



საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი
1922 წლიდან

დავით ბედუკაძე

გზების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო
თვისებების გაუმჯობესება მოდიფიცირებული
გოგირდისა და ადგილობრივი ინერტული
მასალების გამოყენებით

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა „მშენებლობა“

შიფრი 0732

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი თბილისი, 0160, საქართველო

2022წ

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ფაკულტეტი: სამშენებლო

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით დავით ბედუკაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „გზების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება მოდიფიცირებული გოგირდისა და ადგილობრივი ინერტული მასალების გამოყენებით“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 2022 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი თენგიზ პაპუაშვილი

რეცენზენტი: -----

რეცენზენტი: -----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2022წ

ავტორი: დავით ბედუკაძე

დასახელება : გზების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება
მოდულიზებული გოგირდისა და ადგილობრივი ინერტული
მასალების გამოყენებით

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: მშენებლობის ინჟინერიის დოქტორი

სხდომა ჩატარდა _____

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

ავტორის ხელმოწერა _____

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

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

რეზიუმე

ასფალტბეტონის საგზაო საფარის დაზიანებები, როგორცაა პლასტიკური დეფორმაციები, ავტომობილის საბურავის ნაკვალევი, ბზარები, ამომტვრევები და სხვა სახის დეფექტები გამოწვეულია საგზაო საფარზე გარეგანი ფაქტორების ზემოქმედების ხასიათისა და სიდიდის ცვლილებით. უმთავრესად ეს ფაქტორებია სატრანსპორტო საშუალებების ტვირთამწეობის გადიდება და მოძრაობის ინტენსივობის ზრდა. აღნიშნულიდან გამომდინარე, იზრდება მოთხოვნები ასფალტბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესების თვალსაზრისით, რომელთა შორის მნიშვნელოვანია: ასფალტბეტონის საფარის სიმტკიცე; სისწორე; ცვეთამდეგობა; ხანმდეგობა და სხვ. გარდა ზემოთ აღნიშნულისა, იმის გათვალისწინებით, რომ საქართველო სუბტროპიკული, ტროპიკული და მაღალ მთიანი რეგიონებისათვის დამახასიათებელი კლიმატის ქვეყანაა საგზაო საფარი ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის მოითხოვს ისეთი პარამეტრების გაუმჯობესებას, როგორცაა ყინვამდეგობა, მაღალ საექსპლუატაციო ტემპერატურაზე დარბილებისადმი მედეგობა და სხვა.

ქვეყნის ერთ-ერთი უპირველესი ამოცანაა საავტომობილო გზების ქსელის გაფართოება და მისი საფარის ხარისხის გაუმჯობესება, რაც გულისხმობს ასფალტბეტონის სიმტკიცის, ხანმდეგობის და შესაბამისად რემონტთაშორის პერიოდის გაზრდას. ამასთანავე, გზების ხარისხის გაუმჯობესება დარგის ეკონომიურობის გაუმჯობესების საფუძველი იქნება.

საგზაო საფარის ხარისხის გაუმჯობესება მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული საგზაო მშენებლობაში გამოყენებული საგზაო-საშენი მასალების ხარისხის ზრდასთან. აქტიური დანამატების საშუალებით მასალის ხარისხის გაუმჯობესება ფართოდაა დანერგილი მასალათმცოდნეობის ყველა დარგში. იგი ფრიად პერსპექტიულია და იძლევა მრეწველობის სხვადასხვა დარგების ნარჩენ პროდუქტთა საგზაო მშენებლობაში გამოყენების საშუალებას.

ორგანული შემკვრელი მასალების თვისებების გაუმჯობესებისათვის, ასევე მათი მინერალური მასალის ზედაპირზე მიკვრის ხარისხის, ხანგამძლეობის, ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებისა და სტრუქტურის შეცვლის მიზნით შეიძლება გამოვიყენოთ სხვადასხვა სახის დანამატი, კერძოდ: ზედაპირულ აქტიური ნივთიერებები (ზან), გამათხევადებელი, მაპლასტიფიცირებელი, მამოდიფიცირებელი, ადგეზიური, ბოჭკოვანი დანამატები და ა.შ. მიუხედავად დანამატების დიდი რაოდენობისა, საჭიროა მათი ასორტიმენტის კვლავ გაფართოება სამრეწველო ნარჩენების, იაფფასიანი ნავთობპროდუქტთა შესწავლისა და დანერგვის გზით.

სადისერტაციო ნაშრომში უდანამატო ასფალტბეტონში ბიტუმის პროცენტული შემცველობა ჩანაცვლებულია მასზე 3,8-ჯერ იაფი პროდუქტით, კერძოდ - მოდიფიცირებული გოგირდით. აღნიშნულის შედეგად გაუმჯობესებულია ასფალტბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები და შემცირებულია მისი თვითღირებულება.

გოგირდის მოდიფიცირება განხორციელებულია მასტაბილიზებული დანამატის - დიციკლოპენტადიენის გამოყენებით, რამაც მოგვცა გოგირდის თვისებების რეგულირების საშუალება. აღნიშნული მოდიფიცირება თავის მხრივ მნიშვნელოვნად ამცირებს გოგირდასფალტბეტონის დნობის ტემპერატურას. ასევე შემცირებულია კრისტალიზაციის პროცესი და გაუმჯობესებულია შემავსებელთან თავსებადობა.

ყოველივე ზემო აღნიშნულიდან გამომდინარე, სადისერტაციო ნაშრომის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების მიზანს წარმოადგენს შემდეგი ძირითადი საკითხების დამუშავება:

1. საქართველოში ძირითადად გამოყენებული უდანამატო ბიტუმის და მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატით დამზადებული გოგირდბიტუმის თვისებების კვლევა და აღნიშნული კვლევების საფუძველზე გოგირდასფალტბეტონში გოგირდბიტუმის ოპტიმალური პროცენტული შემცველობის დადგენა.
2. გრანულომეტრული და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მიხედვით ადგილობრივი ინერტული მასალების, კერძოდ მდინარე მტკვრის ღორღის, ქვიშის და დედოფლისწყაროს რაიონში მოპოვებული მინერალური ფხვნილის გამოყენების მიზანშეწონილობის განსზღვრა;
3. ადგილობრივი ინერტული მასალების გამოყენებით უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის შემადგენლობის დაპროექტება.
4. უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის კუმშვაზე სიმტკიცის, მარშალის ნიმუშების სტაბილურობის და დენადობის მაჩვენებლების გაუმჯობესება, ასევე უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ყინვამდეგობის და დეფორმაციისადმი მედეგობის (ბორბლის კვალი) პარამეტრების გაზრდა.
5. ასფალტბეტონის საკვლევი პარამეტრების (ასფალტბეტონის ნარევი ბიტუმის პროცენტული შემცველობა, ნარჩენი ფორიანობა, სტაბილურობა, დენადობა, საანგარიშო ავტომობილის საბურავის ნაკვალევის სიღრმე, ბიტუმში ნემსის შეღწევის სიღრმე (პენეტრაცია), ბიტუმის დარბილების ტემპერატურა) A და B ტიპის განუსაზღვრელობების გამოთვლა.
6. გოგირდით მოდიფიცირებული ბიტუმის საგზაო მშენებლობაში გამოყენების შესახებ რეკომენდაციების დამუშავება.

ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე დადგინდა, რომ მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონი საშუალებას იძლევა გაიზარდოს საავტომობილო გზების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მახასიათებლები. ამასთანავე, ასფალტბეტონის ნარევი ძვირადღირებული ბიტუმის შედარებით იაფი მოდიფიცირებული გოგირდით ჩანაცვლებამ გააუმჯობესა მისი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები კერძოდ: სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას; მარშალის ნიმუშის სტაბილურობა და დენადობა; ყინვამდეგობა; დეფორმაციისადმი მედეგობა (საბურავის ნაკვალევი).

ასევე, უდანამატო ასფალტბეტონთან შედარებით მნიშვნელოვნად შემცირდა გოგირდასფალტბეტონის დნობის ტემპერატურა, მნიშვნელოვნად შენედა კრისტალიზაციის პროცესი და გაუმჯობესდა შემავსებლებთან თავსებადობა და ადჰეზია.

ასევე აღსანიშნავია, რომ საქართველოში, ტყიბულის რაიონში, ქვანახშირის მოპოვების და მისი დაკოქსვის შედეგად მიღებული გოგირდის ადგილობრივი გამოყენება საგზაო მშენებლობაში შეამცირებს გოგირდის ნარჩენების გარემოში მოხვედრას, რაც უზრუნველყოფს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებას.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, საქართველოს კლიმატური პირობების გათვალისწინებით გოგირდის წარმოებას აქვს დიდი პოტენციალი, ხოლო გოგირდასფალტბეტონის სულ უფრო მზარდი მოცულობების გამოყენება ახალი და არსებული გზების მშენებლობისა და რეაბილიტაციისას, გაუმჯობესებს მშენებლობის ხარისხს და შეამცირებს ფინანსურ დანახარჯებს.

Abstract

The frequent damages of the asphalt-concrete road covering, as are plastic deformation, wheel track, cracks, breaks are caused by changes in the character and value of external factors, affecting the road covering due to intensive increase of vehicle load-carrying capacity and traffic volume. Correspondingly, the requirements to asphalt-concrete physical-mechanical properties as are strength, abrasion resistance, durability of the asphalt covering are increased. As far as Georgia represents the country of climate characterized for subtropical, tropical and mountainous regions, the road covering for each concrete case requires different values of parameters as are frost resistance, resistance to melting at high operational temperature etc.

One of the main tasks of the country is to expand the road network and improve the quality of its pavement, which means increasing of the strength and durability of asphalt concrete, respectively, the period between repairs, which, along with improving road quality, will be the basis for the economy.

Improving the quality of materials through active additives has become widespread in all fields of materials science. It is very promising and allows the use of waste products from various industries in road construction. We can use various binders, to adhere to the surface of mineral materials and, consequently, to change the quality, durability, physical-chemical properties and structure of asphalt concrete, in particular: surfactants, liquefiers, plasticizers, modifiers, adhesives, fiber additives, etc.

Despite the large number of additives, it is necessary to further expand their range through the study and introduction of industrial waste, cheap petroleum products. Therefore, in the dissertation, the most expensive product in the components of asphalt concrete – the percentage of bitumen is replaced by a product 3,8 times cheaper, namely – modified sulfur, which improved the physical and mechanical properties of asphalt concrete as well as caused its cost reduction.

In our case of studies, sulfur modification was carried out by the addition of the stabilizing additive dicyclopentadiene, which allowed us to regulate the properties of sulfur, lower the melting temperature of sulfur-asphalt concrete, slow down crystallization, improve compatibility with the filler.

Proceeding from above stated, the aim of theoretical and experimental research of the dissertation is solution of the following key issues:

1. Study of the properties of non-additive sulfur-bitumen, mainly used in Georgia and sulfur bitumen made of sulfur additive and to determine the optimal percentage of sulfur-bitumen based on the mentioned studies.
2. Determining the expediency of using local inert materials according to grade analysis and physical-mechanical properties, in particular gravel, sand and mineral powder extracted in Dedoplistskaro river;
3. Designing the composition of non-additive asphalt concrete based on the local inert materials and sulfur-asphalt concrete with sulfur addition.

4. Improving the compression strength, stability and flow rate of marshal specimens of non-addition asphalt concrete and sulfur asphalt concrete made of the modified sulfur, also increase the parameters of frost resistance and deformation resistance (wheel traces) of non-additive asphalt concrete and sulfur asphalt concrete made of modified sulfur.
5. Calculation of A and B type uncertainties of asphalt concrete survey parameters (percentage of bitumen in asphalt concrete mixture, residual porosity, stability, flow rate, depth of tire footprint of the calculating vehicle, depth of needle penetration into the bitumen (penetration), bitumen softening temperature)
6. Development of recommendations of the use of sulfur modified bitumen in road construction.

Experimental studies conducted by us have shown that sulfur-asphalt, made with modified sulfur additive, allows to improve the transport-performance properties of roads, in particular, the replacement of expensive bitumen with cheap modified sulfur in asphalt concrete mixture has improved its physical-mechanical properties, in particular: ultimate compression strength, marshal stability and flow rate, frost resistance, resistance to deformation (tire footprint). Also, the melting temperature of sulfur asphalt concrete was significantly reduced compared to non-additive asphalt concrete, the crystallization process was significantly slowed down and the compatibility and adhesion with the fillers were improved.

It is also noteworthy, that in Georgia, in particular in the Tkibuli district, as a result of coal mining and its carbonization, the local sulfur extraction and use in road construction will prevent the environment from sulfur waste entering and improve the ecological situation.

Due to the above stated considering the climatic conditions of Georgia, sulfur production has great potential, and the use of increasing volumes of sulfur-asphalt concrete in the construction and rehabilitation of new and existing roads will improve the quality of construction and reduce financial costs.

შინაარსი

ცხრილების ნუსხა	11
ნახაზების ნუსხა	14
შესავალი	16
1. ლიტერატურის მიმოხილვა	20
1.1. საავტომობილო გზა და მასზე მოქმედი ფაქტორები	20
1.2. მოდიფიცირებული გოგირდის გამოყენება საგზაო მშენებლობაში	21
1.3. გოგირდის სანედლეულო რესურსები	28
1.4. გოგირდის ძირითადი თვისებები და მოდიფიცირებული გოგირდის ფიზიკურ-ქიმიური შედგენილობა	29
1.5. გოგირდისა და ბიტუმის ურთიერთქმედების ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები	36
1.6. გოგირდბიტუმის შემკვრელების დამზადების ტექნოლოგიური თავისებურებანი	40
1.7. უსაფრთხოების ზომები გოგირდბიტუმის შემკვრელებთან მუშაობისას	43
2. კვლევა, შედეგები და მათი განსჯა	48
2.1. გოგირდასფალტბეტონის ნარევეში გოგირდბიტუმის შემკვრელის ოპტიმალური შემცველობის გამოკვლევა	48
2.2. ბიტუმის და გოგირდბიტუმის თვისებების ექსპერიმენტული კვლევა	52
2.3. ადგილობრივი ინერტული მასალების გრანულომეტრიული და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების (ღორღი, ქვიშა, მინერალური ფხვნილი) ექსპერიმენტული კვლევა	55
2.4. უდანამატო ასფალტბეტონის შემადგენლობის დაპროექტება	61
2.5. უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების სიმტკიცე კუმშვისას გამოცდის ექსპერიმენტული კვლევა	64
2.6. მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%-იანი დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის და ადგეზიური დანამატის „Wetfix Be“-ის დამატებით დამზადებული ნიმუშების ექსპერიმენტული კვლევა მარშალის ტესტის ხელსაწყოზე	67
2.7. უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების ექსპერიმენტული კვლევა ყინვამედეგობაზე	74
2.8. უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების ექსპერიმენტული კვლევა დეფორმაციისადმი მედეგობაზე	77
2.9. უდანამატო ასფალტბეტონთან შედარებით გოგირდასფალტბეტონის გამოყენების ეკონომიური ეფექტურობა	80
2.10. ასფალტბეტონის ნარევეში ბიტუმის პროცენტული შემცველობის განუსაზღვრელობის გამოთვლა	81

2.11. ლაბორატორიაში ფორმირებული ასფალტბეტონის ნიმუშის ფორიანობის განუსაზღვრელობის გამოთვლა	85
2.12. ლაბორატორიაში მარშალის ავტომატურ კომპაქტორზე ფორმირებული ასფალტბეტონის ნიმუშის სტაბილურობის განუსაზღვრელობის გამოთვლა	88
2.13. ლაბორატორიაში მარშალის ავტომატურ კომპაქტორზე ფორმირებული ასფალტბეტონის ნიმუშის დენადობის განუსაზღვრელობის გამოთვლა	91
2.14. ასფალტბეტონის ნიმუშის ბორბლის კვალის სიღრმის განუსაზღვრელობის გამოთვლა	94
2.15. ნავთობის ბიტუმში ნემსის შეღწევის სიღრმის (პენეტრაციის) გაზომვის განუსაზღვრელობის გამოთვლა.....	98
2.16. ნავთობის ბიტუმის წელვადობის (დექტილების) გაზომვის განუსაზღვრელობის გამოთვლა	103
2.17. რგოლისა და სფეროს მეთოდით ნავთობის ბიტუმის დარბილებების ტემპერატურის განუსაზღვრელობის გამოთვლა	107
2.18. ასფალტბეტონის გამოსაკვლევი პარამეტრების განუსაზღვრელობების გამოთვლა	111
დასკვნა	115
გამოყენებული ლიტერატურა	117

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1.	გოგირდის ძირითადი თვისებები	33
ცხრილი 2.	მოდIFIცირებული გოგირდის ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები	33
ცხრილი 3.	მოდIFIცირებული გოგირდის ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლები	34
ცხრილი 4	გოგირდასფალტბეტონის რეკომენდირებული ტემპერატურა მშენებლობისას ჰაერის ტემპერატურის მიხედვით	36
ცხრილი 5.	გოგირდასფალტბეტონის ნარევი ბიტუმის, მოდIFIცირებული გოგირდის და გოგირდბიტუმის ოპტიმალური პროცენტული შემცველობის განსაზღვრა	51
ცხრილი 6.	BH 60/90 მარკის ბიტუმის და გოგირდბიტუმის შემკვრელების თვისებების კვლევა	53
ცხრილი 7.	BH 60/90 მარკის ბიტუმის და გბმ-ს შეჭიდულობა მინერალური მასალების ზედაპირებთან	54
ცხრილი 8.	მდინარე მტკვრის ღორღის (ფრაქციით 5-10 მმ) გამოცდის შედეგები	56
ცხრილი 9.	მდინარე მტკვრის ღორღის (ფრაქციით 10-15 მმ) გამოცდის შედეგები	57
ცხრილი 10.	მდინარე მტკვრის ბუნებრივი ქვიშის (ფრაქციით 0-5) გამოცდის შედეგები	58
ცხრილი 11.	მდინარე მტკვრის ნამსხვრევი ქვიშის (ფრაქციით 0-5) გამოცდის შედეგები	59
ცხრილი 12.	დედოფლისწყაროს კირქვის საბადოდან მოპოვებული მინერალური ფხვნილის გამოცდის შედეგები	60
ცხრილი 13.	უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30% და დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა	64

ცხრილი 14.	უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების გამოცდა სიმტკიცეზე კუმშვისას	65
ცხრილი 15.	უდანამატო, ადგეზიური დანამატის „Wetfix Be“-ის მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30% დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების ფიზიკო-მექანიკური თვისებების შედარება	73
ცხრილი 16.	უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების ყინვამდეგობის კოეფიციენტის განსაზღვრა	76
ცხრილი 17.	უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების დეფორმაციისადმი მედეგობის განსაზღვრა (ბორბლის კვალი)	79
ცხრილი 18.	ბიტუმის პროცენტული შემცველობის A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა	82
ცხრილი 19.	ბიტუმის პროცენტული შემცველობის განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი	84
ცხრილი 20.	ასფალტბეტონის ნიმუშის ფორიანობის A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა	85
ცხრილი 21.	ასფალტბეტონის ნიმუშის ფორიანობის განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი.....	87
ცხრილი 22.	ასფალტბეტონის ნიმუშის სტაბილურობის A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა	89
ცხრილი 23.	ასფალტბეტონის ნიმუშის სტაბილურობის განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი	90
ცხრილი 24.	ასფალტბეტონის ნიმუშის დენადობის A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა	92
ცხრილი 25.	ასფალტბეტონის ნიმუშის დენადობის განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი	93
ცხრილი 26.	ბორბლის კვალის სიღრმის A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა	95
ცხრილი 27.	ბორბლის კვალის სიღრმის განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი	96

ცხრილი 28. ბიტუმში ნემსის შეღწევის სიღრმის (პენეტრაციის) A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა	99
ცხრილი 29. ბიტუმში ნემსის შეღწევის სიღრმის (პენეტრაციის) განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი	101
ცხრილი 30. ბიტუმის წელვადობის (დექტილების) A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა	104
ცხრილი 31. ბიტუმის წელვადობის (დექტილების) განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი	106
ცხრილი 32. ბიტუმის დარბილების ტემპერატურის A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა.....	108
ცხრილი 33. ბიტუმის დარბილების ტემპერატურის განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი	110
ცხრილი 34. მოცვის (დაფარვის) კოეფიციენტის k მნიშვნელობა სხვადასხვა განაწილების კანონისთვის	112
ცხრილი 35. შესწორების კოეფიციენტის დამოკიდებულება დაკვირვების რაოდენობაზე $p=0.9545$ სანდოობის დონისთვის	113
ცხრილი 36. d კრიტერიუმის კრიტიკული მნიშვნელობები	113
ცხრილი 37. ასფალტბეტონის გამოსაკვლევი პარამეტრების განუსაზღვრელობები	114

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1.	მოდიფიცირებული გოგირდის წარმოება	22
ნახაზი 2.	მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატის გამოყენებით მოწყობილი გოგირდასფალტბეტონის გზა	23
ნახაზი 3.	გოგირდის სიბლანტის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება ..	39
ნახაზი 4.	გოგირდის დიოქსიდის და გოგირდწყალბადის კონცენტრაციის დამოკიდებულება გბშ-ს მომზადების ტემპერატურაზე	44
ნახაზი 5.	BH 60/90 მარკის ბიტუმის და გოგირდბიტუმის შემკვრელების თვისებების კვლევა	54
ნახაზი 6.	BH 60/90 მარკის ბიტუმის და გბშ-ს შეჭიდულობა	55
ნახაზი 7.	მინერალური მასალების ზედაპირებთან	55
ნახაზი 8.	ქალაქ თბილისში ფონიჭალასთან მდინარე მტკვარზე მდებარე კარიერის ხრემოვანი მასალის სამსხვრევ- დამახარისხებელ დანადგარზე დამტვრეული - ღორღის და ქვიშის, დედოფლისწყაროს რაიონში კირქვის საბადოდან მოპოვებული მინერალური ფხვნილის ფიზიკურ- მექანიკური თვისებების კვლევა	61
ნახაზი 9.	ასფალტბეტონში მინერალური მასალის გრანულომეტრიული შედგენილობა	62
ნახაზი 10.	ასფალტბეტონის ნარევის ავტომატური ექსტრაქტორი	62
ნახაზი 11.	მარშალის ავტომატური დარტყმითი კომპაქტორი	63
ნახაზი 12.	უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%, 40%-ით დამზადებული ნიმუშების სიმტკიცე კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკული გამოსახულება	66
ნახაზი 13.	უდანამატო ასფალტბეტონის მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30% დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების გამოცდის პროცესი მარშალის ტესტის ხელსაწყოზე	68
ნახაზი 14.	უდანამატო ასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების გამოცდა მარშალის ტესტის ხელსაწყოზე - სტაბილურობასა და დენადობაზე	69
ნახაზი 15.	10% მოდიფიცირებული გოგირდით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების გამოცდა სტაბილურობასა და დენადობაზე	69
ნახაზი 16.	20% მოდიფიცირებული გოგირდით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების გამოცდა სტაბილურობასა და დენადობაზე	70
ნახაზი 17.	30% მოდიფიცირებული გოგირდით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების გამოცდა სტაბილურობასა და დენადობაზე	71

ნახაზი 17.	ადგეზიური დანამატის „Wetfix Be“-ის გამოყენებით დამზადებული მარშალის ნიმუშების გამოცდა სტაბილურობასა და დენადობაზე	72
ნახაზი 18.	უდანამატო ასფალტბეტონის, ადგეზიური დანამატის „Wetfix Be“-ის და მოდიფიცირებული გოგირდის და 10%, 20%, 30% დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების სტაბილურობა და დენადობის გრაფიკული გამოსახულება ...	73
ნახაზი 19.	ყინვამედეგობის განმსაზღვრელი დანადგარი	75
ნახაზი 20.	უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის 10%,20%,30% იანი ნიმუშების ყინვამედეგობის კოეფიციენტის გრაფიკული გამოსახულება	76
ნახაზი 21.	ბორბლის ნაკვალევის განმსაზღვრელი დანადგარი	78
ნახაზი 22.	დეფორმაციისადმი მედეგობის განსაზღვრის გრაფიკული გამოსახულება სხვადასხვა ციკლური დატვირთვის დროს BH 60/90 მარკის ბიტუმზე და გბმ-ზე გოგირდის 10%, 20% და 30 % შემცველობით	79

შესავალი

ნაშრომის აქტუალურობა: საავტომობილო გზები ქვეყნის განვითარების უმნიშვნელოვანეს ფაქტორს და ეკონომიკური სტაბილურობის გარანტს წარმოადგენს. საავტომობილო გზების მდგომარეობა მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრავს მოსახლეობის ცხოვრების დონეს, წარმოებისა და მისი პროდუქციის ღირებულებას და კონკურენტუნარიანობას საერთაშორისო ბაზრებზე. იგი ასევე განაპირობებს საგზაო ტრანსპორტით მიმოსვლის უსაფრთხოებას, ტურისტების მოდინებას და განვითარების ინოვაციურ გზაზე გადასვლას.

საავტომობილო გზების განვითარების ჩამორჩენას ქვეყნის ეკონომიკის მოთხოვნებთან შედარებით და გზის საფარის დაბალ ხარისხს, მიყვავართ არსებით დანაკარგებთან როგორცაა ხარჯები დაკავშირებული გზების ხშირ რემონტთან და შედეგები დაკავშირებული საგზაო-სატრანსპორტო შემთხვევებთან.

ამ პრობლემათა გათვალისწინებით საქართველოს ინფრასტრუქტურის განვითარების და რეაბილიტაციის პროექტებით ხორციელდება მაგისტრალური და შიდასახელმწიფოებრივი გზების მშენებლობა მონოლითური ბეტონისა და ასფალტბეტონის გამოყენებით. გზების მშენებლობის და რეაბილიტაციის პრაქტიკამ აჩვენა, რომ ადგილი აქვს ასფალტბეტონის გზის საფარის ხშირ დაზიანებებს. ასფალტბეტონში ინტენსიურად ვითარდება ისეთი დაზიანებები, როგორცაა პლასტიკური დეფორმაციები, ავტომობილის საბურავის ნაკვალევი, ბზარები, ამომტვრევები. შესაბამისად მცირდება რემონტებს შორის პერიოდის ხანგრძლივობა, რაც მნიშვნელოვან ხარჯებთან არის დაკავშირებული.

ასფალტბეტონის სიმტკიცის და დეფორმაციული მაჩვენებლების გაუმჯობესების მიზნით იყენებენ სხვადასხვა მოდიფიკატორებს, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის წარმოების ღირებულებას. მიუხედავად დანამატების დიდი რაოდენობისა, საჭიროა მათი ასორტიმენტის კვლავ გაფართოება სამრეწველო ნარჩენების, იაფფასიანი ნავთობპროდუქტთა შესწავლისა და

დანერგვის გზით.

მოდულიზირებული გოგირდის გამოყენება მიზანშეწონილია არა მარტო დეფიციტური ბიტუმის ეკონომიის, არამედ გოგირდთან ერთად მასალების დამზადებისა და დაგების ტემპერატურის შემცირების ხარჯზე ენერგორესურსების ეკონომიის თვალსაზრისითაც. ასევე გოგირდს ახასიათებს მედეგობა აგრესიული გარემოს ზემოქმედებაზე (მჟავების და მარილების ხსნარები), რაც იმაზე მეტყველებს, რომ მის ფუძეზე შესაძლებელია ქიმიურად მედეგი და წყალმედეგი სამშენებლო მასალების მიღება.

მოდულიზირებულ გოგირდში მაპლასტიფიცირებელი დანამატების სახით ყველაზე ხშირად გამოიყენება ნაფთალინი, პარაფინი, დიციკლოპენტადიენი, თიოკლი, რეზინის ნაფხვენი და სხვ. ბოლო წლებში მიმდინარეობს სამრეწველო წარმოებათა ისეთი თანაპროდუქტების კვლევა, რომლებსაც შეუძლიათ გოგირდის ეფექტიანი მოდიფიცირება.

ჩვენი კვლევების შემთხვევაში, გოგირდის მოდიფიცირება განხორციელებულია მაპლასტიფიცირებელი დანამატის დიციკლოპენტადიენის დამატებით, რამაც მოგვცა გოგირდის თვისებების რეგულირების საშუალება, გოგირდასფალტობეტონის დნობის ტემპერატურის დაწვეა, კრისტალიზაციის შენელება, შემავსებელთან თავსებადობის გაუმჯობესება.

დღეისათვის საქართველოში ტყიბულის რაიონში ქვანახშირის მოპოვების დროს, მისი დაკოქსვის შედეგად შესაძლებელია მივიღოთ მაღალხარისხიანი ქვანახშირი და ტექნიკური გოგირდი რომელსაც გამოვიყენებთ ასფალტბეტონის წარმოებაში.

სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის მიზანი:

- გაუმჯობესებული თვისებების მქონე მოდიფიცირებული ბიტუმების შექმნა მოდიფიცირებული გოგირდის გამოყენებით;
- ასფალტბეტონის ფენილის სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება მოდიფიცირებული გოგირდის და ადგილობრივი ინერტული მასალების გამოყენებით.

- რეკომენდაციებისა და ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტაციის დამუშავება მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენებაზე.

სადისერტაციო ნაშრომის ეკოლოგიური ეფექტურობა: ამჟამად, მსოფლიოში არსებობს გოგირდის ჭარბი რაოდენობა, რაც განაპირობებს მისი გამოყენების ახალი მიმართულებების ძიების აუცილებლობას, რომელთა შორისაა გოგირდასფალტბეტონის წარმოება. დაბალი ღირებულების თანამგზავრი გოგირდის გადამუშავება ეფექტურ საგზაო-სამშენებლო მასალებად ეკონომიურად და გზების საექსპლუატაციო თვისებების გასაუმჯობესებლად მიზანშეწონილია და იძლევა ასევე მრავალ რეგიონში ეკოლოგიური პრობლემის გადაჭრის შესაძლებლობას.

ნავთობ პროდუქტების გადამუშავების, ქვანახშირის მოპოვების და მისი დაკოქსვის შედეგად გოგირდის ადგილობრივი მოპოვება, ხელს შეუშლის გოგირდის ნარჩენების გარემოში მოხვედრას, რაც უზრუნველყოფს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებას.

