

მალხაზი ბეჟანიშვილი

ადგილობრივი საგზაო სამშენებლო მასალების ოპტიმალური  
გამოყენება საგზაო სამოსის კონსტრუქციებში

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

აგვისტო, 2013 წელი

საავტორო უფლება © 2013 მალხაზი ბეჟანიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ რომ გავეცანით მალხაზი ბეჟანიშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: "ადგილობრივი საგზაო სამშენებლო მასალების ოპტიმალური გამოყენება საგზაო სამოსის კონსტრუქციებში" და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

05.08.2013 წ.

ხელმძღვანელი: ალ. ბურდულაძე, სრ. პროფესორი, ტ.მ.დ.

რეცენზენტი: თ. შილაკაძე, ტ.მ.დ.

რეცენზენტი: თ. ჭურაძე, ტ.მ.დ.

ხარისხის უზრუნველყოფის  
სამსახურის უფროსი:

მ. ჯავახიშვილი, ასოც. პროფესორი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2013 წელი

ავტორი: **მალხაზი ბეჟანიშვილი**

დასახელება: **”ადგილობრივი საგზაო სამშენებლო მასალების  
ოპტიმალური გამოყენება საგზაო სამოსის კონსტრუქციებში”**

ხარისხი: **დოქტორი**

სხდომა ჩატარდა: 05.08.2013 წ.

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

---

ავტორის ხელმოწერა

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

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

## რეზიუმე

საქართველოში საგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარების დღევანდელმა ფართო მასშტაბებმა თავისთავად გამოიწვია საგზაო მშენებლობის საგზაო-საშენი მასალებით, კერძოდ, ქვიშით მომარაგების მოთხოვნილების გაზრდა, რამაც დასვა საკითხი ქვიშის მიღების ახალი, ალტერნატიული წყაროებისა და საშუალებების მოძიების შესახებ.

ბუნებრივი ქვიშების მოპოვებას ხშირად თან სდევს რეგიონებში ეკოლოგიის, მდინარეების ნაპირების ეკოსისტემის დარღვევა, პლიაჟების წარცხვა, მეწყერების წარმოშობა და სხვა მრავალი არასასურველი ფაქტორი.

აქედან გამომდინარე, დღის წესრიგში დგება მშენებლობაში ხელოვნურად მიღებული ქვიშის გამოყენება. ხელოვნური ქვიშის მიღების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან წყაროდ შეიძლება იქცეს ბუნებრივი ქვიშაქვები, რომლებიც საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე მრავლად მოიპოვება.

ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე, ხელოვნური ქვიშის მიღების ალტერნატიულ წყაროდ, ჩვენი აზრით, შეიძლება მივიჩნიოთ თბილისის რეგიონში არსებული სუსტადშეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვების დაშლა-დანაწევრების შედეგად მიღებული ხელოვნური ქვიშები, რომლებიც თბილისის რეგიონში მრავლად მოიპოვება. ამ მასალას იყენებდა ავჭალის სილიკატური აგურის ქარხანა თავისი პროდუქციის დასამზადებლად.

ქვიშაქვების დაშლის შედეგად მიღებული კვარცული ქვიშები გამოირჩევიან წვრილი, საშუალო და მსხვილმარცვლოვანი ნაირსახეობით. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ნიმუშების აღების ადგილზე შეიმჩნევა სხვადასხვა სახის ქვიშაქვების ქანების მოკლე მანძილებში ურთიერთ შენაცვლება. ძირითადად ჭარბობს საშუალომარცვლოვანი ქვიშა. აქედან გამომდინარე, რეკომენდირებულია სხვადასხვა ფრაქციის ქვიშების ურთიერთშერევა სასურველი გრანულომეტრიული შემადგენლობის მისაღწევად.

პრაქტიკაში ხელოვნური ქვიშის მისაღებად დღეს გამოიყენებენ დასამსხვრელ-დამანაწილებელ აგრეგატებს (წისქვილებს), რომლებიც მოითხოვენ დიდი რაოდენობით ენერგომატარებლებს, რათა მიღებული იქნეს ყველა საჭირო ფრაქციის ქვიშა.

ჩვენს მიერ ხელოვნური ქვიშის მისაღებად შემუშავებულია ქვიშაქვების დაშლა-დაქუცმაცების თბოტენიანი მეთოდი, რომელიც შეიძლება განხორციელდეს ისეთი დანადგარის საშუალებით, სადაც დაშლისათვის საჭირო ყველა ოპერაცია თავმოყრილია ერთ აგრეგატში. დანადგარმა შეიძლება იფუნქციონიროს როგორც სტაციონალური ქარხნის პირობებში, ასევე როგორც გადასაადგილებელმა. მისი საშუალო მწარმოებლობა შეადგენს 8 ტ/სთ-ს, როდესაც ქვიშაქვების ნატეხების საწყისი ტემპერატურაა 20°C.

დანადგარი მუშაობს შემდეგნაირად: 70სმ-მდე ზომის ქვიშაქვების ნატეხები დანადგარზე დამონტაჟებული ამწით ან ავტოჩამტვირთავით მიეწოდება ჩასატვირთვ ღარში, საიდანაც დახრილი სიბრტყის საშუალებით

ხვდება 2,4მ დამეტრისა და 2,2მ სიგრძის ცილინდრულ ცხავში. ცხავი სიმაღლის 1/3-ზე გავსებულია წყლით. წყალი ელექტროსპირალის საშუალებით ცხელდება 70-80°C-მდე.

კვარცული ქვიშის ასფალტბეტონში გამოყენების ვარგისიანობის დასადგენად და ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების დასადგენად ლაბორატორიულ პირობებში გამოცდილი იქნა კვარცული ქვიშისა და მტკიცე ქანების ხელოვნური ქვიშის სხვადასხვა თანაფარდობით დამზადებული წვრილმარცვლოვანი და მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის ნიმუშები.

წარმოდგენილ სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული კვლევის შედეგად თეორიულად დასაბუთებულია და პრაქტიკულად დამტკიცებულია, რომ სტანდარტების შესაბამისი მაჩვენებლები მიღწეული იქნა ნიმუშებში თანაფარდობით 50% კვარცული ქვიშა და 50% მტკიცე ქანების ხელოვნური ქვიშა, თუმცა ზოგი პარამეტრი მიიღწევა კვარცული ქვიშის 75% არსებობის შემთხვევაშიც.

ჩატარებული კვლევები გვამღვევენ საშუალებას, დასაბუთებულად განვსაზღვროთ ასფალტბეტონების წარმოებისას ხელოვნური კვარცული ქვიშის გამოყენების ოპტიმალური თანაფარდობები სამშენებლო ნორმებისა და სტანდარტების მოთხოვნების გათვალისწინებით.

დისერტაციის კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ადგილობრივი საგზაო-საშენი მასალების საგზაო მშენებლობაში გამოყენების ეფექტიანობის გამოკვლევა.

გამოკვლევის საგანია სუსტადმეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვების ალტერნატიული მეთოდით დაშლის შედეგად ხელოვნური კვარცული ქვიშის მიღება და მისი ფიზიკო-მექანიკური თვისებების გამოკვლევა ასფალტბეტონებში გამოყენების თვალსაზრისით, ხოლო დისერტაციის მიზანს წარმოადგენს სუსტადმეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვებისაგან მიღებული ხელოვნური ქვიშის გამოკვლევა და მისა ასფალტბეტონებში გამოყენების ეფექტიანობის განსაზღვრა. აღნიშნული მიზნის მისაღწევად დისერტაციაში დასმული და გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები: ჩატარებულია ანალიზი და ჩამოყალიბებულია პრობლემები, რომელიც თან ახლავს საქართველოს საგზაო მეურნეობის ქვიშით მომარაგების მხრივ; გამოკვლეულია სუსტადმეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვებისაგან მიღებული ხელოვნური ქვიშის ფიზიკო-მექანიკური თვისებები; შემუშავებულია სუსტადმეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვების გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესები; შექმნილია სუსტადმეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვების დაშლა-დანაწევრების პროცესის მათემატიკური მოდელირება; თეორიულად დასაბუთებულია ხელოვნური კვარცული ქვიშის გამოყენების მიზანშეწონილობა საავტომობილო გზების მშენებლობაში; შესწავლილია ხელოვნური კვარცული ქვიშით დამზადებული ასფალტბეტონის ნარევის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები ტექნოლოგიური პროცესის დადგენილი პარამეტრების შესაბამისად; ჩატარებულია მიღებული შედეგების საცდელ-საწარმოო გამოკვლევა.

წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს შემდგომში: დასაბუთებლია საქართველოს საგზაო მეურნეობაში ხელოვნური კვარცული ქვიშის გამოყენების მიზანშეწონილობა; შემოთავაზებულია კვარცული ქვიშაქვების გადამუშავების ალტერნატიული მეთოდი; დადგენილია ასფალტბეტონებში ხელოვნური კვარცული ქვიშის დამატების ოპტიმალური პარამეტრები, რომლებიც ითვალისწინებენ ყველა შესაბამის სამშენებლო ნორმებსა და სტანდარტებს.

სამუშაოს გააჩნია პრაქტიკული მნიშვნელობა, რომელიც გამოიხატა შემდგომში: კვარცული ქვიშაქვებისაგან მიღებული ხელოვნური ქვიშის გამოყენება მნიშვნელოვნად დაეხმარება საქართველოს საგზაო მშენებლობას ქვიშით მომარაგების საკითხების გადაწყვეტაში; კვარცული ქვიშაქვებისაგან მიღებული ხელოვნური ქვიშის გამოყენება შეამცირებს მდინარეების კალაპოტებიდან ამოღებული ქვიშების გამოყენების რაოდენობას, რაც მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელს გარემოს ეკოლოგიური პირობების გაუმჯობესებას; ქვიშაქვების გადამუშავების შემოთავაზებული დანადგარი და ტექნოლოგიური პროცესები პრაქტიკაში დღეს გამოყენებულ დანადგარებთან შედარებით ნაკლებად ენერგოტევადი, და შესაბამისად, უფრო ეკონომიურია.

## Abstract

The current large scale of infrastructure development in Georgia entailed the growing demand for construction material crucial for road construction works, and especially it concerns the sand material. Increasing demand for sand supply raised the question of the adoption of new alternative sources and means for ensuring sand provision.

The sand recovery from natural environment is oftentimes closely related to the disruption of ecology, riverbank ecosystem, washing out of beaches, landslide creation and number of other negative impacts.

Thus, the artificial sand use has become the topic of the current agenda. The one significant source of sand supply might be the natural sandstone that are plenty throughout the entire territory of Georgia.

The performed studies revealed that one source of sand might be the artificial sand produced after the disintegration of loosely-adhered quartz sandstones that abound at Tbilisi area. The mentioned material was used by the Avchala silicate brick factory for production of bricks.

The silica sand residue ensued after disintegration of sandstones are characterized as being of fine, medium and coarse grained types. That is determined by the fact that at the site of sample-taking there is an alteration of various sandstone deposits at close range. The predominant is the medium-grained sand. Taking into consideration the mentioned, it is recommended to mix the various grades of sand in order to provide the required granulometric content.

Currently, in order to produce the artificial sand, the plants for crushing-grinding (mills) are used that requires much power to process all required grades of sand.

In order to produce the artificial sand we have elaborated the damp-heat method of disintegration-and-grinding of sandstone. The process might be performed by using the plant, where all operations required for disintegrating is done in one unit. The unit may function in stationary factory conditions as well as mobile unit. The average productivity amounts to 8t/hr, provided that the initial temperature of sandstone particles is 20°C.

The plant operates as follows: the 70-cm-size sandstone fragments are loaded in to the groove by crane mounted on a plant or self-loader, from there and passing the slant surface the particles reach cylinder-shaped 2.2m-long sieve having 2.4m in diameter. The mentioned sieve is full with water to 1/3 of its height. The water is heated by electric spiral to 70-80°C.

In order to define applicability of harnessing silica sand to asphalt concrete production and to determine the physical-and-mechanical features, the laboratory studies was conducted in order to test the fine-grained and coarse-grained asphalt concrete samples produced by various proportions of quartz sand and artificial sand of hard rock.

In the presented work, it is theoretically substantiated and confirmed by putting on practice trial that the relative standard rates were achieved in samples



using proportions as 50% of silica sand and 50% of artificial sand of hard rock, though some parameters are achieved in case of applying 75% silica sand.

The performed studies enable us to make valid definition of the optimal proportions of artificial silica sand used during asphalt concrete production in compliance with construction norms and standards.

The research target of dissertation is to study efficiency of using of local road construction material in construction of roads.

Research subject: production of artificial silica sand from loosely-adhered quartz sandstone after their disintegration by using alternative method and study of its physical and mechanical properties, in the view of using in asphalt concrete production.

Purpose of dissertation: the study of artificial sand processed from loosely-adhered quartz sandstone and defining efficiency of its use in asphalt concrete. In order to achieve the mentioned purpose, the following tasks have been solved in the presented dissertation:

Analysis was made and, the problems in relation to the supply of road construction with sand in Georgia were listed; Physical and mechanical properties of artificial sand, processed from loosely-adhered quartz sandstone, was studied; Technological processes of loosely-adhered quartz sandstone processing was elaborated; Mathematical modeling of loosely-adhered quartz sandstone disintegration was done; Feasibility of using artificial silica sand in construction of roads was theoretically substantiated; Physical-and-mechanical properties of asphalt concrete mix produced from silica sand was studied in accordance with established technological process; Results obtained was put on trial in manufacture;

Scientific innovation the innovation of the presented scientific work is as follows:

Feasibility of using silica sand in road works in Georgia is substantiated; Alternative method for processing quartz sandstones is offered; Optimal parameters for adding artificial silica sand to asphalt concrete has been established in compliance with corresponding construction norms and standards.

Practical values of work are as follows: Putting into practical use of silica sand produced from the quartz sandstone will considerably facilitate the solving of problems of sand supplying to the road construction in Georgia; Making Use of silica sand produced from the quartz sandstone will diminish the volume of sand taken from the area of riverbeds thus improving the ecological conditions of environment; Offered plant for sandstone processing, as well as technological processes, are less power-consuming and correspondingly more economical than currently used plant and means.



## შინაარსი

შესავალი . . . . .	14
თავი I. ლიტერატურის მიმოხილვა . . . . .	20
1.1. ადგილობრივი საგზაო სამშენებლო მასალები და მათი გამოყენება საგზაო სამოსის კონსტრუქციებში . . . . .	20
1.2. საგზაო ფენილებში ხელოვნური კვარცული ქვიშების გამოყენების ეფექტიანობა . . . . .	27
1.2.1. საგზაო სამოსის დაძაბულ–დეფორმირებული მდგომარეობა . . . . .	27
1.2.2. საგზაო სამოსზე მოქმედი დროებითი დატვირთვები . . . . .	30
1.2.3. დროებითი საანგარიშო დატვირთვის მოქმედების სქემა . . . . .	31
1.2.4. სამოსის დროებითი დატვირთვისგან შექმნილი დაძაბული ველი . . . . .	34
1.2.5. ფენილზე ჰიდრო= და კლიმატური ფაქტორების გავლენა . . . . .	41
1.3. ბუნებრივი და ხელოვნური ქვიშები, მათი მოპოვება და მიღება . . . . .	44
1.3.1. ასფალტბეტონის ნარევებში გამოყენებული ქვიშები . . . . .	44
1.3.2. ბუნებრივი ქვიშა . . . . .	45
1.3.3. მდინარეული ქვიშა . . . . .	47
1.3.4. კარიერული ქვიშა . . . . .	48
1.3.5. ზღვიური ქვიშა . . . . .	50
1.3.6. ხელოვნური ქვიშები ქვიშა . . . . .	51
1.3.7. გარემოს დაცვა ქვის მასალების მოპოვებისას . . . . .	55
1.4. საგზაო ფენილები ბიტუმინერალური მასალებით . . . . .	57
1.4.1. ბიტუმის შემცველი მასალების და ფენილების სტრუქტურა . . . . .	57
1.4.2. ბიტუმის შემცველი ფენილების სიმტკიცის საფუძვლები . . . . .	60
თავი 2. საქართველოს საგზაო მეურნეობაში კვარცული ქვიშაქვების გამოყენების ეფექტიანობის კვლევა . . . . .	80
2.1. კვარცული ქვიშაქვების ქიმიური შემადგენლობის და ფიზიკო- მექანიკური თვისებების კვლევა . . . . .	80
2.2. კვარცული ქვიშაქვების დაშლა-დანაწევრების ალტერნატიული მეთოდები და დაშლა-დანაწევრების დანადგარი . . . . .	84
2.3. კვარცული ქვიშაქვების დაშლა-დანაწევრების პროცესის მათემატიკური მოდელირება . . . . .	91
2.4. კვარცული ქვიშითა და მტკიცე ქანების ხელოვნური ქვიშით დამზადებული ასფალტბეტონების ნიმუშების ლაბორატორიული გამოცდის შედეგები . . . . .	100
2.5. ასფალტბეტონის ნარევის დამზადების ახალი “განცალკავებული” ტექნოლოგია და მისი ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობა . . . . .	107
თავი 3. დასკვნები . . . . .	117
ლიტერატურა. . . . .	120

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. ავჭალის ბუნებრივი სახის (გაურეცხავი) კვარცული ქვიშების ქიმიური შემადგენლობა .....	82
ცხრილი 2. ავჭალის კვარცული ქვიშების ნიმუშების გრანულომეტრიული შემადგენლობა .....	83
ცხრილი 3. დანადგარის მათემატიკურ მოდელში შემავალი ფიზიკური და ექსპერიმენტალური სიდიდეების მნიშვნელობები .....	98
ცხრილი 4. დანადგარის მწარმოებლობის დამოკიდებულება სხვადასხვა პარამეტრებზე .....	99
ცხრილი 5. ტრადიციული და განცალკევებული ტექნოლოგიით დამზადებული ასფალტბეტონების სიმტკიცის მახასიათებლები .....	110
ცხრილი 6. ასფალტბეტონის ნარევის ფიზიკურ მექანიკური თვისებები მასში დანამატების ტიპისა და შეყვანის ტექნოლოგიის მიხედვით ...	115

## ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. საგზაო სამოსის ტიპიური კონსტრუქციის ჭრილი . . . . .	28
ნახ. 2. ავტომობილის თვლისაგან ფენილის ზედაპირზე გადაცემული ძალების მოქმედების სქემები . . . . .	32
ნახ.3. ავტომობილის თვლისაგან სამოსის ჩალუნვის სქემა. . . . .	34
ნახ. 4. ავტომობილის თვლისაგან ფენილის ძვრის დეფორმირების სქემა. . . . .	36
ნახ. 5. დროებითი დატვირთვისაგან გამოწვეული ვერტიკალური ნორმალური და მხები ძაბვების ეპიურა სამოსის სიღრმის მიხედვით . . . . .	37
ნახ. 6. ჰორიზონტალური ძალის მიერ გამოწვეული ფენილის გრძივად ღუნვის სქემა. . . . .	40
ნახ. 7. ბუნებრივი ქვიშა. . . . .	45
ნახ. 8. მდინარეული ქვიშა. . . . .	47
ნახ. 9. კარიერული ქვიშა . . . . .	49
ნახ. 10. კარიერული გარეცხილი ქვიშა . . . . .	49
ნახ. 11. კარიერული გაცრილი ქვიშა . . . . .	50
ნახ. 12. ზღვიური ქვიშა. . . . .	50
ნახ. 13. ხელოვნური ქვიშის დასამზადებელი ტექნოლოგიური პროცესი . . . . .	51
ნახ. 14. პერლიტის ქვიშა. . . . .	52
ნახ. 15. დანალექი წარმოშობის ქვიშები . . . . .	53
ნახ. 16. კვარცული ქვიშა - "თეთრი" ქვიშა. . . . .	53
ნახ. 17. ხელოვნური ქვიშის ქარმოების ტექნოლოგიური ხაზი . . . . .	54
ნახ. 18. მძიმე ხელოვნური ქვიშა . . . . .	54
ნახ.19. ოპტიმალური გრანულომეტრიული შემადგენლობის ასფალტბეტონის სტრუქტურა . . . . .	57
ნახ. 20. შავი ღორღისაგან მოწყობილი ფენილის სტრუქტურა . . . . .	58
ნახ. 21. ასფალტბეტონის განზოგადებული ბლანტ-დრეკად-პლასტიკური რეოლოგიის მოდელი . . . . .	62
ნახ.22. ფენილის $\varepsilon$ დეფორმირების განვითარება $t$ დროში მუდმივი დატვირთვის $\tau = const$ შემთხვევაში . . . . .	63
ნახ. 23. ფენილში $\tau$ - ძაბვების რელაქსაცია $t$ დროში მუდმივი დეფორმაციის $\varepsilon = const$ შემთხვევაში . . . . .	63
ნახ. 24. ბიტუმის შემცველი მასალის დრეკადობის მოდულისა ( $\kappa$ კგ/სმ <sup>2</sup> , გრაფიკი - ა) და გაჭიმვაზე სიმტკიცის ( $R$ კგ/სმ <sup>2</sup> , გრაფიკი - ბ) ტემპერატურაზე $T^{\circ}C$ დამოკიდებულების გრაფიკები . . . . .	64
ნახ.25. ასფალტბეტონის ნარევი $\varphi^0$ და $C$ გ/სმ <sup>2</sup> ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკები . . . . .	66
ნახ. 26. ბიტუმის შემცველ მასალაში შიგა ხახუნის $\varphi^0$ და შინაგანი ბმის $C$ კგ/სმ <sup>2</sup> ძალების მარცვლის ზომებისაგან დამოკიდებულების გრაფიკები. . . . .	66
ნახ. 27. ბიტუმის შემცველ მასალაში შიგა ხახუნის $\varphi^0$ და შინაგანი ბმის $C$ კგ/სმ <sup>2</sup> ძალების ბიტუმის რაოდენობაზე $\delta\%$ დამოკიდებულების გრაფიკები . . . . .	67

ნახ. 28. მხები ძაბვების $\tau_{xy}$ ცვალებადობის გრაფიკი ფენილის სიღრმის მიხედვით . . . . .	67
ნახ. 29. შიგა ხახუნის $\phi$ კუთხის და შიგა ბმის $C$ ძალის გრაფიკული მეთოდებით განსაზღვრის სქემები . . . . .	72
ნახ. 30. ცვეთის ლაბორატორიული ხელსაწყო . . . . .	75
ნახ. 31. ცვეთის განსაზღვრის ხელსაწყო ლაბორატორიულ პირობებში. . .	76
ნახ.32. თბოტენიანი მეთოდით სარეგენერაციო დანადგარის კონსტრუქცია და ტექნოლოგიური სქემა . . . . .	85
ნახ. 33. ქვიშაქვების მოცულობითი წყალშთანთქმის $W$ დამოკიდებულება წყლის გარემოში ყოფნის დროზე $T$ . . . . .	88
ნახ. 34.ქვიშაქვების დაქუცმაცებული ნაწილის ფარდობითი მოცულობის $V$ დამოკიდებულება წყლის ტემპერატურაზე $T$ . . . . .	88
ნახ. 35.ქვიშაქვების ტემპერატურის ცვლილება ნიმუშის სიღრმეში დროის მიხედვით . . . . .	89
ნახ. 36. რეგენერაციის დანადგარის მწარმოებლობის დამოკიდებულება $q$ პარამეტრზე. . . . .	90
ნახ. 37. წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის ნარჩენი ფორიანობა . . . . .	101
ნახ. 38. წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის მოცულობითი მასა. . . . .	101
ნახ. 39. წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის გაჯირჯვება. . . . .	102
ნახ. 40. წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმშვაზე $R 50$ . . . . .	102
ნახ. 41. წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმშვაზე $R 20$ . . . . .	103
ნახ. 42. წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის წყალშთანთქმა . . . . .	103
ნახ. 43. მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის ნარჩენი ფორიანობა . . . . .	104
ნახ. 44. მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის მოცულობითი მასა. . . . .	104
ნახ. 45. მსხვილმარცვლოვანიასფალტბეტონის გაჯირჯვება. . . . .	105
ნახ. 46. მსხვილმარცვლოვანიასფალტბეტონისსიმტკიცის მაჩვენებელი კუმშვაზე $R 50$ . . . . .	105
ნახ. 47. მსხვილმარცვლოვანიასფალტბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმშვაზე $R 20$ . . . . .	106
ნახ. 48. მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის წყალშთანთქმა . . . . .	106

## შესავალი

მსოფლიოში ბოლო ორმოცდაათი წლის განმავლობაში აღინიშნება ინფრასტრუქტურის, მათ შორის განსაკუთრებით გზების უპრეცედენტო განვითარება. მთელ მსოფლიოში ყოველმხრივ გაზრდილი გადაზიდვების მოცულობების მოთხოვნათა დასაკმაყოფილებლად, აგებულ იქნა მრავალი ათასი კილომეტრი ახალი გზა. უმეტესი მათგანი ექსპლუატაციაშია უკვე ოც წელზე მეტი ხნის განმავლობაში და ამოწურეს თავისი საექსპლოატაციო ვადა ბოლომდე, ამიტომ საჭიროა სულ უფრო მზარდი ძალისხმევა მათი სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მახასიათებლების საჭირო დონემდე შესანარჩუნებლად. გარდა ამისა, ვინაიდან სულ უფრო მეტი რაოდენობის ტვირთი გადაიზიდება არა რკინიგზით, არამედ უფრო მოქნილი და სწრაფი ავტოტრანსპორტით, ამ პერიოდში განუხრელად იზრდებოდა სატრანსპორტო საშუალებების საშუალო მასა. მოძრაობის ინტენსიობის გაზრდა, საბურავებში წნევის მატება, უფრო მაღალი ღერძული დატვირთვები და დიდი ასაკი (ხანგრძლივი ექსპლუატაცია) - ეს ყველაფერი ხელს უწყობს გზების საერთო მდგომარეობის გაუარესებას.

ახალ ათასწლეულში, მრავალი ქვეყანა დგას მსგავსი პრობლემის წინაშე. სულ უფრო მეტი დანახარჯებია საჭირო მათი საავტომობილო გზების ქსელის შესანახად. შედეგად, მცირდება საშუალება ძველი გზების აღდგენისა და ახალი გზების მშენებლობისათვის. ბევრ ქვეყანაში და მათ შორის საქართველოშიც არ ყოფნით ფინანსები საგზაო მეურნეობის აუცილებელი მომსახურეობისათვის, რაც იწვევს გზების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მაჩვენებლების სწრაფ გაუარესებას და სატრანსპორტო გადაზიდვებზე დანახარჯების ზრდას. ახალი გზების მშენებლობის ან ძველის მოდერნიზაცია - რეაბილიტაციის პროექტები ხშირად განიხილება მხოლოდ იმ თვალსაზრისით, ამართლებს თუ არა მათი ექსპლუატაციით მიღებული შემოსავალი, კაპიტალ დანახარჯებთან შედარებით.

რეკონსტრუქციის და განვითარების საერთაშორისო ბანკმა სხვა დაწესებულებებმა აჩვენეს, რომ ნებისმიერი ერის ეკონომიური

კეთილდღეობისათვის აუცილებელია ნორმალური ინფრასტრუქტურა და კარგი გზები - მისი სასიცოცხლო მნიშვნელობის ნაწილი. თუ ხელთ არსებული საშუალებები საკმარისი არაა გაჩაღებული კრიზისიდან გამოსასვლელად, მაშინ უნდა გამოიძებნოს უფრო მეტად რენტაბელური მეთოდი გზების აღსადგენად. საჭიროა ინოვაციური გადაწყვეტები მშენებლობის ალტერნატიული მეთოდებისათვის, რომელიც გაზრდიდა არსებული სიმძლავრეების ეფექტურობას, რითაც უზრუნველყოფდა აღდგენილი გზების დიდ ფართს, მშენებლობაში ჩადებულ ყოველ დოლარზე.

**ნაშრომის აქტუალურობა.** საქართველოში საგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარების დღევანდელმა ფართო მასშტაბებმა თავისთავად გამოიწვია საგზაო მშენებლობის საგზაო-საშენი მასალებით, კერძოდ, ქვიშით მომარაგების მოთხოვნილების გაზრდა, რამაც დასვა საკითხი ქვიშის მიღების ახალი, ალტერნატიული წყაროებისა და საშუალებების მოძიების შესახებ.

ბუნებრივი ქვიშების მოპოვებას ხშირად თან სდევს რეგიონებში ეკოლოგიის, მდინარეების ნაპირების ეკოსისტემის დარღვევა, პლიაჟების წარცხვა, მეწყერების წარმოშობა და სხვა მრავალი არასასურველი ფაქტორი.

აქედან გამომდინარე, დღის წესრიგში დგება მშენებლობაში ხელოვნურად მიღებული ქვიშის გამოყენება. ხელოვნური ქვიშის მიღების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან წყაროდ შეიძლება იქცეს ბუნებრივი ქვიშაქვები, რომლებიც საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე მრავლად მოიპოვება.

ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე, ხელოვნური ქვიშის მიღების ალტერნატიულ წყაროდ, ჩვენი აზრით, შეიძლება მივიჩნიოთ თბილისის რეგიონში არსებული სუსტადშეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვების დაშლა-დანაწევრების შედეგად მიღებული ხელოვნური ქვიშები, რომლებიც თბილისის რეგიონში მრავლად მოიპოვება. ამ მასალას



იყენებდა ავჭალის სილიკატური აგურის ქარხანა თავისი პროდუქციის დასამზადებლად.

ქვიშაქვების დაშლის შედეგად მიღებული კვარცული ქვიშები გამოირჩევიან წვრილი, საშუალო და მსხვილმარცვლოვანი ნაირსახეობით. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ნიმუშების აღების ადგილზე შეიმჩნევა სხვადასხვა სახის ქვიშაქვების ქანების მოკლე მანძილებში ურთიერთ შენაცვლება. ძირითადად ჭარბობს საშუალომარცვლოვანი ქვიშა. აქედან გამომდინარე, რეკომენდირებულია სხვადასხვა ფრაქციის ქვიშების ურთიერთშერევა სასურველი გრანულომეტრიული შემადგენლობის მისაღწევად.

პრაქტიკაში ხელოვნური ქვიშის მისაღებად დღეს გამოიყენებენ დასამსხვრელ-დამანაწილებელ აგრეგატებს (წისქვილებს), რომლებიც მოითხოვენ დიდი რაოდენობით ენერგომატარებლებს, რათა მიღებული იქნეს ყველა საჭირო ფრაქციის ქვიშა.

ჩვენს მიერ ხელოვნური ქვიშის მისაღებად შემუშავებულია ქვიშაქვების დაშლა-დაქუცმაცების თბოტენიანი მეთოდი, რომელიც შეიძლება განხორციელდეს ისეთი დანადგარის საშუალებით, სადაც დაშლისათვის საჭირო ყველა ოპერაცია თავმოყრილია ერთ აგრეგატში. დანადგარმა შეიძლება იფუნქციონიროს როგორც სტაციონალური ქარხნის პირობებში, ასევე როგორც გადასაადგილებელმა. მისი საშუალო მწარმოებლობა შეადგენს 8 ტ/სთ-ს, როდესაც ქვიშაქვების ნატეხების საწყისი ტემპერატურაა 20°C.

დანადგარი მუშაობს შემდეგნაირად: 70სმ-მდე ზომის ქვიშაქვების ნატეხები დანადგარზე დამონტაჟებული ამწით ან ავტოჩამტვირთავით მიეწოდება ჩასატვირთვ ღარში, საიდანაც დახრილი სიბრტყის საშუალებით ხვდება 2,4მ დამეტრისა და 2,2მ სიგრძის ცილინდრულ ცხავში. ცხავი სიმაღლის 1/3-ზე გავსებულია წყლით. წყალი ელექტროსპირალის საშუალებით ცხელდება 70-80°C-მდე.



კვარცული ქვიშის ასფალტბეტონში გამოყენების ვარგისიანობის დასადგენად და ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების დასადგენად ლაბორატორიულ პირობებში გამოცდილი იქნა კვარცული ქვიშისა და მტკიცე ქანების ხელოვნური ქვიშის სხვადასხვა თანაფარდობით დამზადებული წვრილმარცვლოვანი და მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის ნიმუშები.

წარმოდგენილ სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული კვლევის შედეგად თეორიულად დასაბუთებულია და პრაქტიკულად დამტკიცებულია, რომ სტანდარტების შესაბამისი მაჩვენებლები მიღწეული იქნა ნიმუშებში თანაფარდობით 50% კვარცული ქვიშა და 50% მტკიცე ქანების ხელოვნური ქვიშა, თუმცა ზოგი პარამეტრი მიიღწევა კვარცული ქვიშის 75% არსებობის შემთხვევაშიც.

ჩატარებული კვლევები გვამღევენ საშუალებას, დასაბუთებულად განვსაზღვროთ ასფალტბეტონების წარმოებისას ხელოვნური კვარცული ქვიშის გამოყენების ოპტიმალური თანაფარდობები სამშენებლო ნორმებისა და სტანდარტების მოთხოვნების გათვალისწინებით.

**დისერტაციის კვლევის ობიექტს** წარმოადგენს ადგილობრივი საგზაო-საშენი მასალების საგზაო მშენებლობაში გამოყენების ეფექტიანობის გამოკვლევა.

**გამოკვლევის საგანია:** სუსტადშეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვების ალტერნატიული მეთოდით დაშლის შედეგად ხელოვნური კვარცული ქვიშის მიღება და მისი ფიზიკო-მექანიკური თვისებების გამოკვლევა ასფალტბეტონებში გამოყენების თვალსაზრისით.

**დისერტაციის მიზანს წარმოადგენს:** სუსტადშეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვებისაგან მიღებული ხელოვნური ქვიშის გამოკვლევა და მისა ასფალტბეტონებში გამოყენების ეფექტიანობის განსაზღვრა. აღნიშნული მიზნის მისაღწევად დისერტაციაში დაცმული და გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:

- ჩატარებულია ანალიზი და ჩამოყალიბებულია პრობლემები, რომელიც თან ახლავს საქართველოს საგზაო მეურნეობის ქვიშით მომარაგების მხრივ;
- გამოკვლეულია სუსტადშეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვებისაგან მიღებული ხელოვნური ქვიშის ფიზიკო-მექანიკური თვისებები;
- შემუშავებულია სუსტადშეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვების გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესები;
- შექმნილია სუსტადშეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვების დაშლა-დანაწევრების პროცესის მათემატიკური მოდელირება;
- თეორიულად დასაბუთებულია ხელოვნური კვარცული ქვიშის გამოყენების მიზანშეწონილობა საავტომობილო გზების მშენებლობაში;
- შესწავლილია ხელოვნური კვარცული ქვიშით დამზადებული ასფალტბეტონის ნარევის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები ტექნოლოგიური პროცესის დადგენილი პარამეტრების შესაბამისად;
- ჩატარებულია მიღებული შედეგების საცდელ-საწარმოო გამოკვლევა;

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

- დასაბუთებულია საქართველოს საგზაო მეურნეობაში ხელოვნური კვარცული ქვიშის გამოყენების მიზანშეწონილობა;
- შემოთავაზებულია კვარცული ქვიშაქვების გადამუშავების ალტერნატიული მეთოდი;
- დადგენილია ასფალტბეტონებში ხელოვნური კვარცული ქვიშის დამატების ოპტიმალური პარამეტრები, რომლებიც ითვალისწინებენ ყველა შესაბამის საშენებლო ნორმებსა და სტანდარტებს.

**სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა მდგომარეობს შემდგომში:**

- კვარცული ქვიშაქვებისაგან მიღებული ხელოვნური ქვიშის გამოყენება

მნიშვნელოვნად დაეხმარება საქართველოს საგზაო მშენებლობას ქვიშით მომარაგების საკითხების გადაწყვეტაში;

- კვარცული ქვიშაქვებისაგან მიღებული ხელოვნური ქვიშის გამოყენება შეამცირებს მდინარეების კალაპოტებიდან ამოღებული ქვიშების გამოყენების რაოდენობას, რაც მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელს გარემოს ეკოლოგიური პირობების გაუმჯობესებას;
- ქვიშაქვების გადამუშავების შემოთავაზებული დანადგარი და ტექნოლოგიური პროცესები პრაქტიკაში დღეს გამოყენებულ დანადგარებთან შედარებით ნაკლებად ენერგოტევადი, და შესაბამისად, უფრო ეკონომიურია.

#### **სამუშაოს რეალიზაცია:**

- წარმოდგენილი ტექნოლოგიით მიღებული ხელოვნური კვარცული ქვიშა გამოყენებული იქნა ქ. თბილისის ქუჩების რეაბილიტაციისას რამოდენიმე მონაკვეთზე;
- სადისერტაციო კვლევის შედეგები გამოყენებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საავტომობილო გზებისა და აეროდრომების მიმართულების ბაკალავრებისა და მაგისტრანტების სასწავლო პროცესში.

