

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მამუკა სულამანიძე

ასფალტბეტონის საფარის საცვეთ ფენებში რეოლოგიური თვისებების  
გაუმჯობესების მეთოდური ღონისძიებების დამუშავება

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: საგზაო ინფრასტრუქტურა და მიწისქვეშა

ხელოვნური ნაგებობები

შიფრი: 0406

თბილისი

2017 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
სამშენებლო ფაკულტეტი  
საგზაო დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: ასოც. პროფესორი - თენგიზ პაპუაშვილი

რეცენზენტები: 1. პროფესორი ალექსი ბურდულაძე  
2. ტ.მ.დ. ზურაბ ცომაია

დაცვა შედგება 2017 წლის 5 ივლისს, 14<sup>00</sup> საათზე,  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის  
სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე  
კორპუსი I, ბიბლიოთეკა (508)  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 68.

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

## შესავალი

თანამედროვე საავტომობილო გზების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მდგომარეობის ძირითად განმსაზღვრელ ნაწილს წარმოადგენს საგზაო საფარის ხარისხი. იგი არსებით ზეგავლენას ახდენს ისეთ მახასიათებლებზე, როგორცაა: მოძრაობის სიჩქარე, უსაფრთხოება, ეკოლოგიური მდგომარეობა და სხვა.

საქართველოს საავტომობილო გზების ქსელის ძირითადი ნაწილი დაფარულია ასფალტბეტონის საფარით. აღნიშნული საფარი ხასიათდება ისეთი მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლებით, როგორცაა: სიმტკიცე, მდგრადობა, სისწორე და სხვა მაღალი საექსპლუატაციო მაჩვენებლები.

ამავდროულად მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის ფაქტი, რომ ბოლო წლებში საავტომობილო ტრანსპორტის რაოდენობის ინტენსიურმა ზრდამ პარალელურად დააჩქარა საგზაო საფარების ცვეთის პროცესი, რის შედეგადაც დღის წესრიგში დადგა ასფალტბეტონის ფენილების გაუმჯობესების საკითხის შესწავლა, შემდგომში მისი საექსპლუატაციო თვისებების ამაღლების პერსპექტივით.

მრავალწლიანმა გამოცდილებამ ცხადყო, რომ ასფალტბეტონის ბუნება საკმაოდ რთულია და მისი საგზაო-სამშენებლო თვისებების შესწავლა მოითხოვს ცოდნას ტექნიკის დიდ დიაპაზონში, თუმცა თუ გავითვალისწინებთ, ისეთი მეცნიერებების მიღწევებს როგორცაა: სამშენებლო მექანიკა, ფიზიკურ-ქიმიური მექანიკა, ორგანული ქიმია, ტექნიკის უახლესი დარგი-ავტომატიკა და სხვა, ჩვენს წინ დასმული პრობლემატიური საკითხი შეიძლება უმარტივესად გადაწყდეს უახლოეს მომავალში. ამასვე უნდა დაეუმატოთ, რომ გამოცდილების ფართო ურთიერთ გაცვლა ევროპის განვითარებულ ქვეყნებთან ასრულებს მნიშვნელოვან როლს ასფალტბეტონის საფარის ხარისხის ამაღლებასა და პრაქტიკულ სრულყოფაში.

ჩვენი ქვეყნის საავტომობილო გზების ქსელზე დაკვირვებებმა გვიჩვენა, რომ ასფალტბეტონის საფარის დიდი ნაწილი სრულად აკმაყოფილებს მოქმედ სამშენებლო-ტექნიკურ მოთხოვნებს, ისინი სავსებით ნორმალურად განიცდიან ექსპლუატაციას და სრულად აკმაყოფილებენ სამსახურის ვადებს, თუმცა ამ საფარების მნიშვნელოვანი ნაწილი დროზე ადრე გამოდის მწყობრიდან. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ერთი და იგივე ასფალტბეტონს (შემადგენელი კომპონენტების მიხედვით) სხვადასხვა კლიმატური პირობების დროს შეუძლია აჩვენოს მუშაობის სხვადასხვა ვადა. აღნიშნული საფარის მუშაობის ხანგამძლეობაზე აგრეთვე მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს ადგილმდებარეობის ტიპი.

საქართველოს ნებისმიერი რეგიონი მდიდარია მაღალი ხარისხის საგზაო-სამშენებლო ქვის მასალებით, მათი ლაბორატორიული შესწავლისა და გამოცდის საფუძველზე ხდება გამოყენების სფეროს დადგენა, მაღალი ხარისხობრივი მაჩვენებლების წყალობით მათი გამოყენება შეიძლება, როგორც საგზაო სამოსის საფუძვლის ფენებში, ისე საფარის ფენებშიც. საქართველო მდიდარია კირქვებით, რომლის საფუძველზეც შეიძლება დამზადებული იქნას წვრილი შემავსებელი „ფილერი“.

სამწუხაროდ უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოში არ იწარმოება ორგანული შემკვრელი საგზაო ბიტუმები, ისინი წარმოადგენენ ჩვენი ქვეყნისათვის დეფიციტურ მასალას და შესაბამისად ბიტუმების დაზოგვის კუთხით გადადგმული ნებისმიერი სულ მცირე ნაბიჯიც კი მნიშვნელოვანია.

### **ნაშრომის აქტუალობა**

სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალობა იმაში მდგომარეობს, რომ მოხდეს ორგანული შემკვრელის ბიტუმების მოდიფიცირებული ფორმების შესწავლა და კვლევა სხვადასხვა სახის დანამატების გამოყენებით, რომლის მეშვეობითაც მიიღწევა ასფალტბეტონის საცვეთ ფენებში გამოყენებული მასალის რეოლოგიური თვისებების გაუმჯობესება, რომელიც დადებითად იმოქმედებს ხარისხობრივ მაჩვენებელზე და დამატებით მოგვცემს

საშუალებას დავზოგოთ საქართველოსათვის მეტად დეფიციტური მასალა ბიტუმი.

დღევანდელი პრაქტიკული რეალობიდან გამომდინარე საგზაო სამოსების დაზიანების გაბატონებულ ნაირსახეობას წარმოადგენს საფარის ზედაპირული რღვევა. ასეთი სიტუაცია ერთის მხრივ შეიძლება გამოწვეული იყოს საფარიდან ინერტული მასალების „ღორღის მარცვლების“ ამოგლეჯის შემთხვევაში, რასაც მივყავართ ორმოების ფორმირებამდე, ხოლო მეორეს მხრივ შესაძლოა ადგილი ჰქონდეს ზედაპირულ დეფორმაციებს, რაც წარმოშობს ე.წ. „ზედაპირულ ტალღებს“. ეს უკანასკნელი კი უმეტესწილად თავს იჩენს მაღალქანობიან გზებზე, ცხელი კლიმატური პირობების დროს. იოლი მისახვედრია, რომ ორივე შემთხვევაში საქმე გვაქვს შემკვრელი ბიტუმინერალური მასალების არასრულფასოვან საექსპლუატაციო მაჩვენებლებთან, რომელიც ვერ უზრუნველყოფს მასზე დაკისრებულ მოვალეობის შესრულებას. შედეგად ირღვევა სამოსის შემადგენელი კონსტრუქციული ფენის რეოლოგიური თვისებები, რომელიც მთლიანობაში გადამწყვეტ როლს თამაშობს საფარის საიმედოობის ხარისხისა და საექსპლუატაციო ვადების უზრუნველყოფაში.

ასფალტბეტონისა და სხვა სახის საგზაო საფარების ზედაპირული რღვევა - ცვეთა რთული პროცესია, რომლის აღწერაც და განსაზღვრაც არ ექვემდებარება ზუსტ ანალიზურ ასახვას. მიზანშეწონილია მისი განხილვა, როგორც საგზაო ფენილის დამოუკიდებელ პარამეტრთა კომპლექსისა და მის კომპონენტთა ექსპერიმენტული განხილვა.

ყოველივე ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე ჩემს მიერ წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომი მიემდვნა არსებული ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტაციის კრიტიკული გადასინჯვის საკითხის დაყენებას და ბიტუმინერალური ნარევებით მომზადებული საგზაო საფარების ექსპლუატაციის პირობების ანალიზის საფუძველზე სპეციალური ტექნიკური პირობების შემუშავებას.

სადისერტაციო ნაშრომის მიზანია ლაბორატორიული კვლევების საფუძველზე დასაბუთებული იქნას ნავთობბიტუმის ის ნაკლოვანებანი, რომელიც გამოიხატება მაღალი თერმული მგრძობიარობისადმი და დაძველებისადმი მიდრეკილებაში. აღნიშნული ფაქტორის კვალდაკვალ მოვახდინოთ მისი მოდიფიკაცია პოლიმერული დანამატების მეშვეობით, რაც თავის მხრივ შესაძლებელს გახდის ავამაღლოთ მისი საექსპლუატაციო მაჩვენებლები.

ხსენებული მეთოდით გაუმჯობესებული შემკვრელი მასალა საშუალებას მოგვცემს გავაუმჯობესოთ ასფალტბეტონის მთელი რიგი ფიზიკო-მექანიკური თვისებები: გაზარდოთ სიმტკიცე, დეფორმაციული მდგრადობა (ძვრისადმი მედეგობა), ცვეთამედეგობა, ყინვაგამძლეობა, წყალმედეგობა, ბზარმედეგობა და სხვა.

კარგად შერჩეული დანამატები, მკაცრად შერჩეული დოზები და მორგებული ტემპერატურული რეჟიმები უზრუნველყოფენ მაღალი ხარისხის მოდიფიცირებული ასფალტბეტონების ნარეგების მომზადებას და შესაბამისად ორგანული შემკვრელი მასალის მნიშვნელოვან ეკონომიას.

აღნიშნული საკითხები დეტალურად განხილულია სადისერტაციო ნაშრომში, რაც განსაზღვრავს მის აქტუალობას.

#### **კვლევის ობიექტი:**

- ასფალტბეტონის საფარის საცვეთ ფენაში გამოყენებული მოდიფიცირებული ნარეგები.

