

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

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

**ავტორეფერატი**

თბილისი  
2020

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

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი **თეიმურაზ ჭეიშვილი**

რეცენზენტები: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

დაცვა შედგება ----- წლის ”-----” -----, ----- საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ,, ქიმიური ტექნოლოგიისა და  
მეტალურგიის ფაკულტეტის“ სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,  
კორპუსი -----, აუდიტორია -----  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 69.

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

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 ე. 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 ამავდროულად ნედლეულის მომპოვებელ და საწარმოო პროცესის განმახორციელებელი რეგიონების ეკოლოგიური პრობლემების განსაზღვრის მიზეზიც არის. ცნობილია, რომ მადნის მოპოვებიდან სარეალიზაციო პროდუქტის მიღებამდე მანგანუმის დანაკარგების თითქმის 50 %-ს შეადგენს, რაც არც ეკონომიურად და არც ეკოლოგიური თვალსაზრისით არ არის მისაღები.

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 მისი მაღალი შემცველობის ბრიკეტების მიღების შესაძლებლობა, ხოლო შლამის გამოყენებით დაიგეგმა ქვის სხმულის ნაწარმის მიღების შესაძლებლობის დადგენა.

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 დაწნევის 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 მანგანუმის მტვრის დიდი ოდენობით შემცველი, მექანიკურად და თერმულად მდგრადი ბრიკეტების მიღებაში და საწარმოთა ნარჩენების საფუძველზე ფართოდ გამოყენებადი პეტურგიული ნაწარმის მიღების ტექნოლოგიის დამუშავებაში.

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

**პუბლიკაციები:** სამუშაოს ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო ნაშრომში.

**სამუშაოს მოცულობა:** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შემდეგი ნაწილებისაგან: შესავალი, ლიტერატურის მიმოხილვა (ხუთი ქვეთავი), შედეგების განსჯა (4 თავი) და წარმოდგენილია ნაბეჭდ 171 ფურცელზე. შეიცავს რეზიუმეს, 23 ნახაზს, 30 ცხრილს, 115 ციტირებული ლიტერატურას.

## 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

ლიტერატურის მიმოხილვაში წარმოდგენილია მასალა, რომელიც ერთ მნიშვნელოვან პრობლემას მოიცავს – მანგანუმის ნარჩენებით გამოწვეულ ეკოლოგიურ რისკებს, მათი გადამუშავების საკითხის მდგომარეობას და პერსპექტივებს. შესაბამისად, ლიტერატურის მიმოხილვაში წარმოდგენილი მასალა ოთხი ქვეთავის სახითაა მოყვანილი, სადაც განიხილება მანგანუმშემცველ ნარჩენებთან დაკავშირებული ძირითადი საკითხები – ეკოლოგია (ადამიანის ჯანმრთელობაზე ზემოქმედების ფაქტორები – თავი 1.1. მათი გადამუშავების დღეისათვის არსებული მიდგომები – თავი 1.2 და ეკოლოგიურად უსაფრთხო მდგომარეობაში გადაყვანის პერსპექტიული გზები – თავი 1.3 და 1.4. ლიტერატურის მონაცემთა ანალიზის საფუძველზე გაკეთდა დასკვნა და განისაზღვრა სამუშაოს ძირითადი მიმართულებები (თავი 1.5).

არსებული ლიტერატურის წყაროების შესწავლით და შეფასებით დადგინდა, რომ მანგანუმშემცველი მტვრისებრი და შლამისებრი მასალების მიერ წარმოქმნილი ეკოლოგიური საფრთხეების აღმოსაფხვრელად მიზანშეწონილად შეიძლება ჩაითვალოს დიდი რაოდენობით მტვრის შემცველი ნარევების ბრიკეტირებისა და შლამის საფუძველზე მინის (მინაკრისტალური) მასალების, კერძოდ ქვის სხმულის, მიღების შესაძლებლობათა დადგენა.

## 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 მტვრითაა წარმოდგენილი და რეალურ საფრთხეს უქმნის ატმოსფერულ ჰაერს, ხოლო მეორე – ხვდება

რა მდინარეთა წყალში – ეკოლოგიური ხასიათის პრობლემებს 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 ღირებული სამრეწველო დანიშნულების პროდუქტების შექმნას.

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

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 მტვერისებრი (ნაწილაკების ძირითადი ნაწილის ზომა 0,1 მმ-ზე ნაკლებია) სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესში დაბრუნება მიზანშეწონილი არ იქნებოდა, რადგან ღუმელიდან ამომავალი აირები მას წაიტაცებს და ტექნოლოგიურ პროცესში ეფექტურ 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.

კვლევისათვის აღებული საწყისი მასალები, მტვერი და კოქსი ხასიათდებიან სხვადასხვა გრანულომეტრით: მტვერში წარმოდგენილი ნაწილა-

კების ძირითადი ნაწილის ზომა ( $\delta$ ) 0,1 მმ-ზე ნაკლებია, ხოლო ნარევის მეორე ინგრედიენტის კოქსის მარცვლების ზომა  $\delta \leq 3$  მმ-ს შეადგენდა.

რესპირაციული მტვრის შედგენილობაში გამოიყო ძირითადი ( $Mn$ ,  $SiO_2$ ) შემადგენელი, ხოლო დანარჩენი ნაერთები გაერთიანდა „არაძირითად“ შემადგენელთა ჯგუფში. ასევე კოქსის შედგენილობასთან მიმართებაში - ცალკე გამოიყო აღმდგენი (ნახშირბადი), ხოლო დანარჩენი შემადგენელი (არაწვადი და ტენი) მიეკუთვნა „არაძირითად“ შემადგენელს (1-ლი ცხრილი).

**ცხრილი 1. ზფქ-ის რესპირაციული მტვრის და კოქსის წვრილმანის გადაანგარიშებული და გასაშუალოებული შედგენილობა (%)**

	მასალის დასახელება	ქიმიური შედგენილობა (მას. %)				
		ძირითადი შემადგენელი			არაძირითადი შემადგენლები	ჯამი
		$MnO_2$	$SiO_2$	C		
1	მტვერი	38	39	-	23	100
2	კოქსის წვრილმანი	-	-	84	16	100

საწარმოო მტვრის სილიკომანგანუმის დნობის მიღების ტექნოლოგიურ პროცესში ჩართვა მოითხოვდა გარკვეული შედგენილობის „მტვერი-კოქსი“ ნარევების მიღებას. შესაბამისი გათვლებით მიღებული იქნა მტვრის დიდი შემცველობით გამორჩეული შემდეგი შედგენილობის კაზმები (სერია DC): 50 – 90 მას % მტვერი და 50-10 მას. % კოქსის წვრილმანი.

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.

ჩვენი სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა შლამის გამოყენებით სპეციფიური მინამასალის – ქვის სხმულის მიღება და მისი წარმოების ისეთი ტექნოლოგიის დამუშავება. გაანალიზდა ამ მიმართულებით არსებული პრაქტიკული გამოცდილება და აღინიშნა, რომ 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-თერმულ დამუშავებას.

შლამის ქიმიური შედგენილობის ანალიზით, კერძოდ მასში შემავალი ცალკეულ ოქსიდთა პოტენციური შესაძლებლობით წარმოქმნას რთული შედგენილობის ალუმინსილიკატები, სილიკატები ან შეასრულოს მალღობლის და კრისტალიზაციის ჩანასახწარმოქმნელის ფუნქცია, დადგინდა რომ „სუფთა“ შლამიდან სასურველი შედგენილობის მინამასალის მიღება შეუძლებელი იქნებოდა. საკვლევი შლამის მაკორექტირებელ დანამატად შერჩეული იქნა ზფქ-ის ნარჩენი-წიდა. საწარმოო წიდეები ქიმიური შედგენილობის მეტ-ნაკლები ერთგვაროვნებით გამოირჩევიან, ხოლო შლამისა და წიდის გასაშუალოებული შედგენილობებიდან გამომდინარე ჩატარებული შედარებით ანალიზით დადგინდა, რომ წიდა შესაძლებელს გახდიდა „წიდა-შლამის“ ნარევიდან მინამასალების მიღებას. შლამის და წიდის გასაშუალოებული, მათში შემავალი და მიზნობრივად კლასიფიცირებული ოქსიდთა შემცველობა, ასევე „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის რიგი ნარევიდან მისაღები მინამასალების ქიმიური შედგენილობა წარმოდგენილია მე-2 ცხრილში.

