



საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი
1922 წლიდან

ბექა ხეცურიანი

საგზაო სამოსის საექსპლუატაციო
თვისებების გაუმჯობესება სამრეწველო
ნარჩენების გამოყენებით

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა მშენებლობა

შიფრი 0732

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი თბილისი, 0160, საქართველო

2023 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ფაკულტეტი სამშენებლო

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ბექა ხეცურიანის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “საგზაო სამოსის საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება სამრეწველო ნარჩენების გამოყენებით” და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

15 ივნისი 2023 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი თენგიზ პაპუაშვილი

რეცენზენტი: პროფესორი თამაზ შილაკაძე

რეცენზენტი: აკ. დოქტორი ვახტანგ ჯღამაია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2023 წ

ავტორი: ბექა ხეცურიანი

დასახელება : “საგზაო სამოსის საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება
სამრეწველო ნარჩენების გამოყენებით”

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: მშენებლობის ინჟინერიის დოქტორი

სხდომა ჩატარდა 18.07.2023

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

ავტორის ხელმოწერა _____

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

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში 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

თანამედროვე ტექნიკურმა პროგრესმა, სატრანსპორტო საშუალებების ინტენსივობის და ტვირთბრუნვის მკვეთრმა მატებამ მოითხოვა ახლებურად იქნას გადახედული საავტომობილო გზების მშენებლობა და მისი საექსპლუატაციო თვისებების გაზრდა. ამ საკითხის გადაწყვეტა განსაკუთრებით აქტუალური გახდა საქართველოსათვის, რომელიც წარმოადგენს სატრანსპორტო-სატრანზიტო კორიდორს აღმოსავლეთ - დასავლეთ და ჩრდილოეთ - სამხრეთ მიმართულებებს შორის.

საქართველო კავკასიის რეგიონში საავტომობილო გზების სიხშირით ერთ-ერთი მჭიდროდ დაქსელილი რეგიონია და გზების მოვლა-შენახვას და მის საექსპლუატაციო თვისებების გაზრდას განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ბოლო ათწლეულის განმავლობაში. მაღალი ტემპით მიმდინარეობს ავტობანის მშენებლობა, რომლის დასრულება ნავარაუდებია 2024 წელს. ასევე ეწყობა საერთაშორისო, შიდასახელმწიფოებრივი, და ადგილობრივი დანიშნულების გზები. აქედან გამომდინარე აქტუალური ხდება საგზაო მშენებლობისათვის საჭირო მასალების მოპოვება.

შესაბამისად გაიზარდა მოთხოვნა საგზაო სამშენებლო მასალებზე, რომელთა მოპოვება თანდათან რთულდება ამოწურვადი რესურსის და ეკოლოგიური თვალსაზრისის ხარჯზე. ამ მხრივ დაწოლა ძირითადად ხორციელდება მდინარის ხეობებსა და სამთო კარიერების დამუშავებით, რომელიც ბუნებაზე ზემოქმედების შესატყვის კვალს ტოვებს.

აქედან გამომდინარე, აუცილებელია ფიქრი პრაქტიკაში იმ მეორადი სამშენებლო მასალების გამოყენებაზე, რომელიც ჩვენს ქვეყანაში საკმაო რაოდენობით რჩება და ძირითადად იგი ხვდება სანაგაოებზე. აღნიშნული პრობლემიდან გამომდინარე ჩემ სადისერტაციო თემად შერჩეულ იქნა საქართველოში ისეთი მეორადი მასალების კვლევა, რომელიც სრულად ან ნაწილობრივ ჩაანაცვლებს ტრადიციულ სამშენებლო მასალებს, რომლებსაც ექნებოდა ეკონომიკური ეფექტი, ნაკლები დატვირთვა გარემო პირობებზე ეკოლოგიის თვალსაზრისით. საგზაო სამოსი იქნება მდგრადი მასზე მოსული სხვადასხვა სატრანსპორტო დატვირთვების მიმართ.

ვიკვლევთ რა საგზაო საქმეში გამოყენებულ არატრადიციულ სამშენებლო მასალებს, ნაშრომში აღწერილია სამრეწველო ნარჩენების და ტრადიციული მასალების ერთდროული გამოყენება, მშენებლობის ეკონომიკური, ეკოლოგიური და მაღალი ხარისხობრივი თანხვედრა.

ჩემს სადისერტაციო ნაშრომში თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევებიდან გამომდინარე განხილულია შემდეგი საკითხები:

მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში აპრობირებული და საგზაო მშენებლობაში დანერგილი ნარჩენი სამშენებლო მასალების შესწავლა. მათგან მიღებული სხვადასხვა სახის საგზაო სამშენებლო მასალების თეორიული კვლევა და პრაქტიკული გამოყენების პრესპექტივები საქართველოში. აღნიშნული მასალების ლაბორატორიული კვლევები და დანერგვა ქვეყანაში საგზაო მშენებლობის ინდუსტრიაში. ნარჩენი მასალისაგან შექმნილი პროდუქტის ხარისხობრივი, ეკონომიკური და ეკოლოგიური ეფექტურობის დადგენა. ნაშრომში მიმოხილულია ნარჩენი პლასტმასის, რეზინის, ასფალტბეტონის საფარიდან ნაფრეზი

გრანულანტის, სამრეწველო წარმოების შედეგად ნარჩენი ნაცრის და ა.შ, პრაქტიკული გამოყენების საკითხები;

ქვეყანაში არსებული და საგზაო მშენებლობაში გამოყენებული სამშენებლო მასალების (ქვიშა-ხრემი, ქვიშა-ლორდი, ლორდი, ქვიშა და ა.შ) ლაბორატორიული კვლევები და მათი ტანდემში გამოყენება სამშენებლო ნარჩენ პროდუქტებთან ერთად;

საგზაო სამოსის საფუძველში სტაბილიზირებული ფენის მოწყობა სამრეწველო წარმოების შედეგად დარჩენილი ნაცრის, ქვიშა-ლორდოვანი (ქვიშა-ხრემოვანი) ნარევით და ცემენტით. ამ კომპონენტებიდან შექმნილი პროდუქტის წილობრივი მაჩვენებლების ოპტიმალური რაოდენობების დადგენა საგზაო სამოსის მაქსიმალური მზიდუნარიანობის მიღწევის მიზნით, მისი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა და მასიური დანერგვის პოპულარიზაცია საგზაო ინდუსტრიაში;

საგზაო სამოსის კონსტრუქციაში ასფალტბეტონის საფარის ფრეზირების შედეგად გამოყენებული ნარჩენის (გრანულანტის) ოპტიმალური წილობრივი გამოყენების დადგენა ქვიშა-ლორდოვან (ქვიშა ხრემოვან) ნარევთან ერთად ძვრის და პლასტიკური დეფორმაციების მიმართ მდგრადობის გაზრდის მიზნით. საგზაო ინფრასტრუქტურაში მისი გამოყენებისას ეკონომიკური და ეკოლოგიური ეფექტურობის სარგებელის განხილვა;

საგზაო საფარის მოსაწყობად გამოყენებული ასფალტბეტონის ცხელი ნარევის დასამზადებლად საჭირო ინერტული მასალის შემკვრელ კომპონენტში (ბიტუმში) ავტომობილების საბურავების რეზინის დაფქვის შედეგად მიღებული წვრილფრაქციული გრანულის გამოყენება. ასფალტბეტონის ნარევში რეზინის ბიტუმში შერევით მიღებული მოდიფიცირებული შემკვრელის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დადგენა, ქარხნულად მოდიფიცირებული ბიტუმის წარმოებისათვის საჭირო ოპტიმალური რეზინის გრანულის რაოდენობების და საჭირო ტემპერატურული რეჟიმების დადგენა. წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების აღწერა;

საგზაო საფარის მოსაწყობად გამოყენებული ასფალტბეტონის ცხელი ნარევის დასამზადებლად საჭირო ინერტული მასალის შემკვრელ კომპონენტში (ბიტუმში) პლასტმასის დაფქვის შედეგად მიღებული წვრილფრაქციული გრანულის გამოყენება. ასფალტბეტონის ნარევში პლასტმასის ბიტუმში შერევით მიღებული მოდიფიცირებული შემკვრელის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დადგენა, ქარხნულად მოდიფიცირებული ბიტუმის წარმოებისათვის საჭირო ოპტიმალური პლასტმასის გრანულის რაოდენობების და საჭირო ტემპერატურული რეჟიმების დადგენა. წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების აღწერა;

ნაშრომში განხილულია ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი ნარჩენი პროდუქტისგან ლაბორატორიაში დამზადებული ნიმუშების კვლევა და მიღებული პროდუქციის თანხვედრა ქვეყანაში აპრობირებულ სტანდარტებთან და ნორმატიულ აქტებთან;

ვაჯამებთ რა ზემოჩამოთვლილი ნარჩენის სამრეწველო პროდუქტის მეორადი გამოყენების შესაძლებლობებს საგზაო მშენებლობაში, თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე ვადგენთ: მეორადი ნარჩენების მთლიანი ან ნაწილობრივი ჩანაცვლება ტრადიციულ მასალებთან ერთად იძლევა შესამჩნევ ეკონომიკურ და ეკოლოგიურ რაციონალურ ეფექტურობას. იზრდება საგზაო სამოსის და საფარის სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მახასიათებლები. ამასთან, გასათვალისწინებელია კიდევ ერთი მეტად მნიშვნელოვანი გარემოებაც:

სამრეწველო ნარჩენების მეორადი გადამუშავების და საგზაო საქმიანობაში გამოყენების შემდეგ მცირდება ქვეყნის გარედან შემოტანილი დეფიციტური ძვირადღირებული შემკვრელის-ბიტუმის რაოდენობა დამზადებულ ნარევებში, პროდუქცია იაფდება ბიტუმის ნაკლები რაოდენობით მოხმარების ხარჯზე, რაც ნაკლებ უარყოფით გავლენას ახდენს გარემოს ეკოლოგიურ პირობებზე.

Abstract

Modern technological progress, a sharp increase in the intensity of road and freight traffic required a new look at the construction of roads and improving their performance. The solution of this issue has become especially relevant for Georgia, which is a transport and transit corridor between the east-west and north-south directions.

Georgia is one of the most densely connected regions of the Caucasus region, and in the last decade, special attention has been paid to the maintenance of roads and the improvement of their performance. The construction of the highway is proceeding at a high pace, the completion of which is expected in 2024. International, domestic and local destination roads are also organized. Therefore, obtaining the necessary materials for road construction becomes relevant.

Accordingly, the demand for road construction materials has increased, the acquisition of which is gradually becoming more difficult due to the exhaustibility of resources and from an environmental point of view. In this regard, the deposition is mainly carried out through the processing of river valleys and mountain quarries, which leaves a corresponding trace of the impact on nature.

Therefore, it is necessary to think about the use in practice of secondary building materials that remain in our country in sufficient quantities and mostly end up in landfills. Based on this problem, the study of such secondary materials was chosen as the topic of my dissertation in Georgia, which will completely or partially replace traditional building materials, which will have an economic effect, less burden on environmental conditions in terms of ecology. The road surface will be resistant to various traffic loads acting on it.

Non-traditional building materials used in road works are investigated, the article describes the simultaneous use of industrial waste and traditional materials, economic, environmental and quality compatibility of construction.

Based on theoretical and experimental research, my thesis discusses the following questions:

The study of waste building materials, tested and implemented in road construction in the leading countries of the world. Theoretical study of various types of road construction materials obtained from them and the prospects for their practical use in Georgia. Laboratory research and implementation of these materials in the road construction industry of the country. Determination of the qualitative, economic and environmental efficiency of products from waste. The article deals with the practical use of waste plastic, rubber, granulated granulate from asphalt concrete pavement, ash waste from industrial production, etc;

Laboratory studies of building materials available in the country (sand and gravel, sand and crushed stone, crushed stone, sand, etc.) used in road construction and their joint use with construction waste;

Installation of a stabilized layer at the base of the road surface from ash, sand-crushed stone (sand-gravel) mixture and cement left over from industrial production. Determination of the optimal proportions of products created from these components to achieve the maximum bearing capacity of the road, the study of its physical and mechanical properties and the promotion of its mass introduction into the road sector;

Determination of the optimal fractional use of waste (granulate) used as a result of milling asphalt concrete pavement, when constructing a road surface together with a sand-

gravel (sand-gravel) mixture in order to increase resistance to movement and plastic deformation. Discussion of the economic and environmental benefits of its use in road infrastructure;

The use of fine-grained granules obtained as a result of grinding the rubber of automobile tires as a binder component (bitumen) of an inert material necessary for the preparation of a hot asphalt concrete mix used to prepare a road surface. Determination of the physical and mechanical properties of a modified binder obtained by mixing rubber with bitumen in an asphalt concrete mixture, determining the optimal amount of rubber granules and the required temperature conditions for the production of industrially modified bitumen. Description of the technological processes of production;

The use of a fine-grained granule obtained as a result of plastic grinding as a binder component (bitumen) of an inert material necessary for the preparation of a hot asphalt concrete mix used to prepare a road surface. Determination of the physical and mechanical properties of a modified binder obtained by mixing plastic bitumen with an asphalt concrete mixture, determining the optimal amount of plastic granules and the required temperature conditions for the production of industrially modified bitumen. Description of the technological processes of production;

The article discusses the study of samples made in the laboratory from all of the above waste and the compliance of the resulting products with approved standards and regulations in the country;

The possibilities of recycling the above industrial waste in road construction are summarized on the basis of theoretical and experimental studies: complete or partial replacement of secondary waste with traditional materials provides significant economic and environmental rational efficiency. The transport and operational characteristics of road and pavement wear are increased. At the same time, one more important circumstance should be taken into account: after the recycling of industrial waste and their use in road works, the amount of scarce expensive binder-bitumen imported from outside the country decreases in prepared mixtures, products become cheaper due to the consumption of less bitumen, which has a less negative impact on the ecological state of the environment.

შინაარსი

შესავალი	14
1. ლიტერატურული მიმოხილვა	19
1.1. საგზაო სამშენებლო მასალებად გამოყენებადი საწარმოო ნარჩენების ზოგადი მიმოხილვა	19
1.2. პლასტმასის ნარჩენების გამოყენება საგზაო მშენებლობაში	24
1.3. ასფალტის გრანულატის მიღების ძირითადი გზები და მისი გამოყენება საგზაო მშენებლობაში	36
1.4. ასფალტი რეზინის გრანულანტით: თანამედროვე საგზაო საფარი	41
2. შედეგები და განსჯა	44
2.1. საფუძვლის ფენებში საბაზისო მასალების კვლევა	44
2.2. ოპტიმალური შემადგენლობების დადგენა სხვადასხვა ტიპის საფუძვლის სტაბილიზირებული ფენებისათვის	50
2.3. ოპტიმალური შემადგენლობით მოწყობილი საფუძვლის ფენების გამოცდა საველე პირობებში	55
2.4. ასფალტის გრანულატის ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა ნარევში	67
2.5. ეკონომიკური შედარება	69
2.6. რეზინის გრანულატით მოდიფიცირებული ბიტუმის გამოყენება ასფალტის ნარევების დასამზადებლად	71
2.7. პლასტმასის გრანულატით მოდიფიცირებული ბიტუმის გამოყენება ასფალტის ნარევების დასამზადებლად	80
2.8. სამოსის კონსტრუქციის გაანგარიშება ოპტიმალური ნარევების გამოყენებით	87
დასკვნა	108
გამოყენებული ლიტერატურა	110

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1.	გზების მახასიათებლების შედარების ცხრილი _____	30
ცხრილი 2.	კალიფორნიის რიცხვი სხვადასხვა ნარეგებისათვის _____	48
ცხრილი 3.	ქვიშა-ლორღოვანი ნარევის (0-40 მმ) გამოცდა და პარამეტრები _____	49
ცხრილი 4.	ნაცრის ქიმიური გამოცდის შედეგები _____	49
ცხრილი 5.	ნაცრის ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა _____	51
ცხრილი 6.	ნარეგების გამოცდის შედეგები კუმშვასა და არაპირდაპირ სიმტკიცეზე _____	54
ცხრილი 7.	დინამიური დეფორმაციის მოდულის განსაზღვრა _____	55
ცხრილი 8.	ქვიშა-ლორღოვანი ნარევის საფუძვლის გამოცდა სტატიკური ფილის ტესტით _____	57
ცხრილი 9.	ცემენტისა და ბიტუმის დანამატით სტაბილიზირებული ქვიშა-ლორღოვანი ნარევით მომზადებული საფუძვლის გამოცდა სტატიკური ფილის ტესტით _____	60
ცხრილი 10.	ცემენტისა და ნაცრის დანამატით სტაბილიზირებული ქვიშა-ლორღოვანი ნარევით მომზადებული საფუძვლის გამოცდა სტატიკური ფილის ტესტით _____	63
ცხრილი 11.	ნარევი N 1-ის მახასიათებლები _____	67
ცხრილი 12.	ნარევი N 2-ის მახასიათებლები _____	68
ცხრილი 13.	ნარევი N 3-ის მახასიათებლები _____	68
ცხრილი 14.	არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე მახასიათებლების ცხრილი _____	69
ცხრილი 15.	ბიტუმის ტექნიკური მახასიათებლები _____	71
ცხრილი 16.	რეზინის გრანულატის გავლენა ბიტუმზე _____	72
ცხრილი 17.	ასფალტბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები _____	75
ცხრილი 18.	ჰამბურგზე გამოცდის შედეგები _____	77
ცხრილი 19.	მარშლის ნიმუშების გამოცდა ძვრაზე და არაპირდაპირ სიმტკიცეზე _____	79
ცხრილი 20.	პლასტმასის გრანულატის გავლენა ბიტუმზე _____	80
ცხრილი 21.	მარშლის ნიმუშების გამოცდა კუმშვაზე _____	82
ცხრილი 22.	ჰამბურგზე გამოცდის შედეგები _____	84
ცხრილი 23.	ნიმუშების გამოცდა ძვრაზე და ირიბ სიმტკიცეზე _____	86

ნახაზი 26.	ცემენტისა და ბიტუმისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N1 -----	61
ნახაზი 27.	ცემენტისა და ბიტუმისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N2 -----	62
ნახაზი 28.	ცემენტისა და ბიტუმისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N3 -----	62
ნახაზი 29.	ცემენტისა და ნაცრისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N1 -----	64
ნახაზი 30.	ცემენტისა და ნაცრისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N2 -----	65
ნახაზი 31.	ცემენტისა და ნაცრისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N3 -----	65
ნახაზი 32.	სტატიკური ფილის მონაცემების ფარდობა -----	66
ნახაზი 33.	საველე პირობებში ცდის მიმდინარეობა -----	66
ნახაზი 34.	არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე, მახასიათებლები -----	68
ნახაზი 35.	ერთეული ფასების შედარება -----	70
ნახაზი 36.	ნიმუშების დამზადება ლაბორატორიაში -----	72
ნახაზი 37.	ბიტუმის პენეტრაცია 25°C-ზე -----	73
ნახაზი 38.	დარბილების ტემპერატურა -----	73
ნახაზი 39.	ბიტუმის წელვადობა 25°C-ზე -----	73
ნახაზი 40.	მარშლის ავტომატური სატკეპნი -----	74
ნახაზი 41.	სიმტკიცის განსაზღვრა კუმშვაზე მარშლის დანადგარის გამოყენებით -----	75
ნახაზი 42.	ნიმუშების დამზადება გირატორის სატკეპნით -----	76
ნახაზი 43.	ნიმუშების გამოცდა ჰამბურგის დანადგარზე -----	76
ნახაზი 44.	ჰამბურგზე გამოცდის შედეგების თანაფარდობა -----	78
ნახაზი 45.	სტაბილურობა-დენადობის განსაზღვრა მარშალის ხელსაწყოზე -----	78
ნახაზი 46.	არაპირდაპირი სიმტკიცის განსაზღვრა წნეხზე, გაჭიმვაზე --	79
ნახაზი 47.	ბიტუმის პენეტრაცია 25°C-ზე -----	81

ნახაზი 48.	ბიტუმის წელვადობა 25°C-ზე _____	81
ნახაზი 49.	სიმტკიცის განსაზღვრა კუმშვაზე მარშლის ხელსაწყოს გამოყენებით _____	83
ნახაზი 50.	გამოცდილი ნიმუშები _____	85
ნახაზი 51.	ჰამბურგზე გამოცდის შედეგების თანაფარდობა _____	85

შესავალი

ნაშრომის აქტუალურობა: ბოლო ათწლეულების განმავლობაში საქართველოს ხელისუფლება განსაკუთრებულ ყურადღებას იჩენს და აფინანსებს საავტომობილო გზების მშენებლობას ქვეყანაში. ეს აიხსნება იმით, რომ საბჭოთა კავშირის დაშლის შემდგომ საავტომობილო ინფრასტრუქტურა არ ვითარდებოდა პროგრესირებადი ტემპებით და ჩამორჩებოდა თავისი მაჩვენებლებით განვითარებულ ქვეყნებს.

საავტომობილო გზების მშენებლობის განვითარება ნებისმიერი ქვეყნისათვის აქტუალურია, რომელიც დაინტერესებულია საკუთარი ეკონომიკის გაზრდით. ამ მხრივ არც საქართველოა გამონაკლისი. მით უფრო, რომ საქართველო თავისი გეოპოლიტიკური მდებარეობიდან გამომდინარე იმყოფება აზიისა და ევროპის გასაყარზე და სატრანსპორტო კორიდორები მოქმედებს აღმოსავლეთ-დასავლეთ და ჩრდილოეთ-სამხრეთ მიმართულებებზე და ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი არტერიაა გლობალურ საგზაო ინფრასტრუქტურაში. ითვალისწინებს რა ხელისუფლება ამ ფაქტორის სირთულეს და მნიშვნელობას, რომელიც დაკავშირებულია საავტომობილო ტრანსპორტის პერმანენტული ზრდით, ეძებენ გამოსავალს საგზაო ქსელზე მოსული დატვირთვების ამტანუნარიანობის და გზის საექსპლუატაციო მახასიათებლების გასაუმჯობესებლად. ამ ფაქტს აღნიშნავენ სატრანსპორტო პოლიტიკის სფეროში მოღვაწე სამამულო ექსპერტები, საერთაშორისო ორგანიზაციები და დონორები (მსოფლიო ბანკი, კუვეიტის ფონდი, აზიის განვითარების ფონდი და ა.შ). შესაბამისად ქვეყანაში ხორციელდება გრანდიოზული პროექტები ავტობანის მშენებლობის სახით: თბილისი-ბათუმი, თბილისი-ბაკურციხის მიმართულებით. პერსპექტივაში განიხილება თბილისი-წითელი ხიდის მიმართულებით ავტობანის მშენებლობა; პარალელურად დიდი დაფინანსებებია გამოყოფილი ადგილობრივი და შიდასახელმწიფოებრივი გზების მშენებლობა-რეაბილიტაციაზეც.

ყოველივე ზემოთ ჩამოთვლილი მდგომარეობიდან გამომდინარე, საგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარებისათვის თანდათანობით იზრდება მოთხოვნა მშენებლობისათვის საჭირო მასალებზე, რომელიც თანდათანობით უფრო დეფიციტური ხდება და შესაბამისად იზრდება მათი ფასიც. დიდია გარემოზე ზემოქმედებაც, რაც იწვევს ქვეყანაში ეკოლოგიური პირობების გაუარესებას.

სწორედ საჭოთა კავშირის არსებობის პერიოდში და შემდგომ ათწლეულებში სამშენებლო მასალების უკონტროლო მოპოვებამ დიდი ზიანი მიაყენა ქვეყანას ეკოლოგიის კუთხით - მდინარის ხეობები თითქმის მთლიანად დაიცალა ქვიშა-ხრეშისაგან. დღევანდელი მდგომარეობით, მდინარეებს აღარ გააჩნიათ თვითრეგენერაციის (შევსების) პირობების უნარი მასალის შემოტანის მხრივ, ჰიდროელექტროსადგურების (მცირე და დიდი ჰესები) მშენებლობამ ჩაკეტა მასალის შემოტანის არეალი. დარჩა მხოლოდ სამთო კარიერებიდან ღია წესით მასალის მოპოვების შესაძლებლობა, თუმცაღა ხშირად ირღვევა კარიერის სწორად დამუშავების წესები, რაც იწვევს ადგილობრივი ნიადაგის ეროზიას და სხვადასხვა გაუთვალისწინებელ არასასურველ შედეგებს.

ამდენად, აუცილებელი ხდება მშენებლობისათვის საჭირო მასალების მოპოვების ალტერნატიული წყაროების მოძიება და შეასაბამისი ღონისძიებების გატარება, სიახლეების და უცხოური გამოცდილებების დანერგვა.

სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის მიზანი:

- ❖ სამრეწველო ნარჩენები, მათი სახეობები და გამოყენების პერსპექტივები საგზაო მშენებლობაში
- ❖ საგზაო სამოსის საფუძვლის ფენაში მრეწველობის შედეგად დარჩენილი ნაცრის გამოყენება სტაბილიზაციის მიზნით საბაზისო (ქვიშა-ლორღოვან, ქვიშა-ხრეშოვან) მასალასთან ერთობლიობაში. ნარევი ნაცრის და სხვა კომპონენტების წილობრივი რაოდენობების, ოპტიმალური პროპორციების დადგენა.
- ❖ ლაბორატორიულ პირობებში დამზადებული ნარევების და საცდელი ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა. ნაცრის გამოყენებით დამზადებული მასალების უპირატესობები ტრადიციულ მასალებთან შედარებით.
- ❖ ასფალტბეტონის საგზაო საფარში ნარჩენი რეზინის (ავტომობილების საბურავები, სხვადასხვა ნარჩენი კაუჩუკი და რეზინა და ა.შ.) გამოყენება ასფალტბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესების მიზნით. მისი გარემოზე ეკოლოგიური და ფინანსურ-ეკონომიური ეფექტების განხილვა. რეზინის დაფქული გრანულატის გამოყენება „სველი“ (რეზინის საგზაო ბიტუმი შერევა-მოდიფიკაცია) და „მშრალი“ (ასფალტბეტონის ცხელ ნარევი შერევა) მეთოდით. ლაბორატორიულ პირობებში ნიმუშების რეზინის კომპონენტით (მოდიფიკატორით) დამზადებული ნიმუშების კვლევა

სხვადასხვა პროპორციებით და ოპტიმალური ვარიანტის დადგენა მისი შემდგომ ექსპლუატაციაში დანერგვის მიზნით.

❖ საგზაო სამოსში ამორტიზებული ასფალტბეტონის საფარიდან აფრეზილი და გადამუშავებული ასფალტბეტონის გრანულატის გამოყენება და მათი გამოყენების სფერო, პერსპექტიულ საგზაო მშენებლობაში.

❖ ასფალტბეტონის საგზაო საფარში ნარჩენი პლასტმასის გამოყენება ცხელი ასფალტბეტონის ნარევის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესების მიზნით. ნაშრომში ვრცლად არის განხილული მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში ამ ტიპის ნარჩენების გამოყენების პერსპექტიულობის მიმოხილვა ორი მეთოდით: 1) ა/ზ-ის ცხელ ნარევი დაქუცმაცებული პლასტმასის შერევა; 2) ნარევის დასამზადებელ ტრადიციულ საგზაო ბიტუმში პლასტმასის ფხვნილის შედღვევა მოდიფიცირების მიზნით. მათი ხარისხობრივი, ეკონომიკური და ეკოლოგიური თავისებურებები. ლაბორატორიაში პლასტმასის გამოყენებით დამზადებული მოდიფიცირებული ბიტუმების და ნარევის გამოცდა წარმოებაში დანერგვისათვის პროპორციების და ტემპერატურული რეჟიმების დადგენის მიზნით.

სადისერტაციო ნაშრომის ეკოლოგიური ეფექტურობა: მსოფლიოში, მათ შორის საქართველოშიც სწრაფი ინდუსტრიალიზაციის შედეგად მზარდი ტემპით იზრდება ნარჩენი სამრეწველო პროდუქტები: სამრეწველო ნაცარი, პლასტმასები, რეზინის შემცველი ამორტიზებული ნაკეთობები, ბიტუმშემცველი ექსპლუატაციიდან ამოღებული მასალები და ა.შ. იქმნება უარყოფითი ზეგავნელა გარემოზე ნარჩენი სამრეწველო პროდუქტისაგან, რომელთა დასაწყობება და უტილიზაცია მოითხოვს მნიშვნელოვან სახსრებს და რესურსებს. აქედან გამომდინარე, აქტუალური ხდება ნარჩენი პროდუქტების მეორადი გამოყენება საგზაო საქმიანობაში, რაც ხელს შეუწყობს ბუნებაში მისი გაფანტვის შესაძლებლობას, ნაწილობრივ გააუმჯობესებს გარემოს ეკოლოგიურ პირობებს და მოგვცემს ეკონომიკურ ეფექტს მისი სიახლიდან და ხელმისაწვდომობიდან გამომდინარე. ნარჩენი მასალების გამოყენება საგზაო საქმიანობაში საქართველოს ინდუსტრიულ რეგიონებში (ქუთაისი, რუსთავი, ზესტაფონი, ტყიბული, ჭიათურა) გააუმჯობესებს ეკოლოგიურ პირობებს და განავითარებს საგზაო ინფრასტრუქტურას იაფი პროდუქტის გამოყენების ხარჯზე.

სადისერტაციო ნაშრომის ეკონომიკური ეფექტურობა: საგზაო სამოსსა და საგზაო საფარში სამრეწველო ნარჩენი პროდუქტის გამოყენება საშუალებას მოგვცემს ეკონომიურად და ეფექტურად იქნას გამოყენებული საგზაო ბიტუმი, რომელიც მიღებულია ნავთობპროდუქტისაგან. ძვირი ნავთობისაგან ნაწარმოები პროდუქტის ბიტუმის ძირითადი ნაწილი შემოდის საზღვარგარეთიდან, რომლის ფასიც დროთა განმავლობაში ძვირდება. ბიტუმის შესყიდვისათვის საჭირო ვალუტა გაედინება საზღვარგარეთ. სამრეწველო ნარჩენების გამოყენებისას საგზაო მშენებლობაში მცირდება შემკვრელი ბიტუმის მოხმარების რაოდენობა, რომელიც თავისთავად ამცირებს მისგან მიღებულ პროდუქტს. გარდა ამისა გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც რომ ბუნებაში გაფანტული სამშენებლო ნაგავი იწვევს მრავალ არასურველ ეფექტს (სახნავ-სათესი მიწების, წყლის, ჰაერის დაბინძურება), რომლისგან მიყენებული ეკონომიკური ზარალი საკმაოდ შთამბეჭდავია.

სადისერტაციო ნაშრომის სიახლე:

- საგზაო სამოსის საფუძვლის ფენაში ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესება მრეწველობის შედეგად დარჩენილი ნაცრის გამოყენებით.
- ძველი ასფალტბეტონის გრანულატის ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა საავტომობილო გზის საფუძვლის ფენის სიმტკიცის გაზრდის მიზნით.
- საგზაო საფარის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესება ნარჩენი რეზინის გრანულატის გამოყენებით.
- ასფალტბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესება ნარჩენი პლასტმასის გამოყენებით.

სადისერტაციო ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა: საგზაო მშენებლობაში სამრეწველო ნარჩენების გამოყენება საშუალებას იძლევა გავზარდოთ საექსპლუატაციო მახასიათებლები და გზის მომსახურების ვადები. დავზოგოთ ტრადიციული სამშენებლო დეფიციტური მასალები, მივიღოთ ეკონომიკური და ეკოლოგიური სარგებელი.

სამუშაოს აპრობაცია:

სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილი მასალები მოხსენებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 100 წლის იუბილისადმი მიძღვნილ სტუდენტთა

საერთაშორისო კონფერენციაზე „ინოვაციური ტექნოლოგიები ინჟინერიაში“ (2022 წ) და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა საერთაშორისო კონფერენციაზე „ინოვაციური ტექნოლოგიები ინჟინერიაში“ (2023 წ).

პუბლიკაციები:

დისერტაციის მასალები გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო ნაშრომში, სამეცნიერო-ტექნიკურ ჟურნალში „მშენებლობა“.

დისერტაციის სტრუქტურა:

- სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს შესავალს, ორ თავს, დასკვნას, ლიტერატურის სიას 43 დასახელებით, 23 ცხრილს და 51 ნახაზს. კვლევის შედეგები გადმოცემულია 112 ნახეჭდ თაბახზე.

1. ლიტერატურული მიმოხილვა

1.1. საგზაო სამშენებლო მასალებად გამოყენებადი საწარმოო ნარჩენების ზოგადი მიმოხილვა

მეტალურგიის შედეგად მიღებული შავი და ფერადი წიდა

ერთ-ერთ ნარჩენებიდან მიღებულ საგზაო სამშენებლო მასალად შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას მეტალურგიის შედეგად მიღებული შავი და ფერადი წიდა.



ნახ.1. ა) შავი მეტალურგიის წიდა;

ბ) ფერადი მეტალურგიის წიდა

წიდეები წარმოადგენენ მაღალი ღირებულების ნედლეულს არამადნეული მასალების და მინერალური შემკვრელების დასამზადებლად. აქტიური წიდა ნაწილობრივ ცვლის ტრადიციულ შემკვრელს (ცემენტი, კირი) საგზაო მშენებლობაში საგზაო საფუძვლის და საფარის მოსაწყობად.

გრანულირებული წიდა, მიიღება ცხელი თხევადი წიდის სწრაფად გაცივებით, რომლის გამოყენება შესაძლებელია როგორც ჰიდრაულიკური შემკვრელი. ასევე იგი შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას როგორც ნელამყარებადი შემკვრელი საგზაო სამოსის საფუძვლებში გრუნტების გამაგრების მიზნით, ხოლო მასალის გამყარების დაჩქარების მიზნით და ფიზიკო-მექანიკური თვისებების გაზრდისათვის მასალას ამატებენ ცემენტს ან კირს.

შავი და ფერადი მეტალურგიის წიდეები წარმოდგენილი არიან ლორღის, ქვიშის და ან მათი შენარევებით. ასეთი სახის ლორღის სიმტკიცე მერყეობს 200-1200კგ/სმ² ფარგლებში და მათი გამოყენება შესაძლებელია ძირითადად საფუძვლებში, ასევე წიდის შემკვრელების დასამზადებლად მარკით 50-200 [1].

შავი მეტალურგიის ნარჩენები (წიდა) ფართოდ არის წარმოდგენილი ზესტაფონის ფეროშენადნობ ქარხანასა და რუსთავის მეტალურგიულ ქარხანაში.

მათი გამოყენება საშუალებას იძლევა საგზაო მშენებლობაში მიღწეულ იქნას ეკონომიკური და ეკოლოგიური ეფექტი.

ნაცარი და წიდანაცარი

ნაცარი და წიდანაცარი არის თბოელექტროსადგურებიდან წარმოებული ნარჩენები და იყოფიან ორ ჯგუფად: მშრალი და სველი მოცილების. მშრალი მოცილების ნაცარი მარცვლოვანი შემადგენლობით შესაძლოა მივაკუთვნოთ წვრილ ქვიშას. მათ გააჩნიათ შემკვრელი თვისება და შესაძლებელია გამოყენებული იქნას საგზაო სამოსის მშენებლობაში საფუძვლის გასამაგრებლად ცემენტის ნაცვლად. საორიენტაციო ხარჯი 10-20%. დამუშავებული მასალის სიმტკიცე 90 დღეზე აღწევს 1-6 მპა-ს.



ნახ.2. ნაცრის ზვინული

ნაცარი ჰიდრომოცილებით მარცვლოვანი შემადგენლობით წარმოადგენს ქვიშას. შესაძლებელია მასში იყოს ღორღოვანი ფრაქციაც. წიდანაცარის მარცვლოვანი შემადგენლობა როგორც წესი არის 0-20 მმ. ფრაქციის, იშვიათად 0-40 მმ. მარკა მერყეობს 200-600, მარკა ყინვამედეგობაზე F15—F50. ჰიდრომოცილების ნაცარი როგორც წესი გამოიყენება საგზაო სამოსის მშენებლობაში [1].

როგორც ცნობილია, ნაცარი წარმოადგენს მინერალური საწვავის დაწვის შედეგად ან კვამლის გაზდამჭერის ფილტრებიდან მიღებულ ნარჩენს. ნარჩენები უმეტეს შემთხვევაში მიიღება თბოელექტროსადგურებში, სადაც ტექნოლოგიური საწვავის სახით გამოყენებულია საწვავი ფიქალი ან ქვანახშირი. ძირითადად ასეთი

სახის ნაცარი შეიცავს რეაქციულ თვისებებზე CaO -ს, კრემნიუმის დიოქსიდს SiO_2 , ალუმინის ოქსიდს Al_2O_3 და სხვა შენაერთებს 10-15% ფარგლებში. რაც შეეხება მინერალურ ნაწილს 85-90% შედგება თიხოვანი ნაწილისაგან (არგილიტები, ალევროლიტები) [2].

საქართველოში არის რეგიონები, სადაც ინდუსტრიული განვითარების შემდგომ მრავლად დაგროვდა ასეთი სახის ნარჩენი. კერძოდ, ქ. ქუთაისში ავტოქარხნის მიმდებარე ნაგავსაყრელ ტერიტორიაზე, რომელსაც ახლა ფლობს კერძო ფირმა. საზღვარგარეთის გამოცდილების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ წიდანაცრის უტილიზაციის ყველაზე პერსპექტიული სფერო საგზაო მშენებლობაში მისი გამოყენებაა, თუმცადა საქართველოში იგი ნაკლებად არის დანერგილი.

