

ზურაბ მელაძე

საგზაო ფენილების საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება
პოლიმერული მასალების გამოყენებით

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის

მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2013 წელი

საავტორო უფლება © 2013 ზურაბ მელაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ რომ გავეცანით ზურაბ მელაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: "საგზაო ფენილების საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება პოლიმერული მასალების გამოყენებით" და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

30.07.2013 წ.

ხელმძღვანელი : თენგიზ პაპუაშვილი, ასოც. პროფესორი

რეცენზენტი: ალექსი ბურდულაძე, სრ. პროფესორი

რეცენზენტი: თამაზ შილაკაძე, ტ.მ.დ.

ხარისხის უზრუნველყოფის

სამსახურის უფროსი:

მ.ჯავახიშვილი, ასოც. პროფესორი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2013 წელი

ავტორი: ზურაბ მელაძე

დასახელება "საგზაო ფენილების საექსპლუატაციო თვისებების

გაუმჯობესება პოლიმერული მასალების გამოყენებით"

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: 30.07.2013

ინდივიდუალური პროცნების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნით კოპირების და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

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

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

რეზიუმე

ნაშრომის აქტუალობა: მთელ მსოფლიოში გზების მშენებლობის აუცილებლობამ გამოიწვია მოთხოვნის გაზრდა ბიტუმსა და ნავთობის სხვა კომპონენტებზე. უნდა აღინიშნოს რომ ნავთობის გამოხდის ტექნოლოგიები მუდმივად ვითარდება და უმჯობესდება, ნავთობიდან ხდება სასარგებლო კომპონენტების გამოხდა, ხოლო მისი ნარჩენების ანუ ბიტუმის ხარისხი კი უარესდება.

ჩვეულებრივი მასალები მრავალი წლის განმავლობაში უზრუნველყოფდნენ დამაკმაყოფილებელ ხარისხს საგზაო მშენებლობაში.

დღესდღეისობით მუდმივად მზარდმა დატვირთვებმა, საიმედო და გამძლე გზების საჭიროებამ გამოავლინა ჩვეულებრივი ბიტუმების ნაკლოვანებები. პრაქტიკაში ეს ნაკლოვანებები გამოიხატება შემდეგში:

- მაღალი თერმული მგრძობელობა(მაღალი ტემპერატურის დროს თავს იჩენს დარბილება, ხოლო დაბალ ტემპერატურაზე სიმციფე);
- ცუდი მექანიკური მახასიათებლები და დაბალი დრეკადობა;
- დამველებისადმი მიდრეკილება.

ბიტუმის ხარისხის გაუარესებასთან ერთად უარესდება მის საფუძველზე დამზადებული ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები. ამ მახასიათებლების გაუარესება კი იწვევს საგზაო საფარის საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გაუარესებას.

ამ გარემოებებიდან გამომდინარე აქტიურად მიმდინარეობს კვლევები ბიტუმის თვისებების გასაუმჯობესებლად. კვლევებმა გამოავლინა, რომ პოლიმერული მასალები წარმოადგენენ საუკეთესო მოდიფიკატორებს, რომლებიც აუმჯობესებენ ბიტუმის ტექნოლოგიურ თვისებებს. კვლევებიდან ირკვევა, რომ პოლიმერები ამცირებს ბიტუმის მგრძობელობას ტემპერატურის ცვალებადობაზე, ამადლებს შემკვრელების კოჰეზიურ სიმტკიცეს, თბომედეგობას და ელასტიურობას, აგრეთვე აუმჯობესებს მათ თვისებებს დაბალ ტემპერატურებზე. ყოველივე ზემოაღნიშნული ხელს უწყობს ასფალტბეტონის თვისებების გაუმჯობესებას.

პოლიმერული მასალებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონების ნარევის წარმოების განვითარება წარმოადგენს ასფალტბეტონის საფარის ხარისხისა და საექსპლუატაციო ვადების გაზრდის ერთ-ერთ პერსპექტიულ მიმართულებას. პოლიმერული მასალების გამოყენება საშუალებას მოგვცემს გავაუმჯობესოთ ასფალტბეტონის მთელი რიგი ფიზიკო-მექანიკური თვისებები: გავზარდოთ სიმტკიცე, დეფორმაციული მდგრადობა(ძვრისადმი მედეგობა), ცვეთამედეგობა, ყინვაგამძლეობა, წყალმედეგობა, ბზარმედეგობა და სხვა.

სადისერტაციოს ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს: საგზაო ფენილების საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესების მიზნით პოლიმერულ დანამატებზე დამზადებული ასფალტბეტონის გამოკვლევა და მიღება, კერძოდ, მეორადი პოლიეთილენისა და ლატექსის ნარევით და

ტერპოლიმერებით ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესება.

დასახული მიზნის მისაღწევად დისერტაციაში გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:

- პოლიმერული დანამატების (მეორადი პოლიეთილენის და ლატექსის ნარევისა და ტერპოლიმერების) ბიტუმის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებზე გავლენის გამოკვლევა;
- პოლიმერული მასალებით მოდიფიცირებულ ბიტუმით და ადგილობრივი ქვის მასალებით დამზადებული ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა;
- მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის ძვრისადმი მედეგობის შესაფასებლად ექსპერიმენტული კვლევა მარშალის მეთოდით;
- ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის მნიშვნელობის კვლევა. პოლიმერბიტუმის გამოყენებით შეჭიდულობის ძალის გაზრდის შესაძლებლობის ექსპერიმენტული კვლევა;
- პოლიმერული დანამატების სხვადასხვა რაოდენობის შესაბამისად ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების პროგნოზირებისათვის მათემატიკური მოდელის შექმნა.

ეკოლოგიური ეფექტურობა: პოლიმერებიდან ერთ-ერთი ყველაზე მეტად გავრცელებული მასალაა პოლიეთილენი (ეგრეთწოდებული პლასტმასი). დღესდღეისობით მსოფლიოში აქტუალურია მისი უტილიზაციის საკითხი. პოლიეთილენის ნარჩენები დიდი ხნის განმავლობაში არ იშლება (მათი დაშლის პერიოდი შესაძლებელია 1000 წლამდეც გაგრძელდეს). საქართველოში პოლიეთილენის ნარჩენების გადამუშავება არ ხდება, ისინი დიდ ზიანს აყენებს გარემოს და აუარესებს ეკოლოგიურ მდგომარეობას.

პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია პოლიეთილენის მეორადი გადამუშავებით. მეორადი პოლიეთილენის საშუალებით მზადდება სხვადასხვა პროდუქცია და მისი გამოყენებით შესაძლებელია ასფალტბეტონის ნარევის მოდიფიცირება.

განვითარებულ ქვეყნებში აქტიურად მიმდინარეობს კვლევები პოლიმერული დანამატების გამოყენებით ასფალტბეტონის ხარისხის გასაუმჯობესებლად. ერთ-ერთ პერსპექტიულ მიმართულებას წარმოადგენს პოლილეოფინებით ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესების საკითხების შესწავლა. როგორც კვლევებიდან ირკვევა პოლილეოფინების (რომლებსაც განეკუთვნება პოლიეთილენი) გამოყენება იძლევა საგრძნობ ეფექტს. ეს პოლიმერული მასალები და ბიტუმი თავსებადია, მათი ბიტუმში შერევით შესაძლებელია ბიტუმის საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება.

ეკონომიკური ეფექტურობა: საავტომობილო ტრანსპორტის მუშაობის ეფექტურობის შესაფასებლად გამოიყენება დროის ხარჯი, რომელიც საჭიროა მგზავრების გადასაყვანად ან ტვირთების გადასაზიდად. დროის ეს ხარჯი კი უშუალოდ დამოკიდებულია მოძრაობის სიჩქარეზე.

მოდრაობის სიჩქარე დამოკიდებულია: საგზაო სამოსის მდგომარეობაზე, სისწორესა და ჩაჭიდების ხარისხზე. მოძრაობის სიჩქარის შემცირების ერთ-ერთ მთავარ მიზეზს წარმოადგენს საგზაო საფარის სისწორის გაუარესება.

საავტომობილო ტრანსპორტის მუშაობის ეფექტურობა ხასიათდება გადაზიდვების თვითღირებულებით. საშუალო სიჩქარის შემცირებით მკვეთრად იზრდება გადაზიდვების თვითღირებულება, განსაკუთრებით 40 კმ/სთ ნაკლებ სიჩქარეებზე.

საავტომობილო გზის მდგომარეობა დიდ გავლენას ახდენს მასზე მოძრავი ავტომობილის საწვავის ხარჯზე. ამასთან სისწორის გაუარესებისას რაც უფრო მეტია სიჩქარე, მით მეტად იზრდება საწვავის ხარჯი.

ევროპის განვითარებისა და რეკონსტრუქციის ბანკის მონაცემების მიხედვით გზების მდგომარეობა გავლენას ახდენს ავტომობილების მუშაობის ეფექტურობაზე. ამრიგად, არსებული გზების საექსპლუატაციო მდგომარეობის ტექნიკური ხარისხის საგრძნობი ამაღლების გარეშე, შეუძლებელია საავტომობილო ტრანსპორტის მუშაობის ეფექტურობის გაზრდის ამოცანის გადაწყვეტა.

პოლიმერული დანამატების გამოყენებით შესაძლებელია ასფალტბეტონის საფარის საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება. პოლიმერასფალტბეტონის ნარევის აქვს ჩვეულებრივთან შედარებით ძვრისადმი მედეგობის უკეთესი მაჩვენებლები. ეს აფერხებს საფარზე ძვრის დეფორმაციების წარმოქმნას და სისწორის გაუარესებას. სისწორის გაუმჯობესებით კი შესაძლებელია მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ეფექტის მიღება მგზავრების გადაყვანისას და ტვირთების გადაზიდვის დროს.

ასფალტბეტონის საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გაუმჯობესება გამოიწვევს რემონტთაშორისი პერიოდის გაზრდას. ამით შესაძლებელი იქნება გზებზე გაწეული მოვლა-შენახვის ხარჯების შემცირება რაც ასევე მოგვცემს საგრძნობ ეკონომიკურ ეფექტს.

უნდა აღინიშნოს რომ დღესდღეისობით პოლიმერების მაღალი ფასი წარმოადგენს მთავარ მიზეზს რის გამოც არ ხდება პოლიმერებით გაუმჯობესებული ბიტუმის ფართო გამოყენება საგზაო მშენებლობაში. ფინანსური დანახარჯების შემცირება შესაძლებელია სხვადასხვა კლასის პოლიმერებით ბიტუმის კომპლექსური მოდიფიკაციით. ამ დროს შესაძლებელია ძვირადღირებული და შედარებით იაფი მოდიფიკატორების ერთობლივი გამოყენება. მეორადი პოლიეთილენის ფასი საგრძნობლად ნაკლებია პირველადზე, მისი საშუალებით შესაძლებელია ასფალტბეტონის ნარევის მოდიფიცირება.

მეორადი პოლიეთილენით მოდიფიკაცია ბევრად გააიაფებს მოდიფიცირებულ ბიტუმს და შესაბამისად მის საფუძველზე დამზადებულ პოლიმერასფალტბეტონს.

სამეცნიერო სიახლე

- ექსპერიმენტულად დამტკიცდა გაუმჯობესებული საექსპლუატაციო მაჩვენებლების მქონე პოლიმერული(მეორადი

პოლიეთილენის და ლატექსის ნარევიტ და ტერპოლიმერებით) მასალებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის მიღების შესაძლებლობა;

- მარშალის მეთოდით ჩატარებული კვლევებით დამტკიცდა ასფალტბეტონის ძვრისადმი მედეგობის გაზრდის შესაძლებლობა პოლიმერული დანამატების გამოყენებით.
- ექსპერიმენტულად დამტკიცდა ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის გაზრდის შესაძლებლობა პოლიმერით მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენებით.
- დამუშავდა მათემატიკური მოდელი რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ბიტუმში პოლიმერული დანამატის პროცენტული რაოდენობის შესაბამისად ასფალტბეტონის ნარევის ფოზიკო-მექანიკური მაჩვენებლების პროგნოზირება.

სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა მდგომარეობს შემდეგში:

- მეორადი პოლიეთილენის გამოყენება შეამცირებს პოლიმერებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის ფასს;
- მეორადი პოლიეთილენის გამოყენება შეამცირებს პოლიეთილენის ნარჩენების გარემოში მოხვედრას, რაც შეუწყობს ხელს გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებას;
- დამუშავებული მათემატიკური მოდელი შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ქსპერიმენტის შედეგების პროგნოზირებისათვის რაც საშუალებას მოგვცემს მნიშვნელოვნად შევამციროთ ფიზიკური ექსპერიმენტების რაოდენობა.

Abstract

Actuality of the work: The necessity of road construction around the world caused the growth of demand on bitumen and on other components of oil. It should be pointed out, that the technologies of distilling oil are being developed and improved, useful components are distilled from oil and the quality of the waste material or the bitumen is growing worse.

Ordinary material of the road construction has been ensuring a satisfactory quality for years.

Nowadays permanently increasing loads and the need of reliable and strong roads revealed the flaws of the ordinary bitumen. In practice these flaws are reflected in the following:

- High thermal sensitivity (during the high temperature it is becoming softer and during the low temperature it is becoming stiffer);
- Bad mechanical properties and low elasticity;
- Inclination towards aging.

As the quality of bitumen becomes worse, physical-mechanical properties of asphalt-concrete made on its basis becomes worse as well. Worsening of these properties causes aggravation of exploitation data of the road surface.

Proceeding from these circumstances, the investigations for improving the quality of and properties of bitumen is already underway. These investigations revealed that the polymers are decreasing sensitivity of bitumen towards the temperature fluctuation, increases cohesive strength of cohesive material, thermal resistance and elasticity, improves their properties on low temperatures. All of the abovementioned contributes to the improvement of asphalt-concrete properties.

Development of the production of asphalt-concrete modified by polymer material represents one of the prospective directions for increasing asphalt-concrete surface quality and terms and validity of exploitation

Using polymer material will ensure a possibility for us to improve physical-mechanical properties of asphalt-concrete: to increase the strength, stability on deformation (shear strength) tearing strength, freezing resistance, waterproof properties, cracking strength and etc.

Target of the scientific work is the following: investigation and approval of the asphalt-concrete based on the polymer additives for the purposes of improving the exploitation properties of road pavements, namely, on the basis of the secondary polyethylene as well as improving physical-mechanical properties of asphalt-concrete on the basis of terpolymers.

For the purposes of achieving the mentioned target the following tasks are given for the solution:

- Investigation of the impact on physical-mechanical properties of bitumen of the additives (secondary polyethylene and terpolymer);
- Theoretical-experimental investigation of the physical-mechanical properties of asphalt-concrete based on the bitumen modified by polymer material and based on the local stone material;

- Experimental research for the assessment of shear strength of the modifies asphalt-concrete using the Marshal Method;
- Investigation of the value of cohesion between the asphalt-concrete layers. Experimental investigation of the possibility of increasing cohesion force using polymer bitumen;
- Creation of the mathematical model for the prognostication of the physical-mechanical properties of asphalt-concrete considering different quantities of polymer.

Ecological effectiveness: polyethylene is one of the most widely spread material from the polymers (so called plastic material). Nowadays the subject of its utilization is very active. Polyethylene waste material is not dissolved for a long time (the period of their dissolving may last to 1000 years). There is no polyethylene recycling in Georgia and so the waste material causes a big harm to the environment and aggravated the ecological conditions.

This problem could be solved by secondary recycling of the polymer. Different production is prepared using polymer and using polymer it is possible to modify asphalt-concrete mixture.

In the developed countries there is an active process underway for improving the quality of asphalt-concrete using polymer. Investigation of the improvement of physical-mechanical properties of asphalt-concrete using polyolefines represents one of the prospective directions. As results of the investigations show using of polyolephine (to which polyethylene belongs) ensures an evident effect. These polymer material and bitumen are compatible and exploitation properties of bitumen can be improved by mixing them with bitumen.

Economic effectiveness: for the assessment of the effectiveness of the vehicles the time discharge is used, which is necessary for the transportation of the passengers or for the transportation of cargos. The time discharge directly depends on the traffic speed.

The traffic speed from its side depends on the following factors: condition of the road cover, straightness and the quality of cohesion. One of the main reasons of slowing down the traffic speed is worsening of the smoothness of road surface.

Effectiveness of the vehicles depends on the self-value of the transportation. By reducing average speed self-value of transportation is increased, especially on the speeds less than 40 km/h.

Condition of the traffic road greatly influences the cost of the vehicle fuel moving on the road. Besides, along with the worsening of the smoothness of road the more speed the more fuel cost.

According to the data of the European Development and Reconstruction Bank, the condition of roads influences effectiveness of the operation of vehicles. So, without a significant improvement of the technical quality of the exploitation conditions of the existed roads, it is impossible to solve the task of increasing operational effectiveness of vehicles.

Using polymer additives it is possible to improve the properties of asphalt-concrete surface. The mixture of polymer-asphalt-concrete has better values of

shear strength if compared with ordinary mixture. This condition obstructs development of shear deformation and worsening of smoothness on the road surface. Improving the quality of smoothness will ensure significant economic effect while transporting the passengers and cargo.

Improvement of the exploitation data of asphalt-concrete will prolong the period in-between repairing works and this will ensure road maintenance expenses, which from its side will give us a significant economical relief.

It should be pointed out, that nowadays very high price of polymer represents a main cause why the use of bitumen improved with polymer additives is not widely spread in the road construction.

Reduction of financial expenses will be possible with complex modification of different class polymer, when expensive and cheaper modification agents can be used. The price of the secondary polyethylene is lower than the price of the initial polymer and using it is possible to modify asphalt-concrete mixtures.

Modification with the secondary polyethylene will significantly cheapen the modified bitumen and accordingly polymer-asphalt-concrete made on its basis.

Scientific innovation

- The possibility of obtaining asphalt-concrete modified with polymer material (secondary polyethylene and terpolymers) having better exploitation data have been experimentally approved;
- The possibility of increasing shear strength of asphalt-concrete containing polymer additives has been proved using the Marshal test method;
- The possibility of increasing cohesion strength between the layers of asphalt-concrete has been experimentally proved;
- A mathematical model has been elaborated, according to which it is possible to prognosticate physical-mechanical values of asphalt-concrete mixture according to the percentage composition of polymer additives in the bitumen.

The practical value of the works is the following:

- Usage of the secondary polymer will decrease the price of the asphalt-concrete with polymer additives;
- Usage of the secondary polymer will decrease the possibility of spreading the secondary polymer in the environment that will improve ecological conditions of the environment;
- The elaborated mathematical model can be used for the prognostication of the experimental results, which will enable us to reduce the number of physical experiments significantly.

შინაარსი

შესავალი	17
თავი I. ლიტერატურული მიმოხილვა	25
1.1. საავტომობილო გზების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მაჩვენებლები.....	25
1.2. საავტომობილო გზების დიაგნოსტიკის თანამედროვე სისტემები.....	27
1.3. საგზაო საფარის სისწორის დამოკიდებულება საავტომობილო ტრანსპორტის მუშაობის ეფექტურობაზე და მისი გაუარესების მიზეზები.....	35
1.4. საგზაო ბიტუმების მოდიფიცირება პოლიმერული დანამატების გამოყენებით.....	44
თავი II. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა	52
2.1. რეოლოგიის ძირითადი ცნებები.....	52
2.2. ბიტუმების შემადგენლობა, სტრუქტურა, თვისებები, სტანდარტული და რეოლოგიური გამოცდის მეთოდები.....	59
2.3. ბიტუმის კომპონენტები.....	63
2.4. პოლიმერების კლასიფიკაცია.....	74
2.5. პოლიეთილენი.....	78
2.6. საგზაო საფარის დეფორმაციული მდგომარეობა.....	80
2.7. ასფალტბეტონის ძვრისადმი მედეგობა.....	85
2.8. ასფალტბეტონის ფენებს შორის კავშირის გავლენა ფენილში დაზიანებების განვითარებაზე.....	91
2.9. პოლიმერებით მოდიფიცირებული ბიტუმების თვისებების ექსპერიმენტული კვლევა.....	98
2.10. პოლიმერით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის ფიზიკო- მექანიკური თვისებების კვლევა ГОСТ 12801-98 მიხედვით.....	110
2.11. მარშალის მეთოდით ასფალტბეტონის ნიმუშების თვისებების ექსპერიმენტული კვლევა.....	116
2.12. ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის ექსპერიმენტული კვლევა.....	119
2.13. ექსპერიმენტების შედეგების მათემატიკური მოდელირება.....	123
თავი III. შედეგები და მათი განსჯა	128
3.1. პოლიმერებით მოდიფიცირებული ბიტუმების თვისებების კვლევის შედეგები.....	128
3.2. პოლიმერით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის ფიზიკო- მექანიკური თვისებების კვლევის შედეგები.....	129
3.3. მარშალის მეთოდით ასფალტბეტონის ნიმუშების თვისებების კვლევის შედეგები.....	130
3.4. ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის კვლევის შედეგები.....	132
დასკვნა.....	133

დანართი N1. მარშალის მეთოდით ასფალტბეტონის გამოცდის გრაფიკები.....	135
დანართი N2. ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის გამოცდის გრაფიკები	143
გამოყენებული ლიტერატურა.....	168

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი N1. გადაზიდვების ღირებულების ზრდის კოეფიციენტი	36
ცხრილი N2. ბიტუმის და მისი კომპონენტების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები	65
ცხრილი N3 ზეთებისა და მალტენების თვისებების მაჩვენებლების ფიზიკური და საანგარიშო მნიშვნელობები	67
ცხრილი N4. ბიტუმის კომპონენტების რეოლოგიური მახასიათებლები	69
ცხრილი N5. ნავთობის ბიტუმში 90/130 ნემსის შეღწევის სიღრმე(პენეტრაცია), პოლიმერების პროცენტული შემცველობის მიხედვით	100
ცხრილი N6. ნავთობის ბიტუმის 90/130 დარბილების ტემპერატურა, პოლიმერების პროცენტული შემცველობის მიხედვით	102
ცხრილი N7. ნავთობის ბიტუმის 90/130 სიმყიფის ტემპერატურა, პოლიმერების პროცენტული შემცველობის მიხედვით	104
ცხრილი N8. ნავთობის ბიტუმის 90/130 ელასტიურობა 25°C-ზე, პოლიმერების პროცენტული შემცველობის მიხედვით	106
ცხრილი N9. პოლიმერებით მოდიფიცირებული ნავთობის ბიტუმის 60/90-ის თვისებები	109
ცხრილი N10. პოლიმერასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები პოლიმერის შემცველობის მიხედვით	111
ცხრილი N11. პოლიმერასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები მარშალის ცდის მიხედვით	117
ცხრილი N12. ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალა, პოლიმერების შემცველობის მიხედვით.....	122
ცხრილი N13. ექსპერიმენტების შედეგად მიღებული მონაცემები.....	123
ცხრილი N14. მეორე რიგის საინტერპოლაციო პოლინომის გამოყენებით მიღებული შედეგები	124

ცხრილი N15. პირველი რიგის საინტერპოლაციო პოლინომის გამოყენებით მიღებული შედეგები125

ცხრილი N16. სამუალო კვადრატთა მეთოდის გამოყენებით მიღებული შედეგები126

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. WVK ფირმის ვიზუალური დათვალიერების მანქანა	28
ნახ. 2. პლანოგრაფი	30
ნახ. 3. პროფილოგრაფი	31
ნახ. 4. ლაზერული სკანერები	31
ნახ. 5. ჩაჭიდების კოეფიციენტის განმსაზღვრელი ხელის საგორავი მოწყობილობა	32
ნახ. 6. ავტომობილზე გამოსაბმელი ჩაჭიდების კოეფიციენტის განმსა- ზღვრელი მოწყობილობა	32
ნახ. 7. მზიდუნარიანობის განმსაზღვრელი ავტომობილი დეფლექტო- მეტრი	33
ნახ. 8. სატრანსპორტო ნაკადის საშუალო სიჩქარის საგზაო საფარის სისწორეზე დამოკიდებულების გრაფიკი	36
ნახ. 9. სატვირთო ავტომობილის საწვავის ხარჯის დამოკიდებულება საგზაო სამოსის სისწორესა და მოძრაობის სიჩქარეზე	37
ნახ. 10. საფარის სისწორის პარამეტრები	40
ნახ. 11. ტემპერატურაზე ბიტუმის რეოლოგიური თავისებურებების დამოკიდებულება	47
ნახ. 12. პოლიმერბიტუმის პენეტრაციის, 25°C-ზე ელასტიურობის, დარბი- ლებისა და სიმყიფის ტემპერატურის ტიპური ცვლილებები პოლიმერის შემცველობის მიხედვით	50
ნახ. 13. დეფორმაციის დამოკიდებულება დატვირთვის მოქმედების დროზე ჰუკის მყარი სხეულისათვის და ნიუტონის სითხისათვის	53
ნახ. 14. მაქსველის სხეულში დამაბულობის რელაქსაცია	55
ნახ. 15. კელვინის სხეულში დეფორმაციის განვითარება	56
ნახ. 16. რეოლოგიური მოდელები	57
ნახ. 17. მრუდები რომელთა საფუძველზე მიიღება ბიტუმებისა და სხვა დრეკადბლანტპლასტიკური ნივთიერებების რეოლოგიური მახასი- ათებლები	60
ნახ. 18. ასფალტენის მოლეკულის ჭრილი	63
ნახ. 19. ასფალტური ნივთიერებების მაკროსტრუქტურა	64
ნახ. 20. საგზაო სამოსში ავტომობილის თვლებისგან გამოწვეული ძაბვები	80
ნახ. 21. რუსთაველის გამზირი, ძვრის დეფორმაციები ავტობუსების გაჩერებაზე	81
ნახ. 22. ნორმალური F_n და ჰორიზონტალური F_t ძალებისგან გამოწვეული საგზაო საფარის ძვრის დეფორმაციები	83
ნახ. 23. ძვრაზე გამოცდის სქემები	87
ნახ. 24. დამაბულობები მასალის ძვრის სიბრტეში	88
ნახ. 25. ერთი ასფალტდამგებით ასფალტბეტონის ორი ფენის ერთდრო- ულად მოწყობა	92

ნახ. 26. ასფალტბეტონის ორი ფენის ერთდროულად მოწყობის ტექნოლო- გიური ხაზი	93
ნახ. 27. ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის გასაზომი მოწყობილობა	96
ნახ. 28. ბიტუმში პენეტრაციის ცვლილება 25°C-ზე სხვადასხვა პოლიმე- რების შემცველობისას	100
ნახ. 29. ნავთობის ბიტუმის დარბილების ტემპერატურის დამოკიდებულება პოლიმერების პროცენტული შემცველობაზე	102
ნახ. 30. ნავთობის ბიტუმის 90/130 სიმყიფის ტემპერატურის დამოკიდე- ბულება პოლიმერების პროცენტული შემცველობაზე	105
ნახ. 31. 25°C-ზე ნავთობის ბიტუმის 90/130 ელასტიურობის დამოკიდე- ბულება პოლიმერების პროცენტულ შემცველობაზე	107
ნახ.32. ასფალტბეტონის ლაბორატორიული ამრევი	110
ნახ. 33. პოლიეთილენისა და ლატექსის ნარევით მოდიფიცირებული ას- ფალტბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე(0°C, 20°C და 50°C ტემპერატურ- ებზე).....	112
ნახ. 34. ტერპოლიმერით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე(0°C, 20°C და 50°C ტემპერატურებზე)	112
ნახ. 35. პოლიმერებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონების წყალმდე- გობის კოეფიციენტი	113
ნახ. 36. პოლიმერებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონების ხანგრძლივი წყალმდეგობის კოეფიციენტი	113
ნახ. 37. პოლიმერებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონების გაჯირჯვება	114
ნახ. 38. პოლიმერებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონების წყალშთანთქმა	114
ნახ.39. პოლიმერებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონების ტემპერატურული მგრძნობელობის კოეფიციენტი	115
ნახ. 40. ასფალტბეტონების სტაბილურობის დამოკიდებულება პოლიმერის შემცველობაზე.....	118
ნახ. 41. ასფალტბეტონების დენადობის დამოკიდებულება პოლიმერის შემცველობაზე	118
ნახ. 42. ასფალტბეტონის ქვედა ფენაზე დაფენილი ბაზალტის ბადე	121
ნახ. 43. ასფალტბეტონების ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის გრაფიკი.....	122
ნახ. 44. საშუალო კვადრატა მეთოდით (პირველი რიგის პოლინომით) გამოთვლილი ასფალტბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე(50°C-ზე)	126
ნახ. 45. საშუალო კვადრატა მეთოდით (პირველი რიგის პოლინომით) გამოთვლილი ბიტუმის პენეტრაცია	127
ნახ. 46. საშუალო კვადრატა მეთოდით (პირველი რიგის პოლინომით) გამოთვლილი ბიტუმის დარბილების ტემპერატურა	127

შესავალი

საავტომობილო გზებს ქვეყნისათვის სასიცოცხლო მნიშვნელობა აქვს და მის სავიზიტო ბარათს წარმოადგენს, მათ მდგომარეობაზე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ქვეყნის ეკონომიკური განვითარება.

საქართველოში ბოლო პერიოდში საავტომობილო გზებზე მკვეთრად გაიზარდა: მოძრაობის ინტენსივობა, მოძრაობის სიჩქარული რეჟიმები, სატრანსპორტო საშუალებების ტვირთამწეობა და ღერძული დატვირთვები. ყოველივე ეს იწვევს საგზაო სამოსის საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გაუარესებას.

საგზაო საფარის მოსაწყობად ყველაზე მეტად გავრცელებული მასალაა ასფალტბეტონი. მისი გამოყენება ხელსაყრელია სამშენებლო და სარემონტო სამუშაოების ჩატარების დროს. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ მუდმივად მზარდი სატრანსპორტო დატვირთვებისა და გარემო პირობების ზემოქმედების გამო, მისი საექსპლუატაციო ვადები არც ისე ხანგრძლივია.

ასფალტბეტონის საფარის გამძლეობა დამოკიდებულია გამოყენებული მასალების ხარისხზე. ამ მასალებიდან ერთ-ერთი მთავარი ბიტუმის ხარისხია. ბიტუმის თვისებები იცვლება სატრანსპორტო დატვირთვებისა და კლიმატური ფაქტორების ზეგავლენით. მიუხედავად იმისა რომ ასფალტბეტონის შემადგელობაში ბიტუმის შემცველობა მცირეა (5-7% ასფალტბეტონის მასიდან) მისი თვისებები სისტემაში მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს ასფალტბეტონის საფარის მახასიათებლებს.

საკითხის აქტუალურობა: მთელ მსოფლიოში გზების მშენებლობის აუცილებლობამ გამოიწვია მოთხოვნის გაზრდა ბიტუმსა და ნავთობის სხვა კომპონენტებზე. უნდა აღინიშნოს რომ ნავთობის გამოხდის ტექნოლოგიები მუდმივად ვითარდება და უმჯობესდება, ნავთობიდან ხდება სასარგებლო კომპონენტების გამოხდა, ხოლო მისი ნარჩენების ანუ ბიტუმის ხარისხი კი უარესდება.

საგზაო მშენებლობაში ჩვეულებრივი მასალები მრავალი წლების განმავლობაში უზრუნველყოფდნენ დამაკმაყოფილებელ ხარისხს.

დღესდღეისობით მუდმივად მზარდმა დატვირთვებმა, საიმედო და გამძლე გზების საჭიროებამ გამოავლინა ჩვეულებრივი ბიტუმების ნაკლოვანებები. პრაქტიკაში ეს ნაკლოვანებები გამოიხატება შემდეგში:

- მაღალი თერმული მგრძობელობა(მაღალი ტემპერატურის დროს თავს იჩენს დარბილება, ხოლო დაბალ ტემპერატურაზე სიმყიფე);
- ცუდი მექანიკური მახასიათებლები და დაბალი დრეკადობა;
- დამველებისადმი მიდრეკილება.

ბიტუმის ხარისხის გაუარესებასთან ერთად უარესდება მის საფუძველზე დამზადებული ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები. ამ მახასიათებლების გაუარესება კი იწვევს საგზაო საფარის საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გაუარესებას.

ამ გარემოებებიდან გამომდინარე აქტიურად მიმდინარეობს კვლევები ბიტუმის თვისებების გასაუმჯობესებლად. კვლევებმა გამოავლინა, რომ პოლიმერული მასალები წარმოადგენენ საუკეთესო მოდიფიკატორებს, რომლებიც აუმჯობესებენ ბიტუმის ტექნოლოგიურ თვისებებს. კვლევებიდან ირკვევა, რომ პოლიმერები ამცირებს ბიტუმის მგრძობელობას ტემპერატურის ცვალებადობაზე, ამადლებს შემკვრელების კოჰეზიურ სიმტკიცეს, თბომედეგობას და ელასტიურობას, აგრეთვე აუმჯობესებს მათ თვისებებს დაბალ ტემპერატურებზე. ყოველივე ზემოაღნიშნული ხელს უწყობს ასფალტბეტონის თვისებების გაუმჯობესებას.

პოლიმერული მასალებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონების ნარევების წარმოების განვითარება წარმოადგენს ასფალტბეტონის საფარის ხარისხისა და საექსპლუატაციო ვადების გაზრდის ერთ-ერთ პერსპექტიულ მიმართულებას. პოლიმერული მასალების გამოყენება საშუალებას მოგვცემს გავაუმჯობესოთ ასფალტბეტონის მთელი რიგი ფიზიკო-მექანიკური თვისებები: გავზარდოთ სიმტკიცე, დეფორმაციული მდგრად-

დობა(ძვრისადმი მედეგობა), ცვეთამედეგობა, ყინვაგამძლეობა, წყალმედეგობა, ბზარმედეგობა და სხვა.

სადისერტაციო ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს: საგზაო ფენილების საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესების მიზნით პოლიმერულ დანამატებზე დამზადებული ასფალტბეტონის გამოკვლევა და მიღება. კერძოდ, მეორადი პოლიეთილენისა და ლატექსის ნარევით და ტერპოლიმერებით ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესება.

დასახული მიზნის მისაღწევად დისერტაციაში გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:

- პოლიმერული დანამატების (მეორადი პოლიეთილენის და ლატექსის ნარევისა და ტერპოლიმერების)ბიტუმის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებზე გავლენის გამოკვლევა;
- პოლიმერული მასალებით მოდიფიცირებულ ბიტუმით და ადგილობრივი ქვის მასალებით დამზადებული ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა;
- მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის ძვრისადმი მედეგობის შესაფასებლად ექსპერიმენტული კვლევა მარშალის მეთოდით;
- ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის მნიშვნელობის კვლევა. პოლიმერბიტუმის გამოყენებით შეჭიდულობის ძალის გაზრდის შესაძლებლობის ექსპერიმენტული კვლევა;
- პოლიმერული დანამატების სხვადასხვა რაოდენობის შესაბამისად ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების პროგნოზირებისათვის მათემატიკური მოდელის შექმნა.

ეკოლოგიური ეფექტურობა: პოლიმერებიდან ერთ-ერთი ყველაზე მეტად გავრცელებული მასალაა პოლიეთილენი(ეგრეთწოდებული პლასტმასი). დღესდღეისობით მსოფლიოში აქტუალურია მისი უტილიზაციის საკითხი. პოლიეთილენისგან მზადდება სხვადასხვა

საყოფაცხოვრებო და საწარმოო დანიშნულების პროდუქცია: პოლიეთილენის აფსკი(შესაფუთი მასალა - მაგალითად პარკები, სკოჩი და სხვ.), ტარა(ბოთლები, ქილები, ყუთები, კანისტრები, მცენარეების ქოთნები), მილები(კანალიზაციის, სადრენაჟო, წყლისა და გაზომომარაგების), ჯავშანი(ჯავშანქილეტების პანელები), ელექტრო-საიზოლაციო მასალები, ტექნიკური მოწყობილობების დეტალები და სხვა მრავალი ნაკეთობა.

პოლიეთილენის პაკეტები ყველაზე მეტად გავრცელებული შესაფუთი მასალაა, ის იმდენად იაფია რომ ბევრ მაღაზიაში უფასოდ გაიცემა. პარკებს უკეთეს შემთხვევაში აგდებენ ნაგავში, მაგრამ ყველა ჩვენთაგანს უნახავს გზის პირას ხეებზე მოფენილი ასავე მდინარეებში, ტბებში და ზღვაში მოცურავე ეს ნარჩენები.

როგორც უკვე ავლინეთ მსოფლიოში აქტუალურია პოლიეთილენის ნარჩენების უტილიზაციის საკითხი. პოლიეთილენის ნარჩენები დიდი ხნის განმავლობაში არ იშლება(მათი დაშლის პერიოდი შესაძლებელია 1000 წლამდეც გაგრძელდეს). საქართველოში პოლიეთილენის ნარჩენების გადამუშავება არ ხდება, ისინი დიდ ზიანს აყენებს გარემოს და აუარესებს ეკოლოგიურ მდგომარეობას.

პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია პოლიეთილენის მეორადი გადამუშავებით. მეორადი პოლიეთილენის საშუალებით მზადდება სხვადასხვა პროდუქცია და მისი გამოყენებით შესაძლებელია ასფალტბეტონის ნარეგების მოდიფიცირება.

განვითარებულ ქვეყნებში აქტიურად მიმდინარეობს კვლევები პოლიმერული დანამატების გამოყენებით ასფალტბეტონის ხარისხის გასაუმჯობესებლად. ერთ-ერთ პერსპექტიულ მიმართულებას წარმოადგენს პოლილეოფინებით ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესების საკითხების შესწავლა. როგორც კვლევებიდან ირკვევა პოლილეოფინების(რომლებსაც განეკუთვნება პოლიეთილენი) გამოყენება იძლევა საგრძნობ ეფექტს. ეს პოლიმერული

მასალები და ბიტუმი თავსებადია, მათი ბიტუმში შერევით შესაძლებელია ბიტუმის საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება.

ეკონომიკური ეფექტურობა: საავტომობილო ტრანსპორტის მუშაობის ეფექტურობის შესაფასებლად გამოიყენება დროის ხარჯი, რომელიც საჭიროა მგზავრების გადასაყვანად ან ტვირთების გადასაზიდად. დროის ეს ხარჯი კი უშუალოდ დამოკიდებულია მოძრაობის სიჩქარეზე.

გამოთვლები აჩვენებს რომ: გზის მდგომარეობის გაუმჯობესების ხარჯზე სიჩქარის გაზრდა იძლევა დროის საგრძნობ ეკონომიას მგზავრობისას ან ტვირთების გადაზიდვისას 20000 ავტ.სთ-მდე და მეტად ყოველ გაუმჯობესებულ კილომეტრზე.

მოძრაობის სიჩქარე დამოკიდებულია: საგზაო სამოსის მდგომარეობაზე, სისწორესა და ჩაჭიდების ხარისხზე. მოძრაობის სიჩქარის შემცირების ერთ-ერთ მთავარ მიზეზს წარმოადგენს საგზაო საფარის სისწორის გაუარესება.

საავტომობილო ტრანსპორტის მუშაობის ეფექტურობა ხასიათდება გადაზიდვების თვითღირებულებით. საშუალო სიჩქარის შემცირებით მკვეთრად იზრდება გადაზიდვების თვითღირებულება, განსაკუთრებით 40 კმ/სთ ნაკლებ სიჩქარეებზე.

საავტომობილო გზის მდგომარეობა დიდ გავლენას ახდენს მასზე მოძრავი ავტომობილის საწვავის ხარჯზე. ამასთან სისწორის გაუარესებისას რაც უფრო მეტია სიჩქარე, მით მეტად იზრდება საწვავის ხარჯი.

ევროპის განვითარებისა და რეკონსტრუქციის ბანკის მონაცემების მიხედვით გზების მდგომარეობა გავლენას ახდენს ავტომობილების მუშაობის ეფექტურობაზე. ამრიგად, არსებული გზების საექსპლუატაციო მდგომარეობის ტექნიკური ხარისხის საგრძნობი ამაღლების გარეშე, შეუძლებელია საავტომობილო ტრანსპორტის მუშაობის ეფექტურობის გაზრდის ამოცანის გადაწყვეტა.

როგორც ავლინიშნეთ პოლიმერული დანამატების გამოყენებით შესაძლებელია ასფალტბეტონის საფარის საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება. პოლიმერულ დანამატებზე დამზადებულ ასფალტბეტონის ნარევის აქვს ჩვეულებრივთან შედარებით ძვრისადმი მედეგობის უკეთესი მაჩვენებლები. ეს აფერხებს საფარზე ძვრის დეფორმაციების წარმოქმნას და სისწორის გაუარესებას. სისწორის გაუმჯობესებით კი შესაძლებელია მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ეფექტის მიღება მგზავრების გადაყვანისას და ტვირთების გადაზიდვის დროს.

ასფალტბეტონის საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გაუმჯობესება გამოიწვევს რემონტთაშორისი პერიოდის გაზრდას. ამით შესაძლებელი იქნება გზებზე გაწეული მოვლა-შენახვის ხარჯების შემცირება რაც ასევე მოგვცემს საგრძნობ ეკონომიკურ ეფექტს.

უნდა აღინიშნოს რომ დღესდღეისობით პოლიმერების მაღალი ფასი წარმოადგენს მთავარ მიზეზს რის გამოც არ ხდება პოლიმერებით გაუმჯობესებული ბიტუმის ფართო გამოყენება საგზაო მშენებლობაში. ბიტუმში 2.5-3.5% თერმოელატოპლასტების ან 1-1.5% თერმოპოლიმერების გამოყენება (1,5-2)-ჯერ ზრდის ბიტუმის ისედაც მაღალ ფასს, რაც თავისთავად იწვევს ასფალტბეტონის გაძვირებას. ფინანსური დანახარჯების შემცირება შესაძლებელია სხვადასხვა კლასის პოლიმერებით ბიტუმის კომპლექსური მოდიფიკაციით. ამ დროს შესაძლებელია ძვირადღირებული და შედარებით იაფი მოდიფიკატორების ერთობლივი გამოყენება. მეორადი პოლიეთილენის ფასი საგრძნობლად ნაკლებია პირველადზე, მისი საშუალებით შესაძლებელია ასფალტბეტონის ნარევის მოდიფიცირება.

მეორადი პოლიეთილენით მოდიფიკაცია ბევრად გააიაფებს მოდიფიცირებულ ბიტუმს და შესაბამისად მის საფუძველზე დამზადებულ პოლიმერასფალტბეტონს.

სამეცნიერო სიახლე

- ექსპერიმენტულად დამტკიცდა გაუმჯობესებული საექსპლუატაციო მაჩვენებლების მქონე პოლიმერული(მეორადი პოლიეთილენის და ლატექსის ნარევით და ტერპოლიმერებით) მასალებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის მიღების შესაძლებლობა;
- მარშალის მეთოდით ჩატარებული კვლევებით დამტკიცდა ასფალტბეტონის ძვრისადმი მედეგობის გაზრდის შესაძლებლობა პოლიმერული დანამატების გამოყენებით.
- ექსპერიმენტულად დამტკიცდა ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის გაზრდის შესაძლებლობა პოლიმერით მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენებით.
- დამუშავდა მათემატიკური მოდელი რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ბიტუმში პოლიმერული დანამატის პროცენტული რაოდენობის შესაბამისად ასფალტბეტონის ნარევის ფოზიკო-მექანიკური მაჩვენებლების პროგნოზირება.

სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა მდგომარეობს შემდგომში:

- მეორადი პოლიეთილენის გამოყენება შეამცირებს პოლიმერებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის ფასს;
- მეორადი პოლიეთილენის გამოყენება შეამცირებს პოლიეთილენის ნარჩენების გარემოში მოხვედრას, რაც შეუწყობს ხელს გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებას;
- დამუშავებული მათემატიკური მოდელი შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ქსპერიმენტის შედეგების პროგნოზირებისათვის რაც საშუალებას მოგვცემს მნიშვნელოვნად შევამციროთ ფიზიკური ექსპერიმენტების რაოდენობა.

სამუშაოს რეალიზაცია:

- სადისერტაციო კვლევის შედეგები გამოყენებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საავტომობილო გზებისა და აეროდრომების მიმართულების ბაკალავრებისა და მაგისტრანტების სასწავლო პროცესში.

სამუშაოს აპრობაცია:

დისერტაციაში წარმოდგენილი მასალები მოხსენებულია სტუ-ს სტუდენტთა 79-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, მისი, 2011 წელი.

პუბლიკაციები: დისერტაციის მასალების შესახებ გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო ნაშრომი.

დისერტაციის სტრუქტურა: სადისერტაციო ნაშრომი შეიცავს შესავალს, სამ თავს, დასკვნას, ორ დანართს, ლიტერატურის სიას 34 დასახელებით, 16 ცხრილსა და 46 ნახაზს. კვლევის შედეგები გადმოცემულია 169 ნაბეჭდ თაბახზე.

თავი I ლიტერატურული მიმოხილვა

1.1 საავტომობილო გზების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მაჩვენებლები

თანამედროვე საავტომობილო გზა წარმოადგენს რთულ საინჟინრო ნაგებობას. მან უდა უზრუნველყოს ავტომობილების უწყვეტი, კომფორტული და უსაფრთხო მოძრაობა მაღალი სიჩქარეებით, დასაშვები გაბარიტებითა და ღერძული დატვირთვებით. ავტომობილების მოძრაობა შესაძლებელი უნდა იყოს ნებისმიერ პირობებში, წლის ნებისმიერ დროს.

საავტომობილო გზები პირველ რიგში გამძლე უნდა იყოს სატრანსპორტო საშუალებებისაგან გამოწვეული დატვირთვების მიმართ. ცალკეულ ფენებში გამოყენებული მასალების ცუდი ხარისხი, მიწის ვაკისის და საგზაო სამოსის არასაკმარისი სიმტკვე დინამიური დატვირთვების ზემოქმედების შედეგად იწვევს საგზაო საფარის სისწორის გაუარესებას, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს მოძრაობის სიჩქარეს.

მაღალი სატრანსპორტო დატვირთვები, ბუნებრივი და კლიმატური პირობები წვევს საავტომობილო გზების დაძველების და რღვევის პროცესების დაჩქარებას. ასეთ გზებზე კლებულობს სატრანსპორტო პროცესის ეფექტურობის მაჩვენებლები.

საავტომობილო გზების სსატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მდგომარეობა ხასითდება მაჩვენებლებით, რომლებიც განსაზღვრავს როგორც გზის ასევე ტრანსპორტის მუშაობის ეფექტურობას.

ვ. სილიანოვი და ე. დომკე თვლიან, რომ გამოყენებული მაჩვენებლები რომლებიც ახასიათებს საავტომობილო გზის სატრანსპორტო მუშაობას, მის ტექნიკურ-საექსპლუატაციო მდგომარეობას, საავტომობილო გზის საერთო მდგომარეობას, მოძრაობის პირობებს, მაგრამ არავითარ შემთხვევაში ტრანსპორტის მუშაობის ეფექტურობას, შესაძლებელია დაიყოს ოთხ ჯგუფად[22].

პირველ ჯგუფში შედის შემდეგი მაჩვენებლები: სატრანსპორტო საშუალებების მოძრაობის ინტენსივობა, მოძრაობის მოცულობა და შემადგენლობა, გზის ტვირთდაძაბულობა(ბრუტო და ნეტო), გამტარუნარიანობა, გადაზიდვის უნარიანობა, მოძრაობით დატვირთვის კოეფიციენტი, მოძრაობის სიჩქარეები(საანგარიშო, კონსტრუქციული, მყისიერი, მიმოსვლის, ტექნიკური და ოპტიმალური სიჩქარეები), მიმოსვლის დრო მიმოსვლის კუთრი დრო ან მოძრაობის ტემპი.

მეორე ჯგუფს განეკუთვნება: მიწის ვაკისის და საგზაო სამოსის სიმტკიცის მაჩვენებლები, საგზარის სისწორე და ხორკლიანობა, საბურავების საგზაო საფართან ჩაჭიდების კოეფიციენტი, საგზაო სამოსის მუშაობისუნარიანობა და საგზარის ცვეთამედეგობა.

მესამე ჯგუფში შედის: საიმედოობის მაჩვენებელი, გავლადობა, გზის ექსპლუატაციის დრო, ფარდობითი ავარიულობა, ავარიულობისა და უსაფრთხოების კოეფიციენტები და მხედველობის მანძილი.

მეოთხე ჯგუფში შედის შემდეგი მაჩვენებლები: გადაზიდვების თვითღირებულება და ეკონომიკური დანაკარგები საგზაო-სატრანსპორტო შემთხვევების დროს.

საავტომობილო გზების მაღალი სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მაჩვენებლების შენარჩუნებლად და მოძრაობის უსაფრთხოებისათვის, საჭიროა მათი მუდმივი კონტროლი, იმისათვის რომ დროულად გამოვლენილი იქნას კონსტრუქციული ელემენტები და მონაკვეთები რომლებიც მოითხოვენ რემონტს. საავტომობილო გზების მდგომარეობის შესწავლა(დიაგნოსტიკა) მოიცავს სხვადასხვა ღონისძიებების კომპლექსს. დიაგნოსტიკა აგრეთვე ტარდება გზების პასპორტიზაციისთვის, საინჟინრო ნაგებობებით უზრუნველყოფის სქემების დამუშავებისათვის, საგზაო მოძრაობის ორგანიზაციის ტექნიკური საშუალებებით უზრუნველყოფისათვის და სხვა.

1.2 საავტომობილო გზების დიაგნოსტიკის თანამედროვე სისტემები

საგზაო ქსელის გამართული მუშაობისათვის საჭიროა რაციონალურად წარიმართოს მისი საექსპლუატაციო პროცესები, რომელიც მოიცავს: პასპორტიზაციას, დიაგნოსტიკას, რემონტების დაგეგმვასა და მოვლა-შენახვას.

გზების რემონტების დაგეგმვისა და მოვლა-შენახვისადმი მეცნიერული მიდგომების საფუძველს წარმოადგენს დიაგნოსტიკა. დიაგნოსტიკა გულისხმობს საექსპლუატაციო გზების და ხელოვნური ნაგებობების მდგომარეობის შესახებ მონაცემების შეგროვებას გარკვეული პერიოდულობით. ამ მონაცემების ანალიზის საფუძველზე გზების მდგომარეობის შეფასებასა და პროგნოზირებას.

