

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

იური სალუქვაძე

ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი
ბეტონის თვისებების კვლევა და დანერგვა საავტომობილო გზებზე

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა მშენებლობა

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2018 წელი

საავტორო უფლება © 2018 წელი, იური სალუქვაძე

თბილისი

2018 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში
სამშენებლო ფაკულტეტი
სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიის და საშენი
მასალების დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი მერაბ ლორთქიფანიძე
რეცენზენტი: პროფესორი ზეინაზ ქარუმძე
რეცენზენტი: ტ.მ.დ. თამაზ შილაკაძე

დაცვა შედგება 2018 წლის 20 ივლისს 14⁰⁰ საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს
კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 508 ,
მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 77

სადისერტაციო საბჭოს

სწავლული მდივანი:

პროფესორი დემური ტაბატაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით იური სალუქვადის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „**ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის თვისებების კვლევა და დანერგვა საავტომობილო გზებზე**“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი 20.07.2018 წ.

ხელმძღვანელი:

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2018 წელი

ავტორი: იური სალუქვაძე

დასახელება: ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის თვისებების კვლევა და დანერგვა საავტომობილო გზებზე

ფაკულტეტი : სამშენებლო

აკადემიური ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

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

ავტორის ხელმოწერა

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

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

რეზიუმე

საქართველოს ეკონომიკური განვითარება მეტწილად დამოკიდებულია მისი, როგორც სატრანზიტო ქვეყნის, პოტენციალის ეფექტურ გამოყენებაზე. საქართველოს, როგორც ევროპა-აზიის დამაკავშირებელი სატრანსპორტო დერეფნის ნაწილის ფუნქცია მნიშვნელოვნად გაიზარდა, ეს აძლიერებს დასავლეთისა და აღმოსავლეთის სახელმწიფოების ინტერესს საქართველოს, როგორც სატრანსპორტო ღერძზე მდებარე ქვეყნის - სტაბილური განვითარების მიმართ, რაც, პირველ რიგში, გულისხმობს საქართველოში ხარისხიანი სატრანზიტო საგზაო ინფრასტრუქტურის შექმნას და განვითარებას. თანამედროვე საავტომობილო გზების მშენებლობის ინდუსტრიაში აქტუალურია ხანმდეგი და ეკონომიური დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონების გამოყენება.

ბეტონი 21-ე საუკუნეშიც მოთხოვნად კონსტრუქციულ საშენ მასალად რჩება, ამიტომ საჭიროა ინოვაციური, ეკონომიკურად და ეკოლოგიურად გამართლებული ტექნოლოგიების შემუშავება. საქართველოს სამშენებლო ბაზარი ითხოვს ახალი თაობის ბეტონების გამოყენებას, ნანოტექნოლოგიების მორგებას ადგილობრივ პირობებთან, რაც საშუალებას იძლევა შეიქმნას მრავალფუნქციური, ნანომოდიფიცირებული მაღალტექნოლოგიური საშენი მასალები. მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლა უაღრესად აქტუალურია. საქართველოში საგზაო ბეტონის მდგრადობის და საექსპლოატაციო მახასიათებლების გაზრდისათვის საჭიროა დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის თვისებების კვლევა და შესწავლა, რათა შემდგომში მოხდეს მათი დანერგვა საავტომობილო გზებზე მისი ეფექტურობის და ეკონომიურობის თვალსაზრისით.

კვლევის მიზანს წარმოადგენს ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური

თვისებების კვლევა და მიღებული შედეგების დანერგვა საავტომობილო გზებზე.

ნებისმიერი ექსპერიმენტული გამოკვლევისას, ერთის მხრივ, საჭიროა დიდი რაოდენობის ცდების განხორციელება, მაღალი სიზუსტის მისაღწევად, მეორეს მხრივ, აუცილებელია მინიმალური დანახარჯებით და უმოკლეს დროში, ზუსტი შედეგების მისაღებად საკმარისი ცდების, ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა. ამ პრობლემის გადასაჭრელად პრაქტიკაში, ამოცანის სირთულის მიხედვით შეიძლება გამოყენებული იქნას ექსპერიმენტების დაგეგმარების სტატისტიკური და მათემატიკური მეთოდები. საშენი მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დადგენის პროცესში, ჩვენს მიერ გამოყენებულ იქნება გაზომვების შედეგების ნორმალური კანონით განაწილების ჰიპოთეზა, რომლის თანახმად მიღებული მონაცემების გაზნევა განპირობებულია შერჩეული მეთოდის აუცილებელი ცდომილებით და კვლევის ობიექტის არაერთგვაროვნებით.