დასავლეთ ევროპაში თბოელექტროსადგურებიდან დარჩენილი ნაცრის გამოყენებით ლიდერი საფრანგეთია. ქვანახშირის წვის შედეგად გამომუშავებული ნაცარი გამოიყენება საგზაო კონსტრუქციის ყველა ელემენტში, როგორც საფუძვლის კონსტრუქციის ზედა ფენებში, ასევე ქვედა ფენებში მინერალური მასალის შესამკვრივებლად. აგრეთვე, წიდანაცარი შეიძლება გამოვიყენოთ საგზაო ყრილში როგორც ტექნოგენური გრუნტი. მაგალითად, საფრანგეთის ჩრდილოეთში, ლენს ლა ბასეში, ტრასა RN 47 სიგრძით 7,5 კმ მოწყობილია თითქმის 50 000 ტონა ნაცრით. აღნიშნული გზა თითქმის 70%-ით შედგება ნაცრისაგან, და წარმოადგენს წიდანაცრის ეფექტური უტილიზაციის მაგალითს. საფრანგეთში უტილიზაციის პროცესის ორგანიზაციისათვის არსებობს შეღავათები ბიზნესისათვის, ვინც იყენებს ნაცარს მათთვის შემოღებულია აკრძალვები სხვა უფრო ძვირი სამშენებლო მასალების გამოყენებაზე, როგორც არის ხრეში და ქვიშა. ამიტომ თითქმის 100% ნაცრისა მიდის გადამუშავებაზე და უტილიზაციაზე [3].

სამხრეთ აფრიკაში ნაცარს აძლევენ ნებისმიერი სახის ცემენტს და იყენებენ გრუნტების სტაბილიზაციისათვის საგზაო მშენებლობაში. სპეციალური კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ ცემენტით გამდიდრებული ნაცარი არ არის საზიანო ადამიანებისა და გარემოსათვის. გარდა ამისა, დამტკიცებულია, რომ ნაცარი ცემენტთან ერთად, ინერტულ მასალებთან ტანდემში აღწევს მასალების სიმტკიცის ზრდას 50-70% ფარგლებში. მთლიანობაში ნაცარი გრუნტების სტაბილიზაციისათვის საგზაო საქმეში ფლობს ტექნიკურ უპირატესობას სწორი გამოყენებისას [3].

თაბაშირშემცველი ნარჩენები

თაბაშირშემცველი ნარჩენებიდან მეტნაკლებად გავრცელებულია ფოსფორთაბაშირი, რომელიც იყოფა ორ ჯგუფად: ნახევრადჰიდრატულ და დიჰიდრატულად. მარცვლოვანი შემადგენლობით ეს ფხვნილისებრი მასალაა მარცვლის მაქსიმალური ზომით 1 მმ. ფოსფორთაბაშირი-ნახევრადჰიდრატს გამოშვებიდან 3 დღე-ღამის განმავლობაში გააჩნია შემკვრელი თვისებები და გამოიყენება მონოლითური საფუძვლების მშენებლობაში. ასეთი სახის მასალის სიმტკიცე კუმშვაზე 28 დღეზე შეადგენს 2-6 მპა-ს [1].

ფოსფორთაბაშირ-დიჰიდრატს შემკვრელი თვისებები არ გააჩნია და ის შეიძლება გამოყენებულ იქნას ცალკეულ შემთხვევებში როგორც ცემენტის დანამატი საფუძვლების გასამაგრებლად მშენებლობაში.

ღორღი წითელი აგურისაგან

ნარჩენი წითელი აგურის დამსხვრევით და სორტირებით შესაძლებელია მიღებული იქნას ნებისმიერი ფრაქციის ღორღი, ქვიშა და ქვიშა-ღორღოვანი ნარევი. ლაბორატორიული კვლევებით დგინდება, რომ ასეთ ღორღს გააჩნია მარკა სიმტკიცეზე მსხვრევადობით ცილინდრში M200, მარკა ყინვამდეგობით F25, მარკა ცვეთაზე ცვეთის დოლში N4, შეიცავს 20%-დე ბრტყელ და ნემსისებრ მარცვლებს, მტვროვან და თიხოვან ნაწილაკებს - 3%-ს. ასეთი ღორღი შეესატყვისება ГОСТ 8267-93 მოთხოვნებს. ღორღი, ქვიშა და ღორღოვან-ქვიშოვანი ნარევი შესაძლებელია გამოყენებული იქნას საავტომობილო გზების მშენებლობაში ღორღოვანი საფუძვლის მოწყობის СНиП 2.05.02-85 "Автомобильные дороги" მოთხოვნის შესატყვისად. ასევე ავტომობილების დგომის ადგილების, საპარკე ბილიკების და გვერდულების გასამაგრებლად [1].

ღორღი ცემენტობეტონისაგან

ცემენტობეტონის ნარჩენების გადამუშავების შედეგად მიღებული ნებისმიერი ფრაქციის ღორღი, ქვიშა და ღორღოვან-ქვიშოვანი ნარევი, შემდგომი მოხმარებისათვის აჩვენებს, რომ ღორღის მარკა სიმტკიცეზე მსხვრევადობით ცილინდრში M400, მარკა ყინვამდეგობით F25, მარკა ცვეთაზე ცვეთის დოლში N4, შეიცავს 15%-დე ბრტყელ და ნემსისებრ მარცვლებს, მტვროვან და თიხოვან ნაწილაკებს - 3%-ს. ასეთი ღორღი შეესატყვისება ГОСТ 8267 — 93 მოთხოვნებს. ღორღი, ქვიშა და ღორღოვან-ქვიშოვანი ნარევი შესაძლებელია გამოყენებული იქნას

საავტომობილო გზების მშენებლობაში ღორღოვანი საფუძვლის მოწყობის СНиП 2.05.02-85 "Автомобильные дороги" მოთხოვნის შესატყვისად [1].

ღორღი და ქვიშა ძველი ასფალტბეტონისაგან

ბოლო წლებში განსაკუთრებით გაიზარდა ძველი ფრეზირებული ასფალტბეტონის საფარის მოცულობა. წარმოიშვა მისი უტილიზაციის პრობლემა. გამოცდის შედეგებმა აჩვენა, რომ ფრეზირებული ძველი ასფალტბეტონის საფარის მარცვლოვანი შემადგენლობა წარმოდგენილია ნარევით 0-20 ან 0-40 მმ. ანაფრეზი ნარევის ექსტრაგირების შემდგომ დადგინდა, რომ მასალა შეიცავს მინერალურ ფხვნილს, ქვიშას (ანაცერს) და ღორღს.

ღორღს, როგორც წესი გააჩნია მარკა სიმტკიცეზე 800-1200, მარკა ყინვამედეგობაზე F50 — F100. ასფალტბეტონის გრანულატის მარცვლოვანი შემადგენლობის ოპტიმიზაციის მიზნით გამოცდილი იქნა ნარევები ღორღოვანი საფუძვლისათვის ГОСТ 25607-94. ღორღოვანი საფუძვლის ვარგისიანობის შეფასების კრიტერიუმად მიღებულია ამტანუნარიანობა, დრეკადობის მოდული, რომელიც უნდა აკმაყოფილებდეს ВСН 46-83 ღორღოვანი საფუძვლებისათვის, რომელიც დაფუძნებულია ძირითადი მასალების შერევით განსაზღვრული პროპორციით [1].

სხვადასხვა ნარევის მახასიათებლების განსაზღვრისას (ოპტიმალური ტენიანობა, მაქსიმალური სიმკვრივე, დრეკადობის მოდული) დადგინდა, რომ ბუნებრივი ღორღის 20-30%-ის ჩანაცვლებამ ასფალტის გრანულატით რამდენამდე გაზარდა ღორღოვანი საფუძვლის მზიდუნარიანობა. მიღებული შედეგებით რეკომენდებულია ღორღოვან საფუძველში 20-30% ძველი ასფალტის გრანულატის შერევა.



ნახ.3. ასფალტის ნაფრეზი გრანულატი

გვინდა დაწვრილებით შევუბოთ ასფალტის გრანულანტის გამოყენებას საგზაო საქმიანობაში.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ასფალტის ღორღი (ასფალტბეტონის გრანულატი) წარმოადგენს მეორად სამშენელო მასალას, რომელიც წარმოიშობა ძველი ასფალტბეტონის საფარის მექანიკური დაქუცმაცებით ცივი ფრეზირების გზით ან დემონტირებული მსხვილი ასფალტის ფრაგმენტების სამსხვრევ დანადგარში გატარების გზით. წარმოადგენს ღორღის, ქვიშის და ბიტუმის ნარჩენების ნარევს.

ასფალტბეტონის გრანულატის ტექნიკურ ღირებულებას წარმოადგენს ნარევში ნარჩენი ბიტუმის წილობრივი არსებობა, რომელიც უზრუნველყოფს გრანულებს შორის გაძლიერებულ კავშირს, რითაც მიიღწევა საგზაო სამოსის კონსტრუქციაში მაღალი სიმკვრივე.

მინაკრისტალური ღორღი მინის ნატეხებისაგან

საგზაო საფარის ზედა ფენის ხორკლიანობის და ცვეთამედეგობის გაზრდისათვის იყენებენ მაღალი სიმტკიცის ქვა მასალას, რომელიც ყოველთვის ხელმისაწვდომი არ არის. ამ პრობლემის გადასაწყვეტად მრავალ ქვეყანაში ამზადებენ ხელოვნურ ქვა მასალას. განსაკუთრებით გავრცელება პოვა მინაკრისტალურმა ღორღმა, რომელიც მიიღება 600-900°C ცხობით დაქუცმაცებული ნამსხვრევი მინის და კვარცის ქვიშით. მასალების საორიენტაციო ფარდობა 50/50. ისინი ხასიათდება მაღალი სიმტკიცით (M 1000 — M 1200) და ყინვამედეგობით (F300) [1].

მინაკრისტალური ღორღი შეიძლება გამოვიყენოთ ასფალტბეტონის და ცემენტობეტონების საფარის ზედაპირზე, ზედაპირული დამუშავების მოსაწყობად.

1.2. პლასტმასის ნარჩენების გამოყენება საგზაო მშენებლობაში

არ შეიძლება გვერდი ავუაროთ პლასტმასის ნარჩენების გამოყენებას საგზაო მშენებლობაში, რომლის მიღება შესაძლებელია პლასტმასის ნაგვის და ნარჩენების გადამუშავებით.

მსოფლიოს მეცნიერები ძალიხმევას არ იშურებენ და ცდილობენ ბოლო მოუღონ საგზაო საფარის მთავარ პრობლემებს: არახანგრძლივმედეგობას, ორმოებს, ამონამტვრევებს, ხმაურს და ა.შ.

მსოფლიოს ბევრ ქვეყანაში (ინდოეთი, ჩინეთი, ევროპის ზოგი ქვეყანა) დაიწყო საგზაო საფარში გადამუშავებული პლასტმასის გამოყენება.

პლასტმასს უწოდებენ მასალას, რომლის ძირითად შემდგენს წარმოადგენს სინთეზური ფისისებრი მაღალმოლეკულური ნივთიერება (პოლიმერი), რომელსაც გარკვეულ ტემპერატურულ ინტერვალში პლასტიკურობის უნარი აქვს. კომპონენტების რაოდენობის მიხედვით, პლასტმასი გვხვდება მარტივი და რთული. პოლიმერი სუფთა სახით თითქმის არ გამოიყენება. ჩვეულებრივ, პლასტმასი კომპოზიციური მასალაა. მასში პოლიმერი შემკვრელის როლს ასრულებს, გარდა შემკვრელისა დამატებული აქვს შემვსები, გამამყარებელი, პლასტიფიკატორი და სხვა დანამატები.

პოლიმერები შედგება დიდი ზომის მოლეკულისაგან, რომლებიც წარმოიქმნება უამრავ, ერთმანეთთან შეკავშირებული ატომისაგან. ხშირ შემთხვევაში, პოლიმერი შეიცავს მრავალჯერ განმეორებად სტრუქტურულ ელემენტარულ რგოლს – მონომერს. სინთეზური მასალის წარმოშობაში გამოყენებულ მაკრომოლეკულათა ფორმა შეიძლება იყოს წრფივი, განშტოებული ან ბადისებრი.

ასფალტობეტონებში შემკვრელად გამოყენებული ბიტუმები რაც დრო გადის ხდება უფრო და უფრო ძვირფასი ნავთობის გაძვირებიდან გამომდინარე. პლასტმასების რაოდენობა კი ყველგან დღითი-დღე სწრაფი ტემპებით იზრდება. ოკეანეებშიც კი წარმოიქმნა მთელი რიგი კუნძულები ასეთი ნაგვისაგან, რომელთა გამოყენება მიზანშეწონილია საგზაო მშენებლობაში შესაბამისი ტექნოლოგიური პროცესების დანერგვის შედეგად.

ინდოეთი მსოფლიო ლიდერია პლასტმასიდან წარმოებული გზების მშენებლობის. პლასტმასიდან გზების შექმნის ტექნოლოგია 2002 წელს შეიმუშავა პროფესორმა ვასუდევანმა ქალაქ მადურაიდან. მან დააპატენტა ჩვეულებრივი ნაგვის გარდაქმნის ტექნოლოგია საგზაო საფარად, რომელიც ნაწილობრივ ანაცვლებს ბიტუმს-ასფალტის ძირითად კომპონენტს. ვასუდევანის მეთოდში იყენებენ წვრილად დაქუცმაცებულ პლასტმასის ნაგავს, რომელსაც უმატებენ გაცხელებულ ბიტუმს. შემდეგ ამ ნარევეს ასხამენ ქვებზე. ძირითად ნედლეულად ითვლება პლასტმასის ბოთლები, მაგრამ ნარჩენები შეიძლება იყოს სხვადასხვა პლასტმასის მასალებიც. ნარევი ამცირებს ბიტუმის რაოდენობას 8-10%-ით.

ინდოეთში ასევე წარმოებს კამპანია დასახელებით „სუფთა ზღვა“, რომელიც ასწავლის მეთევზეებს პლასტმასის შეგროვებას და ნაპირზე დაბრუნებას [4].

ბრიტანეთში ინჟინრებმა შეიმუშავეს ინოვაციური პროცესი, რომელიც საშუალებას იძლევა შეიცვალოს ნავთობის ნედლეულის დიდი ნაწილი, ბიტუმის ასფალტში ძირითადი შემდგენელი, პლასტმასის წვრილი გრანულანტით, რომელიც მიღებულია ბოთლების გადამუშავების შედეგად. ასეთი ინოვაციის შედეგად საფარი გახდა 60%-ით იაფი, ვიდრე ტრადიციული მეთოდით შექმნილი და 10-ჯერ მტკიცე, ბევრად უკეთესი გარემოსათვის. ამ იდეის გარშემო 2016 წელს ბრიტანეთში შეიქმნა კომპანია MacRebur. რადგან ძირითადად პლასტმასის ნაგავს ნაგავსაყრელებზე წვავენ, რაც თავისთავად იწვევს ტოქსიკური ნარჩენების გამოყოფას და გარემოს დაზიანებებს, კომპანია აგროვებს პლასტმასის ნარჩენებს, რომელთაგანაც 60% საწარმოა, 40% საყოფაცხოვრებო. ამის შემდეგ ახდენენ მათ კლასიფიცირებას, აქუცმაცებენ გრანულირებულ მდგომარეობამდე არაუმეტეს 5 მმ-ისა. გრანულებს უმატებენ აქტივატორს, რომლის ტექნოლოგიური წარმოებაც უკვე დაპატენტებულია. შედეგად მიღებული მიქსი კი ემატება ასფალტს - მარტივად რომ ვთქვათ პლასტმასისგან მიღებული ნარევი ანაცვლებს ბიტუმის ნაწილს, რაც ამცირებს ნავთობის ნედლეულის გამოყენებას. ასე რომ, პლასტიკური ნარევი ასრულებს შემკვრელი ნივთიერების როლს [5].



ნახ.4. გადასამუშავებელი პლასტმასის ნარჩენები

ნარევის დამზადებისას საჭიროა მკაცრი ტემპერატურული კონტროლი - ტემპერატურა 180°C -ის ნაცვლად უნდა შეადგენდეს 120°C-ს. ამ მოთხოვნის გამო ზოგიერთი სახეობის პლასტმასი შესაძლებელია დაწუნებული იქნას წარმოებისას.

MacRebur-ის პლასტმასის გზების ნახვა შესაძლებელია მთელი მსოფლიოს მასშტაბით. საფარმა გაიარა ყველა გამოცდა და გარეგნულად არ განსხვავდება ჩვეულებრივი ასფალტისაგან. ამის გარდა, ის უფრო მოქნილია, რაც უზრუნველყოფს იმას, რომ საფარი უკეთ იტანს ტემპერატურული რეჟიმის ცვალებადობით გამოწვეულ გაფართოება-შეკუმშვის პროცესს. ლაბორატორიული კვლევებით დადგენილია, რომ საფარის ექსპლუატაციის ვადა 3-ჯერ მეტია ტრადიციულ ასფალტის საფართან შედარებით.

ნიდერლანდებში, ზვოლეს მუნიციპალიტეტში, 2018 წელს გაიხსნა ველობილიკი, რომლის საფარიც მოწყობილია გადამუშავებული პლასტმასისაგან მიღებული ნარევით, ე.წ. „პლასტმასის გზით“ (Plastic Road), რომელიც შეიქმნა კომპანიების KWS, Wavin, Total oil და and gas group-ის ერთობლივი ძალისხმევით. ასეთი საფარი ძლებს 2-3-ჯერ მეტ ხანს, ვიდრე ჩვეულებრივი ასფალტი, შენდება 70%-ით სწრაფად, იაფია საწარმოებლად, იძლევა ნაგვის გადამუშავების საშუალებას. პლასტმასით შესაძლებელია დამზადდეს საფარის ანაკრები მსუბუქი ბლოკები, რომელსაც ექნება ღრუტანიანი კონსტრუქცია, სადაც ადვილად განთავსდება, მილები, ელექტროკაბელები და სხვა საჭირო ინფრასტრუქტურა. ამასთან, სტრუქტურა ეფექტურად იცავს ბილიკს წყლის ზემოქმედებისგან, ამის გარდა ისინი აკეთებენ სპეციალურ ჩაღრმავებებს, სადაც შეიძლება დაგროვდეს წყალი. შესაძლებელია გათვალისწინებული იქნას საფარის გათბობა ზამთარში, ზედაპირზე ლიპყინულის მოსაშორებლად საბურავის მაღალი ჩაჭიდულობის კოეფიციენტის მისაღწევად [6].



ნახ.5. პლასტმასის საფარის დაგების პროცესი

ავსტრალიაში კომპანიებმა Close the Loop, Sustainability Victoria და RED ერთობლივი ძალისხმევით ავსტრალიის ისტორიაში პირველებმა ააშენეს გზა რბილი პლასტმასის, მინისა და ტონერისაგან. თვითონ შერევის პროპორცია დაახლოებით შემდეგია: 200000 პლასტმასის პაკეტი, 63000 მინის ბოთლის ექვივალენტი, 4500 პრინტერის გამოყენებული კარტრიჯი და 50 ტონა გადამუშავებული ასფალტი. სწორედ ამ პროპორციით და მასალებით აშენდა გზა კრეიბურგში, რომელიც განლაგებულია მელბურნის ჩრდილოეთით. შემდეგ, ასევე წარმატებით განხორციელდა ანალოგიური პლასტმასის გზის გამოცდა [4].

ახალ ზელანდიაში, ქალაქ ახალ პლიმუთშიც ააშენეს გზა პლასტმასის გამოყენებით. ვიზუალურად საგზაო საფარი არაფრით არ განსხვავდება ჩვეულებრივი ასფალტისაგან, საფარის შემადგენლობაში არის მხოლოდ გადამუშავებული პლასტმასის ქილები [4].

თავიდან იგეგმებოდა პლასტმასის განადგურება, თუმცა ადგილობრივი ხელისუფლება დაფიქრდა მის საგზაო საფარში გამოყენებაზე. სპეციალისტების მიერ მრავალმხრივი კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ასფალტში პლასტმასის გამოყენება ზრდის მის მდგრადობას და სიმტკიცეს.



ნახ.6. MacRebur-ის გზა დაგების შემდგომ

კანადაში, ქალაქ ვანკუვერის ხელისუფლებამ მიზნად დაისახა ქალაქი გადააქციონ ეკოლოგიურად სუფთად მსოფლიოში. ამისათვის მათ დაიწყეს გზების კეთება მასალისაგან, რომელშიც 80% ასფალტი და 20% გადამუშავებული პლასტმასია გამოყენებული. გზა 3%-ით უფრო იაფია, ვიდრე ტრადიციულად ასფალტირებული, რაც გამართლებულია ეკონომიკურად [7].

მიღებულ საფარს აქვს ხორკლოვანი ზედაპირი და თვალისთვის უჩვეულო ნაცრისფერია. ეკოლოგიური თვალსაზრისით ძირითადი უპირატესობა არის ის, რომ რამოდენიმე ასეთი კილომეტრი გზის მოწყობა კუბომეტრობით ნაგვისაგან ათავისუფლებს მიწას და წარმოებისათვის საჭიროა შედარებით ნაკლები ტემპერატურა, ვიდრე ტრადიციული ასფალტის დამზადებისათვის. ეს კი თავისთავად ამცირებს ენერგოდანახარჯებს.

ამერიკელმა ტექნოლოგებმა დანერგეს EcoRaster საფარი, რომელიც დამზადებულია პლასტმასისაგან და შერეულია ტრადიციულ საგზაო მასალებთან. წყალგაუმტარი საფარი წარმოადგენს მესრულ უჯრედოვან ფილას. უჯრედები ივსება ღორღით, კენჭით ან გრუნტით, რომელიც იცავს ეროზიისაგან მცენარეულ საფარს, ხოლო წყალდიდობისას მუშაობს როგორც ფილტრი [8].

ამერიკის შტატ არიზონაში ასფალტის საფარს ამზადებენ ავტომობილის საბურავებისაგან მიღებული რეზინის მარცვლების დამატებით. ამერიკაში ყოველწლიურად ახდენენ 300 მილიონი საბურავის უტილიზაციას, რომელიც

როგორც წესი არ მუშავდება. რეზინის მარცვლების დამატება ასფალტის ნარევიში წარმოქმნის უფრო მტკიცე და არაცურვად საფარს. ერთი საბურავისაგან იღებენ დაახლოებით 2 კგ მარცვალს. ამ მეთოდმა დიდი გამოყენება ჰპოვა ისრაელში, სადაც ნავთობპროდუქტები დეფიციტშია [9].

ჩინეთში, სენშის პროვინციაში 2015-2020 წლებში სამშენებლო ნაგვის გამოყენებით ააშენეს ჩქაროსნული ტრასები, საერთო სიგრძით 122 კმ, სადაც გამოიყენეს 6 მილიონი ტონა ნარჩენი საფუძვლის ფენებში. ამ გზით მათ დაზოგეს დაახლოებით 47 მილიონი აშშ დოლარი, 3.4 მილიონი კუბურ მეტრი ქვიშა, 32 ტონა ნახშირი და რაც მთავარია - 200 ჰექტარი მიწა, რომელიც დასჭირდებოდა გამოყენებული ნაგვის დამარხვას [10].

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში მოცემულია პლასტმასის ნარჩენების გადამუშავებით მიღებული საგზაო საფარების შედარება ტრადიციული მეთოდით მოწყობილ საფარებთან.

გზების მახასიათებლების შედარების ცხრილი. ცხრილი 1.

#	მახასიათებლები	საფარები გადამუშავებული პლასტმასით	საფარები ტრადიციული მეთოდით
1	სტაბილურობა	მეტი	ნაკლები
2	შეკვრის მაჩვენებელი	უკეთესი	კარგი
3	დარბილება	ნაკლები	მეტი
4	შელწევადობა	მეტი	ნაკლები
5	სიმტკიცის ზღვარი	მაღალი	ნაკლები
6	წყლის გატარება	არა	კი
7	გზის გამძლეობა	უკეთესი	კარგი
8	საფარის ღირებულება	ნაკლები	ნორმალური
9	მოვლა-შენახვის ღირებულება	თითქმის ნული	მეტი
10	ეკოლოგიურად სუფთა	კი	არა

მსოფლიოში გაცილებით სწრაფად მიმდინარეობს პლასტმასის ნარჩენების დაგროვება, ვიდრე მისი უტილიზაციაა. ევროკავშირის ქვეყნები უკვე ზრუნავენ პლასტმასის ნარჩენების გადამუშავებაზე და ეს მაჩვენებელი 25-30% ფარგლებშია საშუალოდ [11].

2020 წელს შეიქმნა ახალი პრობლემა, რომელიც გამოიწვია კოვიდ 19-ის პანდემიამ. ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების მილიონობით ტონა ერთჯერადი პლასტმასის ნაკეთობა მოხვდა სანაგვეებზე [12].

ევროპის ზოგიერ ქვეყანაში 2002 წელს დაგებული გზები, რომელშიც გამოყენებულ იქნა ბიტუმის ნარევი პლასტმასები დღესაც ინარჩუნებენ კარგ მდგომარეობას და ასრულებენ თავიანთ ფუნქციას სრულყოფილად. ასეთმა შენარევმა გამოავლინა გაუმჯობესებული შემკვრელის თვისებები, ასევე გაზარდა გზის მზიდუნარიანობა. მრავალი მკვლევარი მივიდა დასკვნამდე, ბიტუმპლასტმასის ნარევი, რომელშიც პლასტმასი 10%-ია ზრდის შემკვრელის აალების და აფეთქების ტემპერატურულ მაჩვენებელს და ამცირებს მის პლასტიკურობას. უპირატესობებს შორის აღნიშნული იქნა ასეთი მოდიფიცირებული შემკვრელით მოწყობილი გზების დაბალი ღირებულება 9%, ვიდრე ჩვეულებრივისას, გააჩნია გაზრდილი სიმტკიცე და წყალმედევობა, მაღალი სტაბილურობის მაჩვენებელი მარშალით, შედარებით მაღალი მდგრადობა დეფორმაციებზე [13].

როგორც წესი წვიმიან სეზონში ასფალტბეტონის საფარიან გზებზე წარმოიშობა ამონამსხვრევები. იზრდება საფარის ცვეთა, როცა წყალი აღწევს საგზაო საფარის ზარბში და ფორებში რაც იწვევს დაშლას. ასევე შემკვრელი ბიტუმის დაძველება და დამჟავება იწვევს საგზაო საფარის გაუარესებას.

გზები პლასტმასის გამოყენებისას კი ინარჩუნებენ თვისებას, რომ წინ აღუდგეს საფარზე ამონამტვრევებს. ამის გარდა, ჩვეულებრივ ა/ზ საფარზე ულტრაიისფერი გამოსხოვება იწვევს მის დაძველებას და შემდგომ ზარბის წარმოქმნას. ხოლო თუ ა/ზ-ში გამოყენებულია მოდიფიცირებული პოლიმერბიტუმი მას შეუძლია შეაჩეროს ეს პროცესი.

წყლის არასასურველი გავლენის დასადგენად პლასტმასბიტუმით დამზადებულ ნარევეზე ჩატარდა ტესტები მდგრადობაზე მარშალის მიხედვით, ნარჩენ ფორიანობასა და ხლეჩვაზე.

ნიმუშების 60°C ტემპერატურაზე 24 სთ-ის განმავლობაში წყალში გაჟღენთვის შემდგომ დადგინდა, რომ მოდიფიცირებული ნარევის სტაბილურობის საშუალო მნიშვნელობა მარშალის მიხედვით გაიზარდა 2,6-ჯერ ტრადიციულთან შედარებით, გაიზარდა გადაღლაზე მდგრადობა მრავალჯერადი დატვირთვის დროს. დადგინდა, რომ პლასტმასის შემკვრელი თვისებები ახანგრძლივებს გზის საექსპლუატაციო მომსახურების ვადას, იძლევა დამატებით სიმტკიცეს. წვიმის წყალი ვეღარ აღწევს ბზარებსა და ფორებში. ამდენად ამ ტექნოლოგიას მივყავართ შედარებით ნაკლებ საგზაო საფარის რემონტებამდე, რაც შესაბამისად აისახება გზის ეკონომიურ ეფექტზე [14].

ასეთი სახის გზები ძირითადად ეწყობა გადამუშავებული პლასტმასისგან: საყოფაცხოვრებო ნარჩენები, ერთჯერადი ჭურჭელი, ბოთლები და სახურავები, პლასტმასის ავეჯი და ა.შ.

პლასტმასის გამოყენებით მიღებული გზების საფარები შეიძლება განვიხილოთ რამოდენიმე ვარიანტად: გზები, რომლებიც შეიძლება გაკეთდეს მთლიანად პლასტმასისაგან და გზები, რომლებიც შეიძლება გაკეთდეს პლასტმასის კომპოზიტის სხვა მასალებთან შერევით.

ამ მეთოდის ერთ-ერთი მთავარი უპირატესობა ეკოლოგიური გარემოს გაუმჯობესებაა, რადგანაც პლასტმასის ნარჩენი სანაგვეზე მოხვედრის ნაცვლად ხდება როგორც მეორადი პროდუქტი შემდეგი გამოყენებისათვის, ნაცვლად გარემოს დაბინძურებისა ძველი პლასტმასი გადამუშავდება და მოიტანს სარგებელს.

პლასტმას-ბიტუმივანი კომპოზიტური გზები საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ სხვადასხვა სახის პლასტმასები, რაც საშუალებას იძლევა მის მეორადად გამოყენებაში. რადგანაც უმეტესი ასეთი პლასტმასი არ რეციკლირდება, იმიტომ რომ მათში შერეულია სხვადასხვა ტიპის მასალა (მაგალითად, ქაღალდის ეტიკეტები) და არა პლასტმასი, რომლის განცალკევება ძალიან შრომატევადია.

საფარად გამოყენებული პლასტმასის პანელების საექსპლუატაციო ვადის გასვლის შემდგომ შეგვიძლია მისი გადამუშავება და განმეორებით გამოყენება ანაკრები ელემენტების საწარმოებლად.

პლასტმასის, გზებში გამოყენება იძლევა ასფალტბეტონის გამოყენების შემცირების საშუალებას, რაც იწვევს ბუნებრივი რესურსების დაზოგვას. ცნობილია,

რომ ბიტუმი საჭიროებს ნავთობს, რომელიც თანდათანობით უფრო დეფიციტშია. ამავდროულად კიდევ ერთი პლუსი - წარმოებისას გაზების გამოყოფა 10%-ით ნაკლებია, ვიდრე ბიტუმის წარმოებისას [15].

პრაქტიკულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ პლასტმასის კომპოზიტიური გზები ახდენენ საუკეთესო თვისებების დემონსტრირებას, რომელიც ჯობნის ჩვეულებრივ ასფალტს. კერძოდ, ისინი აჩვენებენ უკეთეს ცვეთამდეგობას და საჭიროებენ მინიმალურ ტექნიკურ მომსახურებას. ცდებმა აჩვენა, რომ პლასტმასის გზები უფრო მდგრადია ბუნების ქმედებასა და ტემპერატურაზე. ამის გარდა სხვადასხვა ქვეყნის სპეციალისტები საუბრობენ მის უფრო მაღალ შეუფერხებელ საექსპლუატაციო მახასიათებლების გაზრდაზე. ასე მაგალითად, ასფალტის და ბეტონის საფართან შედარებით, პლასტმასის საფარზე არ ხდება ბზარების და ამონატეხების წარმოქმნა. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ პოლიმერულ-ბიტუმოვანი კომპოზიციური გზები, ტრადიციული ასფალტბეტონისგან განსხვავებით, არ შეიწოვენ წყალს, გააჩნიათ დიდი დრეკადობა, რაც ამცირებს დაზიანებებს და რემონტის საჭიროებას. ასევე, ამ სახის საგზაო საფარები საჭიროებენ ნაკლებ მოვლას და უკეთ შთანთქავენ ხმაურს [16].

აღსანიშნავია, რომ გზაზე დაზიანებების შემცირება ამაღლებს უსაფრთხოებას, რაც ავტომატურად ამცირებს საგზაო-სატრანსპორტო შემთხვევებს და საცობებს.

კიდევ პლასტმასის გზების ერთ-ერთ უზარმაზარ უპირატესობად ითვლება მისი სწრაფი მონტაჟი. მაგალითად, ნიდერლანდური კომპანია KWS აშენებს მოდულურ პლასტმასის გზებს, რომელიც ძალიან მალე ეწყობა. თუ ასფალტის და ბეტონის გზას ესაჭიროება თვეები და წლები ასეთ პლასტმასის გზებს აწყობენ რამოდენიმე კვირაში.



ნახ.7. მოდულურ-პლასტიკური გზის მოწყობა

პლასტმასის გზების მნიშვნელოვანი უპირატესობის მიუხედავად, ეკოლოგიური გაუმჯობესების თვალსაზრისით აბსოლუტურ პანაცეად იგი არ შეიძლება ჩაითვალოს, რადგანაც სხვადასხვა ტიპის პლასტმასების გადნობისას გამოიყოფა სხვადასხვა სახის გაზები და გზებზე დაშლის შემდგომ წარმოიქმნება მიკროპლასტმასის მტვერი, რომელიც აღწევს ნიადაგში და წყალსატევებში. ასევე მიკროპლასტმასმა შეიძლება გამოყოს სხვადასხვა სახის დამაბინძურებლები.

ასეთ ტექნოლოგიის შემქმნელები ამტკიცებენ, რომ პლასტმასის გზის მშენებლობა ხდება სწრაფად, რადგანაც არ არის საჭირო მიწის სამუშაოების და სხვადასხვა საგზაო სამუშაოების წარმოება [17].

მოდულური კონსტრუქციის განსაკუთრებულ ღირსებას წარმოადგენს მათი ღრუტანიანი სტრუქტურა, სადაც შეიძლება განთავსდეს სხვადასხვა კომუნიკაციები, კაბელები და წყალამრიდები. ამის გარდა, კონსტრუქცია იძლევა მისი მოდიფიკაციის შესაძლებლობას: მოძრაობის სენსორების დაყენება, გზის გამათბობლის მიერთება.

ა)



ბ)



გ)



ნახ.8. პლასტმასის გზის მშენებლობა

ა) კომუნიკაციის არხები მოდულურ-პლასტიკური გზის საფარში

ბ) გათბობის მილები მოდულურ-პლასტიკური გზის საფარში

გ) პლასტმასის გზის მშენებლობა

მინუსად შეიძლება ჩაითვალოს ის, რომ ეს ტექნოლოგია არ არის გამოცდილი დროში, თუმცა გამომგონებლები გვარწმუნებენ, რომ პლასტმასის გზების მომსახურება დაახლოებით იქნება 30 წელი. თუმცადა ამის მტკიცებულება არ არის, რადგანაც იგი ახალი ტექნოლოგიაა.

1.3. ასფალტის გრანულატის მიღების ძირითადი გზები და მისი გამოყენება საგზაო მშენებლობაში

რეგენერაცია - წარმოადგენს საგზაო მშენებლობის ტექნოლოგიას გზის საფუძვლის და საფარის აღსადგენად ასფალტბეტონის გრანულირებული ნარევის გამოყენებით. რეგენერაციის ტექნოლოგია ითვალისწინებს ძველი ასფალტბეტონის (დახეთქილი და მზიდუნარიანობა დაკარგული) საფარის ნაფრეზი მასალის შერევას სხვა მასალის კომპონენტებთან ერთად, რათა შეიქმნას ახალი კომპოზიციური საგზაო-სამშენებლო მასალა.

ძველი ასფალტბეტონის აღდგენა ითვალისწინებს თავდაპირველ გრანულომეტრიულ შემადგენლობამდე მისვლას და ნაწილობრივ თვისებებ შეცვლილი ბიტუმის შემადგენლობის და სიბლანტის აღდგენას.

პრაქტიკაში ძირითადად გამოიყენება ასფალტბეტონის აღდგენის ორი სახე: პირველი - რეგენერაცია უშუალოდ ადგილზე; ხოლო მეორე - რეგენერაცია ქარხნებში.

ძლიერ მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს წარმოშობს ძველი ასფალტბეტონის ხელმეორედ გამოყენება, რადგან ბიტუმი და ქვიშა-ღორღი თანდათან უფრო დეფიციტური მასალები ხდება.

ცხელი ფრეზირება

ასფალტბეტონის საფარის მოცილების ეს მეთოდი დანერგილი იყო უფრო ადრე, ვიდრე დაიწყეს ცივი ფრეზირების გამოყენება.

ასფალტბეტონის ადგილზე აღდგენა დაკავშირებულია გზის სავალი ნაწილის სარემონტო სამუშაოებთან, დაზიანებული ზედაპირული ფენების შესწორებასთან, დაპროფილება და პირვანდელი ფორმის აღდგენით სამუშაოებთან. ამისათვის გამოყენებული ტექნოლოგიური პროცესები ითვალისწინებენ:

1. ფენილი ცხელდება სპეციალური გამაცხელებლებით 3-5 სმ-ის სიღრმეზე;
2. გაცხელებული ასფალტბეტონის შრე აიჭრება საჭრისებით, გაფხვიერდება და აირევა ერთგვაროვანი ნარევის მიღებამდე, საჭიროების შემთხვევაში დაემატება ბიტუმის თვისებების გასაუმჯობესებელი ნივთიერებები.
3. აღდგენილი ნარევის გაშლა-გასწორება და წინასწარი დატკეპნა.
4. ასფალტბეტონის ფენილის საბოლოო დატკეპნა.

იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭიროა ასფალტბეტონის ზედა ფენის სისქის გაზრდა ან ძლიერ „გადაღლილი“ ნარევის თვისებების მკვეთრი გაუმჯობესება, მე-2 ტექნოლოგიურ პროცესში ბიტუმის მაგვირად ემატება ასფალტბეტონის ახალი, ცხელი ნარევი.