ქვის სხმულის ნაწარმის მისაღებად გამოყენებული ნედლეულის შესაფერხებლად რეკომენდირებული და არსებული ხერხებიდან ჩვენ ავირჩიეთ ა.გინზბერგის და ბ. ხანის მიერ შემოთავაზებული გათვლითი მეთოდები, ხოლო „შლამი-წიდა“ ნარევიდან საწყისი მინის მიღების შესაძლებლობა შეფასდა ა. აპენის მიერ შემოთავაზებული  $f_{Si}$ - ფაქტორის მნიშვნელობათა დადგენით (ცხრილი 3).

ცხრილი 2. ზფქ-ის წილის და მანგანუმშემცველი შლამის საფუძველზე შედგენილი ნარევები

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	

**ცხრილი 3. ა. პენის, ა. გინზბერგის და ბ. ხანის მიდგომებით: „შლამი-წიდა“ კომპოზიციის შეფასება**

შედგენილობა №	კაზმის შედგენილობა		გათვლების შედეგები და მათი შეფასება							
	შლამი	წიდა -	ა. აპენის კრიტერიუმი		ა. გინზბერგის კოეფიციენტები			ბ. ხანის პიროქსენ. მოდ		
			$f_{Si}$	შეფ.	A	B	C	შეფ.	M <sub>P</sub>	შეფ.
1	100	-	0,43	-	68,0	28,0	4,0	±	2,53	Pr+Pl
2	75	25	0,041	±	66,0	31,0	3,0	+	2,59	“
3	50	50	0,39	±	64,0	34,0	2,0	+	2,65	“
4	25	75	0,37	+	62,0	37,0	1,0	+	2,71	“
5	-	100	0,35	+	60,0	40,0	0,0	±	2,75	“

შენიშვნა: (-) არ არის მოსალოდნელი; (+) მოსალოდნელია; (±) საჭიროებს დაზუსტებას, - პიროქსენი; -პლაგიოკლაზი; (\*) განმარტება იხ. ტექსტში

ა. აპენის  $f_{Si}$  - ფაქტორების გათვლებით გამოვლინდა, რომ სტაბილური სტრუქტურის მინის მიღება შესაძლებელია N4 ( $f_{Si}=0,41$ ) და N5 ( $f_{Si}=0,43$ ) შედგენილობების კაზმიდან. ზოგადი დასკვნის სახით, შეიძლება გამოითქვას ვარაუდი, რომ  $f_{Si}$ -ფაქტორების მიხედვით შესაძლებელია მინის წარმოქმნა „წიდა-შლამის“ კომპოზიციებში, როდესაც შლამი/წიდა ფარდობა 1-ზე მეტს შეადგენს.

ა. გინზბერგის მიერ შემოთავაზებული შედგენილობის შემფასებელი მიდგომა ითვალისწინებს შესაბამისი გათვლებით მიღებული მნიშვნელობების პროექციულ დიაგრამაზე დატანას (ნახ. 1). ასეთი დიაგრამის წვეროები (A, B და C) გამოსახავენ სხვადასხვა ფუნქციური დანიშნულების ოქსიდების ჯამს:  $A = \% SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2$ ,  $B = \% (FeO + Fe_2O_3) + \% (MgO + CaO) + \% MnO$ , ხოლო C- ჯგუფში ორი ოქსიდია წარმოდგენილი ( $C = \% NaO + \% K_2O$ ). ზფქ-ის წიდის და მანგანუმშემცველი შლამის გამოყენებით შედგენილი ხუთი კომპოზიციისას მახასიათებელი წერტილების კოორდინატთა დადგენის შედეგები ავტორეფერატში მოყვანილია მე-3 ცხრილში, ხოლო წერტილების განლაგება ა. გინზბერგის პროექციულ დიაგრამაზე წარმოდგენილია სადისერტაციო ნაშრომში.

ა. გინზბერგის მიდგომების საფუძველზე, ქვის სხმულში გარდაქმნადი მინისებრი ნაღნობების მიღება შესაძლებელია 25-75 მას. % შლამის

(შესაბამისად, 75 და 25 მას. % წიდა) შემცველ ნარევის (კაზმების) ხარშვით მიღებული მინებიდან.

ბ. ხანის პიროქსენული Mp მოდულის მნიშვნელობა მიხედვით შესაძლებელია დიდი ალბათობით ამა თუ იმ ნედლეულის ნადნობიდან მიღებული ქვის სხმულის ნაწარმში გარკვეული შედგენილობის კრისტალურ ფაზათა დადგენა. რადგან გათვლებით მიღებული პიროქსენული Mp-მოდულის მნიშვნელობა ნაკლებია 3-ზე ( $Mp < 3$ ), ჩვენს მიერ შესასწავლად აღებულ „შლამი-წიდა“ კომპოზიციიდან მიღებული ნებისმიერი შედგენილობის ნადნობის ქვის სხმულში გარდაქმნისას მოსალოდნელია პოლიკრისტალური (დიდი ალბათობით პიროქსენების და პლაგიოკლაზების) ფაზური შედგენილობის მასალის მიღება.

## 2.2. მანგანუმშემცველი საწარმოო მტვრის ბრიკეტირების პირობების დადგენა

შესაბამისი ანგარიშების და კაზმების ერთგვაროვნების შეფასების ჩატარების შემდეგ შერჩეული იქნა „მტვერი-კოქსი“ ერთი საცდელი შედგენილობა, რომელშიც, მტვრის შემცველობა მაქსიმალურ 80 მას. %-ს, ხოლო კოქსის წვრილმანის რაოდენობა 20 მას. %-ს შეადგენდა (შედგენილობა DCM). ბინარული ნარევის ბრიკეტირებისათვის შემკვრელად გამოყენებული იქნა თხევადი მინა, რომელიც განსაზღვრული ოდენობით ემატებოდა საკვლევად აღებული DCM შედგენილობის ნარევს (100 %-ზე ზემოთ).

„მტვერი-კოქსის“ ნარევიდან ვარგისიანი ე.ი. პირველ რიგში მექანიკურად მდგრადი ბრიკეტის მიღების უზრუნველსაყოფად ჩვენს მიერ მიზნობრივად განხორციელდა კვლევები, რომლებშიც კაზმის შემკვრელად გამოყენებული იქნა სხვადასხვა კონცენტრაციის სამი სახეობის თხევადი მინა (ცხრილი 4).

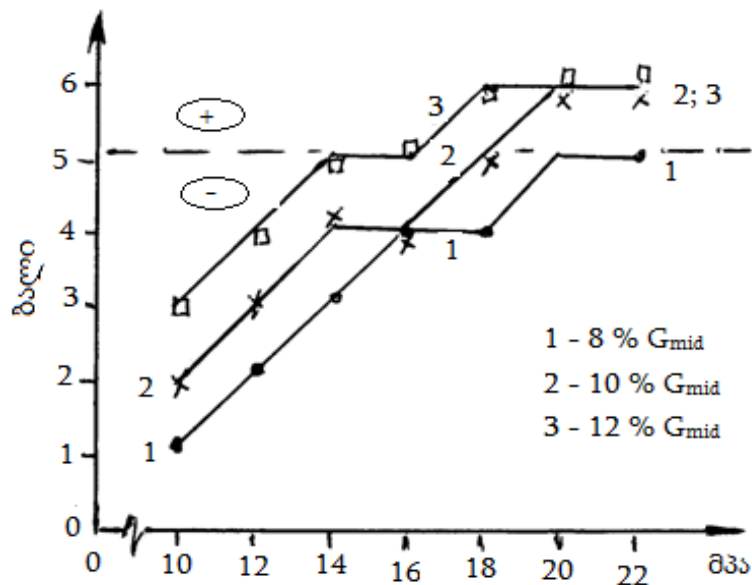
ცხრილი 4. შემკვრელად გამოყენებული თხევადი მინის მახასიათებლები

N	პირობითი აღნიშვნა	სილიკატური მოდელი (m)	თხევადი მინის კონცენტრაცია, %	თხევადი მინის განსაზღვრული სიმკვრივე (d), გ/სმ <sup>3</sup>	თხევადი მინის შედგენილობა მას.%	
					SiO <sub>2</sub> + Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
1	G <sub>max</sub>	3,0	35,0	1,38	45,9	54,1
2	G <sub>mid</sub>	3,0	27,5	1,25	34,3	65,7
3	G <sub>min</sub>	3,0	20,0	1,15	22,2	77,8

წინასწარ მომზადებულ DCM-ის შედგენილობის ნარევს სამივე სახისე.ი. მაღალი (G<sub>max</sub>), საშუალო (G<sub>mid</sub>) და სუსტი (G<sub>min</sub>) კონცენტრაციის თხევადი მინა ემატებოდა: 6, 8, 10, 12 და 16 წ.ნ.