სადისერტაციო ნაშრომის ეკონომიური ეფექტურობა: ასფალტბეტონის შემადგენელ კომპონენტებში ყველაზე ძვირად ღირებული პროდუქტი - ბიტუმის პროცენტული შემცველობა ჩანაცვლებულია ბიტუმის ფასთან შედარებით 3,8-ჯერ იაფი პროდუქტით კერძოდ - მოდიფიცირებული გოგირდით.

ასფალტბეტონის ნარევი მოდიფიცირებული გოგირდის გამოყენებამ მოგვცა როგორც დეფიციტური ბიტუმის ეკონომია, ასევე ენერგორესურსების ეკონომიის თვალსაზრისით შეამცირა მასალების დამზადებისა და დაგების ტემპერატურები, რადგან მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატის მქონე ასფალტბეტონის ნარევი ტემპერატურა დამზადებისას, დაგებასა და გამკვრივებისას 10-15%-ით დაბალია ვიდრე ბიტუმზე დამზადებული უდანამატო ასფალტბეტონის ნარევისა.

სადისერტაციო ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე:

- შესწავლილია მოდიფიცირებული გოგირდ-ბიტუმის შემკვრელზე დამზადებული ასფალტბეტონის ნარევის ფიზიკურ-ქიმიური და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები;

- დასაბუთებულია დიციკლოპენტადიენის დანამატით დამზადებული მოდიფიცირებული გოგირდის და ადგილობრივი ინერტული მასალების გამოყენებით გაუმჯობესებული საექსპლუატაციო თვისებების მქონე გოგირდასფალტბეტონის ნარევის ეფექტურობა საქართველოს საავტომობილო გზების მშენებლობაში;
- ადგილობრივი ინერტული მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევისა და მოდიფიცირებული გოგირდის პროცენტული თანაფარდობიდან გამომდინარე დადგენილია გოგირდასფალტბეტონის ნარევის ოპტიმალური შემადგენლობა.

სადისერტაციო ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა:

- თანამედროვე მოთხოვნების შესაბამისი, გაუმჯობესებული საექსპლუატაციო თვისებების მქონე გოგირდასფალტბეტონის წარმოება და მისი გამოყენებით ხარისხიანი საგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარება, რაც გამოიხატება გზის საფარის ექსპლუატაციის ვადის გაზრდით;
- გოგირდით მოდიფიცირებული ბიტუმებით და ადგილობრივი ინერტული მასალებით დამზადებული ასფალტბეტონის ნარევის თვისებების შესწავლა და მათი გამოყენების არეალის განსაზღვრა.

სამუშაოს აპრობაცია:

დისერტაციაში წარმოდგენილი მასალები მოხსენიებულია: სტუ-ს 85-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე. თეზისების კრებული. თბილისი 2018 წელი, გვ 273.

პუბლიკაციები:

დისერტაციის თემის ირგვლივ გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატია საქართველოში აკრედიტირებულ რეფერირებულ ჟურნალში.

დისერტაციის სტრუქტურა: სადისერტაციო ნაშრომი შედგება: შესავლის, ორი თავის, დასკვნის, გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხის 40 დასახელებით, 37 ცხრილისა და 22 ნახაზისაგან. ნაშრომი წმოდგენილია 123 ნაბეჭდ გვერდზე.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. საავტომობილო გზა და მასზე მოქმედი ფაქტორები

საქართველო სუბტროპიკული და მაღალმთიანი კლიმატის ქვეყანაა, ცივ კლიმატურ ზონაში მიზანშეწონილია დაბალი სიბლანტის, ხოლო ცხელ კლიმატურ ზონაში კი მაღალი სიბლანტის ბიტუმების გამოყენება, ასევე გასათვალისწინებელია ავტომობილების მოძრაობის ინტენსივობაც. აგრეთვე მნიშვნელოვანია მთელ რიგ რეგიონებში დაიწყოს სამშენებლო მასალათა მეცნიერული გამოკვლევა და სერთიფიცირება სამშენებლო ნორმების და წესების დაცვით.

კლიმატური ფაქტორები მნიშვნელოვნად განაპირობებს საგზაო ნაგებობების და პირველ რიგში ფენილების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მდგომარეობას. ამ თვალსაზრისით კლიმატური ფაქტორებიდან მნიშვნელოვანია ატმოსფერული ნალექების და ტემპერატურის ცვალებადობის ზემოქმედების წლიური რეჟიმების გავლენა გზებზე.

გზების ექსპლუატაციის თვალსაზრისით საქართველოს ტერიტორია შესაძლებელია დაიყოს რამდენიმე ვერტიკალურ კლიმატურ ზონად: ზღვის დონიდან 500 მ-მდე, 500-დან 1000 მ-მდე, 1000-დან 1500 მ-მდე, 1500-დან 2000 მ-მდე და 2000-ზე მეტ ზონებად. ამ კლიმატური ზონებიდან შესაძლებელია გამოირჩეს აგრეთვე ჰორიზონტალური ქვეზონები საქართველოს აღმოსავლეთ, დასავლეთ, ჩრდილოეთ, სამხრეთ და ცენტრალური ტერიტორიის მიხედვით. თითოეული ზონისათვის დამახასიათებელია ტენიანი, ცხელი და თოვლიანი დღეების კალენდარული პერიოდები (სეზონურობა). მნიშვნელოვან როლს ასრულებს, აგრეთვე, აბსოლიტური დაბალი და აბსოლიტური მაღალი ტემპერატურის გავლენა ფენილებზე, მრავალჯერადი გაყინვა-გაღაღობის ეფექტი და ატმოსფერული აგენტების, განსაკუთრებით, ტენიანობისა და ტემპერატურის, თანხვედრის სხვადასხვა კომბინაციები, რომლებიც

სახიფათოა ფენილისათვის. ასე მაგალითად, დასავლეთ საქართველოს დამახასიათებელი ჰაერის მაღალი ტემპერატურისა და ტენიანობის თანხვედრა, განსაკუთრებით, სუბტროპიკულ ზონაში და საერთოდ შავი ზღვისპირა სანაპირო ზოლში, მნიშვნელოვნად უწყობს ხელს ფენილებზე ძვრის დეფორმაციების წარმოქმნას და ცვეთას. საქართველოს ცენტრალურ და აღმოსავლეთ რაიონებში ჰაერის მაქსიმალური ტემპერატურა ზაფხულის ცხელ დღეებში განაპირობებს ძვრის დეფორმაციების ინტენსიურ წარმოქმნას ფენილებზე. ცხელ დღეებში ყველაზე მეტად შეიმჩნევა ხორკლიანობის შემცირება (გაგლუვება) ფენილის ზედაპირზე.

ფენილების დაბზარვა ყველაზე მეტად მოსალოდნელია მაღალმთიან რეგიონებში ზამთრობით, როდესაც ჰაერის ტემპერატურა მინიმალურია. ამავე ზონაში ფენილების დაბზარვა ხშირად დაკავშირებულია, აგრეთვე, გრუნტის საფუძველში წყალბურთი რეჟიმის დარღვევასთან. ფენილების ცვეთაზე და სტრუქტურის დაშლაზე მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს ფენილების დასველების რამდენიმე კვირით გახანგრძლივებული პერიოდი და მრავალჯერადი გაყინვა-გაღობა, განსაკუთრებით ფენილის თიხოვანი და მტვროვანი ნაწილაკებით დაჭუჭყიანებისას [1].

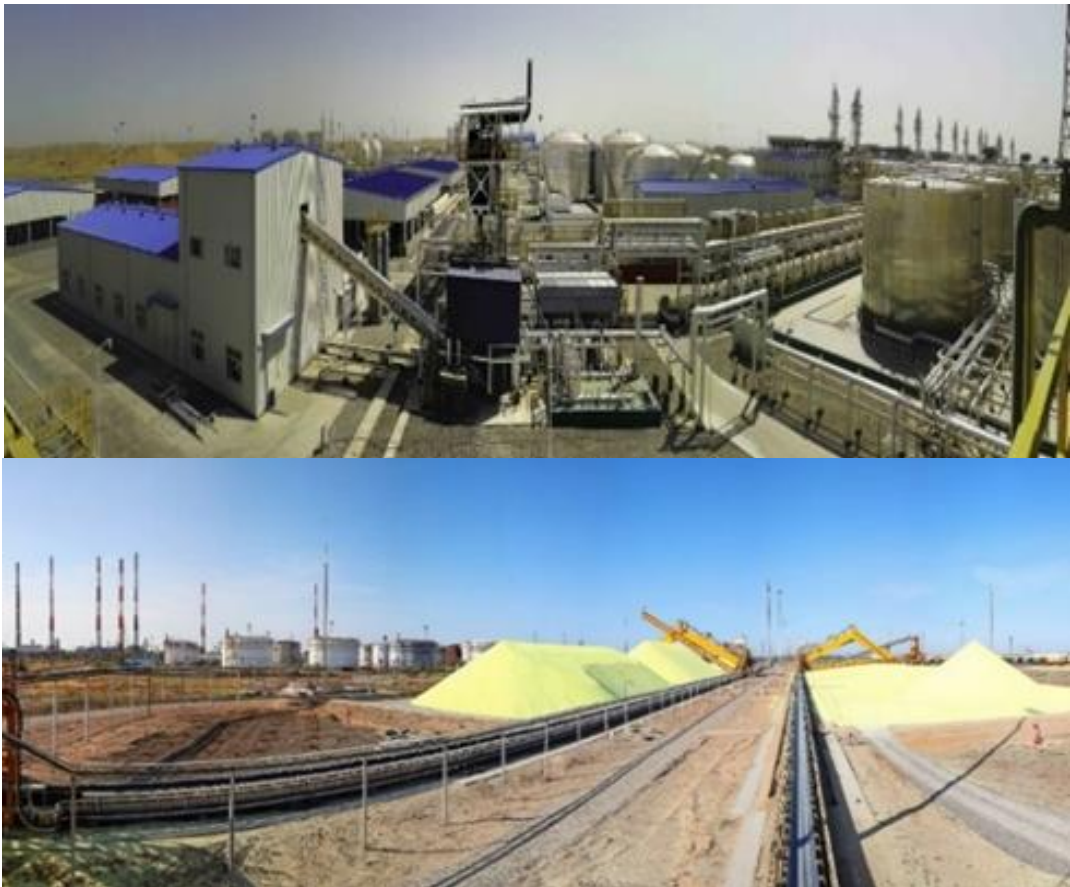
1.2. მოდიფიცირებული გოგირდის გამოყენება საგზაო მშენებლობაში

დღეისათვის, მოწინავე ქვეყნებში გზის საფარების საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გაუმჯობესების მიზნით წარმატებით გამოიყენება გოგირდასფალტბეტონი, რომელიც მიიღება ასფალტბეტონის ნარევიში მოდიფიცირებული გოგირდის დამატებით. ძვირადღირებული ბიტუმის იაფი მოდიფიცირებული გოგირდით ჩანაცვლება მის მნიშვნელოვნად გაიაფებას იწვევს და რაც მთავარია, მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს მის ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებს.

გოგირდასფალტბეტონის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს შეუძლია მნიშვნელოვნად გააუმჯობესოს საავტომობილო გზების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო თვისებები. იგი გამოირჩევა დაბალი

თერმომგრძობიარობით 0°C-დან +50°C-მდე დიაპაზონში, და მაღალი წყალშეუღწევადობით;

მოდფიცირებული გოგირდის შემკვრელი – ეს არის მინერალური თერმოპლასტიკური ნივთიერება, დამზადებული ტექნიკური გოგირდისაგან მოდიფიკატორის დამატებით. მისი მიღების წესი მოიცავს გოგირდის გადნობას ნახშირბადის ორჟანგის გარემოში, ნადნობის გაცხელებას 135-140 °C-მდე და მასში მოდიფიკატორის დამატებას გაუჯერებელი ორგანული შენაერთების კერძოდ დიცკლოპენტადიენის სახით (ოლეფინის ნახშირწყალბადები), კერძოდ 93-98 % - ტექნიკური გოგირდი და 2-7 % მოდიფიკატორი. მოდიფიკატორების დამატება გოგირდის თვისებების რეგულირების საშუალებას იძლევა, როგორცაა დნობის ტემპერატურის დაწევა, კრისტალიზაციის შენელება, შემავსებელთან თავსებადობის გაუმჯობესება. მოდიფიცირებული გოგირდის წარმოება ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე.



ნახ.1. მოდიფიცირებული გოგირდის წარმოება

გოგირდი ცვლის არომატულ ნახშირწყალბადებს, რომლებსაც ზოგადად იყენებენ პლასტიფიკატორის სახით საგზაო საფარებში ბიტუმების თვისებების გაუმჯობესებისას. გოგირდი, წარმოადგენს რა არაორგანულ ნივთიერებას, პრაქტიკულად არ ძველდება. მოდიფიცირებული გოგირდის ასფალტბეტონში გამოყენებისას ძირითადი ამოცანაა ტემპერატურული რეჟიმის დაცვა.

გოგირდასფალტბეტონის მიღების ტექნოლოგიას საფუძვლად უდევს გოგირდ/ბიტუმის აქტივირებული ნარევის მიღების პრინციპი. ხსენებული ნარევი მდგრადია შენახვის, გადადნობის, გადატანის დროს და წარმოებაში გამოიყენება ისევე, როგორც ჩვეულებრივი საგზაო ბიტუმი.

გოგირდასფალტბეტონის წარმოების ტექნოლოგიური პროცესის თავისებურებას წარმოადგენს მისი სიმარტივე. მისი წარმოების პროცესი ჰგავს “ჩვეულებრივი” ასფალტბეტონის წარმოებას, მაგრამ ასფალტბეტონის ნარევი საგზაო ბიტუმის პროცენტულ შემცველობას ემატება მოდიფიცირებული გოგირდი. მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატის გამოყენებით მოწყობილი გზა ნაჩვენებია ნახ. 2-ზე.



ნახ. 2. მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატის გამოყენებით მოწყობილი გოგირდასფალტბეტონის გზა

გოგირდასფალტბეტონის მაღალი ადჰეზია მოითხოვს ტექნოლოგიური რეგლამენტის დაცვას და მიღებული პროდუქტის პარამეტრებისა და თვისებების მუდმივ კონტროლს: ტემპერატურის, გამოყენების ვადის, დაგების დროის და სხვა. გოგირდასფალტბეტონი შეიძლება დამზადდეს ჩვეულებრივ ასფალტბეტონის ქარხნებში ყველა სათანადო მოთხოვნის დაცვით და რა თქმა უნდა კარგად გაწვრთნილი პერსონალის მიერ.

გოგირდასფალტბეტონის მასალების პოპულარობა და ფართოდ გავრცელებულობა მოწინავე ქვეყნებში, განსაკუთრებით ჩრდილოეთ ამერიკასა და კანადაში და მათი თანამედროვე მოთხოვნების შესაბამისი, გაუმჯობესებული საექსპლუატაციო თვისებების შესახებ, ჩვენს ქვეყანაში ცნობილია ტექნიკური და სამეცნიერო ლიტერატურიდან.

გბშ-ს საფუძველზე შექმნილი საფარის მქონე საავტომობილო გზების პირველი საცდელი მონაკვეთები აშშ-სა და კანადაში 1964 წ. იქნა აგებული. გოგირდბიტუმის შემკვრელებს ბიტუმის მასისგან გოგირდის 30%-იანი შემცველობით ამზადებდნენ. ვინაიდან გოგირდის სიმკვრივე გაცილებით მეტია, ვიდრე ბიტუმის სიმკვრივე, ნარევების დასამზადებლად გბშ-ს მასური დანახარჯი ასევე ერთობ მეტია, ვიდრე ბიტუმისა. ასეთი ნარევების თავისებურებაა კარგი ადვილჩაწყობადობა და გამკვრივებადობა, შემკვრელისა და ასფალტბეტონის მომატებული თერმოსტაბილურობა.

გოგირდასფალტბეტონის ნარევებში არაკონდიციური ქვის მასალების გამოყენების შესაძლებლობამ, ისეთი ქვეყნებიც მიიყვანა სათანადო გამოკვლევებამდე, სადაც გოგირდი ექსპორტით შემოტანილი მასალაა. ასე მაგალითად, საუდის არაბეთში ჩატარდა გამოკვლევები ასფალტბეტონის ნარევებში დიუნების ქვიშის გამოყენების მიზნით. დადგინდა, რომ დიუნის ქვიშის მაღალი სიბლანტის მქონე ბიტუმთან ნარევში 15% გოგირდის შეყვანა არა მარტო ბიტუმის ოპტიმალური შემცველობის 6,4-დან 5,0%-მდე შემცირების შესაძლებლობას იძლევა, არამედ ბიტუმქვიშოვანი მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების არსებითად გაუმჯობესების შესაძლებლობასაც იძლევა.

გოგირდასფალტბეტონის ნარევების მინერალური კომპონენტის სახით ბუნებრივი არაკონდიციური ქვიშების გამოყენება აშშ-ს, კანადის და სხვა ქვეყნების მეგზვევთა მუშაობის ერთ-ერთი მთავარი მიმართულებაა. ასეთი ნარევები ძირითადად ნებისმიერი კლასის ასფალტბეტონის საგზაო და სააეროდრომო საფარების რემონტისათვისაა განკუთვნილი.

კანადასა და აშშ-ში გოგირდასფალტბეტონისაგან 2,5 ათას მილზე მეტი გზები აშენდა. ამ დროის განმავლობაში აშენდა გზები ქალაქ კალგარიში, ვანკუვერში, იმ ადგილებში, სადაც გამოიყენება მძიმე ტექნიკა და მძიმე კონტეინერები, ვინაიდან უდანამატო ასფალტბეტონი იქ სკდება და იზარება. აშენდა მძიმე ტრანსპორტისთვის განკუთვნილი გზები მქავე ნიადაგებზე. დაახლოებით 2 ათასი მილი გზა აშენდა ასევე საუდის არაბეთში. რუსეთში მოდიფიცირებული გოგირდისგან მოეწყო გზების მონაკვეთები ქალაქებში ყაზანი, ასტრახანი, იაროსლავლი, ნოვინსკი (მოსკოვის ოლქი).

ტეხასელმა მეცნიერების ჯან ზჰანგ, დალლას ლაილე და მარიამ ს. საჰაეიფარის სტატიაში დაახასიათებულა გოგირდის შემცველი ასფალტბეტონის რეოლოგიური თვისებები [2].

ჰუ თან ლი, ევგენი ვ. კორელევ, ანნა ნ. გრიშინა, ვიტალი ა. გლადკიხის ნაშრომში წარმოდგენილია გოგირდის შემცველი ასფალტბეტონის ტენიანობის შემცირების მექანიზმის კვლევის შედეგები. ნაჩვენებია, რომ ტენიანობის წინააღმდეგობის შემცირება ხდება ქიმიური და ფიზიკური პროცესების წარმოქმნის გამო [3].

ტეხასელი მეცნიერის ამით ბაშინ-ის სტატიაში განხილულია გოგირდის, როგორც საფარის სამშენებლო მასალად გამოყენების ტექნოლოგიების განვითარების მიმოხილვა [4].

შერიფ ელ-ბადვეი-ს სტატიაში განხილულია მაღალი და დაბალი სიმკვრივის პოლიეთილენის რეციკლირებული ნარჩენებით მოდიფიცირებული გოგირდით დამზადებული ასფალტბეტონის შემკვრელების რეოლოგიური და გარემოსდაცვითი შეფასება [5].

ვან ჰანგ ნგაიენ-ის სტატიაში განხილულია გოგირდის, როგორც ალტერნატიული შემკვრელის დანამატის ეფექტურობის შეფასება ასფალტბეტონის ნარევისთვის [6].

რუსი მეცნიერების ვ.ა გლადკიხ და ე.ვ კოროლიოვის სტატიაში [7] მითითებულია, რომ ასფალტბეტონის ნარევი დანამატის სახით გოგირდის გამოყენება ამცირებს ძვირადღირებული ბიტუმის ხარჯს, აუმჯობესებს მის ტკეუნადობას, ადაბლებს ბიტუმების გაცხელების ტემპერატურას ასფალტბეტონის ნარევის მომზადების დროს, ამაღლებს წყალმედევობას და ყინვამედევობას, და შესაბამისად გზის საფარის ხანმედევობას, ბიტუმში შეყვანილი გოგირდი 120-140°C ტემპერატურაზე დნება და თანაბრად ნაწილდება მასში, შერევის პროცესში გოგირდი ნაწილობრივ იხსნება ბიტუმის ზეთოვან კომპონენტებში. გახსნილი და გამდნარი გოგირდი ახდენს ასფალტზე მაპლასტიფიცირებელ ზემოქმედებას. გარდა ამისა მათ მიერ დადგენილია, რომ საექსპლუატაციო ტემპერატურის ერთი და იგივე მნიშვნელობის დროს გოგირდასფალტბეტონის დრეკადობის მოდული მეტია, ვიდრე ტრადიციული ასფალტბეტონისა.

სოიუზდორნიის მიერ 1986 წელს გამოცემულ მეთოდურ რეკომენდაციებში ასფალტბეტონში გოგირდის დანამატის გამოყენებასთან დაკავშირებით აღნიშნულია, რომ - 120°C -ზე დაბალ ტემპერატურაზე გამდნარი გოგირდი იწყებს დაკრისტალებას. გარემო ტემპერატურამდე გოგირდასფალტბეტონის გაგრძელების შემდეგ გოგირდის კრისტალიზაციის პროცესი კიდევ დიდხანს გრძელდება (თვეზე მეტ ხანს). დაკრისტალებული გოგირდი ასრულებს გოგირდასფალტბეტონში დისპერსული შემავსებლის როლს, ზრდის მის სიმტკიცეს [8].

ორენბურგელი მეცნიერების ე.ვ კოროლიოვის, ი.მ ბაჟენოვის და ა.ი ალბაკასოვის 2010 წელს გამოქვეყნებულ კვლევის შედეგებში მოცემულია მათ მიერ ჩატარებული კვლევების შედეგები, რომლის მიხედვითაც გოგირდოვანი სამშენებლო მასალები ხასიათდება გაზრდილი ხანმედევობით, რაც განისაზღვრება მათი უნარით, წინააღმდეგობა გაუწიონ

გარემოს აგრესიულ ფაქტორთა დესტრუქციულ ზემოქმედებას. შეუქცევად ცვლილებებს კომპოზიტში თან ახლავს გარდაქმნები, რომლებიც იწვევს მისი ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუარესებას. დესტრუქციის ინტენსიურობა დამოკიდებულია მასალის წყალშთანთქმაზე და გარემოში ქიმიურად აქტიურ ნივთიერებათა კონცენტრაციაზე. ექსპერიმენტულად დადასტურებულია, რომ მასალაში გოგირდის დამატებით მცირდება მისი წყალშთანთქმა, შესაბამისად იზრდება მედეგობა გარემოს დესტრუქციული ზემოქმედებისადმი, რაც ხანმედეგობას განაპირობებს [9].

აშშ ობერნის უნივერსიტეტის მეცნიერების დ.სტრიკჯენდის, დ. კოლანზის, კ. შოუს და ნ. პაგის ნაშრომში აღნიშნულია, რომ გოგირდასფალტბეტონის მდგრადობა მოცემულ მაღალ ტემპერატურაზე შეიძლება გაიზარდოს 3-ჯერ. გოგირდის დამატებით იზრდება აგრეთვე სიხისტის მოდული და მედეგობა ნარჩენი დეფორმაციისადმი. [10] ამ მეცნიერთა მიერ მიღებული შედეგები ბევრ შემთხვევაში ემთხვევა კანადელი მეცნიერების დ. ტიმის, ნ. ტრიენის, ა. ტეილორის, მ. რობისა და ბ. პაუჯელის კვლევების შედეგებს. ორივე ჯგუფის მკვლევართა შედეგებში აღნიშნულია, რომ გოგირდასფალტბეტონს აქვს მაღალი სიხისტე და ძვრისადმი მედეგობა მაღალი საექსპლოატაციო ტემპერატურების პირობებში, რასაც მოწმობს გოგირდასფალტბეტონის გამოკვლევების შედეგები. გოგირდასფალტბეტონს ახასიათებს ტრადიციულ ასფალტთან შედარებით გაზრდილი დეფორმაციისადმი (ბორბლის კვალი) მედეგობა, რაც დადასტურდა მაღალი ტემპერატურისა და ბორბლის მრავალჯერ განმეორებადი ციკლური დატვირთვის ქვეშ გამოცდით. ბიტუმის ნაწილის ჩანაცვლება გოგირდით არ ახდენს ნეგატიურ გავლენას ასფალტბეტონის ნარევის დაბალტემპერატურულ თვისებებზე. მითითებულ გამოკვლევებში ექსპერიმენტულად შესწავლილია გოგირდასფალტბეტონის ბზარწარმოქმნა დაბალი ტემპერატურის შედეგად. გამოკვლევებმა დაადასტურა, რომ გოგირდასფალტბეტონის ბზარწარმოქმნის ტემპერატურა ტრადიციული ასფალტბეტონის საფარის ბზარწარმოქმნის ანალოგიურია [11].

კანადელმა მეცნიერმა ჰ.ა. ოკუმურამ შეისწავლა გოგირდის დანამატიანი ასფალტბეტონის თვისებები და დაადგინა, რომ მას ახასიათებს გაზრდილი მედეგობა დადლილობისადმი და არ აქვს ეგზოთერმული რეაქცია, ანუ არ გამოჰყოფს სითბოს დამზადების პროცესში [12].

1.3. გოგირდის სანედლეულო რესურსები

მიწის ქერქში გოგირდი სამი ფორმითაა დაცული: თვითნაბადი სახით, სულფატებისა და სულფიდების სახით. თვითნაბადი გოგირდი – უძველესი დროის დანალექებია, რომლებიც ვულკანური აქტივობითაა წარმოქმნილი. გოგირდი თითქოსდა ჟღენთავს ნიადაგს, მაგრამ დანალექები სუფთა სახითაც გვხვდება. სულფატური გოგირდი დაცულია ტუტე და ტუტემიწიან მასალებში (თაბაშირი, გლაუბერის მარილი, ანჰიდრიდი). სულფიდური გოგირდი მძიმე ლითონების შემადგენლობაში შედის (რკინის ალმადანი, თუთიის კრიალა, სინგური).

წიალიდან თვითნაბადი გოგირდის მოპოვება მიწისქვეშა გამოდნობის მეთოდით ხორციელდება უშუალოდ ბუდობში თბომატარებლით გამოდნობილი თხევადი გოგირდის ჭაბურღილებიდან გამოტუმბვის გზით.

გოგირდის გამოყენება სამშენებლო პრაქტიკაში ჯერ კიდევ XIX ს. ბოლოს დაიწყო, მაგრამ მაშინ მან ვერ ჰპოვა ფართო გავრცელება მისი შედარებით მაღალი ფასის გამო. ამჟამად რიგ ქვეყნებში (კანადა, აშშ, რუსეთი, ყაზახეთი) გოგირდის წარმოებამ თანდათან გადააჭარბა მის მოხმარებას და პროდუქციის თვითღირებულება მნიშვნელოვნად შემცირდა. ნავთობის, ნავთობპროდუქტების, ბუნებრივი აირების და სხვა სამრეწველო გამონატყორცნების გაწმენდისას მიღებული თანამგზავრი გოგირდის წილი სულ უფრო იზრდება [13].

მსოფლიოში გოგირდის ყველაზე მსხვილი მწარმოებლებია აშშ, კანადა, რუსეთი, პოლონეთი, მექსიკა, საფრანგეთი. რუსეთში, საფრანგეთსა და კანადაში ძირითადად გოგირდს ბუნებრივი აირისა და

ნავთობპროდუქტების გაწმენდის შედეგად ლეზულობენ, სხვა ქვეყნებში – უპირატესად ბუნებრივი ბუდობებიდან. რუსეთში გოგირდის წყაროა ასევე მისი წარმოება ავტოკლავური გამოდნობის მადნიდან. გავრცელებულია ნარჩენები, რომლებიც გოგირდის ფაზური გაცვლის მეთოდით წარმოებისას არის მიღებული. ამ ნარჩენებს გოგირდის გრანულიტს უწოდებენ. ისინი წარმოადგენენ გოგირდმადნიანი ქანის წვრილდისპერსულ მინერალურ მასალას გოგირდის ჩანაწიწკლებით (15–30%).

XX საუკუნის ბოლოს გოგირდის მსოფლიო წარმოების მოცულობა მრეწველობის სხვადასხვა დარგებში მისი უტილიზაციის პროცესში წელიწადში 10 მლნ.ტ.-ზე მეტს შეადგენდა. არაუტილიზებული გოგირდის რაოდენობა კი დაახლოებით 25 მლნ. ტონას [14].

ყაზახეთში 2007წ.-სთვის დაგროვებული იყო 8,5 მლნ.ტ გოგირდი (მსოფლიოში შენახული გოგირდის 40%). გოგირდის ყოველწლიური ნამატი 100 ათ.ტ შეადგენს, ამიტომ 2030წ. გოგირდის რაოდენობა ნაყარებში შეიძლება 58 მლნ.ტ-მდე გაიზარდოს [15].

დღეისათვის საქართველოში ტყიბულის რაიონში ქვანახშირის მოპოვების დროს მისი დაკოქსვის შედეგად შესაძლებელია მივიღოთ მაღალხარისხიანი ქვანახშირი და ტექნიკური გოგირდი რომელსაც გამოვიყენებთ საგზაო მშენებლობაში.

1.4. გოგირდის ძირითადი თვისებები და მოდიფიცირებული გოგირდის ფიზიკურ-ქიმიური შედგენილობა

გოგირდი ელემენტთა მენდელეევის სისტემის VI ჯგუფის ქიმიური ელემენტია, ატომის მასით 32,06 და სიმკვრივით 2,1 გ/სმ³. გოგირდის დნობის ტემპერატურაა 110-119°C, დუღილისა -444.8 °C. გოგირდი ცუდად ატარებს ელექტრულ დენს, არ იხსნება წყალში და არაორგანული მჟავების უმრავლესობაში, კარგად იხსნება გოგირდნახშირბადში, უწყლო ამიაკში, ანილინში და სხვა ორგანულ გამხსნელებში. თხევადი და მყარი გოგირდის

თბოგამტარობა უმნიშვნელოა, ამიტომ მისი გადნობისა და შეთბობისათვის საჭიროა მნიშვნელოვანი ენერგეტიკული დანახარჯები - 190 კჯოული/გრ 1 კგ მყარი გოგირდისათვის.

ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე გოგირდი შედგება რვაატომიანი წრიული მოლეკულებისაგან, რომლებიც 155-160°C-ზე გაწყვეტას იწყებენ, რაც იწვევს წელვადობის კლებას. შემდეგ წარმოქმნილი ღია სტრუქტურის წრიული ატომები ერთმანეთს უკავშირდება და წარმოქმნიან რამდენიმე ათასეული ატომისაგან შედგენილ გრძელ ჯაჭვებს. ამას თან ახლავს წელვადობის მკვეთრი ამაღლება. შემდგომ გაცხელებას კი მოჰყვება ჯაჭვების წყვეტა, რის შედეგადაც წელვადობა მცირდება.

გოგირდი, ტემპერატურის შესაბამისად შეიძლება იმყოფებოდეს სამი სახის მდგომარეობაში: მყარ, თხევად და გაზობრივში. გოგირდის მოლეკულების აღნაგობა და მათი რეაგირების უნარი დამოკიდებულია ტემპერატურაზე. 158 °C ტემპერატურის დროს თხევადი გოგირდის თითქმის ყველა თვისება ცვლილებებს განიცდის. განსაკუთრებით იცვლება მისი წელვადობა. 117 °C ტემპერატურის დროს სუფთა გოგირდის წელვადობა შეადგენს 0,011 პა.წმ. ტემპერატურის ზრდასთან ერთად გოგირდის წელვადობა დასაწყისში იკლებს, აღწევს რა მინიმუმს 155 °C ტემპერატურაზე - 0,0065პა.წმ. დაწყებული 155 °C –დან თხევადი გოგირდი მუქდება, მისი წელვადობა იზრდება და 187 °C ტემპერატურაზე აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას – 93,3 პა.წმ. ტემპერატურის შემდგომი ზრდისას გოგირდის წელვადობა ეცემა, და 400 °C ტემპერატურაზე იგი უტოლდება 0,16 პა.წმ. წელვადობის ასეთი ანომალური ცვლილება დაკავშირებულია გოგირდის მოლეკულარული სტრუქტურის ცვლილებასთან.

გოგირდის მოლეკულური სტრუქტურა პოლიმორფული მოდიფიკაციების უამრავი სახესხვაობით ხასიათდება. დღეისათვის გამოვლენილია გოგირდის ალოტროპიების 30-ზე მეტი სახეობა, მათი უმრავლესობა არ არის სათანადოდ შესწავლილი და ჯერ კიდევ არ არსებობს მათი ერთიანი კლასიფიკაცია [16].

ოლიმორფული ალოტროპებიდან, რომლებიც ათეულებიდან ასეულ ათასამდე მოლეკულებისა და ატომებისაგან შედგება, უფრო მეტად შესწავლილია ათამდე მათგანი, მათ შორის S_a – რომბული, მოყვითალო ლიმონისფერი, სიმკვრივით 2,07 გ/სმ³ და დნობის ტემპერატურით 112.8 °C . გოგირდი მდგრადია 112.8 °C-ზე დაბალი ტემპერატურის დროს; $S\beta$ – პრიზმატული და მონოკლინური, მოყვითალო სპილენძისფერი, სიმკვრივით 1.96 გ/სმ³ და დნობის ტემპერატურით 119.3 °C. მდგრადია ტემპერატურის ინტერვალში 95.6-119.3; $S\pi$ – ციკლური წრიული და $S\mu$ – პოლიმერული, ესენია უფრო მეტად საინტერესო მშენებლობის პრაქტიკისათვის.

რომბული გოგირდი 95.58°C-ზე მაღალ ტემპერატურაზე საკუთარ ორთქლზე ზემოქმედების ქვეშ გარდაიქმნება მონოკლინურ მოდიფიკაციად (გრძელი მუქი ყვითელი ნემსისებური კრისტალებით), რომელიც უფრო მდგრადია 96°C-ზე მაღალ ტემპერატურაზე. დნობისას (110-119°C ტემპერატურაზე) მონოკლინური გოგირდი გარდაიქმნება ყვითელ ადვილად ძვრად სითხედ. შემდგომი გაცხელებისას სითხე მუქდება, ღებულობს მოწითალო-მუქ ფერს და დაახლოებით 240-250°C-ზე იმდენად სქელდება, რომ გადმობრუნებული ჭურჭლიდან არ იღვრება. 300°C-ზე მაღალ ტემპერატურაზე იგი ისევ თხევად მდგომარეობაში გადადის, ხოლო 444.9°C -ზე დუღილს იწყებს და ნარინჯისფერ-ყვითელ ორთქლს გამოჰყოფს. თუ დუღილამდე გაცხელებულ გოგირდს უცებ გავაცივებთ, იგი გადაიქცევა რბილ, რეზინისებურ მუქ-ყავისფერ მასად (პლასტიკურ გოგირდად). გარკვეული დროის შემდეგ იგი მსხვრევადი ხდება, მუქდება, და თანდათანობით რომბულ გოგირდად იქცევა. პოლიმერული გოგირდის სხვა ალოტროპულ ფორმებად გარდაქმნის სიჩქარე დაახლოებით 8%-ია თვეში. მცირე რაოდენობით იოდის ან სხვა ნივთიერებების დამატებით შეიძლება ამ პროცესის შეყოვნება, პლასტიკური გოგირდის მდგრადობის გაზრდით [17].

ნადნობიდან მიღებული მყარი გოგირდი ყოველთვის შეიცავს სხვადასხვა ალოტროპებს გარკვეული რაოდენობით, მათ შორის სამ

ძირითად ფრაქციას: კრისტალურს, რომელიც ძირითადად ციკლოქტაგონირდისაგან შედგება, აქტიურ ალოტროპულ სახესხვაობებს და პოლიმერულ გოგირდს.

ამ ფრაქციების ურთიერთშეფარდება დამოკიდებულია მყარი გოგირდის თერმულ წინაისტორიაზე (დნობის ტემპერატურაზე გაცივების დროისათვის) და გამყარების რეჟიმზე.

გოგირდის გადასვლას თხევადი მდგომარეობიდან მყარში თან ახლავს შესამჩნევი კლება მოცულობაში (დაახლოებით 14%-მდე).

გოგირდი ხასიათდება დაბალი წელვადობით 120-150°C ტემპერატურის ინტერვალში, არატოქსიკურობით მყარ მდგომარეობაში, მაღალი ადჰეზიურობით ფოროვანი მასალების მიმართ, ჰიდროფობიით, საკმარისი მექანიკური სიმტკიცით. დაბალ ტემპერატურებზე გოგირდი შედარებით ინერტულია. მაღალ ტემპერატურებზე იგი ურთიერთქმედებაში შედის ბევრ ელემენტთან, გარდა იოდის, აზოტის, ოქროს, პლატინის, ირიდიუმის და ინერტული გაზებისა. გოგირდი რეაქციაში შედის ბევრ ორგანულ ნაერთთან. გაჯერებულ ნახშირწყალბადებთან რეაქციის დროს მიმდინარეობს მისი დეჰიდრატაცია. გოგირდის რეაქციას ოლეფინებთან პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, იმდენად, რამდენადაც მას გამოიყენებენ კაუჩუკის ვულკანიზაციისათვის.

გოგირდს ახასიათებს მედეგობა აგრესიული გარემოს ზემოქმედებაზე (მჟავების და მარილების ხსნარები), წყალმედეგობა, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ მის ფუძეზე შესაძლებელია ქიმიურად მედეგი და წყალმედეგი სამშენებლო მასალების მიღება. გოგირდის ძირითადი თვისებები მოყვანილია ცხრილში 3.

მოდუფიცირებული გოგირდი (მგ) არის – არაზღვრული ნახშირწყალბადების თხევად გოგირდთან ქიმიური რეაქციის პროდუქტი. მგ წარმოადგენს ღია-ყვითელ ნივთიერებას, რომელიც გამოიყენება როგორც შემკვრელი გოგირდოვანი ბეტონების, ასევე გოგირდასფალტბეტონების წარმოებაში. ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლების მიხედვით მგ უნდა შეესაბამებოდეს ცხრილ 4-ში მითითებულ ნორმებს:

გოგირდის ძირითადი თვისებები

ძირითადი თვისებები			
ტემპერატურა, °C	20	122	150
სიმკვრივე, გ/სმ ³	2,1	1,96 – 1,99	1,6 – 1,81
სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა	12 – 22	-	-
სისალე, მოსის შკალით	1 – 2	-	-
სიბლატე, პა.წმ	-	0,011 – 0,012	0,0065 – 0,0070
ზედაპირული დაჭიმულობა ნ/მ	-	-	0,055
სითბოტევადობა, კჯოული/კგ	0,7	1,47	1,84

მოდულირებული გოგირდის ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები

ხარისხის მაჩვენებლები	ნორმა
გარეგნული სახე, ფერი	ღია ყვითელი ფხვნილი
საერთო გოგირდის მასური წილი, წონ. %, არანაკლებ	94,5
გოგირდის თანაპოლიმერის მასური წილი, %, არანაკლებ	25
ტენის მასური წილი, %, არანაკლებ	0,5
მჟავების მასური წილი გოგირდმჟავაზე გადაანგარიშებით, %, არაუმეტეს	0,1
ნარჩენი საცერზე (ქერცლები ზომით არაუმეტეს 5,0 სმ), %, არაუმეტეს	2,0

ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლების მიხედვით მგ უნდა შეესაბამებოდეს ცხრილ 5-ში მითითებულ ნორმებს:

მგ – საწვავი ნაკლებად მტვერგამომყოფი ნივთიერებაა, რომლის შეტივტივებული მტვერი ხანძარ და ფეთქებადსაშიშია, თვითალების ტემპერატურა არანაკლებია 190 °C-ზე; წვადობის ჯგუფი – III, მგ-ს მტვერი

განეკუთვნება საშიშროების მე-4 კლასს. ყველა სამუშაო მგ-ს წარმოებისა და გამოყენებისას ტარდება ГОСТ 12.3.041-86-ის შესაბამისად [18].

ცხრილი 3

მოდულიზირებული გოგირდის ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლები

მახასიათებლის დასახელება	განზ. ერთ.	მნიშვნელობა
კუთრი სიმკვრივე	კგ/მ ³	2060
დნობის ტემპერატურა	°C	110-112
პროდუქტის ნაყარი წონა:		
დაუტკეპნავ მდგომარეობაში	კგ/მ ³	1280
დატკეპნილ მდგომარეობაში	კგ/მ ³	1540

მგ გამოიყენება ჩვეულებრივი გოგირდის ნაცვლად, რაც აუმჯობესებს მომზადებული გოგირდასფალტბეტონების ტექნოლოგიურ პარამეტრებს, ზრდის მის სიმტკიცეს, ხანგამძლეობას, ამცირებს წყალშეღწევადობას.

მგ-ს მიღების ნედლეულია გაზისებური გოგირდი ГОСТ 127.1-93 და არაზღვრული ნახშირწყალბადები.

ტრანსპორტირების, შეფუთვის, შენახვის, დოზირების და დნობის მოხერხებულობისათვის მოდიფიცირებული გოგირდი გამოიშვება ქერცლის სახით.

ტექნიკური პირობა: ტექნიკური პირობები ვრცელდება ასფალტბეტონის ნარევებზე, რომლებიც განკუთვნილია გზების სავალი ნაწილის ასფალტბეტონის საფარის ზედა ფენების მშენებლობისა და რემონტისათვის, მათ რიცხვში ავტოსატრანსპორტო გვირაბებისათვის, მოედნებისა და ტროტუარებისათვის, გზის საფარის რემონტისა და მშენებლობისათვის ხიდების სავალ ნაწილზე, გზაგამტარებზე და ასევე სხმულ გოგირდასფალტბეტონზე [18, 19, 20].

გოგირდასფალტბეტონის ნარევი – გარკვეული პროპორციით აღებული მინერალური შემავსებლის, ბუნებრივი ან მსხვრეული ქვიშის, მინერალური

ფხვნილის, გოგირდისა და ბიტუმის რაციონალურად შერჩეული ნარევი, მიღებული იძულებითი მოქმედების შემრევ დანადგარებში.

ტექნიკური მოთხოვნები:

- ნარევი უნდა აკმაყოფილებდეს წინამდებარე ტექნიკური პირობების მოთხოვნებს და დამზადებული იყოს ტექნოლოგიური რეგლამენტით.
- ნარევის შედგენილობა შეირჩევა სპეციალიზირებული ლაბორატორიის მიერ საგზაო მშენებლობის პრაქტიკაში მიღებული ნებისმიერი მეთოდით, იმ პირობით, რომ მიღებული იქნება მოთხოვნილი ხარისხის გოგირდასფალტბეტონი.
- ძირითადი პარამეტრები და მახასიათებლები

საწყისი მასალების მახასიათებლები უნდა აკმაყოფილებდნენ გოსტის მოთხოვნებს:

- მინერალური შემავსებელი ღორღი - აკმაყოფილებდეს გოსტს და წინამდებარე ტექნიკური პირობების მოთხოვნებს.
- ქვიშა - უნდა აკმაყოფილებდეს გოსტის მოთხოვნებს. II ტიპის ნარევებისათვის რეკომენდებულია ბუნებრივი და დანაწევრებული ქვიშების ნარევის გამოყენება შეფარდებით 1:1 –დან 1:2-მდე.
- მინერალური ფხვნილი – არააქტივირებული და აქტივირებული, უნდა პასუხობდეს გოსტის მოთხოვნებს.
- ბიტუმი - გამოიყენება ნავთობის ბლანტი საგზაო ბიტუმები, რომლებიც აკმაყოფილებს გოსტის მოთხოვნებს, დარბილების ტემპერატურით არანაკლებ 45 °C.
- გოგირდი - ტექნიკური გოგირდი, რომელიც აკმაყოფილებს გოსტ 127.1-93-ის მოთხოვნებს, ან გრანულირებული გოგირდი მწარმოებლის ტექნიკური პირობების შესაბამისად, მოდიფიცირებული გაჯერებული ოლეფინის ნახშირწყალბადებით.

ნარევების შერევის ხანგრძლიობას ადგენენ გამოყენებული შემრევი დანადგარის ტექნიკური მახასიათებლების შესაბამისად.

ნარევის კომპონენტების დოზირების დასაშვები ცდომილება არ უნდა

აღმატებოდეს $\pm 2\%$ -ს მინერალური ნაწილის ყოველი კომპონენტის მასიდან და მასის $+1\%$ ბიტუმისა და გოგირდისათვის;

ნარევის ტემპერატურა მისი შემრევიდან გამოსვლისას მიღებულია $145-155^{\circ}\text{C}$ -ის [18,19, 20];

ნარევის რეკომენდებული ტემპერატურა გზების მშენებლობის დროს ჰაერის ტემპერატურის მიხედვით აიღება ცხრილიდან 6.

ცხრილი 4

გოგირდასფალტის რეკომენდირებული ტემპერატურა მშენებლობისას ჰაერის ტემპერატურის მიხედვით

ჰაერის ტემპერატურა			
30°C	20°C	15°C	10°C და ნაკლები
მგ-ს რეკომენდირებული ტემპერატურა			
140°C	145°C	150°C	-

1.5. გოგირდისა და ბიტუმის ურთიერთქმედების ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები

გოგირდბიტუმის შემკვრელების (გბშ) თვისებებზე შემდეგი ძირითადი ფაქტორები და ტექნოლოგიის პარამეტრები ახდენენ გავლენას: ბიტუმთან გოგირდის ურთიერთქმედების ტემპერატურა, გბშ-ში გოგირდის შემცველობა; ბიტუმის სტრუქტურულ-რეოლოგიური ტიპი; გოგირდის აგრეგატული მდგომარეობა ბიტუმში შეყვანისას; გბშ-ს შერევის ინტენსივობა და ხანგრძლივობა.

გოგირდი გბშ-ში სამი სახით არსებობს: ქიმიურად შეკრული; ბიტუმში გახსნილი; თავისუფალი კრისტალური წვრილდისპერსული სახით, რომელიც ბიტუმის შემკვრის როლს ასრულებს. გოგირდის თითოეულ სახეობას სხვადასხვა თვისებები აქვს გოგირდბიტუმის შემკვრელში. [14,21].

ქიმიურად შეკრული გოგირდი. ბიტუმთან ქიმიურ რეაქციებში გოგირდის უმნიშვნელო რაოდენობა შედის (5-7 მას. %, ზოგჯერ 10 მას. %).

გოგირდის დნობის ტემპერატურაზე უფრო მაღალ ტემპერატურაზე მისი რვაწევრიანი რგოლები გაჭიმულ ჯაჭვებად იშლება, რომელთა სიგრძე იზრდება ტემპერატურის ზრდისას, და უკავშირებიან ბიტუმს. გოგირდის ეს რაოდენობა შემკვრელის ყველაზე აქტიური მოდიფიკატორია.

ბიტუმში გახსნილი გოგირდი. ასეთი გოგირდის რაოდენობა ბიტუმის სიბლანტეზე, წარმომავლობაზე და გბშ-ის დამზადების ტემპერატურაზეა დამოკიდებული. გახსნილი გოგირდის ზღვრული რაოდენობა ბიტუმის მალტენურ ნაწილში დაცული არომატული ნახშირწყალბადების შემცველობის ზრდასთან ერთად მატულობს.

გბშ-ს ტემპერატურის შემცირებასთან ერთად გახსნილი გოგირდის რაოდენობა კლებულობს. ასე მაგალითად, საგზაო საფარის ექსპლუატაციის ტემპერატურაზე მისი შემცველობა ჩვეულებრივ არ აღემატება 8 მას. %-ს. ბიტუმში გადნობილი გოგირდის დიდი ნაწილი კრისტალიზდება დროთა განმავლობაში, გამოიყოფა მყარი ფაზის სახით და დისპერსული შემვსების მსგავსად იქცევა. გბშ-ში გოგირდის მაღალი შემცველობებისას შესაძლებელია ასევე კრისტალიზაციური სტრუქტურის წარმოქმნა ბიტუმში კრისტალების სახით გამოყოფილი გოგირდის ნაწილაკების შეზრდის ხარჯზე [17,22].

ბიტუმში დისპერსირებული გოგირდი. ბიტუმში 20-30%-ზე მეტი ოდენობით გოგირდის დამატებისას ის არ შეიძლება გადნეს მასში და ბიტუმში დაახლოებით 0,1 მკმ დიამეტრის მქონე უმცირესი დისპერსირებული ნაწილაკების სახით გამოდის. ასეთი გოგირდი სტრუქტურაწარმომქმნელი შემვსების როლს ასრულებს. ამასთან გოგირდის შემცველობა შეიძლება დამატებული გოგირდის მთელი რაოდენობის ნახევარზე მეტს შეადგენდეს, ხოლო შევსების ეფექტიანობა იზრდება ბიტუმის სიბლანტის შემცირებასთან ერთად. ბიტუმში გაუხსნელი გოგირდის მარცვლების სიდიდე არსებით გავლენას ახდენს გბშ-ს თვისებებზე, განსაკუთრებით მის სიბლანტეზე. გოგირდის წარმოქმნილი მარცვლების ზომა კომპონენტების შეთავსების პირობებზე (ტემპერატურა, დრო, შერევის ინტენსივობა) და გბშ-ს გაცივების სიჩქარეზეა დამოკიდებული.

დროთა განმავლობაში მონოკლინური გოგირდი ორთორომბულ გოგირდად იქცევა, ამას კი მისი სიმტკიცის ზრდა მოყვება. ამიტომ გბშ-ს სტრუქტურის დროში ფორმირების პირობები მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ ხარისხიანი და ხანგამძლე გოგირდბიტუმის მასალების შექმნაში.

ბიტუმში გოგირდის შეყვანის ხერხი არ ახდენს არსებით გავლენას გბშ-ს თვისებებზე. მნიშვნელოვანია, რომ ის დნებოდეს და თანაბრად ნაწილდებოდეს კომპოზიციაში. ორგანული შემკვრელის და გოგირდის ხარისხობრივი შეთავსების არასაკმარისი უზრუნველყოფის შემთხვევაში არ ხდება ნარევის თვისებების შესამჩნევი გაუმჯობესება. ასეთ დროს გოგირდი გამოდის როგორც ინერტული შემკვრელი [23]. ყურადღებას იმსახურებს ის გამოცდილება, რომელიც მიღებულია პოლონეთის (მსოფლიოში ერთ-ერთი წამყვანი ქვეყანაა, რომელიც გბშ-ს წარმოებითაა დაკავებული) მეგზვევითა მიერ. გბშ-ს დამზადებისათვის იყენებენ კოლოიდურ (ემულსიურ) წისქვილებს ან სტატიკურ შემრევს.

გბშ-ს თვისებები, მათი საექსპლუატაციო მახასიათებლები ბევრად გოგირდის მოლექულურ სტრუქტურასა და აგებულებაზე არის დამოკიდებული. სხვადასხვა მამოდიფიცირებელი დანამატების გამოყენება მისი თვისებების მიმართული შეცვლისა და რეგულირების საშუალებას იძლევა [24].

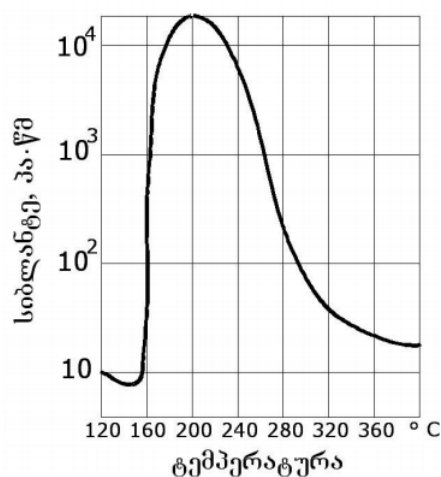
გოგირდის წარმოქმნილი პოლიმერული მოდიფიკაცია დროთა განმავლობაში ოთახის ტემპერატურაზე კრისტალურ მოდიფიკაციებში რევერსირებს, რაც იწვევს გოგირდის მასალების ფიზიკურ-მექანიკური და საექსპლუატაციო თვისებების შემცირებას. ამ პროცესის თავიდან აცილების მიზნით სხვადასხვა მასტაბილიზებელ დანამატებს იყენებენ (წითელი ფოსფორი, იოდი, მათი ნარევები, სელენი, დიციკლოპენტადიენი და სხვ.) [17].

გოგირდი ცვლის არომატულ ნახშირწყალბადებს, რომლებსაც ზოგადად იყენებენ პლასტიფიკატორის სახით საგზაო საფარებში ბიტუმების თვისებების აღდგენისას. გოგირდი, წარმოადგენს რა

არაორგანულ ნივთიერებას, პრაქტიკულად არ ძველდება. გოგირდის გამოყენებისას ძირითადი ამოცანაა ტემპერატურული რეჟიმის დაცვა.

მასტაბილიზებული დანამატების შეყვანისას გოგირდშემცველი მასალების თვისებათა გაუმჯობესება შემდეგნაირად აიხსნება: დანამატებთან (ან მათი დაშლის პროდუქტებთან) გოგირდის ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება პოლიმერული გოგირდის გარკვეული რაოდენობა, რომელიც კრისტალურ მოდიფიკაციებთან შედარებით უფრო მაღალი დეფორმაციულობით, შემკვების მიმართ მეტი ადგეზიით და თხევადბლანტი მდგომარეობიდან მყარში გადასვლისას ნაკლები შინაგანი ძაბვებით გამოირჩევა [24]. ბიტუმის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები დამოკიდებულია მის ჯგუფურ ქიმიურ შედგენილობაზე და სტრუქტურაზე. მოდიფიცირებული დანამატის შეყვანა, მათ შორის გოგირდის, იწვევს ნახშირწყალბადების ძირითადი ჯგუფების თანაფარდობის და სტრუქტურულ-მექანიკური თვისებების ცვლილებას ბიტუმში [25].

დნობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გამო გამდნარი გოგირდის სიბლანტე ტემპერატურის დიდ შუალედში იცვლება (ნახ.3) [26].



ნახ. 3. გოგირდის სიბლანტის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება

შემკვრელის გაცხელების ტემპერატურის გაზრდა იწვევს მისი წელვადობის შემცირებას, მაგრამ 160°C-ზე მაღლა იწყება გბშ-დან

ტოქსიკური გაზების ინტენსიური გამოყოფა. აქედან გამომდინარე გბშ-ს მომზადების ოპტიმალური ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს 150°C გოგირდის შემცველობის და საწყისი ბიტუმის მარკის შესაბამისად.

1.6. გოგირდბიტუმის შემკვრელების დამზადების ტექნოლოგიური თავისებურებანი

გოგირდბიტუმის შემკვრელების (გბშ) თვისებებზე შემდეგი ძირითადი ფაქტორები და ტექნოლოგიის პარამეტრები ახდენენ გავლენას: ბიტუმთან გოგირდის ურთიერთქმედების ტემპერატურა, გბშ-ში გოგირდის შემცველობა; ბიტუმის სტრუქტურულ-რეოლოგიური ტიპი; გოგირდის აგრეგატული მდგომარეობა ბიტუმში შეყვანისას; გბშ-ს შერევის ინტენსივობა და ხანგრძლივობა [27].

გოგირდბიტუმის შემკვრელები შეიძლება ორი ხერხით დამზადდეს: გაღობილი გოგირდის ემულგირებით ბიტუმში კოლოიდურ წისქვილში (ღრეჩო 0,04 სმ, როტორის ბრუნვის სიხშირე 7000 ბრ/წთ, ტემპერატურა 140-150°C, ემულგირების ხანგრძლივობა 8 წთ) ან სტატიკურ შემრევში.

გბშ-ს დამზადება როგორც კოლოიდურ წისქვილში, ისე სტატიკურ შემრევში იძლევა გოგირდის ბიტუმში 5-20 მკმ ზომამდე თანაბრად დისპერგირებისა და მის საფუძველზე თვისებების მაღალი მაჩვენებლების მქონე ნარევების მიღების შესაძლებლობას.

გბშ-ს დამზადებისას მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს ბიტუმთან გოგირდის გახურებისას ტოქსიკური აირების წარმოქმნისა და გამოყოფის თავიდან აცილება. აირების გამოყოფა იწყება 150°C-ზე მეტ ტემპერატურაზე; მართალია, გოგირდის ხსნადობა ბიტუმში ტემპერატურის მატებასთან ერთად იზრდება, მაგრამ მაინც ნივთიერებათა წარმოქმნის თვალსაზრისით მაქსიმალური უსაფრთხოება 150°C ტემპერატურაზე მიიღწევა. გბშ-ს მიღებისას გამოყოფილი გოგირდწყალბადის შთანთქმისათვის რეკომენდებულია სილიკონის, ჩამქრალი და ჩაუმქრალი კირის, ნატრიუმის ტუტის, აქტივირებული ნახშირის, დიციკლოპენტადიენის,

ამინების, იონგაცვლითი ფისების, უჯერი ცხიმოვანი მჟავების, ნავთობპოლიმერული ფისების გამოყენება [28, 29].

ძირითადი მოწყობილობა – გრიგალური ფენის აპარატები გადასატან მოდულშია განლაგებული. მოდულში გათვალისწინებულია საოპერატორო, საიდანაც ხორციელდება პროცესის მართვა. გარედან ეწყობა ორი ნახევრად სატვირთავი სადოზირებელი ტუმბო, რომელიც ბუფერული ტევადობებითაა აღჭურვილი და მზა პროდუქტის გაცემის სატუმბი დანადგარი. მოედანზე თავსდება გასათბობი ცისტერნები საწყისი და საბოლოო პროდუქტებისათვის. ასეთი ხერხით მიიღება ჰომოგენური გბშ, რომელშიც გოგირდი კოლოიდურ მდგომარეობაში იმყოფება. შემკვრელი დიდხანს ინარჩუნებს ერთგვაროვნებას და ასევე გამორიცხულია გოგირდოვანი აირების გამოტყორცნა.

აშშ-ში დამუშავებულია სპეციალური დანადგარი გოგირდთან ბიტუმის უწყვეტი შერევისათვის. ამ დანადგარის ძირითადი მდგენელებია: ორი ტუმბო, რომლებიც უწყვეტად აწვდიან თხევად ბიტუმს ტემპერატურით 121-177°C და თხევად გოგირდ ტემპერატურით 121-150°C, და ასევე შემრევი მოწყობილობა, რომელიც იძლევა ბიტუმში გოგირდის თანაბრად განაწილების შესაძლებლობას 1-50 მკმ ზომის ნაწილაკების წარმოქმნით. მოწყობილობაში ჩამონტაჟებულია საკონტროლო-საზომი ხელსაწყოები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ბიტუმისა და გოგირდის ზუსტ დოზირებას და მზა გბშ-ს ტემპერატურას 121-150°C ფარგლებში.

პოლონეთში შესწავლილია სხვადასხვა მარკისა და სტრუქტურულ-რეოლოგიური ტიპის ბიტუმებზე გოგირდის დანამატის რაოდენობის გავლენა დამზადების ტემპერატურასა და სტრუქტურაწარმოქმნის დროზე დამოკიდებულებით.

ამჟამად ასფალტბეტონის ნარევიში გოგირდის შეყვანის ორ ხერხს იყენებენ:

- გოგირდბიტუმის შემკვრელის სახით, რომელიც ბიტუმში გაღობილი, კომბა ან ფხვნილისმაგვარი გოგირდის წინასწარი შეყვანითაა მიღებული;

- უშუალოდ ასფალტბეტონის ნარევი - შემრევი ყველა კომპონენტის შერევის პროცესში.

პირველი ხერხი უფრო მარტივია და ადვილად შესასრულებელია საწარმოო პირობებში თანამედროვე სერიულ მოწყობილობაზე. ბიტუმში გოგირდის შეყვანისას ნარევის დამზადების ტექნოლოგიური პროცესი მოიცავს:

- გბშ-ს დამზადებას 140-150°C ტემპერატურაზე ბიტუმში გაღობილი გოგირდის ემულგირებით კოლოიდურ წისქვილში ან ბიტუმთან გოგირდის შერევით საპროპელერო ან შნეკური ტიპის სარევეებში. შერევის ხანგრძლივობა გოგირდის აგრეგატულ მდგომარეობაზე (თხევადი, მყარი) და შემრევი აპარატის ტიპზეა დამოკიდებული;
- გბშ-ს მიწოდებას შემრევი ბიტუმის დოზატორის გავლით. გბშ-ზე დამზადებული ასფალტბეტონის ნარევის შერევის ხანგრძლივობა შემცვეთა სიმსხოზეა დამოკიდებული. ნარევის ტემპერატურა შემრევიდან გამოსვლისას უნდა იყოს 140-150°C.

