

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

დავით გეწაძე

საგზაო სამოსების რეაბილიტაციის ეფექტურობის გაზრდა  
თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: საგზაო ინფრასტრუქტურა და მიწისქვეშა  
ხელოვნური ნაგებობები

შიფრი: 0732

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
2021 წელი

საავტორო უფლება © 2021 წელი დავით გეწაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელის მომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით დავით გეწაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „საგზაო სამოსების რეაბილიტაციის ეფექტურობის გაზრდა თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით“ და რეკომენდაციას ვაძლევთ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, მშენებლობის საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

10. 02. 2021 წელი

ხელმძღვანელი,  
პროფესორი:

ალექსი ბურდულაძე

რეცენზენტი,  
ტ.მ.დ. აკადემიკოსი:

თამაზ შილაკაძე

რეცენზენტი,  
ასოც. პროფესორი

მანუჩარ შიშინაშვილი

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2021 წელი

ავტორი: დავით გეწაძე

დასახელება: „საგზაო სამოსების რეაბილიტაციის ეფექტურობის გაზრდა თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით“

სადოქტორო პროგრამა: საგზაო ინფრასტრუქტურა და მიწისქვეშა ხელოვნური ნაგებობები

ხარისხი: დოქტორის აკადემიური ხარისხი

სხდომა ჩატარდა: 12. 03. 2021

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

---

## ავტორის ხელმოწერა

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

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

## რეზიუმე

არახისტ საგზაო სამოსზე ექსპლუატაციის პროცესში ადგილი აქვს შეუქცევადი (პლასტიკური) დეფორმაციების დაგროვებას. ეს პროცესი განსაკუთრებით ინტენსიურად მიმდინარეობს იმ ადგილებში, სადაც შემცირებულია საფარში გამოყენებული მასალის სიმტკიცე და გაძლიერებულია სატრანსპორტო დატვირთვის დინამიური ზემოქმედება. შედეგად, საფარზე წარმოიშვება უსწორობები, რომელთა ფორმირება მიმდინარეობს ხანგრძლივად და ყალიბდება მდგრადი პროფილი საკუთარი მერყევი სიხშირეებით. უსწორობების წარმოქმნის პროცესი შესაძლებელია განვიხილოთ, როგორც საგზაო სამოსის სიმტკიცის მახასიათებელი. წარმოდგენილი ჰიპოთეზების დასამტკიცებლად ჩვენს მიერ განხილულია ამ ორი მახასიათებლის ურთიერთკავშირის ზოგიერთი თეორია.

საგზაო სამოსის სიმტკიცის და საფარის სისწორის ურთიერთ დამოკიდებულებაზე ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად დადგინდა, რომ საფარის ზედაპირის სისწორეს და საგზაო სამოსის სიმტკიცეს აქვთ მდგრადი კორელაციური კავშირი. ერთი მხრივ საგზაო კონსტრუქციების სიმტკიცის შემცირება საფარის სისწორის ცვლილების პირველადი მიზეზია, მეორე მხრივ საფარის სისწორის ცვლილებით იცვლება დინამიურობის კოეფიციენტი და იზრდება საფარის შეუქცევადი დეფორმაციების მნიშვნელობა, რაც ამცირებს საგზაო სამოსის სიმტკიცეს.

უნდა აღინიშნოს, რომ არსებულ დამოკიდებულებებს აქვთ სხვადასხვა საფუძველი და შეუძლებელია ერთი კონკრეტული მათემატიკური მოდელით წარმოდგენა, რომელიც დაადგენს ერთიან კანონს საავტომობილო გზის მთელი საექსპლუატაციო პერიოდის განმავლობაში. საფარის სისწორისა და სიმტკიცის ურთიერთკავშირის განხილული თეორიების შესახებ დასკვნები დაიყვანება ზოგად კანონზომიერებამდე, რაც ამტკიცებს, რომ საგზაო სამოსის სისწორე მუდმივად იცვლება, ხოლო უსწორობებს აქვს დროთა განმავლობაში დაგროვების ტენდენცია.

საფარის სისწორის ცვლილების ხარისხი დამოკიდებულია საფუძველის მზიდ უნარსა და მიწის ვაკისზე. რაც უფრო მძლავრია საფუძველი, მით უფრო გარანტირებულია გზის საფარის სისწორის სტაბილურობა და შესაბამისად, საავტომობილო დატვირთვის დინამიურობის კოეფიციენტის მუდმივი მნიშვნელობა. ამავე დროს, დეფექტების აღმოფხვრა დეფორმაციის ფორმირების დასრულების სტადიაზე დაგვიანებული, ხშირად ნაკლებად ეფექტური და ძვირად ღირებული გადაწყვეტილებაა. ამ პრობლემის გადაჭრის საშუალებას წარმოადგენს საფარის სისწორისა და მისი რეგრესიის განვითარების სიჩქარის სისტემური ანალიზი. ამჟამად უფრო მნიშვნელოვანია კრიტიკული დეფორმაციების ფორმირების აცილება და კონსტრუქციის პლასტიკური დეფორმაციების ინტენსიური დაგროვების დაუშვებლობა. პრობლემის გადასაჭრელად ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ინტენსიური დარბილებისა და რღვევის დროის დაწყების განსაზღვრა. უნდა აღინიშნოს,



რომ საფარის გრძივი სისწორე - ერთმნიშვნელოვანი სიდიდეა და მისი გაზომვის სიზუსტეზე მოქმედი ფაქტორების რაოდენობა მინიმუმამდე დაიყვანება. დადგენილია, რომ სიმტკიცე და სისწორე დამოკიდებულია ერთი და იმავე მაჩვენებელზე - მთლიანად გატარებული მანქანების ჯამურ მასაზე, რაც ადასტურებს მათ შორის ურთიერთკავშირს. საფარის სისწორის ცვლილების დინამიკა დამოკიდებულია საგზაო სამოსისა და მიწის ვაკისის მდგომარეობაზე და წარმოადგენს მზიდუნარიანობის რაოდენობრივ მახასიათებელს. გამოკვლევების პროცესში დადგინდა, რომ სისწორის განვითარება შეიცავს ორ სტადიას:

- სისწორის შეზრდა თანდართული დატვირთვების რაოდენობის მიხედვით;
- სისწორის ცვლილების მიმდინარე მდგომარეობა (სისწორის უმნიშვნელო შეზრდა) დადგენილი მნიშვნელობების ფარგლებში.

ასფალტბეტონის დეფორმაციის სიჩქარე დატვირთვების გაზრდისას დროთა განმავლობაში მცირდება, იქნეს რა დენადობის თვისებას. საფარის სისწორის ცვლილების ანალიზის მეშვეობით, შესაძლებელია მისი სიმტკიცის დაქვეითების დაწყების დროული დადგენა და საგზაო სამოსის ფენების ნაადრევი რღვევისა და დეფორმაციის თავიდან აცილება.

ამგვარად, გზის ექსპლუატაციის სხვადასხვა ეტაპზე, საფარის სისწორის ცვლილების დინამიკა განსაზღვრავს მის მუშაობის უნარიანობას და ხანგამძლეობას. შემოთავაზებული გადაწყვეტები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, როგორც საავტომობილო გზების შეფასების არსებული სისტემების დამატება სარემონტო ღონისძიებების ოპტიმალური შერჩევის მიზნით.

საზღვარგარეთის ქვეყნების გამოცდილების ანალიზი და ჩვენს მიერ განხორციელებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები ცალსახად ამტკიცებს სარემონტო სამუშაოების ჩატარების დროს არსებული ასფალტბეტონის საფარის მეორადი გამოყენების უპირატესობას. ყოველივე აქედან გამომდინარე ცივი რეციკლირება მიიჩნევა ერთ-ერთ მიმზიდველ ტექნოლოგიად საგზაო სამოსის აღსადგენად კრიტერიუმით „ღირებულება/ეფექტურობა“. ამ პრობლემის გადასაჭრელად მხედველობაში უნდა მივიღოთ ძველი ასფალტბეტონის რაოდენობა, მისი ხარისხი, გრანულაცია და მეორადი გამოყენების მეთოდები.

საქართველოში არსებული რეალობიდან გამომდინარე, სარეაბილიტაციო გზების სამოსი მნიშვნელოვნადაა დაზიანებული. რეაბილიტაციის პროცესში, ოპტიმალური გადაწყვეტილების მისაღებად, ნაშრომში მოცემულია არსებული საგზაო სამოსის კონსტრუქციის კვლევები. კვლევები ტარდებოდა როგორც სტაციონალურ, ასევე საველე პირობებში. ოპტიმალური კონსტრუქციის შერჩევა ძირითადად დამოკიდებულია არსებული საგზაო სამოსის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებზე, (რომლის განსაზღვრა შესაძლებელია FWD ტესტით) და მოძრაობის პერსპექტიული ინტენსივობიდან გამომდინარე საგზაო დატვირთვებზე.

ნაშრომში განხილულია:

- ცივი რეციკლირების დროს საგზაო სამოსის გაანგარიშების მეთოდები;
- არახისტი საფარის რეაბილიტაციის ღონისძიებების და სარემონტო სამუშაოების დაგეგმვის ტექნიკურ-ეკონომიურად ხელსაყრელი ტექნოლოგიების შერჩევა;
- ცივი რეციკლირების ტექნოლოგიური ციკლების ოპტიმიზაცია.

ჩატარებულია კვლევები რეციკლირებული ასფალტბეტონის ხელმეორედ გამოყენების შესახებ, სხვადასხვა მინერალური და ორგანული შემკვრელების დამატებით. კვლევების შედეგების საფუძველზე, კონკრეტული მოთხოვნების შესაბამისად, შესაძლებელია შემუშავებულ იქნას საგზაო საფარების კონსტრუქციები და შეკეთების ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები (სამუშაო ფრონტის სიგრძე, ნარევის დატკეპნის ოპტიმალური დრო), წამყვანი დანადგარის პარამეტრების და კლიმატური ფაქტორების გათვალისწინებით.

## Abstract

Irreversible (plastic) deformations accumulate in the process of operation on non-rigid road pavements. This process is particularly intensive in areas where the strength of the coating material is reduced and the dynamic impact of the transport load is enhanced. As a result, irregularities arise on the pavement, the formation of which takes a long time and a stable profile is formed with its own fluctuating frequencies. The process of forming irregularities can be considered as a characteristic of the strength of road pavements. In order to prove the presented hypotheses, we have discussed some theories of the relationship between these two characteristics.

Studies on the interrelationship between the strength of the road surface and the roughness of the pavement have shown that the roughness of the pavement surface and the strength of the road surface have a stable correlation. On the one hand, the decrease in the strength of road structures is the primary reason for the change in the roughness of the pavement, on the other hand, the change in the roughness of the pavement changes the coefficient of dynamism and increases the value of irreversible deformations of the pavement.

It should be noted that the existing dependencies have different bases and it is impossible to present one specific mathematical model that will establish a single law for the entire period of operation of the highway. Conclusions about the theories discussed about the relationship between pavement roughness and strength are reduced to general patterns, arguing that the roughness of road surface is constantly changing, while irregularities tend to accumulate over time.

The degree of change in the roughness of the surface depends on the bearing capacity of the foundation and the road bed itself. The more stronger the road base is, the more guaranteed stability and accuracy of the road surface is achieved and therefore constant value of the transport load dynamic factor is guaranteed. At the same time, delayed elimination of defects at the deformation formation stage are often less effective, and costly solution. The solution to this problem is a systematic analysis of the roughness of the pavement and the rate of development of its regression. It is now more important to avoid the formation of critical deformations and to prevent the intensive accumulation of plastic deformations in the structure. The main task to solve the problem is to determine the onset of intense softening and breaking time. It should be noted that the longitudinal roughness of the pavement is a single value and the number of factors affecting the accuracy of its measurement is minimized. It is established that the strength and roughness depend on the same indicator - the total mass of the vehicles fully driven, which confirms the relationship between them. The dynamics of the change in the roughness of the pavement depends on the condition of the road surface and the soil surface and is a quantitative characteristic of the attractiveness. Research has shown that the development of roughness involves two stages:

- Merging of Roughness according to the increased number of attached loads;
- Current state of change of roughness (slight merging of roughness) within the established values.

The rate of deformation of asphalt concrete decreases over time as the loads increase, gaining the property of flowability. Through the analysis of the change in the roughness of the pavement, it is possible to timely detect the onset of its hardening and to prevent premature rupture and deformation of the road surface layers.

Thus, at different stages of road operation, the dynamics of changes in the roughness of the pavement determine its ability to work and durability. The proposed solutions can be used as an addition to existing road assessment systems for optimal selection of maintenance measures.

The analysis of the experience of foreign countries and the theoretical and experimental studies carried out by us unequivocally confirm the advantage of the secondary use of the existing asphalt concrete pavement during the repair works. Therefore, cold recycling is considered to be one of the most attractive technologies for recycling road pavements with the criterion "cost / efficiency". To solve this problem we must take into account the quantity of old asphalt concrete, its quality, granulation and methods of secondary use.

Due to the reality in Georgia, the pavements of the rehabilitation roads are significantly damaged. In the process of rehabilitation, in order to make an optimal decision, the paper provides studies of the existing roadway construction. Surveys were conducted in both inpatient and field settings. The selection of the optimal construction mainly depends on the physical-mechanical properties of the existing road pavements (which can be determined by the FWD test) and the road loads due to the perspective intensity of traffic.

The paper discusses:

- Methods of calculating road pavements during cold recycling;
- Selection of technically and economically viable technologies for planning flexible pavement rehabilitation measures and repair works;
- Optimization of cold recycling technological cycles.

Studies on the reuse of recycled asphalt concrete with the addition of various mineral and organic binders have been conducted. Based on the results of the studies, in accordance with the specific requirements, it is possible to develop road pavement structures and optimal repair technological parameters (length of working front, optimal compaction time), taking into account drive parameters and climatic factors.

## შინაარსი

შესავალი .....	13
1. ლიტერატურის მიმოხილვა .....	16
1.1. საავტომობილო გზის კონსტრუქციული ფენები და მათზე მოქმედი ფაქტორები.....	16
1.2. საგზაო სამოსზე გაჩენილი დეფექტები და მათი აღმოფხვრის საშუალებები .....	27
1.3. არახისტი საგზაო საფარის რეციკლირების მეთოდები და მათი გამოყენების გამოცდილება .....	41
2. შედეგების განსჯა.....	57
2.1. საფარის სისწორისა და საგზაო სამოსის სიმტკიცის ურთიერთდამოკიდებულების განსაზღვრა.....	57
2.1.1. ავტომობილის მოქმედების დინამიკაზე საფარის უსწორობების ზემოქმედების კვლევა.....	57
2.1.2. არახისტი საგზაო სამოსის სიმტკიცისა და საფარის სისწორის ურთიერთკავშირის დადგენა .....	59
2.2. სარემონტო ღონისძიებების დანიშვნის სისტემის განვითარების პერსპექტივები საგზაო საფარის სისწორის ცვლილების დინამიკის საფუძველზე.....	62
2.3. ცივი რეციკლირების ტექნოლოგიური ციკლების ოპტიმიზაცია...	69
2.4. საგზაო სამოსის გაანგარიშების მეთოდები ცივი რეციკლირების დროს.....	81
2.4.1. საგზაო სამოსის მზიდი უნარის გათვლა სტრუქტურული რიცხვების მეთოდით .....	81
2.4.2. საგზაო სამოსის მზიდი უნარის გათვლა თეორიული ანალიზის გზით .....	91
2.4.3. საგზაო სამოსის გაანგარიშება ძაბვების ზღვრული თანაფარდობის მეთოდით .....	100
2.5. ფაქტორივი ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების საფუძველზე ნარევის ოპტიმალური შემადგენლობის განსაზღვრა და რეაბილიტაციის ღონისძიებების დასახვა .....	104
2.6. საავტომობილო გზების არახისტი საფარის სარემონტო სამუშაოების დაგეგმვა და ტექნიკურ - ეკონომიურად ხელსაყრელი ტექნოლოგიების შერჩევა.....	116
2.7. რეციკლირებული ასფალტბეტონის ხელმეორედ გამოყენებადობის გამოკვლევა სხვადასხვა მინერალური და ორგანული შემკვრელების გამოყენებით.....	121
2.7.1. ექსპერიმენტების მიმდინარეობა .....	121
2.7.2. ექსპერიმენტების შედეგები.....	127
დასკვნა .....	138
გამოყენებული ლიტერატურა .....	141

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. საგზაო სამოსის მომსახურების რეკომენდირებული ვადა .....	65
ცხრილი 2. ფენების ტიპური სტრუქტურული კოეფიციენტი (AASHTO-ს მონაცემების თანახმად).....	83
ცხრილი 3. კოეფიციენტები, რომლებიც ითვალისწინებენ დრენაჟის სახეობას (AASHTO).....	86
ცხრილი 4. არსებული საგზაო სამოსი.....	87
ცხრილი 5. სტრუქტურული რიცხვის გაანგარიშება ასფალტბეტონის საფარის ფენისათვის.....	89
ცხრილი 6. სტრუქტურული რიცხვის გაანგარიშება ზედაპირული დამუშავებისათვის.....	90
ცხრილი 7. სტრუქტურული რიცხვის გაანგარიშება.....	93
ცხრილი 8. საგზაო სამოსის მოდელირებისათვის მიღებული მახასიათებლები აღდგენის შემდეგ.....	94
ცხრილი 9. პარამეტრები თეორიული ანალიზისთვის.....	95
ცხრილი 10. ჭიმვისას სიმტკიცის ზღვარის განსასაზღვრავი ცდების შედეგები.....	96
ცხრილი 11. სიმტკიცის გამოცდის შედეგები.....	97
ცხრილი 12. საგზაო სამოსის ფენების სტრუქტურული მზიდი უნარის მოსალოდნელი მნიშვნელობები.....	98
ცხრილი 13. ჯამური სავარაუდო ინტენსიობის პროგნოზი (ნორმალური+გენერირებული+გადამისამართებული).....	115
ცხრილი 14. სიმტკიცის მაჩვენებელი ცემენტის რაოდენობის მიხედვით.....	127
ცხრილი 15. სიმტკიცის მაჩვენებელი ცემენტის რაოდენობის მიხედვით 2% ბიტუმის დანამატით.....	129
ცხრილი 16. სიმტკიცის მაჩვენებელი ცემენტის რაოდენობის მიხედვით 2% მოდიფიცირებული ბიტუმის დანამატით.....	130
ცხრილი 17. სიმტკიცის მაჩვენებელი ცემენტის რაოდენობის მიხედვით 2% ბიტუმის ემულსიის დანამატით.....	132
ცხრილი 18. სიმტკიცის მაჩვენებელი ცემენტის რაოდენობის მიხედვით 3% ბიტუმის ემულსიის დანამატით.....	133
ცხრილი 19. სიმტკიცის მაჩვენებელი ბიტუმის ემულსიის რაოდენობის მიხედვით.....	135
ცხრილი 20. სიმტკიცის მაჩვენებელი დოროპორტის რაოდენობის მიხედვით.....	136

## ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1. საგზაო სამოსის მეშვეობით ბორბლისგან მიწის ვაკისის ზედაპირზე დატვირთვების გადაცემა.....	16
ნახაზი 2. საგზაო სამოსის ტიპიური ფენები.....	20
ნახაზი 3. გზის მდგომარეობის გაუარესების მაჩვენებლები .....	25
ნახაზი 4. საფარის ტიპიური დაზიანებები „სატუმბო“ ეფექტის შედეგად ..	26
ნახაზი 5. გზის გეგმიური მომსახურებისა და შეკეთების გრაფიკი მისი ხარისხის კონტროლის შედეგების მიხედვით.....	29
ნახაზი 6. რეკომენდაციები საგზაო სამოსის კონსტრუქციის შერჩევისთვის რეციკლირებისას/სტაბილიზაციისას.....	36
ნახაზი 7. „ორფენიანი“ რეციკლირების ვარიანტები .....	39
ნახაზი 8. ორფენიანი რეციკლირების მაგალითი.....	40
ნახაზი 9. რესაიკლერის შემდეგ გამკვრივების დამწყები სატკეპნის შერჩევა.....	44
ნახაზი 10. გრძივი ნაკერების გადახურვების ტიპიური ზომები .....	48
ნახაზი 11. ვიწრო გზების რეციკლირების ვარიანტები .....	50
ნახაზი 12. შემოკლებული დღიური სამუშაო გეგმის მაგალითი.....	54
ნახაზი 13. ავტომობილის ბორბლის საგზაო საფარზე ზემოქმედების სქემა უსწორობის გავლის მომენტში. ....	58
ნახაზი 14. ნორმატიული და საექსპლოატაციო მნიშვნელობების გადაკვეთის წერტილების აგების მაგალითი მომსახურების ვადის ფარგლებში .....	65
ნახაზი 15. ნორმატიული და საექსპლოატაციო მნიშვნელობების გადაკვეთის წერტილების აგების მაგალითი მომსახურების ვადის ფარგლებში .....	66
ნახაზი 16. სიმკვრივეზე დამოკიდებული ტენიანობა პროექტორის მიხედვით.....	77
ნახაზი 17. გამკვრივების ორი განსხვავებული ძალის ზემოქმედება ტენიანობის სიმკვრივისგან დამოკიდებულებაზე .....	78
ნახაზი 18. სიმკვრივის საზომი .....	81
ნახაზი 19. მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული მასალების ფენების სტრუქტურული კოეფიციენტები .....	84
ნახაზი 20. არსებული საგზაო სამოსი და მისთვის შემოთავაზებული კონსტრუქცია აღდგენის შემდეგ.....	88
ნახაზი 21. საგზაო სამოსის კონსტრუქციაში ანალიზისთვის შერჩეული წერტილები, ცვლადი ძაბვების, ბორბლების დატვირთვასთან მიმართებით თანაფარდობის განსასაზღვრა.....	102
ნახაზი 22. მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული მასალების ნარჩენი დეფორმაცია, დატვირთვის ციკლების რაოდენობისა და ძაბვების თანაფარდობის მიხედვით .....	103
ნახაზი 23. არსებული საგზაო სამოსის კონსტრუქციის საერთო დრეკადობის მოდულების გრაფიკი მიღებული სტაციონალური	

(გეოტექნიკური) და საველე (FWD-ის ტესტების) კვლევების საფუძველზე.....	114
ნახაზი 24. 20 <sup>0</sup> C და 30 <sup>0</sup> C ტემპერატურაზე ნარევის გაჩერების დროის ზემოქმედება ნიმუშის სიმტკიცეზე.....	118
ნახაზი 25. 20 <sup>0</sup> C და 30 <sup>0</sup> C ტემპერატურაზე დროის ზემოქმედება ნიმუშის სიმტკიცეზე ნარევის გაჩერების მიხედვით .....	119
ნახაზი 26. ჰაერის სხვადასხვა ტემპერატურაზე ნიმუშის ოპტიმალური და დასაშვები დრო.....	120
ნახაზი 27. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით .....	128
ნახაზი 28. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით, 2% ბიტუმის დანამატით.....	129
ნახაზი 29. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით, 2% მოდიფიცირებული ბიტუმის დანამატით .....	131
ნახაზი 30. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით, 2% ბიტუმის ემულსიის დანამატით.....	132
ნახაზი 31. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით, 3% ბიტუმის ემულსიის დანამატით.....	134
ნახაზი 32. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ბიტუმის ემულსიის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით .....	135
ნახაზი 33. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი დოროპორტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით .....	137



## შესავალი

**ნაშრომის აქტუალობა-** საავტომობილო ტრანსპორტის განვითარება, ავტომანქანების კონსტრუქციების მუდმივი გაუმჯობესება, მათი ტვირთამწეობისა და სიჩქარეების სწრაფი ზრდა მოითხოვს მაღალ დონეზე განვითარებულ-გაუმჯობესებულ საგზაო ქსელს. თანამედროვე გზა უნდა აკმაყოფილებდეს, აგრეთვე მნიშვნელოვან ესთეტიკურ მოთხოვნილებებსაც.

სატრანსპორტო საშუალებებიდან გზაზე გადაცემული დატვირთვა დროთა განმავლობაში აზიანებს საგზაო საფარსა და საფუძველს. გზაზე გამავალი თითოეული სატრანსპორტო საშუალება იწვევს მისი საფუძველის მცირე, დროებით დეფორმაციას. მსუბუქი სატრანსპორტო საშუალების მიერ გამოწვეული დეფორმაცია იმდენად მცირეა, რომ მას არ ითვალისწინებენ. მძიმე წონიანი სატრანსპორტო საშუალებები წარმოადგენენ შედარებით დიდი დეფორმაციების მიზეზს. დიდი რაოდენობით სატრანსპორტო საშუალებების გავლით გამოწვეული დეფორმაციები გროვდება, რაც თანდათან იწვევს ნარჩენი დეფორმაციების ან დაღლილობის ბზარების წარმოშობას. ავტომობილის ზედმეტი ღერძული დატვირთვა იწვევს საგზაო სამოსის არაპროპორციულად დიდ დეფორმაციებს, რაც აჩქარებს მისი მდგომარეობის გაუარესებას.

ზედაპირული ბზარების უმეტესი ნაწილის მიზეზს, საავტომობილო გზაზე წარმოადგენს გარემო ფაქტორების ზემოქმედება. ამ დროს ძირითად როლს თამაშობს მზის ულტრაიისფერი სხივები, რომელიც იწვევს ბიტუმის ნელ, მაგრამ უწყვეტ გამყარებას. ამის შედეგად ბიტუმი კარგავს ელასტიურობას და როდესაც ზედაპირი გაცივებისას იკუმშება, ხდება ბზარების წარმოქმნა. დასკდომის შედეგად ირღვევა ზედაპირის მთლიანობა, საგზაო სამოსის მდგომარეობა, მასში წყლის შეღწევის გამო სწრაფად უარესდება. როგორც კი ბზარი შეაღწევს საფარში, საგზაო სამოსში შეიძლება შევიდეს წყალი. მისი დამარბილებელი ზემოქმედება კი იწვევს სიმტკიცის დაქვეითებას, რაც აჩქარებს საფარის მდგომარეობის გაუარესებას ბორბლების განმეორებადი დატვირთვების ზემოქმედებით.

ღონისძიებები, რომელთა მიზანია საფარის დრეკადობის და ცვეთამედეგობის შენარჩუნება, ეფექტურია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ საგზაო სამოსის მდგომარეობის გაუარესება გამოწვეულია გარემო ფაქტორების ზემოქმედებით. გზაზე სატრანსპორტო დატვირთვებისაგან გამოწვეული დეფორმაციისა და დაღლილობითი დასკდომის ეფექტური აღმოფხვრა შეუძლებელია მხოლოდ ზედაპირის დამუშავებით, საჭიროა სხვა სახის შეკეთებითი სამუშაოების ჩატარებაც.

**კვლევის საგანს წარმოადგენს:** არახისტი საგზაო საფარის რეციკლირება, როგორც საავტომობილო გზების რეაბილიტაციის ერთ-ერთი თანამედროვე და ეფექტური მეთოდი.

**დისერტაციის მიზანია** - ცივი რეციკლირების ტექნოლოგიის გამოყენებით გზის არსებული მასალის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესება და საგზაო სამოსის კონსტრუქციის გაძლიერება. რეციკლირების სიღრმე და სტაბილიზაციის სახეობა განისაზღვრება საგზაო სამოსის მომსახურების საანგარიშო ვადაზე პროგნოზირებული საგზაო მოძრაობის დატვირთვით, ასევე არსებული საგზაო სამოსის მასალებისა და მის ქვეშ მიწის ვაკისის სიმტკიცის მიხედვით. საგზაო სამოსის აღდგენის ტექნოლოგიების ანალიზის მიზანია მათგან ღირებულების მიხედვით ოპტიმალურის გამოყოფა.

**სამეცნიერო სიახლე** - ჩვენს მიერ წარმოდგენილი სადოქტორო ნაშრომის სამეცნიერო სიახლეს წარმოადგენს:

- საგზაო საფარის რეციკლირების ტექნოლოგიით შეკეთების თეორიული და ექსპერიმენტული დასაბუთება;
- ცივი რეციკლირების დროს საგზაო სამოსის მზიდი უნარის გათვლა სტრუქტურული რიცხვების, თეორიული ანალიზისა და ძაბვების ზღვრული თანაფარდობის მეთოდით;
- კვლევების საფუძველზე დადგენილია ასფალტგრანულობეტონის ფიზიკურ - მექანიკური თვისებების მაჩვენებელი;
- ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე, შემუშავებულია საგზაო საფარის ცივი რეციკლირების

რაციონალური ტექნოლოგიური პარამეტრები, თხევადი ბიტუმის, ცემენტის, მოდიფიცირებული ბიტუმის, ბიტუმის ემულსიისა და დოროპორტის გამოყენებით.

**სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა:** - სადოქტორო ნაშრომის კვლევების მონაცემებზე დაყრდნობით შესაძლებელია საპროექტო და სამშენებლო ორგანიზაციების მიერ კონკრეტული ობიექტისათვის შემუშავებულ იქნას საგზაო საფარების კონსტრუქციები და სარემონტო სამუშაოების ტექნოლოგიური პარამეტრები; - ჩვენს მიერ ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები გამოყენებული იქნა შიდა სახელმწიფოებრივი საავტომობილო გზის „ხოზი-ახალსოფელი“ და საერთაშორისო მნიშვნელობის „მცხეთა-სტეფანწმინდა-ლარსის“(რუსეთის ფედერაციის საზღვარი) საავტომობილო გზის სარეაბილიტაციო სამუშაოებში.

**სამუშაოს აპრობაცია:** სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილი მასალები მოხსენებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, სტუდენტთა საერთაშორისო 85-ე, 86-ე და 87-ე კონფერენციებზე.

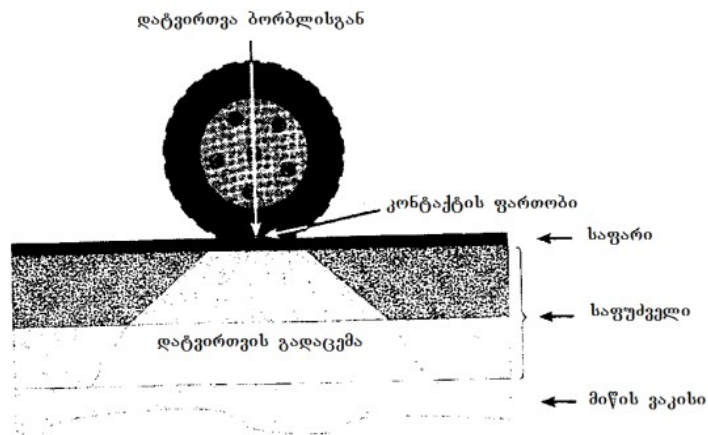
**პუბლიკაციები:** დისერტაციის მასალები გამოქვეყნებულია 6 სამეცნიერო ნაშრომში.

**დისერტაციის სტრუქტურა:** სადისერტაციო ნაშრომი შეიცავს შესავალს, ორ თავს, დასკვნას, ლიტერატურის სიას 48 დასახელებით, 20 ცხრილს და 33 ნახაზს. კვლევის შედეგები გადმოცემულია 144 ნაბეჭდო თაბახზე.

# 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

## 1.1. საავტომობილო გზის კონსტრუქციული ფენები და მათზე მოქმედი ფაქტორები

საავტომობილო გზის საფარი, როგორც წესი, წარმოადგენს საგზაო სამოსის ერთადერთ ხილულ ნაწილს. ის დევს სხვადასხვა მასალისგან შემდგარი საფუძველის რამდენიმე ფენაზე, მისი სიმაღლე ხანდახან 1 მეტრს აღემატება. საფუძველი საგზაო კონსტრუქციის ის ნაწილია, რომელიც მასზე გამავალი სატრანსპორტო საშუალებების მიერ წარმოქმნილ დატვირთვას გადასცემს მიწის ვაკისს, რომელიც ჩვეულებრივ სუსტია და არ გააჩნია ამისთვის აუცილებელი მზიდუნარიანობა. საგზაო სამოსის მეშვეობით მოძრავი სატრანსპორტო საშუალებებიდან ზედაპირზე გადაცემული დატვირთვები ნაწილდება მიწის ვაკისის ზედაპირის დიდ ფართობზე, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე.



ნახაზი 1. საგზაო სამოსის მეშვეობით ბორბლისგან მიწის ვაკისის ზედაპირზე დატვირთვის გადაცემა

ცალკეული ფენები, რომელთაგანაც შედგება საფუძველი, განსხვავდებიან თავიანთი მასალის შემადგენლობითა და სისქის მიხედვით. ჩვეულებრივ, ცალკეული ფენების სისქე 12-დან 20 სმ-მდე მერყეობს. ზედაპირთან ყველაზე ახლო განლაგებულ ფენებს უფრო მყარი მასალებისგან აწყობენ (მაგალითად, ცხელი ასფალტ-ბეტონის ნარევისგან), რათა მათ გაუძლონ გაზრდილ დატვირთვებს. ვინაიდან, ქვედა ფენებში

დატვირთვა ნაწილდება მთელ ფართობზე, იგი მცირდება და შეიძლება შთაინთქას დაბალი ხარისხის მასალებით აგებული კონსტრუქციის მიერ, ისეთების, როგორცაა ბუნებრივი ხრეში. ამიტომ საგზაო სამოსის ქვედა ფენების მასალები ხშირად ზედა ფენებისთვის გამოყენებულ მასალებზე უფრო იაფია.

საავტომობილო გზების სხვადასხვა კონსტრუქციული ფენებისათვის ასფალტბეტონებისა და ცემენტბეტონებისათვის ინერტული მასალა ძირითადად მიიღება მდინარეების კალაპოტებიდან ამოღებული ხრეშოვანი მასალების დამტვრევით. სხვადასხვა მდინარეების მასალები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან მარცვლოვანი შემადგენლობით, პეტროგრაფიული შემადგენლობით, კუთრი წონით, სიმტკიცით და ა.შ. [16]

განასხვავებენ საგზაო სამოსის ორ ძირითად სახეობას:

- ხისტი სამოსები, რომლებშიც მაღალი სიმტკიცის ბეტონის თხელი ფენა ეყრდნობა შემკვრელი მასალით სტაბილიზირებულ ფენას;
- დრეკადები (არა ხისტი), სამოსები, რომლებიც მოწყობილია ბუნებრივი მინერალური მასალებისაგან, რომელსაც მდგრადობისადმი გაზრდილი მოთხოვნების შესასრულებლად, ზედა ფენები დამუშავებული აქვს ბიტუმით ან სხვა რაიმე ორგანული შემკვრელით.

საგზაო სამოსების ვარიანტების დანიშვნისას ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში გათვალისწინებული უნდა იქნას მოძრაობის ინტენსივობა და ადგილობრივი გრუნტების, ჰიდროლოგიური და კლიმატური პირობები, რომლებიც არსებით გავლენას ახდენენ საგზაო სამოსების სამსახურის ვადაზე. ასე მაგალითად, ღორღოვანი და ხრეშოვანი საფარები, რომლებიც არ არის დამუშავებული ორგანული შემკვრელებით, უკეთესად მუშაობენ ნესტიან, ზომიერი კლიმატის პირობებში და შედარებით ადრე ირღვევა სამხრეთის მშრალი კლიმატის პირობებში, ჩრდილოეთის ტენიანი კლიმატის პირობებში საჭირო ხდება საფუძვლის დამატებითი ფენების

(ამოზურცვის საწინააღმდეგო, ყინვადამცავის მოწყობა, მაშინ როცა ისინი სავსებით ზედმეტია სამხრეთის რაიონებში და ა.შ. [16])

უნდა ავნიშნოთ, რომ ეკონომიურად ხელსაყრელია, „ადგილზე“ რეციკლირებით მხოლოდ არახისტი საგზაო სამოსის აღდგენა. ხისტები, რომლებიც შედგება მაღალი სიმტკიცის ბეტონისგან, საექსპლუატაციო ვადის გასვლის შემდეგ, უმეტეს შემთხვევაში ირღვევა. მშენებლობის დასრულების შემდეგ გზებზე იწყება მრღვევი ძალების ზემოქმედება, რომელთა წარმოშობის ძირითადი წყაროა გარემო და ტრანსპორტი. მათი ზემოქმედების შედეგად ირღვევა სამოსის თავდაპირველი სტრუქტურა და ხდება მგზავრობის კომფორტის დაქვეითება.

როგორც ვიცით, საგზაო სამოსს გააჩნია სამი ძირითადი კომპონენტი: საფარი, საფუძველი და საფუძველი გრუნტის ფენა (მიწის ვაკისი).

საფარი, საფუძველს გადასცემს დატვირთვებს მასზე გამავალი ტრანსპორტიდან და გარემოდან. ის განკუთვნილია საფუძველის დასაცავად ერთისგანაც და მეორისგანაც, უზრუნველყოფს რა მის სიმტკიცესა და წყლისგან დაცვას.

ავტომობილი საფარზე მოქმედებს ორი საშუალებით:

- მათი ბორბლების ზემოქმედებისას ზედაპირზე განვითარებული ძაბვა ძირითადად ვერტიკალურ სიბრტყეზე მოქმედებს. მათი ჰორიზონტალური შემადგენელი, წარმოიშვება მხოლოდ მრუდებზე, ციცაბო დაღმართებზე და დამუხრუჭების უბნებზე. საფარის მასალის სიმტკიცის მახასიათებლებს უნდა გააჩნდეთ ყველა ამ ძაბვის მიმართ წინააღმდეგობის გაწევის უნარი რღვევისა და დეფორმაციის გარეშე;
- საბურავის სრიალი, განსაკუთრებით მოსახვევებში, იწვევს გზის ზედაპირის ცვეთას. დროთა განმავლობაში ამგვარი „ხეხვა“ იწვევს ზედაპირის ხორკლიანობის დაქვეითებას. ასეთი ზედაპირი ხდება სრიალა, განსაკუთრებით როდესაც ის ნესტიანია და შეიძლება გახდეს საშიში ტრანსპორტის მოძრაობის თვალსაზრისით.

გზის ზედაპირი გამუდმებით განიცდის გარემოს მხრიდან, ძირითადად ორი სახის ზემოქმედებას: სითბოს და ულტრაიისფერი დასხივების სახით.

ამიტომ მას უნდა გააჩნდეს შემდეგი თვისებები:

- ელასტიურობა, რაც ფენას მისცემს, ტემპერატურის რყევის შესაბამისად მრავალჯერადად გაფართოების და შეკუმშვის საშუალებას;
- მზის დასხივების მიმართ მდგრადობა, რაც მისცემს, ყოველდღიურად ულტრაიისფერი სხივების შთანთქმის საშუალებას, ორგანული შემკვრელით დამუშავებული მასალის ნაადრევი დაბერების გარეშე.

ავტომობილის ბორბლებთან კარგ ჩაჭიდებასთან ერთად, ასფალტბეტონის საფარს გააჩნია მოქნილობა, ცვეთამედეგობა და მაღალი წყალგაუმტარობა დიდი ინტენსივობის გზებზე, მაღალი ხარისხის საფარის მოსაწყობად, როგორც წესი, გამოიყენება ცხელი ასფალტბეტონის ნარევი (დაახლოებით 5–7% ბიტუმის შემცველობით), უფრო იაფი კონსტრუქცია, როგორცაა ზედაპირული დამუშავება ღორღის ფენის დატანით, გამოიყენება მცირეინტენსიობის მქონე საავტომობილო გზებისთვის.

საფუძველი გზის ზედაპირიდან დატვირთვას გადასცემს მიწის ვაკისის ზედა ფენას, როგორც ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე, დატვირთვა ბორბლისგან, ზედაპირის დონიდან სწრაფად მცირდება საგზაო სამოსის სიღრმისკენ, ვრცელდება რა მიწის ვაკისის ზედა ფენის დიდ ფართობზე. თვითონ საფუძველი შედგება სხვადასხვა სიმტკიცის მახასიათებლების მქონე მასალის რამდენიმე ფენისაგან, ამასთანავე, თითოეული ფენის ამოცანას წარმოადგენს, დატვირთვის განაწილება მთელ ფართობზე ზევიდან ქვევით. საფუძველის ზედა ფენები, ქვედა ფენებთან შედარებით, განიცდიან უფრო მაღალ დატვირთვას და ამიტომ იგი აგებული უნდა იყოს უფრო მტკიცე მასალისაგან. მეორე ნახაზზე მითითებულია საფუძველის ცალკეული ფენების მოსაწყობად ჩვეულებრივ გამოყენებადი მასალები. მასალის რეაქცია მასზე მოქმედ დატვირთვაზე მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია

მისი დრეკადი თვისებებისა და თვით დატვირთვის მახასიათებლებზე (სიდიდე, ცვლილების სიხშირე და ა.შ.). თუმცა რეციკლირებისას გათვალისწინებული უნდა იქნეს შემდეგი მნიშვნელოვანი თავისებურებები:

ფენები	შემაღვენლობა
 საფარი	ასფალტბეტონი/ზედაპირული დამუშავება
საფუძველი	ბიტუმიტ ან ცემენტით ბმული ან არაბმული მასალა
ქვეშაგები ფენა	ბიტუმიტ ან ცემენტით ბმული ან არაბმული მასალა
მიწის ვაკისი	ცემენტით ბმული ან არაბმული ადგილობრივი მასალა

ნახაზი 2. საგზაო სამოსის ტიპიური ფენები

- არაბმული მასალები, როგორცაა ღორღი და ბუნებრივი ხრეში, მათზე მოქმედ დატვირთვებს გადასცემენ ცალკეული მარცვლების, ე.წ. საგზაო სამოსის ჩონჩხის მეშვეობით. ამ მარცვლებს შორის ხახუნი უნარჩუნებს სტრუქტურის მთლიანობას, მაგრამ განმეორებადი დატვირთვისას (ხშირად, ტენიანობის მომატებიდან გამომდინარე) ხდება გამკვრივების ძირითადი პროცესი, ვინაიდან მარცვლები გადაადგილდებიან ერთმანეთთან უფრო ახლოს. ეს შეიძლება მოხდეს საფუძველის ნებისმიერ დონეზე, რაც საბოლოო ჯამში სრულდება გზის ზედაპირის დეფორმაციით. ასეთი დეფორმაცია ჩვეულებრივ გამოიხატება დიდი ზომის ბრტყელი ნაკვალევის წარმოქმნაში.
- ბმული მასალები, როგორცაა სტაბილიზირებული მასალები და ასფალტბეტონი, შეიძლება შევადაროთ ფილას. ფილის ზედაპირზე ვერტიკალური დატვირთვის ზემოქმედება იწვევს ჰორიზონტალურ მკუმშავ ძაბვას მის ზედა ნაწილში და გამჭიმავს ქვედაში. ამასთანავე,



მაქსიმალური ძაბვა ვითარდება ფილის ქვედა და ზედა ნაწილებში. ამ ძაბვით განპირობებული გაჭიმულობა, განსაკუთრებით ქვედა ნაწილში, მისი მრავალჯერ განმეორების შემდეგ, საბოლოოდ იწვევს, დადლილობის დეფორმაციების წარმოქმნას. ფენის ქვედა ნაწილში წარმოშვება ბზარები, რომლებიც, თუ დატვირთვა დიდხანს გრძელდება, ვრცელდება ვერტიკალურად.

როგორც ბუნებრივ მასალაში არსებული დეფორმაციები, ასევე ხელოვნურად გამყარებულ მასალის დადლილობისაგან დასკდომა, დაკავშირებულია დატვირთვის განმეორებასთან. ეს იძლევა, საგზაო სამოსის საექსპლუატაციო ვადის, დატვირთვის ციკლების რაოდენობით განსაზღვრის საშუალებას. [19]

გრუნტი რომელზეც მოწყობილია საავტომობილო გზის საფუძველი, შეიძლება წარმოადგენდეს ბუნებრივ მასალას, რომელზეც მიმდინარეობს მშენებლობა და რომელიც უნდა მოიჭრას, ან მოტანილ იქნას ყრილის მოსაწყობად. ამ მასალის სიმტკიცის მახასიათებლები გვეკარნახობენ გზის ზედაპირზე მოქმედი დატვირთვის განაწილებისთვის აუცილებელ საგზაო სამოსის სახეობას, მათი იმ ზომამდე შემცირების მიზნით, რომელიც არ გამოიწვევს მიწის ვაკისის გრუნტში ნარჩენ დეფორმაციებს.