სამკომპონენტო ნარევის კაზმის დაწნეხვით (12 მპა) მიიღებოდა საცდელი ნიმუში - ცილინდრული ფორმის ბრიკეტი. აღნიშნული ექსპერიმენტით გამოვლინდა, რომ ნიმუშების სასურველ დონემდე დაწნეხვას უზრუნველყოფს „მტვერი-კოქსი“ ნარევის DCM + G კომპოზიცია, როდესაც შემკვრელად გამოიყენება G<sub>mid</sub> შედგენილობის თხევადი მინა:

- 8 მას. % (G<sub>mid</sub>) შეცველობისას და 20 – 22 მპა-ზე წნეხისას;
- 10 მას. % (G<sub>mid</sub>) შეცველობისას და 18 – 22 მპა-ზე წნეხისას;
- 12 მას. % (G<sub>mid</sub>) შეცველობისას და 14 – 22 მპა-ზე წნეხისას.



ნახაზი 1. DCM შედგენილობის ნიმუშების პირობით სიმტკიცეზე დაწნეხის ძალების გავლენა (შემკვრელად G<sub>mid</sub> თხევადი მინის გამოყენებისას)

წარმოდგენილი პირობიდან გამომდინარე, შემდგომი მიზნობრივი ექსპერიმენტული კვლევა ჩატარდა შესწავლილი ორი შედგენილობის – (B-3 და B-4), 18 მპა-ზე დაწნეხილი ნარევებიდან მიღებულ ნიმუშებზე:

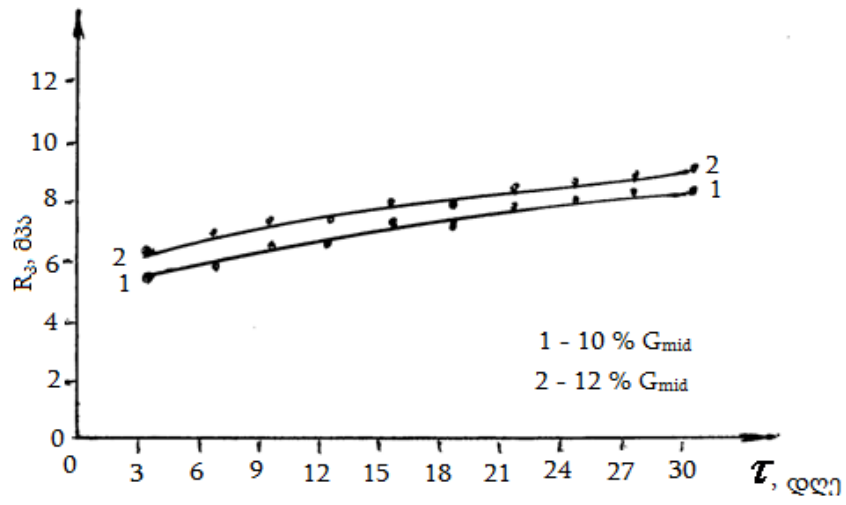
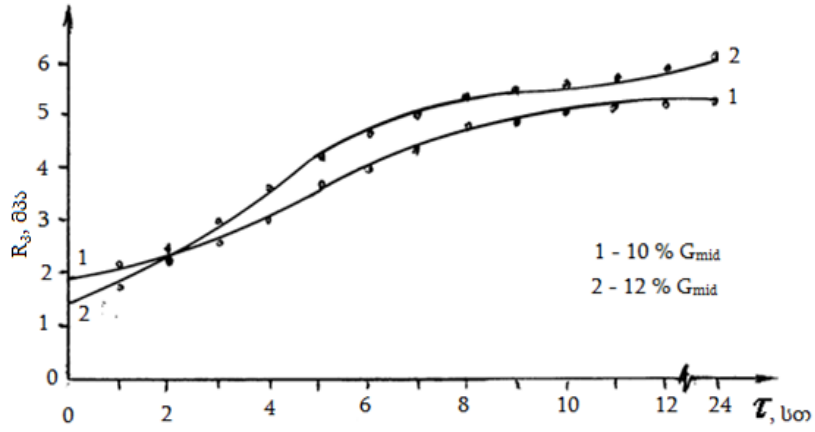
შედგენილობა B - 3		შედგენილობა B - 4	
მტვერი 80 მას. %	ძირითადი კომპონენტები	მტვერი 80 მას. %	კოქსი 20 მას. %
კოქსი 20 მას. %			

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

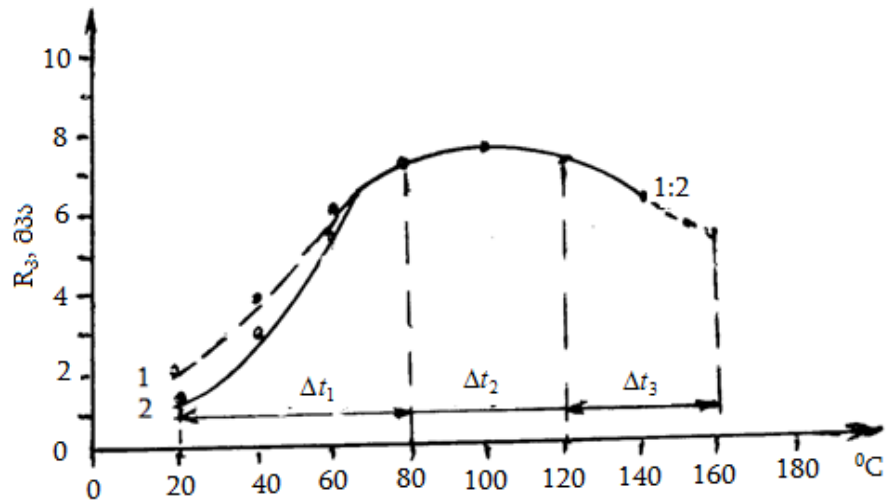
დაწნეხილი (B-3 და B-4) შედგენილობის ნიმუშების მექანიკურ სიმტკიცეზე შრობის პირობების გავლენა დადგინდა ბუნებრივ პირობებში (ოთახის ტემპურატურაზე) და ხელოვნურ პირობებში ბრიკეტების შერობის პროცესის ჩატარებით. ხელოვნური შრობა ჩატარდა მოკლევადიანი (1-დან 24 სთ-მდე) და გრძელვადიანი (30 დღე) დროის ინტერვალში, შესაბამისად 1 სთ-ანი და 3 დღიანი ბიჯით. ჩატარებული კვლევის შედეგები წარმოდგენილია მე-2 და მე-3 ნახაზზე.

დაწნეხილი B-3 და B-4 შედგენილობის ნიმუშების (18 მპა) მექანიკურ სიმტკიცეზე ( $R_3$ ) შრობის პირობების გავლენის შესწავლის შედეგები წარმოდგენილია მე-2 ნახაზზე. ზოგადი დასკვნები შემდეგია:

- დადგინდა, რომ ბუნებრივი შრობის 7-8 საათიანი პერიოდი უზრუნველყოფს ბრიკეტების სიმტკიცის სამმაგ ზრდას (1,5 – 1,8 მპა- დან 5,2 – 5,5 მპა-მდე).
- თხევადი მინის რაოდენობა ზრდის ნიმუშების სიმტკიცეს კუმშვაზე, მაგრამ უმნიშვნელოთ (დაახლოებით 1 მპა-ს ფარგლებში) ბუნებრივი შრობის მთელი პერიოდის განმავლობაში;
- გრძელვადიანი ბუნებრივი შრობის გავლენა ნიმუშების სიმტკიცეზე განსაკუთრებით ვლინდება 15 დღემდე დაყოვნების პერიოდისათვის, როდესაც ადგილი აქვს საწყისი სიმტკიცის 50 %-მდე ზრდას და  $R_3$ -ს სიდიდე 7 მპა-ზე მეტი მნიშვნელობებით ხასიათდება.



ნახაზი 2. ბუნებრივ პირობებში (ოთახის ტემპურატურაზე) B-3 (1) და B-4 (2) შედგენილობის ბრიკეტების შრობის ხანგრძლივობის გავლენა მათ მექანიკურ სიმტკიცეზე



ნახაზი 3. შრობის ტემპურატურის გავლენა ნიმუშების სიმტკიცეზე

საწარმოო პირობებთან გამომდინარე (ბრიკეტების დნობაზე დაჩქარებულად წარმართვა), კიდევ ერთი მიმართულებით ჩატარდა ბრიკეტების კვლევა - ნიმუშებს ხელოვნური შრობის პროცესი ჩაუტარდათ. ხელოვნური შრობა ჩატარდა 40–160°C ინტერვალში როდესაც დაყოვნების დრო 20-25 წთ-ს შეადგენდა.