დიაგნოსტიკის შედეგად მიღებული მონაცემების საფუძველზე შესაძლებელია გადაიჭრას შემდეგი სახის ამოცანები: საავტომობილო გზების მოვლა-შენახვის სამუშაოების დაგეგმვა; საავტომობილო გზების პასპორტიზაცია; ინვენტარიზაცია; სერემონტო სამუშაოების პროექტების შედგენა; მოძრაობის უსაფრთხოების გაზრდის ღონისძიებების დაგეგმვა; საგზაო სამუშაოების ხარისხზე ზედამხედველობა და სხვ. ეს სამუშაოები მოითხოვს საავტომობილო გზების სხვადასხვა პარამეტრების შეფასებას. შემდგომში განხილულია თანამედროვე საგზაო გადასაადგილებელი ლაბორატორიები, რომლებიც გამოყენება ამ პარამეტრების დასადგენად, მოცემულია თუ რა სახის საკვლევი სამუშაოების შესრულება შესაძლებელი მათი გამოყენებით და განხილულია მათი მუშაობის პრინციპები.

დიაგნოსტიკის მეთოდები და საშუალებები მუდმივად ვითარდება და იხვეწება. სადიაგნოსტიკო სამუშაოების შესასრულებლად გამოიყენება თანამედროვე საგზაო გადასაადგილებელი ლაბორატორიები, რომლებიც საშუალებას იძლევა სწრაფი ტემპებით და დიდი მოცულობებით იწარმოოს საავტომობილო გზების საექსპლუატაციო პარამეტრების შეფასება.

თანამედროვე საგზაო გადასადგილებელი ლაბორატორიები საშუალებას გვაძლევს ვაწარმოთ შემდეგი სახის სამუშაოები: საავტომობილო გზების გეომეტრიული ელემენტების დადგენა (გრძივი და განივი პროფილების გაზომვა; მოხვევის კუთხეების, ჰორიზონტალური, ჩაზნექილი, ამოზნექილი მრუდებისა და სწორე მონაკვეთების გაზომვა); განივი პროფილის ტალღოვნების (მიკროპროფილის) გაზომვა; ჩაჭიდების კოეფიციენტის დადგენა; გზის გრძივი სისწორის (ტალღოვნების) დადგენა; მხედველობის მანძილების განსაზღვრა; დეფექტების და დაზიანებების (ბზარები; ორმოები) დაფიქსირება და სიტუაციის ვიდეო გადაღება. თითოეული სისტემის მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში:

ვიდეო გადაღების სისტემა: ავტომობილი ლაბორატორია აღჭურვილია ერთი ან რამდენიმე მაღალი ხარისხის ციფრული ვიდეოკამერით (ნახ. 1), რომლებიც ავტომობილის მოძრაობის დროს უწყვეტ რეჟიმში აწარმოებს ვიდეო გადაღებას. ეს მონაცემები გამოიყენება საავტომობილო გზების ვიზუალური მდგომარეობის შესაფასებლად. კერძოდ: საგზაო ნიშნებისა და მონიშვნის; მიერთებების; გვერდულების; ტროტუარების; კიუვეტებისა და გზის მიმდებარე ტერიტორიების მდგომარეობის შესაფასებლად[34]. ავტომობილში მძღოლის თვალის სიმაღლეზე მაგრდება კამერა რომელიც



ნახ. 1. WVK ფორმის ვიზუალური დათვალიერების მანქანა

გამოიყენება მხედველობის მანძილის შესაფასებლად. სასფარის დაზიანების სახეობებისა და მათი ხარისხის დასადგენად გამოიყენება ავტომობილის

უკანა მხარეს ვერტიკალურად დამაგრებული და საფარისკენ ქვემოთ მიმართული რამდენიმე კამერა. ავტომობილში ინტეგრირებული მაღალი სიზუსტის GPS სისტემის მეშვეობით განისაზღვრება ამ დაზიანებების ადგილმდებარეობა.

გეომეტრიული ელემენტების გაზომვის სისტემის საშუალებით ხდება საავტომობილო გზის სწორი მონაკვეთების, მოხვევის რადიუსებისა და კუთხეების გაზომვა. ამ სისტემის მეშვეობით აგრეთვე შესაძლებელია გრძივი და განივი ქანობების გამოთვლა. GPS სისტემისა და სენსორების საშუალებით ხდება ავტომობილის ზუსტი ადგილმდებარეობისა და ძარის მდგომარეობის (განისაზღვრება ავტომობილის დახრილობა გრძივად და განივად, ვერტიკალურ სიბრტყეებში) განსაზღვრა. მიღებული მონაცემების დამუშავების შემდეგ ხდება მათი საპროექტო მონაცემებთან შედარება.

საფარის ზედაპირის სისწორე უზრუნველყოფს ავტომობილის კომფორტულ უსაფრთხო და მდორე მოძრაობას. გრძივი სისწორის (ტალღოვნების) გაზომვის სხვადასხვა მეთოდი არსებობს, მათგან ყველაზე მარტივია სამმეტრიანი ლარტყის მეთოდი.

ამ მეთოდით გაზომვა ხორციელდება შემდეგნაირად: წინასწარ შესამოწმებელ გზაზე ავტომობილის გავლით უნდა შეირჩეს გასაზომი მონაკვეთები. ლარტყა თავსდება სავალი ნაწილის მარჯვენა და მარცხენა ნაპირებიდან ერთი მეტრის მოშორებით და გზის ღერძზე. სოლის საშუალებით იზომება განაშუქი სავალი ნაწილის ზედაპირსა და ლარტყას შორის. გაზომვა ხდება ლარტყის ქვეშ ხუთ ადგილზე: ლარტყის ბოლოებიდან 0.5 მ-ის მანძილზე და ყოველი 0.5 მ-ის დაშორებით. თუ გაზომვები ტარდება ვერტიკალური მრუდის ადგილებში, მაშინ ცხრილების მეშვეობით ხდება განაშუქის მნიშვნელობების შესწორება. საბოლოოდ მონაცემების ანალიზის საფუძველზე ხდება გზის ტალღოვნების ნორმებთან შედარება.

ზემოაღწერილი მეთოდი და აგრეთვე ნიველირების მეთოდი საკმაოდ შრომატევადია და მოითხოვს უსაფრთხოების ზომების მიღებას გაზომვების

ჩატარების დროს, რაც არ იძლევა საშუალებას მთლიანად იქნას შეფასებული საავტომობილო გზის სისწორე.

არსებობს მეთოდები რომელთა გამოყენებით შესაძლებელია გზის სისწორის მთელ სიგრძეზე დადგენა. საქართველოში ამისათვის გამოიყენება: სისწორის საერთაშორისო ინდექსის "IRI"-ს განსაზღვრის მეთოდი და გერმანული წარმოების პლანოგრაფი.

"IRI"-ს მეთოდით ხდება ავტომობილის სავალი ნაწილის უკანა ღერძის რხევების ჯამური შეფასება სპეციალური მოწყობილობის საშუალებით გზის გარკვეულ მონაკვეთებზე. რის შემდეგადაც ხდება სისწორის ინდექსის დადგენა.

მეორე მეთოდით გაზომვებისათვის გამოიყენება გერმანული წარმოების "RIEDHOFFER MESSTECHNIK" ფირმის პლანოგრაფი(ნახ. 2).

პლანოგრაფი წარმოადგენს ლითონის ფერმას რომლის სიგრძეა 4300მმ, ლითონის ფერმა გორავს 10 მყარად დამაგრებულ და ერთ სიბრტყეში მდებარე რეზინის ბორბალზე. პლანოგრაფის შუაში



ნახ. 2. პლანოგრაფი

მდებარეობს ვერტიკალურ სიბრტყეში მოძრავი ბორბალი, რომლის მეშვეობითაც ხორციელდება სავალი ნაწილის ტალღოვნების გაზომვა რეგისტრაცია. პლანოგრაფს ასევე გააჩნია მანძილის ჩამწერი მოწყობილობა რომლის მეშვეობითაც ხდება ტალღოვანი ადგილების პიკეტაჟის დადგენა.

ამ მეთოდების გარდა უცხოეთის ქვეყნებში გზის სისწორის დასადგენად გამოიყენება ლაზერული სკანერები რომელთა მეშვეობითაც ხდება სისწორის ანალიზი. ლაზერული სენსორები განლაგებულია ავტომობილს გასწვრივ და აწარმოებს გზის ზედაპირის ტალღოვნების ჩაწერას. ასევე გამოიყენება "TOPCON"-ის ფირმის სკანერები რომლებიც ახორციელებს არსებული სიტუაციის სრულ სკანირებას.

განივი პროფილის სისწორის შეფასება შესაძლებელია მოხდეს რამდენიმე მეთოდით, ქ.თბილისში ამისათვის გამოიყენება "RIEDHOFFER MESSTECHNIK" ფირმის პროფილოგრაფი (ნახ. 3). პროფილოგრაფს აქვს მექანიკური ჩამწერი მოწყობილობა, რომლის მეშვეობითაც მილიმეტრულ ფურცელზე ხდება განივი პროფილის მასშტაბში გამოხაზვა. ნახაზის ანალიზის საფუძველზე და გაანგარიშებების შემდეგ შესაძლებელია განისაზღვროს განივი ქანობი და შეფასდეს განივი სისწორე (მიკრო-პროფილი)[31].



ნახ. 3. პროფილოგრაფი

განივი პროფილების შესამოწმებლად ასევე გამოიყენება ლაზერული ან ტალღური სკანერები. ამ სკანერებით აღჭურვილი ლაბორატორია ავტომობილის მეშვეობით, მოძრაობის დროს შესაძლებელია განივი



ნახ. 4. ლაზერული სკანერები

პროფილების გადაღება 10 სმ-ის ბიჯით (ნახ. 4). ამ მეთოდით გადაღებული პროფილებით შესაძლებელია საავტომობილო გზის ზედაპირის სივრცული მოდელის შექმნა. სივრცულ მოდელში გზის ზედაპირის წერტილებს შესაძლებელია მიენიჭოს როგორც აბსოლუტური ასევე პირობითი კოორდინატები[32].

ჩაჭიდების კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის გამოიყენება შემდეგი დანადგარები: ხელის საგორავი მცირე მოწყობილობა (ნახ. 5), ავტომობილის მისაბმელი (ნახ. 5) და სპეციალური ავტომობილები. მუშაობის პრინციპის



ნახ. 5. ჩაჭიდების კოეფიციენტის განსაზღვრელი ხელის საგორავი მოწყობილობა.

მიხედვით ეს მოწყობილობები დიდად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან, ყოველი მათგანი აღჭურვილია საზომი ბორბლით, რომლის მეშვეობითაც ხდება დამუხრუჭების იმიტირება. დამუხრუჭების დროს საფარის ზედაპირსა და საზომ ბორბალს შორის წარმოიქმნება ხახუნი. როდესაც მზომი ბორბალი მიცურავს საფარის ზედაპირზე ხახუნის ძალა წარმოშობს

მბრუნავ მომენტს რომელიც გადაეცემა დატვირთვის განსაზღვრელ მოწყობილობას. დანადგარში დამონტაჟებული კომპიუტერის მეშვეობით ხდება



ნახ. N 6. ავტომობილზე გამოსაბმელი ჩაჭიდების კოეფიციენტის განსაზღვრის მოწყობილობა.

მიღებული მონაცემების დამუშავება და ჩაჭიდების კოეფიციენტის განსაზღვრა. სველ ზედაპირზე ჩაჭიდების კოეფიციენტის დასადგენად დანადგარში დამონტაჟებულია წყლის მიწოდების სისტემა, ამ სისტემის მეშვეობით საზომი ბორბლის წინ ხდება წყლის გაფრქვევა, რის შედეგადაც საფარის ზედაპირზე წარმოიქმნება წყლის აფსკი. ეს დანადგარები საშუალებას გვაძლევს უწყვეტ რეჟიმში ვაწარმოოთ ჩაჭიდების

კოეფიციენტის გაზომვა როგორც საავტომობილო გზებზე ასევე აეროდრომების ფენილებზე.

საგზაო სამოსის მზიდუნარიანობის სიმტკიცისა და დრეკადობის მოდულის დასადგენად გამოიყენება დეფლექტომეტრები. დეფლექტომეტრები შეიძლება იყოს რამდენიმე სახის: სატვირთო ავტომობილის ნახევრადმისაბმელი, მსუბუქი მანქანის მისაბმელი და



ნახ. N 7. მზიდუნარიანობის განმსაზღვრელი ავტომობილი დეფლექტომეტრი.

სტაციონარული მოწყობილობები. სტაციონალური მოწყობილობების მეშვეობით შესაძლებელია გაზომვები ჩატარდეს მხოლოდ გზის გარკვეულ მონაკვეთებზე, რაც არ იძლევა საშუალებას სრულად შეფასდეს საგზაო სამოსის მზიდუნარიანობა გზის

მთელ სიგრძეზე. სრული სურათის შესაქმნელად გამოიყენება მოძრავი დეფლექტომეტრები, რომლებიც ძირითადად წარმოადგენს სატვირთო ავტომობილს ნახევრადმისაბმელით[29].

სატვირთო ავტომობილი ნახევრადმისაბმელით (ნახ.7) რომელშიც განთავსებულია საზომი აპარატურა გადაადგილდება სატრანსპორტო ნაკადის სიჩქარით და საშუალებას გვაძლევს უწყვეტ რეჟიმში გზის მთელ სიგრძეზე მივიღოთ მონაცემები. ნახევრადმისაბმელში განთავსებულია მაღალტექნოლოგიური მოწყობილობები, რთული მექანიზმები და ლაზერული სენსორები. იგი საგზაო სამოსის კონსტრუქციაზე ახდენს იგივე ზემოქმედებას როგორსაც ჩვეულებრივი დატვირთული სატვირთო ავტომობილები. ლაზერული სენსორების მეშვეობით ხდება საგზაო სამოსის დეფორმაციების გაზომვა, რომლებიც წარმოიშობა მისაბმელის ღერძის ზემოქმედებით. მიღებული მონაცემების დამუშავების შემდეგ ხდება მზიდუნარიანობის დადგენა. დეფლექტომეტრი აგრეთვე საშუალებას

გვამღევს გზებზე წინასწარ გამოვავლინოთ და აღმოვფხვრათ ის მცირე დეფექტები, რომლებიც შემდგომში გამოიწვევს უფრო დიდ დაზიანებებს. საგზაო სამოსის მშენებლობის ზედამხედველობისას დეფლექტომეტრის გამოყენებით შესაძლებელია იმის დადგენა თუ რამდენად შეესაბამება ახლადამენებული და რეაბილიტირებული სამოსის მზიდუნარიანობა საპროექტო დოკუმენტაციით გათვალისწინებულ მოთხოვნებს.

საგზაო ქსელის გამართული ფუნქციონირებისათვის საჭიროა მისი მდგომარეობის შესწავლა, მოპოვებული ინფორმაციის ანალიზი და საინფორმაციო ბანკის შექმნა.

საავტომობილო გზებისა და მათზე მდებარე ხელოვნური ნაგებობების მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის დიდი მოცულობებით შეგროვება შესაძლებელია თანამედროვე გადასაადგილებელი ლაბორატორიების საშუალებით.

1.3 საავტომობილო ტრანსპორტის მუშაობის ეფექტურობის საგზაო საფარის სისწორეზე დამოკიდებულება და სისწორის გაუარესების მიზეზები

საქართველოში ბოლო პერიოდში საავტომობილო გზებზე მკვეთრად გაიზარდა: მოძრაობის ინტენსივობა, მოძრაობის სიჩქარული რეჟიმები, სატრანსპორტო საშუალებების ტვირთამწეობა და ღერძული დატვირთვები. ყოველივე ეს იწვევს საგზაო სამოსის საექსპლუატაციო ვადების შემცირებას.

ახალი რეალობიდან გამომდინარე საჭიროა გავითვალისწინოთ საგზაო სამოსის კონსტრუქციაზე რეალური დინამიური ზემოქმედების პირობები, რის საფუძველზეც მოხდება სამოსის ხანმედეგობის გასაზრდელად ახალი მიდგომების დამუშავება.

თანამედროვე პირობებში მსუბუქი ავტომობილების რაოდენობა(წილი) სატრანსპორტო ნაკადებში შეადგენს 70-80%-ს. ამის გათვალისწინებით საავტომობილო ტრანსპორტის მუშაობის ეფექტურობის შესაფასებლად გამოიყენება დროის ხარჯი, რომელიც საჭიროა მგზავრების გადასაყვანად ან ტვირთების გადასაზიდად. დროის ეს ხარჯი უშუალოდ დამოკიდებულია მოძრაობის სიჩქარეზე.

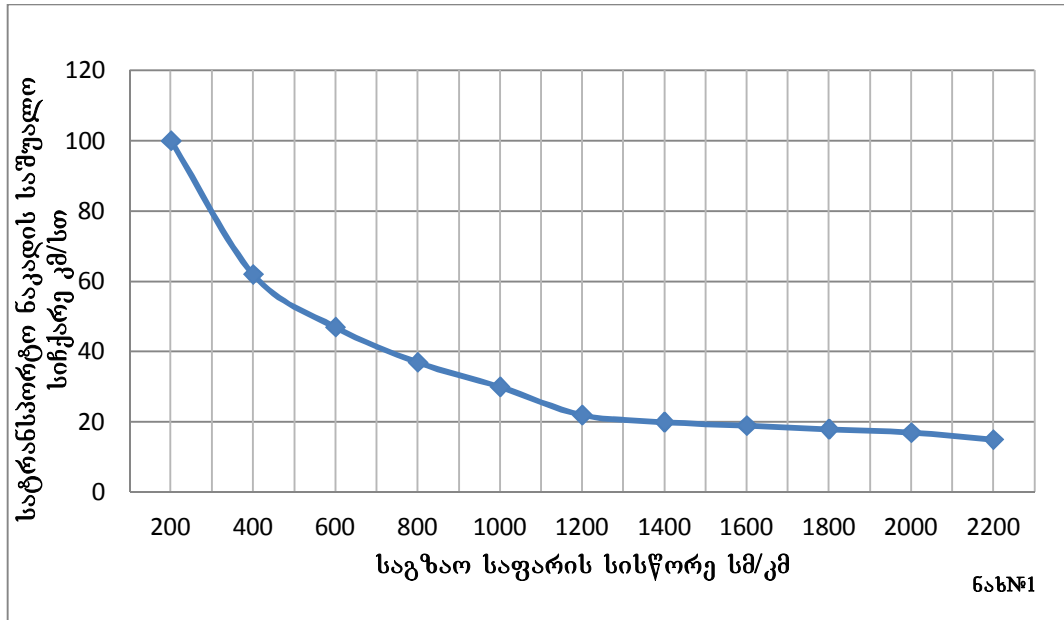
გამოთვლები აჩვენებს რომ: გზის მდგომარეობის გაუმჯობესების ხარჯზე სიჩქარის გაზრდა იძლევა დროის საგრძნობ ეკონომიას მგზავრობისას ან ტვირთების გადაზიდვისას 20000 ავტ.სთ-მდე და მეტად ყოველ გაუმჯობესებულ კილომეტრზე.

მოძრაობის სიჩქარის შემცირების ერთ-ერთ მთავარ მიზეზს წარმოადგენს საგზაო საფარის სისწორის გაუარესება.

სატრანსპორტო ნაკადის საშუალო სიჩქარის საგზაო საფარის სისწორეზე დამოკიდებულების გრაფიკი მოცემულია ნახაზზე 8.

მოძრაობის სიჩქარე დამოკიდებულია: გზის გეომეტრიულ პარამეტრებზე; საგზაო სამოსის სისწორესა და ჩაჭიდების ხარისხზე ასევე

მის მდგომარეობაზე; გზის საინჟინრო აღჭურვილობასა და მოძრაობის ორგანიზაციაზე.



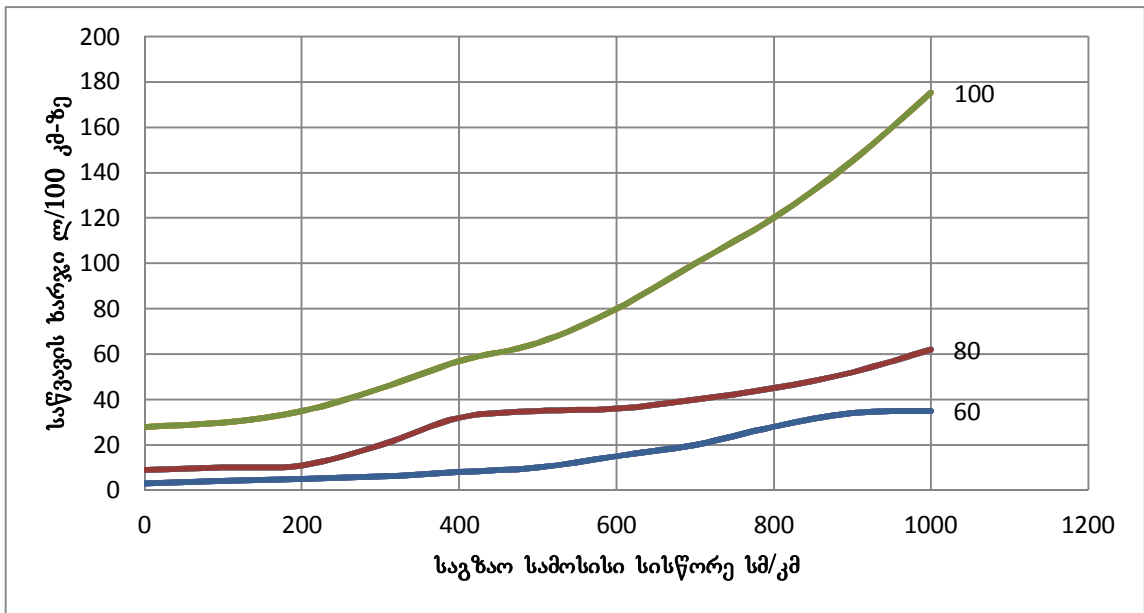
ნახ. 8. სატრანსპორტო ნაკადის საშუალო სიჩქარის საგზაო საფარის სისწორეზე დამოკიდებულების გრაფიკი

საავტომობილო ტრანსპორტის მუშაობის ეფექტურობა ხასიათდება გადაზიდვების თვითღირებულებით. გაანგარიშებები აჩვენებს რომ სატვირთო გადაზიდვების თვითღირებულება მინიმალურია როდესაც მოძრაობის საშუალო სიჩქარე 60-80 კმ/სთ-ია, თუ ამ თვითღირებულებას მივიღებთ ერთეულად მაშინ საშუალო სიჩქარის შემცირებით მკვეთრად გაიზრდება გადაზიდვების თვითღირებულება, განსაკუთრებით 40 კმ/სთ ნაკლებ სიჩქარეებზე.

მოძრაობის საშუალო სიჩქარე კმ/სთ	60-80	40-60	40-20	20-10
გადაზიდვების ღირებულების ზრდის კოეფიციენტი	1.00	1.10	1.30	1.35

ცხრილი N1 გადაზიდვების ღირებულების ზრდის კოეფიციენტი.

საავტომობილო გზის მდგომარეობა დიდ გავლენას ახდენს მასზე მოძრავი ავტომობილის საწვავის ხარჯზე. ამასთან სისწორის გაუარესებისას რაც მეტია სიჩქარე, მით მეტად იზრდება საწვავის ხარჯი (ნახ.9).



ნახ. 9. სატვირთო ავტომობილის საწვავის ხარჯის დამოკიდებულება საგზაო სამოსის სისწორესა და მოძრაობის სიჩქარეზე (გრაფიკებზე მითითებული რიცხვები წარმოადგენს სატვირთო ავტომობილის საშუალო სიჩქარეს კმ/სთ).

ევროპის განვითარებისა და რეკონსტრუქციის ბანკის ანგარიშებში მოცემულია ინფორმაცია სატრანსპორტო საშუალებების შენახვის ღირებულების შესახებ, ავტომობილის მოძრაობისას სხვადასხვა სისწორის გზებზე. ამ მონაცემების მიხედვით ჩანს რომ გზების მდგომარეობა გავლენას ახდენს ავტომობილების მუშაობის ეფექტურობაზე. ამ მონაცემებში საფარის სისწორე მოყვანილია საერთაშორისო ერთეულში (IRI) რომელიც იზომება მეტრებში 1კმ-ზე(მ/კმ). ამ მონაცემების ანალიზის საფუძველზე ირკვევა რომ გზის სისწორის გაუარესებისას 1-დან 8 მ/კმ-მდე, ეკონომიკური ხარჯები სატრანსპორტო საშუალებაზე იზრდება მსუბუქი ავტომობილებისათვის 8-დან 15 ცენტამდე ერთ კილომეტრზე, ხოლო სატვირთო ავტომობილებისათვის - 26-დან 27 ცენტამდე ერთ კმ-ზე. ამრიგად, არსებული გზების საექსპლუატაციო მდგომარეობის ტექნიკური ხარისხის სგრძობი ამაღლების გარეშე, შეუძლებელია საავტომობილო ტრანსპორტის მუშაობის ეფექტურობის გაზრდის ამოცანის გადაწყვეტა[4].

საავტომობილო გზის ერთ-ერთი საექსპლუატაციო მაჩვენებელი არის სისწორე, თუ რამდენად მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ის საავტომობილო ტრანსპორტის ეფექტურ მუშაობაზე ჩვენ უკვე განვიხილეთ. შემდგომში მოცემულია თუ რა სახის უსწორმასწორობები არსებობს და განხილულია მათი წარმოქმნის მიზეზები.

გზის სისწორე ხასიათდება მის ზედაპირზე არსებული უსწორმასწორობებით, ასევე არსებული საფარის ზედაპირის გადახრებით საპროექტოსთან მიმართებაში. განასხვავებენ გზის გრძივ და განივ სისწორეს. უსწორმასწორობების(ტალღოვნების) წარმოქმნის ძირითადი მიზეზებია:

1. მაღალი სატრანსპორტო დატვირთვები;
2. საგზაო სამოსის არასაკმარისი სიმტკიცე და ძვრისადმი მედეგობა, საფარის ფენებში დაბალი სიმტკიცის მასალების გამოყენება;
3. მშენებლობის დროს სისწორის უზრუნველყოფი მოთხოვნების დარღვევა, მიწის ვაკისისა და საგზაო სამოსის მოწყობა დაბალი ხარისხით;
4. წყლის აცილების ღონისძიებების უგულებელყოფა და ბურცობების წარმოქმნა;
5. ტრანსპორტისა და კლიმატური ფაქტორების ზემოქმედებით გამოწვეული საფარის ცვეთა, დაშლა და დარღვევა. აგრეთვე ამ დეფექტების აღმოფხვრის გაჭიანურება.

უსწორმასწორობებს გააჩნია სხვადასხვა ზომა და ფორმები, მათი განაწილება საფარის ზედაპირზე შემთხვევით ხასიათს ატარებს. გამონაკლისია მხოლოდ ღორღოვანი და ხრეშოვანი საფარები სადაც სავარცხლისებური უსწორმასწორობები როგორც წესი თანაბრადაა განაწილებული საფარის სიგრძეზე.

რეალურ პირობებში მოძრაობისას ავტომობილი ურთიერთქმედებს გზის უსწორმასწორო ზედაპირთან, რაც იწვევს მისი თვლების, ძარისა და

სხვა ნაწილების ვერტიკალურ, გრძივ და განივ რხევებს. ეს რხევები შემდგომში გადაეცემა მძღოლს და ამცირებს მის შრომისუნარიანობას.

საგზაო საფარის სისწორე მნიშვნელოვნად მოქმედებს, მოძრაობის სიჩქარეზე, ავტომობილის რემონტთაშორის რესურსზე, საწვავის ხარჯსა და საბურავების ცვეთაზე. ის აგრეთვე მოქმედებს ავტომობილის მწარმოებლობაზე, გადაზიდვების თვითღირებულებაზე და მოძრაობის უსაფრთხოებაზე.

ავტომობილის რხევაზე გავლენის მიხედვით უსწორმასწორობები შესაძლებელია დავეყოს სამ ჯგუფად: მაკრო უსწორმასწორობები, მიკრო უსწორმასწორობები და ხორკლიანობა.

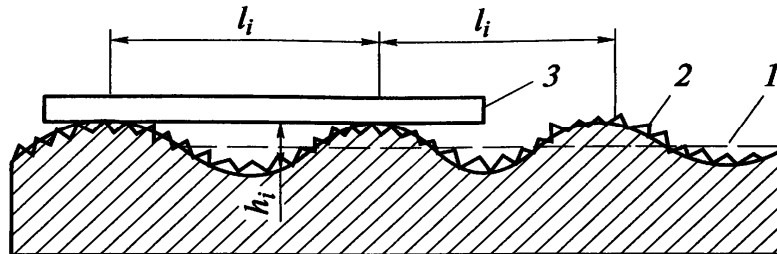
მაკროუსწორმასწორობები შედგება გრძელი მდორე უსწორმასწორობებისაგან, რომელთა სიგრძე 5 მეტრზე მეტია. მაკროუსწორმასწორობები გავლენას ახდენს ავტომობილის ძრავის მუშაობაზე და მისი მოძრაობის რეჟიმზე, მაგრამ პრაქტიკულად არ იწვევს ავტომობილის რხევას შეკიდულობაზე. ფაქტიურად ეს გზის გრძივი პროფილია და სამოსის სისწორის ანალიზისას მას არ განიხილავენ.

მიკროუსწორმასწორობები აყალიბებენ ზედაპირის მიკროპროფილს, რომელიც შედგება უსწორმასწორობებისაგან სიგრძით 10 სმ-დან 5 მ-მდე, მიკროუსწორმასწორობები იწვევს ავტომობილის მნიშვნელოვან რხევებს შეკიდულობაზე. ეს უკანასკნელი კი არის სისწორის მახასიათებელი.

ხორკლიანობა ეს არის უსწორმასწორობების ერთობლიობა რომელთა ტალღის სიგრძე არ აღემატება 10 სმ-ს, ისინი არ იწვევს ავტომობილის დაბალსიხშირიან რხევებს შეკიდულობაზე, რადგანაც მათ ზემოქმედებას შთანთქავს საბურავები. ამის გამო სისწორის ანალიზისას ხორკლიანობა მხედველობაში არ მიიღება.

ამგვარად ყველა ძირითადი უსწორმასწორობა საფარის ზედაპირის მიკროპროფილს განეკუთვნება. უსწორმასწორობებს განეკუთვნება შემდეგი სახის დაზიანებები: ამონამტვრევები, შვერილები, ორმოები, ძვრები, ტალღები, ბზარები და სხვ. ამ უსწორმასწორობების მნიშვნელოვანი ნაწილი

მშენებლობის პროცესშივე ფორმირდება, როდესაც საფარის ზედაპირი განსხვავდება საპროექტოსგან. ეს განსხვავება აღემატება 3 მეტრიანი ლარტყის ქვეშ განაშუქების დასაშვებ მაჩვენებლებს.



ნახ. 10. საფარის სისწორის პარამეტრები

1 - საფარის ხორკლიანობა, 2 - მიკროუსწორმასწორობები, 3 - საზომი ლარტყა, l_i - მანძილი უსწორმასწორობებს შორის ან ტალღის სიგრძე, h_i - ჩავარდნის სიღრმე ან უსწორმასწორობების სიმაღლე

ექსპლუატაციის პროცესში გზის ზედაპირის უსწორმასწორობების რაოდენობა და ზომები იზრდება. მიწის ვაკისში და საგზაო სამოსში წარმოიქმნება დაძაბულობები და დეფორმაციები, რომლებიც წარმოიქმნება ავტომობილებისაგან გამოწვეული მრავალჯერადად განმეორებადი დატვირთვებითა და ბუნებრივი ფაქტორების ზემოქმედებით.

დეფორმაციები თანდათანობით გროვდება და შესაძლოა საგზაო სამოსის დაშლა გამოიწვიოს.

ძირითადი ფაქტორები რომლებმაც შესაძლოა საავტომობილო გზების კონსტრუქციული ელემენტების რღვევა გამოიწვიოს, შესაძლებელია დაიყოს გარე და შიდა ფაქტორებად. გარე ფაქტორები არ არის დამოკიდებული გზაზე ხოლო შიდა უშუალოდ არის დამოკიდებული მასზე.

მათგან მთავარია გარე ფაქტორები, რომლებსაც განეკუთვნება: ავტომობილს დატვირთვებისაგან გამოწვეული ზემოქმედება და გარემო-კლიმატური პირობები. მთავარი გარე ფაქტორებია:

- ავტომობილის ღერძზე დატვირთვები და მაღალი წნევა მის საბურავებში;

- მაღალი ინტენსივობის დროს მძიმე დატვირთვების განმეორებადი ზემოქმედება და ამ ზემოქმედებებს შორის მოკლე ინტერვალები. ეს ფაქტორი განსაკუთრებით შესამჩნევია მრავალდერძიანი ავტომობილების გავლის დროს;
- ყოველი დატვირთვის ზემოქმედების ხანგრძლივობა და მათი ჯამური ხანგრძლივობა.
- ჰაერის ტემპერატურა და მზის რადიაცია, მათი ზემოქმედებით იზრდება და მცირდება საფარის ტემპერატურა. ტემპერატურის ცვალებადობა კი იწვევს ასფალტბეტონის, ბიტუმომინერალური ნარევისა და ბიტუმის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების ცვალებადობას;
- მიწის ვაკისის გრუნტის ტიპი და მისი ზედაპირული და გრუნტის წყლებით დატენიანების პირობები.

გარე ფაქტორების ზემოქმედება განსაკუთრებით ზაფხულის პერიოდშია შესამჩნევი, ამ დროს ხდება ნარჩენი დეფორმაციების დაგროვება საგზაო სამოსის ფენებში. ეს აიხსნება ასფალტბეტონისა და ბიტუმომინერალური მასალების თერმოპლასტიკური და ბლანტდრეკადი თვისებებით. როდესაც გაზრდილია ასფალტბეტონის ტემპერატურა, ბიტუმის ნაწილაკებს შორის მცირდება ურთიერთქმედების ძალთა (ვან-დერ-ვაალსის) ენერგია, ამის შედეგად მცირდება სიბლანტე და დრეკადობის მოდული ხოლო ნარჩენი დეფორმაციები იზრდება.

ეს ფაქტორი განსაკუთრებით შესამჩნევია: ა/ზ ნარევის არასწორი შემადგენლობის დროს; გამოყენებული ბიტუმის არასაკმარისი სიბლანტის გამო; როდესაც დოზირებისას შემკვრელის მიმართ შემცირებულია შემავსებლის შემცველობა და ნარევის არასაკმარისი დატკეპნისას.

შიდა ფაქტორებს განეკუთვნება: საგზაო სამოსის შემადგენელი ფენებისა და მიწის ვაკისის აქტიური ზონაში მდებარე გრუნტების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები, აგრეთვე ამ ფენებისა და მათ მოსაწყობად გამოყენებული მასალების დეფორმირებულ-დაძაბული მდგომარეობის

მაჩვენებლები, რომლებიც წარმოიქმნება ავტომობილების თვლების ზემოქმედებით. უფრო მეტად მნიშვნელოვან ფაქტორებს შესაძლებელია მიეკუთვნოს:

- მიწის ვაკისისა და არახისტი სამოსის ფენების არასაკმარისი დატკეპნა ან მათი განივი მიმართულებით არათანაბრი დატკეპნა;
- ავტომობილების თვლებით გამოწვეული საფარის არათანაბარი ცვეთა;
- ასფალტბეტონის საფარსა და ბიტუმომინერალური მასელების ფენებში პლასტიკური დეფორმაციების წარმოქმნა. ეს ფაქტორი განსაკუთრებით შესამჩნევია იმ პერიოდში როდესაც საფარის ტემპერატურა მაღალა. ამ დროს მნიშვნელოვნად მცირდება ბიტუმის სიბლანტე და ასფალტბეტონის ძვრისადმი მედეგობა. ასეთ პირობებში შესაძლებელია საფარის ზედაპირზე წარმოიშვას ტალღები(ძვრის დეფორმაციები). ბიტუმის სიბლანტე წელიწადის ცივ პერიოდში კი პირიქით იზრდება, ამ დროს იზრდება ასფალტბეტონის სიმტკიცე და სიხისტე რაც იწვევს ტემპერატურული ბზარების წარმოქმნას;
- საგზაო სამოსისა და საფარის ფენებში ნარჩენი დეფორმაციების დაგროვება და სტრუქტურული რღვევა, როდესაც მძიმე ავტომობილების საბურავების ზემოქმედებით გამოწვეული ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დამაბულობები აღემატება დასშვებ მნიშვნელობებს.
- მძიმე სატვირთო ავტომობილების ზემოქმედებით მიწის ვაკისიში ნარჩენი დეფორმაციების დაგროვება, განსაკუთრებით წლის იმ პერიოდში როდესაც გრუნტი ყველაზე მეტად დატენიანებულია და მისი მზიდუნარიანობა შემცირებულია მინიმუმამდე.

როგორც ზემოაღნიშნულიდან ირკვევა, ბიტუმის თვისებებზე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ასფალტბეტონის საფარის მდგომარეობა, ხოლო ბიტუმი მნიშვნელოვნად განიცდის გარემო და შიდა

ფაქტორების ზემოქმედებას რაც იწვევს მისი და ასფალტბეტონის საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გაუარესებას. ბიტუმის თვისებების გაუმჯობესება შესაძლებელია სხვადასხვა დანამატების გამოყენებით, ამ კვლევებში ერთ-ერთ პერსპექტიულ და აქტუალურ მიმართულებას წარმოადგენს ბიტუმის პოლიმერული მასალებით მოდიფიცირების საკითხების კვლევა.

1.4 საგზაო ბიტუმების მოდიფიცირება პოლიმერული დანამატების გამოყენებით

ასფალტბეტონის საფარის გამძლეობა დამოკიდებულია გამოყენებული მასალების ხარისხზე. ამ მასალებიდან ერთ-ერთი მთავარი ბიტუმის ხარისხია. სატრანსპორტო დატვირთვებისა და კლიმატური ფაქტორების ზეგავლენით იცვლება ბიტუმის თვისებები. მიუხედავად იმისა რომ ასფალტბეტონის შემადგელობაში ბიტუმის შემცველობა მცირეა (5-7% ასფალტბეტონის მასიდან) მისი თვისებები სისტემაში განსაზღვრავს ასფალტბეტონის საფარის მდგომარეობას.

ბიტუმის თვისებების შეცვლა შესაძლებელია პოლიმერული მასალების დამატებით. ჩატარებული კვლევებიდან ირკვევა, რომ პოლიმერები ამცირებს ბიტუმის მგრძობელობას ტემპერატურის ცვალებადობაზე, ამაღლებს შემკვრელების კოჰეზიურ სიმტკიცეს და თბომედეგობას, ელასტიურობას, აგრეთვე აუმჯობესებს მათ თვისებებს დაბალ ტემპერატურებზე. ყოველივე ზემოაღნიშნული ხელს უწყობს ასფალტბეტონის სიმტკიცის, ძვრისადმი მედეგობისა და ბზარმედეგობის ამაღლებას.

საგზაო მშენებლობაში ჩვეულებრივი მასალები მრავალი წლების განმავლობაში უზრუნველყოფდნენ დამაკმაყოფილებელ ხარისხს. დღესდღეისობით მუდმივად მზარდმა სატრანსპორტო დატვირთვებმა, საიმედო და გამძლე გზების საჭიროებამ გამოავლინა ჩვეულებრივი ბიტუმების ნაკლოვანებები. პრაქტიკაში ეს ნაკლოვანებები გამოიხატება შემდეგში:

- მაღალი თერმული მგრძობელობა(მაღალი ტემპერატურის დროს თავს იჩენს დარბილება და ხოლო დაბალ ტემპერატურაზე სიმყიფე);
- ცუდი მექანიკური მახასიათებლები და დაბალი დრეკადობა;
- დაძველებისადმი მიდრეკილება.

ამ გარემოებებიდან გამომდინარე ბოლო 20 წლის განმავლობაში აქტიურად მიმდინარეობს კვლევები ბიტუმის თვისებების გასაუმჯობესებლად. ამ კვლევებმა გამოავლინა, რომ პოლიმერული მასალები წარმოადგენენ საუკეთესო მოდიფიკატორებს, რომლებიც აუმჯობესებენ ბიტუმის ტექნოლოგიურ თვისებებს.

მოდიფიცირებული ბიტუმი რომელიც მიიღება ჩვეულებრივი ბიტუმისა და პოლიმერის გაერთიანებით, უზრუნველყოფს მაღალ ხარისხს და გაუმჯობესებულ თვისებებს - როგორებიცაა:

- მაღალ და დაბალ ტემპერატურებზე მუშა მახასიათებლების გაუმჯობესება;
- ელასტოპლასტიკური მახასიათებლების გაუმჯობესება;
- მასალის დადლილობისადმი წინააღმდეგობის ამაღლება;
- შემაჯვებლის კოჰეზიისა და ათჰეზიის გაუმჯობესება;
- დაძველებისადმი წინააღმდეგობის ამაღლება.

ჩამოთვლილი უპირატესობები დამოკიდებულია გამოყენებული ბიტუმის სახეობასა და პოლიმერზე, აგრეთვე ტექნოლოგიური პროცესის ტიპზე რომელიც გამოიყენება მოდიფიკაციისას. მაღალი მუშა მახასიათებლები მიიღწევა მხოლოდ პოლიმერის ზუსტი დოზირებისას და მისი ბიტუმის მასაში განაწილებისას. განაწილების საუკეთესო მაჩვენებლები(ჰომოგენიზაცია) მიიღწევა მაღალი დაფქვის მქონე წისქვილების გამოყენებით.

ბიტუმისა და მოდიფიკატორების თავსებადობა წარმოადგენს განმსაზღვრელ ფაქტორს(ყველა პოლიმერი არ არის თავსებადი განსაზღვრული ტიპის ბიტუმებთან და პირიქით). ბიტუმისა და პოლიმერის თავსებადობა თერმოდინამიკის თვალსაზრისით განისაზღვრება როგორც სიტუაცია, რომელშიც ბიტუმი და პოლიმერი ერთ ფაზურ მდგომარეობაში (ხსნადობა) მდებარეობენ. პოლიმერული მასალების ბიტუმში ხსნადობა დამოკიდებულია მრავალ პარამეტრზე, რომელთაგანაც მეტად მნიშვნელოვანია:

- პოლიმერის ხსნადობასა და მის მალტენურ ფაზას შორის განსხვავება;
- ბიტუმის შემადგელობაში ასფალტენების რაოდენობა და ტიპი.

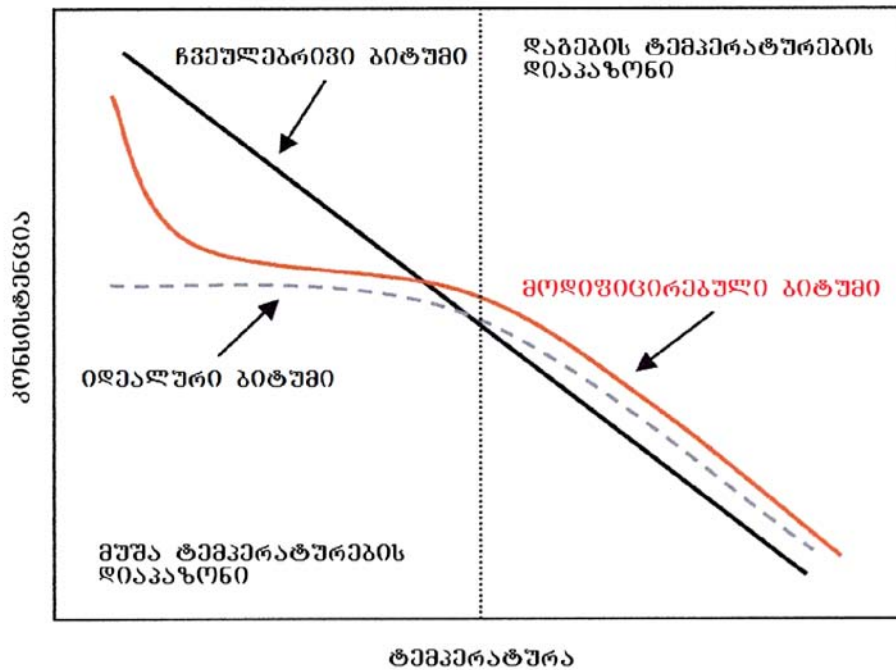
აღნიშნული თანხმობაში მოდის იმ ფაქტთან, რომ პოლიმერისათვის მალტენური ფაზა წარმოადგენს გამხსნელს, ხოლო ასფალტენები მისწრაფიან დარჩნენ რა გახსნადი კონკურენციას უწევენ პოლიმერს.

ნებისმიერი ბიტუმის მალტენური ფაზის ხსნადობის პარამეტრი(კავშირის ენერჯის სიმკვრივე) ცვალებადია გარკვეულ დიაპაზონში. იმისათვის რომ პოლიმერი ურთიერთქმედებდეს ბიტუმთან, საჭიროა პოლიმერის ხსნადობის პარამეტრი მდებარეობდეს ამ დიაპაზონის შიგნით. პოლიმერების(სოპლიმერების) რომლებსაც ფუძეებად აქვს სტიროლ ბუტადენ სტიროლი(SBS) ან ეთილენ-ვინილაცეტატი(EVA) ხსნადობის პარამეტრის საშუალო მნიშვნელობა ძალიან ახლოსაა ამ პარამეტრის საშუალო მაჩვენებელთან. ამიტომ ეს პოლიმერები ძლიერ ზემოქმედებს ბიტუმების უმეტეს ტიპებთან.

ბიტუმ-პოლიმერის ნარევი აუმჯობესებს მუშა მახასიათებლებს, ეს ძირითადად განპირობებულია პოლიმერის შემადგენლობითა და მოლეკულური მასით, ხოლო ნაკლებად ბიტუმის თვისებებით. აღსანიშნავია, რომ უწყვეტი პოლიმერული ქსელის შესაქმნელად უფრო მეტად თავსებად ბიტუმებს სჭირდებათ უფრო ნაკლები რაოდენობის პოლიმერი(პოლიმერის რაოდენობა დამოკიდებულია ბიტუმისა და პოლიმერის ურთიერთქმედებაზე, იმის გათვალისწინებით, რომ პოლიმერს შეუძლია შთანთქას თავის მოცულობაზე რამდენჯერმე მეტი ბიტუმის კომპონენტები). როდესაც პოლიმერის გამდიდრებული ფაზა იწყებს უწყვეტ ფაზაში გასვლას(ფაზის ინვერსია), მაშინ ნარევის თვისებები მნიშვნელოვნად იცვლება. აქტიურად ურთიერთქმედ განსხვავებულ პოლიმერებს ეს ემართებათ მაშინ, როდესაც მათი კონცენტრაცია აღწევს 4-6%. ასეთი კონცენტრაციის ბიტუმები გამოიყენება მრავალ საგზაო საფარში. ასევე უნდა აღინიშნოს, რომ პოლიმერის შემცველობის მიხედვით ჩვენ შეგვიძლია გამოვყოთ ორი კატეგორიის ნარევი:

- რბილი(SOFT) ბიტუმის ტიპი, 3-4% პოლიმერის შემცველობით;
- ხისტი(HARD) ბიტუმის ტიპი, 5,0-6,5% (ზოგიერთ შემთხვევებში 8%-მდე) პოლიმერის შემცველობით.

შემდეგ ძირითად პარამეტრს წარმოადგენს შესარევი კომპონენტების მოლეკულური მასა: მათი ხსნადობის პარამეტრებს შორის მაქსიმალურად დასაშვები განსხვავება პირდაპირ დამოკიდებულია მათ მოლეკულურ მასაზე. ამიტომ დაბალი მოლეკულური მასის მქონე პოლიმერები უფრო ადვილად შეირევა ბიტუმში, ვიდრე დიდი მასისა(ბიტუმის მოდიფიცირებისათვის გამოყენებული პოლიმერების მოლეკულური მასა ძირითადად მერყეობს 50000-300000-ის ფარგლებში).



ნახ .11. ტემპერატურაზე ბიტუმის რეოლოგიური თავისებურებების დამოკიდებულება

ბიტუმების რეოლოგიური თავისებურებები დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, ეს დამოკიდებულება მოცემულია სქემაზე (ნახ. 11). ტემპერატურების მთელი დიაპაზონი გაყოფილია ორ ნაწილად: მუშა და დიაპაზონად რომელშიც შესაძლებელია დაგება. იდეალური ბიტუმის კონსისტენცია მუდმივია მუშა ტემპერატურებზე და ეცემა დაგების

შუალედში. ასეთ მასალას კარგი საექსპლუატაციო თვისებები გააჩნია და მისი დაგება ადვილია. ტემპერატურის ზრდისას ჩვეულებრივი ბიტუმის კონსისტენცია თითქმის წრფივად მცირდება, ასეთი მასალით მუშაობა ადვილია, მაგრამ სამუშაო პირობებში ის მაღალ ტემპერატურულ მგრძობელობას ავლენს. ხოლო რაც შეეხება პოლიმერთ მოდიფიცირებული ბიტუმის თავისებურებას ის ძალიან ახლოსაა იდეალურთან. მოდიფიცირებული ბიტუმის თვისებები მთლიანად განსხვავდება ჩვეულებრივისაგან და უფრო მეტად გამოავლენს გამოყენებული პოლიმერების თავისებურებებს. ეს ძირითადად ხდება მაშინ, როდესაც პოლიმერი წარმოქმნის უწყვეტ ფაზას, რომელშიც ბიტუმი იმყოფება გაბნეული წვეთების(ნაწილაკების) სახით.

მოდიფიცირებული ბიტუმებისთვის განისაზღვრება კოჰეზიური და ათჰეზიური თვისებები. კოჰეზია - ეს არის ბიტუმის თვისება წინააღმდეგობა გაუწიოს გარე დეფორმაციებს. ასეთი თვისება ბიტუმში ასფალტენებისა და ფისების ხარჯზე წარმოიქმნება. ცხადია რომ კოჰეზიურ და რეოლოგიურ თვისებებს შორის არსებობს პირდაპირი კავშირი. ამგვარად შესაძლებელია ითქვას, რომ პოლიმერული დანამატების წყალობით კოჰეზიური თვისებების გაუმჯობესება, იწვევს მოდიფიცირებული ბიტუმის რეოლოგიური თავისებურებების გაუმჯობესებას.

რაც შეეხება ათჰეზიას მარტივი ცდებით დგინდება, რომ პოლიმერების არსებობა ბიტუმში აუმჯობესებს მის ათგეზიურ თვისებებს.