მეორე ხერხი ასფალტბეტონის შემრევი დანადგარებში მიწოდების ხაზით იგი სარევი გოგირდის დოზირების დამატებით აღჭურვას მოითხოვს. დამოუკიდებელი კომპონენტის სახით გოგირდის შეყვანისას შეიძლება დაფქული ან თხევადი გოგირდის გამოყენება.

დაფქული გოგირდი ცივ მდგომარეობაში ელევატორის საშუალებით მიეწოდება ბუნკერის ცალკეულ ნაკვეთურს მინერალური ფხვნილის მსგავსად.

თხევადი გოგირდის გამოყენებისას შემრევი აღიჭურვება დამატებითი დოზატორით, რომელიც ბიტუმის დოზატორის ანალოგიურია.

გოგირდის დამატებით ასფალტბეტონის ნარევის დამზადების ტექნოლოგიური პროცესი მოიცავს:

- მინერალური მასალებისა და ბიტუმის დოზირებას, ყველა კომპონენტის შერევას;
- შემრევი გოგირდის შეყვანას და ნარევის საბოლოო შერევას.

ასეთი მეთოდით შერევის დროს განსაკუთრებით გულდასმით უნდა ხორციელდებოდეს კონტროლი საწყისი მასალების ერთგვაროვნებაზე, მათი დოზირების სიზუსტეზე, ტემპერატურული რეჟიმების დაცვაზე, ასფალტბეტონის ნარევის ერთგვაროვნებაზე [30].

გბშ-ს ხარისხის უზრუნველსაყოფად მოდიფიცირებული გოგირდისა და ბიტუმის შერევა უნდა წარმოებდეს შემრევ დანადგარებში, რომლებიც იძლევა ნარევის მეტი ჰომოგენურობის, შემკვრელის მთელ მოცულობაზე გალხობილი გოგირდის თანაბარი განაწილების მიღწევის შესაძლებლობას. ამასთან ნარევის ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს 150°C .

გოგირდის დანამატების შემცველი ასფალტბეტონის ნარევები საგზაო და სააეროდრომო საფარების, ასევე თვითმფრინავების მომსახურების მოედნების, ავტოსადგომებისა და ავტოგასამართი სადგურების მოსაწყობად გამოიყენება.

1.7. უსაფრთხოების ზომები გოგირდბიტუმის შემკვრელებთან მუშაობისას

გბშ-ს დამზადებისას მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს ტოქსიკური აირების წარმოქმნისა და გამოყოფის თავიდან აცილება ბიტუმთან გოგირდის გაცხელებისას.

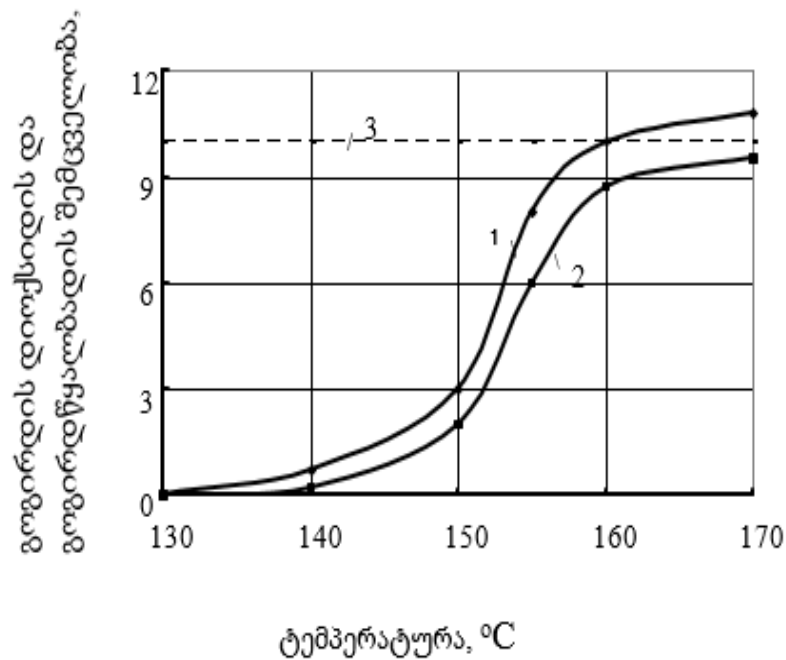
გბშ-ს და ასფალტბეტონის ნარევების დასამზადებლად მოდიფიცირებული გოგირდის გამოყენებისას აუცილებელია შესაბამის სტანდატებში მოცემული რეკომენდაციებით მუშაობა, და ასევე შრომის დაცვის ძირითადი ნორმატიული დოკუმენტებით ხელმძღვანელობა [31,32].

გბშ-ს ან გოგირდბიტუმის კონცენტრირებული კომპოზიციის დამზადებისას აუცილებელია მკაცრად იყოს დაცული ბიტუმისა და შემკვრელთა გბშ-ს გაცხელების ტემპერატურული რეჟიმები. გოგირდთან ბიტუმის შერევისას ბლანტი საგზაო ბიტუმის გახურების ტემპერატურა უნდა იყოს $130-150^{\circ}\text{C}$, გბშ-ს – $130-140^{\circ}\text{C}$. აკრძალულია გაწყლოვანებული ბიტუმის გამოყენება.

გოგირდასფალტბეტონის ნარევის დამზადებისას ტოქსიკური აირების წარმოქმნისა და გამოყოფის თავიდან აცილების მიზნით მზა ნარევის ტემპერატურა შემრევიდან გამოშვებისას არ უნდა აღემატებოდეს 150°C-ს.

ელემენტარული გოგირდი ქიმიურად ნეიტრალურია და ამიტომაც არატოქსიკურია მას არა აქვს სუნი და არ იწვის. გოგირდის მტვრის ზღვრულად დაშვებული კონცენტრაცია – 2 მგ/მ³. გამოყოფადი აირების ზღვრულად დაშვებულ კონცენტრაციას წარმოადგენს 10 მგ H₂S ან SO₂ ჰაერის 1 მ³-ზე. [32]

ნახ. 22-ზე წარმოდგენილი გრაფიკის თანახმად, რომელიც ახასიათებს ტემპერატურისაგან მავნე აირების კონცენტრაციის დამოკიდებულებას, ჩანს, რომ გბშ-ს მიღების შემოთავაზებული ტემპერატურული რეჟიმის (130-150°C) ზღვრებში წარმოქმნილი აირის გამონაყოფები 3-4-ჯერ ნაკლებია ზღვრულად დაშვებულ კონცენტრაციაზე [33,34].



ნახ. 4. გოგირდის დიოქსიდის (1) და გოგირდწყალბადის (2) კონცენტრაციის დამოკიდებულება გბშ-ს მომზადების ტემპერატურაზე; 3 - გოგირდის დიოქსიდისა და გოგირდწყალბადის ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია.

საწარმოო შენობები და ლაბორატორიები, სადაც მიმდინარეობს გოგირდთან მუშაობა, უნდა იყოს აღჭურვილი გამწოვი ვენტილაციით,

რომელიც უზრუნველყოფს სამუშაო ზონის ჰაერში მავნე ნივთიერებათა ზღვ-ს დაცვას.

გბმ-ს და კონცენტრირებული გოგირდბიტუმის კომპოზიციის დამზადება უნდა წარმოებდეს მექანიკური ამძრავის მქონე სტაციონარულ ნიჩბიან სარევეებში ან სხვა შემრევ აპარატებში. მასალების მიწოდება დოზირებასა და სარევეში დატვირთვაზე უნდა გახდეს მექანიზირებული. მასალების ტემპერატურის გაზომვისათვის სარევი უნდა აღჭურვოს თერმოწყვილით.

ბიტუმსადნობი ქვაბები და დანადგარები უნდა იყოს აღჭურვილი ისეთი სისტემით, რომელიც შესაძლებელს ხდის ბიტუმისა და გოგირდბიტუმის შემკვრელთა ცირკულაციის განხორციელებას.

გბმ-ს დამზადება დაშვებულია მხოლოდ დღისით და პასუხისმგებელი პირის ხელმძღვანელობით.

კოშტა გოგირდი უნდა ინახებოდეს დახურულ სასაწყობე შენობებში პოლიეთილენის ან ქაღალდის კრაფტ-ტომრებში, ბუნკერებში და სხვა დახურულ ტევადობებში, გაფრქვევისგან წინასწარი ზომების მიღებით დატვირთვის, განტვირთვისა და შიდასასაწყობო გადაადგილებისას.

გოგირდის ღია დასაწყობება არ დაიშვება გოგირდის ხარისხის გაუარესების თავიდან აცილების მიზნით უცხო მინარევეებით მის დაჭუჭყიანებასთან დაკავშირებით (ხანგრძლივი შენახვისას იზრდება ნაცრის შემცველობა). ღია შენახვისას იზრდება გოგირდის ტენიანობა, რაც იწვევს მისი მჟავიანობის გაზრდას.

სასაწყობო მოედნები და საწყობები უნდა იყოს აღჭურვილი ხანძარქრობის სტაციონარული სისტემებით. აკრძალულია ყველა სახის ღია ცეცხლის გამოყენება. გოგირდის ქრობა დამსველებლის და ასევე ქაფის შემცველი გაფრქვეული წყლით ტარდება.

გოგირდთან მუშაობისას მომსახურე პერსონალი უნდა იყოს აღჭურვილი დამცავი სათვალეებით, რეზინის ხელთათმანებით და რესპირატორებით.

გბმ-ს და კონცენტრირებული გოგირდბიტუმის კომპოზიციის დამზადება უნდა წარმოებდეს მექანიკური ამძრავის მქონე სტაციონარულ ნიჩბიან სარევეებში ან სხვა შემრევ აპარატებში. მასალების მიწოდება დოზირებასა და სარევეში დატვირთვაზე უნდა გახდეს მექანიზირებული. მასალების ტემპერატურის გაზომვისათვის სარევი უნდა აღიჭურვოს თერმოწყვილით.

ბიტუმსადნობი ქვაბები და დანადგარები უნდა იყოს აღჭურვილი ისეთი სისტემით, რომელიც შესაძლებელს ხდის ბიტუმისა და გოგირდბიტუმის შემკვრელთა ცირკულაციის განხორციელებას.

მილსადენებით ბიტუმისა და გბმ-ს გადატუმბვის წინ აუცილებელია წინასწარ შემოწმდეს მილტუჩიანი შეერთებები, ონკანები და ტუმბოები; გაცხელდეს შემკვრელთა შესაძლო გაცივების ადგილები. გაცხელება უნდა წარმოებდეს ორთქლით ან ინდუქციური ელექტრული შეთბობის მეშვეობით. აკრძალულია გაცხელებისთვის ღია ცეცხლის გამოყენება.

გამაცხელებელი ქვაბები, შემრევი დანადგარები უნდა აღიჭურვოს ხანძარსაწინააღმდეგო მოწყობილობით. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ხანძარსაწინააღმდეგო საშუალებების, ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების მდგომარობას, დამწვრობების, ტრავმების დროს პირველი დახმარების საშუალებათა არსებობას.

ქვაბების შევსება ბიტუმითა და გბმ-თი დაშვებულია არაუმეტეს მათი ტევადობის $\frac{3}{4}$ -ით.

გბმ-ს საფუძველზე ასფალტბეტონის ნარევეების დამამზადებელი ასფალტბეტონის ქარხანა უნდა განლაგდეს უახლოეს საცხოვრებელ რაიონთან მიმართებაში ქარზურგა მხრიდან, გაბატონებული მიმართულების ქარებისთვის, და განცალკევებული იყოს საცხოვრებელი რაიონებისაგან სანიტარულდამცავი ზონებით [34].

გბმ-სთან მუშაობის ხანგრძლივობა არ უნდა აღემატებოდეს დღე-ღამეში ერთ ცვლას. ასფალტბეტონის მანქანის ოპერატორი უნდა იმყოფებოდეს დახურულ ჯიხურში, რომელიც აღჭურვილია ვენტილაციით და საკონდიციონერო დანადგარებით.

ავტომატიზირებულია ასფალტბეტონის ქარხნების მუშაობისას აუცილებელია: მართვის პულტი განთავსდეს არანაკლებ 15 მ მანძილზე და უზრუნველყოფდეს ხელსაყრელ სანიტარულ პირობებს; თითოეული ცვლის წინ შემოწმდეს გაყვანილობის და ავტომატიკის კვანძების, ცალკეული მანქანებისა და დანადგარების, მართვის მექანიზმების გამართულობა.

ლაბორატორიულ პირობებში გბშ-ების და გბშ-ს საფუძველზე ასფალტბეტონის ნარევების დამზადებისას უნდა იყოს უზრუნველყოფილი გამწოვი ვენტილაცია 10-15-ჯერადი ჰაერმიმოცვლით.

ლაბორატორიული მოწყობილობა (ჰიდრავლიკური წნეხები ასფალტ-ბეტონის ნიმუშების დაყალიბებისათვის, სასწორი, თერმოსტატი და სხვ.) უნდა იმყოფებოდეს გამწოვი კარადების ან ქოლგების ქვეშ.

ასფალტბეტონის ნარევის გამოშვებაზე დაკავებული ტექნიკური პერსონალი უნდა იყოს უზრუნველყოფილი დაცვის ინდივიდუალური საშუალებებით.

2. კვლევა, შედეგები და მათი განსჯა

2.1 გოგირდასფალტბეტონის ნარევიში გოგირდბიტუმის შემკვრელის ოპტიმალური შემცველობის გამოკვლევა

გოგირდასფალტბეტონის ნარევის დაპროექტებას გოგირდბიტუმის შემკვრელის გამოყენებით, საფუძვლად უდევს შემკვრელის მოცულობის მუდმივობის შენარჩუნება, ანუ გოგირდის დანამატის რაოდენობის მიუხედავად გოგირდბიტუმის შემკვრელის მოცულობა უნდა უდრიდეს ბიტუმის მოცულობას ასფალტბეტონში გოგირდის დანამატის გარეშე. მხოლოდ ამ პრინციპის დაცვით მიიღება ასფალტბეტონის ოპტიმალური ფოროვანი სტრუქტურა.

ასფალტბეტონის ნარევის მინერალური ნაწილის გრანულომეტრიული შედგენილობა და შემკვრელის (ბიტუმის) ოპტიმალური რაოდენობა დავიანგარიშეთ გოსტ 9128-84-ის მიხედვით სადაც ბიტუმის ოპტიმალურმა პროცენტმა ასფალტბეტონის ნარევიში შეადგინა 6.1%.

გოგირდბიტუმის შემკვრელის ოპტიმალური პროცენტული შემცველობა B ასფალტბეტონის ნარევიში დავაკორექტირეთ გოგირდის სიმკვრივის გათვალისწინებით შემდეგი ფორმულით:

$$B = \frac{B_1 \times 100}{\rho_B \times \left(\frac{S_1}{\rho_S} \times \frac{B_2}{\rho_B} \right)}$$

სადაც B₁ – ბიტუმის ოპტიმალური რაოდენობაა ნარევიში, დადგენილი შედგენილობის დაპროექტების დროს, მასის%; S¹ და B₂ გოგირდისა და ბიტუმის წილი შემკვრელში, შესაბამისად, მასის %; ρ^s და ρ^B – გოგირდისა და ბიტუმის სიმკვრივები, გ/სმ³.

ბიტუმის პროცენტული რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$B = \frac{B \times B_2}{100}$$

გოგირდის პროცენტული რაოდენობა ნარევიში კი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$S = \frac{B \times S_1}{100}$$

უდანამატო ასფალტბეტონის ბიტუმის ოპტომალური შემცველობა - 6.1%, ჩანაცვლეთ 10%, 20%, 30% მოდიფიცირებული გოგირდით და გამოვთვალეთ ბიტუმის და მოდიფიცირებული გოგირდის შემცველობები.

გოგირდბიტუმის შემცველობამ ბიტუმის მოდიფიცირებული გოგირდის 10 %-ით ჩანაცვლების დროს შეადინა:

$$B = \frac{6.1 \times 100}{1 \left(\frac{10}{2} + \frac{90}{1.05} \right)} = 6.71\%$$

ბიტუმის შემცველობამ მოდიფიცირებული გოგირდის 10%-ით ჩანაცვლების დროს შეადგინა:

$$B = \frac{7.0 \times 90}{100} = 6.04\%$$

მოდიფიცირებული გოგირდის შემცველობამ ბიტუმის 10%-ით ჩანაცვლების დროს შეადგინა:

$$S = \frac{7.0 \times 10}{100} = 0.67\%$$

გოგირდბიტუმის შემცველობამ ბიტუმის მოდიფიცირებული გოგირდის 20 %-ით ჩანაცვლების დროს შეადინა:

$$B = \frac{6.1 \times 100}{1 \left(\frac{20}{2} + \frac{80}{1.05} \right)} = 7.04\%$$

ბიტუმის შემცველობამ მოდიფიცირებული გოგირდის 20%-ით ჩანაცვლების დროს შეადგინა:

$$B = \frac{7.3 \times 80}{100} = 5.63\%$$

მოდიფიცირებული გოგირდის შემცველობამ ბიტუმის 20%-ით ჩანაცვლების დროს შეადგინა:

$$S = \frac{7.3 \times 20}{100} = 1.41\%$$

გოგირდბიტუმის შემცველობამ ბიტუმის მოდიფიცირებული გოგირდის 30 %-ით ჩანაცვლების დროს შეადინა:

$$B = \frac{6.1 \times 100}{1 \left(\frac{30}{2} + \frac{70}{1.05} \right)} = 7.40\%$$

ბიტუმის შემცველობამ მოდიფიცირებული გოგირდის 30%-ით ჩანაცვლების დროს შეადგინა:

$$B = \frac{7.7 \times 70}{100} = 5.18\%$$

მოდიფიცირებული გოგირდის შემცველობამ ბიტუმის 30%-ით ჩანაცვლების დროს შეადგინა:

$$S = \frac{7.7 \times 30}{100} = 2.22\%$$

გოგირდბიტუმის შემცველობამ ბიტუმის მოდიფიცირებული გოგირდის 40 %-ით ჩანაცვლების დროს შეადინა:

$$B = \frac{6.1 \times 100}{1 \left(\frac{40}{2} + \frac{60}{1.0} \right)} = 7.81\%$$

ბიტუმის შემცველობამ მოდიფიცირებული გოგირდის 40%-ით ჩანაცვლების დროს შეადგინა:

$$B = \frac{8.0 \times 60}{100} = 4.68\%$$

მოდიფიცირებული გოგირდის შემცველობამ ბიტუმის 40%-ით ჩანაცვლების დროს შეადგინა:

$$S = \frac{8.0 \times 40}{100} = 3.12\%$$

გოგირდასფალტბეტონის ნარევი ბიტუმის, მოდიფიცირებული გოგირდის და გოგირდბიტუმის ოპტიმალური პროცენტული შემცველობის განსაზღვრა ნაჩვენებია ცხრილ 5-ში.

გოგირდასფალტბეტონის ნარევი ბიტუმის, მოდიფიცირებული გოგირდის და გოგირდბიტუმის ოპტიმალური პროცენტული შემცველობის განსაზღვრა

შემკვრელის შემცველობა მინერალური ნაწილის მასიდან	შემკვრელის სახეობა				
	უდანამატო ასფალტბეტონი	გბშ 10% მოდ.გო-გირდი	გბშ 20% მოდ.გო-გირდი	გბშ 30% მოდ.გო-გირდი	გბშ 40% მოდ.გო-გირდი
ბიტუმის შემცველობა - B, %	6.1	6.04	5.63	5.18	4.68
მოდ.გოგირდის შემცველობა - S, %	-	0.67	1.41	2.22	3.12
გოგირდბიტუმის შემცველობა - B, %	-	6.71	7.04	7.40	7.81

გბშ-ში (გოგირდ-ბიტუმის შემკვრელი) გოგირდის შემცველობის გაზრდისას მისი ოპტიმალური შემცველობა ასფალტბეტონის ნარევიში იზრდება, ვინაიდან გბშ-ს სიმკვრივე ბიტუმის სიმკვრივეზე მეტია.

გოგირდასფალტბეტონის ნარევიში გოგირდბიტუმის შემკვრელის ოპტიმალური შემცველობის გამოკვლევის შემდეგ, უდანამატო ასფალტბეტონის ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებთან შესადარებლად დამზადდა გოგირდასფალტბეტონის 10%, 20%, 30%, და 40 %-იანი ნიმუშები როგორც გოსტ-ის მიხედვით, ასევე ევროპული ნორმის მიხედვით.

2.2. ბიტუმის და გოგირდბიტუმის თვისებების ექსპერიმენტული კვლევა

ბიტუმის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები დამოკიდებულია მის ჯგუფურ ქიმიურ შედგენილობაზე და სტრუქტურაზე. მოდიფიცირებული დანამატის შეყვანა, მათ შორის გოგირდის, იწვევს ნახშირწყალბადების ძირითადი ჯგუფების თანაფარდობის და სტრუქტურულ-მექანიკური თვისებების ცვლილებას ბიტუმში.

გოგირდის დანამატების გავლენა წელვადი საგზაო ბიტუმების თვისებებზე შეფასებული იქნა სტანდარტულ თვისებათა კომპლექტით, რომელმაც შესაძლებელი გახადა გოგირდით მოდიფიცირებული საგზაო ბიტუმების პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობის დადასტურება და მისი თვისებების შედარება საწყისი ბიტუმების თვისებებთან.

გოგირდბიტუმის შემკვრელების მიღება ხდებოდა ლაბორატორიულ რეაქტორში, რომელიც აღჭურვილია შემრევი მოწყობილობით და ელექტროგამათბობელით. გბშ-ს მომზადების პარამეტრები იყო შემდეგი:

- ტემპერატურა შერევის დროს - 135-140 °C ;
- შერევის ხანგრძლიობა - 30 წთ;
- პროპელერიანი შემრევის ბრუნვის სიჩქარე - 500 ბრ/წმ.

გოგირდის შემცველობა იცვლებოდა 10-დან 40%-მდე. გოგირდის შეყვანა ხდებოდა 140-150 °C ტემპერატურამდე გამთბარი, ქვიშისებურ მდგომარეობაში უმსხვილესი ნაწილაკების ზომით 3-4 მმ.

ბიტუმების და გბშ-ების თვისებები განისაზღვრებოდა მეთოდებით, რომლებიც გამოიყენება წელვადი საგზაო ბიტუმების გამოსაცდელად.

შესაბამისად ექსპერიმენტული გზით განვსაზღვრეთ, საქართველოში ძირითადად გამოყენებული ბიტუმი მარკით BH 60/90 და გოგირდბიტუმის თვისებები, სადაც გოგირდის დანამატი ბიტუმში შეადგენდა 10%-დან 40%-მდე. კერძოდ, განისაზღვრა აღნიშნული შემკვრელების პენეტრაცია (ნემსის შეღწევადობა) - პენეტრომეტრის საშუალებით, წელვადობა - დუქტილომეტრით, დარბილების ტემპერატურა - ბურთულა და რგოლის

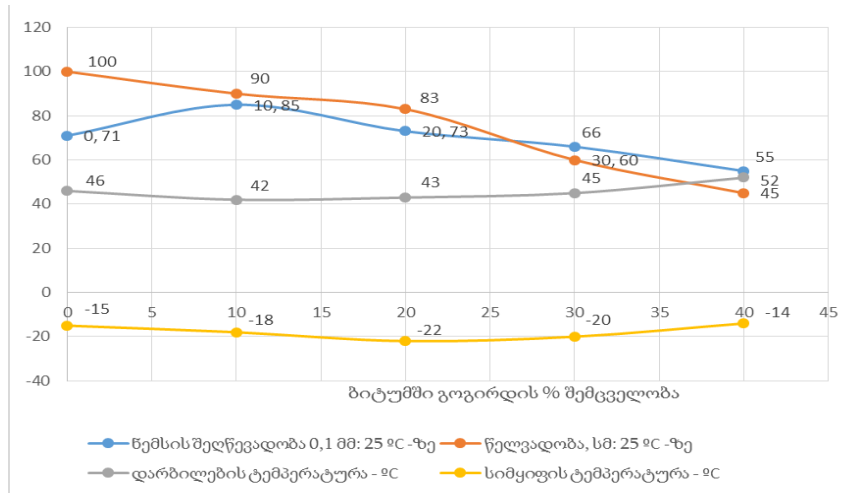
ხელსაწყოთი, ხოლო სიმციფის ტემპერატურა - ფრასის ხელსაწყოს მეშვეობით. ცხრილ 6-ში ნაჩვენებია აღნიშნული გამოცდის შედეგები.

ცხრილი 6

БН 60/90 მარკის ბიტუმის და გოგირდბიტუმის შემკვრელების თვისებების კვლევა

მაჩვენებელი	გოგირდის შემცველობა, % მასიდან					ГОСТ 22245-90 -ის მოთხოვნები БН 60/90 მარკის ბიტუმისადმი
	БН 60/90	10	20	30	40	
ნემსის შეღწევადობა 0,1 მმ: 25 °C -ზე	71	85	73	66	55	60-90
წელვადობა, სმ: 25 °C -ზე	100	90	83	60	45	არანაკლებ 70
დარბილების ტემპერატურა - °C	46	42	43	45	52	არანაკლებ 45
სიმციფის ტემპერატურა - °C	-15	-18	-22	-20	-14	არაუმეტეს -6

როგორც ცხრილიდან ჩანს, გბშ-ში 40% გოგირდის შემცველობის დროს იკლებს პენეტრაცია და წელვადობა 25°C ტემპერატურაზე, იზრდება დარბილების ტემპერატურა, კლებულობს სიმციფის ტემპერატურა. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ნარევი მოდიფიცირებული გოგირდის რაოდენობა მოდიფიკატორის სახით БН 60/90 მარკის ბიტუმში არ უნდა აღემატებოდეს 30%-ს. მოცემული ცხრილის მონაცემების მიხედვით ავაგეთ შესაბამისი გრაფიკი (იხ. ნახაზი 5).



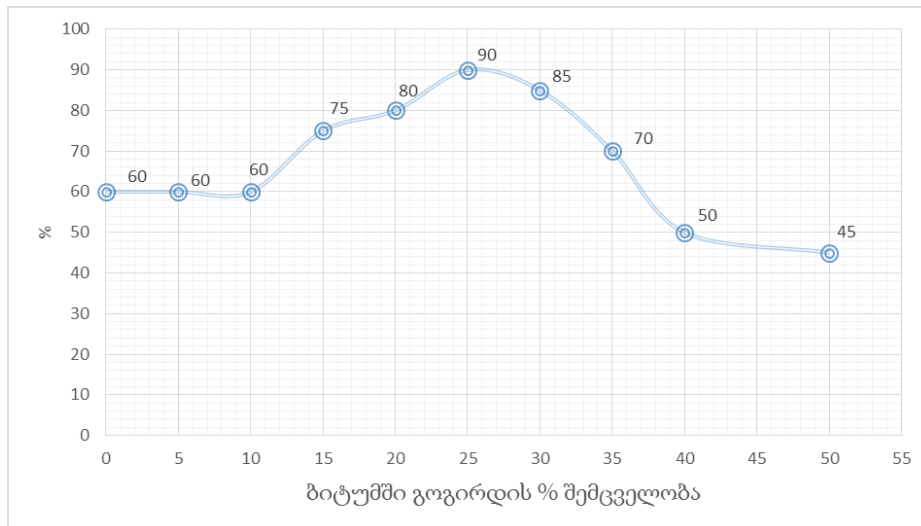
ნახ. 5. BH 60/90 მარკის ბიტუმის და გოგირდბიტუმის შემკვრელების თვისებების კვლევა

ჩატარებული კვლევის მიხედვით, გოგირდის დოზირება მასის 20-დან 30%-მდე ახდენს გოგირდის პლასტიფიცირებას და აუმჯობესებს მის დაბალტემპერატურულ თვისებებს. ასეთი შემკვრელები ხასიათდება თბომედეგობის, ბზარმედეგობის, პლასტიკურობის და დეფორმატიულობის საკმაოდ მაღალი მაჩვენებლებით დაბალ ტემპერატურებზე. გბშ-ში გოგირდის რაოდენობის მომდევნო ზრდასთან ერთად უარსედება შემკვრელის ადჰეზიურ თვისებები (იხ. ცხრ. 7 და ნახ 6.).

ცხრილი 7

BH 60/90 მარკის ბიტუმის და გბშ-ს შეჭიდულობა მინერალური მასალების ზედაპირებთან

მინერალური მასალა	გოგირდის შემცველობა შემკვრელში, % მასიდან									
	BH 60/90	5	10	15	20	25	30	35	40	50
კვარციტი	60	60	60	75	80	90	85	70	50	45



ნახაზი 6. BH 60/90 მარკის ბიტუმის და გბმ-ს შეჭიდულობა მინერალური მასალების ზედაპირებთან

აღნიშნულიდან ნათლად ჩანს, რომ გბმ-ს შეჭიდულობა მინერალური მასალების ზედაპირებთან მოდიფიცირებული გოგირდის 40%-ის და მეტის დამატების შემთხვევაში მნიშვნელოვნად მცირდება.

2.3. ადგილობრივი ინერტული მასალების გრანულომეტრიული და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების (ლორღი, ქვიშა, მინერალური ფხვნილი) ექსპერიმენტული კვლევა

ასფალტბეტონის შემადგენლობის დასაპროექტებლად, სსიპ ლევან სამხარაულის სახელობის სასამართლო ექსპერტიზის ეროვნული ბიუროს ლაბორატორიაში გამოკვლეულ იქნა, ქალაქ თბილისში ფონიჭალასთან მდინარე მტკვარზე მდებარე კარიერის ხრეშოვანი მასალის სამსხვრევ-დამხარისხებელ დანადგარზე დამტვრეული - ლორღის და ქვიშის, დედოფლისწყაროს რაიონში კირქვის საბადოდან მოპოვებული მინერალური ფხვნილის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები.