საკვლევი თემის განხორციელების შედეგად მიიღება მდგრადი დატკეპნილი ბეტონი საავტომობილო გზებისთვის ქიმიური დანამატების გამოყენებით, რომელიც მოგვცემს საგზაო ინფრასტრუქტურის გაუმჯობესებას და ეკონომიურ ეფექტს საავტომობილო გზების მშენებლობისა და ექსპლოატაციის პროცესში.

Abstract

Georgia's economic development largely depends on its effective use of its transit country potential. The value of Georgia as the part of Europe-Asia corridor has increased; this increases the interest of western and eastern countries to Georgia as to the country that laid on the transit axes that implies transit infrastructure creation and development in Georgia. It is important to use compacted concrete with additive in modern road construction industry.

Even in the 21 century concrete is remained as the vital constructive building material, therefore innovative, economic and environmentally protected technologies are needed. Georgian construction market requires use of concrete of new generation, adaptation of nanotechnologies to the local realities that will give the ability to create multifunctional, nano-technological high effective materials. It is highly important to research their physical and mechanical states. For to increase the road resistance in Georgia study of compacted concrete with the additives is necessary to implement the latter in the future for roads construction. The aim of the research is study of physical-mechanical properties of the compacted concrete with the additives based on the local materials.

Any experimental study needs large number of experiments from one side in order to achieve high accuracy and optimal number of the experiments with minimal charges and in the shortest period of time from the other side. To solve this problem in practice it is possible to use experiments planning static and mathematical methods. For to research physical-mechanical properties of the materials we will use distribution hypothesis, measurements results by normal law according to which divergence of the obtained results is caused by the error of method and inhomogeneity of the object.

It will be obtained resistable compacted concrete with additives for the motor roads that will improve roads infrastructure and give us saving rate while construction of the roads and their exploitation.

შინაარსი

შესავალი-----	16
თავი I. საკითხის დასმა. ლიტერატურის მიმოხილვა -----	21
1.1 საერთო ცნობები დატკეპნილი ბეტონის და მისი ეფექტურობის შესახებ -----	21
თავი II. დატკეპნილი ბეტონის საფარის ზოგადი გამოყენება -----	26
2.1 პორტები, ინტერმოდალური ობიექტები და მძიმე სამრეწველო ობიექტები -----	28
2.1.1 ტრანსპორტის ტიპი -----	28
2.1.2 დაპროექტება -----	29
2.1.3 ზედაპირის მახასიათებლები -----	29
2.1.4. ნაკერების ამოჭრა -----	29
2.2 მსუბუქი სამრეწველო ტერიტორიები -----	30
2.1.1 ტრანსპორტის ტიპი -----	30
2.2.2 სისქის განსაზღვრა -----	30
2.2.3 ზედაპირის მახასიათებლები -----	31
2.3 აეროპორტის მომსახურება -----	31
2.3.1 ტრანსპორტის ტიპი -----	32
2.3.2 ზედაპირის მახასიათებლები -----	32
2.3.3 ნაკერების ამოჭრა -----	32
2.4 მაგისტრალური ქუჩები -----	33
2.4.1 ტრანსპორტის ტიპი -----	33
2.4.2 ზედაპირის მახასიათებლები -----	33
2.4.3 ნაკერების ამოჭრა -----	34
2.5 ადგილობრივი ქუჩები -----	35
2.5.1 ტრანსპორტის ტიპი -----	35
თავი III. დატკეპნილი ბეტონის მახასიათებლები და მასალები -----	36
3.1 დატკეპნილი ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები ----	36
3.1.1 სიმტკიცე -----	36
3.1.2 სიმტკიცე კუმშვაზე -----	37