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 (ნახ. 3).

მიღებული შედეგების შეჯერებით: 10 და 12 % თხევადი მინის ( $G_{mid}$ ) შემცველი ნიმუშების მექანიკური სიმტკიცე კუმშვაზე მნიშვნელოვნად იზრდება 40-დან 80°C-მდე შრობის პირობები და ისინი პრაქტიკულად იდენტურია (უცვლელია) 100 – 120°C ტემპერატურულ ინტერვალში შრობის შემთხვევაში.

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

- დიდი რაოდენობით (80 მას. %-მდე) მტვრის შემცველი კაზმის შემკვრელად 10 – 12 მას. % თხევადი მინის ( $d=1250$  კგ/მ<sup>3</sup>) გამოყენება 100 მას. % კაზმის ზემოთ; „მტვერი-კოქსის“ კომპოზიციის ბრიკეტების დაწნეხვის მინიმალური ძალა 16 მპა-ზე მეტი უნდა იყოს;

- ბრიკეტების საექსპლუატაციო მექანიკური სიმტკიცის უზრუნველყოფისათვის რეკომენდებულია მათი ბუნებრივი (რამოდენიმე დღე ოთახის ტემპერატურაზე) ან ხელოვნური (70-100°C ტემპერატურულ ინტერვალში 20 – 25 წუთი) შრობა.

ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის საუტილიზაციო ნარჩენების - რესპირაციული მტვრისა და კოქსის წვრილმანის საფუძველზე მიღებული იქნა ბრიკეტები, რომლებიც პერსპექტივაში ზფქ - ის შიდა მოხმარების ტექნოლოგიურ პროდუქტს წარმოადგენს. ასეთ შემთხვევაში მათი ხარისხის



განმსაზღვრელი რამოდენიმე წამყვანი თვისება ხდება: სიმტკიცე კუმშვაზე, ცვეთამდედგობა, თერმომდედგობა, წყალშთანთქმა.

კომპლექსური კვლევისათვის გამოიზნული ნიმუშების  $B' - 3/4$  ბუნებრივი  $B' - 3/4$  შრობა განხორციელდა ოთახის ტემპერატურაზე მათი 3, 6, 12 და 24 საათიანი დაყოვნებით. ხელოვნური შრობა (ნიმუში  $B'' - 3/4$ ) ოთხ ტემპერატურაზე (60, 80, 100 და 120°C) 20 წუთის განმავლობაში დაყოვნებით ჩატარდა. ორ განსხვავებულ პირობებში გამომშრალი ნიმუშების  $B' - 3/4$  და  $B'' - 3/4$  მახასიათებელი თვისებების შესწავლით მიღებული შედეგების ზოგადი შეფასებით, ბუნებრივ პირობებში გამომშრალი (შედგენილობა  $B' - 3/4$ ) დაწნეხილი ნიმუშები ყველა თვისებათა მაჩვენებლების მიხედვით ჩამორჩებიან ხელოვნურად და ამავე დროს 80 – 100°C-ზე გამომშრალ ნიმუშებს  $B'' - 3/4$ .

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.

**ცხრილი 5. სტანდარტული ბრიკეტების და „მტვერი-კოქსი“ კომპოზიციის  $B'' - 3/4$  შედგენილობის ბრიკეტ-ნიმუშების თვისებები**

№	თვისება	თვისების აღნიშვნა და განზ. ერთ		ბრიკეტების თვისებათა მაჩვენებელი		მიღებული (საკვლევი) ბრიკეტების შეფასება
		ინდექსი	განზ. ერთ.	სტანდარტი	საკვ. $B' - 3/4$ ; შედგ.	
1	სიმტკიცე კუმშვაზე	$P_c$	მპა	**	7,8	-
2	ცვეთამდედგობა (საკონტროლო საცერზე ნარჩენი)	$P_{ცვ}$	%	$\geq 77,5$	78,4	უკეთესია
3	წყალშთანთქმა	W	%	$\leq 3^*$	3,7	აჭარბებს დასაშვებს
4	თერმომდედგობა	$\Delta t$	°C	**	400	-

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

ზოგადად ბრიკეტების მიმართ არსებული მოთხოვნებისა (სტ.7299-84) და ჩვენს მიერ მიღებული და თვისობრივად საუკეთესო B''- 3/4 ბრიკეტების მაჩვენებლების შედარება მოყვანილია მე-5 ცხრილში.

მიღებული შედეგების საფუძველზე შესაძლებელია დავასკვნათ, რომ საკვლევ „მტვერი-კოქსი“ კომპოზიციაში შესაძლებელია დიდი ოდენობით მანგანუმშემცველი რესპირაციული მტვრის შემცველი (80 %) და ხელოვნურად 100°C-ზე (20-25 წთ) გამომშრალი ბრიკეტების მიღება, რომლებიც ხასიათდებიან მაღალი სიმტკიცით და ცვეთამედეგობით, დაბალი წყალშთანთქმის უნარით და დასაშვები თერმომედეგობით.

### 2.3. ბრიკეტების თვისობრივი მახასიათებლების სრულყოფის გზების განსაზღვრა

გარდა ძირითადი ფიზიკური მახასიათებლებისა, რომლებითაც შეფასდა მიღებული ბრიკეტები, მათი პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით, გამოყოფენ კიდევ ერთ ფაქტორს – ე.წ. „ბრიკეტის სიმძიმეს“. დამძიმებული ბრიკეტების მიღება - გამოყენება მიზანშეწონილიადაა მიჩნეული ისეთ ტექნოლოგიურ პროცესებში, რომლებიც შენადნობების მიღებას ითვალისწინებს დნობის ვერტიკალურ ღუმელში.

ბრიკეტის „სიმძიმის“ საკითხი განსაკუთრებით აქტუალურია ჩვენს მიერ განხორციელებული 80 მას.% რესპირაციულ მტვრის შემცველი ნარევიდან მიღებულ ბრიკეტებთან მიმართებაში.

პირველ რიგში დადგინდა ორკომპონენტური კაზმის („მტვერი - კოქსი“) საწყისი მასალების - მტვრის და კოქსის წვრილმანის მოცულობითი წონები: მტვრისათვის  $V_{მოც} = 640 \text{ კგ/მ}^3$ , ხოლო კოქსის წვრილმანის  $V_{მოც} = 890 \text{ კგ/მ}^3$ . B – 3/4 შედგენილობის ნარევის 18 მპა ძალით დაბრიკეტებული ნიმუშის მოცულობითი სიმკვრივე შეადგენს დაახლოებით  $d = 1,82 \text{ გ/სმ}^3$ .

ორკომპონენტური (მტვერი-კოქსი) კაზმის სიმკვრივის გაზრდისათვის შერჩეული იქნა ზფქ-ში ტექნოლოგიური ნარჩენი- მანგანუმის მადნის წვრილმანი, რომლის მარცვლების ზომა  $d \leq 5,0 \text{ მმ}$ , ხოლო  $V_{მოც} \approx 1730 \text{ კგ/მ}^3$ .

მადნის წვრილმანის შერჩევა ასევე განაპირობა მასში, მტვერთან შედარებით,  $MnO_2$ -ის მაღალმა შემცველობამ (მტვერში - 38 %  $MnO_2$ , მადანში - 54 %  $MnO_2$ ). სამკომპონენტის (მტვერი-კოქსი-მადანი) კომპოზიციაში შედგენილი იქნა ხუთი კაზმი, რომელთაც დაემატა სხვადასხვა რაოდენობით  $G_{mid}$  შედგენილობის თხევადი მინა და განხორციელდა კაზმების ბრიკეტირება (18 მკა). მიღებული შედეგებიდან ჩანს, რომ ორკომპონენტის კაზმიდან სამკომპონენტის თითქმის 12 %-ით ზრდის ბრიკეტირებით მიღებული ნიმუშების სიმკვრივეს და აუმჯობესებს მახასიათებელ საექსპლუატაციო თვისებებს მადნის ნარჩენებით 20%-მდე მტვრის ჩანაცვლების შემთხვევაში (ცხრილი 6).