იგი ხორციელდება მობილური ინფრაწითელი გამაცხელებლით, რომელიც მუშაობს გაზზე (პროპანის ნარევით ასფალტი ცხელდება და რბილდება). ეს ხელს უწყობს შევამციროთ საფარის დამსხვრევისას ზედმეტი ძალისხმევის გამოყენება. წინასწარ გაცხელებული ფენილის გაფხვიერება წარმოებს სპეციალურ დოლზე დამაგრებული მჭრელი კბილანებით, რომლებიც 3 რიგად არიან განლაგებული და ჭრის გარდა უზრუნველყოფენ ნარევის ერთმანეთში არევას.

მიღებული ნარევის გაშლა წარმოებს სპეციალური გამანაწილებლით. სპეციალური ფარით ხდება ფენილის გასწორება და პროფილის მიცემა, გასწორების შემდეგ კი ფენის წინასწარი დატკეპნა სატკეპნით. საბოლოო დატკეპნისათვის გამოიყენება ტრადიციული სატკეპნები და დატკეპნის პროცესი მიმდინარეობს ჩვეულებრივი წესით.



ნახ.9. ცხელი ფრეზირება

ცხელი ფრეზირების უარყოფით თვისებებს განეკუთვნება:

- სათბობი რესურსის მაღალი ღირებულება;
- ტექნიკის აალების მაღალი რისკი
- დაშლილი ასფალტი ეწებება ერთმანეთს, რაც მის მეორად გამოყენებას ხდის

მოუხერხებელს.

• შტაბელეზად დასაწყობებისას ფრეზირებული ასფალტი იკვრება ცხელ ამინდში [18].

ასფალტბეტონის საფარის ცივი ფრეზირება

საგზაო კონსტრუქციის ზედა ფენების ფენებად მოჭრის პროცესი მექანიკური ქმედებით, რომელიც ხორციელდება საგზაო ფრეზით.

საგზაო ფრეზის ძირითად სამუშაო ორგანოს წარმოადგენს ფრეზერი დოლი საჭრისებით, რომლის ბრუნვის შედეგად ხდება მონოლითური საგზაო საფარის სტრუქტურის გარდაქმნა ასფალტის ლორღად.

ასფალტბეტონის ნამსხვრევების დაფშვნა - ხდება მსხვილი ასფალტბეტონის საფარის ფრაგმენტების მექანიკური დაქუცმაცებით. იგი შესაძლებელია განხორციელდეს ქვის სამსხვრევ დამხარისხებელი აგრეგატის საშუალებით.

მოხსნილი ფენის პლასტის სისქე შეადგენს 5-15 სმ. ასფალტის ნამსხვრევების ზომები არ არის ნორმირებული, თუმცა პირობითად შეიძლება დავყოთ სამ ჯგუფად:

- მცირე ნარჩენები, რომელიც არ აჭარბებს 20 სმ-ს;
- საშუალო ნატეხები, ზომით 15-40 სმ;
- დიდი ნატეხები, ნახევარ მეტრზე მეტი.

ასფალტის გრანულატი წარმოადგენს კარგ სარემოტო-სამშენებლო მასალას. მის ღირსებად ითვლება:

- მექანიკურ, სტატიკურ და დინამიკურ დატვირთვაზე სიმტკიცე;
- ატმოსფერულ ტენიანობაზე მდგრადობა;
- ტემპერატურის მკვეთრ ცვალებადობაზე მდგრადობა;
- დაბალი ღირებულება

ასფალტის ნამსხვრევების საშუალო მოცულობითი წონა მერყეობს 1800-2200 კგ/სმ³.

ძველი ასფალტის ნამსხვრევების დაფქვით მიღებული გრანულატის საშუალო მოცულობითი წონა 2100-2200 კგ/მ³ [19].

ასფალტის ლორღი (ასფალტბეტონის გრანულატი) წარმოადგენს მთავარ კომპონენტს ასფალტოგრანულობეტონის ნარევიში, რომელიც გამოიყენება საგზაო მშენებლობაში სხვადასხვა დანიშნულებით.



ნახ.10. ცივი ფრეზირება

ცხელი ასფალტოგრანულობეტონის ნარევის წარმოება

ცივი ასფალტოგრანულობეტონის ნარევის დამზადების გარდა, რომელიც ძირითადად გამოიყენება საგზაო საფუძვლის ზედა ფენის და საგზაო საფარის ქვედა ფენის მოსაწყობად, ასფალტის ღორღი გამოიყენება „ცხელი რეგენერაციის“ შესაქმნელად.

ცივი რეციკლირების ტექნოლოგიისაგან განსხვავებით, ცხელი რეგენერაცია ითვალისწინებს წინასწარ ასფალტბეტონის საფარის გაცხელებას მოფრეზვის წინ და გამოიყენება საგზაო საფარის ზედა ფენის გასაახლებლად. ჩვეულებრივ შემასწორებელ მოასფალტირებასთან შედარებით, ცხელი რეგენერაცია წარმოადგენს უფრო იაფ და ეკონომიურ გადაწყვეტას. რადგანაც, ცივი სახით ასფალტის ნაფრეზზე ქვიშა-ღორღის დამატებისას, ახალ ნარევაში მისმა წილმა შეიძლება მიაღწიოს 25%, ხოლო ცხელისას - 60%-ს, რაც საშუალებას იძლევა მნიშვნელოვნად შემცირდეს მასალების ხარჯი და საგზაო სამუშაოების ღირებულება.

არახისტი ტიპის საფუძვლების მოწყობა მცირე ზომის ფართების მოსაწყობად

თანდათან უფრო პოპულარული ხდება ასფალტის გრანულატის გამოყენება საფუძვლის ზედა ფენების მოსაწყობად მცირე ფართის მოედნებზე და მონაკვეთებზე. ასევე ასფალტბეტონის მოედნებისა და ტერიტორიების შესაქმნელად მტკიცე მონოლითური საფარით. საფუძვლების მოწყობისას

გრანულატი შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც სუფთა სახით, ასევე შერეული ღორღთან ან სხვა მინერალურ მასალასთან.

დროებითი გზების მოწყობა

ასფალტის გრანულატი მნიშვნელოვანი მოთხოვნადი მასალაა დროებითი გზების მოსაწყობად დაბალი სატრანსპორტო დატვირთვის შემთხვევაშიც.

ცხელი ასფალტბეტონის ნარევისაგან განსხვავებით დატკეპნილი ასფალტის ღორღი არ წარმოქმნის მონოლითურ საფარს, ინარჩუნებს ფხვიერ და ძვრად სტრუქტურას. მართალია ის არ წარმოადგენს სტანდარტული ასფალტბეტონის საფარის შემცვლელს, თუმცა საექსპლუატაციო თვისებებით სჯობს ქვიშა-ღორღოვან და ქვიშა ხრეშოვან საფარს.

აქედან გამომდინარე, თუ დგას საკითხი გრუნტოვანი და ხრეშოვანი გზის სატრანსპორტო მახასიათებლის გაზრდაზე, ასფალტბეტონის ნაფრეზი გრანულატი არის უმეტესად პრაქტიკული და არაძვირი გადაწყვეტა.

დროებითი ან მისასვლელი გზების, ასევე მყარი საფარის მოსაწყობად სუსტ გრუნტოვან საფუძველზე, ასფალტის გრანულატის დაგება ხდება 2 ფენად, სისქით არა უმცირეს 10 სმ, თითოეული ფენის თანმიმდევრული შემკვრივებით.

საგზაო გვერდულების და ფერდების გამაგრება. ხორციელდება ასფალტბეტონის ზედა ფენის დაგების და დატკეპნის შემდგომ. ასფალტის გრანულატის დაგება ხდება რამოდენიმე ფენად, თითოეულის წინასწარი შემკვრივებით. გვერდულზე გრანულატით ბოლო ფენის დაგების შემდგომ ხდება პლანირება და შემკვრივება ვიბროფილით ან საგზაო სატკეპნით.

საგზაო ორმოების და ამონატეხების ლიკვიდაცია

დაზიანებული საგზაო უბნის დროს, როდესაც ვერ ხერხდება სრულყოფილი შეკეთება და ასფალტირება მიზანშეწონილია და გამართლებულია ხარჯის თვალსაზრისით ორმოებში ასფალტის გრანულატის ჩაყრა. ასეთი გადაწყვეტილება საშუალებას იძლევა უზრუნველყოფილი იქნას ტრანსპორტის შედარებით უსაფრთხო მოძრაობა, სანამ მოხდება დაზიანებული უბნის სრულფასოვანი შეკეთება [19].

1.4. ასფალტი რეზინის გრანულანტით: თანამედროვე საგზაო საფარი

ტერმინი „რეზინის ანუ რბილი“ ასფალტი ბევრისათვის ასოცირდება საბავშვო და სპორტულ მოედნებად, მანქანების პარკირების ადგილებად და ა.შ., მაგრამ თვით საგზაო მშენებლობაში მისი როლი თანდათანობით იზრდება.

რეზინის გრანულანტის დამატების ტექნოლოგია სამშენებლო ნარევიში წყვეტს რამოდენიმე ამოცანას:

- საფარის ხარისხის განსაკუთრებულად გაუმჯობესება, რაც მნიშვნელოვანია ჩვენს კლიმატურ ზონაში.
- მეორადი პროდუქტის გამოყენება - საბურავების და სხვადასხვა რეზინის ნაკეთობის გადამუშავება.
- ეკონომიური ეფექტურობა

ასფალტი რეზინის გრანულანტით წარმოადგენს ჩვეულებრივ ასფალტს რეზინის გრანულანტის ჩანართებით.

რეზინირებული ასფალტი - ესაა ნარევი, რომელიც შეიცავს რეზინის გრანულანტს >2% მთლიან ნარევიში მასიდან. ასეთი ნარევის მისაღებად გამოიყენება 2 ძირითადი მეთოდი: მშრალი (ცივი) და სველი (ცხელი).

მშრალი სისტემა - რეზინის გრანულანტი ზომით 1,0-2,5 მმ ერევა მზა ასფალტში და ირევა შემრევი ასფალტის მასასთან ერთად. რაოდენობა პროცენტულად მერყეობს მასიდან 2-3% ან მიახლოებით 8% მოცულობიდან. მშრალი სისტემის დროს უცილებელია ნარევის არევის ციკლი გაიზარდოს სტანდარტულთან შედარებით 6-10 წამით, რადგანაც რეზინის გრანულანტი მსუბუქია და გააჩნია დნობის ტენდენცია ზედა ფენებში, სანამ მთლიანად შეერევა უფრო მძიმე ნარევს. რეზინის გრანულიანი ასფალტის ნარევი, რომელიც გამოიყენება საგზაო საფარებში, ვიზუალურად გამოიყურება ჩვეულებრივი ასფალტივით, მხოლოდ ფერი ხდება უფრო შავი. ასევე იზრდება სიბლანტე და მასის წებოვნება.

სველი სისტემა - რეზინის გრანული ერევა ცხელ ბიტუმს სპეციალურ დანადგარში, შემდეგ ასეთი ნარევი ემატება ასფალტბეტონის ნარევისათვის საჭირო მასაში. გამოიყენება რეზინის გრანული მინიმალური ფრაქციით - 0,50-0,62 მმ.

რეზინის გრანულის გამოყენების უპირატესობა ასფალტის ნარევიში შემდეგია: რეზინის შერევისას ნარევიში მცირდება ასფალტის მასა, რადგან მასის 10% ჩანაცვლებულია უფრო მსუბუქი რეზინის გრანულატით.



ნახ.11. რეზინის საფარი დაგების პროცესი

რეზინის გრანულატის გამოყენება ასფალტის ნარევიში გზების მშენებლობისათვის იძლევა შემდეგ დადებით ეფექტებს:

- საგზაო საფარის საექსპლუატაციო ვადის გახანგრძლივება 5-10 წლით.
- რეზინის გრანული ანიჭებს ასფალტის საფარს მოქნილობას.
- რამდენიმეჯერ ზრდის რემონტში დროს, რაც ამცირებს საგზაო საფარის რემონტის თვითღირებულებას და მომსახურებას. ეს განსაკუთრებით გამოსადეგია საქართველოს პირობებში, სადაც ციკლური კლიმატი „სითბო-სიცივე“ ზამთარში საკმაოდ ხშირია.
- ამცირებს ავტომობილების მოცურების ალბათობას.
- ზრდის საგზაო საფარის სადრენაჟო თვისებებს, რაც კარგად აისახება წვიმიან შემოდგომაზე, ზამთრის და გაზაფხულის პერიოდზე.
- ამაღლებს მაღალი ტემპერატურისას კვალწარმოქმნაზე მდგრადობას.
- ამაღლებს მდგრადობას ზედაპირულ ბზარწარმოქმნაზე დაბალი ტემპერატურისას.
- საფარს თითქმის არ აქვს ჯდენა, რადგანაც რეზინა ელასტიურია.
- მნიშვნელოვნად ამცირებს ხმაურს გზაზე (დაახლოებით 50-70%-ით).
- ამცირებს საბურავის ცვეთას.

- აუმჯობესებს საგზაო საფარის ზედაპირიდან სინათლის ამრეკლ მახასიათებელს, რაც ზრდის მოძრაობის უსაფრთხოებას.
- ზედაპირი უფრო შავია, ზამთარში უკეთ ინარჩუნებს მაღალ ტემპერატურას, ამიტომ ასეთ საფარზე ნაკლებად იყენებენ ტექნიკურ მარილს.
- მთავარ უპირატესობად შეიძლება ჩავთვალოთ ისიც, რომ CO-ს გამოყოფა ტრადიციულ ასფალტის წარმოებასთან შედარებით ბევრად ნაკლებია, რაც მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს ეკოლოგიურ გარემოს ქვეყანაში [20].

2. შედეგები და განსჯა

2.1. საფუძვლის ფენებში საბაზისო მასალების კვლევა

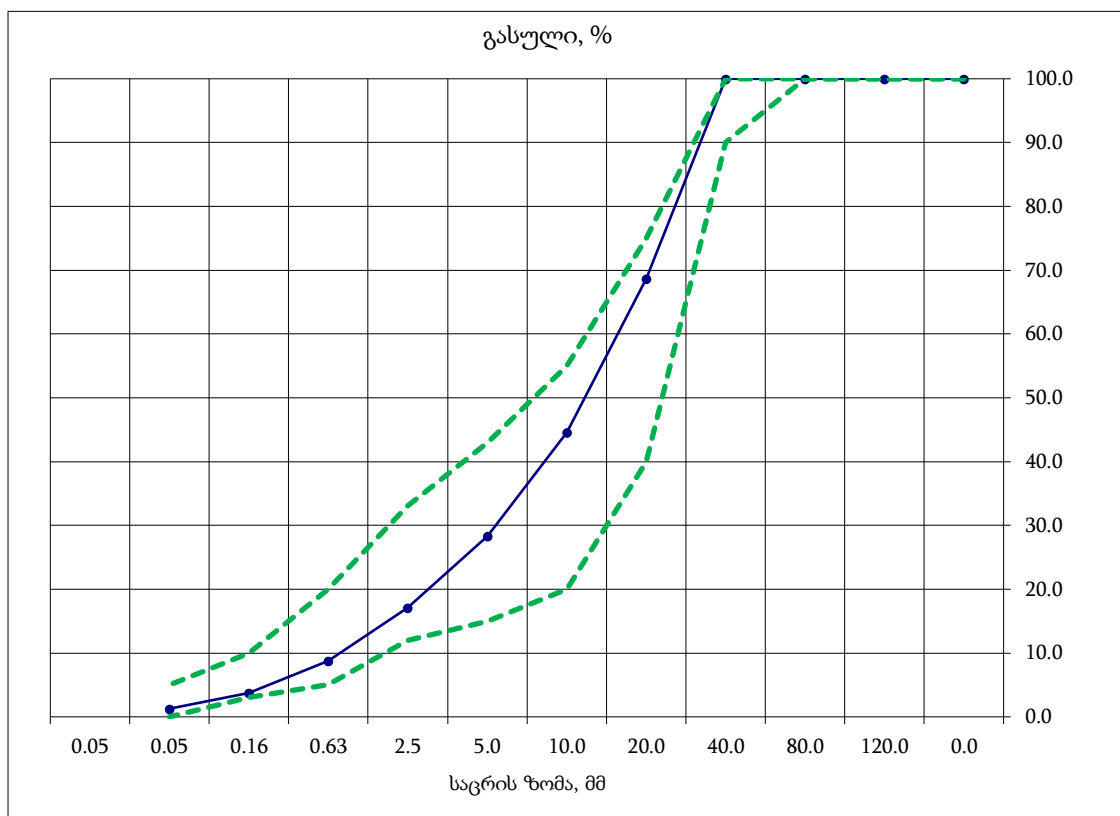
ნარჩენი სამრეწველო მასალების მეორადი გამოყენების მიზნით საჭირო გახდა

ჩვენს მიერ შემდეგი საბაზისო მასალების კვლევა:

ქვიშა-ლორლოვანი ნარევი (0-40 მმ)

ნიმუშების დამზადებამდე ქვიშა-ლორლოვანი ნარევი გამოიცადა ლაბორატორიულ პირობებში ძირითადი ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების დასადგენად. ცდის შედეგები მოცემულია ცხრილის სახით.

აღებული ნიმუშის საცრული ანალიზის მიხედვით განისაზღვრა ქვიშა-ლორლოვანი ნარევის მარცვლოვანი შემადგენლობა, რომელიც აკმაყოფილებს გოსტ 25607-2009-C5-ის მოთხოვნებს.



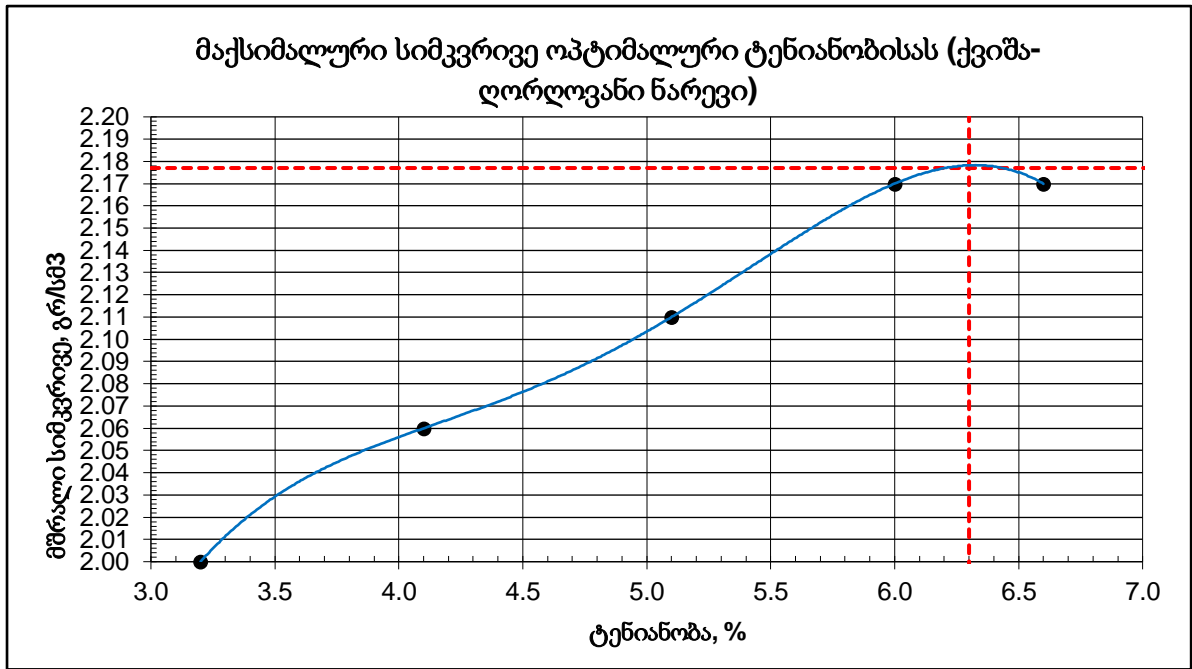
ნახ.12. ქვიშა-ლორლოვანი ნარევის გრანულომეტრიის გრაფიკი

MATEST-ის ფირმის პროქტორის სატკეპნ აპარატზე ცდის სტანდარტ EN 13286-2-ის მიხედვით ჩატარდა ცდა, რომლის მიხედვითაც დავადგინეთ ნარევის მაქსიმალური სიმკვრივის მაჩვენებელი („პროქტორის მაჩვენებელი“), რომელიც დამოკიდებულია ოპტიმალურ ტენიანობაზე.



ნახ.13. ქვიშა-ლორლოვანი ნარევის გამოცდა პროექტორზე

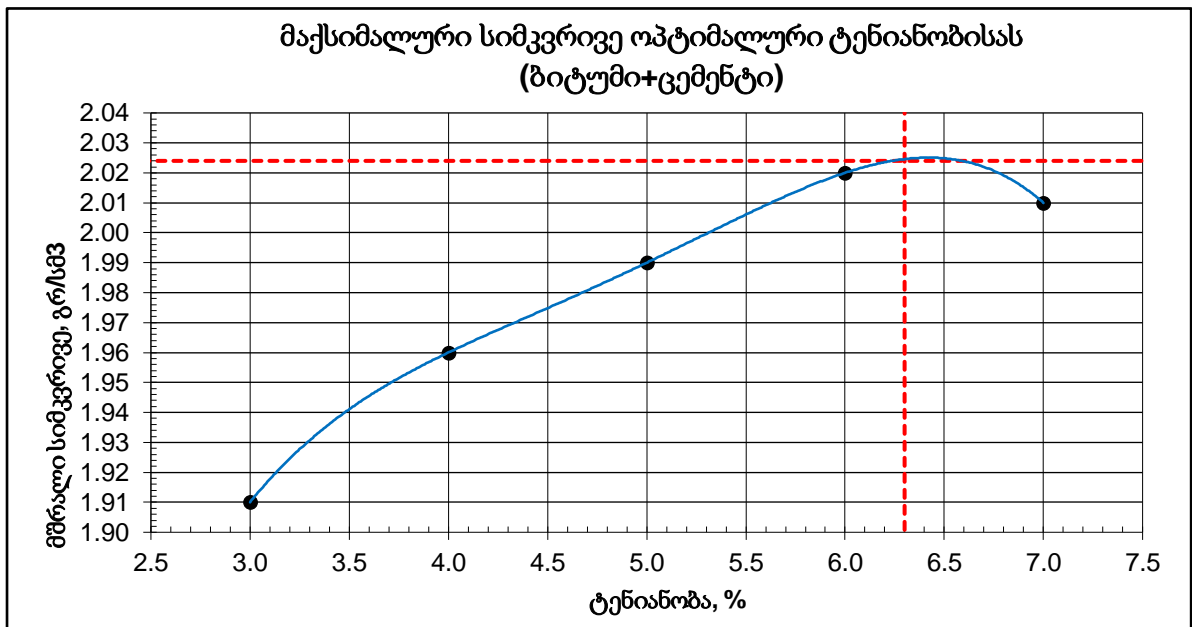
ცდის მიმდინარეობა შემდეგია: ქვიშა-ლორლოვანი ნარევი გამოვაშრეთ სპეციალურ საშრობ ღუმელში 110°C -ზე. მასალის მუდმივ წონამდე მიყვანის შემდეგ ნარევის დაფუძვლას წყალი საფეხურებრივად და ვტკეპნიდით ცილინდრული ფორმის ყალიბში, დიამეტრით 150 მმ. ყოველი შემკვრივების შემდეგ ვწონით ნიმუშს, ტენიანი სიმკვრივის დასადგენად. ამავდროულად, ვსაზღვრავდით ნიმუშის მშრალ სიმკვრივეს. ცდა მიმდინარეობდა იქამდე, სანამ არ მივაღწიეთ მაქსიმალურ მშრალ სიმკვრივეს. ცდები ჩატარდა სხვადასხვა შემადგენლობის ნარევებზე.



მაქსიმალური მშრალი სიმკვრივე, გრ/სმ³	2.177	წყლის ოპტიმალური შემცველობა, %	6.3
--------------------------------------	-------	--------------------------------	-----

ნახ.14. მაქსიმალური სიმკვრივე ოპტიმალური ტენიანობისას (ქვიშა-ლორღოვანი ნარევი)

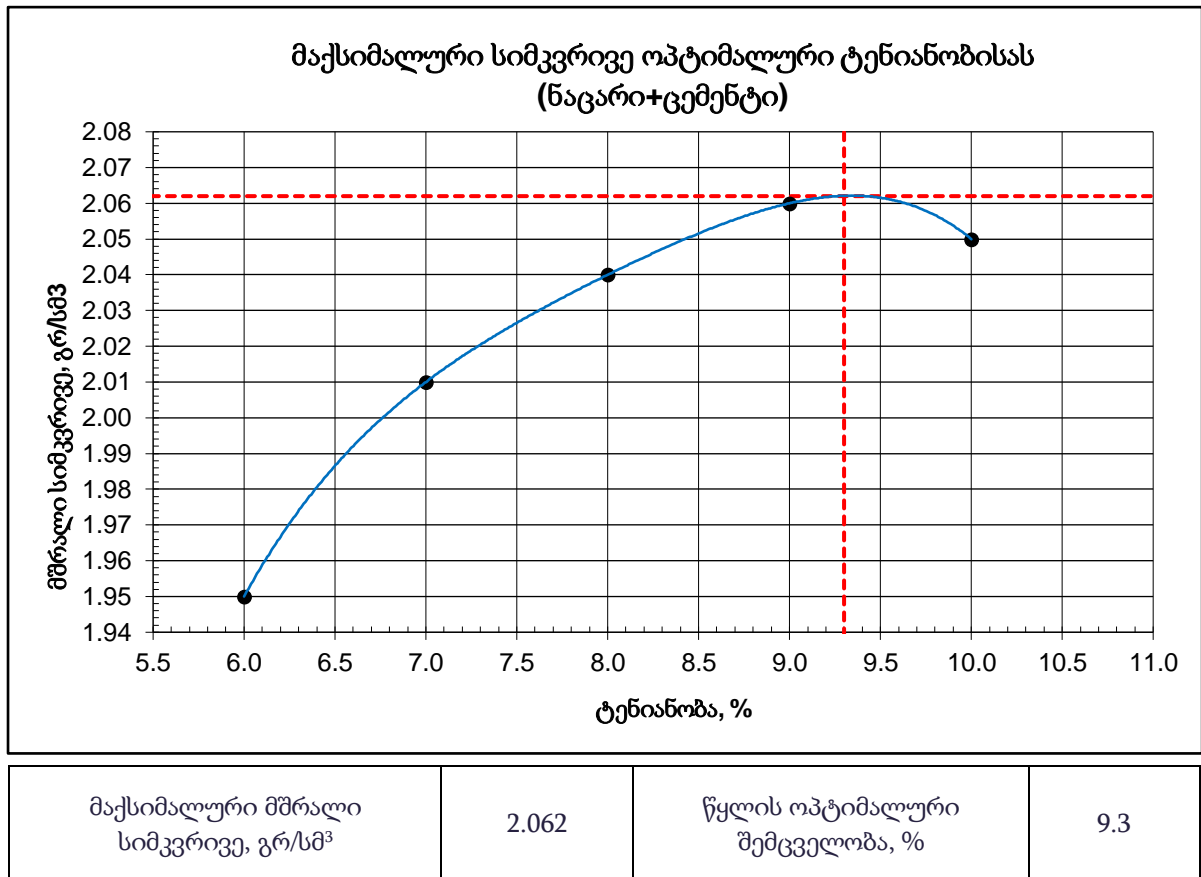
ქვიშა-ლორღოვან ნარევის დაფუძნებით ბიტუმი და ცემენტი. გავიმეორეთ იგივე პროცედურა ნარევის ოპტიმალური ტენიანობის დასადგენად.



მაქსიმალური მშრალი სიმკვრივე, გრ/სმ³	2.024	წყლის ოპტიმალური შემცველობა, %	6.3
--------------------------------------	-------	--------------------------------	-----

ნახ.15. მაქსიმალური სიმკვრივე ოპტიმალური ტენიანობისას (ბიტუმი+ცემენტის ნარევი)

ქვიშა-ლორღოვან ნარევეს დავუმატეთ ნაცარი და ცემენტი. გავიმეორეთ იგივე პროცედურა ნარევის ოპტიმალური ტენიანობის დასადგენად.



ნახ.16. მაქსიმალური სიმკვრივე ოპტიმალური ტენიანობისას (ნაცარი+ცემენტის ნარევი)

CBR (კალიფორნიის რიცხვითი მაჩვენებელი) ერთ-ერთი მთავარი პარამეტრია მასალის მდგრადობის დასადგენად, ამიტომ ჩატარდა ცდა კალიფორნიის რიცხვის მაჩვენებლის განსასაზღვრად. მასალის მზიდუნარიანობა ვერტიკალური ძალების მიმართ დადგინდა EN 13286-47-ის მიხედვით.

მაქსიმალურ სიმკვრივის მისაღებად ოპტიმალური ტენიანობის გათვალისწინებით, დავამზადეთ ცილინდრული ფორმის ნიმუშები გამოსაცდელად, დიამეტრით 150 მმ.

დაყალიბების შემდეგ ნიმუშები მოვათავსეთ წყალში, გაჯირჯვების განსაზღვრისათვის 96 საათით. მითითებული ვადის გასვლის შემდეგ ნიმუშები გამოვცადეთ MATEST-ის ფორმის 50 კნ-იან CBR-ის წნეხზე.



ნახ.17. ნიმუშების გამოცდა

ა) გაჯირჯვებაზე ბ) გამოცდა CBR დანადგარზე

მიღებული მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილის სახით.

კალიფორნიის რიცხვი სხვადასხვა ნარევისათვის.

ცხრილი 2.

ნარევი	კალიფორნიის რიცხვი წყალგაჯერებით, %
ქვიშა-ლორღვანი ნარევი (0-40 მმ.)	71
ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) +2% ბიტუმი +4 % ცემენტი (M300) +6.3% წყალი.	118
ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) +12% ნაცარი +4 % ცემენტი (M300) +9.3% წყალი.	127

ქვიშა-ლორღოვანი ნარევის (0-40 მმ) გამოცდა და პარამეტრები.

ცხრილი 3.

N	საკვლევო პარამეტრი	ცდის სტანდარტი	გამოცდის შედეგი
1	მაქსიმალური მშრალი სიმკვრივე, გრ/სმ ³	EN 13286-2	2.177
2	ოპტიმალური ტენიანობა, %	EN 13286-2	6.3
3	ნემსისებრი და ფირფიტისებრი ნაწილაკების შემცველობა, %	EN 933-4	18
4	ჭეშმარიტი სიმკვრივე, გრ/სმ ³	EN 1097-6	2.69
5	წყალშთანთქმა, %	EN 1097-6	1.10
6	პლასტიურობის რიცხვი, %	ISO TS 17892-12	0
7	ყინვამედეგობა, %	EN 1367-2	1
8	დამტვრეული ნაწილაკების შემცველობა, %	EN 933-5	65
9	ცვეთამედეგობა, %	EN 1097-2	14
10	კალიფორნიის რიცხვი (CBR), %	EN 13286-47	71

ნაცარი

ნაცრისათვის განისაზღვრა ქიმიური შემადგენლობა, რომლის მაჩვენებლებიც მოცემულია ცხრილში:

ნაცრის ქიმიური გამოცდის შედეგები.

ცხრილი 4.

#	ტენიანობა	ხურებითი დანაკარგი LOI	SO ₃	S	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	ორგანული ნივთიერებები
1	0.73	5.82	0.23	0.11	1.5	0.7	0.80	0.21	0.54

ბიტუმი, ცემენტი

რადგან აღნიშნულ მასალებს აქვთ შესაბამისი სერტიფიკატები, მათი დამატებითი გამოცდა ლაბორატორიაში არ ჩატარებულა. ნარევებში გამოყენებულია საგზაო ბიტუმი БНД 60/90 და ცემენტი მარკით M300 და M400.

2.2. ოპტიმალური შემადგენლობების დადგენა სხვადასხვა ტიპის საფუძვლის სტაბილიზირებული ფენებისათვის

საქართველოს საავტომობილო გზების მოწყობის პრაქტიკაში ფართოდაა გავრცელებული საფუძვლის ფენის სტაბილიზაცია ცემენტისა და ბიტუმის გამოყენებით, რაც თავის მხრივ, საკმაო ფინანსურ ხარჯებთანაა დაკავშირებული.

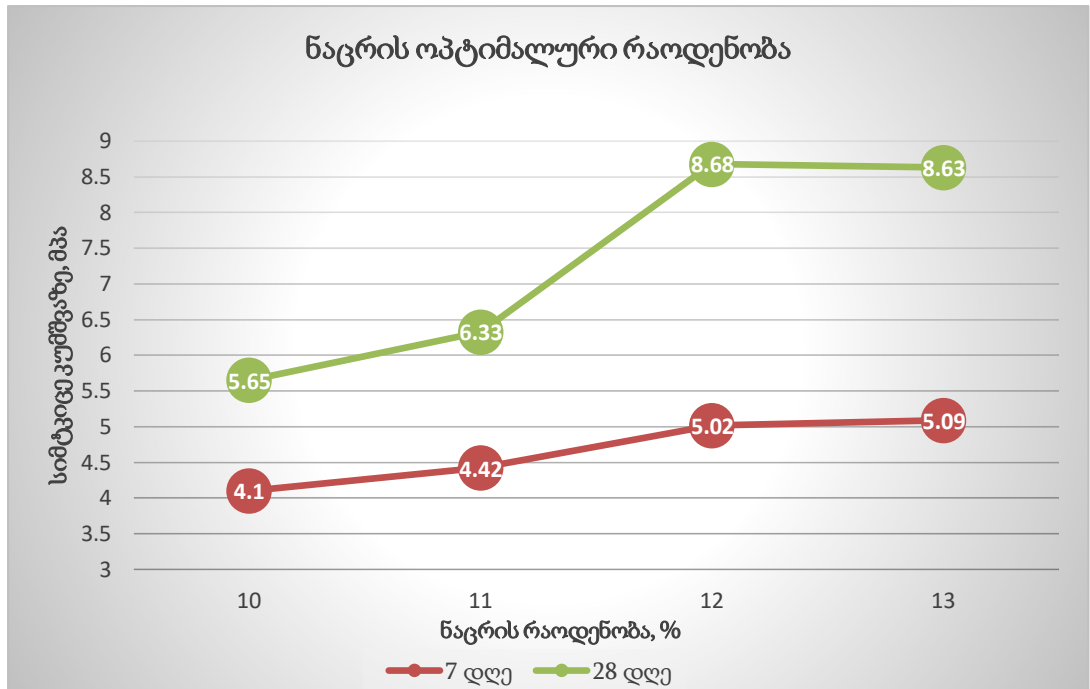
ქვიშა-ლორღვანი მასალის სრულყოფილი გამოცდის შედეგების გათვალისწინებით, ლაბორატორიულ პირობებში ჩვენი მიზანი იყო დაგვედგინა ნაცრის ოპტიმალური რაოდენობა ნარევი, ბიტუმის ჩანაცვლებისას. ამისთვის, ნაცრის გამოყენებით დამზადდა 4 სხვადასხვა შემადგენლობის ნარევი, კერძოდ:

- ნარევი N1 - ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) +10% ნაცარი +4 % ცემენტი (M300)
- ნარევი N2 - ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) +11% ნაცარი +4 % ცემენტი (M300)
- ნარევი N3 - ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) +12% ნაცარი +4 % ცემენტი (M300)
- ნარევი N4 - ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) +13% ნაცარი +4 % ცემენტი (M300)

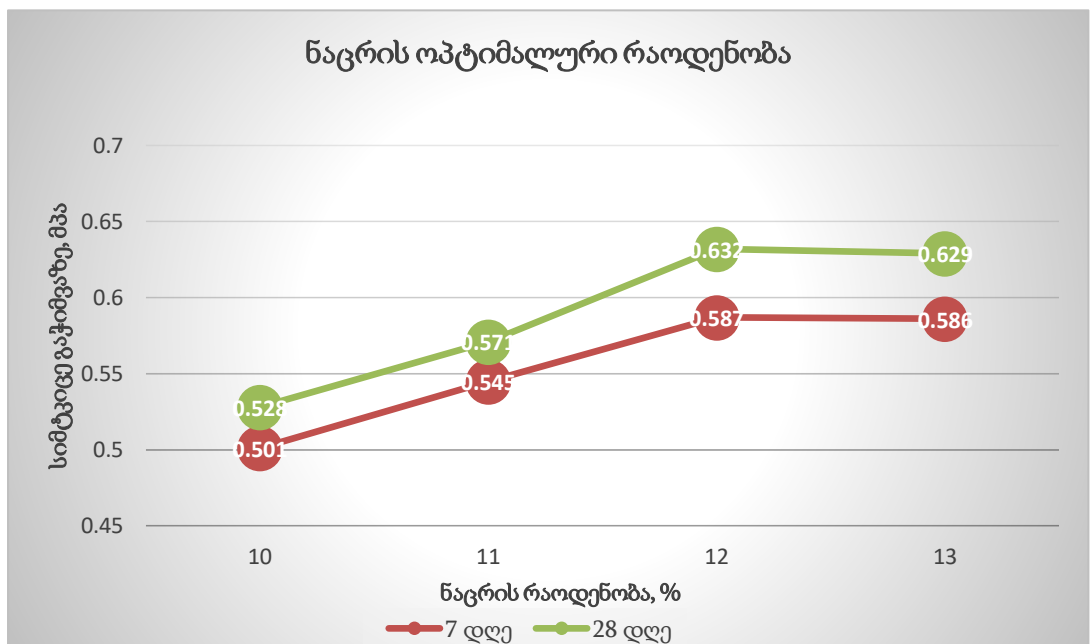
სტაბილიზირებული ნიმუშები გამოიცადა სტანდარტის შესაბამისად 7 დღეზე და 28 დღეზე. კუმშვა გამოიცადა სტანდარტ EN 13286-41-ის, ხოლო არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე სტანდარტ EN 13286-42-ის მიხედვით. ცდების შედეგები მოცემულია ცხრილში.

