperm Motility and Concentration, Epidemiology: March 2007 – V18, Issue 2 – pp. 270-273  
[http://Lww.com/lpidem/Abstract/2007\\_103000](http://Lww.com/lpidem/Abstract/2007_103000)
41. Barry S. Levy William J. Nassetta- „Neurologic Effects of Manganese in Humans: A. Review, 10. 1179/oeh.2003.9.2.153, pp 153-163, International Journal of Occupational and Environmental Health, Volume 9, Issue 2, 2003.  
<http://www.Tandfonline.com/di/abs/101179/oeh>
42. Dr. Prof. P. Grandjean, MD, Prof. Pj Landrigan, MD-Developmental neurotoxicity of industrial chemicals”, Volume 368, Issue 9553, 16-22 December 2006, Pages 2167-2178. The Langet.  
<http://www.Sciencedirect.Com/science/articlepii/So140673606696657>
43. D. Mergier, M Baldwin-„Early Manifestations of Manganese Neurotoxicity in Humans: An Update „Environmental Reserch, Symposium Paper V. 73, Issues 1-2, April 1997, pp/ 92-100.  
<http://www.Nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/y34-171.VxXouP19-71U>.
44. Giria S, Shukla, Radhey L. Singal - „The present status of biological effects of toxic metals in the environment: lead, cadmium and manganese”, Canadian Journal of Physiology and Pharmacology, 1984.  
<http://www.Nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/y84171/VxZCljFGERT>
45. Маклакова О.А. Устинова О.Ю. Лужецкий К. П. др. Нейровегетативные дисфункции у детей проживающих на территории с повышенных уровнем марганца в питьевой воде. Мат – лы докладов XVIII Всесоюзн. Конгр. Экология и здоровье человека. 2013, с 1845 – 1849

46. გიგაური ნ., გვერდწითელი ლ., სურმავა ა., რობაქიძე ზ. ქ. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნიდან გაფრქვეული აეროზოლების წარმოქმნის წყაროები და მისი შემადგენელი კომპონენტები, საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2018, ტ.18, N1, გვ. 229-233
47. გიგაური ნ., გვერდწითელი ლ., სურმავა ა., ინწკრიველილი. ზესტაფონის მიმდებარე ტერიტორიის ნიადაგის ზედაპირზე მტვრის განაწილების მოდელირება, საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, 2018, N2, ტ. 86, გვ. 62-64.
48. Gigauri N.G., Gverdsiteli L.V., Surmava A., Intskirveli. Numerical Modeling of Zestafoni City Dust Distribution in Case of Background Western Wind, Georgian Engeniring News, 2018, no 2(vol.86), pp.58-61.
49. ნიკოლეიშვილი ე. „Slime – SiO<sub>2</sub>-CaCO<sub>3</sub> – Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>” ფსევდოოთხმაგი სისტემის რიგი კომპოზიციების მაღალტემპერატურული ფიზიკურ - ქიმიური პროცესების შესწავლა“ საკანდ. დისერტ. ავტორეფ. თბ. 2005
50. კოტრიკაძე დ. ტექნოგენური ნედლეულის შემცველი კაზმიდან მინაკერამიკის მიღების პროგნოზირების შესახებ. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, N2, 2011, გვ. 168-172
51. სარუხანიშვილი ა.ვ., კოტრიკაძე დ.გ. მინერაკერამიკის მისაღებად გამიზნული კომპოზიციების ქცევა თერმული დამუშავებისას. საქ. ტექ. უნივერსიტეტის შრომები. N4, 2011, 32-38გვ.
52. სარუხანიშვილი ა.ვ., კოტრიკაძე დ.გ. მონომინერალური მინაკერამიკის მიღებისათვის კომპოზიციის იწ სპექტომეტრული კვლევა. საქ. ქიმიური ჟურნალი, N4, 2011, გვ. 404-408
53. Саруханишвили А.В., Котрикадзе Д.Г., Николаишвили Э.Т. Физико-химическая оценка ряда вопросов, связанных с получением стекла для стеклокерамики из мультиминеральной композиции. საქ. კერამიკოსთა ასოც. ჟურნალი „კერამიკა“, თბილისი, 1(27), 2012 წ. ს. 46-50
54. მაცაბერიძე ე., რაჭველიშვილი ნ., სარუხანიშვილი ა., ლომაძე ა. კომპოზიციის შედგენილობის თვისებრივი გავლენის თერმოდინამიკური შეფასება მინის ხარშვის პროცესის ენერგეტიკაზე. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე, ქიმიის სერია, 2009, ტ.35, N2, გვ. 193-196.
55. რაჭველიშვილი ნ.ჯ., გორდელაძე ვ.გ., სარუხანიშვილი ა.ვ. მრავალმინერალური კომპოზიციიდან მინანქრის ფრიტის მიღების

პროგნოზირების საკითხისადმი. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2011, ტ.11, N2, 164-169 გვ.