საგზაო სამოსის პროექტირებისას გამოყენებული მეთოდები, ძირითად პარამეტრებად ჩვეულებრივ იყენებენ ამ გრუნტის სიმტკიცესა და სიხისტეს, მათი ამოცანაა, ისეთი კონსტრუქციის შექმნა, რომლის სიმტკიცე საკმარისია გრუნტის საფუძვლის დასაცავად. პირველად ამის მცდელობა იყო გასული საუკუნის 50-იან წლებში, ემპირიულად განსასაზღვრავი „კალიფორნიული რიცხვის“ (CBR) დახმარებით, რომლის გამოყენება 21-ე საუკუნეშიც გრძელდება. მიწის ვაკისის დაბალი ხარისხის გრუნტის დასაცავად როგორც წესი საჭიროა, დიდი სისქის საგზაო სამოსი, რაც ხშირად მიიღწევა, უფრო მაღალი ხარისხის მასალის დამატებითი ფენის დაგებით.

გზები გამოიყენება მთელ მსოფლიოში, ყველანაირ კლიმატურ პირობებში: ცხელი მშრალი უდაბნოებით და ხშირწვიმიანი ზონებით დაწყებული, ტუნდრით დამთავრებული. მაგრამ, გარემოს ამ პირობების თავისებურებების მიუხედავად, თითოეული გზა ისე პროექტდება, რომ მას გააჩნდეს ავტომობილებიდან გადაცემული დატვირთვის გაძლების უნარი ერთი და იმავე ფუნდამენტალური მექანიზმის მეშვეობით, კერძოდ, ავტომობილების ბორბლების მიერ წარმოქმნილი კონცენტრირებული ძალების შემცირება ისეთ დონემდე, რომ მიწის ვაკისის ზედა ფენის გრუნტს შეეძლოს ამ ძალების აღქმა დეფორმირების გარეშე. [20]

კონკრეტულ ადგილას არსებული გარემოს პირობები, ასევე ავტომობილის მხრიდან მოსალოდნელი დატვირთვები - ორი უმნიშვნელოვანესი ფაქტორია, რომლებიც განსაზღვრავენ სტრუქტურულ მოთხოვნებს თითოეული საგზაო სამოსის მიმართ.

ქვემოთ განხილულია გარემო პირობების გზაზე მოქმედება.

ავტომობილებიდან გადაცემული დატვირთვის გარდა, საავტომობილო გზის საფარი განიცდის მზის სხივების, ქარის, წვიმის, თოვლის და სხვა ბუნებრივი მოვლენების ზემოქმედებას. გზის ზედაპირის ტექნიკურ მახასიათებლებზე ეს ზემოქმედება მნიშვნელობის მიხედვით შემდეგნაირია:

- სითბური ზემოქმედებები, რომლებიც იწვევენ მოცულობის ცვლილებას. მასალები ფართოვდება და იკუმშება ტემპერატურის ცვლილების შესაბამისად. გზის ზედაპირის ტემპერატურის ყოველდღიურ რყევებს დიდი მნიშვნელობა აქვს. უდაბნოებში, ორგანული შემკვრელებით გამყარებულმა გზებმა, ადრე დილით და ნაშუადღევს შორის დროის შუალედში შეიძლება განიცადოს რყევა 50°C-ზე მეტი ტემპერატურის ფარგლებში. ამავე დროს, პოლარული წრის ჩრდილოეთ ნაწილში, გზები მთელი ზამთრის განმავლობაში დაფარულია თოვლით და ამიტომ ინარჩუნებენ შედარებით მუდმივ ტემპერატურას;

- დაბალი ტემპერატურების ზემოქმედება და მის შედეგად გაყინვა-გაღებების განმეორებითი ციკლები იწვევს გზების ზედაპირის სერიოზულ დაზიანებებს;
- დასახივების შედეგად გზის ზედაპირზე მოხვედრილი ულტრაიისფერი სხივები იწვევენ ბიტუმის ჟანგვას, რის შედეგადაც ის ხდება მყიფე. ეს პროცესი ცნობილია როგორც დაბერება.

საგზაო სამოსის ყველაზე დიდი მტერია წყალი. წყლით გაჯერება იწვევს სამოსის მასალის დარბილებას, ასევე ასრულებს შემზეთ როლს მის მარცვლებს შორის, მათზე დატვირთვის ზემოქმედებისას. მშრალი მასალის მზიდი უნარი ყოველთვის უფრო მეტია, ვიდრე ტენიანისა და მას, რამდენადაც მეტად შემკვრელი (ან უფრო თიხოვანი) სტრუქტურა გააჩნია, მით უფრო მგრძობიარეა ნესტის მიმართ. შესაბამისად, ძალიან მნიშვნელოვანია საფუძველში წყლის შეღწევის არიდება, განსაკუთრებით, მის ქვედა ფენებში განთავსებულ უფრო დაბალი ხარისხის მასალებში.

**– მოძრავი შემადგენლობიდან გადაცემული დატვირთვები**

გზები შენდება, რათა მათზე იმოძრაონ სატრანსპორტო საშუალებებმა. ამ სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობა და სახეობა, რომლებიც უნდა გადაადგილდნენ დაგეგმილ გზაზე, განსაზღვრავენ მოთხოვნებს მისი საგზაო სამოსის გეომეტრიისა და კონსტრუქციის მიმართ. საწყის ეტაპზე, სატრანსპორტო ნაკადების მოსალოდნელი მოცულობების შესაფასებლად აგროვებენ სტატისტიკურ მონაცემებს, როგორცაა სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობა, შემადგენლობა და ზომები, რათა განისაზღვროს მოთხოვნები გზის გეომეტრიული მახასიათებლების მიმართ, ანუ, მისი ტრასის, მოძრაობის ზოლების რაოდენობასა და ა.შ. მიმართ. შემდგომ ეტაპზე პროგნოზირებენ მოძრაობის ინტენსიობას, ნაკადის შემადგენლობას, ღერძებზე დატვირთვას, რათა მოახდინონ ძირითადი სტრუქტურული მოთხოვნების ფორმულირება. ამიტომ, უდიდესი მნიშვნელობა აქვს სატრანსპორტო ნაკადების ზუსტ პროგნოზს მომავალ გზაზე.

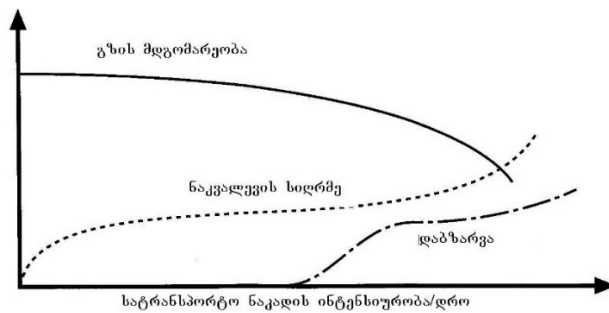
გზის დასაპროექტებლად მნიშვნელოვანია ყველა მახასიათებელი, რომელიც იძლევა მის ზედაპირზე დატვირთვების სიდიდის და სიხშირის შეფასების საშუალებას, რომლებიც მოსალოდნელია საგზაო სამოსის პროგნოზირებადი მომსახურების ვადის განმავლობაში. საბურავის მიერ გზაზე გადაცემული დატვირთვა, სამი ფაქტორით განისაზღვრება:

- ძალა, რომელიც ფაქტიურად მოქმედებს საბურავზე;
- წნევა საბურავში განსაზღვრავს მისი გზასთან კონტაქტის ფართობს, ანუ ფართობს, რომელზეც დატვირთვა ავტომობილიდან გადაეცემა გზას, ასევე
- მოძრაობის სიჩქარე, რომელიც განსაზღვრავს ზედაპირზე დატვირთვის გაზრდა-შემცირების სიხშირეს.

წნევა მსუბუქი მანქანების საბურავებში ტოლია როგორც წესი, 180-დან 250-მდე კილოპასკალის; დატვირთვა შეადგენს 3,5 კნ-ზე ნაკლებს საბურავზე, ან 7 კნ-ს ღერძზე. ეს დატვირთვა უმნიშვნელოა დიდი სატვირთო ავტომობილების მხრიდან დატვირთვისთან შედარებით, რომლებიც გამოიყენება მძიმე ტვირთების გადასატანად. აქ, ღერძზე დატვირთვა, საბურავებში 500-დან 900 კგ-მდე წნევისას შეადგენს 80-დან 130 კნ-მდე. ნათელია, რომ სწორედ ასეთი მძიმე სატრანსპორტო საშუალებებისგან დატვირთვის ექნება ყველაზე დიდი გავლენა საგზაო სამოსის სიმტკიცეზე.

საგზაო სამოსის ხარისხი უარესდება მთელი რიგი მიზეზების გამო, რომელთაგანაც ყველაზე მნიშვნელოვანია გარემოს ზემოქმედება და გზაზე ავტომობილებისგან გადაცემული დატვირთვა. ეს გაუარესება ჩვეულებრივ ფასდება ირიბად, გზის მდგომარეობის შეფასების მეთოდით, თუმცა გათვალისწინებულია ხილული ნიშნებიც, ისეთები, როგორცაა ღრმა ნაკვალევები და ზედაპირული ბზარები. ნახ.3-ზე ნაჩვენებია, როგორ იცვლება ეს სამი ფაქტორი დროში და დატვირთვის მიხედვით, რომელსაც განიცდის გზა სატრანსპორტო საშუალებებისგან. საგზაო სამოსის ასეთი

თანდათანობითი გაუარესება გამოწვეულია, მასზე გარემოს და სატრანსპორტო საშუალებების ერთობლივი ზემოქმედებით.



ნახაზი 3. გზის მდგომარეობის გაუარესების მაჩვენებლები

სატრანსპორტო საშუალებებიდან გზაზე დატვირთვა ვლინდება ნაკვალევების და ბზარების სახით, რაც ახდენს საფუძვლის დეფორმაციას და ხდება მისი მდგომარეობის გაუარესება. [38]

ეს გაუარესება გამოწვეულია საფუძვლის ფარგლებში მოქმედი ორი სხვადასხვა მექანიზმით, კერძოდ:

- განმეორებადი დატვირთვების ზემოქმედებით გამოწვეული გამკვრივებით განპირობებული უწყვეტი დეფორმაციის შედეგად, საგზაო სამოსის მასალის ცალკეული მარცვლები გადაადგილდებიან ერთმანეთთან უფრო ახლოს, რაც საბოლოო ჯამში მთავრდება მასში ფორიანობის შემცირებით. არაბმულ მასალაში სიცარიელების ასეთი აღმოფხვრა იწვევს სიმტკიცის გაზრდას (ვინაიდან უფრო მკვრივ მასალებს მეტი სიმტკიცე გააჩნიათ), მაგრამ ასფალტბეტონში ეს იწვევს უკუ ეფექტს. სიცარიელების წილის შემცირება აქ წარმოადგენს არა მარტო ტალღების და ნაკვალევის წარმოქმნის მიზეზს, არამედ განაპირობებს იმას, რომ ბიტუმი იწყებს სითხესავით მოქცევას, და ამგვარად წარმოშობს ბორბლების დატვირთვის ზემოქმედებით ჰიდრავლიკური ზეწოლის წარმომქმნელ სივრცეს. შედეგად მასალა გამოიწურება გვერდული მიმართულებით ან ინგრევა ნაპირების გასწვრივ და ქმნის ტალღებს.

- დადლილობის ბზარები ბმულ მასალაში წარმოიშობა ფენის ქვედა ნაწილში, რომელიც მაქსიმალურადაა დაჭიმული გზაზე სატრანსპორტო საშუალებების გავლისას და შემდეგ ვრცელდება ზედაპირისკენ. ქვევით განლაგებული მასალის ნარჩენი დეფორმაცია აძლიერებს ამ მოვლენას, ზრდის რა მნიშვნელოვანწილად დეფორმაციას ბორბლების დატვირთვის ზემოქმედებით.

საგზაო საფარზე გაჩენილი ბზარებიდან ხორციელდება კონსტრუქციაში წყლის შეღწევა.



ნახაზი 4. საფარის ტიპიური დაზიანებები „სატუმბო“ ეფექტის შედეგად

როგორც კი წყლით გაჯერებული მასალა განიცდის დატვირთვას, წყალი დამანგრეველ ფაქტორად იქცევა. ის გარდაქმნის ბორბლების ვერტიკალურ დატვირთვებს წნევაში, რაც იწვევს არაბმული მასალის სტრუქტურის სწრაფ ეროზიას. გარდა ამისა, წყალი იწვევს ასფალტბეტონში ბიტუმის განშრეველას ქვის მასალისგან. ასეთ პირობებში ფენის მასალის პატარა ფრაქციები გამოიწნიხება ზევით ბზარის მეშვეობით (ე.წ. „ტუმბო“-ს ეფექტი), წარმოქმნის რა სიცარიელებს საგზაო სამოსის სხეულში, შემდეგ წარმოიქმნება ნაპრალები და მოკლე დროში საგზაო სამოსის მდგომარეობა უარესდება. [38]

როდესაც ტემპერატურა 4°C-ზე ქვევით ეცემა, საგზაო სამოსში მთელი თავისუფალი წყალი გაყინვის შედეგად ფართოვდება, ქმნის ჰიდრავლიკურ წნევას, ბორბლების მხრიდან დატვირთვის არ არსებობის შემთხვევაშიც კი.

გაყინვა/გაღობის განმეორებითი ციკლებით გამოწვეული ყინვის ზემოქმედება ყველაზე არასასიამოვნოა დაბზარული საგზაო სამოსისთვის და უცილობლად მისი რღვევით მთავრდება.

უდაბნო რაიონებისთვის დამახასიათებელ მშრალ ატმოსფეროში, საფარში ბზარები იწვევს სხვადასხვა ტიპის პრობლემებს. დამე, როდესაც ტემპერატურა შედარებით დაბალია (ხშირად ნულ გრადუსზე დაბლა), ზედაპირი იკუმშება. ამის შედეგად ბზარები ფართოვდება, ისინი - მათი გაფართოვების შემდეგ - ქარის მეშვეობით ქვიშით ივსება. ტემპერატურის მომატებისას, დღისით, ქვიშა აფერხებს ბზარების დაფარვას, რაც იწვევს ბზარის ნაპირებზე, ლოკალიზებული დიდი ჰორიზონტალური ძალების წარმოქმნას. ამ ძალებმა, საბოლოო ჯამში, შეიძლება გამოიწვიოს ბოლო ფენის ამობურცვა, რომელიც ამოდის უფრო ქვევით დაგებულ ფენებზე და მნიშვნელოვნად აუარესებს გზის მდგომარეობას.

ზედაპირის დახეთქვის კიდევ ერთ მიზეზს, განსაკუთრებით ასფალტბეტონის, თხელი ფენების ზედაპირისა, წარმოადგენს გზაზე მოძრავი ავტომობილები. მუდმივად ცვლადი დატვირთვა ტრანსპორტის ზემოქმედებისას, ამცირებს ბიტუმის მომსახურების ვადას. მისი ჟანგვა და შემდგომი გახისტება იწვევს ზედაპირზე დაწყებული თერმული ბზარების წარმოქმნას. ბიტუმში, რომელიც მუდმივად განიცდის დატვირთვას, ვითარდება საკმაოდ დიდი ძაბვა, რომელიც ადიდება ამ ბზარებს.

## **1.2. საგზაო სამოსზე გაჩენილი დეფექტები და მათი აღმოფხვრის საშუალებები**

გზების მოვლა-შენახვითი სამუშაოები ჩვეულებრივ შემოიფარგლება მისი საფუძველიდან წყლის ამოღებითა და მისგან წყლის არინებით. ეს ითვალისწინებს საფარის ჰერმეტიულობის შენარჩუნებას და სადრენაჟო სისტემის მუშაობის ეფექტურობას, რომელიც გამორიცხავს წყლის დაგროვებას გზის ნაპირზე.

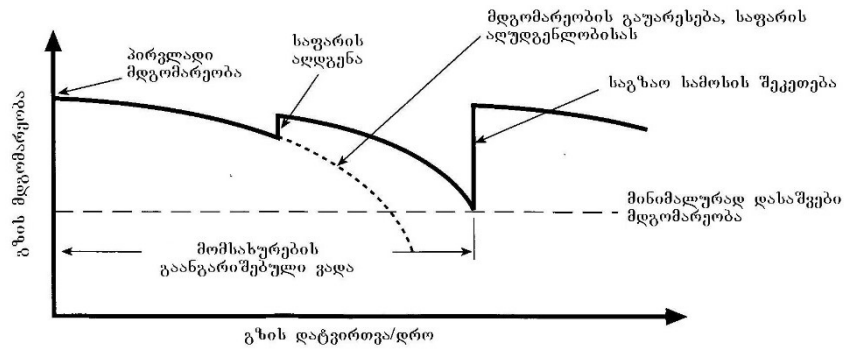
წყალი, როგორც წესი, საფუძველის ზედა ნაწილში აღწევს საფარში არსებული ბზარებიდან, რასაც ხშირად ხელს უწყობს ზედაპირზე წყლის დაგუბება. ამიტომ აუცილებელია ბზარების გაჩენისთანავე მათი დაუყოვნებლივი დაგმანვა, ხოლო გზისპირები უნდა გაიწმინდოს და გასწორდეს წყლის ჩამოდინების გასაადვილებლად. ბზარების თავის დროზე გამოვლენისას, დაბერების მოვლენებთან ეფექტური ბრძოლა შეიძლება ზედაპირზე ბიტუმის ემულსიით განზავებული თხელი ფენის დასხმით. უფრო სერიოზული დაზიანებები საჭიროებენ ღორღით შეკეთებას, თუ ტრანსპორტის ნაკადი გზაზე არ არის დიდი, ან არადა, როგორც ჩვეულებრივ, ზევიდან ხდება ცხელი ასფალტბეტონის თხელი ფენის დაგება.

ასფალტბეტონის საფარის მშენებლობის და ექსპლუატაციის მრავალწლიანი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სარემონტო სამუშაოების ჩატარების დროს დაზიანებულ ფენაზე ასფალტბეტონის და სხვა ბიტუმ-მინერალური მასალის ახალი ფენების დამატება მოძველდა და ითხოვს მოდერნიზაციას. შესაბამისად აუცილებელია დაზიანებული ფენების მოხსნა საგზაო საფარიდან. რამდენადაც ასფალტბეტონის ნარევი ექვემდებარება გადამუშავებას, ერთ - ერთ მთავარ მიმართულებად უნდა ჩაითვალოს ძველი ასფალტბეტონისა და სხვა ბიტუმ-მინერალური მასალების მეორადი გამოყენება. [12]

საგზაო სამოსის მდგომარეობის გაუარესება - ჩვეულებრივ შედარებით ნელი პროცესია. მისი ნიშნები, შეიძლება გამოყენებული იყოს გაუარესების სიჩქარის შესაფასებლად. საგზაო სამსახურები ხშირად გამოიყენებენ მონაცემთა ბაზებს, რომელიც იძლევა ყველა გზის საექსპლუატაციო მახასიათებლების უწყვეტი კონტროლის საშუალებას საგზაო ქსელის ფარგლებში და ყურადღების გამახვილების საშუალებას იმათზე, რომლებიც მას ყველაზე მეტად საჭიროებენ. მე-5 ნახაზზე წარმოდგენილია ტიპური გრაფიკი, რომელიც ასახავს დროული მომსახურეობისა და გზის შეკეთების ეფექტურობას. ეს გრაფიკი აჩვენებს რამდენად მნიშვნელოვანია გზის



დროული შენახვა მისი საექსპლუატაციო მაჩვენებლების რაც შეიძლება მაღალ დონეზე შესანარჩუნებლად. გზის ხარისხის დაქვეითების შესაბამისად, შესაკეთებელი სამუშაოების მოცულობა იზრდება, რაც აძვირებს მათზე დანახარჯებს.



ნახაზი 5. გზის გეგმიური მომსახურებისა და შეკეთების გრაფიკი მისი ხარისხის კონტროლის შედეგების მიხედვით

გადაწყვეტილება თუ რა ზომებია მისაღები დაზიანებების აღმოსაფხვრელად საგზაო სამოსის გაუმჯობესების მიზნით, ან მხოლოდ მისი მოცემული საექსპლუატაციო ხარისხის შესანარჩუნებლად, ხშირად დამოკიდებულია ბიუჯეტის შესაძლებლობებზე. მოკლევადიანი კაპიტალდაბანდებები შეიძლება ძალიან ეფექტური იყოს. საგზაო სამოსის შეკეთება ხშირად გადაიდება ხოლმე მისი, გზის რეკონსტრუქციასთან გასაერთიანებლად, მისი გეომეტრიის ცვლილების მიზნით, მოძრაობის დამატებითი ზოლების მოსაწყობად და ა.შ. თითოეული ასეთი გადაწყვეტილება შესაკეთებელ სამუშაოებთან დაკავშირებით უნდა მიიღებოდეს, მთლიანობაში საგზაო ქსელის მდგომარეობისგან დამოუკიდებლად. მაგრამ უმოქმედობა და საგზაო სამოსის კიდევ უფრო გაუარესების დაშვება - ყველაზე ცუდი გადაწყვეტილებაა, ვინაიდან გაუარესება დროთა განმავლობაში უფრო მზარდი ტემპით ვითარდება.

ჩვეულებრივ, განიხილება დაზიანებული გზის შეკეთების რიგი ვარიანტები, და ხშირად ძნელია განსაზღვრა, რომელია უკეთესი. თუმცა, ორი მნიშვნელოვანი კითხვაა საჭირო იმის განსაზღვრავად, თუ რომელია ოპტიმალური ვარიანტი გზის მომსახურების მთელ ვადაში. ეს კითხვებია:

- ფაქტიურად რა ხარვეზებია არსებულ საგზაო სამოსში?

ზედაპირის გამოკვლევები, რომელსაც მოიცავს გზის მდგომარეობის ვიზუალური შეფასება ზოგიერთ ძირითად ტესტებთან კომბინაციაში (მაგალითად, დეფორმაციის გაზომვა), ჩვეულებრივ საკმარისია რღვევის მიზეზების დასადგენად. აუცილებელია იმის დადგენა, დაზიანებულია მხოლოდ საფარი, თუ დაზიანებულია საგზაო სამოსის საფუძველიც.

- რა უნდა გზის მფლობელს?

იგეგმება თუ არა მაგალითად, გზის ექსპლუატაციის 15 წლიანი საანგარიშო ვადა თუ გათვალისწინებულია ნაკლები კაპიტალდანახარჯები, მხოლოდ გაუარესების არსებული სიჩქარის შესანარჩუნებლად და საგზაო სამოსის საჭირო მდგომარეობის შენარჩუნება, მხოლოდ მომდევნო ხუთი წლის განმავლობაში?

პასუხები ამ ორ კითხვაზე გვაძლევენ შეკეთების მეთოდის იმ ვარიანტის არჩევანს, რომელიც იქნება რენტაბელური, მისი მიზნის და ვადების მხრივ შეზღუდვების გათვალისწინებით. გარდა ამისა, თუ მიზანს გამოვყოფთ დროის ჩარჩოებისგან (ანუ, გზა მომსახურეობის რა ვადაზე გაითვლება მისი შეკეთების შემდეგ) და დაზიანებებს ორ კატეგორიად დავყოფთ (ზედაპირის თუ საგზაო სამოსის საფუძველის დაზიანებები), მაშინ საუკეთესო ვარიანტის არჩევა გაადვილდება.

კიდევ ერთ მნიშვნელოვან ასპექტს, წარმოადგენს შეკეთების ცალკეული მეთოდების პრაქტიკული შესრულება. საგზაო მოძრაობის რეგულირებამ, ამინდის პირობებმა და რესურსების არსებობამ შეიძლება მნიშვნელოვნად იმოქმედონ პროექტის რეალიზაციაზე და ზოგჯერ თავიდანვე გამორიცხონ ზოგიერთი ვარიანტები.

ამ ღონისძიებას გააჩნია ერთადერთი მიზანი: კონკრეტული პრობლემის ყველაზე რენტაბელური გადაწყვეტილების დადგენა პროექტის მოთხოვნების ფარგლებში.

ზედაპირის შეკეთება შემოიფარგლება ასფალტბეტონის საფარით, როგორც წესი, 5-10სმ-ის სიღრმეზე. დაზიანებები აქ ჩვეულებრივ

დაკავშირებულია ბიტუმის დაბერებასა და დახეთქვასთან, რომელიც იწყება ზედაპირიდან თერმული წარმომავლობის ძალების ზემოქმედებით.

ყველაზე ხშირად ზედაპირის შეკეთება შემდეგში მდგომარეობს:

- დაზიანებულ ზედაპირზე ცხელი ასფალტბეტონის თხელი ფენის დაგება (4-5სმ-ის სისქის). ეს ზედაპირის აღდგენის ყველაზე მარტივი მეთოდია, თუ საჭიროა სამუშაოების რაც შეიძლება სწრაფად დამთავრება და გზის მომხმარებლებისთვის უხერხულობის მინიმუმადე დაყვანა. ასფალტბეტონის მოსამზადებლად ხშირად გამოიყენება მოდიფიცირებული შემკვრელები, რათა გაიზარდოს ახალი ზედაპირის მომსახურების ვადა. თუმცა, საცვეთი ფენის განმეორებითმა დაგებამ, არსებულის გარდა შეიძლება გაზარდოს გზის ნიშნული შედეგად, შეიძლება წარმოიშვას დრენაჟის და მოსაზღვრე გზებთან შეერთების პრობლემები.
- ფრეზვა და შეცვლა. ეს მეთოდი ითვალისწინებს დახეთქილი ასფალტბეტონის ფენის მოშორებასა და მისი ახალი ცხელი ნარევის ფენით შეცვლას, ხშირად მოდიფიცირებული შემკვრელით. თანამედროვე საგზაო ფრეზების მაღალი მწარმოებლურობის გამო, ეს მეთოდი მოითხოვს შედარებით ნაკლებ დროს სამუშაოების შესასრულებლად. გარდა ამისა, გზის საფარის რღვევები სცილდება ასფალტბეტონის ფენასთან ერთად.
- რეციკლირება არსებული ასფალტბეტონის საფარის თხელი ფენით (თუ ასფალტბეტონის ფენის სისქე საკმაოდ მაღალია). ასეთი რეციკლირება ხორციელდება არსებული საგზაო სამოსის მასალისგან ახალი ცხელი ნარევის მომზადებით (Remix-ის მეთოდი). გარდა ამისა, ასფალტბეტონის თვისებები შეიძლება მიზანმიმართულად შეიცვალოს, ახალი მასალის და/ან ახალი შემკვრელის დამატებით.

რეკონსტრუქცია, რომლის მიზანს წარმოადგენს საგზაო სამოსის კონსტრუქციის გაუმჯობესება, როგორც წესი, განიხილება, გრძელვადიან გადაწყვეტილებად. მისი პრობლემების აღმოფხვრისას საჭიროა

გვახსოვდეს, რომ საუბარია დაზიანებული საგზაო სამოსის შეკეთებაზე და იშვიათად, მისი მასალის შეცვლაზე. არსებული საგზაო სამოსის აღდგენა მისი გამაგრების გზით, მაგალითად, არსებული ხრეშიანი გზის გამაგრება ასფალტბეტონის ფენების მიმართ მოქმედ სტანდარტებამდე, შეიძლება განიხილებოდეს როგორც შეკეთება. [21]

გაუმაგრებელი მასალის შემდგომი გამკვრივება ფაქტიურად წარმოადგენს მის გაუმჯობესებას, რამეთუ, რაც უფრო მაღალია მასალის სიმკვრივე, მით უკეთესია მისი სიმტკიცის მაჩასიათებლები. თუმცა, ამ გამკვრივების შედეგები ქმნიან პრობლემებს ზევიდან დაგებული ფენებისათვის, განსაკუთრებით თუ ისინი მოწყობილია შემკვრელი მასალისგან.

როგორც წესი, არსებული საგზაო სამოსის აღდგენის ამოცანას უნდა წარმოადგენდეს მისი სამომხმარებლო თვისებების მაქსიმალური შენარჩუნება. ეს მოითხოვს, რომ მასალა, რომელიც ინარჩუნებს თავის საკმარის სიმკვრივეს, არ უნდა დაირღვეს. ასეთი მდგომარეობა მიიღწევა მისი, სატრანსპორტო საშუალებებით უწყვეტი ზემოქმედებით მრავალი წლის განმავლობაში. ამიტომ ასეთი მაღალი გამკვრივების უპირატესობა ყოველთვის უნდა იყოს გამოყენებული, როცა კი ეს შესაძლებელია.

ქვემოთ ჩამოთვლილია საგზაო სამოსის აღდგენის ყველაზე ფართოდ გამოყენებადი მეთოდები:

- სრული რეკონსტრუქცია. ხშირად საუკეთესო ვარიანტია. შეკეთება ერთიანდება გზის ტრასის მნიშვნელოვანი ცვლილებებისთვის საჭირო რეკონსტრუქციასთან. არებითად, რეკონსტრუქცია ითვალისწინებს არსებული გზის შეცვლას და მის ხელახალ აშენებას. იქ, სადაც დიდი სატრანსპორტო ნაკადებია, ხანდახან უფრო მიზანშეწონილია ახალი გზის მშენებლობა ცალკეულ ტრასაზე, ამგვარად ხდება ძველ გზაზე მოძრაობის შეწყვეტასთან დაკავშირებული პრობლემების არიდება.

- არსებულ ზედაპირზე დამატებითი ფენების დაგება (არაბმული მასალისგან ან ასფალტბეტონისგან). ზევიდან დაგებული ასფალტბეტონის სქელი ფენები ხშირად წარმოადგენს, მოძრაობის დიდი ინტენსიურობის მქონე გზების საგზაო სამოსის პრობლემების ყველაზე მარტივ გადაჭრას. თუმცა, გზის სიმაღლის გაზრდა, ხშირად იწვევს დრენაჟისა და გზების სხვა მონაკვეთებთან შეერთების პრობლემებს.
- რეციკლირება დაზიანებული საგზაო სამოსის მთელ სიღრმეზე, ეწყობა ახალი სქელი ჰომოგენური ფენა, რომლის სიმტკიცე შეიძლება გაიზარდოს შემკვრელების დამატებით. დამატებითი ფენების დაგება რეციკლირებული ფენის ზევიდან შეიძლება იქ, სადაც საჭიროა საგზაო სამოსის მნიშვნელოვანი რეკონსტრუქცია. რეციკლირების შედეგად მიღებულ მასალას ჩვეულებრივ ემატება შემკვრელი, განსაკუთრებით იქ, სადაც არსებული საგზაო სამოსის მასალა დაბალი ხარისხისაა და საჭიროებს გამაგრებებს. რეციკლირების ამოცანას წარმოადგენს, არსებული გზის მასალის მაქსიმალური გამოყენება. გარდა იმისა, რომ არსებული საგზაო სამოსის ზედა ფენების მასალა კვლავ გამოიყენება, ქვედა ანუ არარეციკლირებული მასალა რჩება დაუზიანებელი.
- რეციკლირების ორივე მეთოდის კომბინაცია: „ადგილზე“, როდესაც არსებული საგზაო სამოსის მასალა გამოიყენება აქვე ახალი ნარევის მოსამზადებლად და მაშინვე დაიგება, და „ქარხანაში“, როდესაც ხდება ამ მასალის გატანა ასფალტბეტონის ქარხანაში და შემდეგ ახალი ნარევის სახით უკან მოაქვთ და აგებენ. ეს იძლევა არსებული საგზაო სამოსის დიდ სიღრმეზე გადამუშავების საშუალებას. ამასთანავე, ჯერ საჭიროა საგზაო სამოსის ზედა ნაწილის მოცილება და მისი შუალედური შენახვა. ამის შემდეგ ხდება ქვედა ნაწილის „ადგილზე“ რეციკლირება (სტაბილიზირება). შეუალედურ შენახვაზე გადადებული მასალა გადამუშავდება ასფალტბეტონის

ქარხანაში, რის შემდგომაც, მის საფუძველზე მომზადებული ნარევი დაიგება უკვე რეციკლირებულ ფენაზე. ამით ძლიერდება საგზაო სამოსის სიმტკიცე ზედაპირის საბოლოო სიმაღლის შესამჩნევი ცვლილების გარეშე. ალტერნატიულად, ზედა ნაწილის ფრეზირებული მასალა შეიძლება განაწილდეს განახლებულ ქვედა ნაწილზე და შესრულდეს მისი რეციკლირება ასევე ადგილზე.

საგზაო სამოსის აღდგენის რამდენიმე ვარიანტის ანალიზის მიზანს წარმოადგენს ის, რომ მოხდეს მათგან ღირებულების მიხედვით ოპტიმალურის გამოყოფა. ქვემოთ მოცემული აღწერილობის მიზანია მოგვცეს საკმარისი ინფორმაცია ამ ვარიანტებში რეციკლირების გამოყენებაზე.

რეციკლირების სიღრმე და სტაბილიზაციის სახეობა განისაზღვრება საგზაო სამოსის მომსახურების საანგარიშო ვადაზე პროგნოზირებადი საგზაო მოძრაობის თავისებურებების, ასევე არსებული საგზაო სამოსის მასალებისა და მის ქვეშ მიწის ვაკისის სიმტკიცის მიხედვით.

მე-6 ნახაზზე წარმოდგენილია საგზაო სამოსის კონსტრუქციები, რომლებიც წარმოადგენენ ტიპურ გადაწყვეტას რეციკლირების მეთოდით აღდგენისას. ისინი კლასიფიცირებულია საგზაო მოძრაობის ინტენსიურობის ოთხი კლასის მიხედვით - <0,3-დან 10მლნ ESAL-მდე 80კნ დატვირთვისას თითოეული სატრანსპორტო საშუალების ღერძის მხრიდან. ამასთანავე მოცემულია ვარიანტები, როგორც ცემენტით, ასევე ბიტუმით სტაბილიზაციისთვის. ამ ვარიანტებისთვის წარმოდგენილია არსებული საგზაო სამოსის, ტიპური ფენებისგან შემდგარი სამი სახეობა, კერძოდ:

-კონსტრუქციები, რომლებიც ხასიათდება სქელი (პლიუს 10სმ) ასფალტბეტონის საფუძველით, რომელიც დევს გაუმაგრებელ კარგი ხარისხის ქვეშსაგებზე, როგორც წესი, მოწყობილი ღორღისგან CBR>80% მნიშვნელობით;

- კონსტრუქციები, რომლებიც შეიცავს, როგორც წესი, ასფალტბეტონის ფენას (პლიუს ბოლო ფენა) სისქით არაუმცირესი 10სმ, რომელიც თავის

მხრივ, დევს საფუძველის კარგი ხარისხის გაუმაგრებელ ქვედა ფენაზე, უფრო ხშირად, მოწყობილი ღორღისგან  $CBR > 80\%$  მნიშვნელობით;

- კონსტრუქციები, რომლებიც შეიცავს საფუძველის ფენებს სისქით 15სმ ბუნებრივი ხრეშისგან (გაუმაგრებელ გზებზე საცვეთი ფენა შესრულებულია ხრეშისგან), რომელიც დევს ქვედა 15 სმ-იან კარგი ხარისხის ქვეშსაგებზე. ჩვეულებრივ, ორივე ფენა მოწყობილია  $CBR > 45\%$ -იანი მასალისგან.

გათვალისწინებულია მიწის ვაკისის სამი განსხვავებული მზიდუნარიანობა (მითითებული  $CBR$  მნიშვნელობები წარმოადგენს მიღებულს, არსებული საგზაო სამოსის მასალის სიმკვრივისთვის):

- „კარგი“, როდესაც მიწის ვაკისის ზედა ფენა შედგება ბუნებრივი ხრეშისგან  $45\%$ -ზე მეტი  $CBR$  მნიშვნელობით;
- „საშუალო“, როდესაც მიწის ვაკისის ზედა ფენა შედგება ბუნებრივი ხრეშისგან დაახლოებით  $25\%$ -იანი  $CBR$  მნიშვნელობით;
- „ცუდი“, როდესაც მიწის ვაკისის ზედა ფენა შედგება გრუნტის მასალისგან მაქსიმუმ  $7\%$ -იანი  $CBR$  მნიშვნელობით.

ეს კლასიფიკაცია ძალიან განზოგადებულია. მასში მოყვანილი კლასები ასახავენ ძირითადად, საგზაო სამოსის შესაბამისი ელემენტის „საშუალო“ მზიდ უნარს, რომელიც დევს, რეციკლირებად ფენაზე სულ მცირე 1მ-ით ქვევით.

საგზაო სამოსის აქ ნაჩვენები ტიპური კონსტრუქციები წარმოდგენილია მხოლოდ, როგორც საგზაო სამოსის პროფესიული ანალიზის შედეგების მაგალითი და მოყვანილია მხოლოდ ილუსტრირებისათვის. ისინი შეეხება ძალიან კონკრეტულ შემთხვევებს, თუმცა შეიძლება გამოვიყენოთ რეციკლირების სიღრმის და რეციკლირებადი ფენის სისქის განსაზღვრისას. მათი მნიშვნელობები მოსალოდნელია საჭირო სტრუქტურული გამტარობის უნარისას ფენის სხვადასხვა მახასიათებლების გასათვალისწინებლად, რომელზეც დაიგება საგზაო სამოსი.

HMA: ცხელი ა/ზ ნარევი

(არსებული

საგზაო სამოსი)

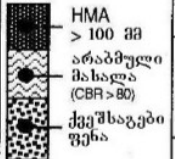
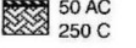
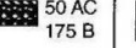
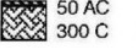
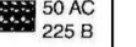
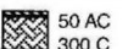
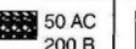
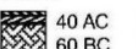
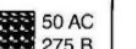
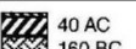
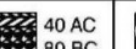
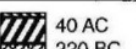
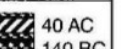


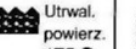
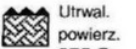
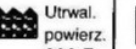
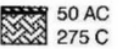
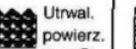
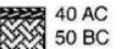
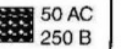
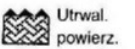
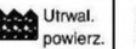
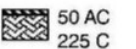
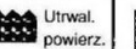
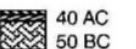
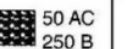
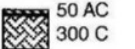
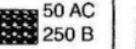
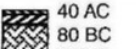
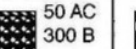
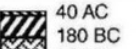
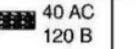

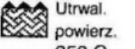
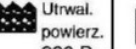
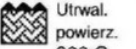
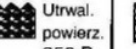
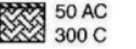
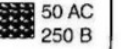
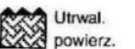
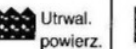
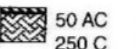
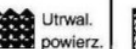
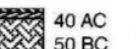
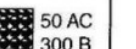
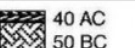
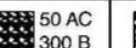
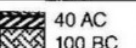
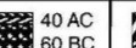
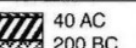
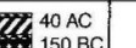
A:

BC:

C: სტაბილიზებული

ასფალტბეტონი ა/ზ საფუძვლის ფენა ცემენტი B: ბიტუმიტ სტაბილიზებული

ფენის სისქე, მმ

ტიპური საგზაო სამოსი რეციკლირებადუ	ქვეშაგები ფენის მხოლოდ უნარი (CBR)	მოსად. მოძრაობის ინტენსიურობა (x 10 <sup>6</sup> ESAL)	რეციკლირებული საგზაო სამოსი				
			< 0.3	0.3 - 1.0	1.0 - 5.0	5.0 - 10.0	
			გზები ხარხორებულ ზონებში და გზები მოძრაობის ნაკლები ინტენსიურობით	ხასოფლო-სამეურნეო გზები	მსხვილი ხასოფლო-სამეურნეო გზები	ავტომაგისტრალები და მსხვილი შიდასაკლავო გზები	
 <p>HMA &gt; 100 მმ არაბმული მასალა (CBR &gt; 80) ქვეშაგები ფენა</p>	> 45 %				 50 AC 250 C  50 AC 175 B	 50 AC 300 C  50 AC 225 B	
	± 25 %	ტიპური სიმტკიცე გატემისას, კაბა ბიტუმის (B) ცემენტის (C)	400 250			 50 AC 300 C  50 AC 200 B	 40 AC 60 BC 300 C  50 AC 275 B
	< 7 %	ტიპური სიმტკიცე კუმულისას, კაბა ცემენტის (C)	2000			 40 AC 160 BC 300 C  40 AC 80 BC 300 B	 40 AC 220 BC 300 C  40 AC 140 BC 300 B
 <p>HMA &lt; 100 მმ არაბმული მასალა (CBR &gt; 80) ქვეშაგები ფენა</p>	> 45 %		 225 C  175 B	 275 C  200 B	 275 C  275 B	 40 AC 50 BC 300 C  50 AC 250 B	
	± 25 %	ტიპური სიმტკიცე გატემისას, კაბა ბიტუმის (B) ცემენტის (C)	300 200	 250 C  200 B	 225 C  225 B	 40 AC 50 BC 250 C  50 AC 250 B	
	< 7 %	ტიპური სიმტკიცე კუმულისას, კაბა ცემენტის (C)	1500	 50 AC 300 C  50 AC 250 B	 40 AC 80 BC 300 C  50 AC 300 B	 40 AC 180 BC 300 C  40 AC 120 B	
 <p>ზედაპირული ფენა მხოლოდ ან მის გარეშე არაბმული მასალა (CBR &gt; 45) არაბმული მასალა (CBR &gt; 45) ქვეშაგები ფენა</p>	> 45 %		 250 C  200 B	 300 C  250 B	 50 AC 300 C  50 AC 250 B		
	± 25 %	ტიპური სიმტკიცე გატემისას, კაბა ბიტუმის (B) ცემენტის (C)	200 150	 300 C  225 B	 250 C  275 B	 40 AC 50 BC 300 C  50 AC 300 B	
	< 7 %	ტიპური სიმტკიცე კუმულისას, კაბა ცემენტის (C)	750	 40 AC 50 BC 300 C  50 AC 300 B	 40 AC 100 BC 300 C  40 AC 60 BC 300 B	 40 AC 200 BC 300 C  40 AC 150 BC 300 B	

ნახაზი 6. რეკომენდაციები საგზაო სამოსის კონსტრუქციის შერჩევისთვის რეციკლირებისას/სტაბილიზაციისას



აქაფებული ბიტუმით სტაბილიზირებული ასფალტბეტონი, ფრეზირების შემდეგ წარმოადგენს ცხელი ასფალტბეტონის საფუძველის ფენის მასალის ალტერნატივას. ანუ, მე-6 ნახაზზე ნაჩვენები საფუძველის ცხელი ასფალტბეტონის ნარევის ფენები შეიძლება შეიცვალოს აქაფებული ბიტუმით სტაბილიზირებული ასფალტბეტონის ფენებით. ამის შედეგად იხსნება ფრეზირების შემდეგ ასფალტბეტონის არასასურველი ნაყარის აუცილებლობა და იმავდროულად მცირდება დანახარჯები პროექტის შესრულებაზე, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევებში იზრდება კიდევ საბოლოო პროდუქციის ხარისხი.

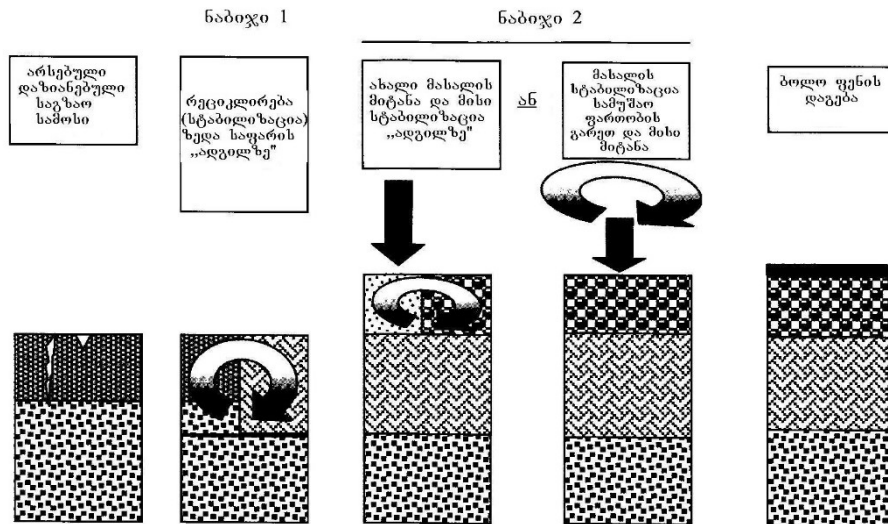
აქაფებული ბიტუმით დამუშავებულ ფრეზირებულ მასალას გააჩნია მსხვილმარცვლოვანი გაუმაგრებელი მასალის თვისებები. აქაფებული ბიტუმი ნაწილდება მასალაში, მაგრამ ეს - არ არის ასფალტბეტონი. ჩვეულებრივი ცხელი ასფალტბეტონის ნარევთან შედარებით, აქაფებული ბიტუმით დამუშავებულ მასალაში, ფრეზირების შემდეგ, არ ხდება ნაკვალევის წარმოქმნა, ვინაიდან, ღორღის მსგავსად, მისი ქცევა ფენაში დამოკიდებულია დატვირთვაზე და არა ტემპერატურაზე. თუ მძლავრი გამკვრივების ზემოქმედებით, მაგალითად, მძიმე ვიბროსაგორავებით, მიღწეული იქნება გამკვრივება, აქაფებული ბიტუმით დამუშავებულ ფრეზირებულ მასალას ექნება ცხელი ნარევის ასფალტბეტონთან შედარებით მაღალი ფორიანობა. ეს შედარებით მაღალი ფორიანობა არა მხოლოდ ამცირებს დენადობისკენ მიდრეკილებას, არამედ ამცირებს ასევე თერმული ძაბვის ზემოქმედებით ბზარების წარმოქმნას. როდესაც იყენებენ გაუმაგრებელ მასალას, აქაფებული ბიტუმით დამუშავებული ფრეზირებული მასალა ყოველთვის საჭიროებს საფარის საკმარის ფენას წყლის შეღწევის ასარიდებლად და გამავალი ტრანსპორტით ცვეთისგან დასაცავად. აქაფებული ბიტუმით დამუშავებული ფრეზირებული მასალა სრულად ინარჩუნებს თავისი სიმტკიცის მახასიათებლებს წყლით გაჟღენთილ მდგომარეობაში (ნარჩენი სიმტკიცე გაჭიმვისას უდრის ერთს ) და შეუძლია გააჩნდეს ისეთივე თვისებები, როგორც ჩვეულებრივი ცხელი

ნარევის მასალას. თუ აუცილებელია, ასეთი მასალის ნარჩენი სიმტკიცე შეიძლება გაიზარდოს, ცხელი ნარევის მოსამზადებლად განკუთვნილი ფრეზირებული მასალის დამსხვრეულ ქვიშასთან ერთად დამატებით, ან არსებული საგზაო სამოსის ზედაპირზე ქვიშის თანაბრად განაწილებით, მისი შემდგომი რეციკლირებით.