#### **დისერტაციის მიზანი:**

- საქართველოს საგზაო დარგში გამოყენებული ბლანტი ბიტუმების მოდიფიცირება და მათი რეოლოგიური თვისებების გაუმჯობესება.
- ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის მნიშვნელობის კვლევა. პოლიმერბიტუმის გამოყენებით შეჭიდულობის ძალის გაზრდის შესაძლებლობის ექსპერიმენტული კვლევა.

- საგზაო საფარების რღვევის გამომწვევი მიზეზების დადგენა და მათი გაანალიზება.
- თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე ორგანული და მინერალური შემკვრელებით დამუშავებული საფარის კონსტრუქციული ფენების ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლების ამადლება.

**სამეცნიერო სიახლე:**

- ექსპერიმენტულად იქნა დამტკიცებული პოლიმერული მასალით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის ნარევის საექსპლუატაციო მაჩვენებლების ამადლების შესაძლებლობა.
- ჩვენს მიერ დასაბუთებულ იქნა საგზაო საფარის საცვეთი ფენის თვისებების გაუმჯობესების მეთოდები.

**ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება:**

- ექსპერიმენტების საფუძველზე სამშენებლო და საპროექტო ორგანიზაციებისათვის დამუშავებულია, ასფალტბეტონის საფარის საცვეთ ფენებში გამოყენებული შემკვრელი მასალების რეოლოგიური თვისებების გაუმჯობესების საკითხები.
- შემუშავებულია ნავთობის ბიტუმის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების ამადლების მეთოდური ღონისძიებები, სხვადასხვა სახის მოდიფიკატორების გამოყენებით, რაც მთლიანობაში განაპირობებს საცვეთი კონსტრუქციული ფენის საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გაუმჯობესებას.

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:**

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება: შესავალის, ორი თავის, დასკვნისა და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან. ნაშრომი წარმოდგენილია 150 ნაბეჭდ გვერდზე, იგი შეიცავს 32 ნახაზს და 8 ცხრილს.

**ნაშრომის აპრობაცია:**

დისერტაციის მასალები მოხსენებულ იქნა:

- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, თბილისი 2015.
- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, თბილისი 2016.

**დისერტაციის ძირითადი შედეგები და ზოგადი დასკვნები:**

**პირველ თავში** განხილულია რეოლოგიის ძირითადი ცნებები და რეოლოგიური გამოცდის მეთოდები, ასფალტბეტონის ძვრისადმი მდგრადობის საკითხები და მათ შესაფასებლად გამოყენებული რეკომენდირებული მეთოდები. ამავდროულად ასახულია ასფალტბეტონის ფენებს შორის კავშირის გავლენა ფენილში დაზიანებების განვითარებაზე და აღწერილია მათ შესაფასებლად გამოყენებული ლაბორატორიული ხელსაწყოების თავისებურებანი. ხსენებული საკითხების კვალდაკვალ ნათლადაა აღწერილი შემკვრელი მასალების როლი საგზაო საფარების ძირითადი დეფექტების ჩამოყალიბებაში, სადაც ცალსახად პრობლემატიური საკითხის გადაჭრა მიმართულია ბიტუმების მოდიფიცირების აუცილებლობაში, სხვადასხვა სახის დანამატების გამოყენებით. აქვე მიმოხილულია ასფალტბეტონის ფენილებში ზოგიერთი თანამედროვე სტანდარტების გამოყენებით მიღებული შედეგები და მათი ნაკლოვანებები პრაქტიკულ ასპექტში.

**მეორე თავში** მოცემულია ასფალტბეტონის საფარის საექსპლუატაციო მაჩვენებლების ამალღება საგზაო ბიტუმის ხარისხის გაუმჯობესების გზით. საავტომობილო გზები ასფალტბეტონის საფარით გვევლინება ჩვენი ქვეყნის ძირითად საგზაო ქსელად. მათზე მოდის ავტოსატრანსპორტო გადაზიდვების ძირითადი მოცულობა.

საფარის მდგომარეობა არსებით გავლენას ახდენს საავტომობილო ტრანსპორტის ეფექტურ მუშაობაზე. საგზაო საფარის ზედაპირზე სხვადასხვა სახის დაზიანება და ჩაღრმავებები იწვევს საწვავის გადახარჯვას ავტოსატრანსპორტის მოძრაობის დროს, ასევე იწვევს ვიბრაციის დონის ამალღებას. დაჩქარებულ ცვეთას როგორც საგზაო



საფარის ასევე მოძრავი ავტომობილის. ამის შედეგად ქვეყანაში საავტომობილო ტრანსპორტით გადაზიდვის ღირებულება იზრდება 1,5-ჯერ, საწვავის ღირებულება კი 30%-ით, განვითარებული საზღვარგარეთის ქვეყნების ანალოგიურ მაჩვენებლებთან შედარებით. გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ საფარის საერთო ფართობის დაზიანების გაზრდა 1%-ით საშუალოდ იწვევს საწვავის ხარჯის ზრდას 1%-ით გზებზე მოძრაობის დროს.

ასფალტბეტონის მუშაობის ვადის გახანგრძლივება ბიტუმის ხარისხის გაუმჯობესების ხარჯზე, საშუალებას მოგვცემს, შევამციროთ სარემონტო სამუშაოები და გამოვანთავისუფლოთ მილიონობით ლარი მთლიანობაში საგზაო ქსელის გასაუმჯობესებლად.

კომპლექსური ორგანული შემკვრელები - ის შემკვრელებია, რომლებიც შედგებიან ორი ან მეტი კომპონენტებისაგან, რომელთა შემადგენლობაში ძირითადი კომპონენტი საერთო მასის 90%-ზე ნაკლებია. ასეთ შემკვრელებში კომპონენტების სახით შეიძლება გამოვიყენოთ ნავთობის და ბუნებრივი ბიტუმები, მძიმე ნავთობი, ქვანახშირის და ფიქალის ბიტუმები, ნავთობქიმიური, კოქსოქიმიური და ხე-ტყის ქიმიური წარმოების დროს მიღებული პროდუქტები.

ბიტუმის შემკვრელებს უნდა ჰქონდეთ მაღალი ადჰეზიური თვისებები, მათი ძირითადი ფუნქციაა - ერთ მონოლითად შეკრას მინერალური მასალები (ღორღი, ქვიშა, მინერალური ფხვნილი) რომლებიც გამოიყენება ასფალტბეტონის მომზადებისას. არასაკმარისი ადჰეზიური უნარი იწვევს, ასფალტბეტონის დეზინტეგრაციის დაჩქარებას, საგზაო საფარის ექსპლუატაციის პროცესში, ორმოების ფორმირებას. ზედაპირის აქერცვლას და ცვეთას, საფარის დაბალ წყალმედეგობას. სამწუხაროდ მოქმედი სტანდარტი ГОСТ 22245-90 ბლანტ საგზაო ბიტუმებზე, არ ითვალისწინებს ბიტუმის ადჰეზიური თვისებების კონტროლს თუმცა ბიტუმის ამ თვისებების კონტროლი გათვალისწინებულია მოქმედი ГОСТ 11508-74-ით.

ბიტუმს უნდა გააჩნდეს დროის მიმართ აუცილებელი სტაბილურობის თვისება, ე.ი. მდგრადობა ტექნოლოგიური და ექსპლუატაციის ფაქტორების მიმართ.

ბიტუმის შემკვრელის თვისების მეორე მთავარ პირობას წარმოადგენს მისი ერთგვაროვნება, რამდენადაც არაერთგვაროვანი (ჰეტეროგენური) შემკვრელების გამოყენება არ იძლევა საშუალებას უზრუნველყოთ ГОСТ 9128-97-ით მოთხოვნილი ასფალტის ერთგვაროვნება და შესაბამისად საგზაო ასფალტბეტონის საფარის ხარისხის ერთგვაროვნება.

საგზაო ასფალტბეტონის საფარის ხანგრძლივი ვადის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია ვაკონტროლოთ ბიტუმის ის მაჩვენებლები, რომლებიც მას ექნება საგზაო საფარში, ე.ი. ტექნოლოგიური და ექსპლუატაციის ფაქტორების ზემოქმედების შემდეგ.

ბიტუმის შემკვრელის ხარისხის კონტროლის მთავარ ობიექტურ პირობად ითვლება ის, რომ მათი თვისების მაჩვენებლები განისაზღვროს გამოცდის მეთოდების შესაბამისად, რაც მაქსიმალურად ნათლად ასახავს მასალის მუშაობის რეალურ პირობებს საგზაო საფარში. ბიტუმის შემკვრელის ხარისხის კონტროლი, უნდა ეყრდნობოდეს არა გამოცდის პირობით მეთოდებს, არამედ ობიექტურ კრიტერიუმებს და მეთოდიკას.

ეს მეთოდიკა ითვალისწინებს ბიტუმის შემკვრელის მუშაობას საექსპლუატაციო პირობებში.

ტრადიციულად შემკვრელის სახით ასფალტბეტონის შემადგენლობაში განიხილავენ ბიტუმს. ის „მუშაობს“ ნარევი მინერალურ ფხვნილთან ერთად და ახდენს ასფალტბეტონის შემკვრელის სტრუქტურის ფორმირებას. მინერალური ფხვნილი ასფალტბეტონის შემადგენლობაში არ წარმოადგენს ჩონჩხის წარმომქნელ კომპონენტს (რასაც მიეკუთვნება ღორღი და ქვიშა), ეს კომპონენტი არის ბიტუმის აქტიური სტრუქტურული შემავსებელი. ბიტუმის და მინერალური ფხვნილის თანაფარდობაზე ასფალტბეტონში და ამ კომპონენტების თვისებებზე არის დამოკიდებული ასფალტბეტონის თვისება.