ლორღის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების განსაზღვრა:
 ექსპერიმენტული გზით განვსაზღვრეთ ლორღის ფრაქციის ზომით 5-10 მმ და 10-15მმ-ის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, კერძოდ: მინერალური მასალის გრანულომეტრიული შედგენილობა (საცრული ანალიზის

მეთოდით); დამტვრეული მარცვლების შემცველობა % მასიდან; ფირფიტოვანი და ნემსისებური მარცვლების შემცველობა % მასიდან, ყინვამდეგობა (გაყინვა-გაღობის ციკლებზე გამოცდა), ცვეთამდეგობა (ლოს ანჯელესის მეთოდი) სიმტკიცის მარკა მსხვრევალობაზე (წნების გამოყენებით მსხვრევალობაზე გამოცდა); ნაყარი სიმკვრივე (მასისა და მოცულობის შეფარდებით); საშუალო სიმკვრივე (ჰიდროსტატიკური აწონვის მეთოდი); ჭეშმარიტი სიმკვრივე (ლე შატელიეს მეთოდი) (იხ. ცხრილი 8 და ცხრილი 9).

ცხრილი 8

მდინარე მტკვრის ღორღის (ფრაქციით 5-10 მმ) გამოცდის შედეგები

№	მოთხოვნები გოსტ 8267-93-ით		ფაქტიური სიდიდე
	მაჩვენებელი	დასაშვები სიდიდე	
1	ნაყარი სიმკვრივე გ/სმ ³	-	1.416
2	საშუალო სიმკვრივე (მოცწონა) გ/სმ ³	-	2,61
3	ჭეშმერიტი სიმკვრივე გ/სმ ³	-	2,65
4	წყალშთანთქმა, % მასიდან	-	0,68
5	ტენიანობა, % მასიდან	-	0,12
6	დამტვრეული მარცვლების შემცველობა, % მასიდან, არა ნაკლებ	80	90,6
7	ფირფიტოვანი და ნემსისებური მარცვლების შემცველობა, % მასიდან, არა უმეტეს	<25	6,8
8	მტვროვანი და თიხოვანი ნაწილაკების შემცველობა, % მასიდან	1	0,83
9	ყინვამდეგობა (მასის დანაკარგი 50 ციკლის შემდეგ)	<5,0 მარკა	5,0 F150
10	ცვეთამდეგობა, ლოს-ანჯელესის მეთოდით	< 25.0	13.0 (მარკა H1)
11	სიმტკიცის მარკა მსხვრევალობაზე (მასის დანაკარგი მსხვრევალობაზე გამოცდიდას)	<10,0	2,3(მარკა 1000)
12	სუსტი ქანების მარცვლების შემცველობა, % მასიდან, არა უმეტეს	10	9
13	თიხის კომტების შემცველობა, % მასიდან, არა უმეტეს	0,25	0

მდინარე მტკვრის ღორღის (ფრაქციით 10-15 მმ) გამოცდის შედეგები

დამტვრეული მარცვლების შემცველობა, % მასიდან (მოთხოვნები გოსტ 8267-93-ით)					
№	ფრაქციის ზომა (მმ)	ნიმუშის მასა (გრ)	დამტვრეული მარცვლების შემც. (გრ)	დამტვრეული მარცვლების % შემც .	დასაშვები სიდიდე
1	10,0 -15,0	1000,0	891,6	89,2	არა ნაკლებ 80 %
ფირფიტოვანი და ნემსისებური მარცვლების შემცველობა, % მასიდან (მოთხოვნები გოსტ 8267-93-ით)					
№	ფრაქციის ზომა (მმ)	ნიმუშის მასა (გრ)	ფ. და ნ. მარცვლების შემცველობა (გრ)	ფ. და ნ. მარცვლების % შემცველობა	დასაშვები სიდიდე
1	10,0 -15,0	1000,0	50,6	5,1	არა უმეტეს <25%

ჩატარებული კვლევის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ აღნიშნულმა ღორღმა ფრაქციით 5-10მმ და 10-15მმ, დააკმაყოფილა გოსტ 8267-93 „ღორღი და ხრეში მკვრივი ქანებისგან სამშენებლო სამუშაოებისათვის ტექნიკური პირობები“-ს მოთხოვნები და შესაძლებელია გამოვიყენოთ ასფალტბეტონის რეცეპტის დაპროექტებისათვის.

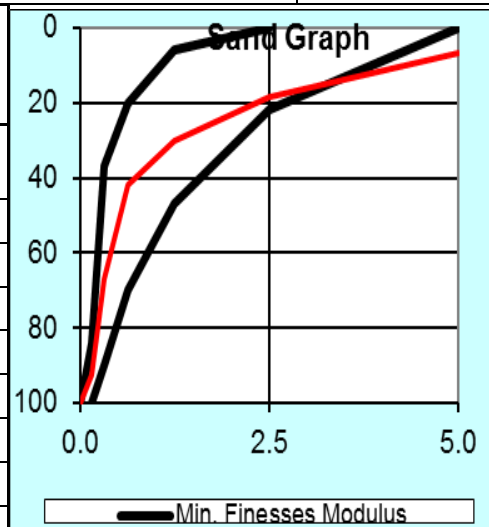
ბუნებრივი ქვიშის და ნამსხვრევი ქვიშის (ფრაქციით 0-5მმ) ფიზიურ-მექანიკური თვისებების განსაზღვრა: ღორღის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების განსაზღვრის შემდეგ, განვსაზღვრეთ ასევე ბუნებრივი ქვიშის და ნამსხვრევი ქვიშის (ფრაქციით 0-5მმ) ფიზიურ-მექანიკური თვისებები კერძოდ: მინერალური მასალის გრანულომეტრული შედგენილობა (საცრული ანალიზის მეთოდით); სიმსხოს მოდული, ქვიშის ჯგუფი, ქვიშის კლასი, მთლიანი ნარჩენი 0,63 მმ-იან საცერზე პროცენტული მასიდან, 0,15 მმ-ზე წვრილი და 5 და 10 მმ-ზე მსხვილი მარცვლების შემცველობა %

მასიდან, მტვროვანი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა % მასიდან; ნაყარი სიმკვრივე (მასისა და მოცულობის შეფარდების მეთოდი); ჭეშმარიტი სიმკვრივე (ლე-შატელიეს მეთოდი); (იხ. ცხრილი 10 და11).

ცხრილი 10

მდინარე მტკვრის ბუნებრივი ქვიშის (ფრაქციით 0-5) გამოცდის შედეგები

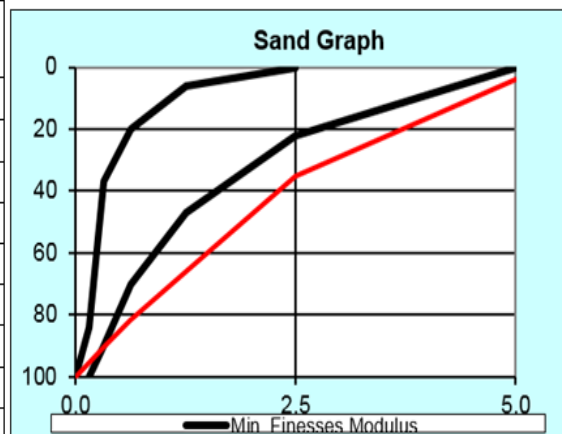
სიმსხოს მოდული	2,50		
ქვიშის ჯგუფი	საშუალო 2,0-2,50		
ქვიშის კლასი	II		
მთლიანი ნარჩენი 0.63 საცერზე, % მასიდან - დასაშვები სიდიდე 30-45	ფაქტიური სიდიდე 41,88		
მტვროვანი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა, % მასიდან - დასაშვები სიდიდე - 3.0	ფაქტიური სიდიდე 2,1		
5 მმ-ზე მსხვილი მარცვლების შემცველობა, % მასიდან არა უმეტეს - 15	ფაქტიური სიდიდე 6,7		
0.15 მმ-ზე წვრილი მარცვლების შემცველობა, % მასიდან არა უმეტეს - 15	7,5		
ჭეშმარიტი სიმკვრივე (ლე-შატელიეს მეთოდი) (გრ/სმ ³)	2,675		
ნაყარი სიმკვრივე	1,483		
მინერალური მასალის გრანულომეტრია			
საცერი,მმ	გრამი	%-კერძო	%-სრული
5.0	67.20	6.72	6.72
2.5	118.3	11.83	18.55
1.25	114.5	11.45	30.00
0.63	118.8	11.88	41.88
0.315	250.3	25.03	66.91
0.15	256.0	25.60	92.51
<0.15	74.9	7.49	100
სულ	1000.0		



მდინარე მტკვრის ნამსხვრევი ქვიშის (ფრაქციით 0-5)
გამოცდის შედეგები

სიმსხოს მოდული	3,69	
ქვიშის ჯგუფი	ძალიან მსხვილი (მეტი 3,5)	
ქვიშის კლასი	II	
მთლიანი ნარჩენი 0.63 საცერზე, % მასიდან - დასაშვები სიდიდე მეტი 75		ფაქტიური სიდიდე 81,69
მტვროვანი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა, % მასიდან - დასაშვები სიდიდე - 3.0		ფაქტიური სიდიდე 1,4
5 მმ-ზე მსხვილი მარცვლების შემცველობა, % მასიდან არა უმეტეს - 15		ფაქტიური სიდიდე 6,7
0.15 მმ-ზე წვრილი მარცვლების შემცველობა, % მასიდან არა უმეტეს - 15		4,4
ჭეშმარიტი სიმკვრივე (ლე-შატელიეს მეთოდი) (გრ/სმ ³)		3,25
ნაყარი სიმკვრივე		1,85

მინერალური მასალის გრანულომეტრია			
საცერი,მმ	გრამი	%-კერძო	%-სრული
5.0	67.20	6.72	6.72
2.5	118.3	11.83	18.55
1.25	114.5	11.45	30.00
0.63	118.8	11.88	41.88
0.315	250.3	25.03	66.91
0.15	256.0	25.60	92.51
<0.15	74.9	7.49	100
სულ	1000.0		



მდ.მტკვარის ხრეშოვანი მასალის ბუნებრივად მოპოვებულმა და დამტკრევით წარმოებულმა ქვიშამ დააკმაყოფილა გოსტ 8735-93 „ქვიშა სამშენებლო სამუშაოებისათვის ტექნიკური პირობები“-ს მოთხოვნები.

მინერალური ფხვნილის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების განსაზღვრა: გამოკვლევულ იქნა დედოფლისწყაროს რაიონში კირქვის საბადოზე წარმოებული მინერალური ფხვნილის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, კერძოდ განისაზღვრა: მინერალური მასალის გრანულომეტრიული შედგენილობა (საცრული ანალიზის მეთოდით); მოცულობითი წონა (400კგ/სმ² დატკეპნისას); ფორიანობა, % მოცულობიდან; ბიტუმტევადობის მაჩვენებელი, გაფუება ფხვნილისა და ბიტუმის ნარევისგან დამზადებული ნიმუშების, % მოცულობიდან; კუთრი წონა, გ/სმ³; ტენიანობა, % მასიდან. (იხ. ცხრილი 12).

ცხრილი 12

დედოფლისწყაროს კირქვის საბადოდან მოპოვებული მინერალური ფხვნილის გამოცდის შედეგები

№	მოთხოვნები გოსტ 16557-78-ით		ფაქტიური სიდიდე
	მაჩვენებელი	დასაშვები სიდიდე	
1	მოცულობითი წონა (400კგ/სმ ² დატვირთვით დატკეპნისას)	-	2,08
2	ფორიანობა, % მოცულობიდან, არაუმეტეს	35	23,8
3	ბიტუმტევადობის მაჩვენებელი, გ, არაუმეტეს	65	44
4	გაფუება ფხვნილისა და ბიტუმის ნარევისგან დამზადებული ნიმუშების, % მოცულობიდან, არაუმეტეს	2,5	1,5
5	კუთრი წონა, გ/სმ ³	-	2,73
6	ტენიანობა, % მასიდან, არაუმეტეს	1	0,22
7	1.25 მმ საცერზე გასული % რაოდენობა	100%	100
8	0.315 მმ საცერზე გასული % რაოდენობა	არანაკლებ 90 %	98,4
9	0.071 მმ საცერზე გასული % რაოდენობა	არანაკლებ 70 %	70,1

წარმოდგენილმა მინერალურმა ფხვნილმა დააკმაყოფილა გოსტ 16557-78 „მინერალური ფხვნილი ასფალტბეტონის ნარევისათვის ტექნიკური პირობები“-ს მოთხოვნები და შესაძლებელია გამოვიყენოთ ასფალტბეტონის რეცეპტის დაპროექტებისათვის. გამოცდის პროცესი ნაჩვენებია ნახაზ 7-ზე.



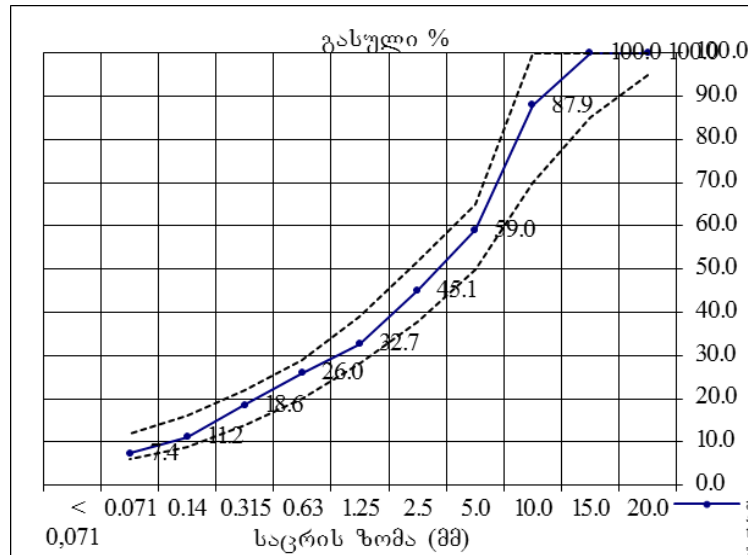
ნახაზი 7. ქალაქ თბილისში ფონიჭალასთან მდინარე მტკვარზე მდებარე კარიერის ხრეშოვანი მასალის სამსხვრევ-დამახარისხებელ დანადგარზე დამტვრეული - ღორღის და ქვიშის, დედოფლისწყაროს რაიონში კირქვის საბადოდან მოპოვებული მინერალური ფხვნილის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა

2.4. უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%-იანი დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის შემადგენლობის დაპროექტება

ადგილობრივი ინერტული მასალების - ღორღი, ქვიშა და მინერალური ფხვნილის და საქართველოში ძირითადად გამოყენებადი ბიტუმის მარკით BH 60/90-ის გამოყენებით შევადგინეთ წვრილმარცვლოვანი (B ტიპი, მარკა) ასფალტბეტონის ნარევის ოპტიმალური რეცეპტი, სადაც

ღორღი აღებულ იქნა 45%, ქვიშა 45% და მინერალური ფხვნილი 10%, ხოლო ბიტუმი მინერალური ნაწილის მასიდან - 6.1%.

საცრული ანალიზის მიხედვით განისაზღვრა ასფალტბეტონში მინერალური მასალის გრანულომეტრიული შედგენილობა, რომელმაც დააკმაყოფილა გოსტ 9128-84-ის მოთხოვნები (იხ. ნახ.8). [35].



ნახ. 8. ასფალტბეტონში მინერალური მასალის გრანულომეტრიული შედგენილობა

ნარევში ბიტუმის შემცველობა განსაზღვრულ იქნა CONTROLS-ის ფირმის 75-B0005 მარკის ავტომატურ ექსტრაქტორზე ექსტრაგირების მოთოდთ, EN 12697-ის ნაწილი 1-ის მიხედვით (ხსნადი შემკვრელის შემცველობა) (იხ. ნახ. 9).



ნახ. 9. ასფალტბეტონის ნარევის ავტომატური ექსტრაქტორი

ასფალტბეტონის ნიმუშები დავაყალიბეთ ლაბორატორიაში მარშალის ავტომატურ დარტყმით კომპაქტორზე EN12697-30-ის (ნიმუშის მომზადება დარტყმით სატკეპნი დანადგარის საშუალებით) მიხედვით (იხ. ნახ. 10).



ნახ. 10 მარშალის ავტომატური დარტყმითი კომპაქტორი

შესაბამისად ლაბორატორიული ცდებით განვსაზღვრეთ უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30% დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები: აბსოლუტური სიმკვრივე (გამოცდის მეთოდი EN 12697-5), მოცულობითი სიმკვრივე (გამოცდის მეთოდი EN 12697-6), ფორიანობა (გამოცდის მეთოდი EN 12697-8) და მიღებული შედეგები შევადარეთ უდანამატო ასფალტბეტონის ნარევის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს (იხ. ცხრილი 13):

უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის შემადგენლობის დაპროექტების შემდეგ, განისაზღვრა მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები ექსპერიმენტული გზით.

უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30% და დანამატით დაზზადებული გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა

ასფალტბეტონის სახეობა: წვრილმარცვლოვანი, მკვრივი E ტიპი, მარკა II					
მაჩვენებელი	შემკვრელი				დასაშვები ზღვრები
	უდანამატო ა/ბ (BH 60/90)	გბშ (10% მოდ. გოგირდის დანამატით)	გბშ (20% მოდ. გოგირდის დანამატით)	გბშ (30% მოდ. გოგირდის დანამატით)	
შემკვრელის შემცველობა, %	6.1	6.42	6.78	7.18	-
ჭეშმარიტი სიმკვრივე, გ/სმ ³	2.432	2.444	2.453	2.465	-
საშუალო სიმკვრივე, გ/სმ ³	2.375	2.378	2.396	2.410	-
ნარჩენი ფორიანობა, %	2.40	3.2	3.0	2.80	2.5-5.0

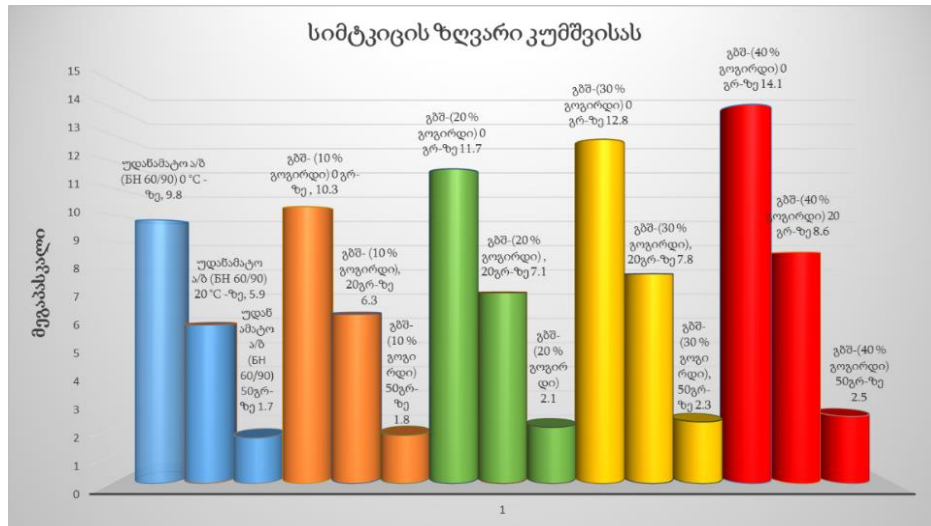
2.5. უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების სიმტკიცე კუმშვისას გამოცდის ექსპერიმენტული კვლევა

ექსპერიმენტული გზით განისაზღვრა უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების გამოცდა სიმტკიცე კუმშვაზე 0 °C, 20 °C და 50 °C ტემპერატურებზე ГОСТ 9128-97-ის მიხედვით. გამოცდის შედეგები ნაჩვენებია ცხრილ 14-ზე.

უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების გამოცდა
სიმტკიცეზე კუმშვისას

მაჩვენებელი	შემკვრელი					ГОСТ 9128-97-ის მოთხოვნები B ტიპის მარკა II-სადმი
	უდანამატო ა/ზ (BH 60/90)	გბშ- (10 % გოგირდი)	გბშ-(20 % გოგირდი)	გბშ-(30 % გოგირდი)	გბშ-(40 % გოგირდი)	
სიმტკიცე კუმშვისას, მპა, შემდეგ ტემპერატურებზე:						
0 °C	9.80	10.30	11.40	12.80	14.00	არა უმეტეს 13
20 °C	5.90	6.30	7.10	7.80	8.60	არანაკლებ 2.5
50 °C	1.70	1.80	2.10	2.30	2.50	არანაკლებ 1.3

ცხრილი 14-ის მონაცემებიდან ჩანს, რომ გბშ-ზე დამზადებულ გოგირდასფალტბეტონებს უკეთესი სიმტკიცის მაჩვენებლები აქვთ BH 60/90 მარკის ბიტუმზე დამზადებულ B ტიპის ასფალტბეტონთან შედარებით. ასევე მიღებული შედეგების საფუძველზე ავაგეთ შესაბამისი გრაფიკი (იხ. ნახ. 11).



ნახ. 11. უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%, 40%-ით დამზადებული ნიმუშების სიმტკიცე კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკული გამოსახულება

როგორც ცხრილი 14-დან და ნახაზი 10-დან ჩანს, 10%-იანი გოგირდასფალტბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას 0°C ზემპერატურაზე გამოცდის დროს უდანამატო ასფალტბეტონთან შედარებით გაიზარდა 5,1%-ით, 20°C ტემპერატურაზე გაიზარდა 6,8%-ით, ხოლო 50°C ტემპერატურაზე კი გაიზარდა 5,9%-ით.

20%-იანი გოგირდასფალტბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას 0°C ზემპერატურაზე გამოცდის დროს უდანამატო ასფალტბეტონთან შედარებით გაიზარდა 19,4%-ით, 20°C ტემპერატურაზე გაიზარდა 20,3%-ით, ხოლო 50°C ტემპერატურაზე კი გაიზარდა 23,5%-ით.

30%-იანი გოგირდასფალტბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას 0°C ზემპერატურაზე გამოცდის დროს უდანამატო ასფალტბეტონთან შედარებით გაიზარდა 30,6%-ით, 20°C ტემპერატურაზე გაიზარდა 32,2%-ით, ხოლო 50°C ტემპერატურაზე კი გაიზარდა 35,3%-ით.

40%-იანი გოგირდასფალტბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას 0°C ზემპერატურაზე გამოცდის დროს უდანამატო ასფალტბეტონთან შედარებით გაიზარდა 43,9%-ით, 20°C ტემპერატურაზე გაიზარდა 45,8%-ით, ხოლო 50°C ტემპერატურაზე კი გაიზარდა 47,1%-ით.

40%-იანი გოგირდასფალტბეტონის სიმტკიცემ კუმშვისას 0°C ზემპერატურაზე გამოცდის დროს შეადგინა 14 მპა, რაც აღემატება სტანდარტით დასაშვებ ზღვარს (არა უმეტეს 13), შესაბამისად აღნიშნული კვლევის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ გოგირდის რეკომენდებული შემცველობა გოგირდბიტუმის შემკვრელში არ უნდა აღემატებოდეს 30%-ს.

2.6. უდანამატო ასფალტბეტონის მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%-იანი დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის და ადგეზიური დანამატის „Wetfix Be“-ის დამატებით დამზადებული ნიმუშების ესპერიმენტული კვლევა მარშალის ტესტის ხელსაწყოზე

სსიპ ლევან სამხარაულის სახელობის სასამართლო ექსპერტიზის ეროვნული ბიუროს კირიაკ ზავრიევის სამშენებლო მექანიკის, სეისმომდეგობის და საინჟინრო ექსპერტიზის ცენტრის (დეპარტამენტი) ნორმატიული, ტექნიკური და ესპერიმენტული კვლევების სამმართველოს საგამოცდო ლაბორატორიაში მარშალის ტესტის ხელსაწყოზე განვსაზღვრეთ უდანამატო ასფალტბეტონი, მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%-იანი დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის და ადგეზიური დანამატის „Wetfix Be“-ის დამატებით დამზადებული მარშალის ნიმუშების სტაბილურობა და დენადობა EN 12697-34-ის (მარშალის ტესტი) მიხედვით. გამოცდის პროცესი ნაჩვენებია ნახ. 12-ზე.

ნიმუშის გამოცდის დროს მიღწეული მაქსიმალური დატვირთვა, წარმოადგენს ნარევის სტაბილურობის მაჩვენებელს, მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ნიმუშის სიმაღლე დადგენილ 63,5 მმ-ს შეადგენს.

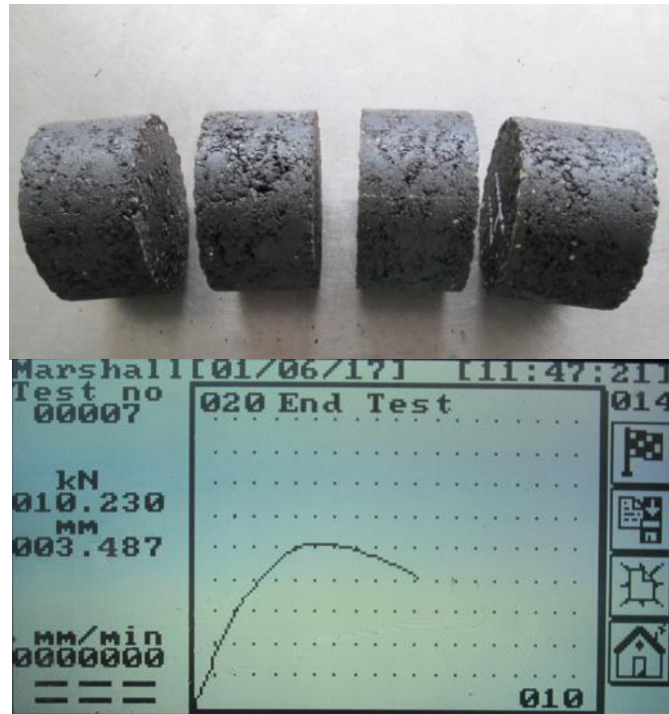
ცილინდრული ფორმის ნიმუშები მოვათავსეთ წყლით სავსე ავზში, ქვევით მიმართული ბრტყელი ზედაპირით და დავაყოვნეთ ასეთ მდგომარეობაში 40 წუთის განმავლობაში. ამ პერიოდის განმავლობაში, ავზში წყლის ტემპერატურა შეადგენდა 60 (±1)°C-ს.



ნახ. 12. უდანამატო ასფალტბეტონის მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30% დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების გამოცდის პროცესი მარშალის ტესტის ხელსაწყოზე

ნიმუშზე განხორციელდა დატვირთვა, რომლის შედეგადაც, გარკვეული გარდამავალი პერიოდის შემდგომ, მივიღეთ 50 (± 2) მმ/წთ მუდმივი სიჩქარით წარმოებული დეფორმაცია. ნიმუშის დატვირთვა გრძელდა მანამ, სანამ დატვირთვის მზომმა ხელსაწყომ, მაქსიმალური მონაცემი არ დააფიქსირა. აღნიშნული პროცედურა, განხორციელდა EN 12697-34-ის სტანდარტის მიხედვით, გამოცდის პროცესი გახორციელდა საცდელი ნიმუშის წყლით სავსე ავზიდან ამოღებიდან 40 წმ-ის განმავლობაში.

ექსპერიმენტული გზით განვსაზღვრეთ უდანამატო ასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების სტაბილურობა და დენადობა, სადაც სტაბილურობამ შეადგინა 10.23 კნ-ს, ხოლო დენადობამ 3,487 მმ. (იხ. ნახ. 13)



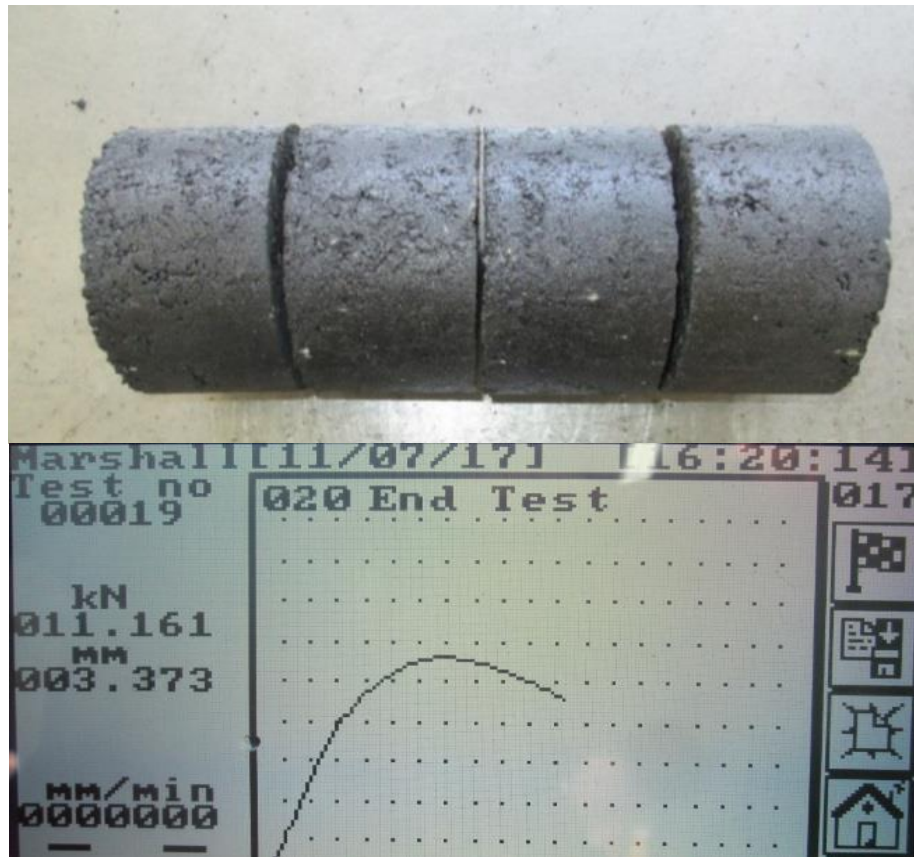
ნახ. 13. უდანამატო ასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების გამოცდა მარშალის ტესტის ხელსაწყოზე - სტაბილურობასა და დენადობაზე.

ასევე განვსაზღვრეთ 10%-იანი მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების სტაბილურობა და დენადობა, სადაც სტაბილურობამ შეადგინა - 10,249 კნ, ხოლო დენადობამ - 3,594 მმ (იხ. ნახ.14) [34].



