

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ხელნაწერის უფლებით

დავით ბედუკაძე

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

სადოქტორო პროგრამა - „მშენებლობა“

შიფრი - 0732

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარმოდგენილი დისერტაციის

ავტორ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2022 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
სამშენებლო ფაკულტეტი
საავტომობილო გზების დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი თენგიზ პაპუაშვილი

რეცენზენტი: -----

რეცენზენტი: -----

დაცვა შედგება 2022 წლის ”-----” ივლისს, ”-----” საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის
სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე,
კორპუსი I, აუდიტორია ”-----”
მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი

დ. ტაბატაძე

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, მივყავართ 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.

მოდერნიზირებული 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.

მოდერნიზირებულ 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.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები და ზოგადი დასკვნები:

პირველ თავში განხილულია:

- საავტომობილო გზა და მასზე მოქმედი ფაქტორები; მოდიფიცირებული გოგირდის გამოყენება საგზაო მშენებლობაში; გოგირდის სანედლეულო რესურსები; გოგირდისა და ბიტუმის ურთიერთქმედების ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები; გოგირდბიტუმის შემკვრელების დამზადების ტექნოლოგიური თავისებურებანი; უსაფრთხოების ზომები გოგირდბიტუმის შემკვრელებთან მუშაობისას.

მეორე თავში განხილულია:

- გოგირდასფალტბეტონის ნარევი 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 ნარევი შეადგინა 6.1%. გოგირდბიტუმის შემკვრელის ოპტიმალური პროცენტული შემცველობა B ასფალტბეტონის ნარევი 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 ნარევი, დადგენილი შედგენილობის დაპროექტების დროს, მასის%; S¹ და B₂ გოგირდისა და

ბიტუმის წილი შემკვრელში, შესაბამისად, მასის %; ρ^s და ρ^b - გოგირდისა და ბიტუმის სიმკვრივეები, გ/სმ³.

ბიტუმის პროცენტული რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$B = \frac{B \times B2}{100}$$

გოგირდის პროცენტული რაოდენობა ნარევი კი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$S = \frac{B \times S1}{100}$$

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

გოგირდასფალტბეტონის ნარევი ბიტუმის, მოდიფიცირებული გოგირდის და გოგირდბიტუმის ოპტიმალური პროცენტული შემცველობის განსაზღვრა ნაჩვენებია ცხრილ 1-ში.

ცხრილი 1

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

შემკვრელის შემცველობა მინერალური ნაწილის მასიდან	შემკვრელის სახეობა				
	უდანამატო ასფალტბეტონი	გბმ 10% მოდ.გოგირდი	გბმ 20% მოდ.გოგირდი	გბმ 30% მოდ.გოგირდი	გბმ 40% მოდ.გოგირდი
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

გოგირდასფალტბეტონის ნარევი 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.

▪ **ბიტუმის და გოგირდბიტუმის თვისებების ექსპერიმენტული კვლევა** ლაბორატორიაში 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 ხელსაწყოთი შემოწმებით. ცხრილ 2-ში ნაჩვენებია აღნიშნული გამოცდის შედეგები.