საგზაო მშენებლობაში ასფალტბეტონის მოდიფიცირებისათვის ძირითადად გამოიყენება შემდეგი ტიპის პოლიმერები: თერმოელასტოპლასტები - სტიროლ-ბუტედიენ-სტიროლი(SBS); ეთილენ-ვინილ-აცეტატის ტიპის თერმოპლასტები; პოლიიზობუთილენი, პოლიპროპილენი სხვადასხვა სახის ბლოკსოპოლიმერები და პოლიმერული ლატექსები. ჩამოთვლილი პოლიმერებიდან ყველაზე მეტად გავრცელებულია SBS ტიპის პოლიმერები, მათი გამოყენება ზოგიერთ

ქვეყანაში უკვე სტანდარტიზირებულია, ასევე არსებობს მათი გამოყენებით ასფალტბეტონების დამზადების რეკომენდაციები.

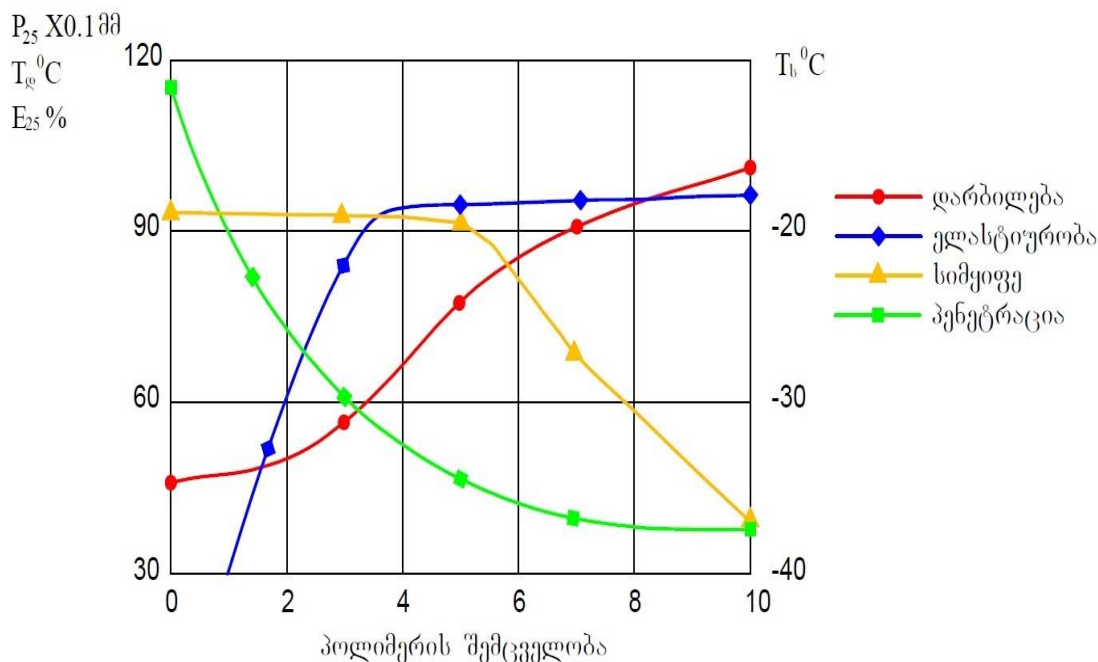
სხვდასხვა პოლიმერებით ბიტუმის თვისებების რეგულირების მექანიზმი ერთგვარია. ის მდგომარეობს ბიტუმში პოლიმერის მეტნაკლებად განვითარებული ბადის შექმნაში. მოდიფიკაციის შედეგები ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში დამოკიდებულია ბიტუმისა და პოლიმერის თავსებადობაზე, მათ რაოდენობრივ თანაფარდობასა და დამზადების ტემპერატურულ რეჟიმებზე.

პოლიმერებით მოდიფიცირებული ბიტუმების ყველაზე მნიშვნელოვანი თვისებების ექსპერიმენტული კვლევები იძლევა საშუალებას განისაზღვროს რა სახით იცვლება ისინი და დადგინდეს პოლიმერის შემცველობის ის ზღვრები რომლებშიც ადგილი აქვს ამ ცვლილებებს.

პოლიმერებით მოდიფიცირებული ბიტუმების ისევე როგორც ჩვეულებრივი ბიტუმების ხარისხის შეფასების ძირითად სტანდარტულ მაჩვენებლებს წარმოადგენს: პენეტრაცია 25°C-ზე, დარბილების ტემპერატურა, სიმყიფის ტემპერატურა, წელვადობა და ქვის მასალასთან მოკვრის ხარისხი. ამის გარდა განისაზღვრება მათი ელასტიურობა ერთგვაროვნება და კოჰეზია.

პოლიმერბიტუმის პენეტრაციის, 25°C-ზე ელასტიურობის, დარბილებისა და სიმყიფის ტემპერატურის ტიპური ცვლილებები პოლიმერის შემცველობის მიხედვით ნაჩვენებია ნახ. 12-ზე. ამასთან გრაფიკიდან ჩანს, რომ პოლიმერის შემცველობის ზრდასთან ერთად მცირდება პენეტრაცია, ეს განსაკუთრებით შეინიშნება მაშინ, როდესაც პოლიმერის შემცველობა 3%-ს არ აღემატება. ამ დროს ასევე მატულობს დარბილების ტემპერატურაც. ელასტიურობის ცვალებადობის მრუდი აჩვენებს, რომ სისტემაში წარმოიქმნება ბიტუმოპოლიმერული სტრუქტურის პირველი ტიპი და ამის გამო მიიღება მაღალი(88%-მდე) ელასტიურობა. ამავე დროს უნდა აღინიშნოს, რომ სიმყიფის ტემპერატურა

თითქმის უცვლელი რჩება მაშინ, როდესაც პოლიმერის შემცველობა 5%-ს არ აღემატება[17].



ნახ. 12. პოლიმერბიტუმის პენეტრაციის, 25°C-ზე ელასტიურობის, დარბილებისა და სიმყიფის ტემპერატურის ტიპური ცვლილებები პოლიმერის შემცველობის მიხედვით.

ამგვარად ცხადია რომ პოლიმერებით მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენებით შესაძლებელია ასფალტბეტონის საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ამჟამად ყველაზე მეტად გავრცელებული პოლიმერული დანამატები ზრდის მინერალური შემკვრელის ღირებულებას, ასევე მათი გამოყენება იწვევს ტექნოლოგიური პროცესების გართულებას და დამატებით ენერგო დანახარჯებს. გაზრდილი ფინანსური დანახარჯების კომპენსირება შესაძლებელია სხვა იაფი პოლიმერების გამოყენებით ასევე ა/ბეტონის საფარის საექსპლუატაციო ვადების გაზრდით და რემონტათმორისი პერიოდების შემცირებით.

სამწუხაროდ, საქართველოში არ ხდება ასფალტბეტონების დამზადება პილიმერებით მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენებით.

არ ჩატარებულა კვლევები ადგილობრივი მასალების საფუძველზე დამზადებული პოლიმერულ ასფალტბეტონებზე. წარმოებები

ასფალტბეტონის ნარევეს ამზადებენ ძველი ტრადიციული მეთოდების გამოყენებით. როგორც უკვე აღვნიშნეთ ნავთობის გადამუშავების ტექნოლოგიების განვითარება იწვევს მისი ნარჩენი პროდუქტის ბიტუმის ხარისხის გაუარესებას. გზებზე ყოველწლიურად მატულობს მოძრაობის ინტენსივობები და ღერძული დატვირთვები და ჩვეულებრივ ბიტუმზე დამზადებული ასფალტბეტონი ვეღარ უძლებს გაზრდილ მოთხოვნებს, ხოლო მისი საექსპლუატაციო ვადები მკვეთრად მცირდება. აღნიშნულის გამო იზრდება დანახარჯები გზების მოვლა შენახვაზე და უარესდება საავტომობილო ტრანსპორტის მუშაობის ეფექტურობა. ყოველივე ეს წარმოაჩენს არამოდიფიცირებული ბიტუმის ნაკლოვანებებს.

უცხოეთის ქვეყნებში უკვე მრავალი წელია მიმდინარეობს კვლევები პოლიმერული დანამატების საშუალებით ბიტუმის ხარისხის გასაუმჯობესებლად.

იმის დასადგენად თუ როგორ გავლენას მოახდენს ადგილობრივი მასალების გამოყენება პოლიმერებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური თვისებებზე, ჩვენ ჩავატარეთ კვლევები შემდეგი ადგილობრივი მასალების გამოყენებით:

- ღორღი და ქვიშა - მდინარე მტკვრის მასალა;
- მინერალური ფხვნილი – დედოფლისწყაროს კირქვის კარიერის;
- ათჰეზიის დასადგენად – ადგილობრივი თეთრი მარმარილო

კვლევებისათვის ასევე გამოვიყენეთ ირანული წარმოების ბიტუმი იმის გათვალისწინებით, რომ საქართველოში ასფალტბეტონის დასამზადებლად ძირითადად გამოიყენება ეს ბიტუმი.

II თავი. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა

2.1 რეოლოგიის ძირითადი ცნებები

ბიტუმები საგზაო მშენებლობაში გამოიყენება: ბიტუმომინერალური ნარეგების დასამზადებლად, ზედაპირული დამუშავებისათვის, გაჟღენთვის მეთოდით საფარის კონსტრუქციული ფენების მოსაწყობად და სხვ. ბიტუმის გამოყენებით დამზადებული კონსტრუქციებისა და მათი შემადგენელი ნაწილების თვისებების დასახასიათებლად არ არის საკმარისი კლასიკური დრეკადობის ჰუკის თეორიის გამოყენება. ზუსტად ასევე არ არის საკმარისი ბიტუმების ბლანტი თვისებების დასახასიათებლად ჰიდროდინამიკის გამოყენება რომლის საშუალებითაც ხდება იდეალური სითხეების დენადობის აღწერა. ბიტუმები ბლანტ-დრეკად მასალებს განეკუთვნება, რომლებიც სხვადასხვა კონსტრუქციებში მუშაობისას განიცდიან როგორც შექცევად(დრეკად), ასევე შეუქცევად(პლასტიურ) დეფორმაციებს. ბიტუმის დეფორმაციული თვისებების შესასწავლად საჭიროა რეოლოგიის მეცნიერების მეთოდების გამოყენება.

რეოლოგია არის მეცნიერება - დატვირთვების ზემოქმედებით სხეულების დეფორმაციისა და დენადობის შესახებ. ეს მეცნიერება ბოლო პერიოდში ფართოდ გავრცელდა, რადგან არსებობს მეცნიერების და მკვლევარების ინტერესი იმ მასალებისადმი, რომლებსაც აქვთ ბლანტ-დრეკადი თვისებები. ეს მასალები არ არის სრულად დრეკადი(ეს თვისება ახასიათებს მყარ სხეულებს) და არც – ბლანტი(როგორც სითხეებია). ამის გარდა ეს დაკავშირებულია წინასწარ განსაზღვრული მექანიკური თვისებების მქონე ხელოვნური მასალების მიღებასთან.

დატვირთვის შედეგად მყარ(დრეკად) სხეულში წარმოქმნილი დეფორმაციები მთლიანად შექცევადია(დრეკადია) ანუ მყისიერად ქრება დატვირთვის მოხსნის შემდეგ. იდეალურად დრეკადი სხეულის დეფორმაციის კანონი გამოისახება ჰუკის განტოლებით:

$$\varepsilon = \frac{\tau}{E} , \quad (1.2.1)$$

სადაც: ε - ფარდობითი დეფორმაცია; τ - დამაბულობა და E - დრეკადობის მოდული.

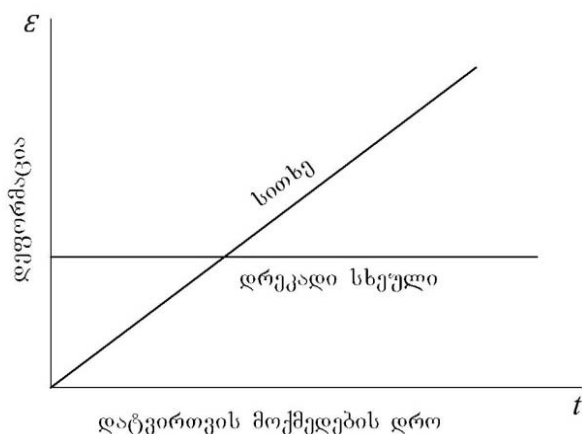
1.2.1 განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ დრეკადი დეფორმაცია არ არის დამოკიდებული დატვირთვის მოქმედების დროზე.

სითხეებში დატვირთვის შედეგად განვითარებული დეფორმაციები შეუქცევადია, ე.ი. წარმოქნილი წანაცვლება(გადაადგილება) არ აღდგება. იდეალური სითხის დეფორმაციის კანონი გამოისახება ნიუტონის განტოლებით:

$$d\varepsilon = \frac{\tau}{\eta} dt, \tag{2.2.1}$$

სადაც: t - დროა და η - სიბლანტე.

იდეალურად დრეკადი მასალის და იდეალური სითხის თვისებები წარმოადგენენ დეფორმაციის უკიდურეს შემთხვევებს. მასალებს რომლებშიც დატვირთვის ზემოქმედებით ერთდროულად წარმოიქმნება როგორც შექცევადი(დრეკადი), ასევე შეუქცევადი (პლასტიური) დეფორმაციები ეწოდება ბლანტი-დრეკადი.



ნახ. 13. დეფორმაციის დამოკიდებულება დატვირთვის მოქმედების დროზე ჰუკის მყარი სხეულისათვის და ნიუტონის სითხისათვის.

შექცევადი დეფორმაცია ჰუკის კანონის თანახმად არ არის დამოკიდებული დროზე, ხოლო შეუქცევადი პირდაპირ პროპორციულადაა დამოკიდებული დატვირთვის მოქმედების დროზე ნახ. 13. მაშასადამე რეალურ მასალაში დროის ფაქტორი ამა თუ იმ ხარისხით ყოველთვის მოახდენს გავლენას დეფორმაციების განვითარებაზე.

რეოლოგიის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას დეფორმაციების განვითარებასა და დამაბულ მდგომარეობაზე დროის ფაქტორის ზემოქმედების შესწავლა წარმოადგენს.

იმისათვის რომ მოხდეს იმ მასალის თავისებურებების დახასიათება რომელიც ამჟღავნებს როგორც დრეკად, აგრეთვე ბლანტ თვისებებს, ჩვეულებრივ ჰუკის და ნიუტონის განტოლებებს იყენებენ. მაქსველმა მოახდინა რა ჰუკის განტოლების დიფერენცირება დროით:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\tau}{Edt} \quad (3.2.1)$$

შეკრიბა მიღებული დეფორმაციის სიჩქარე და სიჩქარე რომელიც განისაზღვრება ნიუტონის განტოლებით. მიღებული განტოლებებით

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\tau}{Edt} + \frac{\tau}{\eta}, \quad (4.2.1)$$

ან

$$\tau = e^{-\frac{E}{\eta}t} \left(\tau_0 + E \int_0^t \frac{d\varepsilon}{dt} \cdot e^{\frac{E}{\eta}t} dt \right) \quad (5.2.1)$$

ხდება იმ მასალის ქცევის აღწერა რომელსაც აქვს რა დრეკადი თვისება არსებითად სითხეს წარმოადგენს - (მაქსველის სითხე). მეტად საინტერესოა ასეთი მასალის ქცევა იმ შემთხვევაში, როდესაც დეფორმაცია მასში მუდმივია, ანუ როდესაც $\frac{d\varepsilon}{dt} = 0$, მაშინ (4.2.1) ფორმულიდან შეიძლება მივიღოთ:

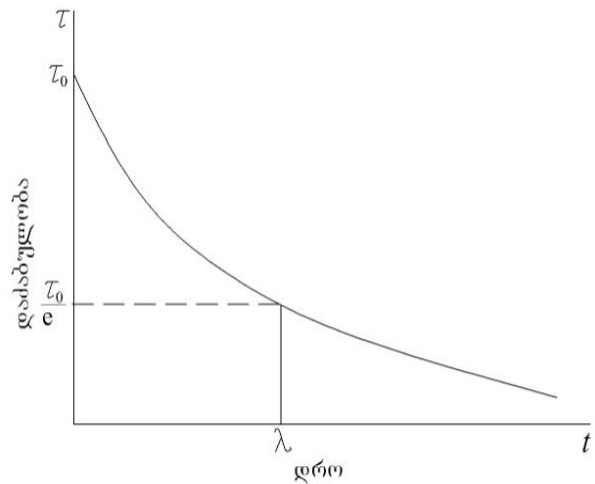
$$\tau = \tau_0 e^{-\frac{E}{\eta}t}. \quad (6.2.1)$$

ამგვარად, თუ ასეთი მასალა მუდმივი სიდიდის მქონე დეფორმაციას განიცდის, მაშინ მასალაში დამაბულობა თანდათანობით კლებულობს, ანუ ხდება დამაბულობების რელაქსაცია ნახ. N14. შეფარდებას $\frac{\eta}{E}$ აქვს დროის განზომილება, და ეწოდება რელაქსაციის პერიოდი λ . რელაქსაციის პერიოდი

მიუთითებს იმ დროს, რომლის განმავლობაშიც მასალაში მუდმივი დეფორმაციისას დამაბულობა კლებულობს $e = 2,7$ -ჯერ. ნიუტონის სითხე

შსაძლებელია განხილული იყოს როგორც მაქსველის სითხის კერძო შემთხვევა, როდესაც რელაქსაციის პერიოდი $\lambda = \frac{\eta}{E} = 0$, ანუ როდესაც დამაბულობის რელაქსაცია ხდება მყისიერად.

ყველა რეალურ მასალას რელაქსაციის პერიოდი ნულზე მეტი აქვს. აღმოჩენილია, რომ გაზებისათვის $\lambda = 1.95 \cdot 10^{-10}$ წმ, დაბალმოლეკულური სითხეებისათვის $\lambda \approx 10^{-1}$ წმ, ყინულისათვის $\lambda \approx 500$ წმ, შუშისათვის $\lambda \approx 100$ წელს, 8.4% ბიტუმის შემცველობის ქვიშოვანი ასფალტბეტონისათვის, 20°C ტემპერატურაზე, $\lambda \approx 400$ წმ. ამგვარად ყველა რეალური მასალა ავლენს დამაბულობების რელაქსაციის ისეთ თვისებებს რომლებიც მაქსველის სითხისთვისაა დამახასიათებელი.



ნახ. 14. მაქსველის სხეულში დამაბულობის რელაქსაცია

მასალისათვის, 20°C ტემპერატურაზე, $\lambda \approx 400$ წმ. ამგვარად ყველა რეალური მასალა ავლენს დამაბულობების რელაქსაციის ისეთ თვისებებს რომლებიც მაქსველის სითხისთვისაა დამახასიათებელი. მაქსველის დეფორმაციის განტოლება მოცემულია ზემოთ.

ბლანტდრეკადი თვისებების მქონე მასალის ქცევის დასახასიათებლად ჰუკისა და ნიუტონის განტოლებები შესაძლებელია გამოყენებული იყოს სხვაგვარადაც - კერძოდ ამ განტოლებების (1.2.1) და (2.2.1) შეკრებით. მასალა რომლის ქცევაც აღიწერება განტოლებებით:

$$\tau = E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt}, \tag{7.2.1}$$

ან

$$\varepsilon = e^{-\frac{E}{\eta}t} \left(e_0 + \frac{1}{\eta} \int \tau e^{\frac{E}{\eta}t} dt \right) \tag{8.2.1}$$

არის დრეკადი(კელვინის მყარი სხეული). ასეთ მასალაში დამაბულობის რელაქსაცია შეუძლებელია, მისი თავისებურება მდგომარეობს იმაში, რომ დამაბულობის მოხსნის შემდეგ დეფორმაცია

მყისიერად არ ქრება(როგორც ჰუკის სხეულში). როდესაც $\tau = 0$, განტოლებიდან (7.2.1) ვღებულობთ(გნტვირთვის მრუდს სურ. N3):

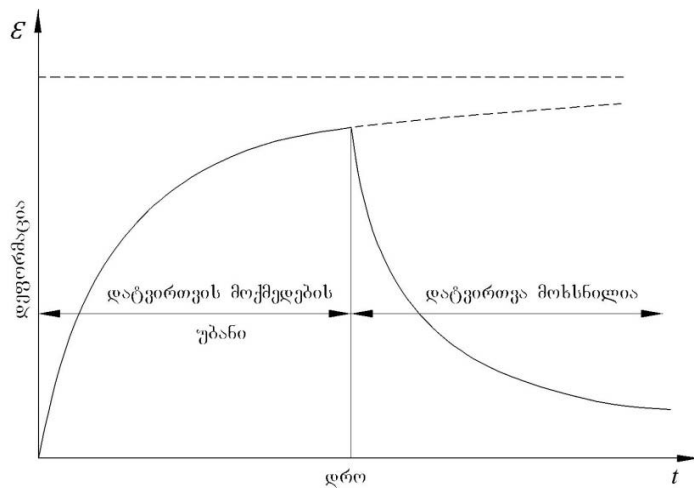
$$\varepsilon = \varepsilon_0 e^{-\frac{E}{\eta}t} \quad (9.2.1)$$

დატვირთვისას შესაბამისად მიიღება განტოლება:

$$\varepsilon = \frac{\tau}{E} \left(1 - e^{-\frac{E}{\eta}t}\right) \quad (10.2.1)$$

როგორც (10.2.1) განტოლებიდან და ნახ. 15-დან ჩანს, მოცემული დატვირთვის შესაბამისი დეფორმაცია არა მყისიერად არამედ გარკვეული დაგვიანებით ყალიბდება.

კელვინის სხეულისათვის $\frac{\eta}{E}$ შეფარდებას უწოდებენ დაგვიანების პერიოდს. ეს ეფექტი, ისევე როგორც დაძაბულობის რელაქსაცია, ყველა რეალურ მასალას ახასიათებს. ამგვარად ნებისმიერი



ნახ. 15. კელვინის სხეულში დეფორმაციის განვითარება

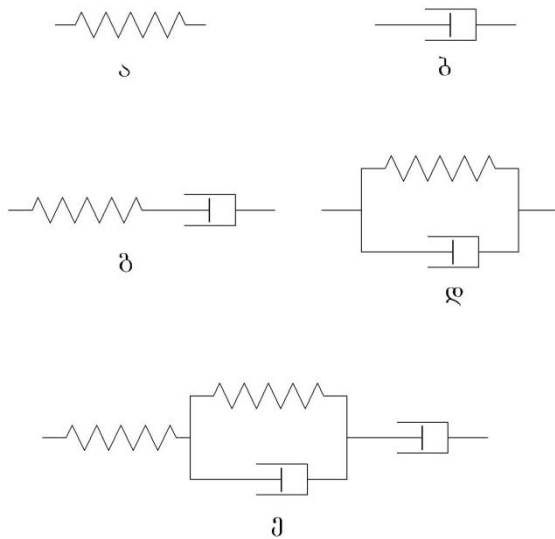
რეალური მასალა თავის თავში ითავსებს როგორც მაქსველის სითხის, ასევე კელვინის სხეულის თვისებებს. რეალურ მასალებში შექცევად(დრეკადი) და შეუქცევად(პლასტიური) დეფორმაციებს შორის დამოკიდებულება ხშირად უფრო რთულია და განტოლებებით (4.2.1) და (7.2.1) არ აღიწერება. რეოლოგიაში მასალების ქცევის თვალსაჩინოდ წარმოსადგენად იყენებენ მექანიკურ მოდელებს. რეოლოგიური მოდელი წარმოადგენს მექანიკურ სისტემას, რომლის ქცევა დატვირთვის დროს შესასწავლი მასალის ქცევის ანალოგიურია. ამგვარად ჰუკის სხეული რომლის დრეკადობის მოდულია E გამოისახება ზამბარის სახით(ნახ. 16-ა), ხოლო η სიბლანტის მქონე ნიუტონის სითხე - სითხიანი ცილინდრის სახით რომელშიც

გადაადგილდება დგუში(ნახ.16-ბ). მაქსველის სითხე შესაძლებელია წარმოდგენილი იყოს მიმდევრობით შეერთებული ზამბარისა და დგუშის სახით(ნახ. 16-გ), ხოლო კელვინის სითხე - ამ ელემენტების პარალელური შეერთებით(ნახ. 16-დ).

რეალური დრეკადი და პლასტიური დეფორმაციის გარდა მასალა ავლენს დამაბულობების რელაქსაციისა და დაგვიანებების თვისებებს. ასეთი მასალის ქცევა შესაძლებელია წარმოდგენილი იყოს (ნახ. 16-ე) ნაჩვენები მოდელის სახით. ამ მასალის ქცევა მუდმივი დატვირთვის ზემოქმედების დროს აღიწერება შემდეგი განტოლებით:

$$\varepsilon = \frac{\tau}{E_l} + \frac{\tau t}{\eta_H} + \frac{\tau}{E_K} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (11.2.1)$$

(11.2.1) განტოლების პირველი წევრი ასახავს მყისიერ დრეკად დეფორმაციას რომელიც მასალაში დატვირთვის ზემოქმედებით წარმოიქმნება, მეორე - შეუქცევადი დეფორმაციების განვითარებას და მესამე - დამგვიანებელ დრეკადობას.



ნახ. 16. რეოლოგიური მოდელები: ა - ჰუკის სხეული (ზამბარა), ბ - ნიუტონის სითხე (ცილინდრი დგუშით), გ - მაქსველის სითხე, დ - კელვინის სხეული, ე - განზოგადებული მოდელი.

მასალის ქცევის დასახასიათებლად საკმაოდ მოსახერხებელია რეოლოგიური მოდელების გამოყენება, თუმცა ისინი საჭიროებენ რთული სახის მათემატიკურ გამოთვლებს. ამის გარდა მექანიკური მოდელები საერთოდ არ ასახავენ მასალის სტრუქტურის თავისებურებებსა და ბლანტ დრეკადი თვისებების მოლეკულურ ბუნებას.

საჭირო სამშენებლო-საექსპლუატაციო თვისებების მქონე მასალების შესარჩევად და განსაზღვრული თვისებების ახალი მასალების

საწარმოებლად საჭიროა: ფიზიკური პროცესების შესწავლა რომელიც საფუძვლად უდევს ამა თუ იმ სახის დეფორმაციის წარმოქმნას. აგრეთვე აუცილებელია მასალის სტრუქტურის როლისა და დეფორმაციის დროს მიმდინარე სტრუქტურული ცვლილებების სწორი გაგება[21].

ამგვარად ისეთი რთული მასალის დეფორმაციული თვისებების შესასწავლად, როგორც ბიტუმია, არ არის საკმარისი რეოლოგიური მოდელის შედგენით დეფორმირების საერთო სურათის წარმოდგენა. საჭიროა იმ პროცესების ფიზიკური ბუნების შესწავლა რომელიც საფუძვლად უდევს ამა თუ იმ სახის დეფორმაციის წარმოქმნას.

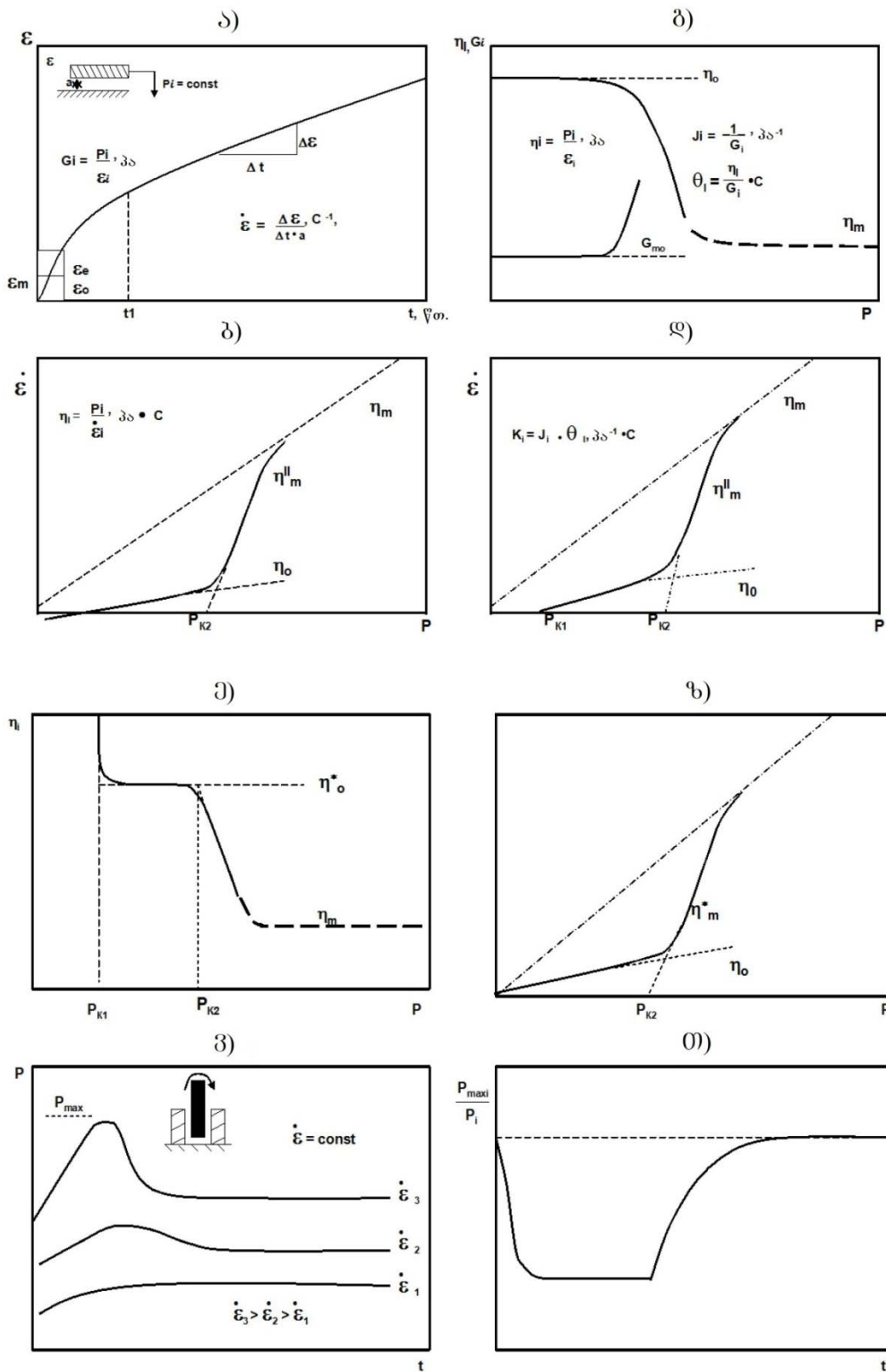
2.2 ბიტუმების შემადგენლობა, სტრუქტურა, თვისებები, სტანდარტული და რეოლოგიური გამოცდის მეთოდები

ბიტუმები წარმოადგენს დისპერსიულ სისტემას, რომელთა სტრუქტურა კოაგულაციურია. ბიტუმი შედგება ნავთობის მაღალმოლეკულური განსხვავებული ნაერთების ნარევიდან. მოლეკულური მასისა და სელექტორულ გამხსნელებში ხსნადობის ხასიათის მიხედვით ეს ნაერთები გაერთიანებულია ნახშირწყალბადების, ფისებისა და ასფალტენების ჯგუფებში.

ბიტუმები შეიძლება იყოს როგორც ნარჩენი, აგრეთვე დაჟანგული. ბიტუმები განეკუთვნება კოლოიდურ დისპერსიებს. ტემპერატურის მიხედვით ისინი შესაძლებელია მიეკუთვნოს მყარ სხეულებს(დაბალი ტემპერატურების დროს) და სითხეებს(მაღალ ტემპერატურაზე). ეს განაპირობებს ბიტუმების თვისებებისა და სტრუქტურის წარმოქმნის პროცესების შესწავლის სირთულეს. ბიტუმები გაუმჭვირვალეა, მათგან წარმოქმნილი თხელი აფსკებიც კი ინარჩუნებს ამ თვისებას.

ბიტუმების გამოკვლევა ხდება სტრუქტურული რეოლოგიის მეთოდით, რომელიც დამუშავებულია აკედემიკოს პ.ა. რეზინდერის მიერ, ამასთან საჭიროების შემთხვევაში გამოიყენება მოდელირების პრინციპი. რეოლოგია ეს არის მეცნიერება დენადობის შესახებ. ნახ. 17-ზე ნაჩვენებია მრუდები, რომელთა საფუძველზე მიიღება ბიტუმებისა და სხვა დრეკადბლანტ-პლასტიკური ნივთიერებების რეოლოგიური მახასიათებლები.

ნახ. 17^ა-ზე მოცემული სქემიდან ჩანს რომ, უბრალო ძვრაზე გამოცდის დროს, P ძვრის მუდმივი დაძაბულობის პირობებში ვლებულობთ ცოცვადობის მრუდს. გარკვეული დროის გასვლის შემდეგ, ამ მრუდზე ხდება ცოცვადობის მუდმივი სიჩქარის $V = \Delta\varepsilon/\Delta t$ მქონე უბნის ფორმირება. ცოცვადობის სიჩქარისა და ბიტუმის a ფენის სისქის განაყოფი, საშუალებას იძლევა გამოითვალოს ძვრის სიჩქარის გრადიენტი $\varepsilon = V/a$. ამასთან



ნახ. 17. მრუდები რომელთა საფუძველზე მიიღება ბიტუმებისა და სხვა დრეკადბლანტპლასტიკური ნივთიერებების რეოლოგიური მახასიათებლები.

იგულისხმება, რომ ძვრის სიჩქარე ფენის სიქის პირდაპირ პროპორციულად იცვლება.

მცირე და განსაკუთრებით მცირე ε -ის მნიშვნელობებისას (როგორც წესი $1 \cdot 10^{-6}$ წმ⁻¹-ზე ნაკლები), ბიტუმებისათვის შეინიშნება P ძვრის დამაბულობაზე რეოლოგიური მახასიათებლების მნიშვნელობების დამოუკიდებლობის არე (η_i და G_{mi}). ამგვარად ვღებულობთ ინვარიანტულ, ანუ დეფორმაციის პირობებზე დამოუკიდებელ მაჩვენებლებს, რომლებიც ახასიათებენ მასალის რეალურ η_0 სიბლანტესა და G_{m0} დრეკადობას.

ეს პარამეტრები და მათი წარმოებულები შესაძლებელია ფიზიკურად დაფუძნებულად ჩაითვალოს, რადგან ისინი არ არიან დამოკიდებული დეფორმაციის პირობებზე. ამავე დროს, როგორც η_i და G_{mi} - პირობითი მახასიათებლები და აგრეთვე მათი წარმოებულები შესაძლებელია გამოყენებული იქნას, დეფორმაციის ერთნაირი რეჟიმების დროს მასალების შედარებისას [20].

ინვარიანტულ რეოლოგიურ მახასიათებლებს განეკუთვნება: ნიუტონის უდიდესი სიბლანტე η_0 , დრეკადობის ინვარიანტული მოდულები: მდგრადი G_m , ელასტიური G_{me} , პირობითად მყისიერი G_{m0} , მოქნილობა J_m , დამაბულობის რელაქსაციის პერიოდი θ_{m0} , ელასტიურობის მაჩვენებელი K_0 , დენადობის სტატიკური ზღვარი PK_1 , დენადობის დინამიური ზღვარი PK_2 , უმცირესი პლასტიური სიბლანტე η_m^* ან $\underline{\eta}_m$ ნიუტონის უმცირესი სიბლანტე, სტრუქტურის რღვევის ხარისხი $\Psi = \frac{\eta_0}{\eta_m^*}$.

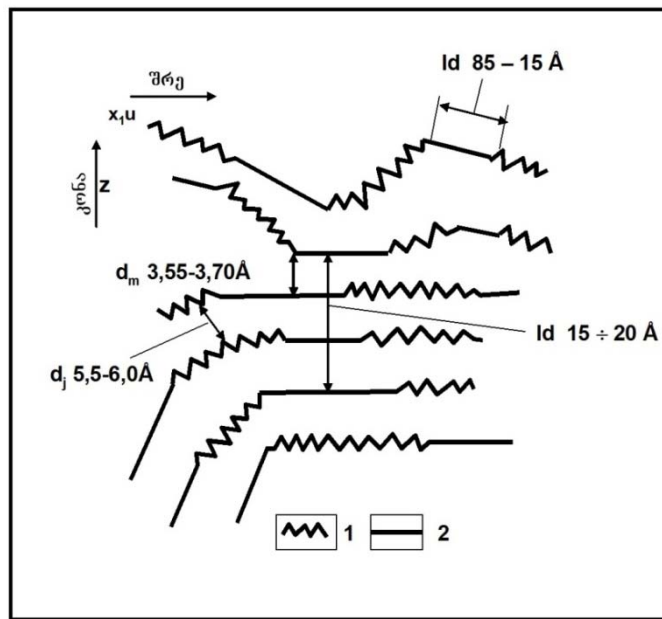
არაინვარიანტულ რეოლოგიურ მახასიათებლებს განეკუთვნება ეფექტური სიბლანტე η_i , მოდული G_{mi} და ყველა მათი წარმოებული, აგრეთვე ბიტუმის თვისებების მაჩვენებლები: პენეტრაცია, დარბილების ტემპერატურა (ბურთისა და რგოლის მეთოდით), დუქტილობა და სიმყიფის ტემპერატურა (ფრაასის მეთოდის მიხედვით).

როგორც ჩანს რეოლოგიური მახასიათებლების მიხედვით შესაძლებელია ბიტუმების და მათ საფუძველზე დამზადებული კომპოზიციების თვისებების: სიბლანტე, სიმტკიცე, დრეკადობა,

ელასტიურობა, პლასტიურობა და ბზარმედეგობა შეფასება. მაგრამ ამ მახასიათებლების მიხედვით აგრეთვე შესაძლებელია: სტრუქტურის ჩამოყალიბების პროცესების გამოკვლევა, სტრუქტურის ჩამოყალიბების კრიტიკული კონცენტრაციის დადგენა და დისპერსიული სტრუქტურის პარამეტრების გამოვლა.

2.3 ბიტუმის კომპონენტები

ადსორბენტ სილიკაგელზე ადსორბციულ-თხევადი ქრომატოგრაფიის მეთოდით, სელექციური(არჩევითი) გამხსნელის გამოყენებით, ბიტუმის მალტენები შესაძლებელია გაიყოს ექვს კომპონენტად. ამ შემთხვევაში ბიტუმიდან წინასწარ გამოიყიფა ასფალტენები, რომლებიც არ არის ხსნადი ნორმალურ ალკანებში(ნაჯერი ნახშირწყალბადები), კერძოდ პეტროლენის ეთერში.

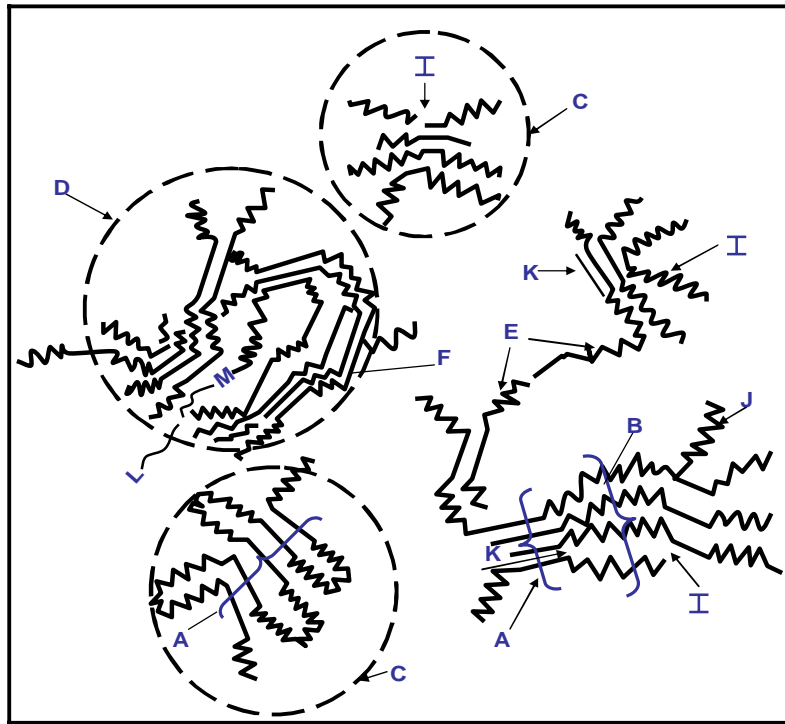


ნახ. 18. ასფალტენის მოლეკულის ჭრილი

1. თავისუფალი ნაფტენური რგოლები
2. კონდენსირებული არომატული რგოლების ფირფიტები

ტ.ე. იენის მიხედვით როგორც ნახ. 18-დან ჩანს, ასფალტენები წარმოადგენენ კრისტალურ სტრუქტურებს, 5-6 ფენიან პაკეტებს, შემდგარს ფირფიტებისაგან გვერდითი ალიფატიური ჯაჭვითა და ნაფტენური რგოლებით, რომლებიც შეიცავს პოლარულ ფუნქციონალურ ჯგუფებს ჟანგბადის ატომით. ფირფიტები წარმოადგენენ პოლიციკლურ კონდენსირებულ არომატულ სტრუქტურებს გოგირდისა და აზოტის ჰეტეროციკლების ჩართვით. ფირფიტების რადიუსი შეადგენს (8,5-15)Å,

ხოლო მანძილი მათ შორის არის (3,5-3,6)Å. ასფალტენის სტრუქტურა უახლოვდება გრაფიტისას რომლის ფენათაშორისი მანძილი არის 3,34Å. ჰეტეროარომატების ჩართვის, აგრეთვე ალიფატიური ჯაჭვებისა და ნაფტენური რგოლების გამო ასფალტენებს ეს მანძილი უფრო მეტი აქვს. ჰეტეროარომატები აგრეთვე იწვევს ფირფიტების გამრუდებას.



ნახ. 19. ასფალტური ნივთიერებების მაკროსტრუქტურა

A - კრისტალიტი; B - კავშირების კონა; C - ნაწილაკი; E - სუსტი კავშირი; F - განაჭერი; K - ნავთობის პროფირინი; I - ფისი; J - ერთეული ფენა; A – მიცელლა; L – მოლეკულის ნაწილაკი, მეტალის შემცველობით(M).

ასფალტური ნივთიერებების მაკროსტრუქტურა ნაჩვენებია ნახ. 19-ზე, კერძოდ მიცელები ან ფისების სტრუქტურები, რომლებიც შეიცავს უფრო ნაკლებ ფირფიტებს პაკეტში, ვიდრე ასფალტენები.

მალტენები იყოფა შემდეგ ექვს ფრაქციად როგორებიცაა: სპირტობენზოლური ფისები(სბფ), პეტროლეინბენზოლური ფისები(პბფ), პოლიციკლოარომატული(პცა) ნახშირწყლები, ბიციკლოარომატული(ბცა) ნახშირწყლები, მონოციკლოარომატული(მცა) ნახშირწყლები და პარაფინო-ნაფტენური(პნ) ნახშირწყლები.

ადსორბციულ-თხევადური ქრომატოგრაფია მალტენების კომპონენტების დაგროვების საშუალებას იძლევა. 60/90 მარკის ბიტუმის კომპონენტების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები, რომლებიც გამოსახავენ მის საექსპლუატაციო თვისებებს, მოცემულია ცხრილში N2

ბიტუმის კომპონენტების დასახელება და მოდელის შემადგენლობა	შემცველობა		დარბილების ტემპერატურა T_d °C	სიმყვივის ტემპერატურა T_s °C	მუშა ტემპერატურების ინტერვალი °C
	კომპონენტები %	ასფალტენები %			
პნ	13,2		39,0	-60,0	99,0
მცა	9,4		20,0	-50,0	70,0
ბცა	21,4		10,0	-30,0	40,0
პცა	2,7		10,5	-32,0	42,5
ზეთები(პნ+არ)	46,7		21,7	-43,0	64,7
პბფ	16,9		37,0	+1,0	36,0
სბფ	12,2		73,0	+21,5	51,5
ბიტუმის მალტენები	75,8		21,7	-26,5	48,2
ბიტუმი		24,2	50,0	-15,0	65,0
ზეთები(პნ+არ) და ასფალტენები		5	33,5	-32,5	66,0
იგივე		10	38,5	-41,5	80,0
««		20	75,0	-38,5	113,5
««		30	103,5	-26,5	130,0
««		40	132,0	-22,0	154,0

ცხრილი N2. ბიტუმის და მისი კომპონენტების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები

ბიტუმის ჯგუფური შემადგენლობისა და კომპონენტების თვისებების გაანალიზებით შესაძლებელია დადგინდეს, თუ რომელი კომპონენტი რა

ხარისხით მოქმედებს ბიტუმის ანალოგიურ თვისებებზე. უნდა არინიშნოს, რომ სპირტობენზოლურ ფისებს აქვთ მაღალი თბომედეგობა(დარბილების ტემპერატურა), მალტენებს კი - დაბალი და მხოლოდ ასფალტენების არსებობა უზრუნველყოფს ბიტუმის სტანდარტით გათვალისწინებულ თბომედეგობას. ამასთან 11,50 °C-ით უარესდება ბიტუმის ბზარმედეგობა(სიმყიფის ტემპერატურა) მალტენებთან შედარებით, თბომედეგობა იზრდება 28.30 °C-ით და მუშა ტემპერატურების ინტერვალი იზრდება 16.80 °C-ით.

ბიტუმის უფრო მეტად მყიფე კომპონენტებს წარმოადგენს სბფ(მყარი ფისები), ხოლო ბზარმედეგებს – პნ, მცა, და ზეთები კომპლექსში. ეს უკანასკნელები განსაზღვრავენ ბიტუმის ბზარმედეგობას.

პარაფინო-ნაფტენური ნახშირწყლები ბიტუმის მეტად საინტერესო და მნიშვნელოვან კომპონენტებს წარმოადგენენ, რომლებიც ყველზე დიდი მუშა ინტერვალთა და უკეთესი ბზარმედეგობით ხასიათდებიან. ეს უკანასკნელი თვისება განაპირობებს მალტენების და შესაბამისად ბიტუმის ბზარმედეგობას. ნავთობის გადამუშავებისას გაღრმავება, იწვევს ბიტუმში პარაფინო-ნაფტენური ნახშირწყლების შემცველობის შემცირებას, ამის გამო ხდება ბიტუმის ხარისხის მნიშვნელოვანი გაუარესება.

ბიტუმის ჯგუფური შემადგენლობის, მალტენებისა და ზეთების ფრაქციების შესახებ ინფორმაციიდან გამომდინარე დარბილების, სიმყიფისა და მუშა ტემპერატურების მაჩვენებლების გაანგარიშებამ აჩვენა, რომ ზეთებისათვის ეს მაჩვენებლები არ განსხვავდება საანგარიშოსაგან(ცხრილი N2). ამგვარად მიღებული მონაცემები მოწმობს იმაზე, რომ ზეთების კომპონენტებს შორის არ არის ქიმიური კავშირები და შეინიშნება ნარევის მაჩვენებლებზე თითოეულის ჯამური გავლენა.

განსხვავებული სურათი შეინიშნება მალტენების შემთხვევაში. მათი ფაქტიური მაჩვენებლები საგრძნობლად უარესია საანგარიშოსთან შედარებით: დარბილების ტემპერატურა ნაკლებია 49.7%-ით, სიმყიფის ტემპერატურა – 14.8%-ით და მუშა ინტერვალი 14.19%-ით.

ცხრილი N3 ზეთებისა და მალტენების თვისებების მაჩვენებლების ფიზიკური და საანგარიშო მნიშვნელობები

ნიმუშების დასახელება	კომპონენტების შემადგენლობა %			დარბილების ტემპერატურა ° C			სიმყიდის ტემპერატურა ° C			მუშა ტემპერატურების ინტერვალი ° C		
	ბიტუმი	მალტენებში	ზეთებში	T _დ	წილი მალტენებში	წილი ზეთებში	T _ს	წილი მალტენებში	წილი ზეთებში	მტ	წილი მალტენებში	წილი ზეთებში
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
პნ	13,2	17,4	28,24	39,0	6,80	11,01	-60,0	-10,44	-16,94	99,0	17,23	27,95
მცა	9,4	12,4	20,12	20,0	2,48	4,02	-50,0	-6,20	-10,06	70,0	8,68	14,08
ბცა	21,4	28,2	45,80	10,0	2,82	4,58	-30,0	-8,46	-13,74	40,0	11,28	18,32
პცა	2,7	3,6	5,84	10,5	0,38	0,61	-32,0	-1,15	-1,87	42,5	1,53	2,48
ზეთების Σ	46,7	61,6	100,0	21,7	13,36	20,22	-43,0	-26,49	-42,61	64,7	39,86	62,83
პბფ	16,9	22,3		37,0	8,25		+1,0	+0,22		36,0	8,03	
სბფ	12,2	16,1		73,0	11,75		+21,5	+3,46		51,5	8,29	
მალტენები	75,8	100,0		21,7	32,48		-26,5	-22,57		48,20	55,04	
ფაქტიური მნიშვნელობიდან გადახრა %					+49,7	-6,8		-14,8	-0,93		+14,19	-2,89

ეს ფაქტი შესაძლოა აიხსნას იმით, რომ ფისების ნაწილი ზეთებში იხსნება, ხოლო ნაწილი წარმოქმნის სპირტობენზოლური ფისების(სზფ) კომპლექსებსა და პეტროლეინბენზოლური ფისების(პზფ) კომპლექსებს.

ის ფაქტი, რომ მალტენებისათვის სიმყიფის ტემპერატურა შესამჩნევად უარესია, ვიდრე ზეთების ფრაქციებისათვის ადასტურებს იმას, რომ ფისების ნაწილი გაიხსნა ზეთებში. აქედან გამომდინარე შესაძლებელია ჩაითვალოს, რომ პზფ და სზფ კომპლექსებში კოლოიდური ნაწილაკების ჩანასახს წარმოადგენენ კერძოდ პზფ და სზფ. ამ უკანასკნელთა მეშვეობით ხდება ზეთების ნაწილისა და ფისების დაბალმოლეკულური ნაწილის ადსორბირება.

სავარაუდოა, რომ ფისების ხსნარი შეიცავს უფრო მეტ პეტროლეინბენზოლურ ფისებს ვიდრე სპირტობენზოლურს, რადგან მალტენების სიმყიფის ტემპერატურის მნიშვნელობა უფრო ახლოსაა პეტროლეინბენზოლურის იგივე მაჩვენებელთან ვიდრე სპირტობენზოლურთან.

ყურადსაღებია ის ფაქტი რომ, ზეთების მუშა ტემპერატურების ინტერვალი იგივეა რაც ბიტუმის, ამასთან დარბილების ტემპერატურა უკეთესია ხოლო სიმყიფის უარესი ერთიდაიგივე სიდიდით(28 °C-ით). შესაძლებელია ჩაითვალოს რომ ასფალტენები წარმოქმნიან ასფალტენურ კომპლექსებს და წარმოადგენენ ჩანასახებს რომლებიც თავის ზედაპირზე ზეთებთან ერთად ფისების ადსორბციასაც ახდენენ.