**ცხრილი 6. საკვლევი შედგენილობების მახასიათებელი თვისებები**

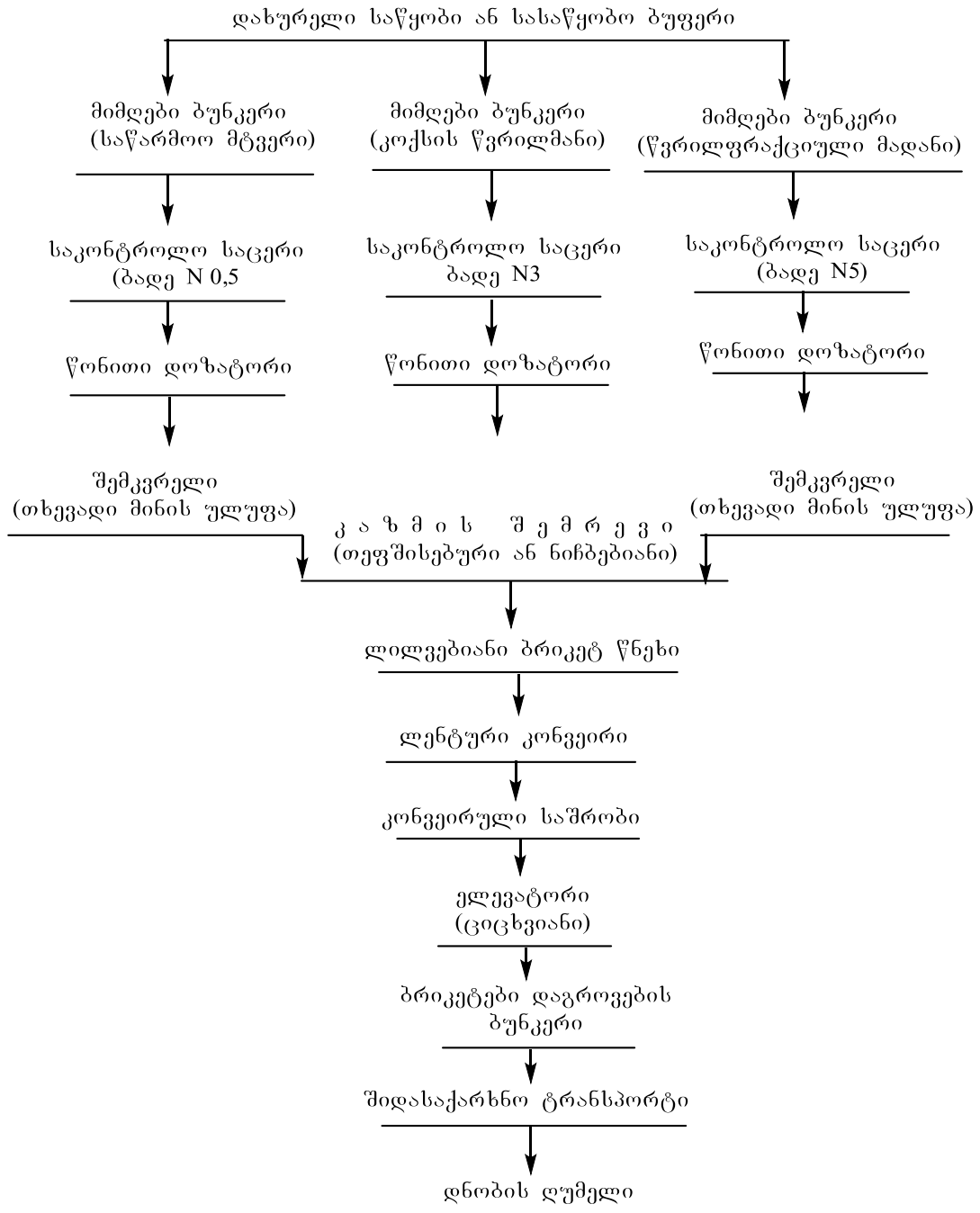
შედგენილობა	მახასიათებელი საექსპლუატაციო თვისებები			
	სიმკვრივე კუმშვაზე ( $P_3$ ), მკა	ცვეთამდე დეფორმაცია ( $P_6$ ), %	წყალშთანთქმა ( $W$ ), %	თერმოდეფორმაცია ( $\Delta t$ ) <sup>0</sup> , C
B - 3/4	7,8	78,4	3,7	400
A	8,1	82,1	3,2	800
B	8,3	84,5	3,1	800
C	8,2	86,0	3,5	800
D	7,9	83,9	3,7	900
E	7,5	80,0	3,9	700

მიღებული შედეგების შეჯერებით შეიძლება ზოგადი ხასიათის დასკვნის გამოტანა: ეკოლოგიური საფრთხეების წარმომქმნელი მანგანუმშემცველი მტვრის გამოყენება შესაძლებელია ტექნოგენური მასალის - მანგანუმშემცველი ბრიკეტების მისაღებად, როდესაც დასაბრიკეტებელი კაზმების მატერიალურ შედგენილობაში დიდი ოდენობით (50 – 80 მას.%) მტვერია წარმოდგენილი.

ორკომპონენტის, მტვრის და კოქსის შემცველი, კომპოზიციაში მიღებული მასალების პრაქტიკულ ღირებულების განსაზღვრავს მათში ლითონური მანგანუმის მაღალი (20 – 25 მას.% - იანი) შემცველობა, ხოლო ეკოლოგიურ მნიშვნელობას - ჯანმრთელობისათვის მავნე მანგანუმშემცველი მტვ-

რის მაღალი დონის უტილიზაცია, რაც გამოიხატება დიდი ოდენობით მტვრის ტექნოგენურ პროდუქტში გადაყვანით.

### ნედლეულის საწყობები



**ნახაზი 4. ორ - და სამკომპონენტო კაზმებისა და მათგან მდგრადი ბრიკეტების მიღების რეკომენდირებული ტექნოლოგიური სქემა**

ორკომპონენტთან, მტვრის და კოქსის შემცველი, კომპოზიციაში მიღებული მასალების პრაქტიკულ ღირებულების 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.

ორ- და სამკომპონენტური კაზმებიდან ბრიკეტების მიღების რეკომენდირებული ტექნოლოგიური სქემა მოყვანილია მე-4 ნახაზზე.

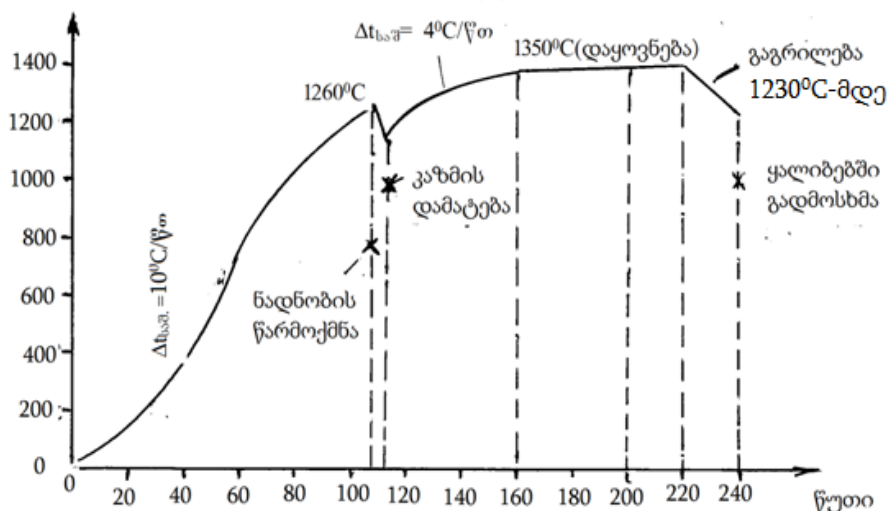
#### 2.4. მანგანუმშემცველი საწარმოო ნარჩენებიდან ქვის სხმულის მიღება

ქვის სხმულის მიღების საკითხის გადასაწყვეტად ჩვენს მიერ შეირჩა ორი საწარმოო ნარჩენი: გრანულირებული წიდა და მანგანუმის მადნის გამდიდრების შედეგად წარმოქმნილი შლამი. საცდელად შერჩეული იქნა ხუთი ნარევი, რომელთა შედგენილობაში ძირითად კომპონენტს წარმოადგენდა მანგანუმშემცველი შლამი, ხოლო დანამატად აიღებოდა წიდა. მათ ნარევებს მიენიჭა ინდექსი „MS“. შესასწავლად აღებული იქნა ხუთი ნარევი, რომელშიც 25%-იანი ბიჯით ხდებოდა შლამის ჩანაცვლება წიდით (ცხრ. 2)

განხორციელდა მასალების მომზადება და დამუშავდა ნატეხოვანი წიდის და ფხვიერი შლამის მომზადების ტექნოლოგიური სქემა. ხოლო კაზმებიდან მინის ნადნობის მიღების სრული გრაფიკი მოყვანილია მე-5 ნახაზზე.

