

დავით დემეტრაშვილი

მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენების ეფექტიანობის  
კვლევა საგზაო სამოსების კონსტრუქციებში

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
აპრილი, 2012 წელი

საავტორო უფლება ©2012 წელი, დავით დემეტრაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით დავით დემეტრაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენების ეფექტიანობის კვლევა საგზაო სამოსების კონსტრუქციებში“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი -----

ხელმძღვანელი: ალექსი ბურდულაძე  
სრული პროფესორი

რეცენზენტი: თამაზ შილაკაძე, ტ.მ.დ. საერთაშორისო  
მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი

რეცენზენტი: თამაზ ჭურაძე, ტ.მ.დ, სრ. პროფესორი

ხარისხის უზრუნველყოფის მანანა მოისწრაფიშვილი,  
სამსახურის უფროსი: ასოც. პროფესორი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2012 წელი

ავტორი: დავით დემეტრაშვილი

დასახელება: მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენების  
ეფექტიანობის კვლევა საგზაო სამოსების  
კონსტრუქციებში

ფაკულტეტი: სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობა

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: -----

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

---

ავტორის ხელმოწერა

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

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

## რეზიუმე

თემის აქტუალობა ჩვენს ქვეყანაში ყოველწლიურად მწყობრიდან ნახევარ მლნ. ტონამდე სალტე (ავტომობილის საბურავი) და სხვა რეზინტექნიკური ნაკეთობა გამოდის. ნარჩენების მოხმარების დონე ბოლო 5 წლის განმავლობაში უმნიშვნელოდ გაიზარდა და შეადგენს არა უმეტეს 5%-ს მთელი მარაგიდან. გაცვეთილი სალტეების მოცულობის ნახარდი წელიწადში დაახლოებით 3%-ს შეადგენს, ე.ი. მათი დაგროვება მუდმივად მიმდინარეობს. ნარჩენების გარკვეული ნაწილი, განსაკუთრებით რეზინის ძვირფასი საახებისგან დარჩენილი, წლების განმავლობაში ინახება საწყობებში, ნარჩენების დანარჩენი ნაწილი კი უკეთეს შემთხვევაში ექვემდებარება დამარხვას ან დაწვას, რითაც გარემოს მნიშვნელოვანი და ხანგრძლივი ზიანი ადგება.

გაცვეთილი საავტომობილო სალტეების უტილიზაციის ეკოლოგიური პრობლემა მწვავედ დგას მსოფლიოს განვითარებული ქვეყნების უმრავლესობაში, კერძოდ: გერმანიაში, იაპონიაში, აშშ-ში, სადაც უტილიზაციას დაქვემდებარებული ძველი სალტეების ყოველწლიური მოცულობა მილიონობით ტონას შეადგენს. გაცვეთილი სალტეების და უტილის რეზინ-ტექნიკური ნაკეთობების ეფექტიანი გადამუშავების პრობლემა ჯერ კიდევ არაა გადაჭრილი.

ნარჩენების დაწვრილმანება (დაქუცმაცება) გადამუშავების ყველაზე მარტივ და რაციონალურ ხერხადაა აღიარებული, ვინაიდან იძლევა რეზინის ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური თვისებების მაქსიმალური შენარჩუნების საშუალებას. მაგრამ სწორედ ნაფხვენის ეკონომიკურად ეფექტიანი გამოყენების საბოლოო სტადია წარმოადგენს მთავარ დაბრკოლებას რეზინის ნარჩენების სრული რეციკლინგის პრობლემის გადაჭრაში.

განხილული ფაქტებიდან ლოგიკური დასკვნა იქნებოდა გვეცადა გადაგვეჭრა რეზინის რეციკლირებისა და ბიტუმის შემკვრელების ხარისხის გაუმჯობესების პრობლემა, ერთმანეთთან კავშირში.

აღნიშნის პრობლემის გადაწყვეტაზე მსოფლის მრავალ ქვეყანაში მუშაობენ. დღეისათვის შემუშავებულია რეზინის ასფალტბეტონის ნარევებში პირდაპირი შეყვანის, საგზაო-სამშენებლო მასალებში რეზინის ნაფხვენის შემავსებლის სახით გამოყენების უამრავი ტექნოლოგიური სქემა. აშენებულ იქნა ასობით გზის ექსპერიმენტული მონაკვეთი, ხიდებისა და აეროდრომების საფარი, რომლებიც თავიდან მაღალი სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მაჩვენებლებით ხასიათდებოდნენ, მაგრამ შემდგომში სწრაფად იშლებოდნენ.

ამრიგად, საგზაო მშენებლობაში რეზინის ნარჩენების გამოყენების უარყოფითმა გამოცდილებამ მოახდინა საგზაო მასალებში რეზინის გამოყენების იდეის კომპრომენტირება საგზაო სპეციალისტების თვალში.

ცხადია, რომ საკვანძო რგოლად, რომელიც მოგვცემს აღნიშნული კომპლექსური პრობლემის ცალკეული ნაწილების დაკავშირების და დასახული ამოცანების გადაჭრის საშუალებას, უნდა იქცეს რეზინის ნარჩენების ნავთობის ბიტუმებთან შეერთების ტექნოლოგია, რომელიც გაითვალისწინებდა მიმდინარე პროცესების მთელ სირთულეს. თანაც ამოცანა უნდა გადაიჭრას გზის საფარის აუცილებელი და საკმარისი

პარამეტრებიდან გამომდინარე. ასეთი ტექნოლოგიის გამოყენების შედეგად უნდა იქნეს კონსტრუირებული და მიღებული შემკვრელი მასალები, რომლებმაც შესაძინევეად და რაც მთავარია ხანგრძლივად უნდა აუმჯობესებდნენ გზების ასფალტბეტონის საფარებს. მხოლოდ ამ შემთხვევაშია შესაძლებელი რეზინის ნარჩენების უტილიზაციის პრობლემის ეკონომიკურად და ტექნიკურად ეფექტიანი გადაჭრა.

ჩვენს მიერ მიღებული მონაცემების ანალიზი აჩვენებს, რომ რეზინისგან მიღებულ წვრილდისპერსულ (<0,5მმ) ნაფხვენს, როგორც ბიტუმების მოდიფიკატორებს, გააჩნია უდიდესი პოტენციური შესაძლებლობები.

დაგროვილი გამოცდილებისა და ცოდნის გამოყენებით, ფორმულირებული იქნა ზოგიერთი ძირითადი ზოგადი მოხთონა ახალი ტექნოლოგიისადმი:

- ის უნდა იყოს უფრო მარტივი, ეფექტიანი და ეკონომიური არსებულ ტექნოლოგიებთან შედარებით.
- ბიტუმების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესების გარდა, ის უნდა აუმჯობესებდეს შემკვრელი მასალის ადჰეზიურ თვისებებს და მის მდგრადობას დაძველებისადმი გარემოს აგრესიული ფაქტორების მოქმედების ქვეშ. ჩვენი აზრით, სწორედ ამ თვისებების კომპლექსია განმსაზღვრელი საგზაო ასფალტბეტონის საფარების ხარისხისა და ხანგამძლეობის ამალღებისათვის.
- ასფალტბეტონების საფარების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო თვისებების გაზრდა მოდიფიცირებული ბიტუმები გამოყენებით.
- ბიტუმები მოდიფიცირების ტექნიკურ-ეკონომიკურად ხელსაყრელი მეთოდების დამუშავება, რომლითაც მიიღწევა ასფალტბეტონის საგზაო ფენიღების მაღალი საექსპლუატაციო მაჩვენებელი ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის განმავლობაში.

**გამოკვლევის საგანია:** ბიტუმების მოდიფიცირების ტექნიკურ-ეკონომიკურად ხელსაყრელი მეთოდების დამუშავება, რომლითაც მიიღწევა ასფალტბეტონის საგზაო ფენიღების მაღალი საექსპლუატაციო მაჩვენებელი ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის განმავლობაში.

**ღისერტაციის მიზანს წარმოადგენს:** საგზაო მშენებლობისათვის მოდიფიცირებული ბიტუმების მიღების მეთოდების სრულყოფა, სხვადასხვა დანამატებით მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენების არეალის გაზრდა, რეზინის ნარჩენების საგზაო მშენებლობაში გამოყენების რაციონალური მეთოდების დამუშავება. აღნიშნული მიზნის მისაღწევეად ღისერტაციაში დასმული და გადაწყვეტიღია შემღევი ამოცანები:

- ჩატარებულია ანალიზი და ჩამოყალიბებულია პრობლემები, რომელიც თან ახლავს სხვადასხვა მეთოდებით მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენებას საგზაო მშენებლობაში;
- შესწავღიაღია და თეორიულად დასაბუთებულია ორგანული შემკრავი მასაღების მოდიფიცირების უპირატესობა რეზინის ნარჩენების გამოყენებით;
- დამუშავებულია ის მიღგომები, რომელსაც უნდა აკმაყოფიღებღეს მოდიფიცირებული ორგანული შემკრავი;

- ჩატარებულია მიღებული შედეგების საცდელ-საწარმოო გამოკვლევა;
- ჩატარებულია შემოთავაზებული ტექნოლოგიის ტექნიკურ-ეკონომიკური შეფასება.

**სამეცნიერო სიახლე.** წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს შემდგომში:

- დასაბუთებულია ორგანული შემკრავი მასალების წვრილად დისპერსირებული რეზინის ნარჩენებით მოდიფიცირების უპირატესობა;
- დამუშავებულია სხმული და ღორღ-მასტიკოვანი ასფალტბეტონების მიღებისა და გამოყენების მეთოდები რეზინით მოდიფიცირებული ორგანული შემკრავების საფუძველზე;
- ბიტუმ-რეზინის კომპოზიციურ შემკვრელზე დამზადებული ასფალტბეტონების გამოყენების არეალი.

**სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა მდგომარეობს შემდგომში:**

- გაზრდილია ბიტუმ-რეზინის კომპოზიციურ შემკვრელზე დამზადებული ასფალტბეტონების გამოყენების არეალი;
- ჩატარებულია მოდიფიცირებული ბიტუმის გამოყენების ეკონომიკური მაჩვენებლების გაანგარიშება, ეკოლოგიური ეფექტურობის გათვალისწინებით.

## Abstract

**Topicality of the issue.** Half a million tons of rubber (auto-tire) and other rubber-technical products comes out of action every year in our country. The level of residue recovery in the course of last 5 years is significantly increased and comprises no more than 5% from total reserves (stock). The increase in worn-out tires volume equals to approximately 3% per year, i.e. their accumulation occurs permanently. The certain part of the residues, especially those remained from expensive kinds of rubber, is kept in the storages for years, while the other part of the residues at the best case experiences dumping or burning, that inflicts important and long-term harm to the environment.

The environmental problem of worn-out auto-tires utilization is especially acute in the most developed countries worldwide, namely in Germany, Japan, USA, where annual volume of old tires pertained to utilization comprises of million tons. The problem of effective treatment of worn-out tires and waste rubber-technical products still is not solved.

Braking-up (disintegration) of the residues is recognized as the most simple and rational method of treatment, since allows to preserve to the maximum extent physical-mechanical and chemical properties of the rubber. Though namely the last stage of economically effective application of the crumb is a key obstruction to the solution of the problem of rubber wastes' full recycling.

Proceeding from the discovered evidence it would be logical to try to solve the problems of rubber recycling and improvement of bitumen binding materials' quality in relation to each other.

The work on the solution of mentioned problem is carried out in many countries worldwide. Today plenty of process scheme are elaborated concerning direct addition of the rubber in the asphalt concrete mixture and application of rubber crumb in road construction materials as of filler. Hundreds of experimental road sections, bridge and aerodrome pavement are constructed, which have been distinguished by high transport and operation parameters at the start, but were rapidly worn out hereafter.

Therefore, the negative experience of rubber wastes application in the road construction compromised the idea of rubber use in road materials in the eyes of road specialists.

It is clear that the key aspect that will allow us to connect the particular parts of mentioned complex problem and to solve the assigned task should be the technology of rubber wastes' binding with oil bitumen that would foresee the whole complexity of current processes. At the same time this task should be accomplished based on the necessary and sufficient parameters of the road carpet. As a result of the application of such technology the binding materials should be designed and received, which should improve asphalt concrete road carpets noticeably and, the most important thing, for a long time. Only in this case is possible to find economically and technically effective solution of the problem of rubber wastes utilization.

The analysis of data obtained by us shows that finely dispersed (<0,5mm) crumb (received from rubber) as bitumen modifier has the huge potentiality.

With the use of accumulated experience and knowledge have been formulated some basic general requirements to the new technology:

- it should be simple, effective and cost-effective in comparison with current technologies;

- except for the improvement of bitumen's physical and mechanical properties, it should improve adhesive properties of the binding material and its ageing resistance under the influence of aggressive environmental factors;

In our opinion namely the following complex of properties is crucial for improvement of quality and durability of asphalt concrete road carpets:

- improvement of asphalt concrete road carpets properties with the use of modified bitumen;
- elaboration of technically and economically profitable methods of bitumen's modification, as a result of which the high operating parameters will be achieved during the whole time of their exploitation.

**The research subject is:** the elaboration of technically and economically profitable methods of bitumen's modification, as a result of which the high operating parameters will be achieved during the whole time of their exploitation.

**The objective of the thesis work is:** the perfection of methods of modified bitumen's receipt for road construction, expansion of area of modified bitumen's application, elaboration of rational use of rubber wastes in the road construction. In order to accomplish this objective the following tasks has been assigned and solved in the thesis work:

- the analysis is carried out and problems are defined that accompany the application in road construction of bitumen modified by different methods;
- the advantage of organic binding materials modification with the use of rubber wastes is studied and theoretically substantiated;
- those approaches are elaborated, which should be satisfied by modified organic binding materials;
- pilot-productive research of obtained results is carried out;
- technical and economical assessment of the offered technology is carried out.

**Scientific novelty.** The scientific novelty of the represented thesis work is as follows:

- the advantage of organic binding materials modification by finely dispersed rubber wastes rubber wastes is substantiated;
- the methods of receipt and application of poured asphalt concrete and broken stone-mastic asphalt concrete on the basis of rubber-modified organic binding materials are elaborated;
- the sphere of application of asphalt concretes manufactured on the basis of bitumen-rubber composite binding material is determined.

**The practical importance of the work is as follows:**

- the sphere of application of asphalt concretes manufactured on the basis of bitumen-rubber composite binding material is expanded;
- the calculation of economic indexes of modified bitumen's application is carried out, by taking ecological efficiency into account.



## შინაარსი:

შინაარსი:.....	ix
ცხრილების ნუსხა .....	x
ნახაზების ნუსხა.....	xi
შესავალი.....	13
1. საქართველოში საავტომობილო გზების განვითარების პერსპექტივები .....	22
2. საგზაო საფარის მოვლა – შენახვის თანამედროვე ტექნოლოგიები...28	
2.1. სლარი საფარები.....	31
2.2. მიკროსურფეისინგი (ზედაპირის მიკროპროფილირება).....	33
2.3. მასალების და ნარევის რეცეპტურის შერჩევა დაბალი ტემპერატურის პირობებში დაგებისათვის.....	34
2.3.1 ემულსიები.....	34
2.3.2. ქვის მასალა.....	37
3. თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევა.....	41
3.1. ორგანული შემკვრელი მასალების ქიმიური შედგენილობა და სტრუქტურა.....	41
3.2 ორგანული შემკვრელი მასალების რეოლოგიური თვისებები.....	50
3.3 ტემპერატურის გავლენა ორგანულ შემკვრელ მასალებზე.....	61
3.4. მოდიფიცირებული ბიტუმის ქვის მასალასთან მიკვრა და პოლარობა.....	63
3.5 მოდიფიცირებული შემკვრელი მასალების დაძველება და მათი სტაბილურობის ზრდის მეთოდები.....	69
3.6 დანამატები და მათი გავლენა ბიტუმის თვისებაზე.....	74
3.7 მოდიფიცირებული ბიტუმის შერჩევა საგზაო კონსტრუქციის მუშაობის რეალური პირობების გათვალისწინებით.....	78
3.8. რეზინაბიტუმი.....	80
3.9. კომპოზიციური შემკვრელები ბირპ ა/ბ-ის საფუძველზე.....	87
3.10 წვრილდისპერსიული რეზინის ნამცეცებით ქიმიურად მოდიფიცირებული დაუანგული ბიტუმის ტექნოლოგიის უპირატესობა.....	109
3.11 მოდიფიცირებული ა/ბ-ის მომზადება.....	111
4. შედეგები და მათი განსჯა.....	121
4.1. შემკვრელი ბიტრეკ-ის გამოყენება სხმულ და ღორღოვან მასტიკოვან ასფალტბეტონებში.....	121
4.2. მოდიფიცირებული ბიტუმის გამოყენების ეკონომიკური გაანგარიშება.....	126
4.3 ბიტუმ-რეზინის კომპოზიციურ შემკვრელიზე დამზადებული ასფალტბეტონების გამოყენების არეალი.....	128
ზოგადი დასკვნები.....	134
გამოყენებული ლიტერატურა:.....	136

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. პოლიმერმოდულიცირებული შემკვრელების თვისებები -----	36
ცხრილი 2. ბიტუმის შემკვრელების ნიმუშების მახასიათებელთა შედარება-----	90
ცხრილი 3. ა/ბ-ის საფარის ზედა ფენის მახასიათებლების შედარება-----	105
ცხრილი 4. ბირკ ნარეგებისადმი დამატებითი ტექნიკური მოთხოვნილებები-----	112
ცხრილი 5. ბიტუმ-რეზინის ნარევის გამოშვების ტემპერატურა-----	113
ცხრილი 6. ბირკის შემკვრელზე დამზადებული ღორღ-მასტიკოვანი ა/ბეტონის ნიმუშების გამოცდის შედეგები-----	114
ცხრილი 7. სხმული ა/ბეტონის თვისებები ბირკ შემკვრელზე ხელით დაგებისას-----	115
ცხრილი 8. ტემპერატურა ნარევის დაგების დაწყებისას-----	115
ცხრილი 9. ნარეგების ტიპების დასაშვები შენახვის დრო-----	116
ცხრილი 10. საფარის დაგების ტემპერატურები-----	118
ცხრილი 11. რეზინა-ბიტუმის შემკვრელიზე დამზადებული სხმული ასფალტბეტონის თვისებები-----	123
ცხრილი 12. შემკვრელი ბიტრეკ-ზე ხელით დაგების სხმული ასფალტ- ბეტონის მახასიათებლები-----	124
ცხრილი 13. კერნის გამოცდის შედეგები-----	125
ცხრილი 14. დანახარჯები ქარხნის მოწყობაზე-----	126
ცხრილი 15. პროდუქციის გამოშვებასთან დაკავშირებული ხარჯები---	127
ცხრილი 16. ჩადებული კაპიტალდაბანდების გამოსყიდვა-----	127

## ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1.	საფარის დაშლის მრუდი-----	28
ნახაზი 2.	საფარის მომსახურების ვადის გახანგრძლივება-----	29
ნახაზი 3.	ბიტუმის ქიმიური შემადგენლობის შეფასება-----	35
ნახაზი 4.	დამატებების გავლენა ნარევის გამკვრივების სიჩქარეზე და მოძრაობის გახსნაზე-----	38
ნახაზი 5.	ტემპერატურის, დროისა და ტენიანობის გავლენა სლარი სილის და მიკროსურფეისინგის ფენილების გამტკიცებაზე--	39
ნახაზი 6.	ბზარწარმოქმნის ტემპერატურები სხვადასხვა ტიპის ნარევებისათვის. ზედაპირის ტიპური სახე-----	40
ნახაზი 7.	კომპლექსი დისპერსიული ფაზისა და მასზე აღსორბირებული საპირისპირო ნიშნის იონებისაგან-----	42
ნახაზი 8.	მაქსველის სხეულის (სითბოს) რელაქსაცია-----	52
ნახაზი 9.	დეფორმაციების განვითარება კელვინ-ფოგტის სხეულში---	53
ნახაზი 10.	რეოლოგიური მოდელები-----	54
ნახაზი 11.	მოდულირებული ბიტუმის სრული რეოლოგიური მრუდი--	57
ნახაზი 12.	ბიტუმის რეოლოგიური მრუდები -20დან +30°C-მდე ტემპერატურის ინტერვალში -----	57
ნახაზი 13.	სრული რეოლოგიური მრუდი -----	57
ნახაზი 14.	პოლიმერების თერმომექანიკური მრუდები-----	61
ნახაზი 15.	ზედაპირულაქტიური ნივთიერებების მოლეკულების ორიენტაცია ზედაპირულ შრეზე-----	64
ნახაზი 16.	მყარი სხეულის დასველება სითხით-----	64
ნახაზი 17.	გაჭიმვისას სიმტკიცის დამოკიდებულება გარსის სისქეზე--	78
ნახაზი 18.	დაქუცმაცებული რეზინის გაფანტვის ტიპური მრუდი-----	82
ნახაზი 19.	ბიტუმისა და რეზინის ნაწილაკების რეაქციის სტადიურობა--	82
ნახაზი 20.	თერმული მგძნობელობის გაუმჯობესება რეზინის დამატებით -----	84
ნახაზი 21.	ზემოქმედება რგოლისა და ბურთულის მეთოდით განსაზღვრული დარბილების ტემპერატურისა და ფრასის მიხედვით განსაზღვრულ სიმყიფის ტემპერატურაზე -----	84
ნახაზი 22.	რეზინაბიტუმის შემკვრელთა დაბერების ეფექტი ღუმელში და ამინდის პირობების სიმულატორში. 1-1 დღე; 2-5 დღე; 3-8 დღე-----	85
ნახაზი 23.	რეზინაბიტუმის გამოყენების გავლენა ზედა ფენების დაძაბულობაზე-----	86
ნახაზი 24.	ბიტუმის მოდიფიცირების გავლენა წყვეტაზე, სიმტკიცის ზღვარზე და ჭიმვაზე გაწყვეტისას-ბენსონის ტესტი-----	86
ნახაზი 25.	ღორღის მიკვრადობა რეზინაბიტუმის შემკვრელთან-----	87
ნახაზი 26.	სხვადასხვა ბიტუმების კინემატიკური სიბლანტის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე-----	89
ნახაზი 27.	ბიტუმი БНД 60/90 –სა და -6% კპმ-ის დანამატით მოდიფიცირებული ბიტუმის დაღლილობის ხანმედგობაზე დამოკიდებულება-----	92
ნახაზი 28.	ასფალტის შემკრავის სიბლანტის ლოგარითმი-----	94
ნახაზი 29.	კპმ-ის დანამატის გავლენა ასფალტბეტონის თვისებებზე--	96
ნახაზი 30.	ტემპერატურის და ბიტუმის რაოდენობის ზემოქმედება	

	სიმტკიცეზე დინამიური ღუნვის დროს-----	98
ნახაზი	31. ბიტუმის ოპტიმალური რაოდენობის შერჩევა ბ ტიპის ასფალტბეტონის გრაფო-ანალიზური მეთოდით-----	99
ნახაზი	32. კპმ-ის დანამატის დანარევის ტიპის გაგენა ასფალტბეტონის სიბლანტეზე დაჭიმვისას-----	99
ნახაზი	33. ასფალტბეტონის სიბლანტის გამსაზღვრელი ხელსაწყო ძვრისას შეზღუდული განივი გაგანიერების პირობებში-----	100
ნახაზი	34. ასფალტბეტონების ნიმუშების დატვირთვის სქემა, მათი სიბლანტე გამოცდისას-----	101
ნახაზი	35. კპმ-ის დანამატის ზემოქმედება ასფალტბეტონის სიბლანტეზე გაცურებისას-----	102
ნახაზი	36. ასფალტბეტონის სიმტკიცის ზღვარის დამოკიდებულება კუმშვისას 20 <sup>0</sup> C ტემპერატურაზე ასფალტბეტონის БНД60/90 ბიტუმითა და კპმ დანამატით-----	103

## შესავალი

საქართველოში საერთაშორისო გზების სიგრძე 1474კმ-ია, აქედან 95.9% ასფალტირებულია, შიდა სახელმწიფოებრივი გზების სიგრძე 5.369კმ-ია, ასფალტირებულია -70%, ადგილობრივი გზების სიგრძე კი, 13.386კმ-ია, ასფალტირებულია -25%. ე.ი საქართველოში 60% გზები გრუნტისაა, 40% კი ასფალტის. ამ გზების ძირითად ნაწილზე არ ჩატარებულა მნიშვნელოვანი სახის სარეაბილიტაციო სამუშაოები. გამონაკლისია ახალი მშენებარე ავტობანი. ეს გზები თხოულობს მოდერნიზაციას, ამიტომ საჭიროა ახალი ტექნოლოგიების და ეფექტური სამშენებლო მასალების გამოყენება, რადგან მნიშვნელოვნად გაიზარდა ინტენსიობა, ღერძული დატვირთვები დიდი ეკონომიკური ტვირთბრუნვის გამო. პერსპექტივაში მოსალოდნელია ამ პარამეტრების მნიშვნელოვანი გაზრდა, ამიტომ საჭიროა გზის გამტარუნარიანობის, სიმტკიცის, ჩაჭიდულობის ძალის, სისწორის, ხანგძლივობის და სხვა კრიტერიუმების გაზრდა. ამ ამოცანის გადაწყვეტა შესაძლებელია ბიტუმის მოდიფიცირების შედეგად.

ბოლო ხანებში, სატრანსპორტო დატვირთვების მნიშვნელოვნად მომატებასთან დაკავშირებით გაიზარდა ტექნოგენური ზემოქმედება საავტომობილო გზებზე. ეს ყველაფერი გამომდინარეობს იქიდან, რომ ხშირია მარილების და მუავების ურთიერთქმედების შედეგად ატმოსფერული ნალექების (მუავური) და ამასთანავე დაბინძურებული ატმოსფეროს აგრესიული ზემოქმედება. შესამჩნევი გახდა ბუნებრივი და კლიმატური ცვლილებები. გახშირდა ტემპერატურული ვარდნები, ნული გრადუსის ფარგლებშიც. ზოგადად 70% საავტომობილო გზებს ესაჭიროებათ მიწის ვაკისის გაძლიერება (სტაბილიზაცია), იმიტომ რომ ა/ტრანსპორტის რიცხვი და მათი ღერძული დატვირთვები საფარზე მნიშვნელოვნად გაზრდილია ძველ ნორმატივებთან შედარებით და აღწევს 10-13ტ. ამ ფაქტორების და ამ ზემოქმედების აგრეთვე ზემოთხსენებული მიზეზების ერთობლიობის შედეგად ხდება საავტომობილო გზის საფარის გაძლიერებული ნგრევა.

ა/ბ-ი საგზაო საფარებისათვის იწარმოება ნავთობის ბიტუმის საფუძველზე, რომელიც არის შემკვრელი. გამოშვებული ბიტუმების

უმეტესი ნაწილი თავისი თვისებების გამო ვეღარ უძლებს შეცვლილ და რთულ საექსპლუატაციო პირობებს, მეორეს მხრივ ნავთობის ბიტუმები თავისი ბუნებიდან გამომდინარე ვერ უზრუნველყოფენ ა/ბ-ის გზის საფარის საჭირო სიმტკიცეს და ითხოვენ პრინციპულად ახალ მიდგომებს ანუ თვისებების გაუმჯობესებას.

ნორმატიულ დოკუმენტაციებში საგზაო ბიტუმებზე და სხვა ერთგვაროვან შემკვრელებზე ტემპერატურული დამოკიდებულება მის რეოლოგიურ თვისებებზე ნიშანდობლივია ორი ფაქტორით, მსხვრევაზე და წელვაზე ტემპერატურებით. გასაგებია, რაც უფრო ნაკლებია ტემპერატურა მსხვრევის და მაღალია წელვის, ესე იგი რაც უფრო ფართოა ტემპერატურის ინტერვალი ანუ შემკვრელის პლასტიკურობა მით უფრო უკეთესია შემკვრელი. ამის შემდეგ შემკვრელს დეფორმაციების მიმართ უნდა მივანიჭოთ სიმტკიცის თვისებები.

შემკვრელების ყველა დეფორმაციული მაჩვენებელი დამოკიდებულია მის ბლანტ-მკვრივ თვისებებზე, სიმტკიცეზე და ჩაჭიდების ძალაზე სხვაგვაროვან ზედაპირთან ე.ი. მის ადჰეზია კოჰეზიაზე. ამ ქიმიურ-სტრუქტურული თვისებებიდან გამომდინარეობს ზუსტად ის თვისებები როგორცაა გარემოს აგრესიული ზემოქმედებისადმი გამძლეობა, რომელიც ხანგრძლივია კონსტრუქციაში (სიცოცხლისუნარიანი). ადჰეზია – შემკვრელის უმნიშვნელოვანესი თვისებაა, უნარი წინააღმდეგობა გაუწიოს გარე ფაქტორებს ისე, რომ არ დაირღვეს ერთიანობა და მთლიანობა სხვადასხვაგვაროვან მასალების შეჭიდების საზღვარზე და ჩვენი აზრით ეს პარამეტრი განსაზღვრავს ფაქტიურად კონსტრუქციებში მასალების ხანგრძლივობას, აგრეთვე გზის საფარში. ეს პარამეტრი მასალის გამოკვლევის დროს განისაზღვრება მასალის გახლეჩის თვისებით ის უნდა იყოს განსაკუთრებულად კოჰეზიური.

ა/ბ-ში არსებობს სიდიდე, რომელიც უფლებას გვაძლევს ზუსტად დავახასიათოთ შემკვრელის ინტეგრალურ ადგეზიური თვისებები, ესაა ა/ბ-ის წყალგაუმტარობა. მაღალი ხარისხის ა/ბ-ში წყალგაუმტარობის სიდიდე სტანდარტებში არის 0,95 რაც ახლანდელი ბიტუმების პრაქტიკაში იშვიათად და ძნელად თუ მიიღწევა. შესაბამისად რაც უფრო მეტია ეს სიდიდე ე.ი. წყალგაუმტარობა მით უფრო მეტია

შემკვრელის ხანგძლივობა, მითუმეტეს თუ ხშირია ტემპერატურის ცვალებადობა 0°C-ზე და დიდი დატვირთვები კონსტრუქციაზე

შემკვრელ მასალებზე სეზონური ტემპერატურების ცვლილებები უშუალოდ ზემოქმედებას ახდენენ -30<sup>0</sup> \_ +60<sup>0</sup>C ფარგლებში და ასეთივე პირობებში ხდება მათი ექსპლუატაცია.

ბიტუმის თვისებების გასაუმჯობესებლად მასში უნდა შევიყვანოთ ტიპური ელასტომერები, დიდი ხნის ცნობილი და ყველაზე გავრცელებული რეზინის ფხვნილის სახით. სიმკვრივის სიდიდე პოლიმერული ბიტუმის შემკვრელებისა ხასიათდება სტანდარტებში ამ მასალების ელასტიურობის მაჩვენებლით. გასაგებია, რომ ელასტიურობის ხარისხი დამოკიდებულია შემკვრელის ქიმიურ შემადგენლობაზე და სტრუქტურაზე. ცნობილია, რომ დიდი ციკლირებული დატვირთვებისადმი გამძლეობა შენარჩუნებულია მაშინ, როცა ამ მაჩვენებლის სიდიდე არანაკლებ 3-4-ჯერ მეტია ექსპლუატაციის დროს შემკვრელის დეფორმაციების სიდიდეზე კონკრეტულ კონსტრუქციაში.

პრობლემის გადაჭრის ერთ ერთი პერსპექტიული მიმართულებაა - უფრო ხარისხიანი მასალების გამოყენება და ამ მიმართულებით ჩატარებული სამუშაოებისათვის ხელის შეწყობა. რა თქმა უნდა ასეთი მასალები უფრო ძვირია, მაგრამ რეალურად რემონტთაშორისო ვადების შემცირებას მიყვავართ იქითკენ, რომ ამას მოაქვს უმნიშვნელოვანესი ხარჯების ეკონომია.

**თემის აქტუალობა** ჩვენს ქვეყანაში ყოველწლიურად მწყობრიდან ნახევარ მლნ. ტონამდე სალტე და სხვა რეზინ-ტექნიკური ნაკეთობა გამოდის. გარდა ამისა, საწარმოო რეზინის ნარჩენების დიდი ოდენობა იქმნება. ნარჩენების მოხმარების დონე ბოლო 5 წლის განმავლობაში უმნიშვნელოდ გაიზარდა და შეადგენს არა უმეტეს 15%-ს მთელი დაგროვებისაგან, თანაც რეციკლინგს მხოლოდ 2% ექვემდებარება. გაცვეთილი სალტეების მოცულობის ნაზარდი წელიწადში დაახლოებით 3%-ს შეადგენს, ე.ი. მუდმივად მიმდინარეობს მათი დაგროვება. ნარჩენების გარკვეული ნაწილი, განსაკუთრებით რეზინის ძვირფასი საახებისგან დარჩენილი, წლების განმავლობაში ინახება საწყობებში, ნარჩენების დანარჩენი ნაწილი კი უკეთეს შემთხვევაში

ექვემდებარება დამარხვას ან დაწვას, რითაც გარემოს მნიშვნელოვანი და ხანგრძლივი ზარალი ადგება.

გაცვეთილი საავტომობილო სალტეების უტილიზაციის ეკოლოგიური პრობლემა მწვავედ დგას მსოფლიოს განვითარებული ქვეყნების უმრავლესობაში, კერძოდ, გერმანიაში, იაპონიაში, აშშ-ში, სადაც უტილიზაციას დაქვემდებარებული ძველი სალტეების ყოველწლიური მოცულობა მილიონობით ტონას შეადგენს. გაცვეთილი სალტეების და უტილის რეზინ-ტექნიკური ნაკეთობების ეფექტიანი გადამუშავების პრობლემა არცერთ ქვეყანაში არაა გადაჭრილი, არადა მას უკვე ნახევარი საუკუნე უსრულდება.

ნარჩენების დაწვრილმანება (დაქუცმაცება) გადამუშავების ყველაზე მარტივ და რაციონალურ ხერხადაა აღიარებული, ვინაიდან იძლევა რეზინის ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური თვისებების მაქსიმალური შენარჩუნების საშუალებას. მაგრამ სწორედ ნაფხვენის ეკონომიკურად ეფექტიანი გამოყენების საბოლოო სტადია წარმოადგენს მთავარ დაბრკოლებას რეზინის ნარჩენების სრული რეციკლინგის პრობლემის გადაჭრაში.

განვითარებულ ქვეყნებში არსებობს სახელმწიფო დაფინანსება, მიღებულია კანონები, რომლებიც ასტიმულირებენ რეზინის რეციკლინგის პროდუქტთა გადამუშავებასა და გამოყენებას, ამასთანავე აკრძალულია გაცვეთილი საბურავების დამარხვის.

განხილული ფაქტებიდან ლოგიკური დასკვნა იქნებოდა გვეცადა ერთობლივად გადაგვეჭრა რეზინის რეციკლირებისა და ბიტუმის შემკვრელების ხარისხის გაუმჯობესების პრობლემა, ერთმანეთთან კავშირში.

ცნობილია, რომ ას წელზე მეტი ხნის განმავლობაში ბევრი ძალისხმევა იყო გამოყენებული, რათა რეზინა ბიტუმებსა და ასფალტებთან გააერთიანებინათ, მისი უტილიზაციისა და შემკვრელი მასალებისათვის რეზინისმაგვარი თვისებების მინიჭების მიზნით. შემუშავებული იქნა რეზინის ასფალტბეტონის ნარევებში პირდაპირი შეყვანის, საგზაო-სამშენებლო მასალებში რეზინის ნაფხვენის შემავსებლის სახით გამოყენების უამრავი ტექნოლოგიური სქემა. აშენებულ იქნა ასობით გზის ექსპერიმენტული მონაკვეთი, ხიდებისა და



აეროდრომების საფარი, რომლებიც თავიდან სასწაულ მახასიათებლებს ამჟღავნებდნენ, მაგრამ შემდგომში სწრაფად იშლებოდნენ. რეზინის ნაფხვენი ამოიფხვნებოდა ასფალტიდან და, პრაქტიკულად შეუცვლელი სახით ქარს მიჰქონდა, რითაც ბინძურდებოდა გარემო.

მაღალ ტემპერატურებზე ბიტუმებში რეზინის დაშლასა და დეფულკანიზაციაზე დაფუძნებულ მოდიფიცირების მეთოდებში ხდებოდა რეზინაში დაცული ტოქსიკური ნივთიერებების ამოფრქვევა, ხოლო წარმოშობილი დაბალმოლეკულური კაუჩუკის ფრაგმენტები მხოლოდ აპლასტიფიცირებდნენ ბიტუმს, ამცირებდნენ რა ისედაც დაბალ ძვრის მაჩვენებლებსა და ადჰეზიას. გარდა ამისა, რეზინის წერილდისპერსული ჭკარტლი, ხდებოდა რა ბიტუმში, კრისტალიზაციის ცენტრების დამატებით წყაროდ იქცეოდა, მკვეთრად ამცირებდა რა შემკვრელების სტაბილურობას და დაძველებისადმი მდგრადობას გარემოს ფაქტორების ზემოქმედების ქვეშ.

იმავე მიზეზების გამო არ გაამართლა ბიტუმებში ძლიერ განვითარებული და მოდიფიცირებული ზედაპირის მქონე რეზინის ფხვნილების შეყვანის ხერხებმა. გარდა ამისა, ასეთი მაღალაქტიური დანამატების შეყვანისას არსებითად იცვლებოდა ბიტუმის შემკვრელებთან მოქცევის ჩვეულებრივი ხერხები, მაგალითად მკვეთრად მცირდებოდა მათი შენახვის ვადა.

ამრიგად, საგზაო მშენებლობაში რეზინის ნარჩენების გამოყენების ერთ საუკუნეზე მეტმა უარყოფითმა გამოცდილებამ მოახდინა საგზაო მასალებში რეზინის (გულკანიზირებული კაუჩუკის) გამოყენების იდეის კომპრომენტირება საგზაო სპეციალისტების თვალში.

ცხადია, რომ საკვანძო რგოლად, რომელიც მოგვცემს აღნიშნული კომპლექსური პრობლემის ცალკეული ნაწილების დაკავშირების და დასახული ამოცანების გადაჭრის საშუალებას, უნდა იქცეს რეზინის ნარჩენების ნავთობის ბიტუმებთან შეერთების ტექნოლოგია, რომელიც გაითვალისწინებდა მიმდინარე პროცესების მთელ სირთულეს და ქიმიზმს როგორც შემკვრელი, ასევე საბოლოო პროდუქტებში – ასფალტბეტონებში და საგზაო საფარებში, თანაც ამოცანა უნდა გადაიჭრას გზის საფარის აუცილებელი და საკმარისი პარამეტრებიდან გამომდინარე და არა ბიტუმში რეზინის სარგებლიანობის შესახებ

ემპირიული წარმოდგენებიდან გამომდინარე. ასეთი ტექნოლოგიის გამოყენების შედეგად უნდა იქნეს კონსტრუირებული და მიღებული შემკვრელი მასალები, რომლებმაც შესაძინევად და რაც მთავარია ხანგრძლივად უნდა აუმაჯობესებდნენ გზების ასფალტბეტონის საფარებს. მხოლოდ ამ შემთხვევაშია შესაძლებელი რეზინის ნარჩენების უტილიზაციის პრობლემის ეკონომიკურად და ტექნიკურად ეფექტიანი გადაჭრა.

ჩვენს მიერ მიღებული მონაცემების ანალიზი აჩვენებს, რომ პარამეტრების კომპლექსის მიხედვით უდიდესი პოტენციური შესაძლებლობები, როგორც ბიტუმების მოდიფიკატორებს, საერთო დანიშნულების, მათ შორის სასაღებ რეზინისგან მიღებულ წვრილდისპერსულ (<0,5მმ) ნაფხვენს გააჩნია. ამასთან სრულიად იხსნება ნედლეულის და მისი ღირებულების პრობლემა, ვინაიდან კაუჩუკებისა და პოლიმერების წარმოება ძირითადად მონოპოლიზირებულია, იმ დროს, როცა რეზინის ნაფხვენის წარმოებას არა აქვს ეს შეზღუდვები, რეზინის ნაფხვენის წარმოების უკვე არსებული მოწყობილობა ადვილად შეიძლება გაიშალოს (გაფართოვდეს) მასზე საგრძნობი მოთხოვნების არსებობისას.

დაგროვილი გამოცდილებისა და ცოდნის გამოყენებით, ფორმულირებული იქნა ზოგიერთი ძირითადი ზოგადი მოხთონა ახალი ტექნოლოგიისადმი:

- ის უნდა იყოს უფრო მარტივი, ეფექტიანი და ეკონომიური არსებულ ტექნოლოგიებთან შედარებით.
- ბიტუმების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესების გარდა, ის უნდა აუმაჯობესებდეს შემკვრელი მასალის ადჰეზიურ თვისებებს და მის მდგრადობას დაძველებისადმი გარემოს აგრესიული ფაქტორების მოქმედების ქვეშ.

ჩვენი აზრით, სწორედ ამ თვისებების კომპლექსი განმსაზღვრელია საგზაო ასფალტბეტონის საფარების ხარისხისა და ხანგამძლეობის ამადლებისათვის.

**დისერტაციის კვლევის ობიექტს წარმოადგენს:**

- ასფალტბეტონების საფარების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო თვისებების გაზრდა მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენებით.
- ბიტუმები მოდიფიცირების ტექნიკურ-ეკონომიკურად ხელსაყრელი მეთოდების დამუშავება, რომლითაც მიიღწევა ასფალტბეტონის საგზაო ფენილების მაღალი საექსპლუატაციო მაჩვენებელი ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის განმავლობაში.

**დისერტაციის მიზანს წარმოადგენს:** საგზაო მშენებლობისათვის მოდიფიცირებული ბიტუმების მიღების მეთოდების სრულყოფა, სხვადასხვა დანამატებით მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენების არეალის გაზრდა, რეზინის ნარჩენების საგზაო მშენებლობაში გამოყენების რაციონალური მეთოდების დამუშავება. აღნიშნული მიზნის მისაღწევად დისერტაციაში დასმული და გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:

- ჩატარებულია ანალიზი და ჩამოყალიბებულია პრობლემები, რომელიც თან ახლავს სხვადასხვა მეთოდებით მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენებას საგზაო მშენებლობაში;
- შესწავლილია და თეორიულად დასაბუთებულია ორგანული შემკრავი მასალების მოდიფიცირების უპირატესობა რეზინის ნარჩენების გამოყენებით;
- დამუშავებულია ის მიდგომები, რომელსაც უნდა აკმაყოფილებდეს მოდიფიცირებული ორგანული შემკრავი;
- ჩატარებულია მიღებული შედეგების საცდელ-საწარმოო გამოკვლევა;
- ჩატარებულია შემოთავაზებული ტექნოლოგიის ტექნიკურ-ეკონომიკური შეფასება.

**სამეცნიერო სიახლე.** წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს შემდგომში:

- დასაბუთებულია ორგანული შემკრავი მასალების წვრილად დისპერსირებული რეზინის ნარჩენებით მოდიფიცირების უპირატესობა;

- დამუშავებულია სხმული და ღორღ-მასტიკოვანი ასფალტბეტონების მიღებისა და გამოყენების მეთოდები რეზინით მოდიფიცირებული ორგანული შემკრავების საფუძველზე;
- ბიტუმი-რეზინის კომპოზიციურ შემკვრელიზე დამზადებული ასფალტბეტონების გამოყენების არეალი.

**სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა მდგომარეობს შემდგომში:**

- გაზრდილია ბიტუმი-რეზინის კომპოზიციურ შემკვრელიზე დამზადებული ასფალტბეტონების გამოყენების არეალი;
- ჩატარებულია მოდიფიცირებული ბიტუმის გამოყენების ეკონომიკური მაჩვენებლების გაანგარიშება, ეკოლოგიური ეფექტურობის გათვალისწინებით.

**სამუშაოს რეალიზაცია:**

- საგზაო სამოსის რეაბილიტაცია წარმოდგენილი ტექნოლოგიით განხორციელდა განსხვავებული კლიმატური პირობების მქონე რამოდენიმე საცდელ მონაკვეთზე (თბილისში მტკვრის მარჯვენა სანაპიროზე; ქვემო სიმონეთი – ნავენახევის საავტომობილო გზაზე).
- სადისერტაციო კვლევის შედეგები გამოყენებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის საავტომობილო გზებისა და აეროდრომების მიმართულების ბაკალავრებისა და მაგისტრანტების სასწავლო პროცესში.

**პუბლიკაციები:** დისერტაციის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია შემდეგი ნაბეჭდი შრომები:

1. „მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენების პერსპექტივები საქართველოს საგზაო მეურნეობაში“, - დ.დემეტრაშვილი, ა.ბურდულაძე, ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა №1(20), თბილისი 2011 წ;
2. „პოლიმერულად მოდიფიცირებული ბიტუმის გამოყენება ცივი რეციკლირების დროს“, - დ.დემეტრაშვილი, ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა №1(23), თბილისი 2012 წ;

3. „ბიტუმის მოდიფიკაციის სახეები და მათი გამოყენება საგზაო მშენებლობაში“, - დ.დემეტრაშვილი, გ.ჩუბინიძე. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №2(25), თბილისი 2012 წ.
4. „საავტომობილო გზების დიაგნოსტიკის თანამედროვე სისტემები“, -თ.პაპუაშვილი, ზ.მელაძე, დ.დემეტრაშვილი, პ.ნადირაშვილი, ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა №2(24), თბილისი 2012 წ.;  
(ჩაშვებულია სტამბაში გამოსაცემად)

**დისერტაციის სტრუქტურა:** სადისერტაციო ნაშრომი შეიცავს შესავალს, ოთხ თავს, დასკვნას, ლიტერატურის სიას 32 დასახელებით, 16 ცხრილს და 36 ნახაზს. კვლევის შედეგები გადმოცემულია 137 ნაბეჭდ თაბახზე.