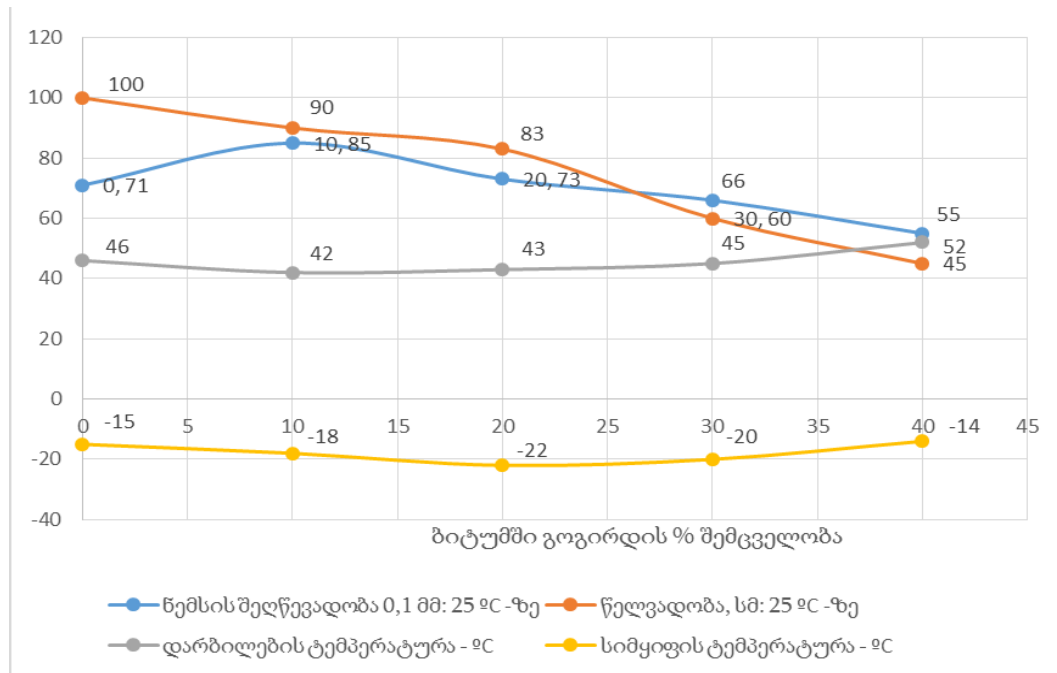
ცხრილი 2

BH 60/90 მარკის ბიტუმის და გოგირდბიტუმის შემკვრელების თვისებების კვლევა

მაჩვენებელი	გოგირდის შემცველობა, % მასიდან					ГОСТ 22245-90 - ის მოთხოვნები BH 60/90 მარკის ბიტუმისადმი
	BH 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, გბმ-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 BH 60/90 მარკის ბიტუმში არ უნდა

აღემატებოდეს 30%-ს. მოცემული ცხრილის მონაცემების მიხედვით ავაგეთ შესაბამისი გრაფიკი (იხ. ნახაზი 1).



ნახ. 1. BH 60/90 მარკის ბიტუმის და გოგირდბიტუმის შემკვრელების თვისებების კვლევა

აღილობრივი 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 ხრემოვანი 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, ყინვამედეგობა (გაყინვა-გაღობის ციკლებზე გამოცდა), ცვეთამედეგობა

(ლოს ანჯელესის მეთოდი) სიმტკიცის მარკა მსხვრევალობაზე (წნეხის გამოყენებით მსხვრევალობაზე გამოცდა); ნაყარი სიმკვრივე (მასისა და მოცულობის შეფარდებით); საშუალო სიმკვრივე (ჰიდროსტატიკური აწონვის მეთოდი); ჭეშმარიტი სიმკვრივე (ლე შატელიეს მეთოდი).

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 ფიზიურ-მექანიკური თვისებების განსაზღვრის შემდეგ, განვსაზღვრეთ ასევე ბუნებრივი ქვიშის და ნამსხვრევი ქვიშის (ფრაქციით 0-5მმ) ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები კერძოდ: მინერალური მასალის გრანულომეტრული შედგენილობა (საცრული ანალიზის მეთოდი); 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).

მდ.მტკვარის ხრეშოვანი მასალის ბუნებრივად მოპოვებულმა და დამტვრევით 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/სმ^3 დატკეპნისას); ფორიანობა, %

მოცულობიდან; ბიტუმტევადობის მაჩვენებელი, გაფუება ფხვნილისა და ბიტუმის ნარევისგან დამზადებული ნიმუშების, % მოცულობიდან; კუთრი წონა, გ/სმ³; ტენიანობა, % მასიდან.