3.1.3 სიმტკიცე გაჭიმვაზე ღუნვის დროს -----	37
3.2 დრეკადობის მოდული -----	38
3.2.1 სიმტკიცის შემცირება (დაღლილობა) -----	39
3.2.2 სიმტკიცე ღუნვაზე -----	39
3.2.3 ყინვამედეგობა -----	39
3.2.4 კუმშვა -----	42
3.3. ტკეპნილი ბეტონის მასალების შერჩევა -----	43
3.3.1 შემავსებლები -----	43
3.3.2 შემკვრელი მასალები -----	47
3.3.3 წყალი -----	49
3.3.4 ქიმიური მინარევები -----	49
თავი IV. ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის თვისებების თეორიული კვლევა -----	51
4.1 ტკეპნილი ბეტონის ნარევის პროპორციები -----	51
4.2. მასალების გათვალისწინება ტკეპნილი ბეტონის პროპორციების შერჩევისას -----	52
4.2.1 შემავსებლები -----	52
4.2.2 წყალი -----	53
4.2.3 შემკვრელი მასალა -----	53
4.2.4 ქიმიური დანამატები -----	53
4.2.5 სიმტკიცე კუმშვაზე -----	53
4.2.6 ბეტონის კონსისტენციის მეთოდი -----	54
4.2.7 ოპტიმალური მასის მოცულობის მეთოდი -----	54
4.2.8 შემკვრელი მასალების შერჩევა -----	55
4.2.9 ტენის და სიმკვრივის დამოკიდებულების შექმნა -----	55
4.3 ტკეპნილი ბეტონის წარმოება -----	57
4.3.1 ტკეპნილი ბეტონის შემრევი ქარხნები -----	59
4.3.2 დოზირება და მონიტორინგი -----	61
თავი V. ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის თვისებების ექსპერიმენტალური კვლევა -----	63

5.1 ბეტონის საფარის სატკეპნით დაგება როგორც წესი მოიცავს შემდეგ პროცესებს -----	63
5.2 პირველი ფენა, ქვედა ფენა და ძირითადი ფენის მომზადება -----	64
5.3 ტკეპნილი ბეტონის საფარის მოწყობა -----	67
5.4 ტკეპნილი ბეტონის საფარის დატკეპვნა ვიბროკატოკებით -----	68
5.5 ადგილობრივი ინერტული მასალების გრანულომეტრიული ანალიზი -----	70
5.6 ცემენტის აქტივობის დადგენა -----	74
5.6.1 პორტლანდცემენტი -----	74
5.6.2 ნორმატიული დოკუმენტის დასახელება, რის მიხედვითაც ტარდება გამოცდა -----	74
5.6.3 ცემენტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები -----	75
5.7 არსებული ქიმიური დანამატის შესწავლა -----	77
5.7.1 მიკროსილიკა -----	77
5.8. დატკეპნილი ბეტონის დამზადების ტექნოლოგიის შემუშავება და ოპტიმალური ნარევის მიღება -----	79
5.9 დატკეპნილი ბეტონების ნიმუშების გამოცდა სიმტკიცეზე და წყალშეუღწევადობის პარამეტრების დადგენა -----	81
თავი VI. საკვლევი თემის პრაქტიკული გამოყენება და დანერგვა -----	91
თავი VII. საბაზო და დატკეპნილი ბეტონის ნიმუშების ცვეთამედეგობის განსაზღვრა -----	96
თავი VIII. ძირითადი დასკვნები -----	101
გამოყენებული ლიტერატურა -----	104