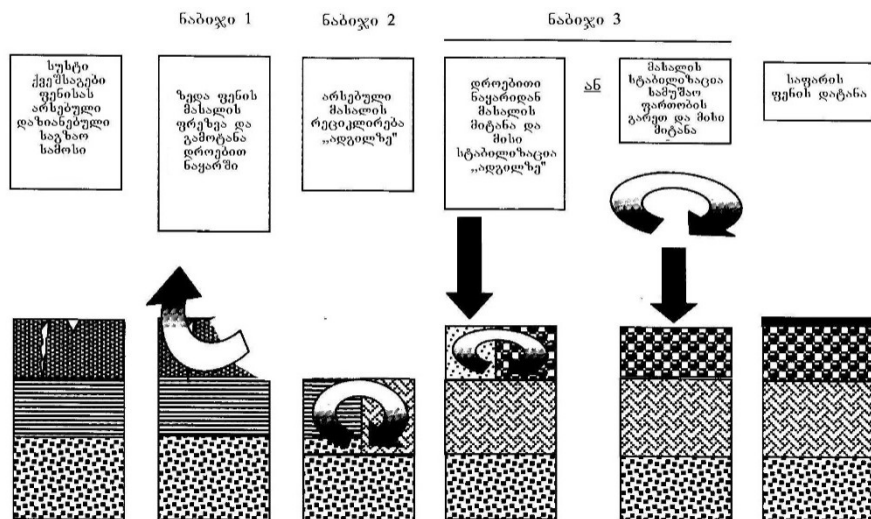
მე-6 ნახაზზე წარმოდგენილი საგზაო სამოსის საფუძველის მასალის შეცვლის მეთოდით, რომელთა მოსაწყობად გამოყენებული იყო ასფალტბეტონის ცხელი ნარევი, აქაფებული ბიტუმით ფრეზირებული მასალით, წარმოადგენს „ორფენიან“ რეციკლირებას. ამასთანავე, პირველი ფენის რეციკლირება ხდება „ადგილზე“, მეორეს დებულობენ ფრეზირებული მასალის რეგენერაციით, რომლის აღება შეიძლება უკვე არსებული ნაყარიდან ან შეიძლება მიღებული იყოს რეციკლირების წინ ფრეზირებით. არსებული საფარის ზედა ნაწილის წინასწარი ფრეზირების გამო, მომდევნო რეციკლირების სიღრმე შეიძლება იყოს მეტი, ვიდრე ეს შესაძლებელი იქნებოდა არსებული ზედაპირით რეციკლირების შემთხვევაში. ეს იძლევა სუსტი ქვეშაგები ფენის ან მიწის ვაკისის ზოგიერთი ფენების დამუშავების საშუალებას (ყველაზე ხშირად - ჰიდრავლიკური შემკვრელით რეციკლირებით), ზემოდან, წინასწარ მოცილებული მასალის შემდგომი დაგებით. ეს მეთოდი ფართოდ გამოიყენება იქ, სადაც ახლოს არ არის ზემოდან დასაგებად ვარგისი ქვის მასალა.

წინასწარ მოცილებული მასალა მაშინვე, კვლავ გამოიყენება და მუშავდება „ადგილზე“, ან ახალი დაგების წინ მუშავდება სამშენებლო მოედნის მიღმა. „ადგილზე“ დამუშავების შემთხვევაში ახალი (მოტანილი) მასალა უნდა იყოს ჯერ აკურატულად დადებული და გაფილტრული იმ წუთს რეციკლირებულ ქვეშაგებ ფენაზე (და წინასწარ გამკვრივებული) მისი შესაბამისი შემკვრელით სტაბილიზაციამდე. მეორე ფენის რეციკლირების სიღრმის კონტროლი ძალიან მნიშვნელოვანია, ვინაიდან არასტაბილურმა მასალამ ორივე რეციკლირებულ ფენას შორის შეიძლება

გამოიწვიოს ნაადრევი დაზიანებები. ამ მოვლენის ასარიდებლად, რეციკლირება ჩვეულებრივ სრულდება საფუძველის სისქეზე დაახლოებით 2,5 სმ-ით მეტ სიღრმეზე, რის შედეგადაც დოლი აღწევს ქვევით დადებულ ქვეშსაგებ ფენაში.



ვარიანტი 1: „ორფენიანი“ რეციკლირება მოტანილი მასალით



ვარიანტი 2: „ორფენიანი“ რეციკლირება არსებული მასალით

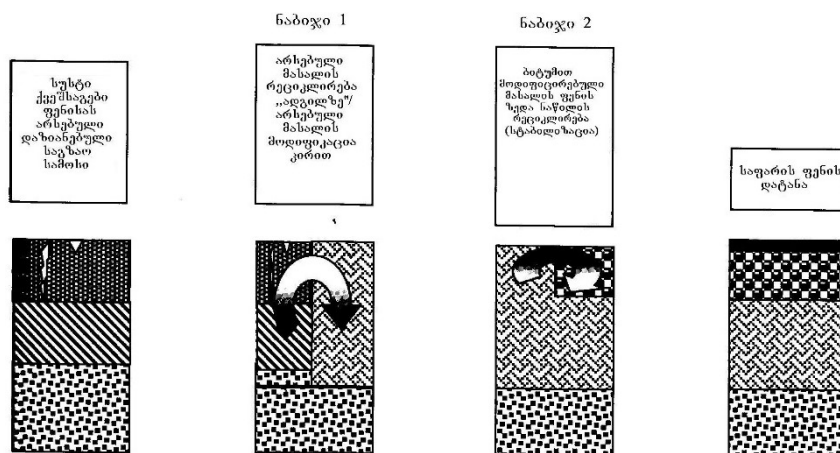
ნახაზი 7. „ორფენიანი“ რეციკლირების ვარიანტები

თუ მასალა მუშავდება სამშენებლო მოედნის მიღმა, მაშინ, სტაბილიზაციის შემდეგ ის დაეწყობა იმ წუთს რეციკლირებულ ქვეშსაგებ ფენაზე (გრეიდერის ან დამწყობის მიერ).

ნაკლებად დატვირთული გზების საგზაო სამოსის დაზიანების მიზეზი ხშირად არის ზედა ფენების ტენმგრძობიარობა. ეს მასალები ჩვეულებრივ ხასიათდება მაღალი პლასტიურობით, რომლის აღმოფხვრა შესაძლებელია ჩამქრალი კირით დამუშავებით (მოდიფიცირებით). ასეთი დამუშავება ჩვეულებრივ ხდება ქვეშაგები ფენის ქვედა ნაპირამდე რეციკლირებით (20-30სმ-ის სიღრმეზე) 2-4%-იანი კირის დამატებით. თუმცა ზოგჯერ ეს არ არის საკმარისი აღდგენისათვის აუცილებელი მტკიცე მახასიათებლების მისაღებად, ეს კი მოითხოვს დამატებითი ფენების მოწყობას ან მეორე დამუშავების ჩატარებას (უფრო წმინდა), როგორც წესი ახალი რეციკლირების სახით, ორგანული შემკვრელით. ასეთი ორმაგი რეციკლირება ცნობილია როგორც „ორფაზიანი“ და ჩვეულებრივ სრულდება შემდეგი თანამიმდევრობით:

- არსებული ზედა ფენის მასალის მოდიფიკაცია რეციკლირების გზით, საკმარისი რაოდენობის ჩამქრალი კირით მისი პლასტიურობის შესამცირებლად ან აღმოსაფხვრელად;
- 24 საათის განმავლობაში, ამ მოდიფიცირებული მასალის ფენის ზედა ნაწილის ახალის რეციკლირების შესრულება სიღრმეზე, რომელსაც განსაზღვრავს საგზაო სამოსის კონსტრუქცია, აქაფებული ბიტუმის ან ბიტუმის ემულსიის დამატებით.

მე-8 ნახაზი განმარტავს ორფაზიანი რეციკლირების პროცესს.



ნახაზი 8. ორფაზიანი რეციკლირების მაგალითი

### 1.3. არახისტი საგზაო საფარის რეციკლირების მეთოდები და მათი გამოყენების გამოცდილება

არახისტი საგზაო საფარის რეციკლირება როგორც რეაბილიტაციის ერთ-ერთი თანამედროვე მეთოდი, მოიცავს ექსპლუატაციაში მყოფ ასფალტბეტონის კომპონენტების ხელახალ გადამუშავებას, მათი სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მახასიათებლების ამადლების თვალსაზრისით. ეს ტექნოლოგია ითვალისწინებს ახალი მასალების მაქსიმალურ ეკონომიას ძველი ასფალტბეტონის გამოყენების ხარჯზე. იგი ხორციელდება ორი - ცხელი და ცივი მეთოდით. [19]

ახალი გზის მშენებლობასთან შედარებით, როდესაც მრავალი სამუშაო ოპერაცია ტარდება ერთდროულად დიდი განფენილობის უბნებზე, რეციკლირების დროს, სამუშაო ოპერაციები კონცენტრირდება ერთ კონკრეტულ ადგილზე. ეს სამუშაოები განაწილებულია ხაზოვნად და მათი დასრულების შემდეგ რჩება მზა „პროდუქტი“, რომელიც მხოლოდ საფარის დაგებას საჭიროებს. Wirtgen-ის ფირმის რეციკლირების მანქანებს დიდი პოტენციური შესაძლებლობები გააჩნიათ. თუმცა, დაგეგმვისას იღებენ მანქანას დღიური მწარმოებლურობით 5000მ<sup>2</sup>. ჩვეულებრივ შესაძლებელია დღეში, ორ ზოლიანი 1კმ სიგრძის საგზაო სამოსის (დაახლოებით 10000 მ<sup>2</sup>) სრული რეციკლირების ჩატარება ერთი რესაიკლერით. რეციკლირების მთავარ მიზანს წარმოადგენს ახალი საგზაო სამოსის მოწყობა. საგზაო სამოსის მახასიათებლები მისი აღდგენის შემდეგ, დამოკიდებულია სამუშაოების შესრულების ხარისხზე და ფენის სისქეზე. მაქსიმალური წარმატების მისაღწევად, სამუშაოები რეციკლირების პროცესში საგულდაგულოდ უნდა დაიგეგმოს, რათა დაგეგმილ ვადებში აშენებული გზა პასუხობდეს ყველა მის მიმართ წაყენებულ მოთხოვნას. ამიტომ:

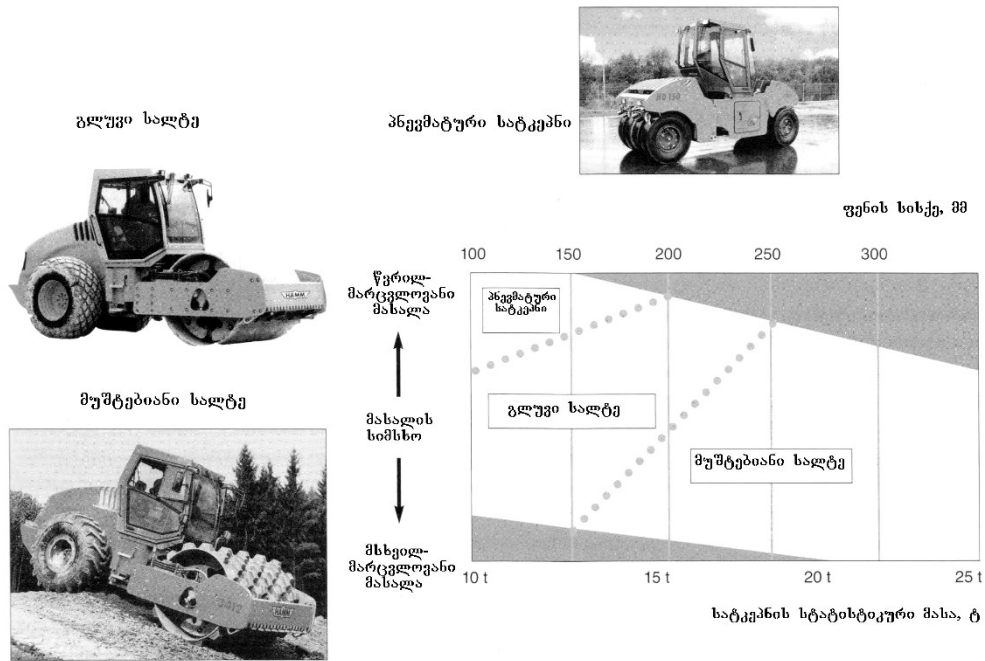
- ყველა ასპექტი, რომელიც ეხება სამუშაოს თავისებურებებს, დეტალურად უნდა იყოს გაანალიზებული და დაგეგმილი;

- დაბრკოლებები, რომლებმაც შეიძლება ხელი შეუშალოს რეციკლირების შესრულებას, თავის დროზე უნდა იყოს გამოვლენილი და აღმოფხვრილი;
- გამოყენებული მასალების ხარისხი (მაგ.: შემკვრელების), მუდმივად უნდა კონტროლდებოდეს;
- შესაბამისი პროფილაქტიკური მომსახურებით საჭირო დონეზე უნდა იყოს შენარჩუნებული მანქანების მზაობა სამუშაოებისათვის;
- მემანქანეები და პასუხისმგებელი პირები საჭირო დონეზე უნდა იყვნენ მომზადებულნი და ნათელი წარმოდგენა ჰქონდეთ რეციკლირების ყველა ასპექტზე;
- გათვალისწინებული უნდა იყოს უსაფრთხოების ზომები, განსაკუთრებით ცხელ ბიტუმთან მუშობისას.

რეციკლირების პროექტების შესრულებისას მათი შედეგები დამოკიდებულია დაგეგმვის ხარისხზე. ამ დროს მნიშვნელოვანია სამუშაოს ცალკეული ეტაპების გაანალიზება მის დაწყებამდე და ამ ანალიზის შედეგების დაკონკრეტება დღე-ღამურ და წერილობით გეგმებში. რეციკლირება საჭიროებს არა მხოლოდ რესაიკლერის გამოყენებას. ასევე აუცილებელია საგზაო საგორავები, გრეიდერები და წყლის ავტოცისტერნები. გადაწყვეტილება იმის შესახებ, რომელი მათგანი და რამდენი უნდა იყოს გამოყენებული, უპირველეს ყოვლისა დამოკიდებულია პროექტის მოცულობასა და სახეობაზე. ასევე გათვალისწინებული უნდა იყოს სხვა ფაქტორებიც. მაგ.: მანქანები მუხლუხა სვლაზე უფრო ხშირად გამოიყენება სქელი ასფალტბეტონის ფენების რეციკლირებისას, როდესაც ფრეზირებული მასალა მაშინვე ეწყობა, მანქანის უკანა ნაწილში განლაგებული სამუშაო ორგანოს დახმარებით. ამასთანავე, პნევმატურთვლიანი სავალი ნაწილის მქონე რესაიკლერებს, უკან ყოველთვის უნდა მიჰყვებოდეს ავტოგრეიდერი ზედაპირის დასრულებისათვის.

მასალის შემჭიდროებისთვის რესაიკლერის შემდეგ, როგორც წესი საჭიროა სამი სატკეპნი. ჯერ გამოიყენება მძიმე სატკეპნი ვიბრაციის დიდი ამპლიტუდით, რათა შემჭიდროვდეს სტაბილიზირებული ფენა რამდენადაც შეიძლება დიდ სიღრმეზე. ამ ფენის სიმაღლის ქვედა ორი მესამედის თანაბარი შემჭიდროების მიღწევის შემდეგ, საბოლოო, საჭირო სიმაღლის მისაღებად შეიძლება გრეიდერის გამოყენება. შემდეგ, ახალი ფენის ზედა ნაწილის შემჭიდროებისათვის გამოიყენება გლუვი დოლიანი სატკეპნი, მცირე ამპლიტუდის ვიბრაციის გამოყენებით. მუხლუხა რესაიკლერის გამოყენებისას, მასალა ჩვეულებრივ ეწყობა მისი სამუშაო ორგანოთი. ასეთ შემთხვევაში, ერთ სატკეპნს შეუძლია შემჭიდროების მთელი მოცულობის შესრულება. მისი დასრულების შემდეგ, პნევმატური სატკეპნი ასრულებს ფენის საბოლოო დამუშავებას მისი ზედაპირის თანაბარი ტექსტურის მისაღებად.

პირველად გაშვებული სატკეპნი განსაზღვრავს შემჭიდროების საბოლოო ხარისხს, რამეთუ მასზეა დამოკიდებული ახალი რეციკლირებული ფენის ქვედა ნაწილის შემჭიდროება. ნახ.9-ზე მოცემულია მარტივი სქემა, რეციკლირებისას შემჭიდროებისათვის საჭირო სატკეპნის სტატიკური მასის და სახეობის ასარჩევად. არჩევანის უმნიშვნელოვანეს კრიტერიუმებს წარმოადგენს რეციკლირებადი ფენის სიღრმე და მისი მასალის გრანულომეტრიული შედგენილობა.



ნახაზი 9. რესაიკლერის შემდეგ გამკვრივების დამწყები სატკეპნის შერჩევა

ავტოცისტერნები ებმის რესაიკლერს, მისთვის წყლის და/ან თხევადი შემკვრელების მისაწოდებლად, როგორცაა ბიტუმის ემულსია. მათი ტევადობა უნდა შეესაბამებოდეს პროექტის მოცულობას და გზის გეომეტრიას. მაგალითად, „უხერხული“ გეომეტრიის (მკვეთრი მოსახვევები და ციცაბო დახრილობები) გზის აღდგენის მცირე პროექტის რეალიზაციისას გამოიყენება სატვირთო ავტომანქანის ჩარჩოზე დამონტაჟებული 10 -დან 15 ტ-მდე ტევადობის ცისტერნები. ნახევრად მისაბმელზე დამონტაჟებული 20 ტ-ზე მეტი ტევადობის დიდი ცისტერნები გამოიყენება, როგორც წესი, მსხვილ პროექტებში, გზების მშენებლობისას ბრტყელ ან მცირედ ბორცვიან ადგილებში.

რესაიკლერთან მიერთებულ არცერთ ავტოცისტერნას არ უნდა ჰქონდეს არანაირი გადინება: არც თვითონ ცისტერნაზე, არც მათ შორის სამილე შეერთებებზე. წვეთობით გამონადენი სითხე ან შემკვრელები არ არის საშიში იმ დრომდე, სანამ სამშენებლო მატარებელი რესაიკლერით მოძრაობს, მაგრამ „სუსტი“ ადგილების მიზეზი ხდება მისი გაჩერებისას, მაგალითად, დოლზე საჭრელების შეცვლისას, როდესაც ხანგრძლივი



დროის განმავლობაში ისინი ატენიანებენ რესაიკლერით გაფხვიერებულ მასალას.

ცემენტი წარმოადგენს მთელს მსოფლიოში ყველაზე ხშირად გამოყენებად მასალას - როგორც სხვა შემკვრელების გარეშე, ასევე სხვებთან კომბინაციაში, ყველაზე ხშირად ორგანულებთან. ჩვეულებრივ მისი დამატება შეადგენს მხოლოდ 1-6%-ს, ზოგჯერ მეტსაც, თუ სტაბილიზირდება ქვიშიანი (სილიანი) მასალები. დანამატის რაოდენობა ყოველთვის მითითებულია შემჭიდროებულ მდგომარეობაში სტაბილიზირებადი მასალის მასურ %-ში. თუ შესასრულებელია სიმტკიცისადმი სპეციალური მოთხოვნები, ცემენტი უნდა დაემატოს თანაბრად, რეციკლირებადი მასალის მთელ მასაზე.

რეციკლირებად მასალას (ცემენტთან და ყველა სხვა შესაძლო მასალებთან, რომელთა დატანა ხდება არსებული გზის ზედაპირზე) არ შეუძლია მნიშვნელოვნად აირიოს ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, ამიტომ განსაკუთრებით აუცილებელია ზუსტი განაწილება. თუ ხელით ან მსხვილი გამანაწილებლის საშუალებით შეუძლებელია ცემენტის განაწილება საკმარისი სიზუსტით (განსაკუთრებით მისი დამატებისას 2%-ზე ნაკლები რაოდენობით), მისი დამატება უნდა ხდებოდეს, Wirgten WM 1000 დანადგარში მომზადებული ცემენტი-წყლის სუსპენზიის სახით. ეს დანადგარი იძლევა, ცემენტის „მტვრის გარეშე“ დამატების საშუალებას და იდეალურია, უზრუნველყოფს რა მაღალ სიზუსტეს მისი ნებისმიერი რაოდენობისას.

დროის განსაზღვრულ პერიოდში დაგეგმილი რეციკლირება შეთანხმებული უნდა იყოს აღსადგენი გზის საგზაო მოძრაობასთან. ჩვეულებრივ, ერთი დღის გეგმა ითვალისწინებს გზის უბნის აღდგენის დამთავრებას მთელ ან ნახევარ სიგანეზე. ასევე მიზანშეწონილია ერთი უბნის რეციკლირება, მაგალითად, მხოლოდ ერთი გავლით რომლისთვისაც საჭიროა სამი გავლა თითოეულ ნახევარ სიგანეზე გზის ღერძულა ხაზის გასწვრივ. ასეთი ტიპის პრაქტიკა პრობლემებს ქმნის ნაკერების

შეპირისპირებისას, ხოლო მოძრაობისთვის განთავისუფლებულ, მხოლოდ ნაწილობრივ აღდგენილ უბნებს, გაუგებრობაში შეჰყავთ მძლოლები, განსაკუთრებით ღამე.

არსებული საგზაო სამოსის მასალის სახეობა, მისი კონსისტენცია და ტენიანობა - ფაქტორებია, რომლებიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ. სხვადასხვა მასალების შემცველობის ცვლილებებს ფენის სისქის მიხედვით, რომლისგანაც შედგება არსებული სამოსი (განსაკუთრებით ეს ეხება ასფალტბეტონის ფენებს), შეუძლია მნიშვნელოვნად იმოქმედონ რესაიკლერის მიწოდების სიჩქარეზე. გარდა ამისა, რეციკლირებისას მნიშვნელობა აქვს იმას, როგორ არის მასალა დაგებული, გამკვრივებული და დამთავრებული. დროებითი შეზღუდვები დაგებასა და გამკვრივებასთან მიმართებით, რომლებიც დაწესებულია ჰიდრავლიკური შემკვრელების გამოყენებისას, ასევე მოქმედებენ სამუშაოს შესრულებაზე. გზის სიგანეს აქვს უპირველესი მნიშვნელობა, ვინაიდან ის განსაზღვრავს, მთელს სიგანეზე გზის დასამუშავებლად საჭირო, რესაიკლერის გავლის ჯერადობას. დახრილი უბნები, როგორცაა ზოლის დასაწყისი და დასარული, ნელმავალი საშუალებებისთვის აღმართზე საჭიროებს განსაკუთრებულ ყურადღებას. ამასთანავე, გზის ზედაპირის პროფილი (ორფერდობიანი ან გრძივი დახრილობა) გავლენას ახდენს გრძივი ნაკერების განლაგებაზე ცალკეულ გავლებს შორის.

რეციკლირებისას გვხვდება ორი სახის ნაკერები: გრძივი, გზის ღერძულა ხაზის პარალელური და განივი, რომლებიც განლაგებულია ღერძისადმი პერპენდიკულარულად. ყველა ნაკერი არსებითად წარმოადგენს საგზაო სამოსის გარღვევას და თუ ისინი შესაბამისად არ არის გაფორმებული, უარყოფითად მოქმედებენ რესაიკლირებადი ფენის სტრუქტურულ მთლიანობაზე. [20]

რესაიკლერის გავლის სიგანე ჩვეულებრივ გზის სიგანეზე ნაკლებია. ამიტომ გზის დასამუშავებლად მთელ სიგანეზე აუცილებელია რამდენიმე გავლა, რის შედეგადაც, მეზობელ გავლებს შორის წარმოიქმნება გრძივი

ნაკერები. უწყვეტი საფარის უზრუნველსაყოფად, ასეთმა გავლებმა ერთმანეთი უნდა გადაფარონ მთელ მათ სიგრძეზე. ამიტომ მხოლოდ პირველი გავლისას, ფრეზირების დოლი აქუცმაცებს დაუმუშავებელ საგზაო სამოსს მთელ თავის სიგანეზე. ყველა შემდგომი გავლის ეფექტური სიგანე მცირდება საფარის სიგანეზე. თუმცა შემკვრელები უნდა ემატებოდეს მხოლოდ გავლის სიგანეზე, შემდგომი გავლით მისი გადაფარვის გაუთვალისწინებლად. ამგვარად, უკანასკნელი გავლა გზის სიგანეზე (ან მის ნახევარზე) არის ერთადერთი, როდესაც შემკვრელი ნაწილდება დოლის მთელს სიგანეზე. ამის შედეგად გამორიცხულია უკვე არსებული დამუშავებული მასალის არევა საფარში.

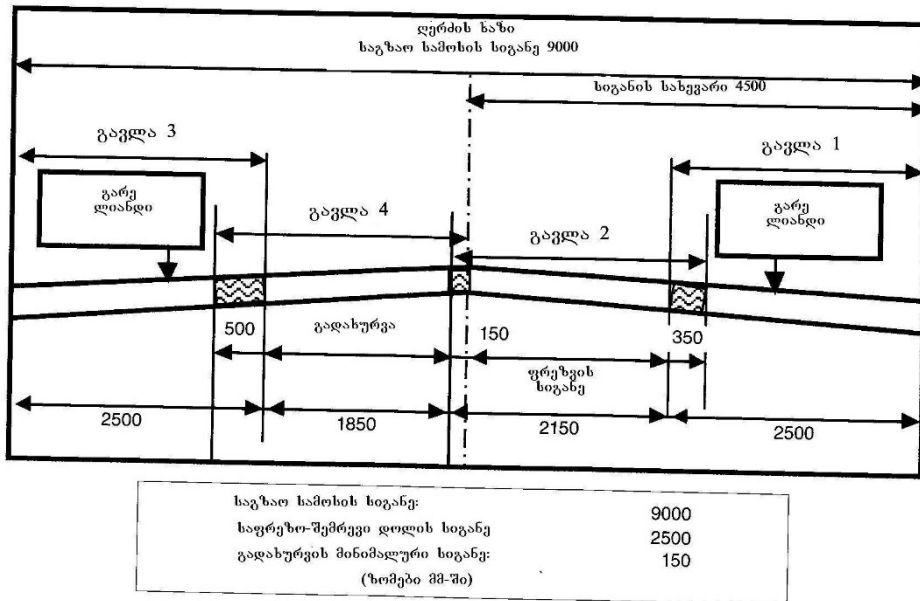
მთელს სიგანეზე საგზაო სამოსის დასამუშავებლად აუცილებელი გავლის ჯერადობა და თითოეული გრძივი ნაკერის განლაგება დამოკიდებულია შემდეგ ფაქტორებზე:

- გზის სიგანე და მისი განივი კვეთის თავისებურებები. კლასიკური გზების აღდგენის შესრულება მიზანშეწონილია მათი სიგანის ნახევარზე, რათა უზრუნველყოფილი იყოს რეციკლირების თანაბარი სიღრმე მთელ განივ კვეთზე;
- რეციკლირების პროექტში არჩეული მანქანის ტიპი, განსაკუთრებით მისი საფრეზი-შემრევი დოლის სიგანე. გარდა ამისა, გათვალისწინებული უნდა იყოს, რომ Wirtgen ყველა რესაიკლერის მარჯვენა მხარის კონსტრუქცია იძლევა ფრეზირების საშუალებას უშუალოდ ბორდიურის ქვის ან სხვა გრძივი დაბრკოლებების გასწვრივ. ამიტომ ის ჩვეულებრივ განთავსდება პირველი გავლის გარეთა მხარეზე;
- საფარის რეკომენდებული მინიმალური სიმაღლე ჩვეულებრივ ირჩევა 15სმ-ის ტოლი, მაგრამ ხანდახან იზრდება ფენების სისქის (>30სმ), რეციკლირებადი მასალის სიმსხვილის, შემკვრელის სახეობის და მეზობელ გავლებს შორის დროის გათვალისწინებით. ჩვეულებრივ, საფარის სიგანე უნდა იზრდებოდეს ფენის სისქის და

მასალის სიმსხვილის გაზრდასთან ერთად, ასევე ჰიდრავლიკური შემკვრელების გამოყენებისას, როდესაც პირველი გავლა შესრულებული იყო მეზობელი გავლის დაწყებამდე თორმეტ საათამდე მეტი დროით ადრე;

- გრძივი ნაკერები უმჯობესია განლაგდეს ნელა მოძრავი დიდი ტვირთამწეობის ავტომანქანების ლიანდებს გარეთ.

როგორც უკვე ითქვა, გავლათა სქემის შემუშავება, რომელიც ახდენს თითოეული გავლის დეტალიზირებას, წარმოადგენს ერთ-ერთ უპირველეს ნაბიჯს სამუშაოების დაგეგმვისას. საფარი უნდა გამოაკლდეს დოლის სიგანეს თითოეული გავლის რეციკლირების ეფექტური სიგანის განსაზღვრავად, რომელიც თავის მხრივ, განსაზღვრავს წყლის და შემკვრელის დანამატის რაოდენობას, როგორც მოცემულია ნახ. 10-ზე.



ნახაზი 10. გრძივი ნაკერების გადახურვების ტიპიური ზომები

საფარის მთელ სიგანეზე წყლის და შემკვრელების დამატების თანაბრობასთან მიმართებით ექვის შემთხვევაში, საჭიროა საგზაო სამოსის კვეთის გაზრდილი სქემის შედგენა, საფარის შედარებითი მდგომარეობის და შესაბამისი გამანაწილებელი რამპის მითითებით.

საფარის ნაკერების სწორი არჩევა მნიშვნელოვანია რესაიკლირებული ფენის საბოლოო ხარისხისათვის. როგორც ზემოთ ითქვა, ნაკერები წარმოადგენენ საგზაო სამოსის მთლიანობის რღვევის მიზეზს, ამიტომ მნიშვნელოვანია მათზე ყურადღების მიქცევა. შესაძლო პრობლემების მიზეზს ყველაზე ხშირად წარმოადგენს რესაიკლერის არასწორი გამოყენება, როდესაც მეზობელ გავლებს შორის რჩება არარეციკლირებული ზოლები და როდესაც, საფარის სისქის გაუთვალისწინებელი გაზრდის შედეგად მიეწოდება ორჯერ მეტი რაოდენობის შემკვრელი. ამიტომ მემანქანემ მკვეთრად უნდა დაიჭიროს მანქანის მოძრაობის მიმართულება, რისთვისაც, არსებულ საგზაო საფარზე დატანილი უნდა იყოს ამ მიმართულების განმსაზღვრელი მკვეთრი ხაზი ან დაჭიმული სიმი. ახალი გავლის დაწყებამდე უნდა შემოწმდეს, მთელს მის სიგრძეზე კარგად ჩანს თუ არა მიმმართველი ხაზი.

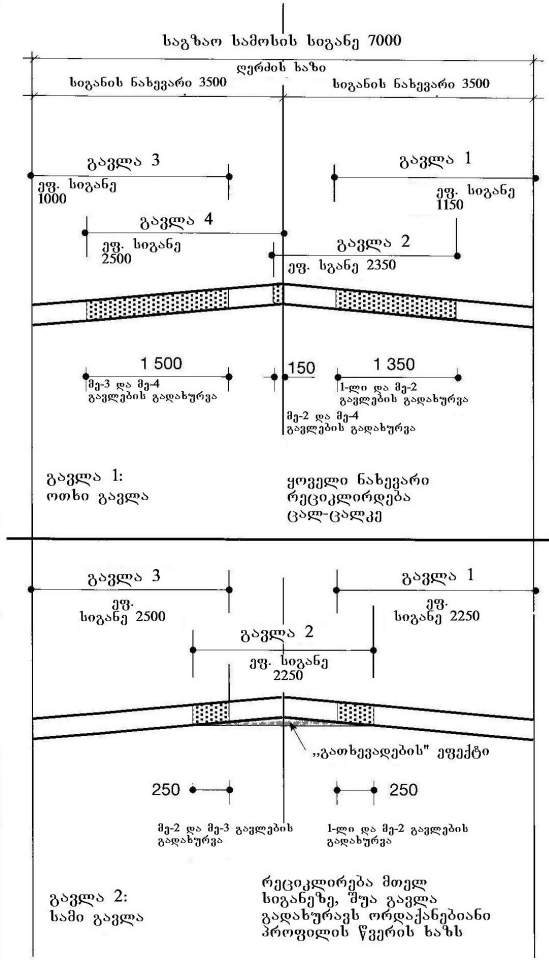
ვიწრო გზების აღდგენა, რომელთა სიგანე 7 მ-ზე ნაკლებია, მიზანშეწონილია შესრულდეს ერთიანად მთელ სიგანეზე, ვიდრე ნახევარ სიგანეზე, თითოეული ორი გავლით. WR 2500 S რესაიკლერის გამოყენებისას სტანდარტული, 2,5მ-იანი საფრეზი-შემრევი დოლით, გზის სიგანის თითოეული ნახევრისთვის საჭირო იქნებოდა ორი გავლა დიდი საფარით, მაშინ, სულ საჭიროა ოთხი გავლა. მაგრამ, თუ გზა დამუშავდება მის მთელ სიგანეზე, საჭირო იქნება მხოლოდ სამი გავლა საკმაოდ ნაკლები საფარით. შედეგად რესაიკლერის მწარმოებლურობა იზრდება დაახლოებით 25%-ით. ეს შედარება ნაჩვენებია ნახ.11.-ზე.

ამა თუ იმ ვარიანტის არჩევა დამოკიდებულია შემდეგ ფაქტორებზე:

- გზაზე გამავალი ტრანსპორტის ნაკადის მოცულობა და შემადგენლობა (დიდი ტვირთამწეობის ავტომანქანების პროცენტული წილის მითითებით) განსაზღვრავს მინიმალურ ზომებს აღდგენითი სამუშაოების შესრულებისას სატრანსპორტო საშუალებების გასაშვებად. ჩვეულებრივ, ვიწრო გზებზე მოძრაობის ინტენსიურობა არ არის დიდი და აქ საუბარია მსუბუქ

ავტომანქანებზე, ამიტომ უმეტეს შემთხვევებში იძებნება ალტერნატიული სატრანსპორტო გზები;

- შემკვრელის (ან შემკვრელების) „გათხევადების“ ეფექტი, რომელიც აღინიშნება ორ დახრიანი პროფილის წვერის გასწვრივ საშუალო გავლის შუაში. ეს ეფექტი ტოლია რეციკლირების სიღრმის შემცირებისა. მაგალითად, თუ დამუშავება ტარდება 2,5მ-იანი დოლის მქონე რესაიკლერით, რეციკლირების 20სმ სიღრმისას და 2%-იანი სტანდარტული განივი დახრილობისას, შემკვრელის წილის ეს შემცირება იქნება დაახლოებით 10%. მაშინაც კი, თუ, ასეთი „გათხევადება“ აღემატება დაშვებულ საზღვრებს, მისი კომპენსირება შეიძლება შემკვრელის ხარჯის მცირე გაზრდით, გავლის სიღრმის იმავდროული შემცირებით (მაგრამ დაშვებულ საზღვრებში);



(ზომები მმ-ში)

ნახაზი 11. ვიწრო გზების რეციკლირების ვარიანტები

- რეციკლირების შემდეგ წვერის ხაზი აღდგენილი უნდა იყოს. ეს შედეგებით აღვილად რეალიზდება მუხლუხა რესაიკლერის მეშვეობით, ვინაიდან მისი მუშა ორგანო შეიძლება დარეგულირდეს საჭირო ორდახრიან პროფილზე, მაშინ, როცა ბორბლიანი რესაიკლერის გამოყენებისას საბოლოო სიმაღლის პროფილირება უნდა მოხდეს გრეიდერით.

ხშირად, საწარმოო გრაფიკი განისაზღვრება, არსებულ გზაზე გამავალი სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობითა და შემადგენლობით, ასევე მათი მოძრაობის შესაძლო ორგანიზებით აღდგენითი სამუშაოებისას. ხანდახან აუცილებელია სამუშაო საათების შეზღუდვის ან მიწის ნაკვეთის მფლობელის სპეციფიური მოთხოვნების გათვალისწინება.

საგზაო სამოსის დაზიანებული ფენის მთელ სიღრმეზე, მასალის ამოღების და მისი ახალი მასალით შეცვლის გზით აღდგენის მეთოდებთან შედარებით, ცივი რეციკლირება უფრო ნაკლებ გავლენას ახდენს საზოგადოებრივი ტრანსპორტის უსაფრთხოებაზე. ვინაიდან საჭიროა მხოლოდ ერთი გავლა, ხოლო რეციკლირების მწარმოებლურობა მაღალია, მოძრაობის დაკეტვა შეიძლება მხოლოდ გზის მცირე უბანზე და როგორც წესი, ერთ ზოლზე. სამუშაოების გააზრებული წარმოებისას, ტრანსპორტის ნაკადის, მარტივი საგზაო ნიშნების ან შუქნიშნის დახმარებით მართვის შემთხვევაში, მანქანებს შეუძლიათ დაუბრკოლებლად იმოძრაონ, ყოველ შემთხვევაში გზის ერთ ნახევარზე. [45]

უნდა შესრულდეს ჩვეულებრივი მოთხოვნები დროებითი გამაფრთხილებელი საგზაო ნიშნების დამონტაჟებასთან დაკავშირებით დასამუშავებელი უბნის ორივე ბოლოზე. გარდა ამისა, დიდი მიმმართველი კონუსები და/ან მიმმართველი სვეტები უნდა დამონტაჟდეს გზის გასწვრივ, დაახლოებით 20 მეტრის მანძილზე ერთმანეთისაგან, მოძრაობისთვის დაკეტილ უბნის განმაცალკეველ ხაზზე. საგზაო მოძრაობის არასწორმა რეგულირებამ შეიძლება გამოიწვიოს სამუშაოების შესრულების

სერიოზული შეფერხებები, მაგალითად, რესაიკლერის გზაზე საცობების წარმოქმნისას, სამუშაოების შეწყვეტის მიზეზი შეიძლება იყოს ავარიაც. ასეთი პრობლემების მიზეზი, როგორც წესი, მდგომარეობს ტრანსპორტის მოძრაობის ცუდ ორგანიზებაში.

ცივი რეციკლირება - სწრაფი სამუშაო პროცესია, რომლის მაღალი მწარმოებლურობის გარანტიისთვის საჭიროა შემკვრელების, წყლის და სადაც საჭიროა, მინერალური მასალების უწყვეტი მიტანა. ეს ქმნის გარკვეულ პრობლემებს იქ, სადაც სირთულეებია მათ მოპოვებასთან დაკავშირებით, დიდია მათი ტრანსპორტირების მანძილები ან გართულებულია მიტანა.

წინასწარ უნდა იყოს გათვლილი ყველა შემოტანილი მასალის ყოველდღიური საჭიროება, განთავსებული უნდა იყოს მათზე შეკვეთები და ორგანიზებული იყოს მიწოდება, რაც უზრუნველყოფს რეციკლირების უწყვეტ პროცესს. ნათელია, რომ აუცილებელი მიწოდების გარეშე, პროცესი დამუხრუჭდება და პოტენციური მწარმოებლურობა არ იქნება მიღწეული.

დიდი მოცულობის მასალის გადამუშავებით რეციკლირების დროს, ასევე მათი მიწოდებისათვის დიდი მანძილების შემთხვევაში, მიწოდების შესაძლო დაგვიანებების ასარიდებლად ხანდახან გათვალისწინებულია მათი დროებითი შენახვის საშუალებები. როგორც წესი, ასეთი საშუალებები გათვლილი უნდა იყოს, ყოველ შემთხვევაში, მასალის დღიურ საჭიროებაზე მაინც. ამ მიზნით ხშირად მონტაჟდება ბუნკერები ცემენტისათვის, სამუშაო ადგილზე განთავსდება კონტეინერები მასალისათვის ტომრებში და ცისტერნები სითხისათვის. თეორიულად, ეს ტევადობები შევსებული და გამოყენებული უნდა იყოს მხოლოდ არასაკმარისი მასალის შემთხვევაში, ამასთანავე თავიდან უნდა იყოს აცილებული მათი ორმაგი გადატვირთვა. თუმცა, უმჯობესია ზოგიერთი ამ მასალათაგან ჩართული იყოს სამუშაო პროცესში, რათა ავირიდოთ მიწოდებასთან დაკავშირებული დამატებითი პრობლემები. ასეთი პრობლემების მაგალითებს წარმოადგენს:



- ცხელი ბიტუმი (>160°C), რომელიც ინახება კარგი იზოლაციის მქონე ცისტერნაში, ცივდება დაახლოებით 1°C სთ-ში სიჩქარით. ის უნდა შენარჩუნდეს ცხელი სახით, ახალი მასალების მოწოდების დაგვიანების შემთხვევისათვის;
- ხანგრძლივი დროის განმავლობაში შენახვისას ბიტუმის ყველა ემულსია არ არის მდგრადი. ამიტომ მათი შენახვა უნდა ხდებოდეს დამამზადებლების ინსტრუქციების შესაბამისად, რათა თავიდან იყოს აცილებული ბიტუმის წყლისგან გამოყოფა;
- ყველანაირი სიტუაციის შემთხვევაში, ცემენტი გამოყენებული უნდა იყოს მისი დამზადებიდან სამი თვის განმავლობაში, რამეთუ ის დროთა განმავლობაში კარგავს სიმტკიცეს. გარდა ამისა, ბუნკერები თუ კონტეინერები უნდა იყოს ჰერმეტიული, რათა მათში არ შეაღწიოს წვიმის წყალმა.

რეციკლირების მატერიალურ-ტექნიკური უზრუნველყოფის დაგეგმვისას ყველა ეს ფაქტორი გულდასმით უნდა იყოს გათვალისწინებული. როგორც იყო ნაჩვენები, გათვლები მასალების ყოველდღიური საჭიროებების განსასაზღვრავად საკმაოდ მარტივია და მაქსიმალური სიზუსტით უნდა შესრულდეს, რათა გარანტირებული იყოს რეციკლირების პროცესში მონაწილე მანქანის უწყვეტი მუშაობა.