#### **სამუშაოს აპრობაცია:**

- დისერტაციაში წარმოდგენილი მასალები მოხსენებულია სტუ-ს სტუდენტთა 80-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე,, მაისი, 2012 წელი.

**პუბლიკაციები:** დისერტაციის მასალების შესახებ გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო ნაშრომი.

**დისერტაციის სტრუქტურა:** სადისერტაციო ნაშრომი შეიცავს შესავალს, სამ თავს, დასკვნას, ლიტერატურის სიას 25 დასახელებით, 6 ცხრილსა და 48 ნახაზს. კვლევის შედეგები გადმოცემულია 121 ნაბეჭდ თაბახზე.

## თავი I

### ლიტერატურის მიმოხილვა

#### 1.1. ადგილობრივი საგზაო სამშენებლო მასალები და მათი გამოყენება საგზაო სამოსის კონსტრუქციებში

საგზაო სამოსის კონსტრუქციებისას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ადგილობრივი ქვის მასალების გამოყენებას. ცნობილია, რომ საქართველოს ტერიტორია მდიდარია ქვის მასალებით, მაგრამ ისინი ძირითადად დაბალი ხარისხისაა და მათი გამოყენება საგზაო მშენებლობაში, ხშირად არ იძლევა კარგ შედეგს.

ჩვენი გზებისა და ქუჩების ბევრ უბანზე, მაღალი სიჩქარისა და ინტენსიური მოძრაობის პირობებში, საგზაო ფენილის მდგომარეობა ვერ უზრუნველყოფს ტრანსპორტის ნაკადის ნორმალურად ფუნქციონირებას. გამოცდილება ადასტურებს, რომ საქართველოს თბილი კლიმატისა და მთაგორიანი რელიეფის პირობებში, დიდ ქანობებზე, მოსახვევებში, გაჩერების ადგილებზე ავტომობილის დამუხრუჭებისა და წვევის ძალების ინტენსიური მოქმედება, უარყოფითად მოქმედებს საგზაო ფენილების მდგომარეობაზე. ამიტომ არახისტ ფენილებზე მასობრივად წარმოიქმნება ძვრის დეფორმაციები, რის გამოც საგზაო ფენილი ინტენსიურად ცვდება და იშლება, იზრდება გზის საექსპლუატაციო ხარჯები, მცირდება ფენილის ხანგამძლეობა, უარესდება უსაფრთხოება და სატრანსპორტო საშუალებათა მოძრაობის პირობები, აუცილებელი ხდება გზის სავალი ნაწილის სისტემატიური შეკეთება, დეფორმირებულ ფენებზე დამატებითი ფენების მოწყობა, რასაც შედეგად მოსდევს ფენილების სისქის მეტისმეტად გაზრდა.[1]

ფენილებზე ძვრის დეფორმაციების წარმოქმნისა და ინტენსიური ცვეთის ერთ-ერთი ძირითადი მიზეზია ადგილობრივი კარიერებიდან მიღებული დამტვრეული ხრეშის მასობრივად გამოყენება. ეს

ტრადიცია დიდი ხნის წინათ დამკვიდრდა და გარკვეულად გამართლებული იყო ტრანსპორტის განვითარების ადრეულ ეტაპებზე, როცა გაცილებით ნაკლები იყო ტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობა და სიჩქარე.

საქართველოში საერთაშორისო და შიდასახელმწიფოებრივი დანიშნულების საავტომობილო გზების საერთო სიგრძე 1938 წლის 3200 კილომეტრიდან დღეისათვის თითქმის ორჯერ გაიზარდა. შესაბამისად გაიზარდა გაუმჯობესებული ტიპის ფენილების რაოდენობა. ამავე პერიოდში თითქმის 15-ჯერ და უფრო მეტად გაიზარდა საქალაქო ქუჩების ქსელი. კიდევ ფრო მნიშვნელოვანი ძვრებია მოსალოდნელი ამ მიმართულებით მომავალში. საქართველოს საგზაო ქსელის პერსპექტიული განვითარების გეგმით უახლოესი მომავლისათვის გათვალისწინებულია საერთაშორისო და შიდასახელმწიფოებრივი გზების საერთო სიგრძის 3000 კილომეტრით გაზრდა. თბილისში რეკონსტრუქციის გენერალური გეგმა ითვალისწინებს საქალაქო ქუჩების ქსელის მნიშვნელოვან გაფართოებას. დიდი პერსპექტივებია დასახული აგრეთვე სხვა ქალაქების წინაშეც.

ყოველივე ეს მოითხოვს მთელი რიგი პრობლემური ხასიათის ამოცანების გადაწყვეტას. ერთი მხრივ, საგზაო მშენებლობაში უნდა დაინერგოს საგზაო სამოსის ისეთი კონსტრუქციები, რომლებიც ადგილობრივი კარიერებიდან მიღებული ხრეშოვანი მასალის გამოყენების პირობებში, მაქსიმალურად უზრუნველყოფს საგზაო სამოსის სათანადო სიმტკიცეს ძვრის დეფორმაციების მიმართ. მეორეს მხრივ, ცვეთისადმი მდგრადობისა და ხორკლიანი ზედაპირების შექმნის მიზნით სამოსის ზედაპირულ ფენაში ყველა შემთხვევაში დამტვრეული ხრეში უნდა შეიცვალოს მაღალი სიმტკიცის ქანებისაგან დამზადებული ღორღით.

ხრეშოვანი მასალის გამოყენებისას ძვრისადმი მდგრადობის უზრუნველყოფის მიზნით ყველაზე უფრო პერსპექტიულია ცემენტის

მცირე დანამატების შეტანა არახისტ საგზაო სამოსებში. ასეთი ტიპის გაუმჯობესებული სამოსებიდან გარკვეული ტექნიკურ-ეკონომიკური უპირატესობით გამოირჩევა ნახევრადხისტი საგზაო ფენილი, რომლებიც დამუშავებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში. ნახევრად ხისტი ფენილი ბიტუმ-მინერალური სისტემისაგან შექმნილი ფენილია, რომლებშიც ჩართულია შუალედური, თხელი ხისტი ფენა ქვიშა-ცემენტის ხსნარისაგან. ასეთი ხისტი ფენა ასრულებს ჩონჩხის როლს, მკვეთრად ადიდებს ფენილის კონსტრუქციულ სიხისტეს და ძვრის დეფორმაციებისადმი მდგრადობას. ნახევრად ხისტი ფენილი თანატოლი სისქის ასფალტბეტონის ფენაზე უფრო იაფი ჯდება, ამავე დროს მისი სიმტკიცე რამდენჯერმე აღემატება ასფალტბეტონის ფენის სიმტკიცეს. მისი ფენილების თავისებურება ის არის, რომ ჰორიზონტალური მიმართულებით ისე მუშაობს, როგორც ბეტონის ხისტი ფენილები, ხოლო ვერტიკალური მიმართულებით – როგორც ასფალტბეტონის არახისტი ფენილები. მათი ტექნიკური უპირატესობა დაადასტურა პრაქტიკულმა გამოყენებამ და გრძივ ღუნვაზე თხელი ფილების მდგრადობის სათანადო გაანგარიშებამ. ეკონომიკური უპირატესობის მაჩვენებელია ის, რომ ნახევრად ხისტ ფენილებში შესაძლებელია ფართოდ იქნეს გამოყენებული დაბალი სიმტკიცის ხრემოვანი მასალა ბუნებრივი სახით ან ღორღად გადამუშავებული, აგრეთვე სხვა არაკონდიციური ქვის მასალები, რომელთა გამოყენებას, როგორც ძვრისადმი არამდგრად მასალებს, კრძალავს ნორმატიული ტექნიკური დოკუმენტაცია.

ძვრისადმი მდგრადობის კიდევ უფრო გაზრდის მიზნით ნახევრად ხისტ სამოსებში შუალედი ხისტი ფენების მოწყობასთან ერთად მიზანშეწონილია 1-1,5 %-ით შემცირდეს ბიტუმის რაოდენობა ტექნიკური პირობებით გათვალისწინებულ ოპტიმალურ რაოდენობასთან შედარებით. ბიტუმის რაოდენობის შემცირება აქვეითებს ფენილების პლასტიკურობას და შესაბამისად ადიდებს



ძვრისადმი მდგრადობას, მაგრამ ამავე დროს აძლიერებს ფენილების ცვეთას. ამ უარყოფითი მოვლენების თავიდან აცილების მიზნით საჭიროა ასეთ ფენილებზე დავიტანოთ ზედაპირული ცვეთამძლე და წყალგაუმტარი დამცავი ფენა.

ბიტუმ-მინერალურ სისტემებში ბიტუმის რაოდენობის შემცირება დაკავშირებულია, ფენილების დატკეპნის ხარისხის გაზრდის საჭიროებასთან. ცვეთამძლე, წყალგაუმტარი ზედაპირული ფენის დატანა და ფენილის მაქსიმალურად დატკეპნა ის ძირითადი ფაქტორებია, რომლებიც უზრუნველყოფენ ბიტუმის რაოდენობის შემცირების უარყოფითი შედეგების კომპენსაციას. ბიტუმის რაოდენობის შემცირება, ფენილებში ტექნიკურ უპირატესობასთან ერთად, დაკავშირებულია მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტთან – ბიტუმის ეკონომიასთან, რასაც თანამედროვე ეტაპზე სახელმწიფოებრივი მნიშვნელობა ენიჭება.

ნახევრად ხისტი სამოსების სხვადასხვა ვარიანტის ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარების დროს უპირატესობა უნდა მიეცეს ერთნაირი სიმტკიცის მქონე იმ ვარიანტს, რომელშიც ხისტი შუალედი ფენის მოსაწყობად მაქსიმალურად ქნება გამოყენებული ხრეშოვანი მასალა.[2]

ამჟამად ქვეყნის საგზაო მშენებლობა ქვის მასალით თითქმის მთლიანად ადგილობრივი ხრეშის კარიერებით მარაგდება. ეს კარიერები მცირე სიმძლავრის საწარმოთა სახითაა გაბნეული საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე და ცალკეულ საგზაო ობიექტებს ემსახურებიან. კარიერების დამუშავების დღევანდელი ორგანიზაციული ფორმები არ არის ეფექტიანი და ძირეულ გარდაქმნას მოითხოვს. მრავალწლიანი გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ საგზაო მშენებლობის ქვის მასალით მომარაგებისათვის მეტად მნიშვნელოვანია საბაზისო კარიერების გახსნა და იქ ღორღის ქარხნების მოწყობა, ეს შესაძლებელს გახდის საგზაო მშენებლობა მოვამარაგოთ ცენტრალიზებული წესით, მაღალხარისხიანი ღორღით.



საბაზისო კარიერებისა და ღორღის ქარხნების შექმნა დადებითად იმოქმედებს საგზაო მშენებლობის მრავალ ფაქტორზე. მარალხარისხიანი ღორღის გამოყენებით გაუმჯობესდება საგზაო ფენილების სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მაჩვენებლები, გაიზრდება ფენილების მუშაობის ხანგრძლივობა, შემცირდება საექსპლუატაციო ხარჯები, რის შედეგადაც საგრძნობლად ამაღდება საგზაო მშენებლობის ეფექტიანობის დონე, შეიქმნება ხორკლიანი ფენილების მასობრივად დანერგვის პირობები, შეიქმნება იმის შესაძლებლობა, რომ სრულყოფილად შევისწავლოთ ცენტრალიზებული წესით მიღებული ღორღის თვისებები მათი საგზაო ფენილებში გამოყენების თვალსაზრისით, სხვადასხვა კლიმატურ პირობებში. ეს კი მეტად მნიშვნელოვანია, რადგანაც ყოფილი საბჭოთა ტექნიკური დოკუმენტაცია ვერ უზრუნველყოფდა ადგილობრივი ქვის მასალის ხარისხის სწორ შეფასებას. ღორღის თვისებების უფრო სრულად შესწავლა საშუალებას მოგვცემს მნიშვნელოვნად შემცირდეს გეოლოგიურ-საძიებო სამუშაოები საავტომობილო გზების მშენებლობისათვის საჭირო ქვის მასალების გამოსარკვევად, განსაკუთრებით შავი ზღვისპირა რაიონებში, რომლის ზოგიერთ ზონაში გარემოს დაცვის მიზნით უკვე დიდი ხანია აკრძალულია ქვიშა-ხრემის კარიერების ექსპლუატაცია და მასალის გამოზიდვა. მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდება გარემოს დაცვისა და ეკოლოგიური პირობები. საბაზისო კარიერების შექმნა, ქვის მოპოვებისა და დამუშავების პროცესების მაქსიმალური მექანიზაციის და ავტომატიზაციის საშუალებას მოგვცემს.

საგზაო სამოსის დაპროექტება და კონსტრუირება წარმოადგენს მეტად საპასუხისმგებლო საქმეს. იგი მდგომარეობს ისეთი ოპტიმალური კონსტრუქციის შერჩევაში, რომელიც მოძრაობის მოცემული შემადგენლობისა და ინტენსივობის პირობებში მინიმალური დანახარჯებით უზრუნველყოფს საგზაო საფარის საჭირო

სატრანსპორტო-საექსპლოატაციო თვისებებს და საიმედოობას მომსახურების ვადის მთელ პერიოდში.

მეცნიერული შრომები და გაანგარიშების მეთოდები, რომლებიც საგზაო სამოსების ოპტიმიზაციას ემსახურება საკმაოდ მაღალ პროფესიონალურ დონეზეა შესრულებული, მაგრამ არსებობს ზოგიერთი ფაქტორი, რომლებიც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ საგზაო სამოსების მუშაობაზე და აღნიშნულ მეთოდებში არ არიან გათვალისწინებული. კერძოდ, საანგარიშო სქემებში არასრულყოფილადაა გათვალისწინებული ჰორიზონტალური ძალისაგან გამოწვეული დატვირთვები და დეფორმაციები, რომელთა გავლენის შედეგად ირღვევა ფენილის სისწორე და შესაბამისად უარესდება ტრანსპორტის მუშაობის პირობები. ჰორიზონტალური ძალების საანგარიშო სქემებში გათვალისწინება განსაკუთრებით აქტუალურია საქართველოს ცხელი კლიმატისა და მთაგორიანი რელიეფის პირობებში. აუცილებელია საგზაო სამოსის გაანგარიშების კომპიუტერული პროგრამის დახვეწა, რაც საშუალებას იძლევა გაანგარიშება განხორციელდეს მცირე დროში რამოდენიმე საჭირო პარამეტრის ერთობლივად გათვალისწინებით.

საბაზისო კარიერები და ღორღის ქარხნები მიზანშეწონილია შეიქმნას ამოფრქვეული ქანების საბადოების ბაზაზე (საცვეთი ფენებისათვის) და ხარისხოვანი ხრემოვანი მასალის საბადოების ბაზაზე (ფენილის ყველა სხვა კონსტრუქციული ფენისათვის). საგზაო სამოსის ყველა სხვა კონსტრუქციულ ფენაში შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს ადგილობრივი კარიერებიდან მიღებული ხრემოვანი მასალა. მხოლოდ ამ გზით იქნება შესაძლებელი საქართველოს საგზაო ქსელის ხარისხის მსოფლიოს სტანდარტების დონემდე ამაღლება.

გაანგარიშებით დადასტურებულია, რომ საქართველოს ტერიტორიაზე ტექნიკურ-ეკონომიკურად უფრო მიზანშეწონილია

ამოფრქვეული მაგარი ქანების საბადოების ბაზაზე შეიქმნას ორი საბაზისო კარიერი, ერთი აღმისავლეთ და მეორე დასავლეთ საქართველოში. კარიერებთან ერთად უნდა აშენდეს სათანადო ღორღის ქარხნები. ამას გარდა ორი საბაზისო კარიერი საჭიროა შეიქმნას კირქვების საბადოების ბაზაზე. ამ კარიერებზე მოეწყობა კირქვის ღორღისა და მინერალური ფხვნილის წარმოება.

საქართველოს ტერიტორიაზე გავრცელებული საგზაო-სამშენებლო მასალების სრულად აღრიცხვის მიზნით ჩვენ შევავროვეთ ყველა იმ საპროექტო, სამშენებლო და გეოლოგიურ ორგანიზაციაში არსებული ცნობები, რომლებიც იძიებენ და იკვლევენ ქვის მასალის საბადოებს. ამის საფუძველზე შედგენილია საქართველოს ტერიტორიაზე საგზაო-სამშენებლო ქვის მასალების გავრცელების რუკები. პირველ რუკაზე მოცემულია ამოფრქვეული, დანალექი და მეტამორფული კლდოვანი ქანების 216 საბადო, მეორეზე – ქვიშა-ხრემის 328 საბადო.

კლდოვანი ქანების 148 საბადოდან (კარბონატული ქანების გამოკლებით) 98 განლაგებულია დასავლეთ საქართველოში, ხოლო 50 – აღმოსავლეთ საქართველოში. ამ საბადოების 60 პროცენტი შეიცავს ქანებს, რომელთა სიმტკიცის ზღვარი ნაკლებია 120 მპა.

კლდოვანი ქანების საბადოები, რომლებიც პირველი და მეორე ჯგუფის ქანების მეორე კლასს მიეკუთვნება, ძირითადად თავმოყრილია დიდი კავკასიონის სამხრეთ ფერდობის მაღალმთიან რაიონში, მდინარე ძირულის კრისტალურ მასივში და მცირე კავკასიონის სამხრეთ ნაწილში. მათთან დაკავშირება შეიძლება მხოლოდ მეოთხე-მეხუთე კატეგორიის საავტომობილო გზებით, რომლებიც ძირითადად მთიან რელიეფზეა განლაგებული და ზამთარში ძნელად გასავლელი ხდება. ზოგიერთ ასეთ საბადოს მარაგი მეტად მცირეა, ხოლო ქანების სიმტკიცის მიხედვით დიდად ცვალებადი. ამის გამო ამ საბადოებიდან საბაზისო კარიერების შესაქმნელად მისაღები

აღმოჩნდა მხოლოდ 5, რომელთა ქანების სიმტკიცე 120 მპა-ს აღემატება, ხოლო მარკა ცვეთის მიხედვით შეადგენს R-25-ს. მათ ბაზაზე შეიძლება შეიქმნას საკარიერო მეურნეობა და აიგოს წელიწადში სულ ცოტა 50 000მ<sup>3</sup> წარმადობის ღორღის ქარხნები.

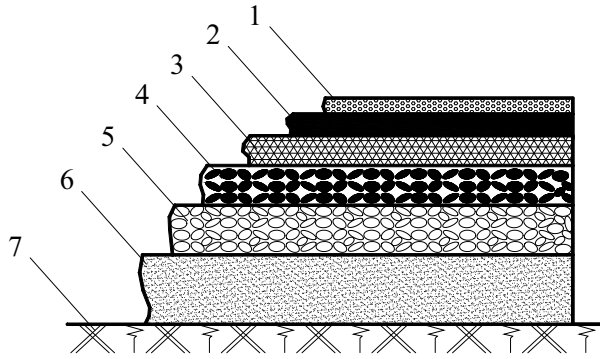
საბაზისო კარიერის შესაქმნელად საბადოს შერჩევას უპირატესობა იმ საბადოს უნდა მიეცეს, რომელიც შედარებით ახლოსაა განლაგებული და მზა პროდუქციის ტრანსპორტირების თვალსაზრისით უფრო ხელსაყრელი იქნება. მაგალითად, დასავლეთ საქართველოსათვის ამ მიზნით უპირატესობა ეძლევა ოფურჩხეთის ტემენიტის საბადოს, თუმცა აქ უნდა გავითვალისწინოთ ის გარემოება, რომ ღორღის ქარხანა გადაამუშავებს მხოლოდ მოსაპირკეთებელი ქვის ფილების წარმოების ნარჩენებს. იგივე შეიძლება ითქვას თელოვანის ანდეზიტ-ბაზალტის საბადოზე აღმოსავლეთ საქართველოში. ქანების ღორღად გადამუშავების საერთო ტექნოლოგიური სქემა ამ კარიერებსა და ქარხნებში უნდა განხორციელდეს ტექნიკის თანამედროვე დონეზე.

## **1.2 საგზაო ფენილებში ხელოვნური კვარცული ქვიშების გამოყენების ეფექტიანობა**

### **1.2.1. საგზაო სამოსის დაძაბულ–დეფორმირებული მდგომარეობა**

საგზაო სამოსის ძირითადი დანიშნულებაა თავის თავზე მიიღოს ავტომობილის თვლებისაგან გადაცემული დატვირთვა და შემცირებული სახით გადასცეს იგი მიწის ვაკისის გრუნტის ზედა ფენას. როგორც წესი სამოსის შედგება საფუძვლისა და ფენილისაგან, რომლებიც თავის მხრივ აგებულია სხვადასხვა კონსტრუქციული ფენებით.

ნახ.1-ზე ნაჩვენებია საგზაო სამოსის ტიპური კონსტრუქციის ფრაგმენტი.



**ნახ. 1 საგზაო სამოსის ტიპური კონსტრუქციის კრილი.**

1 – ზედაპირული დამუშავების ფენა; 2 – ფენილის ზედა ფენა წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის ნარევისგან; 3 – ფენილის ქვედა ფენა მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის ნარევისგან; 4 – საფუძვლის ზედა ფენა; 5 – საფუძვლის ქვედა ფენა; 6 – სადრენაჟო ფენა ქვიშის, ღორღის ან ხრეშისგან; 7 – გრუნტის საფუძველი

ასფალტბეტონის ზედა და ქვედა ფენები წარმოადგენენ ფენილს, რომელიც უშუალოდ განიცდის დროებითი დატვირთვებისა და ატმოსფერული ფაქტორების ზემოქმედებას, ამიტომ იგი უნდა იყოს მტკიცე, ცვეთაგამძლე, წყალგაუმტარი, ყინვამედეგი და საჭირო ფრიქციული თვისებების მქონე.

ვინაიდან ექსპლუატაციის პერიოდში ზემოთ აღნიშნული თვისებები თანდათანობით უარესდება, ამიტომ საჭირო ხდება მათი პერიოდული აღდგენა ასფალტბეტონის ან ზედაპირული დამუშავების თხელი ფენების დატანით. თუ ფენილის ზედა ფენის სიმტკიცე არასაკმარისია და თანაც იგი ფოროვანია, მაშინ ზედაპირული დამუშავების ფენას აწყობენ ფენილის მშენებლობის პერიოდში.[3]

ეკონომიური მოსაზრებებიდან გამომდინარე მიზანშეწონილია ფენილის ზედა ფენა მოეწყოს შედარებით თხელი და უფრო მაღალი სიმტკიცის მასალისგან, ხოლო ქვედა ფენა – შედარებით სქელი და უფრო დაბალი ხარისხის მასალისგან. ზედა ფენა, წყალგაუმტარობისა და ცვეთაგამძლეობის თვალსაზრისით, უნდა მოეწყოს უფრო მკვრივი (წვრილმარცვლოვანი, ოპტიმალური გრანულომეტრული შემადგენლობის მქონე) ბიტუმის შემცველი ნარევისგან. ზედაპირული დამუშავების

მეთოდით გათვალისწინებული, მთელ ფართობზე მოსხმული ბიტუმის ფენამ, როგორც წესი, უნდა ჩახუროს ფორები და ფენილი გახადოს წყალგაუმტარი.

ფენილის ქვედა ფენა ეწყობა ნაკლებად მკვრივი (ფოროვანი) მსხვილმარცვლოვანი ნარევისგან, ვინაიდან იგი უშუალოდ არ განიცდის ცვეთას და ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებას. ფენილი თვლებისგან გადმოცემულ დატვირთვას შედარებით შემცირებული სახით გადასცემს ფუძის ფენებს.

ფუძის ფენა წარმოადგენს საგზაო სამოსის ძირითად ამტან კონსტრუქციას, რომელიც ფენილიდან გადმოცემულ დატვირთვას მნიშვნელოვნად შემცირებული სახით ანაწილებს გრუნტის საფუძველზე. ვინაიდან ფუძის ფენა არ განიცდის ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებას და იგი უშუალოდ არ ეხება თვლებს, ამიტომ იგი კეთდება შედარებით იაფი მასალებისგან.

ფუძის დამატებითი (სადრენაჟო) ფენა კეთდება იმ შემთხვევაში, როცა საფუძვლის გრუნტი დატენიანების შემთხვევაში მნიშვნელოვნად კარგავს სიმტკიცეს და ამის გამო მოითხოვს გაძლიერებას. ფუძის დამატებითი ფენა კეთდება ფოროვანი თბოსაიზოლაციო მასალისგან: ქვიშისგან, ღორღისგან, ხრეშისგან.

სადრენაჟო ფენა ახდენს წყლის ფილტრაციას კიუვეტში. გრუნტის საფუძვლიდან, გვერდულებიდან გაჟონილი და გრუნტის წყლების სახით სამოსის ქვეშ დაგროვილი წყლის აცილება განაპირობებს მიწის ვაკისის ზედა ფენის საპროექტო სიმტკიცის უზრუნველყოფას. წყლის აცილების ღონისძიებები საშუალებას გვაძლევს ვუზრუნველყოთ გრუნტის საფუძვლის სიმტკიცე, გავზარდოთ გრუნტზე დასაშვები დატვირთვები წლის ნებისმიერ პერიოდში, განსაკუთრებით ადრე გაზაფხულზე, შემოდგომის მიწურულს და ზამთარში, როცა საქართველოს კლიმატურ და ჰიდროგეოლოგიურ



პირობებში გრუნტები შედარებით უფრო დატენიანებულია და ამიტომ ეს პერიოდები მიჩნეულია საანგარიშო პერიოდებად.

### 1.2.2 საგზაო სამოსზე მოქმედი დროებითი

#### დატვირთვები

დროებითი დატვირთვა საგზაო სამოსზე, უშუალოდ კი საგზაო ფენილზე ახდენს სხვადასხვა სახის ზემოქმედებას, რაც განპირობებულია თვლებისგან გადაცემული ვერტიკალური და ჰორიზონტალური (მხები) ძალების ცვალებადობით ავტომობილის სწორ, მრუდე და ქანობიან უბნებზე მოძრაობის დროს. საგზაო ფენილის მუშაობის პირობებს კიდევ უფრო ართულებს დატვირთვის ცვალებადი რეჟიმი ავტომობილის დგომის, დაძვრისა და დამუხრუჭების მომენტებში.

ავტომობილის ძალური ზემოქმედება ფენილზე წარმოებს ავტომობილის თვლის ფენილთან შეხების მცირე – საკონტაქტო ფართობზე. ვერტიკალური ძალა, რომელიც რამოდენიმე ტონამდე აღწევს, შედარებით უფრო მუდმივად მოქმედებს ფენილზე, ხოლო ჰორიზონტალური ძალა, რომელიც წარმოადგენს ვერტიკალური ძალის გარკვეული ნაწილს, მოქმედებს დისკრეტულად – უფრო მეტად დამუხრუჭების, დაძვრის, მრუდე და ქანობიან უბნებზე მოძრაობის დროს, ხოლო ნაკლებად სწორ, ჰორიზონტალურ უბნებზე თანაბარი სიჩქარით მოძრაობისას.[4]

საკონტაქტო ფართობის ფარგლებში, მოძრაობის რეჟიმისა და ინერციული ძალების ცვალებადობის პირობებში, ხდება საგზაო ფენილის მიერ მოძრავი ავტომობილის პოტენციური ენერჯის შთანთქმა. შესაბამისად საკონტაქტო ფართობზე იქმნება დამაბული ველი, რომელიც განაპირობებს სამოსის კონსტრუირების სირთულეს.

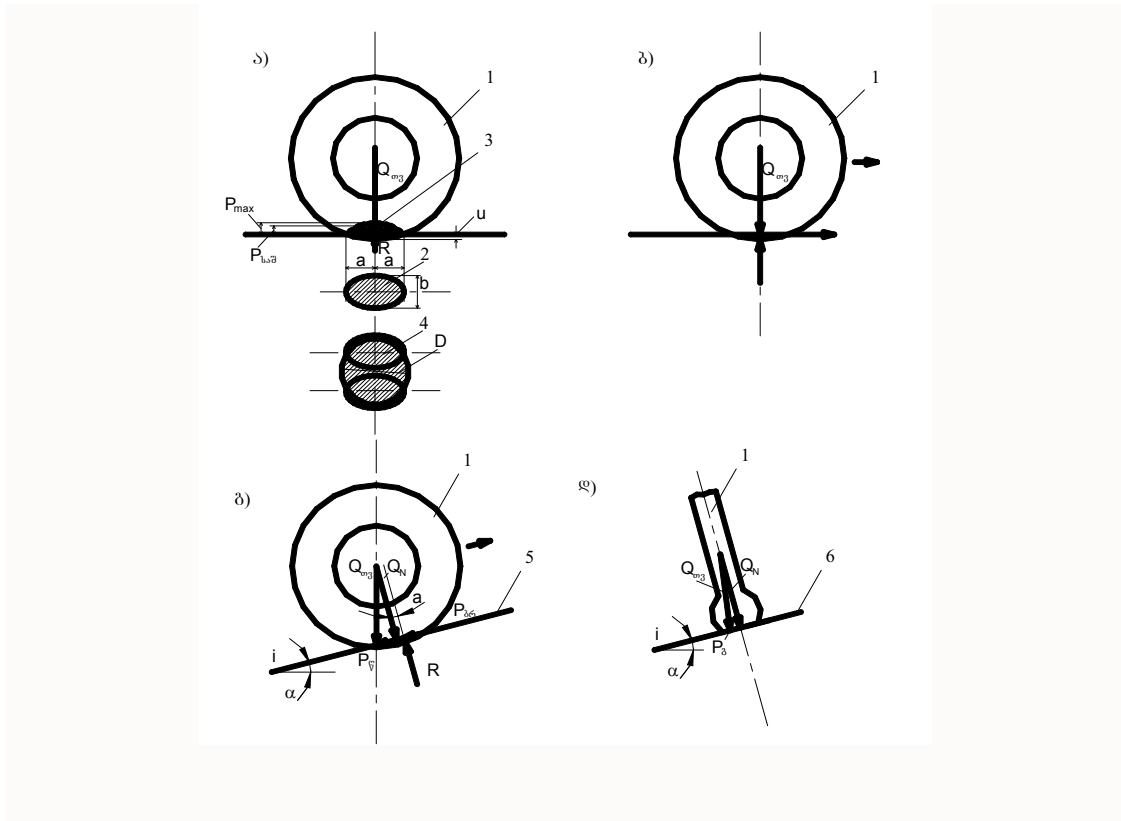
საკონტაქტო ფართობზე მოქმედი ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ძალების ინტენსიურობა იცვლება მოძრაობის რეჟიმის ცვალებადობასთან ერთად. მათგან უპირატესად ჰორიზონტალური



ძალები იწვევს ფენილის ცვეთას. ცვეთის ინტენსიურობა დამოკიდებულია საბურავის ფენილის ზედაპირთან ხახუნის ძალაზე. ამავე ხახუნის ძალებითაა განპირობებული ავტომობილის თვლის ჩაჭიდების ძალა ფენილის ზედაპირთან, რომელიც უზრუნველყოფს ავტომობილის გზაზე მოძრაობის ნორმალურ პირობებსა და უსაფრთხოებას.

### 1.2.3 დროებითი საანგარიშო დატვირთვის მოქმედების სქემა

საგზაო სამოსს დატვირთვა უშუალოდ ავტომობილების საბურავებისგან საკონტაქტო ფართობის ზედაპირზე გადაეცემა, რომელსაც აქვს ელიფსოიდის ფორმა (ნახ.2.ა). შეწყვილებული თვლების ზემოქმედების შემთხვევაში საანგარიშო საკონტაქტო ფართობი პირობითად წარმოდგენილია წრის სახით, რომელის ფართობიც ტოლია ორი შეწყვილებული ელიფსის ფართობების ჯამის. ამდაგვარად შეფასებული საკონტაქტო ფართობის  $D$  დიამეტრი (ნახ.2.ა) მიღებულია როგორც ერთ-ერთი საანგარიშო პარამეტრი საგზაო სამოსის სიმტკიცისა და კონსტრუქციული ფენების სისქეების გასაანგარიშებლად. ამავე დროს წნევა, რომლითაც საბურავი მოქმედებს სამოსზე და საბურავის შიგნით არსებული წნევა პრაქტიკულად ტოლია. ამგვარად საბურავის ზემოქმედება საგზაო ფენილზე წარმოადგენს  $P$  სიდიდის დატვირთვას, რომელსაც შეესაბამება  $D$  სიდიდის დიამეტრის წრიული ფართი. აღნიშნული მეთოდის გარკვეული უზუსტობები პრაქტიკულ გავლენას არ ახდენს გაანგარიშების შედეგებზე. ავტომობილისგან ფენილის ზედაპირზე გადაცემული დატვირთვების სქემები ნაჩვენებია 2 ნახაზზე.



**ნახ. 2. ავტომობილის თვლისაგან ფენილის ზედაპირზე გადაცემული ძალების მოქმედების სქემები.**

ა - გაჩერებული ავტომობილის შემთხვევაში; ბ - დამუხრუჭების მომენტისთვის; გ - აღმართზე მოძრაობის დროს; დ - გვერდით ქანობზე დგომისა და მოძრაობის მომენტისათვის; 1 - ავტომობილის თვალი; 2 - თვლის ანაბეჭდი ფენილის ზედაპირზე (საკონტაქტო ფართობი); 3 - საკონტაქტო ფართობზე ვერტიკალური ძალების ეპიურა; 4 - შეწყვილებული თვლების ანაბეჭდის ტოლფასი წრიული ფართობი; 5 - გრძივი ქანობი; 6 - განივი ქანობი.

ელიფსურ ფართობზე ვერტიკალური ძალების (ძაბვების) განაწილების ეპიურას ელიფსური ან სხვა სახის მრუდის ფორმა აქვს. ძაბვები მაქსიმალურია საკონტაქტო ფართობის ცენტრში და მათი სიდიდე თითქმის 1,5-ჯერ აღემატება მათსვე საშუალო სიდიდეს  $P_{max} = 1.5P_{საშ}$ . მოძრაობის შემთხვევაში ეპიურა არასიმეტრიულია და მაქსიმალური სიდიდით გადახრილია მოძრაობის მიმართულებით. ერთეულ საკონტაქტო ფართობზე მოსული დატვირთვა (ძაბვა) იცვლება 0,2–0,6 მპა ფარგლებში. რეზინის საბურავების პროტექტორს გააჩნია ღარისებრი ნაჭდევები და ფიგურული საკონტაქტო ამოწეული ნაწილები, რომლებზედაც ხდება ძაბვების კონცენტრაცია. ამის გამო

საკონტაქტო წერტილებზე დაბვა შესაძლებელია კიდევ უფრო გაიზარდოს 0,7 – 0,8 მპა-მდე.

საკონტაქტო ფართობზე მოქმედი ჰორიზონტალური, მხები ძალები ( $T$ ), (ნახ.2. ბ. გ. დ.), წარმოიქმნება წვეის და დამუხრუჭების ძალებისგან, აგრეთვე ავტომობილის თვალზე მოსული წონის ძალის მხები მდგენელისაგან  $P_{\varphi}$ , თუ მოძრაობა წარმოებს ქანობზე (ნახ. 2.გ.). ჰორიზონტალური მხები (ძალის) მაქსიმალური  $T$  სიდიდე არ აღემატება  $T = \varphi P$ , სადაც  $\varphi$  თვლის ფენილთან ჩაჭიდების კოეფიციენტია, ხოლო  $P$  თვალზე მოსული დატვირთვა და მისი მხები მდგენელი წარმოიქმნება როგორც გრძივად, ( $T_{\varphi}$ ) ისე განივად, რომელიც განპირობებულია გრძივი ქანობით (ნახ. 2. დ.) ან ცენტრიდანული ძალით, მრუდე უბნებზე მოძრაობის შემთხვევაში. ჰორიზონტალური (მხები) ძალა ყველაზე მაქსიმალურია დაღმართზე მოძრავი ავტომობილის ნაწილობრივ ან მთლიანად დამუხრუჭების შემთხვევაში. იგი განისაზღვრება ფორმულით:

$$T = P \left( \frac{v_1^2 - v_2^2}{2gS} \times i \right), \quad (2.1)$$

აქ  $T$  არის ფენილის ზედაპირზე ძვრის მხები ძალა, კგ;  $P$  - თვალზე მოსული დატვირთვა, კგ;  $v_1$  და  $v_2$  - საწყისი და შენელებული სიჩქარეები, მ/წმ;  $S$  - დამუხრუჭების მანძილი, მ;  $g$  - სიმძიმის ძალის აჩქარება, 9,18 მ/წმ<sup>2</sup>;  $i$  - გრძივი ქანობი.