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. სატკეპნით დაგებული ბეტონის პროპორციების შერჩევა ----	51
ცხრილი 2. სატკეპნით დაგებული ბეტონის წარმოების ეტაპების რუკა -	59
ცხრილი 3. მარცვლოვანი შემადგენლობა (გრანულომეტრია) -----	70
ცხრილი 4. მტვრისებრი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა -----	71
ცხრილი 5. ნაყარი სიმკვრივე (მოცულობითი მასა) -----	71
ცხრილი 6. ჭეშმარიტი სიმკვრივე (37.5-19.0) -----	71
ცხრილი 7. ჭეშმარიტი სიმკვრივე (19.0-4.75) -----	71
ცხრილი 8. ტენიანობა -----	72
ცხრილი 9. მარცვლოვანი შემადგენლობა (გრანულომეტრია) -----	72
ცხრილი 10. მტვრისებრი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა ----	72
ცხრილი 11. ნაყარი სიმკვრივე (მოცულობითი მასა) -----	73
ცხრილი 12. ჭეშმარიტი სიმკვრივე (4.75-1.18) -----	73
ცხრილი 13. ჭეშმარიტი სიმკვრივე (1.18-0.15) -----	73
ცხრილი 14. ტენიანობა -----	73
ცხრილი 15. ცემენტის ქიმიური შემადგენლობა -----	74
ცხრილი 16. ცემენტის დაფქვის სიწმინდის განსაზღვრა (ნარჩენი საცერზე) -----	75
ცხრილი 17. ცემენტის ნორმალური ცომის სისქის განსაზღვრა -----	75
ცხრილი 18. ცემენტის შეკვრის ვადების განსაზღვრა (დასაწყისი და დასასრული) -----	76
ცხრილი 19. ცემენტის დულაბისაგან დამზადებული ნიმუშების გამოცდა ღუნვაზე და კუმშვაზე საწყისი მონაცემები -----	76
ცხრილი 20. გამოცდის შედეგები -----	77
ცხრილი 21. საბაზო ბეტონის ნარევის რეცეპტი -----	79
ცხრილი 22. სილიკას დამატება ცემენტის 5% -----	80
ცხრილი 23. საბაზო დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას, კლასის დადგენა -----	82
ცხრილი 24. დანამატიანი (მიკროსილიკას დამატება ცემენტის 5%) დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას, კლასის დადგენა -----	83

ცხრილი 25. საბაზო დატკეპნილი ბეტონის ნიმუშებში წყალშეუღწევადობის განსაზღვრა -----	84
ცხრილი 26. დანამატიანი (მიკროსილიკას დამატება ცემენტის 5%) დატკეპნილი ბეტონის ნიმუშებში წყალშეუღწევადობის განსაზღვრა ---	85
ცხრილი 27. ნიმუშების გეომეტრიული ზომები და მასები მოცემულია -	97
ცხრილი 28. გაზომვების შედეგები და გამოთვლილი მასის დანაკარგები	98

გრაფიკი ნუსხა

გრაფ. 4.1. შემოთავაზებული შემავსებლის გრადაციის ხაზი და 0.45 ძალის რკალი	56
გრაფ. 4.2. ტენიანობის და სიმკვრივის რკალი	56

სურათების ნუსხა

სურ. 1.1 ტკეპნილი ბეტონის საფარის მოწყობა -----	21
სურ.1.2 საცხოვრებელი ქუჩა -----	23
სურ. 1.3 შიდასახელმწიფოებრივი გზა -----	23
სურ. 2.1. ტკეპნილი ბეტონით საფარის მოწყობა -----	27
სურ. 2.2. დატკეპნილი ბეტონის საფარის მოწყობა აეროპორტში -----	32
სურ. 2.3. დატკეპნილი ბეტონის საფარის მოწყობა მაგისტრალურ გზაზე -----	34
სურ. 2.4 დატკეპნილი ბეტონის საფარის მოწყობა ადგილობრივ ქუჩაზე	35
სურ. 3.1 მსხვილმარცვლოვანი და წვრილმარცვლოვანი შემავსებლების ნიმუშები -----	45
სურ. 4.1 დატკეპნილ ბეტონში გამოყენებული მასალები -----	52
სურ.4.2 დატკეპნილი ბეტონის საფარების სტრუქტურული დიზაინი --	57
4.3 ტკეპნილი ბეტონის წარმოება -----	58
სურ.4.4. მოძრავთავიანი დოლურა შემრევი -----	61
სურ. 4.5 ჰორიზონტალურ ბუნკიანი შემრევი (მარცხნივ) და შემრევი ახლო ხედი (მარჯვნივ) -----	61
სურ.5.1 დატკეპნილი ბეტონის საფარის მოწყობა -----	64
სურ.5.2 პირველი ფენის მომზადება -----	65
სურ.5.3 ფოლადის დოლურიანი და რეზინის საბურავებიანი სატკეპნები -----	69
სურ. 5.4-5.21 ექსპერიმენტის ფოტო მასალა -----	86-90
სურ.6.1 ნიმუშების ამობურღვა საექსპერიმენტო გზის საფარიდან -----	92
სურ. 6.2 სიმტკიცის დადგენა ურღვევი კონტროლის მეთოდით -----	93
სურ. 6.3 გზის საფარიდან ამობურღული ცილინდრული ნიმუშები -----	93
სურ. 6.4. ლაბორატორიაში დამზადებული დატკეპნილი ცილინდრული ნიმუშები -----	94
სურ. 7.1 ÷ 7.5 ნიმუშები გამოიცადა ბიომეს აპარატში -----	98÷100