## 1. საქართველოში საავტომობილო გზების განვითარების პერსპექტივები

საქართველოს საავტომობილო გზები ქვეყნის სატრანსპორტო სისტემის მნიშვნელოვან ნაწილს წარმოადგენს. საერთო სარგებლობის საავტომობილო გზების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მდგომარეობისა და განვითარების დონეზე უშუალოდ არის დამოკიდებული ქვეყნის მდგრადი განვითარების უზრუნველყოფა. ეროვნული უსაფრთხოების განმტკიცება და საქართველოს სატრანსპორტო სისტემის ინტეგრაცია საერთაშორისო სატრანსპორტო სისტემაში.

სულ უფრო აქტუალური და რეალური ხდება ავტოსატრანსპორტო კომუნიკაციების განვითარების აუცილებლობა. ქვეყნის მთაგორიანი რელიეფის გათვალისწინებით, შიდასახელმწიფოებრივი გადაზიდვებისათვის ყველაზე ხელმისაწვდომ და ეფექტურ საშუალებად რჩება ავტოსატრანსპორტო გადაზიდვები.

არასრულყოფილი საავტომობილო გზების ქსელი მნიშვნელოვნად აფერხებს ეკონომიკის სხვადასხვა დარგის განვითარებას და მთლიანობაში უარყოფითად მოქმედებს ქვეყნის შემდგომ განვითარებაზე. რაც უფრო დიდია სრულყოფილსაფარიანი საგზაო სისტემის მოცულობა, მით უფრო მაღალია ქვეყნის ეკონომიკური განვითარების დონე.

საერთაშორისო სატრანსპორტო გადაზიდვებში ბოლო წლებში განვითარებული მოვლენების და პერსპექტიული გაანგარიშების საფუძველზე, საქართველოს ტერიტორიაზე გამავალი ევროპა-აზიის (დასავლეთ-აღმოსავლეთი) და რუსეთის წინა აზიის (ჩრდილოეთ-სამხრეთი) სატრანსპორტო მარშრუტებზე საერთაშორისო საავტომობილო გადაზიდვების ზრდის ტემპები განპირობებულია საქართველოს გეოპოლიტიკური მდებარეობით. ქვეყნის უსაფრთხოების სატრანსპორტო კორიდორის შექმნა, გეოპოლიტიკური სიტუაციებიდან გამომდინარე ისტორიული, თავდაცვითი უსაფრთხოებისათვის ყველაზე ოპტიმალურად მოკლე მიმართულებების მონახვა, რათა გაძლიერდეს ეკონომიკური ტვირთბრუნვა რეგიონებიდან ქალაქებისაკენ, ტრანზიტული შეუფერხებელი მოძრაობის უზრუნველყოფა.

1995 წლიდან საქართველოს ბუნებრივ სატრანსპორტო დერეფანში ევროპა-აზიის ე.წ. ტრასეკას სატრანსპორტო მარშრუტზე მოძრაობის ეკონომიურობის და მოხერხებულობის მაღალმა დონემ განაპირობა საერთაშორისო სატრანსპორტო გადაზიდვების ტრადიციების ჩამოყალიბება. საკმაოდ რეალური პერსპექტივა აქვს ჩრდილოეთ-სამხრეთის სატრანსპორტო მარშრუტებზე საერთაშორისო სატრანსპორტო გადაზიდვების ტენდენციებსაც. ეს საავტომობილო მარშრუტი ჯვრის საუღელტეხილო მონაკვეთებზე და თურქეთის საზღვარზე გამშვებ პუნქტებთან (სარფი-ვალე-კარწახი) მისასვლელების საგზაო პირობების დონის გაუმჯობესებისთანავე ამოქმედდება.

მას შემდეგ, რაც ქვეყანაში ახლანდელი ხელისუფლების მოსვლისთანავე სამთავრობო ხედვა საგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარების მიმართ რადიკალურად შეიცვალა, საავტომობილო გზების ქსელის რეაბილიტაცია და განვითარება ქვეყნის ეკონომიკის ერთ-ერთ პრიორიტეტულ მიმართულებად იქცა.

ყველა ამ ზემოთხსენებული პერსპექტივების გათვალისწინებით აუცილებელია ახალი ტექნოლოგიების დანერგვა საქართველოში. ერთ-ერთი ეფექტური და პერსპექტიული ტექნოლოგია დამუშავებულია წარმოდგენილ დისერტაციაში. თუ ჩვენ გვსურს გვქონდეს ევროპული ხარისხიანი გზები საჭიროა, განცახორციელოთ ხარისხიანი სამშენებლო მასალების ცენტრალიზირებული შესყიდვა, რათა დამზადდეს ტექნოლოგიური კონტროლის მიხედვით მოდიფიცირებული ნარეგები, როგორც ეს ევროპაში და სხვა განვითარებულ ქვეყნებშია. უნდა მოხდეს საქართველოს ტერიტორიის საგზაო კლიმატური დარაიონება. ამ ტექნოლოგიის მიხედვით ექსპერიმენტის სახით უნდა დაიგოს რომელიმე ქალაქში, რაიონში ან რეგიონში საგზაო საფარი და ჩვენ თვალნათლივ დავინახავთ იმ დიდ უპირატესობას და ეკონომიას სხვა ტექნოლოგიით დამზადებულ და დაგებულ საფარებს შორის. საქართველო სუბტროპიკული, ტროპიკული და მაღალმთიანი კლიმატის ქვეყანაა, ქართლ-კახეთის დაბლობ რაიონებში გამოყენებული უნდა იყოს თბომედეგი ბიტუმი, ხოლო კოლხეთის დაბლობში გარდა აღნიშნული თვისებებისა ბიტუმი უნდა იყოს ატმოსფერულ ზემოქმედებაზე მიმართ მედეგიც. საქართველოს დაბალმთიან რაიონში

გამოყენებული ბიტუმის სიმყიფის და დარბილების ტემპერეტურა უნდა იყოს საკმაო, სიმაღლის მატებასთან და კლიმატის გამკაცრებასთან შესაბამისად უნდა შემცირდეს ბიტუმის თბომდეგობა და გაიზარდოს პლასტიკურობა. სპეციალური ბიტუმი ან მოდიფიცირებული ბიტუმია საჭირო დიდი ინტენსიობის მაგისტრალებისათვის. ცივ კლიმატურ ზონაში მიზანშეწონილია დაბალი სიბლანტის ბიტუმების გამოყენება და პირიქით, გასათვალისწინებელია ინტენსიობაც. ბიტუმის მარკები ყოველთვის სრულყოფილად ვერ ახასიათებს ბიტუმის თვისებებს, მაგრამ მათი საშუალებით შესაძლებელია განისაზღვროს საგზაო-სამშენებლო სამუშაოთა სახე და რეგიონალური პირობები. ცალკეულ კონკრეტულ შემთხვევაში უნდა შეირჩეს რეგიონის კლიმატის შესაბამისი სხვადასხვა ბიტუმი.

- БНД 200/300, БН200/300 – ზედაპირული დამუშავებისათვის, გრუნტის სტაბილიზაციისათვის, თბილი ა/ბ-ის ნარეგებისათვის;
- БНД 130/200, БН 130/200 – დაბალი სიტკიცის ( $R=30-60$ მ/პას) ქვის მასალით ზედაპირული დამუშავებისას, თბილი ა/ბ-ის ნარეგებისათვის;
- БНД 90/130, БН 90/130 – ზომიერ კლიმატურ რაიონებში ა/ბ ნარეგებში;
- БНД 60/90, БН 60/90 – ცხელ კლიმატურ რაიონებში, ავტომაგისტრალის ფენილებში, სახურავ და საიზოლაციო მასალებში;
- БНД 40/60, БН 40/60 – ცხელ კლიმატურ რაიონებში მძიმე მოძრაობის ა/მაგისტრალზე ა/ბ ნარეგებში. სხმული ა/ბ ნარეგებში, სახურავ და საიზოლაციო მასალებში.

უპრიანია კლიმატური ზონის შესაბამისი ნარეგებისათვის გამოყენებული ბიტუმის რეოლოგიური თვისებათა დიფერენცირებული ნორმების შემუშავება რაც საგზაო კლიმატური დარაიონების გარეშე შეუძლებელია. აგრეთვე მნიშვნელოვანია მთელ რიგ რეგიონებში დაიწყოს სამშენებლო მასალათა მეცნიერული გამოკვლევა და სერთიფიცირება სამშენებლო ნორმების და წესების დაცვით.



თანამედროვე ავტოტრანსპორტი მეგზევეთა წინაშე აყენებს ამოცანას არსებითად შეიცვალოს ასფალტობეტონის ფენილის ხარისხი. ტრადიციული მასალები უნდა შეიცვალოს ახლით. მსოფლიოს მეცნიერთა და პრაქტიკოს ინჟინერთა მიერ შემუშავებული პროგრესულ მეთოდთა დანერგვა და საქართველოს რეგიონებისათვის დამახასიათებელი თავისებურებების გათვალისწინება, მნიშვნელოვნად გაზრდის და გააუმჯობესებს ქვეყნის საგზაო ქსელს, მის საექსპლუატაციო პირობებს და მომსახურების ვადას. მნიშვნელოვანია კომფორტულ და მეორეს მხრივ ამორტიზირებულ გზებზე ერთდაიგივე ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ეკონომიურობის, ეკოლოგიურობის, გზით მოსარგებლე სატრანსპორტო საშუალების მფლობელისთვის და თვით ავტოტრანსპორტისთვის სასარგებლო პირობების შექმნის ეფექტების შედარება. საზღვარგარეთის ქვეყნების ანალოგიური მახასიათებლების მაგალითზე საქართველოს საგზაო ქსელში ტვირთბრუნვა შემცირებულია 20%-ით, გადაზიდვების ღირებულება 1.5-ჯერ გაზრდილია, ხოლო საწვავის ხარჯი გზებზე სავალალო მდგომარეობის გამო 30%-ით მეტია, შესაბამისად არ იკლებს ავტოავარიების რიცხვი, რომელიც მსხვერპლით მთავრდება. ავტოავარიების 20-25% გამოწვეულია გზის არასახარბიელო მდგომარეობით. ამ პრობლემების გადასაწყვეტად სამომავლოდ აუცილებელია პერსპექტივაში შემდეგი ღონისძიებების გატარება (ქვემოთ ჩამოთვლილი ღონისძიებების გარკვეული ნაწილი დღეისათვის უკვე იწერება):

- საერთაშორისო გზების ძირითად საკვანძო ადგილებში ვიდეო-აპარატურის და მაკონტროლებელ ცენტრალურ ოფისთან შესაბამისი ოპერირების განსახორციელებელი პულტის დამონტაჟება;
- ძირითად საკვანძო ადგილებში ავტომობილების ინტენსივობის დამთვლელი სპეციალური აპარატების დამონტაჟება;
- საფარის სტრუქტურის განსაზღვრის ეკოლოგიურ-რადარული ხელსაწყოების შექმნა;
- ძირითად გზებზე სტაციონალური სასწორების დადგმა;

- საავტომობილო გზების განვითარების ეროვნული ნორმების და სტანდარტების შემოღება;
- აუცილებელია ლაბორატორიული ტესტირების კომპიუტერული ხელსაწყოების და თანამედროვე ტექნიკის შექენა;
- საქართველოს კლიმატური დარაიონება.

ამერიკაში მიღებულია სპეციალური კანონი საბურავების შესახებ რის შედეგადაც საგზაო კომპანიებმა გზების მშენებლობის დროს უნდა გამოიყენონ რეზინის ნარჩენები და მხოლოდ ამ შემთხვევებში იღებენ კომპანიები დაფინანსებას სახელმწიფოსგან გზის რემონტისათვის და მშენებლობისათვის. ამერიკის შეერთებულ შტატებში ჯერ კიდევ 2004 წლისათვის 3 000კმ-ზე მეტი საავტომობილო გზა იყო დაგებული რეზინა-ასფალტის ნარევით.

საქართველოში არსებობს ტრადიციული მომწოდებლები, ტრადიციული ტექნოლოგიები და რა თქმა უნდა არაა საჭირო საგზაო კომპანიების მიერ თავის ატკივება სამშენებლო-სარემონტო სამუშაოების დაფინანსებისათვის. ისინი მაინც ფინანსდებიან იმიტომ რომ ალტერნატივა არ არსებობს, ამიტომ რეზინის ფხვნილის ბაზარზე შემოსვლას მაინდამაინც დიდი ენთუზიაზმით ყველა ვერ შეხვდება. ასეთი ლოგიკური და ეკონომიკური ჯაჭვი შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ სხვა სახეობის ნარჩენების მიმართაც.

ამ ტექნოლოგიის დანერგვისათვის პრობლემის გადასაწყვეტად საჭიროა კომპლექსური მიდგომა, ამოცანის რეალიზაციისათვის საჭიროა საერთო კონცეფცია, პრიორიტეტების გამორკვევა, მმართველობის ორგანიზაციული ფორმა და კოორდინაციის საერთო პროგრამა, ლგოტები და სხვა.

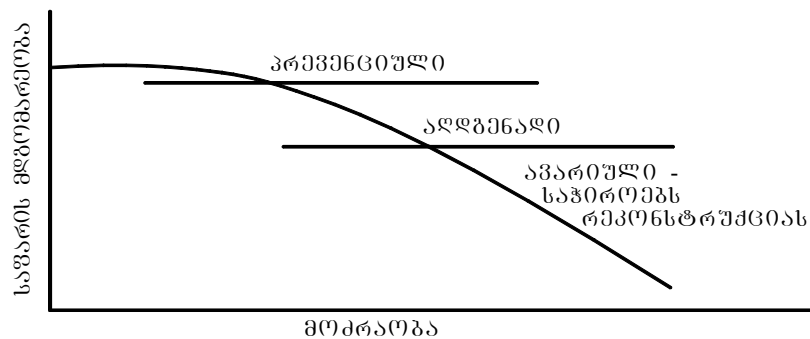
უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოში ჯერ კიდევ 1962-63 წლებში საგარეჯოში მუშაობდა საბურავების გადამუშავების ქარხანა, რომელიც ფხიკავდა პროტექტორიდან რეზინის ნარჩენებს და მისგან მზადდებოდა რეზინა-ასფალტის ნარევი, რომელიც შემდგომ გამოყენებული იქნა როგორც საავტომობილო გზებზე, ისე ქალაქის ქუჩებში ტრამვაის ლიანდაგებს შორის და სპორტულ სარბენ ბილიკებზე, მაგრამ მაშინდელი რეზინა-ასფალტის ტექნოლოგია იყო დაუხვეწავი, საწყის ფაზაში, მაშინ იდგმებოდა მსოფლიოში პირველი ნაბიჯები ამ

სფეროში, ამიტომ ამ მიმართულებით საქართველოში იმ დროისათვის პატარა პოტენციალის მქონე რესპუბლიკაში სამეცნიერო-კვლევითი ექსპერიმენტალური სამუშაოები არ გაგრძელებულა. დღეს ამ სფეროში დიდი მიღწევებია, ამიტომ საჭიროა სწორი მიდგომა და გამოყენება მსოფლიოს ტექნოლოგიების ჩვენი ქვეყნის სასიკეთოდ.

## 2. საგზაო საფარის მოვლა – შენახვის თანამედროვე ტექნოლოგიები

ადრე თუ გვიან ყველა საგზაო საფარი იშლება. ცხადია, რომ მისი სიცოცხლის ხანგრძლივობა პირველ რიგში დამოკიდებულია საგზაო სამოსის კონსტრუქციაზე. საგზაო საფარის ექსპლუატაციის ვადის გაზრდის ერთ-ერთი გზა პროფილაქტიკურ-ტექნიკური მომსახურებაა. ამ დროს შესაძლებელია საგზაო საფარის ფუნქციონირების ვადების გახანგრძლივება არა მარტო სრული საექსპლუატაციო პერიოდის განმავლობაში, არამედ უფრო მეტი დროითაც.

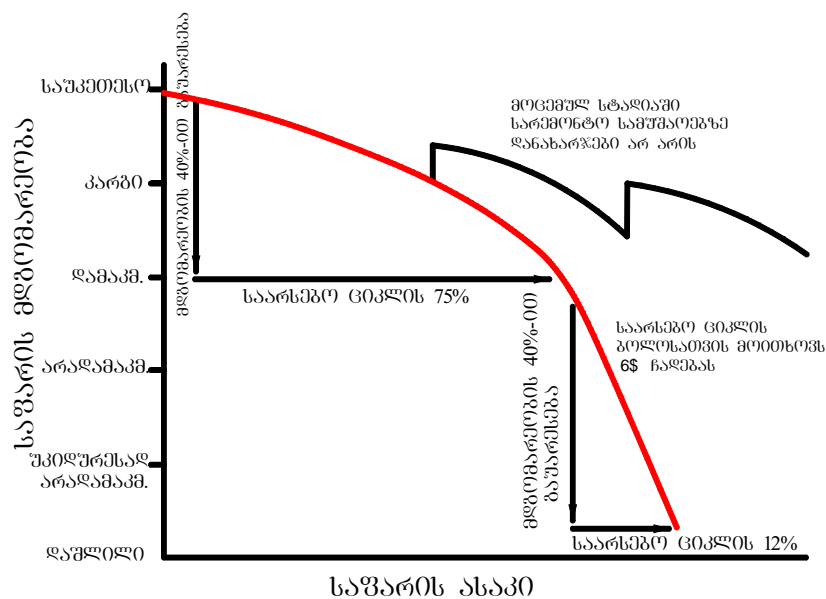
ნახ. 1 ნაჩვენებია საგზაო საფარის დაშლის ტიპური მრუდი. დაშლის მთავარი მიზეზს წარმოადგენს დატვირთვები სატრანსპორტო ნაკადებისაგან და კლიმატური ფაქტორები. კიდევ ერთი მთავარი ფაქტორია საგზაო საფარში წყლის შეღწევა. ამის გამო ძირითადი პრევენციული მომსახურეობა მიმართულია საფარის “ჰერმეტიკულად” შენახვაზე.



ნახ. 1. საფარის დაშლის მრუდი

ბიტუმი დაძველებისას ხდება მყიფე და მსხვრევალი. როგორც ნახ.2 გვიჩვენებს პროფილაქტიკური სამუშაოების ჩატარებით შეგვიძლია განვაახლოთ საფარი და შევაჩეროთ მისი დაშლა. ეს ზომები შეგვიძლია განმეორებითაც გამოვიყენოთ რათა ა/ბ საფარის საექსპლუატაციო ვადა რაც შეიძლება გავზარდოთ.

საგზაო საფარს მოვლა-შენახვითი სამუშაოებისა და კაპიტალური რემონტების დროს ჩნდება კითხვა: რა შეიძლება გაკეთდეს მას შემდეგ რაც საფარის გარკვეული ნაწილი გამოსულია წყობრიდან? გაჩენილი დეფექტები – ამოტეხილობები, ზრდადი ბზარები, ქვის მასალის ამოვარდნები – უნდა აღმოიფხვრას ახალი საფარის მოწყობამდე. იმ შემთხვევაში როცა საფუძველს შეუძლია გვემსახუროს გაცილებით მეტი ვიდრე ეს საპროექტო დროით არის დაგეგმილი, მაგრამ აქვს მნიშვნელოვანი სტრუქტურული ცვლილება, შეიძლება მოვაწყოთ დატვირთვის მშთანთქმელი ბზარებისადმი მდგრადი მემბრანა პოლიმერ-



ნახ. 2. საფარის მომსახურების ვადის გახანგრძლივება

მოდულიზირებული ან რეზინის ფხვნილით მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენებით. იმ შემთხვევაში როცა დაზიანებამ უკვე გამოიწვია საფუძვლის ტექნიკურ მახასიათებლების ცვლილება, საჭიროებს უფრო საფუძვლიანი რემონტის ჩატარება.

საგზაო საფარში წყლის მოხვედრა არის უმთავრესი მიზეზი მისი დროზე ადრე დაშლისა. ვინაიდან საფარის დატენიანება უცილობლად იწვევს სიმტკიცის დაკარგვას. ეს ხდება რამოდენიმე მიზეზით:

- ასფალტბეტონის ფორებში წნევის გაზრდა, რის გამოც მცირდება შიდა ხახუნი და როგორც შედეგი – ძვრისადმი მდგრადობა;

- ნაწილაკების აორთქლება, რაც იწვევს მუშა წონის შემცირებას და ნაწილაკებს შორის ხახუნის შემცირებას;
- ნიადაგის გაფუება, რაც იწვევს საფარის უსწორმასწორობას;
- გაყინვა-გაღვობის ციკლის მონაცვლეობის შედეგად წარმოქმნილი, საგზაო სამოსის გაფუება.

იქიდან გამომდინარე, რომ საფარზე ავტომობილის საბურავიდან გადაცემული დატვირთვა იზრდება, ხოლო წყალი ამცირებს მის სიმტკიცეს, საფუძველზე დატვირთვების გადანაწილება უარესდება, რაც იწვევს სამოსის დეფორმაციებს და დაშლას, ასევე წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების დაკარგვას და ამონატეხების ფორმირებას. გაყინვა-გაღვობა იწვევს ამ სიტუაციის დამძიმებას. საფარში წყლის მოხვედრის თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია ვუზრუნვეყოთ შესაბამისი დრენაჟი და საფარის წყალგაუმტარობა.

საფარში წყლის შეღწევის სხვა მიზეზებია:

- ბზარები და შეპირაპირები. შესაძლებელია არა უშუალოდ საფარზე არამედ მიმდებარე უბნებზე;
- გუბეები გზის კიდეზე;
- წყლის ჭარბი ჩამონადენი გაზონებიდან და წყლის პირდაპირი მოხვედრა გვერდულებიდან საფუძველში;
- გაჭედილი, გაბზარული ან გატეხილი სადრენაჟო ან წყლის მილები;
- საფარი, რომლებიც მოწყობილია ჭრილში დრენაჟის გარეშე;
- საგზაო საფარის არასაკმარისი ქანობი, რაც ხდება წყლის დაგროვების მიზეზი საფარზე.

ეს ყველაფერი გამოწვეული წყალამრიდების არასწორი დაპროექტებით და მოწყობით. ამ პრობლემის გადაწყვეტა უნდა მოხდეს არა მხოლოდ დაპროექტების არამედ საფარის ექსპლუატაციის პროცესშიც.

რემონტის ეფექტურმა მეთოდებმა უნდა უზრუნველყოს საფარის წყალგაუმტარობა და გამორიცხოს სინესტის შეღწევა კონსტრუქციის ფენებს შორის. დაბზარული საფარი და საფარი რომელთა ექსპლუატაცია მიმდინარეობს ექსტრემალური პირობებში (დიდი ინტენსიობა, კლიმატური პირობების თავისებურება) აუცილებელია ვუზრუნველყოთ მაღალი ელასტიურობით და გაჭიმვაზე მაღალი სიმტკიცით,

რათა მათ წინააღმდეგობა გაუწიონ ტემპერატურულ ბზარების წარმოქმნას. ასეთმა საფარებმა ასევე უნდა შეანელონ ასახული ბზარების წარმოქმნა.

გზის საფარის მოვლა შენახვა – რომელიც ისეთივე მნიშვნელოვანია, როგორც დაპროექტება და მშენებლობა – შეგვიძლია დავყოთ ორ ეტაპად:

1. საფარის დამცავი შრის მოწყობა;
2. ბზარების მიმდინარე რემონტი.

## 2.1. სლარი საფარები

სლარის ტიპის დამცავი საცვეთი ფენის მოწყობა არის საუკეთესო მეთოდი საფარის ზედა ფენის საექსპლუატაციო პარამეტრების აღსადგენად.

საფარი სლარი სილი წარმოადგენს სხმულ ემულსიურ-მინერალურ ნარეგს. მის შემადგენლობაში შედის: ბიტუმის ემულსია, გარკვეული გრანულომეტრიის ქვის მასალა, წყალი და სპეცდანამატი. ნარევი მზადდება ცივად და ხასიათდება გარკვეული უპირატესობით, რაც გამოიხატება რეცეპტის შერჩევასა და ნარევის დატანის მეთოდში.

მასალა ირევა და იგება სპეციალური (თვითმავალი ან ბუქსირებადი) მობილური კომპლექტით.

ნარევისათვის გამოიყენება ე.წ. „სწრაფშემკვრელი ემულსია“. ეს ემულსიები მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში არის კათიონური ტიპის, მათ გააჩნიათ მთელი რიგი უპირატესობა ანიონურთან შედარებით. მაგ.: უზრუნველყოფენ ქვის მასალისა და შემკრავის სწრაფ ურთიერთქმედებას (კარგი ადგეზიის ხარჯზე), და ნარევის სწრაფ ფორმირებას. სლარის საფარში მინიმალურია სიცარიელე. გამოირჩევა მაღალი სტაბილურობით და დეფორმაციისადმი მდგრადობით. ასეთი საფარი შეიძლება დაპროექტდეს სხვადასხვა გრანულომეტრიული შემადგენლობით და ბიტუმის სხვადასხვა ტიპებისათვის, რაც იძლევა ნარევის ოპტიმიზაციის საშუალებას.

სლარის საფარი უზრუნველყოფს:

- საფარის წყალშეუღწევადობას;

- პროფილის მცირე კორექტირებას (გრძივი და განივი დეფორმაციების არსებობისას);
- ნაკვალევების შევსება;
- ზედაპირის ტექსტურირებას, შეჭიდულობის უზრუნველსა-ყოფად;
- გარეგნული მსგავსებას ასფალტბეტონის საფარებთან;
- ხმაურის დაბალ დონეს;
- მიმდინარე რემონტების ღირებულების შემცირებას 40%-მდე, საფარების საანგარიშო მომსახურების ვადებში

სლარის საფარის თხელი ფენა (სისქით საშუალოდ 1–1.5 ქვის მასალის მაქსიმალური ზომიდან) გამოიყენება საგზაო ფენილის აღსადგენად. შემკვრელი შეიძლება იყოს როგორც ჩვეულებრივი ასევე პოლიმერმოდირებული. მოდიფიკატორად გამოიყენება ლატექსი. მისი ფუნქცია არის სიმტკიცის სწრაფი მიღწევა, ელასტიურობისა და შემკვრელის დარბილების ტემპერატურის ამაღლება. ემულსიური სისტემები არსებობს როგორც ნელი არევე სწრაფშემკვრელი. მოძრაობა შეიძლება გახსნას 1–4 საათში.

სლარი სილის ნარევი გამოიყენება მცირე ზომის ქვის მასალა და ნარევის სისქე განისაზღვრება მაქსიმუმ 8 მმით. სლარი სილი გამოიყენება:

- მტკიცე, მაგრამ უკვე დაუანგული ზედაპირის ჰერმეტიზაციისათვის;
- ზედაპირის ტექტურისა და შეჭიდების თვისებების აღსადგენად;
- გაცვეთილი ზედა ფენის აღსადგენად და ქვის მასალის შემდგომი ამოვარდნის თავიდან ასაცილებლად;
- ხმაურის შესამცირებლად;
- იმ ადგილებში, როცა სხვადასხვა მიზეზების გამო შეუძლებელია უფრო სქელი ფენების გამოყენება.



## 2.2. მიკროსურფეისინგი (ზედაპირის მიკროპროფილირება)

მიკროსურფეისინგი კეთდება სლარის ტიპის მინერალურ-ემულსიური ნარევისაგან, რომელიც საშუალებას გვაძლევს დავაგოთ ნარევი უფრო სქლად და რამდენიმე ფენად. იგი გამოდის უფრო მტკიცე ვინაიდან ქვის მასალებს უყენებს უფრო მაღალ მოთხოვნებს. ეს ტექნოლოგია გამოიყენება როგორც უმნიშვნელოდ დეფორმირებული ზედაპირების გასასწორებლად ასევე კვალის მოსასპობად. პოლიმერებით მოდიფიცირება საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ უფრო დიდი ზომის ქვის ფრაქცია. მაღალი კოჰეზია უფლებას გვაძლევს დავაგოთ უფრო სქელი ფენები რომლებიც აიტანენ უფრო მაღალ დატვირტვას დეფორმირების გარეშე. ასეთი ნარევების პოლიმერულ მოდიფიცირებისათვის გამოიყენება EVA და ლატექსი, რაც საშუალებას იძლევა მივიღოთ ნარევი კვალის წარმოშობისადმი მაღალი წინააღმდეგობით. ფენების სისქე აღწევს 50-75 მმ. ესეთი მასალები იწარმოება სპეციალური ემულგატორების დამატებით რათა გაიზარდოს კოჰეზია და დაჩქარდეს გაქვავება. გარემონტებულ მონაკვეთებზე მოძრაობა შეიძლება დაიწყო 30 წუთიდან 1 საათამდე დაგების შემდეგ. საკმაოდ დაბალ ტემპერატურებზე.

მიკროსურფეისინგი გამოიყენება:

- კვალის შესავსებად
- გვერდულების გასაფართოებლად
- პროფილის უმნიშვნელო შესწორებისათვის
- ყველგან სადაც შესაძლებელია სლარისილის გამოყენება

მიკროსურფეისინგის და სლარი სილის ტიპის ფენილებს შეუძლიათ აიტანონ მაღალი დატვირთვები მოძრაობის ინტენსივობა. სამოსის დაძველების შედეგად ფენილი ცვდება. დღეისათვის საქართველოში არსებული ტიპის ფენილების სამსახურის ვადა მაღალმთიან ექსტრემალურ პირობებში შეადგენს 3 წელს. იქ სადაც დიდია მოძრაობის ინტენსივობა ან ქვის მასალა დაბალი ხარისხისაა საჭირო ხდება დასაგები ფენის სისქის გაზრდა ან ორი ფენის მოწყობა. მიკროსურფეისინგის და სლარი სილის ფენილები გაცვეთილ მდგომარეობაშიც ინარჩუნებენ თავის ფუნქციონალურ თვისებებს.

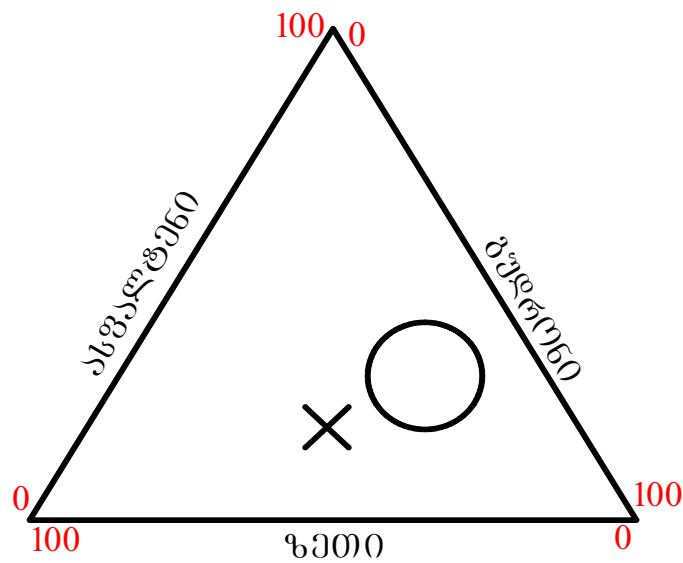
ახდენენ ფენილის გერმეტიზაციას ავსებენ რა სიცარიელებს ქვედა ფენაში. ასევე ფენილები იოლად იტანენ ინტენსივობას 40000 ავტომობილი დღე ღამეში. მიკროსურფეისინგის მეთოდი არ არის განკუთვნილი ბზარების რემონტისათვის მაგრამ შეიძლება გამოვიყენოთ ამ მიზნით მემბრანულ ფენილებთან ერთად, რომელიც მოწყობილია რეზინაბიტუმისა და პოლიმერმოდირებული შემკვრელებისაგან. მიკროსურფეისინგი და სლარი სილი წარმოადგენენ სასარგებლო დანამატს ჩვენში არსებულ მიმდინარე რემონტისა და მოვლა-პატრონობის ტექნოლოგიებისათვის. ჩვენს მიერ ჩატარებული ცდების საქართველოს სხვადასხვა, როგორც დასავლეთ ისე აღმოსავლეთ საქართველოს მაღალმთიანრაიონებში გვიჩვენებს მათი ეფექტური გამოყენების შესაძლებლობას.

### 2.3. მასალების და ნარევის რეცეპტურის შერჩევა დაბალი ტემპერატურის პირობებში დაგებისათვის

სლარის ტიპის ფენილი შედგება 4 ძირითადი კომპონენტისაგან: ემულსია, წყალი, ქვის მასალა და ნარევის დაშლის სიჩქარის რეგულატორი. ეს მასალები ირევა ერთმანეთში ზუსტი პროპორციით სპეციალური მოწყობილობის გამოყენებით.

#### 2.3.1 ემულსიები

**ბიტუმი.** ბიტუმი არის ემულსიის ძირითადი კომპონენტი. ბიტუმებს აწარმოებენ სხვადასხვა ქვეყნებში სხვადასხვა ქარხნები, მაგრამ შეიძლება ბიტუმის სტრუქტურის ანუ მისი ქიმიური შემადგენლობის ისე კორექტირება რომ გამოვიყენოთ ნებისმიერი ბიტუმი. ამ მიზნით ჩატარდა ბიტუმის ანალიზი ფრაქციების დაყოფის ქრომოტოგრაფიული მეთოდით. ცდებით და ქიმიკატების გამოყენებით შეიქმნა ეგრედწოდებული „ბიტუმის მასალების ზონა“ ბიტუმის ფიზიკური თვისებების თვალსაზრისით, მოცემული მასალა ნახ.3 მიღებულია ბიტუმი დაუანგული ჰაერის შებერვით. იგი შეიძლება გაუმჯობესებულ იქნას მასალა „Roadchem“ 701 -ის და ემულგირების ახალი ტექნოლოგიების გამოყენებით.



ნახ.3. ბიტუმის ქიმიური შემადგენლობის შეფასება

**პოლიმერებით მოდიფიკაცია.** ბიტუმის პოლიმერებით მოდიფიკაცია აუცილებელია ექსტრემალურ, მაღალ და დაბალ ტემპერატურებზე მუშაობისათვის. მოდიფიკატორად შეიძლება გამოვიყენოთ:

- რეზინის ფხვნილი დისპერგირებული სახით;
- ბუტადიენ-სტიროლი ბლოკ-თანაპოლიმერები (ხაზოვანი და რადიალური), შერეულ ბიტუმთან ემულგირებამდე;
- ბუტადიენ-სტიროლის შემთხვევითი თანაპოლიმერი ლატექსის ფორმის;
- ნეოპრენის ლატექსი.

ყველა ესენი შეიძლება იყვნენ საკმაოდ ეფექტური. აუცილებელია რომ ბიტუმი მოდიფიცირდეს ნარევებისადმი წაყენებული მოთხოვნების შესაბამისად. ცხრილში1. მოცემულია შემკრავის ტესტირების შედეგები, რომელიც დამზადებულია ნავთობის ბიტუმისაგან. ნაჩვენებია დინამიური ძვრის რეომეტრით ტესტირების შედეგები. რეომეტრით ტესტირების შედეგად მიღებულია დაბალი ტემპერატურის ეფექტური დიაპაზონი.

ცხრილი1. პოლიმერმოდულიცირებული შემკვრელების თვისებები.

ემულსია	(მპა) 20 °C 10რად/წმ	ფაზური კუთხე 50°C 10 რად/წმ	სიმტკიცე მაქს. 300მპა	ეფექტური დაბალი ტემპერატურა
3%SBR	3,2	55	-15°C	-25°C
5%SBR	5,7	52	-25°C	-30°C
10%SBR	6,4	43	-35°C	-45°C
3%SBS	2,3	52	-20°C	-30°C
5%SBS	3,1	49	-35°C	-40°C
5%SBS/ 3%SBR	3,6	43	-40°C	-45°C
5%SBS/ 3%ბოტკო	3,9	47	-25°C	-30°C
5%SBR/ 5%RG-1	5,7	51	-25°C	-35°C

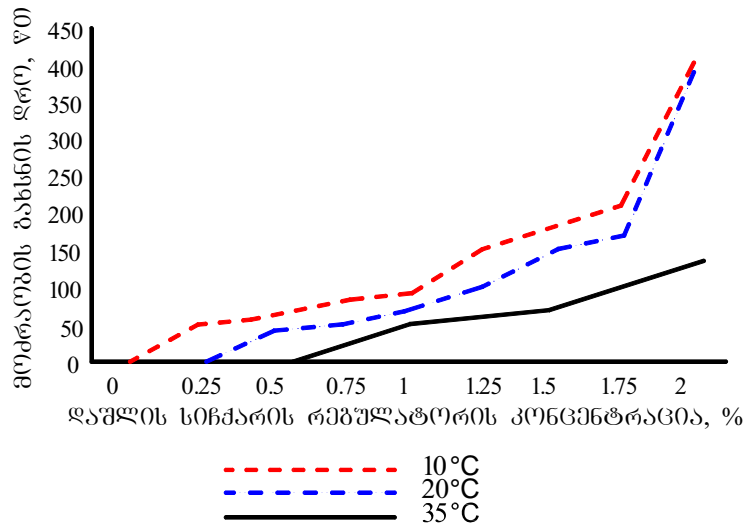
**ემულსიის რეცეპტურის შემუშავება და მისი წარმოება.** ბიტუმის ემულსიის ძირითადი თვისებებია სტაბილურობა შენახვისას, კარგი შემოკვრა ქვის მასალაზე არევის დროს, ადგეზიის უზრუნველყოფა, მასალის გამყარების სიჩქარე. ამ თვისებების უმრავლესობა არის დამოკიდებული ნაწილაკების ზომაზე და მათ განაწილებაზე ემულსიაში ზომის მიხედვით. ეს თავის მხრივ დამოკიდებულია ბიტუმის ტიპზე და თვისებაზე, მოწყობილობაზე რომელიც გამოიყენება ემულსიის და ქიმიური ნივთიერებებისთვის და მათი სტაბილიზაციისთვის. უფრო წვრილი და მონოდისპენსიური ნაწილაკები ახდენენ სიბლანტის, ადგეზიის და დაშლის სიჩქარის ოპტიმიზირებას, მაგრამ ამ დროს სახეზეა შეზღუდვა გამოწვეული ბიტუმის შემცველობით ემულსიაზე და მისი გაგლენა დაშლის სიჩქარეზე. როგორც ჩვენ დავადგინეთ საუკეთესო შედეგებს იძლევა წვრილი ნაწილაკების 1-5 მიკრონის განაწილების ვიწრო დიაპაზონი. ნაწილაკების საჭირო ზომების მისაღებად გამოიყენება ქიმიური კომპონენტების გარკვეული კომბინაცია და კოლოიდური წისქვილი. „Carlotte“-ს ტიპის წისქვილის ბაზაზე, მოწყობილი მცირე ღრეხითი იძლევა 5 მიკრონზე ნაკლები ზომის ნაწილაკებს. ასევე საკმაოდ მნიშვნელოვანია ხარისხის კონტროლი.

## 2.3.2. ქვის მასალა

ქვის მასალას მიეკუთვნება განმსაზღვრელი როლი სლარი სილის და მიკროსურფეისინგის ტიპის ფენილების საექსპლუატაციო თვისებების უზრუნველყოფაში. ქვის მასალის ძირითადი თვისებებია: სიმტკიცე, ცვეთამდებობა და წინააღმდეგობა გაპრიალებისადმი. ქვის მასალა თავისი მახასიათებლებით შეიძლება გამოყენებული იქნას როგორც ცხელ ასფალტბეტონის ნარეგებისათვის ასევე სლარი სილისათვის, მაგრამ ჩვენ პირობებში არსებობს აშკარა პრობლემა, ქვის მასალები, შესაბამისი გრანულომეტრული შემადგენლობით. ხშირად ძნელია ვიპოვოთ ისეთი ქვის მასალა რომელიც დააკმაყოფილებს მიკროსურფეისინგის და სლარი სილის ქვიშის ექვივალენტის მოთხოვნებს. გვხვდება პრობლემები ქვის მასალის დიდი ზომების გამო რომლებიც იმყოფებიან ემულსიისა და მინერალური ნარეგების გამოყენების საერთაშორისო ასოციაციის სპეციფიკაციის ზღვრის მიღმა. მაგალითად მეორე ტიპის სამოსისათვის (მარცვლის მაქსიმალური ზომა 6 მმ). ასეთი ფენილის მოწყობისას რამოდენიმე მონაკვეთზე გამოყენებული იქნა 25 მმ მასალა 3%-ის ოდენობით.

ქვის მასალა აუცილებელია წინასწარ გაირეცხოს თიხის მოსაცილებლად. ყოველთვის აუცილებელია ქვის მასალის დამატებით გაცრა ჩვეულებრივ საცერში.

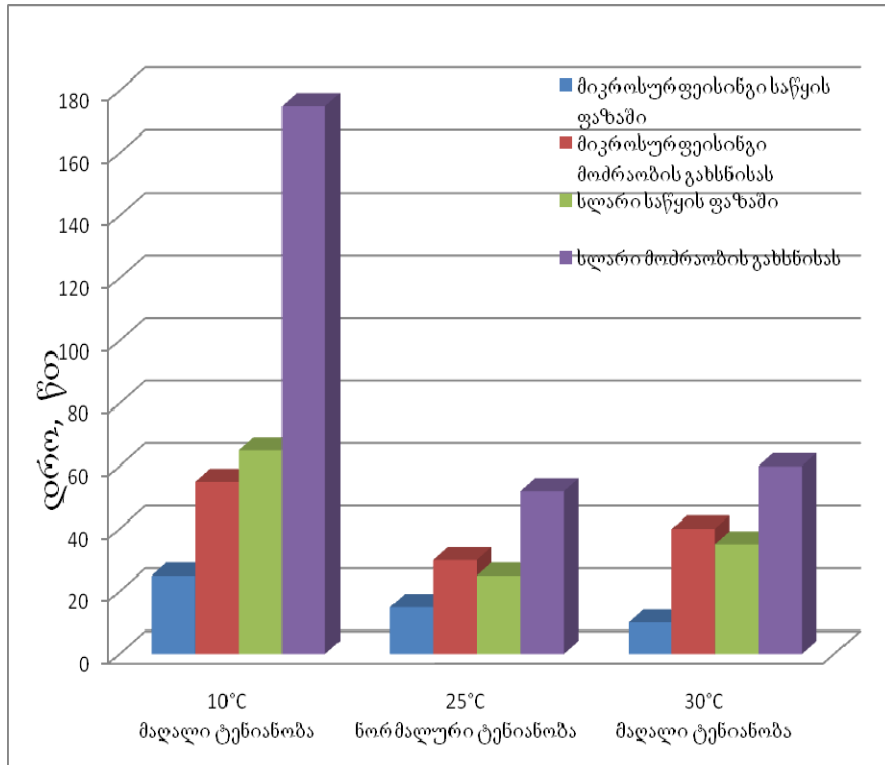
ნარეგის გამკვრივების დაჩქარებისათვის იყენებენ სხვადასხვა დანამატებს უმრავლესობაში ცემენტს, იშვიათად კირს, რათა დააჩქარონ კათიონური ემულსიის სტაბილურობის შემცირების რეაქცია. კალციუმის იონების დამატება საშუალებას იძლევა ვაკონტროლოთ შერევა. ემულგატორებისა და დაშლის რეგულატორების გულდასმით შერჩევა შემავესებლის ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით საშუალებას იძლევა გავაკონტროლოთ ნარეგის შემჭიდროვების აჩქარება ან შენელება. ნახ.4 გვიჩვენებს თუ როგორ ეფექტს ახდენს დანამატების რაოდენობა მოძრაობის გახსნის დროზე საქართველოს პირობებში სამი ტემპერატურული რეჟიმის შემთხვევაში.



ნახ. 4. დამატებების გავლენა ნარევის გამკვრივების სიჩქარეზე და მოძრაობის გახსნაზე

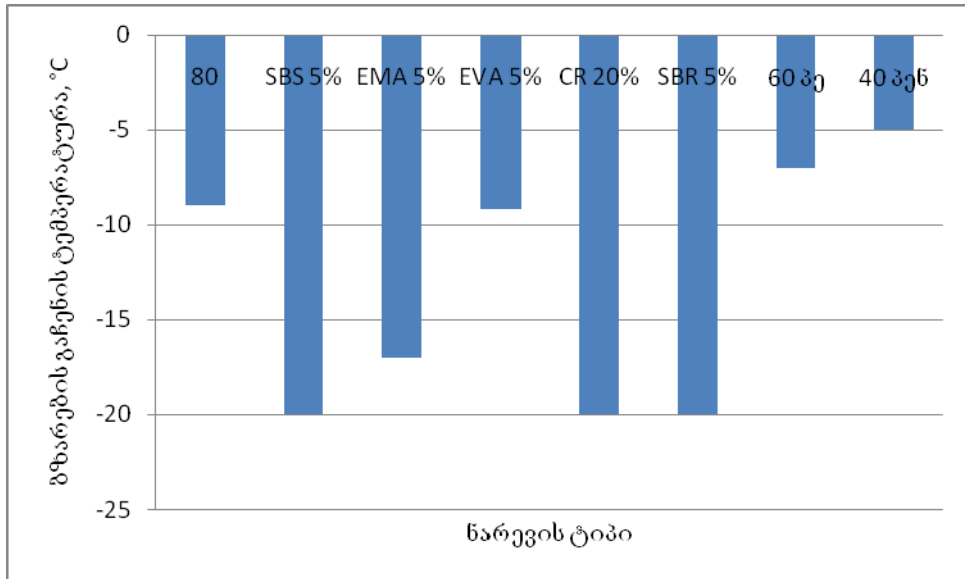
იმისათვის რომ სავალი ნაწილის გახსნა მოხდეს უმოკლეს ხანში საჭიროა ნარევის რეცეპტის კორექტირება ამინდის შესაბამისად. უმეტეს შემთხვევაში დაშლის სიჩქარის რეგულატორად გამოიყენება ისეთი მასალები როგორცაა, ნატრის და კალციის მარილები, ქლორიდები, ბორის მარილი და სხვა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები. მათი პროფილაქტიკური ზემოქმედება განისაზღვრება იმით რომ ის ხელს უწყობს ქვის მასალისა და ემულგატორს შორის ბარიერის ფორმირებას.