ნახ. 14. 10% მოდიფიცირებული გოგირდით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების გამოცდა სტაბილურობასა და დენადობაზე

ანალოგიურად გამოიცადა 20%-იანი მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშები, სადაც სტაბილურობამ შეადგინა - 11,161 კნ, ხოლო დენადობამ - 3,373 მმ (იხ.ნახ.15) [34].

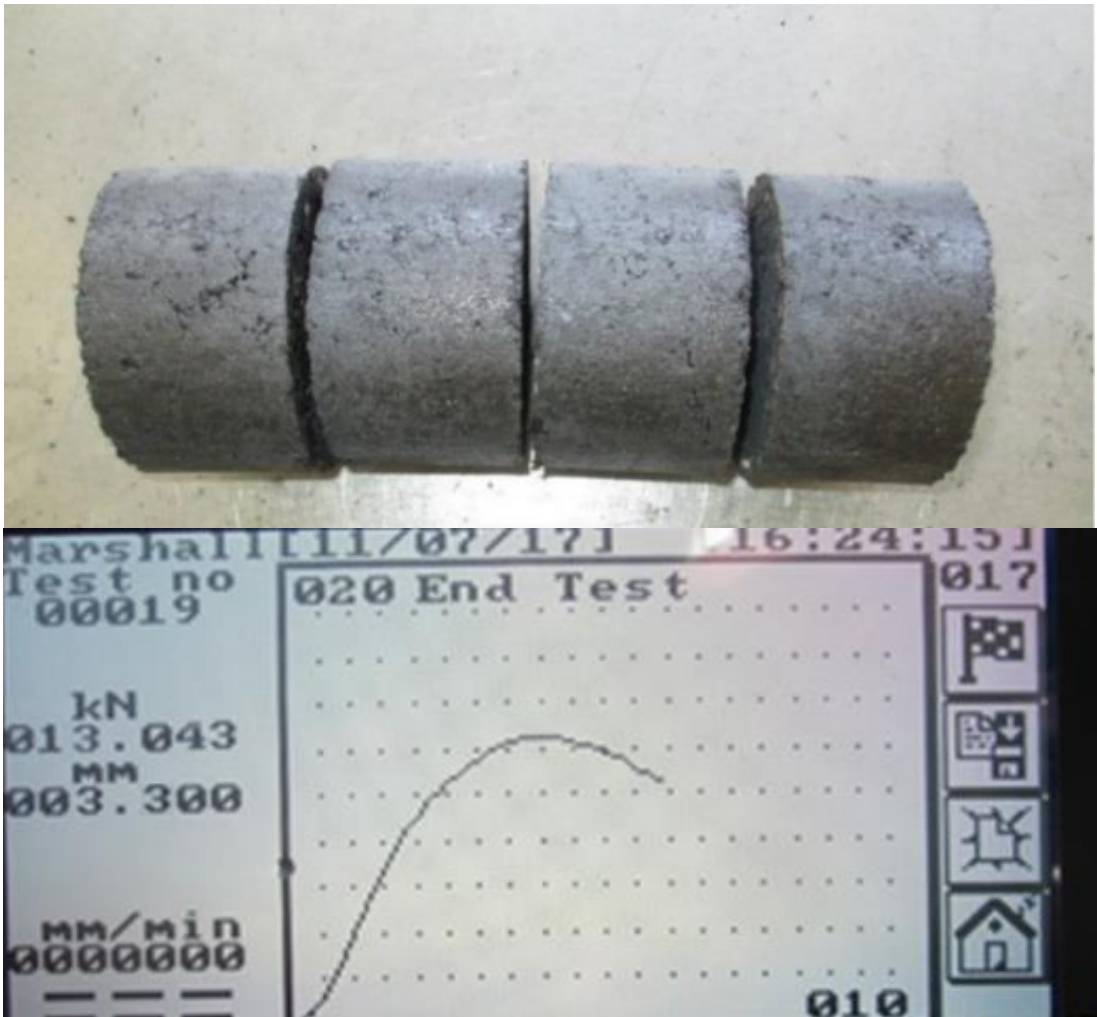


ნახ. 15. 20% მოდიფიცირებული გოგირდით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების გამოცდა სტაბილურობასა და დენადობაზე

ნიმუშის დატკეპნა მიმდინარეობდა EN 12697-30-ში აღწერილი პროცედურის მიხედვით, ისე, რომ ნიმუშის თითოეულ გვერდზე განხორციელდა 50 დარტყმა, მოცემული ტემპერატურული რეჟიმის ფარგლებში. დატკეპნილი ნიმუშები ამოვიღეთ ყალიბებიდან და ჰაერზე გავაგრილეთ, ისე, რომ არ მომხდარა მათი ნებისმიერი სახით დეფორმირება.

ასევე განვსაზღვრეთ 30%-იანი მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების

სტაბილურობა და დენადობა, სადაც სტაბილურობამ შეადგინა - 13,043 კნ, ხოლო დენადობამ - 3,300 მმ (იხ.ნახ.16).



ნახ.16. 30% მოდიფიცირებული გოგირდით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების გამოცდა სტაბილურობასა და დენადობაზე

აღნიშნული კვლევების ჩატარების შემდეგ განვსაზღვრეთ საქართველოში გამოყენებადი ადგილობრივი დანამატის „Wetfix Be“-ის გამოყენებით დამზადებული მარშალის ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, სადაც მარშალის ტესტის ხელსაწყოზე EN 12697-34-ის სტანდარტის მიხედვით განისაზღვრა ასფალტბეტონის სტაბილურობა და დენადობა, სტაბილურობამ შეადგინა 11,482 კნ, ხოლო დენადობამ 6,583 მმ მიღებული შედეგები ნაჩვენებია ნახაზ 17-ზე.

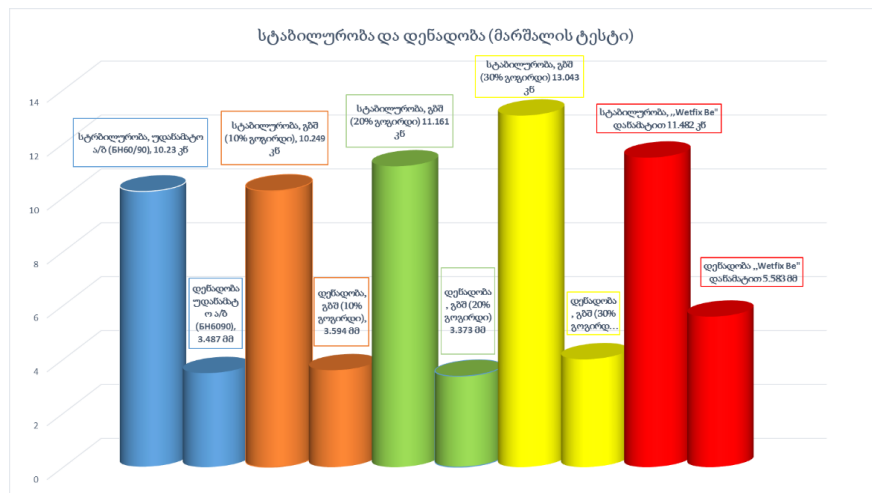


ნახ. 17. ადგეზიური დანამატის „Wetfix Be“-ის გამოყენებით დამზადებული მარშალის ნიმუშების გამოცდა სტაბილურობასა და დენადობაზე

განხორციელებული კვლევების საფუძველზე შევადგინეთ უდანამატო ასფალტბეტონის, მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%-იანი დანამატის მქონე გოგირდასფალტბეტონის და ადგეზიური დანამატის „Wetfix Be“-ის გამოყენებით დამზადებული ნარევის გამოცდის შედეგად მიღებული მონაცემების ცხრილი და შეაბამისი ნახაზი (იხ. ცხრილი 15, ნახ. 18).

უდანამატო, ადგეზიური დანამატის „Wetfix Be“-ის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30% და დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების ფიზიკო-მექანიკური თვისებების შედარება

ასფალტბეტონის სახეობა: წვრილმარცვლოვანი, მკვრივი E ტიპი, მარკა II						
მაჩვენებელი	შემკვრელი					დასაშვები ზღვრები
	უდანამატო ა/ზ (BH 60/90)	გბმ (10% მოდ. გოგირდის დანამატით)	გბმ (20% მოდ. გოგირდის დანამატით)	გბმ (30% მოდ. გოგირდის დანამატით)	„Wetfix Be“-ის გამოყენებით დამზადებული ასფალტბეტონი	
შემკვრელის შემცველობა, %	6.1	6.42	6.78	7.18	6.0	-
სტაბილურობა (მარშალის ტესტი), კნ	10.230	10.249	11.161	13.043	11.482	> 8.0
დენადობა (მარშალის ტესტი), მმ	3.487	3.594	3.373	3.300	5.583	< 4.0
მარშალის კოეფიციენტი	2.94	2.85	3.30	3.95	2.06	< 4.0



ნახ. 18. უდანამატო ასფალტბეტონის, ადგეზიური დანამატის „Wetfix Be“-ის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30% დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების სტაბილურობა და დენადობის გრაფიკული გამოსახულება

აღნიშნულმა გამოკვლევამ აჩვენა, რომ ადგილობრივ ინერტულ მასალებზე დამზადებული უდანამატო ასფალტბეტონის და

გოგირდასფალტბეტონის კვლევისას, ბიტუმის 10%-ის მოდიფიცირებული გოგირდით ჩანაცვლების დროს, გოგირდასფალტბეტონის ნარევის სტაბილურობა უდანამატო ასფალტბეტონთან შედარებით შემცირდა 0,2%-ით (10,230 კნ-დან 10,249 კნ-მდე), დენადობა კი გაიზარდა 3,1 %-ით (3.487 მმ-დან 3,594 მმ მდე), მარშალის კოეფიციენტი - 2,94 კნ/მმ [35].

ბიტუმის 20%-ის მოდიფიცირებული გოგირდით ჩანაცვლების დროს, გოგირდასფალტბეტონის ნარევის სტაბილურობა უდანამატო ასფალტბეტონთან შედარებით გაიზარდა 9,1%-ით (10,230 კნ-დან 11,161 კნ-მდე), დენადობა კი შემცირდა 3,3 %-ით (3.487 მმ-დან 3,373 მმ მდე), მარშალის კოეფიციენტი - 2,85 კნ/მმ.

ბიტუმის 30%-ის მოდიფიცირებული გოგირდით ჩანაცვლების შემთხვევაში გოგირდასფალტბეტონის ნარევის სტაბილურობა უდანამატო ასფალტბეტონთან შედარებით გაიზარდა 27,5%-ით (10,230 კნ-დან 13,043 კნ-მდე), დენადობა კი შემცირდა 5,4 %-ით (3,487 მმ-დან 3,300 მმ მდე), მარშალის კოეფიციენტი - 3,95 კნ/მმ [35].

ბიტუმში ადგეზიური დანამატის „Wetfix Be“-ის დამატებისას ასფალტბეტონის ნარევის სტაბილურობა უდანამატო ასფალტბეტონთან შედარებით გაიზარდა 12,2%-ით (10,230 კნ-დან 11,482 კნ-მდე), დენადობა გაიზარდა 60,1 %-ით (3.487 მმ-დან 5,583 მმ მდე), მარშალის კოეფიციენტი - 2,06 კნ/მმ.

მიღებული შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მოდიფიცირებული გოგირდის რეკომენდებული შემცველობა გოგირდბიტუმის შემკვრელში უნდა შეადგენდეს ბიტუმის მასის 20-დან 30%-მდე [35].

2.7. უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების ექსპერიმენტული კვლევა ცინვამედეგობაზე

ზამთარში ასფალტბეტონის ფორებში არსებული წყალი იყინება, მოცულობაში მატულობს 8-10%-ით და წარმოქმნის 20 მგპა წნევას. გაყინვა-გადნობის პროცესის მრავალჯერადი განმეორების შედეგად, ფორების

კედლები თანდათან იშლება, რაც საბოლოოდ იწვევს ასფალტბეტონის სტრუქტურის დაშლას. აღნიშნული პრობლემის გადასაჭრელად მეტად მნიშვნელოვანია მოეწყოს ისეთი ფენილები, რომლებსაც ექნებათ ყინვამედეგობის გაზრდილი მაჩვენებლები.

ექსპერიმენტული გზით განვსაზღვრეთ ადგილობრივ ინერტულ მასალებზე დამზადებული უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების ყინვამედეგობის კოეფიციენტი CONTROLS-ის ფორმის ყინვამედეგობის განმსაზღვრელი დანადგარის გამოყენებით (იხ.ნახ. 19.) [36].



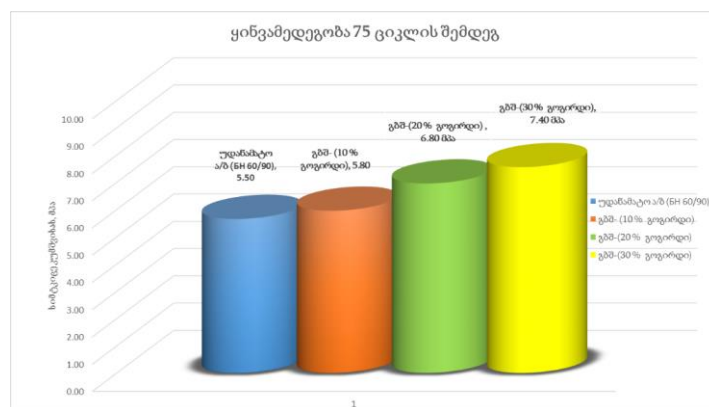
ნახ. 19. ყინვამედეგობის განმსაზღვრელი დანადგარი

აღნიშნულ დანადგარზე ნიმუშების გაყინვა-გადნობის 25, 50, 75 ციკლის შემდეგ, ჰიდრაულიკურ პრესზე განვსაზღვრეთ უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%-ის დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების სიმტკიცე კუმშვისას და შესაბამისად გამოვთვალეთ ყინვამედეგობის კოეფიციენტი K_f (ნიმუშების 25, 50, 75 ციკლის შემდეგ სიმტკიცე კუმშვისას ფარდობით საწყის წყალგაჯერებული ნიმუშის სიმტკიცესთან) (იხ. ცხრილი 16).

უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების
 ცინვამედგობის კოეფიციენტის განსაზღვრა

ცინვამედგობა					
მაჩვენებელი	შემკვრელი				ГОСТ 9128-97-ის მოთხოვნები 5 ტიპის მარკა II-სადმი
	უდანამატო ა/ბ (БН 60/90)	გბშ- (10 % გოგირდი)	გბშ-(20 % გოგირდი)	გბშ-(30 % გოგირდი)	
სიმტკიცე კუმშვისას, მპა, შემდეგ ტემპერატურებზე:					
20 °C წყალგ. ნიმუში	5.80	6.10	7.10	7.70	არა ნაკლებ 2.5
25 ციკლის შემდეგ	5.70	6.00	7.00	7.60	-
50 ციკლის შემდეგ	5.60	5.90	6.90	7.50	-
75 ციკლის შემდეგ	5.50	5.80	6.80	7.40	-
ცინვამედგობის კოეფიციენტი K_{cy}					-
25 ციკლის შემდეგ	0.983	0.984	0.986	0.987	-
50 ციკლის შემდეგ	0.966	0.967	0.972	0.974	-
75 ციკლის შემდეგ	0.948	0.951	0.958	0.961	-

უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10, 20, 30%-ის შემცველობით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების ცინვამედგობის კოეფიციენტის რიცხობრივი მაჩვენებლების განსაზღვრის მიხედვით ავაგეთ შესაბამისი გრაფიკი (იხ. ნახ. 20).



ნახ. 20. უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის 10%,20%,30%-იანი ნიმუშების ცინვამედგობის კოეფიციენტის გრაფიკული გამოსახულება

აღნიშნულმა გამოკვლევამ აჩვენა, რომ 10%-იანმა მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატით დამზადებულმა გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშებმა უდანამატო ასფალტბეტონის ნიმუშებთან შედარებით ყინვამედეგობის 25, 50 და 75 ციკლის შემდეგ აჩვენა 5.3%, 5.4% და 5.5%-ით მეტი სიმტკიცე.

20%-იანმა მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატით დამზადებულმა გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშებმა უდანამატო ასფალტბეტონის ნიმუშებთან შედარებით ყინვამედეგობის 25, 50 და 75 ციკლის შემდეგ აჩვენა 22.8%, 23.2% და 23.6%-ით მეტი სიმტკიცე.

30%-იანმა მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატით დამზადებულმა გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშებმა უდანამატო ასფალტბეტონის ნიმუშებთან შედარებით ყინვამედეგობის 25, 50 და 75 ციკლის შემდეგ აჩვენა 33.3%, 33.9% და 34.5%-ით მეტი სიმტკიცე [36].

როგორც გამოკვლევებიდან ჩანს, 10%-იანი გოგირდის შემცველობისას ყინვამედეგობის კოეფიციენტი უდანამატო ასფალტბეტონის ყინვამედეგობის კოეფიციენტთან შედარებით უმნიშვნელოდ იზრდება, რაც აიხსნება იმით, რომ მთელი გოგირდი ქიმიურად უერთდება ბიტუმს და არ გამოდის სტრუქტურაწარმოქმნელი დანამატის სახით.

მიღებული შედეგებით შესაძლებელია დავასკვნათ, მოდიფიცირებული გოგირდის 20%-30%-ის დამატებით დამზადებულ გოგირდასფალტბეტონებს აქვთ უფრო მაღალი ყინვამედეგობის მაჩვენებლები უდანამატო ასფალტბეტონთან და 10%-იანი მოდიფიცირებულ გოგირდის შემცველ გოგირდასფალტბეტონთან შედარებით [36].

2.8. უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების ექსპერიმენტული კვლევა დეფორმაციისადმი მედეგობაზე (ბორბლის კვალი)

გოგირდასფალტბეტონის დეფორმაციისადმი მედეგობის (ბორბლის კვალი) განსასაზღვრად გამოყენებულ იქნა სსიპ ლევან სამხარაულის სახელობის სასამართლო ექსპერტიზის ეროვნულ ბიუროში არსებული

CONTROLS-ის ფირმის ბორბლის კვალის განმსაზღვრელი დანადგარი. გამოცდა ჩატარდა EN 12697-22 - თვალით დატვირთვაზე გამოცდის მიხედვით. ბორბლის ნაკვალევის განმსაზღვრელი დანადგარი ნაჩვენებია ნახ. 21-ზე [37].



ნახ. 21. ბორბლის ნაკვალევის განმსაზღვრელი დანადგარი

განისაზღვრა უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%-ის დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების დეფორმაციისადმი მედეგობა. საცდელი ნიმუშების საწყისი სიმაღლე შეადგენდა 50მმ-ს. ნიმუშის გამოცდა დასრულებულად ჩაითვალა მას შემდეგ, რაც მასზე საჭირო რაოდენობის დატვირთვის 10 000 ციკლი იქნა განხორციელებული 25°C ტემპერატურაზე. შემდეგ, განისაზღვრა ბორბლის კვალის საშუალო სიღრმე. გამოცდის შედეგები ნაჩვენებია ცხრილ 17-ზე.

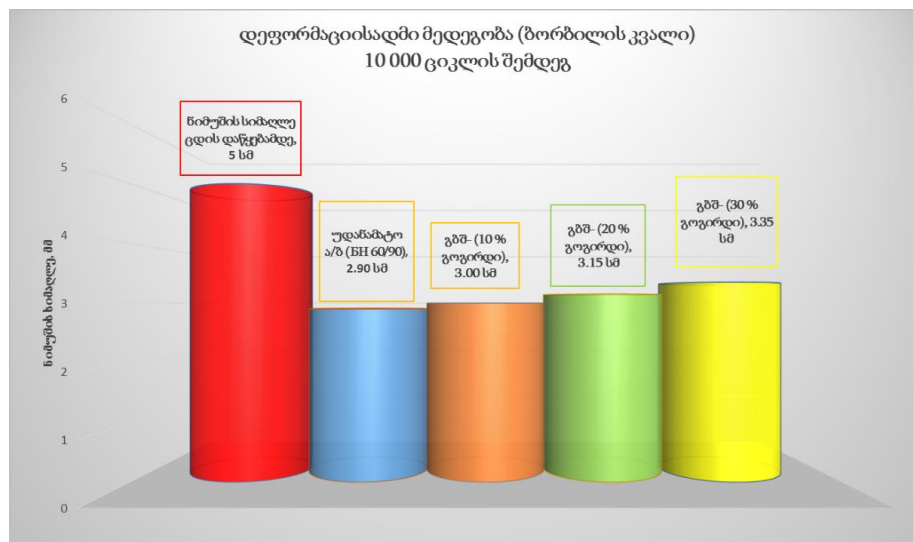
უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%-ის შემცველობით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის

ნიმუშების დეფორმაციისადმი მედეგობის რიცხოვრივი მაჩვენებლების განსაზღვრის მიხედვით აიგო შესაბამისი გრაფიკი (იხ. ნახ. 22).

ცხრილი 17

უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების დეფორმაციისადმი მედეგობის განსაზღვრა (ზორბლის კვალი)

ნიმუშები	დატვირთვის ციკლების რაოდენობა	ზორბალის კვალის საშუალო სიღრმე, p_i (სმ)			
		უდანამატო ასფალტბეტონი (BH 60/90)	გბმ- (10 % გოგირდი)	გბმ- (20 % გოგირდი)	გბმ- (30 % გოგირდი)
ლაბორატორიულ პირობებში დამზადებული ნიმუშები	1 000	0.7	0.6	0.45	0.35
	3 000	1.4	1.3	1.18	1.1
	6 000	1.8	1.71	1.62	1.52
	10 000	2.1	2.0	1.85	1.65



ნახ. 22. დეფორმაციისადმი მედეგობის განსაზღვრა სხვადასხვა ციკლური დატვირთვის დროს ასფალტბეტონისათვის BH 60/90 მარკის ბიტუმზე და გბმ-ზე გოგირდის 10%, 20% და 30 % შემცველობით

ჩატარებულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ 10%, 20% და 30-იან მოდიფიცირებული გოგირდის შემცველ გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშებს უდანამატო ასფალტბეტონის ნიმუშებთან შედარებით 4,8%, 11,8% და 21,4%-ით გაზრდილი აქვს დეფორმაციისადმი მედეგობა ერთი და იგივე ციკლური დატვირთვის დროს (დატვირთვის 10 000 ციკლი) [37].

2.9. უდანამატო ასფალტბეტონთან შედარებით გოგირდასფალტბეტონის გამოყენების ეკონომიური ეფექტურობა

საქართველოში ტყიბულის რაიონში ქვანახშირის ლიცენზირებული მარაგის საერთო რაოდენობაა 331 მილიონი ტონა, ზოგადი მარაგი შეადგენს 500 მილიონ ტონას. ტყიბულის ქვანახშირის შემადგენლობა: ნახშირბადი 37-55%, წყალბადი 3-4%, გოგირდი 2%, ცვლადი ელემენტების ჯამი 42-60% [39].

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ტყიბულის ქვანახშირის 331 მილიონი ტონა ლიცენზირებული მარაგიდან, ჩვენს პირობებში ერთ წელიწადში რეალურია 1 მილიონი ტონა ქვანახშირის მოპოვება, რომლის დაკოქსვის შედეგად შეგვიძლია მივიღოთ მაღალხარისხიანი ქვანახშირი და მისი ბრიკეტები, რომელსაც აქვს რესურსი, მრავალი წლების განმავლობაში სრულად ჩაანაცვლოს საქართველოს მოთხოვნილება მყარ საწვავზე. აღნიშნული დაკოქსვის შედეგად ასევე ერთ წელიწადში შეგვიძლია 20 000 ტონა გოგირდის მოპოვება, რომელიც მოგვცემს საშუალებას ჩავანაცვლოთ ასფალტბეტონში ძვირად ღირებული, იმპორტირებული ბიტუმის პროცენტული შემცველობა, ადგილობრივი ნედლეულით.

დღეის მდგომარეობით, გოგირდის ფასი შეადგენს 400 ლარს. ბიტუმის ფასი 2022 წლის ივნისის თვის მიხედვით შეადგენს 1520 ლარს. ჩვენი კვლევების შემთხვევაში მოდიფიცირებული გოგირდის 30%-იანი შემცველობის დროს უდანამატო ასფალტბეტონის ნარევის შემადგენლობის დაპროექტებისას მიღებული ბიტუმის ოპტიმალური პროცენტული

შემცველობა - 6,1 % შემცირებულია 5,2 %-მდე, მოდიფიცირებული გოგირდის 2,2%-ის დამატების კომპენსირებით.

ერთი ტონა ასფალტბეტონის დამზადებისას, ბიტუმის წონა შეადგენს 61 კილოგრამს, რომლის ღირებულებაც ერთ ტონაზე 92,72 ლარი ($1520 \times 0,061 = 92,72$). მოდიფიცირებული გოგირდის 30%-იანი დანამატის დამატებისას ბიტუმის რაოდენობამ ასფალტბეტონის ნარევეში მოიკლო და გახდა 52 კილოგრამი, შესაბამისად შემცირდა მისი ღირებულებაც 79,04 ლარამდე ($1520 \times 0,052 = 79,04$). ერთი ტონა გოგირდასფალტბეტონის დამზადებისას მოდიფიცირებული გოგირდის წონა შეადგენს 22 კილოს, რომლის ღირებულებაც 8,8 ლარი ($400 \times 0,022 = 8,8$). 30%-იანი მოდიფიცირებული გოგირდით დამზადებული ერთი ტონა გოგირდასფალტბეტონის ფასი შეადგენს 87,84 ლარს ($79,04 + 8,8 = 87,84$), შესაბამისად ხდება უდნანამატო ასფალტბეტონის ფასთან შედარებით მოდიფიცირებული გოგირდის 30%-ის დამატების შემთხვევაში 4,88 ლარით გაიაფება ($92,72 - 87,84 = 4,88$), ყოველივე აქედან გამომდინარე, მოდიფიცირებული გოგირდის გამოყენებით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ღირებულება მოდიფიცირებული გოგირდის 30%-ის დამატების შემთხვევაში უდნანამატო ასფალტბეტონის ღირებულებასთან შედარებით შემცირდა 5,26%-ით ($4,88 / 92,72 = 5,26$).

2.10. ასფალტბეტონის ნარევეში ბიტუმის პროცენტული შემცველობის განუსაზღვრელობის გამოთვლა

გაზომვის სპეციფიკაციის შედგენა:

გამოცდის მეთოდი: EN 12697-1 - ხსნადი შემკვრელების შემცველობა, სადაც თითოეული ცდისათვის ასევე მრავალჯერადი გაზომვების გასაშუალოებული მონაცემებით განისაზღვრებოდა - m_1 ასფალტბეტონის წონა ცდამდე შემკვრელთან ერთად და m_2 ინერტული მასალის წონა ცდის შემდეგ ლაბორატორიულ ლუმელში გამოშრობის შემდეგ. ასფალტბეტონის ნარევეში ბიტუმის ბიტუმის პროცენტული შემცველობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით [38]:

$$B_{\text{ბიტ}} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

ბიტუმის პროცენტული რაოდენობის გამომწვევად გამოანგარიშებული მაჩვენებლის ათჯერადი გაზომვის მონაცემები მოცემულია ცხრილში 18, რომლის მიხედვითაც შესაძლებელია გამოითვალოს გამოსასვლელი სიდიდის A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობა [38]:

ცხრილი 18

ბიტუმის პროცენტული შემცველობის A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა

ცდის №	გაზომვის შედეგები (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
1	6.1	0.01	0.0001
2	6.1	0.01	0.0001
3	6.1	0.01	0.0001
4	6.2	0.09	0.0081
5	6.0	0.11	0.0121
6	6.1	0.01	0.0001
7	6.1	0.01	0.0001
8	6.2	0.09	0.0081
9	6.2	0.09	0.0081
10	6.0	0.11	0.0121
შესასვლელი სიდიდის საშ. არითმეტიკული.		$ \Sigma $	Σ
\bar{x}_i	6.1	0.54	0.049

შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - X_i)^2} = \sqrt{\frac{0,049}{9}} = 0,074$$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1.2 ტოლია გვექნება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = 1.2 \cdot 0,074 = 0,089$$

- შევამოწმოთ შემთხვევითი სიდიდეების განაწილების კანონი:

\tilde{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება გვაძლევს:

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_{iq} - \bar{x}_i|}{n \cdot S^*}$$

სადაც:

$$S^* = \sqrt{\frac{(|x_{iq} - \bar{x}_i|)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,049}{10}} = 0,07$$

ამის გათვალისწინებით:

$$\tilde{d} = \frac{0,54}{10 \cdot 0,07} = 0,77$$

რაც მოთავსებულია \tilde{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის:

$$d_{1-(\alpha/2)} = 0,7153 < \tilde{d} = 0,77 < d_{\alpha/2} = 0,903$$

ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან [38].

A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობის მიხედვით გამოთვლილ გაფართოებულ განუსაზღვრელობას განაწილების ნორმალურობის შემთხვევაში სანდოობის 95%-იანი ნდობით ექნება სახე:

$$U_A = k \cdot u_{\Sigma A}(x_i) = 1,96 \cdot 0,089 = 0,2$$

B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა:

- ლაბორატორიული სასწორი # GE/MI/04-00117-19 დაკალიბრების სერტიფიკატის თანახმად $U5 = \pm 0,13$ გრ, $k = 2.52$ მაშინ მისი სტანდარტული განუსაზღვრელობა იქნება: $U_{\text{სასწ}} = U5/k = 0,13/2,52 = \pm 0,052$

მიღებული მონაცემების გათვალისწინებით შევადგინეთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი (იხ. ცხრილი 19).