შესავალი

თემის აქტუალობა და სამეცნიერო სიახლე. საქართველოს ეკონომიკური განვითარება მეტწილად დამოკიდებულია მისი, როგორც სატრანზიტო ქვეყნის, პოტენციალის ეფექტურ გამოყენებაზე. საქართველოს, როგორც ევროპა-აზიის დამაკავშირებელი სატრანსპორტო დერეფნის ნაწილის ფუნქცია მნიშვნელოვნად გაიზარდა, ეს აძლიერებს დასავლეთისა და აღმოსავლეთის სახელმწიფოების ინტერესს საქართველოს, როგორც სატრანსპორტო ღერძზე მდებარე ქვეყნის - სტაბილური განვითარების მიმართ, რაც პირველ რიგში, გულისხმობს საქართველოში ხარისხიანი სატრანზიტო საგზაო ინფრასტრუქტურის შექმნას და განვითარებას. თანამედროვე საავტომობილო გზების მშენებლობის ინდუსტრიაში აქტუალურია ხანმედეგი და ეკონომიური დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონების გამოყენება.

ბეტონი 21-ე საუკუნეშიც მოთხოვნად კონსტრუქციულ საშენ მასალად რჩება, ამიტომ საჭიროა ინოვაციური, ეკონომიკურად და ეკოლოგიურად გამართლებული ტექნოლოგიების შემუშავება. საქართველოს სამშენებლო ბაზარი ითხოვს ახალი თაობის ბეტონების გამოყენებას, ნანოტექნოლოგიების მორგებას ადგილობრივ პირობებთან, რაც საშუალებას იძლევა შეიქმნას მრავალფუნქციური, ნანომოდულიცირებული მაღალტექნოლოგიური საშენი მასალები. მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლა უაღრესად აქტუალურია.

ჩატარდა ამ სფეროში არსებული მდგომარეობის კვლევები და ანალიზი. პროექტის მთავარ მიზანს წარმოადგენს ისეთი თვისებების მქონე დატკეპნილი ბეტონის შექმნა, რომელიც წარმატებით იქნება გამოყენებული საავტომობილო გზების საფარის მოწყობაში. მოძიებული იქნა და კრიტიკულად გაანალიზდა აშშ არმიის ინჟინერთა კორპუსის ნორმატული დოკუმენტი დატკეპნილი ბეტონის შესახებ - „Roller-Compacted concrete”, Engineering and Design. U.S. Army Corps of Engineers, DC 20314-1000, Manual No. 1110-2-2006. ეს დოკუმენტი დატკეპნილი ბეტონების შესახებ ყველაზე ავტორიტეტულია და ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოს მასშტაბით. მასში გაანალიზებულია მსოფლიოში სხვადასხვა პერიოდში გამოყენებული (მათ შორის კამხლებში, საავტომობილო გზებში და ა.შ.), დატკეპნილი ბეტონების

მრავალფეროვანი შემადგენლობები (რეცეპტები), რომლის საფუძველზეც შემოთავაზებულია თანამედროვე რეცეპტების შექმნის სქემა. გავითვალისწინეთ რა საქართველოში ხელმისაწვდომი ადგილობრივი წარმოების შემკვრელების და შემავსებლების არსებობა, ჩვენ მიერ დასახულ გეგმაში შეტანილი იქნა ხსენებული ნორმატიული დოკუმენტთან შედარებით რეცეპტის შექმნის ახლებური მიდგომა, რომელიც ითვალისწინებს მიკროსილიკის დამატებას ცემენტის ან ნაცრის მტვრის გარკვეული რაოდენობის ჩანაცვლებით. პროექტის ერთერთი მნიშვნელოვანი შედეგი იქნება მისი განხორციელება და დანერგვა ჩვენი უშუალო მონაწილეობით.