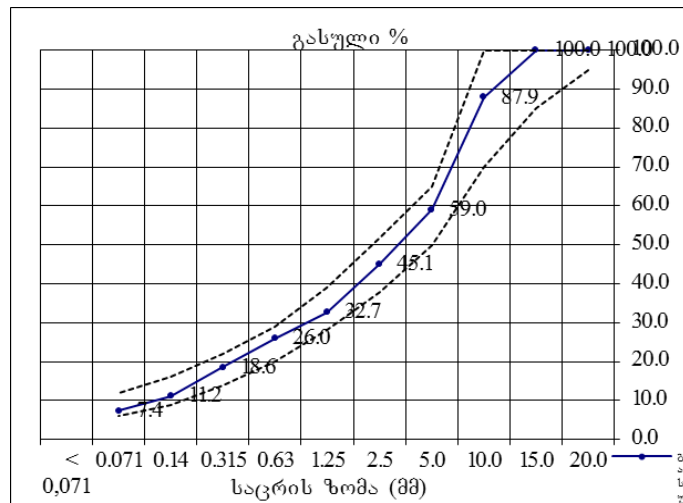
წარმოდგენილმა მინერალურმა ფხვნილმა დააკმაყოფილა გოსტ 16557-78 „მინერალური ფხვნილი ასფალტბეტონის ნარევისათვის ტექნიკური პირობები“-ს მოთხოვნები და შესაძლებელია გამოვიყენოთ ასფალტბეტონის რეცეპტის დაპროექტებისათვის. გამოცდის პროცესი ნაჩვენებია ნახაზ 2-ზე.



ნახაზი 2. ქალაქ თბილისში ფონიჭალასთან მდინარე მტკვარზე მდებარე კარიერის ხრეშოვანი მასალის სამსხვრევ-დამახარისხებელ დანადგარზე დამტვრეული - ლორღის და ქვიშის, დედოფლისწყაროს რაიონში კირქვის საბადოდან მოპოვებული მინერალური ფხვნილის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა

▪ უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%-იანი დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის შემადგენლობის დაპროექტება. ადგილობრივი ინერტული მასალების - ლორღი, ქვიშა და მინერალური ფხვნილის და საქართველოში ძირითადად გამოყენებადი ბიტუმის მარკით BH 60/90-ის გამოყენებით შევადგინეთ წვრილმარცვლოვანი (B ტიპი, მარკა II) ასფალტბეტონის ნარევის ოპტიმალური რეცეპტი, სადაც ლორღი ადებულ 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.3).



ნახ.3 ასფალტბეტონში მინერალური მასალის გრანულომეტრიული შედგენილობა

ნარევი ბიტუმის შემცველობა განსაზღვრულ იქნა CONTROLS-ის ფირმის 75-B0005 მარკის ავტომატურ ექსტრაქტორზე ექსტრაგირების მეთოდით, EN 12697-ის ნაწილი 1-ის მიხედვით (ხსნადი შემკვრელის შემცველობა) (იხ. ნახ. 4).



ნახ. 4 ასფალტბეტონის ნარევის ავტომატური ექსტრაქტორი

შესაბამისად ლაბორატორიული ცდებით განვსაზღვრეთ უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30% დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების

ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები: აბსოლიტური 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 3):

ცხრილი 3
უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30% და დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა

ასფალტბეტონის სახეობა: წვრილმარცვლოვანი, მკვრივი E ტიპი, მარკა II					
მაჩვენებელი	შემკვრელი				დასაშვები ზღვრები
	უდანამატო ა/ზ (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

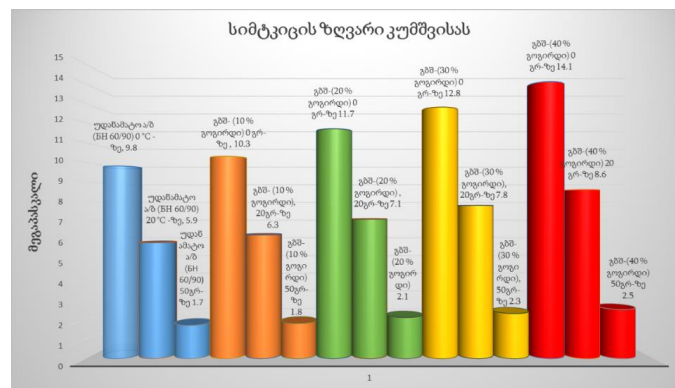
უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის შემადგენლობის დაპროექტების შემდეგ, განისაზღვრა მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები ექსპერიმენტული გზით.