#	სტაბილიზირებული ნარევი	ნიმუშის დიამეტრი მმ.	ნიმუშის სიმაღლე, მმ.	სიმტკიცე კუმშვაზე		არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე	
				7 დღე, მკა	28 დღე, მკა	7 დღე, მკა	28 დღე, მკა
1	ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) +10% ნაცარი +4 % ცემენტი (M300)	150	119	4.14	5.59	0.510	0.531
2			121	4.05	5.71	0.492	0.525
საშუალო მაჩვენებელი				4.10	5.65	0.501	0.528
3	ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) +11% ნაცარი +4 % ცემენტი (M300)		119	4.36	6.22	0.537	0.578
4			120	4.47	6.43	0.553	0.564
საშუალო მაჩვენებელი				4.42	6.33	0.545	0.571
5	ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) +12% ნაცარი +4 % ცემენტი (M300)		119	4.96	8.62	0.581	0.625
6			120	5.08	8.74	0.592	0.639
საშუალო მაჩვენებელი				5.02	8.68	0.587	0.632
7	ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) +13% ნაცარი +4 % ცემენტი (M300)		120	5.11	8.57	0.589	0.633
8		120	5.07	8.68	0.583	0.624	
საშუალო მაჩვენებელი			5.09	8.63	0.586	0.629	

ცდების შედეგად დავადგინეთ, რომ საუკეთესო მაჩვენებლების მქონეა ნარევი N3 - ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) +12% ნაცარი +4 % ცემენტი (M300).



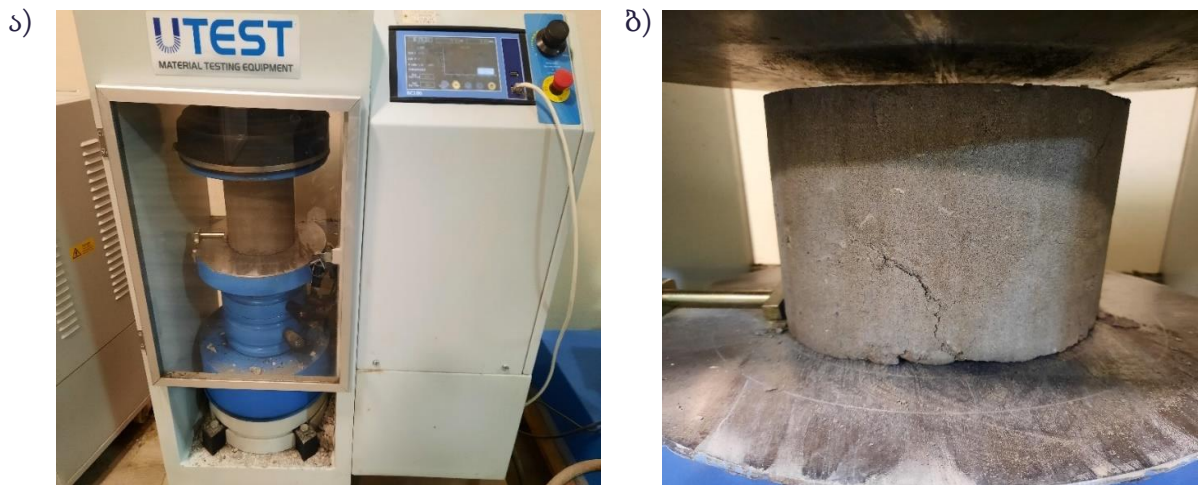
ნახ.18. ნარეგების გამოცდის შედეგები კუმშვის სიმტკიცეზე



ნახ.19. ნარეგების გამოცდის შედეგები არაპირდაპირ სიმტკიცეზე

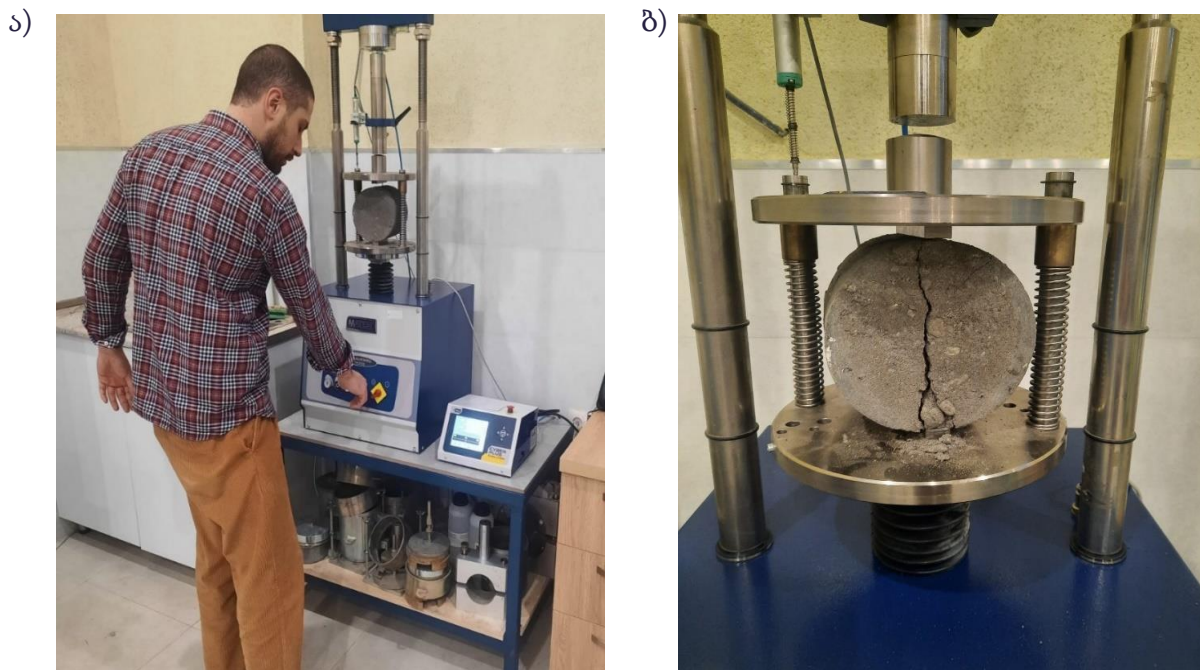
კვლევებით დავადგინეთ ნაცრის ოპტიმალური რაოდენობა, რომელმაც ჩვენს შემთხვევაში შეადგინა 12%, რადგან ნაცრის შემცველობის 12%-იანმა ნარეგმა ყველაზე კარგი შედეგები აჩვენა, როგორც კუმშვაზე ისე გაჭიმვაზე. 12%-იანი და 13%-იანი ნარეგები თითქმის იდენტურია, ამიტომ ჩვენთვის პრიორიტეტულია უფრო ნაკლები ნაცრის გამოყენება. 12%-ზე მეტი ნაცრის მიცემა ნარეგში არანაირ დადებით ეფექტს აღარ გვაძლევს და პირიქით, თუ მეტ ნაცარს მივცემთ, გაიზრდება

ხარჯი, ასევე დაიკლებს სიმკვრივე და შესაბამისად სიმტკიცეც, გაიზრდება წყალმოთხოვნა, რაც პირდაპირ ისახება საგზაო კონსტრუქციაში მისი გამოყენების შემდეგ ამტანუნარიანობაზე უარყოფით გავლენაზე.



ნახ.20. გამოცდის მიმდინარეობა

ა) გამოცდა კუმშვაზე - გამოცდამდე ბ) გამოცდის შემდეგ



ნახ.21. გამოცდა გაჭიმვაზე

ა) ნიმუშის მოთავსება დანადგარში ბ) ნიმუში გამოცდის შემდეგ

ქვიშა-ლორღოვან ნარევი ნაცრის ოპტიმალური შემცველობის დადგენის შემდეგ დამზადდა ორი სახის ნარევი სხვადასხვა მარკის ცემენტის გამოყენებით:

- ნარევი N1 - ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ) +12% ნაცარი +4 % ცემენტი (M300)
- ნარევი N2 - ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ) +12% ნაცარი +4 % ცემენტი (M400)

აღნიშნული ნარევებიც კუმშვაზე გამოცადა სტანდარტ EN 13286-41-ის, ხოლო არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე სტანდარტ EN 13286-42-ის მიხედვით. ცდების შედეგები მოცემულია ცხრილში.

ნარევების გამოცდის შედეგები კუმშვასა და არაპირდაპირ სიმტკიცეზე. ცხრილი 6.

#	სტაბილიზირებული ნარევი	ნიმუშის დიამეტრი მმ.	ნიმუშის სიმაღლე, მმ.	სიმტკიცე კუმშვაზე		არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე	
				7 დღე, მპა	28 დღე, მპა	7 დღე, მპა	28 დღე, მპა
1	ქვიშა-ლორდი (0-40 მმ.) +12% ნაცარი +4 % ცემენტი (M300)	150	121	4.96	8.62	0.581	0.625
2			120	5.08	8.74	0.592	0.639
საშუალო მაჩვენებელი				5.02	8.68	0.587	0.632
3	ქვიშა-ლორდი (0-40 მმ.) +12% ნაცარი +4 % ცემენტი (M400)		119	5.36	8.92	0.615	0.648
4			120	5.45	9.07	0.623	0.642
საშუალო მაჩვენებელი				5.41	9.00	0.619	0.645

კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ M300 მარკის ცემენტის გამოყენების შემთხვევაში დამზადებული ნიმუშის სიმტკიცე უმნიშვნელოდ ნაკლებია M400 მარკის გამოყენებისას. აქედან გამომდინარე, ოპტიმალურ ვარიანტად მიგვაჩნია ნარევი M300 მარკის ცემენტის გამოყენება - შედარებით დაბალი მარკის ცემენტით მოწყობილი საგზაო საფარის ზედაპირი ბზარწარმოქმნის მიმართ უფრო მდგრადია. ასევე დაბალი მარკის ცემენტის გამოყენება უმჯობესია ეკონომიური (სიიაფის) თვალსაზრისითაც.

საფუძვლის ფენის სტაბილიზაციის შემდეგ მისი საექსპლუატაციო ვადა დაახლოებით შეადგენს 30-40 წელს, შეკეთების გარეშე. ეს საშუალებას გვაძლევს დავზოგოთ ფინანსები და საექსპლუატაციო პერიოდში საჭიროა შეიცვალოს

მხოლოდ საფარის ფენა. სტაბილიზირებული ფენა განიცდის შედარებით ნაკლებ ჯდენებს, ვიდრე ჩვეულებრივი, ქვიშა-ლორღისაგან მოწყობილი საფუძველი.

2.3. ოპტიმალური შემადგენლობით მოწყობილი საფუძვლის ფენების გამოცდა საველე პირობებში

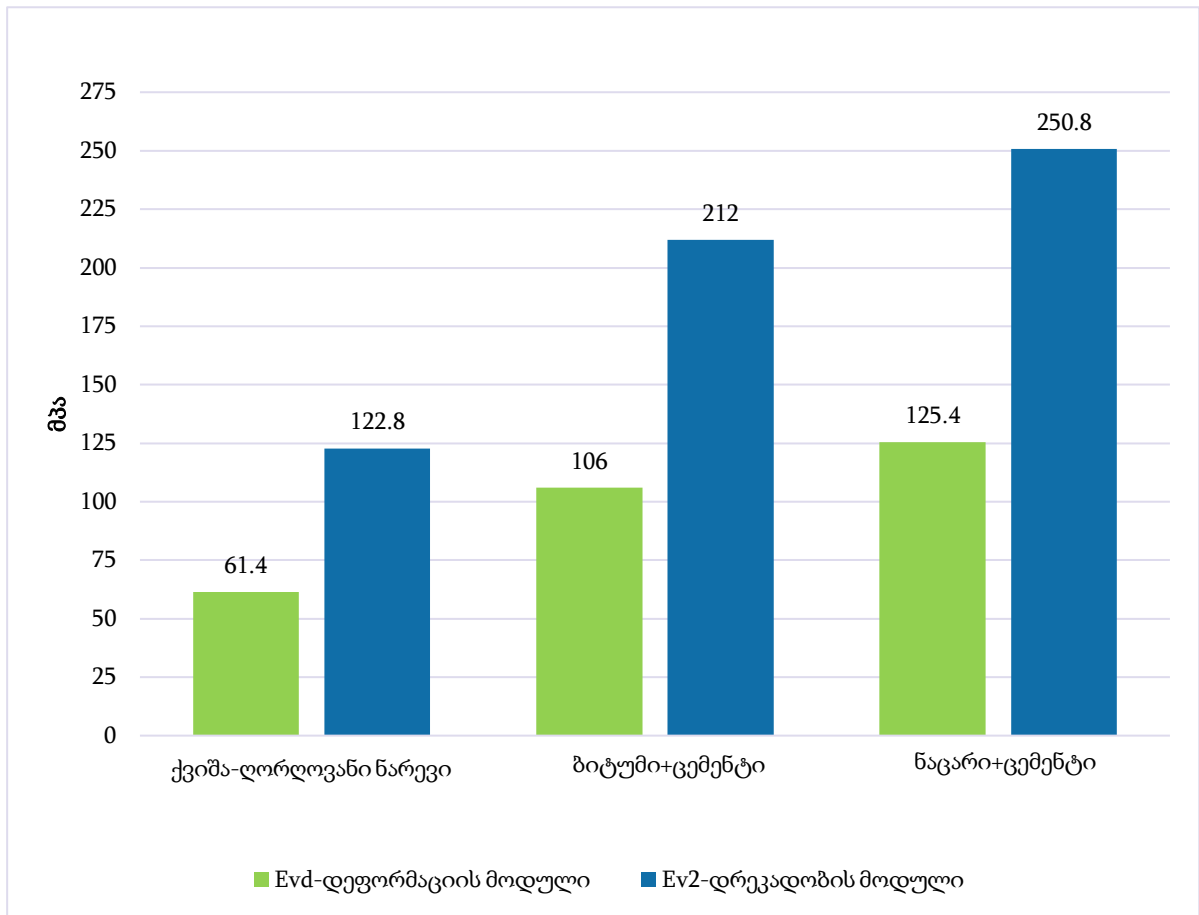
საველე პირობებში, ბაკურციხე-გურჯაანის საავტომობილო გზაზე საცდელ მონაკვეთებად ჩვენს მიერ შემუშავებული ნარევებით მოეწყო საფუძვლის ფენები, რომლებზეც მომანდაკება-დატკეპნის შემდგომ განისაზღვრა დინამიური დეფორმაციის მოდული.

განსაზღვრისათვის გამოყენებულ იქნა TERRATEST-ის ფირმის 6000 BLE მოდელის ხელსაწყო (გამოცდის სტანდარტი TP BF-STB Part B 8.3), რომლის მეშვეობითაც საგამოცდო მონაკვეთის ყოველ 20 მეტრში შემოწმდა დინამიური დეფორმაციის მოდული და მოხდა ანათვლების აღება, რაოდენობით 10 ცალი.

დინამიური დეფორმაციის მოდულის განსაზღვრა. ცხრილი 7.

ტესტი	ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.)		ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) +2% ბიტუმი +4 % ცემენტი (M300)		ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) +12% ნაცარი +4 % ცემენტი (M300)	
	Evd (მნ/მ²)	Ev2 (მნ/მ²)	Evd (მნ/მ²)	Ev2 (მნ/მ²)	Evd (მნ/მ²)	Ev2 (მნ/მ²)
1	65.1	130.2	107.8	215.6	131.9	263.8
2	68.9	137.8	97.3	194.6	142.7	285.4
3	56.7	113.4	90.6	181.2	120.6	241.2
4	59.8	119.6	111.6	223.2	115.9	231.8
5	54.8	109.6	108.5	217.0	136.0	272.0
6	62.6	125.2	88.3	176.6	107.2	214.4
7	53.5	107	118.1	236.2	126.1	252.2
8	71.3	142.6	109.7	219.4	155.9	311.8
9	63.9	127.8	124.9	249.8	103.2	206.4
10	57.2	114.4	103.4	206.8	114.8	229.6
საშუალო	61.4	122.8	106.0	212.0	125.4	250.8

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე ნაცრით და ცემენტით მომზადებული საფუძვლის ფენის დეფორმაციის და დრეკადობის მოდული 2.04-ჯერ უფრო მეტია სტანდარტული ქვიშა-ლორღოვანი ნარევის საფუძველთან შედარებით. ბიტუმისგან და ცემენტისგან მომზადებულ საფუძველთან შედარებით ნაცარი და ცემენტი 1.18-ჯერ უკეთესი შედეგი აჩვენა.



ნახ.22. მაჩვენებლების შედარების ცხრილი

კვლევის სრულყოფილი სურათს მისაღებად აგრეთვე განისაზღვრა სტატიკური დეფორმაციის მოდული (გამოცდის სტანდარტი DIN 18134).

ქვიშა-ლორღოვანი ნარევის საფუძვლის გამოცდა სტატიკური ფილის ტესტით. ცხრილი 8.

სტატიკური ფილის ტესტი										
სტანდარტი :	DIN 18134-2012		სტანდარტული ქვიშა-ლორღოვანი ნარევისგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი							
ფილის დიამეტრი, მმ			300							
კნ		კპა		1	2	1	2	1	2	
1.ციკლი	2.ციკლი	1.ციკლი	2.ციკლი	ციკლი	ციკლი	ციკლი	ციკლი	ციკლი	ციკლი	
				1		2		3		
2.83	2.83	10	10	0.035	0.321	0.045	0.341	0.029	0.357	
5.65	5.65	80	80	0.108	0.359	0.117	0.372	0.125	0.388	
11.31	11.31	160	160	0.181	0.371	0.196	0.413	0.187	0.429	
16.96	16.96	240	240	0.338	0.415	0.362	0.449	0.355	0.471	
22.62	22.62	320	320	0.449	0.617	0.469	0.639	0.459	0.657	
28.27	28.27	400	400	0.682	0.653	0.673	0.668	0.696	0.703	
31.61	31.61	450	450	0.742	0.694	0.714	0.713	0.759	0.742	
35.34		500		0.815		0.774		0.820		
17.87		250		0.782		0.751		0.757		
8.48		120		0.733		0.722		0.732		
ΔP1		240	ΔS1	0.501		0.477		0.509		
ΔP2		240	ΔS2	0.258		0.267		0.269		
Ev1=1,5*Rp*ΔP1/ΔS1,			Ev1	108		113		106		
Ev2=1,5*Rp*ΔP2/ΔS2			Ev2	209		202		201		
(Ev, MN/M2)			Ev2/Ev1	1.94		1.79		1.89		

საგამოცდო ადგილი N1:

დეფორმაციები გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta S1=0.682-0.181=0.501 \text{ მმ.}$$

$$\Delta S2=0.617-0.359=0.258 \text{ მმ.}$$

დეფორმაციის მოდული გამოითვლება ფორმულით:

$$Ev1=\frac{1.5*150*240*}{0.501*1000} \approx 108 \text{ მნ/მ2}$$

დრეკადობის მოდული გამოითვლება ფორმულით:

$$Ev2=\frac{1.5*150*240*}{0.258*1000} \approx 209 \text{ მნ/მ2}$$

საგამოცდო ადგილი N2:

დეფორმაციები შეადგენს:

$$\Delta S1=0.673-0.196=0.477 \text{ მმ.}$$

$$\Delta S2=0.639-0.372=0.267 \text{ მმ.}$$

დეფორმაციის მოდული შეადგენს:

$$E_{v1} = \frac{1.5 \cdot 150 \cdot 240}{0.477 \cdot 1000} \approx 113 \text{ მნ/მ}^2$$

დრეკადობის მოდული შეადგენს:

$$E_{v2} = \frac{1.5 \cdot 150 \cdot 240}{0.267 \cdot 1000} \approx 202 \text{ მნ/მ}^2$$

საგამოცდო ადგილი N3:

დეფორმაციები შეადგენს:

$$\Delta S1 = 0.696 - 0.187 = 0.509 \text{ მმ.}$$

$$\Delta S2 = 0.657 - 0.388 = 0.269 \text{ მმ.}$$

დეფორმაციის მოდული შეადგენს:

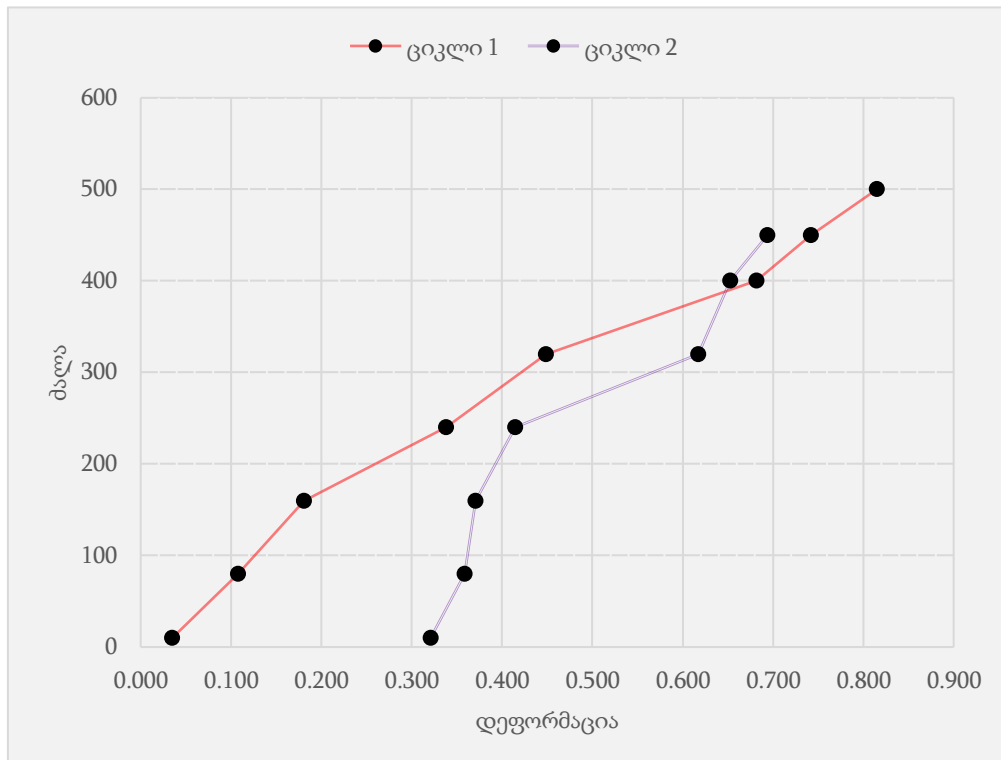
$$E_{v1} = \frac{1.5 \cdot 150 \cdot 240}{0.509 \cdot 1000} \approx 106 \text{ მნ/მ}^2$$

დრეკადობის მოდული შეადგენს:

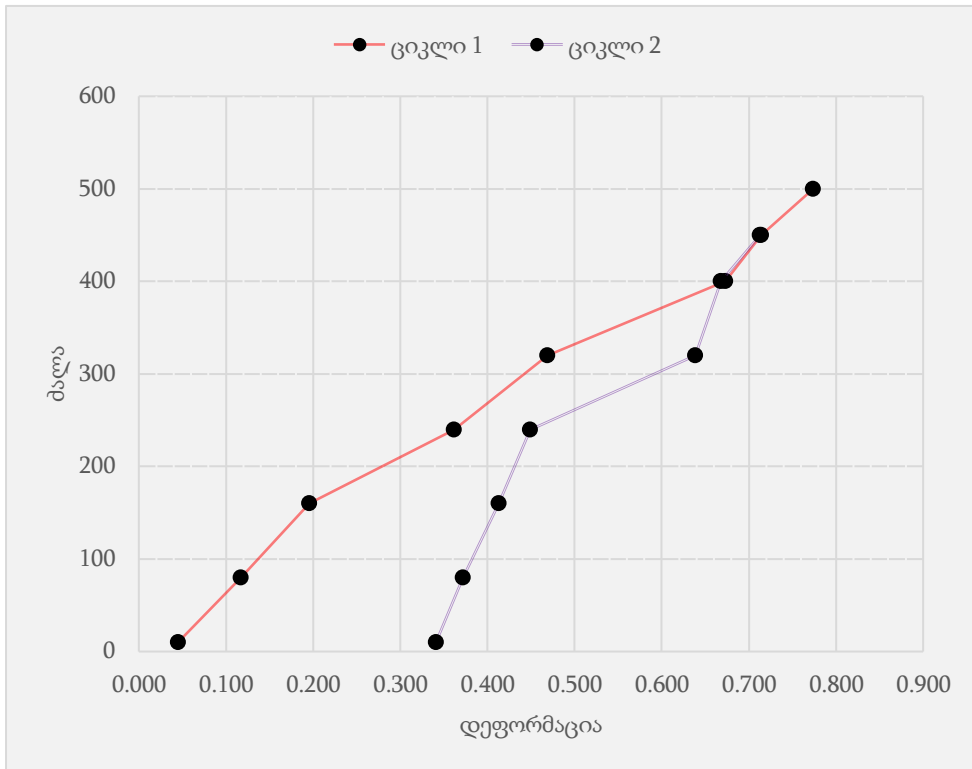
$$E_{v2} = \frac{1.5 \cdot 150 \cdot 240}{0.269 \cdot 1000} \approx 201 \text{ მნ/მ}^2$$

საშუალო დეფორმაციის მოდული $E_{v1} = \frac{108 + 113 + 106}{3} \approx 109 \text{ მნ/მ}^2$

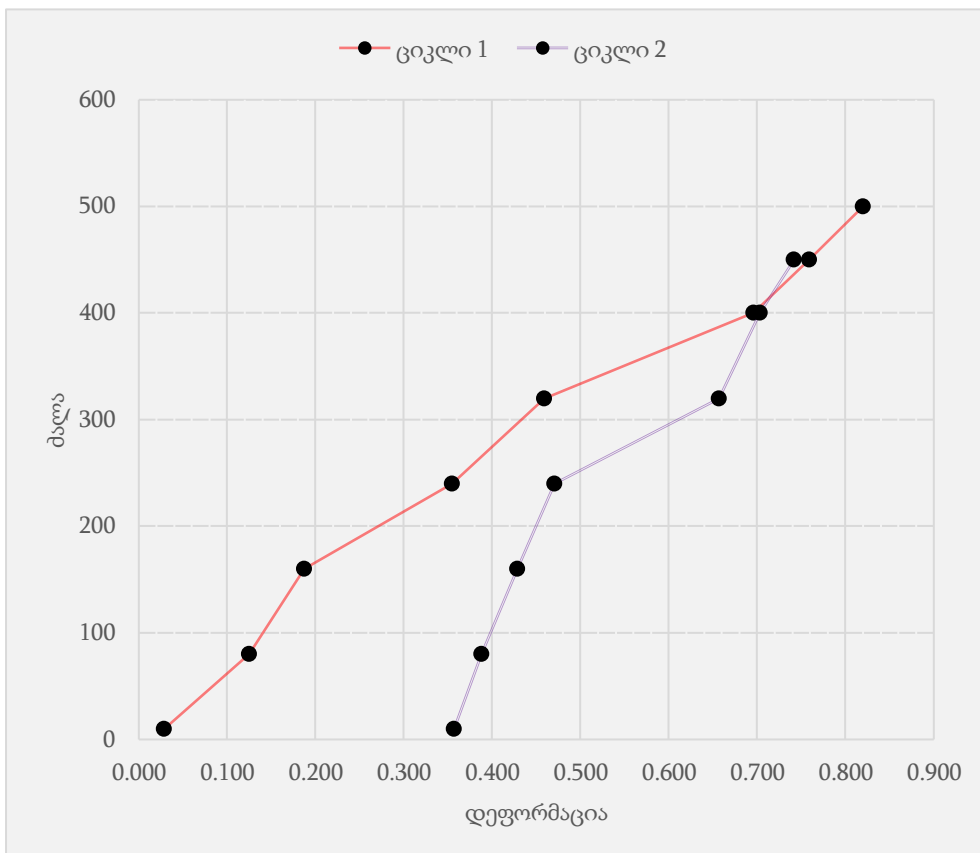
საშუალო დრეკადობის მოდული $E_{v2} = \frac{209 + 202 + 201}{3} \approx 204 \text{ მნ/მ}^2$



ნახ.23. ქვიშა-ლორღისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N1



ნახ.24. ქვიშა-ლორღისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N2



ნახ.25. ქვიშა-ლორღისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N3

სტატიკური დეფორმაციის მოდული - ბიტუმით და ცემენტით მომზადებული საფუძვლის ფენა.

ცემენტისა და ბიტუმის დანამატით სტაბილიზირებული ქვიშა-ლორღოვანი ნარევით მომზადებული საფუძვლის გამოცდა სტატიკური ფილის ტესტით. ცხრილი 9.

სტატიკური ფილის ტესტი										
სტანდარტი:	DIN 18134-2012		ცემენტისა და ბიტუმის ნარევისგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი							
ფილის დიამეტრი, მმ			300							
კნ		კპა		1	2	1	2	1	2	
1.ციკლი	2.ციკლი	1.ციკლი	2.ციკლი	ციკლი	ციკლი	ციკლი	ციკლი	ციკლი	ციკლი	
				1		2		3		
2.83	2.83	10	10	0.017	0.268	0.022	0.303	0.015	0.282	
5.65	5.65	80	80	0.076	0.301	0.085	0.311	0.077	0.307	
11.31	11.31	160	160	0.116	0.387	0.123	0.361	0.119	0.372	
16.96	16.96	240	240	0.184	0.435	0.203	0.412	0.194	0.427	
22.62	22.62	320	320	0.276	0.483	0.309	0.495	0.285	0.487	
28.27	28.27	400	400	0.508	0.529	0.531	0.521	0.503	0.526	
31.61	31.61	450	450	0.531	0.561	0.553	0.559	0.542	0.573	
35.34		500		0.589		0.603		0.596		
17.87		250		0.533		0.552		0.567		
8.48		120		0.478		0.505		0.515		
ΔP1		240	ΔS1	0.392		0.408		0.384		
ΔP2		240	ΔS2	0.182		0.184		0.18		
Ev1=1,5*Rp*ΔP1/ΔS1,			Ev1	138		132		141		
Ev2=1,5*Rp*ΔP2/ΔS2			Ev2	297		293		300		
(Ev, MN/M2)			Ev2/Ev1	2.15		2.22		2.13		

საგამოცდო ადგილი N1:

დეფორმაციები შეადგენს:

$$\Delta S1=0.508-0.116=0.392 \text{ მმ.}$$

$$\Delta S2=0.483-0.301=0.182 \text{ მმ.}$$

დეფორმაციის მოდული შეადგენს:

$$Ev1=\frac{1.5*150*240*}{0.392*1000} \approx 138 \text{ მნ/მ}^2$$

დრეკადობის მოდული შეადგენს:

$$Ev2=\frac{1.5*150*240*}{0.182*1000} \approx 297 \text{ მნ/მ}^2$$

საგამოცდო ადგილი N2:

დეფორმაციები შეადგენს:

$$\Delta S1=0.531-0.123=0.408 \text{ მმ.}$$

$$\Delta S_2 = 0.495 - 0.311 = 0.184 \text{ მმ.}$$

დეფორმაციის მოდული შეადგენს:

$$E_{v1} = \frac{1.5 \cdot 150 \cdot 240}{0.408 \cdot 1000} \approx 132 \text{ მნ/მ}^2$$

დრეკადობის მოდული შეადგენს:

$$E_{v2} = \frac{1.5 \cdot 150 \cdot 240}{0.184 \cdot 1000} \approx 293 \text{ მნ/მ}^2$$

საგამოცდო ადგილი N3:

დეფორმაციები შეადგენს:

$$\Delta S_1 = 0.503 - 0.119 = 0.384 \text{ მმ.}$$

$$\Delta S_2 = 0.487 - 0.307 = 0.180 \text{ მმ.}$$

დეფორმაციის მოდული შეადგენს:

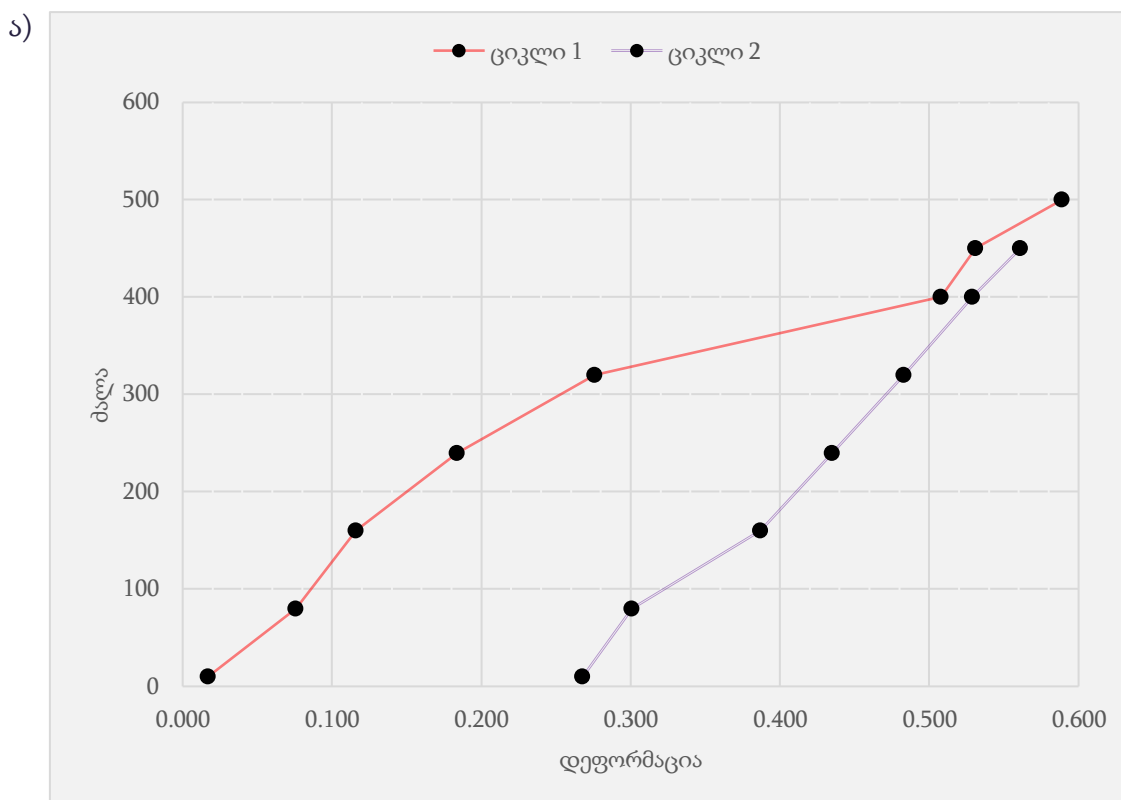
$$E_{v1} = \frac{1.5 \cdot 150 \cdot 240}{0.384 \cdot 1000} \approx 141 \text{ მნ/მ}^2$$

დრეკადობის მოდული შეადგენს:

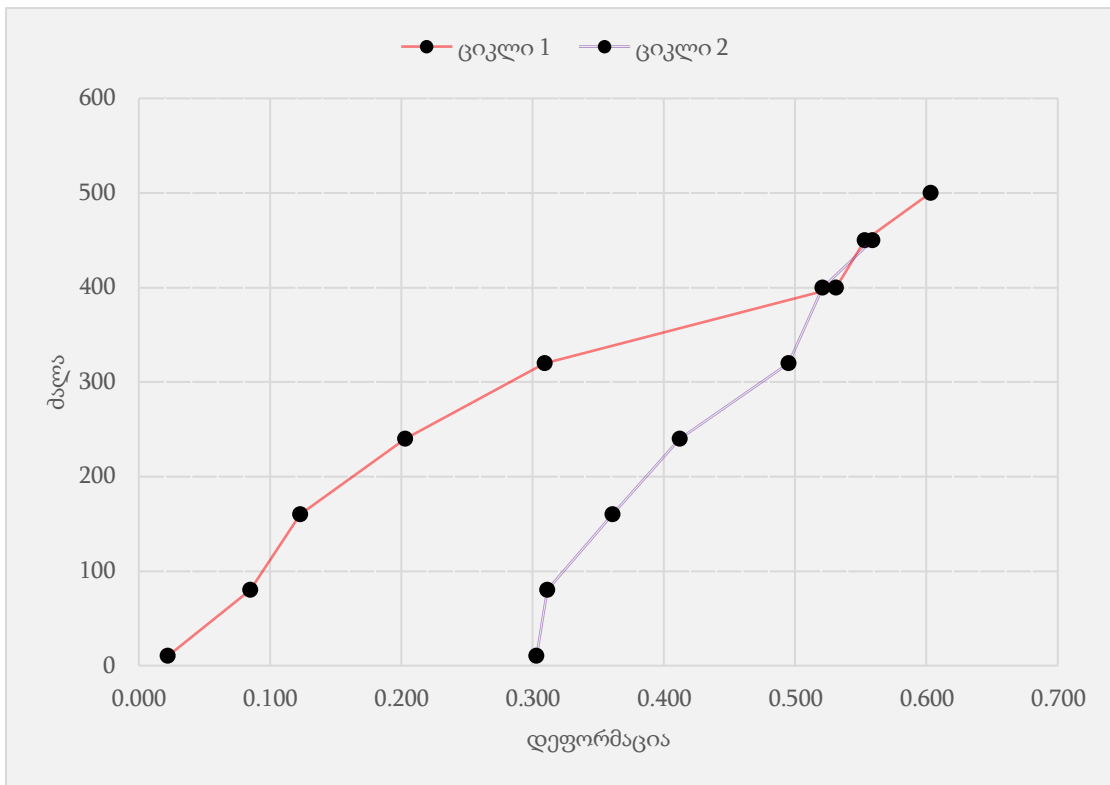
$$E_{v2} = \frac{1.5 \cdot 150 \cdot 240}{0.180 \cdot 1000} \approx 300 \text{ მნ/მ}^2$$

საშუალო დეფორმაციის მოდული $E_{v1} = \frac{138 + 132 + 141}{3} \approx 137 \text{ მნ/მ}^2$

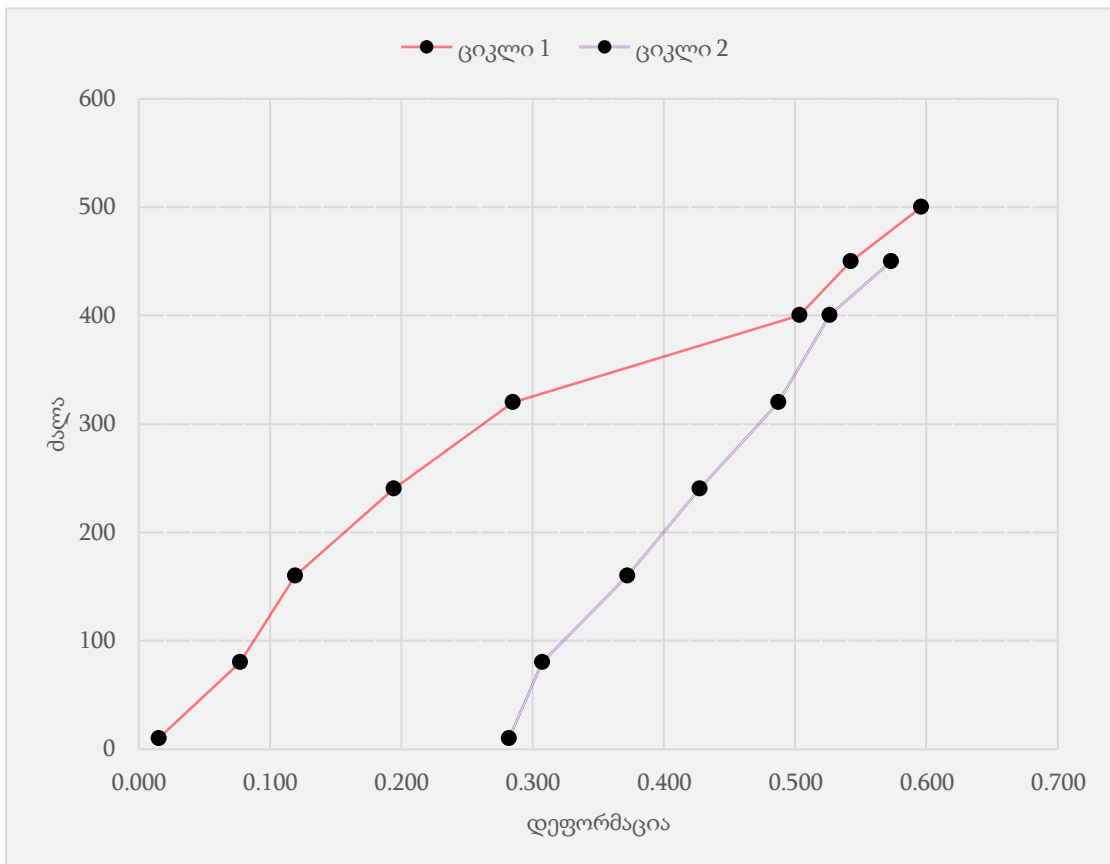
საშუალო დრეკადობის მოდული $E_{v2} = \frac{297 + 303 + 300}{3} \approx 297 \text{ მნ/მ}^2$



ნახ.26. ცემენტისა და ბიტუმისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N1



ნახ.27. ცემენტისა და ბიტუმისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N2



ნახ.28. ცემენტისა და ბიტუმისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N3

სტატიკური დეფორმაციის მოდული - ნაცრით და ცემენტით მომზადებული საფუძვლის ფენა

ცემენტისა და ნაცრის დანამატით სტაბილიზირებული ქვიშა-ლორღოვანი ნარევით მომზადებული საფუძვლის გამოცდა სტატიკური ფილის ტესტით. ცხრილი 10.