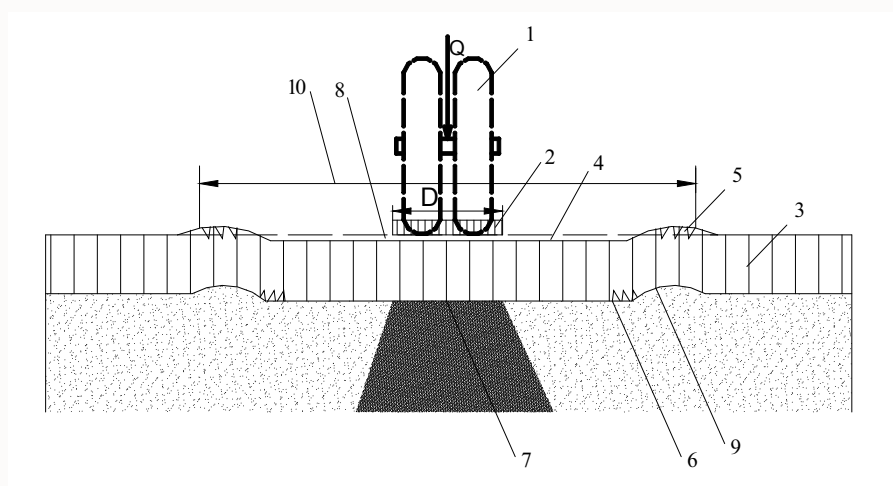
ამ ძალიდან ფენილზე გადაეცემა მხოლოდ ის ნაწილი, რომელიც განპირობებულია თვლის ფენილთან ჩაჭიდების კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობით ფენილის მშრალ მდგომარეობაში  $F = \varphi_{\max} P$  (სადაც  $P$  თვალზე მოსული ვერტიკალური დარვირთვაა). აღსანიშნავია, რომ რაც უფრო მეტ  $S$  მანძილზე მოხდება დამუხრუჭება მით ნაკლები იქნება  $F$  ძალის რეალური მნიშვნელობა. ასეთნაირად გამოთვლილი ძვრის ძალა, ძალის მოქმედების ჯერადობის

გათვალისწინებით, წარმოადგენს საანგარიშო დატვირთვის ფენილის ძვრისადმი მდგრადობის შესაფასებლად.

#### 1.2.4 სამოსის დროებითი დატვირთვისგან შექმნილი დამაბული ველი

საგზაო სამოსის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა გამოწვეულია მასზე ავტომობილების ზემოქმედებით. ავტომობილის თვლისგან გადაცემული ვერტიკალური ძალებისგან სამოსი განიცდის დრეკად ან დრეკად-პლასტიკურ დეფორმაციებს. დეფორმაციების სქემა ნაჩვენებია 3 ნახაზზე.

არახისტი ფენილების გაანგარიშების მეთოდის მიხედვით მიღებულია, რომ შტამპის ჩაღუნვა ადგილობრივი დამაბულობით შემოიფარგლება და საფუძვლის გრუნტის წინააღობის ზონა წარმოადგენს შტამპის ქვეშ შექმნილ ცილინდრული ფორმის სვეტს, რომლის  $D$  დიამეტრი შტამპის დიამეტრის ტოლია, ხოლო აქტიური ზონის სიღრმე, რომელზედაც ვრცელდება დროებითი დატვირთვისგან გადაცემული ძაბვები არ აღემატება 2 მეტრს.

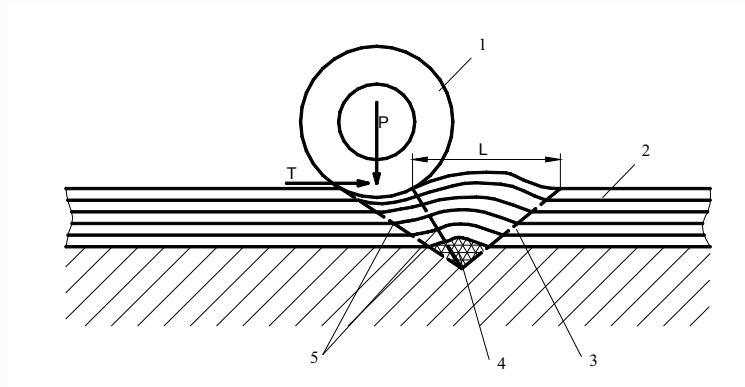


ნახ. 3 ავტომობილის თვლისგან სამოსის ჩაღუნვის სქემა.  
1 – პნევმატური თვალი; 2 – წრიული შტამპი; 3 – საგზაო სამოსი;

4 – სამოსის ჩალუნვის სქემა; 5 – გაჭიმვის ზედა ზონა; 6 – გაჭიმვის ქვედა ზონა; 7 – გრუნტის საფუძვლის შეკუმშული ზონა; 8 – კუმშვის ზედა ზონა; 9 – კუმშვის ქვედა ზონა; 10 – ელიფსური ფორმის ჩალუნული ზონის დიამეტრი.

ავტომობილის თვლებისგან გადაცემული ჰორიზონტალური ძალებისგან ფენილზე წარმოიქმნება ძვრის დრეკად-პლასტიკური დეფორმაციები. ძვრის მიხედვით ზღვრულ მდგომარეობაში გამოიკვეთება მაქსიმალური მხები ძაბვების მოქმედების დაცურების სიბრტყეები (ზედაპირები) (ნახ.4). ყველაზე უფრო საშიშ (და, ბუნებრივია, საანგარიშო) ზონად მიღებულია საკონტაქტო ფართობის წინა ზონა მოძრაობის მიმართულებით (დამუხრუჭების ძალის მიმართულებით). სამოსის ძვრის დეფორმაციები, ჰორიზონტალური ძალების გარდა, განპირობებულია აგრეთვე ვერტიკალური ძალებისგან წარმოქმნილი მხები ძაბვებით, თუ ძვრა ხდება მხოლოდ დრეკადობის საზღვრებში, მაშინ ფენილების ზედაპირზე არავითარი კვალი არ რჩება. ხოლო, როცა ძვრა პლასტიკური დეფორმაციებით არის განპირობებული, მაშინ ფენილის ზედაპირზე წარმოიქმნება უსწორმასწორობანი. დატვირთვების მრავალჯერადი მოქმედების შედეგად ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ძალებისაგან ფენილზე წარმოიქმნება უსწორმასწორობანი ჩალუნვისა და ძვრის ნარჩენი დეფორმაციების სახით. მათი სიდიდე ლიმიტირებულია ფენილების სატრანსპორტო—საექსპლუატაციო ხარისხის შეფასების ნორმატივებით. (მაგ.: მაღალი კატეგორიის გზებისათვის, საანგარიშო დატვირთვების მრავალჯერადი ზემოქმედების შედეგად, ექსპლუატაციის პერიოდში ფენილის ნებისმიერი ზედაპირული წერტილის გადაადგილება ნებისმიერი მიმართულებით, თავის პირვანდელ მდგომარეობასთან შედარებით, არ უნდა აღემატებოდეს 7 მმ, ხოლო დაბალი კატეგორიის გზებისათვის – 15 მმ-ს.) ცვეთისაგან გამოწვეული დეფორმაციები, როგორც წესი, ფენილის ჩალუნვისა და ძვრის დეფორმაციების კატეგორიას არ მიეკუთვნება. ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტაციით

მიღებულია, რომ I–III კატეგორიის გზის სამოსები მუშაობს დრეკადობის საზღვრებში, ხოლო IV–V კატეგორიის დრეკად-პლასტიკურ დეფორმაციების საზღვრებში.[5]



**ნახ. 4 ავტომობილის თვისიდან ფენილის ძვრის დეფორმირების სქემა**

1 – ავტომობილის პნევმატური თვალი; 2 – ფენილი; 3 – ძვრის სიბრტყეები სამოსში; 4 – ძვრის ზონა გრუნტში

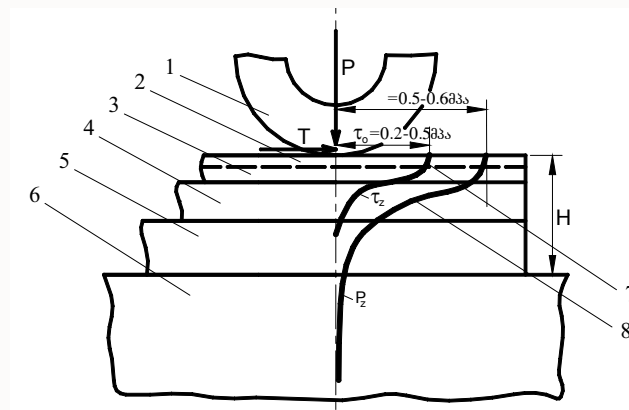
ჰორიზონტალური (მხები)  $T$  ძალისაგან საგზაო სამოსში (ძირითადად ფენილში), ძვრის მიხედვით ზღვრულ მდგომარეობაში გამოიკვეთება მაქსიმალური მხები ძაბვების მოქმედების დაცურების სიბრტყეები (ზედაპირები) (ნახ 4). ყველაზე უფრო საშიშ (და, ბუნებრივია, საანგარიშო) ზონად მიღებულია საკონტაქტო ფართობის წინა ზონა მოძრაობის მიმართულებით (დამუხრუჭების ძალის მიმართულებით). სამოსის ძვრის დეფორმაციები, ჰორიზონტალური ძალების გარდა, განპირობებულია აგრეთვე ვერტიკალური ძალებისგან წარმოქმნილი მხები ძაბვებით. როცა ძვრა ხდება დრეკადობის საზღვრებში, მაშინ ფენილების ზედაპირზე არავითარი კვალი არ რჩება. ხოლო, როცა ძვრა პლასტიკური დეფორმაციებით არის განპირობებული, მაშინ ფენილის ზედაპირზე წარმოიქმნება უსწორმასწორობანი ჩაღუნვისა და ძვრის ნარჩენი დეფორმაციების სახით. მათი სიდიდე ლიმიტირებულია ფენილების სატრანსპორტო—საექსპლუატაციო ხარისხის შეფასების ნორმატივებით. (მაგ.: მაღალი კატეგორიის გზებისათვის, საანგარიშო დატვირთვების მრავალჯერადი

ზემოქმედების შედეგად, ექსპლუატაციის პერიოდში ფენილის ნებისმიერი ზედაპირული წერტილის გადაადგილება ნებისმიერი მიმართულებით, თავის პირვანდელ მდგომარეობასთან შედარებით, არ უნდა აღემატებოდეს 7 მმ, ხოლო დაბალი კატეგორიის გზებისათვის – 15 მმ-ს.) ცვეთისაგან გამოწვეული დეფორმაციები, როგორც წესი, ფენილის ჩალუნვისა და ძვრის დეფორმაციების კატეგორიას არ მიეკუთვნება. ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტაციით მიღებულია, რომ I–III კატეგორიის გზის სამოსები მუშაობს დრეკადობის საზღვრებში, ხოლო IV–V კატეგორიის დრეკად-პლასტიკურ დეფორმაციების საზღვრებში.

სამოსების კონსტრუირების თვალსაზრისით მნიშვნელოვანია ძაბვების განაწილება სამოსის სიღრმის მიხედვით ნახ. 5.

მხები ძაბვების ეპიურა წარმოადგენს მრუდს, რომელიც მიახლოებით აღიწერება ფორმულით:

$$\tau_z = \frac{a\tau_0}{\pi} \left( 2.31 \lg \frac{D}{Z} - 0.5 \right) \quad (2.2)$$



ნახ. 5 დროებითი დატვირთვისაგან გამოწვეული ვერტიკალური ნორმალური და მხები ძაბვების ეპიურა სამოსის სიღრმის მიხედვით 1 – პნევმატური თვალი; 2 – ფენილის ზედა ფენა; 3 – ფენილის ქვედა ფენა; 4 – ფუძის ზედა ფენა; 5 – ფუძის ქვედა ფენა; 6 – გრუნტის საფუძველი; 7 – მხები (ძვრის) ძაბვების ( $\tau_z$ ) ეპიურა დატვირთვის ღერძის მიმართულებით; 8 – ნორმალური (ძკუმშავი) ძაბვების ( $P_z$ ) ეპიურა დატვირთვის ღერძის მიმართულებით



სადაც:  $\tau_z$  არის მხები ძაბვის მნიშვნელობა ღერძული სიღრმის მიხედვით;

$\tau_0$  - მხები (ძვრის) ძაბვის მნიშვნელობა ფენილის ზედაპირზე;  $a$  - კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია მასალის არაერთგვაროვნობაზე, შტამპის დიამეტრსა და ფენილის საფუძვლის სიხისტისაგან გამოწვეული ძაბვების კონცენტრაციაზე;  $D$  - თვლის საკონტაქტო ფართობის ტოლფასი წრიული ფართობის დიამეტრი;  $Z$  - განსახილველი წერტილის კოორდინატა სიღრმის მიხედვით.

ნორმალური (მკუმშავი) ძაბვების ეპიურა წარმოადგენს მრუდს, რომელიც სამოსის ქვედა ფენისა და გრუნტის საფუძვლის ზონაში აღიწერება ფორმულით

$$P_z = \frac{P_0}{1 + \left(\frac{Z_e}{D}\right)^2} \quad (2.3)$$

სადაც:  $P_z$  არის ნორმალური ძაბვების მნიშვნელობა ღერძული სიღრმის მიხედვით;  $P_0$  - ნორმალური ძაბვების მნიშვნელობა ფენილის ზედაპირზე;

$D$  - თვლის საკონტაქტო ფართობის ტოლფასი წრიული ფართობის დიამეტრი;  $Z_e$  - ეკვივალენტური სიღრმე განსახილველი წერტილისათვის ფენილის ზედაპირიდან, როცა საგზაო სამოსის ფენები პირობითად შეცვლილია ისეთი სისქის გრუნტის ფენით, რომელიც არ გამოიწვევდა განსახილველ წერტილში ძაბვის სიდიდის შეცვლას.

$Z_e$  გამოითვლება ფორმულით:

$$Z_e = Z - H + H \sqrt[2.5]{\frac{E_s}{E_g}} \quad (2.4)$$

სადაც:  $Z$  არის განსახილველი წერტილის დამორება ფენილის ზედაპირიდან (სიღრმე);  $H$  - სამოსის სისქე;  $E_s$  - სამოსის საერთო დრეკადობის მოდული;  $E_g$  - გრუნტის საფუძვლის დრეკადობის მოდული.

სამოსის სიღრმის მიხედვით ნორმალური და მხები ძაბვების განაწილების კანონზომიერების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ შემდეგი:

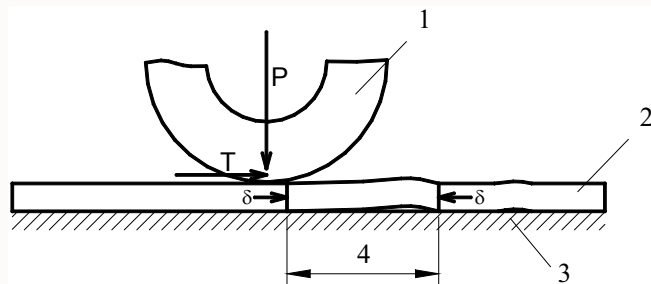
ფენილის ზედა ფენაში, მკუმშავი და მხები ძაბვები მაქსიმალურია. სიღრმის მიხედვით ისინი მცირდებიან. მათ შორის უფრო მეტად მცირდება მხები  $\tau_z$  ძაბვები, შედარებით ნაკლებად მკუმშავი  $P_z$  ძაბვები. მხები ძაბვების სიდიდე მაქსიმალურია ფენილში, შედარებით მცირდება ფუძის ზედა ფენაში და თითქმის უმნიშვნელოა ფუძის ქვედა ფენაში. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ჰორიზონტალური ძვრის ძალები მოქმედებენ ფენილის სიბრტყეში, დამაბულ ზონაში ჩართულია შედარებით უფრო მტკიცე ფენილის მასალა, რომელიც ძვრის ძალებს გადასცემს დიდ ფართობზე. დამაბული ზონა ასეთ შემთხვევაში პირობითად შეიძლება წარმოდგენილ იქნას დრეკად მეოთხედ სივრცედ, თუ ჰორიზონტალური ძალის მოქმედება თვლის ფენილთან საკონტაქტო ფართობზე პირობითად წარმოდგენილი იქნება შტამპის დრეკად ფუძეში ჩაწნევის სქემით.

უშუალოდ საკონტაქტო ფართობის ქვეშ ვერტიკალური ძალებისაგან გამოწვეული მხები  $\tau_z$  ძაბვები მაქსიმალურია, საკონტაქტო ფართობის კონტურის გარეთ კი თანდათან მცირდება. ამ ზონებისთვის ძვრისადმი მდგრადობის პირობა გამოიხატება შემდეგნაირად:

$$\tau_{act} = \delta \sigma \varphi + c \quad (2.5)$$

სადაც:  $\tau_{act}$  არის დროებითი დატვირთვისგან გამოწვეული მხები ძაბვები ნებისმიერ სიბრტყეში;  $\delta$  - ნორმალური მკუმშავი ძაბვა იგივე სიბრტყეში;  $\varphi$  - მასალის შიდა ხახუნის კუთხე, რომელიც განპირობებულია დამტვრეული ქვის მასალის ხორკლიანობით და მარცვლების ურთიერთჩასოღვის ძალებით;  $c$  - მასალის შიდა შეკავშირების ძალა, რომელიც განპირობებულია ბიტუმის შემკვრელი თვისებებით.

ამ პირობის მიხედვით შესაძლებელია ძვრისადმი მდგრადობის თვალსაზრისით უფრო საშიშ ზონად აღმოჩნდეს არა საკონტაქტო ფართობის ქვეშ განლაგებული სიბრტყეები (სადაც ნორმალური ძაბვა  $\sigma$  მაქსიმალურია), არამედ მის კონტურს გარეთ განლაგებული სიბრტყეები ჰორიზონტალური ძალის მიმართულებით (სადაც ნორმალური ძაბვა  $\sigma$  მინიმალურია). ამიტომაც, რომ იგი მიღებული უნდა იქნას საანგარიშო ზონად (ნახ.4). გარდა ამისა, საკონტაქტო ფართობის გარე ზონაში ჰორიზონტალური ძალების მოქმედებით ფენილი გარკვეულად განიცდის გრძივ ღუნვას, რომლის შედეგად ფენილმა შეიძლება მიიღოს ტალღისებრი დეფორმაცია (ნახ. 6). ყველა შემთხვევაში საკონტაქტო ფართობის გარე ზონის წინააღმდეგობის გაზრდა ჰორიზონტალური ძალების მიმართ შესაძლებელია ფენილის სიხისტის გაზრდით ან მასში ხისტი ჩონჩხის შექმნით ცემენტქვიშის ხსნარისაგან, რომელიც ნორმალური მკუმშავი ძაბვების გაზრდის ხარჯზე გამოიწვევდა აქტიური მხები ძაბვების შემცირებას.



ნახ. 6 ჰორიზონტალური ძალის მიერ გამოწვეული ფენილის გრძივად ღუნვის სქემა.

1 – პნევმატური თვალი; 2 – ფენილი (სამოსი); 3 – ფუძე (საფუძველი); 4 – ფენილის გრძივად ღუნვის ტალღის სიგრძე.

## 1.25 ფენილზე ჰიდრო- და კლიმატური ფაქტორების გავლენა

ფენილების კონსტრუირების დროს მნიშვნელოვანი საკითხია კლიმატური და ჰიდროგეოლოგიური ფაქტორების ზემოქმედების გათვალისწინება. კლიმატური ფაქტორებიდან აღსანიშნავია ატმოსფერული ნალექების, მაღალი ტემპერატურის (მზის რადიაციის), დაბალი ტემპერატურის (გაყინვის), ტენიანობის (ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლების) გავლენა სამოსის ფიზიკურ-მექანიკური და საექსპლოატაციო თვისებების ცვალებადობაზე წლის სხვადასხვა დროს.

მაღალი ტემპერატურისაგან (მზის რადიაციისაგან) ბიტუმის შემცველი ფენილები რბილდება და მათზე შედარებით ადვილად წარმოიქმნება ძვრის დეფორმაციები. დაბალი, უარყოფითი ტემპერატურის შედეგად ბიტუმის შემცველი ფენილები შეიძლება დაიბზაროს. თუ გაყინვა ხდება ფენილის წყლით გაჟღენთილ მდგომარეობაში, მასალის სტრუქტურა სუსტდება და ფენილი შეიძლება ადვილად დაიშალოს. ატმოსფერული ნალექებისა და გრუნტის წყლებისაგან გამოწვეული ტენიანობა ხელს უწყობს ფენილების ცვეთას. თუ ფენილების ზედაპირი დაჭუჭყიანებულია გრუნტით (ქვიშით, მტვრისა და თიხის ნაწილაკებით) სისველის ცვეთაზე გავლენა კიდევ უფრო ინტენსიური ხდება.

ტენიანობა უარყოფითად მოქმედებს არა მარტო ფენილებისა და საერთოდ სამოსის ფიზიკურ-მექანიკურ და საექსპლოატაციო თვისებებზე, არამედ გრუნტის საფუძვლის სიმტკიცეზეც. დასველების შემთხვევაში გრუნტი რბილდება, გრუნტის საფუძვლის წინაღობა მცირდება და მოსალოდნელია ავტომობილის თვლისაგან გადაცემული დატვირთვის შედეგად სამოსი ჩატყდეს ან დაიბზაროს.

ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორი სამოსების კონსტრუირების მეთოდულ კაში მიღებულია როგორც საანგარიშო

დროებითი დატვირთვები და მუდმივად მოქმედი კლიმატური ფაქტორებით განპირობებული მდგომარეობები.[6]

კლიმატური ფაქტორები გავლენას ახდენს როგორც სამოსის ტიპის, ასევე ფენილების მოწყობის ტექნოლოგიური პროცესების შერჩევაზე. განსაკუთრებულად ეს ეხება ტექნოლოგიურად ცხელი პროცესების გამოყენებას, როცა სამშენებლო პროცესი წარიმართება ღია ცის ქვეშ და ყოველ მომენტში შესაძლებელია ამინდის გაუარესება.

კარგი კლიმატური პირობები საშუალებას იძლევა მნიშვნელოვნად გავახანგრძლივოთ ტექნოლოგიურად ცხელ პროცესებთან დაკავშირებული საამშენებლო სეზონი.

ყოფილი საბჭოთა კავშირის ტერიტორია, საგზაო კლიმატური დარაიონების მიხედვით, იყოფოდა ხუთ ზონად. საქართველოს ტერიტორია მიეკუთვნებოდა მეოთხე და მეხუთე კლიმატურ ზონებს, მაგრამ მაღალმთიან რაიონებში შეიძლება შეგვხვდეს მეორე და მესამე კლიმატური ზონებისთვის დამახასიათებელი პირობები. ამიტომ მიზანშეწონილი იქნება საქართველოს ტერიტორიის კლიმატური დარაიონება ჰორიზონტალური (შავი ზღვიდან დაშორების მიხედვით) და ვერტიკალური (ზღვის დონიდან დაშორების მიხედვით) ზონების გამოყოფით. თითოეული ზონისათვის დამახასიათებელია წლიური (თვიური) ატმოსფერული ნალექების გარკვეული რაოდენობა, ჰაერის საშუალო წლიური (თვიური, დღიური) აბსოლიტური მაქსიმუმი და მინიმუმი ტემპერატურები, მათი ხანგრძლივობა დღეების (საათების) განმავლობაში და კალენდარული დროის მიხედვით. ასევე მნიშვნელოვანია გრუნტის საფუძვლის დატენიანების რეჟიმის გათვალისწინება წლის განმავლობაში კალენდარული დროის მიხედვით. ყოველივე აღნიშნული გათვალისწინებული უნდა იქნას საგზაო სამოსების ტიპის შერჩევისა და კონსტრუირების შემდგომ მათი სხვადასხვა კლიმატურ პირობებში მუშაობის თვალსაზრისით,

შესაბამისად სამოსის მოწყობის ტექნოლოგიური პროცესების სწორად შერჩევისა და მშენებლობის სეზონის განსაზღვრის მიზნით.

საქართველოს ტერიტორიისათვის დამახასიათებელია ატმოსფერული ნალექების მკვეთრი განსხვავება სხვადასხვა რაიონებისათვის. ასფალტბეტონის ფენილისათვის ყველაზე უფრო რთული საექსპლოატაციო პირობებია იმ რაიონებში, სადაც ჰაერის ტემპერატურა და ტენიანობა ერთდროულად მაქსიმალურია, რაც ხელს უწყობს ძვრის დეფორმაციების წარმოქმნას.

ჰაერის  $F_3$  ტემპერატურასთან დამოკიდებულებით იცვლება საგზაო ფენილის  $F_{ფ}$  ტემპერატურა, რაც ზოგადად შეიძლება გამოსახულ იქნას ფორმულით:

$$F_{ფ} = 1.3F_3 + 7 \quad (2.6)$$

აღსანიშნავია, რომ დღის პირველ ნახევარში ფენილის ტემპერატურა ჩამორჩება ჰაერის ტემპერატურას, იგი უფრო დაბალია, ხოლო დღის მეორე ნახევარში, პირიქით, ფენილის ტემპერატურა ჰაერის ტემპერატურაზე უფრო მაღალია. ძვრისადმი მდგრადობის თვალსაზრისით ფენილის საანგარიშო მდგომარეობად მიღებულია ფენილის ტემპერატურის აბსოლიტური მაქსიმუმი, საშუალო მაქსიმუმი ზაფხულში და მათი ხანგრძლივობა დღეებში (საათებში). გაყინვისგან დაბზარვის თვალსაზრისით ფენილის საანგარიშო მდგომარეობად მიღებულია ფენილის ტემპერატურის აბსოლიტური მინიმუმი და საშუალო მინიმუმი ზამთარში. ამ დროს დაბზარვის თვალსაზრისით მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს ტემპერატურის დაცემის სიჩქარეს (გრადიენტს). დრეკადი ჩალუნვისადმი მდგრადობის (სიმტკიცის) თვალსაზრისით ფენილის საანგარიშო მდგომარეობად მიღებულია ტემპერატურული ინტერვალი  $+50 - +100^{\circ}\text{C}$ , როცა გრუნტის საფუძველი მაქსიმალურად არის დატენიანებული და მისი სიმტკიცე მინიმალურია. ასეთი პერიოდი შეიძლება იყოს შემოდგომის მიწურული, ზამთარი და ადრე გაზაფხული.



### 1.3 ბუნებრივი და ხელოვნური ქვიშები,

#### მათი მოპოვება და მიღება

##### 1.3.1. ასფალტბეტონის ნარევებში გამოყენებული ქვიშები

ქვიშა წარმოადგენს ყველა სამშენებლო მასალის შემადგენელ ნაწილს. საავტომობილო გზების მშენებლობის, რკინა-ბეტონის კონსტრუქციების წარმოების ტემპის ზრდამ განაპირობა სამშენებლო ქვიშაზე მოთხოვნილობის ტემპის ზრდა. თუმცა ბუნებრივი ქვიშების მოპოვებას ხშირად თან სდევს რეგიონებში ეკოლოგიის, მდინარეების ნაპირების ეკოსისტემის დარღვევა, პლიაჟების წარცხვა, მეწყერების წარმოშობა და სხვა მრავალი არასასურველი ფაქტორი.[7]

ასე მაგალითად, ყირიმის მეცნიერებათა აკადემიის მონაცემების მიხედვით, ქვიშა-ხრეშოვანი მასალის მოპოვებამ ყირიმის სამხრეთ სანაპიროზე გამოიწვია კურორტის ქვიშიანი პლიაჟის გაქრობა, გაააქტიურა ზღვის ტალღების დამანგრეველი მოქმედება და ხელი შეუწყო მეწყერული პროცესების აქტივობას.

კარიერების დამუშავებისას, კანონის შესაბამისად, საწარმოები და ორგანიზაციები იხდიან მოპოვებაზე გადასახადს და ახორციელებენ გარემოს დამცავ ღონისძიებებს, თუმცა ეკოლოგიაზე მიყენებული ზარალი ვერანაირი ფულით ვერ შეფასდება. ზოგიერთ ქვეყანაში ბუნებრივი ქვიშის მოპოვება საერთოდ აკრძალულია.[8]

ამავე დროს უზარმაზარი რაოდენობითაა მტკიცე ქანების გადამუშავებისას დამსხვრეული ნარჩენები, რომლებიც არასრულად გამოიყენებიან და ხშირად წარმოადგენენ საწარმოო ნარჩენებს, გადაიყრებიან ნაყარში და ასევე აბინძურებენ გარემოს.

ამგვარად, ხელოვნური ქვიშების წარმოება დამსხვრეული ქანების ნარჩენების გადამუშავებით ხელს შეუწყობს ეკოლოგიური გარემოების გაუმჯობესებას და ასევე, გაზრდის საწარმოების ეკონომიურ მაჩვენებლებს, რადგანაც საწარმოო ნარჩენებისაგან მიიღებენ სასაქონლე პროდუქციას.

დღესდღეობით ხელოვნური ქვიშები უკვე წარმატებით გამოიყენებიან საშენი მასალების წარმოებაში. ამასთანავე ხელოვნურ ქვიშაზე დამზადებული მასალების ხარისხი ხშირად უფრო მაღალია, ვიდრე ანალოგიურ მასალებისა ბუნებრივი ქვიშის საფუძველზე. მაგრამ აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მიუხედავად ხელოვნური ქვიშის გამოყენების აშკარა უპირატესობისა, სამწუხაროდ, მწარმოებლების უმეტესობა აგრძელებენ ბუნებრივი ქვიშის მოპოვებასა და გამოყენებას, რაც შეიძლება აიხსნას თანამედროვე ტექნოლოგიების არცოდნითაც.[9]

### 1.3.2. ბუნებრივი ქვიშა

მთის მკვრივი ქანები ყოველდღიურად, მუდმივად განიცდიან ზემოქმედებას ბუნების მრავალი მოვლენისაგან, როგორებიცაა ქარი, წვიმა, ყინვა და სხვა. ამის შედეგად ქანები იშლებიან და ქუცმაცდებიან წვრილ, ზოგჯერ თვალით ძლივს შესამჩნევ ნაწილაკებად. სწორედ ეს ნაწილაკები (ზომით 0,05 მმ-დან 5 მმ-მდე) ერთობლიობაში წარმოადგენენ ქვიშებს.



ნახ.7. ბუნებრივი ქვიშა

ქვიშები წარმოშობის მიხედვით არსებობენ ბუნებრივი და ხელოვნური. ბუნებრივი ქვიშა - ეს არის არაორგანული ფხვიერი მასალა

მარცვლების ზომით 5 მმ-მდე, რომლებიც წარმოიქმნენ კლდოვანი ქანების ბუნებრივად დაშლის შედეგად, ასევე მიღებული არიან ქვიშოვანი ან ქვიშა-ხრეშოვანი საბადოების დამუშავებისას, ზოგჯერ სპეციალური გამამდიდრებელი მოწყობილობების გამოყენებით. წარმოშობის პირობების (გენეზისის) მიხედვით ქვიშები შეიძლება იყოს ალუვიური, მყინვარული, დელუვიური, პროლუვიური, ეოლური, ზღვიური, ტბიური ან წიღური. ზომების მიხედვით ქვიშა არსებობს: წვრილი (0,5 მმ), საშუალო (0,5-2 მმ) და მსხვილი (2-5 მმ). ეს დაყოფა გამოიყენება მსოფლიოში უმეტესი ქვეყნების კლასიფიკაციებში სამშენებლო ქვიშებისათვის.[10]

მარცვლების თანაფარდობის მიხედვით განასხვავებენ შემდეგი სახის ქვიშებს:

- მონომინერალური - ქვიშა ძირითადად შეიცავს ერთი მინერალის მარცვლებს;
- ოლიგომიქტური - ძირითადად შედგება ორი-სამი მინერალისაგან, ერთ-ერთი მათგანის სიჭარბით;
- პოლიმიქტური - შედგება სხვადასხვა მინერალური შემადგენლობის მარცვლებისაგან.

რადგანაც ქვიშა წარმოადგენს წვრილ ნაწილაკებს, რომლებისგანაც შედგება კლდოვანი ქანები, მასში შეიძლება აღმოჩნდეს ყველანაირი მინერალი. მინერალოგიური შემადგენლობის მიხედვით ქვიშები იყოფიან: კვარცული; მინდვრისშპატური; კირქვული; დოლომიტური. სხვა მინერალების (მინარეგების) რაოდენობა და ნაირსახეობა დამოკიდებულია კონკრეტულ მიდამოში არსებული მთის ქანების შემადგენლობაზე. ესენია: კალციტი, ქარსი, მარილები, თაბაშირი, თიხოვანი მინერალები, რკინის მადანი, ძოწი, ტურმალინი, იშვიათად ტოპაზი. ზოგიერთი მინერალის არსებობა ქვიშის შემადგენლობაში ზოგჯერ ზღუდავს ასეთი ქვიშის სამშენებლოდ გამოყენებას.

მინარევიები შეიძლება იყოს მტვროვანი, თიხოვანი ან შლამოვანი. ასევე ქვიშები შეიძლება შეიცავდნენ ორგანულ ნარევიებსაც, რომლებშიც იგულისხმება ჰუმუსი, პლანქტონი, ქვანახშირის ნაწილაკები და სხვა.

### 1.3.3. მდინარეული ქვიშა

მდინარეული ქვიშა - ეს არის ქვიშა, რომელსაც მოიპოვიებენ მდინარეების ჭალებიდან და ფსკერიდან. საერთოდ უნდა აღინიშნოს, რომ ამ ქვიშების მოპოვიების ტექნოლოგიური პროცესები თითქმის არ განსხვავდებიან კარიერული მოპოვიების პროცესებისაგან. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მდინარეული ქვიშა წარმოადგენს საკმაოდ ხარისხიან (მასში თიხოვანი და ორგანული მინარევიების არ არსებობის გამო), თუმცა ამავდროულად საკმაოდ ძვირადღირებულ სამშენებლო მასალას. ამ სახეობის ქვიშის მაღალი ღირებულების გამო მშენებლობაში უპირატესობას ანიჭებენ კარიერული ქვიშის გამოყენებას, რომელიც უფრო ადვილი მოსაპოვიებელი მასალაა.



ნახ.8. მდინარეული ქვიშა

მდინარეული ქვიშა ძირითადად შედგება წვრილი და საშუალო დიამეტრის მქონე მარცვლებისაგან, მასში მსხვილი მარცვლები იშვიათად

გვხვდება, ამიტომ საჭიროა მისი გამდიდრება, რის გამოც ასეთი ქვიშის ისედაც მაღალი ფასი რამოდენიმეჯერ იზრდება.

მდინარეული ქვიშის მთავარი უპირატესობაა ის, რომ მისი შემადგენლობა შედარებით ერთგვაროვანია და წარმოადგენს ზუსტად ქვიშას, და არა ქვიშოვან ნარევს თიხის, მიწის, ან ქვის ნაწილების მონაწილეობით.

ხანგრძლივი ბუნებრივი ჰიდროზემოქმედების წყალობით ქვიშის ნაწილაკებს გააჩნიათ გლუვი ოვალური ზედაპირი და ზომები 1,5-2,2 მმ, თუმცა არის უფრო მცირეებიც.

მდინარეული ქვიშის მოპოვება წარმოებს ჰიდრომექანიზირებული მეთოდით, სპეციალური ტექნიკის გამოყენებით. მოპოვების ეს მეთოდი, სწორი გამოყენებისას, არანაირად არ ვნებს ეკოლოგიას, პირიქით, ხელს უწყობს მდინარეების კალაპოტების გაწმენდას. ყველაზე უფრო მსხვილი მდინარეული ქვიშა მოიპოვება დამშრალი მდინარეების შესართავებში. რაც შეეხება მოპოვებული ქვიშის ფერებს, ის საკმაოდ მრავალფეროვანია - მუქი რუხიდან ღია ყვითლამდე.

საგზაო მშენებლობაში მდინარეულმა ქვიშამ გამოყენება ჰპოვა ასფალტბეტონების ნარევების მომზადებაში და სხვა პროცესებში. მას ასევე დიდი გამოყენება აქვს სხვადასხვა სამშენებლო წარმოებაში. შეიძლება ითქვას, რომ მდინარეული ქვიშა უნივერსალური მასალაა.

#### **1.3.4 კარიერული ქვიშა**

კარიერული ქვიშა - ეს არის ბუნებრივი მასალა, რომელიც მოიპოვება კარიერებში ღია მეთოდით. ასეთ ქვიშას გააჩნია თიხის, მტვრისა და სხვა მინარევების საკმაოდ მაღალი შემცველობა. თვითღირებულების მიხედვით კარიერული ქვიშა მდინარეულზე იაფია, რაც განაპირობებს მის ფართო გამოყენებას, მათ შორის საგზაო მშენებლობაშიც.



**ნახ.9. კარიერული ქვიშა**

მოპოვების შემდეგ, გადამუშავების სახეობების მიხედვით, კარიერული ქვიშა იყოფა გარეცხილ და გაცრილ კარიერულ ქვიშებად.

კარიერული გარეცხილი ქვიშა არის ქვიშა, რომელის მოპოვებული იქნა კარიერში წყლის დიდი რაოდენობით გარეცხვის მეთოდით, შესაბამისი მანქანა-დანადგარების გამოყენებით. ასე ქვიშა ირეცხება მტვროვანი ნაწილაკებისა და თიხისაგან. შემდეგ ასეთი ქვიშა სპეციალური საცრების საშუალებით იცრება და ცილდება სხვა მინარევები. ერთადერთი, რაც რჩება ასეთ ქვიშაში, არის ყველაზე წვრილი ფრაქციები (საშუალოდ 0.6 მმ).