აღსანიშნავია, რომ ბიტუმის დეფორმაციულობის თვისება, რომლებიც განსაზღვრულია GOCT 22245-90-ის შესაბამისად, არის პირობითი. ეს მონაცემები არ წარმოადგენს საგზაო კონსტრუქციის რეალურ საექსპლუატაციო მონაცემებს. ამიტომაც ეს მეთოდები არაა რეკომენდირებული ასფალტის შემკვრელის თვისებათა შესასწავლად. თუ გავითვალისწინებთ ბიტუმის რეოლოგიური მოქცევის რთულ ხასიათს, მათი დეფორმაციული თვისებების შეფასება უნდა მოხდეს შესაბამის რეალურ ვითარებაში, მასალის მუშაობის და ექსპლუატაციის პროცესის დროს.

ასფალტბეტონის საფარის კონსტრუქციის გაანგარიშება ხორციელდება ჩალუნვის კრიტერიუმით ანდა გაჭიმვით ღუნვის დროს. ამის გათვალისწინებით ასფალტის შემკვრელის დეფორმაციული თვისებების გამოსაკვლევად მიღებული იქნა ასეთი მეთოდი: ცოცვადობა ჩალუნვის დროს. გამოცდისათვის ნიმუშები მზადდებოდა ბიტუმის და მინერალური ფხვნილის ნარევით თანაფარდობით 1:4, რომელიც ხურდებოდა 160°C ტემპერატურაზე. ამ ნარევს ემატებოდა მოდიფიცირებული დანამატი. ცხელი ნარევი ისხმება ფორმაში ზომით 4x16სმ, საჭირო რაოდენობის ნიმუშების მისაღებად სისქით 2,5 სმ.

მომზადებული იქნა ასფალტის შემკვრელი ხუთი სხვადასხვა ნარევი: №1 შემადგენლობა შეიცავდა მხოლოდ ბიტუმსა და მინერალურ ფხვნილს (მოდიფიკატორის გარეშე). №2 შემადგენლობაში მოდიფიცირებულ კომპონენტებად გამოიყენებოდა რეზინის მარცვალი (PK); №3 შემადგენლობაში - თხელდისპერსიული აქტიური ნახშირბადის შემცველი ფხვნილი (AII); №4 შემადგენლობაში - ბოჭკოვანი შემავსებელი (PIB); №5 შემადგენლობაში - ერთდროულად ორი შემავსებელი PK და PIB.

ცოცვადობაზე გამოცდის შედეგებით განისაზღვრა სიბლანტის მაჩვენებელი და ასფალტის შემკვრელის ნიმუშის დრეკადობის მოდული. სიბლანტე გვევლინება ასფალტბეტონის დეფორმაციულობის თვისებების მთავარ მახასიათებლად. ამით შეიძლება შევაფასოთ პლასტიური

დეფორმაციის დაგროვების ინტენსიობა საგზაო საფარის ექსპლუატაციის პროცესში. აქედან გამომდინარე შევაფასებთ საფარის მედეგობას იმასთან მიმართებით თუ როგორ განვითარდება სხვადასხვა სახის პლასტიური დეფორმაციები.

გამოცდის ჩასატარებლად დატვირთვა  $F$  (კგ) შეირჩეოდა გამოცდილი საშუალებით, ისე რომ ჩალუნვის საერთო დეფორმაცია გამოცდის დროს არ აღემატება 1-2 მმ. სიბლანტე გამოითვლებოდა ფორმულით  $\eta = K(F \cdot t) / f$ , სადაც  $K$ -მუდმივი გამოცდაა,  $F$ -მოქმედი დატვირთვის სიდიდე კგ-ში,  $f$ -ნიმუშის ჩალუნვის სიდიდის ცვლილება (სმ-ში)  $t$ -(წამებში)-დროის მონაკვეთი.

პლასტიურობის ხარისხი  $P$  (უგანზომილებო სიდიდე) გამოითვლება, როგორც დამოკიდებულების გრაფიკი  $\lg f$  ( $\lg t$ )-დახრის კუთხის ტანგენსი. დრეკადობის დინამიური მოდული  $E$ (მპა) გამოითვლება (დატვირთვის ხანგრძლივობით  $t=0,02$ წმ) ფორმულით:  $\lg E = A(1-P) + B$ .

მიღებული შედეგების საფუძველზე აიგო დამოკიდებულების გრაფიკები  $f(t)$  და  $\lg f$  ( $\lg t$ ) და გამოითვალა სიბლანტე, პლასტიურობის ხარისხი და დინამიურობის მოდული ყოველი ნიმუშისა. შედეგები მოყვანილია 1 და 2 ცხრილებში.

**ასფალტის შემკვრელის გამოცდის შედეგები 25°C-ზე**

**ცხრილი 1**

ასფალტის შემკვრელის შემადგენლობა	მაჩვენებლები 25°C		
	სიბლანტე, მპა.წმ	პლასტიურობის ხარისხი	დრეკადობის დინამიური მოდული, მპა
№ 1	12700	0,39	219,0
№ 2	26200	0,38	224,3
№ 3	24800	0,38	225,6
№ 4	81000	0,29	364,4
№ 5	66000	0,31	332,7

ასფალტის შემკვრელის შემადგენლობა	მაჩვენებლები 2°C		
	სიბლანტე, მპა.წმ	პლასტიურობის ხარისხი	დრეკადობის დინამიური მოდული, მპა
№ 1	12500000	0,20	575,2
№ 2	3000000	0,25	447,2
№ 3	9730000	0,22	524,1
№ 4	9250000	0,22	525,8
№ 5	4780000	0,24	468,5

ასფალტის შემკვრელის სიმტკიცის მახასიათებლების გამოსაკვლევად ასევე გამოყენებული იყო ნიმუშები - ზომით 4x2,5x16სმ, რომლებიც გამოიცადა სიმტკიცეზე დინამიკური ჩალუნვის დროს, ასევე მისი მუშაობის უნარი ციკლურ დინამიკურ ჩალუნვაზე.

სიმტკიცეზე გამოცდა ჩატარდა 2°C და 25°C-ზე ტემპერატურებზე ერთჯერადი დატვირთვით, რითაც განისაზღვრა ზღვრული დამანგრეველი დატვირთვის სიდიდე. იმავდროულად განისაზღვრებოდა ნიმუშების ზღვრული დეფორმაციის სიდიდე, დანგრევის მომენტში და ასფალტის შემკვრელის დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობა. მასალის დეფორმაციის სიჩქარე გამოცდის დროს იყო  $V=250$  მმ/წთ. დაფიქსირებული იყო ზღვრული დატვირთვის მნიშვნელობა ნიმუშის დანგრევის მომენტში  $F$ , ასევე დატვირთვის მოქმედების დრო  $t$ . ამ დროის სიდიდით და  $V$ -ს მნიშვნელობით, განისაზღვრა ნიმუშის ჩალუნვის სიდიდე  $f_{kp}$  დანგრევის მომენტში ფორმულით  $\epsilon_{kp}=6f_{kp}h/L^2$  განისაზღვრა ზღვრული ფარდობითი დეფორმაცია, ასფალტის შემკვრელისა გაჭიმვაზე ჩალუნვის დროს. სიმტკიცის მაჩვენებელი გამოითვლება ფორმულით:  $R=3FL/2bh^2$ , სადაც  $F$ - არის დამანგრეველი დატვირთვის სიდიდე,  $L$ -დაშორება საყრდენებს შორის,  $b$ -დირეს სიგანე,  $h$ -ნიმუშის სისქე. გამოცდის შედეგებით, დამატებით შეიძლება განისაზღვროს მოდული სიმტკიცის მაჩვენებელი დინამიკური ჩალუნვის დროს ფორმულით  $E=FL^3/48f_{kp}M$ , სადაც  $M$  - არის

დირეს კვეთის ინერციის მომენტი. მიღებული მნიშვნელობა E შეესაბამება დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლიობას t.

სიმტკიცეზე გამოცდის შედეგები, ერთჯერადი დატვირთვის დროს მოყვანილია მე-3 ცხრილში, დაღლილობაზე გამოცდის შედეგები კი მე-4 ცხრილში.

**ცხრილი 3**

**ასფალტის შემკვრელების ნიმუშთა სიმტკიცის მახასიათებლები**

ასფალტის შემკვრელის შემადგენლობა	სიმტკიცე, მპა. 25°C-ზე	ზღვრული დეფორმაცია 25°C-ზე	სიმტკიცე, მპა. 2°C-ზე	ზღვრული დეფორმაცია 2°C-ზე
№ 1	15,1	0,120	58,8	0,112
№ 2	25,2	0,133	65,5	0,125
№ 3	27,2	0,124	61,7	0,114
№ 4	55,4	0,129	74,7	0,118
№ 5	46,2	0,138	70,6	0,128

**ცხრილი 4**

**ასფალტის შემკვრელების ნიმუშთა გამოცდის შედეგები დაღლილობაზე**

ასფალტის შემკვრელის შემადგენლობა	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
ციკლების რიცხვი დანგრევამდე	121520	206800	169200	182250	261360
დაღლილობის კოეფიციენტი	0,22	0,21	0,21	0,18	0,19

როგორც მეოთხე ცხრილიდან ჩანს ასფალტის მოდიფიცირებული შემკვრელის დაღლილობის ვადა, ორჯერ უფრო მეტად აღემატება იმ ასფალტის შემკვრელს, რომელიც არ შეიცავს მოდიფიკატორს.

**მოდიფიცირებული ბიტუმების რეოლოგიური თვისებები:** წვეის ძალის დიდ მნიშვნელობას ავტომობილი დაძვრისას აწვითარებს, რომელიც მოძრაობის ზრდასთან ერთად სწრაფად კლებულობს. წვეის ძალისაგან გამოწვეულ ჰორიზონტალურ დატვირთვას სისტემატიური ხასიათი აქვს გზაჯვარედინებზე, საზოგადოებრივი ტრანსპორტის გაჩერების ადგილებში და მაღალი გრძივი ქანობის აღმართებზე.

დამუხრუჭების ძალისაგან გამოწვეული ჰორიზონტალური დატვირთვა მნიშვნელოვან სიდიდეს აღწევს მკვეთრი დამუხრუჭებისას მშრალ ფენილზე, განსაკუთრებით დაღმართებზე.