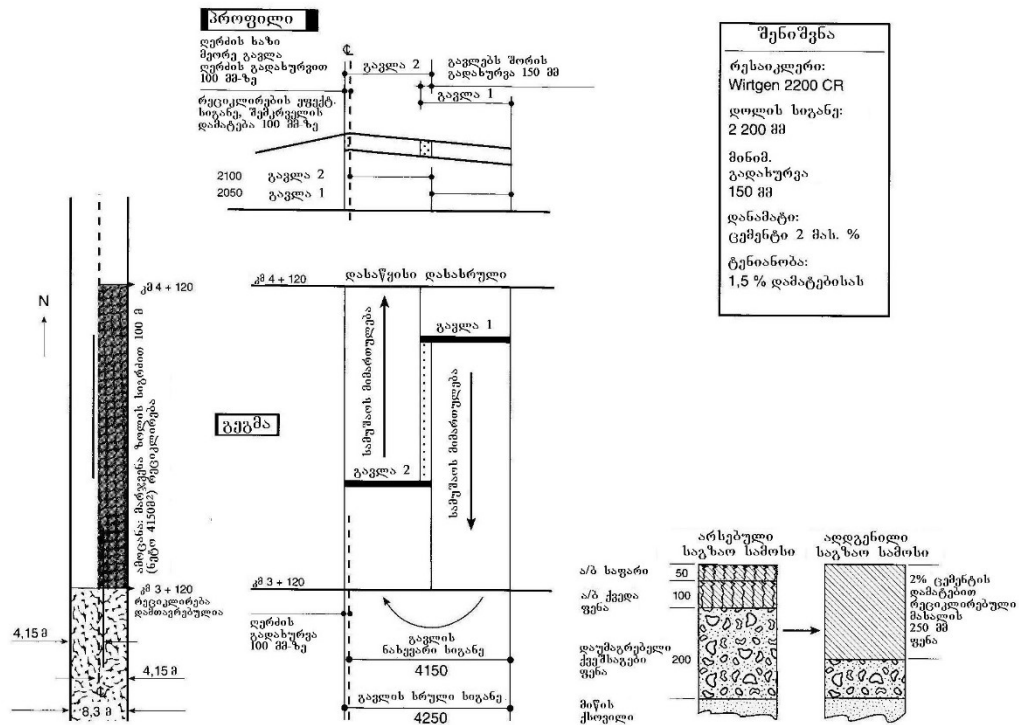
სამუშაოების დაწყებამდე აუცილებელია:

- დაბრკოლებების მოცილება, მაგალითად არხების ლუქების;
- ახალი წყალსარინების ან სხვა დამატებითი სადრენაჟო მოწყობილობების მონტაჟი;
- წინასწარი ფრეზირება ან მასალის დაყრა საჭირო დონის და პროფილის ზედაპირის მოსამზადებლად;
- ახალი მასალის მოტანა და განაწილება არსებულ საგზაო საფარზე.

ზოგიერთი პროექტი მოითხოვს, რომ ახალი საფარის ზედაპირი ექვემდებარებოდეს სპეციალურ დამუშავებას, მაგალითად, განზავებული

ბიტუმის ემულსიით დაფრქვევას. ამისათვის საჭირო დრო ჩართული უნდა იყოს სამუშაოების დღიურ გეგმაში.

ყველა ზემოთ აღნიშნული სამუშაოები ჩართული უნდა იყოს მარტივ, თვალსაჩინო დღიურ გეგმაში, როგორც ეს მოცემულია მე-12 ნახაზზე, ეს შემოკლებული გეგმა აქ მოყვანილია, როგორც, რეციკლირების წინა სამუშაოების დღიური დაგეგმვის მაგალითი.



ნახაზი 12. შემოკლებული დღიური სამუშაო გეგმის მაგალითი

საავტომობილო გზების არახისტი ფენილების რეციკლირება გასული საუკუნის 70 - იანი წლებიდან თავდაპირველად გამოიყენებოდა მეორე ხარისხის გზების შეკეთებით სამუშაოებისათვის. შემდგომში, ამ ტექნოლოგიამ მნიშვნელოვანი განვითარება განიცადა როგორც ქარხანა - დანადგარების სრულყოფის, ასევე რეციკლირებულ ასფალტოგრანულატზე ინერტული და შემკრავი მასალების სახეობების გაფართოების თვალსაზრისით. ამის შემდეგ ცივი რეციკლირების ტექნოლოგიის გამოყენება უკვე დაიწყო უმაღლესი კატეგორიის გზებზეც.

ა.შ.შ. - ში საფრეზი მანქანების არ არსებობის გამო ხორციელდებოდა ძველი საგზაო სამოსის ნაწილებად დამტვრევა, შემდეგ ხდებოდა მისი დაქუცმაცება საფქვავ სამსხვრევეებში. დამტვრეულ მასალას უმატებდნენ შემკვრელ დანამატებს, გრეიდერით ანაწილებდნენ სარეაბილიტაციო გზის მონაკვეთზე და ხდებოდა მისი დატკეპნა. აღნიშნული ფენის ფორმირების შემდეგ ზემოდან ხორციელდებოდა საცვეთი ფენის მოწყობა.

უკვე 80 - იანი წლების მეორე ნახევრიდან ა.შ.შ. - ში ფართოდ გამოიყენებოდა AMCA Internacional გაერთიანების Bomag ფირმის მძიმე ფრეზი, რომელიც იგივე ოპერაციებს ასრულებდა, რასაც როტორული დამპროფილირებელი. მაგრამ იგი იყო შედარებით პატარა ზომის და ძველი ასფალტბეტონის მოფრეზვა შეეძლო მხოლოდ 25 სმ სიღრმემდე. [39]

ამერიკული მიდლესის დანადგართან ერთად ცივი რეციკლირების მეთოდი ევროპაში პირველად გამოიყენა ფირმა SCREG routes- მა იმ გზებზე, სადაც მოძრაობის ინტენსიობა შეადგენდა თერთმეტი ათას ავტომობილს დღე - ღამეში.

ევროპისა და აზიის სხვადასხვა ქვეყნებში ფართოდ გამოიყენება ქარხნული ტექნოლოგია, სადაც ახალი ასფალტბეტონის ნარევის დამზადება ხდება ძველი რეგენირებული მასალის ახალ მასალასთან შერევით. მას შემდეგ რაც ფრეზირებული მასალა მოხვდება ასფალტბეტონის დამამზადებელი ქარხნის ბაზაზე, ხდება მასალის შემადგენლობაში ტენიანობის განსაზღვრა და საჭიროების შემთხვევაში სპეციალური საშრობი დოლურას მეშვეობით მისი გამოშრობა, ხოლო შემდეგ მისი გამოყენება ახალი ნარევის დასამზადებლად. [13]

ბიტუმის ემულსიის გამოყენებით ადგილზე ცივი რეციკლირების ტექნოლოგია, საგზაო სამოსის შეკეთებისა და გაძლიერების მიზნით გამოიყენა ფრანგულმა ფირმა COLAS - მა.

შედარებით ნაკლები ინტენსიობის გზებისათვის გასული საუკუნის 90 - იან წლებში წამოვიდა ცივი რეციკლირების მანქანების ახალი თაობა. კერძოდ ავსტრალიაში შემუშავებულ იქნა 35 ტონიანი Road Recyclers - ის

ფირმის მანქანა. იგი ასრულებდა საგზაო სამოსის რეციკლირებას ბიტუმის ემულსიის გამოყენებით.

მოგვიანებით განვითარებულმა ქვეყნებმა უკვე დაიწყეს კვლევა ცივი რეციკლირების პროცესში დანამატების გამოყენების თვალსაზრისით. კერძოდ ა.შ.შ. - ში პირველად გამოიყენეს ქაფ-ბიტუმები. აღნიშნულ საკითხებზე ექსპერიმენტები კვლავ აქტიურად მიმდინარეობს მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში. კვლევების ძირითად მიზანს წარმოადგენს ძველი ბიტუმის აპკებისათვის მიკვრადობის თვისების დაბრუნება, რომელიც საჭიროებს ხანგრძლივ დაკვირვებებს, რადგან უდავოა სამომავლოდ ცივი რეციკლირების ტექნოლოგიის უფრო ფართო გამოყენება ნებისმიერი კატეგორიის საავტომობილო გზებზე ასფალტბეტონის საფარის რეაბილიტაციისათვის.

## 2. შედეგების განსჯა

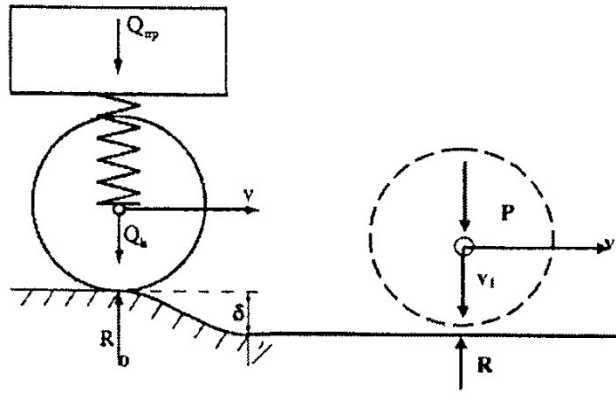
### 2.1. საფარის სისწორისა და საგზაო სამოსის სიმტკიცის

#### ურთიერთდამოკიდებულების განსაზღვრა

საგზაო სამოსის სიმტკიცეზე და დროთა განმავლობაში მის ცვლილებაზე მოქმედი ფაქტორების სიმრავლის გამო, საგზაო სამოსის გამძლეობის განსაზღვრა რთულია. გარდა ამისა, ექსპლუატაციის პროცესში არახისტი საფარის მქონე მასალასთან ბლანტ სტადიაზე დატვირთვის ყოველი შეხებისას წარმოიშვება შეუქცევადი დეფორმაციები, რაც არ იძლევა გათვლებში დრეკადობის თეორიის გამოყენებაზე სრულად მსჯელობის საშუალებას. ამავე დროს, მექანიკის თვალსაზრისით, უსწორობა განპირობებულია არათანაბრად განაწილებული შეუქცევადი (პლასტიკური) დეფორმაციების დაგროვებით. დაგროვების პროცესი ინტენსიურად მიმდინარეობს საფარი მასალის უფრო მეტად დასუსტებულ წერტილებსა და სატრანსპორტო დატვირთვის გამძლიერებული დინამიური ზემოქმედების წარმოშობის ადგილებში მომსახურების მთელი ვადის განმავლობაში. შეუქცევადი დეფორმაციის დაგროვების გამო, მასალის მოცულობის შემცირების შედეგად, საფარზე წარმოიშვება უსწორობები. უსწორობების ხანგრძლივი ფორმირება იწვევს მდგრადი პროფილის წარმოშობას საკუთარი რხევის სიხშირეებით, რაც უნდა მივიღოთ, როგორც საგზაო სამოსის გამძლეობის მახასიათებელი. წარმოდგენილი ჰიპოთეზების დასამტკიცებლად ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ამ ორი მახასიათებლის ურთიერთკავშირის ზოგიერთი თეორიის განხილვა.

#### 2.1.1. ავტომობილის მოქმედების დინამიკაზე საფარის უსწორობების ზემოქმედების კვლევა

სატრანსპორტო საშუალება საავტომობილო გზაზე მოძრაობისას ნებისმიერ მომენტში შეიძლება აღმოჩნდეს სხვადასხვა ფორმისა და სიგრძის ტალღის შვერილზე ან ღრმულში. ამასთანავე, მისი სიჩქარის ვექტორი  $v$  შვერილზე ყოფნისას მიმართულია მხების მხრივ ზედაპირისკენ, წყვეტს რა ბორბალს საფარიდან რამდენიმე წამით.



ნახაზი 13. ავტომობილის ბორბლის საგზაო საფარზე ზემოქმედების სქემა უსწორობის გავლის მომენტში.

$Q_{\text{საზო}}$  - ტვირთიანი ავტომობილის წონა;  $Q_k$  - ხიდიანი ბორბლის წონა;

$v$  - სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელი;

$v_1$  - სიჩქარის ვერტიკალური მდგენელი.

$P$  - საფარზე ავტომობილის წონისა და ბორბლის წონის ზემოქმედების ძალა;

$R_{01} R$  - საყრდენის რეაქციის ძალა;  $\delta$  - უსწორობის სიდიდე.

საფარზე ბორბლის დაშვებისას სიჩქარით  $v_1$ , ბორბალი მის პოტენციურ ენერგიას საფართან შეხების მომენტში გარდაქმნის კინეტიკურად, მოქმედებს რა საფარზე დინამიური ძალით (ნახ.13).

ბორბლის დინამიური დარტყმისას საბოლოო კონტაქტური ზემოქმედების ცვლილება, კინემატიკის კანონებიდან გამომდინარე, განისაზღვრება გამოსახულებით

$$R \cdot \Delta t = m_k \cdot v_1 \quad (1)$$

სადაც  $R$  - კონტაქტური ურთიერთქმედების შედეგი, კნ;

$\Delta t$  - კონტაქტური ზემოქმედების დრო, წმ;

$m_k$  - ავტომობილის მასა, კგ;

$v_1$  - ბორბლის მოძრაობის სიჩქარე, მ/წ.

ბორბლის სიჩქარე ზედაპირთან კონტაქტის მომენტში განისაზღვრება მათი გამოსახვის დინამიკის კანონებით

$$v_1 = \sqrt{2g \cdot \delta} \quad (2)$$

სადაც  $g$  - თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, მ/წ<sup>2</sup>;

$\delta$  - უსწორობის სიდიდე (ტალღის ამპლიტუდა), მ.

საგზაო სამოსზე კონტაქტური ზეწოლის მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით

$$P = \frac{R}{\pi \cdot r^2} \quad (3)$$

სადაც  $P$  - საფარზე ზემოქმედების ძალა, მპა;

$r$  - ბორბლის ანაბეჭდის რადიუსი, მ.

კონტაქტური ზემოქმედების ცვლილებისა და ბორბლის სიჩქარის ფორმულაში კონტაქტური ზეწოლის მნიშვნელობის ჩასმით მიიღება:

$$P = \frac{m_k \cdot \sqrt{2g \cdot \delta}}{\Delta t \cdot \pi \cdot r^2} \quad (4)$$

მიღებული ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ სატრანსპორტო საშუალების ბორბლის ანაბეჭდის რადიუსისა და მასის პარამეტრების მუდმივი მნიშვნელობებისას, ასფალტბეტონის საფარზე ზემოქმედების სიდიდე დამოკიდებულია ზემოქმედების დროსა  $\Delta t$  (მომრავის სიჩქარის) და ტალღის ამპლიტუდაზე  $\delta$  (უსწორობის სიდიდეზე).

### 2.1.2. არახისტი საგზაო სამოსის სიმტკიცისა და საფარის სისწორის ურთიერთკავშირის დადგენა

ჩვენს მიერ განხორციელებული გამოკვლევებით დგინდება, რომ საგზაო საფარზე დინამიური გავლენის მატება წარმოიშობა უსწორობის რადიუსის, საბურავებში ჰაერის წნევისა და ავტომობილის მოძრაობის სიჩქარის მატებასთან ერთად. სამოსის სიმტკიცის მახასიათებლებზე საფარის სისწორის დამოკიდებულების შესწავლა მიმდინარეობდა არა მხოლოდ გზის ექსპლუატაციის სტადიაზე, არამედ მისი პროექტირების სტადიაზეც. საგზაო სამოსების მინიმალურად მოთხოვნადი დრეკადობის

მოდულების მნიშვნელობების საფუძველზე საგზაო სამოსის მომსახურების ვადის გასვლის ბოლოს საჭირო სისწორის ცვლილების საკითხების შესწავლასთან დაკავშირებით, მიღებულია დრეკადობის საჭირო მოდულის  $E_{გზ}$  დამოკიდებულება საფარის სისწორეზე.

$$E_{გზ} = -11,477 \cdot S + 294,77, \quad (5)$$

სადაც  $S$  - საფარის დასაშვები სისწორეა საგზაო სამოსის მომსახურების ვადის ბოლოს, გაზომილი სამმეტრიანი ლარტყით, მმ.

მიიჩნევა, რომ დრეკადობის მინიმალური მოდული საგზაო სამოსის გაანგარიშებისას შეიძლება დაწესდეს საფარის საჭირო სისწორიდან გამომდინარე საგზაო სამოსის მომსახურების ვადის ბოლოს, არა უმცირესი 40 000 სატრანსპორტო ერთეულის ინტენსივობისათვის გამოსათვლელ პერიოდის განმავლობაში.

საფარის უსწორობები მანქანის ბორბლის ზემოქმედებისას იწვევს მანქანის მზიდი ნაწილის დამატებით ვერტიკალურ გადაადგილებას, რაც თავის მხრივ იწვევს სატრანსპორტო საშუალების დინამიურ ზემოქმედებას საგზაო სამოსზე.

არახისტი საგზაო სამოსის გაანგარიშების გამოკვლევების ჩვენს მიერ მიღებული მონაცემებით დგინდება, რომ საგზაო სამოსის დაპროექტება უნდა მოხდეს ისეთი მეთოდით, რომ მრავალჯერადი მოკლევადიანი მოძრავი დატვირთვების ზემოქმედებისას, პლასტიკური გადაადგილებებით გამოწვეული ნარჩენი დეფორმაციები, საანგარიშო პერიოდების სრული ხანგრძლივობის განმავლობაში, არ აღემატებოდეს საექსპლუატაციო სისწორის უზრუნველყოფის პირობით დაშვებულ სიდიდეს. სიმტკიცის პირობას დაძვრის მიხედვით აქვს შემდეგი სახე:

$$K_{საგზ} \cdot T \leq T_{დაძვ} \quad 6)$$

სადაც  $K_{საგზ}$  - არის სიმტკიცის კოეფიციენტი დაძვრის მიხედვით გაანგარიშებისას;

$T$  - დაძვრის აქტიური ძაბვა მიწის ვაკისის გრუნტში მოქმედი დატვირთვისაგან, მპა;



$T_{\text{დასაშ}} -$  დაძვრის დასაშვები ძაბვა, მპა.

$T_{\text{დასაშ}} -$  განსაზღვრისათვის შემოთავაზებული გვაქვს ფორმულა

$$T_{\text{დასაშ}} = 0,03516 \cdot \left[ \lg(\Delta U) - (0,26 + 0,13\bar{B}) \lg(1 + 0,1N_{\text{ლრძ.ჯამ}}) + 1,3 - 0,7\bar{B} \right] \quad (7)$$

სადაც  $\Delta U$  - საგზაო სამოსის მომსახურების ვადის განმავლობაში შეუქცევადი (ნარჩენი) დეფორმაციის დასაშვები ნამატია,მმ;

$B$  - მიწის ვაკისის გრუნტის კონსისტენციის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა;

$N_{\text{ლრძ.ჯამ}}$  - საგზაო სამოსის მომსახურების ვადის განმავლობაში საანგარიშო წონის ღერძების გავლის ჯამური რაოდენობა.

მომსახურების ვადის განმავლობაში ნარჩენი დეფორმაციის დასაშვები ნამატი განისაზღვრება ფორმულით

$$\Delta U = 0,041 \cdot \left[ (S_{\text{ბოლო}} - 4,7)^{0,76} - (S_{\text{დას.}} - 4,7)^{0,76} \right] \quad (8)$$

სადაც  $S_{\text{ბოლო}}$  - ბიძგის საზომის მაჩვენებელია, სმ/კმ, საგზაო სამოსის მომსახურების ვადის ბოლოს;

$S_{\text{დას.}}$  - ბიძგის საზომის მაჩვენებელი, სმ/კმ, საგზაო სამოსის მომსახურების ვადის დასაწყისში;

სიმტკიცის დაქვეითება ან დაძვრა საგზაო სამოსის ფენებში იწვევს თანდათანობით საფარის ზედაპირზე უსწორობის დაგროვებასა და დინამიურობის კოეფიციენტის შესაბამის ზრდას.

ჩატარებულმა გამოკვლევებმა, საგზაო სამოსის სიმტკიცის დაქვეითებისას საფარის სისწორის ცვლილების ურთიერთდამოკიდებულების შესახებ მყარი აზრის ფორმირების საშუალება მოგვცა. დადგინდა, რომ საფარის ზედაპირის სისწორეს და საგზაო სამოსის სიმტკიცეს აქვთ მდგრადი კორელაციური კავშირი, რაც

იძლევა არახისტი საგზაო კონსტრუქციების სიმტკიცის შესახებ დასკვნის გამოტანის შესაძლებლობას, როგორც საფარის სისწორის ცვლილების პირველადი მიზეზისა. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ არსებულ დამოკიდებულებებს აქვთ სხვადასხვა საფუძველი და შეუძლებელია ერთი კონკრეტული მათემატიკური მოდელით წარმოდგენა, რომელიც ადგენს ერთიან კანონს გზის ექსპლუატაციის მთელი საექსპლუატაციო პერიოდის განმავლობაში.

## **2.2. სარემონტო ღონისძიებების დანიშვნის სისტემის განვითარების პერსპექტივები საგზაო საფარის სისწორის ცვლილების დინამიკის საფუძველზე**

საფარის სისწორის ცვლილებისას იცვლება დინამიურობის კოეფიციენტი და იზრდება საფარის შეუქცევადი დეფორმაციების მნიშვნელობა, რაც აქვეითებს საგზაო სამოსის სიმტკიცეს. ჩვენს წინაშე დადგა საკითხი, რათა შემუშავებულიყო სპეციალური მეთოდები, რომლებიც მოახდენენ გაზომვის გამარტივებული სქემისა და მოცულობის განფენილობის მიხედვით მნიშვნელოვანი გაანგარიშების ექსპრეს შეფასებას.

ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ინტენსიური დარბილებისა და რღვევის დროის დაწყების განსაზღვრა. ამავე დროს, საფარის გრძივი სისწორე - ერთ მნიშვნელოვან სიდიდეა, და მისი გაზომვის სიზუსტეზე მოქმედი ფაქტორების რაოდენობა მინიმუმამდე დაიყვანება. დადგენილია, რომ სიმტკიცე და სისწორე დამოკიდებულია ერთი და იმავე მაჩვენებელზე - მთლიანად გატარებული მანქანების ჯამურ მასაზე, რაც იძლევა მათ შორის ურთიერთკავშირის შესაძლებლობის დაშვებას. საფარის სისწორის ცვლილების დინამიკა დამოკიდებულია საგზაო სამოსისა და მიწის ვაკისის მდგომარეობაზე და წარმოადგენს მზიდი უნარიანობის რაოდენობრივ მახასიათებელს. გამოკვლევების პროცესში გამოვლენილი იყო, რომ პრაქტიკაში, სისწორის განვითარება შეიცავს ორ სტადიას:

- სისწორის შეზრდა თანდართული დატვირთვების რაოდენობის მიხედვით;

- სისწორის ცვლილების მიმდინარე მდგომარეობა (სისწორის უმნიშვნელო შეზრდა) დადგენილი მნიშვნელობების ფარგლებში.

ამავე დროს, ასფალტბეტონის დეფორმაციის სიჩქარე თანდართული დატვირთვების გაზრდისას დროთა განმავლობაში მცირდება, იძენს რა დენადობის თვისებას.

მიიჩნევა, რომ მომსახურების ვადაში საფარის სისწორის ცვლილების მათემატიკური დამოკიდებულების დადგენით, ჩვენ მივიღებთ საგზაო სამოსის პლასტიკური (ნარჩენი) დეფორმაციების დაგროვების ინტენსიურობის შეფასების შესაძლებლობას. მიღებული ტოლობა განსაზღვრავს სისწორის ცვლილებას მომსახურების ვადის რემონტებს შორის პერიოდში და ნაწილობრივ ასახავს ასფალტბეტონის რეოლოგიურ ცვლილებებს ამ პერიოდის განმავლობაში. ტოლობის ანალიზის ჩატარებით შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორ და რამდენად შეიცვალა და ჩამოყალიბდა საავტომობილო გზის პროფილი, ჩამოყალიბდა თუ არა ის ნორმატიული მნიშვნელობების ფარგლებში.

გზის ნაწილისათვის განისაზღვრება სისწორის საშუალო წლიური მნიშვნელობები მომსახურების ვადის განმავლობაში მიმდინარე წლამდე. ხაზოვანი დამოკიდებულება სისწორის ცვლილების საშუალო მნიშვნელობების მიხედვით განისაზღვრება უმცირესი კვადრატების მეთოდით, ვღებულობთ რა ამ დროს, შერჩეული საავტომობილო გზისათვის საშუალო წლიური სისწორის ზუსტ მნიშვნელობებთან მაქსიმალურად მიახლოებულ ტოლობას. შეცდომითი მნიშვნელობები, გაზომილი ან გაანგარიშებული რაიმე მიზეზის გამო არაკორექტულად, რომელიც განსაზღვრულია გრაბასის კრიტერიუმის საფუძველზე ამოირიცხება შემდგომი გამოთვლებიდან. მიღებული განტოლება წარმოადგენს საფარის სისწორის ცვლილების ფაქტიურ განტოლებას

მომსახურების ვადის რემონტებს შორის პერიოდში, რომელიც მითითებულია პირველ ცხრილში.

საგზაო საფარის სისწორის დაქვეითების ხარისხის შედარებითი შეფასებისათვის აუცილებელია სისწორის ცვლილების ნორმატიული და ფაქტიური ტოლობის დადგენა. ამ ორი ტოლობის გადაკვეთის წერტილის განთავსების ადგილი განსაზღვრავს სარემონტო ღონისძიებების განხორციელების აუცილებლობასა და სახეობას. გადაკვეთის წერტილის ყველაზე სახარბიელო განთავსება - #2 წერტილისაგან მაქსიმალურად მოცილებული მარცხნივ, გზის ყველაზე ცუდი მდგომარეობა - გადაკვეთის წერტილის მაქსიმალური მოცილება #2 წერტილისაგან მარჯვნივ (ნახ.14). ამ დროს, წერტილი #1 - ნორმატიული მნიშვნელობაა ექსპლუატაციაში შეყვანისას, წერტილი #2 - ექსპლუატირებული გზების ნორმატიული მნიშვნელობაა მომსახურების ვადის დასრულების მომენტში.

სისწორის ნორმატიული და ფაქტიური მნიშვნელობებისათვის ვწერთ განტოლებებს.

$$IRI_{\text{ნორმ.}} = K_{\text{ნორმ.}} \cdot T_{\text{მომსახურ.}} + B_{\text{ნორმ.}} \quad (9)$$

$$IRI_{\text{ფაქტ.}} = K_{\text{ფაქტ.}} \cdot T_{\text{მომსახურ.}} + B_{\text{ფაქტ.}} \quad (10)$$

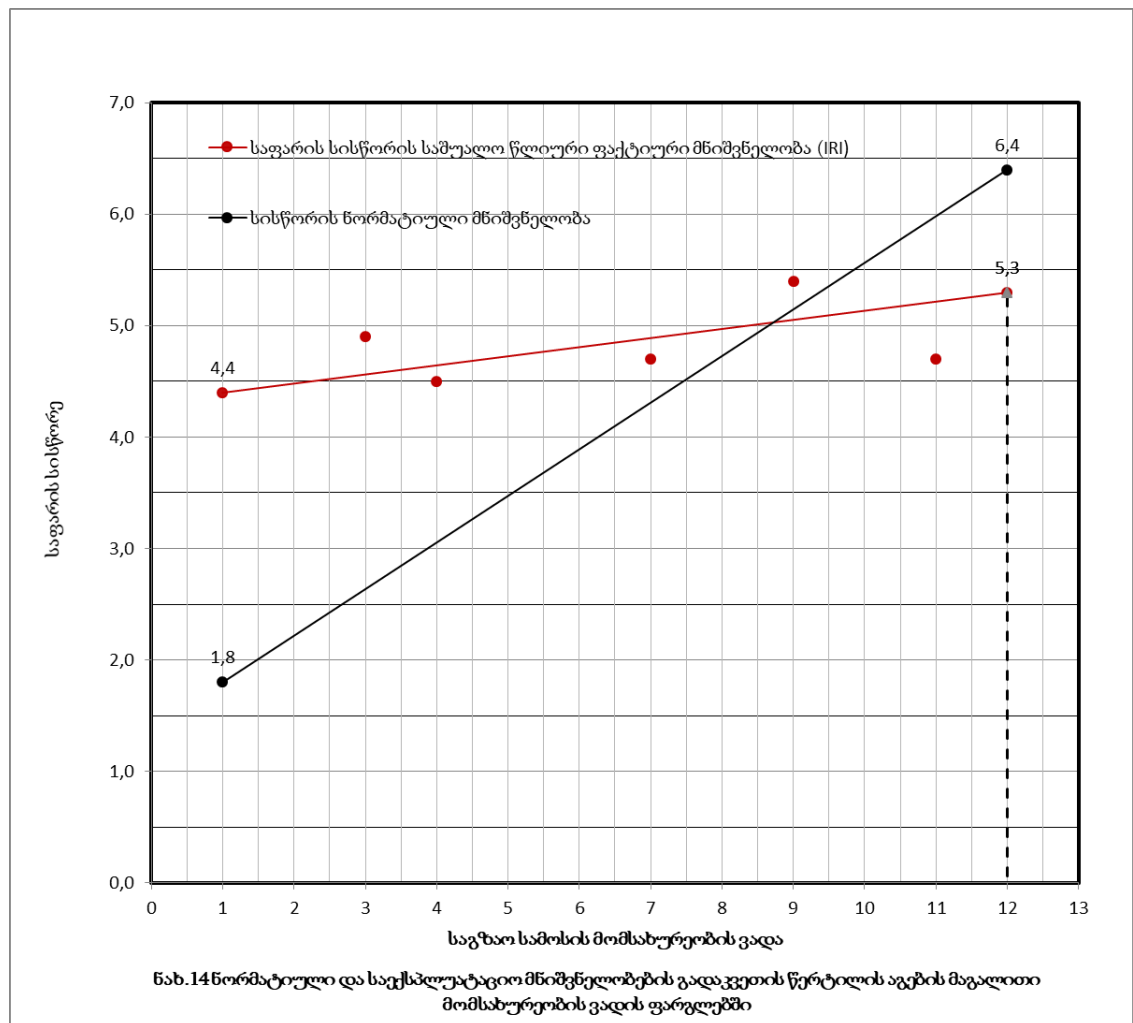
სადაც  $IRI_{\text{ნორმ.}}$  - მოვლენების ნორმატიული განვითარებისას პროგნოზირებადი საფარის სისწორის მნიშვნელობა, მ/კმ;

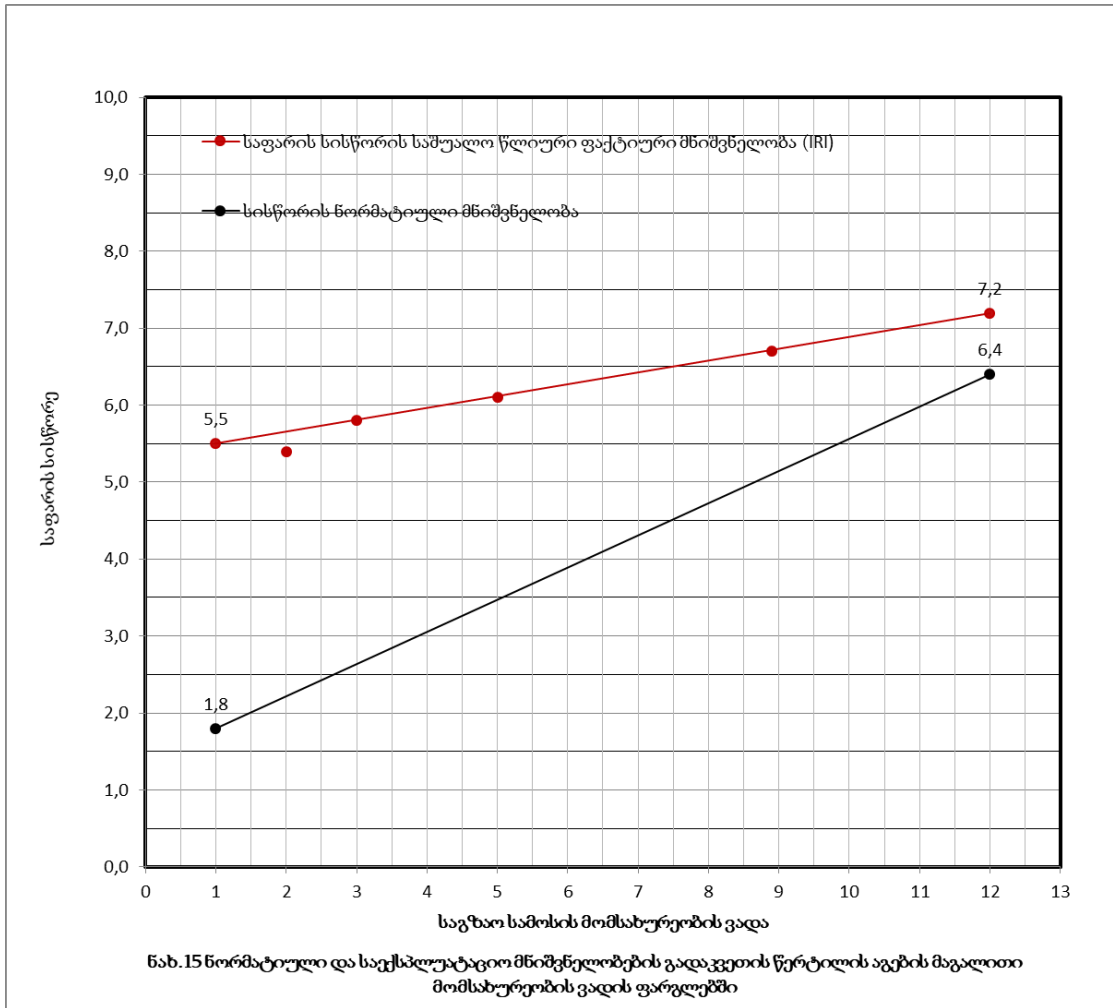
$IRI_{\text{ფაქტ.}}$  - საფარის სისწორის ფაქტიური მნიშვნელობა, მ/კმ;

$T_{\text{მომსახურ.}}$  - საგზაო სამოსის მომსახურების ვადა, წლები.

საავტომობილო გზის უბნისათვის მტკიცე მდგომარეობის უზრუნველსაყოფად საკმარის პირობას წარმოადგენს უთანასწორობის სისტემის შესრულება:

საავტომობილო გზის კატეგორია	მომსახურების ვადა $T_{\text{მომსახ.}}$ , წელი
I	14
II	13
III	11
IV	8
V	6





$$\begin{cases} K_{\text{ფაქტ.}} < K_{\text{ნორმ.}} \\ \frac{B_{\text{ფაქტ.}} - B_{\text{ნორმ.}}}{K_{\text{ნორმ.}} - K_{\text{ფაქტ.}}} < T_{\text{მომსახ.}} \end{cases} \quad (11)$$

დადგენილი მომსახურების ვადის  $T_{\text{მომსახ.}}$  ფარგლებში გადაკვეთის არ არსებობის შემთხვევაში, გადაკვეთა განისაზღვრება სისწორის ნორმატიული მნიშვნელობის განმსაზღვრელი #2 წერტილის საზღვრებს მიღმა (ნახ. 15). ამ შემთხვევაში, რაც უფრო სცილდება გადაკვეთის წერტილი ნორმატიული მნიშვნელობიდან მარჯვნივ, მით უფრო ნაკლებია საგზაო სამოსის დარჩენილი მომსახურების ვადის მნიშვნელობა. განზრახულია სარემონტო ღონისძიებების (მიმდინარე, კაპიტალური რემონტები) დანიშვნის პირობების წარდგენა,

- მიმდინარე რემონტი;

$$\begin{cases} K_{\text{ფაქტ.}} < K_{\text{ნორმ.}} \\ \frac{B_{\text{ფაქტ.}} - B_{\text{ნორმ.}}}{K_{\text{ნორმ.}} - K_{\text{ფაქტ.}}} < T_{\text{ნორმ.}} \end{cases} \quad (12)$$

- კაპიტალური რემონტი:

$$\begin{cases} K_{\text{ფაქტ.}} < K_{\text{ნორმ.}} \\ \frac{B_{\text{ფაქტ.}} - B_{\text{ნორმ.}}}{K_{\text{ნორმ.}} - K_{\text{ფაქტ.}}} < 1 \end{cases} \quad (13)$$

- კაპიტალური რემონტი ფრეზვის შესრულებით:

$$\begin{cases} K_{\text{ფაქტ.}} < K_{\text{ნორმ.}} \\ \frac{B_{\text{ფაქტ.}} - B_{\text{ნორმ.}}}{K_{\text{ნორმ.}} - K_{\text{ფაქტ.}}} < 1 \end{cases} \quad (14)$$

$K_{\text{ფაქტ.}}$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა და სისწორის წლიური მნიშვნელობა განსაზღვრავს საგზაო სამოსის სიმტკიცის დაქვეითების ინტენსიურობას, ასევე ადგენს საავტომობილო გზის ექსპლუატაციის შემდეგ პირობებს. საგზაო სამოსის სიმტკიცის უზრუნველყოფის შემთხვევაში (გაანგარიშებების მიხედვით), მიიჩნევა, რომ ხანგრძლივი ექსპლუატაციის შედეგად, საავტომობილო გზის პროფილი უკვე ჩამოყალიბებულია და საფარის სისწორის ცვლილება იმყოფება ნორმატიული მნიშვნელობების ფარგლების „მიმდინარე“ ფაზაში. ამასთანავე, სატრანსპორტო საშუალებების ზემოქმედებით გზაზე წარმოშობილი მიკრობზარების რაოდენობა უმნიშვნელოა. ეს მტკიცდება მოკლე ტალღების მნიშვნელოვანი რაოდენობის არ არსებობით, რაც უზრუნველყოფს სისწორის შედარებით სტაბილურ მნიშვნელობას ყოველწლიური გაზომვებისას.

$K_{\text{ფაქტ.}}$  მცირე და საფარის სისწორის სტაბილურად მაღალი მნიშვნელობებისას, რაც აღემატება ნორმატიულს, მიღებულია, რომ საგზაო სამოსის მზიდი უნარიანობა არ არის უზრუნველყოფილი. ამავე დროს,

საავტომობილო გზის პროფილი მიიჩნევა ფორმირებულად. მომსახურების მიღებული ვადის განმავლობაში საფარის სისწორის ინტენსიური ცვლილებისას შესაძლებელია მზიდი უნარის შემდგომი დაქვეითება და საგზაო სამოსის მიკრო ბზარების ინტენსიური ფორმირება. ამ შემთხვევაში აუცილებელია საგზაო სამოსის საფუძველის გაძლიერების საკითხის განხილვა ან საფარის ფენების გადაწყობა.

ასფალტბეტონის საფარის სიმტკიცის ინტენსიური დაქვეითების პროცესის დაწყების დროულმა დადგენამ საფარის სისწორის ცვლილების ანალიზის მეშვეობით, შეიძლება ააცილოს საგზაო სამოსის ყველა ფენას ნაადრევი რღვევა და დეფორმაცია. ამგვარად, გზის ექსპლუატაციის სხვადასხვა ეტაპზე, საფარის სისწორის ცვლილების დინამიკა განსაზღვრავს მის შრომისუნარიანობას და ხანგამძლეობას. შემოთავაზებული დამუშავებები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, როგორც საავტომობილო გზების შეფასების არსებული სისტემების დამატება უპირველესი სარემონტო ღონისძიებების ოპტიმალური შერჩევის მიზნით.

ამრიგად, უნდა აღინიშნოს, რომ საგზაო სამოსის სიმტკიცისა და საფარის სისწორის ურთიერთკავშირის განხილული თეორიების შესახებ განზოგადებული დასკვნები დაიყვანება ზოგად კანონზომიერებამდე, რაც ამტკიცებს, რომ საფარის სისწორე მუდმივად იცვლება, ხოლო უსწორობებს აქვს დროთა განმავლობაში დაგროვების ტენდენცია. დროში საფარის სისწორის ცვლილების ხარისხი დამოკიდებულია საფუძველის მზიდ უნარსა და მიწის ვაკისზე. რაც უფრო ძლიერია საფუძველი, მით უფრო გარანტირებულია გზის საფარის სისწორის სტაბილურობა და შესაბამისად, საავტომობილო დატვირთვის დინამიურობის კოეფიციენტის მუდმივი მნიშვნელობა. ამავე დროს, დეფექტების აღმოფხვრა რემონტის ჩატარების გზით დეფორმაციის ფორმირების დასრულების სტადიაზე დაგვიანებულია, ზოგჯერ ნაკლებად ეფექტური და ძვირადღირებული გადაწყვეტილებაა.



ამ პრობლემების გადაწყვეტის საშუალებას შეიძლება წარმოადგენდეს საფარის სისწორისა და მისი რეგრესიის განვითარების სიჩქარის სისტემური ანალიზი. ამჟამად უფრო მნიშვნელოვანია კრიტიკული დეფორმაციების ფორმირების აცილება და კონსტრუქციების პლასტიკური დეფორმაციების ინტენსიური დაგროვების დაუშვებლობა.

შემოთავაზებული გამოთვლების საფუძველზე უნდა დამუშავდეს სარემონტო ღონისძიებების დანიშვნის სისტემაზე დანამატები, რაც იძლევა, სარემონტოდ განკუთვნილი უბნების თანაბარ მნიშვნელოვანი მახასიათებლებისას, უფრო პრობლემურის არგუმენტირებულად არჩევის საშუალებას.

### **2.3. ცივი რეციკლირების ტექნოლოგიური ციკლების ოპტიმიზაცია**

საგზაო სამოსის რეციკლირების ტექნოლოგიის განხორციელება შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, როდესაც შესრულებულია მისთვის საჭირო ყველა წინასწარი მოსამზადებელი სამუშაოები, როგორცაა: დაბრკოლების აღმოფხვრა; არსებული საფარის წინასწარი დაპროფილება; ახალი მასალის მოტანა; ზედაპირის ფორმის კორექცია; რეციკლირებული მასალის გრანულომეტრიული შემადგენლობის გაუმჯობესება; რეციკლირებული ფენის სისქის გაზრდა ქვეშ დებული სტრუქტურის შეცვლის გარეშე.

ჩვენი კვლევის პროცესში ძირითადი ყურადღება გამახვილებულია ცივი რეციკლირების ორ სახეობაზე: რეციკლირება დიდ სიღრმეზე და რეციკლირება მცირე სიღრმეზე.

- რეციკლირება დიდ სიღრმეზე;

დიდ სიღრმეზე რეციკლირება შეიძლება გამოყენებული იყოს სქელი და თხელი ასფალტბეტონის ფენის მქონე დაზიანებული საგზაო სამოსის გასამაგრებლად. იქ, სადაც საგზაო სამოსი უნდა დაექვემდებაროს დიდ დატვირთვებს, შეიძლება საჭირო გახდეს ასფალტბეტონის საფუძველი, ასევე ასფალტბეტონის საცვეთი ფენა.

- რეციკლირება მცირე სიღრმეზე;

მცირე სიღრმეზე რეციკლირება ჩვეულებრივ ტარდება ასფალტბეტონის ფენების მნიშვნელოვანი ბზარების აღმოსაფხვრელად და მათი საექსპლუატაციო თვისებების გასაუმჯობესებლად. რეციკლირების ეს სახეობა ხშირად გამოიყენება მომსახურების მცირე ვადის მქონე გზების მოსაწყობად, მცირე სიღრმეზე რეციკლირების მეშვეობით შეიძლება საგზაო სამოსის კონსტრუქციის რამდენადმე გაუმჯობესება, რეციკლირების შემდეგ ასფალტბეტონის საცვეთი ფენის დაგების გზით. ძირითად ფენებში წყლის შეღწევის შემცირებით იზრდება საგზაო სამოსის მომსახურების ვადა. ცივი რეციკლირების მეთოდით საგზაო სამოსის შეკეთებას გააჩნია მთელი რიგი უპირატესობები:

- საგზაო სამოსის სტრუქტურული მთლიანობა

ცივი რეციკლირება იძლევა დიდი სისქის შეკრული ფენების მიღების საშუალებას, რომლებიც გამოირჩევა მასალის ჰომოგენურობით. ამიტომ არ არის საჭირო საგზაო სამოსის თხელ ფენებს შორის თხევადი შემკვრელები, რაც ხანდახან აუცილებელია ტრადიციული კონსტრუქციების საგზაო სამოსებში.

- გრუნტის მთლიანობის შენარჩუნება

ჩვეულებრივ, ცივი რეციკლირება ტარდება მუხლუხა ურიკიანი ან პნევმო მანქანიანი რესაიკლერის ერთი გავლით, რაც ნაკლებ ზემოქმედებას ახდენს გრუნტზე და შესაბამისად, ნაკლებად ახდენს მის დეფორმაციას.

- სამშენებლო სამუშაოების ხანგრძლივობის შემცირება

რეციკლირების თანამედროვე მანქანები გამოირჩევა მაღალი მწარმოებლურობით, რაც საგზაო სამოსების აღდგენის ტრადიციულ მეთოდებთან შედარებით, მნიშვნელოვნად ამცირებს სამშენებლო სამუშაოების დროს.

- საგზაო მოძრაობის უსაფრთხოება

ამ ტექნოლოგიის მნიშვნელოვან ღირსებას წარმოადგენს საგზაო საფარის აღდგენისას ტრანსპორტის მოძრაობის უსაფრთხოების მაღალი

დონე. რადგან, რეციკლირების განმახორციელებელი ყველა სამუშაო მანქანა განლაგდება მოძრაობის ერთი ზოლის სიგანეზე.