56. ნ. წერეთელი, ქ.წერეთელი. მანგანუმის სამთო - მეტალურგიული ნარჩენები. საერთ. სამეცნ - ტექნ. კონ.“გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება.“ შრომები. თბ., 2020, გვ. 292 – 296.

57. თ. ჩახუნაშვილი, თ. როყვა, ზ. ვაწაძე, მ. დადუნაშვილი, ჟ. ქებაძე და სხვ. ჭიათურის მანგანუმშემცველი საწარმოო ნარჩენების გამოყენებით ბაზარზე მოთხოვნადი პროდუქციის მიღება. საერთ სამეცნ. - ტექნ. კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“, შრომები, თბ., 2020 გვ 15 – 19.

58. Силич Л.М. Бобкова Н.М. Баранцева С.Е., Вьяль О.Н. Особенности процессов кристаллизации бесщелочных стекол модифицированных добавками  $R_2O_3$ . Сборник научных трудов. М., изд. МИСИ БТИСМ.1987 с. 52 – 65

59. გვერდწითელი ლ., გიგაური ნ., სურმავა ა., რობაქიძე ზ. სამრეწველო მტვრის კონცენტრაციათა მნიშვნელობების ვერტიკალური გავრცელების რიცხვითი მოდელირება ქ. ზესტაფონის ტერიტორიაზე შტილის დროს.საერთაშორისო სამეცნიერო - ტექნიკური კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“. შრომები თბ., 2020 გვ. 214 – 218

60 მაისურაძე ი. სილიკომანგანუმის მიღების ახალი ტექნოლოგიური სქემის დამუშავება ფეროშენადნობთა წარმოების მანგანუმშემცველი და ნახშირბადშემცველი ნარჩენების გამოყენებით. დოქტ. აკად. ხარისხ. დისერტ. ავტორეფ. თბ. სტუ, 2014 – 28 გვ.

61. სიმონგულაშვილი ზ., მაისურაძე ი., მაისურაძე ბ. სილიკომანგანუმის მიღების ტექნიკო - ეკონომიური მაჩვენებლების გაუმჯობესება კაზმში მანგანუმშემცველი ნარჩენების გამოყენებით. საერთ. სამეცნ. პრაქტ. კონფ. შრომები. ქუთაისი, 2013, გვ. 220 – 223.

62. სიმონგულაშვილი ზ., მაისურაძე ი., მაისურაძე ბ. ფეროშენადნობთა წარმოების ნარჩენებიდან კომპლექსური ბრიკეტების მიღების ოპტიმალური პარამეტრების დადგენა. სამეცნ. - ტექნ. ჟურნალი „ენერჯია“, 2013, №3 (67), გვ. 47 – 51.

63. Химическая технология стекла и ситаллов. Под ред. Павлушкина Н.М. М., Строиздат, 1983.

64. Павлушкин Н.М. Основы технологии ситаллов. М.Строиздат, 1979.

65. Стекло. Справочнику Под. Ред. Павлушкина Н.М. М., Строиздат, 1973
66. ჭეიშვილი თ. მინის, მინანქრის და მინაკრისტალური მასალების ტექნოლოგია. ლექციათა კურსი. თბ. სტუ, 2020
67. ჭეიშვილი თ., ქუთათელაძე ნ. მეთოდური მითითებანი ლაბორატორიული სამუშაოების ჩასატარებლად სიტალების ტექნოლოგიაში. თბ., სპი, 1983.
68. Вегман Е.Ф. Жередин Б.Н. Похвиснев А.Н. и др. Металлургия чугуна. М., Академкнига, 2004 г.
69. თალაკვაძე ი., მინდელი მ., მაისურაძე ბ. ბრძმედილი დნობისათვის კაზმის მომზადების თეორია და ტექნოლოგია. სტუ, თბ., 2012
70. Тимащев В.В., Сулименкол Л.М., Альбац Б.С. Агломерация порошкообразных силикатных материалов. М., Стройздат, 1978.
71. [www. Химик. RU /ehcyklopedia/ 1143 htme](http://www.Химик. RU /ehcyklopedia/ 1143 htme). Гранулирование
72. [www / chemhort. RU /chemipedia/ artikl – 963](http://www / chemhort. RU /chemipedia/ artikl – 963). Гранулирование
73. <https: / i metellurgicheeri/academik, RU/1290> . Брикетирование
- 74 . <https: /ru. 7777/ SHDRED>. Брикетирование %20 руд. Pdf, 2014
75. Рывкин Н.Ю., Гремин А.Я., Латвин Е.Н. и др. Брикетирование мелкозарнистых и тонкодисперсных материалов со связующим. Кокс и химия, №10, 2000, с. 36 – 41
76. Кожевников Н.Ю. Равич Б. М. Окусковывание и основы металлургии. М., Металлургия, 1991
77. Равич Б.М. Брикетирование руд. М. Недрa. 1982 – 183 с.
78. Лотоц В.Е. Безобжиговое окусковывание тонкодисперсных материалов и мелочи полезных ископаемых. Екатеринбург изд. Филантроп, 2009
79. ГОСТ 13078. Стекло натриевое жидкое. Технические условия. М., Госстандарт