ბიტუმის პროცენტული შემცველობის განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

	შესასვლელი სიდიდის შეფასება	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობა	6.1	$u_{\Sigma A} = 0,089$	ნორმალური
ელექტრონული სასწორი	0-6000 გ.	$u_{t_{\text{საწ}} = 0,052$	ნორმალური

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოვიანგარიშოთ ასფალტბეტონის ნარევი ბიტუმის პროცენტული შემცველობის B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით:

$$u_{\Sigma B} = \sqrt{u_{t_{\text{საწ}}}^2 + n} = \sqrt{52} = 0,052$$

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A,B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{0,089^2 + 0,052^2} = 0,102$$

ასფალტბეტონის ნარევი ბიტუმის პროცენტული შემცველობის ჯამური გაფართოებული განუსაზღვრელობა:

$$U = t_p(v) u_{\Sigma A,B}(F)$$

სადაც: $t_p(v)$ სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტია 0,95 ალბათობისა და $v = n - 1$ თავისუფლების რიცხვისათვის, რომელიც ნორმალური განაწილების კანონის შემთხვევაში მიახლოებით:

$$t_p = k \sqrt{1 + \frac{2}{n-1}} = 1,96 \sqrt{1,2} = 2,147.$$

მიღებული მნიშვნელობების გათვალისწინებით პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა იქნება:

$$U = 2,147 \cdot 0,102 = 0,2$$

გაზომვის შედეგი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

ასფალტბეტონის ნარევი ბიტუმის პროცენტული შემცველობა:

$$B \text{ ბიტუმი} = 6,1 \pm 0,2 \text{ ან } 5,9 \leq B \text{ ბიტუმი} = 6,1 \leq 6,3 [37].$$

2.11. ლაბორატორიაში ფორმირებული ასფალტბეტონის ნიმუშის ფორიანობის განუსაზღვრელობის გამოთვლა

გაზომვის სპეციფიკაციის შედგენა:

გამოცდის მეთოდი: EN 12697-8-სიცარიელების/ფორების შემცველობის განსაზღვრა ბიტუმის შემცველ მასალაში, სადაც თითოეული ცდისათვის ასევე მრავალჯერადი გაზომვების გასაშუალოებული მონაცემებით განისაზღვრებოდა ასფალტბეტონის მაქსიმალური სიმკვრივე - $\rho^{მაქს}$, ასფალტბეტონის მოცულობითი სიმკვრივე - $\rho^{მოც}$. ასფალტბეტონის ფორიანობის ($V_{ფორ} = (\rho^{მაქს} - \rho^{მოც}) / \rho^{მაქს} \times 100$) გამოანგარიშებული მაჩვენებლის ათჯერადი გაზომვის მონაცემები მოცემულია ცხრილში 20.

ცხრილი 20

ასფალტბეტონის ნიმუშის ფორიანობის A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა

ცდის №	გაზომვის შედეგები (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
1	5.0	0.13	0.017
2	4.9	0.03	0.001
3	4.7	0.17	0.029
4	4.9	0.03	0.001
5	4.9	0.03	0.001
6	4.9	0.03	0.001
7	4.8	0.07	0.005
8	5.0	0.13	0.0169
9	4.8	0.07	0.0049
10	4.8	0.07	0.005
შესასვლელი სიდიდის საშ. არითმეტიკული.		$ \Sigma $	Σ
\bar{x}_i	4.9	0.76	0,081

რომლის მიხედვითაც შესაძლებელია გამოითვალოს გამოსასვლელი სიდიდის A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობა.

შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - X_i)^2} = \sqrt{\frac{0,081}{9}} = 0,095$$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1.2 ტოლია გვექნება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = 1.2 \cdot 0,095 = 0,114$$

• შევამოწმოთ შემთხვევითი სიდიდეების განაწილების კანონი:

\tilde{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება ვგაძლევს:

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_{iq} - \bar{x}_i|}{n \cdot S^*};$$

სადაც:

$$S^* = \sqrt{\frac{(|x_{iq} - \bar{x}_i|)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,081}{10}} = 0,090$$

ამის გათვალისწინებით:

$$\tilde{d} = \frac{0,76}{10 \cdot 0,090} = 0,84$$

რაც მოთავსებულია \tilde{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის:

$$d_{1-(\alpha/2)} = 0,7153 < \bar{d} = 0,84 < d_{\alpha/2} = 0,903$$

ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან.

A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობის მიხედვით გამოთვლილ გაფართოებულ განუსაზღვრელობას განაწილების ნორმალურობის შემთხვევაში სანდოობის 95%-იანი ნდობით ექნება სახე:

$$U_A = k \cdot u_{\Sigma A}(x_i) = 1,96 \cdot 0,114 = 0,2$$

B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა:

• ლაბორატორიული სასწორი # GE/MI/04-00117-19 დაკალიბრების სერტიფიკატის თანახმად $U5 = \pm 0,13$ გრ, $k = 2,52$ მაშინ მისი სტანდარტული განუსაზღვრელობა იქნება: $U_{\text{სასწ}} = U5/k = 0,13/2,52 = \pm 0,052$

მიღებული მონაცემების გათვალისწინებით შევადგინეთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი (იხ. ცხრილი 21):

ცხრილი 21

ასფალტბეტონის ნიმუშის ფორიანობის განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

	შესასვლელი სიდიდის შეფასება	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობა	4.9	$u_{\Sigma A} = 0,114$	ნორმალური
ელექტრონული სასწორი	0-6000 გ.	$u_{\text{სასწ}} = 0,052$	ნორმალური

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოვიანგარიშეთ ასფალტბეტონის ფორიანობის B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით:

$$u_{\Sigma B} = \sqrt{u_{\text{სასწ}}^2} = \sqrt{0,052^2} = 0,052$$

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A,B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{0,114^2 + 0,056^2} = 0,125$$

ასფალტბეტონის ფორიანობის ჯამური გაფართოებული განუსაზღვრელობა:

$$U = t_p(v)u_{\Sigma A,B}(F)$$

სადაც: $t_p(v)$ სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტი 0,95 ალბათობისა და $v = n - 1$ თავისუფლების რიცხვისათვის, რომელიც ნორმალური განაწილების კანონის შემთხვევაში მიახლოებით:

$$t_p = k \sqrt{1 + \frac{2}{n-1}} = 1,96 \sqrt{1,2} = 2,147$$

მიღებული მნიშვნელობების გათვალისწინებით პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა იქნება:

$$U = 2,147 \cdot 0,125 = 0,3$$

გაზომვის შედეგი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

ასფალტბეტონის ლაბორატორიაში ფორმირებული ნიმუშის ფორიანობა %:

$$V_{\text{ფორ}} = 4,6 \pm 0,3$$

$$\text{ან } 4,6 \leq V_{\text{ფორ}} = 4,9 \leq 5,2$$

2.12. ლაბორატორიაში მარშალის ავტომატურ კომპაქტორზე ფორმირებული ასფალტბეტონის ნიმუშის სტაბილურობის განუსაზღვრელობის გამოთვლა

გაზომვის სპეციფიკაციის შედგენა:

გამოცდის მეთოდი: EN 12697-34 მარშალის ტესტი. ასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშის სტაბილურობის S (კნ) ათჯერადი გაზომვის მონაცემები მოცემულია ცხრილში 22, რომლის მიხედვითაც შესაძლებელია გამოითვალოს გამოსასვლელი სიდიდის A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობა:

ასფალტბეტონის ნიმუშის სტაბილურობის A ტიპის განუსაზღვრელობის
გამოთვლა

ცდის №	გაზომვის შედეგები (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
1	10.6	0.050	0.002
2	10.8	0.150	0.023
3	10.5	0.150	0.022
4	10.7	0.050	0.003
5	10.4	0.250	0.062
6	10.9	0.250	0.063
7	10.6	0.050	0.002
8	10.7	0.050	0.003
9	10.8	0.150	0.023
10	10.5	0.150	0.022
შესასვლელი სიდიდის საშ. ართმეტიკული		$ \Sigma $	Σ
\bar{x}_i	10.7	1.3	0.225

შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული
განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - X_i)^2} = \sqrt{\frac{0,225}{9}} = 0,158$$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე
რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1.2 ტოლია
გვექნება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = 1.2 \cdot 0,158 = 0,190$$

- შევამოწმოთ შემთხვევითი სიდიდეების განაწილების კანონი:

\tilde{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების
ნორმალურობის შემოწმება გვადლევს:

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_{iq} - \bar{x}_i|}{n \cdot S^*}$$

სადაც:

$$S^* = \sqrt{\frac{(|x_{iq} - \bar{x}_i|)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,225}{10}} = 0,150$$

ამის გათვალისწინებით:

$$\bar{d} = \frac{1.30}{10 \cdot 0,150} = 0,87$$

რაც მოთავსებულია \bar{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის $d_{1-(\alpha/2)} = 0,7153 < \bar{d} = 0,87 < d_{\alpha/2} = 0,903$ ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან.

A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობის მიხედვით გამოთვლილ გაფართოებულ განუსაზღვრელობას განაწილების ნორმალურობის შემთხვევაში სანდოობის 95%-იანი ნდობით ექნება სახე:

$$U_A = k \cdot u_{\Sigma A}(x_i) = 1,96 \cdot 0,190 = 0,4$$

B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა:

- ლაბორატორიული სასწორი # GE/MI/04-00117-19 დაკალიბრების სერტიფიკატის თანახმად $U5 = \pm 0,13$ გრ, $k=2.52$ მაშინ მისი სტანდარტული განუსაზღვრელობა იქნება: $U_{\text{სასწ}} = U5/k = 0,13/2,52 = \pm 0,052$

მიღებული მონაცემების გათვალისწინებით შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი (იხ. ცხრილი 23):

ცხრილი 23

ასფალტბეტონის ნიმუშის სტაბილურობის განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

	შესასვლელი სიდიდის შეფასება	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობა	10,7	$u_{\Sigma A} = 0,190$	ნორმალური
ელექტრონული სასწორი	0-6000 გ.	$u_{\text{სასწ}} = 0,052$	ნორმალური

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოვიანგარიშოთ ასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშის სტაბილურობის B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით.

$$u_{\Sigma B} = \sqrt{u_{t_{\text{საფ}}}^2} = \sqrt{0,052^2} = 0,052$$

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A,B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{0,190^2 + 0,052^2} = 0,197$$

ასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშის სტაბილურობის ჯამური გაფართოებული განუსაზღვრელობა:

$$U = t_p(v)u_{\Sigma A,B}(F)$$

სადაც: $t_p(v)$ სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტია 0,95 ალბათობისა და $v = n - 1$ თავისუფლების რიცხვისათვის, რომელიც ნორმალური განაწილების კანონის შემთხვევაში მიახლოებით:

$$t_p = k \sqrt{1 + \frac{2}{n-1}} = 1,96 \sqrt{1,2} = 2,147.$$

მიღებული მნიშვნელობების გათვალისწინებით პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა იქნება:

$$U = 2,147 \cdot 0,197 = 0,4$$

გაზომვის შედეგი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$S_{\text{სტაბ}} = 10,7 \pm 0,4$$

$$\text{ან } 10,3 \leq S_{\text{სტაბ}} = 10,7 \leq 11,1$$

2.13. ლაბორატორიაში მარშალის ავტომატურ კომპაქტორზე ფორმირებული ასფალტბეტონის ნიმუშის დენადობის განუსაზღვრელობის გამოთვლა

გაზომვის სპეციფიკაციის შედგენა:

გამოცდის მეთოდი: EN 12697-34 მარშალის ტესტი. ასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშის დენადობის (მმ) ათჯერადი გაზომვის მონაცემები მოცემულია ცხრილში 24, რომლის მიხედვითაც შესაძლებელია

გამოითვალოს გამოსასვლელი სიდიდის A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობა:

ცხრილი 24

ასფალტბეტონის ნიმუშის დენადობის A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა

ცდის №	გაზომვის შედეგები (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
1	3.5	0.089	0.008
2	3.4	0.011	0.000
3	3.5	0.089	0.008
4	3.4	0.011	0.000
5	3.5	0.089	0.008
6	3.3	0.111	0.012
7	3.3	0.111	0.012
8	3.4	0.011	0.0001
9	3.4	0.011	0.0001
10	3.5	0.089	0.008
შესასვლელი სიდიდის საშ. არითმეტიკული		$ \Sigma $	Σ
3.4		0.62	0.057

შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - X_i)^2} = \sqrt{\frac{0,057}{9}} = 0,079$$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1.2 ტოლია გვექნება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = 1.2 \cdot 0,079 = 0,095$$

- შევამოწმოთ შემთხვევითი სიდიდეების განაწილების კანონი: \tilde{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება გვადლევს:

$$\tilde{d} = \sum_{i=1}^n |x_{iq} - \bar{x}_i| / n \cdot S^*$$

სადაც:

$$s^* = \sqrt{\frac{(|x_{iq} - \bar{x}_i|)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,057}{10}} = 0,075$$

ამის გათვალისწინებით:

$$\bar{d} = \frac{0,62}{10 \cdot 0,075} = 0,83$$

რაც მოთავსებულია \bar{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის $d_{1-(\alpha/2)} = 0,7153 < \bar{d} = 0,83 < d_{\alpha/2} = 0,903$ ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან.

A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობის მიხედვით გამოთვლილ გაფართოებულ განუსაზღვრელობას განაწილების ნორმალურობის შემთხვევაში სანდოობის 95%-იანი ნდობით ექნება სახე:

$$U_A = k \cdot u_{\Sigma A}(x_i) = 1,96 \cdot 0,095 = 0,2$$

B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა:

- ლაბორატორიული სასწორი # GE/MI/04-00117-19 დაკალიბრების სერთიფიკატის თანახმად $U_5 = \pm 0,13$ გრ, $k=2.52$ მაშინ მისი სტანდარტული განუსაზღვრელობა იქნება: $U_{\text{სასწ}} = U_5/k = 0,13/2,52 = \pm 0,052$ მიღებული მონაცემების გათვალისწინებით შევადგინეთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი (იხ. ცხრილი 25):

ცხრილი 25

ასვალტბეტონის ნიმუშის დენადობის განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

	შესასვლე ლი სიდიდის შეფასება	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობა	3,4	$u_{\Sigma A} = 0,095$	ნორმალური
ელექტრონული სასწორი	0-6000 გ.	$u_{\text{სასწ}} = 0,052$	ნორმალური

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოვიანგარიშოთ ასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშის დენადობის B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით:

$$u_{\Sigma B} = \sqrt{u_{t_{\text{საფ}}}^2} = \sqrt{0,052^2} = 0,052$$

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A,B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{0,095^2 + 0,052^2} = 0,108$$

ასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშის დენადობის ჯამური გაფართოებული განუსაზღვრელობა:

$$U = t_p(v)u_{\Sigma A,B}(F)$$

სადაც: $t_p(v)$ სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტია 0,95 ალბათობისა და $v = n - 1$ თავისუფლების რიცხვისათვის, რომელიც ნორმალური განაწილების კანონის შემთხვევაში მიახლოებით:

$$t_p = k \sqrt{1 + \frac{2}{n-1}} = 1,96 \sqrt{1,2} = 2,147.$$

მიღებული მნიშვნელობების გათვალისწინებით პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა იქნება:

$$U = 2,147 \cdot 0,108 = 0,2$$

გაზომვის შედეგი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$F_{\text{დენად}} = 3,4 \pm 0,2 \quad \text{ან} \quad 3,2 \leq F_{\text{დენად}} = 3,4 \leq 3,6$$

2.14. ასფალტბეტონის ნიმუშზე ბორბლის კვალის სიღრმის განუსაზღვრელობის გამოთვლა

გაზომვის სპეციფიკაციის შედგენა:

გამოცდის მეთოდი: EN 12697-22 - ბიტუმის შემცველი ნარევი-ასფალტის ცხელი ნარევიების გამოცდის მეთოდები - ნაწილი 22 ბორბლის კვალი. ასფალტბეტონის ნიმუშის ბორბლის კვალის სიღრმის (მმ) ათჯერადი გაზომვის მონაცემები მოცემულია ცხრილში 26, რომლის

მიხედვითაც შესაძლებელია გამოითვალოს გამოსასვლელი სიდიდის A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობა ქვემოთ მოყვანილი:

ცხრილი 26

ბორბლის კვალის სიღრმის A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა

ცდის №	გაზომვის შედეგები (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
1	13.5	0.370	0.137
2	13.3	0.570	0.325
3	14.1	0.230	0.053
4	14.0	0.130	0.017
5	13.8	0.070	0.005
6	13.6	0.270	0.073
7	13.4	0.470	0.221
8	13.9	0.030	0.001
9	14.7	0.830	0.689
10	14.4	0.530	0.281
შესასვლელი სიდიდის საშ. არითმეტიკული.		$ \Sigma $	Σ
\bar{x}_i	13.9	3.5	1.801

შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - X_i)^2} = \sqrt{\frac{1,801}{9}} = 0,447$$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1.2 ტოლია გვექნება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = 1.2 \cdot 0,447 = 0,537$$

- შევამოწმოთ შემთხვევითი სიდიდეების განაწილების კანონი:

\check{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება გვადლევს:

$$\check{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_{iq} - \bar{x}_i|}{n \cdot S^*};$$

სადაც:

$$s^* = \sqrt{\frac{(|x_{iq} - \bar{x}_i|)^2}{n}} = \sqrt{\frac{1,801}{10}} = 0,424$$

ამის გათვალისწინებით:

$$\bar{d} = \frac{3,5}{10 \cdot 0,424} = 0,82$$

რაც მოთავსებულია \bar{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის:

$$d_{1-(\alpha/2)} = 0,7153 < \bar{d} = 0,82 < d_{\alpha/2} = 0,903$$

ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან.

A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობის მიხედვით გამოთვლილ გაფართოებულ განუსაზღვრელობას განაწილების ნორმალურობის შემთხვევაში სანდოობის 95%-იანი ნდობით ექნება სახე:

$$U_A = k \cdot u_{\Sigma A}(x_i) = 1,96 \cdot 0,537 = 1,1$$

B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა:

- ლაბორატორიული სასწორი # GE/MI/04-00117-19 დაკალიბრების სერთიფიკატის თანახმად $U5 = \pm 0,13$ გრ, $k = 2,52$ მაშინ მისი სტანდარტული განუსაზღვრელობა იქნება: $U_{\text{სასწ}} = U5/k = 0,13/2,52 = \pm 0,052$

მიღებული მონაცემების გათვალისწინებით შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი (იხ. ცხრილი 27):

ცხრილი 27

ბორბლის კვალის სიღრმის განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

	შესასვლელი სიდიდის შეფასება	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	აღბათობის განაწილების სახე
A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობა	13,9	$u_{\Sigma A} = 0,537$	ნორმალური
ელექტრონული სასწორი	0-6000 გ.	$u_{\text{სასწ}} = 0,052$	ნორმალური

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოვიანგარიშოთ ასფალტბეტონის ამოხეხილი ბორბლის კვალის სიღრმის B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით:

$$u_{\Sigma B} = \sqrt{u_{t_{\text{საფ}}}^2} = \sqrt{0,056^2} = 0,052$$

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A,B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{0,537^2 + 0,052^2} = 0,539$$

ასფალტბეტონის ამოხეხილი ბორბლის კვალის სიღრმის ჯამური გაფართოებული განუსაზღვრელობა:

$$U = t_p(v)u_{\Sigma A,B}(F)$$

სადაც: $t_p(v)$ სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტია 0,95 ალბათობისა და $v = n - 1$ თავისუფლების რიცხვისათვის, რომელიც ნორმალური განაწილების კანონის შემთხვევაში მიახლოებით:

$$t_p = k \sqrt{1 + \frac{2}{n-1}} = 1,96 \sqrt{1,2} = 2,147.$$

მიღებული მნიშვნელობების გათვალისწინებით პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა იქნება:

$$U = 2,147 \cdot 0,539 = 1,2$$

გაზომვის შედეგი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

ლაბორატორიაში ვიბრო სატკეპნზე ფორმირებული ასფალტბეტონის ნიმუშიზე ამოხეხილი ბორბლის კვალის სიღრმე L (მმ):

$$L_{\text{ბორბ}} = 13,9 \pm 1,2$$

$$\text{ან } 12,7 \leq L_{\text{ბორბ}} = 13,9 \leq 15,1$$

2.15. ნავთობის ბიტუმში ნემსის შეღწევის სიღრმის (პენეტრაციის) გაზომვის განუსაზღვრელობის გამოთვლა

გაზომვის სპეციფიკაციის შედგენა: გამოცდა მიმდინარეობდა **ГОСТ 22245-90** -ის მოთხოვნების შესაბამისად.

- პენეტრატის ჯამის გეომეტრული ზომების შესამოწმებელი ხელსაწყო. შტანგენფაგალი, გაზომვის დიაპაზონი $0 \div 150$ მმ., A ტიპის გაფართოებული განუსაზღვრელობა დაკალიბრების სერტიფიკატის მიხედვით $U_A = 0,002 \text{ mm}$. დანაყოფის ფასი 0,1. ნონიუსის გამოყენებით 0,01მმ.;

- მინის ვერცხლიწყლიანი თერმომეტრი გაზომვის სკალით $0-55$ °C დანაყოფის ფასით $0,1$ °C, სიზუსტის კლასი 0,1, აბსოლუტური ცდომილების ცვლილების დიაპაზონი $\pm 0,11$ °C.

- მინის ვერცხლიწყლიანი თერმომეტრი გაზომვის სკალით $0-200$ °C, დანაყოფის ფასით 1 °C, სიზუსტის კლასი 1, აბსოლუტური ცდომილების ცვლილების დიაპაზონი ± 2 °C.;

- პენეტრომეტრი, დაკალიბრების სერტიფიკატის თანახმად A ტიპის გაფართოებული განუსაზღვრელობა $U_A = 0,007$ მმ.;

- წამზომი, თანახმად A ტიპის გაფართოებული განუსაზღვრელობა დაკალიბრების სერტიფიკატის მიხედვით $U_A = 0,04$ წმ., ხოლო $\Delta_{\text{დას.}} = 0,2$ წმ.;

- ოპერატორის სუბიექტური ცდომილება დროის ათვლაში, სტატისტიკური ცნობარების მიხედვით, ადამიანისათვის $0,7 \div 1,2$ წმ-ს შეადგენს. შევირჩიოთ $\Delta_{\text{სუბ}} = 1$ წმ. ამის გათვალისწინებით ათი გაზომვის საშუალოს მიხედვით ნაანგარიშები ნემსის მიერ ერთ წმ-ში შესრულებული გადაადგილება შეადგენს 1 მმ. მაგ. თუ 5 წამში ნემსი გადაადგილდა 50 ერთეულის ანუ 5მმ-ის მანძილზე ერთ წამში გადაადგილდება 1 მმ-ზე. ე.ი. დროის ათვლის სუბიექტური ცდომილება $\Delta_{\text{სუბ}} = 1$ წმ. ამის გათვალისწინებით თანაბარი განაწილებს შემთხვევისათვის სტანდარტული განუსაზღვრელობა იქნება $u_{\text{სუბ}} = 1/\sqrt{3} = 0,577$.

A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა:

შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოთვლება შესასვლელი სიდიდის მნიშვნელობების 10 ჯერადი გაზომვის შედეგების მიხედვით ქვემოთ მოყვანილი ცხრილის მონაცემებით (იხ. ცხრილი 28):

ცხრილი 28

ბიტუმში ნემსის შეღწევის სიღრმის (პენეტრაციის) A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა

	პენეტრაციის გაზომვის შედეგები (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
1	72	1	1.000
2	71	0	0.000
3	70	1	1.000
4	72	1	1.000
5	70	1	1.000
6	72	1	1.000
7	71	0	0.000
8	69	2	4.000
9	72	1	1.000
10	71	0	0.000
შესასვლელი სიდიდის საშ. არითმეტიკ. \bar{x}_i	71	$ \Sigma =8$	$\Sigma=10$

შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა განისაზღვრება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - X_i)^2} = \sqrt{\frac{10}{9}} = 1,054$$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1.2 ტოლია გვექნება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = 1.2 \cdot 1,54 = 1,265$$

- შევამოწმოთ შემთხვევითი სიდიდეების განაწილების კანონი:

\bar{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება გვაძლევს:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_{iq} - \bar{x}_i|}{n \cdot S^*}$$

სადაც:

$$S^* = \sqrt{\frac{(|x_{iq} - \bar{x}_i|)^2}{n}} = \sqrt{\frac{10}{10}} = 1,00$$

ამის გათვალისწინებით:

$$\bar{d} = \frac{10}{10 \cdot 1,265} = 0,80$$

რაც მოთავსებულია \bar{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის $d_{1-(\alpha/2)} = 0,7153 < \bar{d} = 0,80 < d_{\alpha/2} = 0,903$ ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან.

A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობის მიხედვით გამოთვლილ გაფართოებულ განუსაზღვრელობას განაწილების ნორმალურობის შემთხვევაში სანდოობის 95%-იანი ნდობით ექნება სახე:

$$U_A = k \cdot u_{\Sigma A}(x_i) = 1,96 \cdot 1,265 = 2,5$$

B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა:

განვსაზღვროთ B ტიპის ჯამური განუსაზღვრელობის მდგენელები:

- შტანგელფარგლის დისკრეტული ათვლის ცდომილების სტანდარტული განუსაზღვრელობა თანაბარი განაწილების 95% სანდოობის დონისათვის დანაყოფის ფასის ნახევრის ფარდობაა შესაბამისი განაწილების მოცვის კოეფიციენტთან:

$$u_{\text{შატ}} = \frac{\Delta_{\text{შატ}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,005}{1,732} = \pm 0,0029 \text{ mm}$$

- განუსაზღვრელობათა მიღებული მნიშვნელობების მიხედვით შესაძლებელია გამოითვალოს შტანგელფარგლის მთლიანი განუსაზღვრელობა:

$$u_{\text{მთლშ}} = \sqrt{U_A^2 + u_{\text{შატ}}^2} = \sqrt{0,002^2 + 0,0029^2} = 0,0035 \text{ მმ}$$

• მინის ვერცხლიწყლიანი 55°C-ინი თერმომეტრის სტანდარტული განუსაზღვრელობა მისი დასაშვები, თანაბარი განაწილების კოეფიციენტის 95% სანდოობის დონისათვის $\Delta_{t55} = \pm 0,11^\circ\text{C}$ მიხედვით გვექნება:

$$u_{t55} = \frac{\Delta_t}{\sqrt{3}} = \frac{0,11}{1,732} = 0,0635^\circ\text{C}$$

• მინის ვერცხლიწყლიანი 200°C-ინი თერმომეტრის სტანდარტული განუსაზღვრელობა მისი დასაშვები, თანაბარი განაწილების კოეფიციენტის 95% სანდოობის დონისათვის $\Delta_{t200} = \pm 0,11^\circ\text{C}$ მიხედვით გვექნება:

$$u_{t200} = \frac{\Delta_t}{\sqrt{3}} = \frac{2}{1,732} = 1,155^\circ\text{C}$$

• ოპერატორის დროის სუბიექტური ათვლის სტანდარტული განუსაზღვრელობა თანაბარი განაწილების კოეფიციენტის 95% სანდოობის დონისათვის მისი აბსოლუტური ცდომილების გათვალისწინებით:

$$u_{სუბ} = \frac{\Delta_{სუბ}}{\sqrt{3}} = 0,077$$

მიღებული მონაცემების გათვალისწინებით შევადგინეთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი (იხ. ცხრილი 29).

ცხრილი 29

ბიტუმში ნემსის შეღწევის სიღრმის (პენეტრაციის) განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

	შესასვლელი სიდიდის შეფასება	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
პენეტრომეტრის ათჯერადი გაზომვის მნიშვნელობა	71	$u_{\Sigma A} = 1,265$	ნორმალური
შტანგენფარგალის მთლიანი განუსაზღვრელობა		$u_{მთლ} = 0,0035\text{mm}$	თანაბარი
55°C-ინი თერმომეტრის სტანდარტული განუსაზღვრელობა		$u_{t55} = 0,0635^\circ\text{C}$	თანაბარი
200°C-ინი თერმომეტრის სტანდარტული განუსაზღვრელობა		$u_{t200} = 1,155^\circ\text{C}$	თანაბარი
დროის სუბიექტური ათვლის სტანდარტული განუსაზღვრელობა		$u_{სუბ} = 0,577$	თანაბარი

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოვიანგარიშოთ ბიტუმში ნემსის შეღწევის სიღრმის (პენეტრაციის) B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით:

$$u_{\Sigma B} = \sqrt{u_{\text{ბოლშ}}^2 + u_{t55}^2 + u_{t200}^2 + u_{\text{სუბ}}^2} \\ = \sqrt{0,0035^2 + 0,0635^2 + 1,155^2 + 0,577^2} = 1,29$$

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A,B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{1,265^2 + 1,29^2} = 1,81$$

ბიტუმში ნემსის შეღწევის სიღრმის (პენეტრაციის) ჯამური გაფართოებული განუსაზღვრელობა:

$$U = t_p(v)u_{\Sigma A,B}(F)$$

სადაც: $t_p(v)$ სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტი 0,95 ალბათობისა და $v = n - 1$ თავისუფლების რიცხვისათვის, რომელიც ნორმალური განაწილების კანონის შემთხვევაში მიახლოებით:

$$t_p = k \sqrt{1 + \frac{2}{n}} = 1,96 \sqrt{1,2} = 2,147.$$

მიღებული მნიშვნელობების გათვალისწინებით პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა იქნება:

$$U = 2,147 \cdot 1,81 = 3,9$$

გაზომვის შედეგი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

პენეტრაციის მნიშვნელობა:

$$P = 71 \pm 3,9$$

$$\text{ან } 67,1 \leq P = 71 \leq 74,9$$

2.16. ნავთობის ბიტუმის წელვადობის (დექტილების) გაზომვის განუსაზღვრელობის გამოთვლა

გაზომვის სპეციფიკაციის შედგენა:

გამოცდა მიმდინარეობდა "ГОСТ 11505-75"БИТУМЫ НЕФТЯНЫЕ. Метод определения растяжимости" მოთხოვნების შესაბამისად.