„შლამი-წიდა“ კომპოზიციის შედგენილობათა კაზმების 1550°C-ზე ხარშვის შედეგები შემდეგია:

- ხარშვის ტემპერატურაზე (1350°C) მეტ-ნაკლებად ერთგვაროვან ნადნობებს იძლევა „შლამი-წიდა“ შედგენილობის ყველა ნარევი;
- სუფთა ნალღობის წარმოქმნის შედარებით კარგი უნარი გამოავლინა ბინარულმა შედგენილობებმა;



ნახაზი 5. „შლამი - წიდა“ კომპოზიციაში მინის მიღების გრაფიკი

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

– MS-1 და MS-5 მონოკაზმებიდან მიღებული ნადნობები ძნელადდენადები არიან და მათი გასუფთავება - ჰომოგენიზაციის ხარისხი დაბალია.

ჩატარებული ხარშვის შედეგად დადგინდა, რომ საკვლევი კაზმები, ერთგვაროვანი ნადნობის წარმოქმნის უნარის მიხედვით, შემდეგი მწკრივით შიძლება წარმოვადგინოთ:

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

ჩვენს წინაშე დასმული ამოცანა ითვალისწინებდა მანგანუმშემცველი შლამის მაქსიმალურ „გაუვნებლობას“, მაგრამ MS - 2, MS - 3 და MS - 4 შედგენილობებს შორის ქვის სხმის ტექნოლოგიაში გამოსადეგი შედგენილობის განსაზღვრა მხოლოდ მიღებული მასალების თვისებათა შესწავლას უნდა გადაეწყვიტა. წამყვან თვისებათა ანალიზი უფრო შედეგიანია, როდესაც ცნობილია ნადნობის სწრაფი გადაცივებით მიღებული მასალის და მისგან სპეციალური თერმული დამუშავებით წარმოქმნილი ქვის სხმულის თვისებები.

საკვლევ ობიექტად აღებული „შლამი-წიდა“ კომპოზიციაში მიღებული მინების თვისება-იდიკატორად ჩვენ შევირჩიეთ სიმკვრივე, რომელიც

მასალათა მოსალოდნელ გარდაქმნათა მაღალი სიზუსტით დადგენის საშუალებას იძლევა.

ხუთი სხვადასხვა შედგენილობის ორკომპონენტური „წიდა-შლამი“ კომპოზიციის MS-1 და MS-5 შედგენილობის ნიმუშების სიმკვრივეთა დადგენით. მიღებული ექსპერიმენტალური შედეგებიდან შეიძლება ზოგადი ხასიათის შეფასების გაკეთება: შედარებით მაღალი სიმკვრივით ხასიათდება წიდის ნადნობის 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 კაზმის მატერიალურ და მასთან დაკავშირებულ ქიმიურ შედგენილობას (ცხრილი 6).

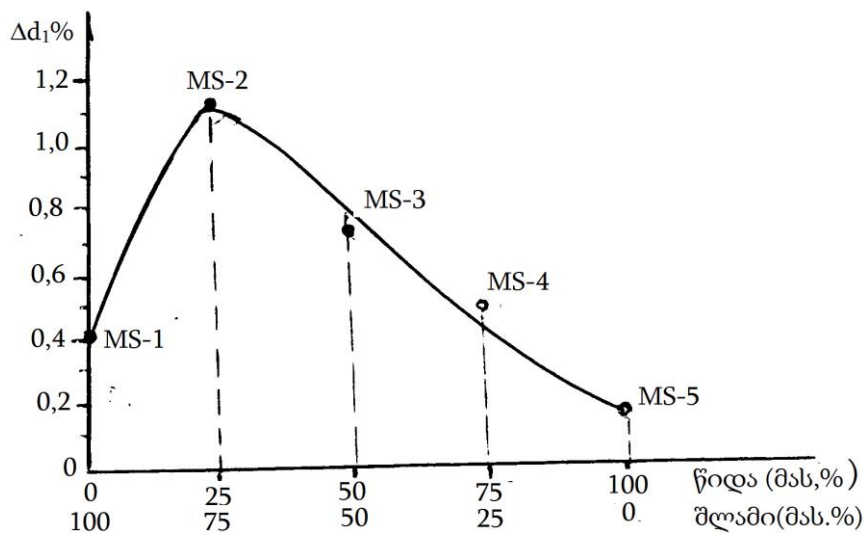
ცნობილია, რომ ყოველგვარი შიდა სტრუქტურული გარდაქმნა უკავშირდება ტემპერატურას და გარკვეულ ტემპერატურაზე მასალას დაყოვნების დროს. საკვლევი ხუთივე შედგენილობის მინის კრისტალიზაციური უნარი შესწავლილი იქნა 600-900°C ტემპერატურულ ინტერვალში (ბიჯი 100°C), შესაბამისად 4-1 სთ-ის განმავლობაში დაყოვნებით. შეფასდა მინების თერმოგარდაქმნათა ხარისხი და დადგინდა, რომ მინების დაკრისტალება შესაძლებელია 800-900°C-ზე მათი თერმული დამუშავებით, მაგრამ გარდაქმნის მაღალი ხარისხით გამოირჩევიან MS-2 და MS-3 შედგენილობები.

**ცხრილი 7. 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
საწყისი მინა		2478	2488	2503	2519	2538

საცდელი ნიმუშების თერმული დამუშავებით გამოწვეული სტრუქტურული ტრანსფორმაციათა ხარისხის შეფარდების მოსაძიებლად ჩატარდა სხვადასხვა რეჟიმებით დამუშავებული ნიმუშებისათვის საკონტროლო თვისების- სიმკვრივის სიდიდეთა დადგენით, რომელთა შედეგები მოყვანილია მე-7 ცხრილში.

საწყისი და თერმულად დამუშავებული ( $800^{\circ}\text{C}$ , 2 სთ) ნიმუშებისათვის მე-6 ნახაზზე წარმოდგენილი სიმკვრივეთა ცვლის და შედგენილობათა დამოკიდებულების გრაფიკი, რომლიდან ჩანს, რომ შიდა სტრუქტურული გარდაქმნებისადმი ( $\Delta d = \max$ ) განსაკუთრებულ მიდრეკილებას MS-2 შედგენილობა იჩენს ( $\Delta d > 1,1\%$ ).



**ნახაზი 6. საწყისი მინების და  $800-900^{\circ}\text{C}$ -ზე თერმულად დამუშავებით მიღებული MS-შედგენილობის მასალების სიმკვრივის მნიშვნელობათა ზრდის ( $\Delta d$ , %) მაჩვენებლები.**

ჩვენს მიერ სინთეზირებულ მინებთან მიმართებაში ჩატარებული კრისტალიზაციური უნარის შესწავლით დადგინდა, რომ ხუთივე შედგენილობის მინები  $900^{\circ}\text{C}$ -ზე თერმოდამუშავებისას სრულად არ კრისტალდებიან - სრული მოცულობითი კრისტალიზაცია მიღწევადი არ აღმოჩნდა. აღნიშნულმა გარემოებამ მოითხოვა შედგენილობებში დამატებით კრისტალიზაციის ინიციატორის შეყვანა. არსებული რეკომენდაციების გათვალისწინებით და MS-2 შედგენილობის სრული მოცულობითი კრისტალიზაციის მისაღწევად, ჩვენ შემდგომ კვლევებში დანამატად გამოვიყენეთ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  და

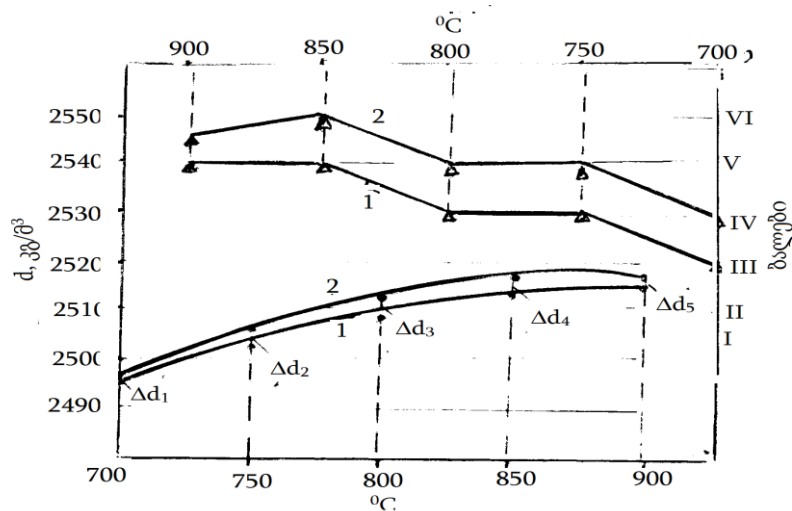


შევისწავლეთ შემდეგი შედგენილობის კაზმებიდან მიღებული მინა და მინა-მასალა (შედგენილობა ინდექსით MSC-2):