აღნიშნული უპირატესობებიდან გამომდინარე ცივი რეციკლირების ტექნოლოგია ხორციელდება კრიტერიუმით „ღირებულება/ეფექტურობა“.

- ორგანული და მინერალური სტაბილიზატორები;

ჩვენი ქვეყნის ბევრ რეგიონში, კარგი ხარისხის მასალა გზების მშენებლობისათვის უბრალოდ ხელმიუწვდომელია. შესაბამისი მასალების მოსატანად გაწეულმა დიდმა დანახარჯებმა, ადგილობრივი რესურსების გამოყენების მიზნით, ბიძგი მისცა სტაბილიზაციის მეთოდების განვითარებას. შედარებით ნაკლები დანახარჯებისას საჭირო სიმტკიცე შეიძლება მიღწეულ იქნას ადგილობრივი დაბალხარისხიანი მასალების გამოყენებისას მათთან სტაბილიზატორების მცირე რაოდენობის დამატების გზით.

თუმცა არსებობს ცდომილებები სტაბილიზატორების დადგენასა და მათ თვისებებთან დაკავშირებით. კირი და ცემენტი წარმოადგენენ ყველაზე ფართოდ გამოყენებად მინერალურ სტაბილიზატორებს. სტაბილიზატორის პირველი ამოცანა - მასალის სიმტკიცის გაზრდაა. მიღწეული სიმტკიცე მნიშვნელოვნად განისაზღვრება დამატებული სტაბილიზატორის რაოდენობით, მაგრამ ასევე დამოკიდებულია დასამუშავებელი მასალის სახეობაზეც. სიმტკიცის გაზრდისათვის სტაბილიზატორის მეტი რაოდენობის დამატებამ შეიძლება უარყოფითად იმოქმედოს ფენის მახასიათებლებზე. მინერალური სტაბილიზატორით დამუშავებული მასალა ხდება შედარებით მყიფე. სიმტკიცის გაზრდით მატულობს მისი სიმყიფე გამაგრებული ფენის დაღლილობის მახასიათებლების შემდგომი გაუარესებით. ეს იწვევს სატრანსპორტო საშუალებების მხრიდან განმეორებითი დატვირთვებისას ბზარების გამრავლებას და საგზაო სამოსის ფენების დაშლას. ტექნოლოგიური პროგრესის წყალობით, სტაბილიზატორის სახით ბიტუმის გამოყენება სულ

უფრო პოპულარული ხდება, ამასთანავე, ის გამოიყენება როგორც ემულსიის, ასევე აქაფებული სახითაც.

ბიტუმით დამუშავება - მასალის სიმტკიცისა და ნესტის მიმართ მდგრადობის გაზრდის რენტაბელური გზაა. ბიტუმით შეკრული მასალა წარმოქმნის მაღალი დადლილობის მახასიათებლების მქონე დრეკად ფენას, რაც იძლევა ფენის სისქის შემცირების საშუალებას.

ორგანული სტაბილიზატორით დიდ სიღრმეზე რეციკლირება ქმნის, ასფალტბეტონისაგან განსხვავებულ ბიტუმით სტაბილიზირებულ მასალას. ქარხნული ასფალტბეტონისაგან განსხვავებით, რეციკლირებული მასალის გრანულომეტრიული შემადგენლობა მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია არსებული საგზაო სამოსის მასალის სახეობაზე. ბიტუმით სტაბილიზირებული მასალისათვის სიცარიელები ჩვეულებრივ 10-დან 20%-მდეა. ის ხანდახან იქცევა, როგორც გრანულირებული მასალა, რომელსაც გააჩნია ნაწილაკებს შორის ხახუნის შედეგად, ძაბვისათვის წინააღმდეგობის გაწევის უნარი და ნაწილობრივ, როგორც ბლანტი დრეკადი მასალა, რომელიც უშვებს განმეორებით გამჭიმავ ძაბვებს. ანუ, აქ საუბარია ჰიბრიდულ მასალაზე.

ბიტუმის მსგავსად სტაბილიზაციისათვის შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს ბიტუმის ემულსია. იგი შედგება ორი შეურევადი სითხისაგან, რომელთაგან ერთ-ერთის ნაწილაკები განაწილებულია მეორეში, მცირე წვეთების ფორმით. ჩვეულებრივი ბიტუმის ემულსიები შედგება ბიტუმისგან, წვეთოვანი ფორმით, რომელიც განაწილებულია უწყვეტ წყლის ფაზაში. ამასთანავე, ბიტუმის ნაწილაკების შერწყმა კვლავ აირიდება ზედაპირულად-აქტიური ნივთიერებით (ემულგატორით), რომელიც ქმნის დამცავ აკვს ნაწილაკების გარშემო. სტაბილიზატორებად გამოყენებული ემულსიების უმრავლესობაში, „ნარჩენი ბიტუმი“ ტოლია 60%. ეს ნიშნავს, რომ ემულსიის საერთო მოცულობაში ბიტუმი შეადგენს 60% და წყალი 40%.

მასალასთან შერევის შემდეგ წყალი ორთქლდება და ბიტუმის ნაწილაკები შეერწყმება უწყვეტ აფსკად, რომელიც გაიღვრება ქვის მასალის

ზედაპირზე. ამ პროცესს ეწოდება ემულსიის დაშლა, მასზე მოქმედებს შემდეგი ფაქტორები:

- წყლის დაკარგვა აორთქლების ან შესარევი მასალის მიერ შთანთქმის ხარჯზე;
- ქიმიური კოაგულაცია ემულსიასა და ქვის მასალას შორის რეაქციის შედეგად;
- ტუმბოს ზედმეტი დაწოლით, შერევით და მოჭერით გამოწვეული მექანიკური დაზიანებები.
- ემულსიის ქიმიური შემადგენლობა.

ასეთი კომბინაციის თვისებების შესამოწმებლად ჩვენს მიერ ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ შესაძლებელია ცემენტის 4 %-მდე დამატება გამაგრებული ფენის დადლილობის თვისებების არსებითი დაქვეითების გარეშე. თუმცა ზოგიერთ ქვეყანაში სტანდარტს წარმოადგენს მეტი რაოდენობის ცემენტის დამატება ბიტუმის ემულსიის ასეთივე დანახარჯით. არსებობს ბიტუმის ემულსიის ორი ტიპი: ანიონური და კათიონური. მათ შორის ძირითადი განსხვავებაა - ბიტუმის შეწონილი ნაწილაკების დამუხტვა და შეწონვის ფაზა. ანიონურ ემულსიაში ბიტუმის ნაწილაკებს აქვს უარყოფითი მუხტი ტუტე ფაზაში, მაშინ, როცა კათიონურ ემულსიაში ეს ნაწილაკები დამუხტულია დადებითად მჟავე ფაზაში. ქიმიკალები, ცნობილი, როგორც „სტაბილიზატორები“, ემატება ორივე ტიპის ემულსიას დაშლის დროის გასაზრდელად ბიტუმის ნაწილაკებში დამუხტვის სიდიდის ეფექტური შემცირების გზით, რაც აქვეითებს მათ მიზიდულობას ქვის მასალასთან. ამგვარად, დაშლა ან ბიტუმის ნაწილაკების მიზიდულობა ქვის მასალასთან, შეკავდება.

ზოგიერთ ქვეყანაში, რეციკლირების შესახებ სპეციალისტების წარმოდგენებში არსებობს არეულობა ანიონურ და კათიონურ ემულსიებს შორის განსხვავებასთან დაკავშირებით, განსაკუთრებით მათი დაშლის პირობებთან მიმართებით. ბევრია საუბარი ანიონური ემულსიის შესახებ, რომელიც იშლება მხოლოდ მაშინ, როცა წყალი, რომელშიც შეწონილია

ბიტუმი, ორთქლდება ან შთაინთქმება ქვის მასალის ან ცემენტის მიერ. კათიონური ემულსიები იშლება „ქიმიურად“. ამასთანავე, ემულსიის მომზადებისას, ემატება სპეციალური ქიმიკატები, რომლებიც იწვევს ბიტუმის გამოყოფას წყლისაგან გარკვეული დროის შემდეგ. ეს არც თუ ისე სწორია. ორივე ტიპის ემულსია ერთნაირად იქცევა, იშლებიან რა, როდესაც წყლის ფაზა ფიზიკურად მოცილდება. ორივე შემთხვევაში დაშლა ხდება, როდესაც ქვის მასალის ნაწილაკების მუხტი ბიტუმის ნაწილაკების მუხტის საპირისპიროა, რაც იწვევს მათ ერთმანეთის მიმართ მიზიდულობას.

სტაბილიზატორის სახით ბიტუმის ემულსიის გამოყენების ერთადერთი მიზეზია - შესაძლებელი გახდეს ბიტუმის შერევა ცივ ტენიან მასალასთან, რაც წარმოადგენს შუალედურ ოპერაციას. აუცილებელ საბოლოო პროდუქტს წარმოადგენს ბიტუმით შეკრული მასალა, რაც მოითხოვს ემულსიაში ბიტუმის დაშლას და მის, როგორც შემკვრელის მოქმედებას.

ბიტუმის ემულსიით რეციკლირებისას უნდა შესრულდეს შემდეგი პირობები:

- ნარევის შემადგენლობის შერჩევა. როგორც სტაბილიზაციის ნებისმიერი სხვა ფორმისას, აქ აუცილებელია შესაბამისი ოპერაციები ნარევის შემადგენლობის შესარჩევად ბიტუმის ემულსიის აუცილებელი დანახარჯის განსასაზღვრავად, რათა მიღებულ იქნეს საჭირო სიმტკიცის მახასიათებლები;
- რეცეპტურა. ემულსიის „ადაპტაციის“ მიზნით გამოყენების კონკრეტული შემთხვევებისათვის, მათთან გამოიყენება სხვადასხვა რაოდენობის სხვადასხვა ქიმიკალიები. წყალში შეწონილ ნარჩენი ბიტუმის რაოდენობის განსაზღვრის გარდა, ასეთი ადაპტირება მიმართულია იმ პირობების მართვისაკენ, რომელთა დროსაც ხდება დაშლა. ვინაიდან ემულსიასთან შერეული მასალის სახეობა ახდენს ძირითად ზეგავლენას მის სტაბილურობაზე (დაშლის დრო), მნიშვნელოვანია, რომ განკარგულებაში იყოს რეციკლირებული მასალის სახასიათო

ნიმუში. ასევე უნდა არსებობდეს მონაცემები ნებისმიერი მინერალური სტაბილიზატორის შესახებ, რომელიც დაემატება ორგანულ შემკვრელთან კომბინაციაში. ყოველივე ეს იძლევა სტაბილიზატორის რეცეპტის სწორად შერჩევის საშუალებას;

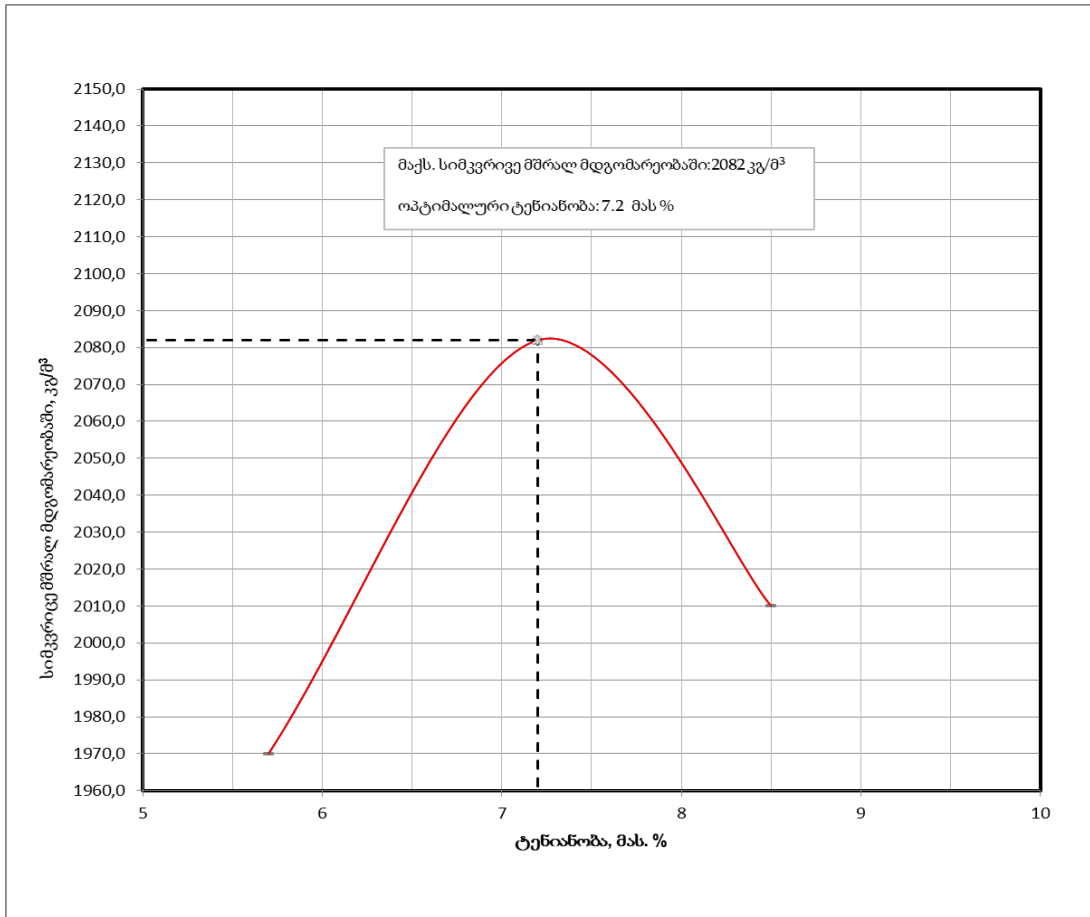
- სითხის საერთო შემადგენლობა. რეციკლირებული მასალის ტენიანობის კონტროლის სისტემა წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვან ასპექტს ბიტუმის ემულსიის დამატებით სტაბილიზაციაში, ვინაიდან გასათვალისწინებელია წყალი, რომელსაც გადასცემს ემულსია დაშლისას და თვითონ მასალის ტენიანობა;
- გამკვრივების დრო. როდესაც ემულსია იშლება, ბიტუმი შეწონილი მდგომარეობიდან გადადის ბლანტ ფორმაში. რეციკლირებული მასალის ცალკეული ნაწილაკები ამ დროს სრულად ან ნაწილობრივ დაიფარება ცივი ბლანტი ბიტუმის თხელი აპკით, რაც ართულებს გამკვრივებას. ამიტომ უმჯობესია მისი დასრულება ემულსიის დაშლამდე;
- ხარისხის კონტროლი. მასალის ნიმუშები (სიმტკიცის გამოსაცდელად) ჩვეულებრივ მზადდება რეციკლირების შემდეგ მაშინვე აღებული სინჯებისგან. ეს ნიმუშები უნდა მომზადდეს ემულსიის დაშლამდე, რათა მათ მოახდინონ გამკვრივებული მასალის მოდელირება;
- გამაგრება (სიმტკიცის აკრეფის სიჩქარე). თუმცა ბიტუმის ემულსიით სტაბილიზირებულ ზოგიერთ მასალებს შეუძლია აკრიფონ სრული სიმტკიცე მოკლე დროის განმავლობაში (დაახლოებით თვე), სხვა მასალების გამაგრება შეიძლება გაგრძელდეს ერთ წელიწადს. ამ დროზე მოქმედებს შემდეგი ფაქტორები:
  - ბიტუმის ემულსიის ტიპი და ხარისხი;
  - მასალის ტენიანობა გამკვრივებისას;

- მიღწეული სიმკვრივე (რომელიც განსაზღვრავს სიცარიელების შემადგენლობას);
- მასალის ტიპი, მათ შორის მისი გრანულომეტრიული შემადგენლობა და ადსორბციული თვისებები;
- დამატებული ცემენტის ან სხვა მინერალური შემკვრელის რაოდენობა.

ცემენტის დამატება მნიშვნელოვნად მოქმედებს სიმტკიცის აკრეფის სიჩქარეზე. მაგრამ ჩვენს მიერ ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ 4 %-ზე მეტის დამატება თავს იჩენს გამაგრებული ფენის დაღლილობის მახასიათებლებზე. ამ მიზეზით, ცემენტის ხარჯი ჩვეულებრივ შემოიფარგლება 3,5 - 4 %-ით.

რეციკლირებული მასალის დატკეპნის შემდეგ გამკვრივების ხარისხის გაზომვა არც ისე მარტივია ახალი მასალების ასეთ გაზომვებთან შედარებით, მაგალითად, კლასიფიცირებული ღორღისათვის. ჩვეულებრივ, გამკვრივების ხარისხის შეფასების მეთოდი ითვალისწინებს გამკვრივების ხარისხის გაზომვას სამუშაო ადგილზე. ამ გაზომვების მონაცემებით იგება მრუდი, რომლის დახმარებითაც განისაზღვრება მაქსიმალური სიმკვრივე მშრალ მდგომარეობაში და ოპტიმალური ტენიანობა. ამასთანავე, არ უნდა დავივიწყოთ, რომ შემკვრივების ძალა სტანდარტულია (მასალის ერთნაირი საში ფენა თითოეული 4სმ სისქით, მკვრივდება, 30სმ-ის სიმაღლიდან ვარდნილი 2,5კგ-იანი ტვირთის 25 დარტყმით).

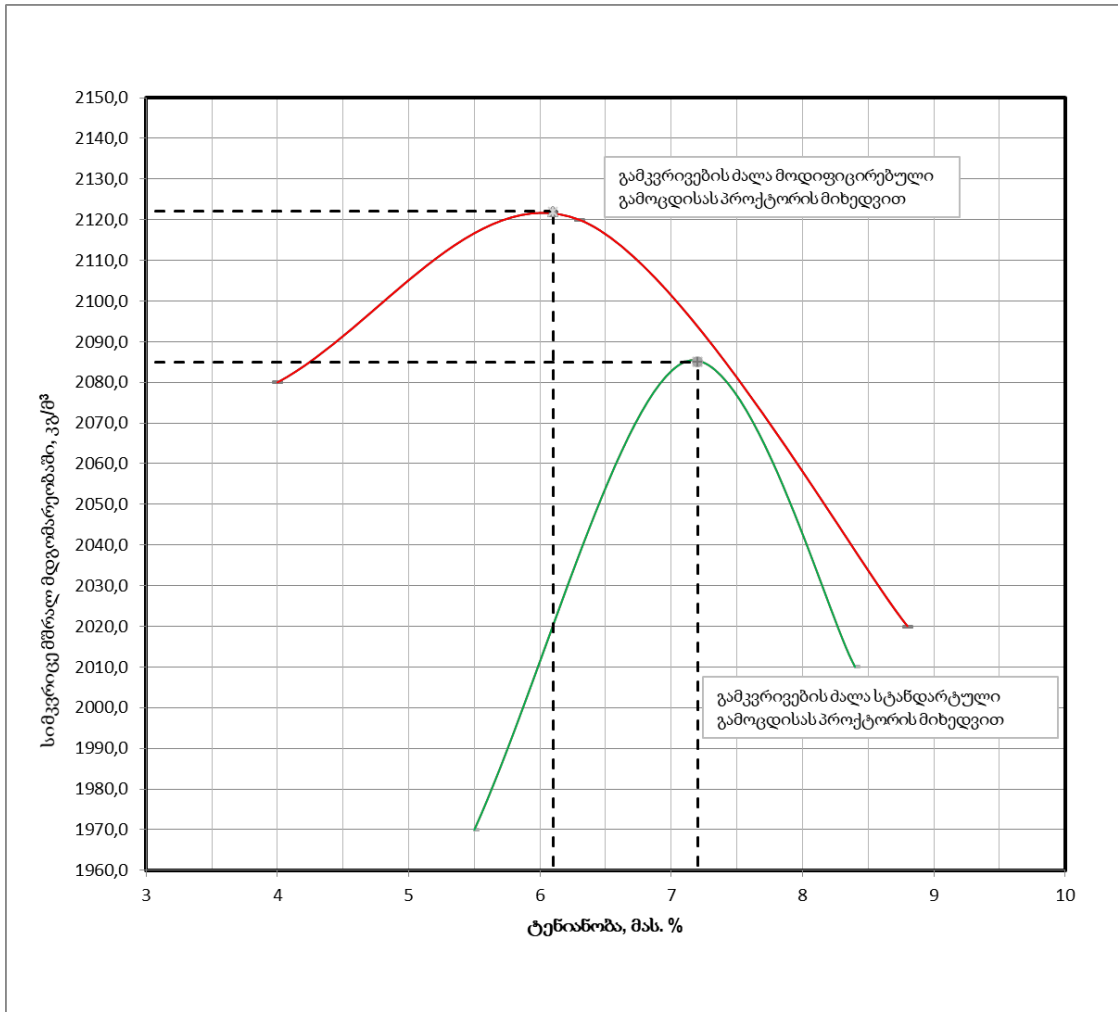




ნახაზი 16. სიმკვრივეზე დამოკიდებული ტენიანობა პროექტორის მიხედვით შემთხვევათა უმეტესობაში საჭირო სიმკვრივე განიხილება, როგორც, პროექტორის მიხედვით, მაქსიმალური სიმკვრივის პროცენტული წილი. როგორც წესი საგზაო სამოსის განსაზღვრული ფენისათვის ის არის, პროექტორის მიხედვით, მაქსიმალური სიმკვრივის სულ მცირე 98%-ის ტოლი. ეს ნიშნავს, რომ ადგილზე სიმკვრივის ყველა გაზომვა (სამუშაო მოედანზე) გამკვრივების შემდეგ, უნდა შეადგენდეს მაქსიმალური სიმკვრივის 98%-ზე მეტს მშრალ მდგომარეობაში, რაც მიღწეული იყო ლაბორატორიაში, განსახილველი მასალისათვის სტანდარტული გამკვრივებისას პროექტორის მიხედვით (ნახ.16.-ზე მაგალითის სახით ნაჩვენები მაქსიმალური სიმკვრივე მშრალ მდგომარეობაში ნიშნავს, რომ „ადგილზე“ სიმკვრივის გაზომვის ყველა შედეგი უნდა შეადგენდეს 2040 კგ/მ<sup>3</sup>-ზე მეტს).

თუმცა, აუცილებელია აღინიშნოს, რომ მშრალ მდგომარეობაში მაქსიმალური სიმკვრივის მნიშვნელობა შემკვრივების სტანდარტული

ძალისას, დამოკიდებულია მხოლოდ მასალის თვისებებზე. ამიტომ შემკვრივებულ მასალაში ნებისმიერი ცვლილება აუცილებელს ხდის ამ მნიშვნელობის ხელახალ განსაზღვრას ლაბორატორიაში სტანდარტული ძალის გამოყენებით. პროქტორის მიხედვით მოდიფიცირებული გამოცდა შემუშავებული არის სტანდარტების უფრო მკაცრი მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, (მასალის ხუთი ერთნაირი ფენა, თითოეული მათგანი სისქით 2,5 სმ, მკვრივდება, 45 სმ–იანი სიმალიდან ვარდნილი 4,5–კილოგრამის ტვირთის 55 დარტყმით). როგორც ნახ.17-ზე არის ნაჩვენები შემკვრივების უფრო მაღალი ძალა იწვევს მშრალ მდგომარეობაში მაქსიმალური სიმკვრივის მნიშვნელობის ზრდას და ოპტიმალური ტენიანობის შემცირებას.



ნახაზი 17. გამკვრივების ორი განსხვავებული ძალის ზემოქმედება ტენიანობის სიმკვრივისგან დამოკიდებულებაზე

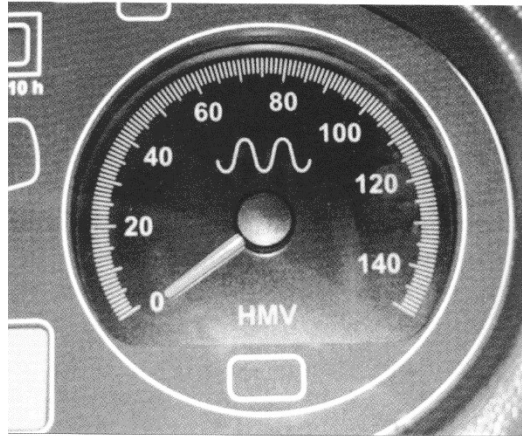
ამ ორივე მრუდისათვის არსებითს წარმოადგენს მათი სიახლოვე „ტენიანი“ მხრიდან ოპტიმალური ტენიანობის წერტილთან მიმართებაში „მშრალ“ მხარესთან შედარებით. ტენიანობის მიხედვით, მასალაზე მოქმედებს გამკვრივების უფრო მაღალი ძალა.

- თუ ტენიანობა მის ოპტიმალურ მნიშვნელობაზე ნაკლებია, შემკვრივების მიღწეული ხარისხი უფრო მაღალია. მაგალითად, მასალის ტენიანობა ტოლია 6%-ისა, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ.17.-ზე, შემკვრივების სტანდარტული ძალისას პროექტორის მიხედვით, მიიღწევა 2010 კგ/მ<sup>3</sup> სიმკვრივე. მოდიფიცირებული გამოცდისას კი, პროექტორის მიხედვით, სიმკვრივე გაიზარდა 2105 კგ/მ<sup>3</sup>-მდე, ანუ თითქმის 5%-ით, იმავე ტენიანობისას. საჭირო გამკვრივების მისაღწევად, ეს იძლევა, შედარებით მშრალი მასალის გამკვრივების საშუალებას, მშენებლობის ადგილზე დამატებითი გამამკვრივებელი ძალით: უფრო მეტჯერ გავლის და/ან უფრო მძიმე სატკეპნის გამოყენების ხარჯზე.

- თუ ტენიანობა მის ოპტიმალურ მნიშვნელობაზე მეტია, მაშინ მიიღწევა მხოლოდ უმნიშვნელოდ უფრო მაღალი ხარისხის შემკვრივება. მაგალითად, 8%-იანი ტენიანობისას, სტანდარტული ძალით შემკვრივებისას, პროექტორის მიხედვით, შეიძლება 2048 კგ/მ<sup>3</sup> სიმკვრივის მიღება. მოდიფიცირებული გამოცდისას პროექტორის მიხედვით, ის იზრდება 2065 კგ/მ<sup>3</sup>-მდე, ანუ 1%-ზე ნაკლებით იმავე ტენიანობისას. შემგომი შემკვრივებისას, მასალა ხდება არასტაბილური, რამეთუ სიცარიელები მასში მცირდება მათი სრულად წყლით შევსებამდე. მოქმედება, რომელიც ხდება ჰიდრაულიკური სითხის მოქმედების მსგავსი. სიმკვრივის დამატებით გაზრდა შეუძლებელია. მრეწველობაში ეს მოვლენა ცნობილია, როგორც „გაბერვა“. ტენიანობის, სიმკვრივის და შემკვრივების ძალის ურთიერთკავშირის გააზრება ძალიან მნიშვნელოვანია სქელი რეციკლირებადი ფენების შემკვრივებისას. როდესაც მასალის სიმკვრივე ოპტიმალურ მნიშვნელობაზე დაბალია, საპროექტო შემკვრივების მიღწევა შეიძლება შემკვრივების ძალის გაზრდით. მაგრამ თუ ტენიანობა აღემატება

ოპტიმუმს, საჭირო შემკვრივების მიღწევა უკვე შეუძლებელია, ხოლო შემკვრივების მეტი ძალის მოდებისას იზრდება მასალის არასტაბილურობა. ზედაპირზე წარმოიქმნება ბადიანი ბზარები და მასალა ჯდება. საგზაო სამოსში მასალის შემადგენლობის ცვლილება წარმოადგენს კიდევ ერთ მნიშვნელოვან ასპექტს, რომლის გათვალისწინება საჭიროა არსებული საგზაო სამოსის რეციკლირებული მასალის შემკვრივების ხარისხის შემოწმებისას. ტენიანობასა და შემკვრივების ძალასთან ერთად, საგზაო სამოსის მოწყობისას მიღწეული ფაქტიური სიმკვრივე, მნიშვნელოვანწილად დამოკიდებულია მის ქვეშ მდებარე ფენის მზიდი უნარის მახასიათებლებზე. რეციკლირებადი მასალის ტიპი ასევე მოქმედებს საჭირო შემკვრივების ხარისხზე, ვინაიდან, როგორც უკვე ითქვა, მაქსიმალური სიმკვრივე მშრალ მდგომარეობაში დამოკიდებულია თვითონ მასალის მახასიათებლებზე. ახალი ქვის მასალის დამატების, მარცვლების სიმსხვილის შესაცვლელად, რესაიკლერის ან მისი საფრეზ-შემრევი დოლის ბრუნვის სიხშირის სიჩქარის ცვლილების გარდა, არსებობს, რეციკლირებას დაქვემდებარებული მასალის თვისებებზე ზემოქმედების მცირე შესაძლებლობები. ამიტომ ლოგიკურია ის, რომ იქ, სადაც, არსებული საგზაო სამოსი ძირითადად შედგება კარგი შემადგენლობის ღორღის ფრაქციისაგან, შესაბამისი საყრდენი ფენის არსებობისას, რეციკლირების დროს შესაძლებელია უფრო მაღალი შემკვრივების მიღწევა. აუცილებელია განისაზღვროს, იყო თუ არა რეციკლირებადი მასალა შემკვრივებული მაქსიმალურად შესაძლებელ ხარისხამდე, მიღწევადი მოქმედი პირობებისას და საყრდენი ფენის არსებობისას. გარდა ამისა, ასევე შეფასებული უნდა იყოს მასალის შემადგენლობის ცვლილებები რეციკლირებად ფენაში. სამშენებლო მოედანზე მიღებული უნდა იყოს შემკვრივების ხარისხი, რომელიც მოითხოვება მიღებისას არსებული პირობების გათვალისწინებით, ამასთანავე, ეს პირობები შეიძლება მუდმივად იცვლებოდეს. ასეთი შემკვრივების ფაქტიური მიღწევის უზრუნველსაყოფად, შემკვრივების ტექნოლოგიის სფეროში პროგრესმა,

გამოიწვია სიმკვრივესაზომის – შემკვრივების ხარისხის გასაზომი ინოვაციური მოწყობილობის შექმნა, რომლის დამონტაჟება შესაძლებელია ვიბრო სატკეპნებზე, (იხ.ნახ.18.).



ნახაზი 18. სიმკვრივის საზომი

GPS სისტემის მიმღების, სიმკვრივე საზომის და მიკროპროცესორის არსებობისას, შესაძლებელია შემკვრივების პროცესის ყველა მონაცემის დაფიქსირება, დოკუმენტირება და გაანალიზება.

## **2.4. საგზაო სამოსის გაანგარიშების მეთოდები ცივი რეციკლირების დროს**

### **2.4.1. საგზაო სამოსის მზიდი უნარის გათვლა სტრუქტურული რიცხვების მეთოდით**

ასფალტბეტონის საფარის მშენებლობის და ექსპლუატაციის მრავალწლიანი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სარემონტო სამუშაოების ჩატარების დროს დაზიანებულ ფენაზე ასფალტბეტონის და სხვა ბიტუმ-მინერალური მასალის ახალი ფენებით შეცვლა მოძველდა და ითხოვს მოდერნიზაციას. სწორედ ამიტომ ერთ-ერთ მთავარ მიმართულებად უნდა ჩაითვალოს ძველი ასფალტბეტონისა და სხვა ბიტუმ-მინერალური მასალების მეორადი გამოყენება. ამ პრობლემის გადასაწყვეტად მხედველობაში უნდა მივიღოთ ძველი ასფალტბეტონის რაოდენობა, მისი ხარისხი, გრანულაცია და მეორადი გამოყენების მეთოდები.

ცივი რეციკლირების მეთოდით საგზაო სამოსის შეკეთებას გააჩნია მთელი რიგი უპირატესობა. ამ დროს არ არის აუცილებელი ძველი სამოსიდან მოხსნილი მასალის გატანა და დასაწყობება სარემონტო უბნის სიახლოვეს (რაც საკმაოდ დიდი პრობლემაა, განსაკუთრებით ქალაქის ქუჩების რემონტისას), ახალი სამოსის მოწყობასთან შედარებით შემცირებულია ბიტუმის ხარჯი, მთლიანად გამოიყენება ძველი ქვის მასალა და ა.შ.

სტრუქტურული რიცხვების მეთოდით საგზაო სამოსის მზიდი უნარის გათვლა შეიძლება გამოდგეს ნარევის შემადგენლობის შესარჩევ სინჯებში მასალების თანაფარდობის შესახებ გადაწყვეტილების მიღებისას (რაც მოითხოვს სტაბილიზებული ფენის სისქის წინასწარ შეფასებას). ამ მეთოდს აქვს რიგი უპირატესობები, როგორცაა გამოყენების სიმარტივე, შედეგების მიღების სისწრაფე და მასალის მახასიათებლებსა და ქცევის თავისებურებებზე კლიმატური ფაქტორების გავლენის გათვალისწინების შესაძლებლობა. ასევე, ის იძლევა გათვლაში ახალი მასალების უპრობლემოდ შეტანის საშუალებას. ამის გამო სტრუქტურული რიცხვების მეთოდი გაფართოვდა მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული ფენების გასათვლელად, რაც იძლევა მისი გამოყენების საშუალებას 5მლნ. ESAL მოძრაობის ინტენსივობის მქონე გზებისთვის.

სტრუქტურული რიცხვების მეთოდი ემპირიულია. ამიტომ მას გააჩნია რიგი შეზღუდვები, რომლებიც გასათვალისწინებელია. ის არ იძლევა ფენების ოპტიმალური კომბინაციების მიღების გარანტიას, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს საგზაო სამოსის კონსტრუქციის დაუბალანსირებლობა. ამიტომ ეს მეთოდი არ არის რეკომენდებული გამოყენებული დამმუშავებლებისათვის და მისი გამოყენება უნდა შეიზღუდოს უფრო მარტივი კონსტრუქციების გამოყენებით.

სტრუქტურული რიცხვების მეთოდის მიხედვით გათვლისას ცნობილი უნდა იყოს საგზაო სამოსის კონსტრუქციაში გამოყენებული

მასალის სახეობა და ხარისხი. თუ მასალის ხარისხის და ცალკეული ფენების სისქის შეფასება შესაძლებელია, მაშინ, „ფენის სტრუქტურული კოეფიციენტი“ დახმარებით შეიძლება სტრუქტურული რიცხვის გაანგარიშება მთელი კონსტრუქციისათვის, რაც განსხვავებულია მასალის სხვადასხვა სახეობისათვის. მთელი საგზაო სამოსის სტრუქტურული მზიდი უნარი განისაზღვრება, როგორც ფენების სტრუქტურული კოეფიციენტების და მათი სისქის ნამრავლის ჯამი. [6]

ცხრილი №2-ში მოცემულია საავტომობილო გზის ფენების ტიპიური სტრუქტურული კოეფიციენტები.

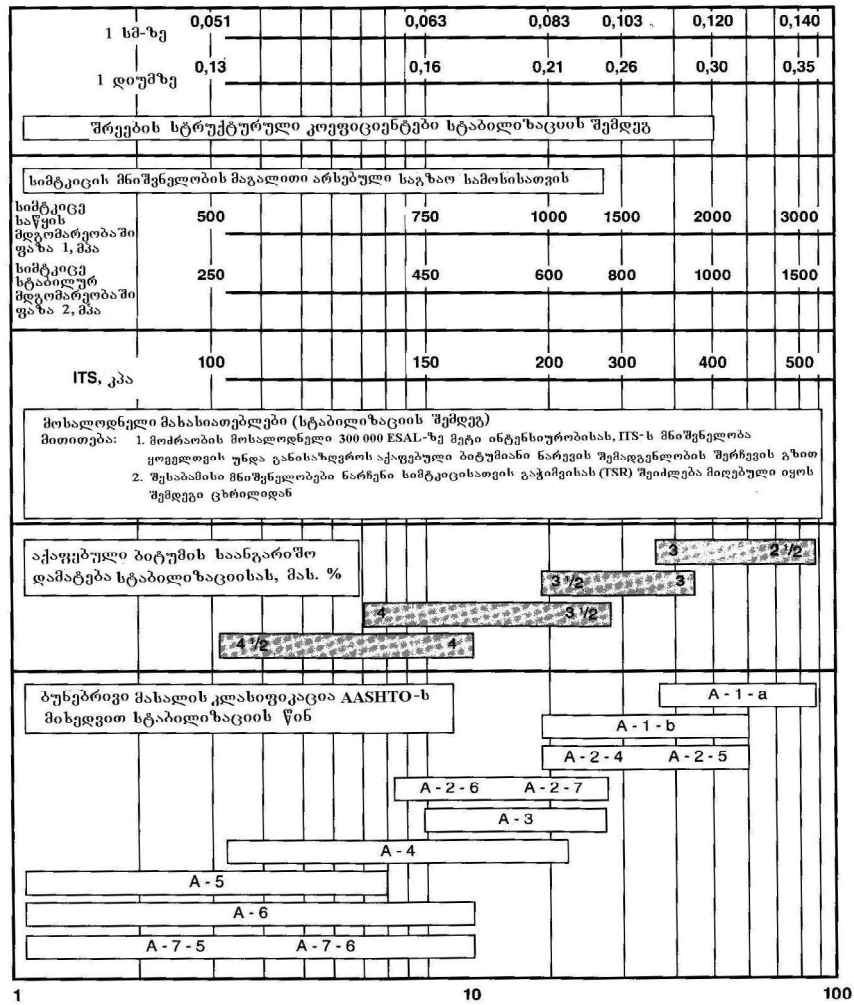
ცხრილი 2.

ფენების ტიპიური სტრუქტურული კოეფიციენტები  
(AASHTO-ს მონაცემების თანახმად)

მასალის სახეობა	თვისებები	ფენის სტრუქტურული კოეფიციენტი, 1სმ-ზე
ა/ბ ზედა საცვეთი ფენა	დრეკადობის მოდული 2500-დან > 10000მპა-მდე	0,20 – 0,44/0,08 – 0,17
ა/ბ ქვედა ფენა	თანაბარი მარცვლოვანი შემადგენლობა, ფორიანობა 6%	0,20 – 0,38/0,08 – 0,15
ბიტუმით დამუშავებული საფუძველი		0,10 – 0,30/0,04 – 0,12
ფრაქციული ღორღი	CBR > 80%	0,14/0,055
ბუნებრივი ხრეში, 1 ტიპი	CBR 65%-დან > 80%-მდე	0,12/0,047
ბუნებრივი ხრეში, 2 ტიპი	CBR 40%-დან > 65%-მდე	0,10/0,040
გრუნტი, 1 ტიპი	CBR 175%-დან > 40%-მდე	0,08/0,032
გრუნტი, 2 ტიპი	CBR %-დან > 15%-მდე	0,06/0,024
არაბმული ქვიშა	P1=0	0,04 – 0,05/0,016 – 0,020

ცემენტით დამუშავებული ღორღი	UCS 1,0-დან 3,0მპა-მდე	0,17/0,067
ცემენტით დამუშავებული ხრეში	UCS <1,0მპა	0,12/0,047

მოდულიზირებული ბიტუმით სტაბილიზებული მასალების ფენების სტრუქტურული კოეფიციენტები წარმოდგენილია ნახ.19.-ზე



წყლით გაჯერებული მასალის კალიფორნიული რიცხვი (CBR) საჭირო სიმკვრივისას ნახაზი 19. მოდულიზირებული ბიტუმით სტაბილიზებული მასალების ფენების სტრუქტურული კოეფიციენტები



- შენიშვნა:**
1. ყველა მასალა  $P1 < 10$  და  $CBR < 45$ -ით საჭიროებს 1% ცემენტის დამატებას.
  2. თუ აუცილებელია, ფრაქციის პროცენტული შემცველობის სულ მცირე 5%-მდე გაზრდა, უნდა დაემატოს წვრილი 0,075 მმ და უფრო წვრილი მასალა.

ნახაზი 19-ის მიზანს წარმოადგენს კოეფიციენტის სანახავად საწყისი წერტილის მიცემა, რომელიც ითვალისწინებს მოდიფიცირებული ბიტუმითდამუშავებული საგზაო სამოსის ფენების სახეობას, რის შედეგადაც მათი ამ მასალების შეფასება შესაძლებელი იქნება სტრუქტურული რიცხვების მეთოდით. უნდა დავიწყოთ ქვევიდან, მოდიფიცირებული ბიტუმით დამუშავებული ბუნებრივი მასალის მახასიათებლებიდან, და შემდეგ გავაგრძელოთ ვერტიკალურად ზევითკენ. ამასთანავე, გამოყენებული უნდა იყოს სრული დამატებითი ინფორმაცია შემკვრელის შემცველობასთან, ჭიმვისას სიმტკიცის ზღვართან და დრეკადობის მოდულთან დაკავშირებით, რათა ზუსტად განისაზღვროს პოზიცია ჰორიზონტალურად. თუმცა, უნდა გვახსოვდეს, რომ შესაძლებელია ურთიერთსაწინააღმდეგო შედეგების მიღება. ასეთ შემთხვევაში უნდა ვიხელმძღვანელოთ ჯანსაღი საინჟინრო შეგნებით, რათა მოიძებნოს წონასწორობა მიზანშეწონილობასა და კონსერვატიულობას შორის. მითითებული სიმტკიცის მნიშვნელობები წარმოადგენს „ადგილზე“ გაზომვების ტიპიურ შედეგებს (რომელთა გამოყენება შეიძლებოდა თეორიული გაანგარიშებისას).

კოეფიციენტები, რომლებიც ითვალისწინებს ფენის სახეობას სხვადასხვა მასალებისათვის, საფარში კომბინირდება, საგზაო სამოსის კონსტრუქციისათვის კომპლექსური სტრუქტურული რიცხვის განსასაზღვრავი განტოლების მიხედვით.

$$SN_{act} = a_1 \cdot h_1 \cdot d_1 + a_2 \cdot h_2 \cdot d_2 + a_3 \cdot h_3 \cdot d_3 + \dots + a_i \cdot h_i \cdot d_i \quad (15)$$

სადაც:  $SN_{act}$  = ფაქტიური სტრუქტურული რიცხვია საგზაო სამოსის შერჩეული კონსტრუქციისათვის;

$a_1$  = კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ფენის სახეობას  $i$  ფენისათვის;

$h_1$  =  $i$  ფენის სისქე;

$d_1$  = კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დრენაჟის სახეობას  $i$  ფენისათვის.

ფაქტიური სტრუქტურული რიცხვი  $SN_{act}$  უნდა იყოს საჭირო  $SN_{reg}$  (AASHTO) რიცხვზე მეტი, რომელიც განისაზღვრება, გზაზე სატრანსპორტო საშუალებების მხრიდან დატვირთვის, ასევე მიწის ვაკისის მზიდი უნარის თაობაზე მონაცემების საფუძველზე. კოეფიციენტები, რომლებიც ითვალისწინებენ ფენის სახეობას, განისაზღვრება მე-3 ცხრილის მონაცემების შესაბამისად.

ცხრილი 3.

კოეფიციენტები, რომლებიც ითვალისწინებენ დრენაჟის სახეობას (AASHTO)

დრენაჟის ხარისხი	$d_i$ კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დრენაჟის სახეობას	
	დრო ( $B$ %-ში), რომლის განმავლობაშიც საგზაო სამოსის მასალა აღწევს წყლით გაჯერებულთან ახლო მდგომარეობას	
	1%	25%
საუკეთესო	1,35	1,2
კარგი	1,25	1,0
ზომიერი	1,15	0,8
ცუდი	1,05	0,6
ძალიან ცუდი	0,95	0,4

მოდიფიცირებული ბიტუმით დამუშავებული მასალის ფენის სისქე განისაზღვრება მისი გაზრდის ან შემცირების გზით იმ დონემდე, სანამ მიღწეული სტრუქტურული რიცხვი არ იქნება საჭირო სტრუქტურული რიცხვის შესაბამისი ან მასზე მეტი. ამ მეთოდის საშუალებით გაკეთებული გაანგარიშება, ნაჩვენებია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში.

ცხრილი 4.