ჰორიზონტალური ძალებისაგან გამოწვეული დატვირთვები ვლინდება საგზაო სამოსის ზედა ფენებში, განსაკუთრებულად ისინი საფარის მიერ აღიქმება რთული რელიეფის პირობებში მაღალი დადებითი ტემპერატურების პირობებში. ცხელ პერიოდში საგზაო ფენილში არსებული ორგანული შემკვრელის სიბლანტე საგრძნობლად იკლებს, რასაც ფენილის მდგრადობის კლება მოჰყვება.

ბიტუმის თვისებების შეცვლა შესაძლებელია მასში პოლიმერების დამატებით. პოლიმერები აქვეითებენ ბიტუმის ტემპერატურულ მგრძობელობას, ზრდიან მის კოჰეზიურ თვისებებს და თერმომდგრადობას, ზრდიან მის ელასტიურობას. ეს თავისთავად აუმჯობესებს საფარის ძვრამედეგობას და ეწინააღმდეგება მისგან გამოწვეულ დეფორმაციებს.

პოლიმერული დანამატი საშუალებას იძლევა გავზარდოთ ბიტუმის სიბლანტე და მისი დარბილების ტემპერატურა, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის ბიტუმის პლასტიურობის ინტერვალს. ხოლო ბიტუმის სიმყიფის ტემპერატურა უმნიშვნელოდ იცვლება, რაც გავლენას ვერ ახდენს ასეთი ბიტუმებით დამზადებული ასფალტბეტონის მუშაობის თვისებებზე დაბალი ტემპერატურის პირობებში. მოდიფიცირებული ბიტუმით დამზადებული ასფალტბეტონების ნიმუშები ხასიათდებიან მაღალი სიმტკიცით 50°C-ზე.

აღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ პოლიმერული დანამატით შეიძლება შეიქმნას მაღალი ხარისხის ძვრამედეგი ასფალტბეტონი, რაც უზრუნველყოფს ფენილის მაღალ სიმტკიცეს და მდგრადობას მაღალი ტემპერატურისა და რთული რელიეფის პირობებში ექსპლუატაციისას.

შემუშავებულია ახალი სწრაფი მეთოდი, რომელიც განსაზღვრავს ბიტუმის შემკვრელთა კომპლექსის რეოლოგიურ თვისებებს, ისეთების როგორიცაა: ძვრის სიმტკიცე და მისი დამოკიდებულება ტემპერატურაზე  $-36\div(+180)^{\circ}\text{C}$  ინტერვალში, კროზადობის უნარი (ადჰეზია ქვის მასალასთან), დარბილების დაწყების დენადობის და გამყიფების ტემპერატურა, შემკვრელის მუშაობის უნარიანობის (პლასტიურობის) ინტერვალი. მეთოდი გამოყენებულია ხარისხის შედარებითი შეფასებისთვის შემდეგი პოლიმერბიტუმოვანი შემკვრელების შემთხვევაში - ПБВ-40, Альфабит-60, Альфабит-90 და რეზინობიტუმების შემკვრელთათვის-БИТРЭЖ და SRMB. დადგენილია შესწავლილი მასალების განსხვავებულობა ყინვამედეგობისა და თბომედეგობის მიხედვით და ჩატარებულია მათი რაოდენობრივი შეფასება.

ძვრის სიმტკიცე და შეჭიდულობა ქვის მასალებთან (კროზადობა) წარმოადგენს ერთ-ერთ მთავარ თვისებას შემკვრელი მასალებისა, რადგან ამაზეა დამოკიდებული ასფალბეტონების ხანმედეგობა, ბზარმედეგობა, ყინვა და თბომედეგობა. ამ თვისებების შეფასების მეთოდთა უმეტესობა (რგოლი და ბურთულა, პენეტრაცია, დუქტილება) წარმოადგენს ირიბ, მცირე ინფორმაციის მატარებელ, მასალათა სიმტკიცის თვისებების მიმართ, ამასთან ეს მეთოდები შრომატევადია და ხანგრძლივი. ამიტომ აქტუალურია ამოცანა, რათა დავამუშაოთ ექსპრესული ობიექტური მეთოდები შემკვრელ მასალათა სიმტკიცის თვისებების დასადგენად. ქვემოთ მოცემულია ამ ამოცანის გადწყვეტის მცდელობა.

ძვრის სიმტკიცე - ეს არის ძვრის დამაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა, ძვრის დროს ან ნიმუშის მოწყვეტის დამაბულობის მნიშვნელობა გაცხელებულ ან გაციებულ ზედაპირიდან, რომელიც გამოსახულია (მპა)-ში. მოცემულ ნაშრომში ქვესადებად გამოიყენება პელტიეს ელემენტის კერამიკული ზედაპირი, რაც იმიტირებას უკეთებს მყავე ბუნების ქვის მასალას.



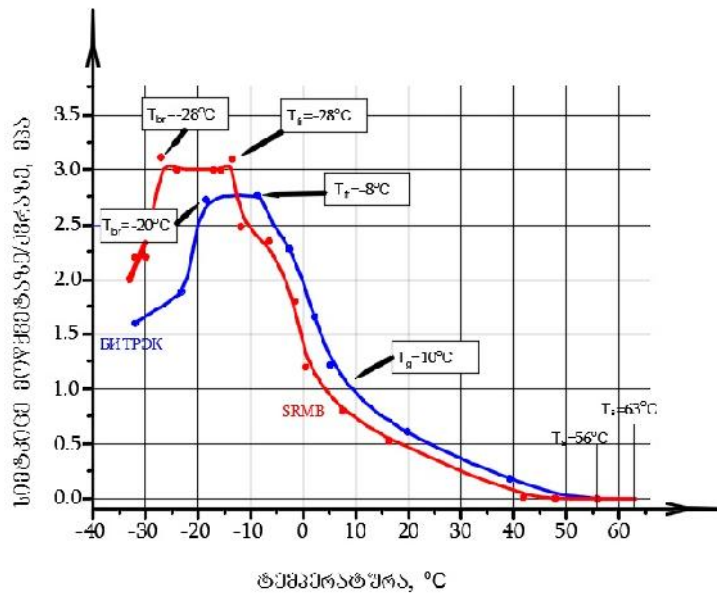
ივსება სტიკერი დიამეტრით 8მმ და სიღრმით 2მმ ნიმუშით მასით 7-8 მგ. ქვესადების ტემპერატურა იზრდება ნიმუშის დენადობის ტემპერატურამდე და მჭიდროდ ეკრობა სტიკერი ზედაპირთან ნიმუშის ზედმეტი ნარჩენის გამოდევნით. ხელსაწყო გრილდება საჭირო ტემპერატურამდე.

მოცემულ ტემპერატურაზე ნიმუშებზე გამოიყენება წანაცვლებითი დატვირთვა და დინამომეტრის სკალაზე აღინიშნება მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა კილოგრამებში. იანგარიშება ძვრის დაძაბულობა (ძვრის სიმტკიცე). დინამომეტრის ჩვენება მრავლდება კოეფიციენტზე  $K=0,2$  მკა/კგ. კოეფიციენტი  $K=0,2$  შეესაბამება 8 მმ-იანი ნიმუშის ზედაპირთან კონტაქტის ანაბეჭდის (ლაქა) დიამეტრს.

გაზომვის ცდომილება ფასდებოდა სტანდარტული გადახრით საშუალო მონაცემებიდან 5-6 რაოდენობით გამეორების შემთხვევაში. მეთოდის ფარდობითი ცდომილება არ აღემატება 6%.

ძვრის სიმტკიცე ოთახის ტემპერატურაზე დაბალ არეალში ისაზღვრებოდა დინამომეტრის დახმარებით, როცა ნიმუშზე ხდებოდა ძვრის მზარდი ძალისხმევა ფიქსირებულ ტემპერატურაზე. მაღალი ტემპერატურის არეალში დარბილების ტემპერატურის განსაზღვრის დროს გამოიყენებოდა მდორე გათბობის მეთოდი ( $10^{\circ}\text{C}$  /წუთში). მოცემული მცირე დატვირთვის დროს ნიმუშზე 10, 40 და 90 გ, რაც დიამეტრის ლაქის კონტაქტს 8 მმ-ით შეესაბამება ძვრის დაძაბულობა 0,002; 0,008 და 0,018 მკა.

პირველ ნახაზზე მოყვანილია მრუდები რომლებიც ასახავენ ნიმუშის ძვრის სიმტკიცის დამოკიდებულებას ტემპერატურაზე ინტერვალში ძვრის დაწყებიდან  $T_s$   $-32^{\circ}\text{C}$ -მდე. როგორც ნახაზიდან ჩანს ძვრის სიმტკიცე მდორედ იზრდება ტემპერატურის კლების მიხედვით, 0,002 მკა მნიშვნელობიდან ძვრის დაწყების ტემპერატურაზე  $T_s=56$  და  $63^{\circ}\text{C}$  და 2,8-3 მკა  $-15^{\circ}\text{C}$ .



**ნახ.1. BITPDK და SRMB ძვრის სიმტკიცის მრუდები**

შეიძლება ავლნიშნოთ შემდეგი დამახასიათებელი წერტილები (ტემპერატურის) რეოლოგიური მრუდის: (1)  $T_s$  - ძვრის (დარბილების) დაწყება მოცემულ მცირე დატვირთვაზე; (2)  $T_g$  - გამინების დაწყება როგორც მრუდის მკვეთრი აღმასვლა თავდაპირველი დამრეცი მონაკვეთის შემდეგ; (3)  $T_{fr}$  - გამინების პროცესის დამთავრება მრუდის მაღალ წერტილზე; (4)  $T_{br}$  - მინის გადასვლა მყიფე მდგომარეობაში, როგორც დაწყება მრუდის მკვეთრი ვარდნისა ქვემოთ (კროზადობის დაქვეითება)  $-20 \div (-30)^\circ\text{C}$  ინტერვალში. შესაბამისად მრუდი მოიცავს შემდეგ დამახასიათებელ მონაკვეთებს:  $T_s-T_g$ , რაც პასუხობს ნიმუშის სიბლანტის მატებას, (იმყოფება გელის მდგომარეობაში)  $T_g-T_{fr}$  შეესაბამება ნიმუშის გამინების პროცესს.  $T_{fr}-T_{br}$  - შეესაბამება ნიმუშის გამყიფებას ადჰეზიის (კროზადობის) მკვეთრი ვარდნით იმ დროს როცა გვაქვს სიმყიფის ტემპერატურა  $T_{br}=T_{xp}$ .