ნარევის ტემპერატურის შერჩევა ხდება ამინდისა და კლიმატის პირობების, მოძრაობის ინტენსივობის და საგზაო სამოსების საჭირო საექსპლუატაციო თვისებების (ცვეთამედეობის დეფორმაციებისადმი წინააღმდეგობა და გამტკიცების სისწრაფე) მიხედვით. გამტკიცების სიჩქარეზე დიდ გავლენას ახდენს ტემპერატურული რეჟიმი და ტენიანობა. მიკროსურფესინგის ნარევებზე მოძრაობა იხსნება უფრო ადრე სლარის ნარევებთან შედარებით. ნახ.5-ზე ნაჩვენებია გამტკიცების სიჩქარე სლარის და მიკროსურფესინგის შემადგენლობებისათვის გარკვეული ტემპერატურის დროს დატენიანების მიხედვით.



ნახ. 5. ტემპერატურის, დროისა და ტენიანობის გავლენა სლარი სილის და მიკროსურფეისინგის ფენილების გამტკიცებაზე

ეს კიდევ ერთხელ გვიჩვენებს რამდენად მნიშვნელოვანია ნარევის შერჩევა. ნორმალურ პირობებში განსხვავება მცირეა, მაგრამ დაბალი ტემპერისა და ჰაერის მაღალი ტენიანობის შემთხვევაში რაც ასე ახასიათებს დასავლეთ საქართველოს მთიან რაიონებს, ისინი მეტად მნიშვნელოვანი ხდებიან. სამოსის კონსტრუქციებში პოლიმერების გამოყენება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მაღალმთიან ცივი კლიმატური პირობების მქონე რეგიონებში (გუდაური, ბახმარო, ბაკურიანი და ა.შ.). როგორც ნაჩვენებია ნახ.6-ზე პოლიმერები ხელს უწყობენ სამოსის მუშაობას დაბალ ტემპერატურაზე, უნარჩუნებენ რა მათ მოქნილობას.



ნახაზი 6. ბზარწარმოქმნის ტემპერატურები სხვადასხვა ტიპის ნარევებისათვის. ზედაპირის ტიპიური სახე



### 3. თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევა

#### 3.1. ორგანული შემკვრელი მასალების ქიმიური შედგენილობა და სტრუქტურა

სხვადასხვა სახის ბიტუმები ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით დიდად არ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. იგი შეიცავს 70-87% ნახშირბადს, 15%-მდე წყალბადს, 2%-მდე ჟანგბადს, 1,5%-მდე გოგირდსა და მცირე რაოდენობით აზოტს. გარდა ზემოთაღნიშნულისა, მასში რთული ნაერთების სახით გვხვდება ზოგიერთ ლითონთა (V, Ni, Co, Fe, U) კვალი. ორგანულ ნაერთთა საფუძველს წარმოადგენს ნახშირწყალბადები – სპეციფიკური ფუნქციური ჯგუფები. სწორედ, ამ ჯგუფთა ცვალებადობა იწვევს ორგანული მოლეკულების ქიმიური თვისებების ცვლილებას.

ორგანულ შემკვრელთა შემადგენლობაში სჭარბობს ნახშირბადი (C) და წყალბადი (H). ნახშირბადი ოთხვალენტიანი ელემენტია. მისი ატომები ერთმანეთთანაა დაკავშირებული და წარმოქმნის ჯაჭვურ და ციკლურ ნაერთებს.

ატომთა რაოდენობისა და მათი ურთიერთგანლაგების მიხედვით, იცვლება ნივთიერების თვისებები.

ნახშირწყალბადების ნაერთთა სხვადასხვა კლასისათვის C/H ფარდობა სხვადასხვაა. იგი იზრდება პარაფინური ნახშირწყალბადთა ნაფტენურში და ნაფტენურიდან არომატულში გადასვლით. C/H ფარდობის მიხედვით განისაზღვრება ორგანულ შემკვრელ მასალაში არომატული ნახშირწყალბადების რაოდენობა. ბიტუმის შედგენილობაში არსებული მცირე რაოდენობის ჟანგბადი, გოგირდი და აზოტი ურთიერთქმედებს სხვა ნაერთებთან და წარმოქმნის აქტიურ ფუნქციონალურ OH, COOH, NH<sub>2</sub>, SH ჯგუფებს, რომლებიც არსებით გავლენას ახდენს ბიტუმის თვისებებზე.

ბიტუმის ელემენტარული შედგენილობა იძლევა მხოლოდ დაახლოებით წარმოდგენას მასში შემავალ რთულ ნაერთებზე: ამიტომ მათზე რომ ვიქონიოთ ნათელი წარმოდგენა, საჭიროა განისაზღვროს შემკვრელის ჯგუფური შედგენილობა, ანუ სხვადასხვა ჯგუფის

ნახშირწყალბადების შემცველობა.

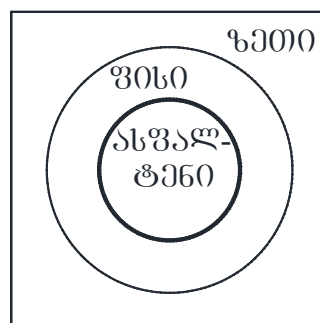
ბიტუმიდან გამოიყოფა შემდეგი ჯგუფის ნახშირწყალბადები: ზეთები 40-60%. ფისები (მჟავა და ნეიტრალური) 20-40%. ასფალტენები 20-40%. ასფალტური მჟავები და მისი ანჰიდრიდები 1%, კარბენები და კარბოიდები 1-3%, პარაფინი.

ზემოთხამოთვლილი კომპონენტები ხასიათდება განსაზღვრული ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებით, რომელიც გავლენას ახდენს ორგანული შემკვრელის დისპერსიულ სტრუქტურაზე.

ბოლო წლებში ჩატარებული გამოკვლევებით დადგინდა ფუნქციური კავშირი შემკვრელის ქმიურ შედგენილობას, სტრუქტურასა და ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს შორის. წინასწარ განსაზღვრული თვისებების მქონე შემკვრელის მისაღებად. ნივთიერი შედგენილობის გარდა, საჭიროა ვიცოდეთ მისი სტრუქტურის წარმოქმნის ბუნება.

საერთოდ, მაღალმოლეკულურ ნაერთთა და კერძოდ, ორგანულ შემკვრელ მასალათა სტრუქტურული აგებულების ორი თეორია არსებობს: მიცელარული და მაკრომოლეკულური.

მიცელარული თეორია შემუშავდა მაღალმოლეკულური ნაერთებისათვის. ამგვარ ნაერთთა კოლოიდური ნაწილაკები ძირითადად ერთი სახის იონებს ააღსორბიდეებს და განსაზღვრული ნიშნის მუხტს იძლევა. მიღებული კომპლექსი შედგება დისპერსიული ფაზისა და მასზე ადსორბირებული საპირისპირო ნიშნის იონებისაგან (ნახ. 7).



ნახ. 7. კომპლექსი დისპერსიული ფაზისა და მასზე ადსორბირებული საპირისპირო ნიშნის იონებისაგან

ასეთ კომპლექსს გრანულას უწოდებენ, ხოლო იმ ნაწილს, რომელზეც იონები აღსორბირდებიან – გრანულას (ნაწილაკის) ბირთვის. ბირთვთან ახლოს განლაგებული ნაწილაკები უფრო ძლიერ მიიზიდება და ხსნარში ერთი მთლიანი ნაწილაკივით გადაადგილდება. ასეთი სახის კომპლექსს მიცელა ეწოდება.

ბიტუმის კვლევის პირველ ეტაპზე შემუშავდა კოლოიდური სტრუქტურის თეორია. მის შემუშავებას ხელი შეუწყო იმ გარემოებამ, რომ ბიტუმი შედგება სამი ძირითადი კომპონენტისაგან – ლიოფობური ნაწილი (ასფალტენი) შემოფარგლულია ლიოფილური დამცველი ნაწილაკებით (ფისი) და და ერთად ქმნიან მიცელას, რომელიც სუსპენზირებულია ზეთის გარემოში. გარდა ზემოაღნიშნულისა, ბიტუმ-ბენზოლის ხსნარი იძლევა ტინდალის (შუქაბნევა) ეფექტს, ხოლო სუსპენზირებულ გარემოში შეიმჩნევა ბროუნის მოძრაობა. მიცელარული თეორიის თანახმად, ნივთიერების გათხევადებისას გამხსნელი თავდაპირველად ხვდება მიცელათა შორის და იწვევს გაჯირჯვებას. შემდგომ ეტაპზე გამხსნელი შეაღწევს მიცელას გულში და შლის მას. ურთიერთშორის კავშირდაკარგული და გაჯირჯვებული მიცელა, თბური მოძრაობის შედეგად, სცილდება ერთმანეთს და გადადის ხსნარში, ასეთნაირად ხსნიდა მიცელარული თეორია სისტემის ჰეტეროგენულობას და არამდგრადობას. შემდგომში ბიტუმის დინების ხასიათის სხვადასხვაობით ახსნეს კოლოიდური სტრუქტურის თავისებურებები. ტემპერატურის გავლენით კონსისტენციის ცვალებადობის მიხედვით, ბიტუმი დაიყო სამ ჯგუფად:

1. ბიტუმი პენეტრაციის ინდექსით – 2 და ნაკლები. ასეთი ბიტუმის დისპერსიული ფაზა არ წარმოქმნის მთლიან ხისტ სტრუქტურას და არ ხასიათდება ძვრის წინააღობით. როგორც ცნობილია, ამგვარ სტრუქტურას ზოლს უწოდებენ;
2. ბიტუმი ინდექსით +2 და მეტი; პირველისაგან განსხვავებით, დისპერსიული ფაზის ნაწილაკები სივრცობრივ ხისტ სტრუქტურას ქმნის და ძვრის მაღალი წინააღობით ხასიათდება. ამგვარ სისტემებს, გელს უწოდებენ;
3. ბიტუმი –2-დან +2-მდე პენეტრაციის მაჩვენებლით, მიეკუთვნება საშუალო სტრუქტურას სტრუქტურას – ზოლი-გელი.

მიცვლარული თეორია ვერ ხსნის, თუ რა განაპირობებს ბიტუმის სტრუქტურის თერმოდინამიკურ მდგრადობას, ან რატომ შესწევთ უნარი ასფალტენებს და ფისებს, ენერჯის დაუხარჯავად და სტაბილიზატორის გარეშე გაიხსნას ზეთის გარემოში და სხვა საკითხებს. ამიტომ, მიცვლარულმა თეორიამ დაკარგა თავისი მნიშვნელობა.

მაკრომოლეკულური თეორია მაღალმოლეკულურ ორგანულ ნივთიერებებს განიხილავს, როგორც ჯაჭვურ ან განშტოებულ მაკრომოლეკულათა ნაერთებს და ეყრდნობა შემდეგ ძირითად დებულებებს:

1. მაკრომოლეკულები წარმოადგენს წრფივ განშტოებად ბადისებრი და სივრცობრივი აგებულების ჯაჭვს;

2. მაკრომოლეკულები განუწყვეტლივ იცვლიან თავის მდგომარეობას და კონფიგურაციას და სხვადასხვა ფორმას ღებულობენ.

3. მაღალმოლეკულურ ნაერთთა /მმნ/ თვისებები დამოკიდებულია მოლეკულურ მასაზე, ფორმაზე, მოქნილობაზე, ქიმიურ შედგენილობასა და ასოციაციის ძალების სიდიდეზე. მოლეკულური მასის ზრდა იწვევს მოლეკულათა ურთიერთმოქმედებისა და სიბლანტის ზრდას, ხოლო ფუნქციონალური ჯგუფები იწვევს ჯაჭვთა სიხისტის ზრდას.

ეს თეორია, მიცვლარულისაგან განსხვავებით, ბიტუმის სტრუქტურას განიხილავს სხვა კუთხით. თუ ჩავთვლით, რომ ბიტუმი წარმოადგენს მაღტენებში გახსნილ ასფალტენების ხსნარს და გამოვიკვლევთ მის სიბლანტეს ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით, მაშინ დავინახავთ, რომ 120°C-ზე მეტ ტემპერატურაზე ასფალტენები მოლეკულურად არის დისპერსირებული. დაბალ ტემპერატურაზე კი წარმოქმნის ასოცირებულ კომპლექსებს. ასფალტენების კონცენტრაციისა და მაღტენების შედგენილობის მიხედვით, ბიტუმის დენადობა იცვლება ნიუტონისეული ხსნარიდან არანიუტონისეულ ტიპამდე.

თანამედროვე შეხედულებების მიხედვით, ყველა სახის საგზაო და სამშენებლო ბიტუმი განიხილება, როგორც ნავთობის ზეთებსა და დნობადი ფისების გარემოში გახსნილი ასფალტენებისა და მყარ მმნ ხსნარები. მმნ ხსნარების თეორიის თანახმად, გარემო პირობების (წნევის, ტემპერატურის), მიხედვით ბიტუმი იმყოფება სხვადასხვა თერმოდინამიკურ პირობებში, ე.ი. წარმოქმნის ჭეშმარიტ ხსნარს (მაღალი ტემპერატურისას) ან ასფალტენების და ფისების კოლოიდური

ხსნარის ზემოლექულურ სტრუქტურას (ასოციაციებს), ან პლასტიკურ და შემდეგ, მყარ სხეულს.

დარბილების ტემპერატურის ქვემოთ ვითარდება სტრუქტურულ ერთეულთა ასოციაციების პროცესები გარდამავალი ტიპის პლასტიკურ-ამორფული სხეულისათვის დამახასიათებელი სტრუქტურის წარმოქმნით. სიმყიფის ტემპერატურაზე დაბლა, ამფორულ ნივთიერებასთან ერთად გვხვდება კრისტალური ნაერთებიც. სტრუქტურის ასეთნაირი ცვალებადობა თერმოდინამიკურად შექცევადია და ყველა სახის ბიტუმისათვის მიმდინარეობს ტემპერატურის განსაზღვრულ ინტერვალში.

თხევადი (ბლანტი) მდგომარეობიდან პლასტიკურში ან მყიფე მდგომარეობაში გადასვლისას, სტრუქტურის წარმოქმნის პროცესების განვითარებისა და ასოციატა ზრდის გამო, შეინიშნება ნიუტონისეული ტიპის დინებიდან გადახრა. ამასთან ერთად, მატულობს დრეკადი დეფორმაციები.

ამგვარად, სტრუქტურის ტიპი დამოკიდებულია ბიტუმის თერმოდინამიკურ მდგომარეობაზე, გარემო პირობების ცვლილება განსაზღვრავს თხევადიდან პლასტიკურში, შემდეგ კი მყიფე მდგომარეობაში გადასვლის საზღვრებს, ანუ მასალის რეოლოგიურ თვისებებს. კომპონენტთა მოლეკულების ფორმისა და ზომის გარდა, ბიტუმის თვისებებზე გავლენას ახდენს სტრუქტურის წარმოქმნის რთული კომპლექსი. მაღალი ტემპერატურის ბიტუმის თვისებებზე კომპონენტთა ქიმიური შედგენილობა უფრო მეტ გავლენას ახდენს, ვიდრე მოლეკულათაშორისი და სტრუქტურათაშორისი ურთიერთქმედების ძალები. ხოლო დაბალი ტემპერატურისას, ეს უკანასკნელი ძრითად როლს ასრულებს.

მოლეკულათა განშტოება დიდ გავლენას ახდენს მის მოქნილობაზე. მოკლე და ხშირი გვერდითი ჯაჭვები ზრდის მოლეკულათა სიხისტეს. მეჩხერი მაგრამ გრძელი განშტოება ამცირებს მოლეკულათაშორის ურთიერთქმედებას, მცირდება სიხისტის და შესაბამისად, სიმყიფის ტემპერატურაც.

მზნ ხსნარების ურთიერთქმედებაზე დიდ გავლენას ახდენს ტემპერატურა. მისი ზრდით მატულობს თბური მოძრაობა და იწვევს ასოციაციების დაშლას, დაწვევა კი პრიქით – ზრდის ასოციაციებს.

ამგვარად, ხსნარის კონცენტრაციის ზრდით და ტემპერატურის დაწევით შეიძლება გაიზარდოს ასოციატთა სიდიდე და არსებობის დრო. გარდა ამისა, შეიძლება მოიძებნოს ასოციატთა სიდიდე და არსებობის ზრდის ისეთი პირობები, რომ მათგან მივიღოთ ახალ ფაზა-გელი, ხსნარის ახალი სივრცობრივი ბადე. ასეთ სტრუქტურაში ასფალტენს ენიჭება უპირატესობა. ასფალტენის მოლეკულა მიიზიდავს სხვა პოლარულ მოლეკულას და წარმოქმნის ძლიერ ასოცირებულ კავშირს, თავის მხრივ, ეს ორი სხვადასხვა მოლეკულა მიიზიდავს მესამეს, რომელიც განლაგდება მათ შორის.

სივრცობრივი ბადის წარმოქმნელი მოლეკულები შეიცავენ არომატულ ან ჰეტეროციკლურ რგოლებს, რომელთა შორს რჩება დრუ (სიცარიელები), სადაც განლაგდებიან საშუალო (შემაკავშირებელი) მოლეკულები. წარმოქმნილი სტრუქტურის ტიპი. ძირითადად დამოკიდებულია ასფალტენისა და ფისის რაოდენობაზე, ხარისხსა და გამხსნელის ხსნადობის უნარზე.

ბიტუმს, რომელიც შეიცავს მცირე რაოდენობის დაბალმოლეკულურ ასფალტენს, აქვს მოუწესრიგებელი სტრუქტურა და ხასიათდება, როგორც ნიუტონისეული სითხე.

ასფალტენების ასოცირებული კომპლექსები კრისტალებს არ წარმოქმნიან. ასეთი კომპლექსების წარმოქმნისას ერთი მოლეკულა ასფალტენის სეგმენტი ერთიანდება ასფალტენების, ფისებისა ან არომატულ კომპონენტთა მოლეკულების სეგმენტებთან და წარმოქმნის ბადეს, მაშინ როდესაც სხვა სეგმენტები დაშლილია გამხსნელის გარემოში და არ კონტაქტირებს მათთან. ასეთ პირობებში შეკავშირებული სეგმენტები წარმოქმნის გარკვეული წესით მოწესრიგებულ სტრუქტურას – დრეკადი გელის სტრუქტურას. ამგვარი სისტემა მდგრადია (თვისებებს არ იცვლის დროში) და მტკიცეა მექანიკური ზემოქმედების მიმართ. ზოგიერთ შემთხვევაში ასეთ სტრუქტურას შეიძლება ჰქონდეს ორი ფაზა. ერთი – მაღალმოლეკულური ნივთიერებების ბადე და მეორე – ზეთები ფაზასთან სუსტი შეკავშირების შემთხვევაში, ზეთოვანი გარემო მექანიკური ზემოქმედების, დიფუზიის, თბურ და მზის სხივების (სინერჯის), ან გელის

სტრუქტურული ბადის კუმშვის (კოტრაქცია) შედეგად შეიძლება გამოეყოს მოლეკულურ ბადეს.

ზემოთაღნიშნულ, მოწესრიგებულ და მოუწესრიგებელ, ორ სტრუქტურას შორის არსებობს მრავალი საშუალო სტრუქტურა, რომელთა ხასიათი იცვლება ტემპერატურისა და ბიტუმის ცალკეულ კომპონენტთა ხარისხისა და კონცენტრაციის ცვალებადობის მიხედვით.

ბლანტ ბიტუმში მყარი ასფალტენების კონცენტრაცია 15-40% ფარგლებში მერყეობს. ამიტომ, უპარაფინო ბიტუმი გაყინვისას ბლანტიდან მყიფეში, მინისებრ მდგომარეობაში გადადის. მმნ თეორიის თანახმად, ეს აიხსნება იმით, რომ მოლეკულათა თბური გადაადგილების ენერგია გაცილებით ნაკლები ხდება მოლეკულათა ურთიერთქმედების ენერგიაზე, ხოლო მეზობელ მოლეკულათა გადაჯაჭვების სიჩქარე იმდენად მცირდება, რომ მოლეკულა ვერ იცვლის ვერც თავის კონფიგურაციას და ვერც მდგომარეობას, ე.ი. იზრდება მოლეკულათა შორისი ძალები და სისიტემაში წონასწორობის აღდგენის პროცესი ძალიან ნელა მიმდინარეობს. ასეთ პრობებში მმნ გარე ძალებით გამოწვეული დეფორმაციები უმნიშვნელოა და ისეთივე ხასიათს ატარებს, როგორც დაბალმოლეკულური მასალები. უნდა აღინიშნოს, რომ ყველა სახის ბიტუმს მინისებრ მდგომარეობაში გადასვლის ტემპერატურა სიმყიფის ტემპერატურაზე ნაკლებია.

ზემოთაღნიშნულ ფაქტორთა გათვალისწინებით, უარყოფით ტემპერატურაზე ბიტუმი უნდა განვიხილოთ, როგორც სტაბილური სხეული და არა ზედმეტად გაცივებული ხსნარები – გაუწონასწორებელი მეტასტაბილური სისტემები. პარაფინიანი ბიტუმის გაყინვისას კი მიმდინარეობს პარაფინის სწრაფი კრისტალიზაცია, ბიტუმი კარგავს სიკრიალეს და მქრქაღდება. პარაფინის კრისტალები წარმოადგენს ასფალტენების ასოციაციების ცენტრებს, წარმოქმნის მსხვილ აგრეგატებს და ილექება.

ამგვარად, ისეთი რთული სისტემის თვისებები, როგორც ბიტუმია, დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, რომელთაგან უმთავრესია: ასფალტენების კონცენტრაცია, მისი ქიმიური ბუნება, მოლეკულათა ფორმა და ზომა როგორც გრძივი, ასევე განივი მიმართულებით; სისტემაში ფისებისა და სხვადასხვა რივის

ნახშირწყალბადების თანაფარდობა და მათი ქიმიური ბუნება აღნიშნული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე, შემუშავებულ იქნა ბიტუმის სამი სტრუქტურული ტიპი.

I სტრუქტურული ტიპის ბიტუმი შეიცავს 25%-ზე მეტ ასფალტენს, 24%-ზე ნაკლებ ფისს და 50%-ზე მეტ ნახშირწყალბადს. ამასთან, ასფალტურ-ფისოვან ნაერთთა საერთო ჯამში ასფალტენის ხვედრითი წილი 0,5-ზე მეტია, ხოლო ასფალტენის ფარდობა ნახშირწყალბადთან და ფისთან 0,35-ზე მეტი. I ტიპის სტრუქტურა წარმოადგენს ასფალტენის კოაგულაციურ ბადე-კარკასს, რომელიც იმყოფება სუსტმასტრუქტურებელი ფისის გარემოში. გარემო შედგება პარაფინ-ნაფტენური და არომატული ნახშირწყალბადის ნარევისაგან. მათი სიბლანტე მკვეთრად ეცემა მექანიკური ზემოქმედების შედეგად. დაშლილი სტრუქტურის სიბლანტე საწყისის მხოლოდ 6,5-12%-ს შეადგენს, მაგრამ აღადგენს სტრუქტურას 1-2 დღის შემდეგ. ე.ი. თბური მოძრაობის შედეგად ასფალტენების აგრეგატების და ნაწილაკთა ურთიერთქმედება იწვევს საწყისი სტრუქტურის აღდგენას, ამიტომ I ტიპის ბიტუმი მაღალტიქსოტროპიული თვისებებით გამოირჩევა. ტემპერატურის ფართო დიაპაზონში I სტრუქტურა იცვლება კონდენსაციურ-კრისტალიზაციურიდან, კოაგულაციური სტრუქტურის გავლით, ჭეშმარიტ ხსნარამდე. მყარი პარაფინი იწვევს დამატებითი სტრუქტურის ბადის წარმოამნას, იგი გამოკრისტალდება ასფალტენებზე და კოაგულაციურ კარკასთან ერთად, დამატებით წარმოქმნის კრისტალიზაციურ ბადეს, რაც უარყოფით გავლენას ახდენს ბიტუმის რეოლოგიურ და ადჰეზიურ თვისებებზე.

II სტრუქტურული ტიპის ბიტუმი შეიცავს 18%-მდე ასფალტენს, 36%-ზე მეტ ფისს და 48%-ზე მეტ ნახშირწყალბადებს. ასფალტურ-ფისოვან ნაერთთა საერთო ჯამში ასფალტენის ხვედრითი წილის 0,34-ზე ნაკლებია, ხოლო მისი ფარდობა ნახშირწყალბადებისა და ფისის ჯამთან 0,22-ზე ნაკლები. სტრუქტურის II ტიპი წარმოადგენს ასფალტენის მაქსიმალურად სტაბილიზებულ განზავებულ სუსპენზიას ძლიერმასტრუქტურებელი ფისის დისპერსიულ გარემოში. ასფალტენები ერთმანეთთან არაა დაკავშირებული და არც ურთიერთქმედებენ, ისინი



აადსორბირებენ ფისს და გაჰყავთ იგი აფსკურ მდგომარეობაში. წარმონაქმნი ხასიათდება დიდ სიბლანტით და მექანიკური სიმტკიცით.

მექანიკური ზემოქმედების შედეგად, II ტიპის ბიტუმთა სიბლანტე თითქმის არ იცვლება და ინარჩუნებს საწყისის 90-96%-ს, ე.ი. სტრუქტურა თითქმის არ იშლება, მაგრამ ხასიათდება შეუქცევადი პროცესებით. მექანიკური ზემოქმედების შედეგად, მცირე დაშლილი სტრუქტურა არ აღიდგენს პირვანდელ სტრუქტურას და ტიქსოტროპიული თვისებით არ ხასიათდება. I ტიპისაგან განსხვავებით II ტიპს თხევადი სტრუქტურა აქვს.

III სტრუქტურული ტიპის ბიტუმს საშუალოდ მდგომარეობა უჭირავს I და II-ს შორის. იგი შეიცავს ასფალტენს 21-23%, ფისს 30-34%, ნახშირწყალბადებს 45-49%. ასფალტურ-ფისოვან ნაერთთა საერთო ჯამში ასფალტენის ხვედრითი წილი მერყეობს 0,39-0,44 საზღვრებში, ხოლო მისი ფარდობა ნახშირწყალბადისა და ფისის ჯამთან, 0,25 - 0,30 ფარგლებში იცვლება. ასეთ სისტემებში ცალკეული აგრეგატები ან ასფალტენის მეორეული სტრუქტურს წარმონაქმნი ფისის მასტრუქტურებელ გარემოში გაცილებით უფრო მაღალხარისხოვანია, ვიდრე I ტიპში, მაგრამ უფრო დაბალხარისხოვანი, ვიდრე II ტიპში.

მექანიკური ზემოქმედების შედეგად, II ტიპის სტრუქტურა იშლება და მისი სიბლანტე საწყისის 40-65%-ს შეადგენს. I-საგან განსხვავებით, მისი სტრუქტურა 3 დღს შემდეგაც არ უბრუნდება საწყის მდგომარეობას, ე.ი. ტიქსოტროპიული თვისებები არ ახასიათებს. სტრუქტურის აღდგენა გაძნელებული თბური მოძრაობის პროცესების შედეგადაც.

პლასტიკურობის მაჩვენებლის, დარბილებისა და სიმყიფის ტემპერატურის, თვისებათა სტაბილურობის და სხვა თვისებების მიხედვით, საგზაო მშენებლობაში გამოყენების თვალსაზრისით უპირატესობა ენიჭება III ზოლი-გელის სტრუქტურული ტიპის ბიტუმს. გარდა ზემოაღნიშნულისა, ბიტუმის შერჩევასა და გამწვევებია რეგონის კლიმატური პირობები, ასფალტბეტონის მასალების თვისებები და მომზადების მეთოდები.

### 3.2 ორგანული შემკვრელი მასალების რეოლოგიური თვისებები

ფიზიკურ-ქიმიური მექანიკის ძირითადი კანონების თანახმად, დეფორმაციულობა და სიმტკიცე ისეთი სტრუქტურული სისტემისათვის, როგორცაა მოდიფიცირებული ბიტუმი, შეიძლება დაგახასიათოთ შემდეგი მაჩვენებლებით:

1. სიმტკიცით  $P_M$ , რომელიც განისაზღვრება ძაბვის იმ მნიშვნელობით, როდესაც მოლეკულური ძალები ვერ უზრუნველყოფს მოდიფიცირებული ბიტუმის ერთიანობას და იშლება ან გადადის დენად მდგომარეობაში.  $P_m(\tau)$  სიმტკიცე ძაბვის მოქმედების ხანგრძლივობის ფუნქციაა;
2. ზღვრული დეფორმაციით –  $\epsilon_B$  – რომელიც წარმოადგენს სხეულის დეფორმაციულობის საზომს, ანუ სხეულის უნარს დარღვევის წინ შეუქცევადად შეიცვალოს ფორმა და ზომა;
3. დენადობის ზღვრით  $P_K$ ;
4. ეფექტური სიბლანტით  $\eta = \eta(P)$ . ძვრით გამოწვეული მცირე ძაბვის დროს, როცა მასალის სტრუქტურა არ არის დაშლილი, იგი ინარჩუნებს მუდმივ მნიშვნელობას  $\eta = \eta_0$ ; ძვრის ძაბვის დიდი მნიშვნელობის დროს კი, როცა მასალის სტრუქტურა მთლიანად დარღვეულია  $\eta = \eta_m$ ;
5. პირობითი მყისი დრეკადობის მოდულით  $G_1$ , რომელშიც გათვალისწინებულია დრეკად საწრაფრელაქსირებული ელასტიკური დეფორმაციები და წონასწორული დრეკადობის მოდული  $G_m$ .

ტემპერატურული არე, რომელშიც მოდიფიცირებული ბიტუმს უხდება მუშაობა, პირობითად შეიძლება სამ ინტერვალად დაიყოს. 160°C-დან 60°C-მდე არის მოდიფიცირებული ბიტუმის ტექნოლოგიური დამუშავების არე; 60°C-დან 20°C-მდე – მოდიფიცირებული ბიტუმის საგზაო ფენილში მუშაობის არე. ამ ინტერვალში ყურადღებას იპყრობს მოდიფიცირებული ბიტუმის დრეკად-ბლანტ-პლასტიკური თვისებები და სიმტკიცის სხვა მახასიათებლები. 20°C-დან – 25°C-მდე არე დაკავშირებულია მოდიფიცირებული ბიტუმის საგზაო კონსტრუქციაში

მუშაობასთან. ამ ინტერვალში მთავარ როლს ასრულებს მოდიფიცირებული ბიტუმის დრეკად-პლასტიკური და დრეკად მყიფე თვისებები.

მოდიფიცირებული ბიტუმის მექანიკური თვისებების შეფასებისათვის განსაკუთრებით საინტერესოა 20-60°C ინტერვალი, სადაც სხვადასხვა სტრუქტურული ტიპის მოდიფიცირებული ბიტუმის რეოლოგიური თვისებები მუდამდგება სუფთა სახით.

დრეკად სხეულში დატვირთვით გამოწვეული ძაბვები არის შექცევადი, ე.ი. დატვირთვის მოხსნის შემდეგ იგი მყისიერად ქრება. იდეალური დრეკადი სხეულის დეფორმირების კანონი აღიწერება ჰუკის კანონით:

$$\varepsilon = \tau / G_m, \quad (1)$$

სადაც ფარდობითი დეფორმაციაა;  $\tau$ -ძაბვა.

(1) განტოლებიდან ჩანს, რომ დრეკადი დეფორმაცია არ არის დამოკიდებული ძალის მოქმედების დონეზე.

სითხეებში კი ძალის მოქმედების შედეგად გამოწვეული დეფორმაცია შეუქცევადია, ე.ი. დატვირთვის მოხსნის შემდეგ დეფორმაციები არ ქრება.

იდეალური სითხის დეფორმირების კანონი გამოისახება შემდეგი განტოლებით:

$$d\varepsilon = \tau / \eta dt \quad (2)$$

სადაც  $d\varepsilon$  არის ფარდობითი დეფორმაცია  $dt$  დროში;  $\tau$ - მხები ძაბვა, ხოლო  $\eta$ - დინამიკური სიბლანტე.

იდეალურად დრეკადი სხეული და იდეალური სითხე არის დეფორმირების ორი უკიდურესი შემთხვევა. ფაქტიურად, ნებისმიერ მასალაში დატვირთვის მიყენების შედეგად წარმოიქმნება როგორც დრეკადი, ასევე ნარჩენი (პლასტიკური) დეფორმაციები, რომლებსაც დრეკად-ბლანტ მასალებს უწოდებენ.

როგორც 1 და 2 განტოლებებიდან ჩანს, დრეკადი დეფორმაციები არ არის დამოკიდებული ძალის მოქმედების დროზე. შეუქცევადი (პლასტიკური) დეფორმაცია კი ძალის მოქმედების დროს პირდაპირ პროპორციულია. აქედან, რეოლოგიის ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანაა მასალის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე დროის ფაქტორის გავლენის შესწავლა. ამ საკითხის გადაწყვეტა შესაძლებელია ჰუკისა

და ნიუტონის განტოლებათა საფუძველზე. მაქსველმა დროის მიხედვით ჰუკის განტოლების დიფერენცირებით

$$d\varepsilon/dt = d\tau / G_m dt \quad (3)$$

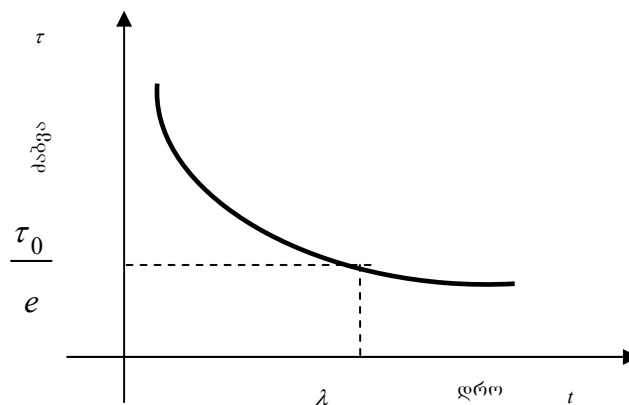
და მიღებული (2)-თან შეკრებით მიიღო შემდეგი დამოკიდებულება:

$$\tau = e^{-G_m t / \eta} \cdot \left( \tau_0 + G_m \int_0^t d\varepsilon / dt e^{-G_m t / \eta} \cdot dt \right) \quad (4)$$

ამ დამოკიდებულებით ხასიათდება დრეკადი თვისებების მქონე მასალა. იგი ფაქტიურად სითხეა, რომელსაც მაქსველის სითხესაც უწოდებენ. ასეთი მასალა საინტერესო თვისებებს ამჟღავნებს, როცა მასში ვითარდება მუდმივი დეფორმაცია, ე. ი. როდესაც სიჩქარის გრადიენტი  $d\varepsilon/dt=0$ . ამ შემთხვევაში (4)-დან მიიღება:

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{-G_m t / \eta} \quad (5)$$

ამგვარად, ძალის მოქმედების მთელ პერიოდში მუდმივი დეფორმაციისას მასალაში წარმოქმნილი ძაბვა თანდათან კლებულობს ანუ ხდება ძაბვის რელაქსაცია.  $\eta$  სიბლანტის  $G_m$  ძვრის მოდულთან ფარდობას  $\lambda = \eta / G_m$ , უწოდებენ რელაქსაციის პერიოდს. ეს არის დრო, როდესაც ძაბვა  $e=2,7$ -ჯერ მცირდება,



ნახ. 8. მაქსველის სხეულის (სითხოს) რელაქსაცია

ბლანტ-დრეკადი მასალების რეოლოგიური თვისებების გამოსარკვევად შეიძლება ვისარგებლოდ ჰუკისა და ნიუტონის განტოლებებით. კერძოდ, მათი შეკრებით მიიღება შემდეგი დამოკიდებულება:

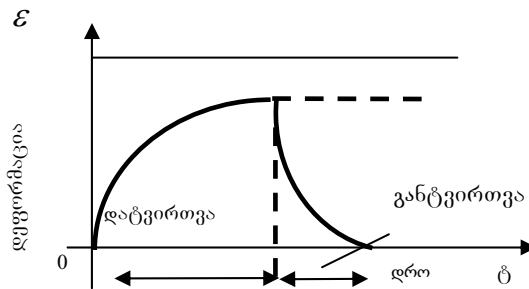
$$\varepsilon = e^{-Et/\eta} \cdot \left( \varepsilon_0 + 1/\eta \int_0^t \tau e^{-Et/\eta} \cdot dt \right). \quad (6)$$

ამ დამოკიდებულებით ხასიათდება დრეკადი (კელვინ-ფოგტის მყარი სხეული) თვისებების მქონე არარელაქსირებული მასალა. მისი თავისებურება გამოიხატება იმაში, რომ განტვირთვის შემდეგ დეფორმაციები მესყეულად არ ქრება. როცა  $\tau = 0$ , მაშინ მივიღებთ:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot e^{-Et/\eta}, \quad (7)$$

ხოლო დატვირთვისას:

$$\varepsilon = \tau/E \cdot (1 - e^{-Et/\eta}). \quad (8)$$



ნახ. 9. დეფორმაციების განვითარება კელვინ-ფოგტის სხეულში

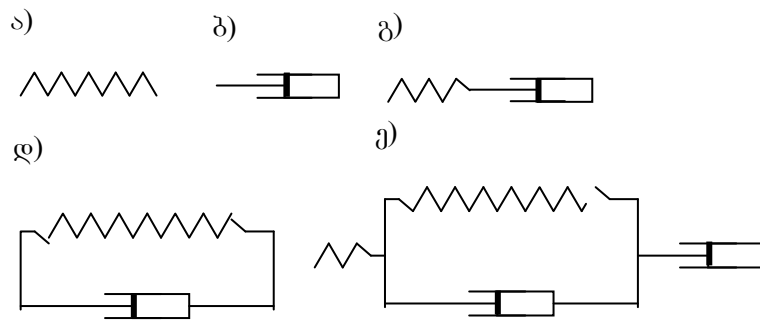
როგორც (8) ტოლობიდან და ნახ. 9-დან ჩანს, მოცემული დატვირთვისათვის დეფორმაციები მყარდება არა მყისიერად, არამედ გარკვეული დაყოვნების შემდეგ. ამ შემთხვევაში  $E/\eta E$  კელვინის სხეულის დრეკადობის მოდულია) ფარდობას, კელვინის სხეულის დაყოვნების პერიოდს უწოდებენ. რეალური მასალებისათვის ეს ეფექტი (დაყოვნების დრეკადობა) ისევე დამახასიათებელი, როგორც რელაქსაცია. ამგვარად, ყოველ რეალურ მასალაში შეხამებულია მაქსველის სითხისა და კელვინ-ფოგტის დრეკადი სხეულის თვისებები. რეალურ მასალაში დრეკად-პლასტიკურ დეფორმაციებს შორის ფარდობა, უმეტეს შემთხვევაში, მეტად რთულია. მასალების რეოლოგიის თვალსაჩინოების მიზნით, გამოიყენება მექანიკური მოდელები.

მასალა, რომელსაც დრეკად და პლასტიკურ დეფორმაციებთან ერთად აქვს რელაქსაციისა და დაყოვნების თვისებები, შეიძლება წარმოვიდგინოთ ნახ.10-ის მიხედვით.

მუდმივი დატვირთვების მოქმედების შედეგად  $\varepsilon$  შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი განტოლების სახით:

$$\varepsilon = \tau/E_s + \pi/\eta_6 + \tau(1 - e^{-t/\tau})/E_s. \quad (9)$$

განტოლების პირველი წევრი ახასიათებს მასალის მყისიერ დრეკად დეფორმაციას. მეორე წევრი – შეუქცევადი (პლასტიკური) დეფორმაციების განვითარებას. ხოლო მესამე – დაყოვნების დრეკადობას.



ნახ.10 რეოლოგიური მოდელები

- ა) ჰუკის სხეული (ზამბარა); ბ) ნიუტონისეული სითხე (ამორტიზატორი);  
 გ) მაქსველის სითხე; დ) კელვინ-ფოგტის სხეული; ე) განზოგადებული მოდელი.

რეოლოგიური მოდელი საკმაოდ ხელსაყრელია მასალის თვისებების თვალსაჩინოდ წარმოსაჩენად, მაგრამ მათემატიკური გაანგარიშებანი რთულია და შრომატევადი. გარდა ამისა, მექანიკური მოდელი სრულყოფილად ვერ ასახავს ბლანტ-დრეკადი თვისებების მქონე სხეულის სტრუქტურისა და მოლეკულური ბუნების თავისებურებებს. ამავე დროს, ფიზიკური პროცესების ცოდნა, დეფორმირებისას სტრუქტურისა და სტრუქტურული თვისებების სწორი გაგება აუცილებელია თანამედროვე ინჟინრისათვის, რადგან ამის გარეშე იგი ვერ შეძლებს სწორად შეარჩიოს წინასწარ განსაზღვრული თვისებების მქონე მასალა.

შვედოვის გამოკვლევებით დადგინდა, რომ დრეკად სითხეებში არ ხდება ძაბვის სრული რელაქსაცია, არამედ ძაბვა დებულობს გარკვეულ მუდმივ მნიშვნელობას, რომელსაც დენადობის ზღვარს უწოდებენ. ამ შემთხვევაში საქმე გვაქვს პლასტიკურ მასალასთან. მაქსიმალური მიხედვით, პლასტიკურია მასალა, თუ მას აქვს ნულისაგან განსხვავებული დენადობის ზღვარი და დინების უნარი დენადობის ზღვრის ზევით. რაც მეტია დენადობის ზღვარი, სხეული მით მეტად პლასტიკურია და ნაკლებ პლასტიკურია, რაც უფრო მეტია დენადობის ზღვრის ზევით პლასტიკური სიბლანტე. ე.ი. რაც უფრო მცირეა დაურღვეველი სტრუქტურის სიბლანტესა  $\eta_0$  და დარღვეული სტრუქტურის სიბლანტეს  $\eta_m$  შორის სხვაობა. თუ  $\eta_0$  ერთი რიგით აღემატება  $\eta_m$ -ს, მაშინ მასალას სითხისებრი სხეულის თვისებები აქვს და თუ სხვაობა რამდენიმე რიგს აღემატება, მაშინ მყარი სხეულის თვისებებით ხასიათდება.

პლასტიკური სხეულის კერძო შემთხვევაა პლასტიკურ-ბლანტი სხეული (ბინგამის სხეული), რომლის სტრუქტურა კრიტიკული ძაბვის მოქმედების შედეგად და მთლიანად ირღვევა. ამგვარად, ასეთი სხეული კრიტიკულზე მეტი ძაბვის მოქმედებით ხდება თხევადი და ძაბვის შემცირების შემდეგ უბრუნდება ახალ, მყარ მდგომარეობას.

შვედოვმა და შემდეგ, ბინგამმა დაამტკიცეს, რომ პლასტიკური დინება ხასიათდება ორი კონტრასტით: დენადობის ზღვარი  $P_k$  და პლასტიკური სიბლანტით  $\eta^*$  ეს მაჩვენებლები, დენადობის ზღვრის ზევით, პრაქტიკულად მუდმივი სიდიდეებია.