ასფალტენების ზეთებში შეყვანა ისევე როგორც ზემოთ განხილულ შემთხვევაში, იწვევს დარბილების ტემპერატურის გაზრდასა და სიმყიფის - გაუარესებას.

ცხრილი N3-ში მოცემულია ბიტუმიდან გამოყოფილი იმ კომპონენტების რეოლოგიური მახასიათებლები, რომლებიც აგრეთვე წარმოდგენილია N2 ცხრილში.

ბიტუმის კომპონენტების გამოცდის შედეგები ადასტურებს იმას, რომ პარაფინო-ნაფტენური ნახშირწყლები (პნ), მონოციკლოარომატული

ცხრილი N4 ბიტუმის კომპონენტების რეოლოგიური მახასიათებლები

ბიტუმის კომპონენტების დასახელება	შემცველობა %	უდიდესი სიბლანტე $\eta_s \cdot 10^{-5}, \text{პა} \cdot \text{წ}$	დრეკადობის წონასწორული მოდული $G_{mo} \cdot 10^{-2}, \text{პა}$	დაძაბულობის რელაქსაციის პერიოდი $\theta_m \cdot 10^{-3}, \text{წმ}$	ელასტიურობის კოეფიციენტი $K_0, \text{წმ/პა}$	პირობითად დარღვეული სტრუქტურის სიბლანტე $\eta_m \cdot 10^{-3}, \text{პა} \cdot \text{წ}$	სტრუქტურის რღვევის ხარისხი Ψ	დენადობის ზღვარი ბინგამის მიხედვით $P_{K2}, \text{Па}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
პნ	13,2	2,5	55,0	0,05	0,01	1,00	250,0	17,2
მცა	9,4	1,1	4,6	0,24	0,5	0,29	379,3	7,4
ბცა	21,4	6,4	0,35	18,3	522,4	0,5	1280,0	9,6
პცა	2,7	25,0	40,0	0,6	0,16	357,0	7,0	100,0
მცა+ბცა+პცა	-	6,0	1,6	3,8	23,4	0,9	666,7	20,0
ზეთები(პნ+არ)	-	16,6	0,92	18,1	198,2	1,68	990,0	4,8
პბფ(31პბფ ₁ +69პბფ)	16,9	170,0	250,0	0,68	0,027	12000,0	1,40	4000,0
სბფ	12,2	2450,0	12800,0	0,18	0,0001	186000,0	1,3	6400,0
ბიტუმის მალტენები	-	1,86	0,6	3,1	51,7	1,21	154,0	6,3
60/90 მარკის ბიტუმი	-	33,7	15,0	2,3	1,5	2500,0	1,4	250,0
პბფ ₁		1,26	0,25	5,04	201,0	39	3,2	4,8
ბფ		560	250	2,25	0,9	40000,0	1,4	300

ნახშირწყლები (მცა), ბიციკლოარომატული ნახშირწყლები (ბცა) და პოლიციკლოარომატული ნახშირწყლები (პცა) წარმოადგენენ მკვეთრად გამოკვეთილი არანიუტონის ტიპის ძლიერსტრუქტურირებულ სითხისმაგვარ სისტემებს.

პარაფინო-ნაფტენური ნახშირწყლები ზეთების ფრაქციის კომპონენტებისაგან განსხვავებით უფრო მეტად ხისტია (G_m), ელასტიურია (K) და შრომისუნარიანია (Θm). ისინი ხასიათდება მკვეთრად გამოხატული სივრცული სტრუქტურით, რაც ამ სისტემის საკმაოდ მაღალ სიმტკიცესა (P_{K2}) და სტრუქტურის რღვევის ხარისხს (Ψ) განაპირობებს. (P_{K2}) ახასიათებს კომპონენტის მოლეკულებს შორის კონტაქტის სიმტკიცეს.

პარაფინო-ნაფტენური ნახშირწყლების სტრუქტურის რღვევის მაღალი ხარისხი, მცა-სთან და ბცა-სთან შედარებით მაღალი სიმტკიცე, შესაძლოა პარაფინების კრისტალური სტრუქტურით აიხსნას. მაღალი P_{K2} დამაბულობის ზემოქმედებით ისინი ორიენტირდებიან, ცურვის სიბრტყეებს აყალიბებენ და თამაშობენ სახსრების როლს.

ზეთების კომპონენტებიდან მონოციკლოარომატული ნახშირწყლები ყველაზე უფრო ნაკლებად ბლანტია და მტკიცეა, მაგრამ ისინი უფრო მეტად ელასტიურია და შრომისუნარიანია.

ე.ი. მათ K და Θm მნიშვნელობები უფრო მაღალი აქვთ ვიდრე პარაფინო-ნაფტენურ ნახშირწყლებს. ისინი ხასიათდება მკვეთრად გამოხატული სივრცული სტრუქტურით და სტრუქტურის რღვევის საკმარისად მაღალი ხარისხით (Ψ).

ამ ფრაქციის დეფორმაციის პროცესი ალბათ ცურვის სიბრტყეების წარმოქმნაში მდგომარეობს, რომელიც წარმოიქმნება მცა მოლეკულების ორიენტაციის შედეგად. ეს პროცესი მიმდინარეობს როცა დამაბულობა აღემატება P_{K2} -ს. უფრო დაბალი P_{K2} მნიშვნელობა შესაძლებელია აიხსნას ამ მოლეკულებს პნ მოლეკულებთან შედარებით უფრო მცირე ურთიერთქმედების ძალით. ხოლო η_m^* -ის დაბალი მნიშვნელობა ამ ფრაქციის ცურვის სიბრტყეებს შორის ნაკლები წინააღმდეგობის

არსებობაზე მოწმობს. ცხადია ეს ხდება ცურვის სიბრტყეებს შორის დიდი მანძილის გამო.

განხილული ზეთების კომპონენტებიდან ბიციკლოარომატული ნახშირიწყლები ყველაზე ელასტიურია(K), ნაკლებად ხისტია(Gm) და უფრო მეტად შრომისუნარიანია (Θm). ისინი ყველაზე მკვეთრად გამოხატული სივრცული სტრუქტურით ხასიათდებიან(Ψ), ანუ ყველაზე მაღალი ტიკსოტროპული თვისებებით. ბიციკლოარომატული ნახშირიწყლების მოლეკულები ორბირთვიან, კონდენსირებულ და არომატულ სტრუქტურებს განეკუთვნება. ისინი შეუღლებულია ნაფტენურ ციკლებთან ისე, რომ ერთ გამუალედებულ ბცა-ს მოლეკულაზე მოდის 2.5-3.5 არომატული და 1-3.5 ნაფტენური ციკლი. ბიტუმში ბცა-სგან შედგება არომატული ჯგუფის ზეთების უმეტესი ნაწილი.

ბცა-ს მოლეკულები უფრო დიდი ზომისაა ვიდრე მონოციკლოარომატული ნახშირიწყლებისა, ამის გამო მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედების ფართობი დიდია და შედეგად მიიღება უფრო დიდი η_0 და η_m -ის მნიშვნელობები. ამასთან მოლეკულებს შორის კონტაქტში ურთიერთქმედების ძალა არსებითად არ განსხვავდება, რაზედაც მეტყველებს P_{K_2} -ის მნიშვნელობა რომელიც მცირედ აღემატება მცა-ს ამ მნიშვნელობას. როდესაც დამაბულობა აღემატება P_{K_2} -ის მნიშვნელობას, მაშინ ბცა-ს ძვრისადმი წინააღმდეგობა გამოსახული η_m -ით მეტია მცა-ზე 1.7-ჯერ, ხოლო η_0 – 5.8-ჯერ. როგორც ჩანს, ბცა-ში ადგილი აქვს “ფხვიერ” სტრუქტურას, რომელსაც რღვევის მაღალი ხარისხი აქვს ანუ მაღალი ტიკსოტროპული თვისებები.

პოლიციკლოარომატული ნახშირიწყლები საკმარისად ხისტია, არაელასტიურია, უფრო მეტად ბლანტია და მტკიცე. ისინი ზეთების ყველა კომპონენტებთან შედარებით, უფრო ნაკლებად გამოხატული სივრცული სტრუქტურით ხასიათდებიან. როგორც ჩანს ბცა-ს მოლეკულები ერთმანეთთან საკმაოდ ძლიერად ურთიერთქმედებენ და ზეთების კომპონენტებიდან ყველაზე მკვრივ და მტკიცე სისტემას წარმოქმნიან.

არომატული ნახშირწყლები წარმოდგენილია უმუალოდ ბიტუმიდან გამოყოფილი მცა, ბცა და პცა-ს ნარევის სახით. ამ ნარევს პრაქტიკულად ბცა-ს ტოლი სიბლანტე აქვს, მაგრამ ის უფრო ხისტი და მტკიცეა, აგრეთვე ნაკლებად ელასტიურია.

ზეთების ფრაქცია რომელიც ბიტუმის ჯგუფური შემადგენლობის შესაბამისადაა წარმოდგენილი(27%-პნ; 21,5%-მცა; 47%-ბცანდა 5,5%-პცა), ხასიათდება მკვეთრად გამოხატული სივრცული სტრუქტურით. ის სიბლანტისა და ელასტიურობის მაჩვენებლით ახლოს არის ბცა-სთან, სიხისტით – მცა-სთან, ხოლო სიმტკიცით – ბცა-სთან.

რაც შეეხება ფისების ფრაქციის კომპონენტებს, მათგან პეტროლეინბენზოლური ფისები(პბფ) წარმოადგენენ მყარი სახის სისტემებს, მათ გააჩნიათ მაღალი სიბლანტე, სიხისტე და სიმტკიცე, მაგრამ ამასთან ერთად დაბალი ხარისხის სტრუქტურირებისას არიან არაელასტიური.

სპირტობენზოლური ფისები (სბფ) წარმოადგენენ მყარი სახის მყიფე სისტემებს, რომლებსაც აქვს ძალიან მაღალი სიმტკიცე, სიბლანტე და სიხისტე, აგრეთვე ისინი ხასიათდებიან ძალიან დაბალი ელასტიურობით და დაბალი ტიკსოტროპიით, ისინი ოთახის ტემპერატურაზე პრაქტიკულად მყიფეა.

მალტენები წარმოადგენენ სისტემას, რომელიც ზეთებისა და ფისების ფრაქციებისგან შედგება. ეს ფრაქციები ბიტუმიდან ასფალტენების გამოყოფის შემდეგ მიიღება. მალტენები წარმოადგენენ დისპერსიულ სისტემას სივრცული სტრუქტურით, ისინი სიბლანტით ახლოსაა პარაფინო-ნაფტენურ ნახშირწყლებთან და პეტროლეინბენზოლურ ფისებთან, ასევე მათ გააჩნიათ ანალოგიური სიმტკიცე როგორც პეტროლეინბენზოლურ ფისებს. მათ აქვთ მნიშვნელოვნად დაბალი სტრუქტურირების ხარისხი ვიდრე არომატულ ნახშირწყლებსა და ზეთებს.

ბიტუმის თვისებების განხილვისას, როგორც სისტემის რომელიც შედგება მალტენებისა და ასფალტენებისაგან მივდივართ იმ დასკვნამდე, რომ ასფალტენები ასრულებენ სტრუქტურის წარმომქმნელ როლს, ანუ

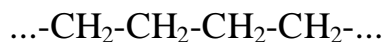
ისინი მალტენებთან შედარებით არსებითად ამაღლებენ ბიტუმის სიბლანტეს, სიხისტეს და სიმტკიცეს.

როგორც ჩანს მალტენების შემადგენლობაში სპირტობენზოლური ფისების არსებობა განაპირობებს, მათ საფუძველზე დისპერსიული ფაზის(სბფ–კომპლექსები) ნაწილაკების წარმოქმნას.

ამ ფაზის ბუნება განსხვავდება ბიტუმში ასფალტენური კომპლექსებით წარმოდგენილი დისპერსიული ფაზისაგან. ამასთან ბიტუმის სტრუქტურა შესაძლებელია წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით: დისპერსიულ გარემოს განასახიერებენ ზეთები და პბფ–ს და ცბფ–ს ნაწილი, რომლებიც არ შედის ასფალტენურ და ცბფ კომპლექსებში . დისპერსიული ფაზა წარმოდგენილია ასფალტენური კომპლექსებით, რომლებიც შედგება ასალტენებისაგან რომლეთა ლიოფილურ უბნებზე ადსორბირებულია ზეთების ფრაქციის არომატული კომპონენტები და პბფ, ხოლო ლიოფობურზე – სბფ. ამასთან არომატული ნახშირწყლების ზღვრული ნაწილი ადსორბირებულია და შთანთქმულია ასფალტენების მიერ.

2.4 პოლიმერების კლასიფიკაცია

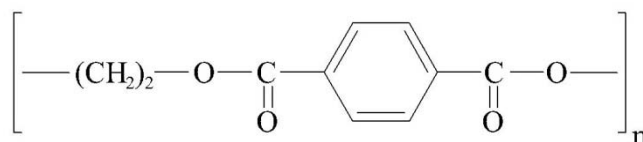
არსებობს სხვადასხვა პოლიმერის ძალიან დიდი რაოდენობა. ამჟამად არსებული კლასიფიკაციის მიხედვით პოლიმერები შესაძლოა დაიყოს სამ ძირითად კლასად. პირველ კლას განეკუთვნება კარბოჯაჭვური პოლიმერების ფართე ჯგუფი, რომელთა მაკრომოლეკულებს გააჩნიათ ნახშირწყლების ატომებისაგან შემდგარი ჩონჩხი. ამ კლასის პოლიმერების ტიპიურ წარმომადგენლებად შესაძლებელია დასახელდეს პოლიეთილენი(ან პოლიმეთილენი), პოლიპროპილენი, პოლიიზობუტილენი, პოლიმეთილმეტაკრილატი, პოლივინილური სპირტი და ბევრი სხვა ნაერთი. მათგან პირველს გააჩნია შემდეგი აღნაგობა:



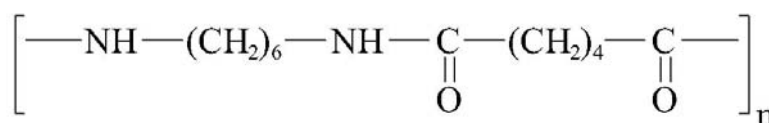
მეორე კლასს განეკუთვნება ჰეტეროჯაჭვური პოლიმერების არანაკლებ ფართე ჯგუფი, რომელთა მაკრომოლეკულები ძირითად ჯაჭვში ნახშირწყლების ატომების გარდა შეიცავენ ჰეტეროატომებს(მაგ. ჟანგბადი, აზოტი, გოგირდი და სხვ). ამ კლასის პოლიმერებს განეკუთვნება მრავალრიცხოვანი მარტივი და რთული პოლიეთერები, პოლიამიდები, პოლიურეტანი, ბუნებრივი ცილები და სხვ. ამ კლასს აგრეთვე მიეკუთვნება ელემენტოორგანული პოლიმერების ფართე ჯგუფი. ამ კლასის ზოგიერთი წარმომადგენლის ქიმიური აღნაგობა გამოიყურება შემდეგნაირად:



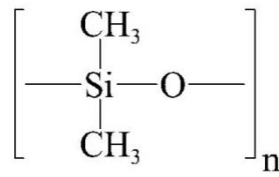
პოლიეთილენოქსიდი(უბრალო პოლიეთერი)



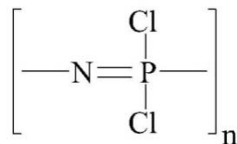
პოლიეთილენტერეფტალატი (რთული პოლიეთერი)



პოლიამიდი

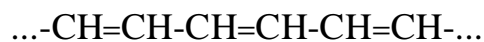


პოლიდიმეთილსილოქსანი (ელემენტოორგანული პოლიმერი)

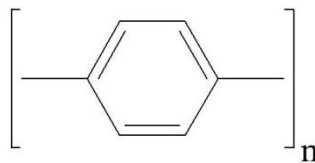


პოლიფოსფონტრილქლორიდი (არაორგანული პოლიმერი)

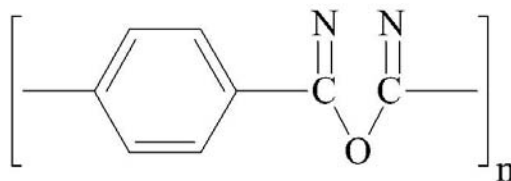
პოლიმერების მესამე კლასს განეკუთვნება შეუღლებული კავშირების სისტემის მქონე მაღალმოლეკულური ნაერთები. მათ განეკუთვნება სხვადასხვა პოლიაცეტილენები, პოლიინტილები, პოლიფენილები, პოლიოქსადიაზოლები და მრავალი სხვა ნაერთები. ასეთი პოლიმერების მაგალითს შეიძლება წარმოადგენდეს:



პოლიაცეტილენი



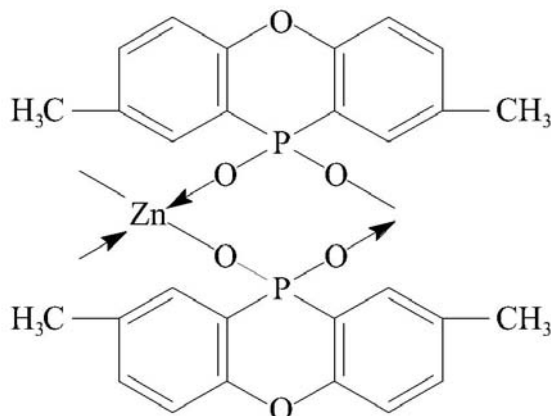
პოლიფენილი



პოლიოქსადიაზოლი

ამვე კლასს განეკუთვნება ხელატური პოლიმერების ჯგუფი, რომელთა შემადგენლობაში შედის სხვადასხვა ელემენტები რომლებსაც შეუძლიათ კორდინაციული კავშირების წარმოქმნა(ისინი ჩვეულებრივ ისრებით

აღნიშნება). ასეთი პოლიმერების ელემენტარულ ჯაჭვს ხშირად გააჩნია რთული აგებულება, როგორცაა:



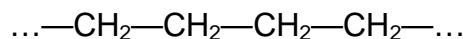
მრავალრიცხოვანი პოლიმერული მასალებიდან ამჟამად ყველაზე მეტად გამოიყენება პირველი კლასის პოლიმერების(კარბონოჯაჭვური მაღალმოლეკულური ნაერთები) საფუძველზე მიღებული მასალები. კარბონოჯაჭვური პოლიმერებიდან შესაძლებელია მაღალი ღირებულების მქონე მასალების მიღება როგორებიცაა: სინთეტიკური კაუჩუკი, პლასტმასები, ბოჭკოები, აფსკები და სხვ. ისტორიულად ამ პოლიმერებმა პირველმა ჰპოვეს პრაქტიკული გამოყენება(მათგან მიიღება ფენოლფორმალდეჰიდური ფისები, სინთეტიკური კაუჩუკი, ორგანული მინა და სხვ.). კარბოჯაჭვური პოლიმერებიდან ბევრი გახდა კვლევისა და პოლიმერული სხეულების მექანიკური თავისებურებების თეორიის შექმნის საფუძველი(მაგალითად: პოლიიზობუთილენი, პოლიმეთილმეტაკრილატი, პოლიპროპილენი, ფენოლფორმალდეჰიდური ფისი და სხვ.)[25].

შემდგომში ფართოდ გავრცელდა ჰეტეროჯაჭვური პოლიმერების საფუძველზე მიღებული მასალები როგორებიცაა: პოლიამიდური და პოლიეთერული ბოჭკოები, აბსკები, ლაქები, საფარები და სხვ. ამან ბიძგი მისცა ანიზოტროპული სხეულების თვისებების კვლევასა და წარმოდგენების ჩამოყალიბებას. ამ სხეულებს სხვადასხვა მიმართულებებით გააჩნიათ სრულიად განსხვავებული თვისებები. ამ პოლიმერებიდან განსაკუთრებული მნიშვნელობა გააჩნიათ მაღალმოლეკულურ ელემენტორგანულ ნაერთებს.

პოლიმერების მესამე კლასის წარმომადგანლები რომლებსაც შეუღლებული კავშირების სისტემა გააჩნიათ, კონსტრუქციული მასალების მისაღებად ჯერჯერობით ნაკლებად მნიშვნელოვანია. მაგრამ მათ ახასიათებთ ელექტროგამტარობა და ისინი ელექტროგამტარი მასალების დასამზადებლად გამოიყენება.

2.5 პოლიეთილენი

პოლიეთილენი მსოფლიოში ყველაზე მეტად გავრცელებული პლასტმასია და წარმოადგენს ეთილენის თერმოპლასტიურ პოლიმერს. ის არის ორგანული ნაერთი და აქვს გრძელი მოლეკულები:



სადაც «—» აღნიშნავს ნახშირბადის ატომებს შორის კოვალენტურ კავშირებს.

პოლიეთილენი წარმოადგენს მაღალმოლეკულურ თერმოპლასტიკურ პოლიმერს, რომელიც მიიღება ეთილენის პოლიმერიზაციით. წარმოების ხერხის(წნევის) მიხედვით რომლის დროსაც მიმდინარეობს ეთილენის პოლიმერიზაცია აწარმოებენ ორი სახის პოლიეთილენს: დაბალი და მაღალი სიმკვრივის.

დაბალი სიმკვრივის(მაღალი წნევის) პოლიეთილენი მიიღება ეთილენის პოლიმერიზაციით 150-300მპა წნევასა და 200-260°C ტემპერატურაზე. ხოლო მაღალი სიმკვრივის(დაბალი წნევის) – მიიღება 0.1-2მპა წნევასა და 120-150°C ტემპერატურაზე[33].

პოლიეთილენის საბოლოო დამუშავების პროცესი შედგება შემდეგი ძირითადი სტადიებისაგან: პოლიეთილენის ჰომოგენიზაცია; კონცენტრატის მომზადება და პოლიეთილენის დანარჩენ მასასთან შერევა; გრანულირება და დაფასოება.

სტრუქტურული თვალსაზრისით პოლიეთილენის მოლეკულა შედგება მეთილენური ჯგუფების CH_2 გრძელი ჯაჭვისაგან და გვერდითი განშტოებებისაგან რომლებიც მთავრდება მეთილენური ჯგუფებით CH_3 . მეთილენური ჯგუფების რაოდენობის გაზრდასთან ერთად მცირდება პოლიმერის სიმკვრივე და კრისტალობის ხარისხი.

მექანიკურ თვისებებზე დიდ გავლენას ახდენს პოლიეთილენის სტრუქტურა, სიმკვრივის მატების დროს იზრდება სიმტკიცე და დრეკადობის მოდული, ხოლო ელასტიურობა მცირდება.

პოლიეთილენი მდგრადია არაორგანული მჟავების(მარილმჟავას, გოგირდმჟავას და აზოტმჟავას), ტუტეების, მარილების ხსნარების, სპირტებისა და ცხიმების ზემოქმედებისადმი, ის ასევე გამოირჩევა წყლის ზემოქმედებისადმი მაღალი მდგრადობით.

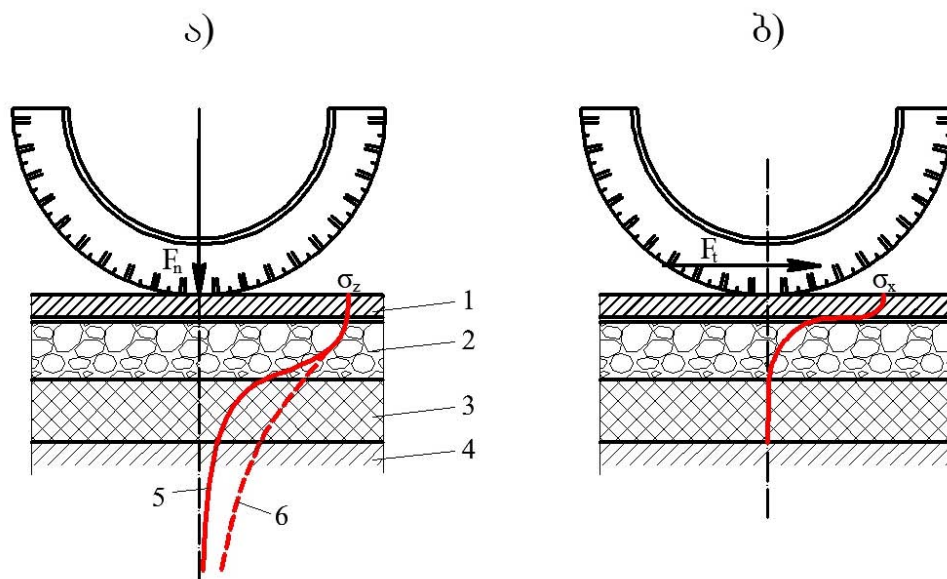
პოლიეთილენისგან მზადდება სხვადასხვა საყოფაცხოვრებო და საწარმოო დანიშნულების პროდუქცია. დღესდღეისობით მსოფლიოში აქტუალურია პოლიეთილენის უტილიზაციის საკითხი. პოლიეთილენის ნარჩენების რაოდენობა ყოველდღიურად იზრდება და მნიშვნელოვან ზიანს აყენებს გარემოს ამ საკითხის გადაწყვეტა შესაძლებელია მისი მეორადი გადამუშავებით.

პოლიეთილენი და ბიტუმი თავსებადია, მისი გამოყენებით შესაძლებელია ასფალტბეტონის მოდიფიცირება. პოლიეთილენის დანამატების ბიტუმში შერევით შესაძლებელია ბიტუმის საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება, მაგრამ ისინი იწვევენ ბიტუმის ელასტიურობის გაუარესებას და გახისტებას. მიუხედავად ამ უარყოფითი თვისებისა პოლიეთილენი აფართოებს ტემპერატურულ დიაპაზონს(ამცირებს ბიტუმის სიმყიფის ტემპერატურას და ზრდის დარბილების ტემპერატურას), ამალებს საფარის მზიდუნარიანობას, რითაც რამდენიმეჯერ იზრდება საფარის წინააღმდეგობა კვალის გაჩენისადმი. ამასთან პოლიეთილენს აქვს მარტივი ქიმიური სტრუქტურა ორმაგი კავშირების გარეშე და ამიტომ ის ხანგამძლეა იმ მოდიფიკატორებთან შედარებით რომლებიც ამჟამად ფართოდ გამოყენება.

არსებული პლიმერული დანამატები ძვირადღირებულია და მათი გამოყენება იწვევს ბიტუმის ისედაც მაღალი ფასის გაზრდას. ფინანსური დანახარჯების შემცირება შესაძლებელია სხვადასხვა კლასის პოლიმერებით ბიტუმის კომპლექსური მოდიფიკაციით. ამ დროს შესაძლებელია ძვირადღირებული და შედარებით იაფი მოდიფიკატორების ერთობლივი გამოყენება. მეორადი პოლიეთილენით მოდიფიკაცია ბევრად გააიაფებს მოდიფიცირებულ ბიტუმს.

2.6 საგზაო საფარის დეფორმაციული მდგომარეობა

საფარის დეფორმაციისა და დაზიანების მთავარი მიზეზები არის საავტომობილო დატვირთვები. სწორი ზედაპირის მქონე ჰორიზონტალურ მონაკვეთზე ავტომობილის მოძრაობის დროს მისი თვლები გადასცემს საგზაო სამოსს და მიწის ვაკისს ვერტიკალურ(ნორმალურ) და ჰორიზონტალურ(მხეზ) დატვირთვებს (ნახ. 20).



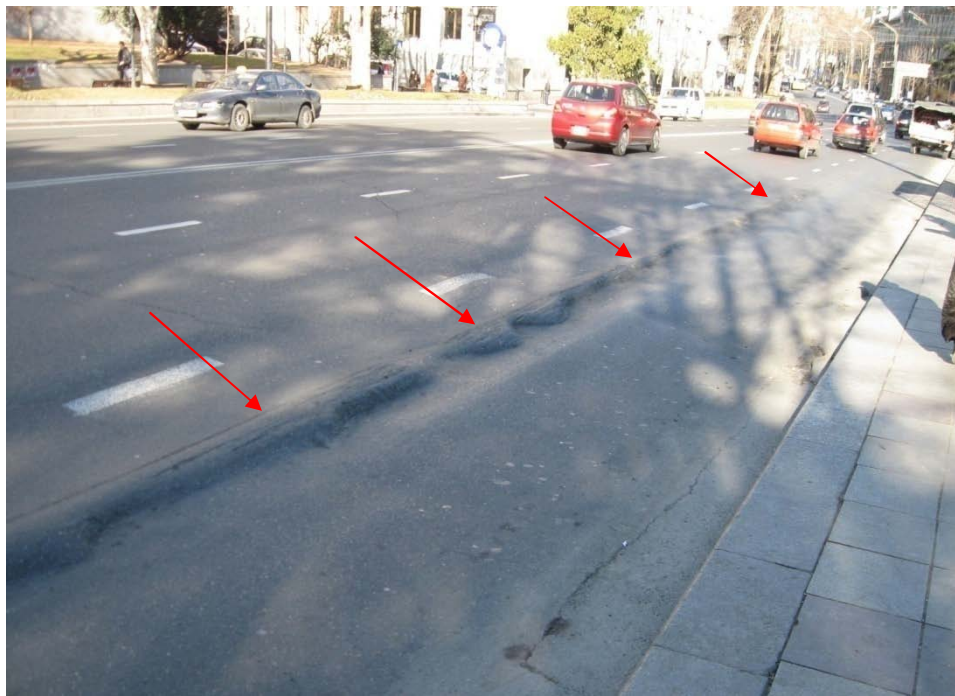
ნახ. 20. საგზაო სამოსში ავტომობილის თვლებისგან გამოწვეული ძაბვები.

ა) – σ_z ვერტიკალური ძაბვების ეპიურა; ბ) – σ_x ჰორიზონტალური ძაბვების ეპიურა; 1 – საფარი; 2 – საფუძველი; 3 – საფუძვლის დამატებითი ფენა; 4 – ქვესაგები გრუნტის ფენა; 5 – ძაბვები საგზაო სამოსში; 6) – ძაბვები ერთგვაროვან გრუნტში.

ძაბვები რომლებიც წარმოიქმნება საგზაო სამოსში ავტომობილის გავლის დროს ნორმალური და მხეზი დატვირთვების ზემოქმედებით მცირდება სიღრმის მიხედვით[1].

საგზაო საფარის ექსპლუატაციის დროს მის ზედაპირზე წარმოიქმნება და დროთა განმავლობაში გროვდება სხვადასხვა სახის დეფექტები გრძივი და განივი ტალღების და ძვრების სახით. ეს დაზიანებები წარმოიქმნება მაღალი ტემპერატურების დროს ასფალტბეტონის არასაკმარისი

დეფორმაციული მდგრადობის გამო, აგრეთვე ზედა ფენების ქვედასთან ცუდი ჩაჭიდულობის გამო. ტალღები და ძვრები წარმოიქმნება მოძრაობის მაღალი ინტენსივობის დროს, ეს განსაკუთრებით შეინიშნება მაღალი ქანობის მქონე გზის მონაკვეთებზე, ტრანსპორტის გაჩერებების ადგილებზე და გზაჯვარედინებზე (ნახ. 21). ამ ადგილებში მაღალია ავტომობილის თვლებისგან დამუხრუჭების და დაძვრის დროს გამოწვეული ჰორიზონტალური მხები ძაბვების მნიშვნელობები.



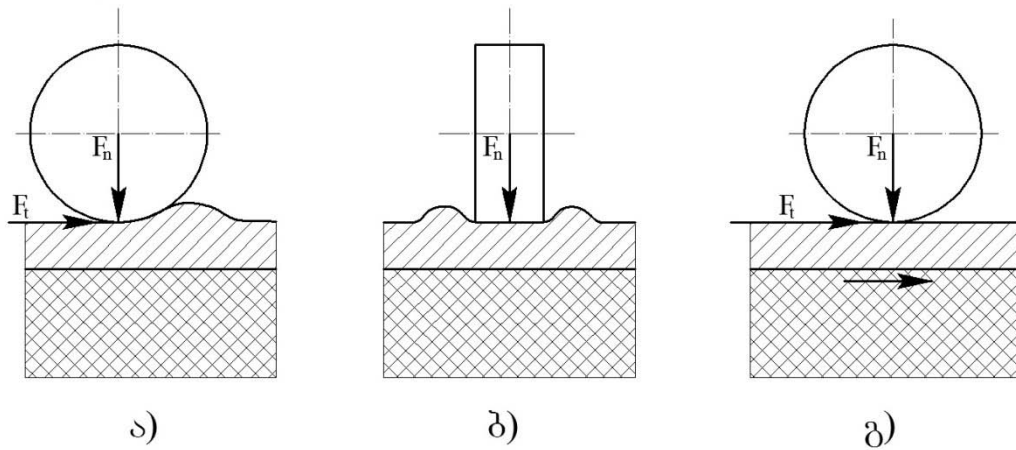
ნახ. 21. რუსთაველის გამზირი, ძვრის დეფორმაციები ავტობუსების გაჩერებაზე.

ვ.გოგლიძის ნაშრომში[6] მოცემულია საგზაო საფარის ზედაპირის დეფექტების კლასიფიკაცია ნარჩენი დეფორმაციების მიხედვით:

- საფარის მთელი სისქის გასწვრივ ძვრა მისი სისწორის დარღვევის გარეშე. ასეთი დეფექტები ახასიათებს შედარებით უფრო ძვრისადმი მედეგ საფარებს. ეს დაზიანებები შესაძლებელია გამოწვეული იყოს მასალის დაღლილობით, რომელიც იწვევს სტრუქტურის ცვლილებას. გვხვდება ფეხით მოსიარულეთა გადასასვლელებზე ან „სდექ“ ხაზის გასწვრივ მარკირების ხაზების უმნიშვნელო გამრუდების სახით;

- საფარის ზედაპირული ფენის ძვრა მისი სისწორის დარღვევის გარეშე. – ახასიათებს მონაკვეთებს რომლებზედაც ქვედა ფენებიდან ზედა ფენაში ხდება ბიტუმის შეღწევა. ამ დროს ზედა ფენაში 20-30მმ სიღრმეზე გროვდება ჭარბი ბიტუმი. ასეთი მონაკვეთები გამოირჩევა საფარის შავი ფერით და მარკირების ხაზების მნიშვნელოვანი გამრუდებით.
- გარკვეული კანონზომიერების მქონე განივი ტალღები(ჩვეულებრივ ტალღის სიგრძე არ აღემატება 700მმ–ს; ხშირ შემთხვევაში დეფექტი მოიცავს სავალი ნაწილის მთელ სიგანეს) – ახასიათებს ქანობიან მონაკვეთებს და ასევე ადგილებს სადაც ხდება დამუხრუჭება. ეს დაზიანებები გამოწვეულია საფარის ძვრისადმი არასაკმარისი მედეგობით, ძვრის მნიშვნელოვანი დატვირთვების გამო და საფარის გაცხელების გამო;
- ცალკეული უსწორმასწორობები და ბურცობები – საბოლოოდ იწვევს ტალღების წარმოქმნას;
- კვალისმაგვარი(ლიანდისმაგვარი) დეფექტები –წარმოიქმნება საგზაო საფარის გარკვეულ ზონებზე, სატვირთო და მძიმე სამგზავრო ტრანსპორტის ზემოქმედების გამო;
- საფარის ზედაპირული ფენის მოზღვაება(წაფენა) სავალი ნაწილის ნაწიბურის გასწვრივ – ახასიათებს განივი ქანობის მქონე სწორ მონაკვეთებს.

განვიხილოთ საფარის ძირითადი დეფექტების(ტალღებისა და ლიანდისმაგვარი) წარმოქმნის მექანიზმი. საფარზე ავტომობილი მოქმედებს ვერტიკალური F_n და ჰორიზონტალური F_t ძალებით (ნახ. 22). ძალა წარმოიქმნება წამყვანი თვლის ფერსოზე მბრუნავი მომენტის ზემოქმედების გამო ავტომობილის დამუხრუჭების ან მისი გადასარბენებზე მოძრაობის დროს.



ნახ. 22. ნორმალური F_n და ჰორიზონტალური F_t ძალებისგან გამოწვეული საგნაო საფარის ძვრის დეფორმაციები:
 ა – განივი ტალღა დამუხრუჭების მონაკვეთებზე; ბ – გადასარბენებზე კვალის გაჩენა; გ – საფუძველზე საფარის წაცურება.

გზაზე ავტომობილის მოძრაობის დროს მისი საბურავის ქვეშ ხდება საფარის დეფორმაცია. განმეორებადი ჰორიზონტალური F_t და F_n ნორმალური ძალების ზემოქმედების გამო წარმოიქმნება მხები ძაბვები, რომლებიც იწვევს საფარის ძვრის ნარჩენ დეფორმაციებს. ჰორიზონტალური F_t ძალებისგან გამოწვეული მხები ძაბვები განაპირობებს საფარის მასალის გადაადგილებას ავტომობილის მოძრაობის პარალელურად და იწვევს განივი ტალღების წარმოქმნას (ნახ. 22-ა). ნორმალური ძალისგან F_n გამოწვეული მხები ძაბვები იწვევს ასფალტბეტონის გადაადგილებას როგორც ავტომობილის მოძრაობის პერპენდიკულარულად ასევე მისი მიმართულებით. ნორმალური ძალის F_n მოქმედების დროს ბორბალი გორდება განივ ტალღაზე და აღმოფხვრავს მას. ამ დროს ავტომობილის ყოველი გავლის შემდეგ დეფორმაციები განივი მიმართულებით გროვდება. ბორბალი გარკვეული განმეორებადობით გაივლის ერთი და იგივე კვალის გასწვრივ ეს იწვევს საფარის ფენის სისქის შემცირებას გორვის კვალის გასწვრივ და ლიანდის სახით ნარჩენი დეფორმაციების წარმოქმნას. შედეგად ნორმალური ძალისგან გამოწვეულ დეფორმაციებს აქვს კვალისმაგვარი(ლიანდის) სახე (ნახ. 22-ბ).

ავტომობილის დამუხრუჭების დროს ჰორიზონტალური ძალა ხდება ნორმალური ძალის თანაზომადი, რაც იწვევს საფარის ძვრას საფუძველთან მიმართებაში (ნახ. 22-გ).

ტალღები და ძვრები განსაზღვრავს საგზაო საფარის ერთ-ერთ ძირითად სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მაჩვენებელს – სისწორეს.

ნაშრომში [19] მოცემულია ასფალტბეტონის ძვრისადმი მედეგობის ექსპერიმენტული და თეორიული კვლევების ოთხი მიმართულების ანალიზი.

მათგან ერთ ერთ მიმართულებას წარმოადგენს პირობითი მაჩვენებლებით დეფორმაციული თვისებების შეფასების მეთოდოლოგია. ამ მიმართულებას განეკუთვნება: მარშლის მეთოდით სტაბილურობისა და პირობითი პლასტიკურობის მაჩვენებლების განსაზღვრა, სამღერძა კუმშვის მეთოდით ასფალტბეტონის წნევისა და დეფორმაციის განსაზღვრა და სხვ. ეს მეთოდები ასფალტბეტონის როგორც ბლანტდრეკადპლასტიკური მასლის სიმტკიცის შესაფასებლად ფიზკურად უფრო სარწმუნოა.

2.7 ასფალტბეტონის ძვრისადმი მედეგობა

დღესდღეისობით დამუშავებულია ასფალტბეტონის სიმტკიცისა და დეფორმაციული მახასიათებლების ექსპერიმენტული კვლევის მრავალი მიმართულება, მიუხედავად ამისა ჯერჯერობით არ არსებობს ასფალტბეტონის ძვრისადმი მედეგობის შეფასების ერთიანი მეთოდი, აპარატურა და ნორმატიული მაჩვენებელი.

ძველი საბჭოთა ნორმებით ძვრისადმი მედეგობის მაჩვენებლად მიჩნეულია ნიმუშის კუმშვის სიმტკიცის ზღვარი 50°C-ზე, დეფორმირების სიჩქარით 3მმ/წთ.

გამოცდის მეთოდიკის მიხედვით ГОСТ 12801-84 ასფალტბეტონის ნიმუშს აჩერებენ წყლის აბაზანაში ერთი საათის განმავლობაში. შემდეგ მას ათავსებენ პრესზე და განსაზღვრავენ მაქსიმალურ მრღვევ ძალას. ამის შემდეგ ხდება სიმტკიცის ზღვრის გამოთვლა, რომელიც არ უნდა იყოს ასფალტბეტონის მარკის ნორმატიულ მნიშვნელობაზე ნაკლები[14].

როგორც უკვე ავღნიშნეთ დაუშვებელია სიმტკიცის მაჩვენებლის გამოყენება მასალის დეფორმაციულ მახასიათებლად. ნიმუშის თავისუფალ კუმშვაზე გამოცდა რღვევამდე, სრულებით არ ასახავს ასფალტბეტონის რეალურ მუშაობას საგზაო საფარში(როგორც დამაბულ-დეფორმაციული მდგომარეობის ასევე დატვირტვების მოდების ხასიათის თვალსაზრისით).

ეგრეთწოდებული „ბრაზილიური“ მეთოდი გულისხმობს h -სიმაღლისა და d -დიამეტრის მქონე ცილინდრული ნიმუშის გამოცდას მსახველების გასწვრივ კუმშვაზე. ნიმუშის რღვევას იწვევს გამჭიმავი დამაბულობები რომლებიც დიამეტრალურ ვერტიკალურ სიბრტეში მოქმედებს. სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვის დროს პირობითად განისაზღვრება როგორც მრღვევი დატვირთვისა P და ნიმუშის გვერდითი ზედაპირის ფართობის ნახევრის შეფარდება:

$$R_0 = \frac{2P}{\pi dh} \quad (1.2.7)$$

ასფალტბეტონის ძვრისადმი მედეგობას მიახლოებით განსაზღვრავენ პლასტიკურობის მაჩვენებლით[18]:

$$R = \lg(R_1^{50}/R_2^{50})/\lg(v_1/v_2) \quad (2.2,7)$$

სადაც R_1^{50} და R_2^{50} - არის 50°C-ზე სიმტკიცის ზღვრები კუმშვაზე, v_1 და v_2 არის დეფორმაციის ძლიერ განსხვავებული სიჩქარეები.

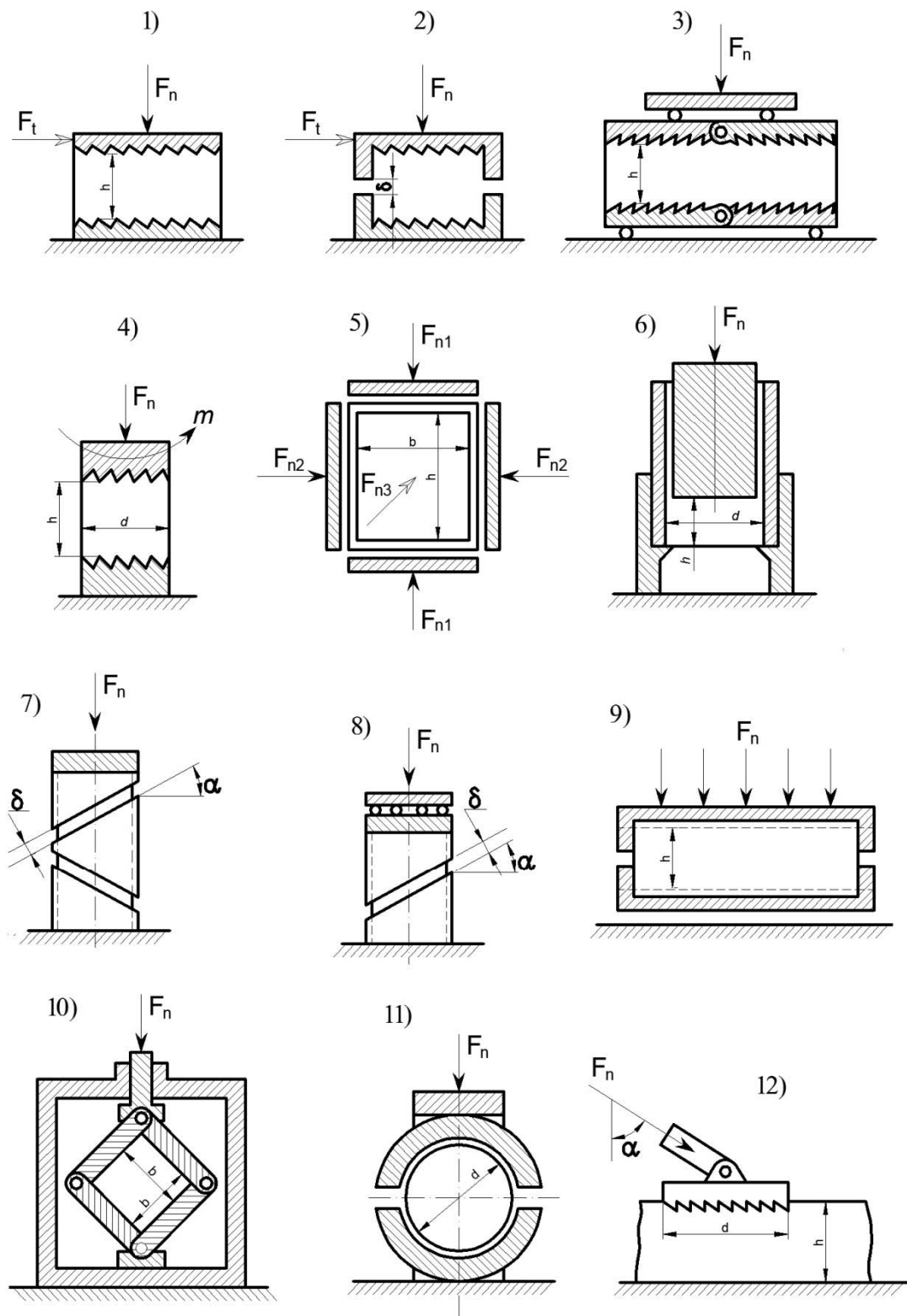
როდესაც $R < 0.10$, $R = 0.15 \dots 0.24$ და $R > 0.25$ ასფალტბეტონი ითვლება შესაბამისად არაპლასტიკურად, ნორმალური პლასტიკურობის მქონედ და პლასტიკურად.

ცნობილია სხმული ასფალტბეტონის დეფორმაციული მდგრადობის შეფასების მეთოდიკა შტამპის ჩაძირვის(შელწევის) სიღრმის მიხედვით განსაზღვრული დატვირთვის დროს[16]. ამ მეთოდის მიხედვით 100მმ დიამეტრის და 50მმ სიმაღლის მქონე ცილინდრულ ნიმუშზე 40°C-ზე ხდება შტამპის(დიამეტრი შეადგენს 25.2 მმ-ს) მუდმივი 52.5 N დატვირთვით ზემოქმედება.

უნდა აღინიშნოს, რომ ჩამოთვლილი მეთოდები არ ითვალისწინებს საფარის დეფორმირების რეალურ პირობებს, და გამოსადეგია მხოლოდ შედარებითი ანალიზისათვის, ამასთან არა მასალის ძვრისადმი მედეგობის არამედ სიმტკიცისათვის პლასტიკურობასთან შეთავსებით.

როგორც აღინიშნა ერთი ღერძის გასწვრივ ნიმუშის კუმშვის მეთოდებთან შედარებით ბევრად უკეთესია ძვრაზე გამოცდა, რომელის ძირითადი სქემები მოცემულია ნახ. 23-ზე

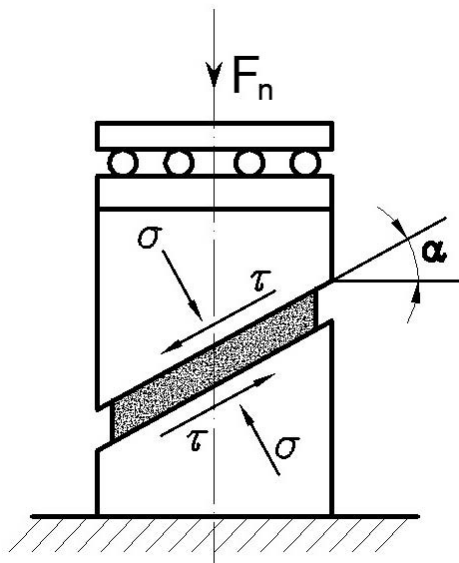
ძვრისადმი მედეგობის შესაფასებლად რეკომენდირებულია გამოცდის შემდეგი მეთოდების გამოყენება: განსაზღვრული სისქის ფენის ძვრაზე გამოცდა წინასწარ დაფიქსირებული სიბრტყის გასწვრივ; გამოცდა ძვრაზე სამღერძიანი კუმშვის დროს; აგრეთვე ძვრაზე საფარში შტამპის ჩაპრესვისას და მარშალის მეთოდი.



ნახ. 23. ძვრაზე გამოცდის სქემები

ვერტიკალური დატვირთვის ზემოქმედების დროს ჩვეულებრივ ძვრა ხდება დახრილი სიბრტყის გასწვრივ, სადაც მოქმედებს ნორმალური და მხები დამაბულობები. ეს ნაჩვენებია ნახ. 24-ზე სქემისათვის N8(ნახ. 23), მაგრამ სამღერძიანი კუმშვისა და შტამპის ჩაპრესვის დროს დრეკადპლასტიკური ამოცანებისათვის დამაბული მდგომარეობის შეფასება შესაძლებელია მხოლოდ ძალიან დაბალი სიზუსტით.

გამოცდის სქემების შერჩევისას მთავარი მოთხოვნებია: გამოცდის



ნახ. 24. დამაბულობები მასალის ძვრის სიბრტეში

ჩატარება საფარის მუშაობის რეალურ პირობებთან მაქსიმალურად მიახლოებით და ექსპერიმენტის ჩატარების სიმარტივე. აგრეთვე გასათვალისწინებელია ძვრის ფენის სისქის h შეფარდება მარცვლის მაქსიმალურ ზომასთან d_{max} . ექსპერიმენტი შეიძლება ჩაითვალოს სარწმუნოდ იმ პირობით თუ $h > 5d_{max}$.

ძვრისადმი მედეგობაზე ცალკეული ფაქტორების გავლენის

შესაფასებლად რეკომენდირებულია გამოყენებულ იქნას გამარტივებული სქემები 3, 7 – 10, ამასთან მე-8 და მე-9 სქემები – წვრილმარცვლოვანი ნარეგებისთვის და მე-3 სქემა – მსხვილმარცვლოვანისათვის[6].