მრუდის მაქსიმალურ წერტილზე  $T_{fr}$ -ს დროს შეიმჩნევა კოჰეზიიდან ადჰეზიაზე გადასვლა.  $T_{fr}$ -მდე ძვრა ხდება მასალის შიდა ფენებში,  $T_{fr}$ -ის შემდეგ - „ადჰეზია-ქვესადების“ ზღვარზე.  $T_{fr}$  ტემპერატურაზე და უფრო დაბლა ნიმუში წყდება ზედაპირიდან ისე, რომ კვალს არ ტოვებს.  $T_{fr}$ -მდე ნიმუში მხოლოდ დაიძვრება (ცოცავს) ზედაპირზე და ტოვებს კვალს.

$T_{fr}$  ტემპერატურაზე გამინების ინტერვალის ბოლოს ნიმუში ხდება მსხვრევადი - გაღუნვისას ტყდება და არ ილუნება, ტოვებს ნიჟარისეულ ამოტეხილობას. ამიტომ მოცემულ ტემპერატურას ჩვენ ავლნიშნავთ, როგორც მსხვრევადობის ტემპერატურას (ინგლისურად fracture, აქედან  $T_{fr}$ ). ძვრის ძალა მრუდის ამ წერტილზე აღწევს მაქსიმუმს და შემდგომში არ იცვლება ტემპერატურის მკვეთრ დაცემამდე (სიმყიფის ტემპერატურა)  $T_{br}$  (brittle-მყიფე). რამდენადაც  $T_{fr}$  წერტილში იწყება ნიმუშის ადჰეზიური მოწყვეტა ზედაპირიდან, მოწყვეტის მაქსიმალური ძალვა ამ წერტილზე შეიძლება მივიღოთ შემკვრელის ქვის მასალასთან ადჰეზიის რაოდენობრივ ზომად.

ტემპერატურის დაწვეის მიხედვით, მოლეკულური ჯაჭვის მობილობის დაქვეითებით იზრდება ჯაჭვებს შორის კონტაქტების რიცხვი, ე.ი. სიბლანტე (კოჰეზია). ამასთან გამორიცხული არაა ქვესადგამიდან კავშირის ნაწილის გადასვლა მასალის შიგნით. კოჰეზიის და ადჰეზიის გათანაბრების მომენტში ხდება ადჰეზივის ამოვარდნა ქვესადგამიდან  $T_{fr}$  და ძვრის დაძაბულობაზე  $P_{fr}$  ( $P_{fr} = P_{xp}$  = წებვადობა) გადასვლის შესაბამის ტემპერატურაზე.

ნახ.1-დან ჩანს, რომ ნიმუშის დაძვრა 10გ. დატვირთვაზე დაიწყება 63 °C-ზე (БИТРЭК) და 56 °C-ზე (SRMB), შემდეგ ძვრის სიმტკიცე (СИ) ნელა იზრდება  $T_g=10^{\circ}\text{C}$ -მდე და სწრაფად მატულობს ამ მონაკვეთზე  $T_g-T_{fr}=10-(-8)=18^{\circ}\text{C}$  (БИТРЭК) და  $10-(-14)=24^{\circ}\text{C}$  (SRMB).

გამინების არეალი SRMB 6°C-ზე უფრო ხანგრძლივია გამინების მეორე მონაკვეთის ხარჯზე.  $-8\div(-14)^{\circ}\text{C}$ , რამაც შეიძლება მიგვანიშნოს ელასტიფიცირებად დანამატზე SRMB-ში. БИТРЭК-ში ასევე შეიმჩნევა ორი მონაკვეთი, სადაც მეორე  $2\div(-8)^{\circ}\text{C}$  უფრო სუსტადაა გამოხატული ვიდრე SRMB-ში, რადგან მასში ნაკლებად არის ელასტიკური კომპონენტები.

სიმყიფის ტემპერატურა БИТРЭК-ში აღწევს  $-20^{\circ}\text{C}$  და SRMB-ში  $-28^{\circ}\text{C}$ , რაც უკანასკნელში გამოწვეულია ელასტიკური კომპონენტების დიდი

შემცველობით. ამასთან კრობადობა БИТРЭК-ში რამდენადმე მცირეა SRMB-სთან შედარებით - 2,8 და 3 მპა. შესაბამისად.

ამრიგად SRMB უფრო ელასტიურია და კრობადი დაბალ ტემპერატურაზე ვიდრე БИТРЭК (უფრო ყინვამედეგი).

თუ ვიმსჯელებთ მიღებული მონაცემებით  $T_{br}$ , სიმციფის ტემპერატურის განსაზღვრის რეოლოგიური მეთოდი კარგად უნდა იყოს კორელირებული ფრასის მეთოდთან. ამასთან უნდა ავღნიშნოთ, რომ  $T_{xp}$ -ს მნიშვნელობა ძლიერ არის დამოკიდებული ბიტუმის გამოსაცდელი აფსკის სისქესთან, აფსკის სისქის ზრდასთან ერთად იზრდება  $T_{xp}$ -ს მნიშვნელობაც, ოღონდ იზრდება მსხვრევადობის რეოლოგიურ ტემპერატურამდე.

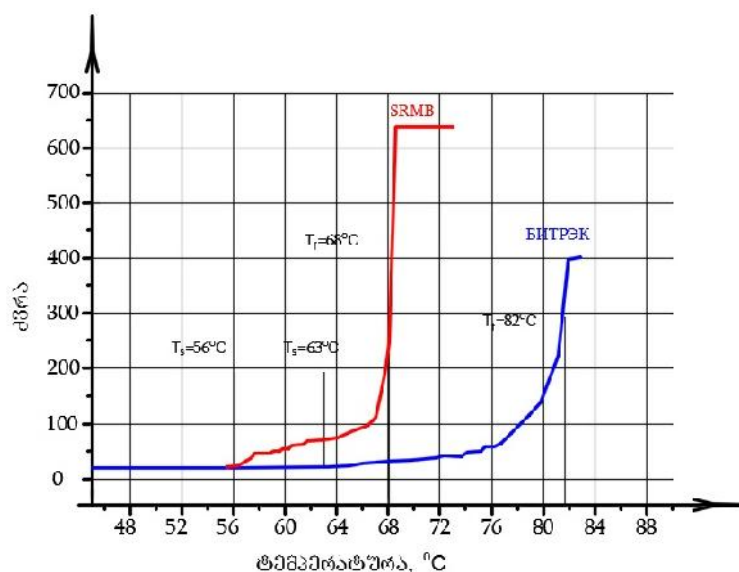
აღსანიშნავია ბიტუმის ფიზიკური მდგომარეობის არსებითი განსხვავება მსხვრევადობის და სიმციფის ტემპერატურებზე. პირველ შემთხვევაში ნიმუში ინარჩუნებს მნიშვნელოვან კრობადობას და სიმტკიცეს, დაბალი ტემპერატურების ინტერვალში. მეორე შემთხვევაში ნიმუში კარგავს ადჰეზიას ქვის მასალასთან, იფშვება და შორდება ღორღს უკვე მცირე დატვირთვის დროს ასფატბეტონზე. ეს პროცესი მკვეთრად აჩქარდება, დაწყებული კრიტიკულ დაბალ ტემპერატურიდან ექსპლუატაციის ზღვრულად დასაშვებ ტემპერატურამდე-სიმციფის ტემპერატურა  $T_{br}$ .

ზემოთ განხილული იყო შემკვრელის ქცევა დაბალ (ზამთრის) ტემპერატურაზე. არანაკლებ მნიშვნელოვანია შემკვრელის თვისების შესაფასებლად ნიმუშის გამოცდა მაღალ (ზაფხულის) ტემპერატურებზე. მასალის მაღალტემპერატურული თვისებების შედარებითი შეფასებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას შეთავსებული (ურთიერთ დადებული) ძვრის მრუდების მეთოდი მცირე ძვრის დატვირთვების ზონაში, ნახ.2.

ნახ.2-დან ჩანს, რომ დაძვრა БИТРЭК-ში იწყება  $T_s=63^{\circ}\text{C}$ , SRMB-ში კი  $T_s=56^{\circ}\text{C}$ . ნიმუშთა მთლიანი გათხევადება ხდება დენადობის

ტემპერატურაზე  $T_f=82^{\circ}\text{C}$  და  $68^{\circ}\text{C}$ . შესაბამისად, თბომედეგობა БИТРЭЖ-ში არსებითად მაღალია SRMB-სთან შედარებით.

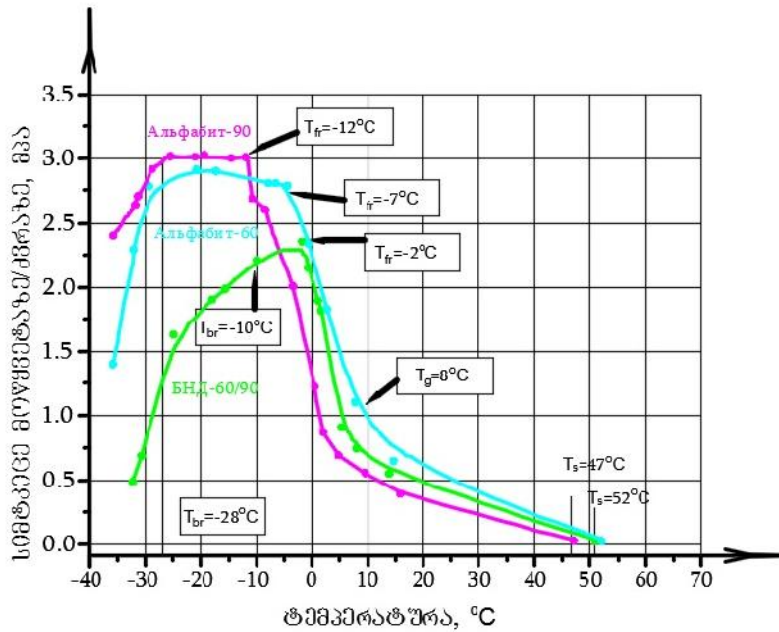
პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ დენადობის ტემპერატურა  $T_f$ , განსაზღვრული მცირე წანაცვლებითი დატვირთვებით 2 კპა,  $1-2^{\circ}\text{C}$ -მდე სიზუსტით ემთხვევა დარბილების ტემპერატურას, რომელიც განისაზღვრება დარბილების მეთოდით „რგოლი და ბურთულა“-ს მეთოდით.