შლამი	—	75 მას. %	}	100 მას. %
წიდა	—	25 მას. %		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				0,6 მას. %, 100 % კაზმის ზემოთ

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

MSC-2 შედგენილობის მინისათვის პირველ რიგში დადგინდა კრისტალიზაციური უნარი 700-900°C ტემპერატურულ ინტერვალში (ტემპერატურული ბიჯი 50°C). კრისტალიზაციის ნუკლეატორის შემცველმა მინამ (შედგენილობა MSC-2) გამოავლინა მაღალი კრისტალიზაციური უნარი, რაც კონკრეტულად გამოიკვეთა იმ ფაქტში, რომ V ბალით შეფასებული კრისტალიზაციის დონემ ჩამოიწია 750-800°C-ზე, ხოლო 850°C-ზე დაფიქსირდა

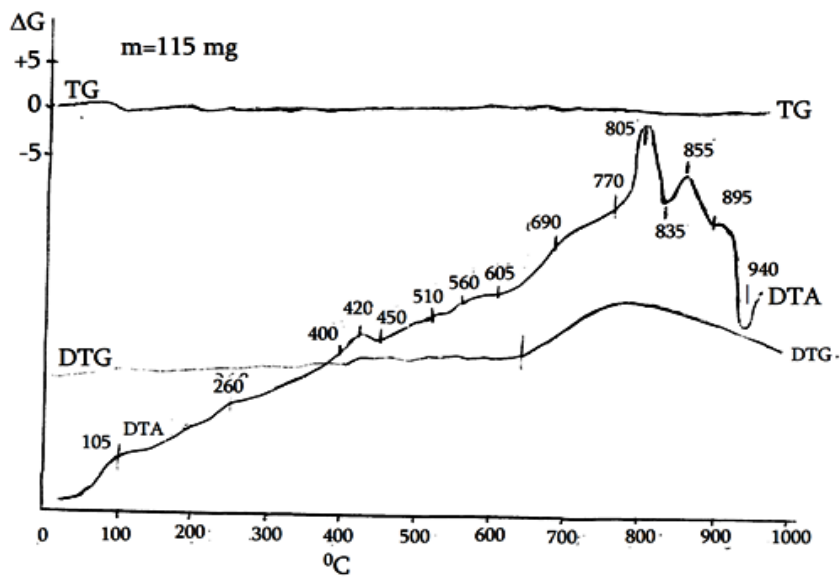


**ნახაზი 7. MS-2 (1) და MSC-2 (2) შედგენილობის მინების სიმკვრივეს (d) და კრისტალიზაციური უნარის (ბალები) დამოკიდებულება თერმული დამუშავების ტემპერატურაზე**  
 შენიშვნა: (.) - სიმკვრივე; (Δ) - ბალები.

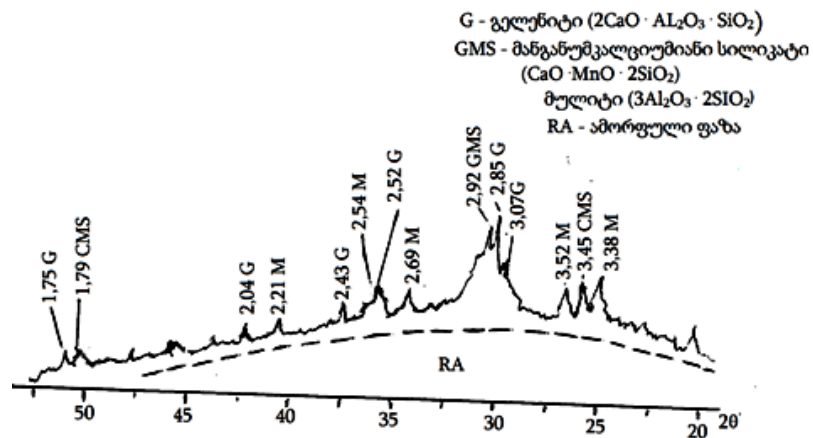
MSC-2 მინის სრული მოცულობითი წვრილმარცვლოვანი კრისტალიზაცია (VI ბალი), რაც შედეგის დადებითად შეფასების საშუალებას იძლევა. ორივე MS-2 და MSC-2 შედგენილობის მინების საკონტროლო თვისების სიმკვრი-

ვეთა ცვლის და კრისტალიზაციური უნარის ბალური სისტემით შეფასების შედეგები წარმოდგენილია მე-7 ნახაზზე.

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.



ნახაზი 8. MSC-2 შედგენილობის მინის თერმული ანალიზის მონაცემები



ნახაზი 9. დაკრისტალბული MSC-2 მინის დიფრაქტოგრამის ფრაგმენტი

თბური გაფართოების „დაგრძელება-ტემპერატურა“ მრუდის ანალიზით დადგინდა, რომ MSC-2 მინის გამინების ტემპერატურა  $T_g = 625^\circ C$ ,

მინის ტრანსფორმაციის ( $T_f$ ) ტემპერატურა  $645^{\circ}\text{C}$ , ხოლო გაფართოების ხაზობრივი კოეფიციენტის მნიშვნელობა დაბალია ( $\alpha=68,4 \cdot 10^{-7}\text{C}^{-1}$ ).

MSC-2 შედგენილობის მინის სამი მახასიათებელი DTA, DTG და TG მრუდეებიდან განსაკუთრებით ინფორმაციული აღმოჩნდა DTA-მრუდი, სადაც ორი სხვადასხვა ინტესივობის პიკია განლაგებული. ფართო ტემპერატურულ ინტერვალში ( $770$ -დან  $895^{\circ}\text{C}$ ) განლაგებული ორი ეგზოთერმული პიკი შესაძლებელს ხდის გამოთქვას გარკვეული მოსაზრება: ქვის სხმულის მიღება შესაძლებელია  $800$ - $860^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურულ ინტერვალში. ამ დროს დიდი ალბათობით, მოსალოდნელი ხდება პოლიკრისტალური (ორი ეგზოპიკი) შედგენილობის მინაკრისტალური მასალის მიღება.

აღნიშნული ვარაუდის დასტური  $850^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ -ზე MSC-მინის თერმული დამუშავებით (დაყოვნება აღნიშნულ ტემპერატურაზე 2 სთ) მიღებული მასალების რენტგენოგრაფიული ანალიზით იქნა მოპოვებული (ნახაზი 9). დიფრაქტოგრამის მონაცემებიდან ჩანს, ჩანს, რომ MSC-2 მინის დაკრისტალისას ადგილი აქვს სამი კრისტალური ფაზის წარმოქმნას: გელენიტი ( $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ), მანგანუმკალციუმიანი სილიკატი ( $\text{CaO} \cdot \text{MnO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ), და მულიტი ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ). მათგან მანგანუმკალციუმიანი სილიკატი შეიძლება მიეკუთვნოს პიროქსენებს, რომელთა ზოგადი ფორმულა შემდეგნაირად ჩაიწერება:  $\text{AB}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ . თუ ვიმსჯელებთ პიკების ინტენსივობით - გელენიტი ძირითად კრისტალურ ფაზათ შეიძლება მივიჩნიოთ. რაც შეეხება მულიტს ალუმინსილიკატური კრისტალური ნაერთია, მაგრამ გელენიტთან და მანგანუმკალციუმიანი სილიკატთან შედარებით მისი რაოდენობა მცირე უნდა იყოს.