▪ 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 ტემპურატურებზე ГОСТ 9128-97-ის მიხედვით. გამოცდის შედეგები ნაჩვენებია ცხრილ 4-ზე.

უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების გამოცდა სიმტკიცეზე კუმშვისას

მაჩვენებელი	შემკვრელი					ГОСТ 9128-97-ის მოთხოვნები Б ტიპის მარკა II-სადმი
	უდანამატო ა/ბ (БН 60/90)	გბმ- (10 % გოგირდი)	გბმ- (20 % გოგირდი)	გბმ-(30 % გოგირდი)	გბმ-(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	არა ნაკლებ 2.5
50 °C	1.70	1.80	2.10	2.30	2.50	არა ნაკლებ 1.3

ცხრილი 4-ის მონაცემებიდან ჩანს, რომ გბმ-ზე დამზადებულ გოგირდასფალტბეტონებს უკეთესი სიმტკიცის მაჩვენებლები აქვთ БН 60/90 მარკის ბიტუმზე დამზადებულ Б ტიპის ასფალტბეტონთან შედარებით. ასევე მიღებული შედეგების საფუძველზე ავაგეთ შესაბამისი გრაფიკი (იხ. ნახ. 5).



ნახ. 5. უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%, 40%-ით დამზადებული ნიმუშების სიმტკიცე კუმშვაზე გამოცდის გრაფიკული გამოსახულება

როგორც ცხრილი 4-დან და ნახაზი 5-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.

▪ უდანამატო ასფალტბეტონის მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%-იანი დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის და ადგეზიური დანამატის „Wetfix Be“-ის დამატებით დამზადებული ნიმუშების ექსპერიმენტული კვლევა მარშალის ტესტის ხელსაწყოზე. სსიპ ლევან სამხარაულის სახელობის სასამართლო ექსპერტიზის ეროვნული ბიუროს კირიაკ ზავრიევის სამშენებლო მექანიკის, სეისმომედეგობის და საინჟინრო ექსპერტიზის ცენტრის (დეპარტამენტი) ნორმატიული, ტექნიკური და ექსპერიმენტული 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. 6-ზე.



ნახ. 6. უდანამატო ასფალტბეტონის მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30% დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების გამოცდის პროცესი მარშალის ტესტის ხელსაწყოზე

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

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 $60 (\pm 1)^{\circ}\text{C}$ -ს.

ნიმუშზე განხორციელდა დატვირთვა, რომლის შედეგადაც, გარკვეული გარდამავალი პერიოდის შემდგომ, მივიღეთ $50 (\pm 2)$ მმ/წთ მუდმივი სიჩქარით წარმოებული დეფორმაცია. ნიმუშის დატვირთვა გრძელდა მანამ, სანამ დატვირთვის მზომმა ხელსაწყომ, მაქსიმალური

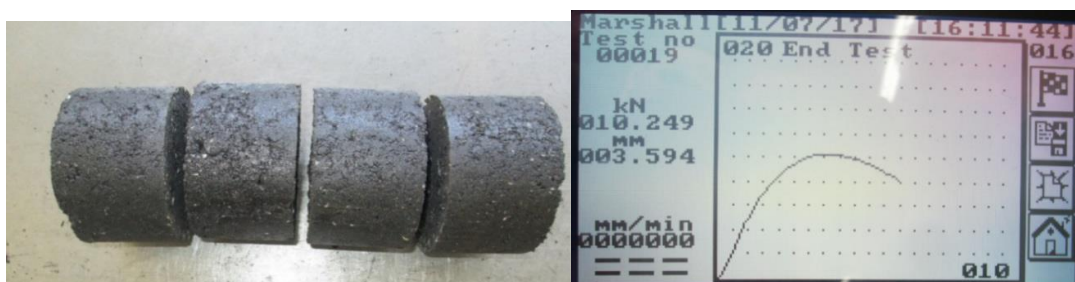
მონაცემი არ დააფიქსირა. აღნიშნული პროცედურა, განხორციელდა EN 12697-34-ის სტანდარტის მიხედვით, გამოცდის პროცესი გახორციელდა საცდელი ნიმუშის წყლით სავსე ავზიდან ამოღებიდან 40 წმ-ის განმავლობაში.