სტატიკური ფილის ტესტი									
სტანდარტი :	DIN 18134-2012			ცემენტისა და ნაცრის ნარევისგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი					
ფილის დიამეტრი, მმ				300					
კნ		კვა		1	2	1	2	1	2
1.ციკლი	2.ციკლი	1.ციკლი	2.ციკლი	ციკლი	ციკლი	ციკლი	ციკლი	ციკლი	ციკლი
				1		2		3	
2.83	2.83	10	10	0.012	0.252	0.008	0.245	0.010	0.257
5.65	5.65	80	80	0.066	0.292	0.061	0.284	0.063	0.296
11.31	11.31	160	160	0.097	0.371	0.092	0.350	0.095	0.368
16.96	16.96	240	240	0.161	0.415	0.153	0.391	0.157	0.421
22.62	22.62	320	320	0.253	0.432	0.237	0.423	0.258	0.437
28.27	28.27	400	400	0.431	0.497	0.413	0.521	0.422	0.515
31.61	31.61	450	450	0.509	0.539	0.494	0.559	0.519	0.560
35.34		500		0.558		0.531		0.569	
17.87		250		0.531		0.507		0.541	
8.48		120		0.492		0.483		0.503	
$\Delta P1$		240	$\Delta S1$	0.334		0.321		0.327	
$\Delta P2$		240	$\Delta S2$	0.14		0.139		0.141	
$E_{v1}=1.5 \cdot R_p \cdot \Delta P1 / \Delta S1,$			E_{v1}	162		168		165	
$E_{v2}=1.5 \cdot R_p \cdot \Delta P2 / \Delta S2$			E_{v2}	386		388		383	
$(E_v, MN/M^2)$			E_{v2}/E_{v1}	2.39		2.31		2.32	

საგამოცდო ადგილი N1:

დეფორმაციები შეადგენს:

$$\Delta S1=0.431-0.097=0.334 \text{ მმ.}$$

$$\Delta S2=0.432-0.292=0.140 \text{ მმ.}$$

დეფორმაციის მოდული შეადგენს:

$$E_{v1}=\frac{1.5 \cdot 150 \cdot 240}{0.334 \cdot 1000} \approx 162 \text{ მნ/მ}^2$$

დრეკადობის მოდული შეადგენს:

$$E_{v2}=\frac{1.5 \cdot 150 \cdot 240}{0.140 \cdot 1000} \approx 386 \text{ მნ/მ}^2$$

საგამოცდო ადგილი N2:

დეფორმაციები შეადგენს:

$$\Delta S1=0.413-0.092=0.321 \text{ მმ.}$$

$$\Delta S2=0.423-0.284=0.139 \text{ მმ.}$$

დეფორმაციის მოდული შეადგენს:

$$E_{v1}=\frac{1.5 \cdot 150 \cdot 240}{0.321 \cdot 1000} \approx 168 \text{ მნ/მ}^2$$

დრეკადობის მოდული შეადგენს:

$$E_{v2}=\frac{1.5 \cdot 150 \cdot 240}{0.139 \cdot 1000} \approx 388 \text{ მნ/მ}^2$$

საგამოცდო ადგილი N3:

დეფორმაციები შეადგენს:

$$\Delta S1=0.422-0.095=0.327 \text{ მმ.}$$

$$\Delta S2=0.437-0.296=0.141 \text{ მმ.}$$

დეფორმაციის მოდული შეადგენს:

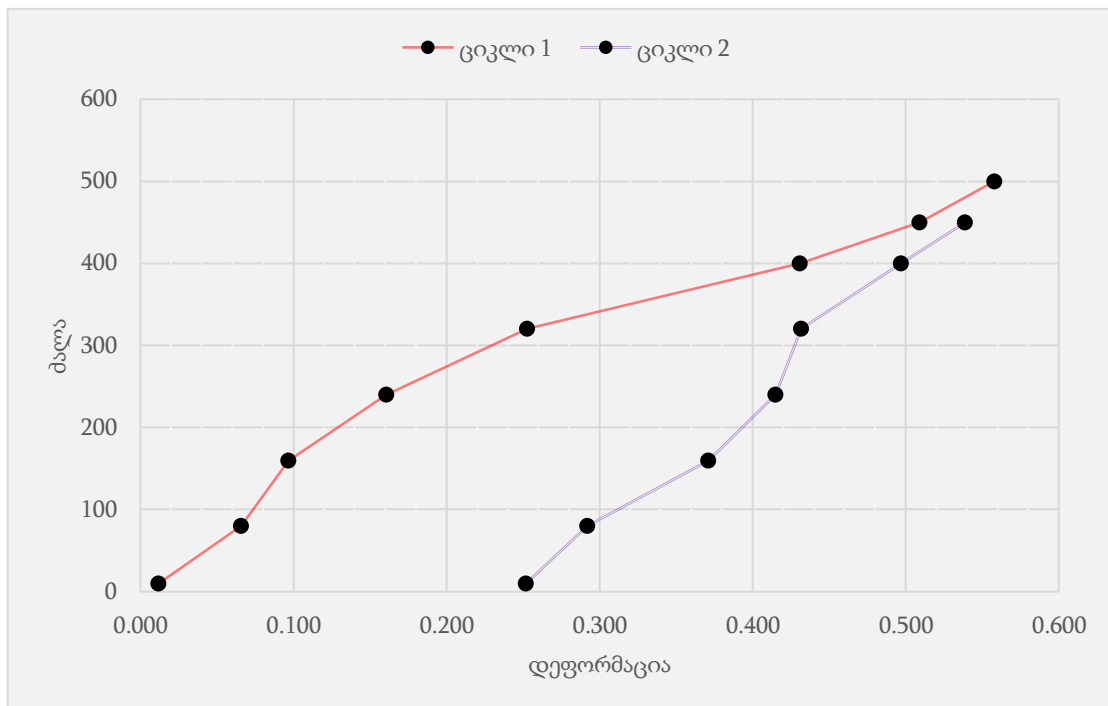
$$E_{v1}=\frac{1.5 \cdot 150 \cdot 240}{0.327 \cdot 1000} \approx 165 \text{ მნ/მ}^2$$

დრეკადობის მოდული შეადგენს:

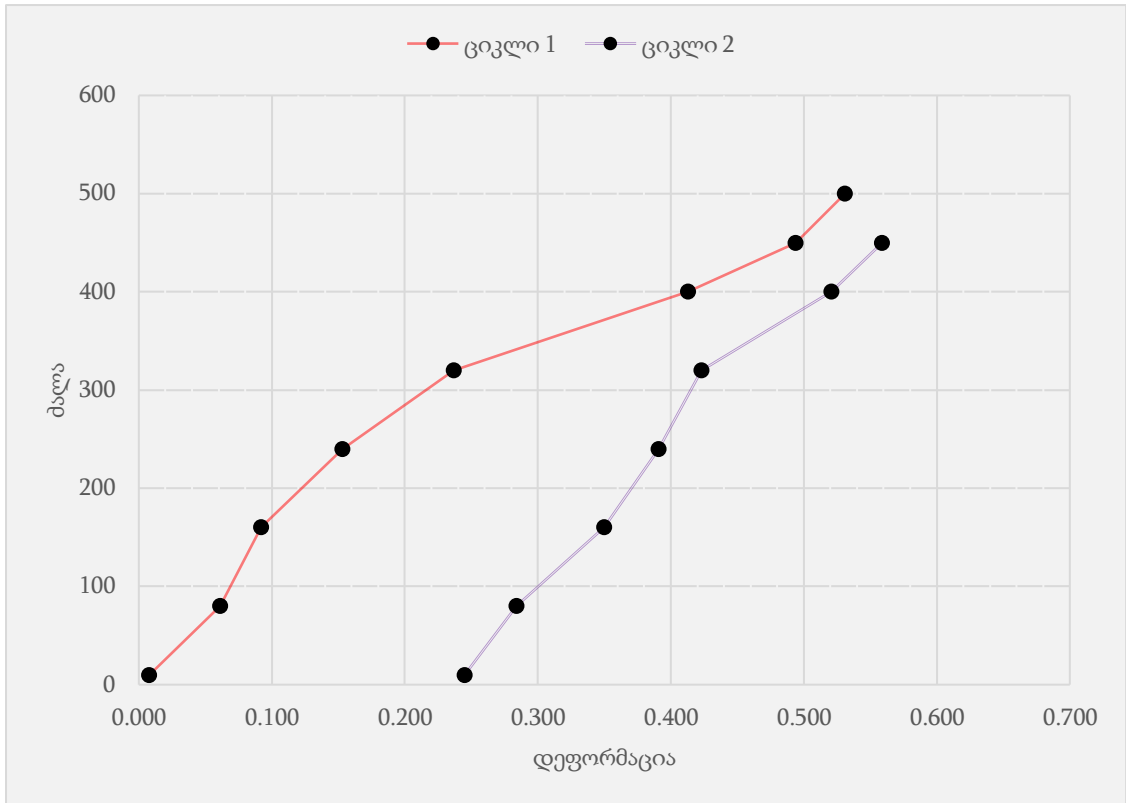
$$E_{v2}=\frac{1.5 \cdot 150 \cdot 240}{0.141 \cdot 1000} \approx 383 \text{ მნ/მ}^2$$

საშუალო დეფორმაციის მოდული $E_{v1}=\frac{162+168+165}{3} \approx 165 \text{ მნ/მ}^2$

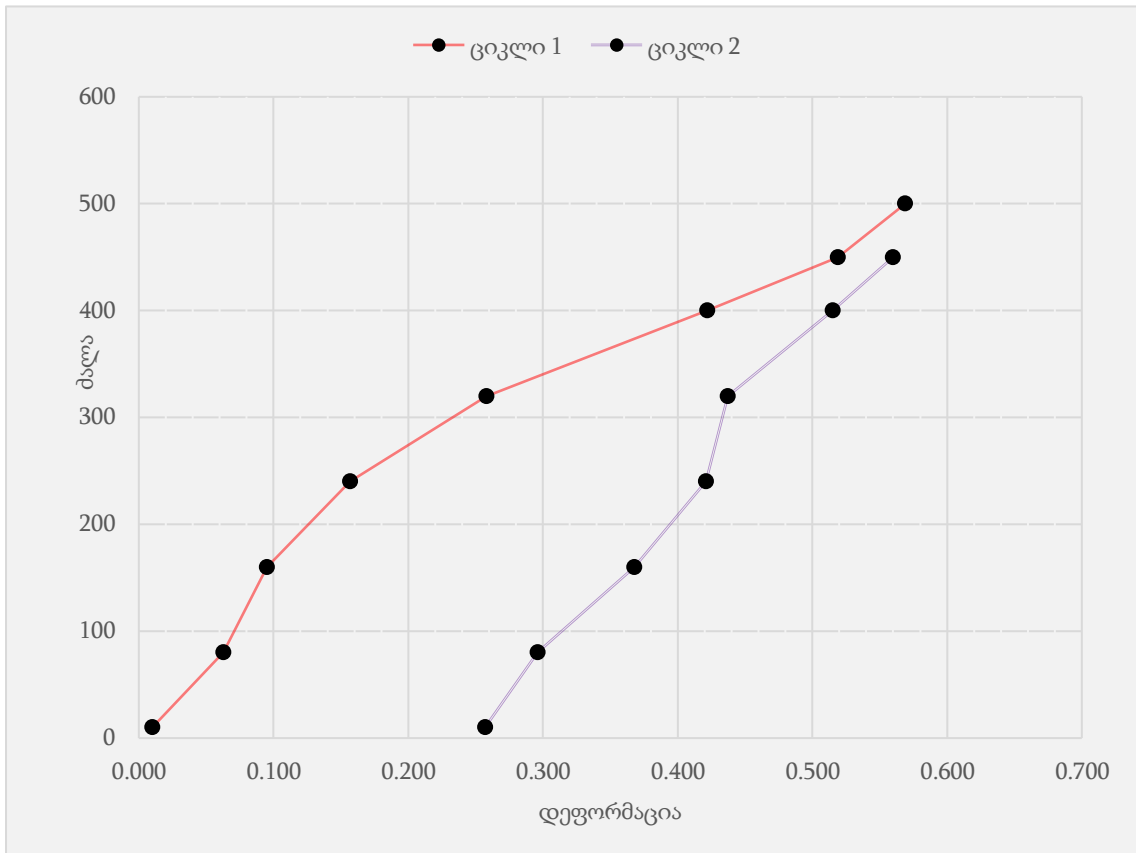
საშუალო დრეკადობის მოდული $E_{v2}=\frac{386+388+383}{3} \approx 386 \text{ მნ/მ}^2$



ნახ.29. ცემენტისა და ნაცრისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N1

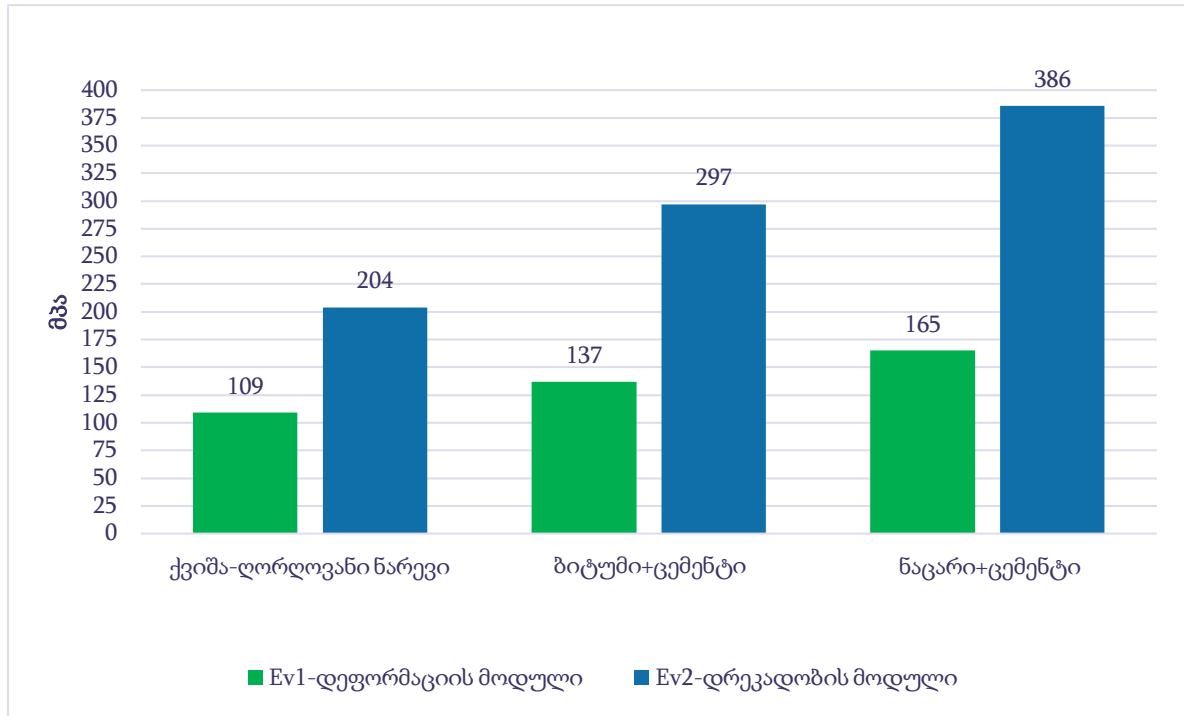


ნახ.30. ცემენტისა და ნაცრისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N2

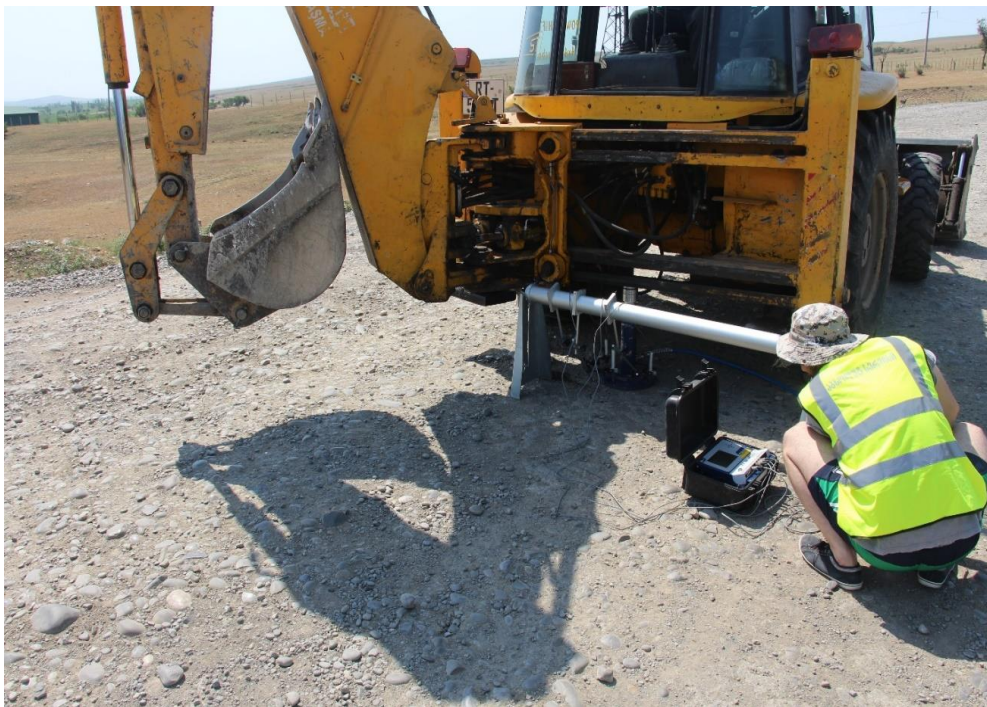


ნახ.31. ცემენტისა და ნაცრისაგან მომზადებული საგამოცდო მონაკვეთი N3

მიღებული შედეგებით შეგვიძლია დავასკვნათ, სტაბილიზირებულმა ფენის მოწყობამ გაზარდა როგორც საფუძვლის დეფორმაციის მოდული, ასევე დრეკადობის მოდული. ნაცრისგან და ცემენტისგან დამზადებული საფუძვლის ფენის დეფორმაციის მოდული 1.2-ჯერ უკეთესია ვიდრე ბიტუმოვან-ცემენტოვანი საფუძვლის ფენა, ხოლო დრეკადობის მოდული 1.3-ჯერ.



ნახ.32. სტატიკური ფილის მონაცემების ფარდობა



ნახ.33.საველე პირობებში ცდის მიმდინარეობა

2.4. ასფალტის გრანულატის ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა ნარევში

ასფალტის გრანულატი ერთ-ერთი ყველაზე გამოყენებადი სამრეწველო ნარჩენია დღევანდელ საავტომობილო გზების ქსელის მშენებლობაში. ჩვენი მიზანია დავადგინოთ გრანულატის ოპტიმალური რაოდენობა.

ნარჩენი ბიტუმის მინიმალური რაოდენობა ნარევში უნდა იყოს 2%. ასფალტის გრანულატიდან დავადგინეთ ნარჩენი ბიტუმის რაოდენობა, რომელმაც შეადგინა 5.0%. აღნიშნული რაოდენობა გრანულატზე ქვიშა-ლორღის დამატების შემდეგ ნარევის საერთო რაოდენობაში არ აკმაყოფილებს ბიტუმის საჭირო მინიმალურ ზღვარს, რის გამოც 2%-იან ზღვრამდე მისაყვანად გამოვიყენეთ ბიტუმის ემულსია.

ქვიშა-ლორღოვან ნარევში ასფალტის გრანულატის ოპტიმალური რაოდენობის დასადგენად

პირობითად ავიღეთ კონსტრუქციის სისქე - 25 სმ

- ნარევი N1 - ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) + ასფალტის გრანულატი 25% + ცემენტი 4 % ცემენტი (M300) + ბიტუმის ემულსია 1.3% + წყალი 5.1%
- ნარევი N2 - ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) + ასფალტის გრანულატი 30% + ცემენტი 4 % ცემენტი (M300) + ბიტუმის ემულსია 0.8% + წყალი 5.3%
- ნარევი N3 - ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) + ასფალტის გრანულატი 35% + ცემენტი 4 % ცემენტი (M300) + ბიტუმის ემულსია 0.5% + წყალი 5.5%

ნარევი N 1-ის მახასიათებლები.

ცხრილი 11.

ნარევი - N1	ხარჯი 1 მ ² -ზე, კგ
ქვიშა-ლორღი - 75%	240
ასფალტის გრანულატი - 25%	80
ცემენტი - 4%	12.8
საჭირო ბიტუმის ემულსია - 1.3 %	42

ნარევი N 2-ის მახასიათებლები.

ცხრილი 12.

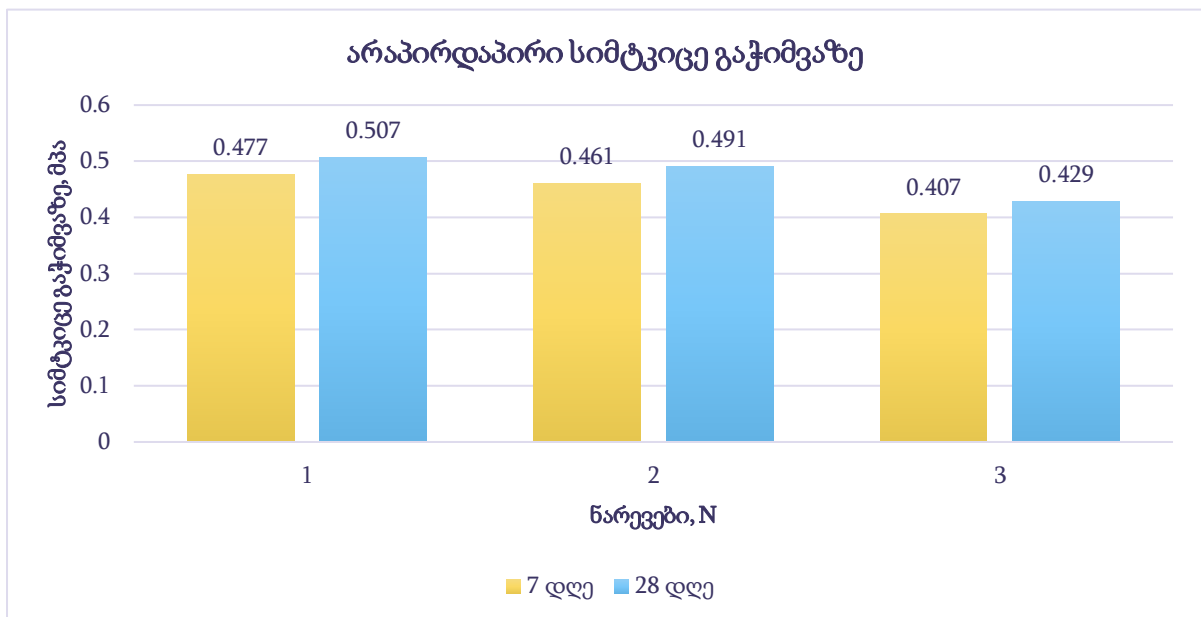
ნარევი - N2	ხარჯი 1 მ ² -ზე, კგ
ქვიშა-ლორღი - 70%	224
ასფალტის გრანულატი - 30%	96
ცემენტი - 4%	12.8
საჭირო ბიტუმის ემულსია - 0.8 %	26

ნარევი N 3-ის მახასიათებლები.

ცხრილი 13.

ნარევი - N3	ხარჯი 1 მ ² -ზე, კგ
ქვიშა-ლორღი - 65%	208
ასფალტის გრანულატი - 35%	112
ცემენტი - 4%	12.8
საჭირო ბიტუმის ემულსია - 0.5%	16

კვლევებიდან დავადგინეთ ასფალტის გრანულატის ოპტიმალური რაოდენობა, რომელიც ჩვენ შემთხვევაში არის 30% ქვიშა-ლორღოვან ნარევეში. 35%-იანმა ნარევმა არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე 1.14-ჯერ ნაკლები შედეგი აჩვენა ვიდრე 30%-იანმა. ლაბორატორიაში 35%-იანი ნარევის შემკვრივებაც რთული იყო, რადგან ნარევეში არ იყო საჭირო რაოდენობის შემავსებელი, აირია ნარევის მარცვლოვანი შემადგენლობა და სიმკვრივემაც დაიკლო.



ნახ.34. არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე, მახასიათებლები

#	სტაბილიზირებული ნარევი	ნიმუშის დიამეტრი მმ.	ნიმუშის სიმაღლე, მმ.	არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე	
				7 დღე, მპა	28 დღე, მპა
1	ნარევი N1 - ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) + ასფალტის გრანულატი 25% +ცემენტი 4 % ცემენტი (M300) + წყალი 5.1%	150	120	0.482	0.509
2			121	0.471	0.504
საშუალო მაჩვენებელი				0.477	0.507
3	ნარევი N2 - ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) + ასფალტის გრანულატი 30% +ცემენტი 4 % ცემენტი (M300) + წყალი 5.3%		121	0.465	0.489
4			119	0.457	0.493
საშუალო მაჩვენებელი				0.461	0.491
5	ნარევი N3 - ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ.) + ასფალტის გრანულატი 35% +ცემენტი 4 % ცემენტი (M300) + წყალი 5.5%	121	0.411	0.425	
6		119	0.402	0.433	
საშუალო მაჩვენებელი			0.407	0.429	

2.5. ეკონომიკური შედარება

ეკონომიკური კუთხით შედარებისათვის შევარჩიეთ 4 ტიპის ნარევი, რომლის საექსპლუატაციო მახასიათებლები აკმაყოფილებს ნორმატიულ მოთხოვნებს. სისქეები აღებულია ერთნაირი საანგარიშო დატვირთვებისათვის, რომელიც მოცემულია სამოსის ანგარიშში.

გაანგარიშებისათვის შერჩეულია:

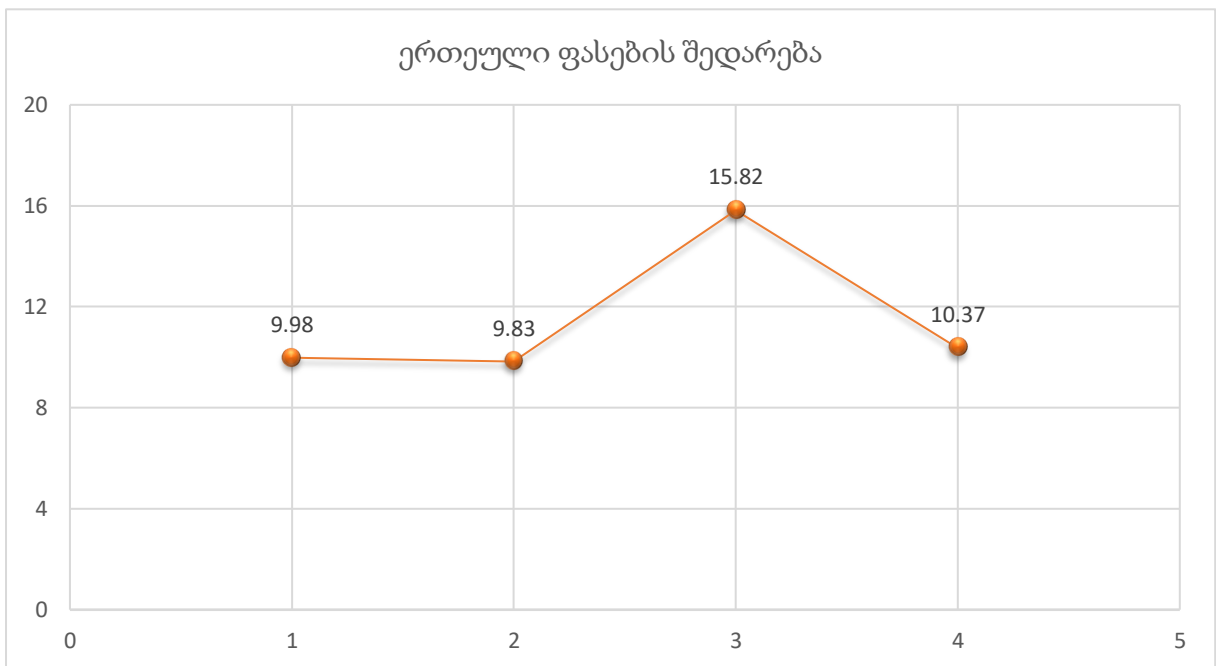
N1. ქვიშა-ლორღის (0-40 მმ) ნარევი, საანგარიშო სისქე 40 სმ. 1 მ²-ის ღირებულება შეადგენს 9,98 ლარს, ყველა სამუშაოს ჩათვლით.

N2. ქვიშა-ლორღის (0-40 მმ) და ადგილზე ანაფრეზი გრანულატის ნარევი 70/30%, სტაბილიზირებული ცემენტით 2,5% და ბიტუმის ემულსიით 0,8%, სისქით 25 სმ. ნარევის ოპტიმალური შემადგენლობა დადგენილია ლაბორატორიულად.

1 მ²-ის ღირებულება შეადგენს 9,83 ლარს, ყველა სამუშაოს ჩათვლით.

N3. ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ), სტაბილიზირებული ცემენტით 4% და ბიტუმით 2%, სისქით 25 სმ. ნარევის ოპტიმალური შემადგენლობა დადგენილია ლაბორატორიულად. 1 მ²-ის ღირებულება შეადგენს 15,82 ლარს, ყველა სამუშაოს ჩათვლით.

N4. ქვიშა-ლორღი (0-40 მმ), სტაბილიზირებული 4% ცემენტით და 12% ნაცრით. ნარევის ოპტიმალური შემადგენლობა დადგენილია ლაბორატორიულად. 1 მ²-ის ღირებულება შეადგენს 10,37 ლარს, ყველა სამუშაოს ჩათვლით.



ნახ.35. ერთეული ფასების შედარება

ერთეული ფასების შედარების შედეგად შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ერთიდაიგივე დატვირთვებზე განგარიშებით ერთეული ფასის მიხედვით საუკეთესო შედეგს აჩვენებს ტრადიციული ქვიშა-ლორღის ნარევი და ქვიშა-ლორღისა და ანაფრეზი გრანულატის ნარევი, თუმცა იმის გათვალისწინებით, რომ ქვიშა-ლორღის ნარევის სისქე ბევრად აღემატება სხვა ნარევების სისქეს და სამუშაო ვადაც სტაბილიზირებულ ფენაზე ნაკლებია, უმჯობესია ორი ტიპის ნარევების - ნარევი N2 და N4-ის გამოყენება. ამ ორი ნარევის შედარების შემდეგ კი შეგვიძლია ვთქვათ,

რომ მიუხედავად ფასში განსხვავებისა, უკეთეს შედეგებს გვაჩვენებს ნაცრით სტაბილიზირებული ნარევი.

როგორც ნაცრის, ისე ნაფრები გრანულატის გამოყენებით და შემდგომ სტაბილიზაციით შეგვიძლია კიდევ ერთი დასკვნის გაკეთება - ნაცრით სტაბილიზაციისას საჭირო არ ხდება ემულსიის/ბიტუმის გამოყენება ნარევიში, რაც საგრძნობლად ამცირებს თანხების გადინებას ქვეყნიდან ბიტუმის შემოტანისას და ეკოლოგიურადაც ნაკლები ზემოქმედება ექნება გარემოზე.

2.6. რეზინის გრანულატით მოდიფიცირებული ბიტუმის გამოყენება ასფალტის ნარევების დასამზადებლად

ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა რეზინის გრანულატის ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა ბიტუმის მოდიფიცირებისათვის, მისი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების გაზრდის მიზნით, ხოლო შემდგომ მისი გამოყენება ასფალტის ნარევების დასამზადებლად.

კვლევის ჩატარების მიზნით აღებულ იქნა საგზაო ბიტუმი მარკით БНД 60/90 (ცხრილი 15), დაფქული რეზინის გრანულეები ნაწილაკების ზომით 0,1 მმ, რომელიც მივიღეთ ავტომობილის საბურავის ნარჩენების დაქუცმაცებით.

ბიტუმისა და რეზინის გრანულატის შერევა მოხდა სპეციალურ დანადგარში, რომელიც აღჭურვილია გამაცხელებლით. მოდიფიცირებული შემკვრელის დამზადების ტექნოლოგია შემდეგია: ბიტუმი ცხელდება 180°C-ზე, რომლის შემდეგ მასში ერევა რეზინის გრანულეები 6±12% პროცენტის რაოდენობით. შერევა ხდებოდა ფრთხილად, რეზინის კომპტების თავიდან აცილების მიზნით.

ბიტუმის ტექნიკური მახასიათებლები. ცხრილი 15.

მაჩვენებელი	მნიშვნელობა
პენეტრაცია, 25 °C, 0.1 მმ	65
დარბილების ტემპერატურა, °C	49,1
წელვადობა 25 °C, სმ	135

შერევის დროს ხანგრძლივობამ შეადგინა 4 სთ. დაკვირვებამ აჩვენა, რომ შემკვრელის თვისებების პრინციპული ცვალეზადობა მიიღწევა ერთი საათის განმავლობაში, ხოლო შემდეგ მაჩვენებელი პრაქტიკულად არ იცვლება. ამიტომ ასფალტბეტონის ნარევი ასეთი სახის ბიტუმის გამოსაყენებლად შემკვრელის და რეზინის არევის დრო - ერთი საათი სრულიად საკმარისია.