სტაციონარული ცოცვადობისათვის  $P=P_k+\eta^*\dot{\epsilon}$  და  $\eta^*$  შვედოვ-ბინგამის კანონის მიხედვით განისაზღვრება

$$\eta^* = \frac{(P - P_k)}{\dot{\epsilon}}; \dot{\epsilon} = \frac{(P - P_k)}{\eta^*} \cdot \tau + P/G, \text{ როცა } P = const. \quad (10)$$

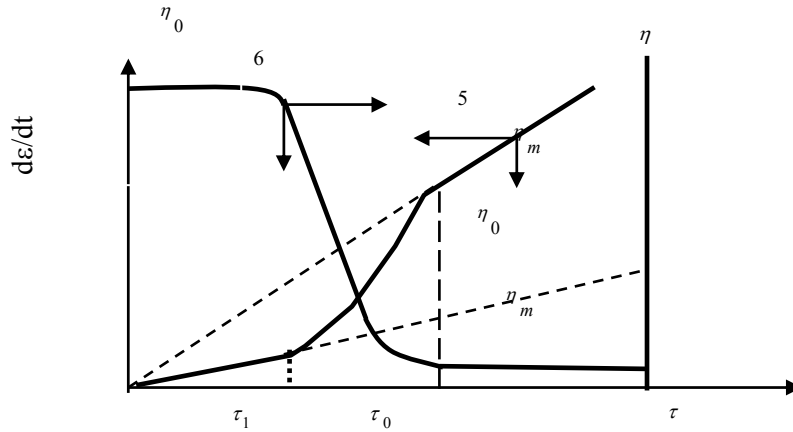
კრისტალური აგებულების სხეულისაგან განსხვავებით, ამორფულის თვისებები ტემპერატურის გააღწეით თანდათანობით იცვლება. ამასთან ერთად, ტემპერატურის გარკვეულ ინტერვალში თვისებათა ცვალებადობა არაწრფივი კანონით ვრცელდება. მოდიფიცირებული ბიტუმი მიეკუთვნება დრეკად-პლასტიკურ-ბლანტი თვისებების მქონე მასალებს, რომელთა თვისებები იცვლება

ტემპერატურის ცვალებადობასთან ერთად. ამიტომ, მისი თვისებებისა და დეფორმაციულობის შესწავლა ხდება ლიტერდისისა და ჯეფრისის, კელვინ ფოიგტის, მაქსველისა და ბინგამის იდეალიზებულ-რეოლოგიური მექანიკური მოდელების საშუალებით. რეოლოგიურ თვისებათა განსაზღვრისათვის ავაგეთ დეფორმაციის სინქარესა ( $d\varepsilon/dt$ ) და ძვრის ძაბვას ( $\tau$ ) შორის დამოკიდებულების გრაფიკს (ნახ.11). სადაც მრუდი 5 არის  $\tau=f(d\varepsilon/dt)$  კოორდინატებში, ხოლო მრუდი 6  $\tau=f(\eta)$  კოორდინატებში. ამასთან, შეიძლება განისაზღვროს სხვადასხვა სტრუქტურულ-რეოლოგიური თვისებები. მცირე ძაბვის შემთხვევაში განსაზღვრება სტრუქტურული სიბლანტე ( $\eta_0$ ), მასალის დაურღვეველი სტრუქტურის მაქსიმალური სიბლანტე. ძაბვის  $\tau_1$ -დან  $\tau_0$ -მდე გაზრდით ხდება სტრუქტურის გაუწონასწორებელი დაშლა და ირღვევა პირდაპირპროპორციულობა  $d\varepsilon/dt$ -სა და  $\tau$ -ს შორის. მრუდის ეს უბანი ახასიათებს ეფექტურ სიბლანტეს ( $\eta_e$ ) როცა ძაბვა გახდება  $\tau_e$ -ს ტოლი, სტრუქტურა მთლიანად ირღვევა და მისი შემდგომი ზრდით  $d\varepsilon/dt$ -სა და  $\tau_0$ -ს შორის კვლავ მყარდება პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება. აქვე შეიძლება განისაზღვროს დარღვეული სტრუქტურის პლასტიკური სიბლანტე ( $\eta_m$ ):

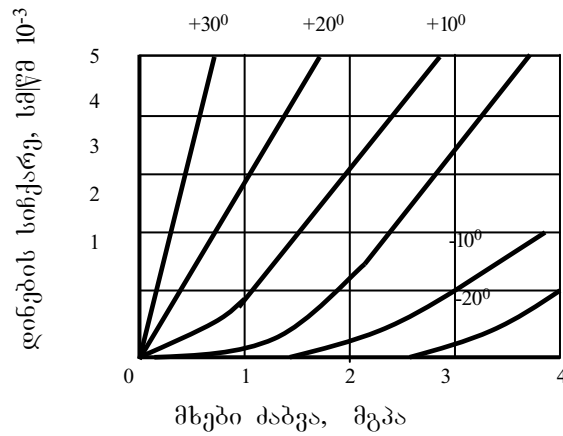
$$\tau = \tau_0 + \eta_m \cdot d\varepsilon/dt. \quad (11)$$

ნახ.12-ზე ნაჩვენებია  $-20^{\circ}\text{C}$   $+30^{\circ}\text{C}$ -მდე ინტერვალში მოდიფიცირებული ბიტუმის რეოლოგიური მრუდები. უარყოფითი ტემპერატურისას ( $-20^{\circ}\text{C}$ -დან  $-10^{\circ}\text{C}$ -მდე) ბიტუმის სიბლანტე დიდია და მას მყარი სხეულის სახე აქვს (ზღვრული ძვრის ძაბვა, დრეკადობა და სხვა). ტემპერატურის ზრდისას სიბლანტე მცირდება და ბიტუმი გადადის თხევად მდგომარეობაში.



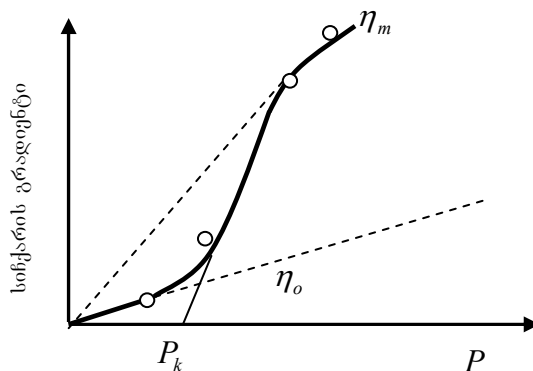


ნახ.11 მოდიფიცირებული ბიტუმის სრული რეოლოგიური მრუდი



ნახ. 12 ბიტუმის რეოლოგიური მრუდები - 20დან +30°C-მდე ტემპერატურის ინტერვალში

მოდიფიცირებული ბიტუმის დამახასიათებელი სრული რეოლოგიური მრუდი ნაჩვენებია ნახ.13-ზე.



ნახ. 13 სრული რეოლოგიური მრუდი;

$\eta_0$  – დაურღვეველი სტრუქტურის უდიდეს სიბლანტე;  
 $\eta_m$ – დაურღვეველი სტრუქტურის უმცირესი სიბლანტე;  
 $P_k$ – დენადობის ზღვარი;  
 $OA$ – უდიდესი სიბლანტის ( $\eta_0$ ) არე;  
 $AB$ – სიბლანტის თანდათან შემცირების არე;  
 $BB$ – სტრუქტურის დარღვევის არე;  
 $BI$ – უმცირესი სიბლანტის არე.

ერთგვაროვანი ძვრის პირობებში სტრუქტურული ნაკადის სივრცული სტრუქტურის რღვევა იწვევს ეფექტური სიბლანტის ( $\eta_e$ ) შემცირებას. უმნიშვნელო ძვრის ძაბვის დროს მოდიფიცირებული ბიტუმის სივრცული ბადის სტრუქტურა დარღვევის შემდეგ. თანდათან უბრუნდება პირვანდელს, ე.ი. სიჩქარის გრადიენტის ნულთან მიახლოებისას სტრუქტურას აქვს ტიქსოტროპული თვისება. ამგვარად, მუდმივი სიჩქარის გრადიენტით დეფორმირებისას სტრუქტურული კავშირების რღვევისა და აღდგენის საბოლოო მახასიათებლად ითვლება ეფექტური სიბლანტე.

სხვადასხვა, ნებისმიერი სიჩქარის გრადიენტისას სიბლანტის საშუალო მნიშვნელობების განსაზღვრა არაა მიზანშეწონილი. ისეთი სტრუქტურული სიტემა, როგორცაა მოდიფიცირებული ბიტუმი, ხასიათდება სრული რეოლოგიური მრუდებით, ანუ სიბლანტის ორი ზღვრული მნიშვნელობით. თუ ისინი მკვეთრად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, მაშინ მახასიათებლად ითვლება დენადობის ზღვარი. ზღვრული სიბლანტის ( $\eta_0$ ) უდიდესი მნიშვნელობა გვიჩვენებს სისტემის მდგომარეობას ცოცვადობის მიმართ. ზღვრული სიბლანტის ( $\eta_m$ ) უმცირესი მნიშვნელობა კი (დარღვეული სივრცული სტრუქტურის პირობებში) – სისტემის ძვრადობას, დენადობის ზღვარი ( $P_k$ ) გვიჩვენებს სხვადასხვა მექანიკურ რეჟიმებს შორის ზღვარს.

პრაქტიკულად, საკმაო სიზუსტით, შესაძლებელია მცირე სიჩქარის გრადიენტის პრობებში განისაზღვროს დაუშლელ სტრუქტურის თვისებები. დადგინდა, რომ დაუშლელ სტრუქტურის თვისებების დახასიათება შეიძლება სტატიკური დენადობის ზღვრის ( $P_k$ ) და მუდმივი პლასტიკური (შვედოვის) სიბლანტით ( $\eta_0^*$ ). ეს უკანასკნელი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$\eta_0^* = \left[ \frac{P - P_k}{\dot{\epsilon}} \right]_{\dot{\epsilon} \rightarrow 0} , \quad (12)$$

სადაც  $P$  მოქმედი ძვრის ძაბვაა.

დიდი სიჩქარის გრადიენტის პრობებში კვაზისტაციონარულ ნაკადში მასალის დაშლილი სტრუქტურის თვისებები ხასიათდება დინამიკური დენადობის ზღვრით ( $P_B$ ) უმცირესი, პრაქტიკულად მუდმივი, პლასტიკური (ბინგამის) სიბლანტით ( $\eta_m^*$ ) და განისაზღვრება  $\eta_m^* = (P - P_{Bk})/\dot{\epsilon}$  ტოლობით. სუსტი სტრუქტურული სისტემისათვის შეიმჩნევა, რომ  $P_k = 0$ , და  $\eta_0^* = \eta_0$  ე.ი. დაურღვეველი სტრუქტურა ხასიათდება უდიდესი ეფექტური (ნიუტონის) სიბლანტით  $\eta_0 = (P/\dot{\epsilon})_{\dot{\epsilon} \rightarrow 0}$ .

დეფორმაციული თვისების გარდა, მასალის დახასიათება ხდება მისი სიმტკიცით. სიმტკიცე განისაზღვრება ძვრის ძაბვის იმ კრიტიკული მნიშვნელობით, როდესაც სხეულის ერთიანობა მკვეთრად ირღვევა. სიმტკიცე დამოკიდებულია დეფორმირების სხეულის სტრუქტურაში არსებულ დეფექტებსა და დატვირთვის სიჩქარეზე. როგორც წესი, დეფორმაციის სიჩქარის ზრდა იწვევს სხეულის სიმტკიცის ზრდას და ემორჩილება გარკვეულ კანონზომიერებას. სხეული იშლება არა მარტო მექანიკური ზემოქმედების შედეგად, არამედ სტრუქტურის ელემენტების თბური მოძრაობითაც. თბური მოძრაობა იწვევს სტრუქტურული ელემენტების განცალკევებას. მექანიკური ძალა კი ხელს უწყობს ამ პროცესს და აფიქსირებს მას. თანამედროვე შეხედულებათა შესაბამისად, სხეულის სიმტკიცე განპირობებულია მოლეკულათა შორისი და ქიმიური კავშირებით. სიმტკიცეზე თითოეული ამ ფაქტორის გავლენა დამოკიდებულია ტემპერატურისა და დეფორმაციის სიჩქარეზე. ამდენად, სიმტკიცე ერთი მუდმივი ზღვრული მნიშვნელობით არ განისაზღვრება. გარდა აღნიშნულისა, სიმტკიცე დამოკიდებულია სხეულის ზომაზე. რაც უფრო მცირე ზომისაა სხეული, მით მეტია მისი სიმტკიცე და პრიქით. სიმტკიცის სტატისტიკური თეორიის თანახმად, დატვირთვისას სხეულის რღვევა ხდება თანდათანობით. როდესაც ძაბვის მნიშვნელობა თეორიული სიმტკიცის ტოლი გახდება. მაშინ სხეულში არსებული ყველაზე სუსტი ადგილი იწყებს რღვევას. რაც უფრო დიდია სხეულის მოცულობა ან ზედაპირის ფართობი, მით მეტია მასში დეფექტებისა და სუსტი ადგილების რაოდენობა და შესაბამისად, ნაკლები იქნება მისი სიმტკიცე.

გარდა ტემპერატურისა და დეფორმაციის სიჩქარისა, სხეულის პროცესზე გავლენას ახდენს დაძაბული მდგომარეობის ხასიათი, აგრესიული გარემო და ზედაპირულაქტიური ნივთიერებანი.

სხვადასხვა რეგონში ბიტუმის გამოყენება შესაძლოა, თუ იგი: ა) მინიმალურ ტემპერატურისას მყიფედ არ იშლება; ბ) მაქსიმალური ტემპერატურის მიმართ მდგრადია და წარმოიქმნება, მხოლოდ უმნიშვნელო სიდიდის მუდმივი დეფორმაციები (ცოცვადობა და დენადობა). ამ მოთხოვნათა გათვალისწინებით ვან-დერ-ჰოლმა გამოიკვლია სხვადასხვა სახის ბიტუმთა დრეკადობის მოდულის დამოკიდებულება დროსთან. ეს დამოკიდებულება მან გამოხატა შემდეგი განტოლებით:  $E=f(te^{AT})$ , სადაც  $t$  არის დრო,  $T$ – ტემპერატურა;  $A$ – კონსტანტა. დადგინდა, რომ არაა დამოკიდებული ძაბვაზე და განისაზღვრება ბიტუმის პენეტრაციის ინდექსის მიხედვით. გარდა ამისა, შემუშავდა ნომოგრამა, რომელიც ამყარებს ფუნქციურ დამოკიდებულებას დრეკადობის მოდულსა, ბიტუმის დარბილების ტემპერატურას, პენეტრაციის ინდექსს, დროსა და ტემპერატურას შორის.

საგზაო კონსტრუქციებში ბიტუმის თხელი აფსკი აერთიანებს ინერტულ მასალას. ამდენად, ფენილის სიმტკიცე და დეფორმაციულობა მნიშვნელოვანწილად დამოკიდებულია ბიტუმის თხელი აფსკის თვისებებზე. გამოკვლევებით დადგინდა, რომ მაღალმოლეკულურ ნაერთთა თხელი აფსკის სტრუქტურულ-მექანიკური თვისებები მკვეთრად განსხვავდება სქელი აფსკის თვისებებისაგან. ამიტომ, წარმოებს ბიტუმის აფსკის კოჰეზიური სიმტკიცის გამოკვლევა, რომ ბიტუმის კოჰეზია ტემპერატურის კლებისას მატულობს და დამოკიდებულია დატვირთვის სიჩქარეზე. მაკკმა ლითონის ფირფიტებს შორის ბიტუმის სიმტკიცის (კოჰეზიის) აფსკის სისქესთან დამოკიდებულების გამოკვლევით დადგინა, რომ აფსკის მაქსიმალურ სიმტკიცეს შეესაბამება რაღაც გარკვეული (ოპტიმალური) სისქე. ნ. გორელიშევიმა კი დაადგინა, რომ ოპტიმალური სისქის გარდა, სიმტკიცეზე გავლენას ახდენს მინერალური მასალის ბუნება და სისქე.

ჩვენში და საზღვარგარეთ ორგანულ შემკვრელ მასალათა რეოლოგიური თვისებების შეფასება მეტწილად, პირობითი მეთოდებით

წარმოებს. იგი რეგლამენტირებულია სახელმწიფო სტანდარტებით და მათ სტანდარტულ მეთოდებსაც უწოდებენ. ბიტუმის რეოლოგიური თვისებების განმსაზღვრელ სტანდარტულ მეთოდებს მიეკუთვნება პენეტრაცია, პლასტიკურობა (დუქტილობა), დარბილებისა და სიმყიფის ტემპერატურები.

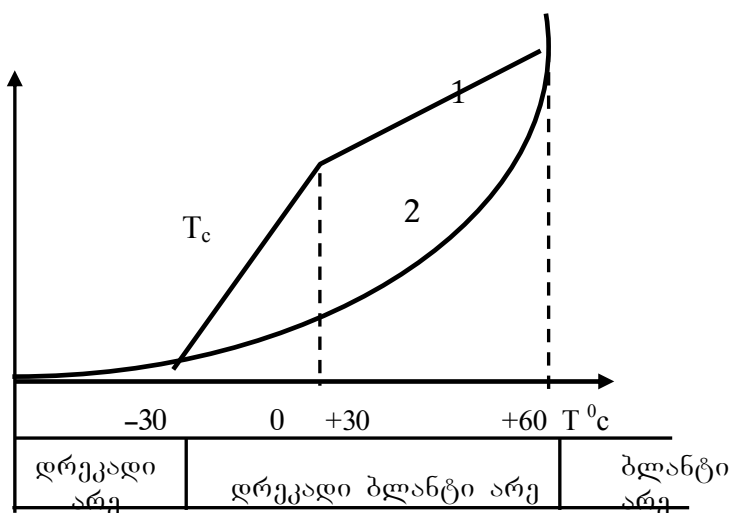
### 3.3 ტემპერატურის გავლენა ორგანულ შემკვრელ მასალებზე

როგორც აღინიშნა, მოდიფიცირებული ბიტუმის თვისებები მკვეთრად იცვლება ტემპერატურის ცვალებადობისას.

ტემპერატურის გავლენით შემკვრელთა მექანიკური (დეფორმაციული) თვისებების ცვალებადობის გამოკვლევა წარმოებს გ. კარგინის მეთოდით. ნახ.14-ზე ნაჩვენებია პოლიმერების თერმომექანიკური მრუდები.

მოდიფიცირებული ბიტუმის თბომედეგობის და მისი ტემპერატურული მდგომარეობის დახასიათების მიზნით, განისაზღვრება შემდეგი მაჩვენებლები: ამთვისებლობის ფაქტორი აბრაჰამის მიხედვით: პენეტრაციის ინდექსი; თბომედეგობის კოეფიციენტი; პლასტიკურობის ინტერვალი და სხვ. გარდაქმნის პლასტიკურობის ინტერვალი ( $T_n$ ) ბიტუმის დარბილების ( $t_p$ ) და სიმყიფის ( $t_x$ ) ტემპერატურების მაჩვენებლის მიხედვით, განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$T_n = t_x / (t_p - t_x) \quad (13)$$



ნახ.14 პოლიმერების თერმომექანიკური მრუდები

დარბილების ტემპერატურა განისაზღვრება ხელსაწყო – “ბურთულა და რგოლის” საშუალებით.

სიმყიფის ტემპერატურა განისაზღვრება ფრასის ხელსაწყოს საშუალებით.

ზოგიერთ ქვეყანაში (გერმანია, უნგრეთი და სხვ.) სიმყიფის ტემპერატურა განისაზღვრება პენეტრაციის მიხედვით. ტემპერატურას, რომელზეც პენეტრაცია 1-ს შეადგენს, მიღებულია სიმყიფის მაჩვენებლად. ასეთ პირობებში ბიტუმის სიბლანტე დაახლოებით  $1 \cdot 10^9$  პა.წმ-ს შეადგენს.

ტემპერატურის ცვლილებისას, პლასტიკურობის ინტერვალი დამოკიდებულია სიბლანტის ცვალებადობის ხასიათზე (ინტენსივობაზე),  $\eta = f(t^0)$ , ორგანული შემკვრელის სახეობაზე, შედგენილობასა და სტრუქტურაზე. სიბლანტის ხასიათის (ინტენსივობის) განსაზღვრა წარმოებს ორი მაჩვენებლის – პენეტრაციის (II) და დარბილების ტემპერატურის ( $t_p$ ) მიხედვით. ამ მიზნით განისაზღვრება აგრეთვე პენეტრაციის ინდექსი (I), იგი განყენებული რიცხვია და გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$I=300 / (1+50A); \quad A= (2,9031-II) / (t_p-25).$$

ბიტუმი, რომლის პენეტრაციის ინდექსი მინუს 2-ზე ნაკლებია, მგრძნობიარეა ტემპერატურის მიმართ და თვისებებით ნიუტონისეულ სითხეს უახლოვდება, ხოლო მოდიფიცირებული ბიტუმი, რომლის პენეტრაციის ინდექს -2-დან +2-მდე ინტერვალში იცვლება, ნაკლებ მგრძნობიარეა ტემპერატურის ცვლილების მიმართ, აქვს უფრო მცირე სიმყიფე და გამოირჩევა ბლანტ-დრეკადი თვისებებით. იგი მიეკუთვნება საშუალო ტიპის ბიტუმს და გამოიყენებადია საგზაო მშენებლობაში.

**მოდიფიცირებული ბიტუმის თვისებების სტაბილურობა.**  
მოდიფიცირებული ბიტუმის ხანგრძლივად გახურება იწვევს მსუბუქი ზეთის ნაწილობრივ აორთქლებას. ამასთან, ძლიერდება ჟანგვისა და პოლიმერიზაციის პროცესები.

მოდიფიცირებული ბიტუმის ნიმუშის  $160^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე 5 საათის განმავლობაში გაცხელებისას იცვლება მისი ძირითადი მაჩვენებლები II,  $t_p$ ,  $t_x$  და  $\Delta$ . ცვლილების სიდიდე განისაზღვრება  $K=(B/a)100\%$  (სადაც B ძირითადი მაჩვენებელია გამოცდის შემდეგ,

a\_ იგივე მაჩვენებლები გამოცდამდე და გვიჩვენებს თვისებათა სტაბილურობას. სტრუქტურული სტაბილურობის განსაზღვრისათვის გამოვიყენეთ ხარკოვის საავტომობილო-საგზაო ინსტიტუტში შემუშავებული შემდეგი ფორმულით:

$$k_{cm} = (t_p - t_x) / D. \quad (14)$$

მოდულიცირებული ბიტუმის აალების ტემპერატურაა 180-200°C, ბიტუმის მოცულობითი თბური გაფორმება ხასიათდება 25°C ტემპერატურისას მოცულობითი გაფართოების კოეფიციენტი და  $5 \cdot 10^{-4}$ –დან  $8 \cdot 10^{-4}$ –მდე იცვლება. დაბალი (უარყოფითი) ტემპერატურისას ის შეადგენს  $2 \cdot 10^{-4}$ –ს ყოველ 1°C-ზე.

### 3.4. მოდიფიცირებული ბიტუმის ქვის მასალასთან მიკვრა და პოლარობა

მოდულიცირებული ბიტუმის პოლარობა განისაზღვრება პოლარულ და არაპოლარულ გამხსნელებში ხსნადობათა ფარდობით  $a=(A/B) \cdot 100\%$ , სადაც a ხსნადობის კოეფიციენტია; A–ორგანული შემკვრელის ხსნადობა მეთილის სპირტში; B–ხსნადობა ბენზოლში. მოდიფიცირებული ბიტუმის ხსნადობის კოეფიციენტი შეადგენს 5-35,

მოდულიცირებული ბიტუმის ზედაპირული დაჭიმულობის განსაზღვრა რთულია, ამიტომ შესაძლებელია ვისარგებლოთ აკად. პ. რებინდერის მიერ შემუშავებული მეთოდით. კერძოდ, ასეთი მასალებისათვის ზედაპირული დაჭიმულობის ნაცვლად განისაზღვრება მათი ზედაპირული აქტიურობა, ანუ მოდიფიცირებული ბიტუმის ზედაპირული დაჭიმულობა წყალთან შეხების საზღვარზე, რაც უფრო მაღალია მოდიფიცირებული ბიტუმის ზედაპირული აქტიურობა, მით მეტია პოლარობა და შესაბამისად, – აღსორბცია მინერალურ მასალასთან შეხების საზღვარზე ზედაპირულ აქტიური ნივთიერების (ზან) მოლეკულების ორიენტაციაზე. ზან-ის მოლეკულები შედგება ნახშირწყალბადების ჯაჭვის არაპოლარული ნაწლისაგან  $-\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$  და აქტიური პოლარული ჯგუფისაგან  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{SH}$  და სხვა. პოლარულ და არაპოლარულსაკენ სითხეთა გამყოფ ზედაპირზე ზან მოლეკულების პოლარული ჯგუფები განლაგდება

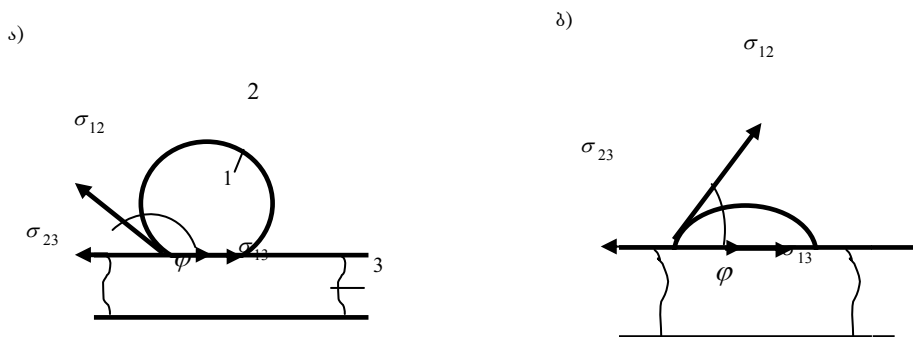
პოლარული სითხისკენ, ხოლო არაპოლარული ნაწილი – არაპოლარულისაკენ (ნახ. 15).



ნახ. 15. ზედაპირულაქტიური ნივთიერებების მოლეკულების ორიენტაცია ზედაპირულ შრეზე

მოლეკულათა ასეთი განლაგება ზრდის მოდიფიცირებული ბიტუმის დასველებადობის უნარს და ქმნის შემკვრელის ინერტულ მასალასთან მიკერის ხელსაყრელ პირობას.

მოდიფიცირებული ბიტუმის დასველებადობა და აფსკის სისქე ზან-ის გარდა დამოკიდებულია ქვის მასალის თვისებებსა და ზომაზე. სითხე მყარი სხეულის ზედაპირზე (ნახ.16) წარმოქმნის საზღვრო (კიდური) კუთხეს, რომლის მიხედვით განისაზღვრება სითხის მიერ მყარი სხეულს დასველების ხარისხი სასაზღვრო ანუ დასველების კუთხესა



ნახ. 16 მყარი სხეულის დასველება სითხით

1. სითხე; 2. ჰაერი; 3. მყარი სხეული;  $\sigma_{12}$ -ზედაპირული დაჭიმულობა სითხესა და ჰაერს შორის;  $\sigma_{23}$ - ზედაპირული დაჭიმულობა ჰაერსა და მყარ სხეულს შორის,  $\sigma_{13}$  –ზედაპირული დაჭიმულობა მყარ სხეულსა და სითხეს შორის;  $\theta$  – სასაზღვრო (კიდური) კუთხე;  $\phi$  – ხახუნი, რომელიც ხელს უშლის წვეთის გაშლას.

და ზედაპირულ დაჭიმულობას შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$\cos\theta = (\sigma_{23} - \sigma_{13}) / \sigma_{12} \tag{15}$$



წვეთი გაიშლება  $f$  ტოლქმედის მოქმედებით, როდესაც

$$f = \sigma_{23} - \sigma_{13} - \sigma_{12} \cdot \cos \theta - \varphi > 0 \quad (16)$$

პირველ პერიოდში კუთხე ბლაგვია, ე.ი.  $\theta > 90^\circ$ ,  $\cos \theta < 0$ ,  $f > 0$  და წვეთი იშლება ამ ტოლქმედის მოქმედებით. წვეთის გაშლასთან ერთად, განსაკუთრებით სრული დასველებადობის შემთხვევაში, ხდება მახვილი, ე.ი.  $\theta < 90^\circ$ , ამიტომ  $f$  მცირდება და ხდება ნულის ტოლი.

იმ შემთხვევაში, როდესაც მყარი სხეულის ზედაპირის სითხის მოლეკულების მიზიდვა (ადჰეზია) მიუახლოვდება თვით სითხის მოლეკულათა შორის მიზიდულობას (კოჰეზიას), მაშინ სასაზღვრო კუთხე არის მახვილი და ზედაპირი კარგად სველდება, თუ პირიქით, მაშინ კუთხე არის ბლაგვი და შესაბამისად, დასველებაც არის ცუდი – მყარი სხეულის ზედაპირი სუსტად იზიდავს სითხის მოლეკულებს.

ზოგადად ორგანული შემკვრელების მიკვრა (ადჰეზია) მინერალური მასალის ზედაპირზე დამოკიდებულია დასველებადობაზე. სუფთა, გლუვ ზედაპირზე მოდიფიცირებული ბიტუმის დასველების კუთხე,  $100^\circ\text{C}$ -ზე ნაკლები ტემპერატურისას, შეადგენს  $\theta = 20-30^\circ$ , დაჭუჭყიანებულ და სველ ზედაპირზე კი  $\theta > 90^\circ$ . უნდა აღინიშნოს ის ფაქტიც, რომ მოდიფიცირებული ბიტუმი კარგად განიღვრება გრუნტის სველ ზედაპირზე. მშრალ ზედაპირს კი ცუდად ასველებს. გამოკვლევებით დადგინდა, რომ მინერალურ მასალას და მოდიფიცირებული ბიტუმს შორის ადჰეზია დამოკიდებულია გამყოფ ზედაპირზე მოდიფიცირებული ბიტუმის ზედაპირულ დაჭიმულობასა და დასველების კუთხეზე. მეტი წყალმედევობით გამორჩევა ისეთი ბიტუმის აფსკი, რომლის ზედაპირული დაჭიმულობა მინერალურ მასალასთან გამყოფ ზედაპირზე არის მცირე, წყალთან კი – დიდი. მოდიფიცირებული ბიტუმის ზედაპირულ დაჭიმულობაზე მნიშვნელოვან გავლენას არ ახდენს სტრუქტურა და სიბლანტე. იგი 25-40 ერგი/სმ<sup>2</sup> ფარგლებში მერყეობს.

აღსორბციულ-მოლეკულური თეორია ადჰეზიას განიხილავს, როგორც ადჰეზივსა (ბტუმსა) და სუბსტრატს (მინერალური მასალა) შორის მოლეკულური ძალების ურთიერთქმედების გამოვლინებას. ადჰეზიური კავშირების წარმოქმნა ორ სტადიად მიმდინარეობს. პირველი სტადია – ადჰეზივის მოლეკულების “ტრანსპორტირება” გამხსნელებისა

და პლასტიფიკატორების დამატებით. მეორე სტადიაზე ადჰეზივისა და სუბსტრატს შორის იწყებს მოქმედებას მოლეკულათაშორისი ძალები და მყარდება აღსორბირებული წონასწორობა. აღსორბცია არის ნივთიერების კონცენტრაციის გადიდება ზედაპირულ შრეში.

თერმოდინამიკის კანონის შესაბამისად, სითხის ადჰეზია მყარ სხეულზე უნდა ემორჩილებოდეს დიუპრე-იუნგის შემდეგ განტოლებას:

$$W_a = \sigma_{\text{ж}} \cdot (1 + \cos\theta), \quad (17).$$

სადაც  $W_a$  ადჰეზიის შექცევადი მუშაობაა;  $\sigma_{\text{ж}}$  – სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა.

მინერალურ ზედაპირზე დასველებადობის კვალდაკვალ მიმდინარეობს ბიტუმის კომპონენტების შერჩევითი აღსორბცია და ქვემოსორბცია. ამ დროს ადგილი აქვს მხოლოდ ფიზიკურ აღსორბციას და პროცესი შექცევადია.

თერმოდინამიკის ძირითადი კანონებიდან გამომდინარე, ჯიბსმა დაამყარა კავშირი ხსნარის ზედაპირულ დაჭიმულობასა და აღსორბციას შორის:

$$\Gamma = -(C/RT) \cdot d\sigma/dc \quad (18)$$

სადაც ნივთიერების კონცენტრაციის ზრდაა ზედაპირულ ფენებში:

$\sigma$  – ხსნარის ზედაპირული დაჭიმულობა;

$C$  – მისი კონცენტრაცია;

$R$  – გაზის მუდმივა;

$T$  – აბსოლუტური ტემპერატურა.

ფორმულა (18)-დან გამომდინარეობს, რომ ხსნარს კონცენტრაციის გაზრდით მცირდება ზედაპირული დაჭიმულობა –  $d\sigma/dc < 0$  და აღსორბცია დადებითია,  $\Gamma > 0$ . თუ კონცენტრაციის ზრდით ზედაპირული დაჭიმულობა იზრდება  $-d\sigma/dc > 0$ , მაშინ აღსორბცია უარყოფითია  $\Gamma < 0$ , როცა  $-d\sigma/dc = 0$ , მაშინ  $\Gamma = 0$ , ე.ი. აღსორბცია არ ხდება.

გამოკვლევებით დადგინდა, რომ პირველ რიგში აღსორბირდება მოდიფიცირებული ბიტუმის ზან-ის შემცველი კომპონენტები – ასფალტური მჟავები და მათი ანჰიდრიდები. მყარი სხეული – სითხის

გამყოფ ზედაპირზე, რაც მეტია ფაზებს შორის პოლარულობის სხვაობა, მით მეტია ზან-ის აღსორბცია. თუ აღსორბენტი ჰიდროფილურია, მაშინ ზან-ის მოლეკულები პოლარული ნაწილით მიმართულია აღსორბენტისაკენ, ხოლო ნახშირწყალბადებით – ბიტუმისაკენ. ასეთ პირობებში, ტრაუბეს წესის თანახმად, მაღალმოლეკულური ასფალტენების აღსორბცია მეტი უნდა იყოს ბიტუმის სხვა კომპონენტებთან შედარებით და უნდა იზრდებოდეს მოლეკულური წონის ზრდასთან ერთად. ფოროვანი აღსორბენტების შემთხვევაში ტრაუბეს წესი არ მოქმედებს, რადგან აღსორბენტის ფორებსა და მიკრობზარებში შეღწეული მოლეკულები იწვევს აღსორბციისათვის ხელსაყრელი ფართობის თანდათანობით შემცირებას.

მინერალური მასალის აღსორბციულ აქტივობას განსაზღვრავს მისი ხვერდითი ზედაპირი. ქიმიურ-მინერალური შედგენილობა და ზედაპირზე არსებული აქტიური აღსორბციული ცენტრები, რადგან ქიმიური პროცესი მოდიფიცირებული ბიტუმსა და მინერალურ მასალას შორის მიმდინარეობს არა მთელ ზედაპირზე, არამედ ცალკეულ “აქტიურ” წერტილთა მეშვეობით. მოდიფიცირებული ბიტუმსა და მინერალურ მასალას შორის ფაქტიურად საკონტაქტო ფართობის ზრდა იწვევს ადჰეზიის მატებას. შესაბამისად, კონტაქტის სისრულესა და ადჰეზიაზე გავლენას ახდენს ზედაპირის მორფოლოგია, ტოპოგრაფია, მიკრორელიეფი და სისუფთავე.

მოდიფიცირებული ბიტუმისა და მინერალური მასალის ურთიერთქმედების საკითხების განხილვა საგზაო ფენილების მუშაობის რეალური პირობების, კერძოდ, წყლის ზემოქმედების გათვალისწინების გარეშე არ შეიძლება. იმის გამო, რომ მინერალური მასალა არის ჰიდროფილური, დასველებისა და მიკვრის პროცესებს აქვს შერჩევითი ხასიათი, ამიტომ, განხილული იქნეს სამი ფაზის მინერალური მასალის, მოდიფიცირებული ბიტუმისა და წყლის თანაარსებობის პირობები. მასალის ზედაპირზე კარგად შემოვლებული მოდიფიცირებული ბიტუმი ჯერ კიდევ არ იძლევა მათი ერთმანეთთან მტკიცედ მიკვრის გარანტიას. წყალი ბიტუმით დაუფარავი ადგილებიდან შეღწევის მინერალური მასალის ზედაპირამდე აშრევენს ბიტუმის აფსკს მისგან.

ეს პროცესი გარდაუვალია, თუ ბიტუმი მასალის ზედაპირთან ქემოსორბციულად არის დაკავშირებული.

წყალი მინერალური მასალის ზედაპირამდე აღწევს ბიტუმით დაუფარავი ადგილებიდან. ამიტომ, განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება საწყის პერიოდში მასალის მოდიფიცირებული ბიტუმში ამოვლების ხარისხს. ეს უკანასკნელი კი დამოკიდებულია ზედაპირის ბიტუმით დასველებადობაზე. ნარევის მომზადების პროცესში ბიტუმის სიბლანტეზე, გაცივებისა და შემკვრივების პირობებზე და სხვა.

საგზაო ფენილის სიმტკიცე და წყალმედვეობა დამოკიდებულია მოდიფიცირებული ბიტუმის ადჰეზიაზე. სხვადასხვა ქვეყნებში შემუშავებულია და იყენებენ ადჰეზიის (მიკერის) განსაზღვრის სხვადასხვა მეთოდებს, რომლებიც სამ ძირითად ჯგუფად შეიძლება დაიყოს:

I. მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულია მინერალური მასალის ზედაპირზე ბიტუმის დასველებადობასა და ადსორბციაზე;

II. მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულია ერთმანეთთან ბიტუმით შეწებებული ნიმუშის დაცილებისათვის საჭირო მექანიკური ძალვის განსაზღვრაზე;

III. მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულია წყლის ზემოქმედებით მასალის ზედაპირიდან ბიტუმის აფსკის მოცილებისა და ბიტუმით დაფარული ზედაპირის რაოდენობის ფიქსირებაზე ან ბიტუმმინერალური ნარევის სიმტკიცის განსაზღვრაზე.

უნდა აღინიშნოს, რომ ზემოაღნიშნული მეთოდი პირობით ხასიათს ატარებს და არ ასახავს ბიტუმმინერალური მასალის მუშაობის რეალურ პირობებს. ადჰეზიის შეფასების უფრო სრულყოფილ მეთოდად უნდა ჩაითვალოს ბიტუმმინერალური მასალის სიმტკიცის მაჩვენებლები მშრალ და წყალნაჯერ მდგომარეობაში. ამ მეთოდით შეიძლება განისაზღვროს ბიტუმმინერალური ნარევის წყალმედვეობა მოდიფიცირებული ბიტუმის სიბლანტისა და აფსკის სისქის, მასალის ფორიანობის, მარცვლების სისხოს და ტენიანობის, ნარევის შედგენილობის და სხვა ფაქტორების გათვალისწინებით.

### 3.5 მოდიფიცირებული შემკვრელი მასალების დაძველება და მათი სტაბილურობის ზრდის მეთოდები

როგორც პოლიმერების უმრავლესობის, ასევე ორგანულ შემკვრელთა შედგენილობა, სტრუქტურა და რეოლოგიური თვისებები არ არის მუდმივი და სხვადასხვა ფაქტორების ზემოქმედებით უარესდება, ე.ი. მიმდინარეობს დაძველების პროცესი, რომელიც გულისხმობს შემკვრელის სტრუქტურისა და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ცვლილებას მისი შენახვის, ტექნოლოგიური გადამუშავებისა და ექსპლუატაციის პირობებში. მოდიფიცირებული ბიტუმის თხელ აფსკზე გავლენას ახდენს ჟანგბადი, მაღალი ტემპერატურა, წყალი და მინერალური მასალის ზედაპირი. მოდიფიცირებული ბიტუმის დაძველებაზე დიდ გავლენას ახდენს ფენილის ფორიანობა. 3%-ზე მეტად ფორიანობის ზრდა მკვეთრად ამცირებს ბიტუმის სტაბილურობას.

დაძველების აქტივატორად გვევლინება მზის სხივები, სითბო, წყალი და მინერალური მასალა.

ულტრაიისფერი სხივების გავლენით, გარემოს ჟანგბადის ზემოქმედება ვრცელდება 5-10 მკმ სისქეზე. ამიტომ, მზის სხივების ზემოქმედება მოდიფიცირებული ბიტუმის დაძველების პროცესზე შეიძლება უგულვებელყოთ. დაძველებაზე გავლენას ახდენს დიფუზიის გზით ფენილში შეღწეული ჟანგბადი.

სითბოს (მაღალი ტემპერატურის) ზემოქმედება იწვევს მოდიფიცირებული ბიტუმიდან 400-ზე ნაკლები მოლეკულური მასის მქონე ნახშირწყალბადების აორთქლებას. ამის გარდა, მიმდინარე რთული ქიმიური პროცესების – პოლიმერიზაციის შედეგად იცვლება ბიტუმის კომპონენტთა ქიმიური თვისებები. ბიტუმის კომპონენტთა ნახშირწყალბადებს სცილდება გვერდითი ჯაჭვები და წარმოქმნის ე.წ. თავისუფალ რადიკალებს, ხოლო დეჰიდროპოლიკონდესაციის (დეჰიდროპოლიკონდესაციის დროს ნახშირწყალბადების ჯაჭვიდან მოხლეჩილი წყალბადი უერთდება ჰაერის ჟანგბადს და წარმოქმნის წყალს, ხოლო წყალბადის ატომთა მოხლეჩის ადგილზე ხდება მოლეკულათა კონდესაცია) შედეგად წარმოიქმნება ახალი, უფრო

რთული მოლექულები, რომლებიც აუარესებს მოდიფიცირებული ბიტუმის თვისებებს. ზეთი თავის თვისებებით უახლოვდება ფისს, ხოლო ფისი – ასფალტენს. დადგენილია, რომ სხვა კომპონენტებისაგან განსხვავებით, ტემპერატურისა და ჟანგბადის ზემოქმედების მიმართ უფრო მგრძობიარეა ასფალტენი, რომელიც ჟანგბადით გაჯერების შედეგად ხდება უფრო მეტად უხსნადი და ნაკლებად ფხვიერი. ამ პროცესების შედეგად იზრდება ბიტუმის სიბლანტე და სიმკიფე.

ბლანტი ბიტუმების გამოყენების შემთხვევაში ასფალტენის ჟანგბადით გამდიდრების შედეგად კავშირი მალტენურ ფრაქციასთან მნიშვნელოვნად კლებულობს, რაც იწვევს სინერეზისის პროცესს ანუ ბიტუმის ლორწოსებრ და თხევად ფაზად დაყოფას. ამ პროცესის შედეგად მიმდინარეობს ასფალტენის სტრუქტურული ბადის თვითნებური შეკუმშვა-კონტრაქცია და ნაწილი თხევადი ფაზის გამოდევნა (ძირითადად, ნაჯერი ნახშირწყალბადების). სინერეზისის პროცესის შედეგად, ფენილის ზედაპირზე წარმოიქმნება უწვრილეს ბზართა ბადე, რომელიც დროთა განმავლობაში მატულობს, იწვევს ქვის მასალის გაშიშვლებას და ამოცვენას.

გარემო ჟანგბადისა და სითბოს მოქმედების შედეგად, ორგანული შემკვრელები შენახვისას უმნიშვნელოდ იცვლის საწყის თვისებებს. ხანგრძლივი გაცხელებისას (ბიტუმის 1-2 დღე-ღამე ქვაბში ხარშვისას) შემკვრელის თვისებები მნიშვნელოვნად იცვლება.

ბიტუმის თვისებებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მინერალური მასალა. ბიტუმის კომპონენტები აღსორბირდება რა ფორიანი მასალის ზედაპირზე, იცვლის თავის სტრუქტურას.

ფორიანი ქვის მასალა წარმოადგენს თავისებურ მოლექულურ ბადეს, რომელც ატარებს პირდაპირჯაჭვიან ნახშირწყალბადებს და აკავებს ციკლური და განშტოებადი აგებულების ნახშირწყალბადთა მოლექულებს, ე.ი. მიმდინარეობს აღსორბცია და ზედაპირული მოლექულების არსებობის შემთხვევაში, ადგილი ექნება ქემაღსორბციულ პროცესებსაც.

ბიტუმის დაძველების მექანიზმის დეტალური გამოკვლევის საფუძველზე გამოვლინდა შეუქცევადი პროცესები, რომლებიც იწვევს ბიტუმის შედგენილობისა და თვისებების ცვლილებებს. ასეთებია:

ა) ბიტუმის თხელი ფენის ზედაპირიდან მსუბუქი კომპონენტების აორთქლება;

ბ) უჟანგბადო გარემოში სითბოს მოქმედებით გამოწვეული პოლიმერიზაცია. პოლიმერიზაციის როლი დაძველების პროცესში უმნიშვნელოა, მაგრამ შესამჩნევია მაღალი ტემპერატურის ხანგრძლივად მოქმედებისას;

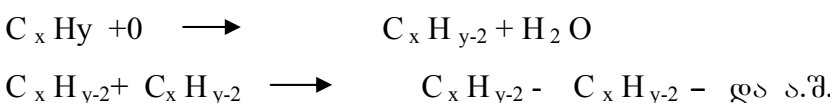
გ) შემკვრელის ზედაპირზე ულტრაიისფერი სხივების ზემოქმედებით გამოწვეული ბიტუმის კომპონენტთა ოქსიპოლიმერიზაცია;

დ) ჟანგბადის ზემოქმედებით გამოწვეული პოლიოქსიკონდენსაცია, დაძველების ძირითად პროცესად ითვლება.

ჟანგბადის მოქმედებით გამოწვეული შეუქცევადი პროცესების გამოკვლევების შედეგად დადგინდა, რომ:

1. დიდი რაოდენობით ჟანგბადს შთანთქავს ნახშირბად-ნახშირბად ორმაგაკავშირიანი ბიტუმის კომპონენტები;
2. ნახშირბადის ატომთან ორმაგაკავშირიანი მეთილის რადიკალი ზრდის შთანთქმული ჟანგბადის რაოდენობას;
3. ნახშირბადის ატომთან ორმაგაკავშირიანი უარყოფითი შემდგენი (CN, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>, COOH) ანელებს ჟანგბადის შთანთქმას;
4. ტალღის 2800-3000 A° სიგრძის სხივები და ტემპერატურის ზრდა აჩქარებს ჟანგბადის შთანთქმას.