**ნახ.2. БИТРЭЖ და SRMB შემკვრელების ძვრის მრუდები**

როგორც მეორე ნახაზიდან ჩანს ძვრის დაწყების და დენადობის ტემპერატურა БИТРЭЖ-ში შესამჩნევად მაღალია SRMB-თან შედარებით ე.ი. БИТРЭЖ უფრო თბომედეგია, ის უფრო გამოსადეგია გზების მშენებლობისთვის ცხელი კლიმატის პირობებში და ნაკლებად ცივ რეგიონებში. ყინვამედეგი SRMB უკეთესია გამოვიყენოთ რეგიონებში სადაც ცივი კლიმატია, მაგრამ მხოლოდ  $-28^{\circ}\text{C}$ -მდე. (დასაშვები დაბალი ტემპერატურა ექსპლუატაციისათვის). БИТРЭЖ-თვის ეს მაჩვენებელი ტოლია  $-20^{\circ}\text{C}$ .

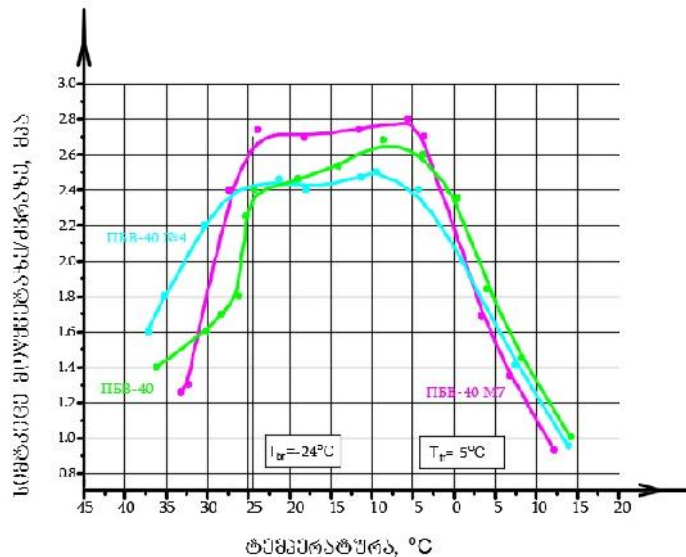
სრულყოფის მიზნით, ასევე გამოკვლეული იქნა პოლიმერბიტუმების შემკვრელები მარკით Альфабит-60, Альфабит-90 და ПБВ-40, რომლებიც დამზადებული იყო სხვადასხვა რეცეპტით (ნახ.3 და ნახ.4).



**ნახ.3. ძვრის სიმტკიცის მრუდები შემკვრელებისათვის *Альфабит-60*, *Альфабит-90* და *БНД-60/90***

რეოლოგიური მრუდები მე-3 ნახაზზე შეიძლება გამოდგეს პოლიმერბიტუმის დანამატების შემკვრელის ხარისხზე გავლენის რაოდენობრივი შეფასებისთვის. ასეთი დანამატების შეყვანის მიზანს წარმოადგენს გამინების და სიმციფის ტემპერატურის დაწევა (ყინვამედეგობის გაზრდა) და დარბილების ტემპერატურის გაზრდა - მაღალ ტემპერატურაზე ექსპლუატაციის დროს ძვრის სიმტკიცის მატება. ანუ შემკვრელის მუშაობის უნარის ინტერვალის გაფართოება.

მე-3 ნახაზიდან ჩანს, რომ საწყისი არამოდიფიცირებული ნიმუში-ბიტუმი БНД-60/90-ს გააჩნია მტვრევადობის მაღალი ტემპერატურა  $T_{fr} = -2$  °C და სიმციფის  $T_{br} = -10$  °C. ბიტუმის СБС პოლიმერით მოდიფიკაციამ მოგვცა მასალის მტვრევადობის და სიმციფის ტემპერატურათა მნიშვნელოვანი შემცირების საშუალება. ადჰეზიური სიმტკიცის გაზრდა-2,3 მპა. БНД-60/90-თვის ხოლო 2,8-3 მპა-მდე მოდიფიცირებული ნიმუშებისათვის. ამასთან Альфабит-60-ის თბომედეგობა რამდენადმე გაიზარდა-მისთვის  $T_s = 52$  °C და  $T_f = 64$  °C, БНД-60/90-სთვის  $T_s = 51$  °C და  $T_f = 60$  °C.



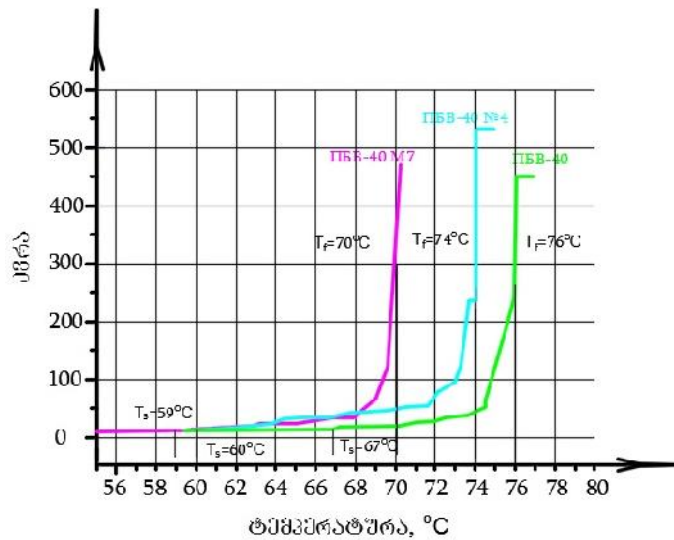
**ნახ.4. ძვრის სიმტკიცის მრუდები შემკვრელებისათვის ПЕВ-40, ПЕВ-40 №4 და ПЕВ-40 М7**

ამრიგად რეოლოგიური მონაცემები გვიჩვენებენ პოლიმერული დანამატების მაღალ ეფექტურობას შემკვრელის ძვრისადმი მდგრადობის და კრობადობის (ადჰეზია ქვის მასალებთან) ამაღლების კუთხით, ძვრისადმი მედეგობა იზრდება 1,5-ჯერ, რაც განაპირობებს მუშაობის უნარიანობის ინტერვალის გაფართოებას.

როცა ვადარებთ АльфаБИТ-ების 60 და 90 ძვრის სიმტკიცის მრუდებს, შეიძლება ითქვას, რომ АльфаБИТ-60 ძვრამედეგობით მთლიანად აღემატება АльфаБИТ-90-ს. ანუ მისი ხარისხი თბომედეგობის მხრივ მაღალია. ყინვამედეგობის კუთხით АльфаБИТ-90 რამდენადმე აღემატება АльфаБИТ-60 მტვრევადობის ტემპერატურის მაჩვენებლით ( $-12^{\circ}\text{C}$ ) და კრობადობით (ჰმპა). სიმყიფის ტემპერატურა ორივე შემკვრელს პრაქტიკულად ერთნაირი აქვთ ( $-28^{\circ}\text{C}$ ).

გამოკვლევული იქნა ასევე სხვადასხვა პოლიმერბიტუმები: ПЕВ-40, ПЕВ-40 №4 და ПЕВ-40 М7. შედეგები ნაჩვენებია მე-4 და მე-5 ნახაზებზე.

მე-5 ნახაზზე ჩანს, რომ მტვრევადობის და სიმყიფის ტემპერატურებით ნიმუშები პრაქტიკულად არ განსხვავდებიან. ძვრის სიმტკიცეზე ПЕВ-40 უფრო მაღალია სხვებზე  $76\pm 0^{\circ}\text{C}$  ინტერვალში. ნაკლებად თბომედეგი ПЕВ-40 М7 კრობადობით აღემატება სხვებს.



**ნახ.5. ძვრის მრუდები შემკვრელობისათვის *ПВВ-40, 40 №4 და ПВВ-40 M7***

შეიძლება ავლნიშნოთ შემდეგი საინტერესო კანონზომიერება. ნიმუშები დაბალი ძვრის სიმტკიცით დადებითი ტემპერატურის არეალში გვიჩვენებს მაღალი ძვრის სიმტკიცეს (კრობადობას) უარყოფითი ტემპერატურის არეალში. სხვა სიტყვებით, რომ ვთქვათ, რაც უფრო ნაკლებია მასალის თბომედეგობა, მით უფრო მაღალია მისი ყინვამედეგობა (დაბლა  $T_{fr}$  და  $T_{br}$ ,  $P_{fr}$  ზემოთ) და პირიქით.