**ნახ.10. კარიერული გარეცხილი ქვიშა**



კარიერული გაცრილი ქვიშა არის ქვებისაგან და სხვადასხვა მსხვილი ჩანარებისაგან გაწმენდილი ქვიშა. გაწმენდა ხდება მექანიკური გაცრის შედეგად. აღსანიშნავია, რომ დამატებითი სამუშაოები ზრდიან ამ ქვიშის თვითღირებულებას.



ნახ.11. კარიერული გაცრილი ქვიშა

### 1.3.5 ზღვიური ქვიშა

ზღვიური ქვიშა - ეს არის ქვიშა, რომლის შემადგენლობაშიც (სხვა სახის ქვიშებისაგან განსხვავებით) ყველაზე ნაკლებად გვხვდება სხვა მინარევები.



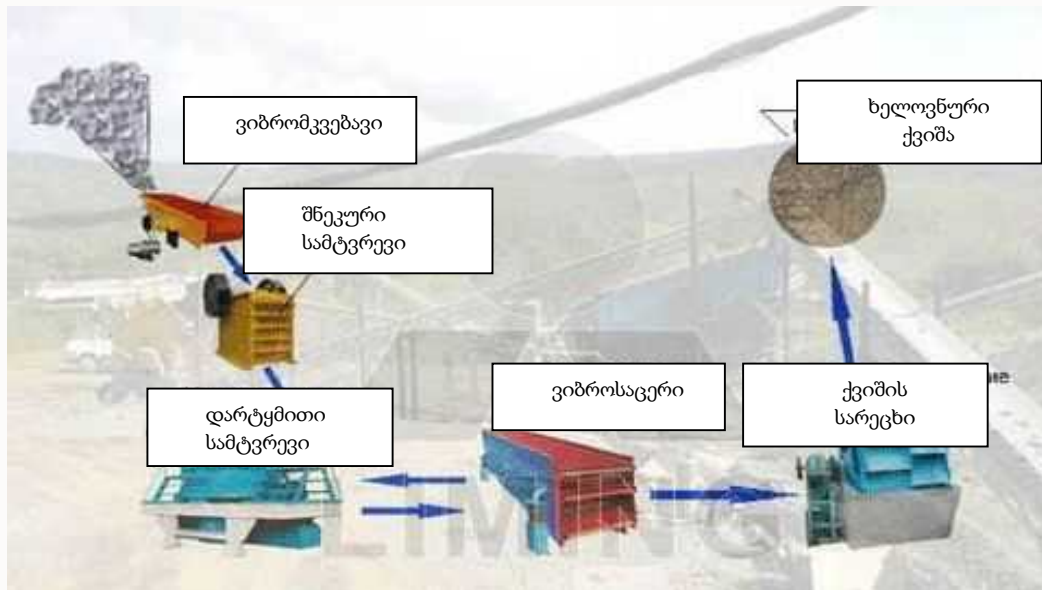
ნახ.12. ზღვიური ქვიშა

ზღვიური ქვიშის სისუფთავე განპირობებულია მისი მოპოვების ადგილით, ასევე მისი გაწმენდისას ორსაფეხურიანი სისტემის გამოყენებით. გაწმენდის პირველი ეტაპი ხორციელდება უშუალოდ მისი მოპოვების ადგილზე, მეორე კი (ჰიდრომექანიზირებული გადამუშავება) სპეციალურ საწარმოო მოედნებზე.

ზღვიური ქვიშის მაღალი ხარისხის გამო მისი გამოყენება შეიძლება ყველა სახის სამშენებლო სამუშაოებში, რადგანაც მასში თიხოვანი ნაწილაკების შემცველობა თითქმის არ შეიმჩნევა.

### 1.3.6. ხელოვნური ქვიშები

ხელოვნური ქვიშა - ეს არის ადამიანის მიერ შექმნილი ქვიშა, მკვრივი ქანების დაშლის შედეგად, ფიზიკური და ქიმიური მეთოდების გამოყენებით.[11]



ნახ.13. ხელოვნური ქვიშის დასამზადებელი ტექნოლოგიური პროცესი

- 1- ვიბრომკვებავი; 2 - შნეკური სამტრევი; 3 - დარტყმითი სამტრევი;  
4 -ვიბროსაცერი; 5- ქვიშის სარეცხი; 6 - ხელოვნური ქვიშა

როგორც ბუნებრივ, ასევე ხელოვნურ ქვიშას გააჩნია მარცვლების სხვადასხვა ზომები, თუმცა თუ ბუნებრივ ქვიშებში ეს გამოწვეულია მრავალი ფაქტორით, ხელოვნური ქვიშების წარმოებისას საკმარისია უმნიშვნელო ტექნოლოგიური ცვლილებები.[12]

პრაქტიკაში გამოიყენება მსუბუქი და მძიმე ხელოვნური ქვიშები.

**მსუბუქი ხელოვნური ქვიშა** - მიიღება ფოროვანი მთის ქანების (პემზა, ტუფი) დაქუცმაცებით. მთის ქანების სახეობების მიხედვით ასეთი ქვიშები იყოფიან ვულკანური და დანალექი წარმოშობის ქვიშებად.

ვულკანური წარმოშობის ქვიშები მიიღებიან ვულკანური ქანების დაშლით. ყველაზე ხშირად გამოიყენება პემზური ქვიშა, რომელსაც გააჩნია დახურული ფორიანობა და შესაბამისად ნაკლები წყალშთანთქმა, რაც იძლევა საშუალებას მივიღოთ მაღალი ყინვამედეგობის ნარევები.

ვულკანური ქვიშის სახეებია:

წიდების ფოროვანი ქვიშა - მიიღება ნატეხოვანი ფოროვანი მასალების დაქუცმაცებით (მაგ. წიდური პემზა). ქვიშის ეს სახეობა ეკონომიურად ეფექტურია, რადგან ნედლეულს წარმოადგენს საწარმოო ნარჩენები, ხოლო მათი გადამუშავება საკმაოდ მარტივია.

პერლიტის ქვიშა - არის ფოროვანი მასალა ქვიშის ან ლორღის სახით, მიიღება დამსხვრეული პერლიტის და ობსიდიანის თერმული გადამუშავებით. ასეთი ქვიშა თეთრი ან ღია ნაცრისფერია, და ძალზედ მსუბუქია.



ნახ.14. პერლიტის ქვიშა

დანალექი წარმოშობის ქვიშები - მიიღებიან ფოროვანი კარბონატული და კაჟმიწოვანი ქანების (კვარცი, დიატომიტი, ტრეპელი, ოპოკა) დაფქვის შედეგად. ასეთ ქვიშებს გააჩნიათ ღია ფოროვანება, დიდი რაოდენობით შთანთქავენ წყალს და შეიძლება დარბილდნენ ქვალგაჯერებულ მდგომარეობაში(განსაკუთრებით კაჟმიწოვანი ქანები). ამიტომ ასეთი ქვიშებისაგან ვერ მიიღებიან მტკიცე და ყინვამედეგი ნარევები.



**ნახ.15. დანალექი წარმოშობის ქვიშები**

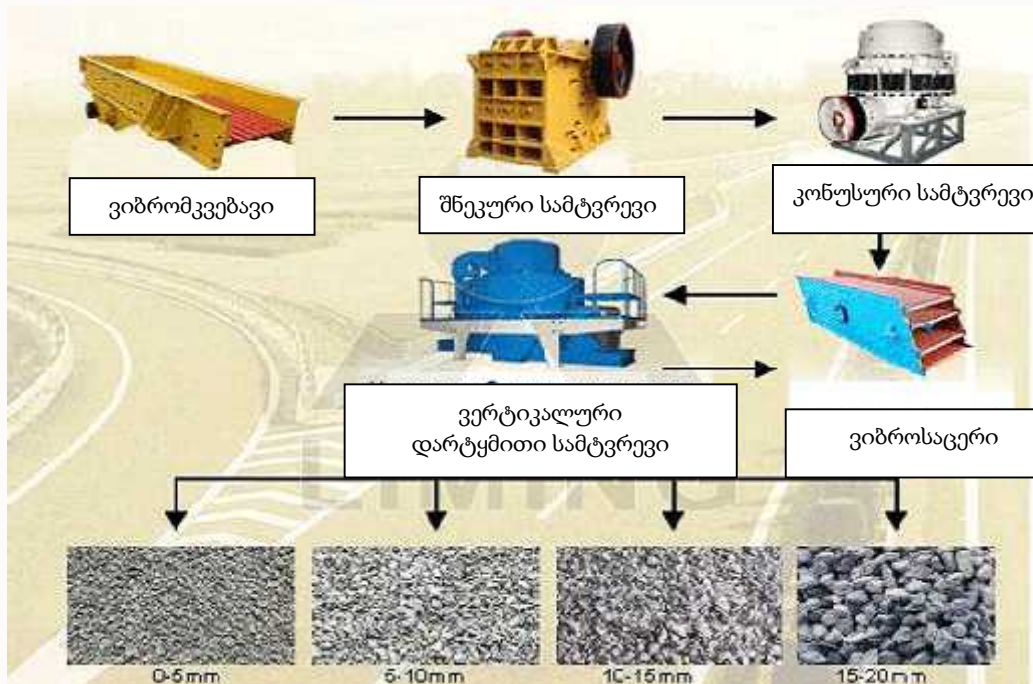
განსაკუთრებულ ყურადღებას თავისი უნივერსალურობით იქცევს კვარცული ქვიშა ანუ სხვაგვარად "თეთრი" ქვიშა. ლაპარაკია ქვიშაზე კვარცის საკმაოდ დიდი შემცველობით. ასეთი ქვიშა რძის ფერია, თუმცა ბუნებაში ხშირად გვხვდება თიხოვანი მინარევებით და აქვს მოყვითალო შეფერილობა. კვარცული ქვიშები მოიპოვებიან კარიერებში.



**ნახ.16. კვარცული ქვიშა - "თეთრი" ქვიშა**



ნახ.17-ზე მოცემულია კვარცული ქვიშის წარმოების ტექნოლოგიური ხაზი.



ნახ.17. კვარცული ქვიშის წარმოების ტექნოლოგიური ხაზი.

- 1- ვიბრომკვებავი; 2- შნეკური სამტვრევი; 3 - კონუსური სამტვრევი;  
4 - ვერტიკალური დარტყმითი სამტვრევი; 5 - ვიბროსაცერი;

**მძიმე ხელოვნური ქვიშა** - ეს არის მარცვლების ფხვიერი ნარევი, რომელიც მიიღება მყარი და მკვრივი ქანების დაქუცმაცების შედეგად. ეს განსაზღვრავს ამ ქვიშის მთავარ პლიუსს: გაზრდილი შეჭიდულობის უნარი, რაც მისი გამოყენების საშუალებას იძლევა მაღალი ხარისხის კონსტრუქციებში და ნარევებში.



### **ნახ.18. მძიმე ხელოვნური ქვიშა**

მძიმე ხელოვნური ქვიშის სახეობებია:

ბარიტის ქვიშა - მიიღება მტკიცე ქანის - ბარიტის დაქუცმაცებით. გამოიყენება გამოსხივებისაგან დამცავ ნაგებობებში.

მარჯნის ქვიშა - მიიღება მტკიცე ქანის - მარჯნის დაქუცმაცებით. ასეთ ქვიშას გააჩნია მაღალი აბრაზიული თვისებები.

ხელოვნური ქვიშებიდან აღსანიშნავია აქტივირებული ქვიშა, რომლის ზედაპირიც აქტივირებულია ზედაპირული-აქტიური ნივთიერებებით ჰიდროფობიულობისა და ბიტუმთან შეჭიდულობას გასაზრდელად. აქტივირებული ქვიშის მიღება ხდება აქტივატორში, სადაც ის მუშავდება აეროდინამიური და მექანიკური ზემოქმედების რეჟიმებში.

ხელოვნური ქვიშები გამოიყენებიან საავტომობილო გზების დასაგებად, ასევე სხვადასხვა შენობა-ნაგებობების მშენებლობაში, დეკორატიულ ნარეგებში და ა.შ. მათ ბევრი დადებითი მხარე აქვთ ბუნებრივ ქვიშებთან შედარებით, თუმცა გააჩნიათ თავისი მინუსები, კერძოდ: შედარებით მაღალ ფასთან ერთად, ხელოვნურად შექმნილ ქვიშებს შეიძლება გააჩნდეთ მაღალი რადიოაქტიურობა.[13]

### **1.3.7. გარემოს დაცვა ქვის მასალების მოპოვებისას**

ქვის მასალების მოპოვებისა და გადამუშავებისას სასურველია მცირე ტრასისპირა კარიერების ორგანიზირება: სამუშაოების პატარა მასშტაბები, ნარჩენების მცირე მოცულობები უფრო ნაკლებ ზიანს აყენებენ გარემოს.

მთიანი ადგილმდებარეობის შემთხვევაში კარიერების ორგანიზირებისას აუცილებელია გათვალისწინებული იქნას ლანდშაფტის დამცავი ღონისძიებები, მიღებული იქნას ფერდობების მდგრადობის



დარღვევის საწინააღმდეგო ზომები, ნაიღვრების წარმოშობის საშიშროებები და სხვა.

ქვის მასალების დამსხვრევ-დამახარისხებელ დანადგარებზე გადამუშავებისას წარმოქმნილ მტვერთან ბრძოლაში ეფექტურია ასპირაციის სისტემის გამოყენება ჰაერის გაწმენდით ატმოსფეროში გამონაბოლამდე. ასპირაციის სისტემის შემადგენლობაში შედიან შენობები, რომელთა ძირითადი დანიშნულებაა მტვერწარმოქმნის კერის იზოლირება დაწარმოქმნილი მტვერის მაქსიმალური მოცილების უზრუნველყოფა გაწოვილ ჰაერთან ერთად.[14]

ჰაერის მტვერისაგან გასაწმენდად უნდა გამოიყენებოდეს ორსაფეხურიანი სისტემები, რომლებიც შედგებიან ციკლონებისაგან პირველ სტადიაზე, და მეორეზე- სახელუროვანი ფილტრებისაგან. ღიად მომუშავე დამსხვრევ-დამახარისხებელ დანადგარებზე გამტვერიანობის დასაძლევად დაიშვება ჰიდროგამტვერიანობის სისტემის გამოყენება წყლის ჭავლის მიწოდებით, 0.2-0.4 მგპ წნევით. ამასთანავე უნდა გავითვალისწინოთ, რომ მასალის ჭარბი გადატენიანება ამცირებს დამსხვრევის ეფექტურობას და ზრდის ლორღში გამტვერიანებული მინარევების შემცველობას.

გამომდინარე იქიდან, რომ ქვის მასალების წარმოებისას ტექნიკურ ოპერაციებზე იხარჯება წყლის მნიშვნელოვანი რაოდენობა (1 მ<sup>3</sup> ლორღის გარეცხვაზე 1-2 მ<sup>3</sup> წყალი, ბუნებრივი ქვიშის გარეცხვაზე და გამდიდრებაზე 4 მ<sup>3</sup> და მეტი, დაქუცმაცებული ქვიშის მისაღებად 2-3 მ<sup>3</sup>), ღია წყაროებიდან წყლის ხარჯვის შესამცირებლად უნდა შეიქმნას უკუწყალმომარაგების სისტემა გამრეცხი წყლის გასაწმენდად (გასაღიავებლად) და მის უკან დასაბრუნებლად ტექნოლოგიურ პროცესში.

„სამრეწველო არასამთო საშენი მასალების საწარმოების პროექტირების ტექნოლოგიური ნორმების“ თანახმად უკუდაბრუნებულ წყალში მინერალური ნაწილაკების შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 2

გ/ლ. ასეთ შემთხვევაში "ახალი" წყალი მიეწოდება მხოლოდ დანაკარგების (აორთქლების, დრენირების, მზა პროდუქციას გაყოლილი) შესავსებად.

წყლის "გაღიავება" ხდება ტბორ-სალექარებში. ამ მიზნით შეიძლება გამოყენებული იქნას ასევე ვერტიკალური ტიპისა და თხელფენოვანი დახრილი სალექარები, რომლებშიც პროცესის ინტენსიფიკაციისათვის გათვალისწინებულია სპეციალური რეაგენტ-ფლოკულიანტების შეყვანა, რომელთა შორის ყველაზე უფრო გავრცელებულია პოლიაკრილამიდი.[15]

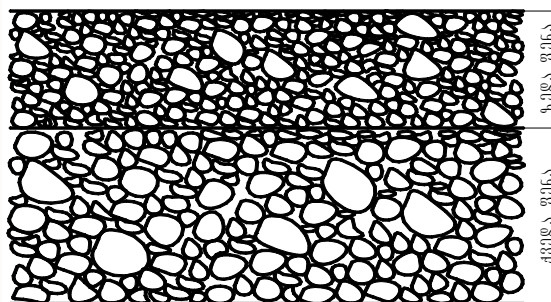
#### 1.4 საგზაო ფენილები ბიტუმინერალური მასალებით

##### 1.4.1. ბიტუმის შემცველი მასალების და ფენილების სტრუქტურა

ბიტუმის შემცველი ნარევები წარმოადგენენ ნახევარფაბრიკატებს. მათი საბოლოო სახე მიიღება სათანადო დატკეპნის შედეგად. ამის მიუხედავად სიმტკიცის ცნება შესაძლებელია დიფერენცირებულ იქნას როგორც მასალის სტრუქტურისათვის დამახასიათებელი სიმტკიცე.

საგზაო ფენილებს აწყობენ როგორც ოპტიმალური გრანულომეტრიული შედგენილობის მქონე ბიტუმის შემცველი ნარევებისაგან (ასფალტბეტონები და სხვ.), ისე შავი ღორღის ან სხვა ბიტუმინერალური მასალისაგან.[16]

ოპტიმალური გრანულომეტრიული შედგენილობის ტიპური ნარევის შესაბამისი ასფალტბეტონის სტრუქტურა ნაჩვენებია 19 ნახაზზე.

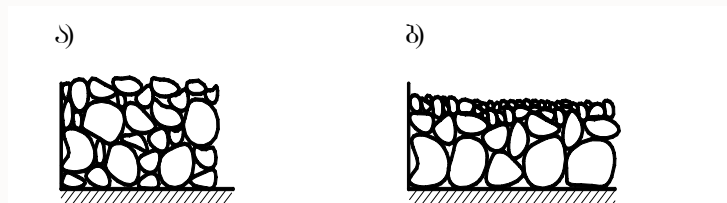


ნახ. 19. ოპტიმალური გრანულომეტრიული შედგენილობის

### ასფალტბეტონის სტრუქტურა.

შავი ღორღისაგან ფენილების მოწყობას ახდენენ სხვადასხვა წესით. შესაძლებელია გამოყენებული იქნას შავი ღორღის სხვადასხვა ზომის ფრაქციების ნარევი, მაგალითად 5-10(15); 10(15)-20(25); 20(25)-40(35); 40(35)-60(65) და ა.შ. ფენილის მოწყობას ახდენენ ცალკეულ შრეებად: ქვედა შრეებში განლაგებენ უფრო მსხვილმარცვლოვან ღორღს, ხოლო ზედა შრეებში განლაგებენ უფრო წვრილმარცვლოვანს ისე, რომ მოხდეს წინასწარ დაგებული და ნაწილობრივ დატკეპნილი ფენის შედარებით მსხვილი ფორების (სიცარიელების) უფრო წვრილი ფრაქციით შევსება და ღორღის მარცვლების ერთმანეთში ჩაჭედვა. ასეთნაირად მოწყობილი ღორღის ფენილების სტრუქტურული სახე მოცემულია 20 ნახაზზე.

შავი ღორღისაგან მოწყობილ ფენილებზე საჭიროა მოეწყოს წყალგაუმტარი ზედაპირული დამუშავების ფენა.



**ნახ. 20. შავი ღორღისაგან მოწყობილი ფენილის სტრუქტურა**

- ა) სხვადასხვა ფრაქციებისაგან შედგენილი სტრუქტურა.
- ბ) სხვადასხვა ფრაქციების ცალკეულ შრეებად განლაგებით შედგენილი სტრუქტურა

ცივი და ტენიანი კლიმატის პირობებში თიხოვან და მტვრისებრ გრუნტებში განლაგებულ სამოსებში ბიტუმის შემცველი ფენილების სიმტკიცის ძირითად კრიტერიუმად მიღებულია დრეკადი ჩაღუნვები.

ცხელი და ტენიანი კლიმატის პირობებში, განსაკუთრებით მთაგორიან რელიეფისათვის, სიმტკიცის ძირითად კრიტერიუმად

მიღებული უნდა იყოს ძვრის დეფორმაციები. ამგვარად, ფენილების სიმტკიცის კრიტერიუმის შერჩევის დროს გათვალისწინებული უნდა იქნას ექსპლუატაციის პირობები – ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ძალების ზემოქმედების რეჟიმი, კლიმატური და ჰიდროლოგიური პირობები. ყველა შემთხვევაში ფენილის სიმტკიცის კრიტერიუმად მიღებული უნდა იქნას როგორც დრეკადი ჩაღუნვა, ისე ფენილის ძვრის დეფორმაციები, რაც ჯერჯერობით ნორმატიულ-ტექნიკურ ლიტერატურაში სათანადოდ არ არის ასახული.

#### 1.4.2. ბიტუმის შემცველი ფენილების სიმტკიცის საფუძვლები

ფენილების სიმტკიცე ძირითადად დამოკიდებულია მასალის გრანულომეტრიულ შედგენილობასა და სტრუქტურაზე. ოპტიმალური გრანულომეტრიულ შედგენილობის ნარევისაგან მოწყობილი ფენილების სიმტკიცე განპირობებულია, შიგა შეკავშირების (ბმის) ძალებით და, ნაწილობრივ, შიგა ხახუნის ძალებით. შავი ღორღისგან მოწყობილი ფენილების სიმტკიცე კი შებრუნებით - ძირითადად განპირობებულია შიგა ხახუნის (ურთიერთ ჩასოღვა-ჩაჭედვის) ძალებით და, ნაწილობრივ, შიგა შეკავშირების ძალებით.

ოპტიმალური გრანულომეტრიულ შედგენილობის ნარევებში თითოეულ ფრაქციას გარკვეული როლი მიეკუთვნება. ღორღის მარცვლები ქმნიან ჩონჩხს, რომელიც წარმოადგენს ამტან კონსტრუქციას და კარგად ეწინააღმდეგება ავტომობილის თვლისაგან გადაცემულ დატვირთვას. ღორღის ფენის სიმტკიცეს ძირითადად განაპირობებს შიგა ხახუნის ძალებს. ქვიშის მარცვლები ავსებენ ღორღის მარცვლებს შორის დარჩენილ სიცარიელებს, შემკვრელ მასალებთან (მინერალური ფხვნილის მარცვლები და ბიტუმი) ერთად ადიდებენ მასალის სიმკვრივეს, მონოლითურობას, ათანაბრებენ კონტაქტურ ძალებს. რაც მეტია ასეთი ნარევისაგან მოწყობილი ფენილის სიმკვრივე, მით მეტია მისი სიმტკიცე და წყალგაუმტარობა.[17]

აღნიშნული დებულება მართებულია თუ ნარევეში ბიტუმის ოპტიმალური რაოდენობაა. როდესაც ბიტუმი მოჭარბებულია, თუნდაც 0,5%-ით, ღორღის და ქვიშისა მარცვლებს შორის კონტაქტები შეიძლება დაირღვეს, პლასტიკურობა გაიზარდოს, რის შედეგადაც მკვეთრად მცირდება ძვრისადმი წინაღობა. ნარევეში ბიტუმის ნაკლებობის შემთხვევაში კი, მცირდება შინაგანი შეკავშირების ძალები და იზრდება წყალჟღენთვა, რის შედეგადაც მცირდება ფენილის სიმტკიცე და იზრდება ცვეთა.

შავი ღორღის თითოეულ ფრაქციას გარკვეული როლი მიეკუთვნება მისგან მოწყობილი ფენილის სიმტკიცის უზრუნველყოფაში. მსხვილი ფრაქცია ქმნის ძირითად ამტან ჩონჩხს, ხოლო ყველა დანარჩენი, უზრუნველყოფს ასეთი ჩონჩხის სიმტკიცეს მარცვლების ურთიერთჩასოღვის გზით. რაც უფრო მეტია ღორღის მარცვლებს შორის კავშირები, მით მეტია შიგა ხახუნის კუთხე. ამასთან ერთად რაც უფრო მეტია ღორღის მარცვლებს შორის ურთიერთჩასოღვის ძალები (დატკეპნის ძალები), მით მეტია ფენილის სიმტკიცე. შავი ღორღის ფენილების ზევიდან, როგორც წესი, აწყობენ წყალგაუმტარ ფენას ოპტიმალური გრანულომეტრიულ შედგენილობის მქონე ბიტუმის შემცველი ნარევისაგან ან ზედაპირული დამუშავების ფენას.

თუ ფენილებს აწყობენ ისეთი ნარევისაგან, რომელიც არ აკმაყოფილებს ოპტიმალური გრანულომეტრიულ შედგენილობის მქონე ნარევის მოთხოვნებს (აკლია მინერალური ფხვნილი, მეტია ქვიშა და სხვ.) ან არ აკმაყოფილებს შავი ღორღის გრანულომეტრიულ შედგენილობას (ურევია ქვიშა ან სხვ.), მაშინ ასეთ ნარევებს ზოგადად ბიტუმინერალურ ნარევებს უწოდებენ და მათგან მოწყობილი ფენილების სიმტკიცე, როგორც წესი, დაბალია, მომსახურების ვადა კი შედარებით შემცირებული.

ზედაპირული დამუშავების ფენის სიმტკიცე ძირითადად დამოკიდებულია მისი საფუძველთან მიკვრის ძალებზე, რაც განპირობებულია ბიტუმის სიბლანტით. რაც უფრო ბლანტია ბიტუმი, მით მეტია მიკვრის ძალა. თუ ბიტუმის მაგივრად გამოყენებულია ბიტუმისა და მინერალური ფხვნილის ნარევი, მაშინ მიკვრის ძალა იზრდება. ზედაპირული დამუშავების ფენის სტრუქტურისა და შესაბამისი სიმტკიცის საბოლოო დაფორმება-ჩამოყალიბება ხდება ავტომობილების თვლების ზემოქმედებით ექსპლუატაციის პერიოდში.



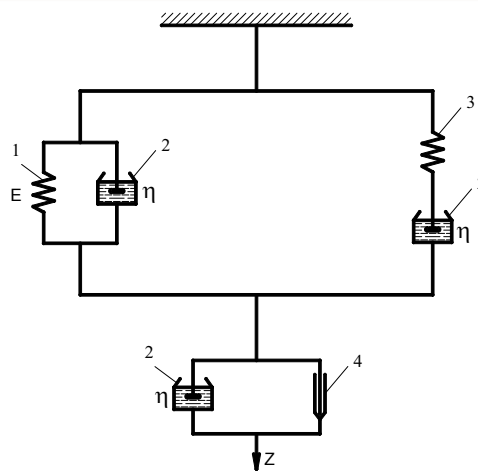
ფენილის სიმტკიცედ მიღებულია ძაბვების ზღვრული სიდიდე, რომელიც იწვევს ფენილის დაშლას, ბზარების გაჩენას, ან ნორმატიულ სიდიდეზე მეტ ჩაღუნვას. ვინაიდან ასეთი ჩაღუნვების ნორმატიული სიდიდეები გზის კატეგორიითაა განპირობებული, სიმტკიცის განმარტება, გარკვეულად პირობით ხასიათს ატარებს.

ფენილის დრეკადობად ფასდება დრეკადი დეფორმაციის, მთლიან დეფორმაციასთან შეფარდების სიდიდით. დრეკადობის პარამეტრად მიღებულია დრეკადობის მოდული.

ფენილის პლასტიკურობა განპირობებულია ფენილის დეფორმირების უნარით მთლიანობის დაურღვევლად.

ფენილის სიბლანტე განპირობებულია ფენილის დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციების დროში დაყოვნებისათვის საჭირო წინაღობის უნარით. მის პარამეტრად მიღებულია სიბლანტის კოეფიციენტი. მასალის ბლანტი წინაღობა გამოიხატება ნიუტონის კანონით.[18]

არახისტი ფენილების თვისებები წარმოადგენს დრეკადი, პლასტიკური და ბლანტი-რეოლოგიური ელემენტების სინთეზს, რაც წარმოდგენილია 21 ნახაზზე ნაჩვენები რეოლოგიური მოდელით.



ნახ. 21. ასფალტბეტონის განზოგადებული

ბლანტ-დრეკად-პლასტიკური რეოლოგიის მოდელი

- 1-დრეკად-ელასტიური (დიდი დეფორმაციების) ელემენტი; 2-ბლანტი ელემენტი; 3-დრეკადი (მცირე უცაბედი დეფორმაციების) ელემენტი; 4-პლასტიკური ელემენტი.

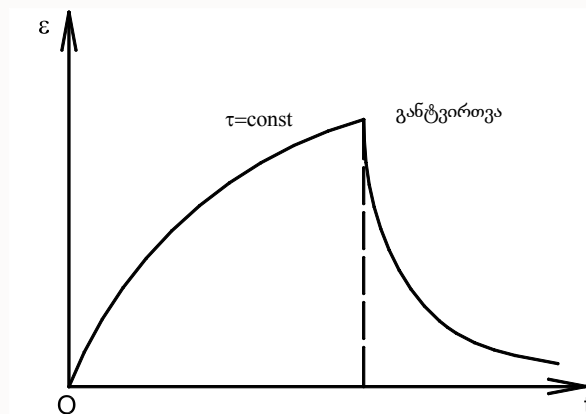
მუდმივი ძაბვების  $\tau = const$  შემთხვევაში ფენილის  $\varepsilon$  დეფორმაციის განვითარება  $t$  დროში, როცა ცნობილია დეფორმაციების დაგვიანების  $t$  დრო, ხდება შემდეგნაირი კანონზომიერებით (ნახ. 22.):

$$\varepsilon = \frac{\tau}{G} \left( 1 - e^{-\frac{Gt}{\eta}} \right), \quad \varepsilon = \frac{\tau(t)}{G} \int_0^t Q(t-t_0) \tau_0 dt \quad (4.1)$$

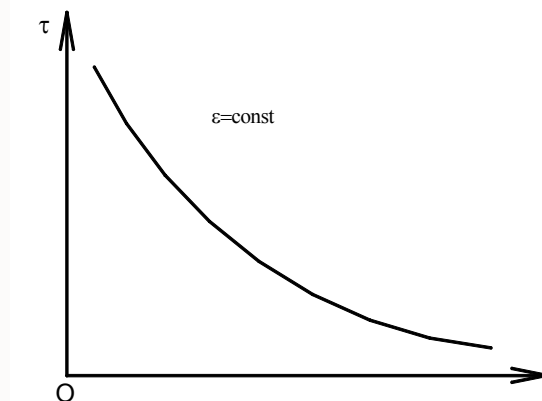
ფენილის დეფორმაციის მუდმივი სიდიდის შენარჩუნების შემთხვევაში ადგილი აქვს  $\tau(t)$  ძაბვების რელაქსაციას  $t$  დროში. ეს გამოიხატება შემდეგი კანონზომიერებით (ნახ. 23.):

$$\tau(t) = \tau_0 e^{-\frac{at}{\eta}} \quad (4.2)$$

სადაც  $\tau_0$  არის საწყისი ძაბვა;  $a$  - დრეკადობის მოდული;  $\eta$  - სიბლანტე;  $t$  - დრო.



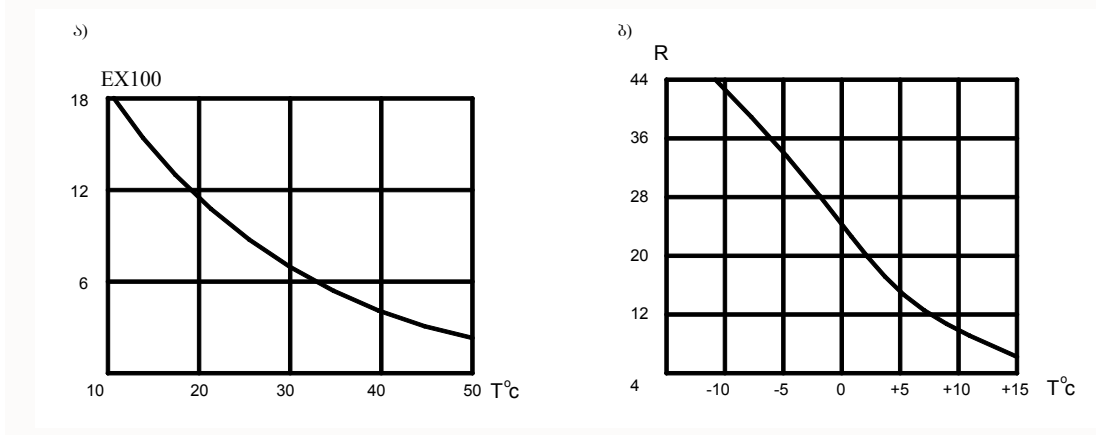
ნახ. 22. ფენილის  $\varepsilon$  დეფორმირების განვითარება  $t$  დროში მუდმივი დატვირთვის  $\tau = const$  შემთხვევაში



ნახ. 23. ფენილში  $\tau$  - ძაბვების რელაქსაცია  $t$  დროში მუდმივი დეფორმაციის  $\varepsilon = const$  შემთხვევაში

ასფალტბეტონის სიმტკიცეზე გავლენას ახდენს აგრეთვე დატვირთვის ხანგრძლივობა; მცირე, მაგრამ ხანგრძლივ დატვირთვის შეუძლია იგივე რღვევა გამოიწვიოს, რაც დიდს, მაგრამ ხანმოკლე დატვირთვისას.

ბიტუმის შემცველი მასალების სიმტკიცე დამოკიდებულია აგრეთვე დატვირთვის სიჩქარეზე, (რაც უფრო მეტია დატვირთვის სიჩქარე, მით უფრო მეტ სიმტკიცეს ავლენს ასფალტბეტონი), ძალის მიყენების ჯერადობაზე, (რაც მათემატიკურად ლოგარითმული მრუდით გამოიხატება). სიმტკიცეზე განსაკუთრებით მკვეთრად მოქმედებს ტემპერატურის ცვალებადობა (ნახ. 24.).



ნახ. 24. ბიტუმის შემცველი მასალის დრეკადობის მოდულისა (კგ/სმ<sup>2</sup>, გრაფიკი - ა) და გაჭიმვაზე სიმტკიცის ( $R$  კგ/სმ<sup>2</sup>, გრაფიკი - ბ) ტემპერატურაზე  $T^{\circ}C$  დამოკიდებულების გრაფიკები

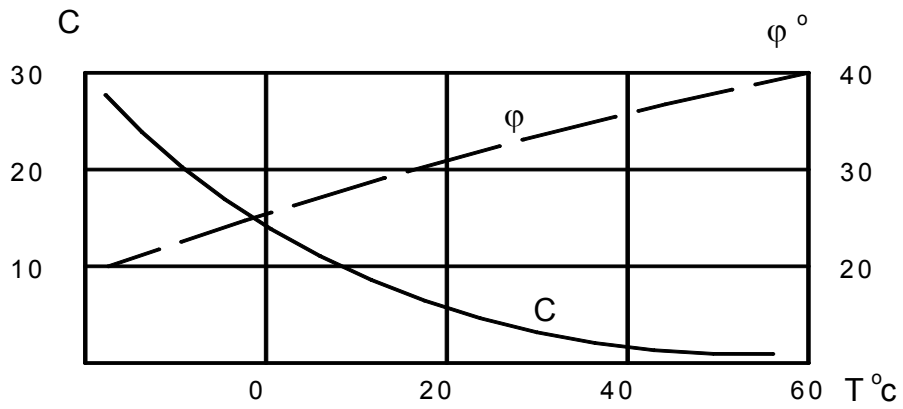
ბიტუმის შემცველი მასალების სიმტკიცე დამოკიდებულია აგრეთვე დაძაბულ მდგომარეობაზე და დეფორმაციის სახეზე. ისინი ყველაზე ნაკლებად ეწინააღმდეგება გამჭიმავ ნორმალურ ძაბვებს და ყველაზე მეტად – მკუმშავ ნორმალურ ძაბვებს. განსაკუთრებით ყველაზე მცირეა წინაღობა იმ სიბრტყეებში, სადაც ერთდროულად მოქმედებენ მხები და გამჭიმავი ძალები. თუ ამ თვალსაზრისით განვიხილავთ ფენილის ჩალუნვას და ძვრის დეფორმაციებს, ირკვევა, რომ ჩალუნვისას გაჭიმულ ზონაში, სადაც მოქმედებს ნორმალური გამჭიმავი ძაბვები, რღვევა ხდება ბიტუმის აფსკებზე, ხოლო ძვრის

დროს ადგილი აქვს რთულ დაძაბულ მდგომარეობას, რომლის დროსაც ფენილის დეფორმაციებში მონაწილეობენ როგორც ნორმალური გამჭიმავი, ისე მხები ძაბვები. თუ ნორმალურ გამჭიმავ ძაბვებისადმი წინაღობა ძირითადად დამოკიდებულია ბიტუმის სიბლანტეზე (შიგა შეკავშირების ძალებზე), მხები ძაბვებისადმი წინაღობა ძირითადად დამოკიდებულია დანაწევრებული ქვის მასალისაგან შექმნილი ჩონჩხის შიგა ხახუნის კუთხეზე.