ნახ.36. ნიმუშების დამზადება ლაბორატორიაში

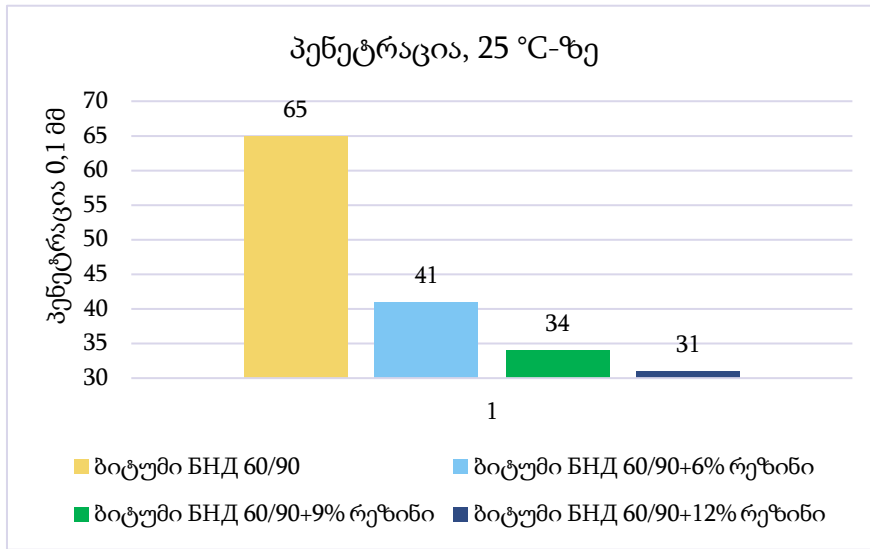
ა) ბიტუმის მოდიფიცირება რეზინის გრანულატით; ბ) დამზადებული ნიმუშები

რეზინის გრანულით მოდიფიცირებული ბიტუმის თვისებები ნაჩვენებია ცხრილში N16.

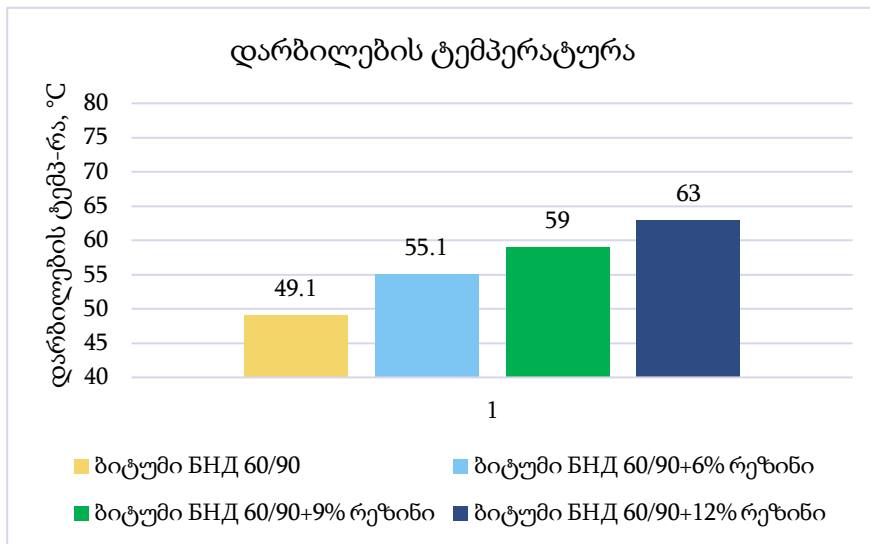
რეზინის გრანულატის გავლენა ბიტუმზე.

ცხრილი 16.

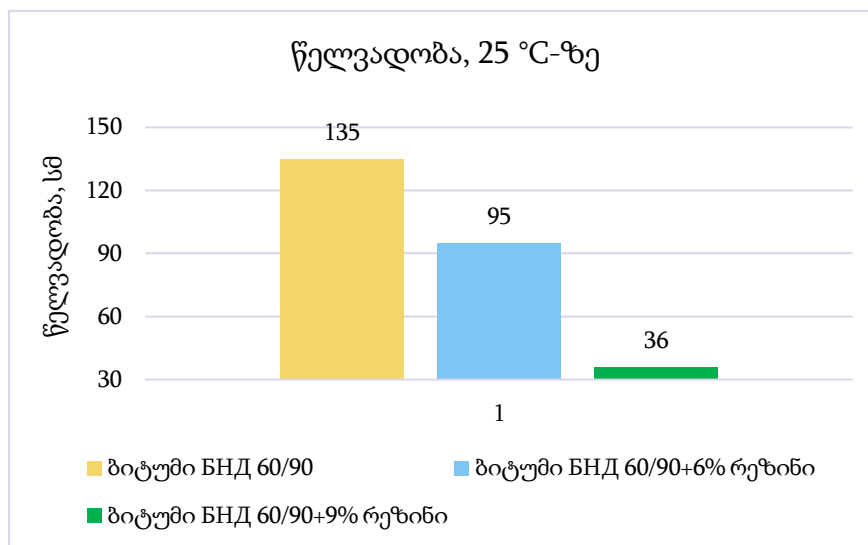
მაჩვენებელი	მნიშვნელობა			
	60/90	60/90+6% რეზინით	60/90+9% რეზინით	60/90+12% რეზინით
პენეტრაცია, 25 °C, 0.1 მმ	65	41	35	31
დარბილების ტემპერატურა, °C	49,1	55,1	59	63
წელვადობა, სმ 25 °C	135	95	--	--



ნახ.37. ბიტუმის პენეტრაცია 25°C-ზე



ნახ.38. დარბილების ტემპერატურა



ნახ.39. ბიტუმის წელვადობა 25°C-ზე

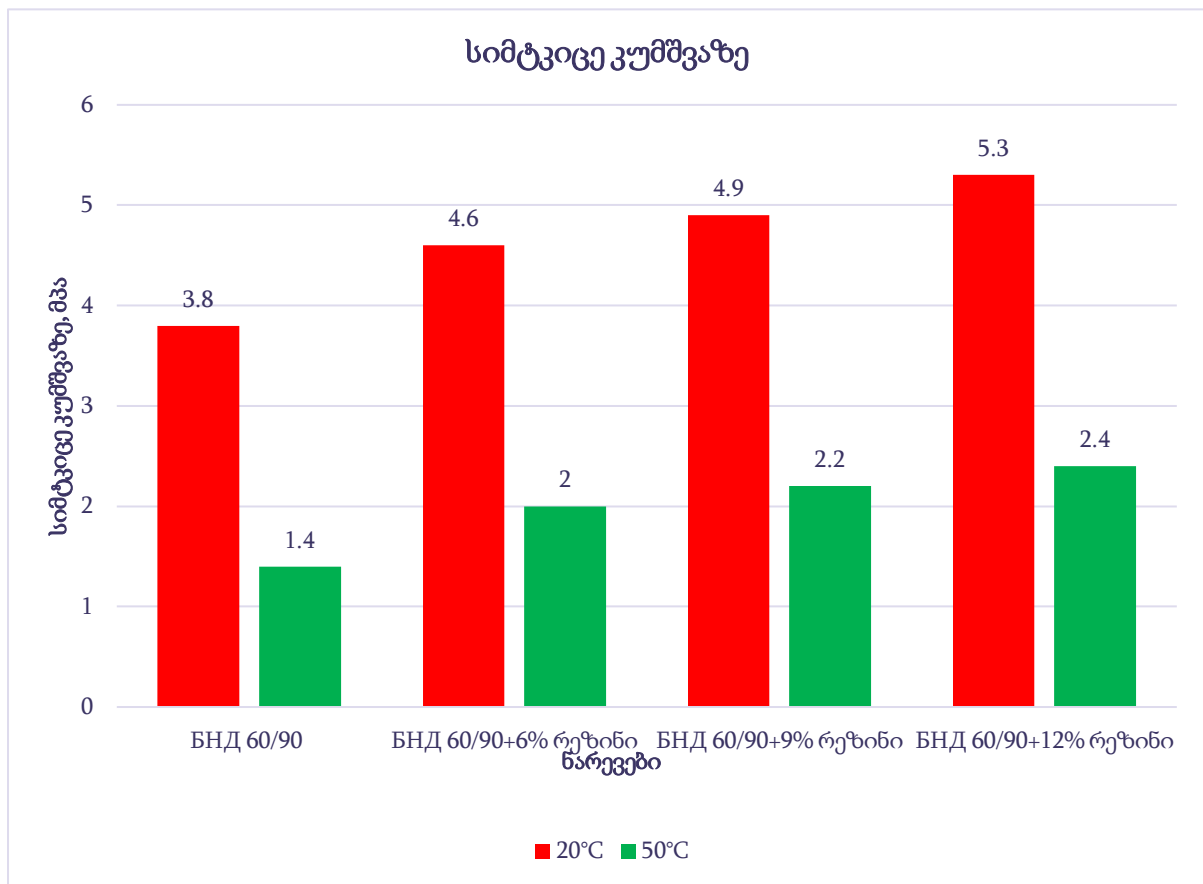
მე-16 ცხრილში ნაჩვენებია ბიტუმის გაუმჯობესებული თვისებები, ანუ ნარევის გაზრდილი თბომდეგობა. 6%-ზე მეტი რეზინის გრანულანტის მიცემისას უარესდება სიმყიფის და ჭიმვადობის მაჩვენებელი, რაც შეიძლება აიხსნას მომატებული სიბლანტით. დავადგინეთ, რომ რეზინის გრანულის ოპტიმალური რაოდენობა შემკვრელში უნდა იყოს 6%, რადგანაც რეზინის გრანულის შემდგომი გაზრდა შემკვრელში აღარ იწვევს მისი თვისებების გაუმჯობესებას და იქმნება რეზინაბიტუმის განშრევის საფრთხე.

უდანამატო და მოდიფიცირებული ბიტუმით დამზადდა ოთხი ნიმუში, სხვადასხვა შემადგენლობით, რომელიც ცილინდრული ფორმის ყალიბებში შემკვრივდა მარშალის სატკეპნის გამოყენებით EN 12697-30-ის სტანდარტის შესაბამისად. ნიმუშები გამოიცადა წნეხზე, კუმშვის სიმტკიცის დასადგენად. ცდის ამსახველი შედეგები მოცემულია ცხრილში N16.



ნახ.40. მარშალის ავტომატური სატკეპნი

შემკვრელის სახეობა	შემკვრელის რაოდენობა, %	გამოცდის შედეგები		
		სიმტკიცე კუმშვაზე		წყალმედგობა
		20°C	50°C	
		მპა	მპა	
БНД 60/90 (დანამატის გარეშე)	5,5	3,8	1,4	0,82
БНД 60/90+6% რეზინის გრანულატი	5,5	4,6	2,0	0,85
БНД 60/90+9% რეზინის გრანულატი	5,5	4,9	2,2	0,80
БНД 60/90+12% რეზინის გრანულატი	5,5	5,3	2,4	0,78



ნახ.41. სიმტკიცის განსაზღვრა კუმშვაზე მარშლის დანადგარის გამოყენებით

ნაკვალევის სიღრმის დადგენა ჰამბურგის ტესტით

ნიმუშები დამზადდა სტანდარტული ბიტუმით БНД 60/90 (დანამატის გარეშე) და მოდიფიცირებული ბიტუმით, რომელსაც დაემატა რეზინის გრანულები სხვადასხვა პროცენტული რაოდენობით. ნიმუშების დაყალიბება მოხდა MATEST-ის გირატორის ტიპის სატკეპნის საშუალებით (Superpave Gyrotory Compactor) საერთაშორისო სტანდარტის EN 12697-31:2007 შესაბამისად.



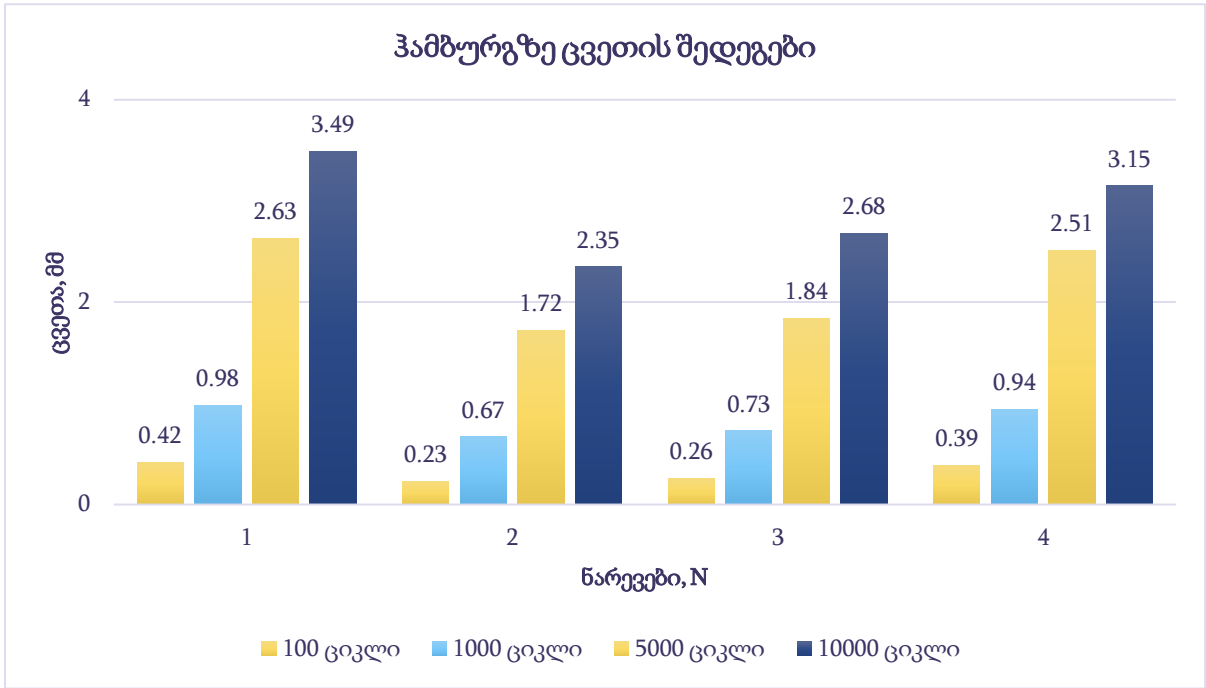
ნახ.41. ნიმუშების დამზადება გირატორის სატკეპნით

დამზადებული ნიმუშები ცვეთის დასადგენად გამოიცადა MATEST-ის ფირმის ჰამბურგის დანადგარზე (Multi Wheel - Hamburg Wheel Tracker) საერთაშორისო სტანდარტის EN 12697-22:2003 შესაბამისად.



ნახ.42. ნიმუშების გამოცდა ჰამბურგის დანადგარზე

ნარევის დასახელება	ციკლების რაოდენობა	ცვეთა, მმ
БНД 60/90 (დანამატის გარეშე)	100	0.42
	1000	0.98
	5000	2.63
	10000	3.49
БНД 60/90+6% რეზინის გრანულატი	100	0.23
	1000	0.67
	5000	1.72
	10000	2.35
БНД 60/90+9% რეზინის გრანულატი	100	0.26
	1000	0.73
	5000	1.84
	10000	2.68
БНД 60/90+12% რეზინის გრანულატი	100	0.39
	1000	0.94
	5000	2.51
	10000	3.15



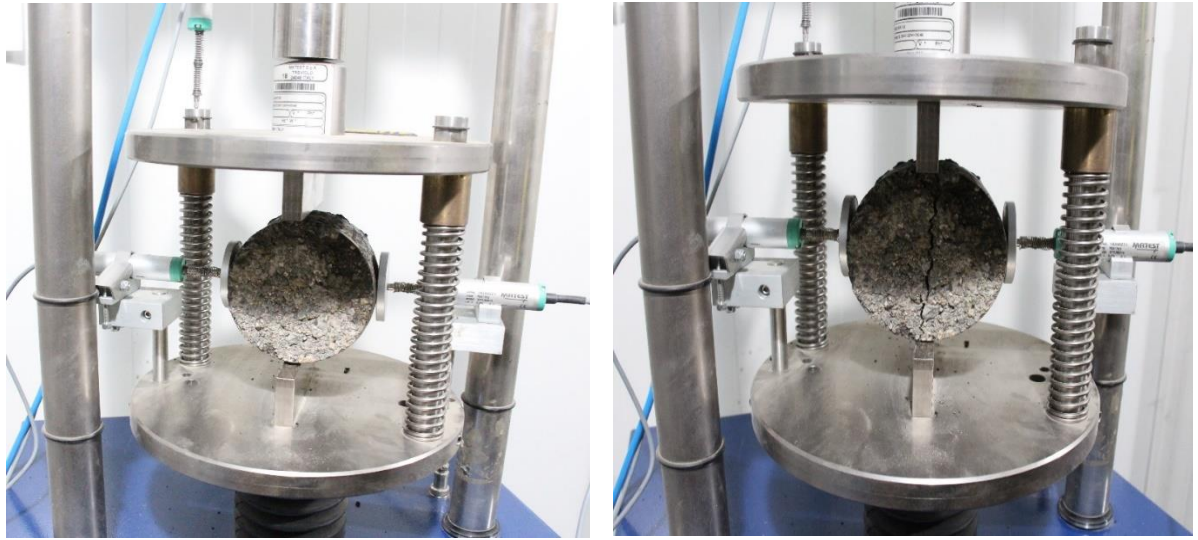
ნახ.43. ჰამბურგზე გამოცდის შედეგების თანაფარდობა

ლაბორატორიულ პირობებში დამზადებულ ასფალტის ნიმუშებზე განისაზღვრა მისი ძვრისადმი (ცდის სტანდარტი EN 12697-34) და ბზარწარმოქმნაზე (ცდის სტანდარტი EN 12697-23) მდგრადობა.



ნახ.44. სტაბილურობა-დენადობის განსაზღვრა მარშალის ხელსაწყოზე

ა) ნიმუში გამოცდის პროცესში ბ) ნიმუში გამოცდის შემდეგ



ნახ.45. არაპირდაპირი სიმტკიცის განსაზღვრა წნეხზე, გაჭიმვაზე

ა) ნიმუში გამოცდის პროცესში ბ) ნიმუში გამოცდის შემდეგ

მარშლის ნიმუშების გამოცდა ძვრაზე და არაპირდაპირ სიმტკიცეზე. ცხრილი 19.

ნარევი	სტაბილურობა, კნ.	ღენადობა, მმ.	არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე, მპა
ნარევი N1 - БНД 60/90 (დანამატის გარეშე)	10.915	3.212	0.872
ნარევი N2 - БНД 60/90 + რეზინის გრანულატი 6%	13.519	3.153	0.925
ნარევი N3 - БНД 60/90 + რეზინის გრანულატი 9%	10.541	4.317	0.852
ნარევი N4 - БНД 60/90 + რეზინის გრანულატი 12%	9.512	5.218	0.821

2.7. პლასტმასის გრანულატიტ მოდიფიცირებული ბიტუმის გამოყენება ასფალტის ნარევების დასამზადებლად

ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა ბიტუმის და პლასტმასის გრანულატის შერევის ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა, მისი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების გაზრდის მიზნით.

კვლევის ჩატარების მიზნით აღებულ იქნა საგზაო ბიტუმი მარკით БНД 60/90 (ცხრილი 15), დაფუძელი პლასტმასის გრანულატი.

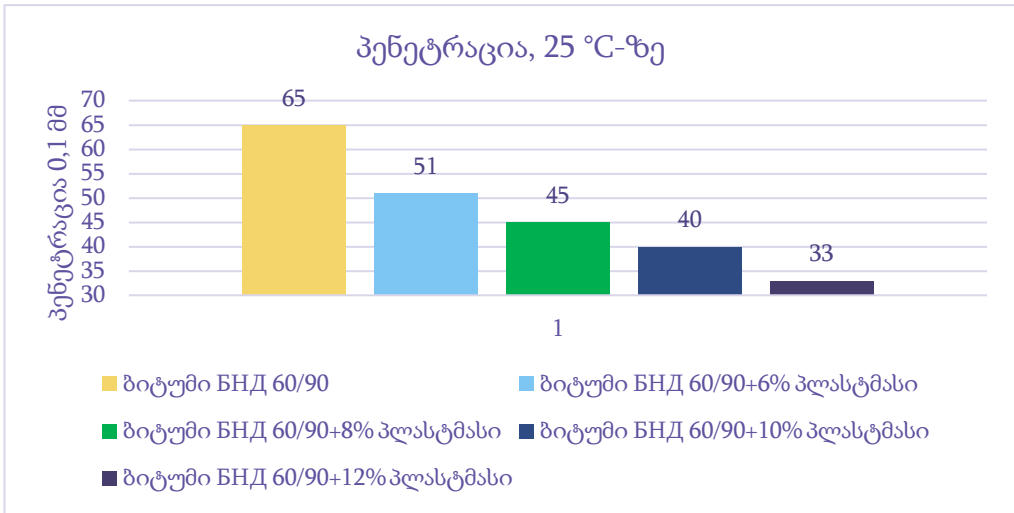
ბიტუმისა და პლასტმასის გრანულატის შერევა მოხდა სველი მეთოდით სპეციალურ დანადგარში, რომელიც აღჭურვილია გამაცხელებლით. მოდიფიცირებული შემკვრელის დამზადების ტექნოლოგია შემდეგია: ბიტუმი გაცხელდა 160°C-ზე, რომლის შემდეგ მასში შეერია პლასტმასის გრანულატი 6-12% პროცენტის რაოდენობით. შერევა ხდებოდა 20-30 წუთის განმავლობაში.

პლასტმასის გრანულატიტ მოდიფიცირებული ბიტუმის თვისებები ნაჩვენებია ცხრილში 20.

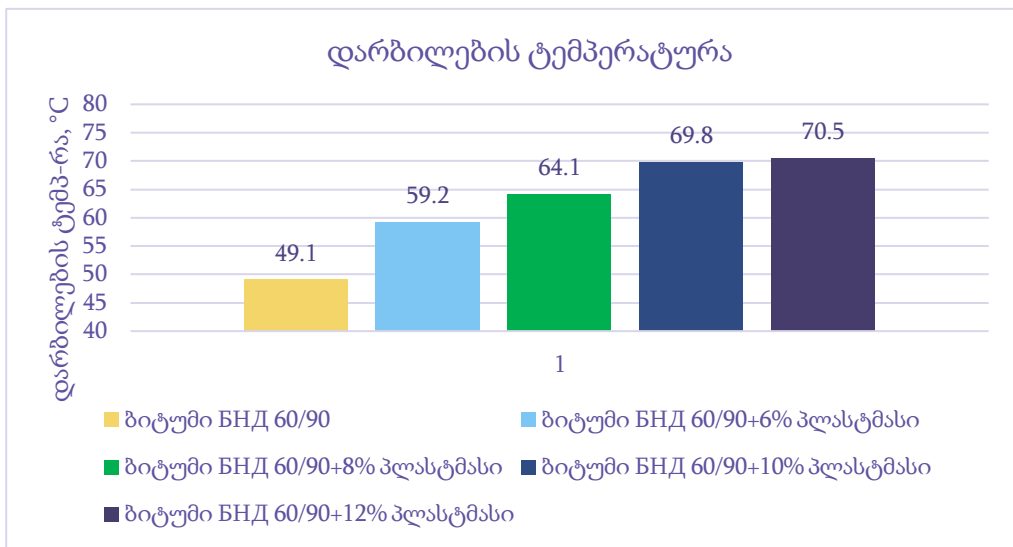
პლასტმასის გრანულატის გავლენა ბიტუმზე.

ცხრილი 20.

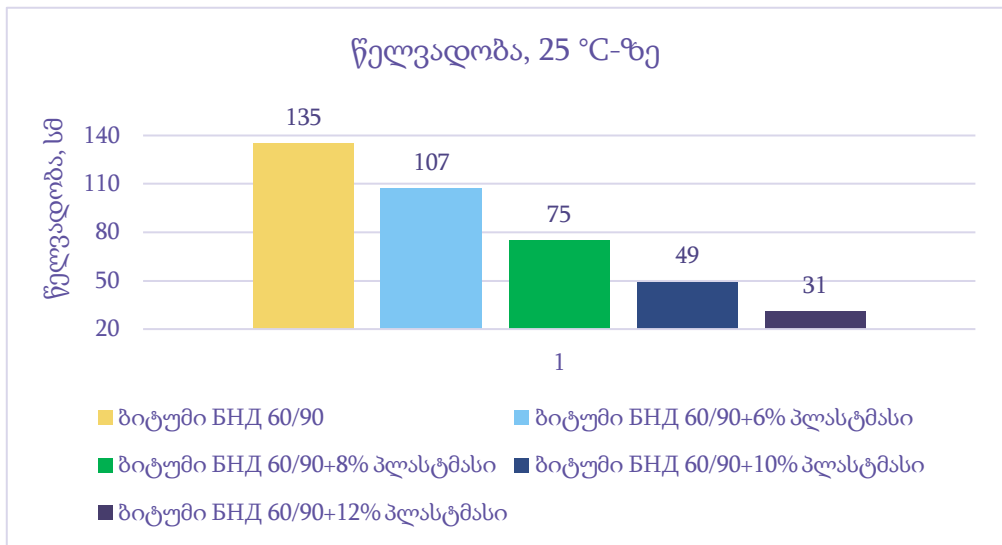
მაჩვენებელი	მნიშვნელობა				
	60/90	60/90+6% პლასტმასი	60/90+8% პლასტმასი	60/90+10% პლასტმასი	60/90+12% პლასტმასი
პენეტრაცია, 25 °C, 0.1 მმ	65	51	45	40	33
დარბილების ტემპერატურა, °C	49,1	59,2	64,1	69,8	70,5
წელვადობა, სმ 25 °C	135	107	75	49	31



ნახ.46. ბიტუმის პენეტრაცია 25°C-ზე



ნახ.47. ბიტუმის დარბილების ტემპერატურა



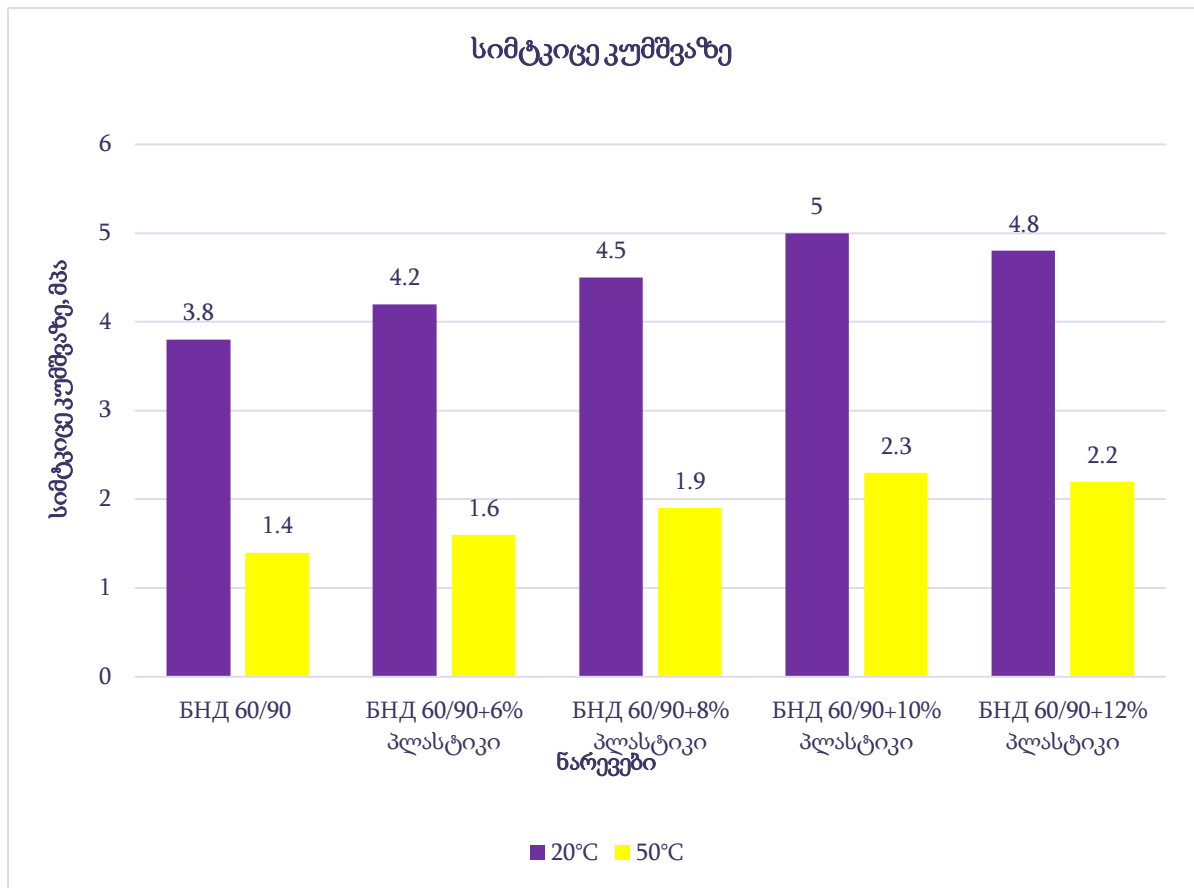
ნახ.48. ბიტუმის წელვადობა 25°C-ზე

მე-20 ცხრილში ნაჩვენებია ბიტუმის გაუმჯობესებული თვისებები, ანუ ნარევის გაზრდილი თბომდეგობა, 10%-ზე მეტი პლასტმასის გრანულანტის მიცემისას უარესდება სიმეფის და ჭიმვადობის მაჩვენებელი, რაც შეიძლება აიხსნას მომატებული სიბლანტით. დავადგინეთ რომ პლასტმასის გრანულის ოპტიმალური რაოდენობა შემკვრელში უნდა იყოს 10%, რადგანაც პლასტმასის გრანულის შემდგომი გაზრდა შემკვრელში აღარ იწვევს მისი თვისებების გაუმჯობესებას და გადადის ხისტ (მეფე) მდგომარეობაში.

მოდიფიცირებული ბიტუმით დამზადდა ოთხი ნიმუში, სხვადასხვა შემადგენლობით, რომელიც ცილინდრული ფორმის ყალიბებში შემკვრივდა მარშალის სატკეპნის გამოყენებით. ნიმუშები გამოიცადა წნეხზე, კუმშვის სიმტკიცის დასადგენად. ცდის ამსახველი შედეგები მოცემულია ცხრილში 20.

მარშალის ნიმუშების გამოცდა კუმშვაზე. ცხრილი 21.

შემკვრელის სახეობა	შემკვრელის რაოდენობა, %	გამოცდის შედეგები		
		სიმტკიცე კუმშვაზე		წყალმდეგობა
		20°C	50°C	
		მპა	მპა	
БНД 60/90 (დანამატის გარეშე)	5,5	3,8	1,4	0,82
БНД 60/90+6% პლასტმასის გრანულატი	5,5	4,2	1,6	0,87
БНД 60/90+8% პლასტმასის გრანულატი	5,5	4,5	1,9	0,91
БНД 60/90+10% პლასტმასის გრანულატი	5,5	5,0	2,3	0,93
БНД 60/90+12% პლასტმასის გრანულატი	5,5	4,8	2,2	0,88



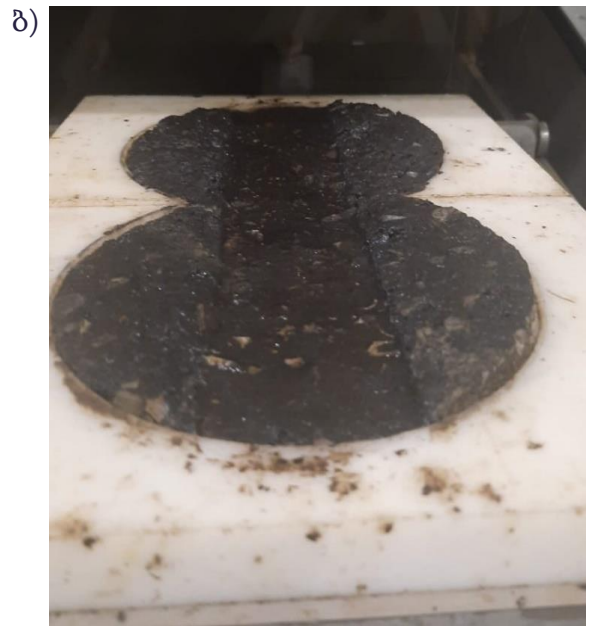
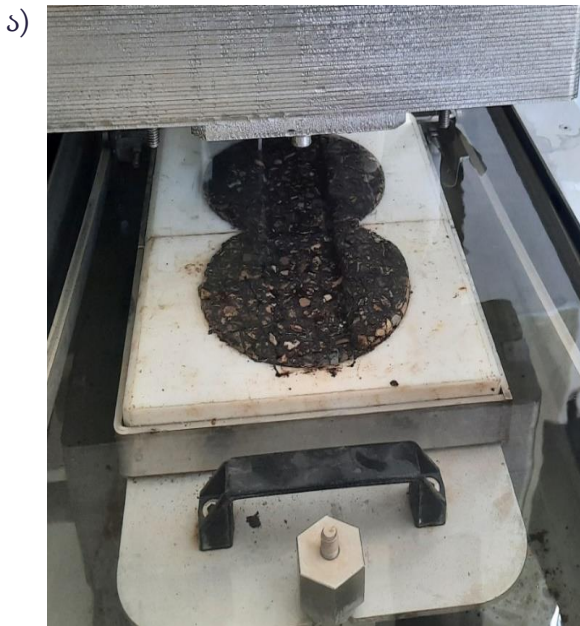
ნახ.49. სიმტკიცის განსაზღვრა კუმშვაზე მარშლის ხელსაწყოს გამოყენებით

ნაკვალევის სიღრმის დადგენა ჰამბურგის ტესტით

ნიმუშები დამზადდა სტანდარტული ბიტუმით БНД 60/90 (დანამატის გარეშე) და მოდიფიცირებული ბიტუმით, რომელსაც დაემატა პლასტმასის გრანულები სხვადასხვა პროცენტული რაოდენობით. ნიმუშების დაყალიბება მოხდა MATEST-ის გირატორის ტიპის სატკეპნის საშუალებით (Superpave Gyrotory Compactor) საერთაშორისო სტანდარტის EN 12697-31:2007 შესაბამისად.

დამზადებული ნიმუშები ცვეთის დასადგენად გამოიცადა MATEST-ის ფირმის ჰამბურგის დანადგარზე (Multi Wheel - Hamburg Wheel Tracker) საერთაშორისო სტანდარტის EN 12697-22:2003 შესაბამისად.

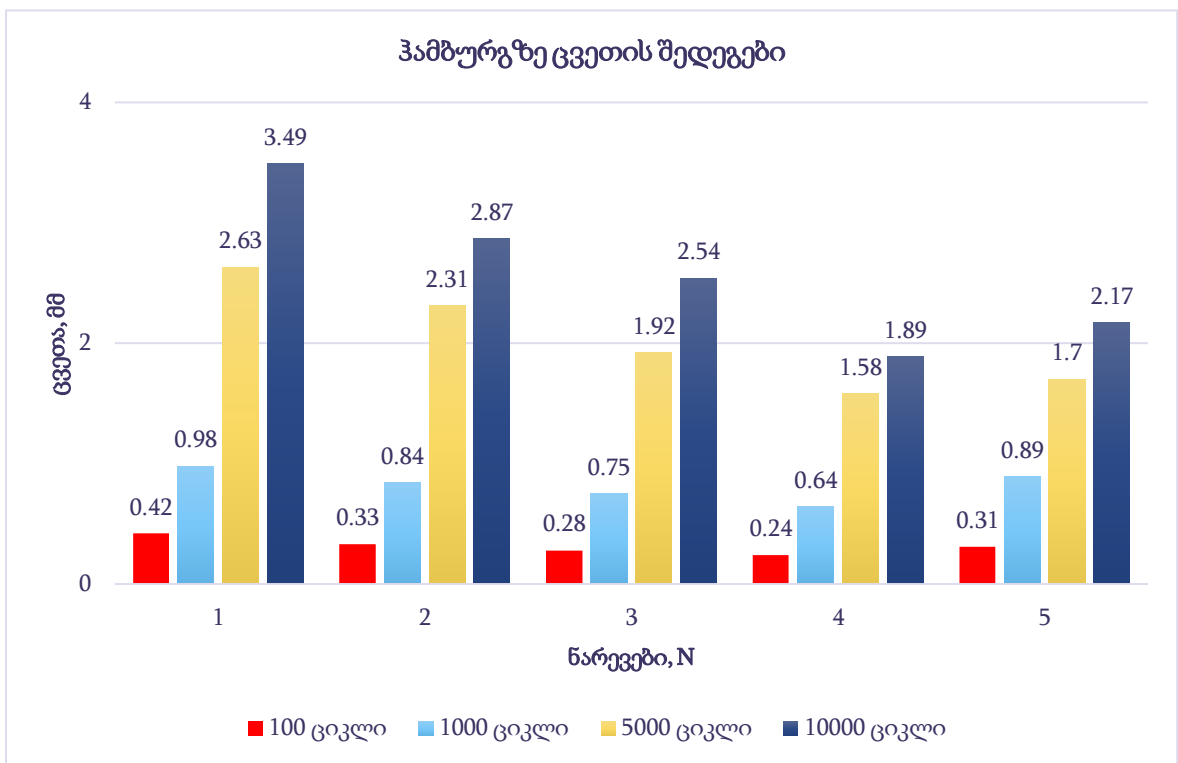
ნარევის დასახელება	ციკლების რაოდენობა	ცვეთა, მმ
БНД 60/90 (დანამატის გარეშე)	100	0.42
	1000	0.98
	5000	2.63
	10000	3.49
БНД 60/90+6% პლასტმასის გრანულატი	100	0.33
	1000	0.84
	5000	2.31
	10000	2.87
БНД 60/90+8% პლასტმასის გრანულატი	100	0.28
	1000	0.75
	5000	1.92
	10000	2.54
БНД 60/90+10% პლასტმასის გრანულატი	100	0.24
	1000	0.64
	5000	1.58
	10000	1.89
НД 60/90+12% პლასტმასის გრანულატი	100	0.31
	1000	0.89
	5000	1.70
	10000	2.17



ნახ.50. გამოცდილი ნიმუშები

ა) სტანდარტული ბიტუმით დამზადებული ნიმუში

ბ) პლასტმასის 10% იანი მოდიფიცირებული ბიტუმით დამზადებული ნიმუში



ნახ.51. ჰამბურგზე გამოცდის შედეგების თანაფარდობა

ლაბორატორიულ პირობებში დამზადებულ ასფალტის ნიმუშებზე განისაზღვრა მისი ძვრისადმი (ცდის სტანდარტი EN 12697-34) და ბზარწარმოქმნაზე (ცდის სტანდარტი EN 12697-23) მდგრადობა.