ჟანგბადის შთანთქმის შედეგად მიმდინარეობს მაღალმოლეკულურ ნივთიერებათა დესტრუქცია გაზისა და სითბოს (CO·CO<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O, CH<sub>3</sub>COOR-COOH), უჯერი ნახშირწყალბადები კი შედარებით იოლად გასცემს წყალბადს, რომელიც უერთდება ჰაერის ჟანგბადს და გადადის უფრო მაღალ უჯერი ნახშირწყალბადების რიგში. ეს უკანასკნელი შემდგომში შემკვრივდება (განიცდის პოლიმერიზაციას) და წარმოქმნის რთულ მაღალნახშირწყალბადოვან ნაერთებს. ეს პროცესი სქემატურად ასე შეიძლება წარმოვიდგინოთ:



დაძველებისას ბიტუმის ჯგუფური შედგენილობა იცვლება ზეთის აორთქლების შედეგად იზრდება ფისისა და ასფალტენის რაოდენობა, ხოლო ფისის ასფალტენებად გარდაქმნა იწვევს ბიტუმის თვისებათა

ცვლილებას; მატულობს სიბლანტე, თბომედეგობა და დრეკადობა, მცირდება პლასტიკურობა და ბიტუმი ხდება მყიფე.

ბიტუმის დაძველების პროცესში წარმოდგენილი თავისუფალი რადიკალები ურთიერთქმედებენ ერთმანეთთან და ქმნიან მაღალმოლეკულურ ნაერთთა ბადეს. აქედან გამომდინარე, მარტენსმა (აშშ) დაადგინა, რომ ჟანგვის პროცესში ბიტუმში ასფალტენების დიდი რაოდენობა იწვევს ჰეტეროგენული სისტემის წარმოქმნას და სინერჯისს. ამავე დროს, ბრანკიმ, ბარტმა და სხვა ავტორებმა დაადგინეს, რომ ბიტუმში ასფალტენების რაოდენობის 22%-მდე ზრდა იწვევს მისი სტაბილურობის ზრდას. არსებობს მოსაზრება, რომ ჟანგვაზე გავლენას ახდენს ზეთის, ფისისა და ასფალტენის ურთიერთთანაფარდობა. კერძოდ, არომატული ნახშირწყალბადთა რაოდენობის ზრდა ხელს უწყობს პეპტიზაციას. ასფალტენის ხსნადობას და საბოლოოდ, ბიტუმის სტაბილურობის ზრდას.

გამოკვლევებით დადგინდა, რომ სხვადასხვა ტიპის ბიტუმთა მდგრადობა დაძველების პროცესის მიმართ სხვადასხვაა. I ტიპის ბიტუმთა აქტივაციის ენერჯია მაღალია. ამიტომ, ჟანგვის პროცესები მიმდინარეობს მხოლოდ 160°C-ზე, აღნიშნული ენერგეტიკული ბარიერის გადალახვის შემდეგ, სტრუქტურ-წარმოქმნისა და დესტრუქციის რეაქციები მიმდინარეობს ინტენსიურად. ამიტომ, ტექნოლოგიური დამუშავების პროცესში მოსალოდნელია დაძველების მკვეთრი დაჩქარება, თვისებათა გაუარესება და საბოლოოდ, ფენილის დაშლა. დაძველება განსაკუთრებით სწრაფად მიმდინარეობს კრეგინ-ბიტუმში.

I ტიპისაგან განსხვავებით II ტიპის ბიტუმი ძველდება შედარებით ნელა. მათი სტრუქტურის გადასვლა კოაგულაციურში მიმდინარეობს ნელა, მაგრამ დაბალ ტემპერატურაზე. ტემპერატურის ზრდა პროცესს ვერ აჩქარებს. ამიტომ ასეთი ტიპის ბიტუმზე ჟანგბადის ხანგრძლივი ზემოქმედება ნარევის მომზადებისა და ფორმირების პროცესში უმნიშვნელოა და შეიმჩნევა ფენილის ხანგრძლივი ექსპლუატაციის პერიოდში.

ტემპერატურისა და დაძველების გავლენით გამოწვეული ბიტუმის რეოლოგიური და სტრუქტურული თვისებების შედარებით შეიმჩნევა, რომ დაძველებისას ფისის თხევადი მოლეკულური სტრუქტურა



გადადის ასფალტენის კოაგულაციურ სტრუქტურაში. ამასთან, ყველა სახის ბიტუმისათვის ასეთი სტრუქტურის განვითარება და შემდგომში რღვევა ერთნაირ ხასიათს ატარებს. განსხვავდებიან მხოლოდ ენერგეტიკული ფაქტორებისა და ჟანგბადის მოქმედების ხანგრძლივობით. არსებობს მოსაზრება, რომ დაძველებაზე გავლენას ახდენს ასფალტენის, ფისის და ზეთის თანაფარდობა: კერძოდ, არომატული ნახშირწყალბადების შემცველობის ზრდა აუმჯობესებს ასფალტენების პეპტიზაციისა და გახსნას, რაც იწვევს ბიტუმის დაძველების მიმართ მედეგობის ზრდას.

ზემოთაღნიშნულიდან ჩანს, რომ ბიტუმის ატმოსფერული მედეგობის პრობლემა ძირითადად შეიძლება გადაიჭრას ჟანგვის პროცესების შეზღუდვით. ნივთიერებებს, რომლებიც იწვევს ჟანგვის პროცესების შენელებას, ინჰიბიტორებს უწოდებენ. მაღალპოლიმერული მასალებისათვის შემუშავებულია სხვადასხვა შედგენილობის ინჰიბიტორები, რომლებიც მიეკუთვნება პირველად და მეორეულ არომატული ამინების ან არომატული დიამინების კლასს.

როგორც გამოკვლევებით დადასტურდა, დანამატის ოპტიმალური რაოდენობა და ზემოქმედების ეფექტურობა დამოკიდებულია ბიტუმის ბუნებაზე. ამიტომ, ბიტუმის ქიმიური შედგენილობის ცოდნის გარეშე შეუძლებელია ინჰიბიტორის რაოდენობისა და სახეობის შერჩევა. ძირითადად ეს მიზეზი უშლის ხელს ინჰიბიტორთა პრაქტიკაში გამოყენებას.

ბიტუმოვან მასალათა დაძველების პროცესებისა და სტაბილურობის ზრდის მეთოდების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ბიტუმთა ქიმიური შედგენილობის არაერთგვაროვნების გამო, არ არის შემუშავებული ბიტუმის სტაბილურობის გაუმჯობესების ერთიანი მეთოდიკა და ცალკეული სახის ბიტუმისათვის საჭიროა შეირჩეს ინდივიდუალური დანამატი და გადამუშავების შესაბამისი მეთოდი. დადგინდა აგრეთვე, რომ ატმოსფერული მედეგობა დამოკიდებულია ნავთობის წარმოქმნას, ქიმიურ შედგენილობას, გადამუშავების ტექნოლოგიასა და ბიტუმის მიღების ხერხზე. დაძველების მიმართ მედეგობით გამოირჩევა ნარჩენი ბიტუმი, ნაკლებ მედეგია დაჟანგული ბიტუმი, ხოლო კრეკინგ-ნარჩენებისაგან მიღებული ბიტუმის მედეგობა უმნიშვნელოა.

### 3.6 დანამატები და მათი გავლენა ბიტუმის თვისებაზე

ბიტუმის თვისებების გაუმჯობესების, მინერალური მასალის ზედაპირზე მიკვრის და შესაბამისად, საგზაო ფენილის ატმოსფერული მედეგობის ხანგრძლივობის გაზრდის მიზნით, გამოიყენება სხვადასხვა სახის ზედაპირულ აქტიური ნივთიერებანი (ზან). მცირე რაოდენობის ზან მკვეთრად ცვლის ინერტული მასალის ზედაპირის ბუნებას და “ბიტუმმინერალური მასალის” გამყოფ ზედაპირზე ურთიერთმოქმედების პირობებს. ბიტუმსა და სხვადასხვა მინერალური მასალის ზედაპირს შორის შეკავშირების (ადჰეზიის) ხასიათი იცვლება ზან-ის თხელი ადსორბირებული ფენის (აფსკის) წარმოქმნის გამო. ზან-ის ეს უნარი საშუალებას იძლევა შემუშავდეს ასფალტბეტონის და სხვა ბიტუმმინერალური ნარევების მომზადების ახალი ტექნოლოგიური პროცესები; ამასთან ერთად, ზან-ის საშუალებით შესაძლებელია ბიტუმის სტრუქტურ-წარმოქმნის პროცესების რეგულირება და წინასწარ განსაზღვრული თვისებების მქონე მასალის მიღება.

ზან-ის მოქმედების მექანიზმი ვითარდება სამი მიმართულებით – ბიტუმის დისპერსიულ სტრუქტურაზე, ბიტუმმინერალური ნარევის სტრუქტურ-წარმოქმნის პროცესზე და ხანგრძლივი ექსპლუატაციისას დაძველების პროცესზე.

ზან წარმოადგენს ასიმეტრულ-პოლარული აგებულების ქიმიურ ნივთიერებას, რომელიც შედგება ორგანული გრძელჯაჭვიანი რადიკალის და პოლარული ჯგუფისაგან. პოლარული ჯგუფი ჰიდროფილურია და წარმოადგენს ჰიდროქსილს. კარბოქსილს, ამინოჯგუფს, სულფოჯგუფს და სხვა.

ბიტუმისა და მინერალური მასალის ურთერთქმედების პროცესში დასველებადობა არის პირველი სტადია, ამიტომ, საჭიროა ამ პროცესის ხელოვნურად მართვა. რაც უფრო სრულფასოვანი და ხარისხოვანია ზედაპირის დასველებადობა, მით უფრო მაღალი იქნება ადჰეზია. დასველებადობის პროცესი ჩქარდება და იოლდება ზან-ის გამოყენებით. ამასთან, წარმოქმნილ ადსორბციულ შრეში ზან-ის პოლარული ჯგუფები მიმართულია მინერალური მასალის ზედაპირისაკენ, ხოლო ნახშირწყალბადის ჯგუფი – ბიტუმისაკენ.

ბიტუმინერალურ ნარეგებში გამოყენებული ზან მიეკუთვნება ჰიდროფობიზატორთა ჯგუფს. ქიმიური ადსორბციის შედეგად წარმოქმნილი ზედაპირულ-აქტიური ნივთიერების ორიენტირებული ფენა აუმჯობესებს ბიტუმის მინერალურ მასალასთან მიკერის მაჩვენებელს.

გრანიტი, სიენიტი, დიორიტი, გაბრო, ბაზალტი, ანდეზიტი და სხვა მუავე მინერალური მასალების ზედაპირთა ჰიდროფობიზაციისათვის ჩვეულებრივად გამოიყენება კათიონაქტიური ნივთიერებანი. მაგრამ, ტუტემიწათა კათიონებით წინასწარი გააქტიურების შემდეგ, მათი ჰიდროფობირება შესაძლებელია ანიონაქტიური ნივთიერებებითაც.

ბიტუმით მინერალური მასალის დასველებადობის და მიკერის გაუმჯობესებაში გამოიხატება ზან-ის ზემოქმედების ძირითადი მექანიზმი. აქედან გამომდინარე, როგორც ჩვენში, ასევე საზღვარგარეთ შემუშავდა ანიონ და კათიონაქტიურ ნივთიერებათა კლასები.

საფრანგეთში ფართო გავრცელება პოვა მონოამინის ტიპის კათიონაქტიურმა დანამატებმა. ეფექტური გამოდგა დიამინები, პოლიამინები, იმიდაზოლინები, დოპები და სხვა.

ინგლისსა და შვეციაში გამოიყენება მონო და დიამინის ტიპის კათიონაქტიური დანამატები. აშშ და კანადა იყენებს ამინებისა და ოთხხანაცვლებული ამონიუმის ტიპის კათიონურ დანამატებს.

გერმანიაში დანამატად გამოიყენება ალკილამინები, ჰეტეროციკლური ამინები, ამონიუმის ალიფატურ ნაერთთა მარილები, მაგალითად: N-ოქტადეცილამინი; N-β-ოლეინის მუავის ამინოეთილი და სხვა.

როგორც ჩვენში, ასევე საზღვარგარეთ მამოდიფიცირებელ დანამატებად გამოიყენება ისეთი პოლიმერები, როგორცაა: პოლივინილაცეტატი, პოლისტიროლი, დივინილისტიროლის თერმოელასტოპლასტი, ეპოქსიდის ფისი, სინთეზური ლატექსი და კაუჩუკი.

ბიტუმის მასის 1-6%-მდე სინთეზური ან ნატურალური კაუჩუკი ცხელ ბიტუმში შეაქვთ ფხვნილის სახით. დანამატი ზრდის შემკვრელის დარბილების ტემპერატურას და წელვადობას. მცირდება მისი სიბლანტე და უმჯობესდება ადჰეზია. დანამატის კონდენსაციურ-კრისტალიზაციური სტრუქტურა იწვევს ბიტუმის ამორფული მასის არმირებას.

ამიტომ, ბიტუმის სტრუქტურაზე ზემოქმედების ხასიათის მიხედვით ასეთი სახის დანამატები, გარდა პლასტიფიცირებისა და გათხევადებისა, მასტრუქტურებელ როლსაც ასრულებს. სტრუქტურის მოდიფიკაციისათვის გამოიყენება ბუტილკაუჩუკი, დივინისტი როლის თერმოელასტოპლასტი, კარბოქსიდის ლატექსი. ეფექტურია რეგენირებული რეზინის ნაფხვენის (ძველი ავტოსაბურავების ნაფხვენი) გამოყენება. რეზინის დაქუცმაცებულ ნაფხვენს უმატებენ 150-180°C-მდე გაცხელებულ ბიტუმს 3-5%-ის რაოდენობით, გულდასმით ურევინ. ასეთ პირობებში რეზინი იჯირჯვება და წარმოქმნის რეზინ-ბიტუმის დისპერსიულ სისტემას, რომელიც ზრდის ასფალტბეტონის დრეკადობას, ბზარმდეგობას და ამცირებს დაძველებას.

მიუხედავად დანამატების დიდი რაოდენობისა, საჭიროა მათი ასორტიმენტის კვლავ გაფართოება სამრეწველო ნარჩენების, იაფფასიანი ნავთობპროდუქტთა შესწავლისა და დანერგვის გზით.

ინფრაწითელი სპექტროსკოპით ქრომატოგრაფიული ანალიზის საფუძველზე დადგინდა, რომ ფიზიკურ აღსორბციასთან ერთად აღგილი აქვს ქემადსორბციულ პროცესებსაც. ბიტუმის აქტიური ფუნქციონალური ჯგუფები ურთიერთქმედებს კალციუმისა ან მაგნიუმის კარბონატთან კარბონატული ტიპის საპონების წარმოქმნით, რაც, თავის მხრივ, ზრდის ადჰეზიას და საერთო მდეგობას. ამგვარად, შემკვრელის ქიმიური შედგენილობა და აქტიურობა მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს ადჰეზიას. ასეთ პირობებში ორგანული პოლიმერები ზრდის მაკრომოლეკულების რგოლების მოქნილობას და პოლარობას. მიკრომოლეკულათა ჯაჭვებს შორის განივი კავშირების წარმოქმნა ამცირებს ადჰეზიას, პოლარული ჯგუფების მქონე მოლეკულათა ფართო განშტოება კი პირიქით. ამგვარად, პოლარულჯგუფებიანი დანამატები ზრდის მაღალმოლეკულურ ნაერთთა რგოლების ძვრადობას და შესაბამისად, ადჰეზიას.

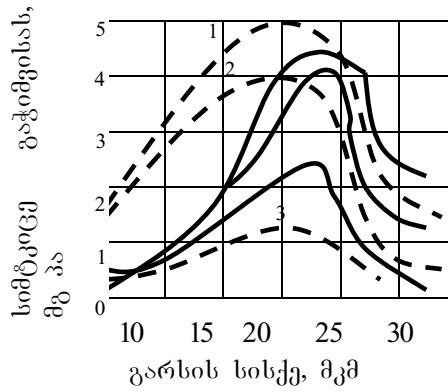
**ბიტუმის აქტივაცია.** ადჰეზიის გაუმჯობესების მიზნით, მინერალური მასალისა და ბიტუმის აქტივიზაცია წარმოებს უშუალოდ ნარევის მომზადების წინ. ბიტუმის აქტივიზაცია დაფუძნებულია მექანიკური ენერგიის ქიმიურ ენერგიად გარდაქმნის შესაძლებლობაზე. ამ პრინციპიდან გამომდინარე,

შესაძლებელი გახდა ბიტუმის აქტივიზაცია ულტრაბგერის ზემოქმედებით. დადგენილია, რომ 5 წუთის განმავლობაში 15-35 კილოჰერცი სიხშირის და 50-60 ვტ/სმ<sup>2</sup> სიმძლავრის ულტრაბგერის ზემოქმედებით იზრდება ბიტუმის ადჰეზია, როგორც მუავე, ასევე ფუძე ქანებთან. ასეთივე შედეგები იქნება მიღებული ბიტუმის ელექტროგანმუხტვით დამუშავებისას. ელექტროიმპულსის მეთოდით დამუშავებისას იცვლება ბიტუმის პენეტრაცია და დუქტილობა.

მექანიკური თვისებების გაზრდის მიზნით, ბიტუმს უმატებენ მასტრუქტურებელ ბოჭკოვან და ფხვნილისებრ დანამატებს. ბოჭკოვანი დანამატებია მინერალური ბამბის, აზბესტის, პოლიმერული ფისის ბოჭკო ან საფეიქრო მრეწველობის ნარჩენები. ბოჭკოვანი დანამატები თანაბრად განაწილდება ბიტუმის მასაში და არმატურის როლს ასრულებს. 5-10% ასეთი დანამატი მკვეთრად ზრდის ნარევის სიმტკიცეს, მაგრამ ტექნიკური სიძნელეების გამო პრაქტიკაში ჯერ ვერ პოვა გავრცელება.

კირჩქების, დოლომიტების და სხვა კარბონატული ქანების ფხვნილებს ფართო გამოყენება აქვს. ორგანული შემკვრელით მინერალური ფხვნილის დამუშავების შედეგად, მარცვლების ზედაპირზე წარმოიქმნება სხვადასხვა სისქისა და მდგრადობის შეკავშირებული ბიტუმის ადსორბციული-სოლვატური გარსები.

ადსორბციულ-სოლვატურ გარსში არსებული შეკავშირებული ბიტუმის კოჰეზიომეტრზე (შეწებებულ ორ ფირფიტას შორის) განსაზღვრული მექანიკური თვისებები ნაჩვენებია ნახ. 17-ზე. ადსორბციულ-სოლვატური ფენა მუდგანდება მაშინ, როდესაც მინერალური ფხვნილის კონცენტრაცია 75%-ზე მეტია, ე.ი. დისპერსიული ფაზის მოცულობა მაქსიმალურია. აღნიშნულ კონცენტრაციამდე გარსის ფენის თვისებებს განსაზღვრავს შემკვრელი. კონცენტრაციის 0-დან 70%-მდე ზრდა იწვევს სიბლანტის ზრდას ფხვნილის რაოდენობის მატების პროპორციულად და ემორჩილება აინშტაინის კანონს:  $\eta = \eta_0(1+2.5\phi)$ , სადაც  $\eta$  და  $\eta_0$  - დისპერსიული ფაზის საწყისი და საბოლოო სიბლანტეა; - დისპერსირებული ნივთიერების (ფხვნილის) ხვედრითი წილი.



ნახ.17 გაჭიმვისას სიმტკიცის დამოკიდებულება გარსის სისქეზე 20<sup>0</sup> C ტემპერატურისას, 2. 0<sup>0</sup> C ტემპერატურისას, 3. 20<sup>0</sup> C ტემპერატურისას  
 ————— ბიტუმი БНД 60/90  
 - - - - - ბიტუმი БНД 130/200

მინერალური ფხვნილის 70-75% კონცენტრაციისას წარმოიქმნება ახალი სტრუქტურული სისტემა, რომელშიც კონტაქტები ხორციელდება ადსორბციულ-სოლვატური გარსების მეოხებით. რადგან გარსის ბიტუმის სიბლანტე მაღალია, მკვეთრად მატულობს სისტემის მექანიკური სიმტკიცე. ეს კანონზომიერება გათვალისწინებულია ასფალტბეტონის ნარევების დაპროექტებისას მოდიფიცირებული ბიტუმების გამოყენებით.

### 3.7 მოდიფიცირებული ბიტუმის შერჩევა საგზაო კონსტრუქციის მუშაობის რეალური პირობების გათვალისწინებით

საგზაო მშენებლობაში გამოყენებული მოდიფიცირებული ბიტუმი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

1. მოდიფიცირებულმა ბიტუმმა საგზაო ფენილის საჭირო სიმტკიცე უნდა უზრუნველყოს სხვადასხვა ტემპერატურულ ინტერვალში ცვლადი დატვირთვების მოქმედების პირობებში;
2. მოდიფიცირებული ბიტუმი კარგად უნდა ასველებდეს და ეკვროდეს მინერალურ მასალის ზედაპირს წინასწარგანსაზღვრული თვისებების მქონე ასფალტბეტონის მისაღებად;
3. მოდიფიცირებული ბიტუმი უნდა იყოს ხანგამძლე, ე.ი. მისი დაძველება (თვისებების ცვლილება ხანგრძლივი ექსპლუატაციის პერიოდს) იყოს მინიმალური.

აღნიშნულ მოთხოვნათა შესრულება იძლევა მაღალხარისხოვან პროდუქციის მიღების გარანტიას, მაგრამ ამისათვის საჭიროა წინასწარ ვიცოდეთ საწყისი მასალების ძირითადი მახასიათებლები. საგზაო მშენებლობაში გამოყენებულ შემკვრელთა თვისებების ზუსტი შეფასებისათვის საჭიროა უახლესი, თანამედროვე ხელსაწყოებისა და მეთოდების გამოყენება. შემკვრელთა ზოგიერთ მახასიათებელთა განსაზღვრა წარმოებს არა განზომილების მიღებული SI-სისტემის ერთეულებით, არამედ პრობითი ერთეულებით; ამიტომ მიღებული შედეგები შეიძლება მხოლოდ ირიბად დავახასიათოთ ბიტუმის ესა თუ ის თვისება. ამ ნაკლის აღმოსაფხვრელად უნდა შემუშავდეს ახალი ხელსაწყოები და მეთოდები, კერძოდ:

1. მიკერის (აღჭეხიის) რაოდენობრივი განსაზღვრის მეთოდი და ხელსაწყო;
2. ტემპერატურის ფართო დიაპაზონის ხანმოკლე დატვირთვებით გამოწვეული მოდიფიცირებული ბიტუმის მექანიკური (დეფორმირებადობა) თვისებების განსაზღვრის მეთოდი და ხელსაწყო;
3. საგზაო ფენილში მოდიფიცირებული ბიტუმის მუშაობის ვადის განსაზღვრის დაჩქარებული მეთოდი და ხელსაწყო.

ტერიტორიის სიმცირის მიუხედავად, საქართველო სუბტროპიკული, ტროპიკული და მაღალმთიანი რეგიონებისათვის დამახასიათებელი კლიმატის ქვეყანაა. ამდენად, ცალკეულ კონკრეტულ შემთხვევაში უნდა შეირჩეს რეგიონის კლიმატის შესაბამისი სხვადასხვა ორგანული შემკვრელი. ქართლ-კახეთის დაბლობ რაიონებში გამოყენებული შემკვრელი უნდა იყოს თბომდეგი, ხოლო კოლხეთის დაბლობში, გარდა აღნიშნული თვისებებისა, შემკვრელი უნდა იყოს ატმოსფერულმდეგიც. საქართველოს დაბალმთიან რაიონებში გამოყენებული შემკვრელის სიმყიფისა და დარბლების ტემპერატურა უნდა იყოს საკმაო. სიმაღლის მატებისა და შესაბამისად, კლიმატის გამკაცრების მიხედვით უნდა შემცირდეს შემკვრელის თბომდეგობა და გაიზარდოს პლასტიკურობა. სპეციალური მოდიფიცირებული ბიტუმი საჭიროა დიდი ინტენსივობის საავტომობილო მაგისტრალებისათვის. ცხადია, ყველა შემკვრელი უნდა შეესაბამებოდეს ერთ ტექნიკურ ნორმას, მაგრამ, უფრო უპრიანია კლიმატური

ზონის შესაბამისად ცხელი და ცივი ნარეგებისათვის გამოყენებული ორგანული შემკვრელი ბიტუმის რეოლოგურ თვისებათა დიფერენცირებული ნორმებს შემუშავება, რაც საქართველოს ტერიტორიის საგზაო კლიმატური დარაიონების გარეშე შეუძლებელია.

### 3.8. რეზინაბიტუმი

ბზარწარმოშობის საწინააღმდეგოდ აუცილებელია მასალა რომელიც ეფექტურად აითვისებს ფენილში აღძრულ ძაბვებს. რეფლექტორული ბზარწარმოქმნისას ძაბვების კონცენტრაცია წარმოიშვება ქვედა ფენებში არსებულ ბზარებში. ტემპერატურის ცვალებადობა იწვევს აგრეთვე ძაბვებსა და შესაბამის ტემპერატურულ ბზარებს. ფენილის შეკუმშვა წარმოშობს ბზარებს როდესაც შემკუმშავი ძაბვა აჭარბებს შემკრავის ზღვარს კუმშვაზე, ამიტომ მასალა არ უნდა იშლებოდეს და თავისუფლად იტანდეს მაღალ გამჭიმავ ძაბვებს.



მასალამ რომ წინააღმდეგობა გაუწიოს დადლილობისაგან გამოწვეულ დაშლას რომელიც გამოწვეულია საფუძვლის შერბილებისაგან და შესაბამისი მნიშვნელოვანი ჩაღუნვებისაგან. აუცილებელია მასალამ შეძლოს გაჭიმვა და ფორმების აღდგენა, აგრეთვე შეძლოს შეაჩეროს ბზარწარმოქმნა.

ცნობილია რომ შემკრავის შემცველობა თხელ ფენებში გავლენას ახდენდეს მის ხანმედევობაზე. ნებისმიერი მაღალი სიბლანტის მქონე შემკრავი თუ დაემატება ნარეგს დიდი რაოდენობით აუმჯობესებს წინააღმდეგობას ბზარწარმოქმნისადმი. თუ შემკრავი ინარჩუნებს ასეთ



თვისებებს ტემპერატურისა და დროის ფართო დიაპაზონებში მისი გამოყენება მნიშვნელოვნად გაზრდის ფენილის სამსახურის ვადას. პოლიმერების გამოყენებამ უნდა გაზარდოს საგზაო ფენილების სამსახურის ვადა, მაგრამ ეს ხშირად ზრდის შემკრავის ღირებულებას,

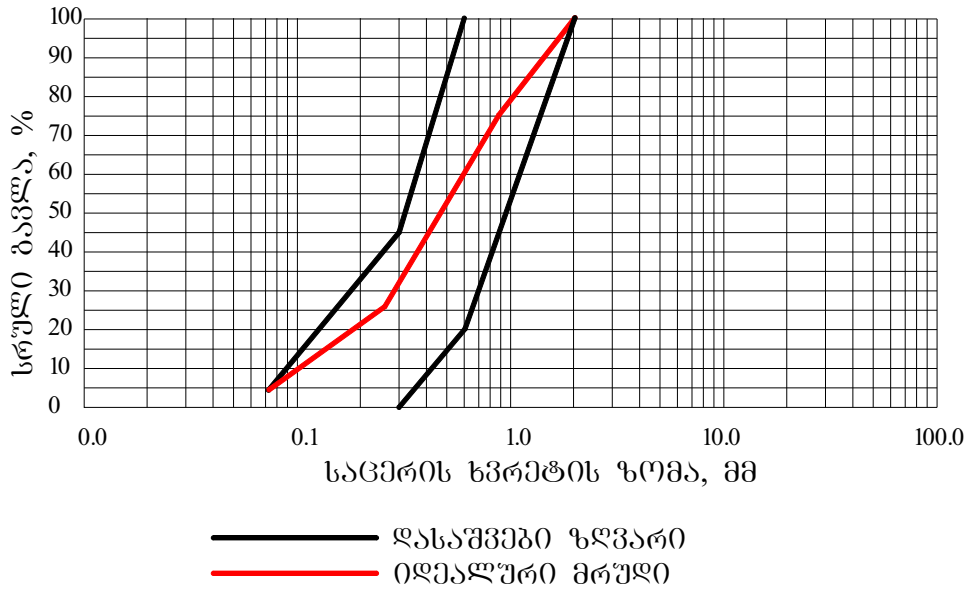
უფრო ხელმისაწვდომი ვარიანტია ძველი საბურავებისა და რეზინის სხვა ნარჩენებისაგან მიღებული ფენილის დამატება შემკრავზე (ე.წ. რეზინაბიტუმი). ასეთი მასალის გამოყენება ბიტუმის რეოლოგიური თვისებების გასაუმჯობესებლად ცნობილია და აღწერილია სპეციალურ ლიტერატურაში. რეზინაბიტუმი იწარმოება ძველი საბურავების რეზინის გრანულების დამატებით ბიტუმთან. ემატება მინიმუმ 15 % ჩვეულებრივ კი 18-20 % რეზინი. აქ მთავარი ფაქტორია ბიტუმისა და რეზინის შეთავსებადობა. რეზინის ფხვნილის გრანულომეტრია შერევის და ტემპერატურის დრო, აგრეთვე შერევისას ძვრის დონე გავლენას ახდენენ მასალის თვისებებზე.

ნახ.18-ზე ნაჩვენებია გაფანტვის დაახლოვებით იდეალური მრუდი. მაგრამ თუ რეაქციის დრო საკმაოდ ხანგრძლივია შესარევად გამოიყენება აგრეთვე სპეცმოწყობილობა და რეაქციის ტემპერატურა მკაცრად კონტროლდება. შეგვიძლია გამოვიყენოთ რეზინის ნამცეცები ზომით 2 მილიმეტრამდეც.

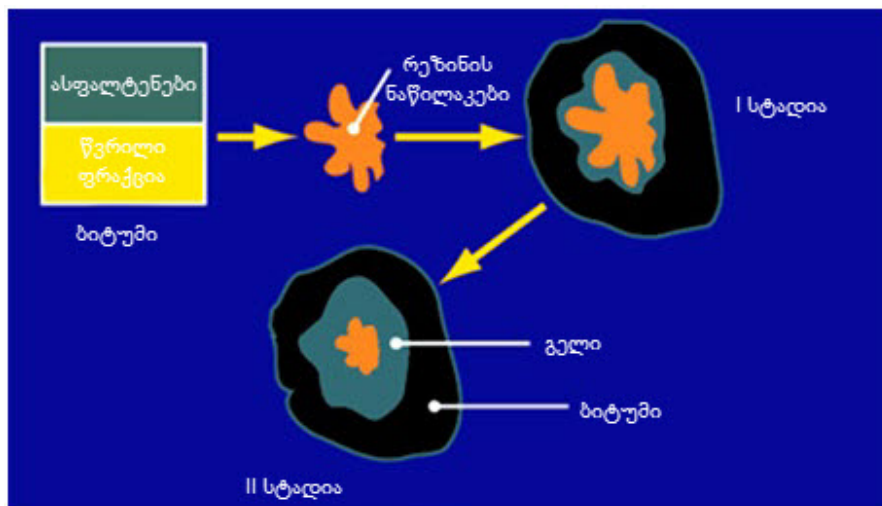
„ბიტუმპოლიმერის“ სისტემის შეთავსებადობა შეიძლება განვსაზღვროთ რამდენიმე ხერხით:

- გარკვეული მორფოლოგიის მიღების თვალსაზრისით ანუ პოლიმერული ნაწილაკების სტრუქტურული სქემით ბიტუმის მატრიცაში.
- თერმოდინამიკური სტაბილურობის მიხედვით აუცილებელია განვსაზღვროთ პოლიმერული ნაწილაკები ან მათი ჯაჭვები იმყოფებიან თუ არა დაბალენერგეტიკულ მდგომარეობაში, ანუ არის თუ არა მამოძრავებელი ძალა ენტროპიის გაზრდისათვის.
- შენახვის სტაბილურობის მიხედვით ხომ არ იყოფიან ამოსავალი კომპონენტები შენახვის პერიოდში.

- რომელიმე თვისებების ან თვისებათა კომბინაციის შენარჩუნებით ხანგძლივი პერიოდის განმავლობაში (დაგების მომენტამდე).



ნახ. 18. დაქუცმაცებული რეზინის გაფანტვის ტიპური მრუდი



ნახ.19.: ბიტუმისა და რეზინის ნაწილაკების რეაქციის სტადიურობა

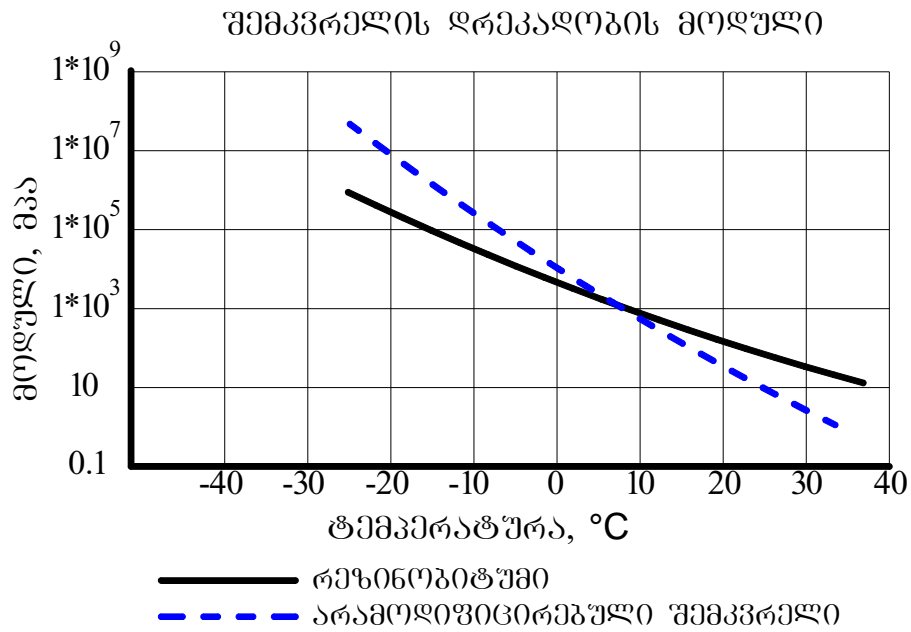
როდესაც რეზინის ნაწილაკები ერევა ბიტუმში ნაწილაკები იფარებიან გელით, რაც ანალოგიურ პოლიმერბიტუმის სისტემებში გაფუების ანალოგიურია. შედეგად ვიღებთ დამოუკიდებელ

რეზინაბიტუმის მატრიცას, რომელიც წარმოადგენს სამფაზიან სისტემას: რეზინა, რეზინისა და ბიტუმის ნაზავი და ბიტუმი. ნარევი შედგება პოლარული ტიპის შეკავშირებული მოლეკულებისაგან დისპერსიულ გარემოში. ნედლეულის ტიპი და გაწმენდის პროცესი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ბიტუმის შემადგენლობაზე და შესაბამისად რეზინისა და ბიტუმის შეთავსებადობაზე. რეზინის გაფუება გამოწვეულია არომატული და ნაფტენური ზეთებისაგან, ამიტომაც ნედლეულის წყარო და გაწმენდის პროცესი გავლენას ახდენენ რეზინაბიტუმის ფორმულაზეც.

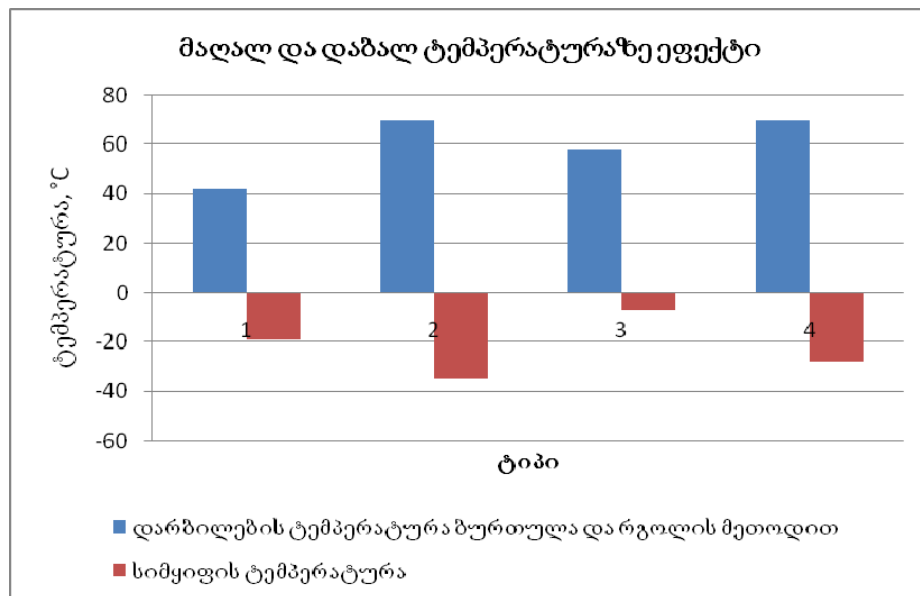
პოლიმერებით მოდიფიცირებული სისტემების თვისებები დამოკიდებულია მორფოლოგიაზე. როდესაც მასალები შეთავსებადია მორფოლოგია ოპტიმიზირებულია. ეს იძლევა საუკეთესო დისპენსიურობას.

იგი ასევე გვიჩვენებს შედარებას შეთავსებად და შეუთავსებად სისტემებს შორის, როდესაც ვიყენებთ შეფასებათა სისტემას. შეთავსებად სისტემებს აქვთ მუშა ტემპერატურის უფრო ფართო დიაპაზონი და უფრო მაღალი ხარისხი. რეზინის ფხვნილის გამოყენების ძირითადი ეფექტი მდგომარეობს სიბლანტის გაზრდასა და თერმული მგძნობელობის გაუმჯობესებაში. იხილეთ ნახ.20.

ნახ.21-ზე ნაჩვენებია დარბილების ტემპერატურის შედარება სიმეიფის ტემპერატურასთან. ეს გვიჩვენებს რომ ასეთი შემკვრელები ნაკლებად მყიფენი არიან უარყოფითი ტემპერატურისას და ნაკლებად ექვემდებარებიან დეფორმაციას მაღალი ტემპერატურისას. შესაბამისად მათი სატრანსპორტო საექსპულუატაციო მაჩვენებლები იქნება საუკეთესო და სტაბილური წლის ნებისმიერ დროს საქართველოსთვის დამახასიათებელ კლიმატურ პირობებში.



ნახ.20 თერმული მგძნობელობის გაუმჯობესება რეზინის დამატებით.



1-ბიტუმი პენეტრაციით 120 (ნემსის შეღწევალობა 0.1 მმ 25°C -ზე

2-რეზინაბიტუმი, დამზადებული ბიტუმით პენეტრაციით 120

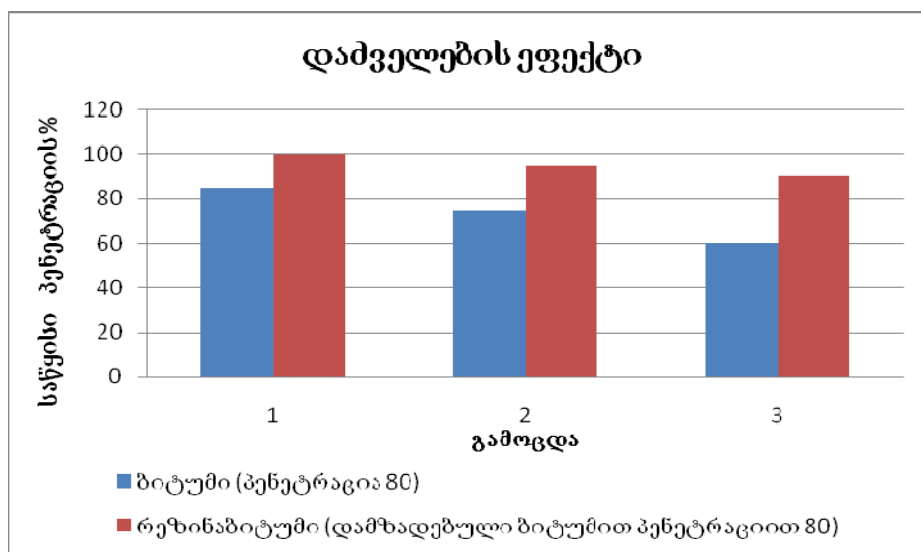
3-ბიტუმი პენეტრაციით 80

4-რეზინაბიტუმი, დამზადებული ბიტუმით პენეტრაციით 80

ნახ.21 ზემოქმედება რგოლისა და ბურთულის მეთოდით განსაზღვრული დარბილების ტემპერატურისა და ფრასის მიხედვით განსაზღვრულ სიმყიფის ტემპერატურაზე.

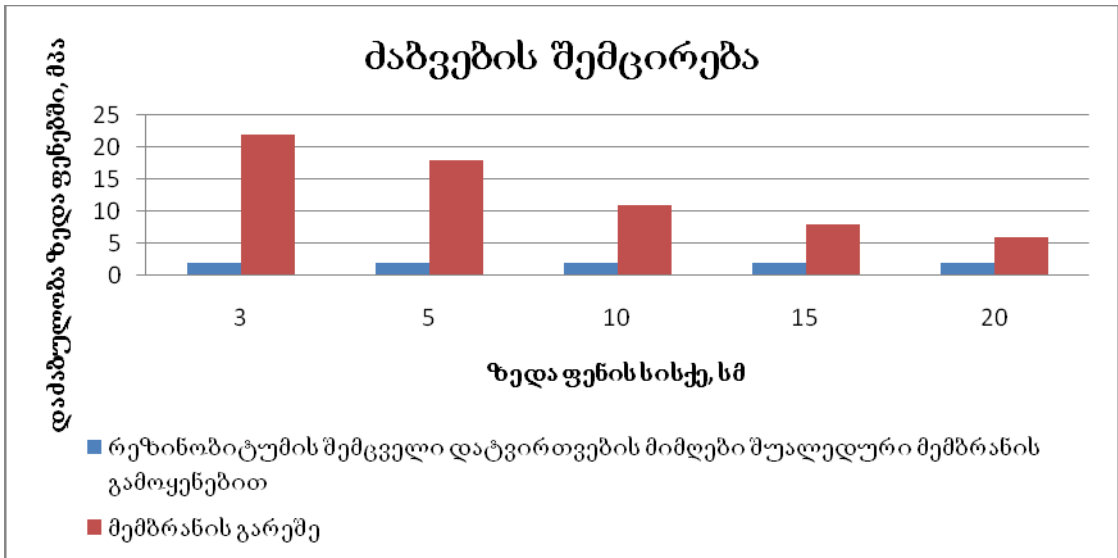
ნახ.20 გვიჩვენებს მრუდეთა გადაკვეთის წერტილის არამოდულიცირებული და მოდიფიცირებული ბიტუმების თვისებათა იდენტურობას, მაგრამ მხოლოდ  $+10^{\circ}\text{C}$  -ზე. დაბალ ტემპერატურაზე რეზინაბიტუმის დრეკადობის მოდული მცირეა და ამიტომ შემკრავი გაცილებით ელასტიურია. მაღალ ტემპერატურაზე რეზინაბიტუმის დრეკადობის მოდული პირიქით უფრო მაღალია. როგორც ვხედავთ რეზინაბიტუმის გამოყენება საკმაოდ ეფექტურია საქართველოსათვის დამახასიათებელი ექსტრემალურ პირობებში.

ასეთი შემკვრელები ადვილად ეწინააღმდეგებიან არახელსაყრელი ამინდების პირობებს, ასევე დაბერების პროცესებსაც, ვინაიდან რეზინა შეიცავს ანტიოქსიდანტებს. ნახ.22 გვიჩვენებს რომ შეიძლება მივიღოთ შემკრავის უფრო სქელი აფსკი ნარევი ბლანტი შემკრავის გამოყენებით, რაც აძლიერებს დაბერებისადმი მდგრადობას რამდენადაც ბიტუმის შემკრავებში დაუანგვის პროცესი დამოკიდებულია დიფუზიაზე.

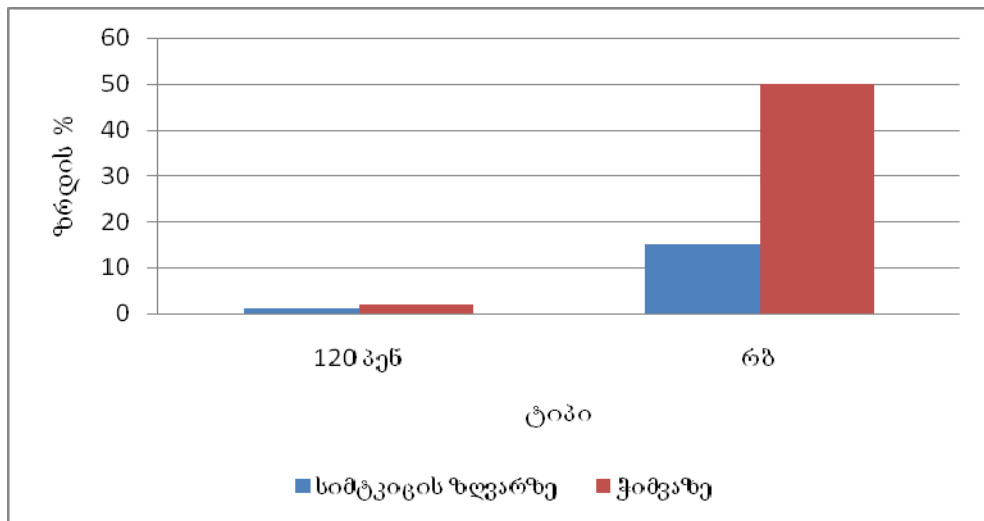


ნახ. 22. რეზინაბიტუმის შემკვრელთა დაბერების ეფექტი ღუმელში და ამინდის პირობების სიმულატორში. 1-1 დღე; 2-5 დღე; 3-8 დღე

რეზინაბიტუმის გამოყენებით შექმნილ მემბრანებში მცირდება ბზარების რაოდენობა, რაც გამოწვეულია ფენილის ზედა ფენაში ძაბვის შემცირებით. ნახ.23 ტემპერატურული ძაბვების შემცირება მოითხოვს სიმტკიცის ზღვრის გაზრდას გახლეჩვაზე და გაგრძელების ზღვრის გაზრდას გაწყვეტაზე რაც ნაჩვენებია ნახ.24-ზე.