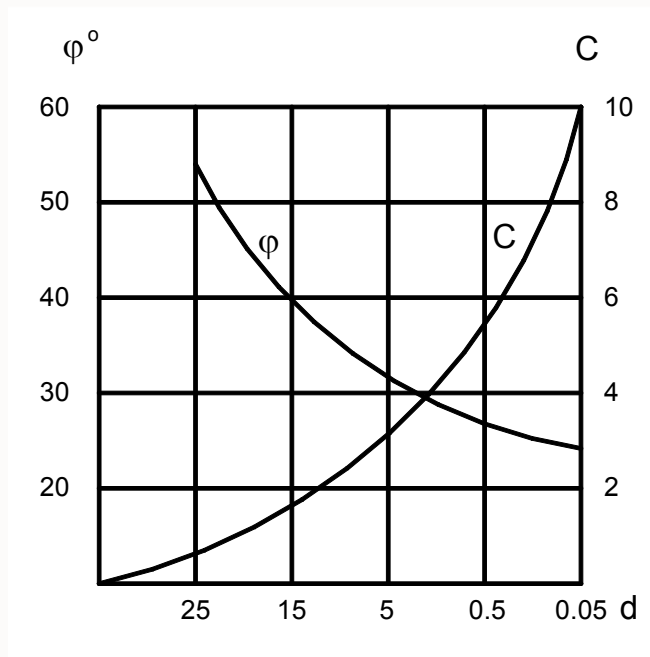
ამავე დროს აღსანიშნავია, რომ რაც უფრო წვრილმარცვლოვანია ფენილში გამოყენებული ქვის მასალა და რაც უფრო ნაკლებია ბიტუმის სიბლანტე, მით უფრო მეტად იზრდება ბიტუმის სიბლანტის როლი ნორმალური გამჭიმავი, ნორმალური მკუმშავი და მხები ძაბვებისადმი წინაღობაში და მით უფრო მკვეთრად გამოვლინდება მოცემული ბიტუმის შემცველი ფენილების სიმტკიცის დამოკიდებულება დატვირთვის რეჟიმზე, რეოლოგიურ თვისებებსა და ტემპერატურაზე.

ვინაიდან დისკრეტული მასალისათვის ნორმალური და მხები ძაბვებისადმი წინაღობა მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ შიგა ხახუნის  $\rho^0$  კუთხე და შინაგანი შეკავშირების  $C$  ძალები, ამიტომ მაგალითისათვის 25 ნახ-ზე მოცემულია წვრილმარცვლოვანი ბიტუმის შემცველი ნარევისაგან დამზადებული ნიმუშების შინაგანი ბმის ძალების ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

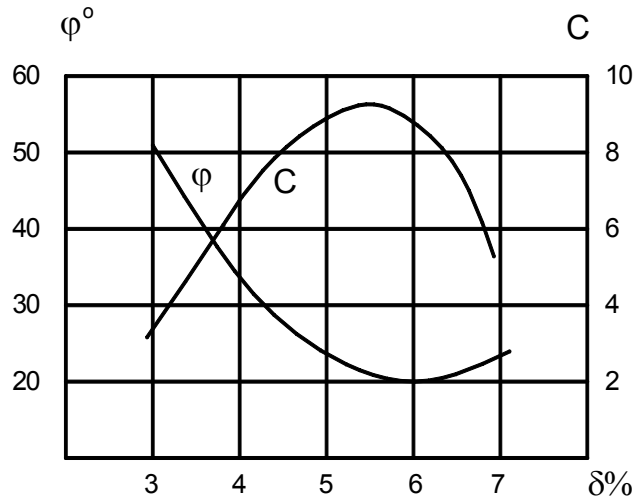
ბიტუმის შემცველ ნარევებში შიგა ხახუნის კუთხე და შიგა ბმის ძალები დამოკიდებულია აგრეთვე დანაწევრებული ქვის მასალის მარცვლების ზომებზე (ნახ. 26.). უფრო წვრილი ფრაქციებისათვის შიგა ბმის ძალები იზრდება, ხოლო შიგა ხახუნის კუთხე მცირდება. ბიტუმის შემცველი მასალისათვის შიგა ბმის ძალა დამოკიდებულია ბიტუმის რაოდენობაზე. ბიტუმის ოპტიმალური რაოდენობის შემთხვევაში შიგა ბმის ძალები მაქსიმალურია, მასზე ნაკლები ან მეტი რაოდენობის დროს კი მინიმალურია (ნახ. 27.).



ნახ. 25. ასფალტბეტონის ნარევიში  $\varphi^{\circ}$  და  $C$  კვ/სმ<sup>2</sup> ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკები

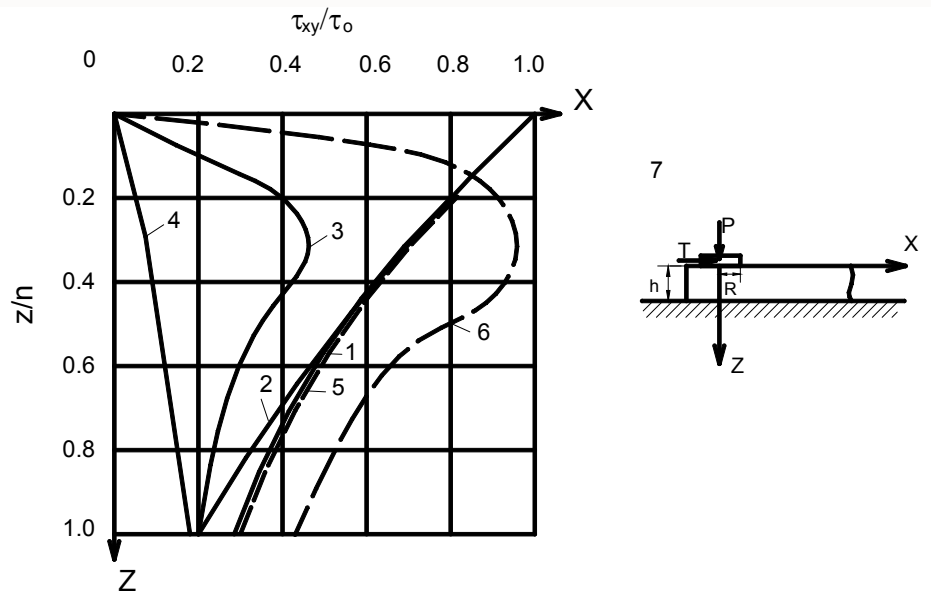


ნახ. 26. ბიტუმის შემცველ მასალაში შიგა ხახუნის  $\varphi^{\circ}$  და შინაგანი ბმის  $C$  კვ/სმ<sup>2</sup> ძალების მარცვლის ზომებისაგან დამოკიდებულების გრაფიკები



ნახ. 27. ბიტუმის შემცველ მასალაში შიგა ხახუნის  $\varphi^{\circ}$  და შინაგანი ზმის  $C$  კგ/სმ<sup>2</sup> ძალების ბიტუმის რაოდენობაზე  $\delta\%$  დამოკიდებულების გრაფიკები

$h$  სისქის მქონე ფენილზე მოქმედი მხები ძაბვების უშუალო გაზომვებმა გვიჩვენა, რომ მხები ძაბვები  $\tau_0$  ფენილის სიღრმის ( $Z$ ) მიხედვით  $\tau_{xy}$  იცვლება 28 ნახ-ზე წარმოდგენილი გრაფიკით გამოხატული კანონზომიერებით.



ნახ. 28. მხები ძაბვების  $\tau_{xy}$  ცვალებადობის გრაფიკი ფენილის სიღრმის მიხედვით

1 -  $X = 0$ ; 2 -  $X = 0.5R$ ; 3 -  $X = R$ ; 4 -  $X = 1.5R$ ; 5 -  $X = 0$ ; 6 -  $X = R$ ;  
როცა მხებ ძალასთან ერთად მოქმედებს ვერტიკალური ძალაც,



სიდიდით  $P_0=2,2\tau_0$ ; 7-საანგარიშო სქემა.  
ვინაიდან საგზაო-სამშენებლო მასალების საბოლოო ჩამოყალიბება ხდება უშუალოდ საგზაო ფენებში, მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ერთმანეთისაგან განსხვავება შეიძლება ითქვას, რომ პირობითია.

საგზაო-სამშენებლო მასალებისა და ფენილების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების და სიმტკიცის მახასიათებლად მიღებულია დრეკადობის მოდული  $E_{დრ}$ , სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე  $R_{ღ}$  (ღუნვისას), სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე  $R_{კ}$ , დეფორმაციის მოდული  $E_{დეფ}$ , ძვრის მოდული  $G$ , პუასონის კოეფიციენტი  $\mu$ , შიგა ხახუნის კუთხე  $\varphi^0$ , შიგა ბმის ძალა  $C$ , სიბლანტე  $\eta$ , სიმკვრივე  $\delta$ , წყალჟღენტვა  $W$ , ცვეთის მაჩვენებელი  $U$ , ხორკლიანობის მაჩვენებელი  $\phi_s$ , ტემპერატურის გაფართოების კოეფიციენტი  $\alpha$ .

დრეკადობის  $E_{დრ}$  მოდული უჩვენებს მასალის დეფორმირების უნარს ვერტიკალურად მოქმედი ძალების მიმართ. ბიტუმის შემცველ მასალებს ახასიათებს დრეკად-ბლანტ-პლასტიკური თვისებები. შესაბამისად, მათი დეფორმაციები შეიძლება იყოს მთლიანად დრეკად-უკუქცევადი, დრეკად-პლასტიკური, ნაწილობრივ უკუქცევადი და ნაწილობრივ ნარჩენი.

დრეკადობის მოდულის სიდიდე დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, დატვირთვის სიჩქარეზე, ძალის მოქმედების დროზე, საერთო ხანგრძლივობაზე, ძალის მიყენების ჯერადობაზე, დამაბული მდგომარეობის სახეზე და სხვ. დრეკადობის მოდულის გაზრდის მიზნით საჭიროა შიგა ხახუნის კუთხის და შიგა ბმის ძალების გაზრდა. დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობა მეტია ტემპერატურის დაწვეის და მაღალი სიჩქარით ფენილის დეფორმირების შემთხვევაში, აგრეთვე სამოსის შიგა კონსტრუქციული ფენილებისათვის, რომლებიც განიცდიან ძალების ყოველი მხრიდან მოქმედებას. დრეკადობის მოდულს განსაზღვრავენ ლაბორატორიულ და საველე პირობებში.

რეალურ პირობებში ექსპლუატაციის დროს დრეკადობის მოდული განიცდის ცვალებადობას, განსაკუთრებით დაბალი ხარისხის მასალისათვის იგი თანდათან მცირდება.

ფენილის ძვრისადმი მდგრადობა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე. ძვრისადმი მდგრადობა იზრდება შიგა ხახუნის კუთხისა და შიგა ბმის ძალების გაზრდის შედეგად. ამისათვის საჭიროა მრავალწახნაგოვანი მყარი ქანისაგან მიღებული ღორღის რაოდენობის გაზრდა, ბიტუმის სიბლანტი მომატება, ბიტუმისა და მინერალური ფხვნილის ოპტიმალური რაოდენობის შერჩევა და გამოყენება.

საველე პირობებში ძვრისადმი მდგრადობის შეფასებას ახდენენ სპეციალური დანადგარის – ჰორიზონტალური ჰიდრავლიკური წნეხის საშუალებით.

ბიტუმშემცველი მონოლითური მასალების სიმტკიცის ზღვარს გაჭიმვაზე (ძელაკების ღუნვისას) ერთჯერადი დატვირთვების შემთხვევაში განსაზღვრავენ ფორმულით

$$R_{\text{გჭ}} = \frac{3}{2} \frac{Pl}{bh^2} \quad (4.3)$$

სადაც  $P$  არის დატვირთვა;  $l$  – საანგარიშო ძალის სიგრძე;  $b$  – ძელაკის სიგანე;  $h$  – ძელაკის სიმაღლე.

გაჭიმვაზე წინაღობის  $R_{\text{გჭ}}$  სიდიდე შესაძლებელია მიახლოებით გამოთვლილ იქნას შიგა ხახუნის  $\varphi$  კუთხისა და შიგა ბმის კუთრი  $C$  ძალის მიხედვით შემდეგი ფორმულით:

$$R_{\text{გჭ}} = \frac{2c}{\text{tg}(45^\circ + \varphi / 2)} \quad (4.4)$$

ასფალტბეტონისა და სხვა მონოლითური მასალისათვის, რომელთაგანაც შესაძლებელია დამზადდეს ცილინდრული ან კუბური ნიმუშები, განსაზღვრავენ სიმტკიცის ზღვარს კუმშვაზე. კუმშვაზე გამოცდის შედეგების მიხედვით მსჯელობენ მასალის სტრუქტურულ სიმტკიცეზე და მის სხვა შემადგენლობის მასალებთან შედარებით

ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებების მეტ-ნაკლებ უპირატესობაზე. სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე ფენილის წინაღობას დროებითი დატვირთვებისადმი უშუალოდ არ ახასიათებს.

კუმშვაზე წინაღობის  $R_{კშ}$  სიდიდე შესაძლებელია გამოთვლე შესაძლებელია გამოთვლილ იქნას აგრეთვე შიგა ხახუნის  $\varphi$  კუთხე შიგა ბმის კუთრი  $C$  ძალის მიხედვით შემდეგი ფორმულით:

$$R_{კშ}=2ctg(45^0+\varphi/2); \quad R_{კშ}=2C\cos\varphi \quad (4.5)$$

შიგა ხახუნის  $\varphi$  კუთხე დამახასიათებელია მხოლოდ არაერთგვაროვან დისკრეტული მასალებისათვის. რაც უფრო მეტია ნაწილაკების ზედაპირის ხორკლიანობა, მით მეტია  $\varphi$ . ნაწილაკების საკონტაქტო ფართობზე მოხახუნე ზედაპირების ურთიერთდაცილების წინააღმდეგობა განაპირობებს შიგა ბმის ძალებს, რომელთა პარამეტრად მიღებულია ერთეული განივი კვეთის ფართობზე მოსული შიგა ბმის კუთრი ძალა (მპა). თუ ნაწილაკები შეკავშირებულია ორგანული შემკვრელი მასალებით, მაშინ რაც უფრო მეტი იქნება მათი შეკვრის უნარი, მით მეტი იქნება  $C$ . ამასთანავე, ბიტუმის აფსკი გარკვეულად ამცირებს შიგა ხახუნის ძალებს, იმისდა მიხედვით თუ როგორია მასალა და კონსტრუქციის საანგარიშო სქემა.  $\varphi$  და  $C$  შეიძლება წარმოდგენილ იქნას აგრეთვე მათემატიკური მნიშვნელობის მქონე პარამეტრებად. გარკვეულად შეზღუდულია  $\varphi$  და  $C$ -ს, როგორც საანგარიშო პარამეტრების, გამოყენების საზღვარი: მეტად მცირე ნაწილაკების შემთხვევაში, როცა ნარევი კოლოიდურ ხსნარებს უახლოვდება,  $\varphi$  და  $C$  ნაკლებად გამოსაყენებელია. ასევეა, როცა ნაწილაკების ზომა კონსტრუქციის ზომასთან შედარებით დიდია. მაგალითად თუ ფენილის კონსტრუქციული ფენის  $h$  სისქე და ნაწილაკების დ ზომას შორის ფარდობა  $\frac{h}{d} < 5$ ,  $\varphi$  და  $C$  საანგარიშო პარამეტრებად გამოიყენება ნაკლებად მიზანშეწონილია. ბიტუმის შემცველი ფენილებისათვის  $\varphi$  და  $C$  პარამეტრების გამოყენება

მიზანშეწონილი არაა უარყოფით ტემპერატურაზე, როცა მასალა ხისტი ხდება და შესაძლებელია დაიმსხვრეს.

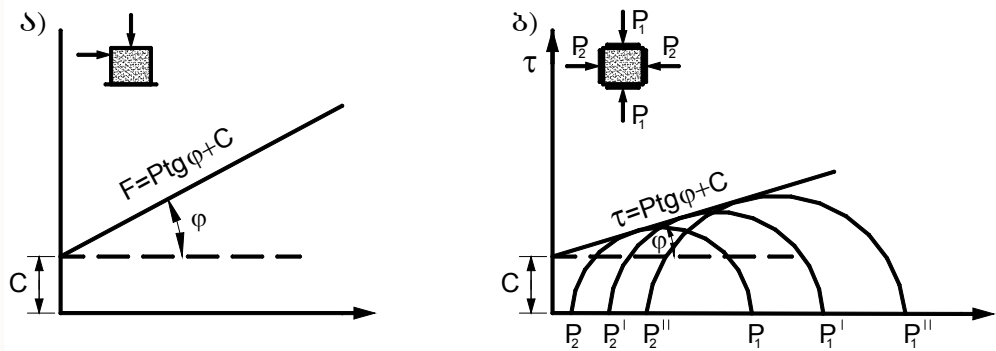
საგზაო სამოსის კონსტრუქციული ფენების პრაქტიკულად მიღებული ზომებისათვის შიგა ხახუნის  $\varphi$  კუთხე იზრდება მარცვლის ზომების გაზრდის შედეგად და მარცვლებისადმი მკვეთრი წახნაგოვანი კუბური ფორმის მიცემის შედეგად.[19]

მასალის დატკეპნის ხარისხის-სიმკვრივის გაზრდით  $\varphi$  მატულობს; გარდა ამისა, დატკეპნის გამო წარმოიქმნება ნაწილაკების ურთიერთჩასოღვის (ჩაჭედვის) და ურთიერთწამოდების ძალები, რომელთა დიფერენცირებულად მათემატიკური გამოხატვა მეტად რთულია და ამიტომ პრაქტიკული მოსაზრებით შიგა ხახუნის ძალებს მიაკუთვნებენ. ასეთი ფაქტორის მნიშვნელობა მით მეტია რაც უფრო მეტია მარცვლის ზომები და რაც უფრო მრავალწახნაგოვანია მათი ფორმა, აღსანიშნავია ისიც, რომ ასეთი მასალებისათვის დატკეპნის ხარისხის გაზრდის შედეგად იზრდება შიგა ბმის  $C$  ძალაც. სიმკვრივის გაზრდასთანაა დაკავშირებული აგრეთვე დეფორმირებისადმი წინაღობის გაზრდის უნარი. შიგა ხახუნის კუთხის და შიგა ბმის ძალები დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე. შიგა ხახუნის კუთხის გაზრდის მიზნით საჭიროა ნარევეში მსხვილმარცვლოვანი ღორღის რაოდენობის გაზრდა, ბიტუმის რაოდენობის შემცირება, დატკეპნის ხარისხის გაზრდა და სხვ. შიგა ბმის ძალების გაზრდის მიზნით საჭიროა ნარევეში ბიტუმის სიბლანტის გაზრდა, ბიტუმისა და მინერალური ფხვნილის ოპტიმალური რაოდენობის შერჩევა, დატკეპნის ხარისხის გაზრდა, მინიმალური ფოროვნების მქონე ოპტიმალური გრანულომეტრიული შედგენილობის ნარევეების შერჩევა და გამოყენება.

შიგა ხახუნის  $\varphi$  კუთხეს და შიგა ბმის  $C$  ძალებს გრაფიკულად განსაზღვრავენ მასალის ძვრაზე გამოცდის შედეგების მიხედვით, ძვრაზე გამოცდას ახდენენ 29 ა და ბ ნახ-ებზე მოცემული სქემების მიხედვით კულონისა და მორის თეორიების შესაბამისად.

$\varphi$  და  $C$  შესაძლებელია განსაზღვრულ იქნან აგრეთვე მიახლოებით გაჭიმვაზე და კუმშვაზე გამოცდების შედეგების მიხედვით შემდეგი ფორმულებით:

$$\sin \varphi = \frac{R_{კშ} - R_{გშ}}{R_{კშ} + R_{გშ}} \quad \text{ან} \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{R_{კშ} - R_{გშ}}{2\sqrt{R_{კშ} R_{გშ}}}; \quad C = 0.5\sqrt{R_{კშ} R_{გშ}} \quad (4.6)$$



ნახ. 29. შიგა ხახუნის  $\varphi$  კუთხის და შიგა ბმის  $C$  ძალის გრაფიკული მეთოდებით განსაზღვრის სქემები

ბიტუმის შემცველი მასალებისათვის დეფორმირების უნარის შეფასება მეტად რთულია, ვინაიდან იგი დამოკიდებულია სხვადასხვა ფაქტორებზე. ქვის მასალის გრანულომეტრიულ შემადგენლობაზე, ბიტუმის რაოდენობაზე და სიბლანტეზე, ტემპერატურაზე, დეფორმირების სიჩქარეზე, დატვირთვის დროზე, ძალის მიყენების ჯერადობის რიცხვზე. თუ ფენილში ჩონჩხის შემქმნელი ღორღი საკმაო რაოდენობითაა და ღორღის მარცვლებს შორის მჭიდრო კონტაქტები არსებობს, მაშინ ასეთი სტრუქტურის მასალას გააჩნია გარკვეული ზღვრული დეფორმაციის სიდიდე -  $\epsilon_{ზღ}$ , რომლის განვითარება შეიძლება სხვადასხვანაირად მოხდეს დატვირთვის რეჟიმთან დაკავშირებით. მაგრამ ყველა შემთხვევაში იგი დატვირთვის სხვადასხვა სიჩქარისათვის ნაკლებად განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ზღვრული დეფორმაციის სიდიდე ერთი და იგივე სტრუქტურისათვის მკვეთრად შეიძლება შეიცვალოს მხოლოდ ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით.

თუ ნარევი ჩონჩხის შემადგენელი ქვის მასალა შედარებით მცირეა და მათ შორის კონტაქტები საკმარისი რაოდენობით არაა, მაშინ ასეთი „მოცურავე“ სტრუქტურის მქონე ფენილებს გამოკვეთილი ზღვრული დეფორმაციები არ გააჩნია და მათი დეფორმაციები მიეკუთვნება ბლანტ-პლასტიკური დეფორმაციების ჯგუფს და მათი გამომწვევა თითქმის შეუძლებელია.[20]

ბიტუმის შემცველი მასალები დადებით ტემპერატურაზე, განსაკუთრებით  $30 \div 65^{\circ}\text{C}$  –ზე ბლანტ სხეულებს ემსგავსება, მითუმეტეს, თუ მასალა შედგენილია წვრილმარცვლოვანი ნარევისაგან და ბიტუმი ოდნავ მოჭარბებულია. ასეთ შემთხვევაში ფენილის დეფორმაციების განვითარება ხდება გარკვეულ დროის განმავლობაში და შესაბამისად მასალის  $\tau$  წინაღობა დამოკიდებული ხდება მასალის სიბლანტეზე, ანუ დეფორმირების  $d\varepsilon/dt$  სიჩქარეზე.

$\eta$  სიბლანტე ასეთ შემთხვევაში განისაზღვრება ფორმულით:

$$\eta = \frac{\tau}{d\varepsilon/dt} \quad (4.7)$$

ავტომობილის თვლებისა და ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებისაგან ხდება ფენილის სისქის თანაბარი შემცირება (ცვეთა).  $K_{\text{ცვ}}$  მაჩვენებელი გამოიხატება ფორმულით

$$K_{\text{ცვ}} = A \frac{N}{U}, \quad \text{ავტ/მმ} \quad (4.8)$$

სადაც  $K_{\text{ცვ}}$  არის ცვეთის მაჩვენებელი, ავტ/მმ;  $N$  - ერთ ნაკვალევზე გავლილი თვლების ფაქტიური რაოდენობა;  $U$  - სათანადო ცვეთის სიდიდე, მმ;  $A$  - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ატმოსფერული ფაქტორებისაგან გამოწვეული ცვეთის ცვალებადობას.

ცვეთის მაჩვენებლები პრაქტიკულად გამოიხატავს ავტომობილების რაოდენობას, რის შედეგადაც ფენილის სისქე 1 მმ-ით მცირდება. მცირე ინტესიურობის შემთხვევაში, მაგალითად, როცა



ინტესიურობა ნაკლებია 500 ავტ/დღ, მაშინ ატმოსფერული ფაქტორებისაგან გამოწვეული ცვეთა შედარებით ინტესიური ხდება.

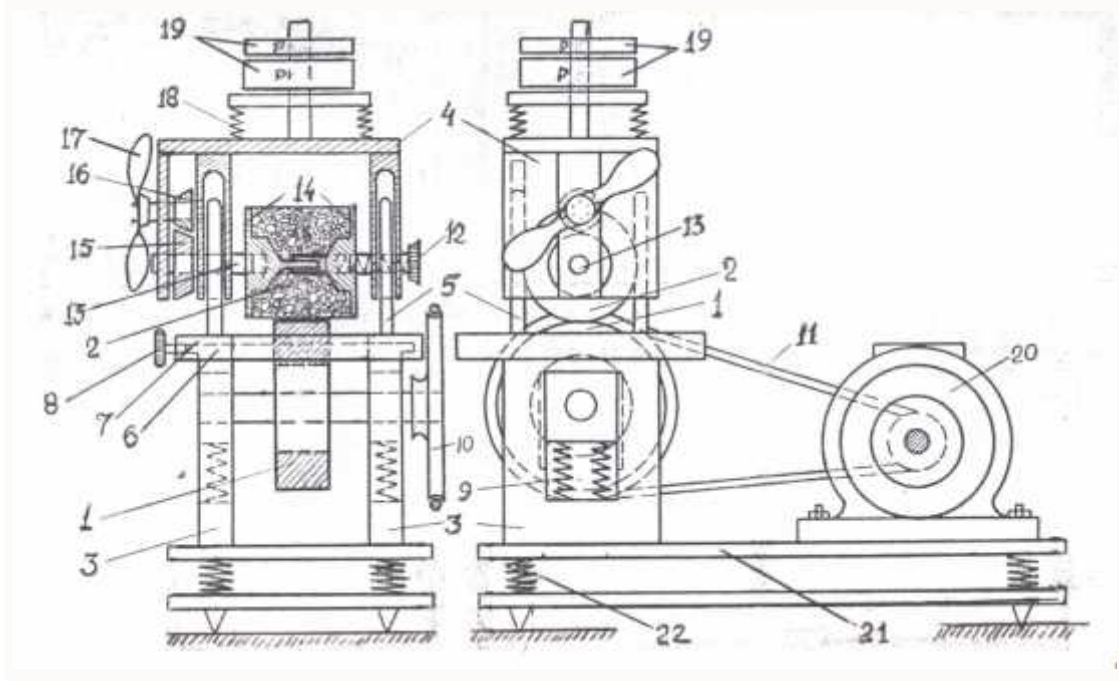
ცვეთის მაჩვენებელი განისაზღვრება ლაბორატორიულ და საველე პირობებში.

ლაბორატორიულ პირობებში ამ მიზნით გამოიყენება სტუ-ს საავტომობილო გზების და აეროდრომების კათედრაზე შექმნილი ხელსაწყო. ასფალტბეტონის ცვეთაზე გამოცდის ლაბორატორიული მეთოდი და ხელსაწყო, ცვეთის სიდიდის ნორმირების მიზნით, წარმოდგენილია პირველად საგზაო პრაქტიკაში და ამ თვალსაზრისით, ნორმატიულ-ტექნიკური ლიტერატურის მიხედვით, მას ანალოგი არ გააჩნია. წარმოდგენილი მეთოდი და ხელსაწყო საშუალებას იძლევა, ლაბორატორიულ პირობებში მოხდეს მშენებლობაში გამოსაყენებელი ასფალტბეტონის ფენილის ცვეთის მოდელირება და მისი სიდიდის პროგნოზირება, რომლის საფუძველზე შესაძლებელია ცვეთის ნორმატიული სიდიდეების განსაზღვრა ფენილის ექსპლუატაციის პერიოდში.

ასფალტბეტონის ცვეთაზე გამოცდის ლაბორატორიული ხელსაწყოს პრინციპული სქემა მოცემულია 30 ნახაზზე.

ცვეთას შემდეგნაირად განსაზღვრავენ: ასფალტბეტონის ნარევის ცხელ მდგომარეობაში მოათავსებენ და ჩატკეპნიან სპეციალურ ლითონის ცილინდრულ ფორმებში. ქვევით და ზევით ფუძეებში ჩაატანენ სპეციალური ლითონის წრიულ სამაგრ ფუძეებს (მასრებს). დატკეპნას ახდენენ ჰიდრაულიკურ წნეხზე 30 40 კგმ/სმ<sup>2</sup> ძალით. ნიმუშებს ჩაამაგრებენ ხელსაწყოს ზედა ჩარჩოში და დააყრდნობენ რეზინის თვალს, ჩართავენ ელექტროძრავს და მოძრაობაში მოიყვანენ რეზინის თვალს, რომლიდანაც ბრუნვა გადაეცემა გამოსაცდელ ცილინდრულ ნიმუშებს. ცილინდრული ნიმუშიდან ბრუნვა გადაეცემა პროპელერს, რომელიც ქმნის დამატებით რეაქციულ მზრუნავ მომენტს და საკონტაქტო ფართობზე რეაქციულ მხებ ძალას. პროპელერი

აგრეთვე აცივებს გამოსაცდელ ნიმუშებს. გამოსაცდელ ნიმუშზე დამატებით გადაეცემა ვერტიკალური დატვირთვა ზამბარის საშუალებით. გორვის ხახუნის გარდა შესაძლებელია საკონტაქტო ფართობზე შეიქმნას სრიალის ხახუნი, თუ რეზინის თვლისა და ცილინდრული ნიმუშის ღერძები ურთიერთგარკვეული კუთხით იქნება დამაგრებული (8-15 ). ნიმუშს წინასწარ აწონიან და წონის დანაკარგის მიხედვით განსაზღვრავენ ცვეთის სათანადო სიდიდეს. ნიმუშის გამოცდას აწარმოებენ როგორც მშრალ, ისე სველ (წყლით გაჟღენთილ) მდგომარეობაში.

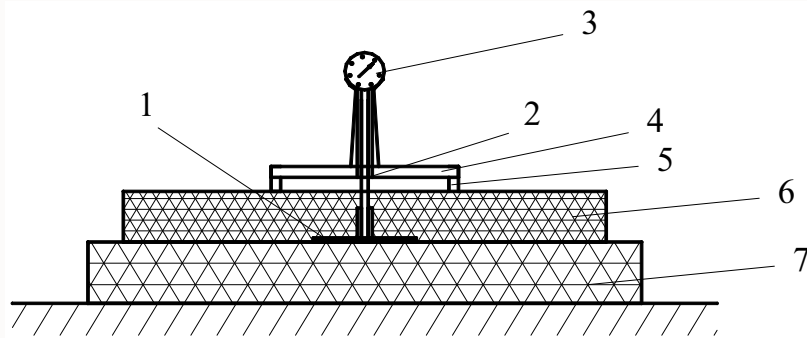


**ნახ. 30. ცვეთის ლაბორატორიული ხელსაწყო**

1-რეზინის თვალი ლითონის ღერძით; 2-ასფალტბეტონის ცილინდრული ფორმის ნიმუში; 3-ქვედა (უძრავი) ჩარჩო; 4-ზედა (მოძრავი) ჩარჩო; 5-მიმმართველი ვერტიკალური თითები; 6-ჰორიზონტალური უძრავი წრიული ფილა; 7-ჰორიზონტალური მოძრავი წრიული ფილა; 8-ზედა ჰორიზონტალური დასამაგრებელი ხრახნი; 9-რეზინის თვლის ღერძის ზამბარა; 10-შკივი; 11-ღვედური გადაცემა; 12-ნიმუშების სამაგრი მარჯვენა ლითონის ნახევრადღერძისაბჯენი ზამბარით; 13-მარცხენა ამეოლი ნახევარღერძი სოგმანით; 14-ნიმუშის მასრები; 15-რეზინის წამყვანი ფრიქციული შკივი; 16- რეზინის ამეოლი

ფრიქციული შკივი ლითონის ღერძით; 17-პროპელერი; 18-სატვირთო ზამზარა; 19-ტვირთი; 20-ელექტროძრავი; 21-სადგარი ფილა; 22-სადგარი ფილის ზამზარა.

საველე (რეალურ) პირობებში ცვეთას განსაზღვრავენ აგრეთვე სტუ-ს საავტომობილო გზების კათედრაზე შექმნილი ხელსაწყოთი, რომლის პრინციპული სქემა მოცემულია 31 ნახაზზე.



**ნახ. 31. ცვეთის განსაზღვრის ხელსაწყო საველე პირობებში**  
 1-რეპერი ლითონის თხელი (1-2 მმ) წრიული ფირფიტა დიამეტრით 5-6 სმ; 2-საზომი ღერო; 3-ინდიკატორი, 4-დიამეტრალური პლანკა; 5- წრიული საყრდენი; 6-ფენილის ზედა ფენა; 7- ფენილის ქვედა ფენა.

რეპერი მუდმივად არის ჩამაგრებული ფენილში, გაზომვის წინ ამოაძრობენ სპეციალურ საცობს, ჩადებენ შიგ საზომ ღეროს და ინდიკატორის საშუალებით გაზომავენ ფენილის ზედა ფენის სისქის შემცირების სიდიდეს, ორ განაზომს შორის სხვაობის მიხედვით დატკეპნის გათვალისწინებით გამოთვლიან ცვეთის სიდიდეს, ბრტყელი რეპერის გარდა იყენებენ აგრეთვე ცილინდრული ფორმის რეპერებს.

როგორც პრაქტიკა გვიჩვენებს, ცვეთის სიდიდე ასფალტბეტონის ფენილებისათვის დაახლოებით 1 მმ-მდეა წელიწადში, ხოლო გაუმჯობესებული შემსუბუქებული ტიპის ფენილებისათვის 2-3 მმ-მდე წელიწადში, შესაბამისად ცვეთის მაჩვენებელი იცვლება 106-107 ავტ/მმ და 10<sup>4</sup> -10<sup>5</sup> ავტ/მმ ფარგლებში.

ბიტუმის შემცველი ფენილების სიმტკიცე განპირობებულია მათი მასალების დატკეპნის ხარისხით როგორც მშენებლობის, ისე ექსპლუატაციის პერიოდში. დატკეპნის ხარისხს აფასებენ სიმკვრივის

და სიმტკიცის ცვალებადობის მიხედვით. ამ მიზნით სხვადასხვა ზომის მარცვლებისაგან შედგენილ ნარევეს მქონე ფენილის ფაქტიურ სიმკვრივეს შეაფარდებენ მოცემული მასალის ლაბორატორიულ პირობებში სტანდარტული მეთოდით დატკეპნის შედეგად მიღებულ სიმკვრივეს ( $K_{\text{დტ}}$ ) და გამოთვლიან დატკეპნის მაჩვენებელს:

$$K_{\text{დტ}} = \frac{\delta_{\text{ფქ}}}{\delta_{\text{სტ}}} \quad (4.9)$$

დატკეპნის მაჩვენებლის მაქსიმალურ სიდიდეს შეესაბამება ფოროვნობის შედარებით მინიმალური და სიმტკიცის მაქსიმალური მნიშვნელობები.

დატკეპნის მაჩვენებლის გაზრდის ტემპი დამოკიდებულია ავტომობილების მოძრაობის ინტესიურობაზე; სიჩქარესა და დატვირთვაზე, ტემპერატურაზე და დატკეპნის მაჩვენებლის საწყის სიდიდეზე.

წყალთან ურთიერთქმედებისას თუ ბიტუმის შემცველ ნარევეში შედის წვრილი ნაწილაკები ( $<1\text{მმ}$ ), განსაკუთრებით მინერალური ფხვნილი და გრუნტის ნაწილაკები, რომელთა ჯამური ზედაპირი მეტად დიდია, მაშინ ნარევის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებები შეიძლება გაუარესდეს და ამიტომ საჭირო ხდება შემოწმებულ იქნას სიმტკიცისა და ცვეთის ცვალებადობა წყლით გაჟღენთილ მდგომარეობაში. წყლით გაჟღენთის ხარისხს (წყალჟღენთვის  $W\%$ ) ამოწმებენ ფორებში გაჟღენთის შესული წყლის შეფარდებით წონის (მასის) მიხედვით პროცენტებში

$$W = \frac{\gamma_{\text{წყ}} - \chi_{\text{შა}}}{\chi_{\text{შა}}} \cdot 100 \quad (4.10)$$

სადაც  $\gamma_{\text{წყ}}$  არის მოცულობითი მასა წყლით გაჟღენთილ მდგომარეობაში;  $\chi_{\text{შა}}$  – მოცულობითი მასა მშრალ მდგომარეობაში, ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გაუარესების ხარისხს ამოწმებენ

კუმშვაზე სიმტკიცის ზღვრისა და ცვეთის სიდიდის შეფარდებით ნიმუშების მშრალ და წყლით გაჟღენთილ მდგომარეობაში.