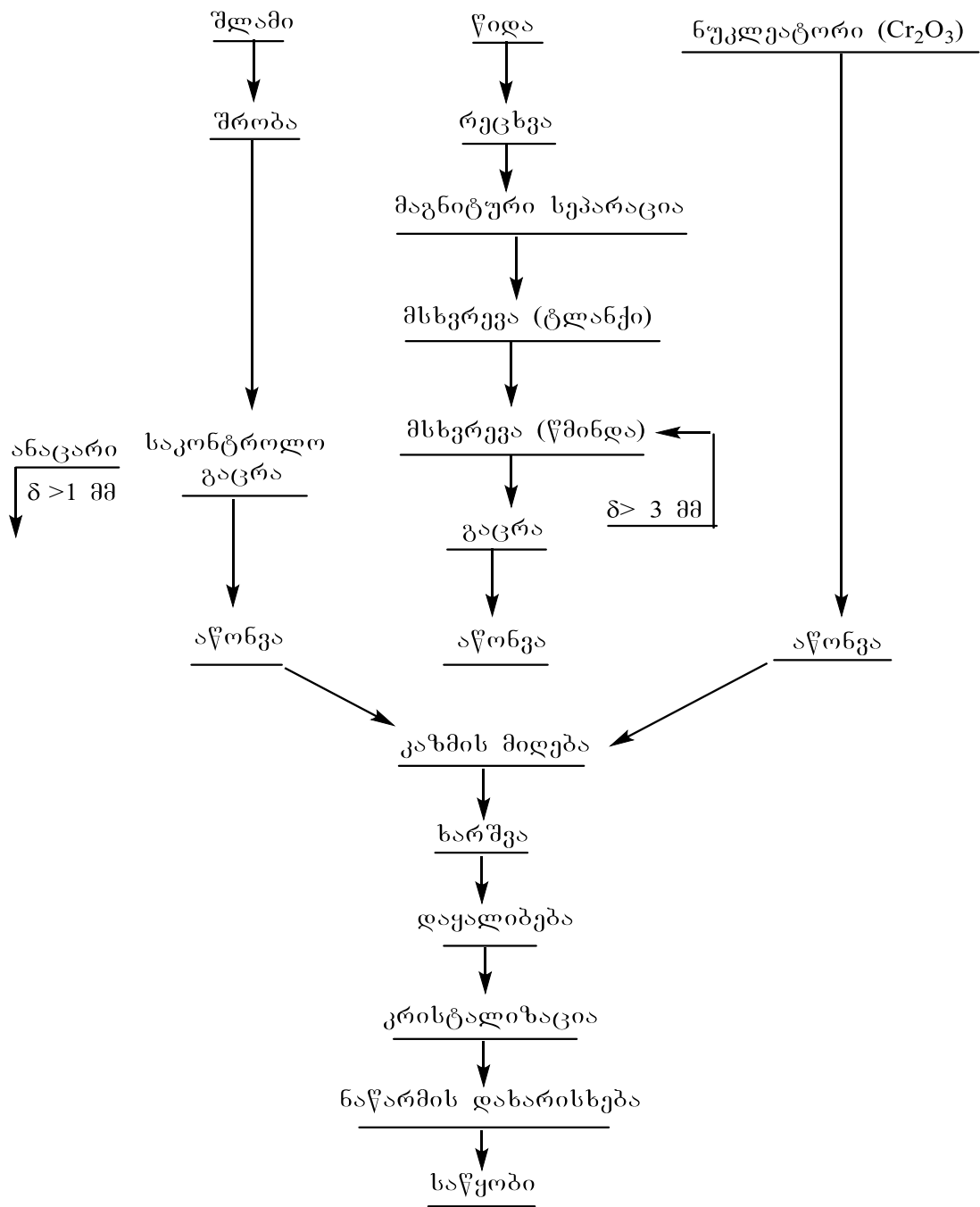
ცნობილია, რომ ქვის სხმულის ნაწარმი დანიშნულების მიხედვით ორ ძირითად ჯგუფად იყოფა და ესენია: ცვეთამედეგი და თერმომედეგი მასალები და ნაკეთობა. ორივე მათგანს ერთნაირი მახასიათებელი თვისებებით აფასებენ, მაგრამ არსებული მოთხოვნები საგრძნობლად განსხვავდება.

**ცხრილი 8. 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	თერმომე დეგი 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	$\alpha \cdot 10^7, \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	80 – 83	58 – 60	59
10	ცვეთამედგობა	კგ/მ <sup>2</sup>	< 1,0	< 1,4	1,2

ჩვენ მიერ ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული საცდელ ნიმუშებს ჩაუტარდათ კვლევა, მაგრამ ექსპერიმენტალური გზით მიღებული სრული შედარებითი ანალიზი ვერ მოხერხდა და აღნიშნულის მიზეზი შესაბამისი ბაზის არასრულყოფილება იყო. არსებული მონაცემების მიხედვით ქვის სხმულის ნაწარმს 10 განსხვავებული მაჩვენებლობით აფასებენ. ორი სახეობის (ცვეთამედეგი და თერმომედეგი) ქვის სხმულის ტიპური მასალების მაჩვენებლების სრული ჩამონათვალი და თვისებათა სიდიდეთა საჭირო ზღვრები ნაჩვენებია 8-ე ცხრილში.

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



ნახაზი 10. „შლამი-წილა“ ნარევიდან ქვის სხმულის ნაწარმის მიღების რეკომენდირებული ტექნოლოგიური სქემა

სხვადასვა სახეობის ნედლეულის საფუძველზე მინის და მისგან წარმოებული ქვის სხმულის და წიდასიტალების მიღების ტექნოლოგია ცნობილია და შეიძლება ითქვას სრულყოფილებამდეა დახვეწილი. ამიტომ „შლამი-წილა“ კომპოზიციაში წარმოდგენილი საწყისი ნედლეულის თავისებურებიდან გამომდინარე, ჩვენს მიერ შედგენილი იქნა ქვის სხმულის მიღების მოდიფიცირებული სქემა. მე-10 ნახაზზე წარმოდგენილ

სქემაში გათვალისწინებულია საწყისი ნედლეულის (შლამის და წიდის) მათი თავისებურებებიდან გამომდინარე, მომზადების აუცილებლად მიჩნეული ეტაპები და სხვა საჭირო ტექნოლოგიური ოპერაციები, ხოლო ქვის სხმულის მიღების პროცესის ტექნოლოგიური პარამეტრები წარმოდგენილია სადისერტაციო ნაშრომში.

### 3. კვლევაში გამოყენებული მეთოდები

კვლევის ამოცანებიდან გამომდინარე სამუშაო ორი განსხვავებული მასალის მიღებას ითვალისწინებდა, მაგრამ ორივე სახეობის მასალის საფუძველს წარმოადგენდა საწარმოო ნარჩენები.

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

- პირველ (თავის 3.1) წარმოდგენილია ორივე სახის მასალისათვის მისაღებად გამოყენებული ზოგადი (ინსტრუმენტალური) 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.

## დასკვნა

1. ზესტაფონის და ჭიათურის რეგიონებში რეალურად არსებობს ჯანმრთელობაზე 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 ბრიკეტების მაღალ ხარისხს უზრუნველყოფენ ნარევის შემკვრელად გამოყენებული თხევადი მინის მახასიათებლები (სიმკვრივე 1250 კგ/მ<sup>3</sup>, შემცველობა 8-12 მას. %) და ბრიკეტების დაწნეხვის 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 საექსპლუატაციო თვისებებს ( $P_3 > \text{მპა}$ ) 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 ბრიკეტებით (შემკვრელი 11 მას. % თხევადი მინა) და ბრიკეტების შემდგომ ხელოვნური შრობით მაღალი საექსპლოატაციო 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, ცვეთამდეგობა 78,4 %, წყალშთანთქმა 3,7 %, თერმომდეგობა 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 %); ცვეთამდეგობა 78-86 %; თერმომდეგობა 700-800°C) გამორჩეული „დამძიმებული“ (მოცულობითი სიმკვრივე მეტია 1700 კგ/მ<sup>3</sup>) ტექნოგენური ბრიკეტები;
7. შეფასდა მანგანუმშემცველი შლამის და ნარჩენი გრანულირებული წიდის 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 25-75 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 კონკრეტული ტემპერატურული ინტერვალი 800 – 860°C, რომლის ფარგლებში თერმულად დამუშავება განაპი-



რობებს 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), ხეზამედეგობა (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.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები  
წარმოდგენილია შემდეგ პუბლიკაციებში:

პუბლიკაციები:

1. *ჭეიშვილი თ., გაბრიაძე ნ.* მანგანუმშემცველი საწარმოო მტვრის საფუძველზე **ტექნოგენური** მასალის მიღება. ჟურნალი „კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები“ ტ. 21, 1(41), 2019, გვ. 70-75
2. *გაბრიაძე ნ., ჭეიშვილი თ.* მანგანუმშემცველი საწარმოო გამოყენება **ტექნოგენური** მასალების მისაღებად. საერთაშორისო სამეცნიერო-მეთოდური კონფერენციის სამეცნიერო შრომების კრებული. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“ 2019. გვ. 122-127
3. *ჭეიშვილი თ., გაბრიაძე ნ.* მანგანუმშემცველი შლამისა და წიდისაგან ქვის სხმულის მიღება. ჟურნალი „კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები“ ტ. 21, 2(42), 2019, გვ. 29-33
4. *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. 6-9
5. *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

## 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.