**ცხრილი.5.**

**შემკვრელთა თვისებები რეოლოგიური მაჩვენებლების მიხედვით**

ნიმუში	დარბილების ტემპერატურის დასაწყისი $T_s$ $P=2$ კპა	დენადობის ტემპერატურა $T_f$ $P=2$ კპა	მტვრევადობის და სიმციფის ტემპერატურა		კრობადობა $P_{fr}$ , მპა	მუშაობის უნარიანობის (პლასტიურობის) ინტერვალი $T_s - T_{fr}$
			$T_{fr}$	$T_{br}$		
БИТРЭЖ	63	82	-8	-20	2.8	71
SRMB	56	68	-14	-28	3.0	70
Альфабит-60	52	64	-7	-28	2.8	59
Альфабит-90	47	60	-12	-28	3.0	59
ПВВ-40	67	76	-5	-24	2.6	72
БНД-60/90	51	60	-2	-10	2.3	53



მე-5 ცხრილში შეჯამებულია გამოკვლეული შემკვრელების ხარისხის რეოლოგიური მაჩვენებლები. მოცემული ცხრილიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ადჰეზიური სიმტკიცით (კროზადობის) და პლასტიურობის ინტერვალით БНД-60/90 ჩამორჩება დანარჩენ შემკვრელებს. თბომედეგობით იგი Альфабит-90-ის მსგავსია. თბომედეგია БИТРЭЖ და ПБВ-40, ყველაზე ყინვამედეგია SRMB და Альфабит-90, შემდეგ მოყვება Альфабит-60, ПБВ-40 და БНД-60/90.

მუშაობის უნარიანობის ინტერვალის (პლასტიურობა) ყველაზე მაღალია БИТРЭЖ, ПБВ-40 და SRMB, შემდეგ მოდის Альфабит-60, Альфабит-90, БНД-60/90.

БИТРЭЖ-ისა და SRMB-ის ძვრის სიმტკიცის მრუდები ასახავენ ნიმუშის ძვრის სიმტკიცის დამოკიდებულებას ტემპერატურაზე ძვრის დაწყებიდან  $T_s-32^{\circ}\text{C}$ -მდე. ძვრის სიმტკიცე მდორედ იზრდება ტემპერატურის კლების მიხედვით 0,002 მპა-დან 2,8-3,0 მპა-მდე.

გრაფიკული მრუდი მოიცავს  $T_s-T_g$  მონაკვეთს, რომელიც პასუხობს სიბლანტის მატებას,  $T_g-T_{fr}$  მონაკვეთი შეესაბამება ნიმუშის გამინების პროცესს და  $T_{fr}-T_{br}$  მონაკვეთი შეესაბამება ნიმუშის გამყიფებას ადჰეზიის მკვეთრი ვარდნით.

გრაფიკული მრუდის მაქსიმალურ წერტილზე  $T_{fr}$  შეიმჩნევა კოჰეზიიდან ადჰეზიაზე გადასვლა, ხოლო მასზე დაბალი ტემპერატურის დროს ნიმუში წყდება ზედაპირიდან ისე, რომ კვალს არ ტოვებს.  $T_{fr}$  ტემპერატურაზე გამინების ინტერვალის მრუდის ნიმუში ხდება მსხვრევადი და ამ ტემპერატურას ვუწოდებთ მსხვრევადობის ტემპერატურას. ძვრის ძალა ამ წერტილზე აღწევს მაქსიმალურს და შემდგომში არ იცვლება ტემპერატურის მკვეთრად დაცემამდე. ნიმუშის ადჰეზიური მოწყვეტის მაქსიმალური ძალვა ამ წერტილზე შეიძლება მივიღოთ ადჰეზიის რაოდენობრივ ზომად. ექსპერიმენტების მონაცემების გაანალიზებისას ირკვევა, რომ მოდიფიცირებული ნარევების საექსპლუატაციო მაჩვენებლები იზრდება 15-20%-ით.

**მოდულიზირებული ასფალტბეტონების ცვეთის კვლევა:**

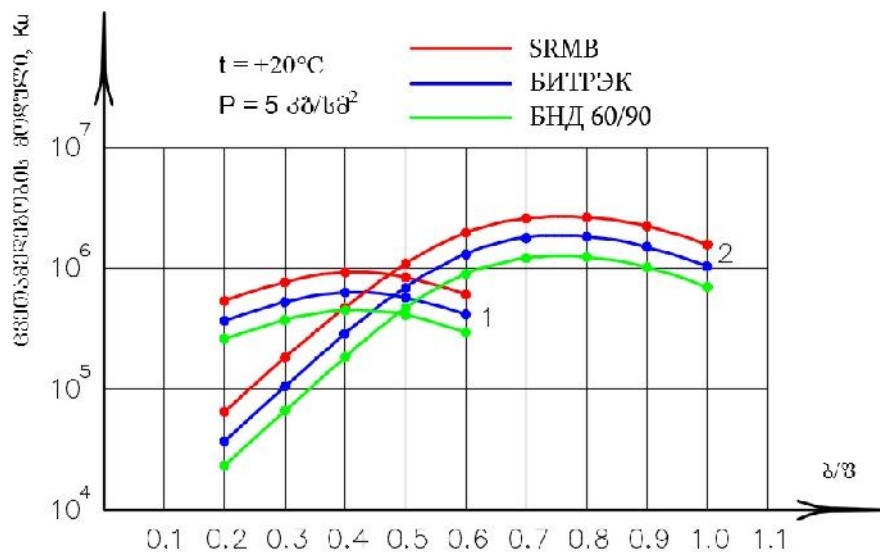
მრავალწლიანი გამოცდილება ადასტურებს, რომ საქართველოს ცხელი კლიმატისა და მთაგორიანი რელიეფის პირობებში, დიდ ქანობიან უბნებზე, მოსახვევებში, გაჩერების ადგილებზე ავტომობილის დამუხრუჭებისა და წევის ძალების ინტენსიური მოქმედება მეტად უარყოფითად მოქმედებს საგზაო საფარების მდგომარეობაზე. ამიტომაც, რომ ასფალტბეტონის ფენილებზე, სადაც ბიტუმებია გამოყენებული, მასობრივად წარმოიქმნება გრძივი, განივი და ბადისებური ბზარები, რის გამოც აღნიშნული საგზაო საფარები ინტენსიურად ცვდება და იშლება, იზრდება გზის საექსპლუატაციო ხარჯები, ორჯერ და უფრო მეტად მცირდება ხანგამძლეობა, უარესდება მოძრაობის უსაფრთხოება და სატრანსპორტო საშუალებათა გადაადგილების პირობები.

ყოველივე ეს მოითხოვს რიგი პრობლემური ხასიათის ამოცანების გადაწყვეტას. ერთის მხრივ, საგზაო მშენებლობაში უნდა დაინერგოს საგზაო სამოსის ისეთი კონსტრუქციები, რომლებიც უახლოესი კარიერებიდან მიღებული ინერტული მასალის მაქსიმალურად გამოყენების პირობებში უზრუნველყოფს საგზაო სამოსის სათანადო სიმტკიცეს, ცვეთამედეგობასა და ხორკლიანი ზედაპირების შექმნას.

ადგილმდებარეობის ტიპის მიხედვით საფარების ცვეთამედეგობის დამატებით გაზრდის მიზნით საგზაო სამოსებში მიზანშეწონილია გაიზარდოს ბიტუმის რაოდენობა ტექნიკური პირობებით გათვალისწინებულ ოპტიმალურ რაოდენობასთან შედარებით. ბიტუმის რაოდენობის გაზრდა, მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს ცხელი კლიმატის პირობებში ნარევის ცვეთამედეგობაზე, ამავდროულად მინიმუმამდე დაჰყავს ნარჩენი ფორიანობა, რაც გამორიცხავს ნარევი ატმოსფერული ნალექების (ცვეთის გამომწვევი აქტიური კატალიზატორის) მექანიკურად მოხვედრის საშუალებას. ასფალტბეტონის ცვეთამედეგობა მით მეტია, რაც უფრო მკვრივია მისი სტრუქტურა, მაგარია ინერტული მასალა და მაღალია მინერალურ მასალასთან ბიტუმის მიკვრის ხარისხი.

ასფალტბეტონების ფენილების ცვეთა ძირითადად დამოკიდებულია ასფალტშემკვრელი ნივთიერებების შემადგენლობაზე და მის რაოდენობაზე ნარევიში. ცვეთამდეგობაზე ასევე არსებით გავლენას ახდენს ასფალტბეტონის ნარევიში ღორღის შემცველობა. ამ მიზნით ჩვენს მიერ ჩატარებული იქნა ექსპერიმენტები. ცდების დროს ძირითადად გამოყენებული იქნა მოდიფიცირებული ბიტუმები, რომელთა მოდიფიცირება ხდებოდა SRMB და ВИТРЕК-ით.

ჩატარებული კვლევების გაანალიზება გვამცნებს საშუალებას ვთქვათ, რომ ცვეთამდეგობის გაზრდისათვის საკმარისია ღორღის მასის ზრდა 50-55%-მდე ზედაპირულ ფენაში. ეს განპირობებულია იმით, რომ ღორღის რაოდენობის გაზრდით ფაქტიურად ხდება ღორღის ფიზიკურად ნაკლები გაცვეთა და შესაბამისად ამ დროს 30-35%-ით მატულობს ავტომობილის საბურავის შეჭიდულობა საგზაო საფარის ზედაპირთან. ღორღის რაოდენობის შემდგომი ზრდა ნაკლებ გავლენას ახდენს ცვეთამდეგობის გაზრდაზე. თავის მხრივ, ღორღის რაოდენობის გაზრდა იწვევს შიდა სტრუქტურული ბმების სიმტკიცის ცვალებადობას და ითხოვს მინერალური ფხვნილისა და ბიტუმის თანაფარდობის კორექტირებას. (იხ. ნახ.6).



**ნახ. 6. ცვეთამდეგობის მოდულის დამოკიდებულება ასფალტბეტონის ნარევიში ბ/ფ-ს თანაფარდობაზე (1. ღორღის რაოდენობა ნარევიში 30 %; 2. ღორღის რაოდენობა ნარევიში 56 %)**

მიღებული შედეგების საფუძველზე ირკვევა, რომ დანამატის შეყვანა ასფალტბეტონში დადებითად მოქმედებს მის ფიზიკო-მექანიკურ მაჩვენებლებზე: მნიშვნელოვნად მცირდება წყალჟღენტვა და ნარჩენი ფორიანობა, იზრდება წყალმედვეობის კოეფიციენტი, რაც ახასიათებს ასფალტბეტონის კოროზიულ მდგომარეობას. ეს აიხსნება მოდიფიცირებული შემკვრელის მაღალი ადჰეზიით, ვინაიდან იქმნება მტკიცე აფსკი და წყალს უძნელდება მისი ქვის მასალისგან განცალკევება. შედეგების ანალიზიდან გამომდინარე მოდიფიკატორის „БИТРЕК“-ის გამოყენების შემთხვევაში ცვეთამედვეობა ჩვეულებრივ ბიტუმზე დამზადებულ ნარევებთან შედარებით იზრდება 10%-ით, ხოლო „SRMB“-ს გამოყენების შემთხვევაში კი 20%-ით.