ნარევი	სტაბილ ურობა, კნ.	დენადობა , მმ.	ირიბი სიმტკიცე გაჭიმვაზე , მპა
ნარევი N1 - БНД 60/90 ბიტუმით 5.5% (დანამატის გარეშე) დამზადებული ასფალტბეტონის ნიმუშები	10.915	3.212	0.872
ნარევი N2 - БНД 60/90 ბიტუმით 5.5% + რეზინის გრანულატი 6% დამზადებული ასფალტბეტონის ნიმუშები	12.062	3.419	0.882
ნარევი N3 - БНД 60/90 ბიტუმით 5.5% + რეზინის გრანულატი 8% დამზადებული ასფალტბეტონის ნიმუშები	13.519	3.517	0.895
ნარევი N4 - БНД 60/90 ბიტუმით 5.5% + რეზინის გრანულატი 10% დამზადებული ასფალტბეტონის ნიმუშები	14.921	3.716	0.922
ნარევი N5 - БНД 60/90 ბიტუმით 5.5% + რეზინის გრანულატი 12% დამზადებული ასფალტბეტონის ნიმუშები	13.958	4.207	0.874

დასკვნის სახით შეიძლება აღვნიშნოთ, რომ ბიტუმში პლასტმასის ნარჩენების დამატებით:

- ნარევი ბიტუმის შემცველობა შემცირდება
- შემცირდება პენეტრაცია
- მოიმატებს დარბილების ტემპერატურა

ამასთან, ბიტუმში პლასტმასის შერევისას ჩვენ ვზრდით საფარის სიცოცხლისუნარიანობას და ხანგრძლივმედევობას ვიდრე ჩვეულებრივი ბიტუმების გამოყენებისას. პლასტმასის ნარჩენის პოლიმერი ამცირებს ბიტუმის ხარჯს და შესაბამისად საგზაო საფარის ღირებულებას ამცირებს 15%-მდე მთლიანი ღირებულებიდან.

2.8. სამოსის კონსტრუქციის გაანგარიშება ოპტიმალური ნარევების გამოყენებით

საწყისი მონაცემები

პროექტირების რაიონი: საქართველო

შესრულებული ანგარიშები: დრეკადი ჩალუნვა, ძვრა, ღუნვა, სტატიკური დატვირთვა

საგზაო კლიმატური ზონა: IV

დატენიანების სქემა: 1 სქემა (ზედაპირული წყლები)

გრუნტის საანგარიშო ტენიანობა

გრუნტის საშუალო მრავალწლიანი ფარდობითი ტენიანობა მნიშვნელობა $W_{გბრ} = 0,65$

ნორმირებული გადახრის კოეფიციენტი $t = 2,19$

ტიპი ადგილმდებარეობს რელიეფისთვის: ვაკე

მიწის ვაკისის ტიპის მიხედვით შესწორება $\Delta = 0$

ტერიტორიის რელიეფის მნიშვნელობის მიხედვით შესწორება $\Delta_1 W = 0$

სავალი ნაწილის და გვერდულის კონსტრუქციების მიხედვით შესწორება $\Delta_2 W = 0$

გრუნტის საანგარიშო ტენიანობა

$$W_p = (W_{გბრ} + \Delta + \Delta_1 W - \Delta_2 W) * (1 + 0,1 * t) - \Delta_3 = (0,65 + 0 + 0 - 0) * (1 + 0,1 * 2,19) - 0 = 0,79$$

გრუნტის ტკეპნის კოეფიციენტი: 0,97

ყრილის სიმაღლე: 0,0 მ

გრძივი ქანობი I, %: 40,0

საპროექტო მონაცემები

გზის ტექნიკური კატეგორია: Ia კატეგორია

საგზაო სამოსის ტიპი: კაპიტალური

სიმტკიცის საჭირო კოეფიციენტი საიმედოობის მინიჭებული მნიშვნელობისთვის $K_b = 0,98$

საჭირო K_{36} (დრეკადი ჩალუნვა): 1,5

საჭირო K_{36} (ძვრა, ჩალუნვა): 1,1

ნორმატიული გადახრის კოეფიციენტი $t = 2,19$

კონსტრუქციის ექსპლუატაციის საანგარიშო დრო T წელი; 10

სავალი ნაწილის სიგანე. მ; 21,0

სავალი ზოლების რაოდენობა (ორივე მიმართულებით); 4

საანგარიშო სავალი ზოლის ნომერი გვერდულიდან; 1

საანგარიშო დატვირთვა

საანგარიშო დატვირთვის ჯგუფი A10

საბურავში წნევა p, მპა; 0,8

თვლის ანაბეჭდის დიამეტრი $D_{\text{დინ.}}$, სმ; 37,1

სტატიკური დატვირთვა საბურავისგან საფარის ზედაპირზე $Q_{\text{დ.}}$, კნ; 50,0

საანგარიშო დატვირთვის ჯამური რიცხვი

გზის მონაკვეთის ტიპი; სავალი ზოლი

საანგარიშო დღეების რაოდენობა წელიწადში $T_{\text{სდწ}}$; 205

ინტენსივობის ცვლილების მაჩვენებელი წლების მიხედვით q; 1,04

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ჯამური მოძრაობიდან შესაძლო გადახრას k_n ; 1,62

დაჯამების კოეფიციენტი

$$K_{\text{ჯ}} = \frac{q^T - 1}{q - 1} = \frac{1,04^{10} - 1}{1,04 - 1} \approx 12,01$$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს სავალ ზოლებზე მოძრაობის გადანაწილებას $f_{\text{ზ}}$; 0,45

მოძრავი შემადგენლობა

მსუბუქი ავტომობილები ტვირთამწეობით 1 დან 2 ტ მდე (ОДН 218.046-01); 20000 ც
მძიმე სატვირთო ავტომობილები ტვირთამწეობით 8ტ-ზე მეტი (ОДН 218.046-01):
800 ც

ავტობუსები (ОДН 218.046-01): 254 ცალი

საწევარა მისაბმელით (ОДН 218.046-01): 261 ც

დაყვანილი საანგარიშო ინტენსივობა

$$N_1 = \sum_{m=1}^n N_m * S_m = 20000 * 0,05 + 800 * 1,25 + 254 * 0,7 + 261 * 1,5$$
$$\approx 1669 \text{ ერთ/დღე}$$

$$N_p = f_{\text{ზ}} * N_1 * (q^{T-1}) = 0,45 * 1669 * (1,04^{10-1}) \approx 1069 \text{ ერთ/დღე}$$

ჯამური დასაშვები საანგარიშო დატვირთვების რიცხვი კაპიტალურ რემონტებს შორის:

$$\sum N_p = 0,7 * f_{სფ} * N_1 * K_{\chi} * T_{სდწ} * k_n = 0,7 * 0,45 * 1669 * 12,01 * 205 * 1,62 \\ = 2096905,1 \text{ ერთ.}$$

საჭირო დრეკადობის მოდული:

$$E_{საჭ} = \sqrt{\frac{p}{0,6}} * 98,65 * (\lg 2096905,1 - 3,55) \approx 315,71 \text{ მპა}$$

საჭირო დრეკადობის მოდული $E_{საჭ} = 330$ მპა

ვარიანტი 1

1) საფარის ზედა ფენა; 5 სმ.

ასფალტბეტონი პოლიმერ-მოდირებული ბიტუმის გამოყენებით კმბ 40, ღორღის მარცვლის მაქსიმალური ზომით 22 მმ.

2) საფარის ქვედა ფენა; 7 სმ.

ასფალტბეტონი ბიტუმის შემკვრელით 50/70, ღორღის მარცვლის მაქსიმალური ზომით 32 მმ.

3) საფუძვლის ზედა ფენა; 7სმ.

ასფალტბეტონი საფუძვლებისთვის ბიტუმის შემკვრელით 50/70, ღორღის მარცვლის მაქსიმალური ზომით 32 მმ.

4) საფუძველი: 25 სმ.

მზა ქვიშა-ღორღოვანი ნარევი I კლასის სიმტკიცის, გამაგრებული პორტლანდცემენტით M-40 (4-6%) და ბიტუმით (2-4%)

5) საფუძვლის ქვედა ფენა; 40 სმ.

ქვიშა-ხრემოვანი ნარევი უწყვეტი გრანულომეტრიით C3 – 120 მმ. (საფუძვლებისთვის)

მიწის ვაკისის გრუნტი

მსხვილნატეხოვანი გრუნტი. ქვის მასალა 50% და თიხოვანი შემავსებელი 50%

ანგარიში დრეკად ჩალუნვაზე

დასაშვებ დრეკად ჩალუნვაზე ანგარიშს ვაწარმოებთ ფენებად, ვიწყებთ ვაკისის გრუნტიდან.

$$\frac{E_{j3}}{E_{\phi}} = \frac{E_{8r}}{E_5} = \frac{50,76}{240} = 0,2115; \frac{h_{\phi}}{D} = \frac{h_5}{D} = \frac{40}{37,1} = 1,0782; \frac{E_{\phi_{\text{ედ}}}}{E_{\phi}} = \frac{E_{\phi_{\text{ედ}}}^4}{E_5} \approx 0,53966$$

$$E_{\phi_{\text{ედ}}}^4 = 0,53966 * 240 = 129,52 \text{ მპა}$$

$$\frac{E_{j3}}{E_{\phi}} = \frac{E_5}{E_4} = \frac{129,6}{800} = 0,1619; \frac{h_{\phi}}{D} = \frac{h_4}{D} = \frac{25}{37,1} = 0,6739; \frac{E_{\phi_{\text{ედ}}}}{E_{\phi}} = \frac{E_{\phi_{\text{ედ}}}^3}{E_4} \approx 0,36858$$

$$E_{\phi_{\text{ედ}}}^3 = 0,36858 * 800 = 294,86 \text{ მპა}$$

$$\frac{E_{j3}}{E_{\phi}} = \frac{E_4}{E_3} = \frac{294,86}{3700} = 0,0797; \frac{h_{\phi}}{D} = \frac{h_3}{D} = \frac{7}{37,1} = 0,1887; \frac{E_{\phi_{\text{ედ}}}}{E_{\phi}} = \frac{E_{\phi_{\text{ედ}}}^2}{E_3} \approx 0,10838$$

$$E_{\phi_{\text{ედ}}}^2 = 0,10838 * 3700 = 401,01 \text{ მპა}$$

$$\frac{E_{j3}}{E_{\phi}} = \frac{E_3}{E_2} = \frac{401,01}{4800} = 0,0835; \frac{h_{\phi}}{D} = \frac{h_2}{D} = \frac{7}{37,1} = 0,1887; \frac{E_{\phi_{\text{ედ}}}}{E_{\phi}} = \frac{E_{\phi_{\text{ედ}}}^1}{E_2} \approx 0,11289$$

$$E_{\phi_{\text{ედ}}}^1 = 0,11289 * 4800 = 541,87 \text{ მპა}$$

$$\frac{E_{j3}}{E_{\phi}} = \frac{E_2}{1} = \frac{541,87}{4600} = 0,1178; \frac{h_{\phi}}{D} = \frac{h_1}{D} = \frac{5}{37,1} = 0,1348; \frac{E_{\phi_{\text{ედ}}}}{E_{\phi}} = \frac{E_{\phi_{\text{ედ}}}^0}{E_1} \approx 0,13915$$

$$E_{\phi_{\text{ედ}}}^0 = 0,13915 * 4600 = 640,09 \text{ მპა}$$

$$K_{\text{საანგ}} = \frac{E_{\phi_{\text{ედ}}}}{E_{\text{საჟ}} = \frac{640,09}{330} = 1,94; \frac{K_{\text{საანგ}} - K_{\text{საჟ}}}{K_{\text{საჟ}}} * 100\% = \frac{1,94 - 1,5}{1,5} * 100\% = 29,33\%$$

დასაშვები დრეკადი ჩალუნვის კრიტერიუმი მიღწეულია

ანგარიში ძვრისადმი მედეგობაზე

მიწის ვაკისის გრუნტი

მსხვილნატეხოვანი გრუნტი. ქვის მასალა 50% და თიხოვანი შემავსებელი 50%

$E=50,8$ მპა, $\varphi=26^{\circ}$, $\psi_{\text{სტატ}}=26^{\circ}$, $c=0,04$ მპა

ზედა ფენების გასაშუალებული დრეკადობის მოდული:

$$E_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^5 E_i * h_i}{50,8} = \frac{800 * 5 + 900 * 7 + 750 * 7 + 800 * 25 + 240 * 40}{5 + 7 + 7 + 25 + 40} = 537,5 \text{ მპა}$$

ერთეული ხვედრითი აქტიური ძაბვა ერთეული დატვირთვებისგან:

$$\frac{E_{\phi}}{E_{\text{საერთ.}}} = \frac{537,5}{50,8} = 10,59; \frac{h_{\phi}}{D} = \frac{84}{37,1} = 2,26; \tau_{\phi} \approx 0,0084 \text{ მპა}$$

ძვრის აქტიური ძაბვა:

$$T = \tau_{\phi} * p = 0,0084 * 0,8 = 0,00672 \text{ მპა}$$

კოეფიციენტი $k_d = 1$

შესამოწმებელი ზედაპირის ჩაღრმავება კონსტრუქციის თავიდან

$$Z_0 = 5 + 7 + 7 + 25 + 40 = 84 \text{ სმ.}$$

ფენების გასაშუალებული მოცულობითი წონა, რომლებიც განლაგებულია

შესამოწმებელი ფენის ზემოთ:

$$\begin{aligned} \gamma_{საშ} &= \frac{2400 * 5 + 2400 * 7 + 2400 * 7 + 2100 * 25 + 2000 * 40}{5 + 7 + 7 + 25 + 40} = 2120,2 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^3} \\ &= 0,00212 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^3} \end{aligned}$$

ძვრის ზღვრული აქტიური ძაბვა:

$$\begin{aligned} T_{სიმტ.} &= k_d * (c_n + 0,1 * \gamma_{საშ} * z_0 * \tan \varphi_{სტატ}) = 1 * (0,04 + 0,1 * 0,00212 * 84 * \tan 26^\circ) \\ &\approx 0,04869 \text{ მპა} \end{aligned}$$

$$K_{საანგ} = \frac{T_{სიმტ.}}{T} = \frac{0,04869}{0,00672} = 7,25; \frac{K_{საანგ} - K_{საჭ}}{K_{საჭ}} * 100\% = \frac{7,25 - 1,1}{1,1} * 100\% = 559,1\%$$

მიწის ვაკისის გრუნტის ძვრისადმი მედეგობა დაკმაყოფილებულია.

ანგარიში სტატიკურ დატვირთვაზე

მიწის ვაკისის გრუნტი

მსხვილნატეხოვანი გრუნტი. ქვის მასალა 50% და თიხოვანი შემავსებელი 50%

$$E = 50,8 \text{ მპა}, \varphi = 26^\circ, \varphi_{სტატ} = 26^\circ, c = 0,04 \text{ მპა}$$

ზედა ფენების გასაშუალებული დრეკადობის მოდული:

$$E_0 = \frac{\sum_{i=1}^5 E_i * h_i}{50,8} = \frac{290 * 5 + 290 * 7 + 280 * 7 + 800 * 25 + 240 * 40}{5 + 7 + 7 + 25 + 40} = 417,1 \text{ მპა}$$

ერთეული ხვედრითი აქტიური ძაბვა ერთეული დატვირთვებისგან:

$$\frac{E_0}{E_{საერთ.}} = \frac{417,1}{50,8} = 8,22; \frac{h_0}{D} = \frac{84}{32,6} = 2,58; \tau_d \approx 0,00778 \text{ მპა}$$

ძვრის აქტიური ძაბვა:

$$T = \tau_d * p = 0,00778 * 0,8 = 0,00622 \text{ მპა}$$

კოეფიციენტი $k_d = 1$

შესამოწმებელი ზედაპირის ჩაღრმავება კონსტრუქციის თავიდან:

$$Z_0 = 5 + 7 + 7 + 25 + 40 = 84 \text{ სმ.}$$

ფენების გასაშუალებელი მოცულობითი წონა, რომლებიც განლაგებულია შესამოწმებელი ფენის ზემოთ:

$$V_{საშ} = \frac{2400 * 5 + 2400 * 7 + 2400 * 7 + 2100 * 25 + 2000 * 40}{5 + 7 + 7 + 25 + 40} = 2120,2 \frac{\text{კბ}}{\text{მ}^3}$$

$$= 0,00212 \frac{\text{კბ}}{\text{სმ}^3}$$

ძვრის ზღვრული აქტიური ძაბვა:

$$T_{სიმტ.} = k_d * (c_n + 0.1 * V_{საშ} * z_{ფ} * \tan \varphi_{სტატ}) = 1 * (0,04 + 0,1 * 0,00212 * 84 * \tan 26^\circ)$$

$$\approx 0,04869 \text{ მპა}$$

$$K_{საანგ} = \frac{T_{სიმტ.}}{T} = \frac{0,04869}{0,00622} = 7,83; \frac{K_{საანგ} - K_{საქ}}{K_{საქ}} * 100\% = \frac{7,83 - 1,1}{1,1} * 100\% = 611,8\%$$

მიწის ვაკისის გრუნტის ძვრისადმი მედეგობა დაკმაყოფილებულია.

ანგარიში ჩალუნვაზე

ქვედა ფენის მონოლითური ბლოკის მასალას წარმოადგენს ასფალტბეტონი საფუძვლებისთვის ბიტუმის შემკვრელით 50/70, ღორღის მარცვლის მაქსიმალური ზომით 32 მმ.

ნორმატიული წინააღობა გაზაფხულზე $R_0=9,3$ მპა

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მოერადი დატვირთვებისას გაჭიმვის რეალურ რეჟიმს $\alpha=5,6$

კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია საანგარიშო მონოლითური ფენის მასალაზე $m=5,1$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს სიმტკიცეზე დადლილობის პროცესებს:

$$K_1 = \frac{\alpha}{m \sqrt{\sum N_p}} = \frac{5,6}{5,1 \sqrt{(2096905)}} = 0,323$$

სიმტკიცის შემცირების კოეფიციენტი $k_2=0,8$

მონოლითური ფენის მასალის სიმტკიცე მრავალჯერადად გაჭიმვაზე ღუნვისას:

$$R_n = R_0 * K_1 * k_2 * (1 - v_3 * t) = 9,3 * 0,323 * 0,8 * (1 - 0,1 * 2,19) = 1,875 \text{ მპა}$$

$$E_{ფ} = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i * h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{6850 * 5 + 7200 * 7 + 6100 * 7}{5 + 7 + 7} = 6702,6 \text{ მპა}$$

საფუძვლის საერთო დრეკადობის მოდული $E_{საერთ.}=294,9$ მპა

ერთეული დატვირთვებისგან გამოწვეული გამჭიმავი ძაბვა საანგარიშო დიამეტრის ფართობზე, რომელზეც გადაეცემა დატვირთვა:

$$\frac{E_{ფ}}{E_{საერთ.}} = \frac{6702,6}{294,9} = 22,7; \frac{h}{D} = \frac{19}{37,1} = 0,51; \bar{\tau}_d = 1,99 \text{ მპა}$$

ძვრის აქტიური ძაბვა:

$$\sigma_r = \bar{\tau}_d * p * k_{\phi} = 1,99 * 0,8 * 0,85 = 1,35 \text{ მპა}$$

$$K_{\text{საანგ}} = \frac{R_d}{\sigma_r} = \frac{1,875}{1,35} = 1,39; \frac{K_{\text{საანგ}} - K_{\text{საჭ}}}{K_{\text{საჭ}}} * 100\% = \frac{1,39 - 1,1}{1,1} * 100\% = 26,2\%$$

მონოლითური ფენების სიმტკიცე გაჭიმვაზე ღუნვისას დაკმაყოფილებულია ანგარიში ნაკვალევის წარმოქმნაზე

შეჯამების კოეფიციენტი $K_{\Sigma} = 12,01$

საანგარიშო დასაშვები დატვირთვების ჯამური რიცხვი:

$$N_{\Sigma} = 0,6 * f_{\text{ს.ზოლ.}} * N_1 * K_{\Sigma} * T_{\text{ს.დ.წ}} = 0,6 * 0,45 * 1669 * 12,1 * 205 = 1109473,59$$

გრუნტში ნარჩენი დეფორმაციების ანგარიში

ნარჩენი ჯდენის მნიშვნელობა $h_{\Sigma, \text{შეფ}} = 0,012 \text{ მ}$

საგზაო სამოსის გასაშუალებული მოდული:

$$E_s = \frac{4600 * 5 + 4800 * 7 + 3700 * 7 + 800 * 25 + 240 * 40}{5 + 7 + 7 + 25 + 40} = 1334,5 \text{ მპა}$$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ფაქტიური დრეკადობის მოდულის შესწორებას $K_e = 1$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს საგზაო სამოსის სისქის შესწორებას $K_{ha} = 0,96$

გრუნტის ნარჩენი ჯდენა

$$h_{\text{საჭ}} = h_{\Sigma, \text{შეფ}} * K_e * K_{ha} = 0,012 * 1 * 0,9592 = 0,0115 \text{ მ}$$

მონოლითურ ფენებში ნარჩენი დეფორმაციების ანგარიში

ძვრა საშიში დღეების საანგარიშო მნიშვნელობა წელიწადში $T_{\text{საწ}} = 19$

დასაშვები საანგარიშო დატვირთვის ჯამური რიცხვი:

$$N_{\Sigma} = 0,6 * f_{\text{ს.ზოლ.}} * N_1 * K_{\Sigma} * T_{\text{ს.დ.წ}} = 0,6 * 0,45 * 1669 * 12,01 * 19 = 102829,26$$

სატრანსპორტო დატვირთვის ზემოქმედების ხანგრძლივობა $t_c = 0,012 \text{ წმ}$.

დაყვანილი დასაშვები საანგარიშო დატვირთვის ჯამური რიცხვი $t_c = 0,01 \text{ წმ}$.

$$N_{\text{საწ}} = \frac{N_{\text{საერთ.}} * t_c}{0,01} = \frac{102829,26}{0,01} = 123395,11$$

საწყისი ნარჩენი დეფორმაცია $h_{\text{საწ}} = 0 \text{ მ}$.

ბლანტი წინაღობის ფაქტიური შესწორების კოეფიციენტი $K_h = 1$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ასფალტბეტონის ამობურცვას

ნაკვალევის კიდებზე $K_{\text{ამობ.}} = 1,3$

ნარჩენი დეფორმაციები

$$h_{გვ} = E_{საფ.} \cdot K_{h} \cdot K_{ამობ.} = 0,00216 \cdot 1 \cdot 1,3 = 0,00288$$

მე-4 ფენისთვის ფარდობითი ნარჩენი დეფორმაციის ანგარიში

მასალა: მზა ქვიშა-ლორღოვანი ნარევი I კლასის სიმტკიცის, გამაგრებული პორტლანდცემენტით M-40 (4-6%) ბიტუმით (2-4%)

ნარჩენი დეფორმაციები

$$\frac{E_4}{E_{გრ}} = \frac{800}{51} = 15,76 ; h_{შეფ.} = 0,11; h_m = h_{შეფ.} \cdot h_t = 0,11 \cdot 0,0115 = 0,0013 \text{ მ.}$$

მე-5 ფენისთვის ფარდობითი ნარჩენი დეფორმაციის ანგარიში

მასალა: ქვიშა-ხრემოვანი ნარევი უწყვეტი გრანულომეტრით C3 – 120მმ (საფუძვლებისთვის)

ნარჩენი დეფორმაციები:

$$\frac{E_5}{E_{გრ}} = \frac{240}{51} = 4,73 ; h_{შეფ.} = 0,83; h_m = h_{შეფ.} \cdot h_t = 0,83 \cdot 0,0115 = 0,0095 \text{ მ.}$$

საფუძვლის ფენებში ნარჩენი აბსოლუტური დეფორმაციის ანგარიში:

$$h_{საფ.} = 0,0013 + 0,0095 = 0,0108 \text{ მ.}$$

საფარის ცვეთა

$$\text{კოეფიციენტი } K_q = 1,17$$

საერთო ფაქტიური ინტენსივობა

$$N_{საერთ.} = f_{ს.ზოლ.} \cdot N_1 \cdot K_q = 0,45 \cdot 21315 \cdot 1,17 = 11222,35$$

$$\text{საფარის საშუალო წლიური ცვეთა } D_{გ.საშ.} = 0,00142 \text{ მ}$$

საფარის ცვეთა 10 წლის განმავლობაში:

$$D_{გ.} = D_{გ.საშ.} \cdot T = 0,00142 \cdot 10 = 0,0142 \text{ მ.}$$

ნაკვალევის საერთო სიღრმე

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს არათანაბარ ნარჩენი დეფორმაციის წილს საერთო ჯდენიდან $K_{ა.წ} = 0,15$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ნარჩენი დეფორმაციების საშუალო მნიშვნელობის გადასვლას გრძივი მიმართულებით ნაკვალევის საშუალო სიღრმეზე $K_{გრძ.} = 2,56$

ნაკვალევის საერთო სიღრმე ითვლება მიწის ვაკის და საგზაო სამოსის ფენების ნარჩენი დეფორმაციების დაჯამების საფუძველზე:

$$h_{საერთ.}^{საშ.} = \left((h_{საჭ.} + h_{საფ.}) * K_{ა.ნ} + h_{გვ} \right) * K_n + D_o$$

$$= \left((0,0108 + 0,0115) * 0,15 + 0,003 \right) * 2,56 + 0,0142 = 0,03\text{მ} = 3 \text{ სმ.}$$

ნაკვალევის ზღვრული დასაშვები სიღრმე $h_{საერთ.}^{საშ.} = 3 \text{ სმ.}$

ნაკვალევის დასაშვები სიღრმე $h_{საერთ.}^{დას.} = 2,5 \text{ სმ.}$

$$h_{საერთ.}^{პრ.} - h_{საერთ.}^{დას.} = 3 - 2,5 = 0,5 \text{ სმ.}$$

ნაკვალევის სიღრმე არ აჭარბებს ზღვრულ დასაშვებ მნიშვნელობას.

ვარიანტი 2

1) საფარის ზედა ფენა; 5 სმ.

ასფალტბეტონი პოლიმერ-მოდირებული ბიტუმის გამოყენებით კმბ 40, ღორღის მარცვლის მაქსიმალური ზომით 22 მმ.

2) საფარის ქვედა ფენა; 7 სმ.

ასფალტბეტონი ბიტუმის შემკვრელით 50/70, ღორღის მარცვლის მაქსიმალური ზომით 32 მმ.

3) საფუძვლის ზედა ფენა; 7სმ.

ასფალტბეტონი საფუძვლებისთვის ბიტუმის შემკვრელით 50/70, ღორღის მარცვლის მაქსიმალური ზომით 32 მმ.

4) საფუძველი: 25 სმ.

მზა ქვიშა-ღორღოვანი ნარევი I კლასის სიმტკიცის, გამაგრებული პორტლანდცემენტით M-40 (4-6%) და ნაცრით (10-16%)

5) საფუძვლის ქვედა ფენა; 40 სმ.

ქვიშა-ხრემოვანი ნარევი უწყვეტი გრანულომეტრიით C3 - 120 მმ. (საფუძვლებისთვის)

მიწის ვაკისის გრუნტი

მსხვილნატეხოვანი გრუნტი. ქვის მასალა 50% და თიხოვანი შემავსებელი 50%

ანგარიში დრეკად ჩაღუნვაზე

დასაშვებ დრეკად ჩაღუნვაზე ანგარიშს ვაწარმოებთ ფენებად, ვიწყებთ ვაკისის გრუნტიდან.

$$\frac{E_{ქვ}}{E_5} = \frac{E_{გრ}}{E_5} = \frac{50,76}{240} = 0,2115; \quad \frac{h_5}{D} = \frac{h_5}{D} = \frac{40}{37,1} = 1,0782; \quad \frac{E_{ფედ}}{E_5} = \frac{E_{ფედ}^4}{E_5} \approx 0,53966$$

$$E_{ფედ}^4 = 0,53966 * 240 = 129,52 \text{ მპა}$$

$$\frac{E_{ქ3}}{E_{\Phi}} = \frac{E_5}{E_4} = \frac{129.6}{800} = 0,1619; \frac{h_{\Phi}}{D} = \frac{h_4}{D} = \frac{25}{37,1} = 0,6739; \frac{E_{\Phi_{ედ}}}{E_{\Phi}} = \frac{E_{\Phi_{ედ}}^3}{E_4} \approx 0,36858$$

$$E_{\Phi_{ედ}}^3 = 0,36858 * 800 = 294,86 \text{ მპა}$$

$$\frac{E_{ქ3}}{E_{\Phi}} = \frac{E_4}{E_3} = \frac{294.86}{3700} = 0,0797; \frac{h_{\Phi}}{D} = \frac{h_3}{D} = \frac{7}{37,1} = 0,1887; \frac{E_{\Phi_{ედ}}}{E_{\Phi}} = \frac{E_{\Phi_{ედ}}^2}{E_3} \approx 0,10838$$

$$E_{\Phi_{ედ}}^2 = 0,10838 * 3700 = 401,01 \text{ მპა}$$

$$\frac{E_{ქ3}}{E_{\Phi}} = \frac{E_3}{E_2} = \frac{401,01}{4800} = 0,0835; \frac{h_{\Phi}}{D} = \frac{h_2}{D} = \frac{7}{37,1} = 0,1887; \frac{E_{\Phi_{ედ}}}{E_{\Phi}} = \frac{E_{\Phi_{ედ}}^1}{E_2} \approx 0,11289$$

$$E_{\Phi_{ედ}}^1 = 0,11289 * 4800 = 541,87 \text{ მპა}$$

$$\frac{E_{ქ3}}{E_{\Phi}} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{541,87}{4600} = 0,1178; \frac{h_{\Phi}}{D} = \frac{h_1}{D} = \frac{5}{37,1} = 0,1348; \frac{E_{\Phi_{ედ}}}{E_{\Phi}} = \frac{E_{\Phi_{ედ}}^0}{E_1} \approx 0,13915$$

$$E_{\Phi_{ედ}}^0 = 0,13915 * 4600 = 640,09 \text{ მპა}$$

$$K_{საანგ} = \frac{E_{\Phi_{ედ}}}{E_{საქ}} = \frac{640,09}{330} = 1,94; \frac{K_{საანგ} - K_{საქ}}{K_{საქ}} * 100\% = \frac{1,94 - 1,5}{1,5} * 100\% = 29,33\%$$

დასაშვები დრეკადი ჩალუნვის კრიტერიუმი მიღწეულია

ანგარიში ძვრისადმი მედეგობაზე

მიწის ვაკისის გრუნტი

მსხვილნატეხოვანი გრუნტი. ქვის მასალა 50% და თიხოვანი შემავსებელი 50%

$E=50,8$ მპა, $\varphi=26^{\circ}$, $\psi_{სტატ}=26^{\circ}$, $c=0,04$ მპა

ზედა ფენების გასაშუალებული დრეკადობის მოდული:

$$E_{\Phi} = \frac{\sum_{i=1}^5 E_i * h_i}{50,8} = \frac{800 * 5 + 900 * 7 + 750 * 7 + 800 * 25 + 240 * 40}{5 + 7 + 7 + 25 + 40} = 537,5 \text{ მპა}$$

ერთეული ხვედრითი აქტიური ძაბვა ერთეული დატვირთვებისგან:შ

$$\frac{E_{\Phi}}{E_{საერთ.}} = \frac{537,5}{50,8} = 10,59; \frac{h_{\Phi}}{D} = \frac{84}{37,1} = 2,26; \tau_{\Phi} \approx 0,0084 \text{ მპა}$$

ძვრის აქტიური ძაბვა:

$$T = \tau_{\Phi} * p = 0,0084 * 0,8 = 0,00672 \text{ მპა}$$

კოეფიციენტი $k_d = 1$

შესამოწმებელი ზედაპირის ჩაღრმავება კონსტრუქციის თავიდან

$Z_{\Phi}=5+7+7+25+40=84$ სმ.

ფენების გასაშუალებული მოცულობითი წონა, რომლებიც განლაგებულია

შესამოწმებელი ფენის ზემოთ

$$V_{საშ} = \frac{2400 * 5 + 2400 * 7 + 2400 * 7 + 2100 * 25 + 2000 * 40}{5 + 7 + 7 + 25 + 40} = 2120,2 \frac{\text{კმ}^3}{\text{მ}^3}$$

$$= 0,00212 \frac{\text{კმ}^3}{\text{მ}^3}$$

ძვრის ზღვრული აქტიური ძაბვა:

$$T_{სიმტ.} = k_d * (c_n + 0.1 * V_{საშ} * z_{ფ} * \tan \varphi_{სტატ}) = 1 * (0,04 + 0,1 * 0,00212 * 84 * \tan 26^\circ)$$

$$\approx 0,04869 \text{ მპა}$$

$$K_{საანგ} = \frac{T_{სიმტკ}}{T} = \frac{0,04869}{0,00672} = 7,25; \frac{K_{საანგ} - K_{საქ}}{K_{საქ}} * 100\% = \frac{7,25 - 1,1}{1,1} * 100\% = 559,1\%$$

მიწის ვაკისის გრუნტის ძვრისადმი მედეგობა დაკმაყოფილებულია.

ანგარიში სტატიკურ დატვირთვაზე

მიწის ვაკისის გრუნტი

მსხვილნატეხოვანი გრუნტი. ქვის მასალა 50% და თიხოვანი შემავსებელი 50%

$E=50,8 \text{ მპა}$, $\varphi=26^\circ$, $\varphi_{სტატ}=26^\circ$, $c=0,04 \text{ მპა}$

ზედა ფენების გასაშუალებული დრეკადობის მოდული:

$$E_{ფ} = \frac{\sum_{i=1}^5 E_i * h_i}{50,8} = \frac{290 * 5 + 290 * 7 + 280 * 7 + 800 * 25 + 240 * 40}{5 + 7 + 7 + 25 + 40} = 417,1 \text{ მპა}$$

ერთეული ხვედრითი აქტიური ძაბვა ერთეული დატვირთვებისგან:

$$\frac{E_{ფ}}{E_{საერთ.}} = \frac{417,1}{50,8} = 8,22; \frac{h_{ფ}}{D} = \frac{84}{32,6} = 2,58; \tau_d \approx 0,00778 \text{ მპა}$$

ძვრის აქტიური ძაბვა:

$$T = \tau_d * p = 0,00778 * 0,8 = 0,00622 \text{ მპა}$$

კოეფიციენტი $k_d = 1$

შესამოწმებელი ზედაპირის ჩაღრმავება კონსტრუქციის თავიდან

$Z_{ფ}=5+7+7+25+40=84 \text{ სმ}$.

ფენების გასაშუალებული მოცულობითი წონა, რომლებიც განლაგებულია

შესამოწმებელი ფენის ზემოთ

$$V_{საშ} = \frac{2400 * 5 + 2400 * 7 + 2400 * 7 + 2100 * 25 + 2000 * 40}{5 + 7 + 7 + 25 + 40} = 2120,2 \frac{\text{კმ}^3}{\text{მ}^3}$$

$$= 0,00212 \frac{\text{კმ}^3}{\text{მ}^3}$$

ძვრის ზღვრული აქტიური ძაბვა:

$$T_{სიმტ.} = k_d * (c_n + 0.1 * V_{საშ} * z_{ფ} * \tan \varphi_{სტატ}) = 1 * (0,04 + 0,1 * 0,00212 * 84 * \tan 26^\circ)$$

$$\approx 0,04869 \text{ მპა}$$

$$K_{\text{საანგ}} = \frac{T_{\text{სიმტკ}}}{T} = \frac{0,04869}{0,00622} = 7,83; \frac{K_{\text{საანგ}} - K_{\text{საჭ}}}{K_{\text{საჭ}}} * 100\% = \frac{7,83 - 1,1}{1,1} * 100\% = 611,8\%$$

მიწის ვაკისის გრუნტის ძვრისადმი მედეგობა დაკმაყოფილებულია.

ანგარიში ჩალუნვაზე

ქვედა ფენის მონოლითური ბლოკის მასალას წარმოადგენს ასფალტბეტონი საფუძვლებისთვის ბიტუმის შემკვრელით 50/70, ღორღის მარცვლის მაქსიმალური ზომით 32 მმ.