ექსპერიმენტული გზით განვსაზღვრეთ უდანამატო ასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების სტაბილურობა და დენადობა, სადაც სტაბილურობამ შეადგინა 10.23 კნ-ს, ხოლო დენადობამ 3,487 მმ. (იხ.ნახ. 7)



ნახ.7 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.8).



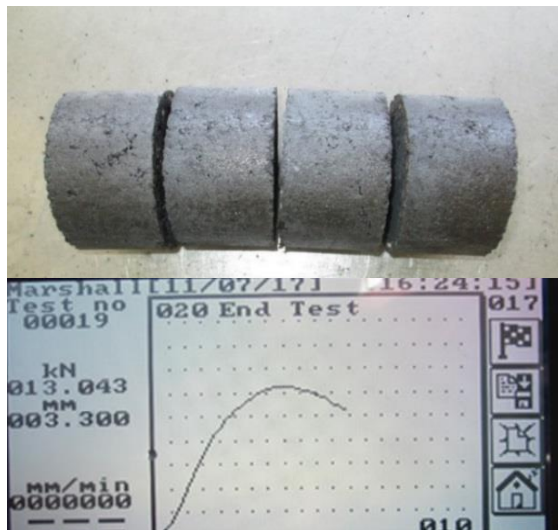
ნახ. 8. 10% მოდიფიცირებული გოგირდით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების გამოცდა სტაბილურობასა და დენადობაზე

ანალოგიურად გამოიცადა 20%-იანი მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშები, სადაც სტაბილურობამ შეადგინა - 11,161 კნ, ხოლო დენადობამ - 3,373 მმ (იხ.ნახ.9).



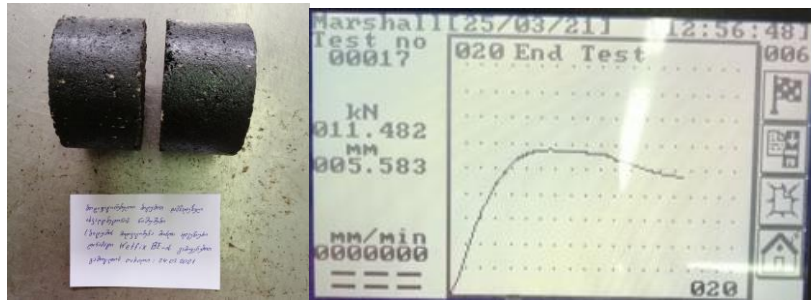
ნახ. 9. 20% მოდიფიცირებული გოგირდით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის მარშალის ნიმუშების გამოცდა სტაბილურობასა და დენადობაზე

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.10).



ნახ.10. 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 ნახ.11-ზე.



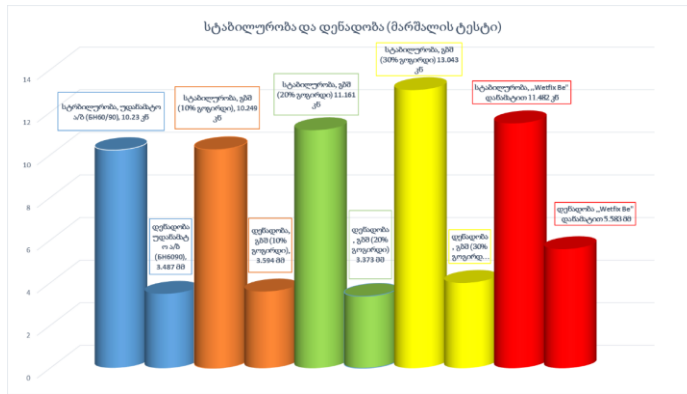
ნახ. 11. ადგეზიური დანამატის „Wetfix Be“-ის გამოყენებით დამზადებული მარშალის ნიმუშების გამოცდა სტაბილურობასა და დენადობაზე

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 5. ნახ. 12).