ნახ.23 რეზინობიტუმის გამოყენების გავლენა ზედა ფენების დაძაბულობაზე.

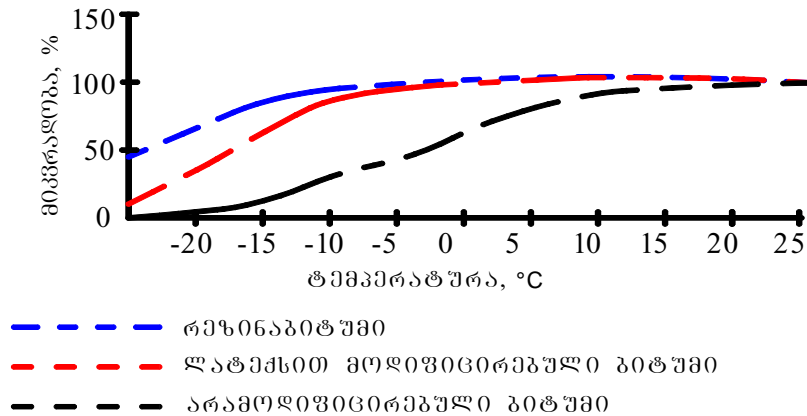


ნახ. 24. ბიტუმის მოდიფიცირების გავლენა წყვეტაზე, სიმტკიცის ზღვარზე და ჭიმვაზე გაწვევებისას-ბენსონის ტესტი

მინერალური მასალის ზედაპირის დამუშავების სახეობა დამოკიდებულია შემკრავის ზემოთაღწერილ თვისებებზე. ძაბვის-მშთანთქავ მემბრანებში ზემოთაღნიშნულ მოთხოვნებზე მისი მოქნილობას დაბალ ტემპერატურებზე და მდგრადობას წყვეტაზე ემატება მოთხოვნა ადგეზია ქვის მასალასთან. ნახ.25 სადაც მოყვანილია მაგალითი ვიალიტის გამოცდისა სხვადასხვა დაბალ

ტემპერატურაზე. ნათელია რომ რეზინაბიტუმს აქვს განსაკუთრებული კოჰეზია დაბალ ტემპერატურაზე და ადგეზია მოცემულ ქვის მასალაზე (კაჟოვანი გრანიტი).

ვიალიტის სხვადასხვა შემკვრელ ებთან სხვადასხვა ტემპერატურული სხვაობისას მიკვრადობის ამსახველი მრუდები



ნახ.25 ღორღის მიკვრადობა რეზინაბიტუმის შემკვრელთან

### 3.9. კომპოზიციური შემკვრელები ბირბ ა/ბ-ის საფუძველზე

ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე შემოთავაზებული ტექნოლოგია, ექსპერიმენტალური და საცდელი საწარმოო სამუშაოების ჩატარების შემდეგ საგზაო სფეროს ობიექტებზე იძლევა საშუალებას მკვეთრად განვასხვავოთ ბირბ ნარეგების მასალები სხვა შემკვრელებისაგან ფართო პლასტიკურობის ინტერვალით. მისი ინტერვალია 85°C და მეტი. ცნობილია, რომ ჩვეულებრივი საგზაო ბიტუმების პლასტიკურობის ინტერვალი როგორც წესი 60-65°C-ია, რომელიც არასაკმარისია საფარის ზედა ფენების მოსაწყობად საქართველოს უმეტეს რეგიონებში კლიმატური პირობების გამო.

მაღალი მაჩვენებლების შემკვრელი მასალების ხარისხის კომპლექსი, უზრუნველყოფს ა/ბ-ის მაღალ ბზარგამძლეობას და სიცოცხლისუნარიანობას. ბიტუმების მაღალი ადგეზიური თვისებები

უზრუნველყოფს ა/ბ-ის მაღალ წყალგაუმტარობას და ექსპლუატაციის დროს საფარის ისეთ დაზიანებას, როგორცაა გამოფხვნა.

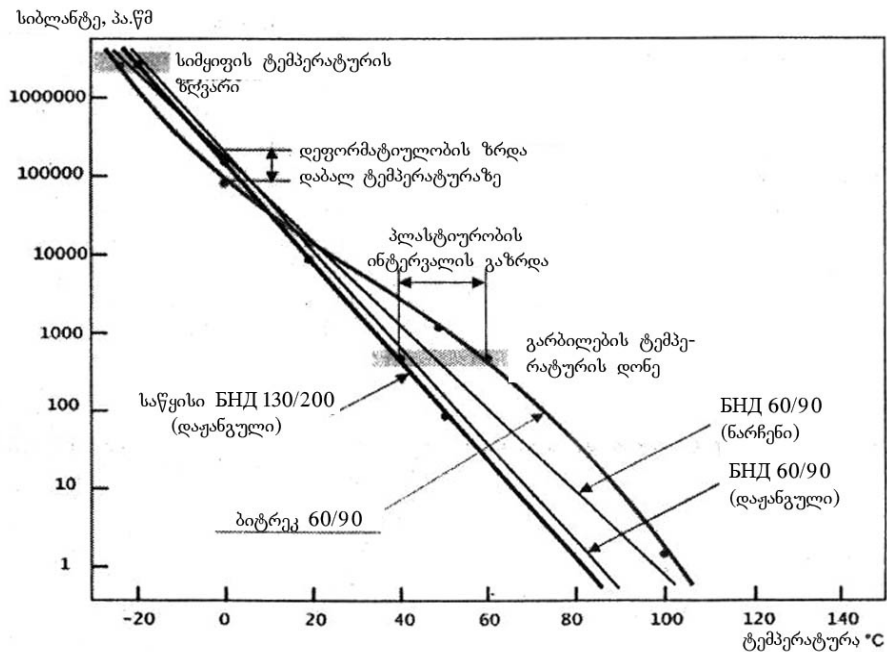
თავისი სტრუქტურით ბიტუმ-რეზინის ეკოლოგიურად სუფთა კომპოზიციური მასალები (აბრევიატურა ბიტრეკ), რომლებიც ბიტუმების წვრილდისპერცული რეზინის ნაფხვენის ქიმიური მოდიფიცირების ტექნოლოგიის მიხედვით, პრინციპულად განსხვავდება როგორც ზოგადად ჩვეულებრივი რეზინაბიტუმის ნარეგებისგან, ასევე შემკვრელებისგან, რომლებიც მიღებულია პოლიმერების ან კაუჩუკების ბიტუმში გასხნის გზით.

შემუშავებული ტექნოლოგიის მიხედვით მოდიფიცირების ჩატარებისას დაუანგული ბიტუმების არასტაბილურ მოლეკულურ-კოლოიდურ სისტემაში შეყავთ რეზინის ნაწილაკები, რომლებიც ახდენენ გარკვეული ფრაქციის ნაწილის ადსორბირებას და ერთმანეთს უკავშირდებიან მოცულობით მოლეკულურ ბადეში რეზინის კაუჩუკური ფრაგმენტების მიერ შექმნილი ქიმიური ბმების, ასევე ბიტუმის მაღალმოლეკულური კომპონენტების არსებული და დამატებით შექმნილი აქტიური ცენტრებით. პროცესი დაფუძნებულია ბიტუმში და რეზინის ნაფხვენის ნაწილაკების ზედაპირზე საფეხურებრივი რადიკალური პოლიმერიზაციის პროცესების წარმართვის პირობების შექმნაზე ქიმიური აგენტების კომპლექსის მოქმედების ქვეშ, რომლებიც უზრუნველყოფენ „ცოცხალი“ ჯაჭვების რეჟიმს.

ტექნოლოგიური პროცესის მეორე სტადიაზე მასალის სტრუქტურაში შეყვანილი ჭარბი აქტიური მოლეკულური ჯგუფები ქმნიან იმ დამატებითი ასოციაციური ძალების ველს, რომლებიც მოქმედებენ ტემპერატურის დაწვეისას და უზრუნველყოფენ მომატებულ ადჰეზიასა და მთელი ჰეტეროგენული სისტემის სტაბილურობას.

რეზინის ნაფხვენის შეყვანა, ბიტუმში მისი მინიმალური ზედაპირული დესტრუქცია და ნაწილობრივი პოლიმერიზაცია შემოთავაზებული ტექნოლოგიის მიხედვით ასევე შესაძინევად ცვლის მასალის სიბლანტის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების მსვლელობას პლასტიურობის ინტერვალის ზღვრებში. შერბილების ტემპერატურა იზრდება და სიმყიფის ტემპერატურა მცირდება, პლასტიური მდგომარეობის ინტერვალის კი ფართოვდება.





ნახ. 26. სხვადასხვა ბიტუმების კინემატიკური სიბლანტის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

ნახ.26-ზე წარმოდგენილია კინემატიკური სიბლანტის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების შედეგები როგორც ჩვეულებრივი საგზაო ბიტუმისთვის, რომელიც გუდრონის დაქანგვით მიიღება და საწყისის სახით გამოიყენება, ასევე ამ დამოკიდებულების ცვლილებისას ქიმიურად მოდიფიცირებულ ბიტუმში. შედარებისთვის მოყვანილია BHD60/90 მარკის დაქანგული და ნარჩენი ბიტუმების სიბლანტის დამოკიდებულებები.

შედარებულია მახასიათებლების მაჩვენებლები ორი ტიპის ბირბ ნარეგების პირველად საგზაო ბიტუმთან რომელიც აკმაყოფილებდა GOCT 2245-90 მოთხოვნებს.

ჩატარებულმა გამოკვლევამ ა/ბ-ის ბირბ-ზე გვიჩვენა, რომ:

1. შემკვრელის ხარჯი ნარეგში არ გაიზარდა;
2. საშუალო სიმკვრივე დაეცა 0.01გ/სმ<sup>3</sup> ;
3. ფიზიკა-მექანიკური მაჩვენებლები ა/ბ-ის აკმაყოფილებს მოთხოვნებს GOCT 9128-97;

4. საკმაოდ დაეცა სიმტკიცის ზღვარის მაჩვენებელი კუმშვაზე. 0°C- 12.4მ.პას პირველადი ბიტუმის, 8.69-9.23 მეგ.პას ბირბ ნარევის;
5. გაიზარდა კოეფიციენტი წყალმედვობის დიდი წყალშესრუტვის შედეგად 0°C- 0.62 პირველადი ბიტუმის, 0.85 ბირბ ნარევის;
6. გაიზარდა სიმტკიცის მაჩვენებელი 50°C-ზე 1,9მეგ.პას-დან 2.16მეგ.პას-მდე და მაჩვენებელი ძვრისადმი სიმტკიცის- 2.17მ.პას-დან 2.51მ.პას-მდე.

ცხრ.2-ში მოყვანილია ორი ტიპის შემკვრელი ბიტრეკების და საწყისის სახით გამოყენებული ჩვეულებრივი საგზაო ბიტუმების თვისებების მაჩვენებელთა შედარებითი მახასიათებლები 22245-90-ის მიხედვით. სტანდარტული გამოცდების შედეგები გვიჩვენებს, რომ ჭიმვადობის (დეფორმაციულობის) მაჩვენებელი 0°C-ზე მნიშვნელოვნად იზრდება საწყის ბიტუმთან დაკავშირებით. ასეთი ქცევა შეესაბამება რეოლოგიურ თვისებებს და ძალზედ მნიშვნელოვანია საგზაო საფარების ბზარმედვობის ამაღლებისათვის.

ბიტუმის შემკვრელების ნიმუშების მახასიათებელთა შედარება

ცხრილი 2.

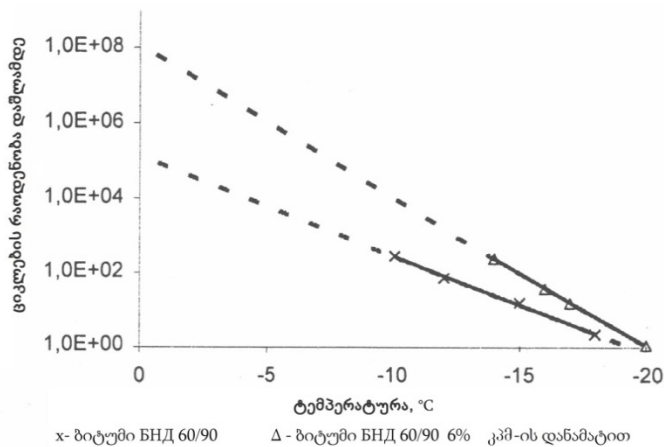
თვისებების მაჩვენებლები	შემკვრელების რეალური ნიმუშების მაჩვენებელთა მნიშვნელობები			
	БНД90/130 (საწყისი)	ბიტრეკ 60/90	БНД60/90 (საწყისი)	ბიტრეკ 40/60
1	2	3	4	5
ნემსისშედწვევისსიღრმე, 0,1მმ				
25°C-ზე	100	78	69	40
0°C-ზე	24	34	20	17
დარბილების ტემპერატურა, °C	46	65	50	72
სიმყიფის ტემპერატურა, °C	-23	-26	-20	-24
პლასტიურობის ინტერვალი, °C	69	91	70	96

თვისებების მაჩვენებლები	შემკვრელების რეალური ნიმუშების მაჩვენებელთა მნიშვნელობები			
	БНД90/130 (საწყისი)	ბიტრეკ 60/90	БНД60/90 (საწყისი)	ბიტრეკ 40/60
1	2	3	4	5
ჭიმვადობა 0°C-ზე, სმ	3,5	8	2,4	6
ელასტიურობა °C-ზე, %	არა ნორმ.	50	არა ნორმ.	45
ჩაჭიდება მუავე ქვიშასთან	<ნიმ. №3	>ნიმ. №2	<ნიმ. №3	>ნიმ. №2
ფარდობითი ადჰეზიური უნარის მაჩვენებელი, %	35	98	47	99

საგზაო ფენილებში ბიტუმების მოქმედების თავისებურებათა გამოსავლენად რომელთაც დამატებული აქვთ შემუშავებული მოდიფიცირებული დანამატები კვლევამ გვიჩვენა რომ ფენილებში დეფორმაცია შედარებით მცირეა და წარმოიშვება მხოლოდ ციკლური ზემოქმედების შემთხვევაში. წარმოდგენილ ნაშრომში ბიტუმების სატანდარტული გამოკვლევის მეთოდებს დამატებული აქვთ დაუნგრეველი სტრუქტურის გამოცდა დადლილობის ხანგძლივობასა და სიბლანტეზე.

შემკრავთა დადლილობის ხანგძლივობა გამოკვლეული იქნა ბ. გ. პეჩენი-ს მეთოდით. შედეგების ანალიზმა გვაჩვენა რომ შემკრავის თხელი აპსკის დამანგრეველი ციკლების რაოდენობა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე და მას აქვს ხაზოვანი სახე. ნახ.27. (დამოკიდებულება გრაფიკულად წარმოდგენილია ნახევრადლოგარითმულ კოორდინატებში. ამ მონაცემებიდან ჩანს რომ კაუჩუკ-პოლიოლეფინის დანამატის შეყვანა მნიშვნელოვნად ზრდის შემკრავის ხანგძლივობას დადლიობაზე, მით უფრო რაც მაღალია გამოცდის ტემპერატურა. აღსანიშნავია რომ ცდები ტარდებოდა დეფორმირების მოცემული ამპლიტუდით. დატვირთვის ასეთი რეჟიმში ახასიათებთ ასფალტბეტონის ფენილებს გაზაფხულზე მიწის ვაკისის სიმტკიცის შესუსტების პერიოდში, როდესაც წარმოიშვება მაქსიმალური დეფორმაციები, ამიტომაც განსაკუთრებულდ საინტერესო იყო დადლილობის ხანგძლივობის

მაჩვენებლები 0°C ტემპერატურაზე, რაც ახასიათებს ზამთარ-ზაფხულის პერიოდს საქართველოში რომელიც გრძელდება საკმაოდ ხანგრძლივად. ეს მნიშვნელოვანი დადლილობის ხანგრძლივობის მაჩვენებლები შეიძლება დავადგინოთ ექსტრაპოლიმერებითაც, ვინაიდან ექსპერიმენტი ჩვენი კლიმატის თავისებურებების გათვალისწინებით მიმდინარეობდა საკმაოდ ხანგრძლივად. მიღებული მონაცემები გვიჩვენებს რომ 6% დანამატი 0°C ტემპერატურაზე, 3 თანრიგით ზრდის ციკლების რაოდენობას შემკრავის დარღვევამდე. შემკრავის კვლევა წარმოებდა „სენდვრიჩის“ ტიპის მოწყობილობით რომელიც გამოიყენება პოლიმერული მასალების გამოსაცდელად. საექსპლუატაციო ტემპერატურების ფართო დიაპაზონში ჩატარებულმა გამოცდებმა გვიჩვენა რომ ბიტუმთა შემკრავის სიბლანტე დამოკიდებულია უკუტემპერატურის სიდიდეზე ხაზოვანი სახით თუ მათ წარმოვადგენთ ნახევარ-ლოგარითმულ კოორდინატებში.



ნახ.27 ბიტუმი БНД 60/90 –სა და - 6% კმ-ის დანამატი

მოდიფიცირებული ბიტუმის დადლილობის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულება

ეს თანხვდება ი. მ. რუდენკოს მიღებულ შედეგებს, რომელთა მიხედვით დარბილების ტემპერატურის ქვემოთ დამოკიდებულება

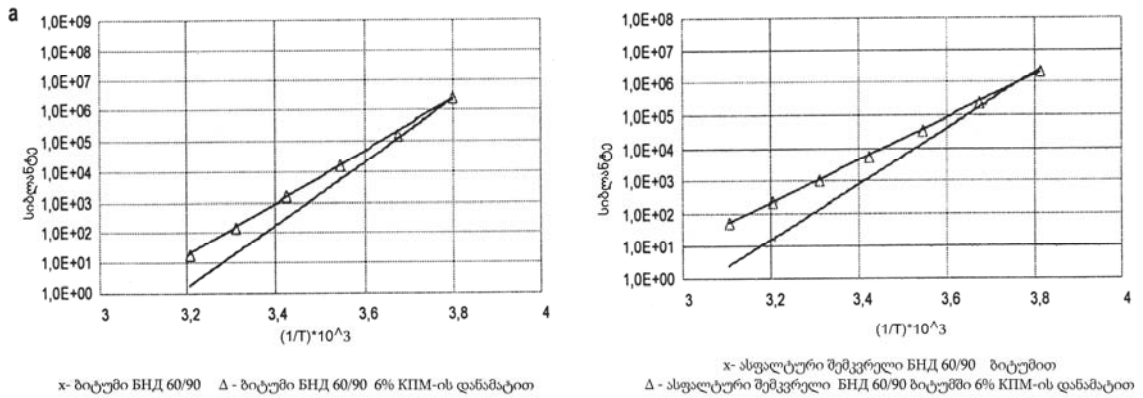
$\log \eta = f\left(\frac{1}{T - T_0}\right)$  (19) გამოიხატება სწორი ხაზით და შესწავლილი ბიტუმის შემკრავებისათვის

$$\eta = A e^{\frac{B}{T - T_0}} \quad (20)$$

სადაც A-მუდმივი რიცხვია; R-ბოლცმანის მუდმივა, T-აბსოლუტური ტემპერატურა; U-აქტივაციის ენერგიაა.

БНД60/90 - ისა და ჩვენს მიერ მოდიფიცირებული ბიტუმის სიბლანტეთა მაჩვენებლები საშუალებას გვაძლევენ წარმოვიდგინოთ დამოკიდებულება  $\log \eta = f\left(\frac{1}{T-K}\right)$  (ნახ.28ა) და ამით განვსაზღვროთ აქტივაციის ენერგია.

ბიტუმ БНД60/90 -სათვის დარბილების ტემპერატურის ქვემოთ შეადგინა 47,14 კკალ/მოლ. მოდიფიცირებული ბიტუმისათვის კი 39,28 კკალ/მოლ. ეს გვიჩვენებს რომ მოდიფიცირებული ბიტუმი უფრო ნაკლებად მგრძნობიარეა ტემპერატურის მიმართ ვიდრე ბიტუმი დანამატის გარეშე. გამოანგარიშებულია რომ წრფეები იკვეთებიან - 12<sup>0</sup>C ტემპერატურაზე და მის ქვემოთ გადაკვეთის წერტილის მარჯვნივ ბიტუმის სიბლანტე რომელიც მოდიფიცირებულია ნაკლებია ჩვეულებრივი ბიტუმის სიბლანტეზე. ეს მოვლენა არის სწორედ ერთერთი მიზეზი შემუშავებული პოლიმერბიტუმის შემკრავის ნაკლები სიხისტით დაბალ ტემპერატურაზე. ზემოთ აღნიშნული საშუალებას გვაძლევს ფართოდ გამოვიყენოთ ასეთი ასფალტბეტონები მაღალ-მთიან რეგიონებში საგზაო მშენებლობაში, ნაცვლად დღეს მიღებული ცემენტბეტონისა, რომელთაც გააჩნიათ უამრავი ტექნოლოგიური და საექსპლუატაციო ხარვეზები და უარი ვთქვათ ადრინდელ პრაქტიკაზე, როდესაც მაღალმთიან რეგიონებში გამოიყენებოდა მხოლოდ გაჟღენთვის ან ადგილზე არევის წესით დამზადებული ფენილები რომლებიც მიეკუთვნებიან შავი ფენილების უფრო დაბალ სახეობას ვიდრე ასფალტბეტონები. ასფალტბეტონის შემადგენლობაში შემკრავი იმყოფება თხელი აფსკის სახით რაც გამოწვეულია მინერალური ფხვნილის დიდი ხვედრითი ზედაპირით. ამიტომ საინტერესო გახდა გამოკვლევა ასფალტის შემკრავის სიბლანტისა სხვადასხვა ტემპერატურაზე. ექსპერიმენტმა გვაჩვენა რომ ასფალტის შემკრავის სიბლანტის ლოგარითმი დამოკიდებულია უკუ აბსოლუტური ტემპერატურის სიდიდეზე ხაზოვანი სახით (ნახ 28ბ).



ნახ.28. ასფალტის შემკრავის სიბლანტის ლოგარითმი

ა-შემკვრელი ბიტუმი;

ბ-ასფალტის შემკრავისათვის

აქტივაციის ენერჯის გამოცვლილი სიდიდეები ასფალტის შემკრავისათვის დამატების გარეშე ბიტუმით შეადგინა 39,00 კ.კ/მოლი. 6% კპმ დანამატით 29,68 კ.კალ./მოლ. აქედან ჩანს რომ მინერალური ფხვნილის შეყვანა ამცირებს აქტივაციის ენერჯის დამატების შეყვანას ანალოგიურად და ამით ამცირებს მის ტემპერატურულ მგრძობელობას და სიბლანტეს დაბალი ტემპერატურების ზონაში. ასეთი გავლენა გამოწვეულია ბიტუმის საშუალო მოლეკულური მასის გაზრდით მინერალური ფხვნილის დამატების გამო. მინერალური ფხვნილი შთანთქავს ყველაზე უფრო დაბალმოლეკულურ ნივთიერებას ზეთებს. ამავე დროს ხდება შემკრავის სტრუქტურირება მინერალური ნაწილაკების ზედაპირთან. მინერალური ფხვნილის დამატებით სიბლანტე დაბალი ტემპერატურის დიაპაზონში შემცირდა. სიმყიფის მიღებული ტემპერატურები შემდეგია: ასფალტის შემკვრელისათვის მოდიფიცირებული ბიტუმის დანამატის გარეშე არის -  $(-11)^{\circ}\text{C}$ , ხოლო 6% კპმ-ის დანამატით -  $(-15)^{\circ}\text{C}$ . ეს გამოწვეულია ბიტუმის შემკვრელის დეფორმირებადობის შემცირებით, ვინაიდან იგი გადავიდა აფსკის მდგომარეობაში. იმავედროულად კი სიმყიფის ტემპერატურის განსაზღვრა წარმოებდა დეფორმაციის მოცემული ამპლიტუდის რეჟიმში. კპმ-ის ზემოქმედების გავლენის შესაფასებლად

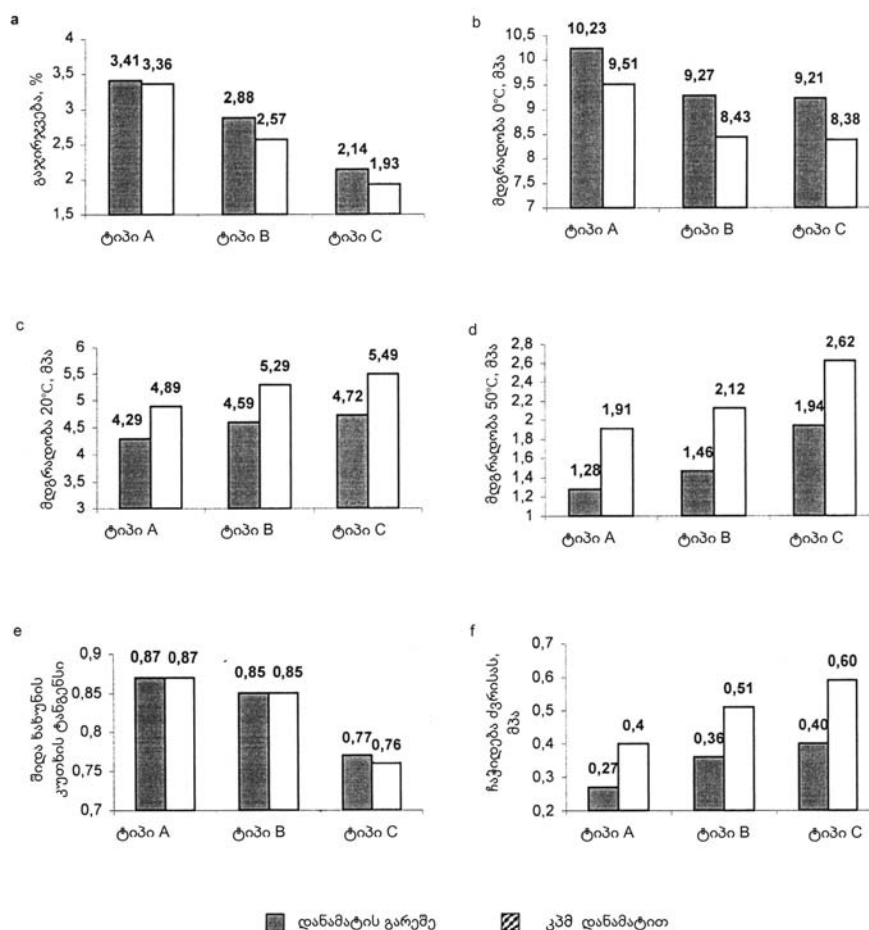
ასფალტობეტონის ნარევის თვისებებზე მომზადდა წვრილმარცვლოვანი ნარევი 3 ტიპის ა, ბ და ც - საკვლევი დანამატის ოპტიმალური შემადგენლობით (6 % ბიტუმის ნარევი დამატებული

მასიდან) და ბიტუმის შემკვრელით. სტრუქტურული ტიპების უფრო სრული დახასიათებისას ცდების წინ გაანგარიშებული იქნა: ჯამური ხვედრით ზედაპირი ასფალტბეტონის მინერალური ნაწილისა, მისი ბიტუმტევალობა და ასფალტბეტონის ნარევი ბიტუმის აფსკის საშუალო სისქე. კპმ-ის დანამატი შეგვყავდა  $140-150^{\circ}\text{C}$  გაცხელებულ ბიტუმთან  $170^{\circ}\text{C}$  გაცხელებულ მინერალურ მასალებში რომელიც ირეოდა 30 წამის განმავლობაში, შემდგომი არევა გრძელდებოდა 1 წუთი ყველა კომპონენტის თანაბრად გასაერთიანებლად. გამოკვლეული იქნა ასფალტბეტონის სტანდარტული თვისებები კპმ-ის დანამატით და მის გარეშე. ცდების შედეგების ანალიზმა (ნახ.29) გვიჩვენა რომ კპმ-ის შეყვანა ასფალტბეტონში დადებითად მოქმედებს მის ფიზიკო-მექანიკურ მაჩვენებლებზე: მნიშვნელოვნად მცირდება წყალუღენტვა და ნარჩენი ფორიანობა, იზრდება წყალმდებობის კოეფიციენტი რაც ახასიათებს ასფალტბეტონის კოროზიულ მდგრადობას. ეს აიხსნება მოდიფიცირებული შემკვრელის მაღალი ადგეზიით, ვინაიდან შეიქმნა მტკიცე აფსკი და წყალს გაუძნელდა მისი ქვის მასალისგან განცალკევება. დანამატის გავლენა იგრძნობა შემკვრელის სიბლანტესთან და კოჰეზიუ სიმტკიცესთან დაკავშირებულ ყველა მაჩვენებელზე. 40-50% იზრდება სიმტკიცე კუმშვაზე  $50^{\circ}\text{C}$ -ზე და მხოლოდ 5-10 % ით მცირდება სიმტკიცე კუმშვაზე  $0^{\circ}\text{C}$ -ზე.

გამოკვლევის შემდგომ ნაწილში მოცემულია ექსპერიმენტულ სტატიკური მოდელირება მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის თვისებებისა. ამ მიზნით სადისერტაციო ნაშრომში დაიგეგმა სრული 3 ფაქტორიანი ექსპერიმენტი (ბოქსის გეგმით), შედეგად მიღებულია მათემატიკური მოდელები რომლებიც ადეკვატურად აღწერენ ფუნქციის დამოკიდებულებას ვარირებად ფაქტორებზე: ღორღის რაოდენობა, კპმ-ის და ბიტუმის რაოდენობა. დადგენილია გამოსაკვლევი ფაქტორების რაციონალური გამოყენების სფეროები. მიღებულია თეორიული მოდელი მოდიფიცირებული ნარევიების თვისებების შეფასებისა და პროგნოზირებისათვის, როდესაც ნარევი დამზადებულია ზემოთაღნიშნული კომპონენტებისაგან.

ითვლება რომ ბზარმდებობის შეფასებისათვის უკეთესია პრიზმული ნიმუშების გამოცდა ღუნვაზე, ამასთან დაკავშირებით შევისწავლეთ

კპმ-ის დამატების გავლენა სიმტკიცის ზღვარზე დინამიური ღუნვისას საექსპლუატაციო ტემპერატურების ფართო დიაპაზონში. შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა (ნახ. 30), რომ შემკრავის რაოდენობის გაზრდა და ღორღის რაოდენობის შემცირება ხელს უწყობენ ღუნვაზე სიმტკიცის ზრდას. თავის მხრივ ზრვრული დეფორმაცია იზრდება ნარევიში ბიტუმისა და ღორღის რაოდენობის გაზრდით. იგივე პირობებში კპმ-ის დანამატის შეყვანა იწვევს ყველა ტიპის ასფალტბეტონის ნარევი-სათვის მყიფე მდგომარეობის ტემპერატურის გადაწევას 7-13<sup>0</sup>C უფრო დაბალი ტემპერატურის ზონებში. იმავდროულად მნიშვნელოვნად იზრდება ღუნვაზე სიმტკიცის ზრვარი რაც თავის მხრივ მნიშვნელოვან როლს თამაშობს კონსტრუქციების გაანგარიშებისას მონოლითური ფენების წინააღმდეგობაზე, დაღლილობის დაშლაზე ღუნვისას გამოწვეული დაჭიმულობისაგან.



ნახ.29 კპმ-ის დანამატის გავლენა ასფალტბეტონების თვისებებზე:

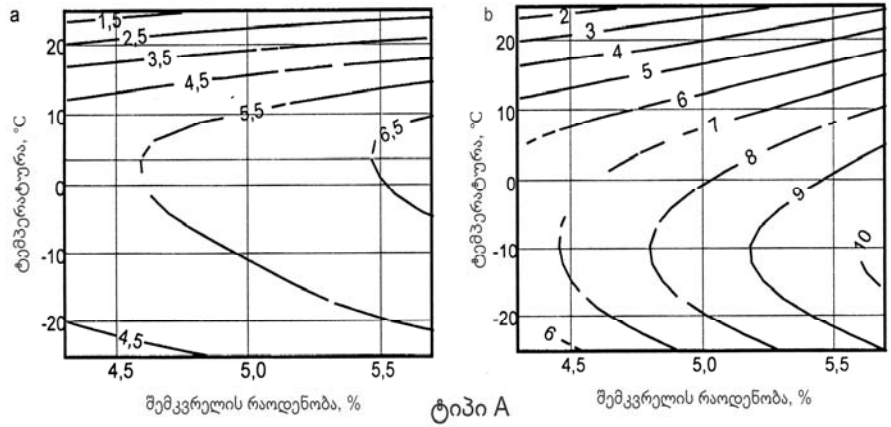
- a-წყალუღენთვა;
- b-სიმტკიცე კუმშვაზე 0<sup>0</sup>C-ზე;
- c-სიმტკიცე კუმშვაზე 20<sup>0</sup>C-ზე;
- d-სიმტკიცე კუმშვაზე 50<sup>0</sup>C-ზე;
- e-შიდა



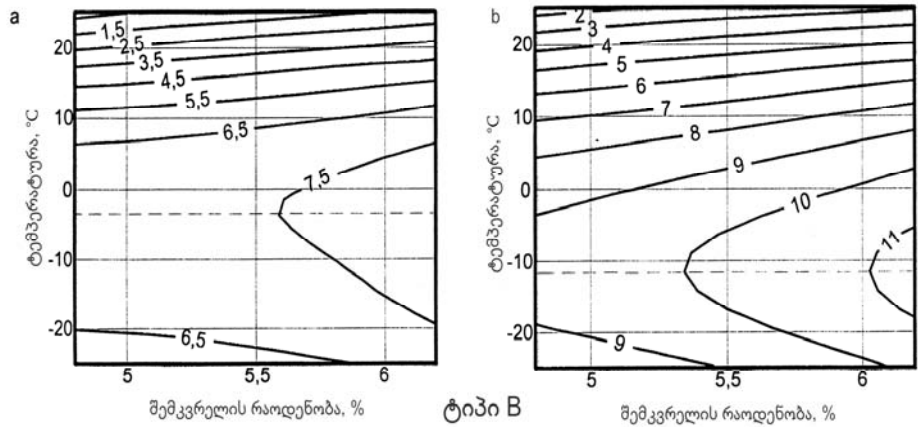
ტანგენის ხახუნის კუთხე; f-შეჭიდულობა ასფალტბეტონის გაცურების დროს.

მიღებული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ნარევებში შემკრავის ოპტიმალური რაოდენობის შერჩევის მეთოდი. ვინაიდან ბიტუმის რაოდენობის გაზრდით ხდება ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო ტენდენცია: მცირდება სიმტკიცე კუმშვისას და იზრდება სიმტკიცე ჭიმვაზე, ამიტომ მოცემული მეთოდის მიზანი იყო ოპტიმალურად დაგვეკავშირებინა ეს ორი მნიშვნელოვანი მახასიათებლები. ნახ.31.

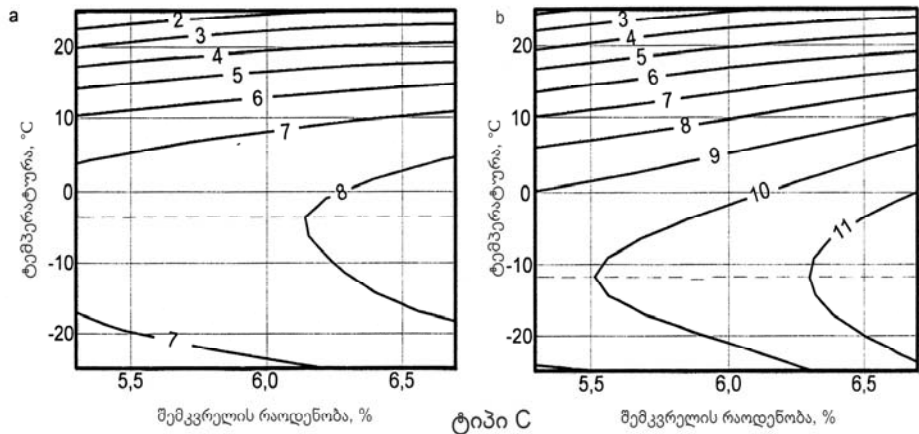
რომ დაგვეხასიათებინა წინააღმდეგობა ნარჩენი დეფორმაციების დაგროვების მიმართ დაჭიმვისას ვცდიდით ასფალტბეტონის ნარევების პრიზმულ ნიმუშებს ცოცვაზე ღუნვისას. ჩატარებული ექსპერიმენტული გამოკვლევების შედეგებით აიგო ცოცვადობის მრუდები, რომლებითაც გამოანგარიშებული იქნა ასფალტბეტონის სიბლანტე ჭიმვაზე ღუნვისას. ნახ.32.



ტიპი A

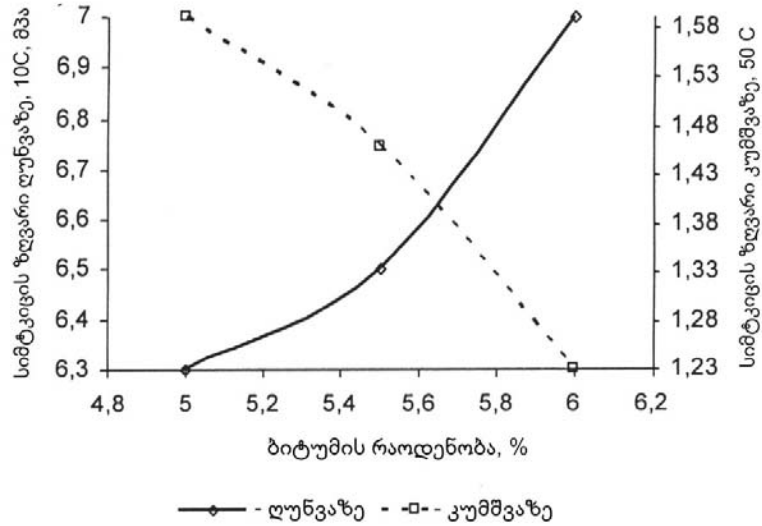


ტიპი B



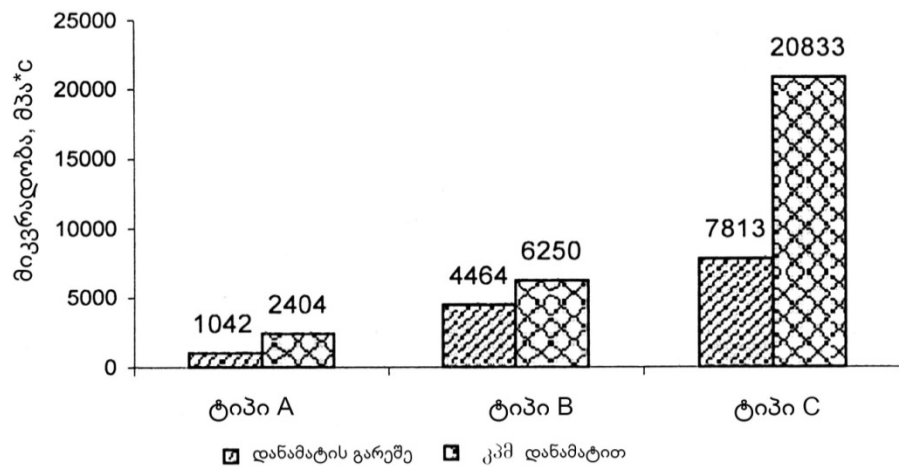
ტიპი C

ნახ.30. ტემპერატურის და ბიტუმის რაოდენობის ზემოქმედება სიმტკიცეზე დინამიური ღუნვის დროს (მკა) A, B და C ტიპის ასფალტბეტონებისთვის; a - დანამატის გარეშე, b - კპმ-ის 6% მოლიანი ბიტუმის მასისა.



ნახ.31. ბიტუმის ოპტიმალური რაოდენობის შერჩევა ბ ტიპის ასფალტბეტონის გრაფო-ანალიზური მეთოდით.

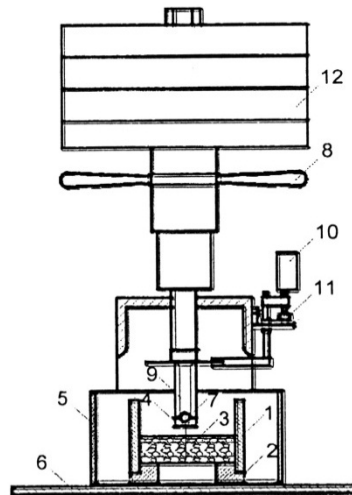
როგორც გვიჩვენებს ექსპერიმენტის შედეგები მიღებულ 10<sup>0</sup>C კპმ-ის დანამატის შეყვანა ასფალტბეტონში მნიშვნელოვნად ზრდის მის სიბლანტეს დაჭიმვისას. ეს აიხსნება მოდიფიცირებული შემკრავის რელაქსაციის დროის გაზრდით გაერთიანებულ ასფალტო-პოლიმერული სრუტუქტურის არსებობის გამო.



ნახ.32. კპმ-ის დანამატის დანარევის ტიპის გავლენა ასფალტბეტონის სიბლანტეზე დაჭიმვისას.

ასფალტბეტონის ძვრისადმი მედეგობის შეფასების თანამედროვე მეთოდები საშუალებას იძლევიან განვსაზღვროთ შინაგანი ხახუნი და

ჩაჭიდება დეფორმირების ბოლო ანუ დაშლის ეტაპზე. პლასტიკური დენადობა იწყება კრიტიკულზე გაცილებით მცირე ძაბვებისას, ამიტომაც არსებული მეთოდები არ გვიქმნიან წარმოდგენას ასფალტბეტონის მუშაობაზე საექსპლუატაციო დატვირთვების დიაპაზონში, მიღებული შედეგები კი არ გვაძლევენ საშუალებას ზუსტად შევაფასოთ საკვლევი ასფალტბეტონის წინააღმდეგობა ძერისადმი. ამ პრობლემის გადასაჭრელად არსებული მეთოდების ძერაზე ასფალტბეტონების გამოცდის არსებული მეთოდების საფუძველზე შემუშავებულია ასფალტბეტონის სიბლანტის განსაზღვრის მეთოდი. მუდმივი მძვრელი ძაბვის 0,307 მპა და შეზღუდული განივი გაგანიერების პირობებში 60°C ტემპერატურაზე. სიბლანტე განისაზღვრებოდა დეფორმაციის სინქარით ცოცვადობის მრუდით სწორხაზოვან მონაკვეთებზე. ნიკოლსკის მონაცემებით მოღებული ძაბვის სიდიდე შეესაბამება ჯამურ მძვრელ ძაბვას ვერტიკალური და ჰორიზონტალური დატვირთვებისას სატრანსპორტო მოძრაობის მონაკვეთებისათვის. ცდებისათვის გამოვიყენეთ მოწყობილობა შტამპის ჩაწნეხვის სიღრმის განმსაზღვრელი ხელსაწყო. შტამპის დიამეტრით 25,2 მმ (ფართობით 52 სმ). ნახ 33.



ნახ.33. ასფალტბეტონის სიბლანტის განსაზღვრელი ხელსაწყო ძერისას შეზღუდული განივი გაგანიერების პირობებში:

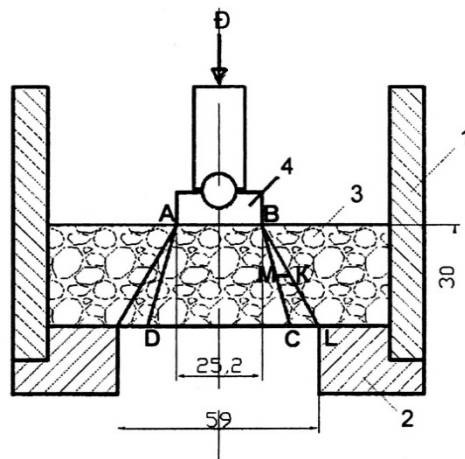
1-ფორმა; 2-საყრდენი რგოლი; 3-გამოსაცდელი ნიმუში; 4-დამტვირთავი შტამპი; 5-მოცულობა ნიმუშის შეკავებისთვის; 6-

ხელსაწყოს მაგიდა; 7–ბურთულა; 8–სახელური; 9–შკივი; 10–ინდიკატორი; 11–საყრდენი მაგიდა; 12–გირა.