**დასკვნა.** ჩატარებული ექსპერიმენტული გამოკვლევებისა და მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები:

- ჩვენს მიერ განხორციელებული თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევის საფუძველზე დადგენილი იქნა საგზაო საფარების რღვევის გამომწვევი მიზეზები და მოხდა მათი გაანალიზება.
- შემოთავაზებულია ორგანული შემკვრელის-ბიტუმის რეოლოგიური თვისებების გაუმჯობესების მეთოდი პოლიმერების დამატებით და შესაბამისად მოდიფიცირებული ბიტუმის საფუძველზე დამზადებული ასფალტბეტონის ნარევების თვისებების გაუმჯობესების მეთოდები.
- დამტკიცებულია პოლიმერბიტუმების მაღალი ეფექტურობა მოდიფიცირებული შემკვრელის ძვრისადმი მდგრადობისა და კრობადობის ამაღლების კუთხით, რაც თავის მხრივ განაპირობებს აღნიშნულ შემკვრელებზე მომზადებული ნარევების საექსპლუატაციო მაჩვენებლების ამაღლების შესაძლებლობას 15-20%-ით.
- თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევის საფუძველზე დადგენილი იქნა ასფალტბეტონში შემავალი აგენტების

ოპტიმალური შემადგენლობა, რომელმაც მოგვცა საშუალება გაგვეზარდა საბურავის საფარის ზედაპირთან შეჭიდულობა 30-35%-ით და ძვრისადმი მედეგობა 1,5-ჯერ.

- პოლიმერული დანამატებით მოდიფიცირებული ბიტუმები „პოლიმერბიტუმები“ საშუალებას იძლევა შევამციროთ სეზონურობის გავლენა ტექნოლოგიურ პროცესებზე და შესაბამისად გავზარდოთ საგზაო საფარების მშენებლობის ვადები 8-დან 10 თვემდე.
- მოდიფიკატორების საფუძველზე მომზადებული ნარევების ცვეთამედეგობაზე გამოცდის შედეგების შეფასებამ გვიჩვენა, რომ „БИТРЕК“-ის გამოყენების შემთხვევაში ცვეთამედეგობა ჩვეულებრივ ბიტუმებზე დამზადებულ ნარევებთან შედარებით გაიზარდა 10%-ით, ხოლო „SRMB“-ს გამოყენების შემთხვევაში კი 20%-ით.
- დაღლილობით გამოწვეული რღვევისადმი მონოლითური ფენების წინააღმდეგობაზე საგზაო სამოსების გაანგარიშება ჩვენთან ფაქტიურად არ ხდება ან იგი არასრულყოფილია, ამიტომ საგზაო სამოსის კონსტრუქციული ფენების ხანმედეგობის გაზრდის მიზნით მიზანშეწონილად მიგვაჩნია შემდგომში გაგრძელდეს კვლევა ახალი ეფექტური კონსტრუქციული გადაწყვეტების დასამუშავებლად, ამასთან სასურველია გადავიდეთ მათი გამოცდის ახალ მეთოდებზე რომლებიც სრულყოფილად გაითვალისწინებს სატრანსპორტო ნაკადის რეალურ დინამიკურ ზემოქმედებას საგზაო სამოსზე.

### **დისერტაციის თემასთან დაკავშირებული პუბლიკაციები**

1. პაპუაშვილი თ., სულამანიძე მ. ექსპლუატაციის რეალურ პირობებში ასფალტბეტონის საფარების დაღლილობითი ხანმედეგობის შეფასება. *სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“*. 2015, №3(38) გვ.70-73.
2. პაპუაშვილი თ., ჯღამაია ვ., სულამანიძე მ. ბლანტი საგზაო ბიტუმების რეოლოგიური თვისებები. *სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“*. 2016, №1(40) გვ.63-67.

3. პაპუაშვილი თ., ჯღამაია ვ., სულამანიძე მ. რეზინობიტუმებისა და პოლიმერბიტუმების რეოლოგიური თვისებები. *სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“*. 2016, №3(42) გვ.95-101.
4. ჩილოჩავა ლ., კეჭყაძე მ., სულამანიძე მ. ბიტუმის მოდიფიცირება პოლიეთილენის გარსით და მის საფუძველზე ასფალტბეტონის დამზადების ტექნოლოგია. *სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“*. 2015, №2(37) გვ.77-79.
5. სულამანიძე მ. ასფალტბეტონის კომპოზიტიური მასალების სტრუქტურების მათემატიკური მოდელირების საფუძვლები. *სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“*. 2017, №1(44) გვ.64-68.

### **Abstract**

Developed road infrastructure is a bases for economic strength of any state, and it is more crucial for the mountainous countries like Georgia. Geographic location of Georgia and its importance for international commodity trafficking is a factor of considerable interest. It is widely acknowledged that Georgia is situated on the oldest transport crossroad connecting countries from the north and south, as well from the west and east. One of the sections of the historical “Silk road” or the ancient network of trade routes passes through Georgian territory.

Current considerable increase in traffic loads causes augmented technogenic impact on motor roads. All this ensues from the continues interaction of salts and acids provoking aggressive impacts by polluted air and atmospheric precipitates. Nature and climatic changes have become vivid. Temperature fall is frequent. Generally speaking, about 70% of motor roads needs improving, since the number of vehicles and axle loads on pavement surface is considerably higher now than it was in older normatives, reaching 10-13t. The pertinent factors and abovementioned causes jointly aggravate the motor road pavement conditions resulting in intense disintegration.

Asphalt concrete for road pavement needs is manufactured on the bases of oil bitumen that represents a binder. The major part of the manufactured bitumen do not match altered and complex operational conditions, on the other hand, the oil bitumen by its nature cannot provide for required strength of asphalt concrete pavement and call for totally new approaches for improving their properties.

The temperature dependence on the rheological properties of road bitumen and other homogenous binders in normative documents must be taken into consideration because of two factors, that is the crush and tension temperatures. It is clear that the less is the temperature of crush, the higher is tension, i.e.

temperature interval or binder plasticity determines the better quality of binder. After this the binder should be equipped with resistance to strain.

All strain properties of binders depend on its viscous-resilient properties, strength and cohesion force on different surfaces, i.e. adhesion and cohesion. These chemical and physical properties determine exactly such properties as resistance to aggressive impact from environment that takes place in any structure. Adhesion is the most important property of binder, or ability to resist the external factors without disintegrating on the various material cohesion edges. We think that actually it is this parameter that determines the durability and service life of material in structures.

Asphalt concrete bears the value that enables for precise characterization of integral adhesive properties of binders, it is the water-resistance of asphalt concrete. Standard value of water-resistance in high quality asphalt concrete is 0,95 that is rarely achieved in currently used bitumen. Correspondingly, the higher is the water-resistance the longer is the service life of the binder.

Seasonal temperature changes immediately impact binder materials, it concerns - 30° + 60°C under the same conditions they are under operation.

In order to improve the bitumen properties the typical elastomers must be mixed with bitumen.

One of the promising practices to solve the problem is using the material with higher quality and promote the work in this direction. No doubt the mentioned materials are relatively costly, but the prolongation of inter-repair time and workability result in considerable economy of funds.

**Economical effectiveness is determined by the following:**

- For assessing the motor vehicle operation efficiency the time consumption values are used that is required for passenger or commodity trafficking. The latter or time duration directly depends on traffic speed. Efficiency of vehicle operations are characterized by cost price of trafficking. Diminishing of average speed results in sharp increase in traffic cost price, especially for speed less than 40 km/h. The operational condition of the road pavement largely impacts the fuel consumption. In condition of worsened roughness the more speed - the higher the fuel consumption.
- Maintenance and inter-repair time duration of road pavement will be considerably increased resulting in serious economy in content material both at the stage of pavement construction and operational period.

**Ecological effect is determined by the following:**

- Polyethylene is the most used ingredient for manufacturing of various type polymer. The utilization of polyethylene is the topical subject around the

world. Polyethylene residues are not biodegradable (decay period might reach 1000 years). Recycling of polyethylene is impossible in Georgia and it negatively impacts environment and aggravate ecological condition. The problem could be solved by polyethylene recycling, secondary polyethylene is possible to use for manufacturing of various products even modifying the asphalt concrete mixes.

- Since there is no necessity of frequent use of bitumen-mineral mixes and other inert material (because of increased operational life of road pavements), the environmental pollution will be considerably diminished, as the oil products are ecologically aggressive and obtain of inert materials damage nature.
- Besides, it is positive by considerable economy of oil products and power resources required for production processes.

All abovementioned subjects are elaborated in detail in dissertation work.

**Purpose of dissertation:**

- Modification of viscous bitumen used in road field in Georgia, by increasing their rheological properties.
- Research related to importance of force of cohesion between asphalt concrete layers. Experimental survey of possibility of increase in cohesion by using polymer bitumen.
- Establishing causes provoking road pavement disintegration, with further analyzing.
- Improving physical-mechanical properties of structural layers of road pavement processed with organic and mineral binders on the bases of theoretical and experimental research.

**Scientific innovation:**

- Experimentally confirmed possibility of improving operational properties of asphalt concrete mixes modified by polymer material.
- We substantiated the methods for improving the properties of road pavement wearing courses.

**Practical value of the work:**

- On the basis of experiments, the construction and design organizations have been developed, as well as the improvement of the relational properties of the spindle materials used in the layers of asphalt concrete.
- Methodological measures for enhancing the physical-mechanical characteristics of the oil bitumen have been developed, using different modifiers, which in turn contributes to the improvement of the productive layer of the constructive layer.