ცხრილი 5

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

ასფალტბეტონის სახეობა: წვრილმარცვლოვანი, მკვრივი E ტიპი, მარკა II						
მაჩვენებელი	შემკვრელი					დასაშვები ზღვრები
	უდანამატო ა/ბ (BH 60/90)	გბშ (10% მოდ. გოგირდის დანამატი)	გბშ (20% მოდ. გოგირდის დანამატი)	გბშ (30% მოდ. გოგირდის დანამატი)	„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 (მარშ. 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. 12. 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.

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.

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.

▪ უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების ექსპერიმენტული კვლევა ყინვამედეგობაზე. 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. 13).



ნახ. 13. ყინვამედეგობის განმსაზღვრელი დანადგარი

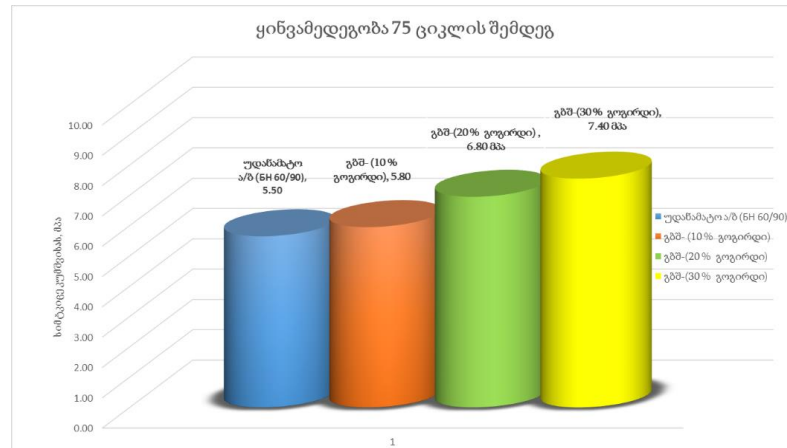
აღნიშნულ დანადგარზე ნიმუშების გაყინვა-გადნობის 25, 50, 75 ციკლის შემდეგ, ჰიდრავლიკურ პრესზე განსაზღვრეთ უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%-ის დანამატით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების სიმტკიცე კუმშვისას და შესაბამისად გამოვთვალეთ ყინვამედევობის კოეფიციენტი K_y (ნიმუშების 25, 50, 75 ციკლის შემდეგ სიმტკიცე კუმშვისას ფარდობით საწყის წყალგაჯერებული ნიმუშის სიმტკიცესთან) (იხ. ცხრილი 6).

ცხრილი 6

უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების ყინვამედევობის კოეფიციენტის განსაზღვრა

ყინვამედევობა					
მაჩვენებელი	შემკვრელი				ГОСТ 9128-97-ის მოთხოვნები 5 ტიპის მარკა II-სადმი
	უდანამატო ა/ბ (BH 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	-
ყინვამედევობის კოეფიციენტი K_y					
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 ყინვამედევობის კოეფიციენტის რიცხობრივი მაჩვენებლების განსაზღვრის მიხედვით ავაგეთ შესაბამისი გრაფიკი (იხ.ნახ. 14).



ნახ. 14. უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის 10%, 20%, 30%-იანი ნიმუშების ყინვამედევობის კოეფიციენტის გრაფიკული გამოსახულება

აღნიშნულმა გამოკვლევამ აჩვენა, რომ 10%-იანმა მოდიფიცირებული გოგირდის დანამატით დამზადებულმა გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშებმა უდანამატო ასფალტბეტონის ნიმუშებთან შედარებით ყინვამედევობის 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 ყინვამედევობის 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 ყინვამედევობის 25, 50 და 75 ციკლის შემდეგ აჩვენა 33.3%, 33.9% და 34.5%-ით მეტი სიმტკიცე.