ასფალტბეტონის სიბლანტე განისაზღვრებოდა ფორმულით:

$$\eta = \frac{F}{\frac{dS}{dF}} \quad (21)$$

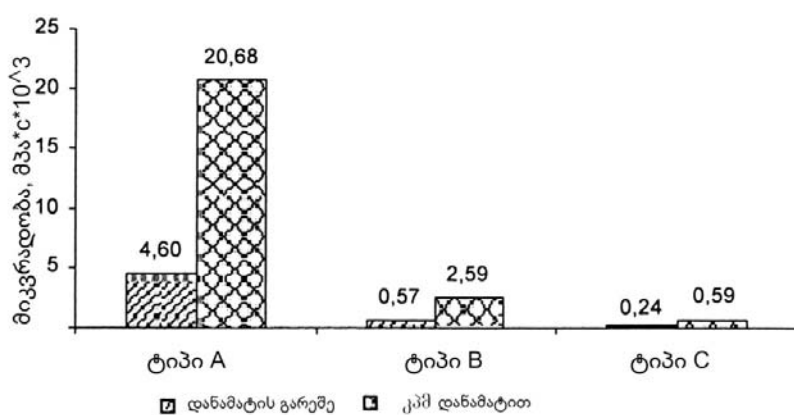
სადაც  $\tau = \frac{P}{S}$ , მპ; P არის დატვირთვა ნიუტონებში, S-დაწოლის ზედაპირის ფართობი მ<sup>2</sup>-ში, მრავალრიცხოვანმა ექსპერიმენტმა გვიჩვენა რომ იგი შეგვიძლია მივიღოთ ABCD გადაჭრილი კონუსის გვერდითი ზედაპირის ფართობის ტოლად,  $\frac{P}{S}$  - ძვრის დეფორმაციის ფარდობითი სიჩქარე. იგი პირობითად მიღებულია როგორც ორი პარალელური ფირფიტის ურთიერთგადაადგილების სისწრაფედ S-ფართობის ზედაპირზე, რომელთა შორის იმყოფება გამოსაცდელი მასალა, მასალის სისქე ტოლია MK მონაკვეთის სიგრძისა რომელიც გადის BC და BL მონაკვეთების შუაში და ტოლია CL/2:  $\frac{dS}{dF} = \frac{v}{MK}$ , სადაც v არის ძვრის დეფორმაციის სიჩქარის პროექცია BC მონაკვეთზე, მ/წმ .



ნახ.34 ასფალტბეტონების ნიმუშების დატვირთვის სქემა, მათი სიბლანტე გამოცდისას: 1–ფორმა; 2–მყარი რგოლი; 3–გამოსაცდელი ნიმუში; 4–დამტვირთველი შტამპი; AD და BC – გაცოცების ზედაპირის წარმომქმნელი.

ნახ. 35-ზე ნაჩვენებია მონაცემები, რომელთა მიხედვითაც განივი გაგანიერებისას შეზღუდვის პირობებში (რაც ახასიათებს ასფალტბეტონების ფენილებში) სიბლანტეს ძირითადად განსაზღვრავს ღორღის ჩონჩხის არსებობა. ამავდროულად უნდა ავლნიშნოთ კპმ-ის დანამატით მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის უპირატესობა. მოდიფიცირების მაქსიმალური ეფექტი მიიღება ა ტიპის ასფალტებში, რომელშიც ღორღის ჩონჩხის წინააღმდეგობას ძვრაზე ემატება მარცვლებს შორის შემკრავის აფსკის მაღალი სიბლანტე. ასფალტბეტონის ნგრევა მრავალრიცხოვანი დატვირთვებისაგან დადლილობის პროცესით ანუ მიკროდეფექტების წარმოქმნისა და დაგროვებით, სიმტკიცის თანდათანობითი დაცემით დროთა განმავლობაში. ამიტომ ძალზედ აქტუალურია კომპლექსურად მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის დადლილობისადმი ხანმედგობის გამოკვლევა. ექსპერიმენტული გამოკვლევის შედეგები მიღებული ვიბრო ზემოქმედებით გამოწვეული დადლილობისგან (დანადგარი) გვაჩვენებს რომ შემუშავებული მოდიფიკატორის დამატება ზრდის დადლილობისადმი ხანმედგობას 1,5-ზე უფრო მეტად.

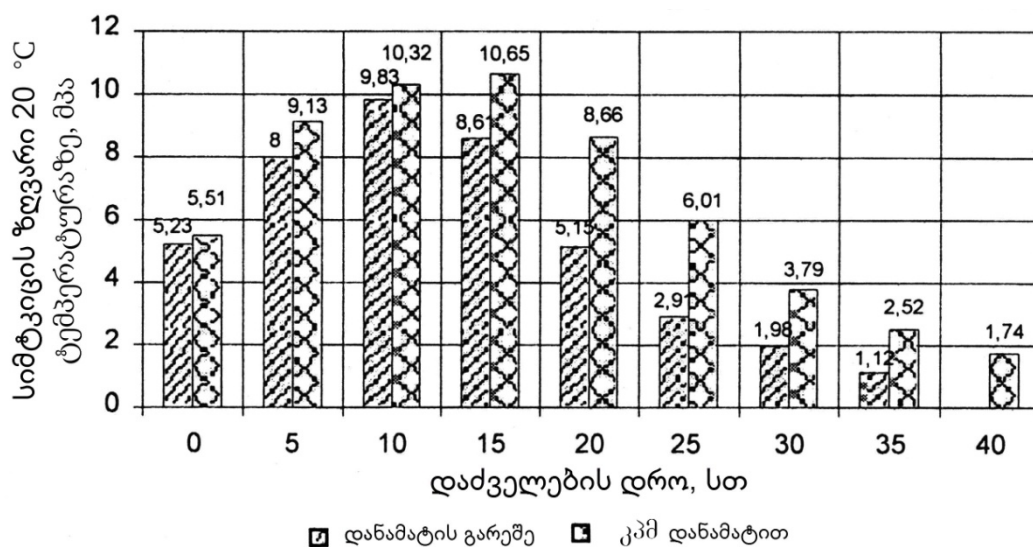
ამგვარად კპმ-ის დანამატის შეყვანით გვეძლევა საშუალება მივიღოთ სხვადასხვა ტიპის ასფალტბეტონები.



ნახ.35 კპმ-ის დანამატის ზემოქმედება ასფალტბეტონის სიბლანტეზე გაცურებისას.

კპმ-ის დანამატის ზემოქმედების შეფასებამ თერმომქავურ დაძველებაზე გამოავლინა მოდიფიკატორის დადებითი თვისება

თერმომუქავური ზემოქმედების დროს ასფალტბეტონის სიმტკიცის კინეტიკურ ცვლილებაზე, რაც მნიშვნელოვანია, რამეთუ მოდიფიცირებულ ასფალტბეტონებთან მუშაობა დაკავშირებულია მაღალ ტემპერატურასთან. (ნახ.36). დანამატის ასეთი ზემოქმედება განპირობებულია მის შემადგენლობაში არსებული პლასტიფიკატორისა და პოლიეთილენის გამო, რომლებიც ფლობენ რეაქციულ თვისებებს.



ნახ.36 ასფალტბეტონის სიმტკიცის ზღვარის დამოკიდებულება კუმშვისას 20°C ტემპერატურაზე ასფალტბეტონის БНД60/90 ბიტუმითა და კპმ დანამატით.

ხანგრძლივი გამოკვლევები ადგეზიური თვისებების ბირბ შემკვრელისათვის გვიჩვენებს მის უდიდეს ზრდას შედარებით პირველად ბიტუმებთან, ასევე ზედაპირულ აქტიურ ნივთიერებებით გაზავებულ ბიტუმებთან. ჩატარებულია ძალიან მკაცრი გამოკვლევები ბირბ ნარეგების დაძველების ხარისხზე, როგორც გადამხურავი მასალა ექსპლუატაციის პერიოდში აქტიური ჟანგბადის (ჰაერის) და მაღალ ტემპერატურაზე მზის ულტრაიისფერი სხივების ზემოქმედებით, რამაც გვაჩვენა რეალური გარანტირებული მომსახურების ვადა, რომელიც განისაზღვრა არანაკლები 13-15 წლით. გზის სამოსში შემკვრელი არის უფრო კარგ პირობებში. ჩავატარეთ გამოცდა ბიტუმების ბირბ ნარეგების, იმ მიზნით თუ რამდენად უმჯობესდება საგზაო პარამეტრები, გზის მომსახურების ვადა, რეზინის გამოყენებით

ბიტუმში. ბირპ ნარევი მომზადდა БНД60/90 ძალიან დაბალი ხარისხის ბიტუმით (გაზომვებმა გვიჩვენეს, რომ გაჭიმვაზე მაჩვენებელი და ქვიშასთან ჩაჭიდულობის კოეფიციენტი არ შეესაბამებოდა სტანდარტებს). მოდიფიკატორის სახით გამოყენებული იქნა წვრილდისპერსიული რეზინის ნამცვეცი ავტომობილების საბურავებიდან, მოდიფიკატორის მასის რაოდენობა ბიტუმში 8-10%-ია. შესადარებელ პირველად ბიტუმად ავიღეთ არსებული საუკეთესო ბიტუმი, რომელიც ყველა პარამეტრებით აკმაყოფილებს ГОСТ22245-90-ის მოთხოვნებს პენეტრაციით 25%, 0.1მმ-49, ისეთივე როგორც ბირპ ნარევს აქვს. ამ ბიტუმს თავისი დიდი ხარისხის და ფასის გამო გამოიყენებენ მხოლოდ ქალაქში სხმული ა/ბ-ის წარმოებისთვის. ამ შემკვრელებით დამზადებული და გამოცდილი იქნა რამოდენიმე ნიმუში ა/ბ-ის ნარევის სხვადასხვა მარკების, რომლების ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლები ედრებოდა ГОСТ 12801-98, ექსპლუატაციური მახასიათებლები კი ТУ 5718-001-03218295-2000.

დადგინდა, რომ ა/ბ-ის ნარევების მაჩვენებლები უფრო მაღალია ბირპ ნარევში შედარებით პირველად ბიტუმთან. აღსანიშნავია, რომ პირველად ბიტუმში არომატიზირებული ნივთიერებების რაოდენობა შემცირებულია, რაც კიდევ ერთხელ ამტკიცებს დაუანგული ბიტუმების შეზღუდულ თვისებებს.

იმის გარდა, რომ ბიტუმის თვისებებს რეზინა-კაუჩუკებისა და პოლიმერებთან შედარებით ასწორებს ბირპ ნარევი, უფრო მეტად მედეგია ჟანგბადის (ჰაერის) მჟავურ ზემოქმედებაზე. ის განსხვავდება მაღალი მედეგობით წყლის და მარილების დუღაბების მიმართ. მისი ბიტუმთან შეერთებით ხელი ეწყო შემკვრელის და ბიტუმის მასტიკის დიდ ხანგრძლივობას (სიცოცხლისუნარიანობას), დაბერებისადმი მედეგობას გარემოს ზემოქმედების პერიოდში, ულტრაიისფერი გამოსხივებისადმი მედეგობას და ასევე მნიშვნელოვნად მედეგია წყლის მიმართ. რეზინში არსებული ნივთიერებები – ანტიდაბერების, ანტიოქსიდანტების უზრუნველყოფენ სიმტკიცის ზრდას შემკვრელის მჟავური დეგრადაციის მიმართ ექსპლუატაციის პერიოდში, ანელებენ საფარის სიბერის პროცესებს მაღალი ტემპერატურების დროს ექსპლუატაციისას, ასევე გახურების პირობებში მაღალ ტექნოლოგიურ



ტემპერატურებზე. წვრილდისპერსიული ნამცვეების შეყვანისას მისი ქიმიური შერწყმა ბიტუმის კომპონენტებთან და მისი დიდი ადგეზიური თვისებები ამაღლებს შემკვრელების წყალგამძლეობას. ნალექების ზემოქმედების დროს. ექსპლუატაციისას რეალურ კონსტრუქციებში აღსანიშნავია ეფექტი დაზიანებული მონაკვეთების “თვითგანკურნების” ბირპ ნარევით, აგრეთვე შეჩერებულია გამოფხვნა რეზინის ფხვნილის ასფალტიდან და გაზრდილია ნარევის წებოვანი თვისებები, გამძლეა თანამედროვე ყინულსაწინააღმდეგო რეგენტებისადმი.

ასე და ამგვარად ბირპ ნარევები წარმოებული დაქანგული ბიტუმებისაგან წარმატებულია. ამ ტექნოლოგიით ქიმიური მოდიფიკაცია არაერთგვაროვანია თავის ფიზიკური და ქიმიური ნაკრებით, აგრეთვე სტრუქტურით და არის გეტეროგენური კომპოზიციური მასალები, კარგი თვისებებით.

ა/ბ-ის საფარის ზედა ფენის მახასიათებლების შედარება

ცხრილი 3

მაჩვენებელი	ა/ბ БНД 60/90 (5%)	ა/ბ БНД 60/90 (5.3%)	მოთხოვნები ГОСТ 9128-97
სიმტკიცე კუმშვაზე მპა 50°C	1.3	2.2	>1.3
20°C	4.5	5.7	>2.5
0°C	13.7	10.0	9.0-11.0
სიმტკიცე ძვრაზე, მპა	3.6	2.7	–
სიმკვრივის მოდული კუმშვაზე მპა 50°C	120	200	–
0°C	2000	640	–
წყალგამძლეობა	0.8	1.0	0.85-0.95
წყალმედევობა	0.65	0.98	0.75-0.95

ესაა ცდებით ჩატარებული მონაცემები. ა/ბ-ი ტიპის, წვრილმარცვლოვანი მკვრივი, საშუალო სიმკვრივით 2.43-2.41 გ/სმ<sup>3</sup>. შემადგენლობა: გრანიტის ღორღი 5-15მმ–46%, ქვიშა–44%, მინერალური

ფხვნილი—10%, მოდიფიკატორი—რეზინის ნაწილაკები რბილი რეზინებისაგან HK(2%) და ავტომანქანის საბურავების ნამცვეცების ზომით 0.8მმ (8% შემკვრელის მასის შემადგენლობაში).

მოყვანილი მონაცემები გვიჩვენებენ, რომ ბირბ ნარევის გამოყენების დროს საგრძნობლად იზრდება სიმტკიცის ზღვარი და ძვრის წინააღმდეგობა მაღალ ტემპერატურებზე, რაც თავის რიგში ზრდის მდგრადობას ა/ბ-ის საფარში. ეს თვისება ძალიან საჭიროა ცხელი კლიმატის რეგიონებისათვის, მეორეს მხრივ ბზარმდეგობა ამავე ა/ბ-ის შეესაბამება I კლასის ფინურ ნორმატივებს (PANK4302) ე. ი. იგი შეიძლება გამოვიყენოთ ცივ კლიმატურ ზონებშიც კრიტიკული ტემპერატურების დროს  $-35^{\circ}\text{C}$ . დიდი ადგიური თვისებების გამო ა/ბ გამოირჩევა დიდი მედეგობით წყლისა და ატმოსფერული ზემოქმედების მიმართ. ასეთი ა/ბ-ის ზედა საფარს ქიმიურად დამუშავებული რეზინის ხარჯზე, აქვს გაზრდილი ჩაჭიდულობის კოეფიციენტი ავტომობილის თვლებისადმი და დაბალი ხმაური. ასეთი ა/ბ გამოირჩევა კარგი თვისებებით დატკეპნისას და ადვილია დაგებისას შედარებით იმ ა/ბ-სგან, რომელშიც გამოყენებულია მოდიფიცირებული პოლიმერული ბიტუმის შემკვრელები.

დამუშავებული ტექნოლოგია გამოყენებული იყო საავტომობილო გზის საცდელი მონაკვეთის მშენებლობის დროს. მოდიფიცირებას ექვემდებარებოდა ბიტუმი, რომელიც მიღებული იყო გუდრონის დაუანგბადების გზით ლოკალურ ხელსაწყოზე. მიღებული ბიტუმი დაბალი ხარისხისა და ბევრი სხვა ტექნოლოგიური გადახრების გამო არ აკმაყოფილებდა GOST 22245-90 მოთხოვნებს.

ბირბ ნარევის ტექნოლოგიის წარმოების პროცესი ძირითადად ორგანიზაციულ-ტექნიკური, სხვადასხვა მიზეზების გამო მიმდინარეობდა უამრავი არადასაშვები ხარვეზებით. ამისდა მიუხედავად ტექნიკური რეგლამენტის მიხედვით მიღებული ა/ბ-ის ნარევი მკვეთრად გაუმჯობესდა და დააკმაყოფილა მოთხოვნები GOST 9128-97, რამდენიმე თვისებით, მაგალითად ბევრად გაუმჯობესდა წყალგაუმტარობა.



სურათზე გამოსახულია ბირპ ნარევით დაგებული საავტომობილო გზის საგზაო საფარის მდგომარეობა 2 წლის ექსპლუატაციის შემდეგ. 2010 წლის მონაცემებით ჩატარებულმა გამოკვლევებმა თვალნათლივ აჩვენა, რომ საკონტროლო მონაკვეთის საფარის ზედაპირული დამუშავების მიუხედავად, შესამჩნევია არსებითი განსხვავება საცდელ მონაკვეთთან შედარებით. საცდელ მონაკვეთში ა/ბ-ის საფარის მდგომარეობა არის კარგი, დაზიანებები არ შეიმჩნევა, რასაც ვერ ვიტყვით საკონტროლო მონაკვეთზე არსებულ დაზიანებებზე - შეიმჩნევა ბადისებრი ბზარები, პატარ-პატარა ორმულები, ზედაპირის გაფხვიერება, ამოფხვნა, ამოცვენა, შესამჩნევია საბურავების დატვირთვებისაგან წარმოშობილი გრძივი ღრმულები, დაზიანებული მონაკვეთების მთლიანი ფართობი შეადგენს მთლიანად დაგებული საკონტროლო მონაკვეთის 15-20%-ს.

ძალიან კარგ შედეგს გვაძლევს ბირპ ნარევის გამოყენება სხმულ ა/ბ-ში. თავისი სტრუქტურის გამო შემკვრელი გამძლეა მაღალი ტექნოლოგიური ტემპერატურების მიმართ ( $230^{\circ}\text{C}$ -მდე). ამ ტექნოლოგიით დამუშავებული სხმული ასფალტბეტონები შეესაბამებიან ყველაზე მკაცრ ნორმატიულ მოთხოვნებს, მით უმეტეს, რომ ის მზადდება უმეტესად არაკონდიციონერულ ჩვეულებრივ საგზაო ბიტუმების საფუძველზე ტიპით БНД60/90 და БНД90/130. შესამჩნევია კარგი

შეჭიდულობა და შემკრავი თვისებები ძველ საფართან. უმეტეს შემთხვევებში საფარს არ სჭირდება წინა სარემონტო სამუშაოების შესრულება. ეს განსხვავებები ძალიან ამცირებს გზის რემონტის ხარჯებს. ჩვენ თავიდან ვიცილებთ საფარის გასწორებას, დეფექტების ფრეზირებას ძველ საფარზე და სხვა სამუშაოებს.

ბირკ ნარევის ტექნოლოგიით დამზადებული ა/ბ გამოიყენება I-III კატეგორიის გზებზე ზედა ფენის მოსაწყობად ყველა კლიმატურ სარტყელში. ამ მოდიფიკაციით დამზადებული ა/ბ შედგება ღორღის მკვრივი მთის ჯიშებისაგან, ბუნებრივი მთის ჯიშის მასალების დაფქვა დახარისხების დროს მიღებული ქვიშისაგან. გარეცხილ და სუფთა ქვიშაში მტვროვანი მინარევები არ უნდა აღემატებოდეს 3%-ს. ღორღის მტვროვანი ნარევის რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს 2%-ს. მინერალური ფხვნილი უნდა აკმაყოფილებდეს 5,15 ГОСТ 9128-97-ის მოთხოვნილებებს. მინერალური ფხვნილი (ფილერი) წარმოადგენს პოლიდისპერსიულ მასალას. მის წილად მოდის ა/ბ-ის შემადგენლობაში შემავალი მასალების ჯამური ხვედრითი ზედაპირის ფართობის 90-95% და მნიშვნელოვან ადგილს იკავებს ა/ბ-ის სტრუქტურის ჩამოყალიბებაში. მინერალური ფხვნილის ძირითადი დანიშნულებაა მოცულობითი ბიტუმების აფსკურ მდგომარეობაში გადაყვანა, ასეთ მდგომარეობაში მატულობს ბიტუმის სიბლანტე და სიმტკიცე, ერთ მონოლითად კრავს მინერალურ ჩონჩხს. კარგი შედეგები აქვს კირქვებისაგან და ზოგიერთი წილისაგან მიღებულ მინერალურ ფხვნილს მაღალი ტემპერატურების მქონე რეგიონებში. ზაფხულის ცხელ პერიოდში ასეთ რეგიონებში ფენილის ტემპერატურა 70-75<sup>0</sup>C აღწევს, საფარის ზედაპირი ამ ტემპერატურას ინარჩუნებს 2სთ-ის განვალბაში. ა/ბ-ის სიმტკიცე აღნიშნულ ტემპერატურაზე 30-40%-ით ნაკლებია ვიდრე ფენილის 50<sup>0</sup>C ტემპერატურის დროს. მინერალური ფხვნილის, ქვიშის და ღორღის დოზირებას დიდი ყურადღებით უნდა მიუვადგეთ. უნდა განისაზღვროს მასალების ხარისხი და მათი ტექნოლოგიურ პირობებთან შესაბამისობა. მინერალური ჩონჩხის გრანულომეტრიული შემადგენლობის შერჩევა სიცარიელეთა მინიმუმის პრინციპით, ბიტუმის ოპტიმალური რაოდენობის განსაზღვრით. სწორედ შერჩეული ნარევის სიცარიელეები უნდა იყოს მინიმუმი.. წინამდებარე

ფრაქციის მარცვლების ზომა მომდევნოს უნდა აღემატებოდეს 2-ჯერ, ხოლო მასა შეადგენდეს 0.7-0.9. მინერალური ფხვნილის რაოდენობა ნარევეში უმნიშვნელოა, როცა ოპტიმალური მინერალური ფრაქციების მომდევნო მასა შეადგენს წინამდებარე ფრაქციის მასის 0.7. მაღალი საექსპლუატაციო თვისებები აქვს ჭარბლორდიან მცირე მინერალური ფხვნილის მქონე ნარევეს.

### 3.10 წვრილდისპერსიული რეზინის ნამცვეცებით ქიმიურად მოდიფიცირებული დაუანგული ბიტუმის ტექნოლოგიის უპირატესობა

ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ტექნოლოგია, რომელიც გვაძლევს საშუალებას გავაუმჯობესოთ და მოდიფიცირება გავუკეთოთ უხარისხო დაუანგულ საგზაო ბიტუმებს, იაფი მოდიფიკატორების დახმარებით, ძირითადად ამორტიზირებული საბურავის რეზინით. ამის შედეგად ვიღებთ რეზინა-ბიტუმის ნარევეს ბირპ-ს, რომელშიც რეზინა იკვრება ბიტუმის კომპონენტებთან მტკიცე მაგრამ საკმაოდ მოძრავი ქიმიური კვანძებით და ავლენენ თავის მაღალ ექსპლუატაციურ თვისებებს უკვე ახალ კომპოზიციურ მასალების შემადგენლობაში. არაერთჯერაღმა გამოკვლევებმა გვიჩვენეს, რომ თავისი სანიტარულ ჰიგიენური თვისებებით ბირპ-ის ნარევის მასალები ბევრად სუფთაა ვიდრე ბიტუმის და რეზინის ცალცალკე. ეს კომპოზიცია ყველაზე მკაცრ ეკოლოგიურ მოთხოვნებს აკმაყოფილებს.

ტექნოლოგია განსხვავდება სხვა ცნობილ ტექნოლოგიებისაგან (ბიტუმების რეზინის ნამცვეცებით, სინთეტიკური კაუჩუკით) იმით, რომ არ მოითხოვს სპეციალურ მოწყობილობას დიდი ძვრის ძალით ინტენსიური არევისათვის, გვაძლევს საშუალებას ელექტროენერჯის ეკონომიის მოდიფიცირების დამამთავრებელ ეტაპზე. იმიტომ, რომ პროცესი გრძელდება და მთავრდება შემკვრელის შენახვით. მოდიფიკაცია მიმდინარეობს სტანდარტულ გამაცხელებელ ბიტუმის შესანახ ავზში. რეზინის ნაწილაკების არევისათვის იყენებენ ჩვეულებრივ ბიტუმის ნასოსებს ან შეკუმშულ ჰაერს, რაც შეუძლებელია თერმოელასტოპლასტების შემთხვევაში. შემდგომი არევა არ

არის საჭირო. მოდიფიკაციის ქიმიური პროცესი მიმდინარეობს რეაქციული გაზების გამოყოფის გარემოში, რომელიც ითვისებს მთელი ნარევის მოცულობას. ეს საგრძნობლად აადვილებს ტექნოლოგიურ პროცესს და ზრდის მისი გამოყენების ეკონომიკურ ეფექტს. პერსონალის გადამზადება არაა საჭირო, რადგანაც ტექნოლოგია უბრალოა გამოყენებაში და მისი მეთოდები არ განსხვავდება ჩვეულებრივი ა/ბ-ის ქარხნის მეთოდებისაგან.

შემოთავაზებულია ბიტუმის კომპლექსური შემადგენელი დანამატი AKZONOBEL Wetfix BE, Wetfix AD4F. ამ ადგეზიურ დანამატს გააჩნია კომბინირებული გაელენა მასალების შეჭიდულობაზე და მნიშვნელოვნად ანელებს კონსტრუქციის სიბერეს გზის ექსპლუატაციის პირობებში, აგრეთვე ზრდის ეკონომიკურ ეფექტს სხვა ადგეზიურ დანამატებთან შედარებით.

ბირკ-ის ნარევის შემადგენლობაში შესაძლებელია შევიყვანოთ ეს აქტივატორი დანამატი. ამ დანამატს რამოდენიმე უპირატესობა აქვს სხვა ანალოგებთან შედარებით:

1. ხარისხის სტაბილურობა 10 წლის განვალბაში;
2. დაბალი სიბლანტე, რომელიც გვაძლევს უფლებას დანამატის ადვილი დოზირების დამატებითი გახურების გარეშე;
3. უკეთესი წყალმედვეობა;
4. უკეთესი თბომედვეობა (არ იკარგება აქტიურობა ბიტუმში  $170^{\circ}\text{C}$ -ზე და მეტზეც);
5. ადვილად იხსნება ბიტუმში და არ რჩება მასში ფენებად;
6. კარგი არევა ა/ბ-ის ნარევის შესაძლებელია მინი ენერგო ხარჯებით;
7. პატარა ხარჯი დანამატის რაოდენობის (უფრო ეფექტურია პატარა დოზით 0.15%-0.35%);
8. ნაკლებ ტოქსიკურია და აქვს სუსტი არამძაფრი სუნი.

ეს ტექნოლოგია მასალას მთელი ცხოვრების (ხანგძლივობის) პერიოდში აძლევს უფლებას შეიძინოს ის თვისებები როგორც აქვს ბუნებრივ მასალას, თანაც უდიდესი სტაბილურობით. წვრილმარცვლოვანი რეზინის ნამცეცები არის სუბსტანტი, რომლის მეშვეობითაც

შესაძლებელი ხდება გინდაც ნაწილობრივ ამაღლება ბუნებრივი ნავთობის და ბიტუმის თვისებებისა. რეზინა თვითონ წარმოადგენს ელასტომერულ მასალას უნიკალური თვისებების კომპლექსით, მეორეს მხრივ წარმოადგენს ერთ-ერთ საბოლოო პროდუქტს ნავთობის და გაზის გადამუშავების, რომელიც ფართოდ გამოიყენება ცხოვრების სხვადასხვა სფეროში. რეზინის წარმოების მასშტაბები ძალიან დიდია, ასევე უდიდესია მასშტაბები რეზინის ნარჩენების. აქედან გამომდინარე რეზინის ნარჩენები წარმოადგენს პრაქტიკულად უწყვეტ წყაროს ელასტომერულ ნედლეულში მისი თვისებების გასაუმჯობესებლად. განვითარებულ ქვეყნებში ეს ესმით და გადაწყვიტეს პრობლემატური და ეკოლოგიური საკითხი მისი უტილიზაციით. დაიწყო მისი ფართო გამოყენება საგზაო მშენებლობაში და სამშენებლო სფეროში. ძვირფას მოდიფიკატორების გამოყენებასთან შედარებით, როგორებიც არიან სინთეტიკური კაუჩუკები და ელასტომერული ტიპის შემკვრელები, რეზინის ნამცეცები არის შედარებით ძალიან იაფი პროდუქტი, რაც აგრეთვე ახალ ტექნოლოგიას აძლევს ეკონომიურობის მხრიდან უპირატესობას. მიღწეული ფიზიკო-მექანიკური თვისებები ბიტუმის შემკვრელებში, გერმეტიკებში და ემულსიებში, მასტიკებში გვაძლევს უფლებას პრაქტიკაში გამოვიყენოთ ყველა ცნობილ საგზაო და სამშენებლო კონსტრუქციებში ძალიან მაღალი დადებითი ეფექტით. მაღალი ადგეზიური თვისებები და გამძლეობა მასალების სიბერის მიმართ უზრუნველყოფს ხანგძლივობას და საიმედოობას, ობიექტების ექსპლუატაციისას.

### 3.11 მოდიფიცირებული ა/ბ-ის მომზადება

ბიტუმის და რეზინის ფხვნილის შემკვრელი გაუმჯობესებულია თვისებებით, მცირდება პენეტრაცია, პირველადი ბიტუმები მარკით БНД90/130 გადადის БНД60/90 და БНД40/60 მარკის შემკვრელებში. საგრძნობლად უმჯობესდება ბიტუმის ნარევის ჩაჭიდულობა მინერალური მასალების ზედაპირთან. შესაძლებელია ვილაპარაკოთ ელასტიურობის მაჩვენებელზე დაბალი ტემპერატურისას, რომელიც

პირველად ბიტუმებს საერთოდ არა აქვთ. ცხრილში მოყვანილია ბირპ ნარეგებისადმი დამატებითი ტექნიკური მოთხოვნები.

ბირპ ნარეგებისადმი დამატებითი ტექნიკური მოთხოვნები

ცხრილი 4

მაჩვენებლის დასახელება	მარკების ნომრები			გამოცდის მეთოდი
	БНД 90/130	БНД 60/90	БНД 40/60	
ნარეგის დარღვევის დატვირთვის ციკლების რიცხვი არა ნაკლები	4 000			რეომეტრის ექსპლუატაციის სახელმძღვანელო Rotov sco RT20
სიბლანტე 50°C პას.წმ არა ნაკლები	3.0X10 <sup>2</sup>	4.0X10 <sup>2</sup>	5.0X10 <sup>2</sup>	

ბირპ-ის ნარეგის მომზადებისას გამოვიყენეთ საგზაო ბლანტ პირველად ბიტუმებს მარკით БН, БНДГОСТ 22245-90 მოთხოვნებით და თხევად ბიტუმები მარკით МГდა ГОСТ 11955-82 მოთხოვნებით. დაწესებული იყოს ტექნიკური კონტროლი:

- სისტემატურად უნდა მოწმდებოდა შემკვრელის დამზადების ტემპერატურა;
- გაცხელების დრო;
- საწყისი მასალების დოზირება;
- მიღებული პროდუქციის სიბლანტე.

1. ბირპ-ის ნარეგის მომზადებისას გამოვიყენეთ საერთო მოხმარების რეზინი, ამასთან ერთად გაცვეთილი საბურავების დაქუცმაცებისაგან მიღებული რეზინის და სხვა რეზინ-ტექნიკური ნაკეთობებისგან მიღებული ფხვნილები, ფრაქციის ზომით 0.3-0.6მმ უნდა აკმაყოფილებდეს ТУ 38.108035-97 მოთხოვნებს ფხვნილის მარკით РД-0,5;
2. რეზინის ფხვნილი ნარეგში განაწილებული უნდა იყოს ბიტუმის ზედაპირზე თანაბრად, არ უნდა რჩებოდეს ბიტუმით



გადაუკრელი ნაწილაკები, რეზინის ფხვნილის კოშტები და სხვა უცხო შენაერთებები.

ბიტუმი-რეზინის კომპოზიციური ნარევი მზადდება ასფალტ-ამრევიში იძულებითი არევის წესით. ამრევი დანადგარები უნდა აკმაყოფილებდნენ კომპონენტების დოზირების სიზუსტეს. შესაძლებელი ცდომილება დოზირების კომპონენტების ნარევის არ უნდა აღემატებოდეს 3%-ს თითოეული კომპონენტების წონის მინერალურ ნაწილში და 1.5%-ს შემკვრელის წონის ნაწილში. მინერალური მასალების გახურების ტემპერატურაა 200-230<sup>0</sup>C ასეთივეა მომზადების პერიოდში. რეზინის ნაწილაკები ნარევიში გახურების შემდეგ ფუვდება 2მმ-მდე, პოლიმერულ მოლეკულური ჯგუფი დიდი ხნის განმავლობაში ქიმიურად ადგეზიას უზრუნველყოფს. ასფალტ-ამრევის ნარევის არევის დრო დამოკიდებულია ამრევი დანადგარის ტექნიკურ მონაცემებზე და აზუსტებენ საცდელი არევის დროს. დამზადებული ნარევის გამოშვების ტემპერატურა მოცემულია ცხრილში.

ბიტუმი-რეზინის ნარევის გამოშვების ტემპერატურა

ცხრილი 5

ნარევის სახე	ტემპერატურა ნარევის <sup>0</sup> C		
	ტემპერატურა ჰაერის <sup>0</sup> C		
	+10 <sup>0</sup> C მაღლა	+10 <sup>0</sup> C-დან +5 <sup>0</sup> C-მდე	+5 <sup>0</sup> C-დან 0 <sup>0</sup> C-მდე
დასატკეპნი ნარევი	180-190	190-200	-
ღორღ. მასტ. ა/ზ	190-200	200-210	-
სხმული ტიპის ა/ზ ნარევი	200-210	210-220	220-230

ღორღ-მასტიკიანი ა/ბეტონი ბირკის შემკვრელით გამოირჩევა შემდეგი მახასიათებლებით:

- აქვს დიდი მომსახურების ვადა საგზაო ბიტუმებზე დამზადებულ ა/ბეტონს (5-7-ჯერ მეტი საფარის დაღლილობის და სიცოცხლის უნარიანობის);
- ГОСТ 31015-2002 მოთხოვნილობებზე გაუმჯობესებულია;

- შესაძლებელია გამოყენება თხელი ფენის დასაგებად სისქით 1.5-3სმ;
- ნარევი მზადდება სტანდარტული ა/ბეტონის ქარხნებში სტრუქტურული დამატებითი
- დანამატების გარეშე, როგორც არის ცელულოზის ქსოვილი, ბოჭკო ან “Viatop”-ი;
- ნარევის ტემპერატურა დატკეპნის დასაწყისში უნდა იყოს არა ნაკლები 180°C

ბირკ-ის შემკვრელზე დამზადებული ღორღ-მასტიკოვანი ა/ბეტონის ნიმუშების გამოცდის შედეგები

ცხრილი 6

მაჩვენებლის დასახელება	მაჩვენებლის სიდიდე
წყალგაუქვნიერება, %	0.1-0.4
სიმტკიცისზღვარი შეკუმშვაზე, მპა.	1.3-1.5
50°C	3.0-3.5
20°C	6.0-8.0
0°C	
წყალგამძლეობა	0.95-0.98
საშუალო სიმკვრივე, გ/სმ <sup>3</sup>	4.5-5.0
შიმტკიცის ზღვარი გახლეჩვაზე 0°C, მპა	4.5-5.0

ბირკ ნარევებზე შესაძლებელია დამზადდეს სხმული ასფალტბეტონი, რომელის გამოყენების არეალი საკმაოდ ფართოა. ამ შემთხვევაში ნარევი ხასიათდება შემდეგი უირატესობით:

- ძალიან უბრალოა დასამზადებლად და დასაგებად მოძრავი თერმო-ბუნკერებიდან;
- ჩვეულებრივ დასატკეპნი ნარევეების დონეზე აქვს უკეთესი სიმტკიცის და ძვრის თვისებები;

- განსხვავდება გამძლეობით დიდი ტემპერატურის დროს საბურავის კვალის წარმოქმნის წინააღმდეგ, მაღალი დრეკადობით დაბალ ტემპერატურაზე;
- გვაძლევს საშუალებას საფარის ადვილად დაპროფილების;
- გვაძლევს საშუალებას ქვედა ფენა მოვაწყოთ ფრეზირების გარეშე.

სსმული ა/ბეტონის თვისებები ბირპ შემკვრელზე ხელით დაგებისას

ცხრილი 7

ნარევის გამძლეობა 200 °C	20-30
შტამპის შეღწევის სიღრმე 50°Cმმ	2-5
წყალგაჟრენთვა	0
სიმტკიცე კუმშვაზე მპა	
50 °C-ზე	0.8-1.0
0 °C-ზე	5.0-6.0
საშუალო სიმტკიცე გ/სმ <sup>3</sup>	2.20-2.25

ტემპერატურა ნარევის დაგების დაწყებისას

ცხრილი 8

შემკვრელის მარკა ბირპ	ტემპერატურა ნარევის დაგების დაწყებისას °C	
	მკვრივი ა/ბ და ტიპის	მკვრივი ა/ბ ტიპის
БНД40/60; 60/90; 90/130; 130/200; 200/300	130-160	130-150

რეზინა-ასფალტის ნარევის ტრანსპორტირება დაგების ადგილამდე რეკომენდირებულია ტენდით გადაფარებული ავტოთვიტ-მცლელებით, რომელიც ძარას მთლიანად ფარავს, ყოველი ავტომობილი უნდა იყოს უზრუნველყოფილი სატრანსპორტო დოკუმენტაციით. ტრანსპორტირებისას როცა ტემპერატურა 10°C-ზე ნაკლებია თვიტ-მცლელი ადჭურვილი უნდა იყოს გამაცხელებლით. ნარევის ტრანსპორტირების ხანგძლივობა დამოკიდებულია დაგების ტემპე-

რატურაზე. სხმული ასფალტბეტონის ხელით დაგების დროს ტრანსპორტირდება თერმოს-ბუნკერებში იძულებითი არევის წესით. დაგროვების ბუნკერში შენახვის რეჟიმი და ნარევის ტრანსპორტირება დაკავშირებულია ნარევის დაბერებასთან, მაქსიმალურად დასაშვები დრო შენახვის და ტრანსპორტირების არის მომზადებული ნარევის ტემპერატურამდე რომელიც არ იქნება 180°C-ზე ნაკლები. ნარევის ტიპების დასაშვები შენახვის დრო მოცემულია ცხრილში:

ნარევის ტიპების დასაშვები შენახვის დრო

ცხრილი 9

დარჩენილი ფოროვნობა ა/ბ-ის %	მაქსიმალური დასაშვები დრო შენახვის და ტრანსპორტირების ნარევის ტიპებისათვის, საათი			
	ლორდ.მასტ. ა/ბ	მკერივი		
		ტიპიI	ტიპიII	ტიპიIII
1-დან 2.5-მდე	5.0	-	-	-
2.5-დან 3.5-მდე	-	4.0	3.5	2.0
3.5-დან 5.0-მდე	-	3.0	2.0	1.5

როდესაც საჭიროა ხანგრძლივი შენახვა რეზინა-ასფალტბეტონის ნარევის დამგროვებელ ბუნკერში ან აგრეთვე დიდ მანძილზე ტრანსპორტირებისას, ნარევის დაბერების სიჩქარის შემცირების მიზნით რეკომენდირებულია გამოვიყენოთ ნარევის სახეები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მინიმალურ ნარჩენ ფოროვნებას ა/ბეტონში. შენახვის მაქსიმალური დრო დგინდება ცდების გამოკვლევების მიხედვით. ძირითადი მოთხოვნებია ნარევის ტრანსპორტირების ოპერაციის შესრულების (დატვირთვა, გადატანა, გადმოტვირთვა).თვითმცლელის ძარა უნდა იყოს განთავისუფლებული უცხო მასალებისაგან და ნარევის ნარჩენებისაგან, მისი შიდა ზედაპირი აუცილებელია თხელი ფენით და სწორხაზოვნად დამუშავდეს სპეციალური მინარევებით. თვითმცლელი მიზანშეწონილია დაიტვირთოს ასფალტამრეკ მოწყობილობიდან ან დამგროვებელი ბუნკერიდან რამოდენიმე ოპერაციით. პირველი პორცია აუცილებელია დაიტვირთოს ძარის წინა

ნაწილში, თვითმცლელის წინ გადაადგილების შემდეგ მეორე პორციას ტვირთავენ ძარის ბოლოს უკანა ბორცის გვერდზე. დანარჩენი პორციები ნარევის იტვირთება ძარის შუაში. ეს ხერხი აძლევს ნარევის საშუალებას დიდი მარცვლების ნაკლებ მანძილზე გადაადგილების და ამასთანავე უწყობს ხელს სეგრეგაციის შემცირებას. ამინდის მდგომარეობიდან გამომდინარე ნარევი საჭიროა დაიფაროს სითბოიზოლირებული მასალით და ძარაზე უნდა ჰქონდეს დამონტაჟებული გამონაბოლქვი გაზებისაგან გახურების სისტემა. ამრევი მოწყობილობის ოპერატორმა არ უნდა გადატვირთოს თვითმცლელი პატარა პორციებით, რომ მიიყვანოს ნარევის მასა მის ნომინალურ ტვირთამწეობამდე. თვითმცლელი უნდა ჩერდებოდეს უშუალოდ ა/დამგების წინ და ახლოს. კონტაქტში ავტოთვითმცლელთან უნდა შედიოდეს ა/დამგები, თვითმცლელი არ უნდა ახდენდეს დაწნევას ა/დამგების მიმღებ ბუნკერზე. თვითმცლელის ძარა საჭიროა ცოტათი აიწიოს ნარევის გადმოტვირთვის მიზნით ა/ბ დამგების მიმღებ ბუნკერში.

ეროვნული სტანდარტის დამუშავებამდე ბირპ-ის ნარევისგან დამზადებული საფარები უნდა მოეწიოს СНИП 30603-85 მოთხოვნის მიხედვით, ნარევის სპეციფიკიდან გამომდინარე საფარის ზედა ფენა ეწყობა მშრალ ამინდში. რეკომენდირებულია საფარის მოწყობა გაზაფხულზე და ზაფხულში არა ნაკლებ  $0^{\circ}\text{C}$ -ზე, შემოდგომაზე არა ნაკლებ  $10^{\circ}\text{C}$ -ზე. საფარები, რომლებიც შედგება თხელი ფენისაგან უნდა დაიგოს არა ნაკლებ  $10^{\circ}\text{C}$ -ზე.  $0^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე დაბლა შესაძლებელია სხმული ასფალტობეტონის დაგება მხოლოდ ხელით დაგების წესით ორმულ რემონტებზე. მოდიფიცირებული ა/ბ-ის საფარები იგება ასფალტდამგებებით და იტკეპნება სატკეპნების ჯგუფით, რომლებიც უზრუნველყოფენ მშენებლობის საჭირო ტემპს. ტემპერატურა დასატკეპნი ნარევის დატკეპნის წინ უნდა იყოს არა ნაკლები  $140^{\circ}\text{C}$  თხელი ფენების  $160^{\circ}\text{C}$ .

ამ პროცესის დროს განსაკუთრებულად უნდა გამახვილდეს ყურადღება ნარევის დაგების ტემპერატურის კონტროლის მიზნით ე. ი. უნდა მიმდინარეობდეს ხშირი და მკაცრი კონტროლი ტემპერატურების, რომ ის არ დაეცეს ნორმატიულზე დაბლა.

შემკვრელის მარკა	БИТРЭК 60/90	БИТРЭК 90/130	БИТРЭК 130/200;200/300
ნარევის დაგების ტემპერატურა	150-160	145-155	140-150

**ბიძ** ტექნოლოგიით დამზადებული ა/ბ ნარეგების გაშლისას საფარის სიმაღლე საპროექტო სიმაღლესთან შედარებით უნდა იყოს 10-15%-ით მეტი. პირველად ტკეპნიან გლუვზედაპირიანი სატკეპნებით (2-3 გავლა) ერთ კვალზე, შემდეგ თვითმავალი პნემატიური სატკეპნებით, მასით 16ტ (4-5 გავლა), შესაძლებელია ჩართული ვიბრატორებით. საფარის ნარევის დასატკეპნად სატკეპნების ამორჩევის ბოლო ვარიანტი უნდა იყოს განხილული ამინდის და ნარევის ტემპერატურის მიხედვით. **ბიძ** ნარევის საფარების დატკეპნა პლასტიკურობის გამო უფრო ადვილი და იოლია ვიდრე ჩვეულებრივი ბიტუმებისაგან მომზადებული საფარების, ძვრები, ტალღები, ბზარები, გახლეჩები, ნარევის დაგების დროს არ წარმოიშობა, იმის და მიუხედავად სატკეპნების ვიბრატორი ჩართულია თუ არა. ნორმატიულთან შედარებით მცირდება სატკეპნების გავლის რაოდენობა ერთ კვალზე ნარევის დიდი ადგეხიის ხარჯზე. საფარს უმეტეს შემთხვევებში არ სჭირდება არსებული საფუძვლის და ნაწიბურების წინასწარი დაგრუნტვა.

ოპტიმალური ასფალტბეტონის ნარევის ამორჩევის პროცესი შედგება შემდეგი ეტაპებისგან, ნარევი უნდა აკმაყოფილებდეს ГОСТ 9128-97 მოთხოვნებს. ძირითადი ოპტიმალური ნარეგების შერჩევისას არის ის, რომ რეზინის ფხვნილის 5-10% რაოდენობით შეყვანისას მინერალური ფხვნილის შემადგენლობა ნარეგში მნიშვნელოვნად მცირდება სტანდარტულთან შედარებით, საბოლოოდ მაინც კომპონენტების შემადგენლობა დგინდება ლაბორატორიული გამოკვლევების შედეგების საფუძველზე. ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები უნდა აკმაყოფილებდეს ГОСТ 9128-97 მოთხოვნილებებს.