ბიტუმის შემცველი ნარევისაგან მოწყობილი ფენილები ტემპერატურეს დაწვეისაგან სიგრძე-სიგანეში კლებულობს. ტემპერატურული დეფორმაციის სიდიდე დამოკიდებულია ტემპერატურული დეფორმაციის კოეფიციენტზე, რაც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია ნარევის გრანულომეტრიულ შედგენილობაზე, მასში ბიტუმის რაოდენობასა და სიბლანტეზე, დატკეპნის ხარისხზე და თვით ტემპერატურეს ინტერვალზე. მაგალითად, ასფალტბეტონის ფენილისათვის ტემპერატურული დეფორმაციის კოეფიციენტი  $+20^{\circ}\text{C}$  ფარგლებში დაახლოებით ტოლია  $\alpha=0,00003-0,00004$ , ხოლო  $0^{\circ}-20^{\circ}\text{C}$  ფარგლებში -  $\alpha=0,00002-0,00003$ .

ტემპერატურული დეფორმაციის (დამოკლების) სიდიდე კომპისირებული უნდა იქნას ასფალტბეტონის დეფორმირების უნარით, წინააღმდეგ შემთხვევაში წარმოიქმნება ტემპერატურული ბზარები, ასფალტბეტონის ფენილების ზედა და ქვედა ფენების სხვადასხვანაირად დამოკლების შემთხვევაში, როცა მათ შორის მტკიცე კავშირია, ზედა ფენის ფარდობითი დეფორმაცია გამოითვლება ფორმულით:

$$\varepsilon = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)(t_1 - t_2)}{1 - \mu} \quad (4.11)$$

სადაც  $\alpha_1, \alpha_2$  შესაბამისად არის ზედა და ქვედა ფენების ტემპერატურული დეფორმაციის კოეფიციენტი;  $t_1 - t_2$  - ტემპერატურათა სხვაობა;  $\mu$  - განივი გაფართოების-ჰუასონის კოეფიციენტი

ავტომობილების მოძრაობა განპირობებულია ავტომობილის თვლის პნევმატიკური საბურავის ჩაჭიდულობის ძალით, რომელიც დამოკიდებულია ფენილის ფრიქციულ თვისებებზე - ხორკლიანობაზე, ხახუნის ძალაზე და სხვა.

ავტომობილის თვლის ფენილთან ჩაჭიდულობის ძალას განსაზღვრავენ ფორმულით:

$$T = \varphi_{\text{ჩჭ}} \cdot P \quad (4.12)$$

სადაც  $P$  არის თვალზე მოსული ვერტიკალური ძალა;  $\varphi$  - ჩაჭიდულობის კოეფიციენტი, აიღება 0,1-0,8;  $\varphi$  ყველაზე მაქსიმალურია ფენილის მშრალ ან ხორკლიან ზედაპირზე. მისი საანგარიშო სიდიდედ მიღებულია 0,45-0,55 ფენილის სველი მდგომარეობისათვის. ჩაჭიდულობის კოეფიციენტის განსაზღვრას აწარმოებენ სხვადასხვა ხელსაწყოთი, რომელთა მუშაობის პრინციპი დამყარებულია პნევმატიკური თვლის დამუხრუჭების ძალის თვალზე მოდებულ ვერტიკალურ ძალაზე შეფარდების გამოანგარიშების მეთოდზე.

ხორკლიანობის შექმნის მიზნით, ასფალტბეტონის ნარევი 55-65%-მდე ადიდებენ ღორღის რაოდენობას. გაცვეთილ ფენილებზე ხორკლიანობის აღდგენის მიზნით აწყობენ ზედაპირული დამუშავების ფენას.[21]



## თავი 2.

### საქართველოს საგზაო მეურნეობაში კვარცული ქვიშაქვების გამოყენების ეფექტიანობის კვლევა

#### 2.1. კვარცული ქვიშაქვების ქიმიური შემადგენლობის და ფიზიკო-მექანიკური თვისებების კვლევა

საქართველოში საგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარების დღევანდელმა ფართო მასშტაბებმა თავისთავად გამოიწვია საგზაო მშენებლობის საგზაო-საშენი მასალებით, კერძოდ, ქვიშით მომარაგების მოთხოვნილების გაზრდა, რამაც დასვა საკითხი ქვიშის მიღების ახალი, ალტერნატიული წყაროებისა და საშუალებების მოძიების შესახებ.

საყოველთაოდ ცნობილია, რომ საქართველოს ტერიტორიაზე და განსაკუთრებით თბილისის რეგიონში მეტად გართულებულია ქვიშის, როგორც საგზაო-საშენი მასალის მოპოვება. რეგიონში მდინარეების მტკვრისა და არაგვის ხეობებში ქვიშის მოპოვების შესაძლებლობა პრაქტიკულად შეუძლებელია, განსაკუთრებით ბუნების დაცვისა და ეკოლოგიური საკითხებიდან გამომდინარე. თბილისის ასფალტბეტონისა და ცემენტბეტონის ქარხნების ქვიშით მომარაგება ძირითადად ხდება საჩხერე-ჭიათურა-ზესტაფონის კვარცული ქვიშებისა და მარნეულისა და ბოლნისის რაიონებიდან ქვიშა-ხრემის კარიერების დამუშავების ხარჯზე, თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ თავისი შემადგენლობით, ფიზიკო-მექანიკური თვისებებითა და დამტვერიანობის ხარისხით ეს ქვიშები არ განეკუთვნებიან მაღალი ხარისხის ქვიშებს. თიხოვანი და მტვროვანი ნაწილაკების რაოდენობა მათში ძირითადად 5 %-ის ფარგლებშია, ხშირად კი 8-12 %-ს აღწევს.  $\text{SiO}_2$ -ის შემცველობა ამ ქვიშებში მერყეობს 75-85 %-ის,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -ს 3-12 %-ის,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  -ს 0.5-2 %-ს,  $\text{CaO}$  -ის 0.3-2 %-ს,  $\text{MgO}$  -ის 0.1-1.5 %-ს და  $\text{SO}_3$ -ის 0.2-1 %-ს შორის. ასეთი შემადგენლობის ქვიშების გამოყენება წარმატებით შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, თუ დაცული იქნება შემდეგი

პირობები: კარიერიდან ამოღებული ქვიშა, როგორც წესი, უნდა გაირეცხოს, ასფალტბეტონში მისი გამოყენების შემთხვევაში აუცილებლად დამატებული უნდა იყოს ხელოვნური ქვიშა. სხვაგვარად მაღალი ხარისხის ასფალტბეტონის მიღება შეუძლებელია.

ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე, ხელოვნური ქვიშის მიღების ალტერნატიულ წყაროდ, ჩვენი აზრით, შეიძლება მივიჩნიოთ თბილისის რეგიონში არსებული სუსტადშეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვების დაშლა-დანაწევრების შედეგად მიღებული ხელოვნური ქვიშები, რომლებიც თბილისის რეგიონში მრავლად მოიპოვება. ამ მასალას იყენებდა ავჭალის სილიკატური აგურის ქარხანა თავისი პროდუქციის დასამზადებლად.

თბილისის რეგიონის ტერიტორიაზე განლაგებული კვარცული ქვიშაქვების გავრცელების ტერიტორია პირობითად შეიძლება დაიყოს ორ ზონად: ავჭალისა და გლდანის ზონად, სადაც მასალის მარაგი პრაქტიკულად ამოუწურავია. ქვიშაქვები წარმოადგენენ ძირითადად მიოცენური ასაკის ქანებს, რომლებიც ზოგჯერ დაფარული არიან მცირე სიმძლავრის მეოთხეული ქანებით.

ჩვენს მიერ გამოკვლეულია ე.წ. “ქოშისგორის” ტერიტორია, რომელის მდებარეობს თბილისიდან 3-4 კმ-ში, ჩრდილო-დასავლეთით. აღებული იქნა ქვიშაქვების რამოდენიმე ნიმუში, მათი დაშლით მიღებულია ხელოვნური ქვიშა და შესრულებულია ლაბორატორიული კვლევები.

ჩატარებულია მიღებული ხელოვნური ქვიშის გაურეცხავი ნიმუშის ქიმიური ანალიზი და განსაზღვრულია მისი გრანულომეტრიული შემადგენლობა.

ქვიშაქვების დაშლის შედეგად მიღებული კვარცული ქვიშები გამოირჩევიან წვრილი, საშუალო და მსხვილმარცვლოვანი ნაირსახეობით. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ნიმუშების აღების ადგილზე შეიმჩნევა სხვადასხვა სახის ქვიშაქვების ქანების მოკლე მანძილებში ურთიერთ შენაცვლება. ძირითადად ჭარბობს საშუალომარცვლოვანი ქვიშა. აქედან

გამომდინარე, რეკომენდირებულია სხვადასხვა ფრაქციის ქვიშების ურთიერთშერევა სასურველი გრანულომეტრიული შემადგენლობის მისაღწევად.

ლაბორატორიული კვლევის შედეგები მოცემულია ცხრ.1-ში და ცხრ.2-ში.

ცხრილი 1

ავჭალის ბუნებრივი სახის (გაურეცხავი) კვარცული ქვიშების ქიმიური შემადგენლობა (აღებულია ზღვრული სიდიდეები)

№	ქანგეულები	რაოდენობა %-ში	შენიშვნა
1	SiO <sub>2</sub>	77 – 83	ზღვრული
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9 – 15	---“---
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.25 – 3	---“---
4	CaO	0.3 – 1.2	---“---
5	MgO	0.015 – 0.45	---“---
6	SO <sub>3</sub>	0.01 – 0.25	---“---
7	თიხოვანი და მტვროვანი ნაწილაკები	1.1 – 1.8	

კვლევებმა გვაჩვენეს, რომ ამ ქვიშის გარეცხვის შემდეგ თითქმის 3 %-ით მატულობს მასში SiO<sub>2</sub>-ის რაოდენობა, 2 %-ით კლებულობს Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5 %-ით Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> და 0.05 %-ით CaO. აღსანიშნავია ისიც, რომ ალუმინის, კალციუმის და მაგნიუმის ქანგეულებმა განაპირობეს კვარცული ქვიშების შეკვრა ერთ სუსტადცემენტირებულ კონგლომერატად.

დადგინდა, რომ ამ ქვიშის კუთრი წონა შეადგენს 2.5 გრ/სმ<sup>3</sup>, ქვიშის ფორების (სიცარიელების) მოცულობა ფხვიერ მდგომარეობაში 53.2 %, ვიბრირებით დატკეპნილ მდგომარეობაში 46.4 %. სიმსხვილის მოდული შეადგენს დაახლოებით 2.0-ს.

**ავჭალის კვარცული ქვიშების ნიმუშების გრანულომეტრიული  
შემადგენლობა**

№	საცრის ხვრეტის ზომები, მმ	გამოკვლეული ნიმუშების ნომრები								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<b>5 – 2.5</b>	1.1	0.2	5.5	4.3	0.2	1.5	2.4	3.5	7.5
2	<b>2.5 – 1.25</b>	7.5	2.5	5.5	10	1.5	2	8.6	15.2	6.2
3	<b>1.25 – 0.63</b>	29	17.3	8.5	17.3	3.2	9.5	33.2	38.9	11
4	<b>0.63 – 0.31</b>	17	27	10.3	16.2	8	54.5	17.4	18.3	29
5	<b>0.31 – 0.14</b>	27	40	33.2	33.2	56.8	30	26.6	18.8	41.5
6	<b>0.14</b>	18.4	13	30	19	30.3	2.5	11.8	5.3	4.5
7	მტვრისა და თიხის ნაწილაკები,%	5	5	6.5	5	6.5	1.35	5	6.7	4.5
8	სიმსხ. მოდული	1.83	1.56	1.28	1.79	0.89	1.73	2.1	2.5	1.9

როგორც ცხრილიდან ჩანს, კვარცულ ქვიშაში ჭარბობს ფრაქცია 0.31 – 0.14 მმ, თუმცა ზოგიერთ ნიმუშში მნიშვნელოვანი რაოდენობითაა 0.63 – 0.31 მმ ფრაქციაც. აქედან გამომდინარე, მიზანშეწონილი იქნება ასეთ ქვიშებში მსხვილმარცვლოვანი ქვიშების, და პირველ რიგში, ხელოვნური ქვიშების შერევა. ნიმუშებში მტვროვანი და თიხოვანი ნაწილაკების რაოდენობა სხვადასხვანაირია: მსხვილმარცვლოვან ქვიშებში 5 -6 %, ხოლო წვრილმარცვლოვანებში 15 -20 %-ს აღწევს. კვლევებით დადგინდა, რომ ეს ნაწილაკები თავისი ქიმიური და პეტროგრაფიული შემადგენლობის მიხედვით განაპირობებენ საკმაოდ საიმედო ადსორბციულ კავშირს ბიტუმთან მიმართებაში. ასევე უნდა ვივარაუდოდ, რომ კვარცულ ქვიშაში არსებული მინდვრის შპატები, კალციუმისა და მაგნიუმის ჟანგეულები თავისი სტრუქტურული მდგომარეობის გამო დადებით როლს შეასრულებენ ბიტუმთან ურთიერთობაში.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ კვარცული ქვიშაქვებისაგან მიღებული ხელოვნური ქვიშა თავისი ფიზიკო-მექანიკური მაჩვენებლების მიხედვით შესაძლებელია გამოყენებული იქნას

საგზაო მშენებლობაში, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, თუ მათ დაემატება მსხვილმარცვლოვანი ხელოვნური ქვიშის განსაზღვრული რაოდენობა.

## **2.2. კვარცული ქვიშაქვების დაშლა-დანაწევრების ალტერნატიული მეთოდები და დაშლა-დანაწევრების დანადგარი**

დღეისათვის საქართველოში არნახულ მასშტაბებს მიაღწია როგორც საერთაშორისო, ასევე რესპუბლიკური და ადგილობრივი დანიშნულების საავტომობილო გზების მშენებლობებმა, რამაც შესაბამისად გაზარდა მოთხოვნილება საგზაო-საამშენებლო მასალებზე. საავტომობილო გზების მშენებლობისათვის ერთ-ერთ აუცილებელ მასალას წარმოადგენს ქვიშა, რომელსაც ფართო გამოყენება აქვს როგორც ასფალტობეტონების, ასევე ცემენტობეტონების საგზაო საფარების დასამზადებლად. ეს მასალა დღესდღეობით ძირითადად მდინარის კალაპოტებში მოიპოვება, რაც სერიოზულ ზიანს აყენებს ჩვენი ქვეყნის გარემოს დაცვისა და ეკოლოგიის მდგომარეობას.

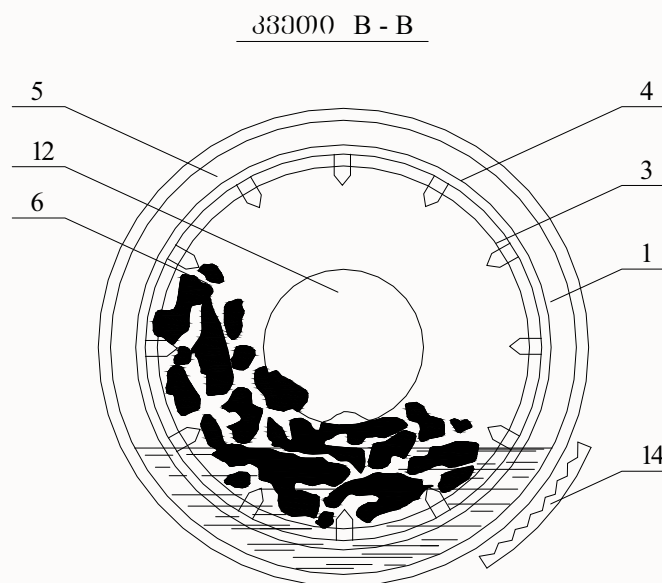
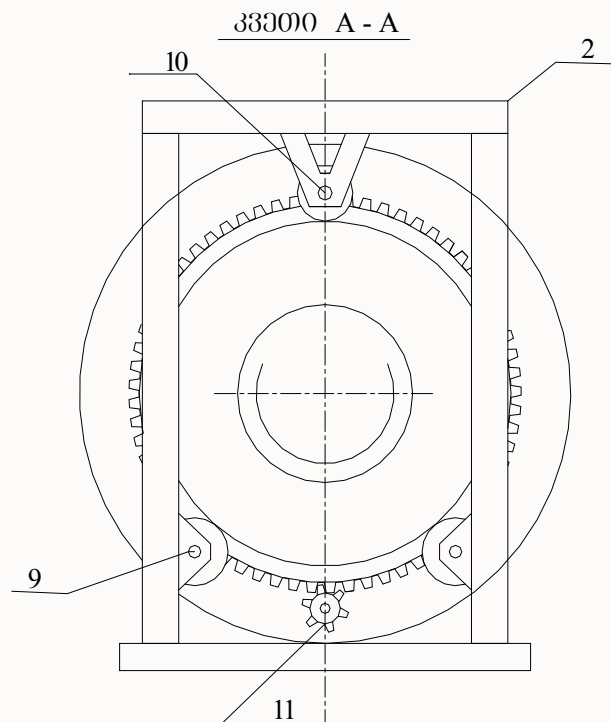
აქედან გამომდინარე, დღის წესრიგში დგება მშენებლობაში ხელოვნურად მიღებული ქვიშის გამოყენება. ხელოვნური ქვიშის მიღების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან წყაროდ შეიძლება იქცეს ბუნებრივი ქვიშაქვები, რომლებიც საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე მრავლად მოიპოვება.

პრაქტიკაში ხელოვნური ქვიშის მისაღებად დღეს გამოიყენებენ დასამსხვრელ-დამანაწილებელ აგრეგატებს (წისქვილებს), რომლებიც მოითხოვენ დიდი რაოდენობით ენერგომატარებლებს, რათა მიღებული იქნეს ყველა საჭირო ფრაქციის ქვიშა.

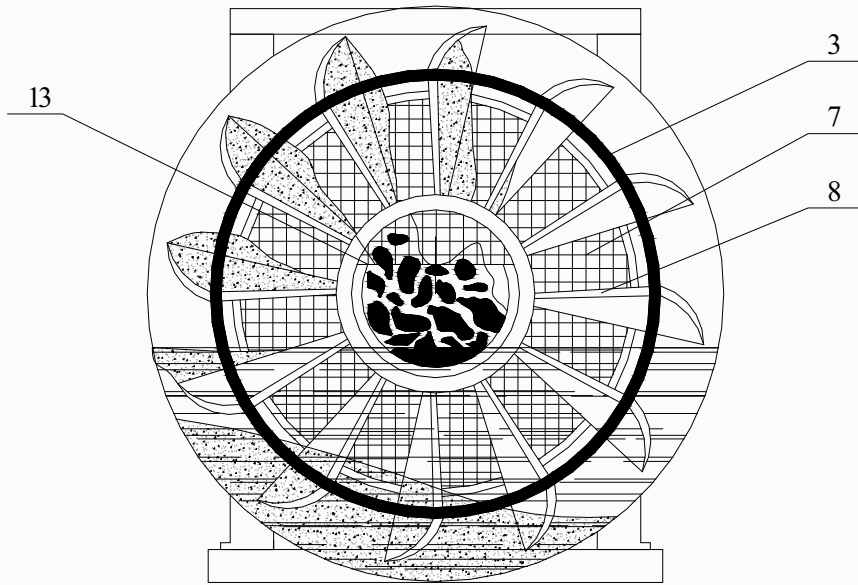
ჩვენს მიერ ხელოვნური ქვიშის მისაღებად შემუშავებულია ქვიშაქვების დაშლა-დაქუცმაცების თბოტენიანი მეთოდი, რომელიც შეიძლება განხორციელდეს ისეთი დანადგარის საშუალებით, სადაც დაშლისათვის საჭირო ყველა ოპერაცია თავმოყრილია ერთ აგრეგატში.

დანადგარმა შეიძლება იფუნქციონიროს როგორც სტაციონალური ქარხნის პირობებში, ასევე როგორც გადასაადგილებელმა. მისი საშუალო მწარმოებლობა შეადგენს 8ტ/სთ-ს, როდესაც ქვიშაქვების ნატეხების საწყისი ტემპერატურაა 20°C.

დანადგარის კონსტრუქცია და ტექნოლოგიური სქემა მოცემიულია ნახაზზე 32.







**ნახ. 32. თბოტენიანი მეთოდით სარეგენერაციო დანადგარის კონსტრუქცია და ტექნოლოგიური სქემა**

1-ცილინდრული საკანი; 2-ჩარჩო; 3-დოლური, ცილინდრული ცხავი; 4-ლითონის ბასრი კბილები; 5-ვინტური, შნეკური ფრთები; 6-ლითონის მახვილწახნაგები, „ზღარბები“; 7- წრიული ელევატორის ბადური ჩამჩეები, ორმაგი ძირით; 8-ჩამჩეების მეორე, მთლიანი ძირი წყლის აცილების უზრუნველსაყოფად; 9-საყრდენი რგოლები; 10-დიდი ამყოლო კბილანა; 11-მცირე მიმყოლი კბილანა; 12-ჩასატვირთი ღარი; 13-გადმოსატვირთი ღარი; 14-ელექტროსპირალი, (ელექტროგამაცხელებელი).

დანადგარი მუშაობს შემდეგნაირად: 70სმ-მდე ზომის ქვიშაქვების ნატეხები დანადგარზე დამონტაჟებული ამწით ან ავტოჩამტვირთავით მიეწოდება ჩასატვირთვ ღარში, საიდანაც დახრილი სიბრტყის საშუალებით ხვდება 2,4 მ დამეტრისა და 2,2 მ სიგრძის ცილინდრულ ცხავში. ცხავი სიმაღლის 1/3-ზე გავსებულია წყლით. წყალი ელექტროსპირალის საშუალებით ცხელდება 70-80<sup>0</sup>C-მდე.

ცილინდრული ცხავის ბრუნვისას (8-10 ბრ/წთ) წყლის გარემოში გამთბარი და დასუსტებული ქვიშაქვების ნატეხები ურთიერთხახუნისა და ბასრ კბილებთან და მახვილწახნაგებთან დაჯახების შედეგად იშლება. დანაწევრებული და დაშლილი ქვიშაქვები ცხავის ნახვრეტებიდან (ზომით

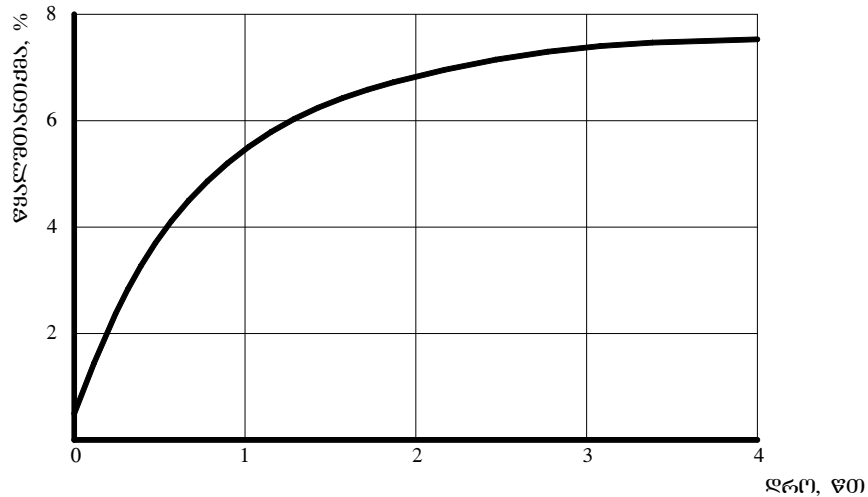
5X5მმ) გამოიღვენება და ხვდება ცილინდრული საკნის ფსკერზე, რითაც ხელს უწყობს ქვიშაქვების დარჩენილი ნატეხების ზედაპირული ფენების გაცხელებისა და დაშლის პროცესის ინტენსიფიკაციას. ვინტური ფრთების საშუალებით, დაქუცმაცებული ქვიშაქვები ცილინდრული საკნის ფსკერზე გადაადგილდება ელევატორის მიმართულებით და წრიული ელევატორის ბადური ჩამჩების საშუალებით ადის ზევით. ამ დროს მიმდინარეობს მასალის განტენიანება ჩამჩების ნახვრეტებიდან წყლის გამოდინების ხარჯზე. ჩამჩებიდან გადმოყრილი მიღებული მასალა ხვდება განმტვირთავ ღარზე, შემდეგ ბრტყელ განტენიანებელ ცხავეზე, საიდანაც – განმტვირთავ ბუნკერში.

მისი მუშაობის ეფექტურობა მნიშვნელოვნად იზრდება ზაფხულის პერიოდში, როდესაც მიწოდებული ქვიშაქვების ბუნებრივი ტემპერატურა აღწევს  $30^{\circ}\text{C}$  და მეტს. ცივ ამინდში გათვალისწინებულია ქვიშაქვების წინასწარი გათბობა  $30-40^{\circ}\text{C}$ –მდე ლითონის ან ბეტონის სპეციალურ სათავსოებში, რომელთა მოცულობაა  $50-70\text{მ}^3$

წყალგაჯერებულ მდგომარეობაში ქვიშაქვების სტრუქტურული სიმტკიცე კლებულობს, მცირდება კავშირები ცალკეულ მარცვლებს შორის, რაც აადვილებს მათი დაშლის პროცესს. ეს განსაკუთრებით აისახება ქვიშაქვების დისპერსიული ნაწილის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებზე. წყალშთანთქმის (წყალგაჯერების) სიდიდე დამოკიდებულია წყლის მოქმედების დროზე. ნახ. 33-ზე მოცემულია მოცულობითი წყალშთანთქმის დამოკიდებულება წყალში ყოფნის დროზე.

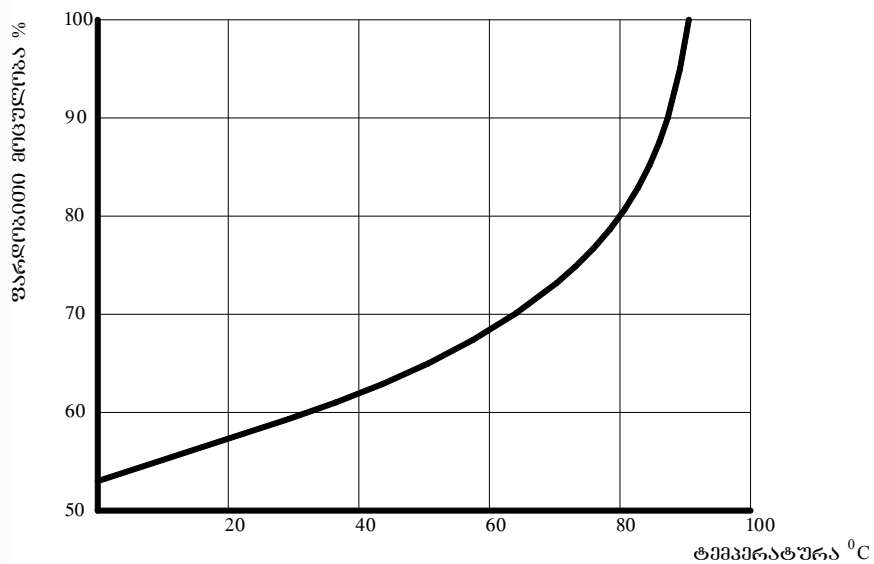
გრაფიკიდან ჩანს, რომ წყალშთანთქმა ინტენსიურად მიმდინარეობს პირველი 1,5 სთ-ის განმავლობაში, შემდეგ პროცესი თითქმის წყდება.

აქედან გამომდინარე ცხელი წყლის გარემოში ქვიშაქვების ნატეხების დაქუცმაცების ტექნოლოგიური პროცესი უნდა წარიმართოს ისე, რომ იგი განსაკუთრებით ინტენსიურად მიმდინარეობდეს ქვიშაქვების წყლის გარემოში ყოფნის პირველი 1,5 სთ-ის განმავლობაში.



ნახ. 33. ქვიშაქვების მოცულობითი წყალშთანთქმის W დამოკიდებულება წყლის გარემოში ყოფნის დროზე T

ქვიშაქვების დაშლის პროცესზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს წყლის ტემპერატურა. ნახაზზე 34 გამოსახულია ქვიშაქვების დაქუცმაცებული ნაწილის ფარდობითი მოცულობის დამოკიდებულება წყლის ტემპერატურაზე, სხვა თანაბარი პირობების შემთხვევაში.

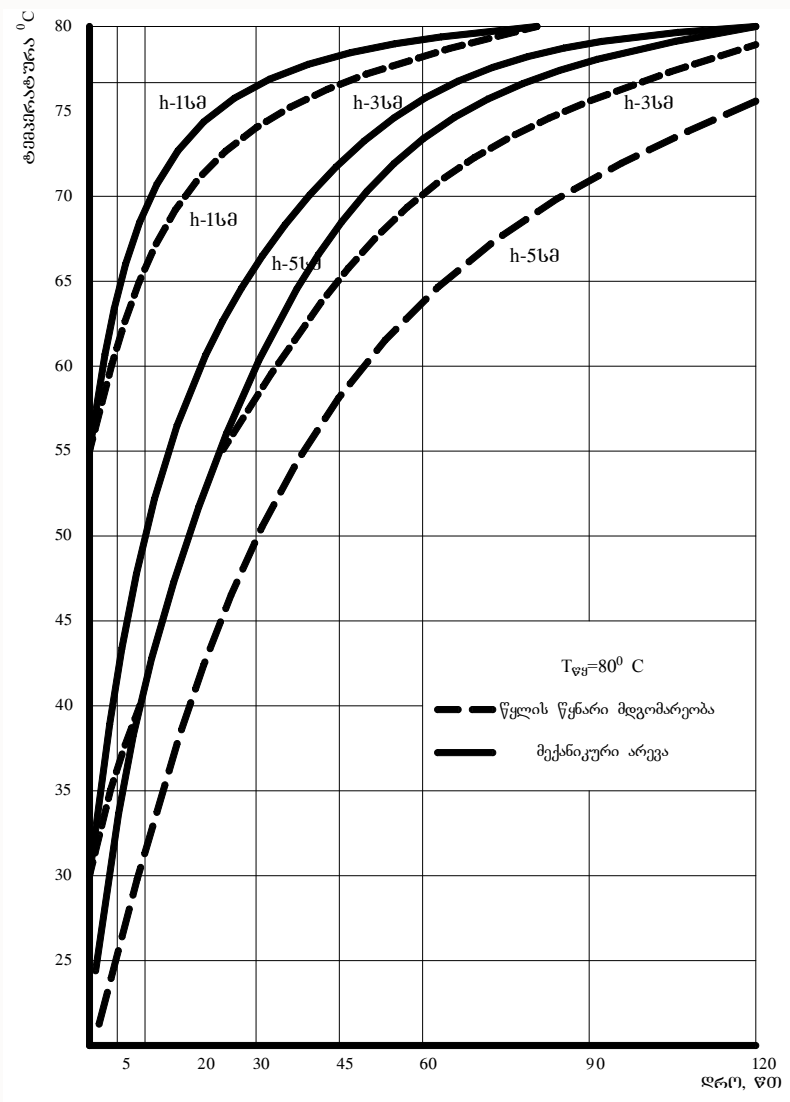


ნახ. 34. ქვიშაქვების დაქუცმაცებული ნაწილის ფარდობითი მოცულობის V დამოკიდებულება წყლის ტემპერატურაზე T

როგორც გრაფიკიდან ჩანს ნატეხების დაქუცმაცება იწყება უკვე 20°C ტემპერატურაზე, ხოლო საკმაოდ ინტენსიურად მიმდინარეობს 60-80°C

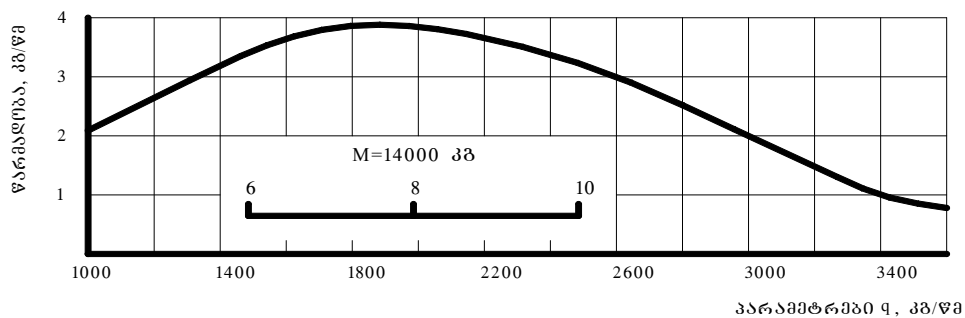
ტემპერატური დროს. რაც გათვალისწინებული უნდა იყოს დაქუცმაცების რეჟიმის შერჩევისას.

მნიშვნელოვან ტექნოლოგიურ მომენტს წარმოადგენს ქვიშაქვების ნატეხების ტემპერატურის შეღწევადობის სიჩქარე. ამ პროცესის გამოსაკვლევად ჩავატარეთ ცდები, რომელთა შედეგები მოცემულია ნახ. 35-ზე. როგორც გრაფიკიდან ჩანს, 20°C საწყისი ტემპერატურის ნატეხების ზედაპირული ფენის გაცხელებას 30მმ სიღრმეზე 80°C წყლის გარემოში ჭირდება სულ რამდენიმე წუთი (2-5წთ 40°C-მდე, 10წთ 50°C -მდე და 20წთ 60°C -მდე). ქვიშაქვების ნატეხების წყალში მექანიკური არევის შემთხვევაში, პროცესი 1,5-2-ჯერ უფრო სწრაფად მიმდინარეობს.



ნახ. 35. ქვიშაქვების ტემპერატურის ცვლილება ნიმუშის სიღრმეში დროის მიხედვით

ცდების საშუალებით დავადგინეთ დანადგარის მწარმოებლობის დამოკიდებულება  $Q$  პარამეტრზე (ნახ.36), რომელიც ითვალისწინებს დანადგარის დოლში ჩაყრილი ქვიშაქვების ნატეხებისა და ლითონის მახვილწახნაგების რაოდენობას და მასას, აგრეთვე დოლის ბრუნვათა რიცხვს.



**ნახ. 36. რეგენერაციის დანადგარის მწარმოებლობის დამოკიდებულება  $q$  პარამეტრზე.**

გრაფიკიდან ჩანს, რომ რეგენერაციის დანადგარს ექნება მაქსიმალური მწარმოებლობა, თუ  $Q = 1800-2000$  კგ/წმ-ს, რაც მხედველობაში უნდა იყოს მიღებული დაქუცმაცების რეჟიმის შერჩევისას.

დადასტურებულია, რომ დაქუცმაცება იწყება  $30-40^{\circ}\text{C}$ -დან და ინტენსიურად მიმდინარეობს  $70-80^{\circ}\text{C}$  დროს. გადამუშავების ოპტიმალური რეჟიმი ითვალისწინებს ქვიშაქვების ტემპერატურისა და ცილინდრულ ცხავში ყოფნის დროის რაციონალურ შეხამებას.

ასეთი მეთოდით მიღებული ხელოვნური ქვიშის გამოყენება შესაძლებლობას იძლევა მნიშვნელოვნად შემცირდეს მდინარეების კალაპოტებიდან ქვიშის ამოღების რაოდენობა და, შესაბამისად გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედებებიც.

### 2.3. კვარცული ქვიშაქვების დაშლა-დანაწევრების პროცესის მათემატიკური მოდელირება

საგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარების დღევანდელმა მასშტაბებმა დღის წესრიგში დააყენა საგზაო მშენებლობის ხელოვნური ქვიშით მომარაგების საკითხი. ხელოვნური ქვიშის მიღების ერთ-ერთ წყაროს წარმოადგენს სუსტადშეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვების დაქუცმაცება, რაც შესაძლებელია მოხდეს თბოტენიანი მეთოდით ძველი ასფალტობეტონის რეგენერაციის დანადგარის გამოყენებით. განვიხილოთ ამ პროცესის მათემატიკური მოდელირება.

ქვიშაქვების დაქუცმაცება ხდება უწყვეტი მოქმედების ცილინდრული ფორმის სპეციალურ ამრევში, სადაც მუდმივად მიეწოდება ქვიშაქვების სხვადასხვა ზომის ნატეხები. ამრევი ასრულებს ბრუნვით მოძრაობას, რაც ხელს უწყობს ქვიშაქვების ნატეხების ურთიერთზემოქმედებას (დაჯახებას), და აჩქარებს დაშლის პროცესს. გარდა ამისა დაშლის პროცესის ინტენსიობის გაზრდის მიზნით დანადგარში ქვიშაქვების ნატეხებთან ერთად ათავსებენ სპეციალური ფორმის, გარკვეული მასისა და რაოდენობის რკინის სხეულებს, ხოლო დაშლის მთელი პროცესი მიმდინარეობს ცხელი წყლის გარემოში.