80. Григорьев П.Н. Матвеев М.А. Жидкое стекло. М. Промстройздат, 1956
81. ru. wikipedia, org /wiki/ Камнелитейное производство. Стеклокристаллические материалы. М., Строиздат, 1988.
83. Липовский И.Е. Доровеев В.А. Основы петрургии. М. Metallurgia 1982.
84. Роусон Г. Неорганические стеклообразующие системы. М., Мир, 1979
85. Аппен А.А. Химия стекла Л., Наука 1970
86. Матвеев М.А., Матвеев Г.М., Френкель Б.Н. Расчеты по химии и технологии стекла. Справочное пособие М., Строиздат, 1972
87. Павлушкин Н.М., Сентюрин Г.К., Ходаковская Р.Я. Практикум по технологии стекла и ситаллов. М. Строииздат., 1970
88. ГОСТ 7299 – 84 Брикеты из бурых углей. Технические условия. М. ГКС 1985г.
89. Иас. Su/ allnot 4 ferroalloys /mn/ 005. Phd. Производство силико-марганца.
90. emchezgia . ru/ferrosplav / 23 silikomarganets – Simn, php. силико-марганец Технология производства SiMn
91. ჭეიშვილი თ., გაბრიაძე ნ. მანგანუმშემცველი საწარმო მტვრის საფუძველზე ტექნოგენური მასალის მიღება. კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები. ტ. 21, 1(41), 2019 გვ. 70 – 75.
92. გაბრიაძე ნ., ჭეიშვილი თ. მანგანუმშემცველი ზოგიერთი ნარჩენის საფუძველზე ეკოლოგიურად უსაფრთხო მასალების და ნაკეთობების მიღება. საერთაშორისო კონფერენციის შრომები. ვ. ერისთავის 80 წლისადმი მიძღვნილი კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება.“ თბ., 2020, გვ. 322-328
93. გაბრიაძე ნ., ჭეიშვილი თ. მანგანუმშემცველი მტვრის და კოქსის წვრილმანის შემცველი კაზმის შემკვრელის - თხევადი მინის ოპტიმალური მახასიათებლების დადგენა, კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები. ტ. 22, 1 (43), 2020, გვ. 19 – 23

94. Зубанов В.А., Чугунов Е.А. Механическое оборудование стекловых и ситалловых заводов. М., Машиностроение, 1984.
95. Булавин И.А. Машины и автоматические линии для производства тонкой керамики. М., Машиностроение, 1989
96. Лоскутов Ю.А. Максимов В.М. Веселевский. Механическое оборудование предприятий по производству вяжущих строительных материалов. М., Машиностроение, 1986
97. Макмиллан М. Стеклокерамика. М., Мир, 1983.
98. Лукин Е.С. Андрианов Н.Т. Технический анализ и контроль производства керамики. М., Строиздату, 1975
99. Ботвинкин О.К., Ключковский Г.И., Манулова А. Лабораторный практикум по общей технологии силикатов. М., Строиздат, 1966
100. ГОСТ 21289 – 75 – ГОСТ 21291 – 75. Брикетты угольные. Методы физического испытаний. М. Изд, станд.1986
101. ГОСТ 7875 – 86. Испытания огнеупорных изделий на термическую стойкость. М., Изд. Станд., 1986
102. ГОСТ 21290 – 87. Брикетты угольные. Метод определения водогнощения. М., Госстандарт, 1987.
103. სარუხანაშვილი ა., ქუთათელაძე ნ. მინის ფიზიკურ-ქიმიური და მექანიკური თვისებები. თბ., სტუ., 1993.
104. ISO 10545 – 6 2010 Плитки керамические. часть 6. Определение стойкости к глубокому абразивному истиранию неглазурованных плиток.
105. ISO 10545 – 7. 1996. Плитки керамические. Часть 7. Определение стойкости к поверхностному абразивному истиранию глазурованных плиток.
106. Берг Л.Т. Введение в термографию М.Наука, 1969
107. მაჩალაძე თ. თერმული ანალიზი. თბ., სტუ, 2006
108. Сванидзе Л. К. Загю Т.Н. Мосия Д.В. Сигуа Т.И. Термический анализ марганцеворудных материалов. Тб., Изд.Мецниереба, 1979

109. Федоров Н.Ф. Туник Т.А. Лабораторный практикум по физической химии силикатов. Л. Изд. ЛГУ , 1987
110. Ковба Л.М. Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. М., Изд МГУ 1969
111. Зевин Л.С., Хейкер Ю.М. Рентгеновские методы исследования строительных материалов. М., Стройиздат, 1965
112. Михеев М.Н. Рентгенометрический определитель минералов. М. Госгеотехиздат, 1957
113. Токлачев С.С. Таблицы межплоскостных расстояний. Л., Химия, 1968
114. Каталог ASTM (1982) R/M blocb:11 17 22 24 35 и др.
115. Штрюбель Г. Циммер З.Х. Минералогический словарь. М. Недра 1987 г.