გასათვალისწინებელია, რომ საფარის ძვრის პროცესი შედგება სამი ფაზისგან: პირველი ფაზის დროს საფარში ხდება დრეკადი დეფორმაციები; მეორე ფაზის დროს გარკვეულ წერტილებში - პლასტიკური ძვრის დეფორმაციების გაჩენა და მესამე ფაზის დროს - დეფორმაციების პროგრესირებადი განვითარება. ზღვრული მდგომარეობა დაკავშირებულია მეორე ფაზის მესამეში გადასვლასთან.

ბევრ ქვეყანაში(ამერიკის შეერთებული შტატები, ინგლისი, სფრანგეთი, გერმანია, ბელგია, ავსტრია და სხვ.) ფართოდ გამოიყენება მარშალის მეთოდი (სქემა N11).

დაწვრილებით განვიხილოთ ნახ. 23-ზე ნაჩვენები ეს სქემა.

ცდისთვის საჭირო ნიმუშების დამზადება(შემკვრივება) ხდება მარშალის ჩაქუჩზე. ნიმუში თავსდება ლითონის ცილინდრულ ფორმაში, შემდეგ ფორმა თავსდება მოწყობილობაზე რომელიც ახდენს სიმალიდან ვარდნადი ტვირთის(ჩაქუჩის) დარტყმით ნიმუშის შემკვრივებას. დარტყმები ხორციელდება დაახლოებით 1წმ სიხშირით, 50 დარტყმის შემდეგ ვაბრუნებთ ლითონის ცილინდრს ნიმუშით და კვლავ ვახდენთ მის შემკვრივებას მეორე მხრიდან 50 დარტყმით.

ასფალტბეტონის ნიმუშების გამოცდას ვატერბთ “INFRATEST”-ის ფირმის უნივერსალურ წნეხზე მარშალის მოწყობილობით.

გამოცდის წინ ა/ბ-ის ნიმუშს ვათავსებთ ერთი საათით წყლის აბაზანაში, მასში წყლის ტემპერატურა არის 60 °C. აღნიშნული დროის გასვლის შემდეგ ნიმუში ამოგვაქვს წყლიდან, ვათავსებთ მას წნეხზე დამაგრებულ მარშალის მოწყობილობაში და ვრთავთ წნეხს. მოწყობილობა აწვება ასფალტბეტონის ნიმუშს და იწვევს მის დარღვევას. ნიმუშის დარღვევის მომენტში ხდება დენადობისა და სტაბილურობის მნიშვნელობების დაფიქსირება. უნივერსალური წნეხი იმართება კომპიუტერში ჩაწერილი სპეციალური პროგრამის საშუალებით, მასში წინასწარ შეგვყავს თითოეული ნიმუშის სიმაღლე. ცდით ხდება დენადობის და სტაბილურობის განსაზღვრა სამ ნიმუშზე. პროგრამის საშუალებით ხდება მონაცემების გრაფიკულად გამოხაზვა და შემდეგ ამობეჭდება.

სტაბილურობის მაჩვენებლად P მიიღება მაქსიმალური მრღვევი ძალა, ხოლო პლასტიკურობის პირობით მაჩვენებლად l მიიღება დეფორმაციის მაჩვენებელი, რომელიც ფიქსირდება ნიმუშის რღვევის მომენტში. მარშალის ცდის მიხედვით გამოითვლება მესამე პარამეტრი - პირობითი სიხისტის მაჩვენებელი A , რომელიც იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$A = 10P/l$$

ძვრისადმი მედეგობა ნაწილობრივ ხასიათდება პირობითი პლასტიკურობით l , ანუ ეგრეთწოდებული დენადობით მარშალის მიხედვით, მაგრამ დენადობა არის ძვრისადმი მედეგობის მიახლოებითი მაჩვენებელი, რადგან არ ითვალისწინებს საფარზე მოქმედი დატვირთვების ციკლურობას.

2.8 ასფალტბეტონის ფენებს შორის კავშირის გავლენა ფენილში დაზიანებების განვითარებაზე

ასფალტბეტონის საფარებში ბზარების გაჩენის და მისი შემდგომი დაზიანების ერთ-ერთი მიზეზი არის საფარის მოსაზღვრე ფენების(ასფალტბეტონის სხვადასხვა ფენები) ინერციულ და დრეკად თვისებებს შორის განსხვავება. როდესაც მოსაზღვრე ფენებს შორის კავშირი სუსტია, სატრანსპორტო საშუალებების ზემოქმედების ციკლურობამ შესაძლებელია გამოიწვიოს ამ ფენების რხევები საწინააღმდეგო ფაზებში, რაც იწვევს ფენების ერთმანეთისაგან განცალკევებას და აჩქარებს საფარის დაშლას.

უნდა აღინიშნოს, რომ ტრანსპორტის მოძრაობისგან გამოწვეული დინამური დატვირთვის აღქმის თვალსაზრისით განსაკუთრებულად მნიშვნელოვანია საფარის ზედა და ქვედა ფენები, ამასთან მათი შეხების ზონაში ძვრის დატვირთვები აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობებს.

როდესაც ასფალტბეტონის ზედა და ქვედა ფენას შორის შეჭიდულობის ძალა მაღალია, მაშინ ზედა ფენაზე მოქმედი მხები ძალებისგან წარმოქმნილი ძაბვების გადანაწილება უკეთესად ხდება ასფალტბეტონის ქვედა ფენაზე, ხოლო ქვედა მსხვილმარცვლოვანი ფენა დეფორმაციებისადმი უფრო მედეგია ვიდრე ზედა. თუ ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალა დაბალია ან საერთოდ არ არსებობს მაშინ ასფალტბეტონის ზედა ფენა ფაქტიურად მარტო განიცდის მხები ძალებიგან გამოწვეულ დატვირთვებს და ხდება მისი წაცურება ქვედა ფენასთან შეხების ზედაპირზე რაც შემდგომში იწვევს ძვრის დეფორმაციების წარმოქმნას. ამის გამო საფარის ზედაპირი იტალღება და უარესდება სისწორე. ცუდი კავშირის დროს შესაძლებელია ზედა ფენამ იმდენად წაინაცვლოს ქვედა ფენასთან მიმართებით რომ მოხდეს მისი მთლიანობის დარღვევა (ფაქტიურად მოხდეს ფენის გაწყვეტა) და მოხდეს ქვედა ფენის გამოჩენა.

ამ პრობლემების გადაწყვეტა შესაძლებელია ფენებს შორის საკმარისი შეჭიდულობის უზრუნველყოფით, რაც განაპირობებს ფენების წინააღმდეგობას ძვრისა და განცალკევებისადმი.

არსებობს ახალი ტექნოლოგიები რომელიც ითვალისწინებს სხვადასხვა ტიპის ასფალტბეტონის ნარევებით ზედა და ქვედა ორი ფენის ერთდროულ მოწყობას. ამ დროს ერთი ასფალტდამგებით ხდება ჯერ ქვედა ფენის მოწყობა და მასზე მაშინვე ზედა ფენის გადაგება(ნახ. 25). ამ დროს ორივე ნარევი ცხელ მდგომარეობაშია და საკმაოდ მოძრავია და ფენების ერთდროული დატკეპნის პროცესში ხდება მათი შემადგენელი მინერალური ნაწილების ურთიერთშეღწევა ფენებში.



ნახ. 25. ერთი ასფალტდამგებით ასფალტბეტონის ორი ფენის ერთდროულად მოწყობა

ამ დროს ხდება ფენების ნაწილობრივი გაერთიანება და წარმოიქმნება პრაქტიკულად მონოლითური ფენა, რომელსაც დამატებით გააჩნია შემკვრელის შეჭიდების თვისებები. შედეგად ზედა ფენაზე დატვირთვის ზემოქმედების დროს ფაქტიურად აღარ წარმოიქმნება ძვრის დეფორმაციები ზედა და ქვედა ფენების შეხების ზედაპირის გასწვრივ.

ხოლო ამის გამო ხდება ქვედა მსხვილმარცვლოვან ფენაზე დატვირთვების ოპტიმალური გადანაწილება[28].



ნახ. 26. ასფალტბეტონის ორი ფენის ერთდროულად მოწყობის ტექნოლოგიური ხაზი

აღნიშნული ტექნოლოგიის გამოყენება იძლევა საუკეთესო შედეგს ფენებს შორის მაღალი ხარისხის შეჭიდულობის უზრუნველსაყოფად, მაგრამ უნდა აღინიშნოს რომ ამ ტექნოლოგიის გამოყენება სირთულეებთანაა დაკავშირებული, კერძოდ:

- ტექნოლოგიურ ხაზს აქვს დიდი გაბარიტები – დაგების დროს საჭიროა სპეციალური გადამტვირთავის გამოყენება რომლის საშუალებითაც ნარევი მიეწოდება ასფალტდამგებს(ნახ. 26). გადამტვირთავში ხდება თვითმცლელიდან ასფალტბეტონის ნარევის ჩატვირთვა და შემდეგ დამგების ბუნკერებში მისი გადატვირთვა ნარევის ტიპის მიხედვით. დიდი გაბარიტების გამო ამ ტექნოლოგიის გამოყენება თითქმის შეუძლებელია ქალაქის ვიწრო ქუჩებზე;
- ორივე ფენის ერთდროულად დაგების დროს გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის ნარევი, რაც მოითხოვს მინიმუმ ორი ასფალტბეტონის ქარხნის(იგულისხმება ორი დანადგარი) მუშაობას;
- დაგების პროცესში საჭიროა ქარხნიდან ორივე ტიპის ნარევის მიწოდების ზუსტი ორგანიზება, რადგან არ მოხდეს რომელიმე ტიპის ნარევის მიწოდების შეფერხებისას მთლიანად დაგების

პროცესის შეფერხება ან გაჩერება. ქალაქის ქუჩები გადატვირთულია მოძრაობის მაღალი ინტენსივობის გამო და ხშირია საცობები, რაც ფაქტიურად ორი ტიპის ნარევის დროულ და ორგანიზებულ მიწოდებას შეუძლებელს ხდის.

როგორც ვხედავთ აღნიშნული მიზეზების გამო ამ ტექნოლოგიის გამოყენება ყოველთვის ვერ მოხერხდება. ფენებს შორის შეჭიდულობის უზრუნველყოფა უნდა მოხდეს სხვა ღონისძიებების გატარებით და მოთხოვნების გათვალისწინებით.

თუ რამდენად დიდი მნიშვნელობა აქვს ფენებს შორის შეჭიდულობას ჩვენ უკვე განვიხილეთ, მაგრამ ძველი საბჭოთა ნორმები რმლებიც მოქმედებს საქართველოში არ ითვალისწინებს ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის განსაზღვრას, მხოლოდ СНиП 3.06.03-85-ის მე-10 პარაგრაფის ქვეპუნქტი 10.40 ითვალისწინებს, რომ საფარის და საფუძვლის მშენებლობის პროცესში უნდა კონტროლდებოდეს:

- ცხელი და თბილი ასფალტბეტონის ნარევის ტემპერატურა ყველა ავტომობილ-თვითმცლელში;
- დაგების პროცესში მყოფი ზოლების გრძივი და განივი შეუღლებების ხარისხი - მუდმივად;
- ასფალტბეტონის ხარისხი უნდა განისაზღვროს ГОСТ 9128-84 და ГОСТ 12801-84 მიხედვით, კერნების(ამონაჭრების) მაჩვენებლების მიხედვით 7000 მ²-ზე სამ ადგილზე, ასევე საფარის ფენებს შორის

შეჭიდების სიმტკიცე:

აღნიშნული ნორმის მიხედვით ასფალტბეტონის ზედა ფენის მოწყობა დასაშვებია მხოლოდ ახლად დაგებულ ქვედა ფენაზე მის გაცივებამდე(ქვედა ფენის ტემპერატურა უნდა იყოს არანაკლებ 20°C).

ნარევის დაგებამდე (1-6 სთ-ით ადრე) უმდა მოხდეს ქვედა ფენის დამუშავება ბიტუმის ემულსიით ან ბლანტი ბიტუმით, რომელიც უნდა იყოს გაცხელებული ნორმით გათვალისწინებულ ტემპერატურამდე. მოსასხმელი მასალის ხარჯი უნდა იყოს:

- საფუძვლის ბიტუმით დამუშავების დროს - 0.5-0.8 ლ/მ²,
ასფალტბეტონის ქვედა ფენის დამუშავების დროს - 0.2-0.3 ლ/მ²;
- საფუძვლის 60%-იანი ბიტუმის ემულსიით დამუშავების დროს -
0.6-0.9 ლ/მ², ასფალტბეტონის ქვედა ფენის დამუშავების დროს -
0.3-0.4 ლ/მ²;

შემკვრელით ქვედა ფენა შესაძლებელია არ დამუშავდეს, თუ ქვედა და ზედა ფენების მოწყობის დროებს შორის ინტერვალი არ აღემატება 2 დღელამეს და არ ხდებოდა ტრანსპორტის მოძრაობა ქვედა ფენაზე[24].

ასევე არ ითვალისწინებს შეჭიდების ძალის განსაზღვრას ВСН 19-89(ПРАВИЛА ПРИЕМКИ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ) - სამუშაოების მიღების წესები საავტომობილო გზების მშენებლობისა და რემონტის დროს[5].

როგორც უკვე ავღნიშნეთ საფარის ფენებს შორის შეჭიდულობაზე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული საფარის დაზიანებების განვითარების პროცესი. შეჭიდულობის ძალის დასადგენად გერმანელი პროფესორის ლოიტნერის მიერ შემუშავებული იქნა გამოცდის მეთოდი რომელიც მისივე სახელით არის ცნობილი.

ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის განსაზღვრის ამ მეთოდის ნორმატიულ ბაზაში(**ZTV Asphalt-StB 07**) შეტანა მოხდა 2007 წელს გერმანიაში.

სტანდარტის „**ZTV Asphalt-StB 07**“-ის მიხედვით ასფალტბეტონის ორ ფენას შორის მაქსიმალური ძვრის ძალის სიდიდე არ უნდა იყოს შემდეგ მნიშვნელობებზე ნაკლები:

- ასფალტბეტონის ზედა და ქვედა ფენებს შორის არა ნაკლებ 15.0 კნ;
- ასფალტბეტონის დანარჩენ ფენებს შორის არანაკლებ 12.0 კნ[27].

ლოიტნერის მეთოდით ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეკავშირების ძალის დასადგენად საჭიროა ასფალტბეტონის საფარიდან ამოიჭრას 150 მმ დიამეტრის კერნები, კერნების გამოცდა ტარდება უნივერსალურ წნეხზე.



ნახ. 27. ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის გასაზომი მოწყობილობა.

ამისათვის წნეხზე ვამაგრებთ ლოიტნერის ცდის სპეციალურ მოწყობილობას ნახ. 27. სურათზე ისრებით ნაჩვენებია მოწყობილობის ნახევარ რგოლები რომლებიც წანაცვლებულია ერთმანეთის მიმართ ისე, რომ მოწყობილობაში მოთავსებულ კერნის ზედა ფენას ებჯინება ერთი, ხოლო ქვედას მეორე. წნეხის ჩართვის შემდეგ ნახევარრგოლები აწვება კერნის შესაბამის ფენების ისე, რომ მოხდეს ფენების ერთიმეორის მიმართ წანაცვლება. ამ დროს ზედა და ქვედა ფენებს შორის წარმოიქმნება ძვრის

დეფორმაცია. როდესაც ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალა მიაღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას ხდება მათ შორის კავშირის დარღვევა და ისინი სცილდება ერთმანეთს. შესაბამისად კომპიუტერში პროგრამის საშუალებით ხდება მაქსიმალური მრღვევი ძალის დაფიქსირება. ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალად ითვლება ის მაქსიმალური მრღვევი ძალა რომელიც საჭიროა კერნის ფენების განსაცალკევებლად.

2.9 პოლიმერებით მოდიფიცირებული ბიტუმების თვისებების ექსპერიმენტული კვლევა

შპს „ლაბორატორია“-სა და სამეცნიერო-კვლევითი საწარმო „მაგისტრალის“ ასფალტბეტონის საგამოცდო ლაბორატორიებში ჩვენს მიერ ჩატარებული იქნა პოლიმერებით მოდიფიცირებული ბიტუმების მარკით 90/130 და 60/90-ის გამოცდები.

ჩვენს მიერ შერჩეული პოლიმერები შევადარეთ ერთ-ერთ ყველაზე მეტად გავრცელებულ SBS პოლიმერს Karton D1101-ს რომელიც გამოიყენება ასფალტბეტონის მოდიფიცირებისათვის.

კვლევის საწყის ეტაპზე მოხდა ნავთობის ბიტუმების 90/130 და 60/90-ის თვისებების გამოკვლევა, ხოლო შემდეგ პოლიმერებით მოდიფიცირებული იგივე ბიტუმების თვისებების შესწავლა. კვლევისათვის ტერპოლიმერი შერეული იქნა ბიტუმში 90/130 1-3%-ის რაოდენობით, თერმოელასტოპლასტი “Karton” და მეორადი პოლიეთილენისა და ლატექსის ნარევი – 2-4%-ის რაოდენობით.

ცდები ჩატარდა ნავთობის ბლანტი ბიტუმის ГОСТ 22245-90-ით რეგლამენტირებული მეთოდით[13].

პოლიმერბიტუმის ერთგვაროვნება განვსაზღვრეთ ГОСТ P 52056-2003-ის მიხედვით[15]. 0,5კგ პოლიმერბიტუმის სინჯს ვათავსებთ ფაიფურის ჭიქაში, თუ სინჯი ინახებოდა დარბილების ტემპერატურაზე დაბალ ტემპერატურაზე, მაშინ გამოცდის წინ ის უნდა გავაცხელოთ 10⁰C-ით მაღლა დარბილების ტემპერატურაზე და ვურიოთ 5-6 წთ-ის განმავლობაში.

გამზადებულ პოლიმერბიტუმის სინჯში 3-4 წთ-ით ვყოფთ შუშის ჩხირს, შემდეგ ამოგვაქვს ის და ვიზუალურად ვაფასებთ პოლიმერბიტუმის ჩხირიდან ჩამოღვენთასა და მის ზედაპირზე აბსკის მდგომარეობას.

პოლიმერბიტუმი უნდა ჩამოიღვენთოს ჩხირიდან თანაბრად და მის ზედაპირზე არ უნდა იყოს შედედებები, კოშტები და ნამცეცები.

თუ მიღებული შედეგები დადებითია და პოლიმერბიტუმი ერთგვაროვანია მაშინ ის მზად არის ცდების ჩასატარებლად.

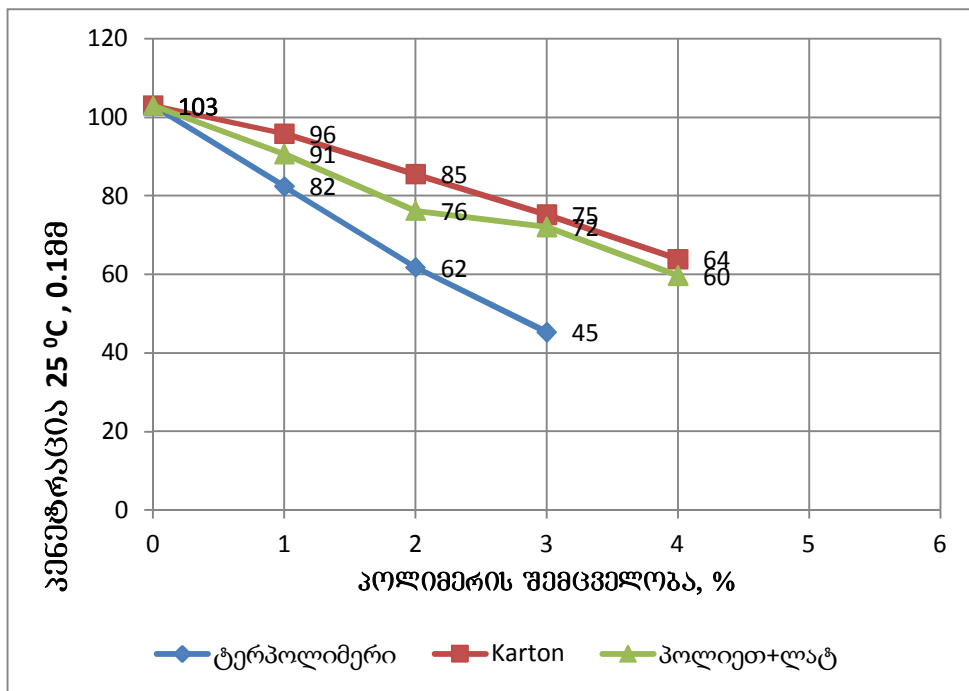
ჩატარებული ცდებით გამოვლინდა, რომ ჩვენს მიერ მომზადებული პოლიმერბიტუმები ერთგვაროვანია.

ნემსის შეღწევის სიღრმე (პენეტრაცია) განისაზღვრა ГОСТ 11501-78-ის მიხედვით პენეტრომეტრის მეშვეობით[7]. ცდა ტარდება შემდეგნაირად: პენეტრომეტრის აბაზანაში ვათავსებთ ლითონის ჭიქას ბიტუმის ნიმუშით. აბაზანას მიეწოდება წყალი, რომლის ტემპერატურას ვარეგულირებთ თერმოსტატის მეშვეობით. ნაკადის რეგულირება ხდება ისე, ბიტუმის ნიმუშის ზედაპირის თავზე წყლის სიმაღლე არ იყოს 10 მმ-ზე ნაკლები. ნიმუშის წყლის აბაზანაში გაჩერების დრო დამოკიდებულია ჭიქის სიმაღლეზე, თუ მისი სიმაღლე არის 35მმ ვაჩერებთ 60-90 წთ-ს, ხოლო - 60 მმ ვაჩერებთ 90-120 წთ-ს.

აღნიშნული დროის გასვლის შემდეგ ვაბრუნებთ სიმაღლის რეგულატორს და პენეტრომეტრის ნემსის წვერი მიგვყავს ბიტუმის ზედაპირთან ისე, რომ ის ოდნავ შეეხოს მას. ნემსის შეხების სისწორეს ვამოწმებთ პენეტრომეტრის გამადიდებელი შუშისა და გასანათებლის მეშვეობით. ხელსაწყოს ციფრულ საათზე ვაყენებთ 5 წმ-ს(ნემსის შეღწევის დრო). ვაჭერთ ღილაკს რის შემდეგად ნემსი, იწყებს ბიტუმში ჩასვლას. 5 წამის გასვლის შემდეგ ნემსი ავტომატურად ჩერდება და ეკრანზე გამოდის ნემსის შეღწევის სიღრმე. შემდეგ ამოგვაქვს ნემსი ბიტუმიდან ვასუთავებთ მას გამხსნელით და ვიმეორებთ ცდას ორჯერ. ნემსის შეღწევის ადგილები ერთმანეთისაგან და ჭიქის კედლებიდან დაშორებული უნდა იყოს არანაკლებ 10 მმ-ისა. გამოცდის შედეგად მიიღება გაზომვების საშუალო არითმეტიკული. უდიდეს და უმცირეს მნიშვნელობას შორის განსხვავება არ უნდა აღემატებოდეს ნორმით გათვალისწინებულს. გამოცდის შედეგები მოცემულია ცხრილში N5 და მათი მიხედვით აგებულია გრაფიკები(ნახ.28).

ბიტუმში პოლიმერის შემცველობა, %	ნავთობის ბიტუმში 90/130 ნემსის შეღწევის სიღრმე(პენეტრაცია) 25 °C, 0.1მმ,		
	ტერპოლიმერი	თერმოელასტოპლასტი “Karton”	მეორადი პოლიეთილენის და ლატექსის ნაერთი
დანამატის გარეშე	103		
1	82	96	91
2	62	85	76
3	45	75	72
4	-	64	60

ცხრილი N5. ნავთობის ბიტუმში ნემსის შეღწევის სიღრმე (პენეტრაცია), პოლიმერის პროცენტული შემცველობის მიხედვით.



ნახ.28. ბიტუმში პენეტრაციის ცვლილება 25°C-ზე სხვადასხვა პოლიმერების შემცველობისას.

პოლიმერბიტუმის დარბილების ტემპერატურა განვსაზღვრეთ FOCT 11506-73 მიხედვით[9] ბურთულა და რგოლის ავტომატიზირებული ხელსაწყოს მეშვეობით. ცდისათვის ბიტუმს და პოლიმერებით მოდიფიცირებულ ბიტუმს ვაცხელებთ მისი დარბილების სავარაუდო ტემპერატურაზე 80-100 °C-ით უფრო მეტად(მაგრამ არანაკლებ 120 °C და

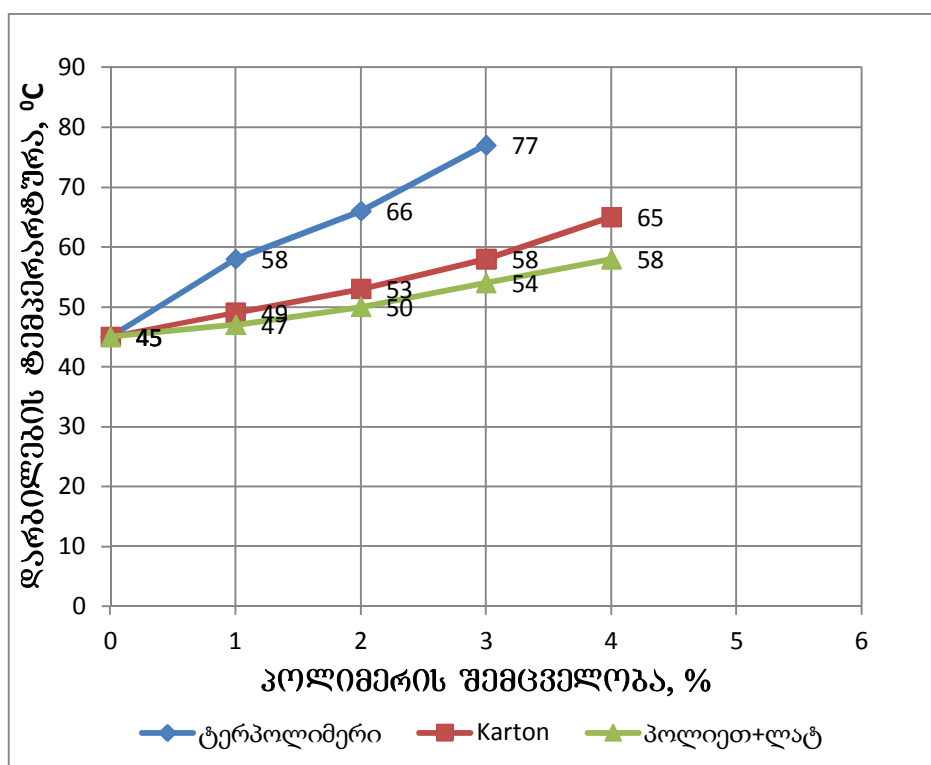
არაუმეტეს 180 °C-ისა) და ვასხამთ ლატუნის რგოლებში ზედმეტი რაოდენობით. რგოლები მოთავსებული უნდა იყოს სპეციალური სილიკონით დამუშავებულ შუშის ნაჭერზე. შემდეგ ნიმუშებს ვაციებთ ჰაერზე 30 წთ-ის განმავლობაში(ჰაერის ტემპერატურა უნდა იყოს $25 \pm 10^{\circ}\text{C}$) და რგოლებს ვაჭრით ზედმეტ ბიტუმს გაცხელებული საკანცელარიო დანის საშუალებით. რგოლებს ვამაგრებთ შტატივის ზედა ფირფიტაზე სპეციალურ ნახვრეტებში, შტატივს ნიმუშებით ვათავსებთ შუშის ცეცხლგამძლე ჭურჭელში რომელშიც გამოხდილი წყლის ტემპერატურა უნდა იყოს $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$. შტატივში ვამაგრებთ ტემპერატურის ელექტრო ინდიკატორს, მისი წვერო უნდა მდებარეობდეს რგოლებში ჩასხმული ბიტუმის ქვედა ზედაპირის დონეზე. 15 წუთის გასვლის შემდეგ პინცეტის მეშვეობით რგოლებზე ბიტუმის ცენტრში ვათავსებთ ლითონის ბურთულებს.

შემდეგ ვრთავთ ბურთულა და რგოლის ხელსაწყოს და ეკრანზე ვირჩევთ შესაბამის პროგრამას. ამის შემდეგ ჭურჭელში გამოხდილი წყალი იწყებს გაცხელებას, იმისათვის რომ წყალის გაცხელება მოხდეს ჭურჭლის მთელ სიმაღლეზე მასში მოთავსებულია პლასტმასის ღერო, რომელსაც აქვს ლითონის გული, ხელსაწყოს ელექტრომაგნიტური ველის მოქმედების შედეგად ჭურჭელში ღერო იწყებს ბრუნვას და წყლის არევას.

გარკვეულ ტემპერატურაზე წყლის გაცხელების შემდეგ ბიტუმი იწყებს დარბილებას და მასზე მდებარე ლითონის ბურთულები აწვება მას შტატივის ქვედა ფირფიტისკენ. ფირფიტასთან ბიტუმის შეხებას აფიქსირებს ხელსაწყო ფოტოელემენტები, ამავე დროს ავტომატურად ხდება წყლის ტემპერატურის დაფიქსირება.

ბიტუმი პოლიმერის შემცველობა, %	ნავთობის ბიტუმის 90/130 დარბილების ტემპერატურა, °C		
	ტერპოლიმერი	თერმოელასტოპლასტი “Karton”	მეორადი პოლიეთილენის და ლატექსის ნაერთი
0	45		
1	58	49	47
2	66	53	50
3	77	58	54
4		65	58

ცხრილი N6. ნავთობის ბიტუმის დარბილების ტემპერატურა, პოლიმერების პროცენტული შემცველობის მიხედვით



ნახ. 29. ნავთობის ბიტუმის დარბილების ტემპერატურის დამოკიდებულება პოლიმერების პროცენტული შემცველობაზე.

დარბილების ტემპერატურად მიიღება ცდის ორი პარალელური შედეგის საშუალო არითმეტიკული, რომელიც უნდა დამრგვალდეს მთელ რიცხვამდე.

სხვადასხვა პოლიმერებით მოდიფიცირებული ბიტუმის გამოცდის შედეგები მოცემულია ცხრილში N6 და მათი მიხედვით აგებულია გრაფიკები(ნახ. 29).

პოლიმერბიტუმის სიმციფის ტემპერატურა განვსაზღვრეთ ფრაასის ხელსაწყოს მეშვეობით, ცდები ჩავატარეთ GOCT 11507-78 მიხედვით[10]. ცდისთვის საჭიროა ბიტუმი თანაბრად გავანაწილოთ სპეციალურ ლითონის ფირფიტებზე, ამისათვის ლითონის ფირფიტებს ვრეცხავთ ნავთით, შემდეგ ვაშრობთ და ვწონით 0.01გ ცდომილებით. ფირფიტები წინასწარ ხელით უნდა გავლუნოთ იმისათვის რომ დავადგინოთ რომელ მხარეს ილუნება ის. ამის შემდეგ ფირფიტაზე ვაწვეთებთ $(0,4 \pm 0,01)$ გ. ბიტუმს იმ მხარეს რომელიც იყო ამოზნექილი.

ფირფიტას ბიტუმით ვათავსებთ გამაცხელებელ ხელსაწყოზე და და ფრთხილად ვაცხელებთ მას სანამ ბიტუმი თანაბრად არ განაწილდება ფირფიტის ზედაპირზე. ბიტუმიან ფირფიტებს ვაჩერებთ ოთახის ტემპერატურაზე არანაკლებ 30 წთ-ისა.

ფრაასის ხელსაწყოს ფირფიტების მოსაღუნ მოწყობილობაზე ვამაგრებთ ფირფიტას ისე რომ ბიტუმის ფენა მდებარეობდეს გარეთა მხარეს. ამ დროს არ უნდა მოხდეს ბიტუმის ზედაპირის დაზარვა წინააღმდეგ შემთხვევაში ფირფიტა უნდა შეიცვალოს.

მოსაღუნ მოწყობილობას ვათავსებთ შუშის სპეციალურ სინჯარაში რომელშიც წინასწარ ჩაყრილია მცირე რაოდენობით კალციუმის ქლორიდი. თერმომეტრს ვამაგრებთ ისე, რომ მისი ვერცხლისწყლის რეზერვუარი მდებარეობდეს გამოსაცდელი ფირფიტის სიმაღლის ნახევრის დონეზე. ტემპერატურა სინჯარაში ცდის დაწყებისას არ უნდა იყოს 15°C -ზე ნაკლები.

სინჯარას ვათავსებთ დიუარის ჭურჭელში რომელშიც შეგვყავს გამაციებელი ნივთიერება პორციებით ისე რომ სინჯარაში ტემპერატურა შემცირდეს $1^{\circ}\text{C}/\text{წთ}$ სიჩქარით. ამასთან დასაშვები გადახრები არ უნდა აღემატებოდეს $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 10 წუთში.

ფირფიტის მოლუნვას ვიწყებთ სიმციფის სავარაუდო ტემპერატურაზე 10 °C -ით მაღალ ტემპერატურაზე. ამისათვის ვაჭერთ ღილაკს ხელს და მოსაღუნი მოწყობილობა ავტომატურად იწყებს ფირფიტის მოლუნვას(მოლუნვის დროს ფირფიტის სამაგრებს შორის მანძილი უნდა შემცირდეს 36 ± 0.1 მმ-მდე) და შემდეგ ის უბრუნდება საწყის მდგომარეობას.

ფირფიტის მოლუნვა და გამართვა უნდა მიმდინარეობდეს 20-24 წმ-ის განმავლობაში. ოპერაციას ვიმეორებთ ყოველი წუთის დაწყებისას. ფირფიტის ზედაპირზე პირველი ბზარის გაჩენის დროს ვინიშნავთ ტემპერატურას.

ანალოგიურად ვცდით მეორე ფირფიტას ბიტუმით, მაგრამ მის მოლუნვას ვიწყებთ 10 °C -ით უფრო მაღალ ტემპერატურაზე ვიდრე პირველ ფირფიტაზე ბზარის გაჩენისას დაფიქსირებული ტემპერატურაა.

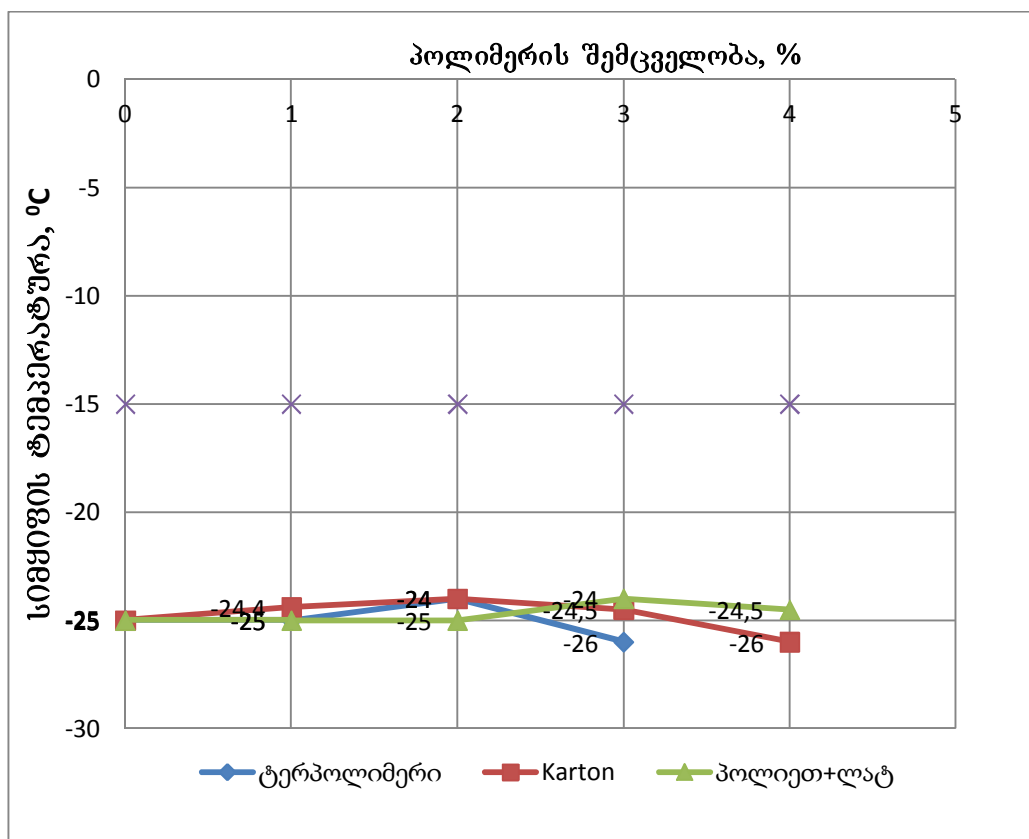
ბიტუმში პოლიმერის შემცველობა, %	ნავთობის ბიტუმის 90/130 სიმციფის ტემპერატურა, °C		
	ტერპოლიმერი	თერმოელასტოპლასტი "Karton"	მეორადი პოლიეთილენის და ლატექსის ნაერთი
0	-25		
1	-25	-24	-25
2	-24	-24	-25
3	-26	-24	-24
4	-	-26	-24

ცხრილი N7. ნავთობის ბიტუმის 90/130 სიმციფის ტემპერატურა, პოლიმერების პროცენტული შემცველობის მიხედვით

თუ პირველ და მეორე ცდის დროს მიღებული მნიშვნელობები განსხვავდება 3°C -ზე მეტად უნდა ჩატარდეს მესამე ცდა.

ბიტუმის სიმციფის ტემპერატურად მიიღება მთელ რიცხვამდე დამრგვალებული ორი მნიშვნელობის საშუალო არითმეტიკული.

სხვადასხვა პოლიმერებით მოდიფიცირებული ბიტუმის გამოცდის შედეგები მოცემულია ცხრილში N7 და მათი მიხედვით აგებულია გრაფიკები(ნახ. 30).



ნახ. 30. ნავთობის ბიტუმის 90/130 სიმეივის ტემპერატურის დამოკიდებულება პოლიმერების პროცენტული შემცველობაზე.

პოლიმერბიტუმის ელასტიურობის განსაზღვრის მიზანია დავადგინოთ ნიმუშის ელასტიური(სრულიად უკუქცევადი) დეფორმაციის წილი ნიმუშის ზღვრულ დეფორმაციაში. ცდა ტარდება ГОСТ P 52056-2003-ის მიხედვით[15]. პირველ ეტაპზე დუქტილომეტრის მეშვეობით ვახდენთ ბიტუმის(პოლიმერბიტუმის) წელვადობის განსაზღვრას ГОСТ 11505-ის მიხედვით[8], ხოლო შემდეგ ვსაზღვრავთ უშუალოდ პოლიმერბიტუმის ელასტიურობას.

წელვადობაზე გამოცდილ ფორმებს გაწყვეტილი ნიმუშებით ვხსნით დუქტილომეტრიდან და ვათავსებთ წყლიან ჭურჭელში(წყლის ტემპერატურა უნდა იყოს 35°C). შემდეგ ვზომავთ(0.1 სმ სიზუსტით) ნიმუშის ორივე ნაწილს თავისუფალი ბოლოდან ფორმის დამჭერამდე, იმ მომენტამდე ვიდრე სიგრძის ცვლილება არ აღემატება 0.1 სმ-ს 15 წთ-ის განმავლობაში.

ელასტიურობის მაჩვენებელს ვანგარიშობთ ფორმულით:

$$\mathfrak{E} = \frac{(D-L)-L}{D} \cdot 100\% \quad (1.2.9)$$

სადაც: D არის წელვადობა სმ;

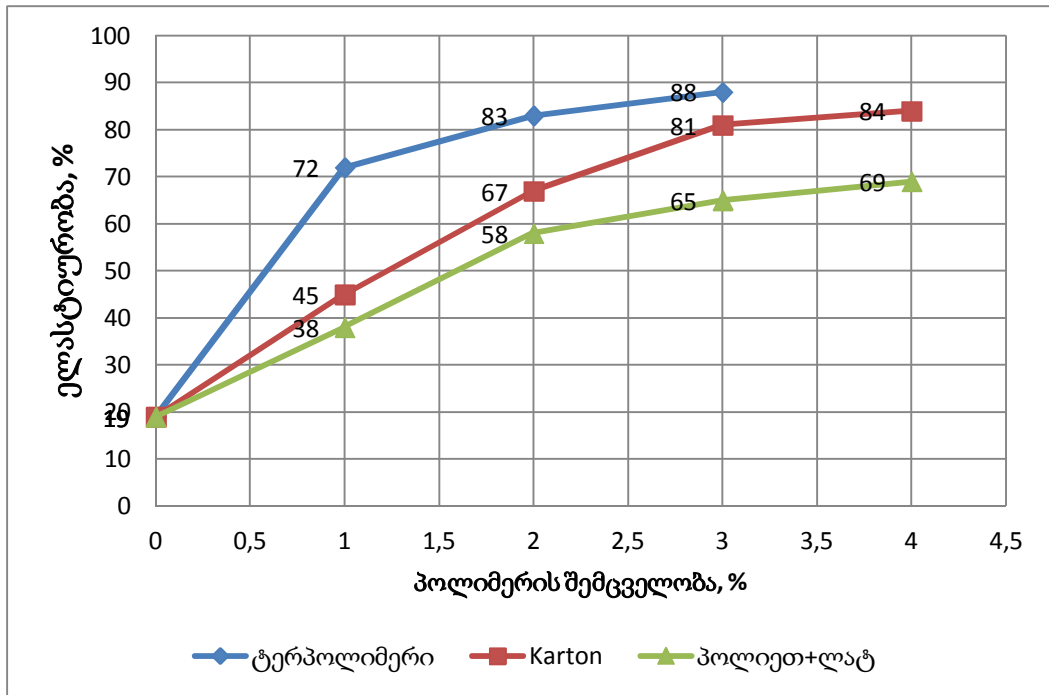
L - ნიმუშის სიგრძე გაწელვამდე სმ;

L – ნიმუშის ორი ნაწილის სიგრძეების ჯამი მათი აღდგენის შემდეგ(ბოლო გაზომვის მიხედვით) სმ;

ყოველ შედეგსა და მათ საშუალო არითმეტიკულს შორის განსხვავება არ უნდა აღემატებოდეს საშუალო არითმეტიკულის 10%-ს. ჩვენს მიერ ჩატარებული გაანგარიშებები მოცემულია ცხრილში N8 და მათ მიხედვით აგებულია გრაფიკები(ნახ. 31).

ბიტუმში პოლიმერის შემცველობა, %	ნავთობის ბიტუმის 90/130 ელასტიურობა 25°C		
	ტერპოლიმერი	თერმოელასტოპლასტი “Karton”	მეორადი პოლიეთილენის და ლატექსის ნაერთი
0	19		
1	72	45	38
2	83	67	58
3	88	81	65
4	-	84	69

ცხრილი N8. ნავთობის ბიტუმის 90/130 ელასტიურობა 25°C-ზე, პოლიმერების პროცენტული შემცველობის მიხედვით



ნახ. 31. 25°C-ზე ნავთობის ბიტუმის 90/130 ელასტიურობის დამოკიდებულება პოლიმერების პროცენტულ შემცველობაზე.

პოლიმერბიტუმის ათჰეზია(ქვის მასალასთან მიკვრა) ადგილობრივ თეთრ მარმარილოსთან განვსაზღვრეთ ГОСТ 11508-74* მიხედვით[11]. ცდისთვის ვამსხვრევთ მარმარილოს, შემდეგ ვცრით 5 დან 2მმ ზომის საცრებით და ვიღებთ 2-5მმ ფრაქციის მასალას. შერჩეულ მასალას ვრეცხავთ გამოხდილი წყლით და ვაშრობთ 105-110°C ტემპერატურაზე 5 სთ-ის განმავლობაში.

ბიტუმომინერალური ნარევის მოსამზადებლად ვიღებთ ორ ფაიფურის ჭიქას, თითოეულში ვათავსებთ 30 გრ შერჩეულ მარმარილოს ნიმუშს და 1.2 გრ გამოსაცდელ პოლიმერბიტუმს. ჭიქებს ვათავსებთ 20 წუთით თერმოსტატში, რომელშიც ტემპერატურა არის 130-140°C. აღნიშნული დროის გასვლის შემდეგ ვიღებთ თერმოსტატიდან ორივე ჭიქას და ვურევთ ლითონის კოვზით მარმარილოს და პოლიმერბიტუმს მინერალური მასალის სრულ დაფარვამდე. ნარევს ვაჩერებთ 20 წთ-ის განმავლობაში ოთახის ტემპერატურაზე.

შემდეგ ერთი ჭიქიდან გადმოგვაქვს ბიტუმომინერალური ნარევის დაახლოებით ნახევარი ლითონის ბადეზე, ვანაწილებთ მას თანაბარ ფენად

და ვათავსებთ მდულარე გამოხდილ წყალში(წყლის სიმაღლე ბადის ქვეშ და ნარევის ზემოთ უნდა იყოს 40-50მმ). ანალოგიურ ოპერაციას ვატარებთ მეორე ჭიქაში მდებარე ნარევით.

ბადეებს გამოსაცდელი ნიმუშებით ვადულებთ წყალში 30 წთ-ის განმავლობაში. დუდილის პროცესში ნარევიდან მოცილებულ და წყლის ზედაპირზე ამოსულ ბიტუმს ვაცილებთ საფილტრავი ქაღალდის მეშვეობით.

აღნიშნული დროის გასვლის შემდეგ ბადეები ნარევებთან ერთად გადაგვაქვს ცივ წყალში და ვაჩერებთ მასში 3-5 წთ-ით. ამის შემდეგ ნარევები გადაგვაქვს საფილტრავ ქაღალდზე.

პოლიმერბიტუმის მინერალურ მასალასთან მიკვრის შესაფასებლად ნარევს ვადარებთ საკონტროლო ნიმუშების ფოტოსურათებს.

ჩატარებული ცდებით გამოვლინდა რომ ჩვენს მიერ შერჩეულ პოლიმერებზე დამზადებულ ბიტუმებს გააჩნიათ ადგილობრივ ქვის მასალასთან(მარმარილოსთან) მდგრადი მიკვრის ხარისხი.

კვლევის შემდეგ ეტაპზე ჩავატარეთ ჩვენს მიერ შერჩეული პოლიმერებით მოდიფიცირებული ბიტუმის 60/90 თვისებების ლაბორატორიული კვლევა. კვლევები ჩატარდა ზემოაღნიშნული თნმიმდევრობითა და ნორმების მიხედვით. ჩატარებული ცდების შედეგები მოცემულია ცხრილში N9.

ცხრილი N9. პოლიმერებით მოდიფიცირებული ნავთობის ბიტუმის 60/90-ის თვისებები

პოლიმერებით მოდიფიცირებული ნავთობის ბიტუმის 60/90-ის თვისებები							
მაჩვენებლის დასახელება	პოლიმერული დანამატის შემცველობა ბიტუმში, %						
	დანამატის გარეშე	ტერპოლიმერი			პოლიეთილენი+ლატექსი		
		1.0%	1.5%	2.0%	2.0%	3.0%	4.0%
ნემსის შეღწევის სიღრმე(პენეტრაცია) 25 °C	71	62	57	54	60	58	53
დარბილების ტემპერატურა (ბურთულა და რგოლის მიხედვით) °C	54	63	65	68	58	60	63
დარბილების ტემპერატურის ცვლილება გაცხელების შემდეგ °C	3	4.0	4,2	3.9	4,3	4,4	4,0
სიმყიფის ტემპერატურა °C	-20	-19	-20	-19	-20	-20	-19
პენეტრაციის ინდექსი	0,9	-	-	-	-	-	-
ელასტიურობა, % 25 °C	–	67	74	80	55	59	64
ქვის მასალასთან მიკვრა(ათჰეზია)	მდგრადი						
ერთგვაროვნება	ერთგვაროვანი						

2.10 პოლიმერით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების კვლევა ГОСТ 12801-98 მიხედვით

ექსპერიმენტებისთვის ლაბორატორიულ ამრევში(ნახ. 32) დავამზადეთ „ვ“ ტიპის წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის ნარევი 90/130 მარკის ბიტუმით და ტერპოლიმერით მოდიფიცირებული(1%, 1.5% და 2.0% ტერპოლიმერის შემცველობით) იგივე ბიტუმით. ნარევი ასევე დავამზადეთ მეორადი პოლიეთილენისა და ლატექსის ნარევით მოდიფიცირებული(2.0%, 3.0% და 4.0% დანამატის შემცველობით) ბიტუმით.

ასფალტბეტონის ნიმუშები დავამზადეთ და გამოვცადეთ ГОСТ 12801-98 მიხედვით[12]. პირველ ეტაპზე გამოვცადეთ ასფალტბეტონი პოლიმერული დანამატების გარეშე, ხოლო შემდეგ პოლიმერით მოდიფიცირებული. ცდებით მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილში N10.