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა და მიღებული შედეგების დანერგვა საავტომობილო გზებზე.

კვლევის მიზნის მისაღწევად შესასრულებელია შემდეგი ამოცანები:

1. ბეტონის ნარევის პროექტირებისათვის, ადგილობრივი შემკვრელი, შემკვები მასალებისა და დანამატების სრული ინფორმაციის დადგენა და მოქმედების გეგმის შემუშავება;
2. ოპტიმალური შემადგენლობის დატკეპნილი ბეტონის ნარევის შერჩევა და მათი გამოყენებით მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე დატკეპნილი ბეტონის მიღება;
3. დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცის, წყალშთანთქმის, წყალშეუღწევადობის, და ცვეთადობის შესწავლა მიღებული საერთაშორისო სტანდარტების გათვალისწინებით;
4. საავტომობილო გზის მონაკვეთში დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონით ექსპერიმენტალური საფარის მოწყობა;
5. დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის ლაბორატორიულ და საველე პირობებში მიღებული შედეგების ანალიზი და დანერგვა საავტომობილო გზებზე;
6. საბოლოო ანგარიშის შედგენა, რეკომენდაციების და დასკვნების მომზადება და მისი პოპულარიზაცია.

მხოლოდ ექსპერიმენტული მეთოდების გამოყენებით არის შესაძლებელი სამშენებლო მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დადგენა. ასეთი კომპლექსური სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების ექსპერიმენტული მეთოდებით

შესრულებისას აუცილებელია სისტემური მიდგომა. პირველ რიგში დასაბუთებული უნდა იყოს ექსპერიმენტული გამოკვლევების აუცილებლობა და მეთოდოლოგია. შერჩეული უნდა იქნეს მოდელის დასამზადებელი მასალები, მოდელირების მასშტაბი და შესაბამისი აპარატურა. გამოყენებითი ხასიათის ამოცანებისათვის აუცილებელია ექსპერიმენტული სამუშაოს მიზნების შეთანხმება საკვლევი კონსტრუქციის თავისებურებებთან და ტექნოლოგიურ პროცესთან, რაც მოითხოვს კოორდინირებას კონსტრუქტორებთან და ტექნოლოგებთან. ექსპერიმენტული სამუშაოების მეთოდოლოგია უნდა ხასიათდებოდეს კარგი განმეორებადობით და საჭირო სიზუსტით.

ნებისმიერი ექსპერიმენტული გამოკვლევისას, ერთის მხრივ, საჭიროა დიდი რაოდენობის ცდების განხორციელება, მაღალი სიზუსტის მისაღწევად, მეორეს მხრივ, აუცილებელია მინიმალური დანახარჯებით და უმოკლეს დროში, ზუსტი შედეგების მისაღებად საკმარისი ცდების, ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა. ამ პრობლემის გადასაჭრელად პრაქტიკაში, ამოცანის სირთულის მიხედვით შეიძლება გამოყენებული იქნას ექსპერიმენტების დაგეგმარების სტატისტიკური და მათემატიკური მეთოდები. საშენი მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დადგენის პროცესში, ჩვენს მიერ გამოყენებულ იქნება გაზომვების შედეგების ნორმალური კანონით განაწილების ჰიპოთეზა, რომლის თანახმად მიღებული მონაცემების გაბნევა განპირობებულია შერჩეული მეთოდის აუცილებელი ცდომილებით და კვლევის ობიექტის არაერთგვაროვნებით.

საკვლევი თემის მიზნის მისაღწევად დასმულია შემდეგი ამოცანები:

1. ექსპერიმენტული სამუშაოების ორგანიზაცია და დაგეგმვა;
2. ადგილობრივი შემავსებლის, შემკვრელი ნივთიერების გამოყენებით საბაზო და დანამატის ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლა;
3. დანამატის დატკეპნილი ბეტონის ნიმუშების დაყალიბება დატკეპვნის მეთოდით;
4. დანამატის დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცის, წყალშთანთქმის, წყალშეუღწევადობის და ცვეთადობის განსაზღვრა;
5. ქვესაგები ფენის დატკეპნის კოეფიციენტის და დრეკადობის მოდულის განსაზღვრა.