არსებული საგზაო სამოსი

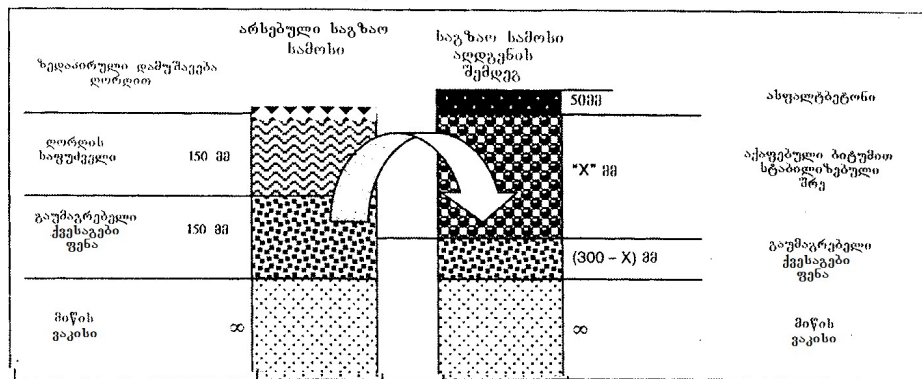
ფენა	ფენის სისქე და მასალის სახეობა	CBR, %	საჭირო სტრუქტურული კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ფენის სახეობას (1სმ-ზე)	დრეკადობის ოდელი, მპა
საფარი	ზედაპირული დამუშავება			
საფუძველი	ღორღი 150 მმ	> 80	0,056	
ქვესაგები ფენა	არაბმული მასალა 150 მმ	> 45	0,048	
მიწის ვაკისი	არსებული გრუნტები	საშუალოდ 8		55

გაზომვები აჩვენებს, რომ საგზაო სამოსის საექსპლუატაციო საიმედოობის საწყისი ინდექსი (PSI = Pavement Serviceability Index) შეადგენს დაახლოებით 4,2. კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დრენაჟის სახეობას, განსაზღვრულია 1,0 ტოლი (ზომიერი მნიშვნელობა, დროთა განმავლობაში უახლოვდება გაჯერების მდგომარეობას: 1-5%). ძირითადი მოთხოვნები აღდგენისადმი

- საანგარიშო საიმედოობა 90%
- საერთო სტანდარტული გადახრა 0,4
- ქვედა ზღვარი PSI 2,5
- სტრუქტურული მზიდი უნარი

(მომსახურების საანგარიშო ვადა 15 წელი)  $2,5 \cdot 10^6 ESAL$

ზემოთ მოყვანილი ინფორმაცია საგზაო სამოსის ანალიზის პროგრამაში გამოიყენება. აღნიშნული ინფორმაციის ამ ანალიზში გამოყენებისას, საჭირო სტრუქტურული რიცხვი მიღებულია  $SN_{reg} = 3,83$  - ის ტოლი. რეციკლირება მოდიფიცირებული ბიტუმითწარმოადგენს ვარიანტს, რომელიც უნდა იყოს განხილული ამ საგზაო სამოსის აღდგენისას, როგორც ეს ჩანს ნახ.20 -ზე.  $SN_{reg}$  - ის მისაღწევად საჭირო რეციკლირების სიღრმე („X” მმ), შემდგომ განისაზღვრება სტრუქტურული რიცხვების მეთოდით.



ნახაზი 20. არსებული საგზაო სამოსი და მისთვის შემოთავაზებული კონსტრუქცია აღდგენის შემდეგ.

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ ნარევის რეციკლირებისას (მის დამუშავებამდე) მიღებული კალიფორნიული რიცხვი შეადგენს სულ მცირე 50%, მაშინ, კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ფენის სახეობას მოდიფიცირებული ბიტუმით დამუშავებული ფენისათვის, სურათი 2-ის შესაბამისად შეიძლება მიღებული იყოს 0,12-ის ტოლი. საფარის შემთხვევაში ორი ვარიანტი განიხილება. იმის გათვალისწინებით, რომ რეციკლირებული ფენის ზემოდან უნდა იყოს

ასფალტბეტონის საფარი ნომინალური სისქით 50მმ, ბიტუმის ემულსით სტაბილიზებული ფენის სისქე იქამდე ვარიირებს, სანამ გაანგარიშებული სტრუქტურული რიცხვი ( $SN_{act}$ ) არ იქნება  $SN_{reg}$ -ის შესაბამისი ან არ გადააჭარბებს მას, როგორც ეს ნაჩვენებია ცხრ. 5-ში.

ცხრილი 5.

სტრუქტურული რიცხვის გაანგარიშება ასფალტბეტონის საფარის ფენისათვის

ფენა	კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს $a_1$ სახეობის ფენას	კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს $d_1$ სახეობის დრენაჟს	ფენის სისქე $t$ სმ	$a_i \cdot d_i$
ასფალტბეტონი	0,173	1,0	5	0,87
მოდIFIცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული ფენა	0,120	1,0	22	2,64
გაუმაგრებელი ქვესაგები შრე	0,048	1,0	8	0,38
$SN_{act} = \sum a_1 \cdot d_1 \cdot t = 3,89$				

გაანგარიშებული სტრუქტურული რიცხვი  $SN_{act}$  მეტია საჭიროზე  $SN_{reg}$  ( $3,89 > 3,83$ ). ეს ნიშნავს, რომ 50მმ-იან ასფალტბეტონის საფართან ბმული ბიტუმის ემულსიანი მასალის ფენა სისქით 220მმ, ასრულებს მზიდი უნარისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს.

თუ ასფალტბეტონის საფარის ნაცვლად გამოვიყენებთ ორმაგ ზედაპირულ დამუშავებას, მაშინ, აუცილებელია მოდიფიცირებული ბიტუმით დამუშავებული ფენის სისქის გაზრდა, როგორც ეს ჩანს ცხრილ 6-ში.

სტრუქტურული რიცხვის გაანგარიშება ზედაპირული  
დამუშავებისათვის

ფენა	კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს $a_1$ სახეობის ფენას	კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს $d_1$ სახეობის დრენაჟს	ფენის სისქე $t$ სმ	$a_i \cdot d_i \cdot t$
მოდულირებული ბიტუმით სტაბილიზებული ფენა	0,120	1,0	32	3,83
				$SN_{act} = \sum a_i \cdot d_i \cdot t = 3,83$

თუ მოდიფიცირებული ბიტუმით დამუშავებული ფენის სისქეს გავზრდით 320მმ-მდე, მაშინ შესაძლებელია საჭირო სტრუქტურული რიცხვის  $SN_{reg}$  მიღწევა. თუმცა, ამ დროს, რეციკლირება დაახლოებით 20მმ-ის სიღრმეზე, იტაცებს მიწის ვაკის ქვევით არსებულ დაბალ ხარისხიან მასალას. თუ ასეთი ნარევი მასალის CBR მნიშვნელობა დაიწევს 50%-ზე ნაკლებ მნიშვნელობამდე, მაშინ წარმოიშვება ალტერნატივის განხილვის საჭიროება, რომ რეციკლირების წინ, არსებულ ზედაპირზე უნდა დაიდოს მოტანილი მაღალი ხარისხის მასალის 30მმ-იანი ფენა. ამ შემთხვევაში, რეციკლირება არ შეეხება მიწის ვაკისს.

აღნიშნულიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ საქართველოში არსებული რეალობიდან გამომდინარე, სარეაბილიტაციო გზების საგზაო სამოსი მნიშვნელოვნადაა დაზიანებული. რეაბილიტაციისას ოპტიმალური გადაწყვეტილების მისაღებად აუცილებელია არსებული საგზაო სამოსის კონსტრუქციის კვლევების ჩატარება. კვლევები ტარდება როგორც სტაციონალურ, ასევე საველე პირობებში.

ოპტიმალური კონსტრუქციის შერჩევა ძირითადად დამოკიდებულია არსებული საგზაო სამოსის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებზე. [6]

ნაშრომში გაკეთებული გაანგარიშებიდან გამომდინარე, ვინაიდან საგზაო სამოსის საჭირო სტრუქტურული რიცხვების მზიდი უნარი  $5 \cdot 10^6$  ESAL- ზე ნაკლებია, სტრუქტურული რიცხვების აღწერილი მეთოდით გაანგარიშების მიხედვით მიღებული შედეგები შეიძლება ჩაითვალოს საკმარისად.

#### **2.4.2. საგზაო სამოსის მზიდი უნარის გათვლა თეორიული ანალიზის გზით**

ამ ქვეთავში განხილული გვაქვს საგზაო სამოსის მზიდი უნარის გათვლა თეორიული ანალიზის გზით. აღნიშნული მეთოდის გამოყენება ეფუძნება წრფივ - დრეკად მოდელებს და სტრუქტურული რიცხვების მეთოდისაგან განსხვავებით ხასიათდება დიდი სიზუსტით, მისი გამოყენება განსაკუთრებით ეფექტურია მაღალი ინტენსივობის გზებზე, ასევე საგზაო სამოსების რეაბილიტაციისას.

საგზაო სამოსის კონსტრუქციის გაანგარიშება რეკომენდებულია თეორიული ანალიზის გზით. არსებობს გაანგარიშების სხვადასხვა თეორიული მეთოდი, რომლებიც ეფუძნება წრფივ-დრეკად მოდელებს და მათ საფუძველზე ხდება საგზაო სამოსის კონსტრუქციის თითოეული ფენისათვის, კრიტიკულ ადგილებში ძაბვებისა და დეფორმაციების გაანგარიშება.

მიუხედავად იმისა, რომ მზიდი უნარის შეფასებისას გამოიყენება გამარტივებისა და დაშვებების ელემენტები, თეორიული მეთოდები, ანალიზის თვალსაზრისით იძლევა უფრო საიმედო და უფრო ზუსტ შედეგებს ვიდრე სტრუქტურული რიცხვების მეთოდები, შესაბამისად რეკომენდირებულია გამოყენებული იყოს მაღალი დატვირთვების გზებზე. [5]

არსებობს გაანგარიშების სხვადასხვა მეთოდები, სხვადასხვა მასალისა და კონკრეტული კლიმატური პირობებისათვის. ისინი

ძირითადად ეფუძნება ემპირიულ თანაფარდობას ძაბვებისა და დეფორმაციების მნიშვნელობებსა და საგზაო სამოსის დაზიანებებს შორის. ასეთი მეთოდით შესაძლებელია საგზაო სამოსის სწრაფი გაანგარიშება და ძირითადად გამოიყენება მოდიფიცირებული ბიტუმით და ბიტუმის ემულსიით სტაბილიზებული მასალებისათვის.

თეორიული მეთოდის გამოყენებით გაანგარიშებისათვის განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითი, სადაც დაზიანებული საგზაო სამოსის რეაბილიტაცია გათვალისწინებულია მოდიფიცირებული ბიტუმისგამოყენებით.

არსებული საგზაო სამოსის კონსტრუქცია შემდეგია:

- საფარი - წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონი სისქით 5 სმ;
- საფუძვლის ზედა ფენა - ფრაქციული ღორღი, სისქით 70 სმ;
- ქვესაგები ფენა - ქვიშა-ხრემოვანი მასალა, სისქით 20 სმ, CBR > 80%, დრეკადობის მოდული, 250 მპა;
- არსებული დატკეპნილი გრუნტი,  $CBR_{საშ} = 10\%$ , დრეკადობის მოდული-90 მპა.

საგზაო სამოსის რეაბილიტაციის შემდეგ შენარჩუნებული იქნება ასფალტბეტონის საფარი სისქით 5 სმ, რაც შეეხება საფუძვლის ფენებს მათი სისქე დადგინდება გაანგარიშებით. ძირითადი მოთხოვნები საფარის აღდგენისადმი შემდეგია:

- საანგარიშო საიმედოობა - 90%
- კლიმატური პირობები - ზომიერი
- ზღვრული პირობები - ლიანდები 20 მმ
- საერთო სტანდარტული გადახრა - 0,4
- ქვედა ზღვარი PSI - 2,5
- მომსახურების საანგარიშო ვადა 15 წელი - 5 x 10<sup>6</sup> ESAL
- მოსალოდნელი დატვირთვა - გაორმაგებული დატვირთვა 20კნ ბორბალისგან,
- წნევა სალტეებში 700 კპა.



თეორიული გაანგარიშების წინ, მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული რეციკლირებადი ფენის სისქის საორიენტაციო განსაზღვრისათვის, რეკომენდებულია საგზაო სამოსის კონსტრუქციის წინასწარი შეფასება სტრუქტურული რიცხვების მეთოდით, რაც მოგვცემს საგზაო სამოსის სქემის აგების საშუალებას მისი თეორიული ანალიზისათვის. ცხრილში 7 მოყვანილია სტრუქტურული რიცხვის გაანგარიშება, რომელიც წინ უსწრებს თეორიულ გაანგარიშებას.

ცხრილი 7.

სტრუქტურული რიცხვის გაანგარიშება

ფენა	კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს $a_1$ სახეობის ფენას	კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს $d_1$ სახეობის დრენაჟს	ფენის $t$ სისქე	$a_1 \times d_1 \times t$
ასფალტბეტონი	0,173	1,0	5	0,87
მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული ფენა	0,120	1,0	20	2,40
გაუმაგრებელი ღორღის ქვესაგები ფენა	0,047	1,0	12	0,56
$SN_{act} = \sum a_1 \times d_1 \times t = 3,83$				

ფაქტიური სტრუქტურული რიცხვი  $SN_{act}$  შეესაბამება მოთხოვნილს:  $SN_{reg} = 3,83$ , ამიტომ რეციკლირების საჭირო სიღრმე შეადგენს 200 მმ.

თეორიული გაანგარიშება ტარდება ბიტუმის ემულსიით სტაბილიზებული ფენის მახასიათებლების განსასაზღვრავად. ამ მიზნით

გამოიყენება შესაბამისი ალგორითმი და პროგრამა. გაანგარიშებისათვის საჭირო ამოსავალი მონაცემები მოცემულია ცხრილში 8.

ცხრილი 8.

საგზაო სამოსის მოდელირებისათვის მიღებული მახასიათებლები  
აღდგენის შემდეგ

აღდგენილი საგზაო სამოსის ფენა		სისქე, მმ	მოდული, მპა	სისქე (მმ) და კრიტიკული პარამეტრები	
ასფალტბეტონი	ახალი	50	2500	50	მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვები ჰორიზონტალურად ფენის ქვედა ნაწილში
მოდული რეზული ბიტუმით სტაბილიზებული ფენა ფაზა 1: დეფორმირებულ მდგომარეობაში	რეციკლირებული	200	1500	250	მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვები ჰორიზონტალურად ფენის ქვედა ნაწილში
მოდული რეზული ბიტუმით სტაბილიზებული	რეციკლირებული	200	800	250	ძაბვები ფენიდან $\frac{3}{4}$ სიმაღლეზე

ფენა ფაზა 2: სტაბილუ რ მდგომარე ობაში					
ღორღი	არსებული	120	250	310	ძაბვები ფენის შუა სიმაღლეზე
მიწის ტანი	არსებული	განუსაზღ ვრელად	90	371	კუმშვის ვერტიკალური დეფორმაცია ფენის ზედა ნაწილში

ანალიზისთვის შესაძლებელია გამოვიყენოთ ცხრილში 9 მოცემული პარამეტრები. ამასთანავე, უნდა გავითვალისწინოთ, რომ გარკვეულ რეგიონებში საჭიროა გამოვიყენოთ ისეთი პარამეტრები, რომლებიც ითვალისწინებენ ადგილობრივ თავისებურებებს.

ცხრილი 9.

პარამეტრები თეორიული ანალიზისთვის

მასალა	გადასაცემი ფუნქცია (მისი წყარო)
ასფალტბეტონი	<ul style="list-style-type: none"> <li>ასფალტბეტონის დადლილობის სიმტკიცე (Asphalt Institute)</li> <li>ასფალტბეტონის დადლილობის სიმტკიცე (Shell)</li> <li>ასფალტბეტონის დადლილობის სიმტკიცე</li> </ul>

მოდულიზებული ბიტუმით სტაბილიზებული მასალა	<ul style="list-style-type: none"> <li>დადლილობის სიმტკიცე TG2 (CSIR)- ის მიხედვით</li> </ul>
ღორღი (არაშეკავშირებული)	<ul style="list-style-type: none"> <li>სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტი (CSIR)</li> </ul>
გრუნტები	<ul style="list-style-type: none"> <li>ლიანდის წარმოქმნა გრუნტში (Asphalt Institute)</li> <li>ლიანდის წარმოქმნა გრუნტში (Shell)</li> <li>ლიანდის წარმოქმნა გრუნტში (CSIR)</li> </ul>

რეციკლირებისას, საჭირო მახასიათებლების განსაზღვრისათვის 200 მმ–იანი ფენის მისაღებად, საჭიროა გამოიყენოს 60% ასფალტბეტონის და 40% ღორღის ნარევი სტაბილიზირებული მოდიფიცირებული ბიტუმით და შეირჩეს ზუსტი შემადგენლობა. ცხრილში 10, წარმოდგენილია ჭიმვისას სიმტკიცის ზღვარის (ITS–ის) განსაზღვრავი ცდების შედეგები, რომლებიც ტიპურია ასეთი მასალისთვის და მიღებულია 100 მმ–იანი დიამეტრის ნიმუშების „მარშალზე“ გამოცდით.

ცხრილი 10.

ჭიმვისას სიმტკიცის ზღვარის განსაზღვრავი ცდების შედეგები

მოდულიზებული ბიტუმის დამატება	2,00	2,25	2,50
დანამატი, %	1% ცემენტი	1% ცემენტი	1% ცემენტი
ITS მშრალი ნიმუშისთვის, კპა	283	316	306
ITS წყლით გაჯერებული ნიმუშისთვის, კპა	209	253	260
TSR	0,74	0,80	0,85

შედეგები აჩვენებს, რომ მოდიფიცირებული ბიტუმის ოპტიმალური დანამატი შეადგენს დაახლოებით 3 %, რამეთუ ასეთი დანამატისას სიმტკიცის ზღვარი ჭიმვისას (ITS) აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ხოლო ნარჩენი სიმტკიცე ჭიმვისას (TSR), 0,8- ის ტოლი, საკმარისია.

მოდიფიცირებული ბიტუმისასეთი დამატებით, AASHTO –ს მოდიფიცირებული მეთოდის მიხედვით, მომზადებული 150 მმ–იანი ნიმუშების, გამოცდის შედეგები მოცემულია ცხრილში 11.

ცხრილი 11.

სიმტკიცის გამოცდის შედეგები

მოდიფიცირებული ბიტუმისდამატება	2,25
დამატება, %	1% ცემენტი
ITS <sub>sequ</sub> - (სიმტკიცის ზღვარი ჭიმვისას, წონასწორული ტენიანობისას), კპა	170
UCS <sub>sequ</sub> - (სიმტკიცის ზღვარი ჭიმვისას, წონასწორული ტენიანობისას), კპა	1,5
წონასწორული ტენიანობა, %	3,2

ამ შედეგების გამოყენებით, თეორიული მოდელირებისათვის ღებულობენ შემდეგ საწყის მონაცემებს: MRPhase1 = 1448 მპა და MRPhase2 = 799 მპა.

მიღებული შედეგები დაახლოებით შეესაბამება თავდაპირველი შეფასებების მნიშვნელობებს (ცხრილი 2), ამიტომ შეიძლება დაიშვას, რომ რეციკლირების სიღრმე მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზაციისთვის შეადგენს 200მმ.

თუკი გამოცდების შედეგები ნარევის შემადგენლობის შესარჩევად მნიშვნელოვნად დაბალია, მაშინ, ისინი გამოიყენება საწყის მონაცემებად

თეორიული ანალიზისათვის და სისქე იზრდება მანამდე, სანამ არ იქნება მიღებული საჭირო სტრუქტურული მზიდი უნარი.

იმ შემთხვევაში როდესაც საჭიროა მიღებული იყოს მნიშვნელოვნად სხვანაირი ნარევი, ის უნდა გამოიცადოს იმის დასადგენად, შეიძლება თუ არა ITS–ის და UCS–ის თავდაპირველი მნიშვნელობების მიღწევა წონასწორული ტენიანობისას. ეს ცდები უნდა ჩატარდეს მოდიფიცირებული ბიტუმისსხვადასხვა წილებით, რათა დადგინდეს, ნარევის შემადგენლობის შეცვლის შედეგად ხომ არ შეიცვალა ამ წილის ოპტიმალური მნიშვნელობა.

ცხრილში 12 მოცემულია საგზაო სამოსის სხვადასხვა ფენების სტრუქტურული მზიდი უნარის მოსალოდნელი მნიშვნელობები.

უნდა აღინიშნოს, რომ გამჭიმი ძაბვა ვითარდება ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ღორღის ქვესაგები შრის ფარგლებში. ეს არ ხდება გრანულირებული მასალების შემთხვევაში, მაგრამ გამარტივების შედეგად, ჩნდება წრფივი–დრეკადი მოდელების ემპირიული ანალიზისას. [5]

ცხრილი 12.

საგზაო სამოსის ფენების სტრუქტურული მზიდი უნარის მოსალოდნელი მნიშვნელობები.

აღდგენილი საგზაო სამოსის ფენა		სისქე, მმ	მოდული, მპა	შეფასებითი მნიშვნელობები:		
				სიღრმე ზედაპირიდან, მმ	კრიტიკული მნიშვნელობა	სტრუქტურული მზიდი უნარი, მლნESAL
ასფალტბეტონი		50	2500	50	$\epsilon_h = 115$ μϵ (faza 2)	8,1
მოდიფიცირებული	ფაზა 1: დეფორმი	200	1500	250	$\epsilon_h = 148$ μϵ	0,8

ბიტუმით სტაბილიზი რებული საფუძველი	რებული მდგომარე ობა					
	ფაზა 2: სტაბილუ რი მდგომარე ობა	200	800	200	$\sigma_1=118$ კპა $\Sigma_3=-64$ კპა	11,1
	ღორღი	120	250	310	$\sigma_1=48$ კპა $\sigma_3=-22$ კპა	> 99
	გრუნტი	-	90	370	$E_{vert}=435$ me	> 99

გზის მოთხოვნადი 90%-იანი საიმედოობისას, გაანგარიშებაში გათვალისწინებული უნდა იყოს დამატებითი ინფორმაცია რეაბილიტაციისას გამოყენებულ მასალაზე. მოცემულ მაგალითში, მოდიფიცირებული ბიტუმით დამუშავებულ ფენასთან დაკავშირებით, შეიძლება გამოყენებული იყოს შემდეგი მონაცემები:

- კოჰეზია - 250 კპა
- ხახუნის შიდა კუთხე -  $\varphi - 45^\circ$
- მასალის სიმკვრივე „ადგილზე“ - 2145 კგ/მ<sup>3</sup>
- ქვის მასალის ყრილი სიმკვრივე - 2600 კგ/მ<sup>3</sup>
- დეფორმაციები  $\epsilon_b$  რღვევისას - 171  $\mu\epsilon$  (მასალის კლასი FB2)

90%-იანი საიმედოობის გაანგარიშებისათვის, ეფექტური დაღლილობის სიმტკიცის (NEF) და დაჭიმვისას ნარჩენი სიმტკიცის (NPD) გასაანგარიშებლად შეიძლება გამოყენებული იყოს შემდეგი განტოლებები:

$$N_{EF} = 10^{[6.499 - 0.708 (\epsilon/\epsilon_b)]} \quad (16)$$

$$N_{PD} = \frac{1}{30} \times 10^{[-1.951 + 11.938 \times RD + 0.0726 \times PS - 1.628 \times SR + 0.68 \times (cem/bit)]} \quad (17)$$

სადაც:

- RD=მშრალი მასალის სიმკვრივე/ყრილი სიმკვრივე = 2145/2600=0,825;
- PS = დაჭიმვა = ლიანდის დასაშვები სიღრმე/შრის სისქე = 18/200x100=9%;
- SR = ძაბვების თანაფარდობა =  $(\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_{1,max} - \sigma_3) = (118+64)/(\sigma_{1,max}+64) = 0,2027$ ;
- $l_{max} = [(1 + \sin\phi) \times \sigma_3 + 2C \times \cos\phi] / (1 - \sin\phi) = 834$  კპა;
- Cem/bit = თანაფარდობა „ცემენტი/ბიტუმი“ = 1/2,25 = 0,444.

ამ ორ განტოლებაში, ყველა შესაბამისი ცვლადების ჩასმისას, მიღებულია მოდიფიცირებული ბიტუმით დამუშავებული ფენის სტრუქტურული მზიდი უნარის მნიშვნელობა - 8,5მლნ. ESAL, რაც საკმარისია მაღალი ინტენსიობის გზებისათვის.

საავტომობილო გზების რეაბილიტაციისას განსაკუთრებულად მნიშვნელოვანია შემოთავაზებული კონსტრუქციის სიცოცხლის უნარიანობა. ოპტიმალური გადაწყვეტილების მისაღებად აუცილებელია არსებული საგზაო სამოსის კონსტრუქციის გამოკვლევა და რეაბილიტაციისას გამოყენებული მასალების ძირითადი მახასიათებლების განსაზღვრა.

ქვე თავში გაკეთებული გაანგარიშებიდან გამომდინარე, რეაბილიტირებული საგზაო სამოსის სტრუქტურული მზიდი უნარის მნიშვნელობა შეადგენს - 8,5 მლნ ESAL. აღწერილი მეთოდით გაანგარიშების მიხედვით მიღებული შედეგები შეიძლება ჩაითვალოს საკმარისად.

#### 2.4.3. საგზაო სამოსის გაანგარიშება ძაბვების ზღვრული თანაფარდობის მეთოდით

ქვეთავში განხილულია ძაბვების ზღვრული თანაფარდობის მეთოდით საგზაო სამოსების გაანგარიშება მოძრაობის ძალიან მაღალი



ინტენსივობების პირობებში, რისთვისაც შეიძლება საჭირო იყოს 10 მლნ. ESAL-ზე მეტი სტრუქტურული მზიდი უნარის უზრუნველყოფა. აღნიშნული მეთოდის გამოყენება შეიძლება მოდიფიცირებული ბიტუმით ან ბიტუმის ემულსიით დამუშავებული გაუმაგრებელი ფენების შემთხვევაში.

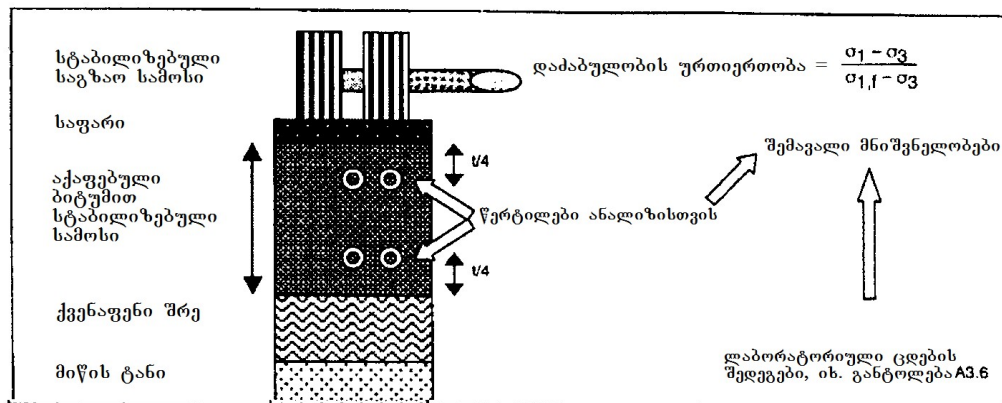
დატვირთვის ზემოქმედების ქვეშ მყოფი არასტაბილიზებული მასალისათვის საგზაო სამოსის კონსტრუქციაში, ნარჩენი დეფორმაციის სიდიდეს წარმოადგენს მაქსიმალური ცვლადი ძაბვისა და დევიატორით გენერირებადი ძაბვის თანაფარდობა. ფენების კოჰეზიისა და შიდა ხახუნის კუთხის განსასაზღვრავად, რომლებიც საჭიროებენ მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზაციას, გამოცდები უნდა წარმოებდეს სამ ღერძზე დატვირთვით.

ამ მიზნით მზადდება ნიმუშები მოდიფიცირებული ბიტუმით და აქტიური მინერალური ფხვნილის (ცემენტის ან კირის) გამოყენებით. რეკომენდებულია არა ტიპური მნიშვნელობების გამოყენება, არამედ თითოეული ცალკეული მასალის შემოწმება, ვინაიდან ფაქტიური მნიშვნელობები შეიძლება საკმაოდ მერყეობდეს.

როგორც მრავალი გაუმაგრებელი მასალისათვის, მოდიფიცირებული ბიტუმით ბმული მასალების მახასიათებლები დამოკიდებულია ძაბვაზე, ანუ მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული მასალა რეაგირებს საერთო ძაბვის ზრდაზე სიმტკიცის გაზრდით. სამ ღერძზე დატვირთვით შესრულებულმა ცდებმა აჩვენა, რომ საწყისი სიმტკივე (1500-დან 2500-მდე მპა) ნარჩუნდება მაქსიმუმ, დატვირთვის 50-250 ათას ციკლის განმავლობაში. შემდგომ მისი მნიშვნელობა სტაბილიზდება. მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული მინერალური მასალების ხარისხის მიხედვით, ეს ასიმპტომურად ცვლადი სიმტკივე რჩება 500-დან 1200-მდე მპა-ს ფარგლებში. ამ სტაბილურ მდგომარეობაშიც კი ცემენტის დიდი შემცველობის (+2%) მოდიფიცირებული ბიტუმით

სტაბილიზებული ნარევებს გააჩნიათ ძაბვაზე დამოკიდებული მახასიათებლები.

საგზაო სამოსების მოდელირება აუცილებელია მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული ფენის შემცველ მათ კონსტრუქციებში ძაბვების განაწილების შესაფასებლად. ამისათვის შეიძლება სტანდარტული თეორიული მეთოდების გამოყენება. შეიძლება საუბარი იყოს იტერატიული მახასიათებლების პროცედურაზე, სანამ არ იქნება მიღწეული  $M_r$ -ის მსგავსება შესაბამისი დამაბული მდგომარეობისათვის  $M_r$ -მ თანაფარდობასთან, ან საბოლოო ელემენტების ავტომატიზირებულ მეთოდზე. არც ერთ ამ შემთხვევათაგანში სტაბილიზებული ფენა არ იქნება განხილული, როგორც მონოლითური მთელს სიღრმეზე, ის იქნება ანალიზირებული, როგორც რამდენიმე სუბფენისაგან შემდგარი მასალა. თითოეულ ასეთ სუბფენაში უნდა იყოს განსაზღვრული ძაბვების თანაფარდობა. მაგალითად 21-ე ნახაზზე ეს შესრულებულია სტაბილიზებული ფენის სიმაღლის 25%-სთვის.

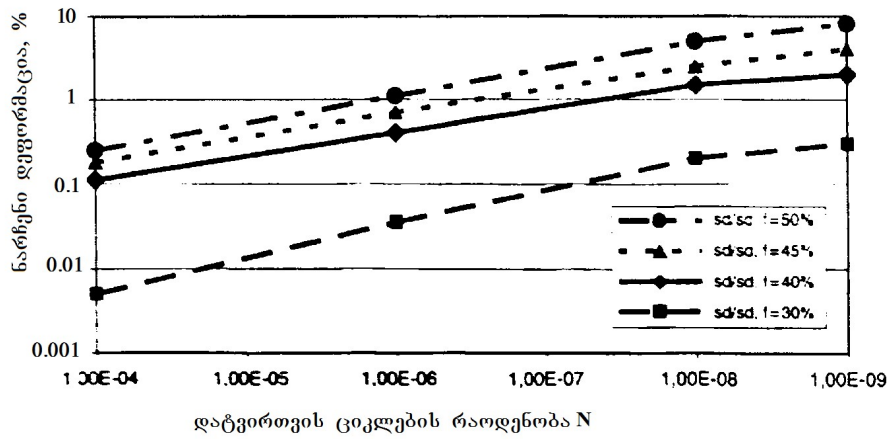


ნახაზი 21. საგზაო სამოსის კონსტრუქციაში ანალიზისთვის შერჩეული წერტილები, ცვლადი ძაბვების, ბორბლების დატვირთვისა და მიმართებით თანაფარდობის განსაზღვრა

$$\sigma_{1,f} = \frac{(1 + \sin\phi)\sigma_3 + 2c \cos\phi}{(1 - \sin\phi)} \quad (18)$$

უკანასკნელ ნაბიჯზე გამოიყენება ცვლადი ძაბვების აღმოჩენილი თანაფარდობა, რათა განისაზღვროს ნარჩენი დეფორმაცია

მოდულირებული ბიტუმით სტაბილიზებული ფენაში. ასეთი დეფორმაციის კვლევების შედეგები, სამ ღერძზე დატვირთვით ცდების მეშვეობით ციკლური დატვირთვისას, წარმოდგენილია 22-ე ნახაზზე.



ნახაზი 22. მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული მასალების ნარჩენი დეფორმაცია, დატვირთვის ციკლების რაოდენობისა და ძაბვების თანაფარდობის მიხედვით

სტაბილიზებული ფენის საერთო მოსალოდნელი ნარჩენი დეფორმაცია წარმოადგენს ასეთი დეფორმაციების სიდიდეების – %-ში (ძაბვების შესაბამისი თანაფარდობისთვის) და ცალკეული სუბფენების სისქის ნამრავლის ჯამს. ამგვარად შეიძლება მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული ფენის ვარგისიანობის შემოწმება. თუ გაანგარიშებაში გამოყენებული დატვირთვის ციკლების რაოდენობაში საერთო დეფორმაცია მიუღებელია, ფენის სისქე უნდა გაიზარდოს (ძაბვების თანაფარდობის დასაწევად) და ძაბვების თანაფარდობა ხელახლა უნდა იყოს გადათვლილი.

უნდა აღინიშნოს, რომ ძაბვების კრიტიკული თანაფარდობა მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული მასალებისთვის შეადგენს დაახლოებით 42-47%. ეს მნიშვნელობები გაუმაგრებელი მასალების მნიშვნელობებზე მნიშვნელოვნად უკეთესია. განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ მოდიფიცირებული ბიტუმით სტაბილიზებული მასალების სიმტკიცე ძვრისას, მნიშვნელოვნად

მაღალია. ამიტომ, სამუშაო ძაბვების თანაფარდობა ასეთი მასალებისათვის ბორბლისგან იმავე დატვირთვისას უფრო ნაკლებია, შესაბამისად, საგზაო სამოსის მომსახურების ვადა, არასტაბილიზებულ მასალებთან შედარებით მეტია.

აღნიშნული მეთოდის აქტუალობა იმაში მდგომარეობს, რომ საავტომობილო პარკის სწრაფი ზრდიდან გამომდინარე, საგზაო სამოსის აღდგენის ზოგიერთი პროექტები უნდა გაანგარიშდეს მოძრაობის მაღალ ინტენსივობაზე. ასეთ შემთხვევაში კი დიდი მნიშვნელობა აქვს გაანგარიშების უფრო რთულ და საიმედო მეთოდების გამოყენებას. კერძოდ, რეკომენდებულია ძაბვების ზღვრული თანაფარდობის მეთოდი. ამ მეთოდის სწორად გამოსაყენებლად აუცილებელია, რათა გაანგარიშების შემსრულებელს გარკვევით ესმოდეს საგზაო სამოსის მახასიათებლების ძაბვებზე დამოკიდებულების პრინციპი და შეძლოს მათი გამოყენება მისი კონსტრუქციის თეორიული ანალიზისას. ძაბვების თანაფარდობის განსაზღვრა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მოდელირების სისწორეზე. გაანგარიშების გამარტივებული „წრფივი-დრეკადი“ მეთოდები ასეთი შემთხვევებისათვის არ არის რეკომენდებული. საბოლოო ელემენტების მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს ავტომატურ სტანდარტულ იტერაციებს, იძლევა ყველაზე საიმედო შედეგებს. [3]

## **2.5. ფაქტობრივი ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების საფუძველზე ნარევის ოპტიმალური შემადგენლობის განსაზღვრა და რეაბილიტაციის ღონისძიებების დასახვა**

შიდა სახელმწიფოებრივი საავტომობილო საგზაო ქსელის გაუმჯობესება რეგიონალური ინტეგრაციისა და სიღარიბის შემცირების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი წინაპირობაა. გზების უმრავლესობა საქართველოში ეკონომიკური აქტიურობისთვის სასიცოცხლო მნიშვნელობის სატრანსპორტო არტერიებს წარმოადგენს. საიმედო

სატრანსპორტო ქსელი საჭიროა მრეწველობის, სოფლის მეურნეობის, ტურიზმის და ზოგადად ეკონომიკის განვითარების სტიმულირებისათვის, რაც საბოლოო ჯამში აისახება მთლიანი შიდა პროდუქტის მოცულობის და მოსახლეობის შემოსავლების გაზრდით. სწორედ ამიტომ საქართველოს მთავრობა დიდ მნიშვნელობას ანიჭებს გზების რეაბილიტაციას.

ქვე თავში განხილულია საგზაო სამოსის კვლევის მაგალითი FWD (დარტყმითი დეფლექტომეტრის) ტესტის ჩატარებით. ტესტის შედეგები და მოძრაობის პერსპექტიული ინტენსიობა საფუძვლად დაედო დაზიანებული ასფალტბეტონის რეაბილიტაციას და კონსტრუქციის შერჩევას

საქართველოში არსებული რეალობიდან გამომდინარე, სარეაბილიტაციო გზების საგზაო სამოსი მნიშვნელოვნადაა დაზიანებული. რეაბილიტაციისას ოპტიმალური გადაწყვეტის მისაღებად აუცილებელია არსებული საგზაო სამოსის კონსტრუქციის კვლევების ჩატარება. კვლევები ტარდება როგორც სტაციონალურ, ასევე საველე პირობებში.

სტაციონალური კვლევების მიზანია განისაზღვროს კონსტრუქციის შემადგენელი ფენების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები, რომლებიც მიწის ვაკისის მახასიათებლებთან ერთად ჰქმნიან სარეაბილიტაციო კონსტრუქციის დაპროექტების საფუძვლებს. კონსტრუქციის საფუძვლის ფენებისა და მიწის ვაკისის მახასიათებლები განისაზღვრება საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევების პერიოდში, მონოლითური ფენების მახასიათებლები კი დგინდება ასფალტბეტონის ნარევის ლაბორატორიაში.

საგზაო სამოსის კონსტრუქციის მონოლითური ფენების მახასიათებლების იდენტიფიკაცია ეფუძნება ГОСТ 9128-2009.

გეოტექნიკური ლაბორატორიული კვლევების შედეგად განისაზღვრება საგზაო სამოსის კონსტრუქციის ქვა-მასალის საფუძვლის

ფენების და მის ქვემოთ მიწის ვაკისის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები (დეფორმაციის მოდული, შიგა ხახუნის კუთხე, ხვედრითი შეჭიდულობა, სიმტკიცის ზღვარი ერთ ღერძა კუმშვაზე კლდოვანი გრუნტებისთვის, სიმკვრივე) და მათი გრანულომეტრიული შემადგენლობა.

საგზაო სამოსის კონსტრუქციის საველე პირობებში მზიდუნარიანობის დასადგენად საჭირო შესაბამისი მეთოდის (ტესტის) შერჩევა, რაც მკაცრად რეგლამენტირებული არ არის.

ერთ-ერთ ასეთ ტესტს წარმოადგენს ე.წ. FWD (დარტყმითი დეფლექტომეტრის) ტესტი. ტესტის საფუძველზე შესაძლებელია განისაზღვროს საგზაო სამოსის კონსტრუქციის და მის ქვემოთ მიწის ვაკისის საერთო დრეკადობის მოდული. მოთხოვნილი (საჭირო) დრეკადობის მოდულისა და ტესტის შედეგების მიხედვით შესაძლებელია დადგინდეს სარეაბილიტაციო საგზაო სამოსის კონსტრუქცია.

აღსანიშნავია, რომ FWD ტესტით შესაძლებელია განისაზღვროს საგზაო სამოსის კონსტრუქციის საერთო დრეკადობის მოდული იმ შემთხვევაშიც, როდესაც კონსტრუქციის ზედა ფენები მონოლითურია (ასფალტბეტონი, ქვა-მასალის ბიტუმით გაჟღენთვა და ა.შ).

FWD ტესტის მუშაობის პრინციპი ეფუძნება სტანდარტული ძალით კონსტრუქციაზე ზემოქმედებას. ზემოქმედების შედეგად ხდება მოძრავი ნაწილის უკუსვლა, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრება საერთო დრეკადობის მოდული.

საგზაო სამოსი მრავალფენიანი კონსტრუქციაა, შესაბამისად საჭიროა ამ კონსტრუქციისა და მის ქვემოთ გრუნტის საერთო დრეკადობის მოდულის განსაზღვრა.

ჩვენს მიერ აღნიშნული მეთოდოლოგიით განხორციელდა ხობი-ახალსოფელი საავტომობილო გზის კმ 1 - კმ 10 მონაკვეთის საგზაო

სამოსის შეფასება, სატრანსპორტო მოძრაობის ინტენსიობის განსაზღვრა და სარეაბილიტაციო ღონისძიებების დამუშავება.

საგზაო სამოსის კონსტრუქციის საერთო დრეკადობის მოდულების გრაფიკი მიღებული სტაციონალური (გეოტექნიკური) და საველე (FWD-ის ტესტების) კვლევების საფუძველზე მოცემულია ნახ. 23-ზე.

სარეაბილიტაციო გზის საგზაო კონსტრუქციის გაანგარიშება ეფუძნება სატრანსპორტო მოძრაობის ინტენსიობის განსაზღვრას სარეაბილიტაციო გზის სიცოცხლისუნარიანობის ბოლო წლისათვის (პერსპექტიულ ინტენსიობას). სატრანსპორტო მოძრაობის პერსპექტიული ინტენსიობის საფუძველზე განისაზღვრა ექვივალენტური ღერძული დატვირთვა (შესაბამისად ბორბლის დატვირთვა) და მიწის ვაკისის გრუნტისა და არსებული საგზაო სამოსის კონსტრუქციის ფენილების გათვალისწინებით განისაზღვრება საგზაო სამოსის კონსტრუქცია.

მოძრაობის ინტენსიობის განსაზღვრისათვის ჩატარდა ინტენსიობის 3 დღიანი აღრიცხვა, მისი შემადგენელი ნაწილების მიხედვით, ჯამური ინტენსიობის გასაშუალებით მიღებული შედეგი ჩაითვალა აღრიცხვის წლის საშუალო წლიურ (დღეღამურ) ინტენსიობად. მიღებული შედეგების საფუძველზე განისაზღვრა პერსპექტიული საშუალო წლიური ინტენსიობა 10 და 15 წელზე.

ВСН 46-83-ის (Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа) საფუძველზე გზის კატეგორიისა და სატრანსპორტო ჯგუფის მიხედვით შეირჩა საანგარიშო (ნორმირებული ავტოსატრანსპორტო საშუალება შესაბამისი მახასიათებლებით) და წინ მიღებული პერსპექტიული ინტენსიობა დაყვანილ იქნა შერჩეულ (ნორმირებულ) ავტოსატრანსპორტო საშუალების ინტენსიობაზე.

$$N_{\text{ნომ}} = f_{\text{ზოლ}} \sum N_{mi} S_{mi} \quad (19)$$

$f_{\text{ზოლ}}$  – კოეფიციენტი, რომელიც მოძრაობის ზოლების რაოდენობას ითვალისწინებს (ერთი ზოლისათვის  $f_{\text{ზოლ}} = 1$ , ორი ზოლისათვის  $f_{\text{ზოლ}} = 0.55$ );

$N_{mi}$  – პერსპექტიული საშუალო წლიური ინტენსივობა შემადგენელი ნაწილების მიხედვით;

$S_{mi}$  – კოეფიციენტი, რომელიც  $m$  მარკის სატრანსპორტო საშუალების საანგარიშო (ნორმილებურ) დატვირთვაზე გადაყვანას ითვალისწინებს.

მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილში 13.

2019 წლისათვის (გზის სიცოცხლისუნარიანობის შესაბამისად) პერსპექტიული საშუალო წლიური (დღეღამური) ყველა ავტოსატრანსპორტო საშუალებათა ჯამური მოძრაობის ინტენსიობა შეადგენს  $N_m=757$  ავტ/დღ.

მოცემული ინტენსივობის  $N_m=757$  ავტ/დღ შესაბამისი, ნორმილებურ ავტოსატრანსპორტო საშუალებაზე დაყვანილი ინტენსივობა შეადგენს  $E_{ნორმ}=283$  ავტ/დღ, რასაც შეესაბამება მოთხოვნილი დრეკადობის მოდული  $E_{ტრ}=160$  მპა, რაც წარმოადგენს III კატეგორიის გზების მოთხოვნილი დრეკადობის მოდულის მინიმუმს  $E_{ტრ}^{min}$  - 160 მპა.

გამომდინარე ამ ფაქტებიდან, რომ არსებული გზა საგზაო პარამეტრებით მიეკუთვნება IV კატეგორიას – ვნიშნავთ მოთხოვნილ დრეკადობის მოდულს  $E_{ტრ}=160$  მპა.