ოპტიმისტები ამბობენ, რომ ასფალტირებული გზის მომსახურების ვადა პირველი რემონტის ჩატარებამდე დღევანდელ საქართველოში არის 5-7 წელი, პესიმისტები ამბობენ 3-5 წელია, ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში, მაგრამ რეალურად ხდება ისე, რომ ახალი გზა დაგებიდან მეორე საუკეთესო შემთხვევაში მესამე წელს უკვე ინგრევა, შემდეგ ხდება მისი ხელმეორე ასფალტირება (რემონტი). აქ ვხვდებით პრობლემების მთელ კომპლექსს: – ასფალტების და ბიტუმების დაბალი ხარისხი, ფიზიკურად დაბერებული ასფალტის წარმოება და ტექნოლოგიები. იმ შემთხვევაში თუ ასფალტში სწორედ შევიყვანთ რეზინის ფხვნილს, მაშინ რამდენიმეჯერ იზრდება საფარის ხანგძლივობა, საფარის და საბურავის ჩაჭიდების ძალა იზრდება 2-ჯერ, მცირდება ავტომობილის დამუხრუჭების მანძილი რაც მნიშვნელოვანია მოძრაობის უსაფრთხოებისათვის, მცირდება ხმაური, იზრდება წყალგაუმტარობა, დიდია პლასტიკურობა ე.ი. საფარი უპრობლემოდ მუშაობს დაბალ და მაღალ ტემპერატურებზე გარემოს ზემოქმედების დროს ციკლური დატვირთვების პირობებში, ვიბრაცია მცირდება, დარტყმების მიმართ მედეგობა, ძვრისადმი მიმართ წინააღმდეგობა, გზის დაბზარვის მიმართ წინააღმდეგობა იზრდება, ამის გარდა 1.5-2-ჯერ ნაკლები სისქე შეიძლება ჰქონდეს მოდიფიცირებულ საგზაო საფარს ტიპიურ საფარებთან შედარებით, რადგანაც ჩაჭიდულობის ძალა დიდია, ამიტომ არაა რეკომენდირებული დამატებითი ხარჯები საფარის ზედაპირული დამუშავების ჩატარების, რაც იძლევა დამატებით ეკონომიას. ამ ტექნოლოგიით დაგებული გზა ურემონტოდ ემსახურება გზით მოსარგებლებს მოძრაობის წესების დაცვის გათვალისწინებით 15-20 წელი. ამ ტექნოლოგიით გზის დაგება შეიძლება ნებისმიერ საფუძველზე, ასფალტობეტონის ნარევეს აქვს მაღალი ჩაჭიდების უნარი ნებისმიერი სახის ზედაპირთან, მაგალითად აგურთან, ბეტონთან, ხრეშთან და სხვა. აგრეთვე ეკონომიურია, 1მ<sup>2</sup> საგზაო საფარში შედის არა უმეტეს 1-1.5 კგ. რეზინის ფხვნილი ეს მეტყველებს იმაზე, რომ ერთი საშუალო სიმძლავრის რეზინის გადამუშავების ქარხანა თბილისს და რუსთავს შორის, შემდგომში მეორე იგივე სიმძლავრის დასავლეთ საქართველოში ქ. ქუთაისთან, არსებულ საბურავებთან დაკავშირებულ ეკოლოგიურ პრობლემებს

მთლიანად მოგვიხსნის, ხოლო რეზინის გადამუშავებით და შემდეგ ამ ნედლეულის გამოყენებით ანუ მთელი პროცესის ციკლის შეკვრით ჩვენ მივიღებთ ძალიან დიდ მოგებას.

მაგ. რუსეთის ფედერაციაში **ბიჩი** ნარევის ტექნოლოგიის გამოყენებისას 1მ<sup>2</sup>-ი გზის საფარის ღირებულება იზრდება არამნიშვნელოვნად 8-12%-ის ფარგლებში იმის და მიხედვით თუ რა ტიპის ასფალტის ნარევა დასამზადებელი. რადგან რეზინის ფხვნილის 0.3-0.5მმ ფრაქცია ადგილობრივ რუსულ ბაზარზე ღირს ძვირი შედარებით ჩვენს მიერ შემოთავაზებულ ტექნოლოგისთან, ხოლო ბიტუმი მსოფლიო ბაზართან შედარებით იაფია, იმიტომ, რომ რუსეთში გზების შესაკეთებლად იყენებენ ადგილობრივი საბადოებიდან მოპოვებულ ბუნებრივ ბიტუმს.

საქართველოში კი ასეთი მდგომარეობა გვაქვს, რადგან ბიტუმის იმპორტს ვეწვევით ბიტუმი შესაბამისად ძვირი გვიჯდება, ხოლო რეზინის ფხვნილი რუსეთთან შედარებით იაფი დაგვიჯდება (ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ტექნოლოგიით), ვინაიდან რეზინის ფხვნილი ბიტუმის შემადგენელი ნაწილია და ბიტუმის ფასი რეზინის ფხვნილის ფასთან შედარებით ძვირია, ამიტომ ლოგიკური მსჯელობით 1მ<sup>2</sup> გზის საფარის ღირებულება უფრო იაფდება ვიდრე დღეს ტიპური ა/ბ-ის საფარის 1მ<sup>2</sup>-ის თვითღირებულებაა, თუმცა ჩვენთან ყველაფერი დამოკიდებულია მსოფლიო ბაზარზე ბიტუმის მომწოდებლის ფასზე.



## 4. შედეგები და მათი განსჯა

### 4.1. შემკვრელი ბიტრეკ-ის გამოყენება სხმულ და ღორღოვან მასტიკოვან ასფალტბეტონებში

საინტერესო შედეგებს იძლევა ბიტრეკ-ის მასალის გამოყენება შემკვრელის სახით მანქანური დაგების სხმული ასფალტბეტონებისათვის. შემუშავებული ასფალტბეტონის ნარევები შეესაბამება ყველაზე ხისტ ნორმატიულ მოთხოვნებს, თუმცადა მზადდება ჩვეულებრივი, ხშირად არაკონდიციონერადი, საგზაო ბიტუმების БНД 60/90 და 90/130 ტიპის საფუძველზე. შემკვრელის მაღალი ადჰეზიისა და სპეციფიკური ქიმიური და სტრუქტურული თვისებების ხარჯზე აღინიშნება დაგებული საფარების მახასიათებლების, დროთა განმავლობაში გაუმჯობესების ეფექტი. ჩვეულებრივი ბიტუმების საფუძველზე დამზადებული სხმული და ვიბროსხმული ასფალტბეტონებისაგან განსხვავებით მნიშვნელოვნად შემცირებულია ძვრის დეფორმაციები (ლიანდწარმოქმნა) საფარებში მათი ექსპლუატაციისას. ასეთ საფარებს ავტომობილის ბორბალთან ჩაჭიდების მაღალი კოეფიციენტი აქვთ, რაც იძლევა დამატებით ზედაპირულ დამუშავებაზე უარის თქმის საშუალებას. შეინიშნება კარგი ჩაჭიდება ძველ საფართან რაიმე დამატებითი დამუშავებისა და შეგრუნტვის გარეშე, რაც იძლევა გზების რემონტის ტექნოლოგიის გამარტივების საშუალებას. ამის, და ასევე სხმული საფარის დაბალ ტემპერატურებზე მომატებული დეფორმაციულობის ხარჯზე არ შეინიშნება ძველი საფარების მიმდებარე მონაკვეთების მომდევნო გაბზარვა ექსპლუატაციის პროცესში.

ხანგამძლეობის ჩვეულებრივ და მოდიფიცირებულ ბიტუმებზე დამზადებული ასფალტბეტონების დადლილობითი ჩატარებული შედარებითი ანალიზი აჩვენებს, რომ საგზაო ასფალტბეტონის საფარების ხანგამძლეობისა და ბზარმდეგობის გაზრდა შემკვრელი ბიტრეკ-ების გამოყენების შედეგად იძლევა საფარების სამსახურის ვადის როგორც მინიმუმ 3-ჯერ გახანგრძლივების შესაძლებლობას. სამსახურის ვადის ასეთი გაზრდა იძლევა სარემონტო სამუშაოებზე ხარჯების არსებითად შემცირების შესაძლებლობას, იძლევა სახსრებისა და მატერიალური რესურსების (იმავე ბიტუმისა და ღორღის)

მნიშვნელოვან ეკონომიას აუცილებელი სარემონტო სამუშაოების მოცულობათა შემცირების ხარჯზე.

ასფალტბეტონის შემადგენლობის შერჩევას ითვალისწინებდნენ საფარების ფინური სათათბირო კომისიის PANK-ის რეკომენდაციებს, ბიტუმი-რეზინის შემკვრელის თვისებების გამოკვლევათა შედეგებს, ორგანიზაცია-შემსრულებლების სარგებლობაში რეალურად არსებული საგზაო-სამშენებლო მასალების გამოცდების შედეგებს.

დაგება მიმდინარეობდა სტანდარტული ასფალტდამკვებების მიერ ზედაპირის მომდევნო გაგლუვებით გლუვი ვალცების მქონე მსუბუქი სატკეპნის მიერ. ცალკეულ შემთხვევებში ბოლომდე გამკვრივებისათვის გამოიყენებოდა პნევმატური ვალცების მქონე სატკეპნი. ნარევის დამზადების ტემპერატურა უნდა იყოს 210-220°C-ის ფარგლებში, დატკეპნის ტემპერატურა არანაკლებ 180°C-ისა.

საფარების მოწყობის გამოცდილებამ აჩვენა, რომ სამანქანე დაგების სხმული ასფალტბეტონი შემკვრელი ბიტრეკის საფუძველზე წარმოადგენს პოტენციურად ძალიან დიდი რემონტთაშორისი ვადის მქონე მასალას. ამ მასალაში ნულთან ახლო ფორონობა (მაღალი წინააღმდეგობადობა ტექნოგენური და კლიმატური ზემოქმედებებისადმი) შეხამებულია მაღალ სიმტკიცესთან 50°C-ზე (მაღალი წინააღმდეგობადობა პლასტიკური და ძვრის დეფორმაციებისადმი, მდგრადობა ლიანდწარმოქმნისადმი). აქვს ავტომობილის ბორბალთან ჩაჭიდების მაღალი კოეფიციენტი, რაც იძლევა დამატებით ზედაპირულ დამუშავებებზე უარის თქმის საშუალებას (ცხრ. 11). ეს მასალა დადლილობაზე გამოცდების მიხედვით აჭარბებს (უკეთესია) პოლიმერული ბიტუმურ შემკვრელიზე დამზადებულ გამკრივებად ღორღოვან ასფალტბეტონებს და მნიშვნელოვნად ჯობს ჩვეულებრივ საგზაო ბიტუმზე დამზადებულ გამკრივებად ღორღოვან ასფალტბეტონებს.

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე შეიძლება ველოდოთ, რომ მაღალი სატრანსპორტო დატვირთვების პირობებში დაგებული საფარები რემონტში ფაქტიურ საჭიროებამდე 16 წელს და მეტს მოგვემსახურება. ასეთი ვადა ორზე უფრო მეტჯერ აღემატება ამჟამად ქალაქის გზებსა და ქუჩებში რემონტის საჭიროების წარმოშობის ნორმატიულ ვადას.

ხელით დაგების სხმულ ასფალტებს, შემკვრელი ბიტრეკის მაღალი სტრუქტურირებადობის, სიბლანტის ტემპერატურაზე არაწრფივი დამოკიდებულების, მაღალი ადჰეზიური უნარის გამო ასევე რიგი საინტერესო თვისებები აქვთ. შესაძლებელია არასტანდარტული შემადგენლობის სხმული ნარეგების შერჩევა, რომლებიც ძალზედ მარტივია დამზადებაში, მაგრამ გააჩნიათ სიმტკიცისა და ძვრის

რეზინა-ბიტუმის შემკვრელიზე დამზადებული სხმული ასფალტბეტონის თვისებები

ცხრილი 11

მაჩვენებლის დასახელება	მაჩვენებლის მნიშვნელობა
წყალგაჯერება, %	0,0 – 0,1
სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, მპა, +50°C-ზე	1,2 – 1,5
0°C-ზე	8,0 – 9,0
წყალმედვეობა	1,0
საშუალო სიმკვრივე, გ/სმ <sup>3</sup>	2,39 – 2,40
შტამპის ჩაწნევის სიღრმე +50°C-ზე მმ	0,3 – 0,8
ბორბალთან ჩაჭიდების კოეფიციენტი: - დაგებიდან 2 დღის შემდეგ	0,35 – 0,45
- 4-5 კვირის შემდეგ	0,55 – 0,65

მახასიათებლები ჩვეულებრივი გამკვრივებლების დონეზე. გარდა ამისა, ასეთი ასფალტის საფარები გამოირჩევა მაღალ ტემპერატურებზე ლიანდაგწარმოქმნისადმი მდგრადობით, დაბალ ტემპერატურებზე მაღალი დეფორმაციულობით და აქვთ ავტომობილის ბორბალთან ჩაჭიდების მაღალი კოეფიციენტი დამატებითი ზედაპირული დამუშავების გარეშე. ნარეგების თვისებები იძლევა პროფილირებული საფარების შესრულების საშუალებას.

მითითებული თვისებები იძლევა ნარეგის ხელის ხერხით დაგების

საშუალებას მოძრავი თერმოს-ბუნკერიდან 210-230°C-ის ტემპერატურაზე, დაგებული ნარევის როგორც ქვედა ფენის გამოყენების შესაძლებლობას საეზო საფარის ფრეზვის გარეშე მომდევნო რემონტებისას.

შემკვრელი ბიტრეკ-ზე ხელით დაგების სხმული  
ასფალტბეტონის მახასიათებლები

ცხრილი 12

ნარევის მდგრადობა 200°C-ზე (კონუსის დაჯდომა), მმ	20 - 30
შტამპის ჩაწნევის სიღრმე 50°C-ზე, მმ	2 - 5
წყალგაჯერება სტანდარტული გამკვრივებისას, %	0
სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას, მპა, 50°C-ზე 0°C-ზე	0,7 - 1,0 5,0 - 6,0
საშუალო სიმკვრივე, გ/სმ <sup>3</sup>	2,20

ჩვენს მიერ დაგებულ საცდელ მონაკვეთებზე ღორღოვან-სამასტიკე ასფალტის საფარი შემკვრელი ბიტრეკ-ის საფუძველზე. ასფალტბეტონი განკუთვნილი იყო 2,5-3,5 სმ თხელი ფენებით დაგებისათვის. ნარევის შემადგენლობა: 70% გრანიტის ღორღი (2,5-5მმ ფრაქციის), 20% ქვიშა, 10% მინერალური ფხენილიდა 8% შემკვრელი ბიტრეკი.

კერნის გამოცდის გასაშუალოებული შედეგები მოყვანილია ცხრილში 13.

მაჩვენებლის დასახელება	მაჩვენებლის მნიშვნელობა
წყალგაჯერება,%	0,1 – 0,4
სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, მპა	
+50°C-ზე	1,2 – 1,5
+20°C-ზე	3,0 – 3,5
0°C-ზე	6,0 – 8,0
წყალმედვეობა	0,95
საშუალო სიმკვრივე, გ/სმ <sup>3</sup>	2,35 – 2,36
სიმტკიცის ზღვარი გაგახლეჩვაზე, მპა	4,5 – 5,0

ლორღსამასტიკე ასფალტბეტონს შემკვრელი ბიტრეკ-ის საფუძველზე თავისი მახასიათებლებითა და დადლილობაზე გამოცდის შედეგების მიხედვით (10-ჯერ უფრო მეტი დადლილობითი ხანგამძლეობა) აქვს სამსახურის გაცილებით უფრო დიდი ვადის წინაპირობები, ვიდრე გრანიტის ანაცერზე საგზაო ბიტუმზე დამზადებული ქვიშის ასფალტბეტონები. პრაქტიკულმა გამოცდილებამ დაამტკიცა ასეთი აფალსტისგან ცვეთის თხელი (3,0 სმ-მდე) ფენების დაგების შესაძლებლობა. თავისი პარამეტრების მიხედვით დაგებული ღორღსამასტიკე ასფალტბეტონი აღემატება ГОСТ31015-2002-ის მოთხოვნებს. ისეთი შემადგენლობის ღორღ-სამასტიკე ასფალტისათვის, როგორცაა დაგებული, აშშ სპეციალისტთა უკანასკნელი გამოკვლევების მონაცემთა მიხედვით, უნდა აღინიშნებოდეს მაქსიმალური მდგრადობა ღიანდაგწარმოქმნისადმი.

ასევე უნდა აღინიშნოს სირთულეების რიგი ახალი შემკვრელების გამოყენებისას და მათ საფუძველზე დამზადებული სხმული და ღორღ-სამასტიკე ასფალტბეტონების დაგებისას.

ბიტუმ-რეზინის შემკვრელი და მის საფუძველზე დამზადებული ასფალტბეტონის მითითებული სახეები ტექნოლოგიური თვალსაზრისით ჩვეულებრივ ბიტუმებსა და გამკვრივებად ასფალტბეტონებზე ერთობ რთულია, საწარმოო პერსონალს ყოველთვის არ შეუძლია

მომზადების გარეშე შემკვრელისთან მუშაობა, რომელიც, ბიტუმისგან განსხვავებით, სხვა წესების მიხედვით იქცევა (ზოგადად უფრო მაღალი ტემპერატურები, მეტი სიბლანტი).

შემკვრელი ბიტრეკების შენახვა და გამოყენება მოითხოვს შემსრულებელ ორგანიზაციათა საბიტუმო მეურნეობების მოწყობილობის დაყვანას საშტატო ტექნიკური მოთხოვნებისადმი მათ სრულ შესაბამისობამდე და მათ გარკვეულ დამატებით აღჭურვილობას, ასევე ასფალტბეტონის ქარხნების საწარმოო პერსონალის ხელახლა სწავლებას.

მითითებული სიძნელები საკმაოდ ადვილად გადასალახავია ძირითადად საორგანიზაციო გადაწყვეტილებების ხარჯზე. ამისათვის თბილისის რომელიმე გარეუბანში უნდა შეიქმნას შემკვრელი ბიტრეკის გამოშვების სპეციალიზირებული საწარმოო, სადაც დამზადდება და გამოიყენება ახალი ასფალტბეტონები.

#### 4.2. მოდიფიცირებული ბიტუმის გამოყენების ეკონომიკური გაანგარიშება

დანახარჯები ქარხნის მოწყობაზე

ცხრილი 14

მოდიფიცირებული ბიტუმის გამომშვები მობილური ქარხნის წარმადობა 10-13ტ/სთ მისი ღირებულებაა	400 000
სხვადასხვა მოწყობილობების საბაჟო გადასახადი	48 000
ტრანსპორტირებასთან დაკავშირებული ხარჯები	10 000
სამუშაოები ქარხნის მუშა მდგომარეობაში მოსაყვანად	10 000
ქარხნის გაშვებამდე გაღებული ჯამური ხარჯები	468 000

პროდუქციის გამოშვებასთან დაკავშირებული ხარჯები

ცხრილი 15

ბიტუმი საჭირო თვეში	$2\ 000 \times 450$	900 000
ამ მოცულობისთვის საჭირო რეზინის ფხვნილი (ტ)	$2\ 000 \times 0.15$	300
თვეში საჭირო რეზინის ღირებულება	$300 \times 200$	60 000
თვეში საჭირო ბიტუმს აკლდება მასში შესული რეზინის ფხვნილის, ქიმიური დანამატების ფასთაშორის სხვაობა	$900\ 000 - 84\ 400$	815 600
მოდულიკატორი ქიმიური თვეში 40ტ, მეორე დანამატი 7ტ ღირებულება	$47 \times 200$	9 400
თვეში გაწეული ჯამური ხარჯი მძღოლი-ოპერატორის ხელფასი, ელენერგია, საწვავი და სხვა	$7\ 000 + 815\ 600$	822 600

ჩადებული კაპიტალდაბანდების გამოსყიდვა

ცხრილი 16

თვეში წარმოებული პროდუქციის (ბიტუმის) ღირებულება	$2\ 000 \times 500$	1 000 000
ფასთასხვაობა	$1\ 000\ 000 - 822\ 600$	177 400
გადასახადები 62%	$177\ 400 \times 0.62$	109 988
გაყიდული ქარხნის პროდუქციის სუფთა მოგება	$177\ 400 - 109\ 988$	<b>67 412</b>
რენტაბელობა	$1\ 000\ 000 / 822\ 600$	122%
გამოსყიდვა	$468\ 000 / 67\ 412$	6.94 თვეში

### 4.3 ბიტუმ-რეზინის კომპოზიციურ შემკვრელზე დამზადებული ასფალტბეტონების გამოყენების არეალი

ჩვენს მიერ უკვე დაგროვილი გარკვეული სტატისტიკური მასალა აჩვენებს, რომ ბიტუმ-რეზინის კომპოზიციურ შემკვრელზე დამზადებული ასფალტბეტონების გამოყენება მოგვცემს არა მარტო ტრანსპორტის მაღალინტენსიური, ტვირთდაძაბული მოძრაობის მქონე გზების რემონტის საჭიროების გამოვლენამდე ფაქტიური ვადების გაზრდის, არამედ გაცვეთილი საავტომობილო სალტეების რეზინის ნაფხვენის სახით ეკოლოგიურად და ეკონომიურად სწორი უტილიზების შესაძლებლობას. საფარების სამსახურის ვადის გაზრდა იძლევა ბოლომდე არმიყვანილი რემონტების მოცულობის შემცირების, სარემონტო სამუშაოებზე საერთო ხარჯების შემცირების, ექსპლუატაციისას გზების შენახვაზე მატერიალური რესურსებისა და სახსრების მნიშვნელოვანი ეკონომიის მიღების საშუალებას.

ხარისხიანი და ხანმდეგი მასალების შექმნისათვის მნიშვნელოვანია დაგადგინოთ ტექნიკური მახასიათებლების სიდიდეთა აუცილებელი და საკმარისი ზღვრები, მათი ექსპლუატაციის პირობებიდან გამომდინარე და მთავარია, მივიღოთ ეს მნიშვნელობები პრაქტიკაზე კონკრეტული კონსტრუქციებისა და ობიექტების, მათი ქცევის თეორიული და პრაქტიკული მოდელირება იძლევა ასეთ შესაძლებლობას.

შემკვრელი და მაიზოლირებელი მასალები შეიძლება დაექვემდებაროს სეზონური ტემპერატურების ზემოქმედებას საშუალო  $-30^{\circ}\text{C}$ -დან  $+60^{\circ}\text{C}$ -მდე. ასეთ პირობებშივე ხდება მათი ექსპლუატაცია. კომპოზიციური მასალების ფიზიკომექანიკიდან დაგროვებული ცოდნა, გამოკვლევები საგზაო მშენებლობის მასალების დარგში, სამამულო და უცხოური სპეციალისტების გამოცდილება იძლევა ისეთი დასკვნის გაკეთების შესაძლებლობას, რომ საგზაო, სახიდე, სააეროდრომო, სანაკერე და ჰიდრომაიზოლირებელ კონსტრუქციებში მომუშავე მასალების საექსპლუატაციო ხანმდეგობა და ხარისხი ძირითადად დამოკიდებულია ისეთ განზოგადოებულ თვისებებზე, როგორცაა:

- მასალის მთლიანობის დარღვევისადმი და რეალური დატვირთვების ზემოქმედების ქვეშ უცხო ზედაპირთან



კონტაქტის ადგილში ბზარების წარმოქმნისადმი წინააღმდეგობა ტემპერატურათა საექსპლუატაციო დიაპაზონში;

- ციკლური საექსპლუატაციო დატვირთვების მოქმედებისადმი წინააღმდეგობის უნარი;
- გარემოს ფაქტორების აგრესიული ზემოქმედებისადმი მდგრადობა ექსპლუატაციისას.
- ცხადია, რომ ასეთ მასალებში ხარისხობრივი კომპონენტების გამოყენებისას მათი თვისებები პირდაპირაა დამოკიდებული გამოყენებადი შემკვრელი მასალების შემდეგი მახასიათებლების ერთობლიობაზე:
- მათი დეფორმაციულობის ტემპერატურისგან დამოკიდებულებაზე, ან სხვა სიტყვებით რეოლოგიური თვისებების ტემპერატურულ დამოკიდებულებაზე;
- შემკვრელის დრეკადობაზე, რომლის საკმარისი სიდიდე დასაბუთებული უნდა იყოს კონკრეტული კონსტრუქციების გაანგარიშებებითა და გამოცდებით. არ უნდა იყოს მიღებული, პოლიმერული მოდიფიკატორების და მათი ბიტუმთან ნარევების თვისებებიდან გამომდინარე;
- ობიექტის კონსტრუქციის შემადგენელ მასალებისადმი შემკვრელის ადჰეზიაზე;
- შემკვრელის ქიმიურ შემადგენლობასა და სტრუქტურაზე, მის მდგრადობაზე დაძველებისადმი.

ობიექტებს, რომლებშიც შემკვრელი და მაჰერმეტიზირებელი მასალები ყველაზე მაღალი დეფორმაციების პირობებში მუშაობენ, წარმოადგენენ გზებისა და აეროდრომების, ხიდების ბეტონური ფილების ნაკერები და შეპირაპირები და ასევე ქალაქებში სავალ ნაწილზე გადამკვეთი სალიანდაგო ტრანსპორტის გზების გაწვრივ არსებული შემკვრივები.

ექვემდებარება გარემოს პირობების ყველაზე ხისტ ზემოქმედებას სახურავების, საქალაქო მაგისტრალების საფარების ნაკერების, ბზარების მაჰერმეტიზირებელი მასალები.

სააეროდრომო ფილების ნაკერებში შემკვრელის შესაძლო დეფორ-

მაციების გამარტივებული გაანგარიშებაც კი აჩვენებს, რომ  $-30^{\circ}\text{C}$ -დან  $+60^{\circ}\text{C}$ -მდე ტემპერატურულ ინტერვალში თერმული ძაბვის ხარჯზე მისი გაჭიმვის დეფორმაციის სიდიდე არ აღემატება 100%-ს. სააეროდრომო საფარის სწორად გათვლილი და აშენებული კონსტრუქციისას შემკვრელის დეფორმაციის სიდიდე 1,5-2-ჯერ ნაკლებია, ხოლო თვითმფრინავის შასის ბორბლით საფარის დატვირთვისას წარმოშობილი დეფორმაცია კი არსებითად დაბალია ამ სიდიდეზე. 2000 წელს შესრულებული სამუშაოს საფუძველზე დამტკიცებულ იქნა მეთოდური სახელმძღვანელო, რომელიც მოიცავს ნორმატივებს ცხელი და ცივი გამოყენების იმ მაჰერმეტიზირებელი მასალებისათვის, რომლებიც განკუთვნილია აეროდრომების ცემენტბეტონის და ასფალტბეტონის საფარების დეფორმაციული ნაკერების შესავსებად.

მასტიკებისა და მაიზოლირებელი მასალების თბომდეგობა არ უნდა იყოს მაქსიმალურ საექსპლუატაციო ტემპერატურაზე ნაკლები ( $+65-70^{\circ}\text{C}$ ). მეორეს მხრივ, დარბილების მაღალი ტემპერატურა ართულებს მათ გამოყენებას და იწვევს ენერჯის დაუსაბუთებლად მაღალ ხარჯვას.

საგზაო ბიტუმებსა და სხვა ერთგვაროვან შემკვრელებზე არსებულ ნორმატიულ დოკუმენტაციაში მათი რეოლოგიური თვისებების ტემპერატურული დამოკიდებულება აღინიშნება სიმყიფის ტემპერატურითა და დარბილების ტემპერატურით. გასაგებია, რომ რაც უფრო ნაკლებია სიმყიფის და მეტია დარბილების ტემპერატურა, ე.ი. რაც უფრო ფართოა პლასტიურობის ტემპერატურული ინტერვალი, შემკვრელი მით უფრო გამოსადეგარია.

ბლანტი ბიტუმის უნარი გაიწელოს 100 სმ და მეტი სიგრძის თხელ ძაფებად მხოლოდ მასალის ერთგვაროვნებას მოწმობს და სრულიად არაა რეალიზებული საფარების ექსპლუატაციის პირობებში. გულმოდგინე დაკვირვებისას ცხადი ხდება, რომ ასეთი მაჩვენებლების მიღწევა არ იძლევა რაიმე დადებით ეფექტს გზების საფარების ხარისხში. ჭიმვადობის მაღალი სიდიდე  $25^{\circ}\text{C}$ -ზე, რომელიც ჩადებულია საგზაო ბიტუმში, იწვევს რეალური საფარების ძვრისადმი დაბალ მდგრადობას ნორმალურ ტემპერატურებზე. აქედან გასაგები ხდება  $25^{\circ}\text{C}$ -ზე შემკვრელის ჭიმვადობის მაღალი მაჩვენებლების მიღწევის

უპერსპექტივობა, რაც ჩაღებულია ბიტუმის სტანდარტებში. როგორც ჩანს, ნაწილობრივ ასევე ამ მიზეზის გამო ჭიმვადობის მაჩვენებელი 25°C-ზე გამორიცხული იქნა ბევრი ქვეყნის სტანდარტებიდან.

მეორეს მხრივ, უარყოფით ტემპერატურებზე ნავთობის ბიტუმების დეფორმაციულობის რეალური სიდიდე აშკარად არასაკმარისია და არსებით გაზრდას მოითხოვს.

ასფალტბეტონის საფარების ტემპერატურული დეფორმაციის პროცესში შემკვრელის ჭიმვადობის მინიმალურად აუცილებელი სიდიდე ფარდობითი წაგრძელების საზომი ნიმუშის სიგრძის ერთეულებზე გადაანგარიშებისას შეადგენს არანაკლებ 3 სმ 0°Cზე და 8 სმ-ს 25°Cზე.

საფარებსა და ნაკერებში წარმოშობილი ციკლური დეფორმაციების რელაქსაციის უზრუნველყოფა შემკვრელებისათვის დრეკადობის თვისების მინიჭებითაა შესაძლებელი. ამ ამოცანის გადაჭრას ხელს უწყობს ბიტუმებში ელასტომერების შეყვანა, რომელთა ტიპიურ, საკმაოდ ცნობილ და ყველაზე გავრცელებულ სახეს რეზინა წარმოადგენს. მისი ნაირსახეობების უმეტესობა გამინების დაბალი ტემპერატურით გამოირჩევა, ე.ი. თავის მაღალელასტიურ თვისებებს ძალზედ დაბალ ტემპერატურებამდე ინარჩუნებს. პოლიმერ-ბიტუმური შემკვრელების დრეკადობის სიდიდე ამ მასალებისთვის არსებულ სტანდარტებში ელასტიურობის მაჩვენებლით ხასიათდება. ეს მაჩვენებელი ისახავს მასალის უკურელაქსაციის დონეს (ხარისხს) გაჭიმვისას გაგლეჯის შემდეგ. გასაგებია, რომ ელასტიურობის დონე (ხარისხი) შემკვრელის და მისი სტრუქტურის ქიმიურ შედგენილობაზეა დამოკიდებული. ცნობილია, რომ მაღალი დამტვირთავი ციკლომდეგობის უზრუნველსაყოფად საკმარისია, რომ ამ პარამეტრის სიდიდე არანაკლებ 3-4-ჯერ აღემატებოდეს კონკრეტულ კონსტრუქციებში შემკვრელის შესაძლო საექსპლუატაციო დეფორმაციების სიდიდეებს. მნიშვნელოვანია ხაზი გავუსვათ იმას, რომ მაკრემეტიზირებელმა მასალებმა უნდა შეინარჩუნონ ელასტიურობის მაღალი ხარისხი დაბალ ტემპერატურებზე, როდესაც რელაქსაციური პროცესები დამუხრუჭებულია. ამიტომ ელასტიურობის მაჩვენებლის ნორმირება პოლიმერულიბიტუმური მასალებისათვის არსებულ სტანდარტებში მრეწველურად განვითარებულ ქვეყნებში შემცირებულ ტემპერატურებზე

ხორციელდება. მაგალითად, ფინური ნორმები PANK 1502 სტანდარტის მიხედვით რეგლამენტირებენ კაუჩუკ-ბიტუმის მასალის აუცილებელ ელასტიურობას 50°C ტემპერატურაზე 25-35%-ის დონეზე.

ამრიგად, ელასტიურობის მაჩვენებლის შეფასებითი მაჩვენებელი 0°C-ზე პრაქტიკულ შემთხვევათა უმეტესობაში არ უნდა იყოს 30%-ზე ნაკლები.

შემკვრელი მასალების, ჰერმეტიკებისა და მასტიკების ყველა დეფორმაციული მაჩვენებელი დამოკიდებულია მათ ბლანტ-დრეკად თვისებებზე, საკუთარ სიმტკიცესა და უცხო ზედაპირთან ჩაჭიდების ძალაზე, ე.ი. მათ ადჰეზიასა და კოჰეზიაზე. ადჰეზია განსაზღვრავს შემკვრელის უმნიშვნელოვანეს თვისებას—უნარს შეეწინააღმდეგოს გარე ზემოქმედებებს გარემოს მთლიანობის დარღვევის გარეშე სხვადასხვაგვარი მასალების შეპირაპირებზე. ჩვენი აზრით წარმოადგენს პარამეტრს, რომელიც განსაზღვრავს სამშენებლო კონსტრუქციების და გზების საფარის ხანმედევობას. ადჰეზიური სიმტკიცე ბეტონთან და ასფალტბეტონთან, ხოლო ლიანდაგებისა და ლითონკონსტრუქციების ჰერმეტიზაციის შემთხვევაში კი ლითონთან კონტაქტისას უნდა იყოს შემკვრელი (შემაკავშირებელი) მასალის პირობით სიმტკიცეზე მეტი. გამოცდებისას ეს პარამეტრი მასალის გაგლეჯის ხასიათით განისაზღვრება, ის უკლებლივ კოჰეზიური უნდა იყოს.

სტანდარტული მაჩვენებლები, რომლებიც განსაზღვრავენ საგზაო შემკვრელების ადჰეზიურ თვისებებს, რომლებსაც ქვიშასთან, მარმარილოსთან ან გრანიტთან ჩაჭიდება ეწოდება, არ ისახავენ ამ თვისების უმნიშვნელოვანეს როლს და არ იძლევიან ამ თვისებების გრადაციის საკმაოდ ობიექტური შეფასების შესაძლებლობას. აშკარაა, რომ ეს მათი გაზომვის ადექვატური მეთოდის არარსებობასთანაა დაკავშირებული. ასფალტბეტონის ГОСТ9128-97-ში არის სიდიდე, რომელიც იძლევა შემკვრელების ინტეგრალური ადჰეზიური თვისებების შედარებით სწორი დახასიათების შესაძლებლობას. ესაა ასფალტბეტონის წყალმედევობა, რომელიც მათი ხარისხის უმნიშვნელოვანეს მაჩვენებელს წარმოადგენს. უმაღლესი ხარისხის ასფალტბეტონის ნარეგების სტანდარტებში ჩადებული წყალმედევობის სიდიდე შეადგენს 0,95-ს, რაც სამამულო ბიტუმების უმრავლესობისათვის საკმაოდ დიდი

სიდიდეა და პრაქტიკაში იშვიათად მიიღწევა.

აშკარაა, რომ რაც უფრო მეტია ეს სიდიდე, მით ხანმედგია ასფალტბეტონის საფარი, განსაკუთრებით მისი ტემპერატურის 0C-ის გარშემო რხევების პირობებში და დინამიკური ზემოქმედებებისას წყალგაჯერების პირობებში.

ამრიგად, იმ სტანდარტული მაჩვენებლებიდან, რომლებიც საკმარისად სრულად ახასიათებენ ბიტუმის შემკვრელი მასალების, ჰერმეტიკებისა და მასტიკების ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს და იძლევიან სასარგებლო ინფორმაციას მათი ხარისხის შესახებ, რჩება გარბილებისა და სიმყიფის ტემპერატურები, ფარდობითი წაგრძელება 20 და +20°C-ზე და ელასტიურობა 0°C-ზე. თვით მაჰერმეტიზირებელი მასალების სიმტკიცითი მახასიათებლები ნაკლებად მნიშვნელოვანია, ვინაიდან ისინი ძირითადად არადატვირთულ კვანძებში მუშაობენ. მათი განსაზღვრა გაჭიმვაზე გამოცდების დროს ხდება.

სტანდარტიზირებულ მაჩვენებლებს, რომლებიც გარკვეულწილად ახასიათებენ შემკვრელი მასალის ქიმიურ შედგენილობას და სტრუქტურას, განსაზღვრავენ მის მდგრადობას გარემოს ფაქტორებისადმი წარმოადგენს ჩაჭიდება (ადჰეზია) და წყალშთანთქმა. პირველის ზრდა და მეორის შემცირება აუმჯობესებს ბიტუმის შემკვრელი მასალების, ჰერმეტიკებისა და მასტიკების თვისებებს.

შემკვრელი მასალების მაღალ ტემპერატურებზე დაჩქარებული დაძველების სტანდარტული ტესტები ყოველთვის ვერ ისახავენ სწორედ მასალების, განსაკუთრებით შერეულისა და კომპოზიციურის, ნამდვილ თვისებებს და თავისებურებებს, ვინაიდან სრულიად არ ითვალისწინებენ მისი ქიმიური შედგენილობისა და სტრუქტურის ცვლილებას და ასევე ამ ცვლილების მიმართულებას.

ჩვენი სამეცნიერო-ტექნოლოგიური მუშაობა შემკვრელი მასალების, ჰერმეტიკებისა და მასტიკების შექმნის დარგში წვრილდისპერსული ნაფხვენით ნავთობის ბიტუმების ქიმიური მოდიფიცირების გზით სწორედ ზემოთ დასახელებული მახასიათებლების კომპლექსური გაუმჯობესების მიზნით ტარდებოდა.

## ზოგადი დასკვნები

1. ექსპერიმენტულად დადასტურებულია სატრანსპორტო და კლიმატური ზემოქმედებისადმი გაზრდილი მდგრადობის მქონე საგზაო ასფალტბეტონების მიღების შესაძლებლობა კომპლექსური კაუჩუკ-პოლიელეფინის მოდიფიკატორის (კპმ) გამოყენებით.
2. შემუშავებულია მოდიფიკატორის შემადგენლობა, რომელიც პოლიოლფენებისა და ელასტომერების უპირატესობებს ითავსებს, რაც საშუალებას იძლევა ასფალტბეტონს ერთდროულად მიენიჭოს სიხისტე მაღალ საექსპლუატაციო ტემპერატურებზე და ელასტიურობა დაბალი ტემპერატურების არეში.
3. გამოკვლევებით დადასტურებულია შემკვრელში ელასტიური ასფალტენ-პოლიმერული ბადეების წარმოქმნის ჰიპოთეზა. გამოკვლეულია კაუჩუკ-პოლიოლფენის მოდიფიკატორის შემცველი ბიტუმების თავისებურებები მცირე დეფორმაციებისა და დატვირთვების მრავალჯერადი მოდების პირობებში.
4. დადგენილია ასფალტბეტონის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე ბიტუმის, ღორღისა და მოდიფიკატორის შემადგენლობის ზემოქმედების კანონზომიერებები და მათი ვარირების ზღვრები. ასფალტბეტონის ნარევიში ჩვენს მიერ შემუშავებული დანამატის შეყვანისას სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე  $50^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურისას 40-50%-ით იზრდება, ხოლო  $0^{\circ}\text{C}$ -ზე 5-10%-ით. ამასთანავე, უმჯობესდება წყალმდეგობა და მცირდება ასფალტბეტონის წყალგაჯერება.
5. შესწავლილია მოდიფიკატორის გავლენა სხვადასხვა ტიპის ასფალტბეტონის ბზარმდეგობაზე. დადგენილია, რომ კომპლექსურად მოდიფიცირებულ ასფალტბეტონს დინამიური ღუნვისას სიმტკიცე 1,5-2-ჯერ იზრდება, ხოლო დადლილობითი ხანმდეგობა – 1,5-ჯერ.
6. შესწავლილია ასფალტბეტონის სიბლანტის განსაზღვრის მეთოდი, ძერის დეფორმაციების დაგროვების სიჩქარის მახასიათებლისთვის,  $60^{\circ}\text{C}$ -ის ტემპერატურაზე, გვერდითი გაფართოების შეზღუდვის პირობებში. კომპლექსური მოდიფიკატორის შეყვანა

იდლევა ღუნვისას ასფალტბეტონების სიმტკიცის 2-5-ჯერ გაზრდის შესაძლებლობას, მათი ტიპიდან გამომდინარე.

7. დადგენილია, რომ მიღებულ მოდიფიცირებულ ასფალტბეტონს აქვს მომატებული მედეგობა თერმოჟანგვითი ზემოქმედებისადმი.
8. წლიური ეკონომიკური ეფექტი, რომელიც მიიღწევა ჩვენს მიერ შემუშავებული მოდიფიცირებული ასფალტბეტონის ნარეგების გამოყენებით, დანამატების არმქონე იმავე ნარეგებთან შედარებით 4 სმ სისქის ფენისათვის შეადგინა 1.7 ლარი, საგზაო სამოსის ყოველ 1 მ<sup>2</sup>-ზე 2011 წლის ფასებით.

## გამოყენებული ლიტერატურა:

1. გოგლიძე ვ. საავტომობილო გზების მშენებლობის ტექნოლოგია. თბილისი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 1991, 90 გვ.
2. გოგლიძე ვ., ბურდუღაძე დ., დუნდუა მ. საავტომობილო გზების ექსპლუატაცია. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 1997, 87 გვ.
3. Яковлев Ю.М., Коганзон М.С., Горячев М.Г. Организация и технология строительства дорожных одежд. Москва: МАДИ, 2001, 65 ст.
4. Баринов Е.Н. Основы теории и технологии применения асфальтобетонов на вспененных битумах. Ленинград: ЛГУ, 1990, 175 ст.
5. [http://www.akzonobel.com/surface/system/images/AkzoNobel\\_Asphalt\\_TB\\_Bitumen\\_Emulsion\\_tcm45-36500.pdf](http://www.akzonobel.com/surface/system/images/AkzoNobel_Asphalt_TB_Bitumen_Emulsion_tcm45-36500.pdf), უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 25.11.2011.
6. Каменев С. Н. Строительство автомобильных дорог и аэродромов. Москва: ИнФолио, 2010, 384 ст.
7. <http://stroy-technics.ru/article/regeneratsiya-starogo-asfaltobetona>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 25.08.2011.
8. <http://www.gosthelp.ru/text/Regeneraciyaasfaltobetonn.html>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 25.11.2010.
9. ძიძიგური მ. საგზაო-სამშენებლო მასალები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2005, 491 გვ.
10. <http://sg-24.ru/stabilizaciyairegeraciya>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 25.01.2012.
11. <http://www.techtransfer.berkeley.edu/pavementpres06downloads/metcal.pdf> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 25.11.2011.
12. Васильев А. П., Ремонт и содержание автомобильных дорог. Москва: Транспорт, 1989, 287 ст.
13. მჭედლიშვილი კ., ბურდუღაძე ა., გელაშვილი ო., არჩვაძე გ. საავტომობილო გზები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2009, 164 გვ.
14. Бабков В. Ф. Автомобильные дороги. Москва: Транспорт, 1993, 302 ст.
15. Каменецкий Б. И., Кошкин И. Г. Автомобильные дороги. Москва: Транспорт, 1999, 175 ст.
16. Першин М.Н., Баринов Е.Н., Кореневский Г.В. Вспененные битумы. Москва: Транспорт, 1989, 80 ст.
17. Kim Y. Modeling of Asphalt Concrete. New-York: McGraw-Hill Professional, 2008, 460 p.
18. Croney P., Croney D. Desing and Perofomance of Road Pavments. New-York: McGraw-Hill Professional, 2008, 528 p.
19. ВСН 46-83 Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. Москва: Транспорт, 1985.
20. Корочкин А. В. Проектирование усиления дорожных одежд. Москва: МАДИ, 2007, 86 ст.



21. Федотова Г. А., Проектирование автомобильных дорог. Москва: Транспорт, 1989, 437 ст.
22. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц. Москва: академия, 2008, 352 ст.
23. Попов В. Г., Строительство автомобильных дорог. Москва: МАДИ, 2001, 185 ст.
24. ГОСТ 9128-97 Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. Москва: МНТКС, 1999.
25. Пособие по строительству покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов из грунтов, укрепленных вяжущими материалами к СНиП 3.06.03.85 и СНиП 3.06.-88 / Союздорнии. - М., 1990. - 204 с.
26. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации: метод, рекомендации / Росавтодор. - Офиц. изд. - Введ. с 27.06.2002. - М.: Информавтодор, 2002.-56 с: ил.
27. Соколов Ю.В. Проектирование состава дорожных асфальтобетонов (Обзор методов). - Омск: СибАДИ, 1994. - 64 с
28. технология: восстановление дорожного покрытия. Принципы и машины для применения: [Проспект фирмы Wirfgen]. - 1994. - № 49-10. RU 07/94. - 18 с
29. Холодный ресайклинг. Руководство по применению. - Wirtgen Gm BH и A.A. London & Partners, 1998. -158 с
30. La «Chaussee Renovee» de Colas, Un procede de retraitement de chaussee a froid //Revue generate des routes et des aerodromes. - 1987. - № 637. - P. 70
31. Соколов Ю.В. Расчет и оптимизация состава дорожного асфальтобетона (Метод СибАДИ). - Омск: СибАДИ, 1989. - 36 с
32. (NCAT Report 03-01, Potential of Using Stone Matrix Asphalt (SMA) for Thin Overlays, L.A.Cooley,Jr., E.R.Brown, April 2003).