- მინის ვერცხლიწყლიანი თერმომეტრი გაზომვის სკალით 0-55 °C დანაყოფის ფასით 0,1 °C, სიზუსტის კლასი 0,1, აბსოლუტური ცდომილების ცვლილების დიაპაზონი $\pm 0,11^{\circ}\text{C}$.
- დექტილომეტრის ლითონის სახაზავის $0 \div 100$ მმ. დანაყოფის ფასით 1მმ. დაკალიბრების სერტიფიკატის მიხედვით A ტიპის გაფართოებული განუსაზღვრელობა შეადგენს $U_A = 0,004$ მმ.;
- ნიმუშის გაწყვეტის მომენტის დაფიქსირება ოპერატორის რეაქციის სუბიექტური ცდომილებითაა გამოწვეული, რომელიც სტატისტიკური ცნობარების მიხედვით, ადამიანისათვის $0,7 \div 1,2$ წმ-ს შეადგენს. შევირჩიეთ $\Delta_{\text{სუბ}} = 1$ წმ. ნიმუშის გაჭიმვის სიჩქარის (5სმ/წთ) გათვალისწინებით ერთ წამში შესრულებული გადაადგილება იქნება 0,0833 სმ/წმ. აღნიშნულის გათვალისწინებით თანაბარი განაწილებს შემთხვევისათვის სტანდარტული განუსაზღვრელობა იქნება:

$$u_{\text{სუბ}} = 0.0833 / \sqrt{3} = 0,048 \text{ სმ.}$$

A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა:

შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოთვლება შესასვლელი სიდიდის მნიშვნელობების 10 ჯერადი გაზომვის შედეგების მიხედვით ქვემოთ მოყვანილი ცხრილის მონაცემებით (იხ. ცხრილი 30):

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - X_i)^2} = \sqrt{\frac{8,4}{9}} = 0,966$$

ბიტუმის წელვადობის (დექტილების) A ტიპის განუსაზღვრელობის
გამოთვლა

	დექტილების გაზომვის შედეგები (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
1	>100	0.4	0.16
2	>100	0.4	0.16
3	>100	0.4	0.16
4	>99	0.6	0.36
5	>100	0.4	0.16
6	>100	0.4	0.16
7	>100	0.4	0.16
8	>97	2.6	6.76
9	>100	0.4	0.16
10	>100	0.4	0.16
შესას სიდ. საშ. არიტმეტიკ. \bar{x}_i	99,6	$ \Sigma =6,4$	$\Sigma=8,4$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1.2 ტოლია გვექნება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = 1.2 \cdot 0,966 = 1,591$$

- შევამოწმოთ შემთხვევითი სიდიდეების განაწილების კანონი:

\check{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება გვადლევს:

$$\check{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_{iq} - \bar{x}_i|}{n \cdot S^*}$$

სადაც:

$$S^* = \sqrt{\frac{(|x_{iq} - \bar{x}_i|)^2}{n}} = \sqrt{\frac{8,4}{10}} = 0,917$$

ამის გათვალისწინებით:

$$\check{d} = \frac{6,4}{10 \cdot 0,917} = 0,70$$

რაც მოთავსებულია \bar{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს გარეთ 10 გაზომვისათვის, რომლის ქვედა ზღვარი $d_{1-(\alpha/2)} = 0,7153$, ხოლო ზედა ზღვარი $d_{\alpha/2} = 0,903$ ე.ი. საქმე არა გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან. მივიღოთ განუსაზღვრელობის შეფასებისათვის შემთხვევითი სიდიდეების განაწილების ყველაზე ზოგადი, თანაბარი განაწილების კანონი, რომლისთვისაც A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობის მიხედვით გამოთვლილ გაფართოებულ განუსაზღვრელობას მოცვის კოეფიციენტის $k = 1,65$ მნიშვნელობას სანდოობის 95%-იანი ნდობისათვის ექნება სახე:

$$U_A = k \cdot u_{\Sigma A}(x_i) = 1,65 \cdot 1,591 = 1,9$$

B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა:

განვსაზღვროთ B ტიპის ჯამური განუსაზღვრელობის მდგენელები:

- მინის ვერცხლიწყლიანი 55°C-ინი თერმომეტრის სტანდარტული განუსაზღვრელობა მისი დასაშვები, თანაბარი განაწილების კოეფიციენტის 95% სანდოობის დონისათვის $\Delta_{t55} = \pm 0,11^\circ\text{C}$ მიხედვით გვექნება:

$$u_{t55} = \frac{\Delta_t}{\sqrt{3}} = \frac{0,11}{1,732} = 0,0635^\circ\text{C}$$

- ოპერატორის დროის სუბიექტური ათვლის სტანდარტული განუსაზღვრელობა თანაბარი განაწილების კოეფიციენტის 95% სანდოობის დონისათვის მისი აბსოლუტური ცდომილების გათვალისწინებით:

$$u_{\text{სუბ}} = \frac{\Delta_{\text{სუბ}}}{\sqrt{3}} = 0,28 \text{ მმ.}$$

- დუქტილომეტრის ლითონის სახაზავის $0 \div 100$ მმ. დანაყოფის ფასით 1მმ. დაკალიბრების სერტიფიკატის მიხედვით A ტიპის გაფართოებული განუსაზღვრელობა შეადგენს $U_A = 0,004$ მმ.; თანაბარი განაწილების კანონის მოცვის კოეფიციენტის გათვალისწინებით 95%-იანი სანდოობის დონისათვის სტანდარტული განუსაზღვრელობა იქნება:

$$u_{\text{საზ}} = U_A / 1,65 = 0,004 / 1,65 = 0,0024 \text{ მმ.}$$

მიღებული მონაცემების გათვალისწინებით შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი (იხ. ცხრილი 31):

ბიტუმის წელვადობის (დექტილების) განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

	შესასვლელი სიდიდის შეფასება	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
დექტილების გაზომვის შედეგი	99,6	$u_{\Sigma A}(x_i) = 1,159$	თანაბარი
55°C-ინი თერმომეტრის სტანდარტული განუსაზღვრელობა		$u_{t55} = 0,0635^{\circ}\text{C}$	თანაბარი
დროის სუბიექტური ათვის სტანდარტული განუსაზღვრელობა		$u_{სუბ} = 0,28$ მმ.	თანაბარი
დექტილომეტრის ლითონის სახაზავის A ტიპის გაფართოებული განუსაზღვრელობა		$u_{სახ} = 0,0024$ მმ.	თანაბარი
ელექტრონული სასწორი		$u_{სასწ} = 0,052$ მმ.	თანაბარი

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოვიანგარიშოთ ბიტუმში დექტილების B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით:

$$u_{\Sigma B} = \sqrt{u_{სახ}^2 + u_{t55}^2 + u_{სუბ}^2 + u_{სასწ}^2} =$$

$$\sqrt{0,0024^2 + 0,0635^2 + 0,28^2 + 0,052^2} = 0,293$$

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A,B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{1,159^2 + 0,293^2} = 1,279.$$

ბიტუმის დექტილების ჯამური გაფართოებული განუსაზღვრელობა:

$$U = t_p(v)u_{\Sigma A,B}(F)$$

სადაც: $t_p(v)$ სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტია 0,95 ალბათობისა და $v = n - 1$ თავისუფლების რიცხვისათვის, რომელიც თანაბარი განაწილების კანონის შემთხვევაში მიახლოებით:

$$t_p = k \sqrt{1 + \frac{2}{n}} = 1,65 \sqrt{1,2} = 1,807.$$

მიღებული მნიშვნელობების გათვალისწინებით პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა იქნება:

$$U = 1,807 \cdot 1,279 = 2,3 \text{ სმ.}$$

გაზომვის შედეგი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

დუქტილების (D) მნიშვნელობა:

$$D = 99,6 \pm 2,3$$

$$\text{ან } 97,3 \leq D = 99,6 \leq 101,9$$

2.17. რგოლისა და სფეროს მეთოდით ნავთობის ბიტუმის დარბილების ტემპერატურის განუსაზღვრელობის გამოთვლა

გაზომვის სპეციფიკაციის შედგენა:

- მინის ვერცხლიწყლიანი თერმომეტრი გაზომვის სკალით 0-55 °C დანაყოფის ფასით 0,1 °C, სიზუსტის კლასი 0,1, აბსოლუტური ცდომილების ცვლილების დიაპაზონი $\pm 0,11^\circ\text{C}$.
- მინის ვერცხლიწყლიანი თერმომეტრი გაზომვის სკალით 0-200 °C, დანაყოფის ფასით 1 °C, სიზუსტის კლასი 1, აბსოლუტური ცდომილების ცვლილების დიაპაზონი $\pm 2^\circ\text{C}$;

A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა:

შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოთვლება შესასვლელი სიდიდის მნიშვნელობების 10 ჯერადი გაზომვის შედეგების მიხედვით ქვემოთ მოყვანილი ცხრილის მონაცემებით (იხ. ცხრილი 32).

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - X_i)^2} = \sqrt{\frac{1,525}{9}} = 0,412$$

ბიტუმის დარბილების ტემპერატურის A ტიპის განუსაზღვრელობის
განსაზღვრა

	გაზომვის შედეგები (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
1	45.5	0.35	0.123
2	45.5	0.35	0.123
3	46	0.15	0.022
4	46.5	0.65	0.422
5	46.5	0.65	0.422
6	46	0.15	0.022
7	45.5	0.35	0.123
8	46	0.15	0.0225
9	45.5	0.35	0.1225
10	45.5	0.35	0.123
შესას სიდ საშ. ართმეტიკ. \bar{x}_i	45.9	$ \Sigma =3.5$	$\Sigma=1.525$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1.2 ტოლია გვექნება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = 1.2 \cdot 0,412 = 0,494$$

- შევამოწმოთ შემთხვევითი სიდიდეების განაწილების კანონი:

\tilde{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება გვადლევს:

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_{iq} - \bar{x}_i|}{n \cdot S^*}$$

სადაც:

$$S^* = \sqrt{\frac{(|x_{iq} - \bar{x}_i|)^2}{n}} = \sqrt{\frac{1,525}{10}} = 0,391$$

ამის გათვალისწინებით:

$$\bar{d} = \frac{3,6}{10 \cdot 0,415} = 0,90$$

რაც მოთავსებულია \bar{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის:

$$d_{1-(\alpha/2)} = 0,7153 < \bar{d} = 0,90 < d_{\alpha/2} = 0,903$$

ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან.

A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობის მიხედვით გამოთვლილ გაფართოებულ განუსაზღვრელობას განაწილების ნორმალურობის შემთხვევაში სანდოობის 95%-იანი ნდობით ექნება სახე:

$$U_A = k \cdot u_{\Sigma A}(x_i) = 1,96 \cdot 0,494 = 1,0$$

B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლა:

განვსაზღვროთ B ტიპის ჯამური განუსაზღვრელობის მდგენელები:

- მინის ვერცხლიწყლიანი 55°C-ინი თერმომეტრის სტანდარტული განუსაზღვრელობა მისი დასაშვები, თანაბარი განაწილების კოეფიციენტის 95% სანდოობის დონისათვის $\Delta_{t55} = \pm 0,11^\circ\text{C}$ მიხედვით გვექნება:

$$u_{t55} = \Delta_t / \sqrt{3} = 0,11 / 1,732 = 0,0635^\circ\text{C}$$

- მინის ვერცხლიწყლიანი 200°C-ინი თერმომეტრის სტანდარტული განუსაზღვრელობა მისი დასაშვები, თანაბარი განაწილების კოეფიციენტის 95% სანდოობის დონისათვის $\Delta_{t200} = \pm 0,11^\circ\text{C}$ მიხედვით გვექნება:

$$u_{t200} = \Delta_t / \sqrt{3} = 0,11 / 1,732 = 0,0635^\circ\text{C}$$

- ტემპერატურის ზრდის სიჩქარის ცდომილება შეადგენს $\pm 0,5^\circ\text{C}$. ამ მნიშვნელობის მიერ გამოწვეული განუსაზღვრელობა თანაბარი განაწილების შემთხვევისათვის:

$$u_{\text{სიჩქ}} = \Delta_{\text{სიჩქ}} / \sqrt{3} = 0,5 / 1,732 = 0,288$$

- ოპერატორის სუბიექტური ცდომილებით გამოწვეული დამატებითი განუსაზღვრელობა თანაბარი განაწილების შემთხვევისათვის:

$$u_{სუბ} = \frac{\Delta_{სუბ}}{\sqrt{3}} = \frac{0,083}{1,732} = 0,048.$$

მიღებული მონაცემების გათვალისწინებით შევადგინეთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი (იხ. ცხრილი 33).

ცხრილი 33

ბიტუმის დარბილების ტემპერატურის განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

	შესასვლელი სიდიდის შეფასება	შესასვლელი სიდიდების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილები ს სახე
დარბილების ტემპერატურის გაზომვის შედეგი	45,9	$u_{\Sigma A} = 0,494$	ნორმალური
55°C-ინი თერმომეტრის სტანდარტული განუსაზღვრელობა		$u_{t55} = 0,0635^{\circ}\text{C}$	თანაბარი
200°C-ინი თერმომეტრის სტანდარტული განუსაზღვრელობა		$u_{t200} = 1,155^{\circ}\text{C}$	თანაბარი
დროის სუბიექტური ათვლის სტანდარტული განუსაზღვრელობა		$u_{სუბ} = 0,048.$	თანაბარი
ტემპერატურის ზრდის სიჩქარის განუსაზღვრელობა		$u_{სიჩქ} = 0,288$	თანაბარი

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოვიანგარიშეთ ბიტუმში დარბილების ტემპერატურის გაზომვის B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით:

$$u_{\Sigma B} = \sqrt{u_{t55}^2 + u_{t200}^2 + u_{სუბ}^2 + u_{სიჩქ}^2} = \sqrt{0,0635^2 + 1,155^2 + 0,048^2 + 0,288^2} = 1,193$$

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A,B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{0,494^2 + 1,193^2} = 1,291$$

ბიტუმში დარბილების ტემპერატურის განსაზღვრის ჯამური გაფართოებული განუსაზღვრელობა:

$$U = t_p(v)u_{\Sigma A,B}(F)$$

სადაც: $t_p(v)$ სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტია 0,95 ალბათობისა და $v = n - 1$ თავისუფლების რიცხვისათვის, რომელიც ნორმალური განაწილების კანონის შემთხვევაში მიახლოებით:

$$t_p = k \sqrt{1 + \frac{2}{n-1}} = 1,96 \sqrt{1,2} = 2,147.$$

მიღებული მნიშვნელობების გათვალისწინებით პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა იქნება:

$$U = 2,147 \cdot 1,291 = 2,8$$

გაზომვის შედეგი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

პენეტრაციის მნიშვნელობა:

$$T = 45,9 \pm 2,8 \text{ ან } 43,1 \leq T = 45,9 \leq 48,6$$

2.18. ასფალტბეტონის გამოსაკვლევი პარამეტრების განუსაზღვრელობების გამოთვლა

გაზომვის განუსაზღვრელობის გამოხატვის ძირითადი სახე არის სტანდარტული განუსაზღვრელობა u ; [40].

გაზომვის განუსაზღვრელობის გამოხატვის ძირითადი სახე, როდესაც შედეგი განისაზღვრება სხვა სიდიდეების მნიშვნელობების საშუალებით, არის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა u_{Σ} ; [39].

აუცილებლობის შემთხვევაში გამოითვლიან გაფართოებულ განუსაზღვრელობას:

$$U = k \cdot u_{\Sigma} \quad [40]$$

სადაც k – მოცვის (დაფარვის) კოეფიციენტი, რომელსაც იყენებენ როგორც მამრავლს ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობის საშუალებით გაფართოებული განუსაზღვრელობის მისაღებად (იხ. ცხრილი 34) [38].

ცხრილი 34

მოცვის (დაფარვის) კოეფიციენტის k მნიშვნელობა სხვადასხვა განაწილების კანონისთვის

განაწილების კანონი	მოცვის (დაფარვის) ალბათობა p			
	0.9	0.95	0.99	0.9973
თანაბარი (მართკუთხა)	1.56	1.65	1.71	$\sqrt{3}$
ნორმალური	1.64	1.96	2.58	3
სიმპსონი (სამკუთხა)	1.67	1.9	2.2	$\sqrt{6}$
ლაპლასი (ორმაგი ექსპონენციალური)	1.63	2.12	3.26	4.18
არკსინუსი	1.4	1.4	1.41	$\sqrt{2}$

$$U = t_p(v) u_{\Sigma A,B}(F) \quad [40]$$

სადაც: $t_p(v)$ სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტი 0,95 ალბათობისა და $v = n - 1$ თავისუფლების რიცხვისათვის, რომელიც ნორმალური განაწილების კანონის შემთხვევაში მიახლოებით:

$$t_p = k \sqrt{1 + \frac{2}{n-1}} = 1,96 \sqrt{1,2} = 2,147$$

შესწორების კოეფიციენტი განისაზღვრება ცხრილი 35-ის მიხედვით [40]:

\tilde{d} კრიტერიუმის კრიტიკული მნიშვნელობები აიღება ცხრილ 36-ის მიხედვით, სადაც ნორმალური განაწილების კანონის პირობაა [40]:

$$d_{1-\frac{\alpha}{2}} \leq d_{\alpha/2}$$

შესწორების კოეფიციენტის დამოკიდებულება დაკვირვების რაოდენობაზე

შესწორების კოეფიციენტის დამოკიდებულება დაკვირვების რაოდენობაზე $p=0.9545$ სანდოობის დონისთვის								
დაკვირვებათა რაოდენობა n	2	3	4	5	6	7	8	9
$\frac{tp(v)}{kp}$	7.0	2.2	1.7	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2

d კრიტერიუმის კრიტიკული მნიშვნელობები

n	$d_{1-(\frac{\alpha}{2})}$	$d_{\alpha/2}$
< 11	0.7153	0.9073
12--16	0.7236	0.8884
17-21	0.7304	0.8768
22-26	0.7360	0.8686
27-31	0.7404	0.8625
32-36	0.7440	0.8578
37-41	0.7470	0.8540
41-46	0.7496	0.8508
47-51	0.7518	0.8482

ლაბორატორიული ცდებით გამოითვალა ასფალტბეტონის გამოსაკვლევი პარამეტრების განუსაზღვრელობების მნიშვნელობები (იხ. ცხრილი 37).

ცხრილი 37

ასფალტბეტონის გამოსაკვლევი პარამეტრების განუსაზღვრელობები

№	ასფალტბეტონის გამოსაკვლევი პარამეტრების განუსაზღვრელობის განსაზღვრა	შესასვლელი სიდიდის საშ. არითმეტიკული.	A ტიპის განუსაზღვრელობა	B ტიპის განუსაზღვრელობა	გაზომვის შედეგები
1	ასფალტბეტონის ნარევი ბიტუმის % შემცველობა	6.1	0.2	0.2	B ბიტუმი=6,1±0,2
2	ნარჩენი ფორიანობა	4.9	0.2	0.3	V _{ფორ} =4,9±0,3
3	სტაბილურობა	10.7	0.4	0.4	S _{სტაბ} =10,7±0,4
4	დენადობა	3.4	0.2	0.2	F _{დენად} =3,4±0,2
5	ლაბ.ფორმ.ასფალტბეტონის ნიმუშიზე ამოხეხილი ბორბლის კვალი	13.9	1.1	1.2	L _{ბორბ} =13,9±1,2
6	ბიტუმში ნემსის შეღწევის სიღრმე (პენეტრაცია)	71	2.5	3.9	P=71±3,9
7	ბიტუმის წელვადობა (დექტილეზა)	99.6	1.9	2.3	D=99,6±2,3
8	ბიტუმის დარბილების ტემპერატურა	45.9	1.0	2.8	T=45,9±2,8

აღნიშნული მონაცემები, გათვალისწინებულ იქნა ექსპერიმენტებით მიღებული შედეგების განსაზღვრისას.

დასკვნა

1. ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ 30%-იანი გოგირდბიტუმის შემკვრელით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას ტრადიციულ (უდანამატო) ასფალტბეტონთან შედარებით გაიზარდა 30,6 - 35,3%-ით;
2. 30%-იანი გოგირდბიტუმის შემკვრელით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების ლაბორატორიული კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ ნიმუშების სტაბილურობა (ძვრისადმი მედეგობა) გაიზარდა 27,5%-ით, დენადობა შემცირდა - 5,4%-ით, ხოლო მარშალის კოეფიციენტი გაიზარდა 34,4%-ით;
3. მარშალის ნიმუშების ლაბორატორიული კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ ბიტუმის ადგეზიურ „Wetfix Be“-ის დანამატთან ასფალტბეტონთან შედარებით, 30%-იანი გოგირდბიტუმის შემკვრელით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების სტაბილურობა გაიზარდა 13,6 %-ით, დენადობა შემცირდა 40,9 %-ით;
4. ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ 30%-იანი გოგირდბიტუმის შემკვრელით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ყინვამედეგობა ტრადიციულ (უდანამატო) ასფალტბეტონთან შედარებით გაიზარდა - 33,3 - 34,5%-ით;
5. ბორბლის ნაკვალევის განმსაზღვრელ ხელსაწყოზე 30%-იანი გოგირდბიტუმის შემკვრელით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის გამოცდისას დადგინდა, რომ დეფორმაციისადმი მედეგობა ტრადიციულ (უდანამატო) ასფალტბეტონთან შედარებით გაიზარდა 21,4%-ით;
6. ექსპერიმენტული კვლევების შედეგებმა გვიჩვენა, რომ მოდიფიცირებულ შემკვრელში გოგირდის 40%-ის და მეტის დამატების შემთხვევაში პენეტრაცია 25°C ტემპერატურაზე შემცირდა 16,7%-ით, წელვადობა შემცირდა 25%-ით, დარბილების ტემპერატურა გაიზარდა 13,5%-ით, ხოლო სიმყიფის ტემპერატურა შემცირდა 30%-ით.

აღნიშნული კვლევებით დასტურდება, რომ ორგანულ შემკვრელში გოგირდის რაოდენობა რეკომენდირებულია არ აღემატებოდეს 30%-ს.

7. 30%-იანი მოდიფიცირებული გოგირდის გამოყენებით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ღირებულება უდანამატო ასფალტბეტონის ღირებულებასთან შედარებით შემცირდა - 5.26 %-ით;
8. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევებით მიღებული შედეგების საფუძველზე, ასევე ეკონომიური ეფექტურობის ანალიზის გათვალისწინებით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მოდიფიცირებული გოგირდის 20-30%-იანი დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის გამოყენება საგზაო მშენებლობაში ზრდის ფენილის სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო თვისებებს და ამცირებს ფინანსურ დანახარჯებს.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. მჭედლიშვილი. კ., ბურდულაძე ა. საავტომობილო გზების დაპროექტების საფუძვლები, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2016, გვ 6-14.
2. Jun, Z., Little, D., Sakhaeifar, M.S. Characterisation of rheological properties of sulfur-extended asphalt with/without crumb rubber. International Journal of Pavement Engineering. 2020, pp 7 -10 p.
3. Le, H.T., Korolev, E.V., Grishina, A.N., Gladkikh V.A. Reasons for Reduced Moisture Resistance of Sulfur-Extended Asphalt Concrete. “Nanomaterials and Nanotechnology”, Research Center “MGSU Stroy-Test”, 2021, pp 2-4.
4. Sakib, N., Bhasin, A., Islam A.K. A review of the evolution of technologies to use sulphur as a pavement construction material. International Journal of Pavement Engineering. 10 May 2019, pp 2-3.
5. Yasser M. Alghrafiy, Badawy S.E., Abd, E.M. Rheological and environmental evaluation of sulfur extended asphalt binders modified by high- and low-density polyethylene recycled waste, Construction and Building Materials. 2021, pp 2-5.
6. Nguyen, V.H, Lê, P. Performance evaluation of sulfur as alternative binder additive for asphalt mixtures, International Journal of Pavement Research and Technology. 2019, pp 2-4.
7. Гладких В.А., Королев Е.В. ФГБОУ ВПО «МГСУ» Технично-экономическая эффективность применения сероасфальтобетонов. Вестник, Строительное материаловедение, 2013, с 7-8.
8. Методические рекомендации по применению асфальтобетонов с добавкой серы и по технологии строительства из них дорожных покрытий. СОЮЗДОРНИИ, Москва, 1986, с 5-6.
9. Королев Е.В., Баженов Ю.М., Албакасов А.И. Радиационно-защитные и химические стойкие серные строительные материалы. Оренбург, ИПК ОГУ, 2010, с 155-180.
10. Strikljend D., Kolanzh D., Shou P., Pag N. Study of the properties of asphalt mixes with sulfur additives at low temperatures. Shell Sulfur Solutions, 2009, pp 16-18.
11. Timm D., Trjen N., Tejlor A., Robbins M., Paujell B. Evaluation of the quality of the mixture and the structural strength of pavements using Shell Thiave. Report NZAT 09-05, Auburn University, 2009, pp 2-3.
12. Okumura H.A.. Sulfur Concrete Technology. British Columbia, Canada V1R 4L8, 2011, pp 5-8.
13. Gavrilov, M.M., Zalomlenkov, V.A., Gidasпов, A.A. et al. Technology of Producing Sulfur-Asphalt Binders for Road Construction. Chemistry and Technology of Fuels and Oils 53, 2018, pp 846–851.

14. Abdullah, G.M.S. Pavement Thickness Design Charts Derived from Rut Depth Models Developed for Foamed and Emulsified Sulfur Asphalt Soil Mixes. *Geotechnical and Geological Engineering* 38, 2020, pp 2-5.
15. Nguyen, V.H., Le, V.P, Performance evaluation of sulfur as alternative binder additive for asphalt mixtures. *International Journal of Pavement Research and Technology* 12, 2019, pp 380–387.
16. Al-Hadidy, A.I. Sustainable Recycling of Sulfur Waste Through Utilization in Asphalt Paving Applications. *International Journal of Pavement Research and Technology* 1, 2022, pp 1-3.
17. Галдина В.Д. СЕРОБИТУМНЫЕ ВЯЖУЩИЕ. Монография. 2011, 193 с.
18. ТУ 5718-001-53737504-03 - Смеси сероасфальтобетонные литые и литой сероасфальтобетон, 2003, с 5-8.
19. ПНСТ 191-2017 - СМЕСИ СЕРОАСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ ДОРОЖНЫЕ И СЕРОАСФАЛЬТОБЕТОН Технические условия, 2017, pp 5-6.
20. ПНСТ 266-2018 - Смеси сероасфальтобетонные литые и литой сероасфальтобетон. Технические условия, 2018, с 3-5.
21. Alghrafy, Y.M., Abd Alla, ES.M. & El-Badawy, S.M. Phase angle master curves of sulfur-extended asphalt modified with recycled polyethylene waste. *Innovative Infrastructure Solutions*. 6, 2021, pp 84-85.
22. Eisa, M.S., Basiouny, M.E. & Elbasomy, O.A. Evaluating hot asphalt mixtures of poor quality aggregate with sulphur extended asphalt. *Innovative Infrastructure Solutions* 4, 2019, pp 56-57.
23. Gul, M.A., Khan, K., Islam, M.K., Salabi, F.I., Ozer, H.,Hajj, R., Bashin, A. Evaluation of various factors affecting mix design of sulfur-extended asphalt mixes. *Construction and Building Materials*. Volume 290, 2021, pp 1-3.
24. Bai, T., Zhang, H., Mao, C., Wang, G., Wu, Y., Bai, H., Li, Y. Sulfur modification with dipentene and ethylhexyl acrylate to enhance asphalt mixture performance. *Construction and Building Materials*. Volume 343, 2022, pp 2-3.
25. Yaser, M.A., Badwey, M.E., Alla, E.M.Rheological and environmental evaluation of sulfur extended asphalt binders modified by high- and low-density polyethylene recycled waste. *Construction and Building Materials*. Volume 307, 2021, pp 2-5.
26. Wang, S., Huang, W., Kang, A. Laboratory evaluation of the properties of high-cured crumb rubber modified asphalt containing sulfur and polymer after the oxidative aging procedure. *Construction and Building Materials*. Volume 304, 2021, pp 1-3.
27. Kwon, H., Lee, A.S., Lee, J.H., Park, N. K., Kim, G.D., Cho, B., Choi S.C. Yi, S. Characterization of liquid state sulfur polymer/epoxy blend as asphalt pavement materials. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Volume 53, 2021, pp 386-391.
28. Gwon, S., Shin, M. Rheological properties of modified sulfur polymer composites containing cement-fly ash blend at different temperatures. *Construction and Building Materials*. Volume 228, 2019, pp 1-3.

29. Tang, N., Dong, R. Anti-Aging potential of sulphur in terminal blend rubberized asphalt binder. *Construction and Building Materials*. Volume 250, 2020, pp 2-4.
30. Hu, X., Zhang, H., Bai, T., Pan, P., Xu, P., Walubita, L.F. Effects of using brake pad waste powder as a filler material on the rheological and mechanical properties of a sulfur modified asphalt mixture. *Construction and Building Materials*. Volume 198, 2019, pp 742-750.
31. Liang, M., Xin, X., Fan, W., Wang, H., Ren, S., Shi, J. Effects of polymerized sulfur on rheological properties, morphology and stability of SBS modified asphalt. *Construction and Building Materials*. Volume 150, 2017, pp 860-871.
32. Faramarzi, M., Golestani, B., Lee, K.W. Improving moisture sensitivity and mechanical properties of sulfur extended asphalt mixture by nano-antistripping agent. *Construction and Building Materials*. Volume 133, 2017, pp 534-542.
33. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования безопасности, 1989, с 10-11.
34. Velasco, A., Sagastume, J. M., Sanchez, A.G. Evaluation of a hybrid physicochemical/biological technology to remove toxic H₂S from air with elemental sulfur recovery. *Chemosphere*. Volume 222, 2019, pp 732-741.
35. პაპუაშვილი თ, ბედუკაძე დ. ადგილობრივ ინერტულ მასალებზე დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების გამოცდა სტაბილურობა და დენადობაზე. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №4(47) თბილისი, 2017, გვ. 90-92.
36. ბედუკაძე დ. ადგილობრივი ინერტული მასალებით დამზადებული უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების გამოცდა ყინვამედეგობაზე. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №1(48) თბილისი, 2018, გვ 54-56.
37. პაპუაშვილი თ, ბედუკაძე დ. ადგილობრივ ინერტულ მასალებზე დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის გამოცდა დეფორმაციისადმი (ბორბლის კვალი) მედეგობაზე. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №4(47) თბილისი, 2017, გვ. 31-33.
38. ბედუკაძე დ. ასფალტბეტონის ნარევი ბიტუმის პროცენტული შემცველობის განუსაზღვრელობის განსაზღვრა ექსპერიმენტული გზით. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №1(61) თბილისი, 2022, გვ 44-47.
39. Арабидзе. Г.О. Угольная промышленность в Грузии – вызовы возможности и ситуация с СММ. „Днепр“ №3, 2019, 5 с.
40. РМГ 43-2001 - ПРИМЕНЕНИЕ "РУКОВОДСТВА ПО ВЫРАЖЕНИЮ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ", 2001, с 1-4.