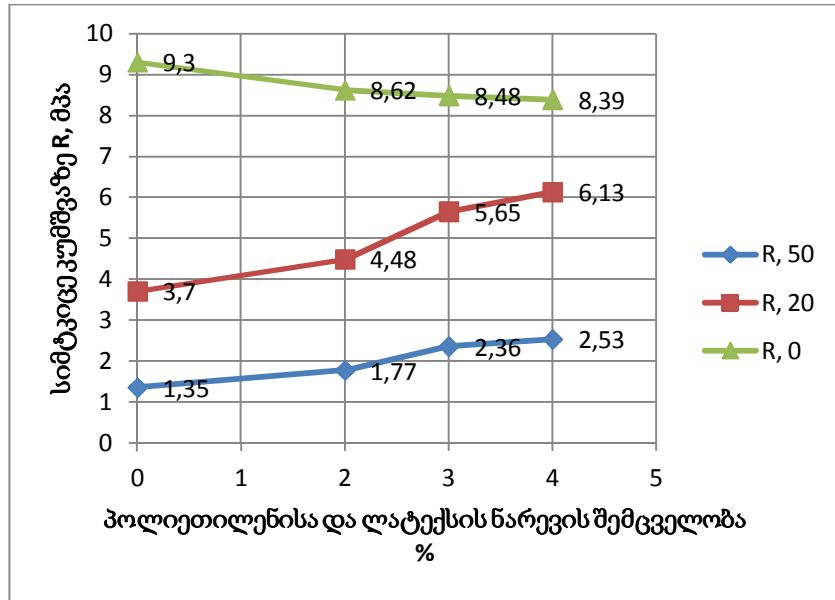


ნახ. 32. ასფალტბეტონის ლაბორატორიული ამრევი

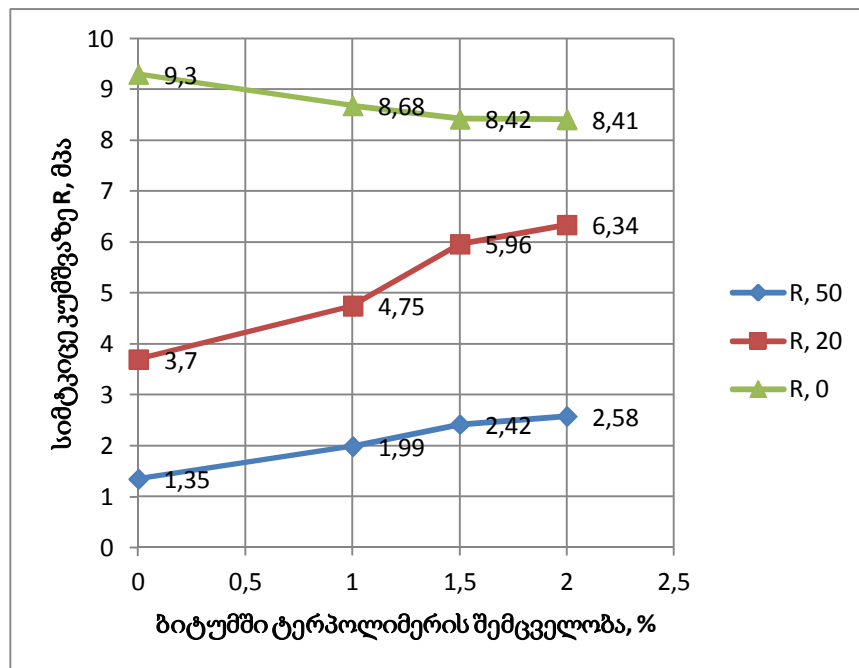
ცხრილი N10. ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები პოლიმერის შემცველობის მიხედვით

მაჩვენებლის დასახელება	ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები პოლიმერის შემცველობის მიხედვით							
	ნორმა ГОСТ9128-97 მიხედვით	პოლიმერული დანამატის გარეშე	პოლიეთილენისა და ლატექსის ნარევის შემცველობა ბიტუმში			ტერპოლიმერის შემცველობა ბიტუმში		
			2%	3%	4%	1%	1.5%	2.0%
საშუალო სიმკვრივე		2.35	2.38	2.39	2.40	2.36	2.37	2.39
სიმტკიცე კუმშვაზე, R, მპა								
+50°C ტემპერატურაზე	>1.30	1.35	1.77	2.36	2.53	1.99	2.42	2.58
+20°C ტემპერატურაზე	>2.20	3.70	4.48	5.65	6.13	4.75	5.96	6.34
0°C ტემპერატურაზე	<13.00	9.30	8.62	8.48	8.39	8.68	8.42	8.41
წყალმედვეობის კოეფიციენტი	>0.80	0.90	0.92	0.99	0.96	0.94	0.98	0.99
ხანგრძლივი წყალმედვეობის კოეფიციენტი	>0.70	0.71	0.81	0.85	0.87	0.82	0.84	0.85
წყალშთანთქმა %	1.5-4.0	2.7	1.9	1.1	1.2	1.8	1.0	1.0
გაჯირჯვება %		0.33	0.21	0.19	0.15	0.20	0.17	0.15
ტემპერატურული მგრძნობელობის კოეფიციენტი		0.15	0.21	0.28	0.30	0.23	0.29	0.31

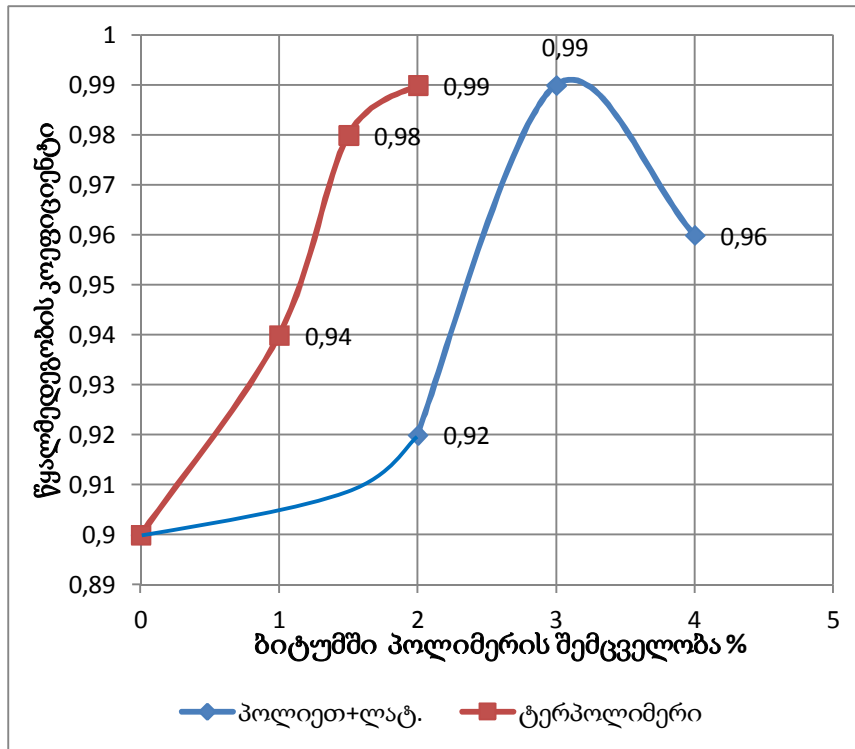
მიღებული შედეგების მიხედვით აგებულია ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების პოლიმერების შემცველობაზე დამოკიდებულების გრაფიკები(ნახ. 33-39).



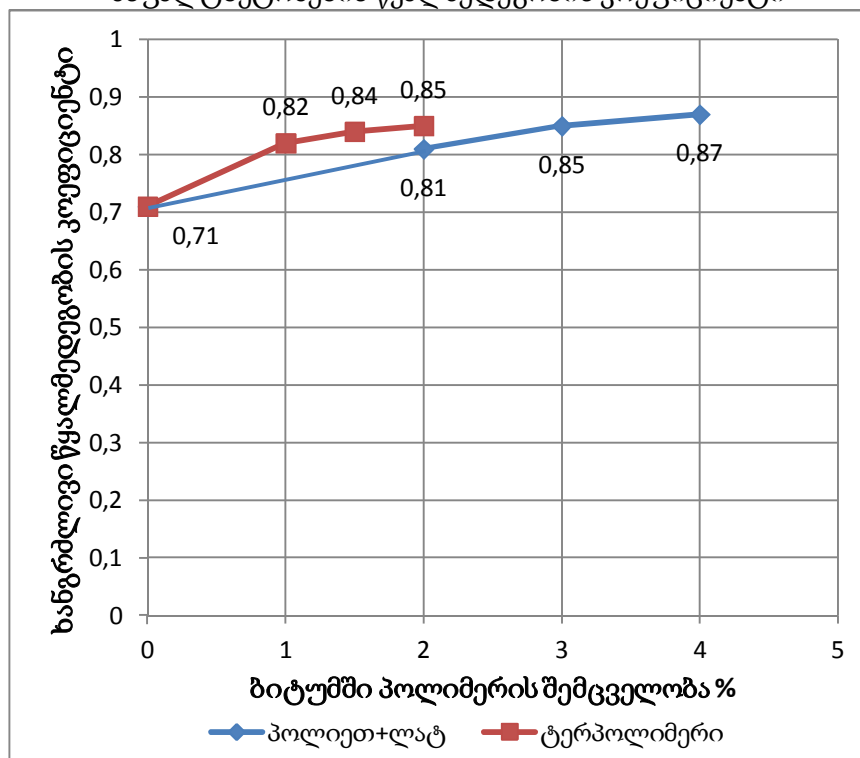
ნახ. 33. პოლიეთილენისა და ლატექსის ნარევით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე(0°C, 20°C და 50°C ტემპერატურებზე)



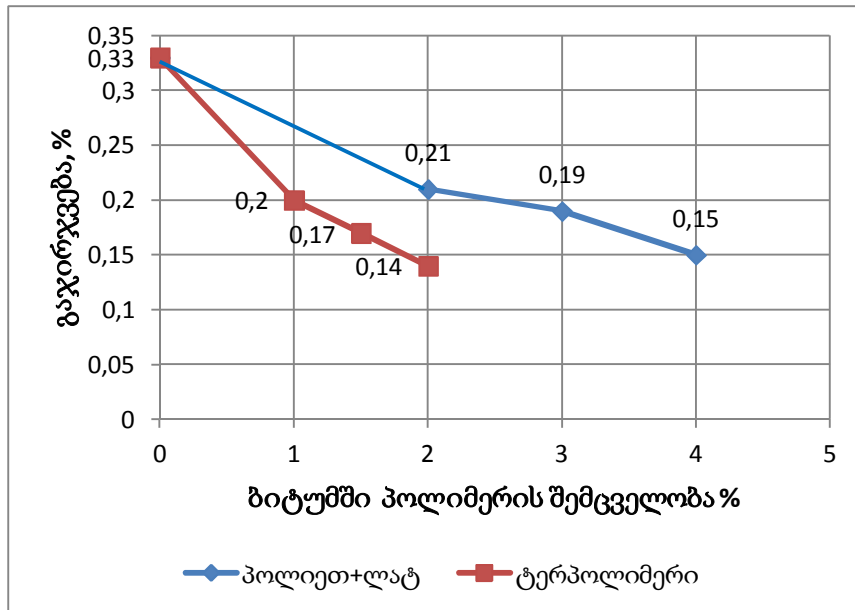
ნახ. 34. ტერპოლიმერით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე(0°C, 20°C და 50°C ტემპერატურებზე)



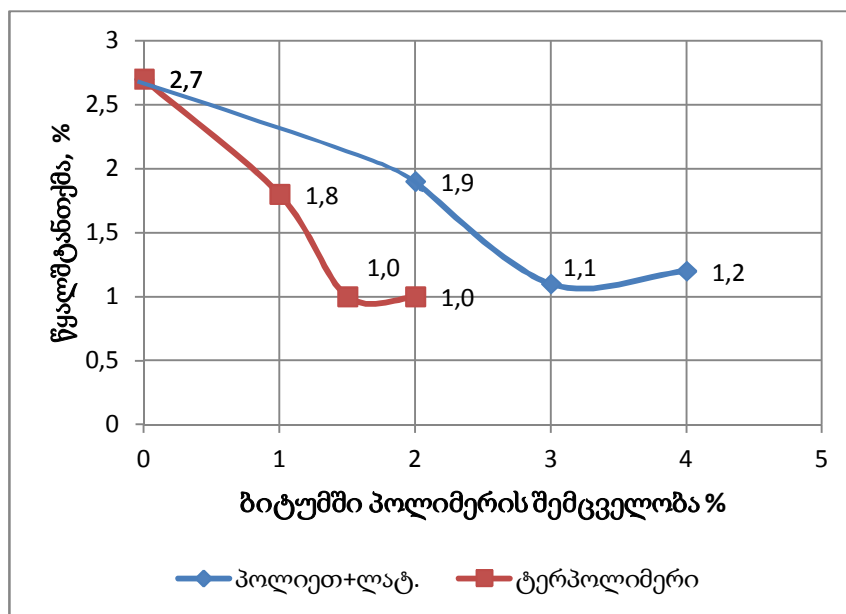
ნახ. 35. პოლიმერებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონების წყალმდეგობის კოეფიციენტი



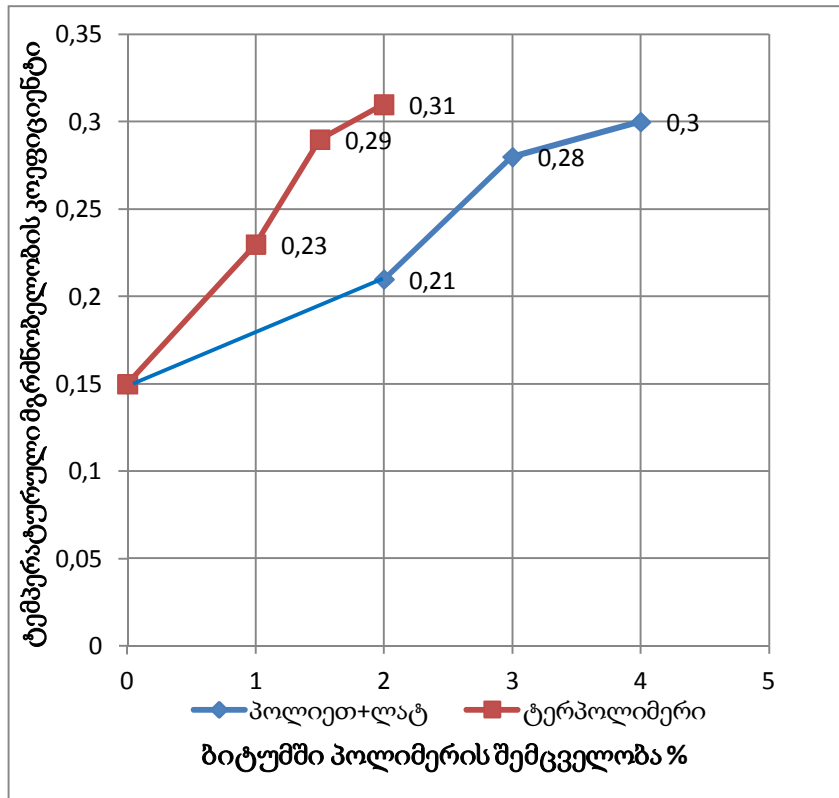
ნახ. 36. პოლიმერებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონების ხანგრძლივი წყალმდეგობის კოეფიციენტი



ნახ. 37. პოლიმერებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონების გაჯირჯვება



ნახ. 38. პოლიმერებით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონების წყალშთანთქმა



ნახ.39. პოლიმერებით მოდიფიცირებული
 ასფალტბეტონების ტემპერატურული მგრძობელობის
 კოეფიციენტი

2.11 მარშალის მეთოდით ასფალტბეტონის ნიმუშების თვისებების ექსპერიმენტული კვლევა

კვლევები ჩავატარეთ შ.პ.ს. „ლაბორატორი“-ში. ჩვენ დავამზადეთ „ბ“ ტიპის წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის ნარევი ლაბორატორიულ ამრევი ГОСТ 9128-97 ნორმის მიხედვით[12].

ნარევი დავამზადეთ 60/90 მარკის ბიტუმით და ტერპოლიმერით მოდიფიცირებული(1%, 1.5% და 2.0% ტერპოლიმერის შემცველობით) იგივე ბიტუმით. ნარევი ასევე დავამზადეთ მეორადი პოლიეთილენისა და ლატექსის ნარევით მოდიფიცირებული(2.0%, 3.0% და 4.0% დანამატის შემცველობით) ბიტუმით.

მარშალის მიხედვით ასფალტბეტონის ნიმუშების დამზადება და შემდგომ გამოცდა ხდება 2.7 ქვეთავში აღწერილი მეთოდისა და თანმიმდევრობის მიხედვით.

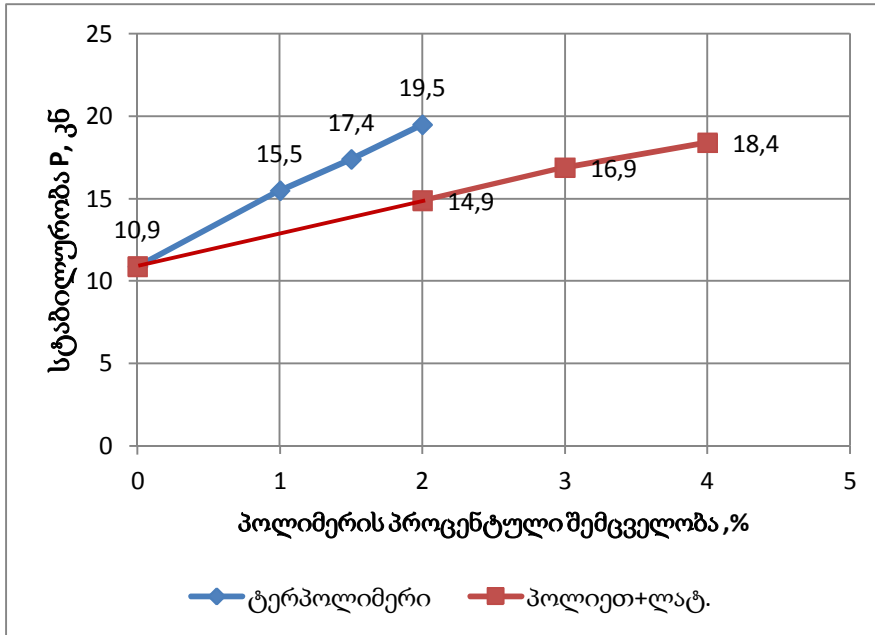
მარშალის წნეხზე გამოცდა ასფალტბეტონის ნიმუშები და თითოეულისათვის განისაზღვრა მაქსიმალური მრღვევი ძალა (სტაბილურობა) P ნ და პლასტიკურობის პირობითი მაჩვენებელი(დენდობა) l 1/10მმ. პირობითი სიხისტის მაჩვენებელი A ნ/მმ გამოვითვალეთ $A = 10P/l$ ფორმულით.

ჩვენს მიერ მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილში N11. დანართიში მოცემულია მარშალის მეთოდით გამოცდის გრაფიკები თითოეული ცდისათვის(იხ. დანართი N1).

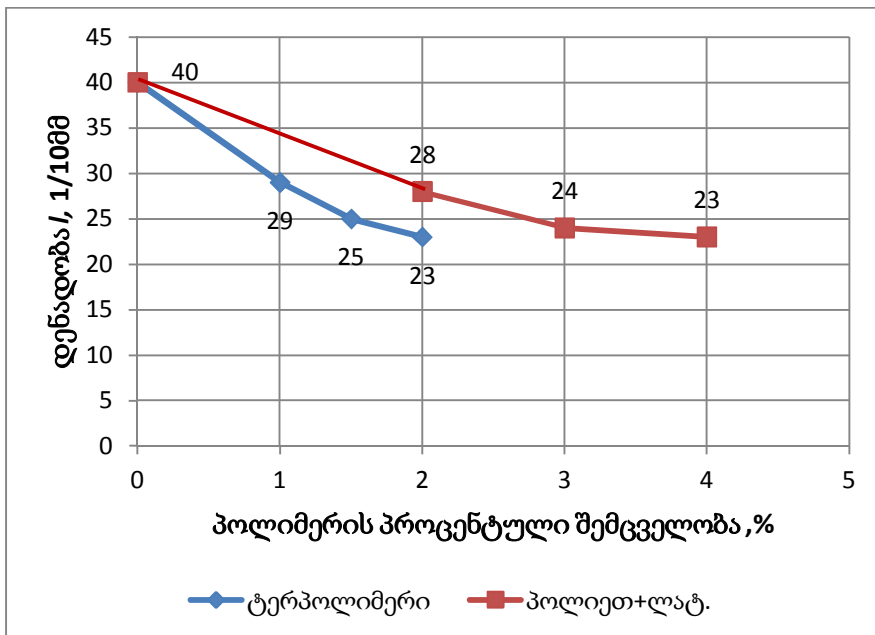
მიღებული შედეგების მიხედვით იზრდება ასფალტბეტონის სტაბილურობა ხოლო პირობითი სიხისტის მაჩვენებელი მცირდება. (იხ ნახ. 39 და 40).

პოლიმერასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები მარშალის ცდის მიხედვით (გამოცდის ტემპერატურა 60° C)							
მაჩვენებლის დასახელება	პოლიმერის პროცენტული შემცველობა						
	დანამატის გარეშე	ტერპოლიმერი			პოლიეთილენის და ლატექსის ნარევი		
		1.0%	1.5%	2.0%	2.0%	3.0%	4.0%
ცდის N	I	II	III	IV	V	VI	VII
მაქსიმალური მრღვევი ძალა (სტაბილურობა) P, კ.ნ.	10.9	15.5	17.4	19.5	14,9	16.9	18.4
პლასტიკურობის პირობითი მაჩვენებელი (დენადობა) L, 1/10 მმ	40	29	25	23	28	24	23
პირობითი სიხისტის მაჩვენებელი A, ნ/მმ	2725	5345	6960	8478	5321	7042	8000

ცხრილი N11. პოლიმერასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები მარშალის ცდის მიხედვით



ნახ. 40. ასფალტბეტონების სტაბილურობის დამოკიდებულება პოლიმერის შემცველობაზე



ნახ. 41. ასფალტბეტონების დენადობის დამოკიდებულება პოლიმერის შემცველობაზე

2.12 ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის ექსპერიმენტული კვლევა

ფენებს შორის შეჭიდულობის(კავშირის) ძალის ექსპერიმენტული კვლევა ლოიტნერის მეთოდით ვაწარმოეთ შ.პ.ს „ლაბორატორია“-ში. კვლევები ტარდებოდა რამდენიმე წლის განმავლობაში სხვადასხვა პირობებში. კვლევისათვის გამოვიყენეთ სხვადასხვა ქუჩაზე ამოჭრილი კერნების გამოცდის შედეგები. შემოწმებული იქნა ა/ბ საფარი, რომლის ქვედა ფენა არ იყო დამუშავებული ბიტუმის ემულსიით და პირდაპირ იყო გადაგებული ზედა ფენა, საფარი რომლის ქვედა ფენა დამუშავებული იყო ემულსიით და ადგილი რომელზეც ა/ბ საფარი ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევით იყო დაგებული. კვლევებისას გამოვლინდა, რომ სხვადასხვა შემთხვევებში ფენებს შორის ჩაჭიდულობის ძალა მკვეთრად განსხვავდება (იხ. ლოიტნერის ცდის დიაგრამები დანართი N2). გვხვდება ადგილები სადაც კერნის ამოჭრის მომენტშივე ხდება ფენების განცალკევება ან გამოსაცდელ მოწყობილობაში ჩამაგრების დროს, ყოველივე ეს ჩაჭიდულობის დაბალ ხარისხზე ან არარსებობაზე მეტყველებს.

როგორც უკვე ავღნიშნეთ პოლიმერული დანამატები აუმჯობესებს საწყისი ბიტუმის ათჰეზიურ და კოჰეზიურ თვისებებს. იმის გასარკვევად თუ როგორ იმოქმედებდა პოლიმერული დანამატებით მოდიფიცირებული ბიტუმის გამოყენება ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალაზე ჩავატარეთ შემდეგი კვლევები:

ცდებისათვის დავამზადეთ ლითონის ცილინდრული ფორმა, რომლის დიამეტრი შეადგენს 150მმ–ს ხოლო სიმაღლე 200მმ–ს. პირველ ეტაპზე ფორმაში ვყრიტ ცხელ ასფალტბეტონის მსხვილმარცვლოვან ფოროვან ნარევეს და ვახდენთ მის დატკეპნას პრესზე დგუმის მეშვეობით. შემდეგ მასზე ვყრიტ მკვრივ წვრილმარცვლოვან ასფალტბეტონის ნარევეს და კვლავ ვახდენთ დატკეპნას. სხვადასხვა პირობებში შეჭიდულობის ძალის

დასადგენად ასფალტბეტონის ქვედა ფენაზე ვაწყობთ წვრილმარცვლოვან მკვრივ ასფალტბეტონის ფენას შემდეგი პირობების იმიტირებით:

1. ქვედა ფენის დატკეპნის მერე მისი ბიტუმით დამუშავების გარეშე პირდაპირ ვახდენთ მასზე ზედა ფენის დატკეპნას - (ცდა N1).
2. ქვედა ფენაზე 1 დღელამის გასვლის შემდეგ მისი ბიტუმით დამუშავების გარეშე ვახდენთ ზედა ფენის მოწყობას - (ცდა N2);
3. ქვედა ფენაზე 3 დღე ლამის გასვლის შემდეგ მისი ბიტუმით დამუშავების გარეშე ვახდენთ ზედა ფენის მოწყობას - (ცდა N3);
4. 2 დღელამის გასვლის შემდეგ ქვედა ფენას ვამუშავებთ ცხელი ბიტუმით(ბიტუმის წასმა ხდება ნორმით გათვალისწინებული რაოდენობით ფუნჯის მეშვეობით) და შემდეგ ვაწყობთ ზედა ფენას - (ცდა N4);
5. 2 დღელამის გასვლის შემდეგ ნიმუშების ქვედა ფენას ვამუშავებთ ტერპოლიმერით მოდიფიცირებული ბიტუმით(1%, 1,5% და 2% პოლიმერის შემცველობით) - (ცდა N5-N7);
6. 2 დღელამის გასვლის შემდეგ ქვედა ფენას ვამუშავებთ მეორადი პოლიეთილენისა და ლატექსის ნარევით მოდიფიცირებული ბიტუმით(2%, 3% და 4% პოლიმერის შემცველობით) - (ცდა N8-N10);

ნიმუშების გამოცდას ლოიტენერის მეთოდით ვახდენდით მათი დამზადებიდან 3 დღელამის გასვლის შემდეგ.(Снип 3.06.03-85 ნორმის მიხედვით ცხელი ასფალტბეტონის ნარევებით დამზადებული ფენილიდან კერნების ამოჭრა უნდა მოხდეს მისი მოწყობიდან 3 დღელამის შემდეგ)



ნახ. 42. ასფალტბეტონის ქვედა ფენაზე დაფენილი
ბაზალტის ბადე

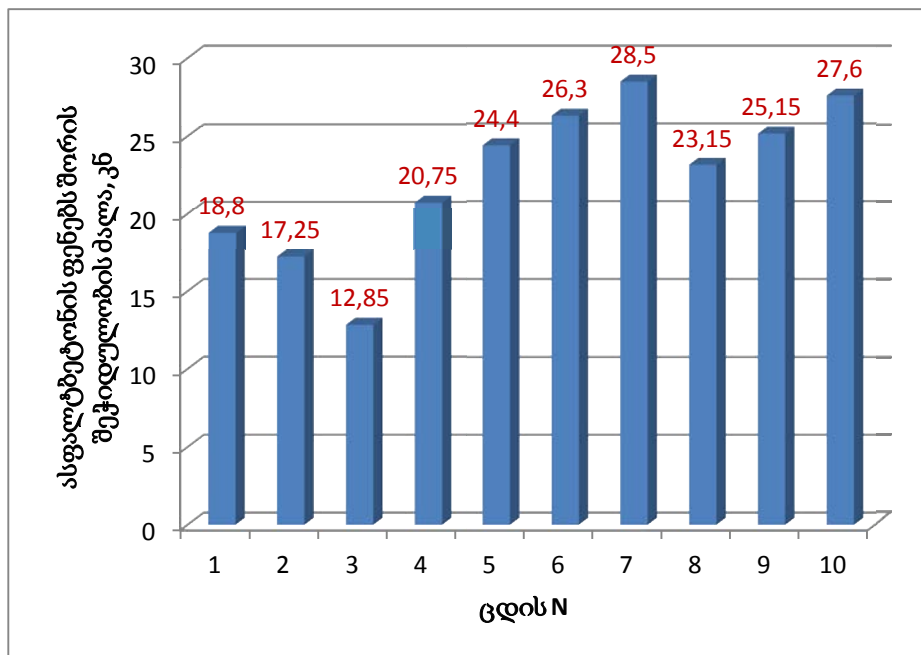
გარდა ზემოაღნიშნულისა ჩვენ საფარის ქვედა ფენაზე(ავერსის კლინიკის ეზოს შესასვლელთან) დავაკარით ბაზალტის ძაფით მოქსოვილი ბადე(მიახლოებით 2X5 მ ზომის). ბადე წინასწარ დავამუშავეთ ემულსიით სპეციალური მოსასხმელი მანქანის საშუალებით(ნახ. 41).

გარკვეული პერიოდის შემდეგ ჩვენს მიერ შერჩეულ ადგილებზე მოხდა კერნების ამოჭრა, ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის დასადგენად.

ჩვენს მიერ ჩატარებული გამოცდის შედეგები მოცემულია ცხრილში N12, ასევე მოცემულია თითოეული ცდის დიაგრამა რომლებზეც დაფიქსირებულია მაქსიმალური მრღვევი ძალა (იხ. დანართი N2). მიღებული შედეგების მიხედვით აგებულია გრაფიკები(ნახ. 43).

ცდის N	ნიმუშის N	მაქსიმალური შეჭიდულობის ძალა N კნ	საშუალო მნიშვნელობა
I	1	18,7	18,8
	2	18,9	
II	3	17,4	17,25
	4	17,1	
III	5	12,9	12,85
	6	12,8	
IV	7	20,8	20,75
	8	20,7	
V	9	24,5	24,4
	10	24,3	
VI	11	26,2	26,3
	12	26,4	
VII	13	28,6	28,5
	14	28,4	
VIII	15	23,3	23,15
	16	23,0	
IX	17	25,0	25,15
	18	25,3	
X	19	27,7	27,6
	20	27,5	

ცხრილი N12. ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალა სხვადასხვა ცდისათვის



ნახ. 43. ასფალტბეტონების ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის გაფიკი.

2.13 ექსპერიმენტების შედეგების მათემატიკური მოდელირება

თითოეული ექსპერიმენტი, ჩვეულებრივ ძალზე შრომატევადია და დაკავშირებულია გარკვეულ დანახარჯებთან, ამიტომ მიზანშეწონილია აგებულ იქნას ისეთი მათემატიკური მოდელები რომლებიც საშუალებას მოგვცემენ მოვახდინოთ ექსპერიმენტის შედეგების პროგნოზირება და მხოლოდ ამის შემდეგ ჩავატაროთ ფიზიკური ექსპერიმენტი. ეს იძლევა საშუალებას მნიშვნელოვნად შევამციროთ ფიზიკური ექსპერიმენტების რაოდენობა.

ჩვენს მიერ ჩატარებულ იქნა ექსპერიმენტების სერია რომლის შედეგადაც იქნა მიღებული შემდეგი მონაცემები ცხრ. N13

N	ექსპერიმენტების შედეგად მიღებული მონაცემები			
	X_1	X_2	X_3	f
1	0	103	45	1.35
2	2	76	50	1.77
3	3	72	54	2.36
4	4	60	58	2.53

ცხრ. N13. ექსპერიმენტების შედეგად მიღებული მონაცემები.
სადაც X_1 არის ბიტუმში პოლიმერის პროცენტული შემცველობა; X_2 – პენეტრაცია; X_3 – ბიტუმის დარბილების ტემპერატურა და f ასფალტბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე 50°C-ზე

ექსპერიმენტის შედეგების პროგნოზის ამოცანის ამოსახსნელად გამოვიყენეთ მარტივი მათემატიკური აპარატი კერძოდ:

I. მრავალწევრებით ინტერპოლაცია,

II. უმცირეს კვადრატთა მეთოდი.

როგორც ვიცით X_2 (პენეტრაცია), X_3 (ბიტუმის დარბილების ტემპერატურა) და f(ასფალტბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე 50°C-ზე) დამოკიდებული არიან X_1 -ზე(ბიტუმში პოლიმერის პროცენტული

შემცველობა) ეს დაშვება პირობითია რადგან f დამოკიდებულია სამივე ცვლადზე. მაგრამ ჩვენ ჯერ განვიხილავთ უმარტივეს შემთხვევას როდესაც: $x_2 = f_2(x_1)$; $x_3 = f_3(x_1)$; $f = f(x_1)$.

ე.ი. ჩვენ ვიკვლევთ x_2 , x_3 და f -ის დამოკიდებულებას x_1 -ზე. ცხადია, რომ ჩვენთვის არა არის ცნობილი f_2 , f_3 და f -ის გამოსახულებები. ჩვენს მიერ სადისერტაციო ნაშრომში განხილული მეთოდები საშუალებას იძლევა ავაგოთ ისეთი ფუნქციები რომლებიც „ახლოს“ იქნება ჩვენთვის საინტერესო ფუნქციებთან.

I. საინტერპოლაციო მრავალწევრების საშუალებით ავაგებთ ისეთ ფუნქციას რომლის მნიშვნელობებიც დაემთხვევა საძიებელი ფუნქციის მნიშვნელობებს, კერძოდ x_1 -ის იმ მნიშვნელობებს რომელიც ექსპერიმენტის დროს იქნა აღებული. ჩვენ გამოვიყენებთ პირველი და მეორე რიგის საინტერპოლაციო მრავალწევრებს[23]. გამოთვლების ჩასატარებლად გამოყენებულ იქნა კომპიუტერული პაკეტი „Mathematica 8“ და გამოთვლილ იქნა საძიებელი სიდიდეების ისეთი მნიშვნელობები რომლისთვისაც არ გვქონდა ჩატარებული ფიზიკური ექსპერიმენტი. გამოთვლების შედეგები მოყვანილია ცხრილებში N14 და N15.

	გამოთვლილი (მეორე რიგის საინტერპოლაციო პოლინომით)			
N	x_1	x_2	x_3	f
1	1	86.3333	47.0	1.43333
2	1.2	83.76	47.52	1.4804
3	2.5	75.0	52.0	2.1175
4	3.5	67.0	56.0	2.4975

ცხრილი N14. მეორე რიგის საინტერპოლაციო პოლინომის გამოყენებით მიღებული შედეგები.

	გამოთვლილი (პირველი რიგის საინტერპოლაციო პოლინომით)			
N	X ₁	X ₂	X ₃	f
1	1	89.5	47.5	1.56
2	1.2	86.8	48.	1.602
3	2.5	74.	52.	2.065
4	3.5	66.	56.	2.445

ცხრილი N15. პირველი რიგის საინტერპოლაციო პოლინომის გამოყენებით მიღებული შედეგები.

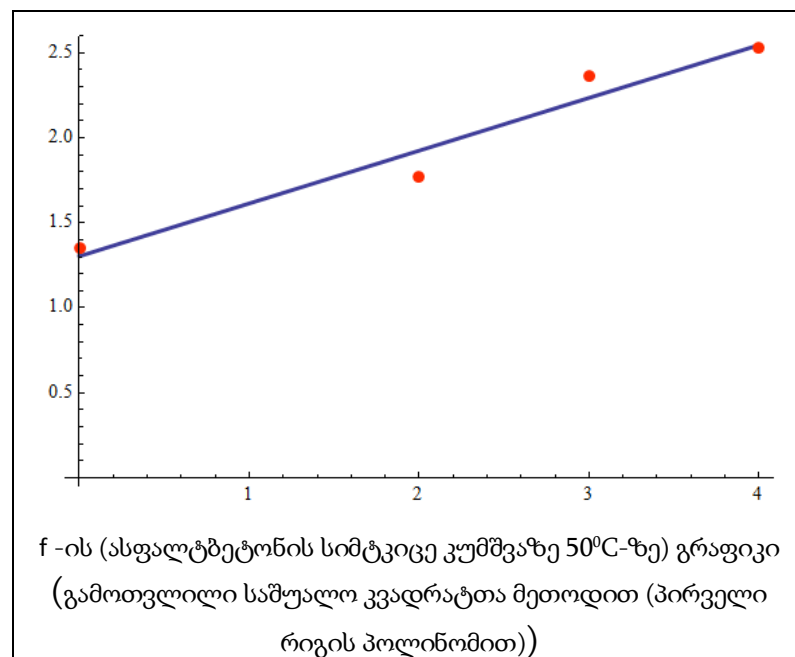
შემდეგ მათემატიკური მოდელის საშუალებით მიღებული შედეგების სიზუსტის შესაფასებლად ჩვენს მიერ ჩატარებულ იქნა ფიზიკური ექსპერიმენტი იმ შემთხვევისათვის როდესაც X_1 (ბიტუმში პოლიმერის პროცენტული შემცველობა)=2.5. ფიზიკური ექსპერიმენტის შედეგად მივიღეთ შემდეგი შედეგები $x_2 = 73$; $x_3 = 51$ და $f = 2.10$ რაც როგორც ვხედავთ კარგად ეთანხმება მათემატიკური მოდელების საშუალებით მიღებულ შედეგებს.

ეს ადასტურებს ჩვენს მიერ გამოთქმულ მოსაზრებას იმის შესახებ რომ მათემატიკური მოდელი შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ექსპერიმენტის შედეგების პროგნოზირებისათვის. ცხადია მათემატიკური მოდელის სიზუსტე კიდევ უფრო გაიზრდება თუ გვექნება ექსპერიმენტის მეტი რაოდენობის მონაცემი. აგრეთვე თუ გამოვიყენებთ მრავალგანზომილებიან ინტერპოლაციას ჩვენთვის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი პარამეტრის f (ასფალტბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე 50°C-ზე) პროგნოზირებისათვის[26]. რადგან როგორც ვიცით f არსებითად არის დამოკიდებული x_1 , x_2 და x_3 -ზე. შესაძლებელია აგრეთვე შებრუნებული ინტერპოლაციის გამოყენება როდესაც f -ის ჩვენთვის საინტერესო მნიშვნელობის მისაღებად დავადგენთ x_1 , x_2 და x_3 ცვლადების მნიშვნელობებს. ეს კი საშუალებას მოგვცემს წინასწარ დავგეგმოთ ექსპერიმენტი.

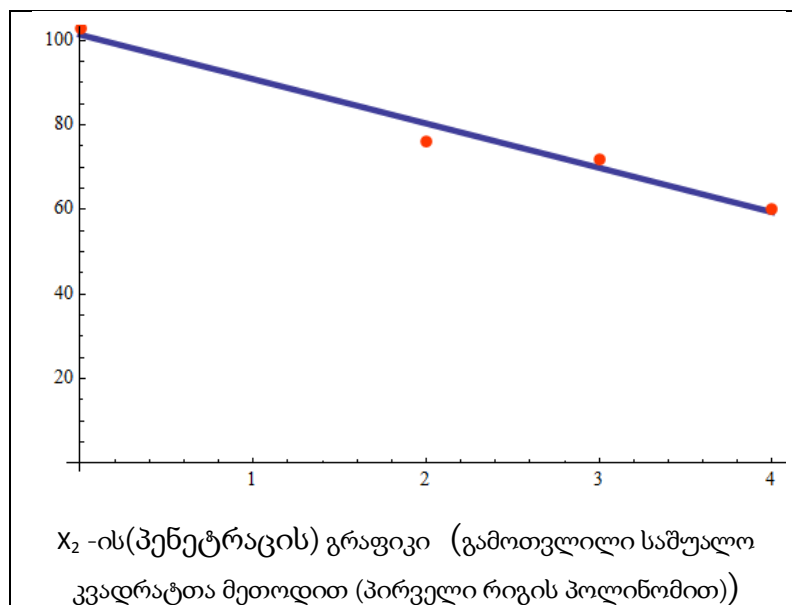
II. იგივე ამოცანა ამოხსნილ იქნა უმცირეს კვადრატთა მეთოდით. კვლავ გამოყენებულ იქნა კომპიუტერული პაკეტი „Mathematica 8“. გამოთვლების შედეგები მოყვანილია ცხრილში N16.

N	ექსპერიმენტების შედეგად მიღებული მონაცემები			
	X_1	X_2	X_3	f
1	0	103	45	1.35
2	2	76	50	1.77
3	3	72	54	2.36
4	4	60	58	2.53
გამოთვლილი საშუალო კვადრატთა მეთოდით (პირველი რიგის პოლინომით)				
5	1	90.86	47.71	1.614
6	1.2	88.76	48.36	1.676
7	2.5	75.13	52.56	2.08
8	3.5	64.64	55.79	2.39

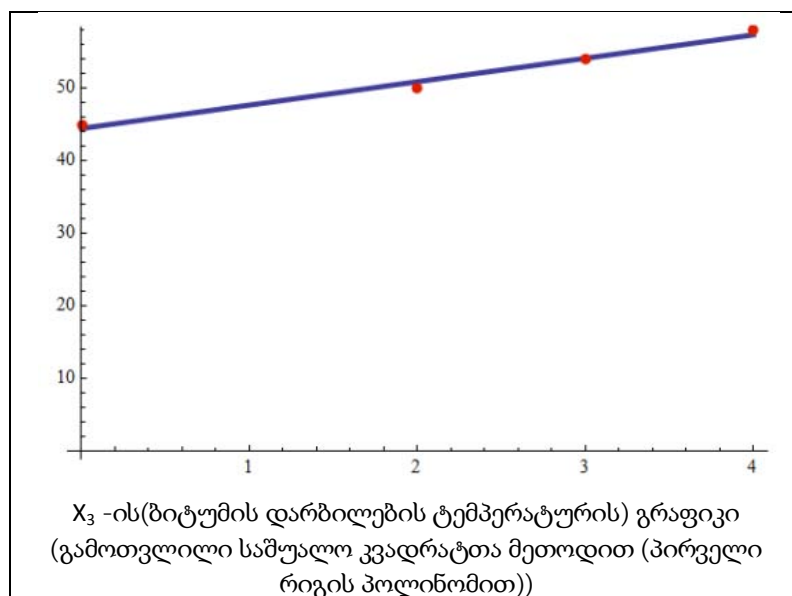
ცხრილი N16. საშუალო კვადრატთა მეთოდის გამოყენებით მიღებული შედეგები



ნახ. 44.



ნახ. 45.



ნახ. 46.

როგორც ვხედავთ $x_2(2.5)$, $x_3(2.5)$ და $f(2.5)$ -ის ექსპერიმენტის შედეგად მიღებული შედეგები კარგად ეთანხმება გამოთვლების საშუალებით მიღებულ შედეგებს.

უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენება განსაკუთრებით მიზანშეწონილია იმ შემთხვევაში როდესაც საქმე გვაქვს ფიზიკური ექსპერიმენტის დიდი რაოდენობის მონაცემებთან.

თავი III. შედეგები და მათი განსჯა

3.1 პოლიმერებით მოდიფიცირებული ბიტუმების კვლევის შედეგები

- როგორც გრაფიკებიდან ჩანს ტერპოლიმერთა და თერმოელასტოპლასტით მოდიფიცირებული ბიტუმების პენეტრაციის მაჩვენებელი თითქმის წრფივად მცირდება(37-56%-ით). გამოყენებული პოლიმერებიდან ყველაზე მკვეთრად პენეტრაციის შემცირებას იწვევს ტერპოლიმერი. 2% პოლიეთილენისა და ლატექსის ნაერთის ბიტუმში შერევა იწვევს მისი პენეტრაციის მკვეთრ შემცირებას, 2-დან 3%-მდე ხდება მისი სტაბილიზაცია, ხოლო 4%-მდე დანამატის შემცველობის ზრდისას ხდება სიბლანტის შემდგომი მატება.
- დარბილების ტემპერატურა განსაზღვრავს ბიტუმის დრეკადბლანტი მდგომარეობიდან ბლანტ რეოლოგიურ მდგომარეობაში გადასვლას ან მუშა ტემპერატურული ინტერვალის ზედა ზღვარს. ის ასევე ახასიათებს საფარის ძვრისადმი მედეგობას. როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს, ჩვენს მიერ გამოყენებული პილიმერები საგრძნობლად(39-71%-ით) ზრდის საწყისი ბიტუმის დარბილების ტემპერატურას, მათგან ყველაზე მეტად კი ტერპოლიმერი. დარბილების ტემპერატურის გაზრდით ამაღლდება საფარის ძვრისადმი მედეგობა.
- სიმყიფის ტემპერატურა არის ბიტუმის მუშა ტემპერატურული ინტერვალის ქვედა ზღვარი რომელიც განსაზღვრავს საფარის ბზარმედეგობას. როგორც გრაფიკებიდან ჩანს ჩვენს მიერ გამოყენებული პოლიმერული დანამატების შერევა მოცემული რაოდენობებით პრაქტიკულად არ ახდენს გავლენას ბიტუმის სიმყიფის ტემპერატურაზე და ის მხოლოდ უმნიშვნელოდ იცვლება. ეს მნიშვნელოვანია საფარის დაბალი ტემპერატურების პირობებში ექსპლუატაციის დროს;

- ელასტიურობა 25⁰ C-ზე. როგორც გრაფიკიდან ჩანს პოლიმერების ბიტუმში შერევა იწვევს საწყისი ბიტუმის ელასტიურობის მაჩვენებლის მნიშვნელოვან(3-4ჯერ) ზრდას, ხოლო რაც უფრო დიდია ბიტუმის ეს მაჩვენებელი მით უფრო მაღალია საფარის მარვალჯერადი დინამიური ზემოქმედებისადმი მდგრადობა და ხანგამძლეობა დადებით ტემპერატურებზე. ასევე იზრდება შეუქცევადი ძვრის დეფორმაციებისა და დაღლილობის ბზარების წარმოქმნისადმი მედეგობა;
- ცდებით გამოვლინდა, რომ ჩვენს მიერ გამოყენებული პოლიმერებით იზრდება(14-33°C-ით) ბიტუმის მუშა ინტერვალი(სხვაობა ბიტუმის სიმყიფის ტემპერატურასა და დარბილების ტემპერატურას შორის) ეს კი გამოიწვევს ასფალტბეტონის ნარევის დრეკადპლასტიკური ინტერვალის(გამოყენების ეფექტური ინტერვალი) გაფართოებას;
- გამოვლინდა რომ ჩვენს მიერ გამოყენებულ პოლიმერებზე მოდიფიცირებულ ბიტუმს გააჩნია ადგილობრივ ქვის მასალებთან მდგრადი მიკვრის ხარისხი(ათჰეზია).

3.2. პოლიმერით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების ГОСТ 12801-98 მიხედვით კვლევის შედეგები

ჩვენს მიერ ჩატარებულმა კვლევებმა გამოავლინა, რომ პოლიმერებით(მეორადი პოლიეთილენისა და ლატექსის ნარევით და ტერპოლიმერით) მოდიფიცირებული ბიტუმებით დამზადებული ასფალტბეტონის ნიმუშების სიმტკიცე 50°C-ზე იზრდება თითქმის ორჯერ(87-91%-ით), ასევე იზრდება მისი თბომედეგობა. ყოველივე ეს უზრუნველყოფს ცხელი კლიმატის პირობებში ასფალტბეტონის საფარის უკეთეს სიმტკიცეს და ძვრისადმიმედეგობას.

მიღებული შედეგების მიხედვით პოლიმერასფალტბეტონს ჩვეულებრივთან შედარებით გააჩნია უფრო მაღალი საშუალო სიმკვრივე.

საშუალო სიმკვრივე იზრდება პოლიმერის შემცველობის ზრდასთან ერთად, ხოლო წყალშთანთქმა მცირდება. ასევე უნდა აღინიშნოს რომ იზრდება ასფალტბეტონის წყალმედვეობის კოეფიციენტები და მცირდება მისი გაჯირჯვების პროცენტული მაჩვენებელი.

კვლევებით ასევე დადგინდა, რომ ჩვენს მიერ გამოყენებული პოლიმერებზე დამზადებულ ასფალტბეტონს ახასიათებს დაბალი ტემპერატურული მგრძობელობა, რომელიც ასევე ახასიათებს სხვა პოლიმერ-ასფალტბეტონებს.

კვლევებით ასევე დადგინდა, რომ ჩვენს მიერ გამოყენებული პოლიმერებზე დამზადებული ასფალტბეტონი ავლენს სხვა პოლიმერ-ასფალტბეტონებისათვის დამახასიათებელ თავისებურებას - დაბალ ტემპერატურულ მგრძობელობას.

ტემპერატურული მგრძობელობის კოეფიციენტი განისაზღვრება როგორც ასფალტბეტონის 50°C-ზე სიმტკიცის ზღვრის შეფარდება ამავე მაჩვენებელთან 0°C-ზე ($K = \frac{R_{50}}{R_0}$). ეს მაჩვენებელი ჩვენს შემთხვევაში იზრდება 2-ჯერ. აღნიშნული უზრუნველყოფს ასფალტბეტონის გაზრდილ თბომედვეობასა და ბზარმედვეობას.

3.3 მარშალის მეთოდით ასფალტბეტონის ნიმუშების თვისებების კვლევის შედეგები

ჩვენს მიერ ჩატარებული ცდებიდან გამოვლინდა რომ გამოყენებული პოლიმერების პროცენტული რაოდენობის ზრდასთან ერთად იზრდება ასფალტბეტონის სტაბილურობა(69-79%-ით) და პირობითი სიხისტის მაჩვენებელი, ხოლო პლასტიკურობის პირობითი მაჩვენებელი - დენადობა მცირდება 43%-ით. როგორც უკვე ავღნიშნეთ ძვრისადმი მედეგობა ხასიათდება პირობითი პლასტიკურობით ანუ ეგრეთწოდებული დენადობით მარშალის მიხედვით, ამიტომ დენადობის შემცირებით

ვლელულობთ ჩვეულებრივთან შედარებით უფრო მეტად ძვრისადმი მედეგ ასფალტბეტონს.

ამასთან უნდა აღინიშნოს რომ ამერიკის შეერთებულ შტატებში მარშალის მეთოდი გამოიყენება ასფალტბეტონის ნარევის პროექტირებისას და ამ მეთოდით რეკომენდირებულია ისეთი ნარევის შერჩევა, რომელსაც ყველაზე მაღალი სტაბილურობა აქვს. მაგრამ ამასთან უნდა გავითვალისწინოთ, რომ არასასურველია ისეთი ნარევის დამზადება რომლებსაც აქვს ზედმეტად მაღალი სტაბილურობის მაჩვენებელი დაბალ პლასტიკურობასთან ერთად, იმიტომ რომ ასეთ ნარევებზე დამზადებული საფარები ზედმეტად ხისტია და შესაძლებელია დაიზაროს დაბალ ტემპერატურებზე და მძიმეწონიანი ტრანსპორტის მოძრაობის დროს. ამის გამო აუცილებელია ასფალტბეტონის ნარევის პროექტირებისას საუკეთესო შუალედის პოვნა მოცემული კლიმატური პირობებისა და დატვირთვების გათვალისწინებით.

ნარევის პროექტირებისას ამერიკის შეერთებულ შტატებში ითვალისწინებენ მოთხოვნას, რომლის მიხედვითაც დენადობა მარშალის ცდის მიხედვით უნდა იყოს 2 მმ-ზე ნაკლები [30]. ჩვენს მიერ მიღებული შედეგები აკმაყოფილებს ამ პირობას.

მარშალის მეთოდით ასფალტბეტონის ნიმუშების გამოცდა ტარდება 60°C ზე და ჩატარებული ცდებიდან გამოვლინდა, რომ პოლიმერები ზრდის მაქსიმალურ მრღვევ მაღას(სტაბილურობას) ანუ იზრდება მაღალ ტემპერატურაზე ასფალტბეტონის სიმტკიცე, რაც მნიშვნელოვანია ჩვენი კლიმატური პირობებისათვის. მიღებული შედეგებიდან შესაძლებელია დავასკვნათ, რომ გამოყენებული პოლიმერებით შესაძლებელია ძვრის დეფორმაციებისადმი უფრო მედეგი ასფალტბეტონის დამზადება, ასევე უნდა აღინიშნოს ის, რომ ჩვენს მიერ გამოყენებული პოლიმერები მნიშვნელოვნად ზრდის საწყისი ბიტუმის ელასტიურობას(იხ. პოლიმერბიტუმის გამოცდის შედეგები) რაც ამაღლებს ასფალტბეტონის ბზარმედეგობას.