დამშლელი დანადგარის ძირითადი მახასიათებელია მწარმოებლობა (დროის ერთეულში დაშლილი ქვიშაქვების რაოდენობა). მისი განმსაზღვრელი სიდიდეებია:

ქვიშაქვების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები (ნატეხების ზომა, საწყისი ტემპერატურა, სიმკვრივე, ფორიანობა, სითბოტევადობა და სხვ.);

- ქვიშაქვების საწყისი ტემპერატურა,  $t_0$  ;
- დანადგარის დოლის ბრუნვათა რიცხვი,  $N$  ,(ქვიშაქვების ნატეხებზე მექანიკური მახასიათებლების მაჩვენებელი);
- ქვიშაქვების ნატეხებზე მექანიკური ზემოქმედების გაზრდის მიზნით ამრევ დოლში მოთავსებული მყარი სხეულების



გარკვეული რაოდენობა  $nm$  , სადაც  $n$  - მათი რაოდენობაა,  $m$  - მასა;

- ქვიშაქვების ნატეხების საშუალო რაოდენობა დანადგარის დოლში,  $n_0$  და მათი საშუალო მასა,  $m_0 - n_0 m_0$ . ეს უკანასკნელი ახასიათებს ქვიშაქვების ნატეხების ურთიერთქმედების გავლენას დაქუცმაცების პროცესზე;
- ქვიშაქვების ნატეხების საშუალო ზედაპირული ფართობი,  $S$  ;
- ტემპერატურათა სხვაობა  $\Delta t = t - t_3$  , სადაც  $t_3$ - ქვიშაქვების ის მინიმალური ტემპერატურაა, რომლის დროსაც პრაქტიკულად ადგილი არა აქვს მის დაქუცმაცებას,  $t$ - მიმდინარე ტემპერატურა.

პროცესის მიმდინარეობისათვის საჭიროა შესრულდეს შემდეგი პირობა:  $t_3 < t < t_8$  , სადაც  $t_8 = 100^{\circ} C$  .

მათემატიკური მოდელირების ამოცანას წარმოადგენს ფუნქციონალური დამოკიდებულების პოვნა დანადგარში მიმდინარე პროცესის ძირითად პარამეტრებს შორის. კერძოდ, დამოკიდებულების დადგენა დანადგარის წარმადობასა და პროცესის დამახასიათებელ დანარჩენ პარამეტრებს შორის.

განვიხილოთ იდეალური სტაციონალური პროცესის შემთხვევა, როდესაც დანადგარს უწყვეტად მიეწოდება ქვიშაქვების ერთგვაროვანი ნატეხები, ყველა ძირითადი პარამეტრი არის მუდმივი, გარდა წყლის ტემპერატურისა ამრევ დოლში.

ზემოთ აღნიშნულიდან ცხადია, რომ დანადგარის სიმპლავრისათვის შეიძლება დაწეროს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$dM = K\Phi(\Delta t)Sd\tau \quad (5.1)$$

სადაც:  $K$  პროპორციულობის კოეფიციენტი და იგი დამოკიდებულია იმ ფაქტორებზე, რომლებიც განსახილველ შემთხვევაში

არის მუდმივი სიდიდე;  $\Phi(\Delta t)$  არის  $\Delta t = t - t_3$  ფუნქცია;  $dM$  დაქუცმაცებული ქვიშაქვების მასა;  $d\tau$  დროის მომენტი.

$\Phi(\Delta t)$  ფუნქცია პირველი მიახლოებით შეიძლება შევცვალოთ გამოსახულებით:

$$\Phi(\Delta t) = A(t - t_3) \quad (5.2)$$

სადაც:  $A$  მუდმივი სიდიდეა

$$A = \Phi'(0) = \text{const} \quad (5.3)$$

განტოლება შესაძლებელია დავწეროთ შემდეგი სახით:

$$P = \frac{dM}{d\tau} = K(t - t_3)S \quad (5.4)$$

სადაც:  $-K = KA$  კომპლექსური მუდმივაა მოცემულ შემთხვევაში;

(5.4) ფორმულაში, (მათემატიკურ მოდელში), საჭიროა განვსაზღვროთ ტემპერატურული დამოკიდებულება პროცესის დამახასიათებელი საწყისი პარამეტრების მიხედვით.

ქვიშაქვების გადამუშავების ტექნოლოგიური პირობიდან გამომდინარე, სითბოგადაცემის ნიუტონის კანონისა და ენერჯის მუდმივობის კანონის თანახმად, შეიძლება დავწეროთ  $d\tau$  დროში მყარი ფაზის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა:

$$dQ = \beta(t_{\varphi} - t)Sd\tau \quad (5.5)$$

და

$$dQ = \beta(t_{\varphi} - t)Sd\tau \quad (5.6)$$

შესაბამისად:

$$CMd\tau = \beta(t_{\varphi} - t)Sd\tau \quad (5.7)$$

სადაც:  $\beta$  სითბოგადაცემის კოეფიციენტი;  $t_{\varphi}$  თხევადი ფაზის (წყლის) ტემპერატურა;  $C$  მყარი ფაზის (ქვიშაქვების) კუთრი სითბოტევადობა;  $M$  ქვიშაქვების მასა.

(5.7) წარმოადგენს პირველი რიგის წრფივ დიფერენციალურ გამტოლებას ტემპერატურის მიმართ. მისი საწყისი პირობა იქნება მყარი ფაზის საწყისი ტემპერატურა:

$$t|_{\tau=0} = t_0 \quad (5.8)$$

(5.7)-ის ამოხსნით (5.8) საწყისი პირობით მივიღებთ:

$$t = t_{\varphi} - (t_{\varphi} - t_0)e^{-\frac{S\beta}{CM}\tau} \quad (5.9)$$

თუ გავითვალისწინებთ (5.9) ამონახსნს (5.4) გამოსახულებაში მივიღებთ:

$$P = K \left[ t_{\varphi} - t_3 - (t_{\varphi} - t_0)e^{-\frac{S\beta}{CM}\tau} \right] S \quad (5.10)$$

(5.10) წარმოადგენს დანადგარის წარმადობას განხილული შემთხვევისათვის.

განტოლებაში შემავალი დრო  $\tau$  განსაზღვრულია. ის არ შეიძლება მეტი იყოს ვიდრე ქვიშაქვების ყოფნის დრო დანადგარში  $\tau_n$ .

პროცესი, რომელიც მიმდინარეობს ქვიშაქვების დანადგარში სტოხასტიკურია, ამიტომ  $P$  წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს. შედეგი უფრო ზუსტი იქნება თუ ვიპოვიოთ მის მათემატიკურ ლოდინს:

$$M[P] = \frac{1}{\tau_n} \int_0^{\tau_n} P(\tau) d\tau \quad (5.11)$$

თუ (5.11)-ში შევიტანთ  $P$ -ს მნიშვნელობას (2.10)-დან, გვექნება:

$$M[P] = \frac{1}{\tau_n} \int_0^{\tau_n} K \left[ t_{\varphi} - t_3 - (t_{\varphi} - t_0)e^{-\frac{S\beta}{CM}\tau} \right] S d\tau \quad (5.12)$$

აქედან მივიღებთ:

$$M[P] = KS(t_{\varphi} - t_3) \left[ 1 - \frac{CM}{\tau_n S\beta} \cdot \frac{t_{\varphi} - t_0}{t_{\varphi} - t_3} \left( 1 - e^{-\frac{S\beta}{CM}\tau_n} \right) \right] \quad (5.13)$$

მიღებული მათემატიკური მოდელი სამართლიანია მხოლოდ მაშინ, როდესაც გვაქვს იდეალური პროცესი და წარმადობა შეიცვლება მხოლოდ  $\tau_n$

-ის შეცვლით. პროცესის დამახასიათებელი დანარჩენი პარამეტრები უნდა დარჩეს მუდმივი. მაგრამ, როგორც უკვე ავრნიშნეთ, პროცესზე დიდ გავლენას ახდენს დანადგარის დოლის ბრუნვათა რიცხვი და "მყარი" მოქმედი მასა, რომელთა ცვლილება ძირითადად განსაზღვრავს  $K$  კოეფიციენტის ცვლილებას.

დანადგარში მიმდინარე პროცესის თვისობრივი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ პროცესი შეიძლება დავახასიათოდ ახალი პარამეტრით  $q$ , რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$q = (n_0 m_0 + nm)N \quad (5.14)$$

სადაც:

-  $n_0$  არის ქვიშაქვების იმ ნატეხების რაოდენობა, რომელთა მასა მეტია იმ მინიმალურ მასაზე, რომლის მოქმედება გავლენას ვერ ახდენს დაშლის პროცესის ინტენსივობაზე;

-  $m_0$  - აღნიშნული ნატეხების საშუალო მასაა.

$$m_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n_0} m_i}{n_0} \quad (5.15)$$

ექსპერიმენტის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ  $K$  კოეფიციენტის ცვლილება  $q$  პარამეტრით პროპორციულია  $K$  სიდიდის, ე.ი.

$$\frac{dK}{dq} \sim K \quad (5.16)$$

არსებობს  $q = q_k$  ისეთი მნიშვნელობა რომლისთვისაც სრულდება პირობა

$$\frac{dK}{dq} > 0 \quad \text{თუ} \quad q < q_k \quad (5.17)$$

და

$$\frac{dK}{dq} < 0 \quad \text{თუ} \quad q > q_k \quad (5.18)$$

ე.ი.

$$\frac{dK}{dq} = 0 \quad \text{თუ} \quad q = q_k \quad (5.19)$$

აქედან გამომდინარე შეიძლება დავწეროთ შემდეგი რეგრესიული განტოლება:

$$\frac{dK}{dq} = \alpha K(q_3 - q) \quad (5.20)$$

საიდანაც მივიღებთ:

$$\frac{dK}{K} = \alpha(q_3 - q)dq \quad (5.21)$$

აქ მუდმივი სიდიდეა. (1.21)-დან გვაქვს:

$$\ln \frac{K}{A} = -\frac{\alpha(q_3 - q)^2}{2} \quad (5.22)$$

თუ განვსაზღვრავთ  $K$  სიდიდეს მივიღებთ:

$$K = Ae^{-\frac{\alpha(q_3 - q)^2}{2}} \quad (5.23)$$

როდესაც  $q = q_3$ , მაშინ  $A = K = K_0$ , ამიტომ (5.23)-დან მივიღებთ:

$$K = K_0 e^{-\frac{\alpha(q_3 - q)^2}{2}} \quad (5.24)$$

(5.24) გამოსახულების გათვალისწინებით, აპარატის წარმადობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$M[P] = K_0 S(t_{\Phi} - t_3) e^{-\alpha \frac{(q_3 - q)^2}{2}} \left[ 1 - \frac{CM}{\tau_n S \beta} \cdot \frac{t_{\Phi} - t_0}{t_{\Phi} - t_3} \left( 1 - e^{-\frac{S \beta \tau_n}{CM}} \right) \right] \quad (5.25)$$

(5.25) წარმოადგენს ქვიშაქვების დაშლის (დაქუცმაცების პროცესის) მათემატიკურ მოდელს. იგი საშუალებას იძლევა ქვიშაქვების დანადგარში გარკვეული პარამეტრების ცვლილებისას (ჩაყრილი ქვიშაქვების მასა, ტემპერატურა, ზედაპირის ფართობი და ა.შ.), ისე ვცვალოთ სხვა პარამეტრები (წყლის ტემპერატურა, დოლის ბრუნვათა რიცხვი, ჩაყრილი მახვილწახნაგების რაოდენობა და სხვ.), რომ მოვახდინოთ დაქუცმაცების

პროცესის ოპტიმიზაცია - მივიღოთ დანადგარის მაქსიმალური წარმადობა, მინიმალური ენერგეტიკული დანახარჯებით.

ჩვენს მიერ კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებით ჩატარებული იქნა (5.25) ფორმულის გაანგარიშება. ანგარიშის დროს მასში შემავალი სიდიდეებისათვის ვხელმძღვანელობთ 3 ცხრილში მოცემული მნიშვნელობებით.

ცხრილში 4 მოცემულია სარეგენერაციო დანადგარის მწარმოებლობის დამოკიდებულება სხვადასხვა პარამეტრებზე (ცხელი წყლის ტემპერატურა  $t_{\text{წ}}$ , ქვიშაქვების საწყისი ტემპერატურა  $t_0$ , ქვიშაქვების ზედაპირის ფართობი  $S$ , პარამეტრი  $q$  .)



დანადგარის მათემატიკურ მოდელში შემავალი ფიზიკური და  
ექსპერიმენტალური სიდიდეების მნიშვნელობები

რიგითი №	ექსპერიმენტალური და ფიზიკური სიდიდეები		განზ.	სიდიდე
	აღნიშვნა	დასახელება		
1	2	4	5	6
1	$K_0$	კომპლექსური მუდმივა	$\text{კგ/წმ}^0$ K	$4,48 \cdot 10^{-4}$
2	$\alpha$	პროპორციულობის კოეფიციენტი	წმ/კგ	$1,26 \cdot 10^{-6}$
3	$q$	პარამეტრი	$\text{კგ/წმ}$	1000- 3600
4	$q_3$	პარამეტრის კრიტიკული სიდიდე	$\text{კგ/წმ}$	2000
5	$t_{\varphi}$	ცხელი წყლის ტემპერატურა	$^{\circ}\text{K}$	285-370
6	$t_3$	ქვიშაქვების კრიტიკული ტემპერატურა	$^{\circ}\text{K}$	283
7	$t_0$	ქვიშაქვების საწყისი ტემპერატურა	$^{\circ}\text{K}$	283-303
8	$S$	ქვიშაქვების ზედაპირის ფართობი	$\text{მ}^2$	90-300
9	$M$	ქვიშაქვების ნატეხების მასა	კგ	14000
10	$C$	ქვიშაქვების კუთრი სითბოტევადობა	$\text{ჯ/კგ}^{\circ}\text{K}$	$1,65 \cdot 10^{-3}$
11	$\beta$	სითბოს გადაცემის კოეფიციენტი წყლიდან ქვიშაქვებზე	$\text{ჯ/მ}^2\text{წმ}^{\circ}\text{K}$	$10^{-4}$
12	$\tau_n$	ქვიშაქვების ნატეხების აპარატში ყოფნის დრო	წმ	3600
13	$M[P]$	დანადგარის წარმადობის მათემატიკური ლოდინი	$\text{კგ/წმ}$	

## დანადგარის მწარმოებლობის დამოკიდებულება სხვადასხვა პარამეტრებზე

$t_{\varphi}$	$M[P]$	$t_0$	$M[P]$	$S$	$M[P]$	$q$	$M[P]$
1	2	3	4	5	6	7	8
285	0.24	283	3.75	90	1.41	1000	2.07
290	0.51	284	3.78	100	1.66	1100	2.33
295	0.77	285	3.81	110	1.92	1200	2.59
300	1.04	286	3.84	120	2.18	1300	2.85
305	1.31	287	3.86	130	2.45	1400	3.10
310	1.58	288	3.89	140	2.73	1500	3.32
315	1.85	289	3.92	150	3.02	1600	3.51
320	2.11	290	3.94	160	3.30	1700	3.67
325	2.39	291	3.97	170	3.59	1800	3.79
330	2.66	292	4.00	180	3.88	1900	3.86
335	2.92	293	4.02	190	4.19	2000	3.88
340	3.19	294	4.05	200	4.49	2100	3.86
345	3.46	295	4.08	210	4.49	2200	3.79
350	3.72	296	4.11	220	5.09	2300	3.67
355	3.99	297	4.13	230	5.40	2400	3.51
360	4.26	298	4.16	240	5.70	2500	3.32
365	4.53	299	4.19	250	6.00	2600	3.10
370	4.08	300	4.21	260	6.32	2700	2.85
		301	4.24	270	6.63	2800	2.59
		302	4.27	280	6.94	2900	2.33
		303	4.29	290	7.25	3000	2.07
				300	7.56	3100	1.81
						3200	1.56
						3300	1.34
						3400	1.13
						3500	0.94
						3600	0.77

## 2.4 კვარცული ქვიშითა და მტკიცე ქანების ხელოვნური ქვიშით დამზადებული ასფალტბეტონების ნიმუშების ლაბორატორიული გამოცდის შედეგები

კვარცული ქვიშის ასფალტბეტონში გამოყენების ვარგისიანობის დასადგენად და ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების დასადგენად ლაბორატორიულ პირობებში გამოცდილი იქნა ხელოვნური კვარცული ქვიშისა და მტკიცე ქანების ხელოვნური ქვიშის სხვადასხვა თანაფარდობით დამზადებული წვრილმარცვლოვანი და მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის ნიმუშები.

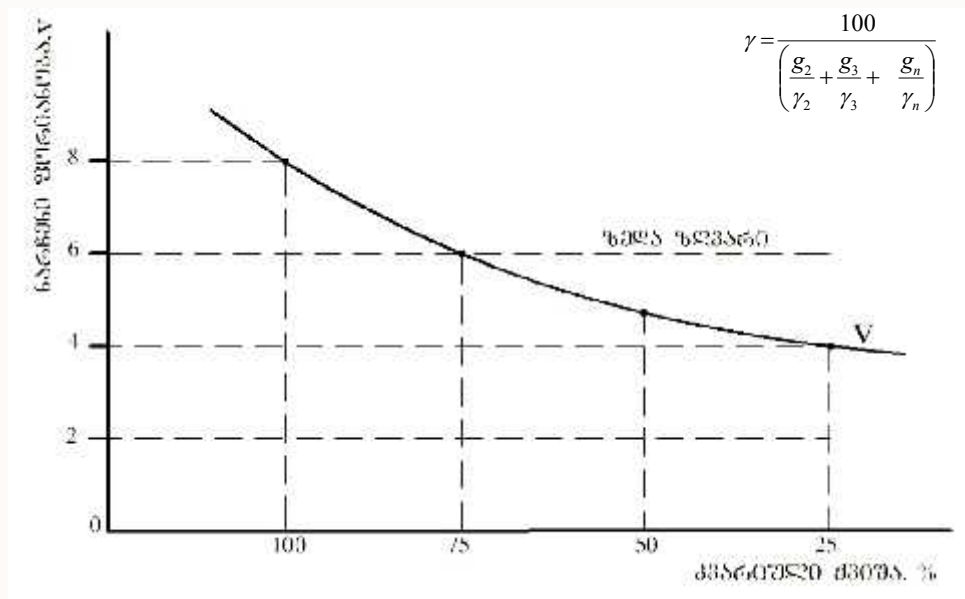
ლაბორატორიული გამოცდები ჩატარდა სახელმწიფო სტანდარტების შესაბამისად ასფალტბეტონების ისეთი პარამეტრების დასადგენად, როგორებიცაა: ასფალტბეტონის მოცულობითი მასა, ასფალტბეტონის ნარჩენი ფორიანობა, ასფალტბეტონის გაჯირჯება, ასფალტბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმშვაზე 50<sup>o</sup> და 20<sup>o</sup> ტემპერატურაზე, ასფალტბეტონის წყალშთანთქმა. მასალების თანაფარდობა აღებული იყო ოთხ ვარიანტად: I ვარიანტი – 100% კვარცული ქვიშა; II ვარიანტი – 75% კვარცული ქვიშა და 25% მტკიცე ქანების ხელოვნური ქვიშა;

III ვარიანტი – 50% კვარცული ქვიშა და 50% მტკიცე ქანების ხელოვნური ქვიშა; IV ვარიანტი – 25% კვარცული ქვიშა და 75% მტკიცე ქანების ხელოვნური ქვიშა.

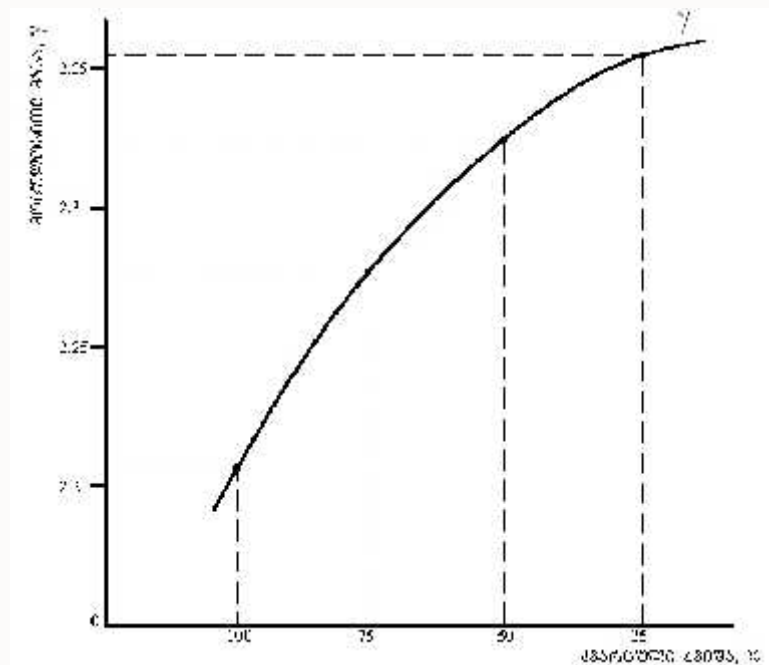
როგორც ლაბორატორიული კვლევების შედეგად დადგინდა, სტანდარტების შესაბამისი მაჩვენებლები მიღწეული იქნა ნიმუშებში თანაფარდობით 50% კვარცული ქვიშა და 50% მტკიცე ქანების ხელოვნური ქვიშა, თუმცა ზოგი პარამეტრი მიიღწევა კვარცული ქვიშის 75% არსებობის შემთხვევაშიც.

ჩატარებული ლაბორატორიული კვლევების მიხედვით აგებულია შესაბამისი გრაფიკები (ნახ-ები 37-48), რომლებზეც ნაჩვენებია წვრილმარცვლოვანი და მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონების

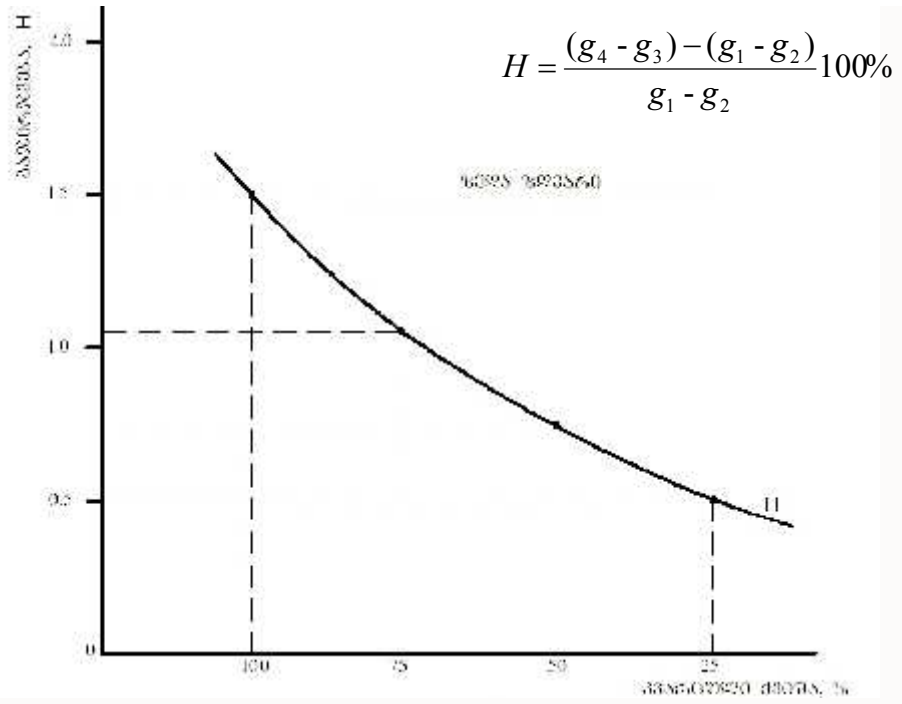
სხვადასხვა ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების განსაზღვრის მიღებული შედეგები.



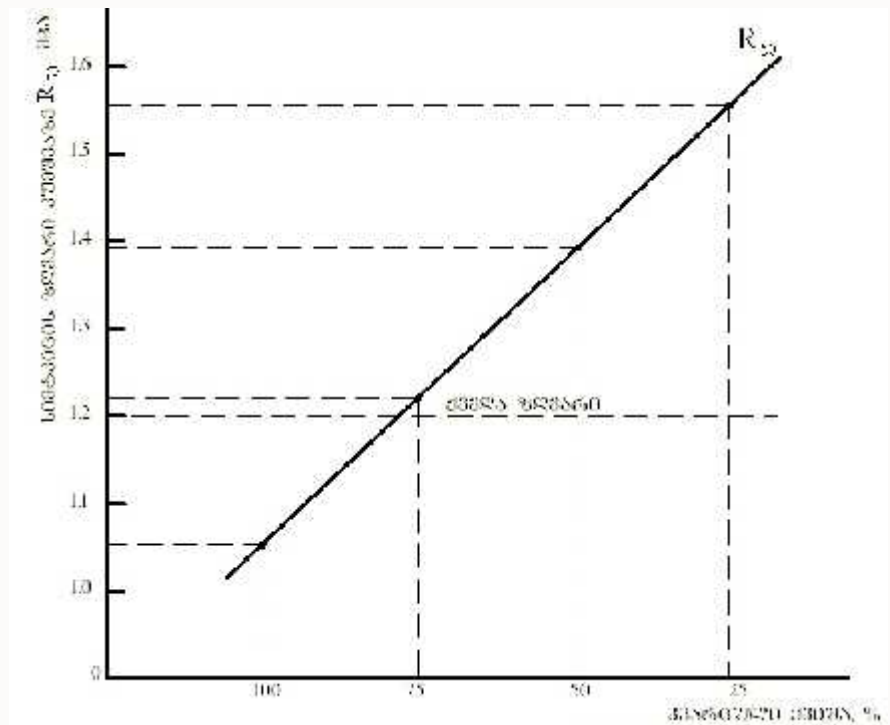
ნახ. 37. წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის ნარჩენი ფორიანობა



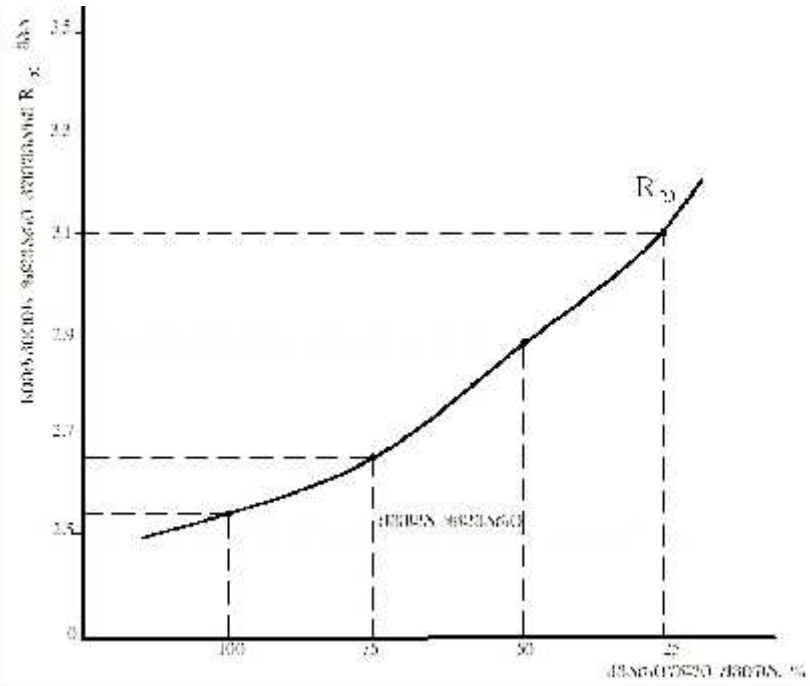
ნახ. 38. წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის მოცულობითი მასა



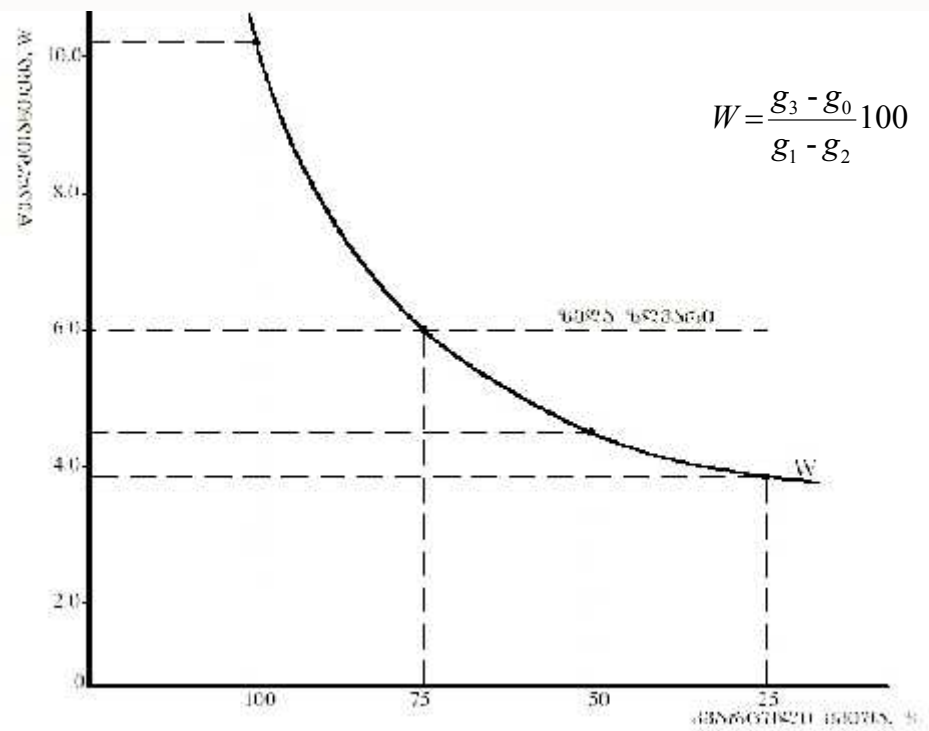
ნახ. 39. წერილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის გაჯირჯვება



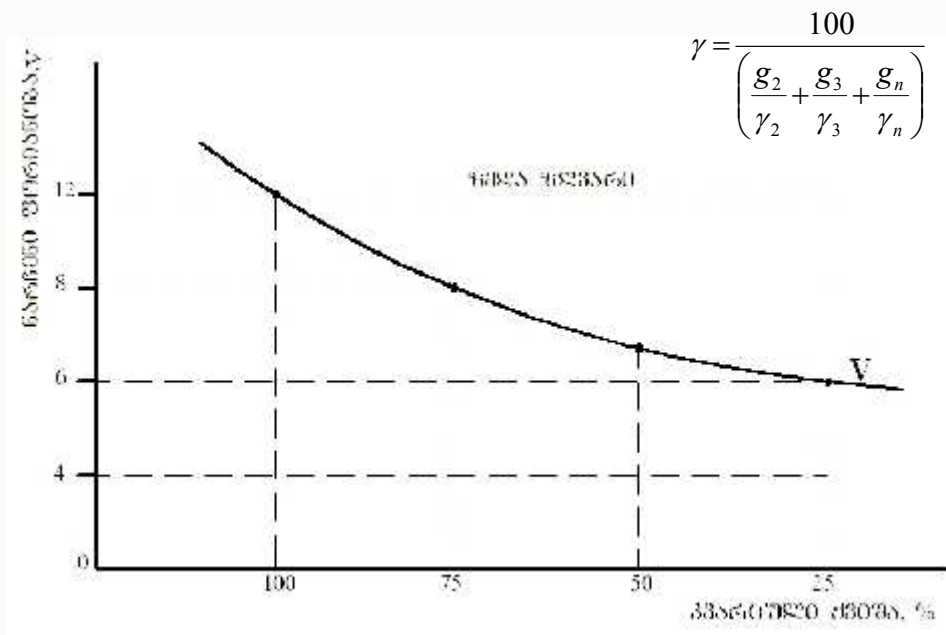
ნახ.40. წერილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმულაზე R 50



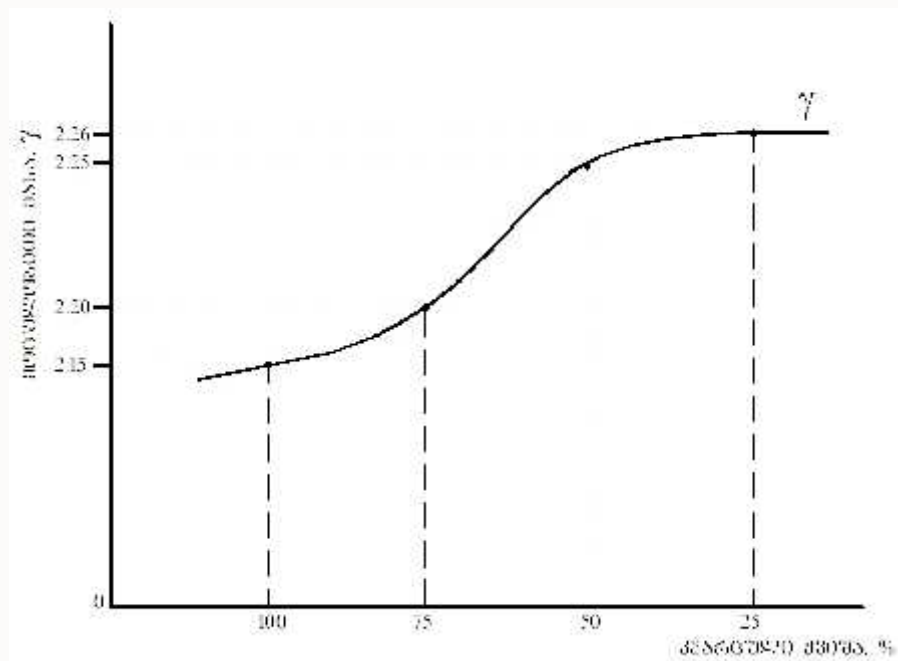
ნახ. 41. წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმშვაზე R<sub>20</sub>



ნახ. 42. წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის წყალშთანთქმა

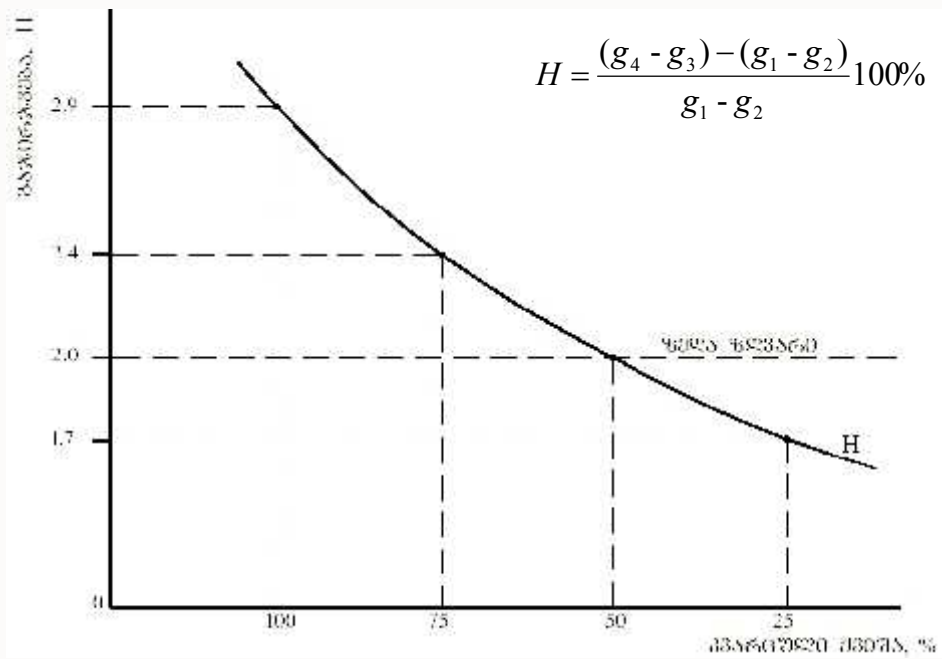


ნახ. 43. მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის  
ნარჩენი ფორიანობა