ნორმატიული წინააღობა გაზაფხულზე $R_0=9,3$ მპა

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მოერადი დატვირთვებისას გაჭიმვის რეალურ რეჟიმს $\alpha=5,6$

კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია საანგარიშო მონოლითური ფენის მასალაზე $m=5,1$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს სიმტკიცეზე დადლილობის პროცესებს:

$$K_1 = \frac{\alpha}{m \sqrt{(\sum N_p)}} = \frac{5,6}{5,1 \sqrt{(2096905)}} = 0,323$$

სიმტკიცის შემცირების კოეფიციენტი $k_2=0,8$

მონოლითური ფენის მასალის სიმტკიცე მრავალჯერადად გაჭიმვაზე ღუნვისას:

$$R_n = R_0 * K_1 * k_2 * (1 - v_3 * t) = 9,3 * 0,323 * 0,8 * (1 - 0,1 * 2,19) = 1,875 \text{ მპა}$$

$$E_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i * h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{6850 * 5 + 7200 * 7 + 6100 * 7}{5 + 7 + 7} = 6702,6 \text{ მპა}$$

საფუძვლის საერთო დრეკადობის მოდული $E_{\text{საერთ}}=294,9$ მპა

ერთეული დატვირთვებისგან გამოწვეული გამჭიმავი ძაბვა საანგარიშო დიამეტრის ფართობზე, რომელზეც გადაეცემა დატვირთვა:

$$\frac{E_{\phi}}{E_{\text{საერთ.}}} = \frac{6702,6}{294,9} = 22,7; \frac{h}{D} = \frac{19}{37,1} = 0,51; \bar{\tau}_d = 1,99 \text{ მპა}$$

ძვრის აქტიური ძაბვა:

$$\sigma_r = \bar{\tau}_d * p * k_{\phi} = 1,99 * 0,8 * 0,85 = 1,35 \text{ მპა}$$

$$K_{\text{საანგ}} = \frac{R_n}{\sigma_r} = \frac{1,875}{1,35} = 1,39; \frac{K_{\text{საანგ}} - K_{\text{საჭ}}}{K_{\text{საჭ}}} * 100\% = \frac{1,39 - 1,1}{1,1} * 100\% = 26,2\%$$

მონოლითური ფენების სიმტკიცე გაჭიმვაზე ღუნვისას დაკმაყოფილებულია

ანგარიში ნაკვალევის წარმოქმნაზე

შეჯამების კოეფიციენტი $K_{\Sigma}=12,01$

საანგარიშო დასაშვები დატვირთვების ჯამური რიცხვი:

$$N_{\Sigma}=0,6 \cdot f_{\text{ს.ზოლ.}} \cdot N_1 \cdot K_{\Sigma} \cdot T_{\text{ს.დ.წ}}=0,6 \cdot 0,45 \cdot 1669 \cdot 12,1 \cdot 205=1109473,59$$

გრუნტში ნარჩენი დეფორმაციების ანგარიში

ნარჩენი ჯდენის მნიშვნელობა $h_{\Sigma, \text{შეგ}}=0,012$ მ

საგზაო სამოსის გასაშუალებული მოდული

$$E_{\Sigma} = \frac{4600 \cdot 5 + 4800 \cdot 7 + 3700 \cdot 7 + 800 \cdot 25 + 240 \cdot 40}{5 + 7 + 7 + 25 + 40} = 1334,5 \text{ მპა}$$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ფაქტიური დრეკადობის მოდულის შესწორებას $K_e=1$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს საგზაო სამოსის სისქის შესწორებას $K_{ha}=0,96$

გრუნტის ნარჩენი ჯდენა:

$$h_{\Sigma \text{კ}} = h_{\Sigma, \text{შეგ}} \cdot K_e \cdot K_{ha} = 0,012 \cdot 1 \cdot 0,9592 = 0,0115 \text{ მ.}$$

მონოლითურ ფენებში ნარჩენი დეფორმაციების ანგარიში

ძვრა საშიში დღეების საანგარიშო მნიშვნელობა წელიწადში $T_{\text{საწ}}=19$

დასაშვები საანგარიშო დატვირთვის ჯამური რიცხვი:

$$N_{\Sigma}=0,6 \cdot f_{\text{ს.ზოლ.}} \cdot N_1 \cdot K_{\Sigma} \cdot T_{\text{ს.დ.წ}}=0,6 \cdot 0,45 \cdot 1669 \cdot 12,01 \cdot 19=102829,26$$

სატრანსპორტო დატვირთვის ზემოქმედების ხანგრძლივობა $t_c=0,012$ წმ.

დაყვანილი დასაშვები საანგარიშო დატვირთვის ჯამური რიცხვი $t_c=0,01$ წმ.

$$N_{\text{სგ}} = \frac{N_{\text{საერთ.}} \cdot t_c}{0,01} = \frac{102829,26}{0,01} = 123395,11$$

საწყისი ნარჩენი დეფორმაცია $h_{\text{საწ}}=0$ მ.

ბლანტი წინაღობის ფაქტიური შესწორების კოეფიციენტი $K_h=1$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ასფალტბეტონის ამობურცვას ნაკვალევის კიდეებზე $K_{\text{ამობ.}}=1,3$

ნარჩენი დეფორმაციები

$$h_{\text{გვ}} = E_{\text{საწ}} \cdot K_h \cdot K_{\text{ამობ.}} = 0,00216 \cdot 1 \cdot 1,3 = 0,00280$$

მე-4 ფენისთვის ფარდობითი ნარჩენი დეფორმაციის ანგარიში

მასალა: მზა ქვიშა-ლორღოვანი ნარევი I კლასის სიმტკიცის, გამაგრებული პორტლანდცემენტით M-40 (4-6%) და ნაცრით (10-16%)

ნარჩენი დეფორმაციები:

$$\frac{E_4}{E_{გრ}} = \frac{800}{51} = 15,76 ; h_{შეფ.} = 0,11; h_m = h_{შეფ.} * h_t = 0,11 * 0,0115 = 0,0013 \text{ მ.}$$

მე-5 ფენისთვის ფარდობითი ნარჩენი დეფორმაციის ანგარიში

მასალა: ქვიშა-ხრემოვანი ნარევი უწყვეტი გრანულომეტრიით C3 – 120მმ
(საფუძვლებისთვის)

ნარჩენი დეფორმაციები:

$$\frac{E_5}{E_{გრ}} = \frac{240}{51} = 4,73 ; h_{შეფ.} = 0,83; h_m = h_{შეფ.} * h_t = 0,83 * 0,0115 = 0,0095 \text{ მ.}$$

საფუძვლის ფენებში ნარჩენი აბსოლუტური დეფორმაციის ანგარიში:

$$h_{საფ.} = 0,0013 + 0,0095 = 0,0108 \text{ მ.}$$

საფარის ცვეთა

კოეფიციენტი $K_q = 1,17$

საერთო ფაქტიური ინტენსივობა:

$$N_{საერთ.} = f_{ს.ზოლ.} * N_1 * K_q = 0,45 * 21315 * 1,17 = 11222,35$$

საფარის საშუალო წლიური ცვეთა $D_{ც.საშ.} = 0,00142 \text{ მ}$

საფარის ცვეთა 10 წლის განმავლობაში:

$$D_{ც.} = D_{ც.საშ.} * T = 0,00142 * 10 = 0,0142 \text{ მ.}$$

ნაკვალევის საერთო სიღრმე

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს არათანაბარ ნარჩენი დეფორმაციის წილს საერთო ჯდენიდან $K_{ა.ნ} = 0,15$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ნარჩენი დეფორმაციების საშუალო მნიშვნელობის გადასვლას გრძივი მიმართულებით ნაკვალევის საშუალო სიღრმეზე $K_{გრძ.} = 2,56$

ნაკვალევის საერთო სიღრმე ითვლება მიწის ვაკისის და საგზაო სამოსის ფენების ნარჩენი დეფორმაციების დაჯამების საფუძველზე:

$$h_{საერთ.}^{საშ.} = ((h_{საჭ.} + h_{საფ.}) * K_{ა.ნ} + h_{ცვ.}) * K_n + D_o \\ = ((0,0108 + 0,0115) * 0,15 + 0,003) * 2,56 + 0,0142 = 0,03 \text{ მ} = 3 \text{ სმ.}$$

ნაკვალევის ზღვრული დასაშვები სიღრმე $h_{საერთ.}^{საშ.} = 3 \text{ სმ.}$

ნაკვალევის დასაშვები სიღრმე $h_{საერთ.}^{დას.} = 2,5 \text{ სმ.}$

$$h_{საერთ.}^{პრ.} - h_{საერთ.}^{დას.} = 3 - 2,5 = 0,5 \text{ სმ.}$$

ნაკვალევის სიღრმე არ აჭარბებს ზღვრულ დასაშვებ მნიშვნელობას.

ვარიანტი 3

1) საფარის ზედა ფენა; 5 სმ.

ასფალტბეტონი პოლიმერ-მოდიფიცირებული ბიტუმის გამოყენებით პმზ 40, ღორღის მარცვლის მაქსიმალური ზომით 22 მმ.

2) საფარის ქვედა ფენა; 7 სმ.

ასფალტბეტონი ბიტუმის შემკვრელით 50/70, ღორღის მარცვლის მაქსიმალური ზომით 32 მმ.

3) საფუძვლის ზედა ფენა; 7სმ.

ასფალტბეტონი საფუძვლებისთვის ბიტუმის შემკვრელით 50/70, ღორღის მარცვლის მაქსიმალური ზომით 32 მმ.

4) საფუძველი: 40 სმ.

ქვიშა-ღორღოვანი ნარევი უწყვეტი გრანულომეტრიით, C3 – 40 მმ.
(საფუძვლებისთვის)

5) საფუძვლის ქვედა ფენა; 40 სმ.

ქვიშა-ხრემოვანი ნარევი უწყვეტი გრანულომეტრიით, C3 – 120 მმ.
(საფუძვლებისთვის)

მიწის ვაკისის გრუნტი

მსხვილნატეხოვანი გრუნტი. ქვის მასალა 50% და თიხოვანი შემავსებელი 50%

ანგარიში დრეკად ჩალუნვაზე

დასაშვებ დრეკად ჩალუნვაზე ანგარიშს ვაწარმოებთ ფენებად, ვიწყებთ ვაკისის გრუნტიდან.

$$\frac{E_{ქ3}}{E_{\phi}} = \frac{E_{გ5}}{E_5} = \frac{50,76}{240} = 0,2115; \frac{h_{\phi}}{D} = \frac{h_5}{D} = \frac{40}{37,1} = 1,0782; \frac{E_{\phiედ}}{E_{\phi}} = \frac{E_{\phiედ}^4}{E_5} \approx 0,53966$$

$$E_{\phiედ}^4 = 0,53966 * 240 = 129,52 \text{ მპა}$$

$$\frac{E_{ქ3}}{E_{\phi}} = \frac{E_5}{E_4} = \frac{129,6}{800} = 0,4981; \frac{h_{\phi}}{D} = \frac{h_4}{D} = \frac{40}{37,1} = 1,0782; \frac{E_{\phiედ}}{E_{\phi}} = \frac{E_{\phiედ}^3}{E_4} \approx 0,78237$$

$$E_{\phiედ}^3 = 0,78237 * 260 = 203,42 \text{ მპა}$$

$$\frac{E_{ქ3}}{E_{\phi}} = \frac{E_4}{E_3} = \frac{203,42}{3700} = 0,055; \frac{h_{\phi}}{D} = \frac{h_3}{D} = \frac{7}{37,1} = 0,1887; \frac{E_{\phiედ}}{E_{\phi}} = \frac{E_{\phiედ}^2}{E_3} \approx 0,07887$$

$$E_{\phiედ}^2 = 0,07887 * 3700 = 291,82 \text{ მპა}$$

$$\frac{E_{ქ3}}{E_{\phi}} = \frac{E_3}{E_2} = \frac{291,82}{4800} = 0,0608; \frac{h_{\phi}}{D} = \frac{h_2}{D} = \frac{7}{37,1} = 0,1887; \frac{E_{\phi_{ედ}}}{E_{\phi}} = \frac{E_{\phi_{ედ}}^1}{E_2} \approx 0,0859$$

$$E_{\phi_{ედ}}^1 = 0,0859 * 4800 = 412,32 \text{ მპა}$$

$$\frac{E_{ქ3}}{E_{\phi}} = \frac{E_2}{1} = \frac{412,32}{4600} = 0,0896; \frac{h_{\phi}}{D} = \frac{h_1}{D} = \frac{5}{37,1} = 0,1348; \frac{E_{\phi_{ედ}}}{E_{\phi}} = \frac{E_{\phi_{ედ}}^0}{E_1} \approx 0,1079$$

$$E_{\phi_{ედ}}^0 = 0,1079 * 4600 = 496,34 \text{ მპა}$$

$$K_{საანგ} = \frac{E_{\phi_{ედ}}}{E_{საქ}} = \frac{496,34}{330} = 1,5; \frac{K_{საანგ} - K_{საქ}}{K_{საქ}} * 100\% = \frac{1,5 - 1,5}{1,5} * 100\% = 0\%$$

დასაშვები დრეკადი ჩალუნვის კრიტერიუმი მიღწეულია

ანგარიში ძვრისადმი მედეგობაზე

მიწის ვაკისის გრუნტი

მსხვილნატეხოვანი გრუნტი. ქვის მასალა 50% და თიხოვანი შემავსებელი 50%

$E=50,8$ მპა, $\varphi=26^0$, $\varphi_{სტატ}=26^0$, $c=0,04$ მპა

ზედა ფენების გასაშუალებული დრეკადობის მოდული:

$$E_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^5 E_i * h_i}{50,8} = \frac{800 * 5 + 900 * 7 + 750 * 7 + 260 * 40 + 240 * 40}{5 + 7 + 7 + 40 + 40} = 359,1 \text{ მპა}$$

ერთეული ხვედრითი აქტიური ძაბვა ერთეული დატვირთვებისგან:

$$\frac{E_{\phi}}{E_{საერთ.}} = \frac{359,1}{50,8} = 7,07; \frac{h_{\phi}}{D} = \frac{99}{37,1} = 2,67; \tau_d \approx 0,00788 \text{ მპა}$$

ძვრის აქტიური ძაბვა:

$$T = \tau_d * p = 0,00788 * 0,8 = 0,0063 \text{ მპა}$$

კოეფიციენტი $k_d = 1$

შესამოწმებელი ზედაპირის ჩალრმავება კონსტრუქციის თავიდან:

$Z_{\phi}=5+7+7+40+40=99$ სმ.

ფენების გასაშუალებული მოცულობითი წონა, რომლებიც განლაგებულია

შესამოწმებელი ფენის ზემოთ:

$$\begin{aligned} \gamma_{საშ} &= \frac{2400 * 5 + 2400 * 7 + 2400 * 7 + 2000 * 40 + 2000 * 40}{5 + 7 + 7 + 25 + 40} = 2076,8 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^3} \\ &= 0,002077 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^3} \end{aligned}$$

ძვრის ზღვრული აქტიური ძაბვა:

$$\begin{aligned} T_{სიმტ.} &= k_d * (c_n + 0,1 * \gamma_{საშ} * z_{\phi} * \tan \varphi_{სტატ}) \\ &= 1 * (0,04 + 0,1 * 0,002077 * 99 * \tan 26^0) \approx 0,05003 \text{ მპა} \end{aligned}$$

$$K_{საანგ} = \frac{T_{სიმტკ}}{T} = \frac{0,05003}{0,0063} = 7,94; \frac{K_{საანგ} - K_{საჟ}}{K_{საჟ}} * 100\% = \frac{7,94 - 1,1}{1,1} * 100\% = 621,8\%$$

მიწის ვაკისის გრუნტის ძვრისადმი მედეგობა დაკმაყოფილებულია.

ანგარიში სტატიკურ დატვირთვაზე

მიწის ვაკისის გრუნტი

მსხვილნატეხოვანი გრუნტი. ქვის მასალა 50% და თიხოვანი შემავსებელი 50%

$E=50,8$ მპა, $\varphi=26^0$, $\varphi_{სტატ}=26^0$, $c=0,04$ მპა

ზედა ფენების გასაშუალებული დრეკადობის მოდული:

$$E_{\varphi} = \frac{\sum_{i=1}^5 E_i * h_i}{50,8} = \frac{290 * 5 + 290 * 7 + 280 * 7 + 260 * 40 + 240 * 40}{5 + 7 + 7 + 40 + 40} = 257 \text{ მპა}$$

ერთეული ხვედრითი აქტიური ძაბვა ერთეული დატვირთვებისგან:

$$\frac{E_{\varphi}}{E_{საერთ.}} = \frac{257}{50,8} = 5,06; \frac{h_{\varphi}}{D} = \frac{99}{32,6} = 3,04; \tau_{\varphi} \approx 0,00742 \text{ მპა}$$

ძვრის აქტიური ძაბვა:

$$T = \tau_{\varphi} * p = 0,00742 * 0,8 = 0,00593 \text{ მპა}$$

კოეფიციენტი $k_d = 1$

შესამოწმებელი ზედაპირის ჩაღრმავება კონსტრუქციის თავიდან

$Z_{\varphi}=5+7+7+40+40=99$ სმ.

ფენების გასაშუალებული მოცულობითი წონა, რომლებიც განლაგებულია

შესამოწმებელი ფენის ზემოთ:

$$\begin{aligned} \gamma_{საშ} &= \frac{2400 * 5 + 2400 * 7 + 2400 * 7 + 2100 * 40 + 2000 * 40}{5 + 7 + 7 + 40 + 40} = 2076,8 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^3} \\ &= 0,002077 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^3} \end{aligned}$$

ძვრის ზღვრული აქტიური ძაბვა:

$$\begin{aligned} T_{სიმტკ.} &= k_d * (c_n + 0,1 * \gamma_{საშ} * z_{\varphi} * \tan \varphi_{სტატ}) \\ &= 1 * (0,04 + 0,1 * 0,002077 * 99 * \tan 26^0) \approx 0,05003 \text{ მპა} \end{aligned}$$

$$K_{საანგ} = \frac{T_{სიმტკ}}{T} = \frac{0,05003}{0,00593} = 8,43; \frac{K_{საანგ} - K_{საჟ}}{K_{საჟ}} * 100\% = \frac{8,43 - 1,1}{1,1} * 100\% = 666,4\%$$

მიწის ვაკისის გრუნტის ძვრისადმი მედეგობა დაკმაყოფილებულია.

ანგარიში ჩალუნვაზე

ქვედა ფენის მონოლითური ბლოკის მასალას წარმოადგენს ასფალტბეტონი საფუძვლებისთვის ბიტუმის შემკვრელით 50/70, ღორღის მარცვლის მაქსიმალური ზომით 32 მმ.

ნორმატიული წინააღობა გაზაფხულზე $R_0=9,3$ მპა

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მოერადი დატვირთვებისას გაჭიმვის რეალურ რეჟიმს $\alpha=5,6$

კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია საანგარიშო მონოლითური ფენის მასალაზე $m=5,1$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს სიმტკიცეზე დაღლილობის პროცესებს:

$$K_1 = \frac{\alpha}{m \sqrt{\sum N_p}} = \frac{5,6}{5,1 \sqrt{(2096905)}} = 0,323$$

სიმტკიცის შემცირების კოეფიციენტი $k_2=0,8$

მონოლითური ფენის მასალის სიმტკიცე მრავალჯერადად გაჭიმვაზე ღუნვისას:

$$R_n = R_0 * K_1 * k_2 * (1 - v_3 * t) = 9,3 * 0,323 * 0,8 * (1 - 0,1 * 2,19) = 1,875 \text{ მპა}$$

$$E_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i * h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{6850 * 5 + 7200 * 7 + 6100 * 7}{5 + 7 + 7} = 6702,6 \text{ მპა}$$

საფუძვლის საერთო დრეკადობის მოდული $E_{საერთ} = 203,4$ მპა

ერთეული დატვირთვებისგან გამოწვეული გამჭიმავი ძაბვა საანგარიშო დიამეტრის ფართობზე, რომელზეც გადაეცემა დატვირთვა:

$$\frac{E_{\phi}}{E_{საერთ}} = \frac{6702,6}{203,4} = 33; \frac{h}{D} = \frac{19}{37,1} = 0,51; \bar{\tau}_0 = 2,21 \text{ მპა}$$

ძვრის აქტიური ძაბვა:

$$\sigma_r = \bar{\tau}_0 * p * k_{\phi} = 2,21 * 0,8 * 0,85 = 1,502 \text{ მპა}$$

$$K_{საანგ} = \frac{R_n}{\sigma_r} = \frac{1,875}{1,502} = 1,25; \frac{K_{საანგ} - K_{საჭ}}{K_{საჭ}} * 100\% = \frac{1,25 - 1,1}{1,1} * 100\% = 13,45\%$$

მონოლითური ფენების სიმტკიცე გაჭიმვაზე ღუნვისას დაკმაყოფილებულია

ანგარიში ნაკვალევის წარმოქმნაზე

შეჯამების კოეფიციენტი $K_{\chi} = 12,01$

საანგარიშო დასაშვები დატვირთვების ჯამური რიცხვი:

$$N_{\chi} = 0,6 * f_{ს.ზოლ.} * N_1 * K_{\chi} * T_{ს.დ.წ} = 0,6 * 0,45 * 1669 * 12,1 * 205 = 1109473,59$$

გრუნტში ნარჩენი დეფორმაციების ანგარიში

ნარჩენი ჯდენის მნიშვნელობა $h_{3. შუგ} = 0,012$ მ

საგზაო სამოსის გასაშუალებული მოდული:

$$E_b = \frac{4600 * 5 + 4800 * 7 + 3700 * 7 + 260 * 40 + 240 * 40}{5 + 7 + 7 + 40 + 40} = 1035,4 \text{ მპა}$$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ფაქტიური დრეკადობის მოდულის შესწორებას $K_e=1,04$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს საგზაო სამოსის სისქის შესწორებას $K_{ha}=0,94$

გრუნტის ნარჩენი ჯდება:

$$h_{საჟ} = h_{3. შეფ} * K_e * K_{ha} = 0,012 * 1,0368 * 0,9368 = 0,0117 \text{ მ.}$$

მონოლითურ ფენებში ნარჩენი დეფორმაციების ანგარიში

ძვრა საშიში დღეების საანგარიშო მნიშვნელობა წელიწადში $T_{სფ} = 19$

დასაშვები საანგარიშო დატვირთვის ჯამური რიცხვი:

$$N_{\chi} = 0,6 * f_{ს.ზოლ.} * N_1 * K_{\chi} * T_{ს.დ.წ} = 0,6 * 0,45 * 1669 * 12,01 * 19 = 102829,26$$

სატრანსპორტო დატვირთვის ზემოქმედების ხანგრძლივობა $t_c = 0,012$ წმ.

დაყვანილი დასაშვები საანგარიშო დატვირთვის ჯამური რიცხვი $t_c = 0,01$ წმ.

$$N_{სფ} = \frac{N_{საერთ.} * t_c}{0,01} = \frac{102829,26}{0,01} = 123395,11$$

საწყისი ნარჩენი დეფორმაცია $h_{საწ.} = 0$ მ.

ბლანტი წინაღობის ფაქტიური შესწორების კოეფიციენტი $K_h = 1$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ასფალტბეტონის ამობურცვას ნაკვალევს კიდეებზე $K_{ამობ.} = 1,3$

ნარჩენი დეფორმაციები:

$$h_{გვ} = E_{საწ.} * K_h * K_{ამობ.} = 0,00216 * 1 * 1,3 = 0,00288$$

მე-4 ფენისთვის ფარდობითი ნარჩენი დეფორმაციის ანგარიში

მასალა: ქვიშა-ღორღოვანი ნარევი უწყვეტი გრანულომეტრიით, C3 – 40 მმ.
(საფუძვლებისთვის)

ნარჩენი დეფორმაციები:

$$\frac{E_4}{E_{გრ}} = \frac{260}{51} = 5,12 ; h_{შეფ.} = 0,8 ; h_m = h_{შეფ.} * h_t = 0,8 * 0,0117 = 0,0093 \text{ მ.}$$

მე-5 ფენისთვის ფარდობითი ნარჩენი დეფორმაციის ანგარიში

მასალა: ქვიშა-ხრემოვანი ნარევი უწყვეტი გრანულომეტრიით C3 – 120მმ
(საფუძვლებისთვის)

ნარჩენი დეფორმაციები:

$$\frac{E_5}{E_{გრ}} = \frac{240}{51} = 4,73 ; h_{შფ.} = 0,83; h_m = h_{შფ.} * h_t = 0,83 * 0,0117 = 0,0097 \text{ მ.}$$

საფუძვლის ფენებში ნარჩენი აბსოლუტური დეფორმაციის ანგარიში

$$h_{საფ.} = 0,0093 + 0,0097 = 0,0189 \text{ მ.}$$

საფარის ცვეთა

კოეფიციენტი $K_q = 1,17$

საერთო ფაქტიური ინტენსივობა:

$$N_{საერთ.} = f_{ს.ზოლ.} * N_1 * K_q = 0,45 * 21315 * 1,17 = 11222,35$$

საფარის საშუალო წლიური ცვეთა $D_{ც.საშ.} = 0,00142 \text{ მ.}$

საფარის ცვეთა 10 წლის განმავლობაში:

$$D_{ც.} = D_{ც.საშ.} * T = 0,00142 * 10 = 0,0142 \text{ მ.}$$

ნაკვალევის საერთო სიღრმე

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს არათანაბარ ნარჩენი დეფორმაციის წილს

საერთო ჯდენიდან $K_{ა.ნ} = 0,15$

კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ნარჩენი დეფორმაციების საშუალო მნიშვნელობის გადასვლას გრძივი მიმართულებით ნაკვალევის საშუალო სიღრმეზე $K_{გრძ.} = 2,56$

ნაკვალევის საერთო სიღრმე ითვლება მიწის ვაკისის და საგზაო სამოსის ფენების ნარჩენი დეფორმაციების დაჯამების საფუძველზე:

$$h_{საერთ.}^{საშ.} = ((h_{საჭ.} + h_{საფ.}) * K_{ა.ნ} + h_{ც.}) * K_n + D_o \\ = ((0,0189 + 0,0117) * 0,15 + 0,003) * 2,56 + 0,0142 = 0,033\text{მ} = 3,3 \text{ სმ.}$$

ნაკვალევის ზღვრული დასაშვები სიღრმე $h_{საერთ.}^{საშ.} = 3 \text{ სმ.}$

ნაკვალევის დასაშვები სიღრმე $h_{საერთ.}^{დას.} = 2,5 \text{ სმ.}$

$$h_{საერთ.}^{პრ.} - h_{საერთ.}^{დას.} = 3 - 3,3 = -0,3 \text{ სმ.}$$

ნაკვალევის სიღრმე აჭარბებს ზღვრულ დასაშვებ მნიშვნელობას.

საქართველოში მოძრაობის ინტენსივობის ზრდა ყოველწლიურად შეადგენს 10 %-ს. ფაქტიურად ტრადიციული მეთოდით საფუძვლის მოწყობა შეუძლებელი ხდება მაღალი ინტენსივობის მაგისტრალის ქუჩებზე, რადგან საფუძვლის ფენაში კონსტრუქციის სისქის გაზრდა იწვევს ნარჩენი დეფორმაციების არადასაშვებ რაოდენობას. (ანგარიში-ვარიანტი 3).

სტაბილიზირებული ფენა წარმოადგენს ერთგვაროვან მონოლითურ ფენას და მიწის ვაკისზე განსხვავებით ნაკლებ დატვირთვას გადასცემს. შესაბამისად ჯამური დეფორმაციები იქნება ნაკლები და კვალწარმოქმნაზე კონსტრუქცია გაცილებით უკეთესად მუშაობს, ასევე შეკრული მასალის შემთხვევაში ნაკლებად მოსალოდნელია დროის განმავლობაში მისი ხარისხის ცვალებადობა. მაგალითად ქვიშა-ლორღოვან და ქვიშა-ხრემოვან ნარევი არსებულ ფორებში მტვრისებრი და თიხისებრი ნაწილაკების მოხვედრით უარესდება მისი მუშაობის პირობები და ზოგ შემთხვევაში პლასტიურ მდგომარეობაში გადადის.

დასკვნა

1. ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ საგზაო სამოსის საფუძველში გამოყენებული სამრეწველო ნარჩენი ნაცრისა და ქვიშა-ლორღოვანი ნარევიდან დამზადებულ საფარზე იზრდება დინამიური დეფორმაციის მახასიათებელი 104%-ით; სტატიკურ დატვირთვაზე: დეფორმაციის მოდული იზრდება 51 %-ით, ხოლო დრეკადობის მოდული 89%-ით. სტაბილიზირებული ფენის მოწყობა ნარჩენი მასალების გამოყენებით 1 მ²-ზე 3.9 %-ით ძვირი ჯდება, ვიდრე ტრადიციული ქვიშა-ლორღოვანი ნარევის გამოყენებისას, თუმცა მეორადი პროდუქტების გამოყენებით გზის საექსპლუატაციო მახასიათებლები 3-4 ჯერ იზრდება და მისი ეკონომიკური ეფექტურობა მაღალია.
2. საცდელ მონაკვეთებზე მოწყობილი საფუძვლის ფენების შედარების შედეგად, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ნაცრის გამოყენება სტაბილიზირებულ ნარევიში ცემენტთან ერთად გვაძლევს: 19%-ით გაუმჯობესებულ დინამიური დეფორმაციის მოდულს; 20%-ით გაუმჯობესებულ სტატიკური დეფორმაციის მოდულს და 30%-ით გაუმჯობესებულ სტატიკური დრეკადობის მოდულს ცემენტითა და ბიტუმით სტაბილიზირებულ ქვიშა-ლორღის ფენასთან შედარებით. ამავდროულად, ბიტუმით და ცემენტით სტაბილიზირებული ფენილის მოწყობა 1 მ²-ზე 53 %-ით ძვირი ჯდება, ვიდრე ნაცრის და ცემენტის გამოყენებით სტაბილიზაციისას.
3. ა/ბ-ს საფარიდან ანაფრეზი ბიტუმოვანი გრანულანტით 1 მ² საფუძველის მოწყობა 1.5%-ით იაფია, ვიდრე სტანდარტული ქვიშა-ლორღოვანი ნარევისგან მომზადებული საფუძვლის ფენის 1 მ²-ის მოწყობა. ამასთანავე, იგი გაცილებით მდგრადია ბზარწარმოქმნაზე; არაპირდაპირი სიმტკიცე გაჭიმვაზე 29%-ით ნაკლებია, ვიდრე ნაცრისა და ცემენტისგან მომზადებული ნიმუშების არაპირდაპირი სიმტკიცე.
4. ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ნარჩენი რეზინისაგან მიღებული გრანულატის ოპტიმალური რაოდენობა საგზაო ბიტუმის (მარკა БНД 60/90) მოდიფიცირებისათვის შეადგენს 6%-ს. რეზინის გრანულატის აღნიშნული რაოდენობით შერევისას ბიტუმის დარბილების ტემპერატურა გაიზარდა 12%-ით, ხოლო პენეტრაცია შემცირდა 37%-ით.

5. ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ნარჩენი პლასტმასისაგან მიღებული გრანულატის ოპტიმალური რაოდენობა საგზაო ბიტუმის (მარკა БНД 60/90) მოდიფიცირებისათვის შეადგენს 10%-ს. პლასტმასის გრანულატის აღნიშნული რაოდენობით შერევისას ბიტუმის დარბილების ტემპერატურა გაიზარდა 42%-ით, ხოლო პენეტრაცია შემცირდა 38%-ით.
6. ნარჩენი რეზინის გრანულატის ოპტიმალური რაოდენობით (6%) მოდიფიცირებული ბიტუმით დამზადებული ასფალტბეტონის ნიმუშების ტრადიციულ ასფალტბეტონის ნიმუშებთან შედარების შემდეგ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ: სიმტკიცე კუმშვაზე 20°C-ზე იზრდება 21%-ით, ხოლო 50°C-ზე 43%-ით; რეზინით მოდიფიცირებული ბიტუმით დამზადებული ნიმუშების ცვეთა 33%-ით ნაკლებია, ვიდრე სტანდარტული ბიტუმისგან დამზადებული ნიმუშების. მარშალის ხელსაწყოზე გამოცდის შედეგად მოდიფიცირებული ბიტუმით დამზადებული ნიმუშების სტაბილურობა გაიზარდა 23%-ით, ხოლო დენადობა შემცირდა 2%-ით.
7. ნარჩენი პლასტმასის გრანულატის ოპტიმალური რაოდენობით (10%) მოდიფიცირებული ბიტუმით დამზადებული ასფალტბეტონის ნიმუშების ტრადიციულ ასფალტბეტონის ნიმუშებთან შედარების შემდეგ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ: სიმტკიცე კუმშვაზე 20°C-ზე იზრდება 32%-ით, ხოლო 50°C-ზე 64%-ით; პლასტმასის გრანულატით მოდიფიცირებული ბიტუმით დამზადებული ნიმუშების ცვეთა 46%-ით ნაკლებია, ვიდრე სტანდარტული ბიტუმისგან დამზადებული ნიმუშების. მარშალის ხელსაწყოზე გამოცდის შედეგად მოდიფიცირებული ბიტუმით დამზადებული ნიმუშების სტაბილურობა 37%-ით, ხოლო დენადობა 16%-ით გაიზარდა.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. http://www.steps.ru/article/othody_v_dorozhnom_stroitelstve (2018 წ) - გადამოწმებულია 02.02.2023;
2. Ватин Н.И., Петросов Д.В., Калачев А.И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве, 2011 წ. გვ. 18-19;
3. Молодой учёный» . № 15 (253) . Применение золошлаковых отходов в дорожном строительстве, 2019 წ. გვ. 41-43;
4. <https://rubryka.com/ru/article/plastic-roads/> (2020 წ) - გადამოწმებულია 05.02.2023;
5. <https://newrezume.org/load/8-1-0-3539> (2022 წ)- გადამოწმებულია 11.02.2023;
6. <https://2day.kh.ua/ru/news/v-niderlandakh-izgotovili-velodorozhku-iz-plastikovyx-otkhodov> (2018 წ) - გადამოწმებულია 15.02.2023;
7. <https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective/vancouver-will-pave-its-streets-recycled-plastic/93741/> (2017 წ)- გადამოწმებულია 23.01.2023;
8. <https://yuschenko.com.ua/dorozhnoe-pokrytie-iz-plastika-vozmozhno-li-eto/> (2017 წ) - გადამოწმებულია 18.01.2023;
9. <http://explorex.com/ru/?a=news&idnew=47> (2020 წ) - გადამოწმებულია 21.02.2023;
10. <https://recyclemag.ru/news/v-kitae-postroili-skorostnuyu-dorogu-iz-musora> (2015 წ) - გადამოწმებულია 13.02.2023
11. Rochman, C.M. The complex mixture, fate and toxicity of chemicals associated with plastic debris in the marine environment, 2015 წ. გვ. 5-7;
12. Benson, N.U., Basse, D.E., Palanisami, T. COVID pollution: impact of COVID-19 pandemic on global plastic waste footprint. Heliyon, 2021 წ. გვ. 6-7;
13. Raja, C.J.S., Sampath, N.S., Suresh, C., Bhaskar, A.P. A review on use of plastic in construction of roads. Journal of Advancement in Engineering and Technology, 2020 წ. გვ. 5-6;
14. Trimbakwala, A. Plastic Roads Use of Waste Plastic in Road Construction. International Journal of Scientific and Research Publications, 2017 წ. გვ. 5;

15. Santos, J., Pham, A., Stasinopoulos, P., Giustozzi, F. Recycling waste plastics in roads: A life-cycle assessment study using primary data. Science of the Total Environment, 2021 წ. გვ. 7;
16. Nazinyan, Levon Gaikovich, Shevchenko, Sergey Mikhailovich; Use of processed plastic products in road construction, 2022 წ. გვ. 4;
17. <https://www.epochtimes.com.ua/ru/novye-tehnologii/pervaya-v-mire-velosipednaya-dorozhka-iz-plastikovyh-butylok-poyavilas-v-niderlandah-128350> (2018 წ) - გადამოწმებულია 19.02.2023;
18. <https://metiztorg72.ru/oborudovanie/kak-ukladyvat-asfaltnyuyu-kroshku-2.html> (2019 წ) - გადამოწმებულია 11.02.2023;
19. <https://os1.ru/article/10717-primeneniye-kolesnyh-i-gusenichnyh-holodnyh-resayklover-remont-ne-othodya-ot-kassy> (2020 წ) - გადამოწმებულია 09.02.2023;
20. <https://ecokroshka.ru/vidy-othodov/asfalt-iz-reziny.html> (2022 წ) - გადამოწმებულია 17.02.2023;
21. ბ. ხეცურიანი - დაქუცმაცებული რეზინის გრანულების გავლენა ბიტუმსა და ასფალტბეტონზე, სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, 2023 წ, №1(65), გვ. 85-88;
22. თ. პაპუაშვილი, ბ. ხეცურიანი - სამრეწველო ნარჩენის - ნაცრის გამოყენება საფუძვლის ფენის სტაბილიზაციისათვის, სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, 2023 წ, №1(65), გვ. 22-26;
23. თ. პაპუაშვილი, ბ. ხეცურიანი, ო. აბაშიძე - საგზაო სამოსის საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება სამრეწველო ნარჩენების გამოყენებით, სამეცნიერო - სამეცნიერო - ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, 2022 წ, №4(64), გვ. 98-101;
24. ПНСТ 542–2021. Дороги автомобильные общего пользования. Нежёсткие дорожные одежды. Правила проектирования. — Введ. 2021–05–15 до 2024–05–15. — М.: Стандартинформ, 2021. — 78 с.
25. EN 13286-2 Test methods for laboratory reference density and water content — Proctor compaction
26. EN 13286-47 Test method for the determination of California bearing ratio, immediate bearing index and linear swelling

27. EN 933-4 Determination of particle shape — Shape index
28. EN 933-5 Determination of percentage of crushed and broken surfaces in coarse aggregate particles
29. EN 1097-2 Methods for the determination of resistance to fragmentation
30. EN 1097-6 Determination of particle density and water absorption
31. EN 1367-2 Magnesium sulfate test
32. ISO TS 17892-12 Determination of Atterberg limits
33. Gost 25607-2009 смеси щебеночно-гравийно-песчаные для дорог
34. EN 13286-41 Test method for determination of the compressive strength of hydraulically bound mixtures
35. EN 13286-42 Test method for the determination of the indirect tensile strength of hydraulically bound mixtures
36. DIN 18134 Testing procedures and testing equipment - Plate load test
37. TP BF-STB PART B 8.3 Dynamic Plate Load Testing with the Light Drop-Weight Tester
38. EN 12697-22 Wheel tracking
39. EN 12697-23 Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens
40. EN 12697-30 Specimen preparation by impact compactor
41. EN 12697-31 Specimen preparation by gyratory compactor
42. EN 12697-34 Marshall test
43. ОДН 218.046-01 Проектирование нежестких дорожных одежд