3.4 ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის კვლევის შედეგები

- შემკვრელით დამუშავების გარეშე ა/ბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალა გერმანული (ZTV Asphalt-StB 07) ნორმით გათვალისწინებულ მინიმალურ მნიშვნელობასთან ახლოსაა ან ხშირად მასზე საგრძნობლად ნაკლებია;
- ასფალტბეტონის ქვედა ფენის პოლიმერთ მოდიფიცირებული ბიტუმით დამუშავების შემთხვევაში მატულობს ფენებს შორის ჩაჭიდების ძალა და ის ნორმით გათვალისწინებულ მინიმალურ მაჩვენებელს მნიშვნელოვნად აღემატება(33%-ით მეორადი პოლიეთილენისა და ლატექსის ნარევეთით და 37%-ით ტერპოლიმერით);
- ბიტუმში პოლიმერის პროცენტული შემცველობის ზრდასთან ერთად მატულობს ფენებს შორის ჩაჭიდების ძალა;
- საგზაო საფარის ზედა და ქვედა ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის გაზრდით გამოირიცხება ამ ფენების რხევები საწინააღმდეგო ფაზებში;
- ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის გაზრდის შედეგად ხდება ზედა ფენაზე ჰორიზონტალური დატვირთვებით გამოწვეული ძვრის დეფორმაციების შემცირება ფენების შეხების ზედაპირის გასწვრივ და ქვედა მსხვილმარცვლოვან ფენაზე დატვირთვების უკეთესი გადანაწილება;
- ა/ბ ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის გაზრდა გამოიწვევს ფენილის მზიდუნარიანობის ძვრისადმი მედეგობის და ბზარმედეგობის ამალღებას.

დასკვნა

ჩვენს მიერ ჩატარებულმა კვლევებმა გამოავლინა, რომ პოლიმერებით(მეორადი პოლიეთილენისა და ლატექსის ნარევით და ტერპოლიმერით) მოდიფიცირებული ბიტუმები აუმჯობესებს ასფალტბეტონის ნარევის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებს. 50°C-ზე ასფალტბეტონის ნიმუშების სიმტკიცე იზრდება თითქმის ორჯერ(87-91%-ით) ხოლო 20°C-ზე 66-71%-ით, ასევე იზრდება მისი თბომედეგობა. ყოველივე ეს კი მნიშვნელოვნად გაზრდის საფარის მზიდუნარიანობას.

მოდიფიცირებულ ბიტუმს გააჩნია გაუმჯობესებული ათჰეზიური(ქვის მასალასთან უკეთესი მიკვრის ხარისხი) და კოჰეზიური თვისებები. ამიტომ პოლიმერული მასალების გამოყენებით დამზადებული ასფალტბეტონის საფარიდან შემცირდება ღორღის მარცვლების ამოცვენა ჩვეულებრივ საფართან შედარებით, მათი გამოყენებით მოწყობილი ზედაპირული დამუშავების ფენა იქნება ბევრად მდგრადი. ყოველივე ეს მნიშვნელოვნად აამაღლებს საფარის ცვეთამედეგობასა და ხორკლიანობას.

მოდიფიცირებულ ბიტუმით დამზადებულ ასფალტბეტონს მაღალ ტემპერატურაზე ჩვეულებრივთან შედარებით აქვს მაღალი სიმტკიცე(ეს გამოწვეულია მოდიფიცირებული ბიტუმის დარბილების ტემპერატურისა და სიბლანტის მატებით). საქართველოს კლიმატის გათვალისწინებით ეს მნიშვნელოვანი ფაქტორია, რადგან მაღალი ტემპერატურების დროს ჩვენთან საფარი განიცდის ძვრის დეფორმაციებს რაც საბოლოო ჯამში იწვევს სისწორის მნიშვნელოვან გაუარესებას. მარშალის მეთოდით კვლევებმა გვაჩვენა, რომ პოლიმერების გამოყენება 43%-ით ამცირებს ასფალტბეტონის ნარევის დენადობას და 69-79%-ით ზრდის სტაბილურობას, რაც უზრუნველყოფს ძვრისადმი მედეგობის ამაღლებას.

ამრიგად დასტურდება რომ პოლიმერიული დანამატების გამოყენებით გაუმჯობესებდება საგზაო ფენილის საექსპლუატაციო თვისე-

ბები(მაჩვენებლები) როგორებიცაა სიმტკიცე, სისწორე, ხორკლიანობა და ცვეთამედეგობა.

დანართი N1

მარშალის მეთოდით ასფალტბეტონის გამოცდის გრაფიკები

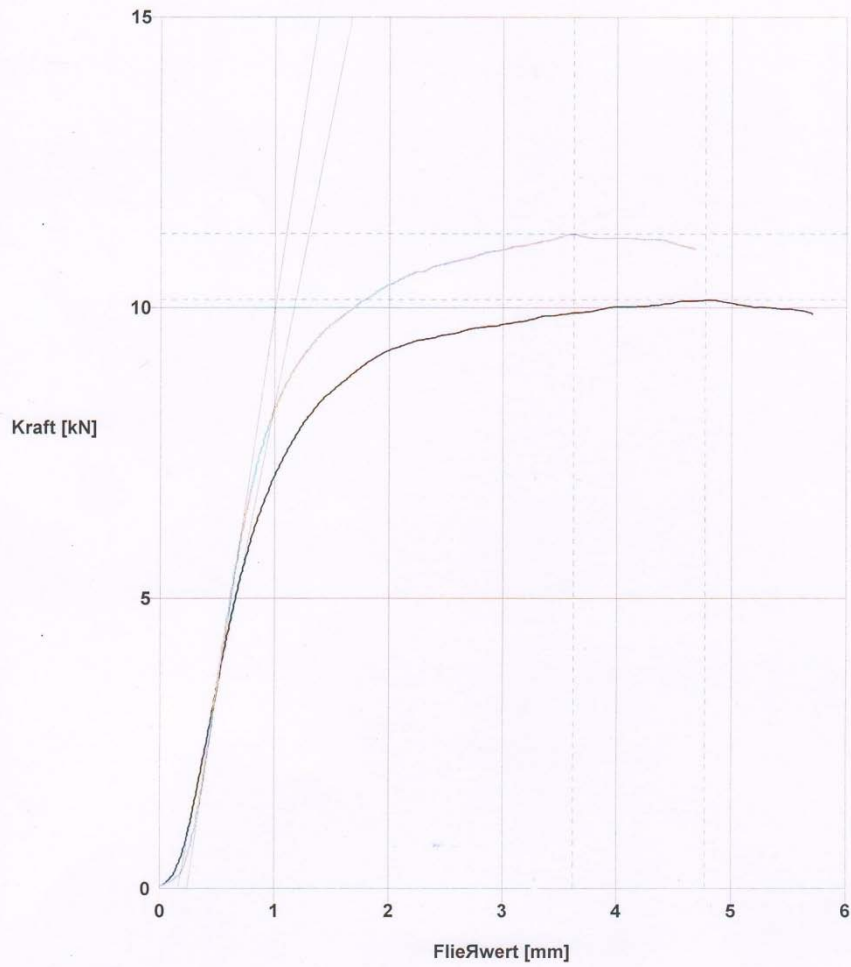
Datum: 17.01.2012
Zeit: 12:17:44

ProbenNr: CDA I.

Mittelwerte nach DIN EN 12697-34:2004

Marshall-Stabilität 10,9 kN
Fließwert 4,0 mm
Tangentialer Fließwert 1,0 mm
Marshall-Quotient 11,7 kN/mm

Max. Last	Fließwert	Probenhöhe	Stabilität	T. Fließwert	Marshall-Quotient
S	F	h	S,	Ft	
[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN/mm]
10,1	4,6	63,8	10,2	1,0	9,9
11,3	3,4	62,7	11,6	0,9	13,5

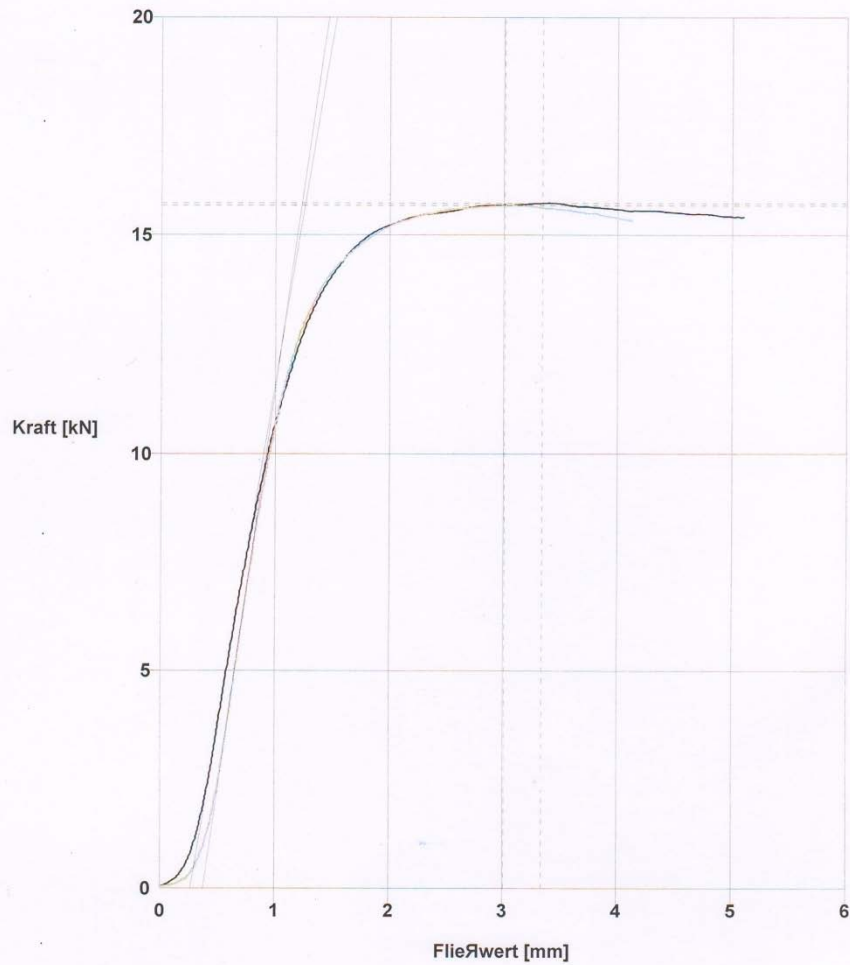


Datum: 18.01.2012
Zeit: 11:36:30

ProbenNr: CDA II.

Mittelwerte nach DIN EN 12697-34:2004
Marshall-Stabilität 15,5 kN
Fließwert 2,9 mm
Tangentialer Fließwert 1,0 mm
Marshall-Quotient 16,9 kN/mm

Max. Last S	Fließwert F	Probenhöhe h	Stabilität S	T. Fließwert Ft	Marshall-Quotient
[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN/mm]
15,7	3,1	64,7	15,4	1,0	15,5
15,7	2,6	64,4	15,5	0,9	18,2



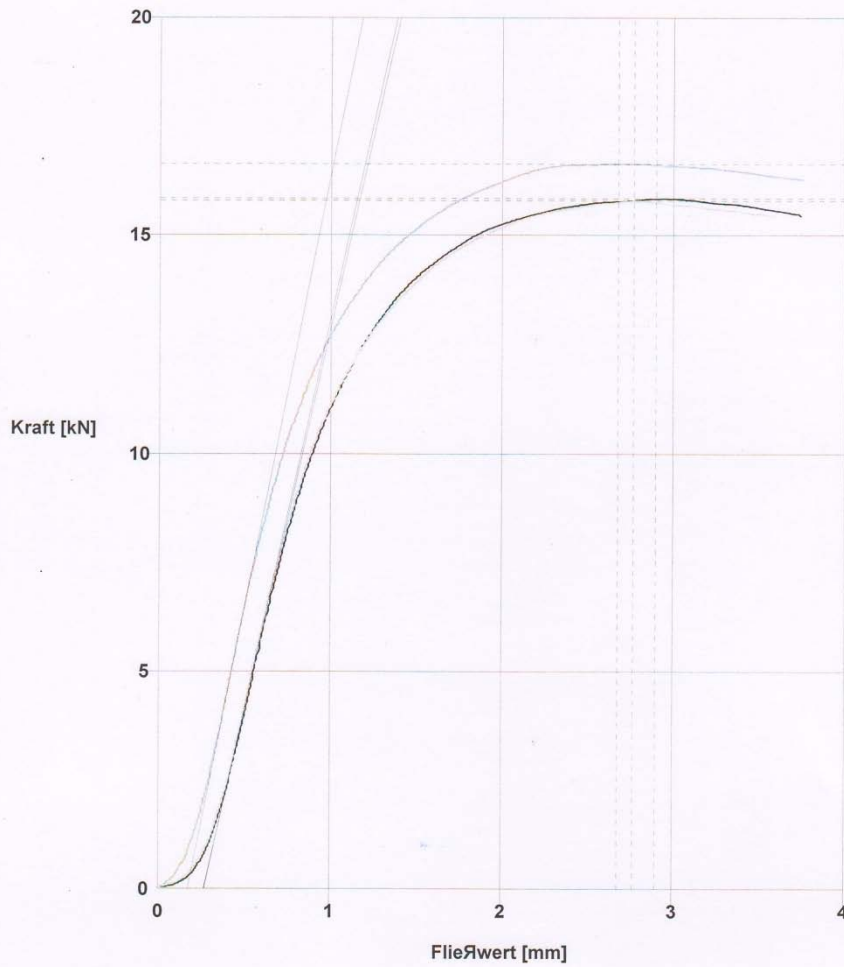
© infraTest / UniPress V3.19

Datum: 18.01.2012
 Zeit: 14:07:23

ProbenNr: CDA III.

Mittelwerte nach DIN EN 12697-34:2004
 Marshall-Stabilität 17,4 kN
 Fließwert 2,5 mm
 Tangentialer Fließwert 0,9 mm
 Marshall-Quotient 20,0 kN/mm

Max. Last S [kN]	Fließwert F [mm]	Probenhöhe h [mm]	Stabilität S, Ft [kN]	T. Fließwert [mm]	Marshall-Quotient [kN/mm]
15,8	2,6	60,7	17,2	0,9	19,1
16,6	2,5	60,8	18,0	0,8	21,5
15,8	2,5	60,9	17,1	0,9	19,4



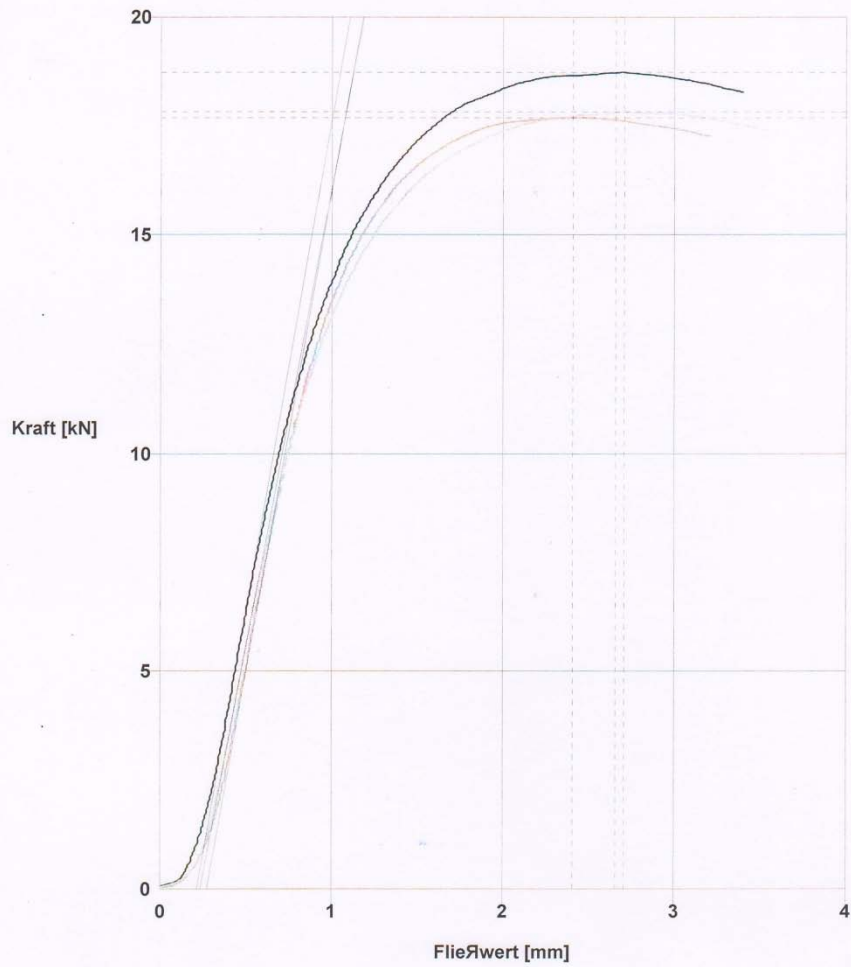
© infraTest / UniPress V3.19

Datum: 20.01.2012
Zeit: 12:25:49

ProbenNr: CDA IV.

Mittelwerte nach DIN EN 12697-34:2004
Marshall-Stabilität 19,5 kN
Fließwert 2,3 mm
Tangentialer Fließwert 0,8 mm
Marshall-Quotient 23,5 kN/mm

Max. Last S [kN]	Fließwert F [mm]	Probenhöhe h [mm]	Stabilität S _t [kN]	T. Fließwert Ft [mm]	Marshall-Quotient [kN/mm]
18,7	2,4	60,9	20,2	0,8	24,2
17,7	2,1	61,3	18,9	0,8	23,5
17,8	2,5	60,9	19,3	0,8	22,7



© infraTest / UniPress V3,19

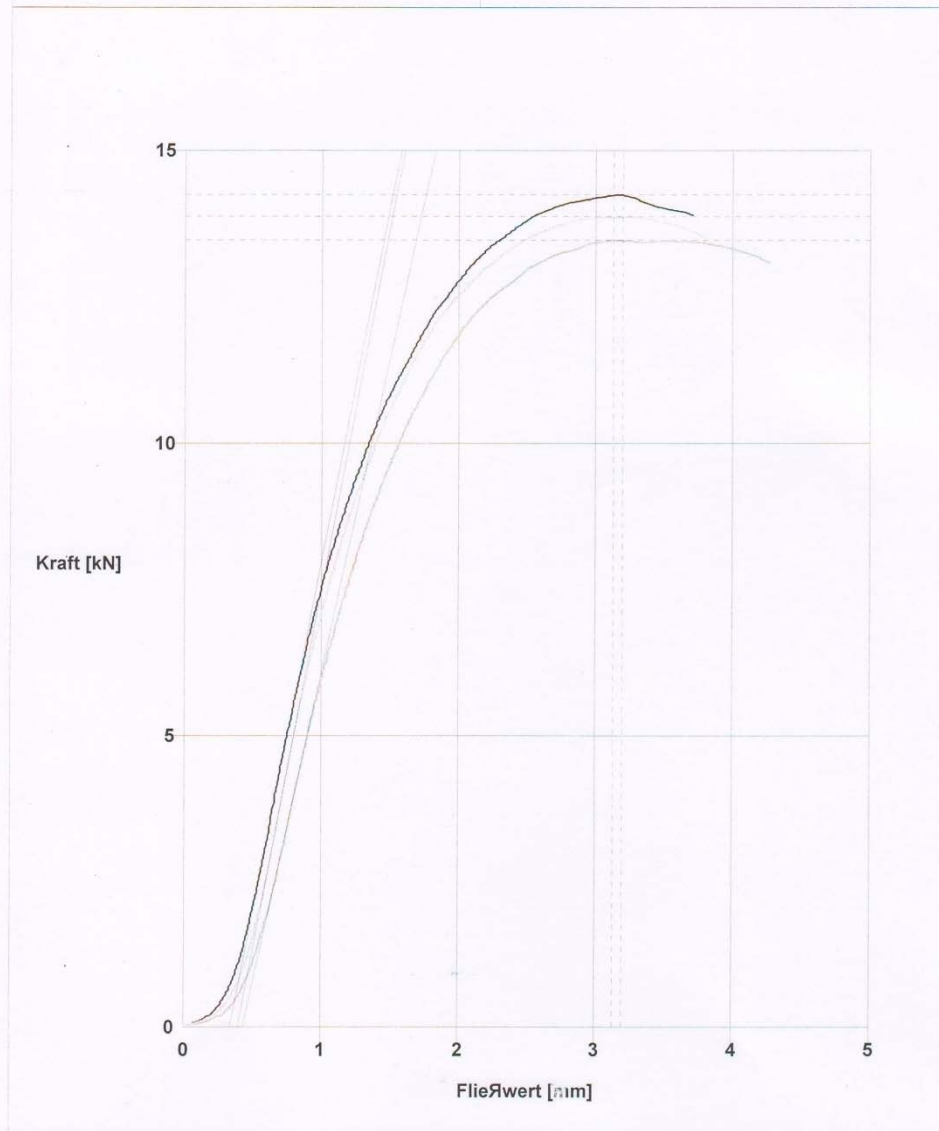
Datum: 15.02.2012
Zeit: 12:28:15

ProbenNr: CDA V.

Mittelwerte nach DIN EN 12697-34:2004

Marshall-Stabilität 14,9 kN
Fließwert 2,8 mm
Tangentialer Fließwert 1,2 mm
Marshall-Quotient 12,6 kN/mm

Max. Last	Fließwert	Probenhöhe	Stabilität	T. Fließwert	Marshall-Quotient
S	F	h	S	Ft	
[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN/mm]
14,2	2,9	61,1	15,3	1,2	13,0
13,5	2,7	61,2	14,4	1,3	11,5
13,9	2,8	61,2	14,9	1,1	13,3



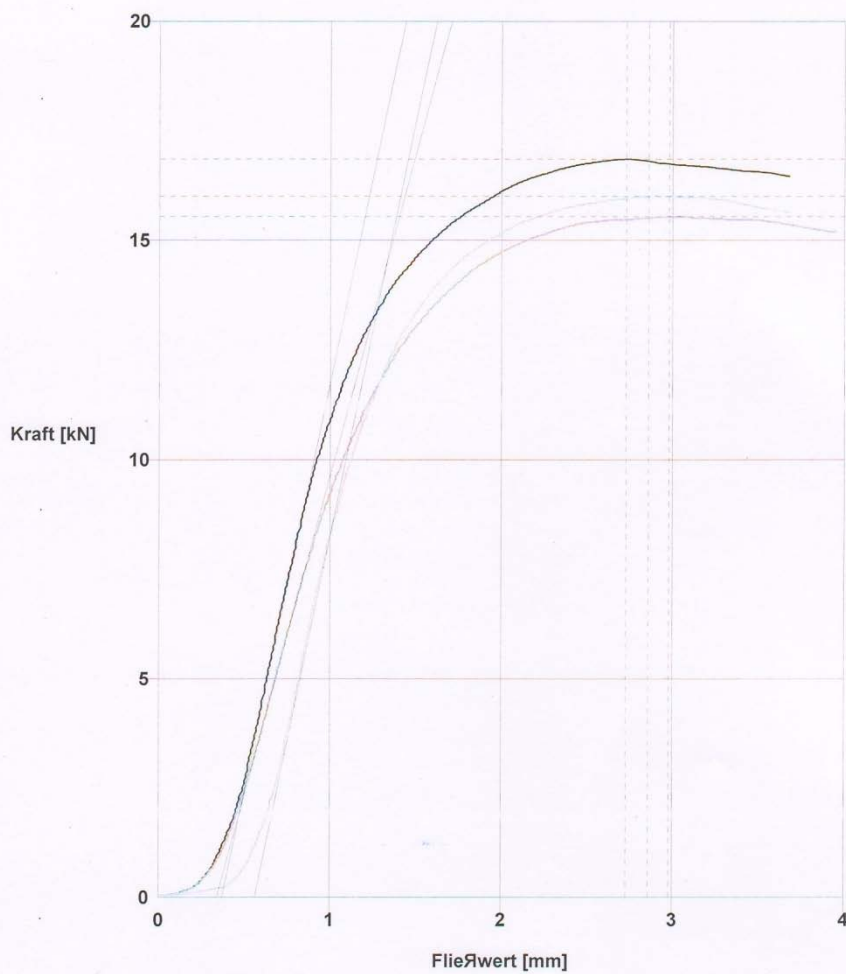
© InfraTest / UniPress V3.19

Datum: 17.02.2012
 Zeit: 12:31:09

ProbenNr: CDA VI.

Mittelwerte nach DIN EN 12697-34:2004
 Marshall-Stabilität 16,9 kN
 Fließwert 2,4 mm
 Tangentialer Fließwert 0,9 mm
 Marshall-Quotient 18,3 kN/mm

Max. Last S	Fließwert F [mm]	Probenhöhe h [mm]	Stabilität S _t [kN]	T. Fließwert Ft [mm]	Marshall-Quotient [kN/mm]
16,8	2,4	61,9	17,7	0,9	19,7
15,5	2,6	62,0	16,3	1,1	15,4
16,0	2,3	62,0	16,8	0,8	19,8



© infraTest / UniPress V3,19

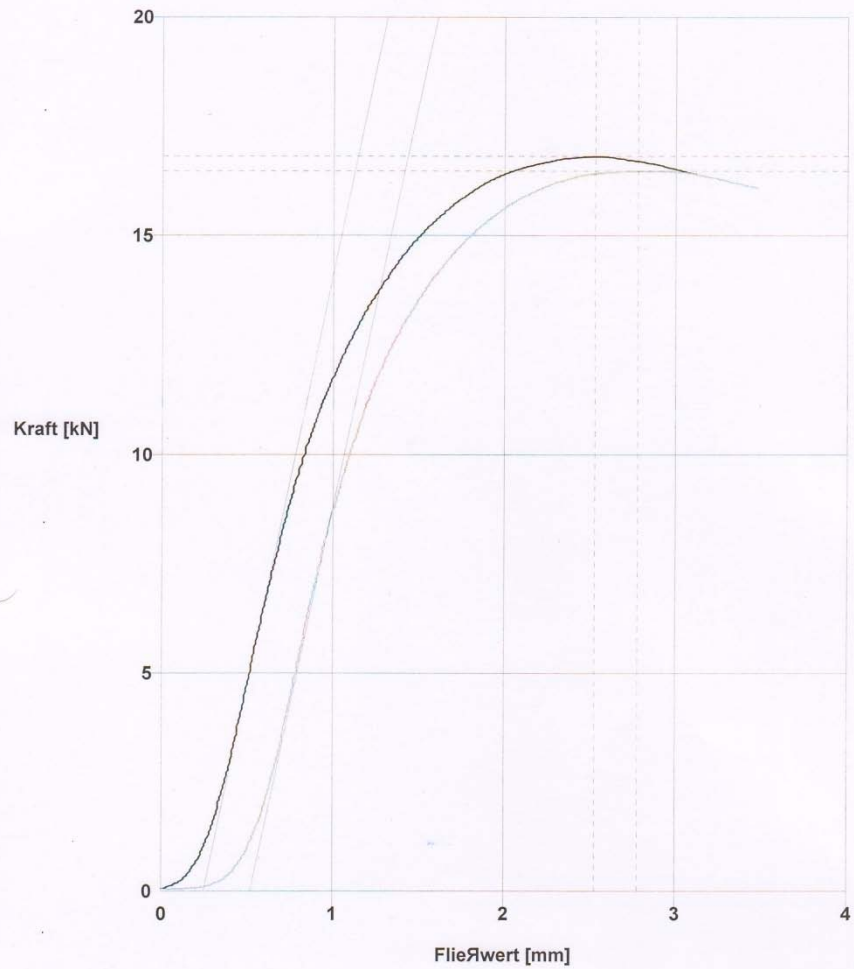
Datum: 17.02.2012
Zeit: 14:39:40

ProbenNr: CDA VII.

Mittelwerte nach DIN EN 12697-34:2004

Marshall-Stabilität 18,4 kN
Fließwert 2,3 mm
Tangentialer Fließwert 0,9 mm
Marshall-Quotient 20,5 kN/mm

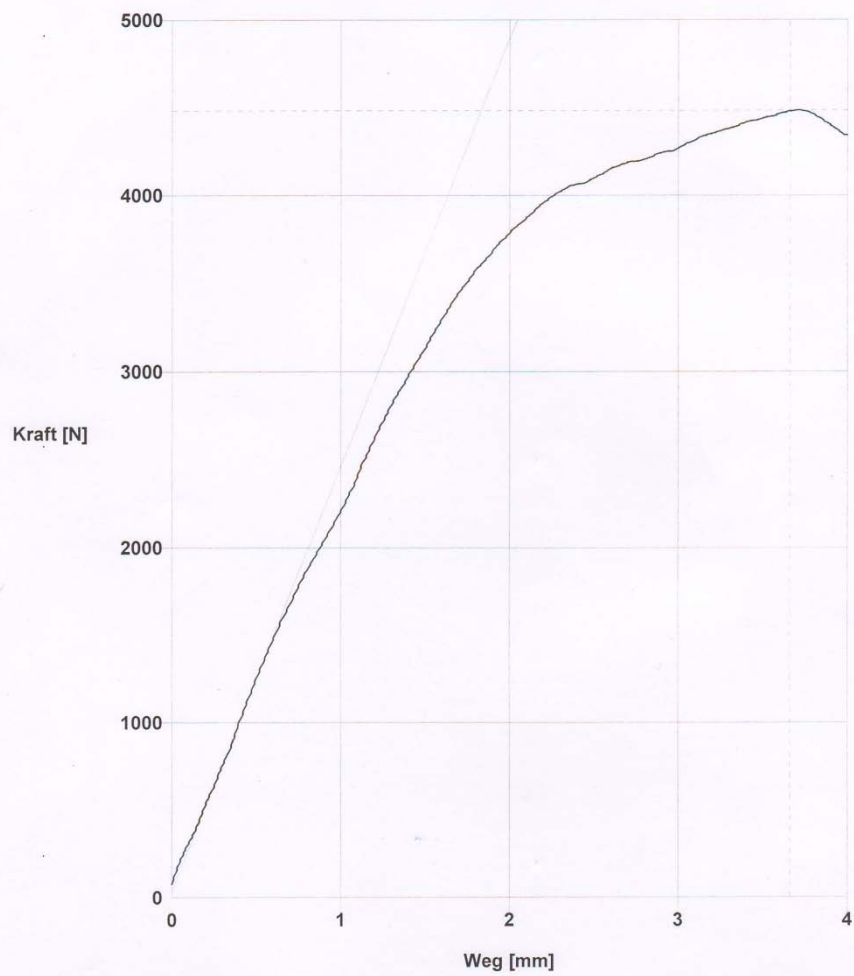
Max. Last	Fließwert	Probenhöhe	Stabilität	T. Fließwert	Marshall-Quotient
S	F	h	S,	Ft	
[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN/mm]
16,8	2,3	60,0	18,6	0,9	20,8
16,5	2,3	60,2	18,1	0,9	20,2



დანართი N2

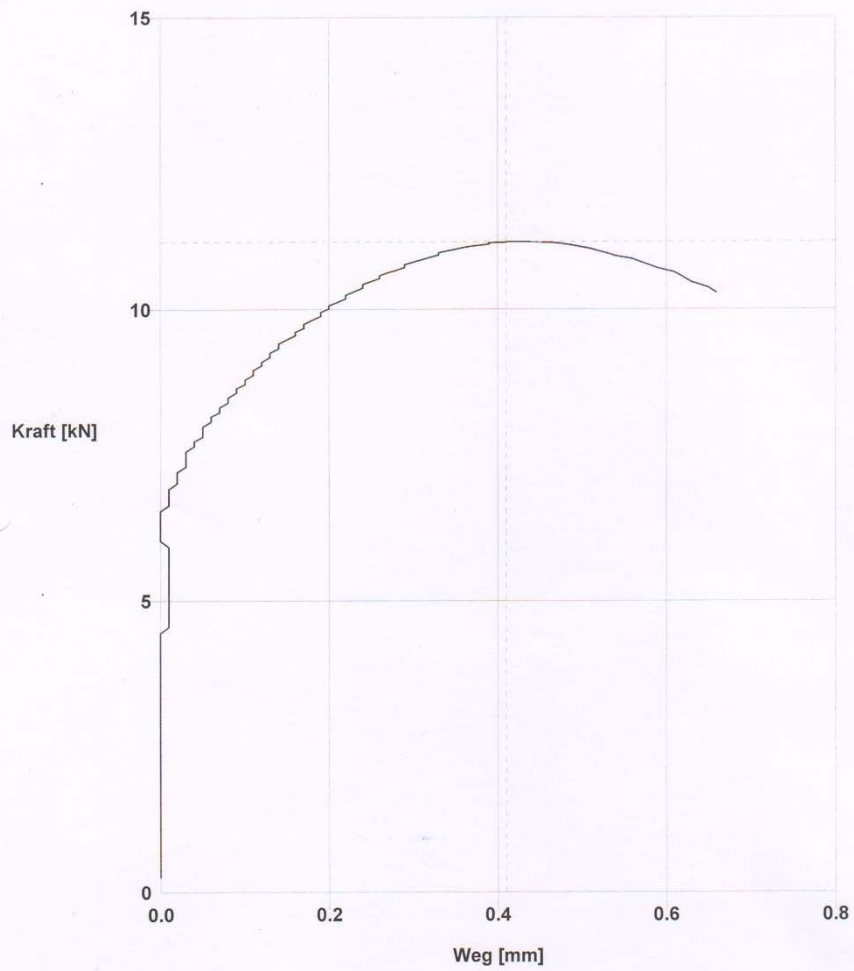
ასფალტბეტონის ფენებს შორის შეჭიდულობის ძალის გამოცდის
გრაფიკები

Datum: 13.09.2011
Zeit: 13:34:14
Proben-
nummer: (L) K-234
Scherwerte: 4,5 kN
3,7 mm



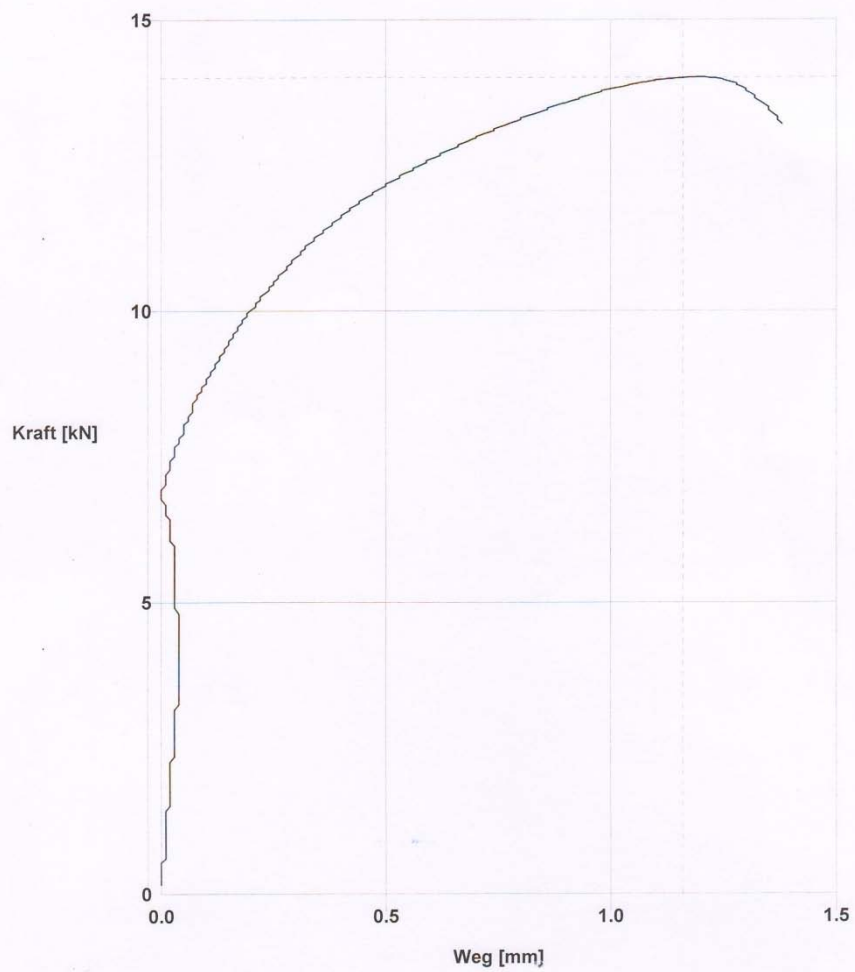
© infraTest / UniPress V3.19

Datum: 10.05.2012
Zeit: 10:26:49
Proben-
nummer: (L) K-576
Scherwerte: 11,1 kN
0,4 mm



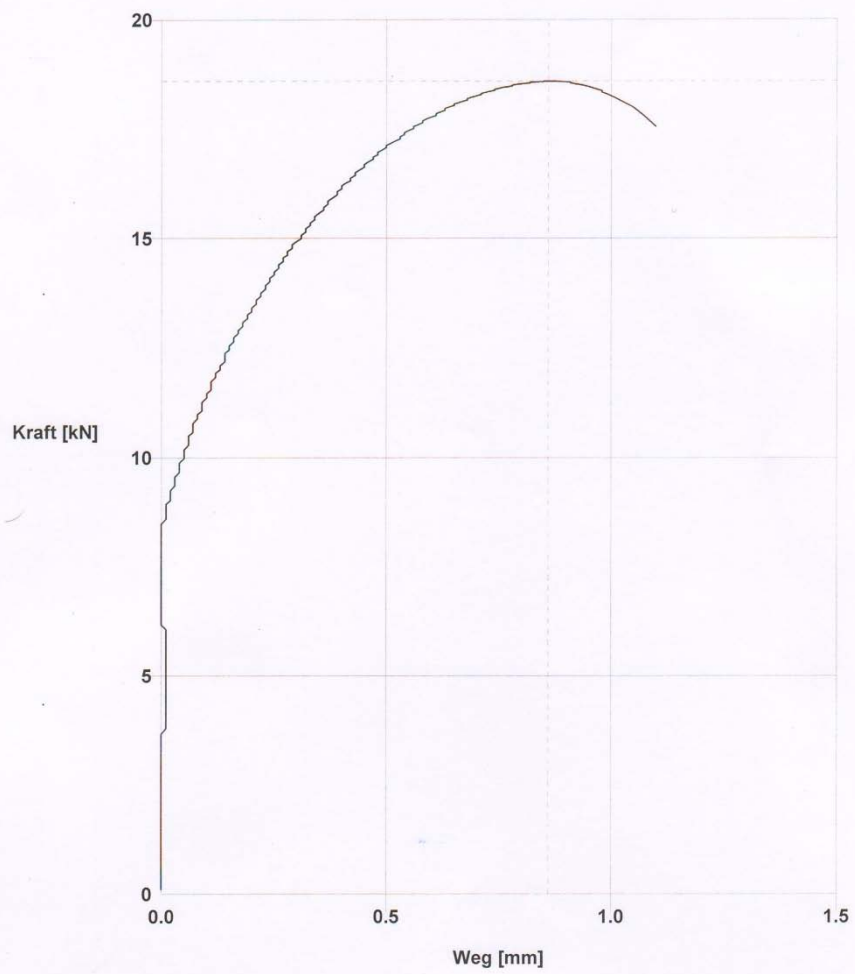
© infraTest / UniPress V3.19

Datum: 05.06.2012
Zeit: 15:12:53
Proben-
nummer: (L) K-785
Scherverte: 14,0 kN
1,2 mm



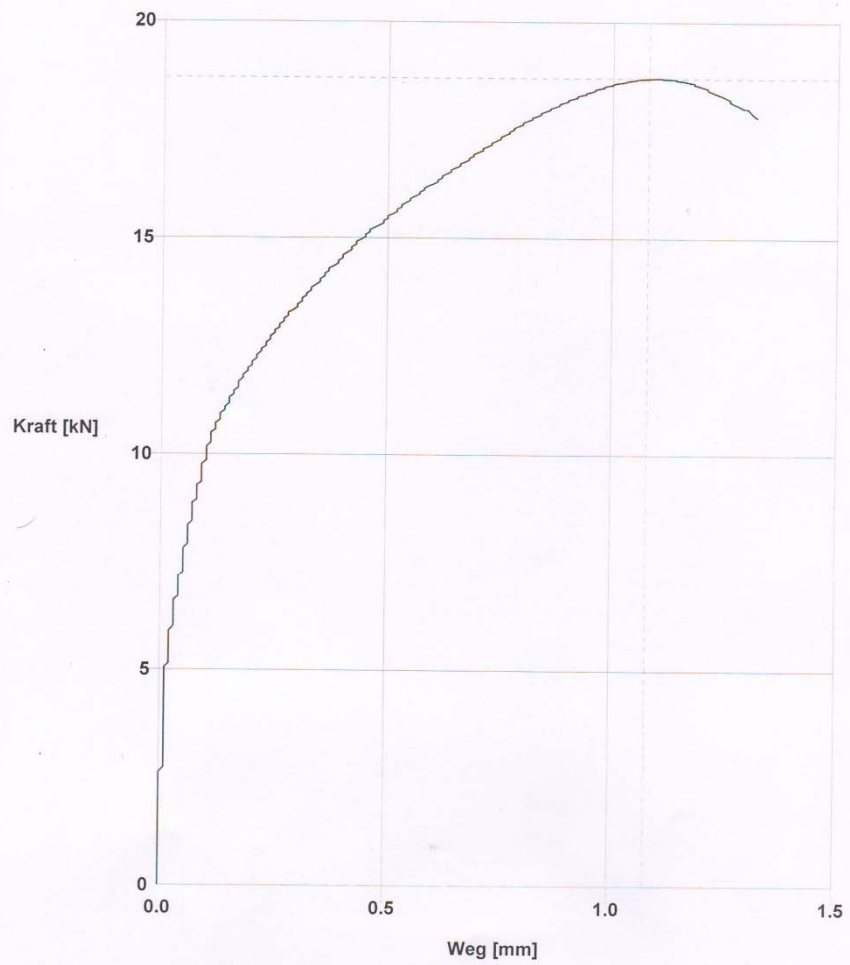
© infraTest / UniPress V3,19

Datum: 03.07.2012
Zeit: 16:52:51
Proben-
nummer: (L) K-192
Scherwerte: 18,6 kN
0,9 mm



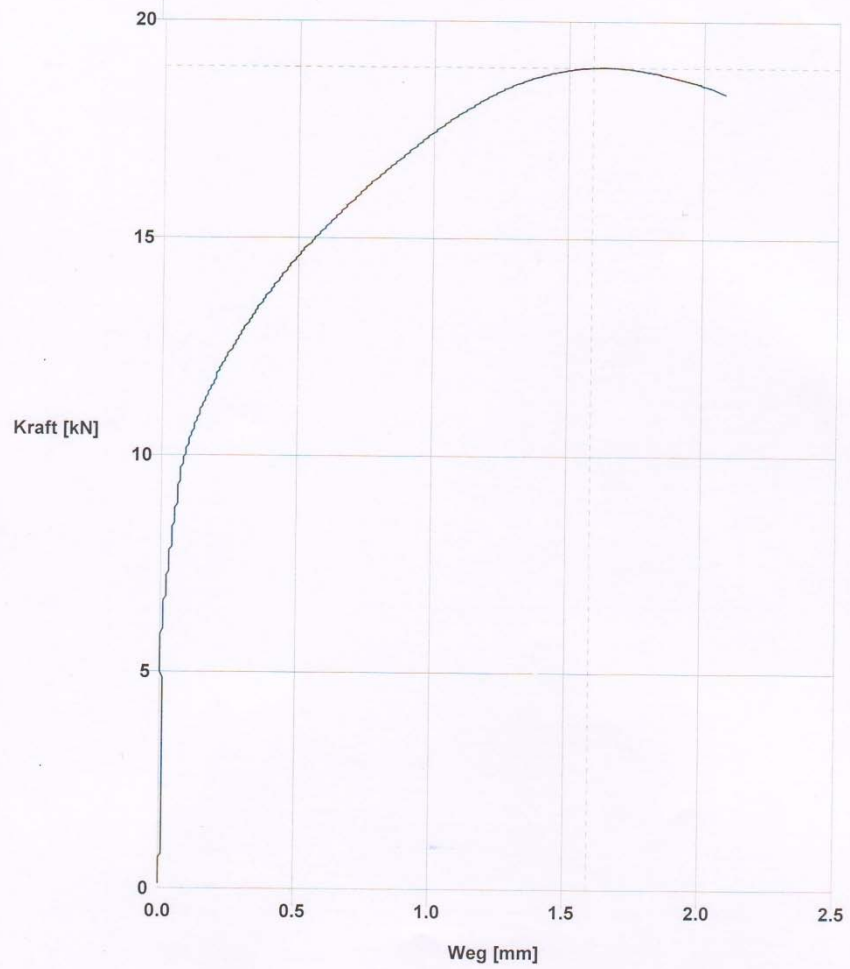
© infraTest / UniPress V3,19

Datum: 10.05.2012
Zeit: 15:35:12
Probennummer: CDA I. NIMUSHI-1
Scherwerte: 18,7 kN
1,1 mm



© infraTest / UniPress V3.19

Datum: 10.05.2012
Zeit: 15:37:11
Proben-
nummer: CDA I. NIMUSHI-2
Scherwerte: 18,9 kN
1,6 mm

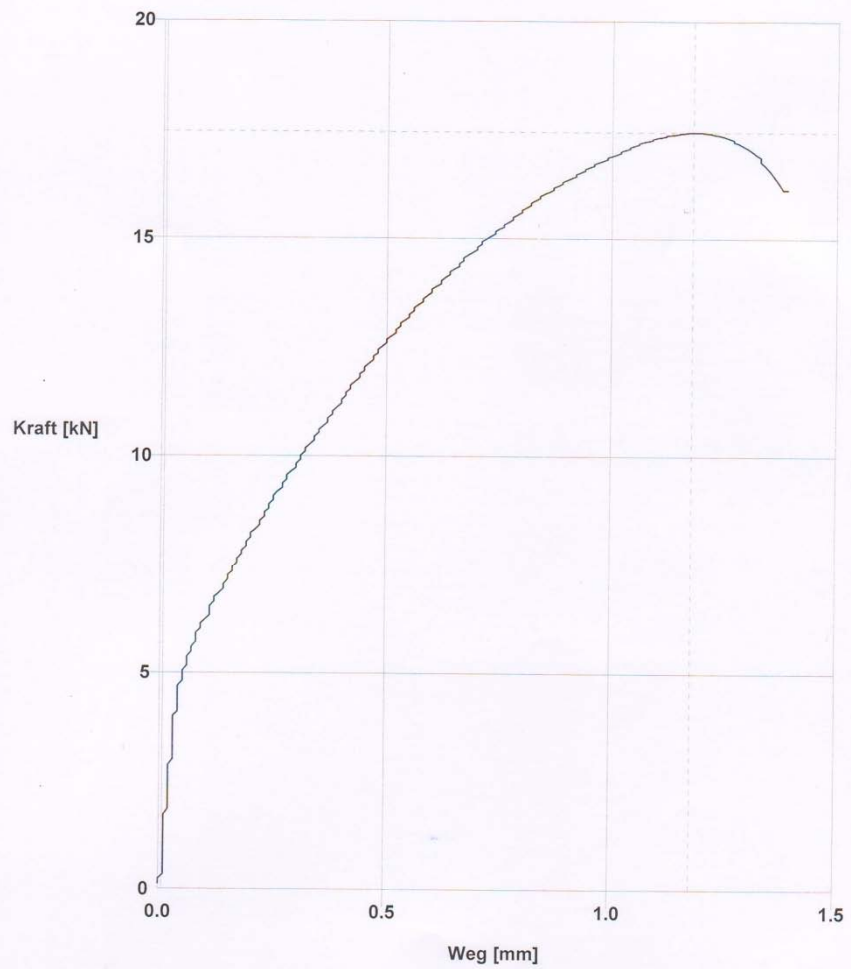


© infraTest / UniPress V3.19

Datum: 11.05.2012
Zeit: 15:47:49

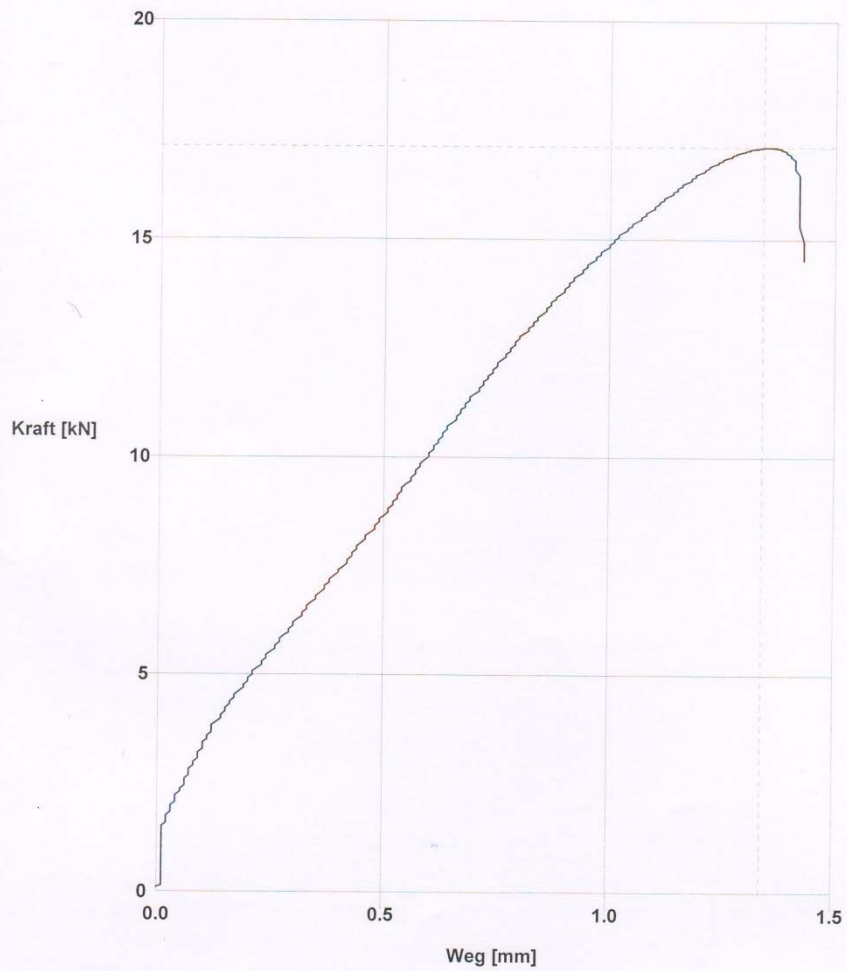
Proben-
nummer: CDA II. NIMUSHI-3

Scherwerte: 17,4 kN
1,2 mm



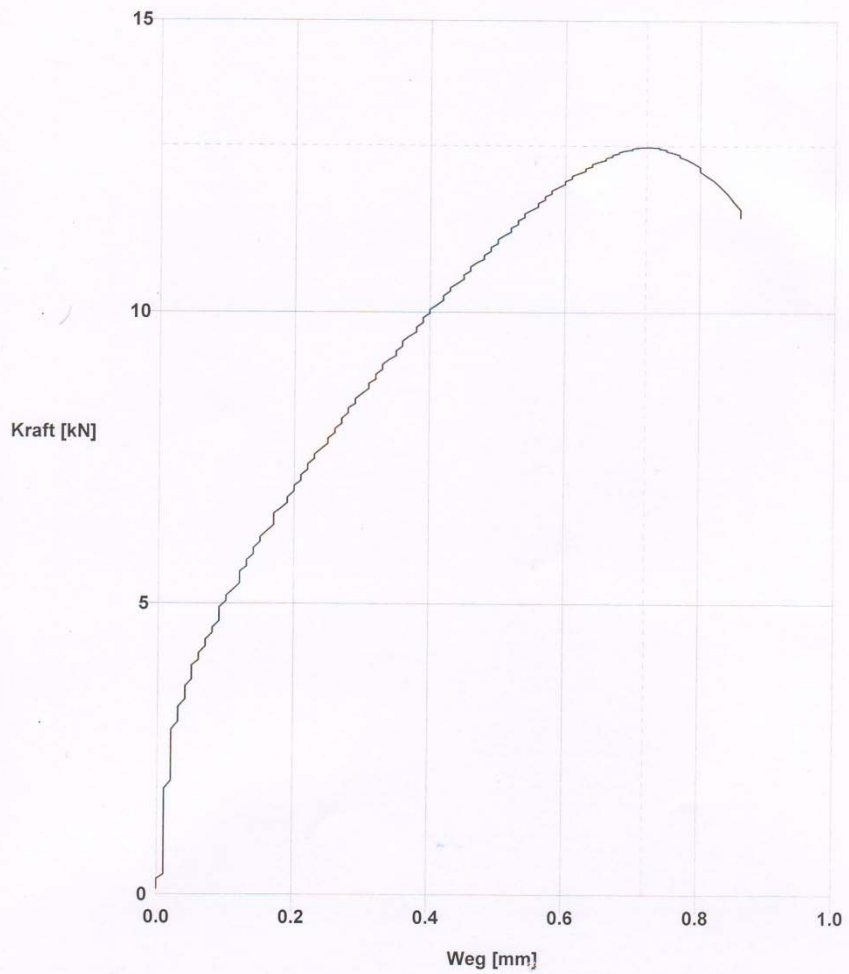
© infraTest / UniPress V3.19

Datum: 11.05.2012
Zeit: 15:51:03
Proben-
nummer: CDA II. NIMUSHI-4
Scherwerte: 17,1 kN
1,3 mm