გაანგარიშებების საფუძველზე საგზაო სამოსის კონსტრუქცია უნდა აკმაყოფილებდეს სამ კრიტერიუმს, კერძოდ:

- კონსტრუქციის წინაღობა დრეკადი ჩალუნვებისათვის;
- გრუნტისა და კონსტრუქციის სუსტი შეჭიდულობის მქონე ფენების წინაღობა ძვრაზე;
- კონსტრუქციის მონოლითური ფენების (ასფალტბეტონისა და კომპლექსური ან არაორგანული შემკვრელებით გაძლიერებული ფენების) წინაღობა გაჭიმვაზე ღუნვის დროს.

დრეკად ჩალუნვებზე მოთხოვნილი კრიტერიუმი დაკმაყოფილებულია თუ

$$\text{სრულდება პირობა: } K_{საგზ} \leq E_{საგზ}/E_{ტრ} \quad (20)$$



$K_{სიმტკ}$  – საგზაო სამოსის კონსტრუქციის სიმტკიცის კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება კონსტრუქციის ტიპის, გზის კატეგორიის და შესაბამისი საიმედოობის კოეფიციენტის მიხედვით.

$E_{საერთო}$  – საგზაო სამოსის კონსტრუქციის საერთო დრეკადობის მოდულია, რომელიც იანგარიშება კონსტრუქციის შემადგენელი ფენების დრეკადობის მოდულების, მათი სისქეების და საანგარიშო დერძული დატვირთვის (ბორბლის დატვირთვის) შესაბამისი ნაჭდევს საფუძველზე, რომლისთვისაც გამოიყენება ნომოგრამა. გარკვეული დერძული დატვირთვისათვის ბორბლის ნაჭდევს სიდიდე ნორმირებულია, ნორმირებულია აგრეთვე ბორბლისაგან საფარზე განვითარებული დაწნევა.

$E_{ტო}$  – მოთხოვნილი დრეკადობის მოდულია, რომელიც განისაზღვრება შესაბამისი გრაფიკის საფუძველზე.

ძვრაზე მოთხოვნილი კრიტერიუმი დაკმაყოფილებულია თუ სრულდება პირობა:

$$K_{სიმტკ} < T_{დასაშ}/T \quad (21)$$

$K_{სიმტკ}$  – საგზაო სამოსის კონსტრუქციის სიმტკიცის კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება კონსტრუქციის ტიპის, გზის კატეგორიის და შესაბამისი საიმედოობის კოეფიციენტის მიხედვით.

$T_{დასაშ} = C_{გრუნტ} \times K_1 \times K_2 \times K_3$  – გრუნტზე დასაშვები ძვრის ძაბვაა,

$C_{გრუნტი}$  - გრუნტის შეჭიდულობა;

$K_1$  - კოეფიციენტი ითვალისწინებს მოძრავი დატვირთვის სახეობას ( $K_1=0.6$  – ხანმოკლე დატვირთვისათვის,  $K_1=0.9$  – ხანგრძლივი დატვირთვისათვის);

$K_2$  - კოეფიციენტი ითვალისწინებს კონსტრუქციის მუშაობის პირობას. ხანმოკლე დატვირთვისთვის მისი მნიშვნელობა

განისაზღვრება  $K_2=f(N_p)$  გრაფიკით ხოლო ხანგრძლივი დატვირთვისათვის  $K_2=1.23$ ;

$K_3$  - კოეფიციენტი ითვალისწინებს გრუნტის მუშაობის პირობას.

$T = P \times \bar{\tau}_{\text{გოგ}} + \tau_g$  - გრუნტში განვითარებული აქტიური ძვრის ძაბვაა.

$P$  – – ბორბლის დაწნევა კონსტრუქციის ზედაპირზე და აიღება ცხრილებიდან (საანგარიშო დატვირთვის მიხედვით);

$\bar{\tau}_{\text{გოგ}}$  – დროებითი დატვირთვით გამოწვეული ძვრის აქტიური ხვედრითი ძაბვაა გრუნტში, რომელიც განისაზღვრება ნომოგრამით, შემდეგი თანმიმდევრობით:

- განისაზღვრება კონსტრუქციის საშუალო დრეკადობის მოდული  $E_{\text{საშ}} = \sum E_i x h_i / \sum h_i$ . ( $E_i$  - კონსტრუქციის შემადგენელი ფენების დრეკადობის მოდულებია,  $h_i$  - მათი სისქეები);
- განისაზღვრება თანაფარდობები  $E_{\text{საშ}}/E_{\text{გრ}}$  ( $E_{\text{გრ}}$  - გრუნტის დრეკადობის მოდულია) და  $\sum h_i/D$ , გრუნტის შიდა ხახუნის კუთხე  $\varphi^0$  ცნობილია და მათი საშუალებით ნომოგრამის საფუძველზე განისაზღვრება  $\bar{\tau}_{\text{გოგ}}$  ( $\tau_{\text{გოგ}} = P \times \bar{\tau}_{\text{გოგ}}$  - დროებითი დატვირთვით გამოწვეული აქტიური ძაბვაა გრუნტში);

$\tau_g$  - კონსტრუქციის საკუთარი წონით გამოწვეული აქტიური ძვრის ძაბვაა გრუნტში, რომელიც  $\sum h_i$ -ისა და  $\varphi^0$  -ს საშუალებით ნომოგრამის საფუძველზე განისაზღვრება.

მონოლითური ფენების მიმართ მოთხოვნილი კრიტერიუმი დაკმაყოფილებულია თუ სრულდება პირობა:

$$K_{\text{საშ}} \leq R_p / \sigma_r \quad (22)$$

$K_{\text{საშ}}$  - საგზაო სამოსის კონსტრუქციის სიმტკიცის კოეფიციენტია, რომელიც მიიღება კონსტრუქციის ტიპის, გზის კატეგორიის და შესაბამისი საიმედოობის კოეფიციენტის მიხედვით.

$R_{\text{დღ}}$  მასალის საანგარიშო (დასაშვები) ძაბვაა დადლილობის გათვალისწინებით. არსებული (სარეაბილიტაციო) კონსტრუქციის შემთხვევაში ის მიიღება მონოლითური ფენის ლაბორატორიული კვლევების შედეგად, ხოლო ახლად მოსაწყობი კონსტრუქციის შემთხვევაში აიღება ცხრილებიდან (მონოლითური ფენის მარკის მიხედვით). გრუნტისა და ქვამასალის საფუძვლის ფენების არაორგანული თუ კომპლექსური შემკვრელებით გაძლიერების შემთხვევაში მისი მნიშვნელობა აიღება ცხრილებიდან (მონოლითური ფენის მარკის მიხედვით). გრუნტისა და ქვამასალის საფუძვლის ფენების არაორგანული თუ კომპლექსური შემკვრელებით გაძლიერების შემთხვევაში მისი მნიშვნელობა აიღება ცხრილებიდან.

$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \times P \times K_{\delta}$  - მონოლითურ ფენებში განვითარებული მაქსიმალური გამჭიმავი ძაბვაა, რომელშიც:

$P$  - ბორბლის დაწნევა კონსტრუქციის ზედაპირზე და აიღება ცხრილებიდან (საანგარიშო დატვირთვის მიხედვით);

$K_{\delta}$  - კოეფიციენტი ( $K_{\delta}=0.85$  - შეწყვილებული ბორბლების შემთხვევაში და  $K_{\delta}=1.00$  - ერთი ბორბლის შემთხვევაში);

$\bar{\sigma}_r$  - მონოლითურ ფენებში ერთეულოვანი დატვირთვით გამოწვეული გამჭიმავი ძაბვაა, რომელიც განისაზღვრება ნომოგრამით, შემდეგი თანმიმდევრობით:

- განისაზღვრება თანაფარდობა  $\sum h_{ia} / D (\sum h_{ia}$ -მონოლითური ფენების სისქეებია, ხოლო  $D$  - ნაჭდევის დიამეტრია);

- განისაზღვრება მონოლითური ფენის გასაშუალებული დრეკადობის მოდული  $E_{\text{საშუა}} = \sum E_{ia} \cdot h_{ia} / h_{ia}$  ( $E_{ia}$ - მონოლითური ფენების დრეკადობის მოდულებია, ხოლო  $h_{ia}$  - მათი სისქეებია);

- განისაზღვრება მონოლითური ფენების ქვეშ საფუძვლის ფენის საერთო დრეკადობის მოდული  $E_{\text{საერთო ძირით}}$  რისთვისაც გამოიყენება ნომოგრამა;

- განისაზღვრება თანაფარდობები  $E_{საგზა} / E_{საფარისძირითადი}$  და  $h_{12} / D$ , და ნომოგრამის საფუძველზე განისაზღვრება  $\sigma_r$ -ის მნიშვნელობა.

საგზაო სამოსის კონსტრუქციის გაანგარიშება წარმოადგენს შესაბამისი საფარის და მასალების შერჩევის პროცესს იმის უზრუნველსაყოფად, რომ საფარმა იმუშაოს ნორმალურად და დასჭირდეს მხოლოდ მინიმალური შეკეთება მოსალოდნელი სატრანსპორტო დატვირთვის შესაბამისად. მიუხედავად იმისა, რომ ორივე ნორმატივის СНиП - ის და AASHTO-ს მიდგომები თეორიულად იგივეა – AASHTO-ს გამოყენება შესაძლებელია СНиП - ით გაანგარიშებული შედეგების სისწორის შესამოწმებლად. ქვემოთ მოკლედ არის მოცემული გაანგარიშების მეთოდოლოგია და გასათვალისწინებელი ფაქტორები. [4]

გაანგარიშების საფუძველზე ჩვენს მიერ მიღებულია საგზაო სამოსის შემდეგი კონსტრუქციები:

სარეაბილიტაციო გზის მთელ სიგრძეზე გათვალისწინებულია სამი ტიპის საგზაო სამოსის კონსტრუქცია:

ტიპი 1 – ერთფენიანი ასფალტბეტონის საფარი, სისქით 5 სმ, სტაბილიზაციის ფენაზე 20 სმ (მიღებული არსებული ა/ბ რეციკლირებით, საშუალო სისქით 8 სმ და ადგილზე ფრაქციული ღორღის (0-40 მმ) სისქით 12 სმ დამატებით, ცემენტის 4% და ბიტუმის 3% შემკვრელების გამოყენებით);

ტიპი 2 - ერთფენიანი ასფალტბეტონის საფარი, სისქით 5 სმ, სტაბილიზაციის ფენაზე 20 სმ (მიღებული არსებული ღორღის საფარის რეციკლირებით, საშუალო სისქით 8 სმ და ადგილზე ფრაქციული ღორღის (0-40 მმ), სისქით 12 სმ დამატებით, ცემენტის 4% და ბიტუმის 3% შემკვრელების გამოყენებით);

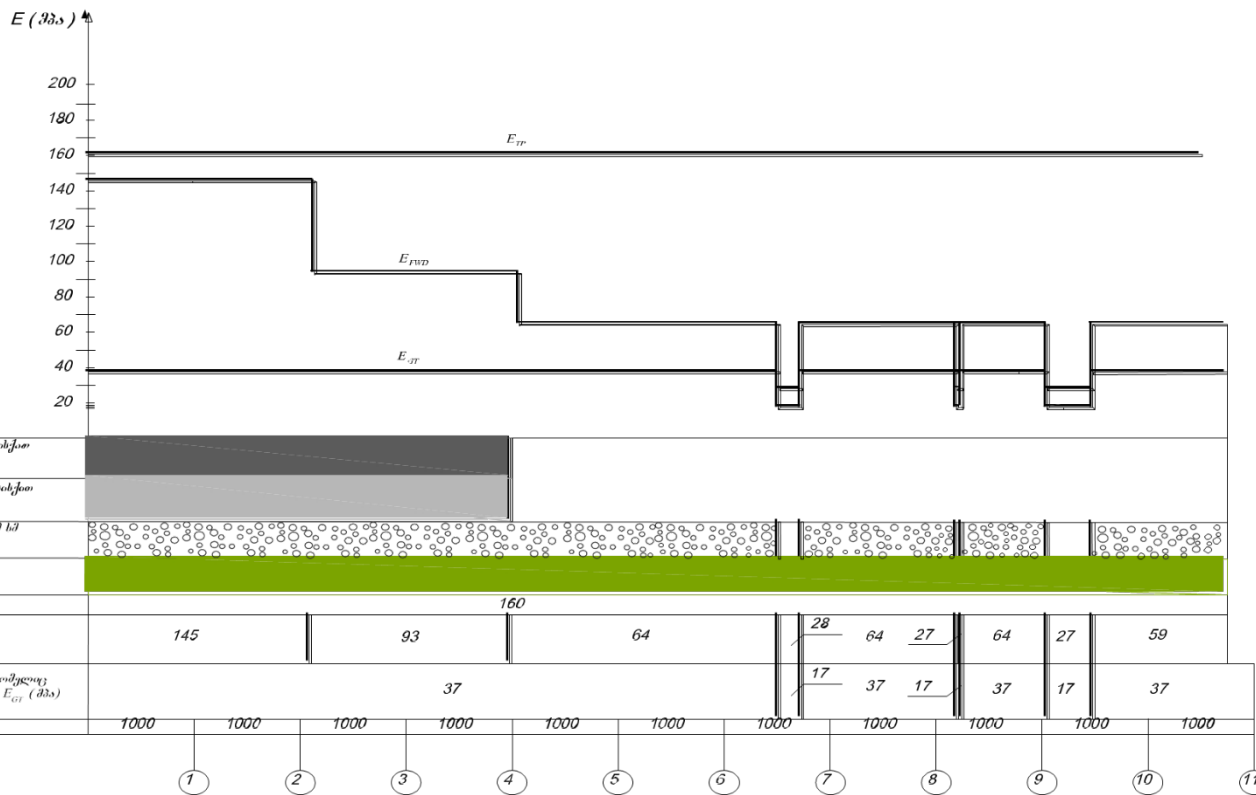
ტიპი 3 – ამ ტიპის კონსტრუქცია ეწყობა ისეთ ადგილებში, სადაც გვაქვს ძალიან დაბალი ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების მქონე

გრუნტის საფარი. ხდება ამ გრუნტის ამოღება საშუალოდ 60 სმ სიღრმეზე და გატანა ნაყარში, მიღებულ ვარცლში ეწყობა ქვესაგები ფენა ხრეშოვანი გრუნტით სისქით 35 სმ, შემდეგ საფუძვლის ფენა ქვიშა-ხრეშოვანი ნარევით სისქით 20 სმ, სტაბილიზაციის ფენა სისქით 20 სმ (ფრაქციული ღორღით (0-40 მმ), ცემენტის 4% და ბიტუმის 3% შემკვრელების გამოყენებით) და ბოლოს ერთფენიანი ასფალტბეტონის საფარი სისქით 5 სმ.

არსებული საგზაო სამოსის კონსტრუქციის საერთო დრეკადობის მოდულების გრაფიკი მიღებული სტაციონალური (გეოტექნიკური) და საველე ( FWD- ის ტესტების ) კვლევების საფუძველზე

შენიშვნა:

1) არსებული ასფალტბეტონის ფენები ძლიერ დაზიანებულია და იმდენად ფრაგმენტირებულია, რომ გზის ეს მონაკვეთი არ ექვემდებარება იონსიულ შეკეთებას.  
 აუცილებელია ასფალტბეტონის ფენების რეციკლირება და მიღებული მასის გამოყენება საფუძვლის ფენაში (სივონც სტადიაში) ან ფენაში, რომელიც მოეწყობა არსებულ ქვიშა-ხრეშოვან საფუძვლის ფენაზე.  
 2) FWD- ის ტესტების რეზულტატების საშუალო გადასრა (მმ-ში და შესაბამისად დრეკადობის მოდულებში  $E_{FWD}$ ) ეფუძნება გამწვანის მოწყობილობის (INSPECTOR-2) ინსტრუქციას. რეზულტატებს შორის თანაფარდობა რეგლამენტირებულია  $E_{CI}/E_{CI} \leq 158.6\%$   
 ამ მართბის დადასტურების შემთხვევაში მიღებული რეზულტატები საერთო შეფასებაში შეყვანილია არ მიიღება.



ნახაზი 23. არსებული საგზაო სამოსის კონსტრუქციის საერთო დრეკადობის მოდულების გრაფიკი მიღებული სტაციონალური (გეოტექნიკური) და საველე (FWD-ის ტესტების) კვლევების საფუძველზე

ჯამური სავარაუდო ინტენსიობის პროგნოზი (ნორმალური + გენერირებული + გადამისამართებული)

ცხრილი 13.

წელი	წელი	მანქანა	სამარ- შუტო	ავტო-ბუსი	თვითმგლეული			ტრაი-ლერი	ჯამი	ფარდობა, ოტიპის ტრასპორტის გადაყვანისას სპროექტოდატვირთვის შმი- ს შესაბამისად						მოსალოდნელიყოველწ ლიურისამულოდლიურ იმომრაობა
		ტიპი 1+2+3	ტიპი 4	ტიპი 5	ტიპი 6	ტიპი 7	ქვეჯამი	ტიპი 8		ტიპი 1,2,5	ტიპი 3	ტიპი 4	ტიპი 6	ტიპი 7	ტიპი 8	
2020	ნორმალური მოძრაობის ზრდა	107	18	1	6	6	12	1	139	0,2	0,7	0,7	0,7	1,28	1,5	48
	გენერირებული მოძრაობის ზრდა	0	0	0	0	0	0	0	0							
	გადამისამართებული მოძრაობა	0	0	0	0	0	0	0	0							
	ჯამი	107	18	1	6	6	12	1	139							
2030	ნორმალური მოძრაობის ზრდა	179	30	2	10	9	19	2	232	0,2	0,7	0,7	0,7	1,28	1,5	199
	გენერირებული მოძრაობის ზრდა	130	22	1	8	6	14	1	168							
	გადამისამართებული მოძრაობა	76	30	8	8	7	15	4	133							
	ჯამი	385	82	11	26	22	48	7	533							
2035	ნორმალური მოძრაობის ზრდა	216	36	2	12	11	23	2	279	0,2	0,7	0,7	0,7	1,28	1,5	240
	გენერირებული მოძრაობის ზრდა	158	27	1	9	8	17	1	204							
	გადამისამართებული მოძრაობა	92	37	9	10	8	18	5	161							
	ჯამი	466	100	12	31	27	58	8	644							
2040	ნორმალური მოძრაობის ზრდა	254	43	2	15	12	27	2	328	0,2	0,7	0,7	0,7	1,28	1,5	283
	გენერირებული მოძრაობის ზრდა	185	31	2	11	9	20	2	240							
	გადამისამართებული მოძრაობა	108	43	11	11	10	21	6	189							
	ჯამი	547	117	15	37	31	68	10	757							

საქართველოში არსებული რეალობიდან გამომდინარე, სარეაბილიტაციო გზების საგზაო სამოსი მნიშვნელოვნადაა დაზიანებული. რეაბილიტაციისას ოპტიმალური გადაწყვეტის მისაღებად აუცილებელია არსებული საგზაო სამოსის კონსტრუქციის კვლევების ჩატარება. კვლევები ტარდება როგორც სტაციონალურ, ასევე საველე პირობებში. [4]

აღნიშნულ ქვეთავში ნაჩვენებია, რომ საგზაო სამოსის რეაბილიტაციისას, ოპტიმალური კონსტრუქციის შერჩევა ძირითადად დამოკიდებულია არსებული საგზაო სამოსის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებზე (რომლის განსაზღვრა შესაძლებელია FWD ტესტით) და საგზაო დატვირთვებზე (რომლის განსაზღვრა შესაძლებელია მოძრაობის პერსპექტიული ინტენსიობით).

## **2.6. საავტომობილო გზების არახისტი საფარის სარემონტო სამუშაოების დაგეგმვა და ტექნიკურ - ეკონომიურად ხელსაყრელი ტექნოლოგიების შერჩევა**

საგზაო სამოსის ასფალტგრანულობეტონის, მინერალური შემკვრელის და ბლანტი ბიტუმის ნარევისაგან მშენებლობის ტექნოლოგიებმა უნდა უზრუნველყონ მასალის კარგი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები. ასევე უნდა აღინიშნოს, რომ ადგილი აქვს გარკვეულ წინააღმდეგობას, რომელიც გადაწყვეტას საჭიროებს. ასფალტგრანულობეტონის სტრუქტურის ანალიზიდან გამომდინარე მასალის თვისებები დამოკიდებულია კალციუმის ჰიდროსილიკატზე CSH, რომელიც ერთ-ერთი მთავარი შემადგენელი ნაწილია აგბ-სი. იგი ხასიათდება გაცხელებისას წყლის დაკარგვით, რაც იწვევს ფენებს შორის დაშორების შემცირებას, ამასთანავე ადგილი აქვს მასალის სიმტკიცის შესუსტებას. აქედან გამომდინარე გზის ზედაპირი, სადაც გამოყენებულია აღნიშნული შემკვრელები დაფარული უნდა იყოს სპეციალური საფარით, რომელიც არ დაუშვებს მასალიდან ამგვარი აორთქლების პროცესს,



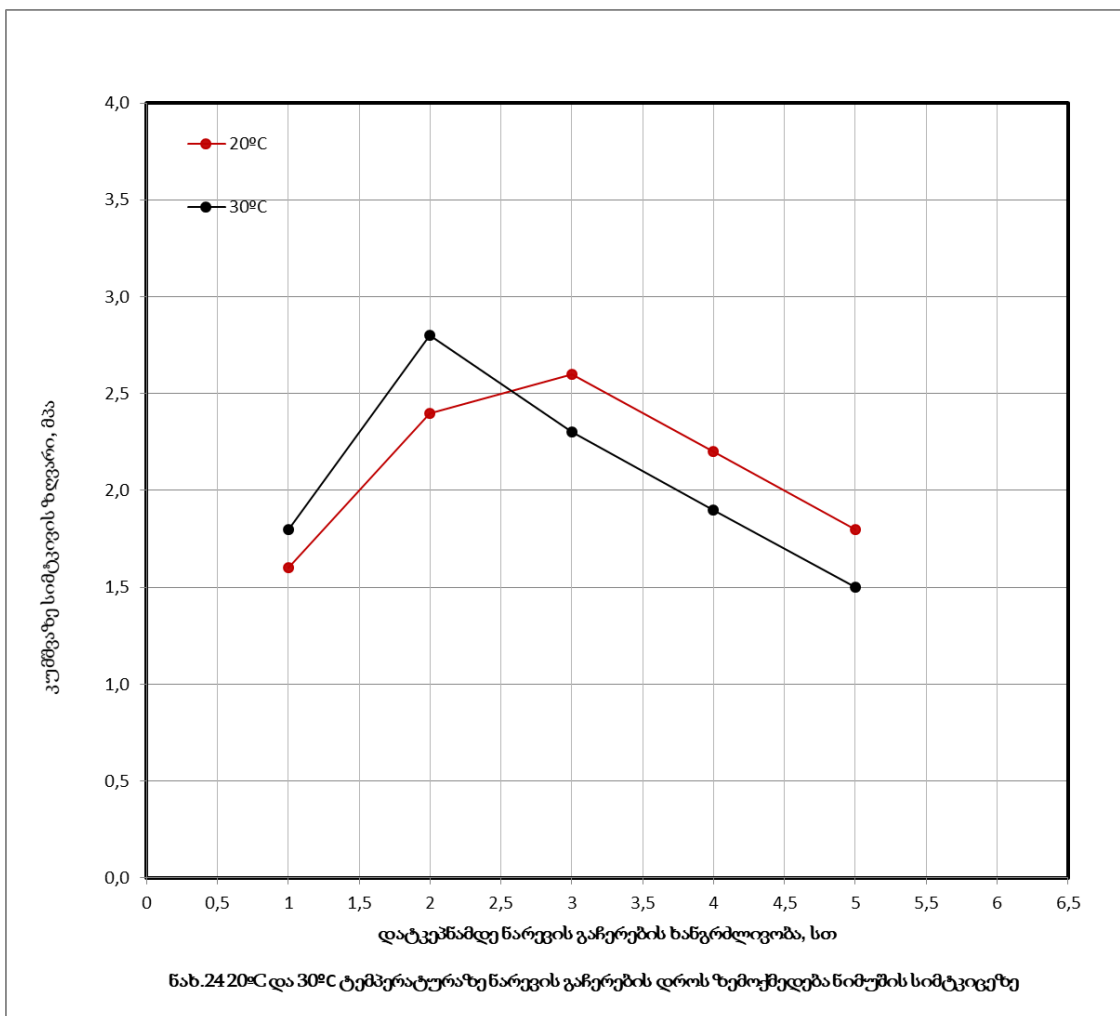
განსაკუთრებით მისი გამყარების საწყის ეტაპზე. ორგანული შემკვრელი მასალების სტრუქტურა ფორმირებას განიცდის ნარევის გამყარების პროცესში, რომლის ძირითადი განმსაზღვრელი ფაქტორი არის ნარევის ტემპერატურა, რომელიც მოქმედებს ბიტუმის ტენიანობაზე. კომპლექსური შემკვრელისაგან (ბლანტი ბიტუმი და ნელა გამყარებადი მინერალური შემკვრელი) ნარევის დამზადება საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ მისი ტრანსპორტირების მანძილი. აღნიშნულ ნარევებში შედარებით სუსტი რგოლი არის წყლის აფსკი, მისი გახლეჩვა ართულებს ნარევის დატკეპნას. ნარევეში ბლანტი ბიტუმის არსებობა არათუ ხელს უშლის აღნიშნულ ნეგატიურ მოვლენას, პირიქით შესაძლებელია წყლის დამატებითი რაოდენობის გამოყენება, მისი ხელმეორედ არევა და ნარევის დატკეპნა. ნარევის გამყარების პროცესზე მნიშვნელოვნად მოქმედებს გზის საფარის მშენებლობის დასრულების შემდგომ ავტოტრანსპორტის მოძრაობის შედეგად გამოწვეული დინამიური დატვირთვები.

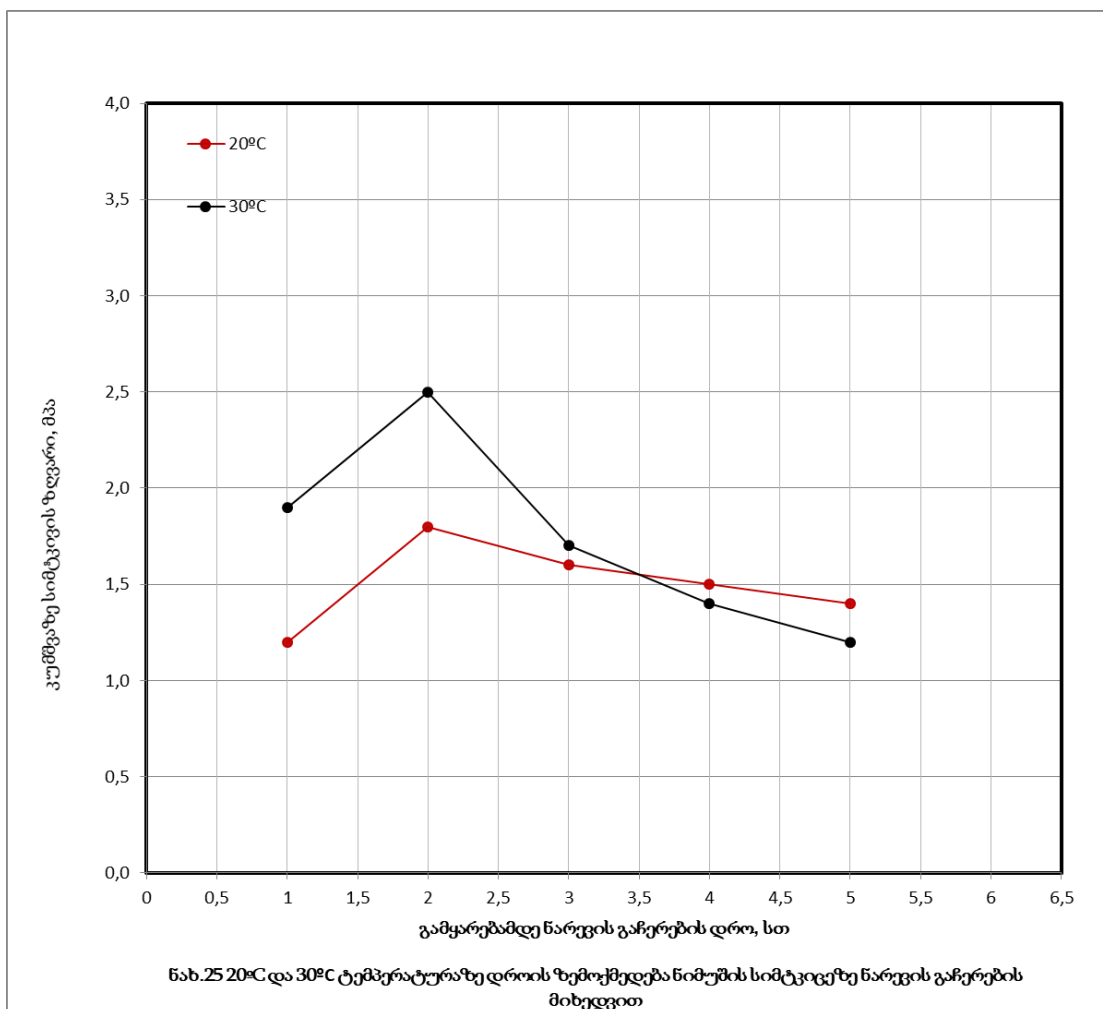
ქიმიური და მინერალოგიური ფაქტორების გარდა მასალის სიმტკიცეზე მოქმედებს ტექნოლოგიური ფაქტორები, რომლის ეფექტური გამოყენება საშუალებას გვაძლევს ვმართოთ ის პროცესები რომლებიც უზრუნველყოფენ საჭირო სიმტკიცის სტრუქტურის წარმოქმნას. მინერალური შემკვრელის აქტივიზაციისათვის გზების მშენებლობაში უფრო ხელსაყრელია მექანიკური ენერჯის გამოყენება. მისი დადებითი მხარე მდგომარეობს იმაში, რომ მექანიკური მერყეობა კინეტიკური ენერჯის გაზრდის ხარჯზე ზრდის ატომების მოძრაობას, ხოლო ეს უკანასკნელი იწვევს შეჭიდულობის გაზრდას. ასფალტგრანულობეტონის მისაღებად ტექნოლოგიური პროცესი ისე უნდა წარიმართოს, რომ ნარევეზე მექანიკური ზემოქმედება დამთავრებული იყოს მისი დამზადების მომენტიდან გამკვრივებამდე ანუ კრისტალური სტრუქტურის წარმოქმნამდე.

ტექნოლოგიური პროცესების განხორციელების ფართობზე და მექანიზმების მწარმოებლობაზე არის დამოკიდებული ნარევის დამზადების,

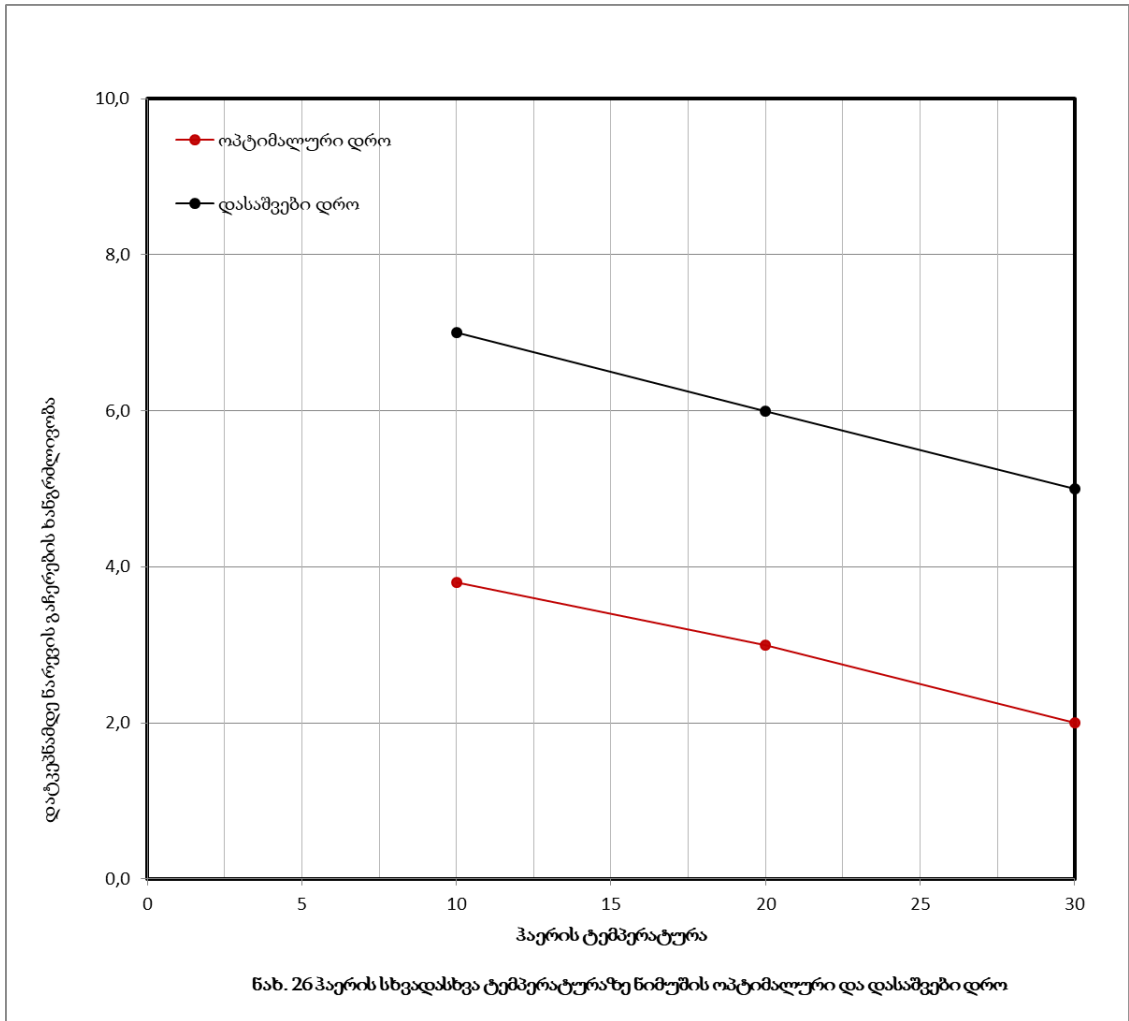
დაგების და შემკვრივების დრო. შემკვრელ მასალად ნელაგამყარებადი სუსპენზიის შემცველი ასფალტგრანულობეტონის ნარევი თავდაპირველად არც თუ ისე მაღალი სიმტკიცით გამოირჩევა, სწორედ ამიტომ შედარებით ნაკლები შემამკვრივებელი დატვირთვები უნდა იქნას გამოყენებული.

სამუშაოების წარმართვის დროს ასფალტგრანულობეტონის ნარევის შემადგენლობის დოზირებამ და მისი ფორმირების პირობებმა საშუალება მოგვცა რაციონალურ-ტექნოლოგიური პარამეტრების შერჩევისა და რეაბილიტირებული გზის საფარის ხარისხის მართვისა. 3-4 საათის განმავლობაში 20°C ტემპერატურაზე ნარევის დაყოვნების შემთხვევაში მატულობს ასფალტგრანულობეტონის სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე და სიმკვრივე. ხოლო ჰაერის ტემპერატურის 10°C-ით მომატება ამ პერიოდს 1-2 საათით კიდევ ამცირებს. იხილეთ ნახაზი 24 და 25.





აქედან გამომდინარე დგინდება შემკვრივებამდე ნარევის გაჩერების დრო, რომლის დროსაც შესაძლებელია მიღებულ იქნას მასალის მაქსიმალური სიმტკიცის ზრდა. ასევე განისაზღვრება ის დასაშვები დროის შუალედი, რა დროსაც მიღებული მასალის სიმტკიცე არ შემცირდება მომზადებისთანავე მის დატკეპნასთან შედარებით.



ნარევის დამზადების პერიოდი  $P_1$ , მისი დაგების ხანგრძლივობა  $P_2$ , დაგებიდან ნარევის დატკეპნამდე შუალედი  $P_3$ , ნარევის დატკეპნის პერიოდი  $P_4$ . აღნიშნული პერიოდების ჯამი არ უნდა იყოს წინასწარ განსაზღვრულ  $P$  ხანგრძლივობაზე მეტი.  $P$ -ს სიდიდე დამოკიდებულია აღნიშნულ მომენტში ჰაერის ტემპერატურაზე.

$$P \geq P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad (23)$$

ამ პერიოდში წარმართული ტექნოლოგიური პროცესების შედეგად მიღებული მასალის სიმტკიცე არ უნდა იყოს ნორმატიულ სიმტკიცეზე დაბალი.  $P_2$  და  $P_4$  განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$P_2 = S / \Pi_{დაგება} \quad \text{და} \quad P_4 = S / \Pi_{დატკეპნა} \quad (24)$$

აქ  $\Pi_{დაგება}$  და  $\Pi_{დამტკეპნი}$  ნარევის დამგები და ნარევის დამტკეპნი მექანიზმების მწარმოებლობაა ( $m^2/სთ$ ), ხოლო  $S$  - მოსაწყობი საფარის ფართობი ( $m^2$ ).

შესაბამისად  $P$ -ს განმსაზღვრელი ტოლობა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$P = P_1 + S / \Pi_{დაგება} + P_3 + S / \Pi_{დამტკეპნი} \quad (25)$$

ტექნოლოგიური პროცესების წარმართვისათვის საჭირო პერიოდის საშუალებით შესაძლებელია განისაზღვროს გასარემონტებელი საგზაო საფარის ფართობი.

$$S = \frac{\Pi_{დაგება} \times \Pi_{დამტკეპნი} \times (P - P_1 - P_3)}{(\Pi_{დაგება} + \Pi_{დამტკეპნი})} \quad (26)$$

ყოველივე აქედან გამომდინარე შესაძლებელია წარიმართოს სარემონტო სამუშაოების წინასწარი პროგნოზირება და შესაბამისად შეიქმნას რუკები, სადაც დატანილი იქნება რაციონალურ-ტექნოლოგიური პარამეტრები.

## 2.7. რეციკლირებული ასფალტბეტონის ხელმეორედ გამოყენებადობის გამოკვლევა სხვადასხვა მინერალური და ორგანული შემკვრელების გამოყენებით

### 2.7.1. ექსპერიმენტების მიმდინარეობა

ჩვენს მიერ ჩატარებული იყო ექსპერიმენტები ცივი რეციკლირების მეთოდით ასფალტბეტონის საფარის რეაბილიტაციისას, სხვადასხვა დანამატების რაოდენობის ოპტიმიზაციის მიზნით.

ექსპერიმენტები ჩატარდა შპს “აბსოლუტსერვისის” აკრედიტირებულ ლაბორატორიაში.

დაიგეგმა ექსპერიმენტების შვიდი სერია.

**პირველი სერია - ცემენტის დანამატი.**

გამოცდა მიმდინარეობდა UNI EN 12390-6 სტანდარტით (არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე)

- ქვიშა-ლორღის ნარევი - 70%;

- ნაფრეზი გრანულატი - 30%.
- ცემენტის პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%
- წყალი - 4.0 %
- გამოცდის პერიოდი - მე-7 და 28-ე დღე.

**მეორე სერია - ცემენტის დანამატი, 2% ბიტუმის დანამატი**  
გამოცდა მიმდინარეობდა ASTM D1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე)

- ქვიშა-ლორღის ნარევი - 70%;
- ნაფრეზი გრანულატი - 30%.
- ცემენტის პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%
- ბიტუმი-2.0 %
- წყალი 4.0 %
- გამოცდის პერიოდი - მე-7 და 28-ე დღე.

**მესამე სერია - ცემენტის დანამატი, 2% მოდიფიცირებული ბიტუმის დანამატი**

გამოცდა მიმდინარეობდა ASTM D1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე)

- ქვიშა-ლორღის ნარევი - 70%;
- ნაფრეზი გრანულატი - 30%.
- ცემენტის პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%
- მოდიფიცირებული ბიტუმი -2.0 %
- წყალი 4.0 %
- გამოცდის პერიოდი - მე-7 და 28-ე დღე.

**მეოთხე სერია - ცემენტის დანამატი, 2% ბიტუმის ემულსიის დანამატი**

გამოცდა მიმდინარეობდა ASTM D1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე)

- ქვიშა-ლორღის ნარევი - 70%;
- ნაფრეზი გრანულატი - 30%.
- ცემენტის პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%
- ბიტუმის ემულსია -2.0 %
- წყალი 3.0 %
- გამოცდის პერიოდი - მე-7 და 28-ე დღე.

**მეხუთე სერია - ცემენტის დანამატი, 3% ბიტუმის ემულსიის დანამატი**  
გამოცდა მიმდინარეობდა ASTM D1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე)

- ქვიშა-ლორღის ნარევი - 70%;
- ნაფრეზი გრანულატი - 30%.
- ცემენტის პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%
- ბიტუმის ემულსია -3.0 %
- წყალი 2.5 %
- გამოცდის პერიოდი - მე-7 და 28-ე დღე.

**მეექვსე სერია - ბიტუმის ემულსიის დანამატი.**

გამოცდა მიმდინარეობდა BS EN 12697-23 სტანდარტით (არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე)

- ქვიშა-ლორღის ნარევი - 70%;
- ნაფრეზი გრანულატი - 30%.
- ემულსიის პროცენტული შემცველობა 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%
- წყალი 3.0 %
- გამოცდის პერიოდი - მე-7 და 28-ე დღე.

### მეშვიდე სერია - დოროპორტის დანამატი.

გამოცდა მიმდინარეობდა ASTM D 1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე)

- ქვიშა-ლორღის ნარევი - 70%;
- ნაფრეზი გრანულატი - 30%.
- ცემენტის პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%
- წყალი 4.0 %
- გამოცდის პერიოდი - მე-7 და 28-ე დღე.

ცილინდრული ნიმუშის გამოცდა მიმდინარეობდა შემდეგი პირობების დაცვით:

- ცდის მიმდინარეობისას დაცული იყო რეკომენდებული სტანდარტული ტემპერატურა - 25 °C.
- მომზადებულ ცილინდრულ ნიმუშს ვათავსებდით 50 კნ-იან პრესში ისე, რომ დაიტვირთოს დიამეტრულად.
- ნიმუშის დატვირთვას ვიწყებდით მუდმოვი სიჩქარით ( $50 \pm 2$ ) მმ/წთ. მანამდე, სანამ ძალა არ მიაღწევდა მაქსიმალურ ნიშნულს. ვაგრძელებდით ნიმუშის დატვირთვას მის დაშლამდე. ცდა სრულდებოდა 2 წთ-ის განმავლობაში.







შენიშვნა:

(სურათებზე წარმოდგენილია ექსპერიმენტების ჩატარების პროცესი)

## 2.7.2. ექსპერიმენტების შედეგები

პირველი სერია - ცემენტის დანამატი.

გამოცდა მიმდინარეობდა UNI EN 12390-6 სტანდარტით (არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე)

- ქვიშა-ლორღის ნარევი - 70%;
- ნაფრეზი 30%.
- ცემენტის პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%
- წყალი 4.0 %
- გამოცდის პერიოდი - მე-7 და 28-ე დღე.