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

▪ 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 ნაკვალევს განმსაზღვრელი დანადგარი ნაჩვენებია ნახ. 15-ზე.



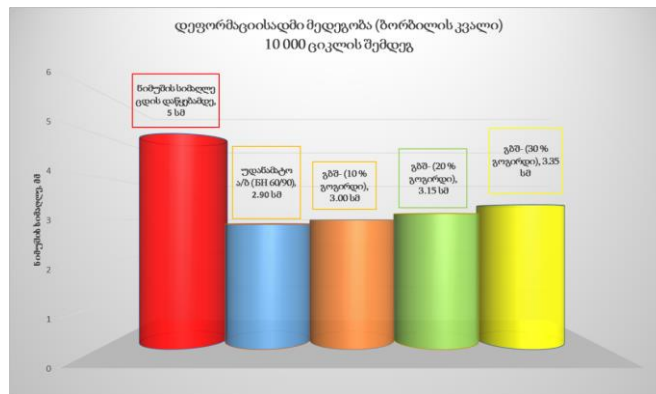
ნახ. 15. ბორბლის ნაკვალევს განმსაზღვრელი დანადგარი

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 7-ზე.

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

ნიმუშები	დატვირთვის ციკლების რაოდენობა	ბორბლის 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

უდანამატო ასფალტბეტონის და მოდიფიცირებული გოგირდის 10%, 20%, 30%-ის შემცველობით დამზადებული გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების დეფორმაციისადმი მედეგობის რიცხობრივი მაჩვენებლების განსაზღვრის მიხედვით აიგო შესაბამისი გრაფიკი (იხ.ნახ 16).



ნახ. 16. 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).

▪ 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%.

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 ნარევი 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 ღირებულებაა 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 უდანამატო 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 უდანამატო ასფალტბეტონის ღირებულებასთან შედარებით შემცირდა 5,26%-ით ($4,88 / 92,72 = 5,26$).

▪ ასფალტბეტონის გამოსაკვლევი პარამეტრების განუსაზღვრელობების გამოთვლა. ლაბორატორიული ცდებით გამოითვალა ასფალტბეტონის გამოსაკვლევი პარამეტრების განუსაზღვრელობების მნიშვნელობები (იხ. ცხრილი 8).

ცხრილი 8

ასფალტბეტონის გამოსაკვლევი პარამეტრების განუსაზღვრელობები

№	ასფალტბეტონის გამოსაკვლევი პარამეტრების განუსაზღვრა	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	Vფორ=4,9±0,3
3	სტაბილურობა	10.7	0.4	0.4	სტაბ=10,7±0,4
4	დენადობა	3.4	0.2	0.2	Fდენად=3,4±0,2
5	ლაბ.ფორმ.ასფალტბეტონის ნიმუშიზე ბორბლის კვალი	13.9	1.1	1.2	Lბორბ=13,9±1,2
6	ბიტუმში ნემსის შეღწევის სიღრმე	71	2.5	3.9	P=71±3,9
7	ბიტუმის წელვადობა	99.6	1.9	2.3	D=99,6±2,3
8	ბიტუმის დარბილების ტემპ.	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.

დისერტაციის თემასთან დაკავშირებული პუბლიკაციები

1. 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.
2. ბედუკაძე დ. ადგილობრივი ინერტული მასალებით დამზადებული უდანამატო ასფალტბეტონის და გოგირდასფალტბეტონის ნიმუშების გამოცდა ყინვამედეგობაზე. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №1(48) თბილისი, 2018, გვ 54-56.
3. 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.
4. ბედუკაძე დ. ასფალტბეტონის ნარევი ბიტუმის პროცენტული შემცველობის განუსაზღვრელობის განსაზღვრა ექსპერიმენტული გზით. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №1(61) თბილისი, 2022, გვ 44-47.
5. სტუ-ს 85-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე. თეზისების კრებული. თბილისი 2018 წელი, გვ 273.

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.