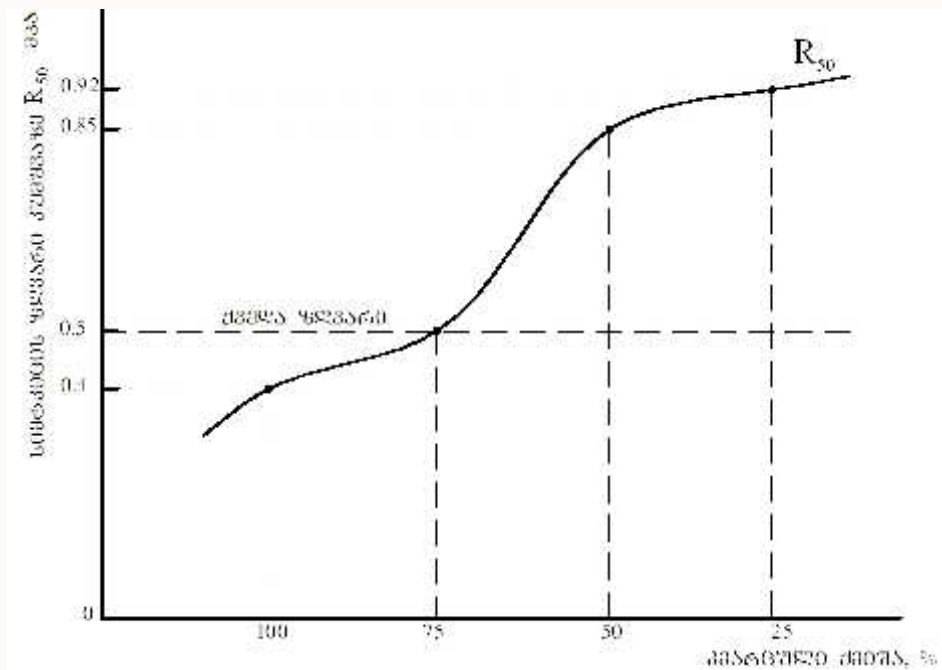


ნახ. 44. მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის  
მოცულობითი მასა

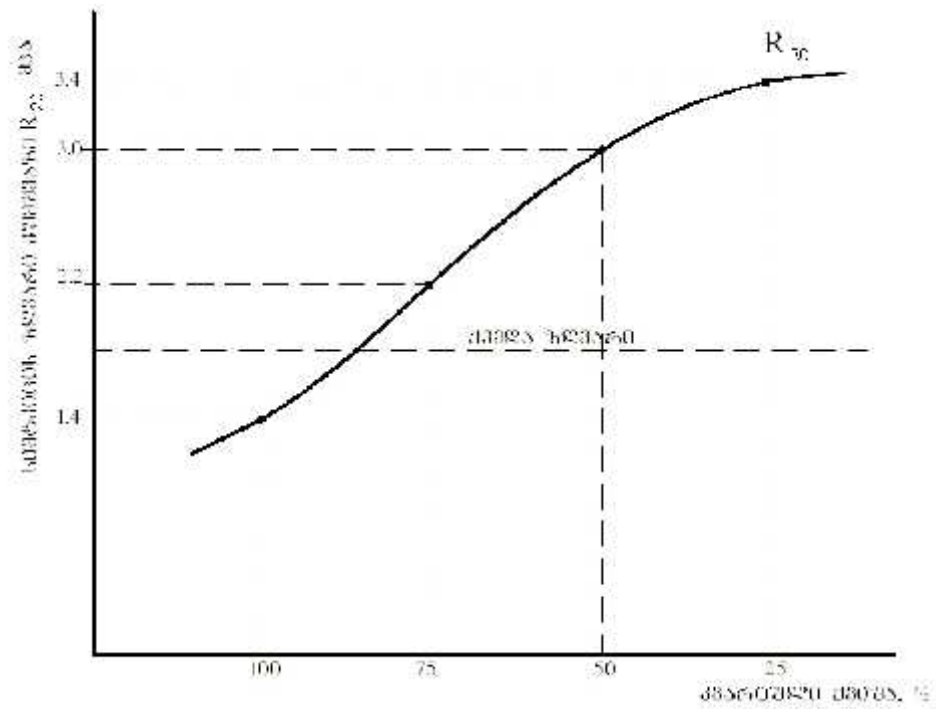




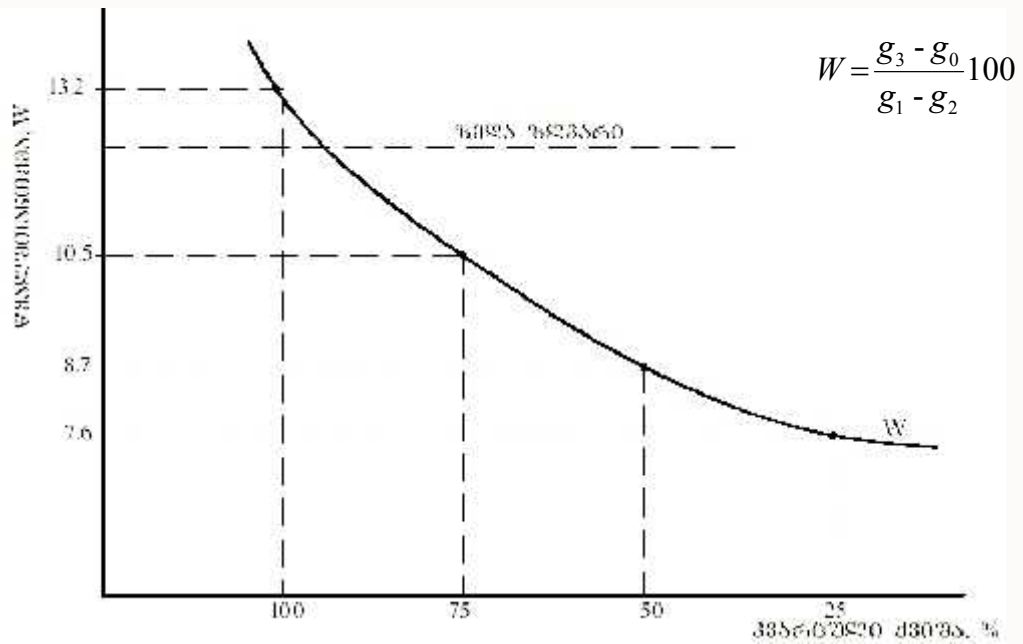
ნახ. 45. მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის გაჯირჯევა



ნახ. 46. მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმულაზე R<sub>50</sub>



ნახ. 47. მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმშვაზე R<sub>რ</sub>



ნახ. 48. მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონის წყალშთანთქმა

## 2.5 ასფალტბეტონის ნარევის დამზადების ახალი “განცალკავებული” ტექნოლოგია და მისი ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობა

ასფალტბეტონის ნარევის დამზადების განცალკავებული ტექნოლოგიის იდეა მეცნიერულად დაასაბუთა, აღწერა და დანერგა პროფესორმა პ.ვ.სახაროვმა. ხელოვნური ბიტუმების ეპოქამ საშუალება მოგვცა ასფალტბეტონის ნარევის დამზადების ტექნოლოგია ფაქტიურად დაგვეყვანა ერთ ძირითად ოპერაციამდე – ნარევის შემადენელი კომპონენტების ერთდროულად გადარევა. განცალკავებულ ტექნოლოგიაზე დაბრუნების უპირატესობა, რომელიც გულისხმობს ასფალტური შემკრავის წინასწარ მომზადებას და მის შემდგომ შერევას დანარჩენ კომპონენტებთან, ყელაზე უფრო სრულად დასაბუთებულია ი.ვ.კოროლიოვის ნაშრომებში, რომლის მხედვითაც იგი განპირობებულია შემდეგით:

- მიიღწევა ნარევიში შემკრავის თანაბარი განაწილება;
- გამოირიცხება მინერალური ფხვნილის მარცვლების აგრერირება;
- მცირდება შემკრავის ხარჯი;
- მცირდება ნარევის დამზადების ენერგოდანახარჯები.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ განცალკავებული ტექნოლოგიით ნარევის დამზადების უპირატესობის დასაბუთება ამ მიდგომით არის არასრულყოფილი და მხოლოდ ნაწილობრივ ასახავს დისპერსული სისტემების (რომლის წარმომადგენელიცაა ასფალტბეტონი) ფიზიკურ-ქიმიური მექანიკის ძირითად იდეას – მათი ხარისხის მიმართული რეგულირება. ასფალტბეტონის შემთხვევაში ეს გამოიხატება მისი საკონტაქტო ზონის თვისებების გათვალისწინებასა და მიმართულ ცვლილებაში. ამასთანავე საკონტაქტოდ ითვლება ზონა, რომელიც შემოსაზღვრულია ყველაზე უფრო ახლოს განლაგებული, მეზობელი მინერალური მარცვლებით. ის შეიცავს ფაზების გაყოფის საზღვარს და

სტრუქტურული ბიტუმის ადსორბციულ-სოლვატურ ფენას. თუ ნარევი ბიტუმის რაოდენობა ოპტიმალურზე მეტია, საკონტაქტო ზონაში შეიძლება შედიოდეს თავისუფალი ბიტუმის ფენაც.[22]

ფაზებს გაყოფის საზღვარზე ურთიერთქმედების პროცესებისა და ბიტუმის თვისებების რეგულირებით შესაძლებელია მივიღოთ საჭირო ხარისხის ბიტუმი. ამასანავე გამართლებულია გამოვიდეთ მოსაზრებიდან, რომ ასფალტბეტონის რეოლოგიური თვისებები (სიმტკიცის, დრეკადობის მოდულის, სიბლანტის და მექანიკური თვისებების სხვა მაჩვენებლების დროზე დამოკიდებულება) განისაზღვრება ბიტუმის რეოლოგიური თვისებებით. ამ მაჩვენებლების აბსოლიტური მნიშვნელობები, გამოცდის ფიქსირებული დროისა და ტემპერატურისას განისაზღვრება ასფალტური შემკრავის მექანიკური მახასიათებლებით. რამდენადაც მინერალურ ფხვნილს გააჩნია უზარმაზარი კუთრი ზედაპირი ღორღთან და ქვიშასთან შედარებით, ასფალტური შემკრავი თავის მხრივ წარმოადგენს ასფალტბეტონის დისპერსიულ გარემოს (მატრიცას), რაც საკმაოდ დამაჯერებლად დასაბუთებული პროფესორ ი.ა. რიბიევის შრომებში. აქედან გამომდინარე ცხადია, რომ ასფალტბეტონის სიმტკიცის რეგულირების რეალურ საშუალებას წარმოადგენს მისი დამზადების განცალკავებული ტექნოლოგია, რომლის დროსაც შესაძლებელია მიზანმიმართულად ვცვალოთ ასფალტურ შემკრავში ან თხიერ ნაწილში (წყვეტილი გრანულომეტრიის შემთხვევაში) გამოყენებული ბიტუმის სიბლანტე.

ასფალტბეტონის სიმტკიცეზე მიკროსტრუქტურული ნაწილის გარკვეული ზეგავლენის დასამტკიცებლად ჩვენს მიერ ჩატარებული იქნა ცდები A ტიპის გრანულომეტრიის მქონე ასფალტბეტონზე, ღორღის შემცველობით 54%.

საწყისი ბიტუმად ავიღეთ ორი სხვადასხვა ტიპის ბიტუმი პირობითი სიბლანტეებით შესაბამისად 78 0,1მმ და 34 0,1მმ.

ჩვენ მოვახდინეთ ბიტუმების შერევა შემდეგი პროპორციით:

30% ბიტუმი, რომლის  $II_{25} = 78 \cdot 0,1$ მმ და 70% ბიტუმი, რომლის  $II_{25} = 34 \cdot 0,1$ მმ. შედეგად მიღებულ იქნა ბიტუმი ნემსის შეღწევადობით  $40 \cdot 0,1$ მმ;

70% ბიტუმი, რომლის  $II_{25} = 78 \cdot 0,1$ მმ და 30% ბიტუმი, რომლის  $II_{25} = 34 \cdot 0,1$ მმ. შედეგად მიღებულ იქნა ბიტუმი ნემსის შეღწევადობით  $55 \cdot 0,1$ მმ;

მიღებული ბიტუმების გამოყენებით დავამზადეთ ასფალტბეტონები ტრადიციული მეთოდით და განცალკავებული ტექნოლოგიით.

$II_{25} = 55 \cdot 0,1$ მმ ბიტუმზე ტრადიციული მეთოდით დამზადებული ასფალტბეტონის სიმტკიცე  $50^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე შეადგენდა 1,6მპა, ხოლო  $II_{25} = 40 \cdot 0,1$ მმ ბიტუმზე დამზადებული ასფალტბეტონის – 1,7მპა.

ასფალტბეტონის დამზადების განცალკავებული ტექნოლოგიის გამოყენების დროს, როდესაც ნარევი ბიტუმის მთელი რაოდენობიდან 70% ბიტუმი  $II_{25} = 78 \cdot 0,1$ მმ შეგვყავდა მის თხიერ ნაწილში, ხოლო 30% ბიტუმი  $II_{25} = 34 \cdot 0,1$ მმ ნაწილდებოდა ღორღზე ასფალტბეტონის სიმტკიცე შეადგენდა 1,4მპა. (ბიტუმების ასეთი თანაფარდობა შეესაბამება  $II_{25} = 55 \cdot 0,1$ მმ ბიტუმს). ხოლო როდესაც 70% ბიტუმი  $II_{25} = 34 \cdot 0,1$ მმ შეგვყავდა მის თხიერ ნაწილში, ხოლო 30% ბიტუმი  $II_{25} = 78 \cdot 0,1$ მმ ნაწილდებოდა ღორღზე ასფალტბეტონის სიმტკიცე შეადგენდა 2,0მპა. (ბიტუმების ასეთი თანაფარდობა შეესაბამება  $II_{25} = 40 \cdot 0,1$ მმ ბიტუმს).[23]

ცდის შედეგები მოცემულია ცხრილში 5.

**ტრადიციული და განცალკევებული ტექნოლოგიით დამზადებული  
ასფალტბეტონების სიმტკიცის მახასიათებლები**

ასფალტბეტონის ნარევის დამზადების ტექნოლოგია	ასფალტბეტონის სიმტკიცე 50°C ტემპერატურაზე, მპა	
	$\Pi_{25} = 55 \cdot 0,1 \text{ მმ}$	$\Pi_{25} = 40 \cdot 0,1 \text{ მმ}$
ტრადიციული წესით	1,6	1,7
განცალკევებული მეთოდით	1,4	2,0

ამგვარად ბიტუმის თანაბარი გასაშუალებული სიბლანტის დროს, როდესაც ნარევეში ბიტუმის ბლანტი ნაწილი ემატება ღორღს, ხოლო ნაკლებად ბლანტი ასფალტურ შემკრავს – მცირდება სისტემის სიმტკიცე და პირიქით უფრო ბლანტი ბიტუმის ასფალტშემკრავზე დამატება ზრდის სისტემის სიმტკიცეს. ეს იძლევა საშუალებას ასფალტბეტონის ნარევის, განცალკევებული ტექნოლოგიით დამზადების დროს, მიზანმიმართულად ვარეგულიროთ მისი სიმტკიცე წინასწარ მომზადებული თხიერი ან ნაკლებბლანტი ბიტუმით დამუშავებული ღორღის გამოყენებით.

ბეტონის სიმტკიცის ფორმირებაში მაკრო და მიკროსტრუქტურული ნაწილების როლის გათვალისწინება, საშუალებას იძლევა გადავჭრათ ერთ-ერთი რთული ტექნოლოგიური ამოცანა – მივიღოთ დექტბეტონის ნარევი, კუპრისა და ბიტუმის ფარდობით 1:1 (აღნიშნულ საკითხებზე მუშაობდნენ ვ.ვ. ბეზდორნი და ვ.ა. ვერენკო). ამ მიზნით დამზადების განცალკევებული ტექნოლოგიის გამოყენებისას კუპრი მარკით Д-6 უნდა შევურიოთ მსხვნდა შევურიოთ მსხვილ შემდგენლებს, ხოლო ბიტუმი მარკით БНД 60/90 – თხიერ ნაწილში. მიღებულ ასფალტბეტონი ხასიათდება შემდეგი მაჩვენებლებით:

- სიმტკიცის ზღვარი 20°C – 4,1მპა;
- სიმტკიცის ზღვარი 50°C – 1,5მპა;
- წყალჟღენთვის კოეფიციენტი –  $K_B = 0,8$ .

ყურადღებას იპყრობს სიმტკიცის მაჩვენებლის შეფარდება  $20^{\circ}\text{C}$  და  $50^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურებზე ( $4,1/1,5=2,73$ ). როგორც ვხედავთ იგი ნაკლებია 3-ზე, რაც დამახასიათებელია ასფალტბეტონისათვის. გარდა ამისა ღუნვაზე სიმტკიცის მაქსიმალური მნიშვნელობა დექტოასფალტბეტონისათვის შეადგენს 10,2მპა, მაშინ როდესაც ასფალტბეტონისა და დექტიბეტონისათვის ეს მაჩვენებელი შეადგენს შესაბამისად 9,9 და 11,7მპა. მაქსიმალური სიმტკიცის მიღწევის ტემპერატურა (სიმყიფის პირობითი ტემპერატურა) ასფალტბეტონისათვის  $12-17^{\circ}\text{C}$  დაბალია, ვიდრე ჩვეულებრივი დექტობეტონის. მიღებული ეფექტი მიიღწევა ასფალტური შემკრავისაგან ასფალტბეტონისათვის დამახასიათებელი ტიპური მატრიცის შექმნით.[24]

განცალკავებული ტექნოლოგიის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ასპექტს წარმოადგენს ქვის მასალის ზედაპირის “აპრეტაცია”, ანუ ბიტუმთან შერევამდე მათი წინასწარი დამუშავება, იმ მიზნით, რომ ფაზების გამყოფ საზღვარზე გაძლიერდეს პროცესები და შესაბამისად მივარწიოთ ადსორბციულ-სოლვატური ფენის განმტკიცებას. ნარევების მომზადების განცალკავებული ტექნოლოგიის ეს სახესხვაობა შესაძლებელია გამოყენებული იქნა დაბალი სიბლანტის ბიტუმების პრაქტიკული გამოყენების ამოცანის გადაჭრის დროს.

ქვის მასალის ზედაპირის წინასწარი დამუშავება (“აპრეტაცია”) შეიძლება ჩატარდეს პოლიეთილენის წარმოების ნარჩენებით – დაბალმოლეკულური პოლიეთილენით (დმპე), დმპე-ს თვისებას გადაეკვრას ქვის მასალის ზედაპირს მაღალი ტემპერატურის დროს მიყვავდით კარგ ადგეზიურ სიმტკიცემდე ფაზების გაყოფის ზედაპირზე, ხოლო ბიტუმისა და დმპე-ს ორგანული ბუნება უზრუნველყოფს ამ უკანასკნელის ბიტუმით კარგად “დასველებას” და მათ ერთობლივ დიფუზიას.



კირქვისა და კვარცის ზედაპირის დმპე-თი დამუშავება ამცირებს მათი ბიტუმით დასველების ზღვრული კუთხეს 6-7<sup>0</sup>-ით. ბიტუმისა და დმპე-ს კომპონენტების ურთიერთდიფუზია დამზადების სტადიაზე ზრდის საკონტაქტო ზონის კოეფიციენტს 0,081მპა-დან 0,162მპა-მდე.

ჩატარებული ექსპერიმენტებით დადგინა, რომ დამზადების განცალკავებული ტექნოლოგიის გამოყენების დროს, როდესაც ხდებოდა მინერალური კომპონენტების წინასწარ დამუშავებაში 1,5-3% დმპე-თი, საშუალება მოგვცა გაგვეზარდა:

- ასფალტბეტონის სიმტკიცე 1,6-2,5-ჯერ;
- სიმტკიცე ზღვარი ძვრაზე 50<sup>0</sup>C-ზე თითქმის 3-ჯერ (0,052-დან 0,145მპა-მდე);
- წყალმედეგობის კოეფიციენტი 0,45-დან 0,7-მდე;
- ყინვამედეგობის კოეფიციენტი გაყინვა-გაღობის 25 ციკლის შემდეგ \_ 0,11-დან 0,57-მდე.

ასფალტბეტონის ფიზიკური თვისებების რეგულირება (შემკრავის ადგეზია ქვის მასალის ზედაპირთან, წყალმედეგობა, ყინვამედეგობა და სხვ.) ჩვეულებრივ მიიღწევა ფაზების გაყოფის საზღვარზე ურთიერთზემოქმედების პროცესის მართვის ხარჯზე. პრაქტიკაში ამ მიზნის მისარწევად ყველაზე ხშირად გამოიყენება ზედაპირულ-აქტიური დანამატები (ზად). ნარევის განცალკავებული მეთოდით დამზადების ტექნოლოგია აქაც ქმნის ახალ პერსპექტივებს.

ბიტუმში ზად-ის დამატების ტრადიციული ტექნოლოგია არ ითვალისწინებს ქვის მასალის მინეროლოგიური შემადგენლობის ყველა სახესხვაობას. კერძოდ, ასფალტბეტონის ნარევი მინერალური ფხვნილი აუცილებლად არის ფუძე ჯიშის, ხოლო ქვის სხვა შემადგენლები შესაძლებელია იყოს მჟავე ჯიშის. ტრადიციული ტექნოლოგიით ხდება, გარკვეული ტიპის ზად-ის დამატება ბიტუმის შემადგენლობაში, მთელ მინერალურ ნაწილზე. ეს იწვევს მის გადახარჯვას, რამდენადაც ის პრაქტიკულად არ მოქმედებს იგივე ნიშნით დამუხტულ ზედაპირზე.

უფრო მეტიც, თუ გავითვალისწინებთ კირქვის ფხვნილის გაკვეთულ როლს ნარევიში სასაზღვრო ზონების ფორმირებაში და ფაზების გაყოფის საზღვარზე ურიერთზემოქმედებით პროცესების ხასიათს, შეიძლება ვამტკიცოთ, რომ ანიონაქტიური ზად-ის გამოყენება ნაკლებეფექტურია. გარდა ამისა ამან შეიძლება გამოიწვიოს ასფალტბეტონის ძვრისადმი მდგრადობის შემცირება (იხ. ცხრილი 6, ნარევი №2).

კათიონური ზად-ის დამატების ტრადიციული სქემა ზრდის ასფალტბეტონის წყალმდეგობას (იხ. ცხრილი 6, ნარევი №4), მაგრამ, თუ გავითვალისწინებთ მინერალური ფხვნილისა და სხვა შემადგენლების ბიტუმოტევადობის თანაფარდობას, იწვევს ზად-ის გადახარჯვას დაახლოებით 25%-ით. კათიონაქტიური ზად-ის მხოლოდ ნარევის მჟავე ჯიშის კომპონენტებზე დამატების განცალკავებულ ტექნოლოგიას ზად-ის ეკონომიასთან ერთად, მივყავართ წყალმდეგობის გარკვეულ გაზრდასთან (იხ. ცხრილი 6, ნარევი №5).

კათიონაქტიური ზად-ის ხარჯვის უფრო მეტ ეკონომიას შეიძლება მივაღწიოთ, ნარევის დამზადების განცალკავებული ტექნოლოგიის სხვა სახესხვაობების გამოყენებით. ის დაფუძნებულია მოსაზრებაზე, რომ ზად-ის მოქმედების ეფექტურობა ასფალტბეტონის წყალმდეგობის გაზრდის თვალსაზრისით, უზრუნველყოფილია მისი მხოლოდ იმ ნაწილით, რომელიც ადსორბირებულია ქვის მასალის ზედაპირზე. ზად-ი რომელსაც შეიცავს დანარჩენი მოცულობა და მათ შორის სტრუქტურული ბიტუმიც – ზედმეტია. ზად-ის ასეთ ადსორბციას შესაძლებელია მივაღწიოთ მჟავე ქვის მასალის ზედაპირის “აპრეტაციით” (წინასწარი დამუშავებით) კათიონაქტიური ზად-ის 1%-იანი წყლის ხსნარით (იხ. ცხრილი 6, ნარევები №6 და 7)

ნარევიში, ბიტუმის შემადგენლობაში ზად-ის დამატების ტრადიციულ მეთოდებთან შედარებით, წყლის ხსნარით “აპრეტაცი” (2%-იანი წყალი, მჟავე ქვის მასალის წონიდან) უზრუნველყოფს ზად-ის ეკონომიას 6–7-ჯერ. ზად-ის წყლის ხსნარის მფრქვევანებით გაფრქვევა

ამრევში, უზრუნველყოფს მის თანაბარზომიერ განაწილებას და წყალბადოვანი რადიკალების ორიენტაციას ჰაერის გარემოსაკენ, შედეგად ბიტუმი კარგად "ასველებს" წინასწარ დამუშავებულ ზედაპირს და გაუმჯობესებულია მისი ადგეზია ამ ზედაპირთან.[25]

ამგვარად, ნარევის დამზადების განცალკავებული ტექნოლოგია, რომელიც დაფუძნებულია კონტაქტურ ზონაში ურთიერთქმედებების პროცესებს თავისებურებების გათვალისწინებაზე, საშუალებას გვაძლევს მივაღწიოთ პრინციპულად ახალ შედეგებს ასფალტბეტონის ნარევების ხარისხის უზრუნველყოფაში, დეფიციტური მასალების ეკონომიაში, ახალი ტიპის შემკრავების გამოყენებაში. მგრამ ცხადია, რომ დამზადების ასეთი ტექნოლოგია უფრო რთულია, ვიდრე ტრადიციული. თუ მხედველობაში მივიღებთ, განცალკავებული ტექნოლოგიით დამზადებული ასფალტბეტონის გაზრდილ ხანგამძლეობას, შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ მომხმარებლის შეკვეთით, ამრევების ტექნიკურად არართული დამატებითი აღჭურვა, ეკონომიურად იქნება გამართლებული.

ცხრილი 6.

ასფალტბეტონის ნარევის ფიზიკურ მექანიკური თვისებები მასში დანამატების ტიპისა და შეყვანის ტექნოლოგიის მიხედვით

ნარევის №	საშუალო სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	გაჯირჯევა, %	წყალგაჯერება, %	სიმტკიცის ზღვარი კუმვაზე, მპა				$K_{ფყ}$	$K_{ფყ}^{ხან6}$	დანამატების შეყვანის ტექნოლოგია და მისი ტიპი
				ტემპერატურა		წყალგაჯერების შემდეგ				
				50°C	20°C	0 დღე-ღამე	14 დღე-ღამე			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2390	0,29	2,02	1,81	5,1	4,78	3,97	0,93	0,78	ჩვეულებრივი: ზად-ის გარეშე
2	2420	0,37	1,11	1,322	5,17	4,95	4,19	0,95	0,81	ჩვეულებრივი: 2%-იანი ზად-ი ბიტუმში
3	2350	0,18	0,97	1,55	1,82	4,65	3,85	0,96	0,8	განცალკავებული: მინერალურ ფხვნილზე ბიტუმი 2% ანიონაქტიური ზად-ით, დანარჩენზე –სუფთა ბიტუმი

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	2370	0,24	2,97	1,7	5,61	5,23	4,85	0,92	0,86	ჩვეულებრივი: 1,5%-იანი კათიონაქტიური ზად-ი ბიტუმში
5	2330	0,11	1,96	1,97	5,93	5,56	5,3	0,94	0,89	განცალკავებული: ბიტუმი 1,5% კათიონაქტიური ზად-ით, ყველაფერზე გარდა მინერალური ფხვნილისა
6	2330	0,38	2,87	1,61	5,13	4,31	3,9	0,84	0,76	ჩვეულებრივი: ზად-ის გარეშე
7	2330	0,33	3,14	1,61	4,49	4,37	4,0	0,97	0,89	განცალკავებული: კათიონაქტიური ზად-ის 1% წყლის ხსნარი, ყველაფერზე გარდა მინერალური ფხვნილისა

## დასკვნები

ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევებისა და საწარმოო შემოწმების შემდეგ შეიძლება დავასკვნათ, რომ სუსტადშეკავშირებული კვარცული ქვიშაქვების ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ტექნოლოგიური პროცესით დაშლა-დაქუცმაცების მიღებული ხელოვნური კვარცული ქვიშის გამოყენება საგზაო მეურნეობაში ხასიათდება შემდეგი ტექნიკურ-ეკონომიკური უპირატესობით:

- საგზაო მშენებლობაში ასფალტბეტონების და სხვა ბიტუმინერალური მასალების დამზადებისას კვარცული ქვიშაქვებისაგან მიღებული ხელოვნური ქვიშის გამოყენება დაახლოებით 10%-ით ამცირებს გზების სარეაბილიტაციო სამუშაოების ღირებულებას;

- დაახლოებით 2-ჯერ მცირდება მდინარეების ჭალებიდან ქვის მასალის მოპოვების მოთხოვნილება, რაც ხელს შეუწყობს გარემოს ეკოლოგიური პირობების გაუმჯობესებას;

- კვარცული ქვიშაქვების გადამუშავების თბოტენიანი მეთოდი გამორიცხავს ჰაერში მავნე აირების გავრცელებას;

- ჩვენს მერ შემოთავაზებული კვარცული ქვიშაქვების დასამტვრევი მანქანა უწყვეტად ახორციელებს მასალის დამტვრევას, ამასთანავე მოითხოვს მინიმალურ ენერგო დანახარჯებს;

- თბოტენიანი დაშლის პროცესში წყალი ასრულებს დადებით ფაქტორს, რაც გამოიხატება შემდეგში: მნიშვნელოვნად ამცირებს კვარცულ ქვიშაქვებში შინაგანი ხახუნის და შინაგანი ბმის ძალებს და ხელს უწყობს ქვიშაქვების ნატეხების დაქუცმაცების პროცესის გაძლიერებას, რაც დადებითად მოქმედებს საბოლოო პროდუქციის მიღების გაიოლებაზე; ამასთანავე იგი გამორიცხავს ნაწილაკების ურთიერთშეწებებას ტექნოლოგიური პროცესის განმავლობაში და შესაბამისად უზრუნველყოფს მის ფხვიერ მდგომარეობას ტრანსპორტირების პერიოდში;

– ცხელი წყლის გარემოდან ქვიშაქვების ნატეხებზე სითბოგადაცემა დაახლოებით 1,5-ჯერ მეტია ცხელი გაზების გარემოსთან შედარებით, რაც განაპირობებს ქვიშაქვების ნატეხების დაშლის პროცესის სითბურ ენერგიის მინიმიზაციას, ამასთანავე სითბოგადაცემის პროცესი კიდევ უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს იძულებითი არევის დროს;

– გამოთვლებით დადგინდა, რომ საბაზისო კარიერების გახსნისა და ღორღის ქარხნების მშენებლობის ღირებულება 3 წელიწადში იქნება ანაზღაურებული, ხოლო მათგან მიღებული ეკონომიკური ეფექტი 1,2-2-ჯერ აღემატება ადგილობრივ კარიერებზე დამტვრეული ხრეშის გამოყენებით მიღებულ ეკონომიკურ ეფექტს. ამას ემატება უდიდესი ეკოლოგიური ფაქტორი, რამდენადაც დაახლოებით 2-ჯერ შემცირდება მდინარეთა კალაპოტებიდან ქვის მასალის ამოღება;

– ქვიშაქვების დაშლის შედეგად მიღებული კვარცული ქვიშები გამოირჩევიან წვრილი, საშუალო და მსხვილმარცვლოვანი ნაირსახეობით. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ნიმუშების აღების ადგილზე შეიმჩნევა სხვადასხვა სახის ქვიშაქვების ქანების მოკლე მანძილებში ურთიერთ შენაცვლება. ძირითადად ჭარბობს საშუალომარცვლოვანი ქვიშა. აქედან გამომდინარე, რეკომენდირებულია სხვადასხვა ფრაქციის ქვიშების ურთიერთშერევა სასურველი გრანულომეტრიული შემადგენლობის მისაღწევად.

– ხელოვნური კვარცული ქვიშაქვების მიღების თვითღირებულება 20-25%-ით მცირეა, ვიდრე სხვა, მტკიცე ქანების გადამუშავებით მიღებული ხელოვნური ქვიშებისა;

– საგზაო მშენებლობაში ხელოვნური კვარცული ქვიშაქვების გამოყენება სრულად უზრუნველყოფს მიღებული პროდუქციისათვის წაყენებულ სამშენებლო ნორმებისა და სტანდარტების დაცვას. როგორც ლაბორატორიული კვლევების შედეგად დადგინდა, სტანდარტების შესაბამისი მაჩვენებლები მიღწეული იქნა ნიმუშებში თანაფარდობით 50%



კვარცული ქვიშა და 50% მტკიცე ქანების ხელოვნური ქვიშა, თუმცა ზოგი პარამეტრი მიიღწევა კვარცული ქვიშის 75% არსებობის შემთხვევაშიც.

– ხელოვნური კვარცული ქვიშის გამოყენებით შექმნილი ფენილის ძვრისადმი მდგრადობის წინასწარი შეფასების მიზნით შექმნილია ფენილების ძვრაზე გამოცდის ლაბორატორიული მეთოდი და შესაბამისი ხელსაწყო, რომელიც შედარებით გამარტივებულია და საშუალებას იძლევა განსაზღვრულ იქნეს ასფალტბეტონის ძვრისადმი მდგრადობის პარამეტრების აბსოლუტური რიცხვითი მნიშვნელობები, სადაც გათვალისწინებულია ჰორიზონტალური ძალებისგან გამოწვეული დატვირთვები და დეფორმაციები. აღნიშნულიდან გამომდინარე გამოცდის შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ძვრისადმი მდგრადობის ანალიზურ (საანგარიშო) სქემებში;

– დამუშავებულია ფენილის ცვეთაზე გამოცდის ლაბორატორიული მეთოდი და ხელსაწყო, რომელიც საშუალებას იძლევა ლაბორატორიულ პირობებში მოხდეს მშენებლობაში გამოსაყენებელი ასფალტბეტონის ფენილის ცვეთის მოდელირება და მისი სიდიდის პროგნოზირება, რომლის საფუძველზე შესაძლებელია ფენილის ექსპლუატაციის პერიოდში ცვეთის ნორმატიული სიდიდეების განსაზღვრა.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. გოგლიძე ვ., ბურდულაძე დ., დუნდუა მ. საავტომობილო გზების ექსპლუატაცია. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 1997, 87 გვ
2. გოგლიძე ვ. საავტომობილო გზების მშენებლობა. თბილისი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 1989, 92 გვ
3. გოგლიძე ვ. საავტომობილო გზების მშენებლობის ტექნოლოგია. თბილისი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 1991, 90 გვ.
4. მჭედლიშვილი კ., ბურდულაძე ა., გელაშვილი ო., არჩვაძე გ. საავტომობილო გზები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2009, 164 გვ.
5. Методические указания к курсовому проекту по строительству дорожных одежд автомобильных дорог для студентов специальности "Автомобильные дороги и аэродромы". Москва: МАДИ, 1995, 40 ст.
6. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц. Москва: Академия, 2008, 352 ст.
7. Косых, А.В. Искусственные и природные строительные материалы и изделия: учеб. пособие / А.В. Косых, Н.А. Лохова, И.А. Макарова. – Братск: БрГУ, 2006. – 188 с.
8. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Абразивные\\_материалы\\_и\\_абразивная\\_обработка](http://ru.wikipedia.org/wiki/Абразивные_материалы_и_абразивная_обработка) - უკანასკნელად გადამოწმებული იქნა – 02.04.2013
9. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Песок> - უკანასკნელად გადამოწმებული იქნა – 02.04.2013
10. ძიძიგური მ. საგზაო-სამშენებლო მასალები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2005, 491 გვ.
11. Гаркави М.С. Волохов А.С. и др. Использование песков из отсевов дробления при изготовлении мелкоштучных элементов мощения // Строительные материалы. - 2003. - №6. - С.38-39.
12. Силкин В.В., Лупанов А.П. Асфальтобетонные заводы: учебное пособие. Москва: Экон, 2008, 266 ст.
13. Корчагина О.А., Однолько В.Г. Проектирование состава тяжёлого, лёгкого и силикатного бетона: Учебное пособие. - Тамбов: Издательство ТГТУ, 2010. - 96 с.
14. Соловьев Б. Н., Силкин В. В. Елисеев В. Е. Асфальтобетонные заводы. Москва: Транспорт, 1993, 208 ст.
15. <http://www.npo-center.com/article1/> - უკანასკნელად გადამოწმებული იქნა – 02.04.2013
16. Каменев С. Н. Строительство автомобильных дорог и аэродромов. Москва: ИнФолио, 2010, 384 ст.
17. Яковлев Ю.М., Коганзон М.С., Горячев М.Г. Организация и технология строительства дорожных одежд. Москва: МАДИ, 2001, 65 ст.

18. Корочкин А. В. Проектирование усиления дорожных одежд. Москва: МАДИ, 2007, 86 ст.
19. Бабков В. Ф. Автомобильные дороги. Москва: Транспорт, 1993, 302 ст.
20. Попов В. Г., Строительство автомобильных дорог. Москва: МАДИ, 2001, 185 ст.
21. Каменецкий Б. И., Кошкин И. Г. Автомобильные дороги. Москва: Транспорт, 1999, 175 ст.
22. Р. Б. Гун. Нефтяные битумы, Москва: Химия, 1973. 432 ст.
23. Kim Y. Modeling of Asphalt Concrete. New-York: McGraw-Hill Professional, 2008, 460 p.
24. Croney P., Croney D. Design and Performance of Road Pavements. New-York: McGraw-Hill Professional, 2008, 528 p.
25. ГОСТ 9128-97 Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. Москва: МНТКС, 1999.