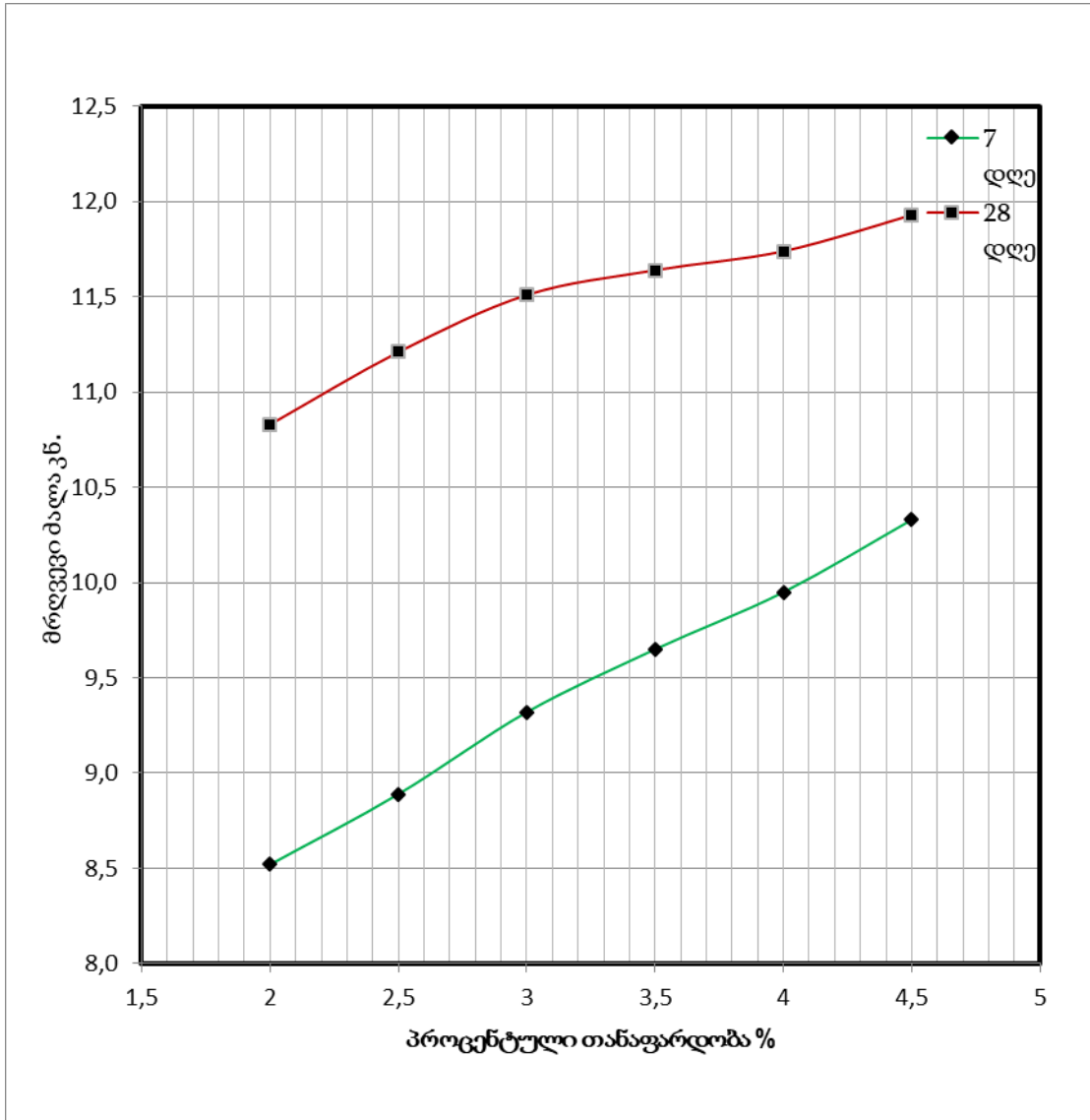
ექსპერიმენტის შედეგები მოცემილია ცხრილში 14 და ნახაზზე 27.

როგორც გრაფიკიდან და ნახაზიდან ჩანს, ნიმუშის სიმტკიცე ცემენტის დამატებით განუხრელად იზრდება, ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28 შეადგენს საშუალოდ 0,82-ს, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მე-7 დღეს მიიღწევა საპროექტო სიმტკიცის 82%.

ცხრილი 14.

სიმტკიცის მაჩვენებელი ცემენტის რაოდენობის მიხედვით						
ცემენტის რაოდენობა %	2	2.5	3	3.5	4	4.5
7 დღის ხნოვანების	8.5	8.89	9.32	9.65	9.95	10.33
28 დღის ხნოვანების	10.83	11.21	11.51	11.64	11.74	11.93
სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28	0.78	0.79	0.81	0.83	0.85	0.87





ნახაზი 27. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით

**მეორე სერია - ცემენტის დანამატი, 2% ბიტუმის დანამატი**

გამოცდა მიმდინარეობდა ASTMD1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე)

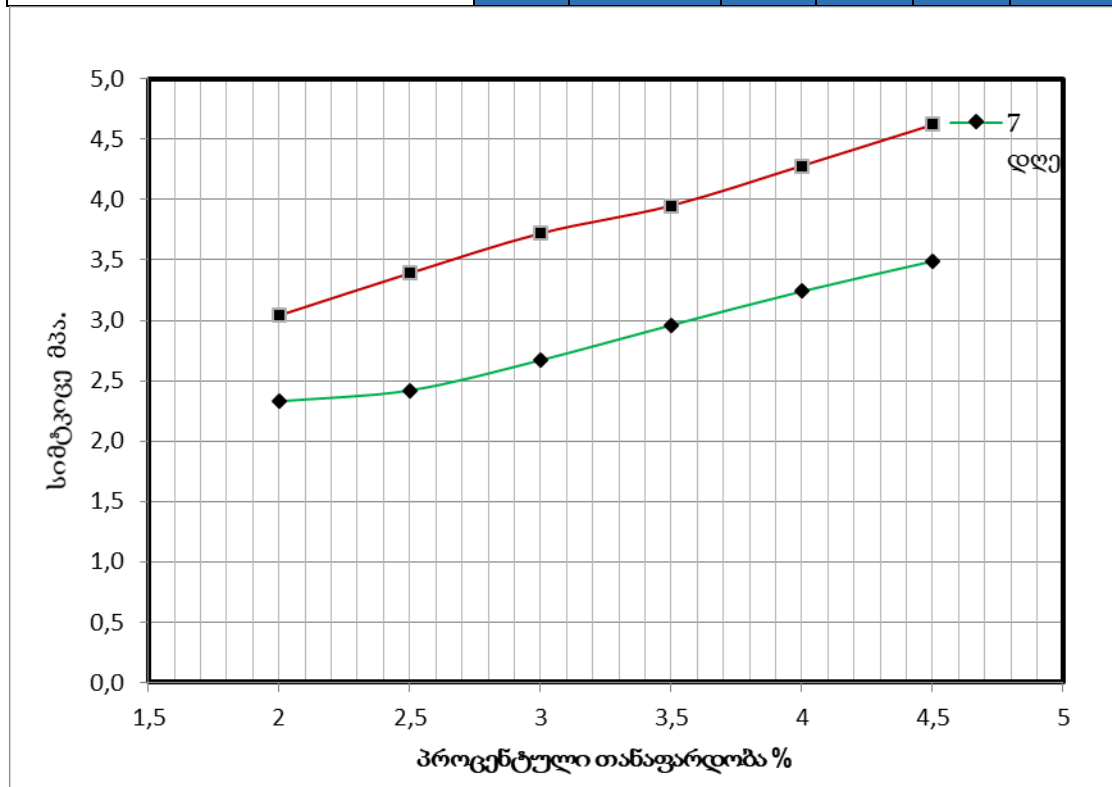
- ქვიშა-ლორღის ნარევი - 70%;
- ნაფრეზი გრანულატი - 30%.
- ცემენტის პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%
- ბიტუმი -2.0 %
- წყალი 4.0 %

- გამოცდის პერიოდი - მე-7 და 28-ე დღე.

ექსპერიმენტის შედეგები მოცემულია ცხრილში 15 და ნახაზზე 28. როგორც გრაფიკიდან და ნახაზიდან ჩანს, ნიმუშის სიმტკიცე ცემენტის დამატებით განუხრელად იზრდება, ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28 შეადგენს საშუალოდ 0,74 -ს, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მე-7 დღეს მიიღწევა საპროექტო სიმტკიცის 74%.

ცხრილი 15.

სიმტკიცის მაჩვენებელი ცემენტის რაოდენობის მიხედვით 2% ბიტუმის დანამატით						
ცემენტის რაოდენობა %	2	2.5	3	3.5	4	4.5
7 დღის ხნოვანების	2.3	2.42	2.67	2.96	3.24	3.49
28 დღის ხნოვანების	3.04	3.39	3.72	3.95	4.28	4.62
სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28	0.76	0.71	0.72	0.75	0.76	0.76



ნახაზი 28. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით, 2% ბიტუმის დანამატით

მესამე სერია - ცემენტის დანამატი, 2% მოდიფიცირებული ბიტუმის დანამატით

გამოცდა მიმდინარეობდა ASTM D1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე)

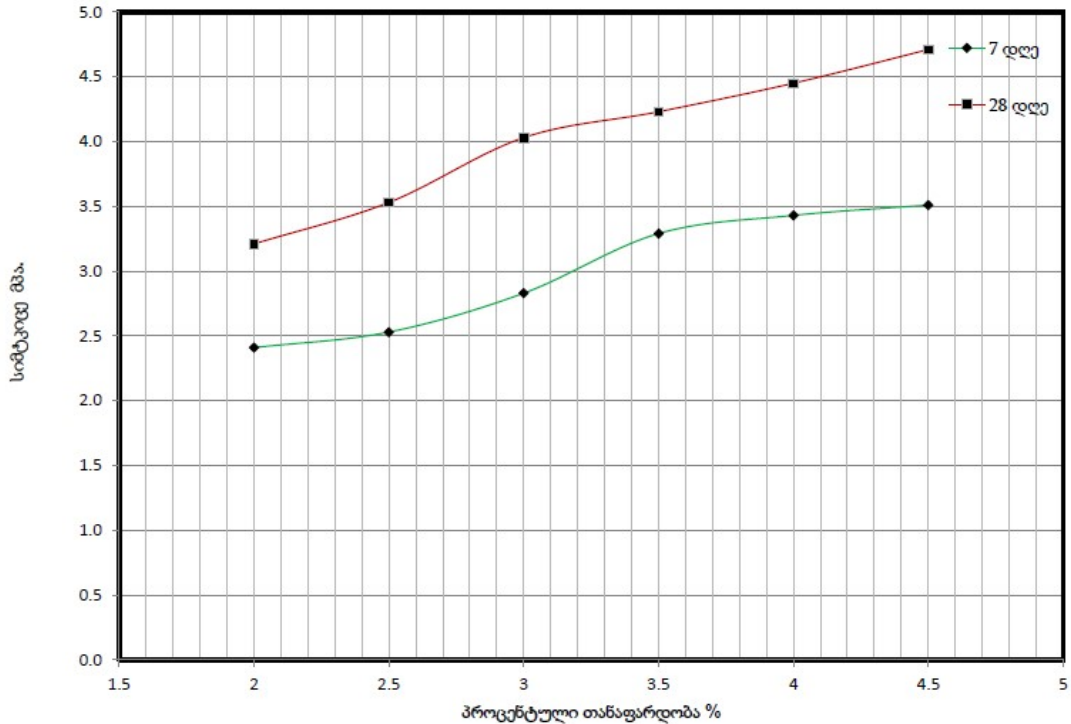
- ქვიშა-ლორღის ნარევი - 70%;
- ნაფრეზი გრანულატი - 30%.
- ცემენტის პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%
- მოდიფიცირებული ბიტუმი -2.0 %
- წყალი 4.0 %
- გამოცდის პერიოდი - მე-7 და 28-ე დღე.

ექსპერიმენტის შედეგები მოცემილია ცხრილში 16 და ნახაზზე 29.

როგორც გრაფიკიდან და ნახაზიდან ჩანს, ნიმუშის სიმტკიცე ცემენტის დამატებით განუხრელად იზრდება, ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28 შეადგენს საშუალოდ 0,74-ს, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მე-7 დღეს მიიღწევა საპროექტო სიმტკიცის 74%.

ცხრილი 16.

სიმტკიცის მაჩვენებელი ცემენტის რაოდენობის მიხედვით 2% მოდიფიცირებული ბიტუმის დანამატით						
ცემენტის რაოდენობა %	2	2.5	3	3.5	4	4.5
7 დღის ხნოვანების	2.4	2.53	2.83	3.29	3.43	3.51
28 დღის ხნოვანების	3.21	3.53	4.03	4.23	4.45	4.71
სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28	0.75	0.72	0.70	0.78	0.77	0.75



ნახაზი 29. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით, 2% მოდიფიცირებული ბიტუმის დანამატით

მეოთხე სერია - ცემენტის დანამატი, 2% ბიტუმის ემულსიის დანამატით გამოცდა მიმდინარეობდა ASTM D1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე)

- ქვიშა-ლორღის ნარევი - 70%;
- ნაფრეზი გრანულატი - 30%.
- ცემენტის პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%
- ბიტუმის ემულსია - 2.0 %
- წყალი 3.0 %
- გამოცდის პერიოდი - მე-7 და 28-ე დღე.

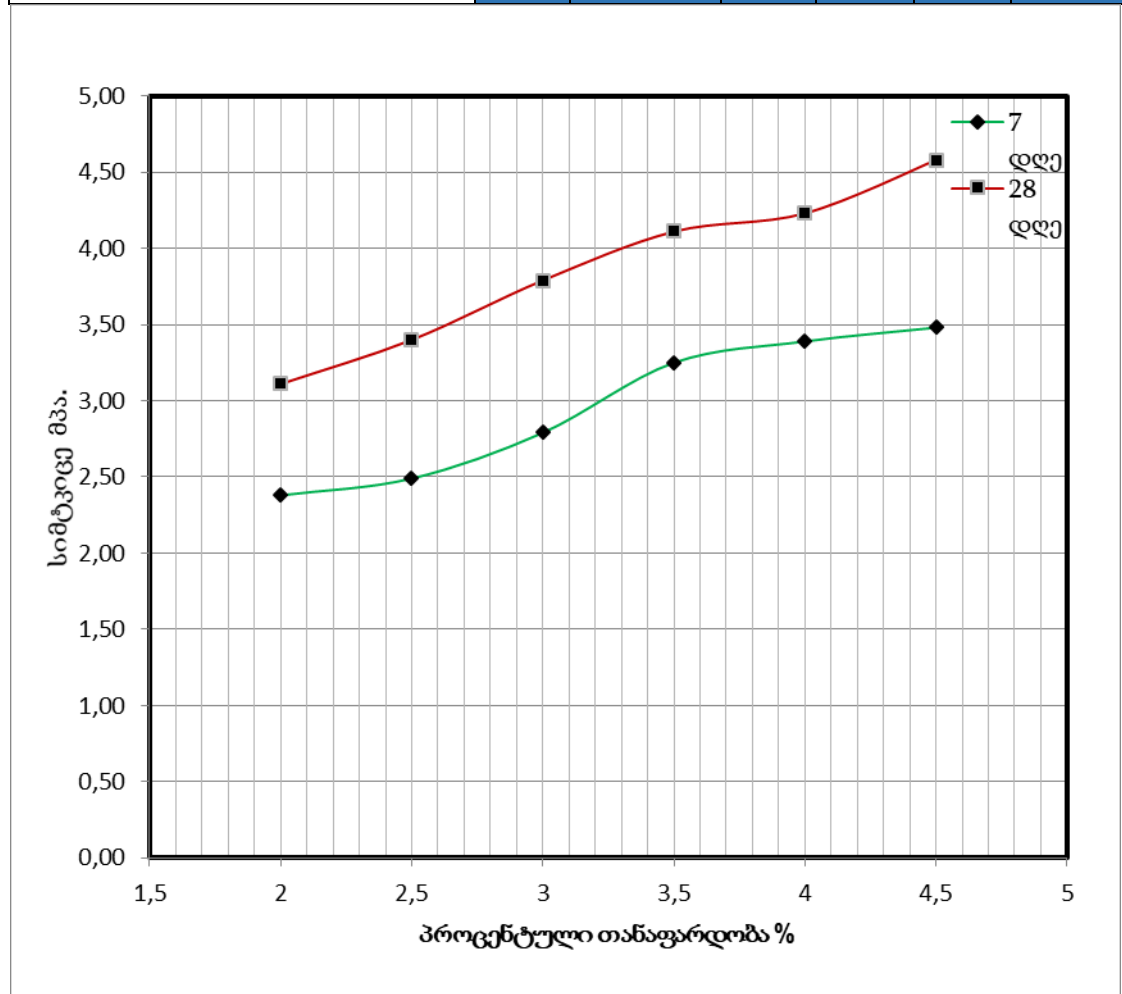
ექსპერიმენტის შედეგები მოცემილია ცხრილში 17 და ნახაზზე 30.

როგორც გრაფიკიდან და ნახაზიდან ჩანს, ნიმუშის სიმტკიცე ცემენტის დამატებით განუხრელად იზრდება, ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28

შეადგენს საშუალოდ 0,76-ს, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მე-7 დღეს მიიღწევა საპროექტო სიმტკიცის 76%.

ცხრილი 17.

სიმტკიცის მაჩვენებელი ცემენტის რაოდენობის მიხედვით 2% ბიტუმის ემულსიის დანამატით						
ცემენტის რაოდენობა %	2	2.5	3	3.5	4	4.5
7 დღის ხნოვანების	2.38	2.49	2.79	3.25	3.39	3.48
28 დღის ხნოვანების	3.11	3.4	3.79	4.11	4.23	4.58
სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28	0.77	0.73	0.74	0.79	0.80	0.76



ნახაზი 30. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით, 2% ბიტუმის ემულსიის დანამატით



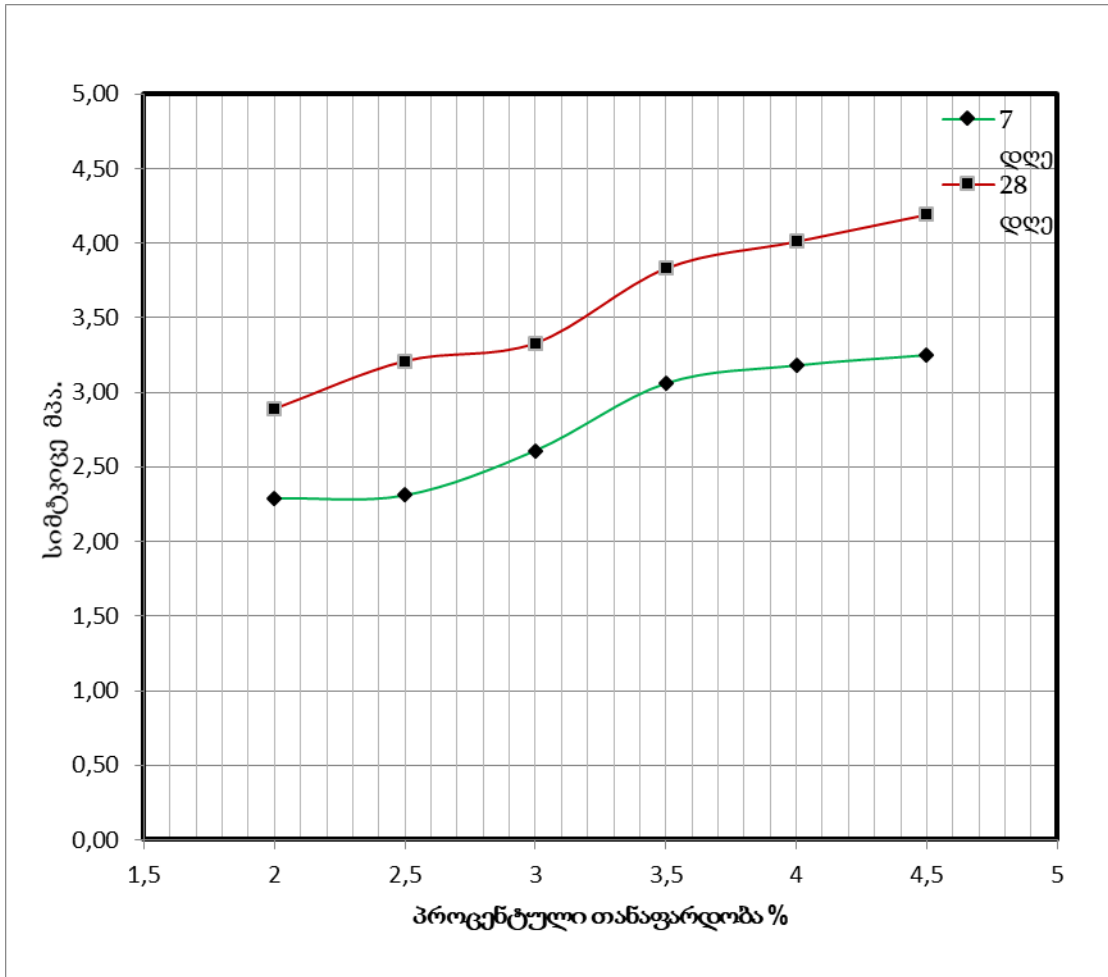
მეხუთე სერია - ცემენტის დანამატი, 3% ბიტუმის ემულსიის დანამატით გამოცდა მიმდინარეობდა ASTMD1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე)

- ქვიშა-ლორღის ნარევი - 70%;
- ნაფრეზი გრანულატი - 30%.
- ცემენტის პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%
- ბიტუმის ემულსია -3.0 %
- წყალი 2.5 %
- გამოცდის პერიოდი - მე-7 და 28-ე დღე.

ექსპერიმენტის შედეგები მოცემილია ცხრილში 18 და ნახაზზე 31. როგორც გრაფიკიდან და ნახაზიდან ჩანს, ნიმუშის სიმტკიცე ცემენტის დამატებით განუხრელად იზრდება, ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28 შეადგენს საშუალოდ 0,78-ს, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მე-7 დღეს მიიღწევა საპროექტო სიმტკიცის 78%.

ცხრილი 18.

სიმტკიცის მაჩვენებელი ცემენტის რაოდენობის მიხედვით 3% ბიტუმის ემულსიის დანამატით						
ცემენტის რაოდენობა %	2	2.5	3	3.5	4	4.5
7 დღის ხნოვანების	2.29	2.31	2.61	3.06	3.18	3.25
28 დღის ხნოვანების	2.89	3.21	3.33	3.83	4.01	4.19
სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28	0.79	0.72	0.78	0.80	0.79	0.78



ნახაზი 31. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ცემენტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით, 3% ბიტუმის ემულსიის დანამატით

### მექვსე სერია - ბიტუმის ემულსიის დანამატი.

გამოცდა მიმდინარეობდა BS EN 12697-23 სტანდარტით (არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე)

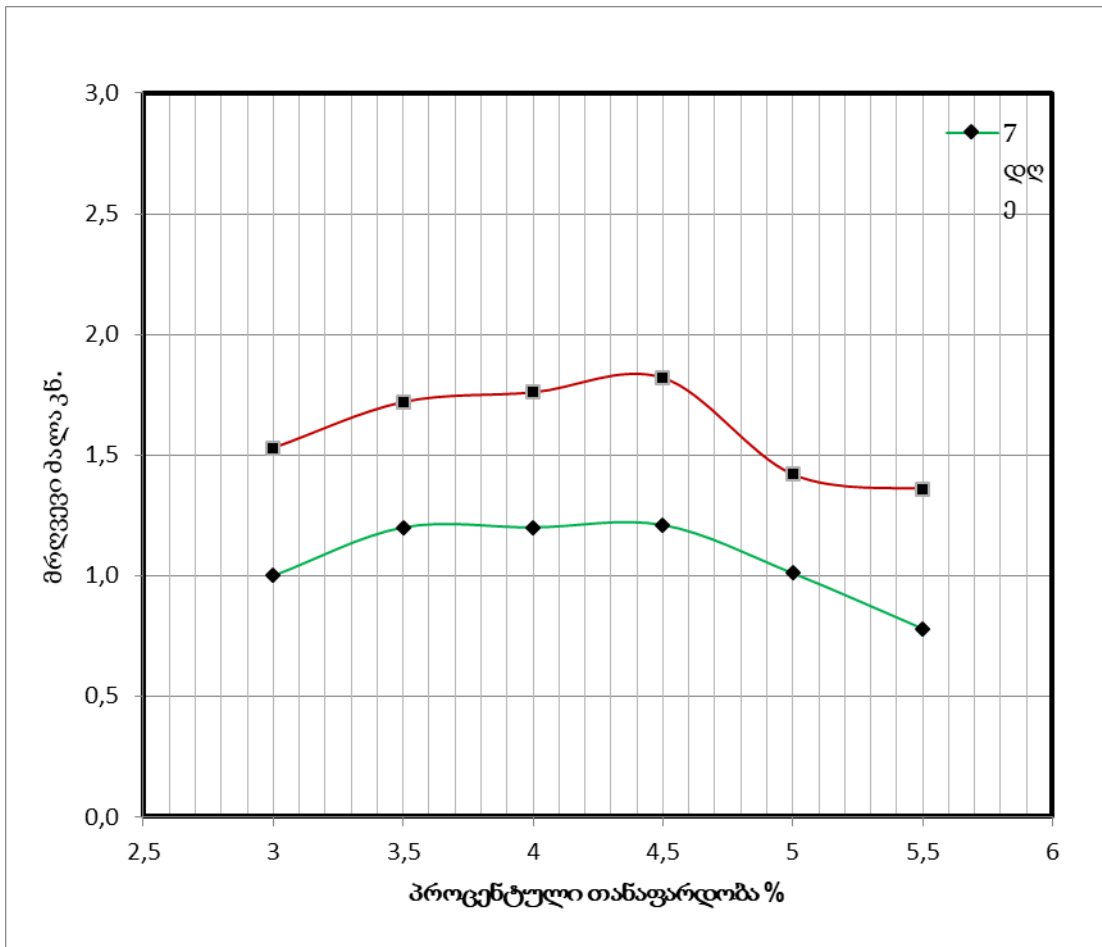
- ქვიშა-ლორღის ნარევი - 70%;
- ნაფრეზი გრანულატი - 30%.
- ემულსიის პროცენტული შემცველობა 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%
- წყალი 3.0 %
- გამოცდის პერიოდი - მე-7 და 28-ე დღე.

ექსპერიმენტის შედეგები მოცემილია ცხრილში 19 და ნახაზზე 32.

როგორც გრაფიკიდან და ნახაზიდან ჩანს, ნიმუშის სიმტკიცე ბიტუმის ემულსიის დამატებით იზრდება 4.5 %-მდე, ხოლო ემულსიის შემდგომი მატება იწვევს სიმტკიცის შემცირებას, ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28 შეადგენს საშუალოდ 0,66-ს, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მე-7 დღეს მიიღწევა საპროექტო სიმტკიცის 66%.

ცხრილი 19.

სიმტკიცის მაჩვენებელი ბიტუმის ემულსიის რაოდენობის მიხედვით						
ცემენტის რაოდენობა %	3	3.5	4	4.5	5	5.5
7 დღის ხნოვანების	1.0	1.2	1.2	1.21	1.01	0.78
28 დღის ხნოვანების	1.53	1.72	1.76	1.82	1.42	1.36
სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28	0.65	0.70	0.68	0.66	0.71	0.57



ნახაზი 32. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი ბიტუმის ემულსიის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით

**მეშვიდე სერია - დოროპორტის დანამატი.**

გამოცდა მიმდინარეობდა ASTM D 1633 სტანდარტით (სიმტკიცე კუმშვაზე)

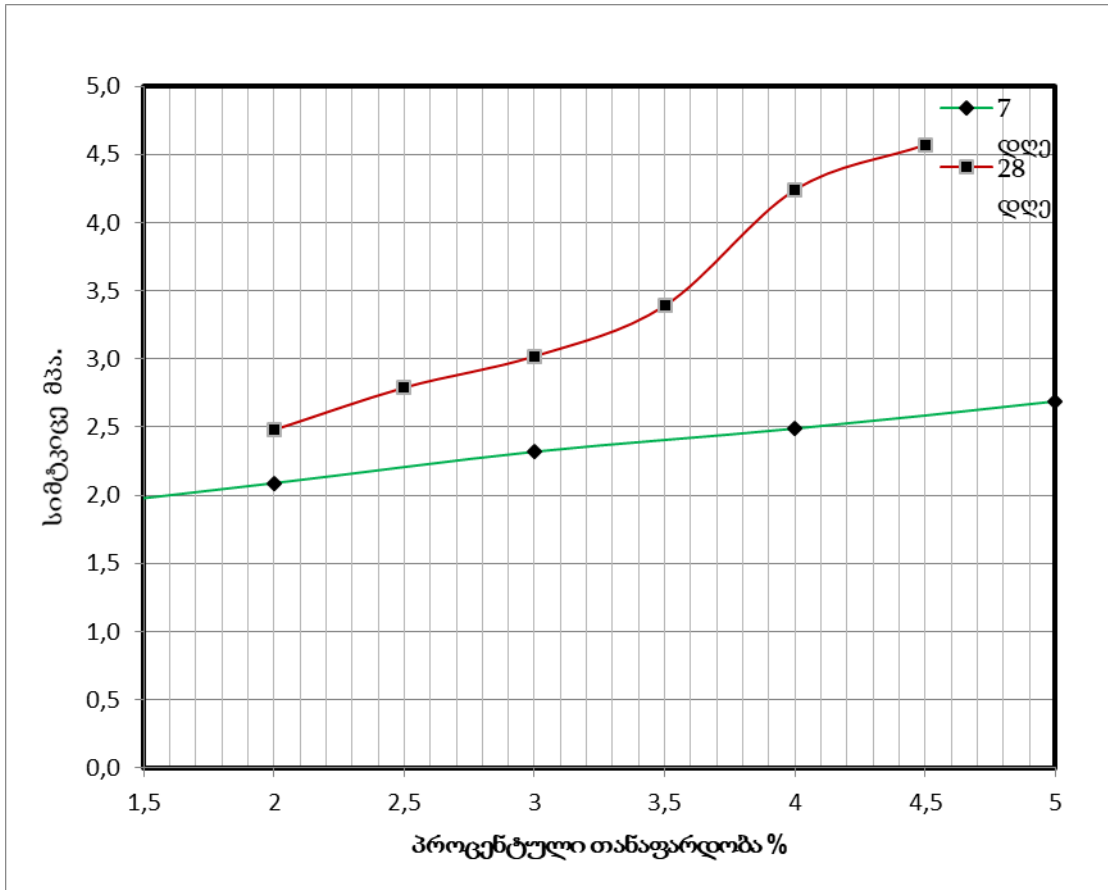
- ქვიშა-ღორღის ნარევი - 70%;
- ნაფრეზი გრანულატი - 30%.
- ცემენტის პროცენტული შემცველობა 2.0%, 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%
- წყალი 4.0 %
- გამოცდის პერიოდი - მე-7 და 28-ე დღე.

ექსპერიმენტის შედეგები მოცემილია ცხრილში 20 და ნახაზზე 33.

როგორც გრაფიკიდან და ნახაზიდან ჩანს, ნიმუშის სიმტკიცე დოროპორტის დამატებით განუხრელად იზრდება, ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28 შეადგენს საშუალოდ 0,71-ს, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მე-7 დღეს მიიღწევა საპროექტო სიმტკიცის 71%.

ცხრილი 20.

სიმტკიცის მაჩვენებელი დოროპორტის რაოდენობის მიხედვით						
დოროპორტის რაოდენობა %	2	2.5	3	3.5	4	4.5
7 დღის ხნოვანების	1.9	2.09	2.32	2.49	2.69	2.93
28 დღის ხნოვანების	2.48	2.79	3.02	3.39	4.24	4.57
სიმტკიცის მაჩვენებელი 7/28	0.77	0.75	0.77	0.73	0.63	0.64



ნახაზი 33. სიმტკიცის მაჩვენებლის ცვლილება ნარევი დოროპორტის პროცენტული რაოდენობის მიხედვით

## დასკვნა

1. ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევებისა და საცდელ-საწარმოო შემოწმებით თეორიულად დასაბუთებულია ასფალტბეტონის საფარის ცივი რეციკლირებით შეკეთების ტექნოლოგია და შემუშავებულია შეკეთების რაციონალური ტექნოლოგიური პარამეტრები თხევადი ბიტუმის, ცემენტის, ბიტუმის ემულსიის, მოდიფიცირებული ბიტუმის და დოროპორტის გამოყენებით.
2. კვლევების საფუძველზე დადგენილია ასფალტოგრანულობეტონის ფიზიკურ - მექანიკური თვისებების მაჩვენებლები. ნარევის შემუშავებული შემადგენლობა (დიზაინი) საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ სამი ტიპის ასფალტოგრანულობეტონი, რომლებიც სავსებით აკმაყოფილებენ ტექნიკური ნორმებით წაყენებულ მოთხოვნებს და მათი გამოყენება შესაძლებელია ასფალტბეტონის საფარის როგორც ქვედა, ისე ზედა ფენების მოწყობისათვის:
  - ბიტუმის შემცველი (ტიპი A);
  - მინერალებ შემცველი (ტიპი B);
  - კომპლექსური (ტიპი C).
3. ჩატარებული კვლევებით დადგენილია ბიტუმის ემულსიის, დოროპორტისა და წყლის ის ოპტიმალური რაოდენობა, რომლითაც მიიღწევა აგბ-ის სიმტკიცის მაღალი მაჩვენებელი. ამასთან, წყლის რაოდენობა დამოკიდებულია როგორც მინერალური შემკვრელის ტიპსა და პროცენტულ თანაფარდობაზე, ასევე მასალის მომზადებისა და გამკვრივების პირობებზე.
4. აგბ-ის სიმტკიცის ფორმირებაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ცემენტი, რაც დასტურდება ამ შემკვრელის შემცველი ნიმუშების სიმტკიცის ზრდის გახანგრძლივებული დროით. გარდა ამისა

ცემენტის გამოყენება უზრუნველყოფს კოაგულაციური სტრუქტურის გრძელვადიან შენარჩუნებას, რაც ხელს უწყობს ტექნოლოგიური პარამეტრების გაუმჯობესებას.

5. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე ირკვევა, რომ:

- ცემენტის დამატება აუმჯობესებს საგზაო სამოსის სიმტკიცის მაჩვენებელს. ამასთან მე-7 დღეს მიიღწევა საპროექტო სიმტკიცის 82%.
- სამოსის სიმტკიცე 4.5 %-მდე ბიტუმის ემულსიის დამატებით იზრდება, ემულსიის შემდგომი მატება იწვევს სიმტკიცის შემცირებას. მე-7 დღეს მიიღწევა საპროექტო სიმტკიცის 66%.
- სამოსის სიმტკიცე დოროპორტის დამატებით იზრდება. მე-7 დღეს მიიღწევა საპროექტო სიმტკიცის 71%.

6. საჭირო თვისებების საგზაო საფარის მისაღებად აუცილებელია ტექნოლოგიური პროცესის ორგანიზება ისე, რომ ნარევის დატკეპნა დასრულდეს ინდუქციურ პერიოდში, რომლის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია ნარევის რეცეპტზე და ჰაერის ტემპერატურაზე. სხვადასხვა კომპოზიციების ნარევების შეკავების მაქსიმალური დასაშვები დრო მერყეობს 3-დან 8 საათამდე.

7. თეორიული კვლევებით და საცდელ-საწარმოო შემოწმებით დადასტურებულია, რომ ცივი რეციკლირების ტექნოლოგიის გამოყენებისას შესაძლებელია გამოსწორდეს გარკვეული ხარვეზები, საგზაო სამოსის კონსტრუქციული ფენის დატკეპნის შემდეგაც, კერძოდ:

- C ტიპის აგბ-ს გამოყენებისას, ფენის დატკეპნიდან 4 საათის განმავლობაში შესაძლებელია მისი გაფხვიერება და ხელახალი დატკეპნა და ამით მისი სიმტკიცის მახასიათებლების გაუმჯობესება;

- გამათხევადებლის აორთქლებამდე (11-15 სთ) ინარჩუნებს განმეორებითი გადამუშავების შესაძლებლობას B ტიპის ასფალტოგრანულობეტონი.

8. არახისტი საფარის შეკეთების ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ტექნოლოგია სულ მცირე 2-ჯერ იაფია, ვიდრე ანალოგიური ეფექტის მქონე შეკეთების ტრადიციული ტექნოლოგია - ასფალტბეტონის საფარის ახალი თხელი ფენის დაგება.
9. შემოთავაზებული მეთოდოლოგიის მიხედვით, სარეაბილიტაციო სამუშაოების ჩატარებისას, წამყვანი დანადგარის პარამეტრებისა და კლიმატური ფაქტორების გათვალისწინებით შესაძლებელია შევიმუშაოთ საგზაო საფარის შეკეთების ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები (სამუშაო ფრონტის სიგრძე, ნარევის დატკეპნის ოპტიმალური დრო).



### გამოყენებული ლიტერატურა

1. ა.ბურდულაძე, დ.გეწაძე, თ. პაპუაშვილი, - „საგზაო სამოსის საექსპლუატაციო ხარისხის შენარჩუნება“. სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. 2018, №2(49), გვ.81-83.
2. ა.ბურდულაძე, დ.გეწაძე, თ. პაპუაშვილი, - „საგზაო სამოსის შეკეთება რეციკლირების მეთოდით“. სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. 2018, №2(49), გვ.87-89.
3. ა.ბურდულაძე, დ.გეწაძე, თ. პაპუაშვილი, - „საგზაო სამოსის გაანგარიშება დაზიანების ზღვრული თანაფარდობის მეთოდით“. სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. 2019, №1(50), გვ.90-92.
4. დ.გეწაძე, - „საგზაო სამოსის რეაბილიტაციის ღონისძიებების შემუშავება“, სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. 2019, №1(50), გვ.107-112.
5. ა.ბურდულაძე, თ. პაპუაშვილი, დ.გეწაძე, - „საგზაო სამოსის მზიდი უნარის გათვლა თეორიული ანალიზის გზით“, სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. 2019, №2(51), გვ.38-42.
6. თ. პაპუაშვილი, დ.გეწაძე, ა.ბურდულაძე, - „საგზაო სამოსის მზიდი უნარის გათვლა სტრუქტურული რიცხვების მეთოდით“, სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. 2019, №2(51), გვ.107-111.
7. მ. შიშინაშვილი - საგზაო მშენებლობაში გამოყენებადი ასფალტბეტონები - “საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი”, თბილისი, 2018 წ. 139 გვ. ISBN 978-9941- 20-973-4
8. М .Шишинашвили, А. Бурдуладзе - ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ – Іміжнародної науково-технічної конференції «ТРАНСПОРТНІ СПОРУДИ: СТАН, ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ, РЕМОУТ», Kharkov, Ukraine, 2019, p 66-67;
9. M. Shishinashvili, A. Burduladze, M. Magradze - Provision of motorway land valve stability in the seismic active zones in Georgia - II International Conference 'Problems of earthquake resistance in cultural heritage monuments protection and civil engineering', Tbilisi, Georgia 2018, p 21; ISBN: 978-9941-26-288-3
10. M. Shishinashvili, A. Burduladze, G. Chubinidze, V. Jghamaia - Peculiarities of flexible pavements construction with consideration of existing climatic conditions in Georgia - International scientific journal “ theoretical & Applied Sciences “ Philadelphia, 2017, P. 139-142, ISSN 2308-4944
11. M. Shishinashvili - An overview of the regeneration technology of asphalt concrete - International scientific journal “ theoretical & Applied Sciences “ Scarton, 2016, P. 173-176, ISSN 2308-4944
12. მ. შიშინაშვილი - ფრეზირებული მასალისა და ბიტუმის ემულსიის გამოყენების ეფექტურობა საგზაო მშენებლობაში - ეროვნული

თავდაცვის კადემია “შრომები” #1[2], გორი, 2016. გვ. 108-113, ISSN 1512-0708

13. მ. შიშინაშვილი - ფრეზირებული მასალის გამოყენებით დამზადებული კომბინირებული ასფალტობეტონის ნარევის გამოყენების პერსპექტივები საქართველოში - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის ჟურნალი “მშენებლობა” #3(38), თბილისი, 2015. გვ. 105-107 ISSN 1512-3936
14. M. Shishinashvili - Use of Same Fixed Composite Surfaces at Georgia - International scientific journal “ theoretical & Applied Sciences “ Philadelphia, 2015, P. 33-35, ISSN 2308-4944
15. M. Shishinashvili, A. Burduladze, M. Magradze - Improvement Of The Quality Of The Asphalt Mix - International scientific journal “ theoretical & Applied Sciences “ Linkoping 2014, P. 44-47, ISSN 2308-4944
16. მ. კეჭაყმაძე - „ საგზაო სამოსის კონსტრუქციული ოპტიმიზაცია გრუნტების სტაბილიზაციის მეთოდის გამოყენებით “. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტუალი“ , № 30, თბილისი, 2015წ.
17. ნ. ელოშვილი, ა. ბურდულაძე - „ აეროდრომების ასფალტბეტონის საფარების აღდგენის თანამედროვე ტექნოლოგიები“. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“, № 1(23), 2012წ.
18. ნ. ელოშვილი - „გათხიერებული ბიტუმის გამოყენება საგზაო მშენებლობაში“, სტუ-ს სტუდენტთა მე-80 ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, თბილისი 2012წ.
19. AASHTO guide for desing of pavement structures. 1993. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
20. A guide to the structural desing of bitumen-surfaced roads in tropical and sub-tropical countries. 1993. 4<sup>th</sup> Edition. Crowthorne, Berkshire: Transport Research Laboratory (TRL). (Overseas road note 31).
21. Васильев А. П. Эксплуатация автомобильных дорог : учеб. для вузов : в 2 т. Т. 2 / А.П. Васильев. – М. : Академия, 2011.
22. ВСН 19-89. ПРАВИЛА ПРИЕМКИ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ. МОСКВА«ТРАНСПОРТ» 2010.
23. Гоглидзе В.М. Разработка основных положений сдвигоустойчивых и износостойких полужестких дорожных покрытий: Дис д-ра тех. наук МАДИ. М. 1980.Машинопись.
24. ГОСТ 11501-78. БИТУМЫ НЕФТЯНЫЕ. Метод определения глубины проникания иглы. [СТ СЭВ 3658-82]. Москва 2008.
25. ГОСТ 11505-75\*. БИТУМЫ НЕФТЯНЫЕ Б. Метод определения растяжимости. ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ. Москва 2008.

26. ГОСТ 11506-73. БИТУМЫ НЕФТЯНЫЕ. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару. ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ. Москва 2003.
27. ГОСТ 11507-78. БИТУМЫ НЕФТЯНЫЕ. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу. ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ. Москва 2003.
28. ГОСТ 11508-74\*. БИТУМЫ НЕФТЯНЫЕ. Методы определения сцепления битума с мрамором и песком. ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ. Москва 2006.
29. ГОСТ 12801-98. СМЕСИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ ДОРОЖНЫЕ И АЭРОДРОМНЫЕ, ДЕГТЕБЕТОННЫЕ ДОРОЖНЫЕ, АСФАЛЬТОБЕТОН И ДЕГТЕБЕТОН МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ (МНТКС) Москва 2002.
30. ГОСТ 22245-90. БИТУМЫ НЕФТЯНЫЕ ДОРОЖНЫЕ ВЯЗКИЕ. Технические условия. Москва 2000.
31. ГОСТ 12801-84 Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон. Методы испытаний. М. 2001.
32. ГОСТ Р 52056-2003. ВЯЖУЩИЕ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫЕ ДОРОЖНЫЕ НА ОСНОВЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ТИПА СТИРОЛ-БУТАДИЕН-СТИРОЛ. ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ. Москва 2005.
33. [Золотарев В.А.](#) БИТУМЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПОЛИМЕРАМИ, И АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНЫ /Дорожная Техника 2009/
34. Гезенцевей Л.Б. Горелышев Н.В. Богуславский А.М. и др./ Дорожный асфальтный бетон/ М. Транспорт.1995.
35. Иванов Н.Н. Устойчивость асфальтобетонных покрытий при высоких температурах. В кн.: Повышение качества асфальтобетона М.: 1975,
36. Ладыгин Б.И., Яцевич И.К. Прочность и долговечность асфальтобетона. Минск Наука и техника 1972г.
37. Руденская И.М. Руденский А.В. Органические вяжущие для дорожного строительства Издательство: «Транспорт» - М.1990.
38. Садило М.В., Садило Р.М. Автомобильные дороги: строительство и эксплуатация учебное пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2011.
39. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Report on Cold Recycling of Asphalt Pavements. AASHTO-AGC-ARTBA Joint Committee Task Force 38 Report. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C. (1998).

40. Federal Highway Administration. (2001b). Reclaimed Asphalt Pavement User Guideline: Asphalt Concrete (Cold Recycling). Web page on the Turner-Fairbanks Highway Research Center web site. <http://www.tfhrc.gov/hnr20/recycle/waste/rap133.htm>. Accessed 16 October 2001.
41. Better Roads. (July 2001). Full-Depth Reclamation. Better Roads. Special insert section on full-depth reclamation in cooperation with the Asphalt Recycling and Reclaiming Association.
42. An Overview of Recycling and Reclamation Methods for Asphalt Pavement Rehabilitation, Asphalt Recycling and Reclaiming Association, Annapolis, MD, 1992.
43. L.E. Wood, T.D. White, and T.B. Nelson. Current Practice of Cold In-Place Recycling of Asphalt Pavements, In Transportation Research Record 1178, TRB, National Research Council, Washington, DC.
44. Guidelines for Cold In-Place Recycling, Asphalt Recycling and Reclaiming Association, Annapolis, MD, 1992.
45. P.S. Kandhal. Asphalt Cold Recycling Technology in Pennsylvania, AAPT Proceedings, Vol. 53, Association of Asphalt Paving Technologists, Minneapolis, MN, 1984.
46. J.A. Epps. Cold-Recycled Bituminous Concrete Using Bituminous Materials, In NCHRP Synthesis of Highway Practice 160, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1990.
47. Christopher Blades, Edward Kearney, Gary Nelson - Asphalt Paving Principles – New York LTAP Center – May 2018.
48. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments – US Federal Highway Administration - Publication No. FHWA-SA-98-042 – December 1997.