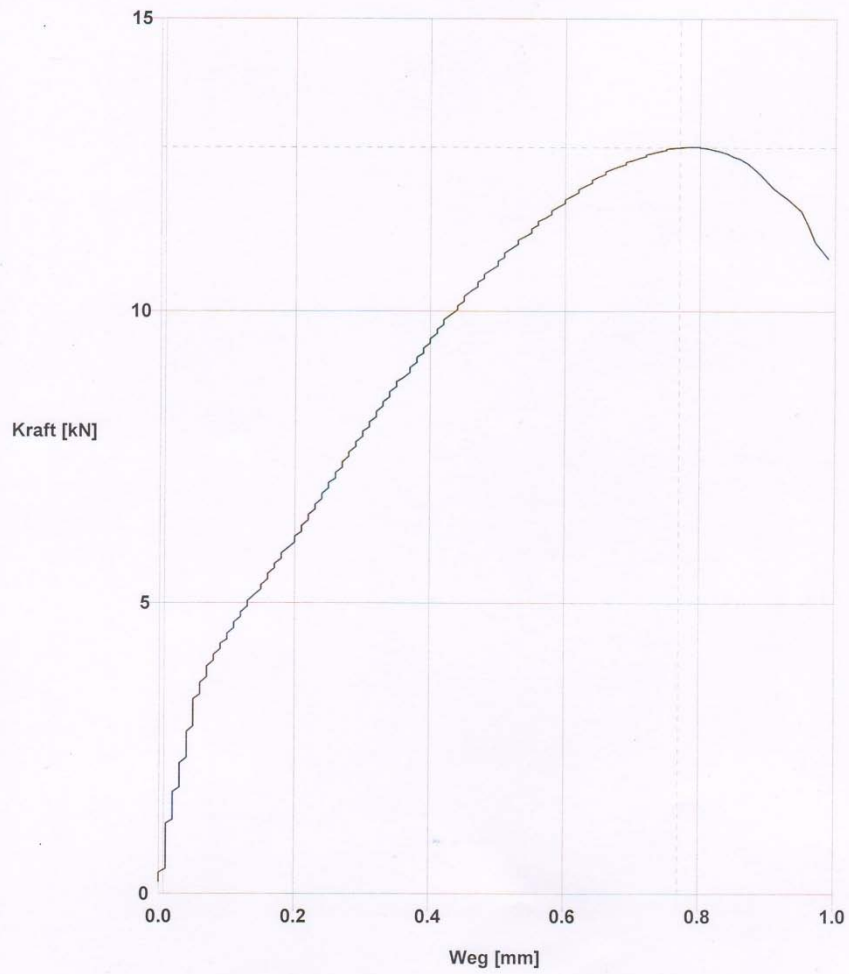
© infraTest / UniPress V3,19

Datum: 14.05.2012
Zeit: 15:05:29
Probennummer: CDA III. NIMUSHI-5
Scherwerte: 12,9 kN
0,7 mm



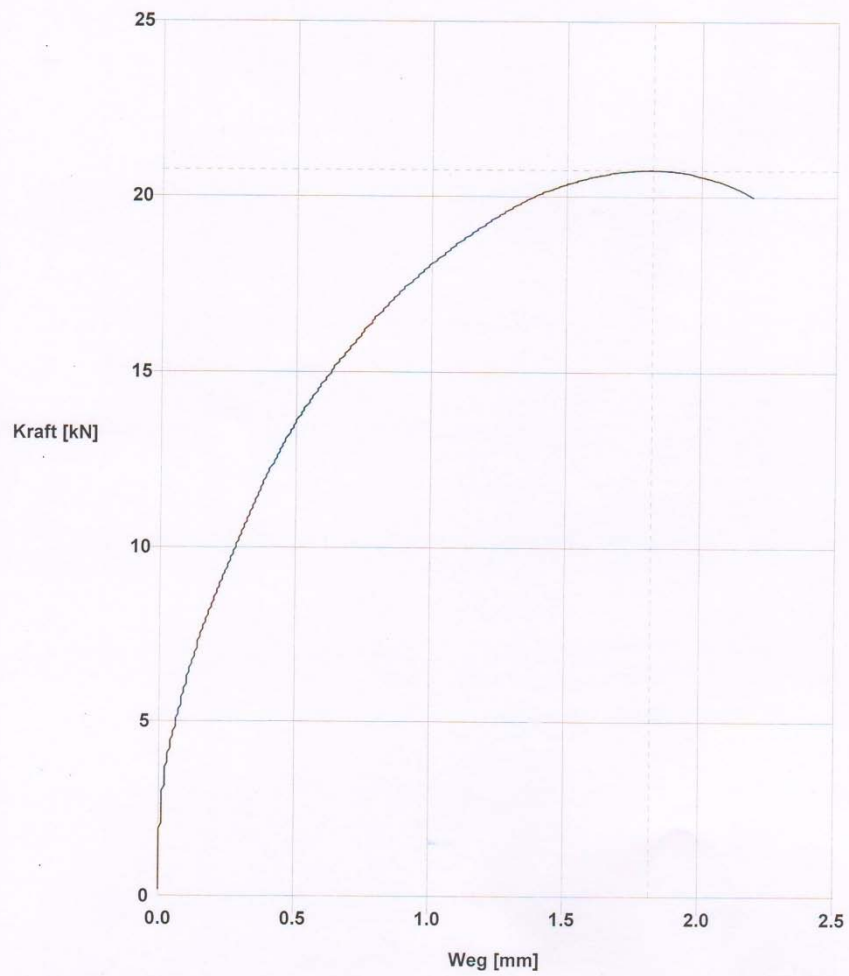
© InfraTest / UniPress V3.19

Datum: 14.05.2012
Zeit: 15:07:57
Proben-
nummer: CDA III. NIMUSHI-6
Scherwerte: 12,8 kN
0,8 mm



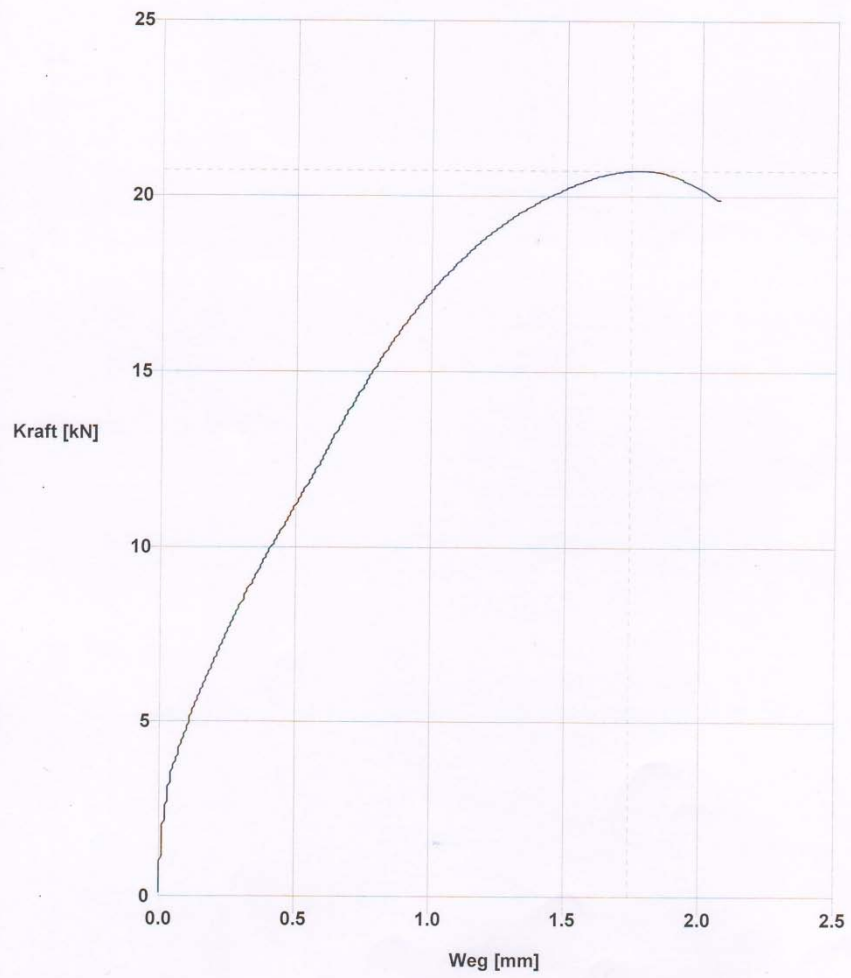
© infraTest / UniPress V3,19

Datum: 14.05.2012
Zeit: 16:22:13
Proben-
nummer: CDA IV. NIMUSHI-7
Scherwerte: 20,8 kN
1,8 mm



© infraTest / UniPress V3.19

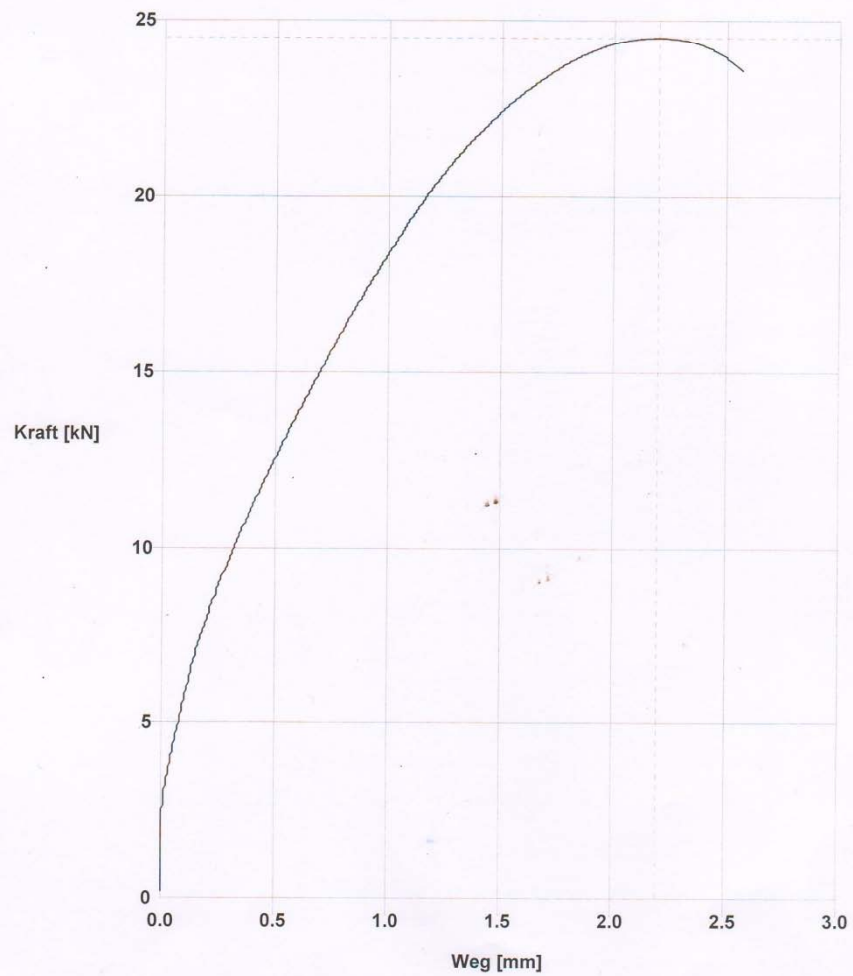
Datum: 14.05.2012
Zeit: 16:23:47
Proben-
nummer: CDA IV. NIMUSHI-8
Scherwerte: 20,7 kN
1,7 mm



© infraTest / UniPress V3,19

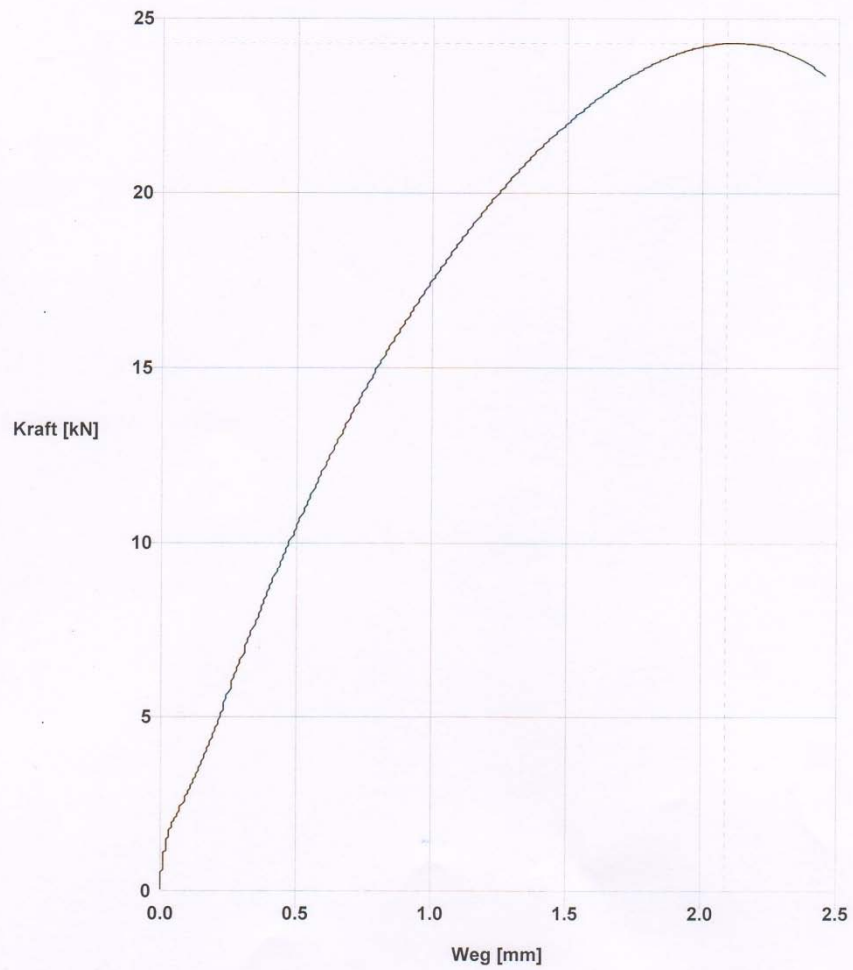
Datum: 17.05.2012
Zeit: 14:57:35

Proben-
nummer: CDA V. NIMUSHI-9
Scherwerte: 24,5 kN
2,2 mm



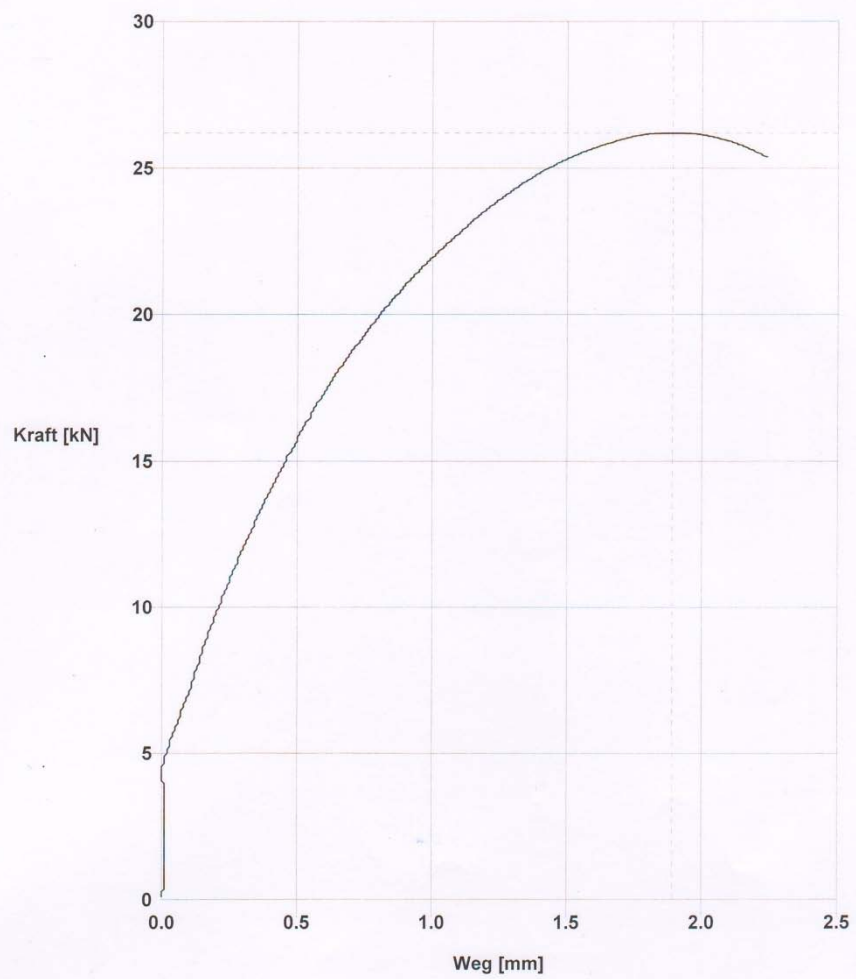
© infraTest / UniPress V3,19

Datum: 17.05.2012
Zeit: 15:00:33
Proben-
nummer: CDA V. NIMUSHI-10
Scherwerte: 24,3 kN
2,1 mm



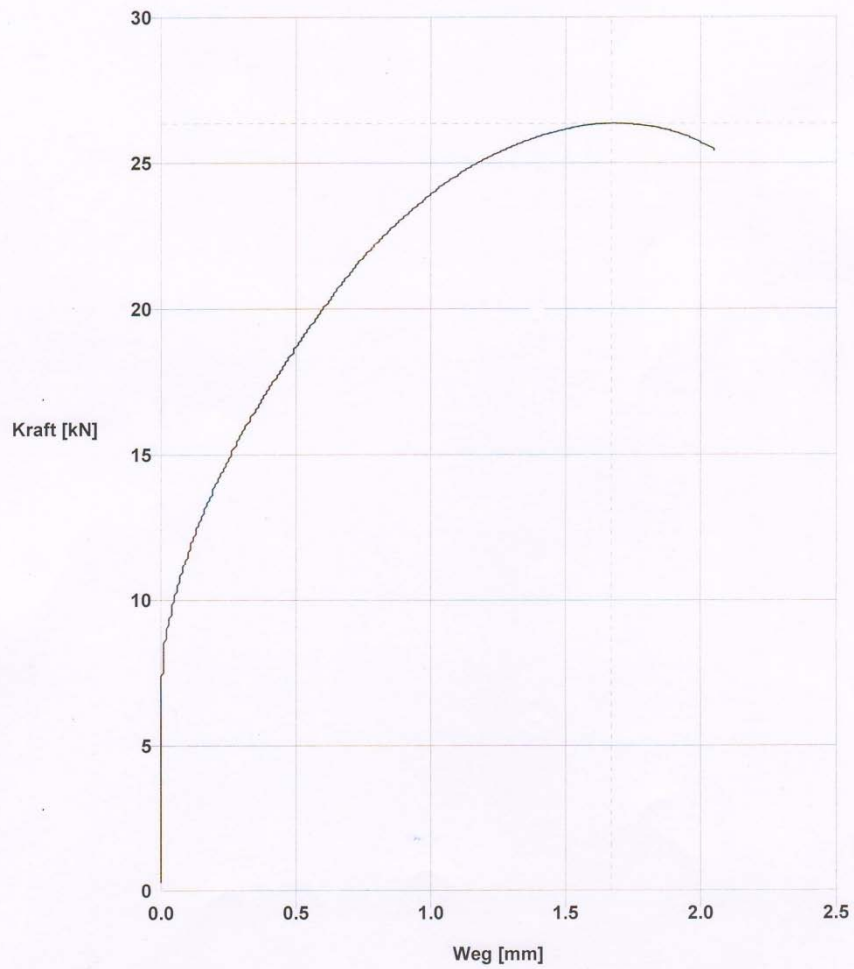
© infraTest / UniPress V3.19

Datum: 17.05.2012
Zeit: 15:03:02
Proben-
nummer: CDA VI. NIMUSHI-11
Scherwerte: 26,2 kN
1,9 mm



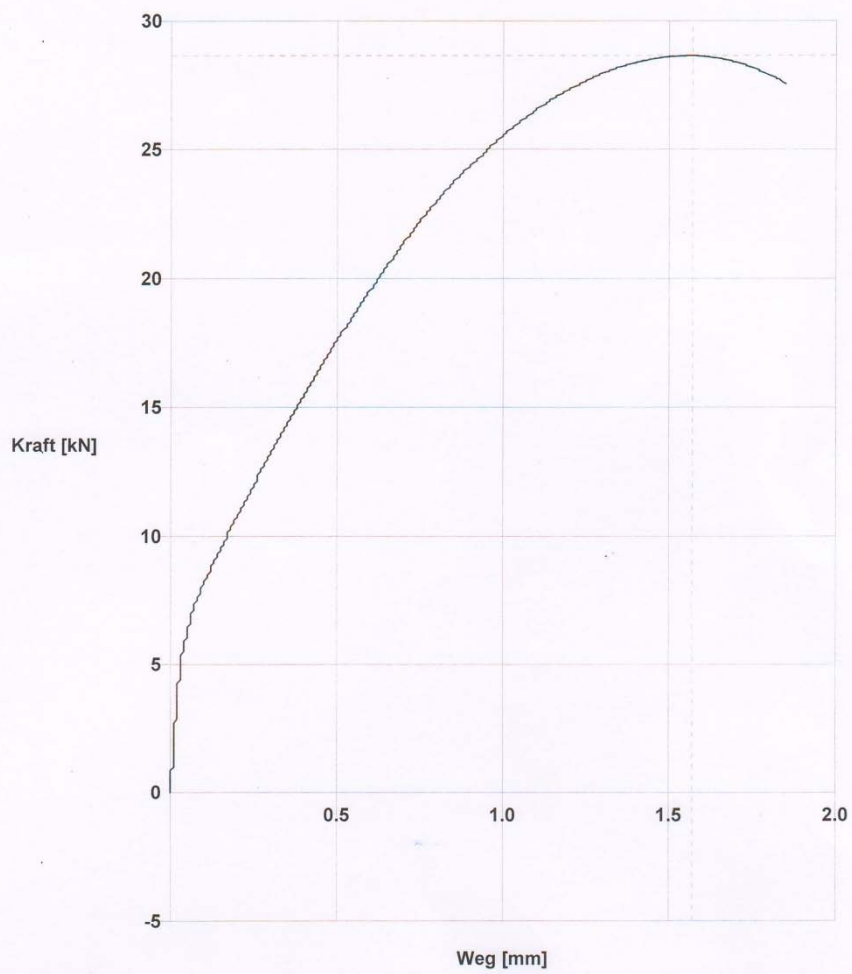
© infraTest / UniPress V3.19

Datum: 17.05.2012
Zeit: 15:05:00
Proben-
nummer: CDA VI. NIMUSHI-12
Scherwerte: 26,4 kN
1,7 mm



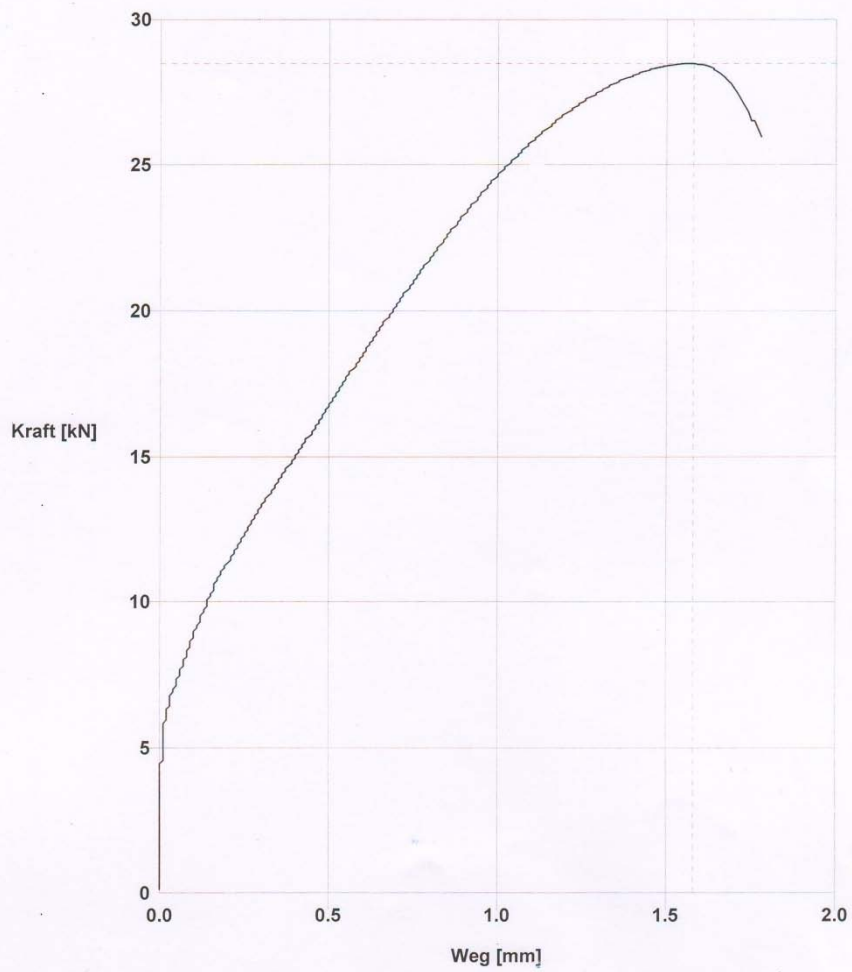
© infraTest / UniPress V3,19

Datum: 17.05.2012
Zeit: 15:07:51
Proben-
nummer: CDA VII. NIMUSHI-13
Scherwerte: 28,6 kN
1,6 mm



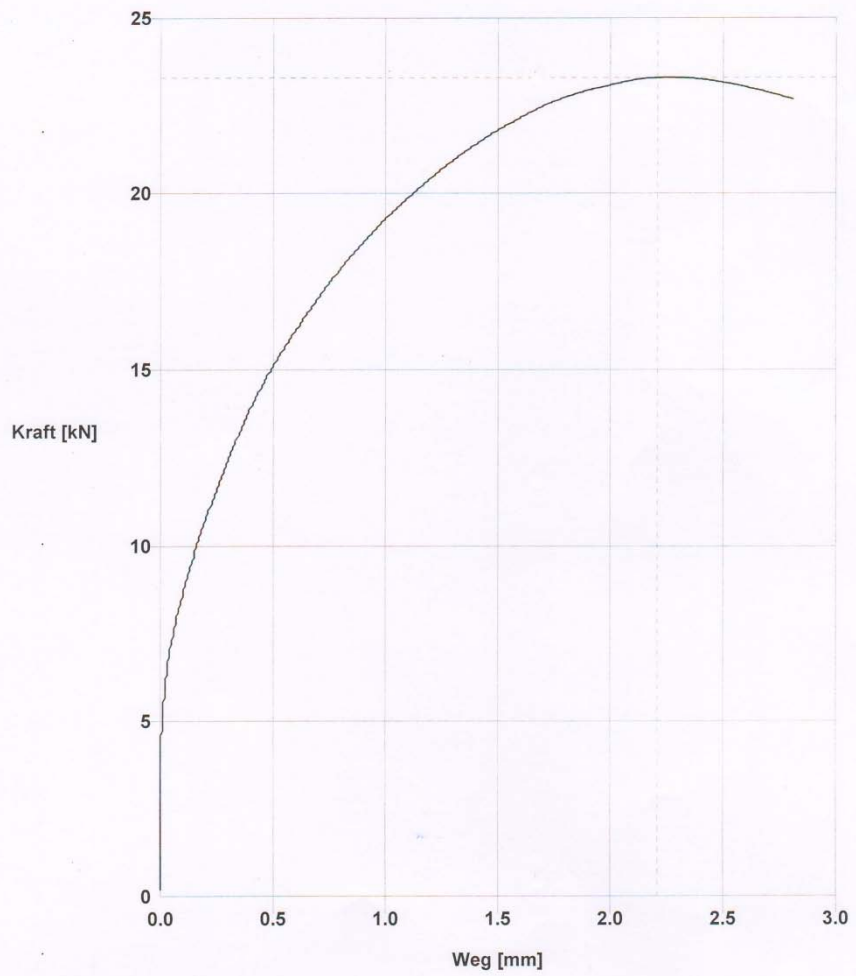
© infraTest / UniPress V3.19

Datum: 17.05.2012
Zeit: 15:10:05
Proben-
nummer: CDA VII. NIMUSHI-14
Scherwerte: 28,4 kN
1,6 mm



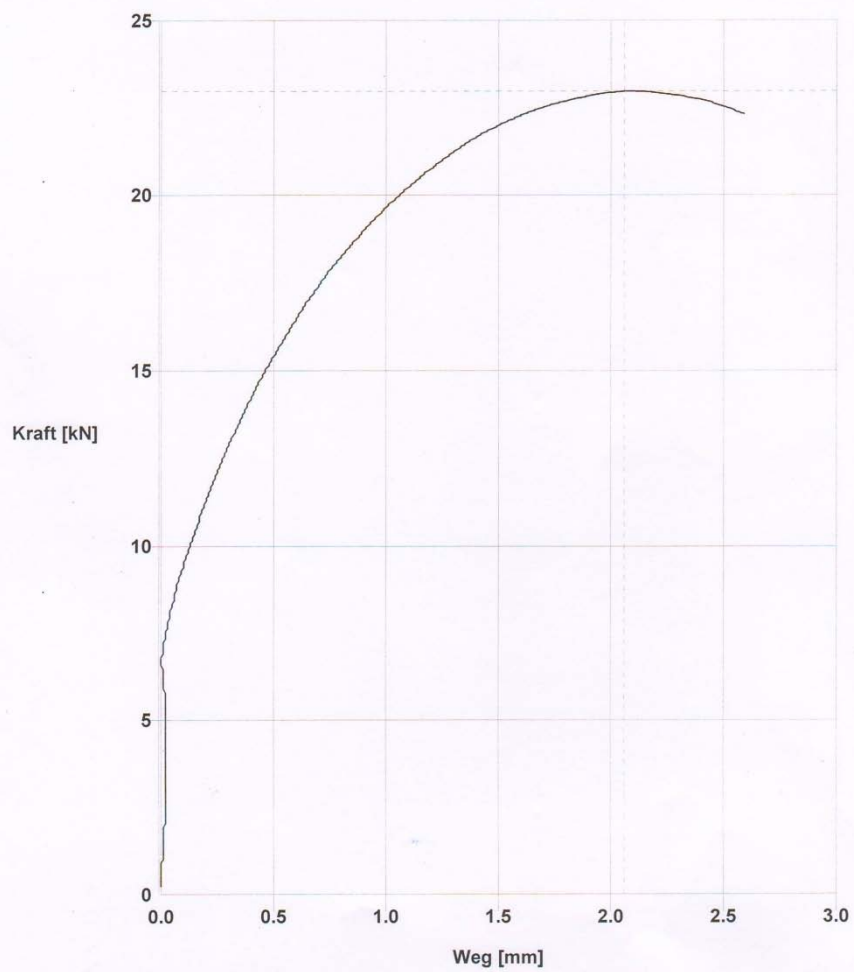
© infraTest / UniPress V3,19

Datum: 18.05.2012
Zeit: 12:57:54
Proben-
nummer: CDA VIII. NIMUSHI-15
Scherwerte: 23,3 kN
2,2 mm



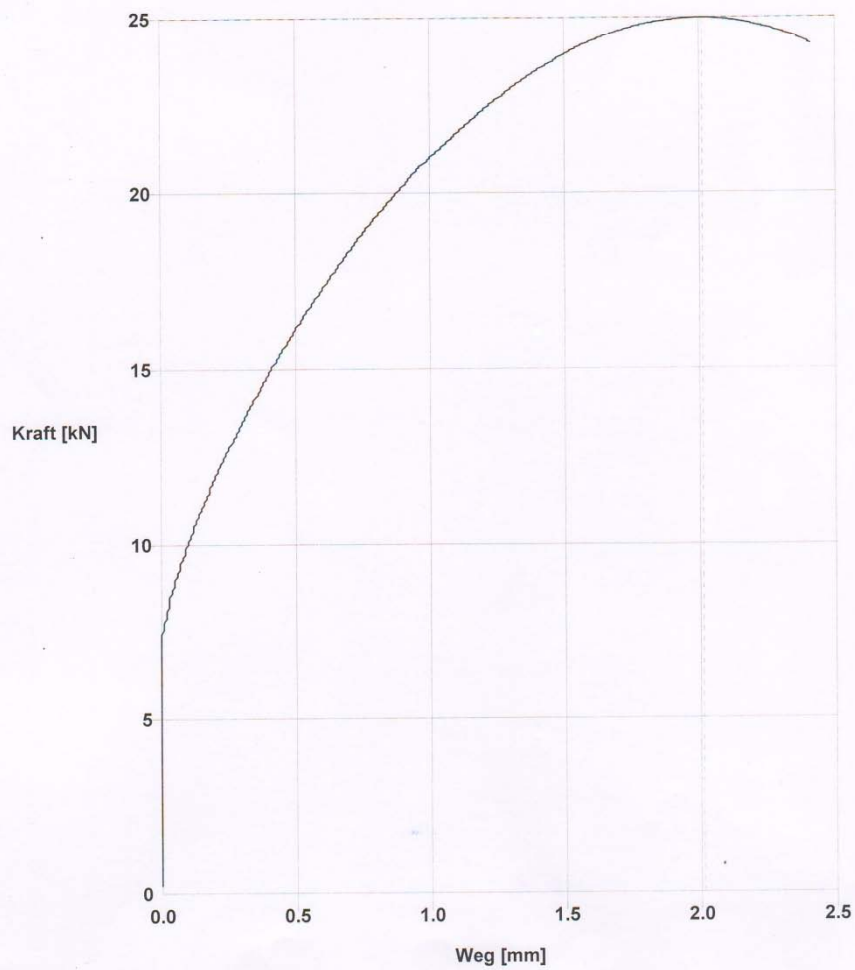
© infraTest / UniPress V3.19

Datum: 18.05.2012
Zeit: 13:01:09
Proben-
nummer: CDA VIII. NIMUSHI-16
Scherwerte: 23,0 kN
2,1 mm



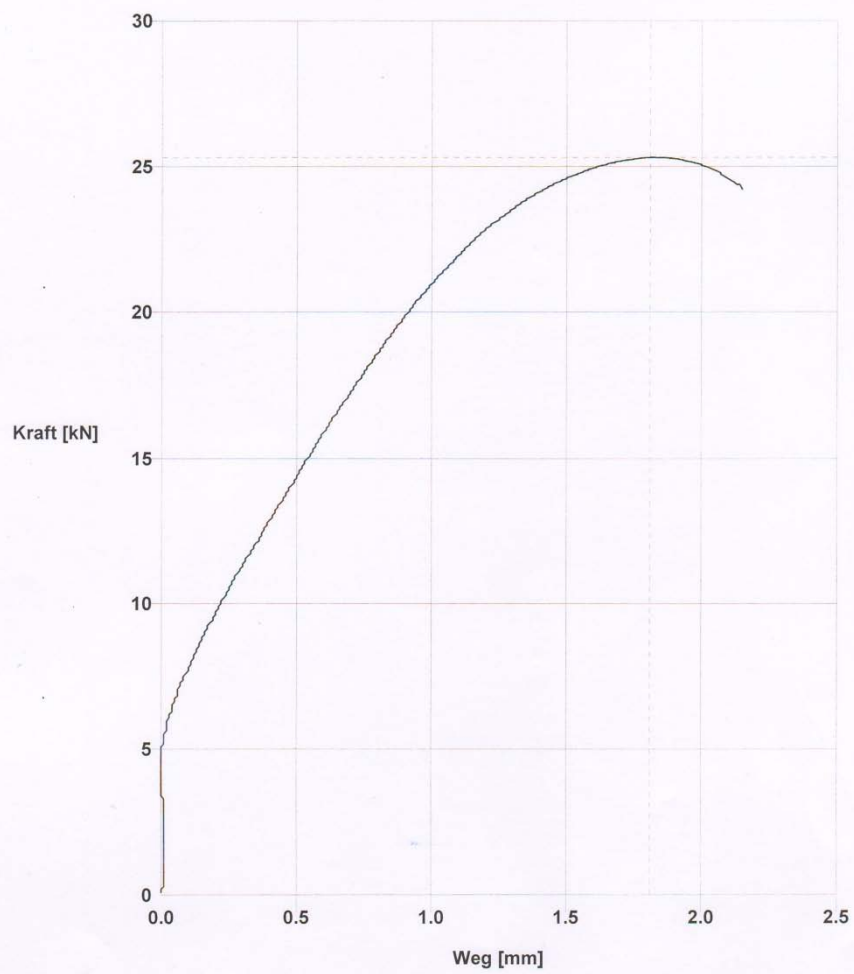
© infraTest / UniPress V3,19

Datum: 18.05.2012
Zeit: 13:04:02
Proben-
nummer: CDA IX. NIMUSHI-17
Scherwerte: 25,0 kN
2,0 mm



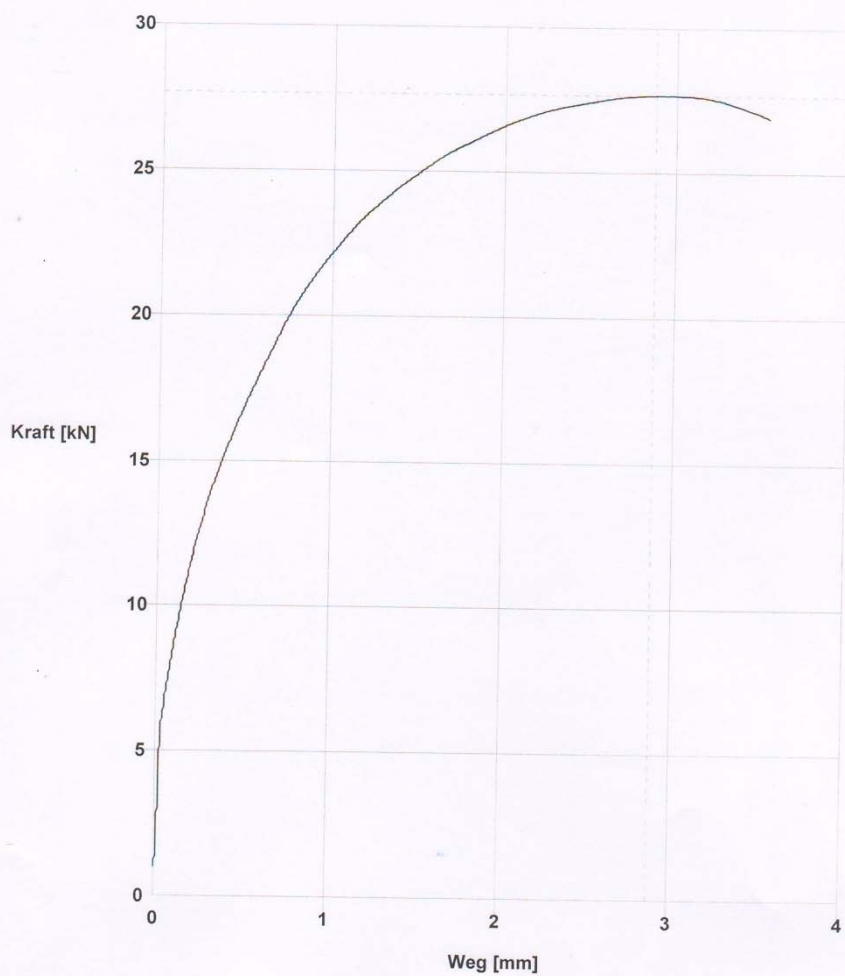
© infraTest / UniPress V3.19

Datum: 18.05.2012
Zeit: 13:06:59
Proben-
nummer: CDA IX. NIMUSHI-18
Scherwerte: 25,3 kN
1,8 mm



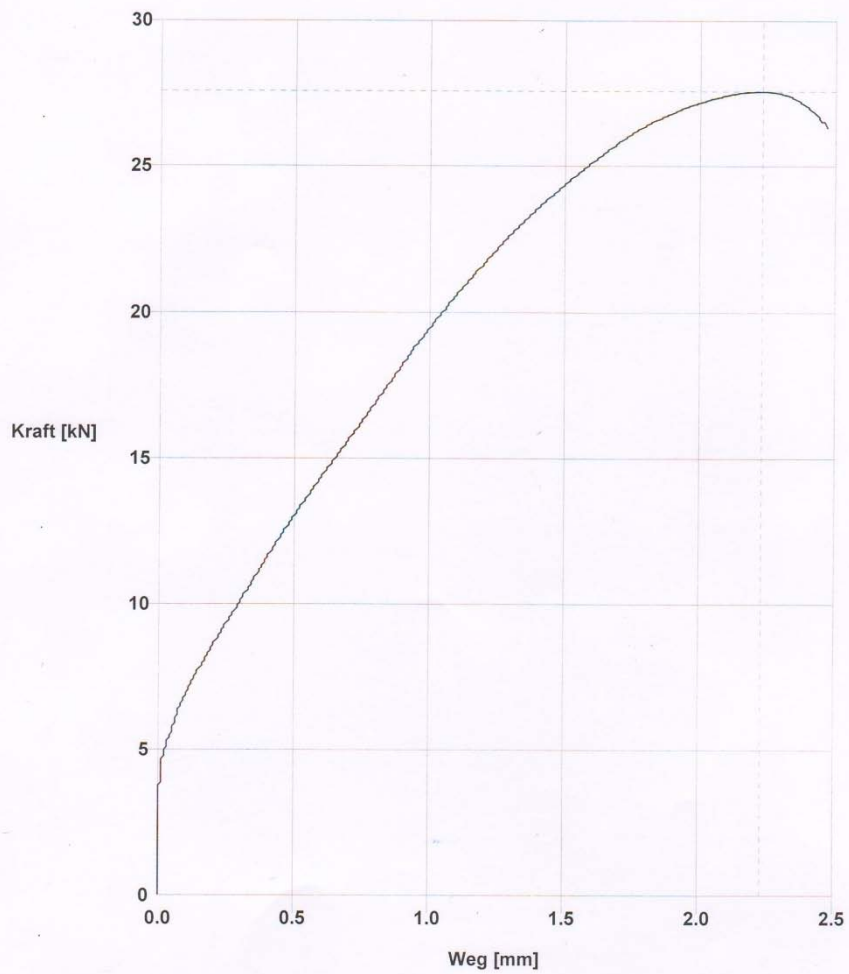
© infraTest / UniPress V3,19

Datum: 18.05.2012
Zeit: 13:11:05
Proben-
nummer: CDA X. NIMUSHI-19
Scherwerte: 27,7 kN
2,9 mm



© infraTest / UniPress V3.19

Datum: 18.05.2012
Zeit: 13:15:03
Proben-
nummer: CDA X. NIMUSHI-20
Scherwerte: 27,5 kN
2,2 mm



© infraTest / UniPress V3,19

გამოყენებული ლიტერატურა

1. გოგლიძე ვ., ბურდულაძე დ., დუნდუა მ. საავტომობილო გზების ექსპლუატაცია. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი., 1997, 87 გვ
2. გოგლიძე ვ. საავტომობილო გზების მშენებლობა. თბილისი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი., 1989, 92 გვ
3. გოგლიძე ვ. საავტომობილო გზების მშენებლობის ტექნოლოგია. თბილისი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი., 1991, 90 გვ.
4. Васильев А. П. Эксплуатация автомобильных дорог : учеб. для вузов : в 2 т. Т. 2 / А.П. Васильев. – М. : Академия, 2011. – 319 с.
5. ВСН 19-89. ПРАВИЛА ПРИЕМКИ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ. МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1990.
6. Гоглидзе В.М. Разработка основных положений сдвигоустойчивых и износостойких полужестких дорожных покрытий: Дис д-ра тех. наук МАДИ. М. 1980 .Машинопись.
7. ГОСТ 11501-78. БИТУМЫ НЕФТЯНЫЕ. Метод определения глубины проникания иглы. [СТ СЭВ 3658-82]. Москва 2008.
8. ГОСТ 11505-75*. БИТУМЫ НЕФТЯНЫЕ Б. Метод определения растяжимости. ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ. Москва 2008.
9. ГОСТ 11506-73. БИТУМЫ НЕФТЯНЫЕ. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару. ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ. Москва 2003.
10. ГОСТ 11507-78. БИТУМЫ НЕФТЯНЫЕ. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу. ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ. Москва 2003.
11. ГОСТ 11508-74*. БИТУМЫ НЕФТЯНЫЕ. Методы определения сцепления битума с мрамором и песком. ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ. Москва 2006.
12. ГОСТ 12801-98. СМЕСИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ ДОРОЖНЫЕ И АЭРОДРОМНЫЕ, ДЕГТЕБЕТОННЫЕ ДОРОЖНЫЕ, АСФАЛЬТОБЕТОН И ДЕГТЕБЕТОН МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ (МНТКС) Москва 2002.
13. ГОСТ 22245-90. БИТУМЫ НЕФТЯНЫЕ ДОРОЖНЫЕ ВЯЗКИЕ. Технические условия. Москва 1996.
14. ГОСТ 12801-84 Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон. Методы испытаний. М. 1986
15. ГОСТ Р 52056-2003. ВЯЖУЩИЕ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫЕ ДОРОЖНЫЕ НА ОСНОВЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ТИПА СТИРОЛ-БУТАДИЕН-СТИРОЛ. ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ. Москва 2005.

16. Гезенцвей Л.Б. Горелышев Н.В. Богуславский А.М. и др./ Дорожный асфальтный бетон/ М. Транспорт. 1985.
17. Золотарев В.А. БИТУМЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПОЛИМЕРАМИ, И АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНЫ /Дорожная Техника 2009/
18. Иванов Н.Н. Устойчивость асфальтобетонных покрытий при высоких температурах. В кн.: Повышение качества асфальтобетона М.: 1975, С.21-2
19. Ладыгин Б.И., Яцевич И.К. Прочность и долговечность асфальтобетона. Минск Наука и техника 1972г. 288 с.
20. Руденская И.М. Руденский А.В. Органические вяжущие для дорожного строительства Издательство: «Транспорт» - М. 1984
21. Руденская И. М. Руденский А. В. Реологические свойства битумов Издательство: Высшая школа;
22. Садило М.В., Садило Р.М. Автомобильные дороги: строительство и эксплуатация учебное пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2011. – С 367
23. Самарский А.А. Гулин А.В. Численные методы. Москва – «Наука» - 1989, 430 стр.
24. СНиП 3.06.03-85. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ. ГОССТРОЙ СССР. МОСКВА 1989.
25. Тагер АА. Физике-химия полимеров. Издание 4-е, переработанное и дополненное. — М.: Научный мир. 2007. — 576 с
26. Quarteroni A. Sacco R. Saleri F. Numerical Mathematics, Springer, 2007
27. ZTV Asphalt-StB 07. Zusätzliche Technische Verkehrsflächen-befestigungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbe-festigungen aus Asphalt. 2007
28. http://www.dynapac.com/Global/News/Russian/PDF/Compactasphalt_web.pdf უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 20.04.2013
29. <http://www.greenwood.dk/tsd.php> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 20.04.2013
30. <http://library.stroit.ru/articles/asfalt5/index.html> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 20.04.2013
31. <http://www.riedhofer-messtechnik.de/> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 20.04.2013
32. <http://www.roadware.com> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 20.04.2013
33. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Полиэтилен> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 20.04.2013
34. <http://www.wvk.sh/index.htm> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 20.04.2013