არსებობს მრავალი ნაადრევი რღვევის გამომწვევი ფაქტორი, რომლებიც უარყოფითად მოქმედებენ ბეტონის სტრუქტურაზე. მაგალითად სიმციფე, ფორიანობა, ზედაპირული ბზარები, გარემო ტემპერატურა, წყლის ქიმიური მოქმედება, გამოფიტვა, გაცვეთა და სხვა.

საქართველოში საგზაო ბეტონის მდგრადობის და საექსპლოატაციო მახასიათებლების გაზრდისათვის საჭიროა დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის თვისებების კვლევა და შესწავლა, რათა შემდგომში მოხდეს მათი დანერგვა საავტომობილო გზებზე მისი ეფექტურობის და ეკონომიურობის თვალსაზრისით.

კვლევის მოსალოდნელი შედეგების სამეცნიერო ღირებულება, პრაქტიკული გამოყენება და კვლევის შედეგების გავრცელების გეგმა. საქართველოს როგორც ევროპა-აზიის დამაკავშირებელი სატრანსპორტო დერეფნის ფუნქცია მნიშვნელოვნად გაიზარდა, ამიტომ უაღრესად მნიშვნელოვანია მივიღოთ მდგრადი და ეკონომიური საგზაო ინფრასტრუქტურა. საკვლევი თემის განხორციელების შედეგად მიიღება მდგრადი დატკეპნილი ბეტონი საავტომობილო გზებისთვის ქიმიური დანამატების გამოყენებით, რომელიც მოგვცემს საგზაო ინფრასტრუქტურის გაუმჯობესებას და ეკონომიურ ეფექტს საავტომობილო გზების მშენებლობისა და ექსპლოატაციის პროცესში. მოსალოდნელი შედეგები აისახება სამეცნიერო პუბლიკაციებში, სამეცნიერო სემინარებსა და კონფერენციებზე.

პირველ თავში მოცემულია დატკეპნილი ბეტონების ლიტერატურული მიმოხილვა და მისი გამოყენების ეფექტურობა საავტომობილო გზებზე;

მეორე თავში წარმოდგენილია დატკეპნილი ბეტონის საფარის ზოგადი გამოყენება, როგორცა პორტები, ინტერმოდალური ობიექტები და მძიმე სამრეწველო ობიექტები, მსუბუქი სამრეწველო ტერიტორიები, აეროპორტის მომსახურება, მაგისტრალური ქუჩები, ადგილობრივი ქუჩები;

მესამე თავში განხილულია დატკეპნილი ბეტონის მახასიათებლები და მასალები. სატკეპნით დაგებული ბეტონის მახასიათებლები სტანდარტული ბეტონის საფარის მსგავსია, კერძოდ, სიმტკიცე კუმშვაზე - ღუნვაზე, წყალშეუღწევადობაზე და ა.შ.

დატკეპნილი ბეტონი შეიცავს იგივე ძირითად მასალებს, რასაც სტანდარტული ბეტონი - მსხვილმარცვლოვანი და წვრილმარცვლოვანი შემავსებლები, შემკვრელი

მასალები (ცემენტი, ნაცარი, და ა.შ.), წყალი, ქიმიური დანამატები - თუმცა ისინი გამოიყენება სხვადასხვა პროპორციებით;

მეოთხე თავში მოცემულია ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის თვისებების თეორიული კვლევა . ხარისხიანი დატკეპნილი ბეტონის ნარევის მისაღებად მასალების შერჩევასთან ერთად გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მასალების სწორ პროპორციებს. ნარევის შექმნის პროცესში უნდა ჩაატაროთ ლაბორატორიული ცდები და გამოიყენოთ სამეცნიერო და სისტემური მიდგომა, რომელიც ითვალისწინებს სასურველ საიჟინრო თვისებებს, სამშენებლო მოთხოვნებს და ეკონომიას.

ნარევის პროპორციების რამდენიმე მეთოდი წარმატებით გამოიყენება მთელი მსოფლიოს მასშტაბით ტკეპნილი ბეტონის სტრუქტურებისთვის; ამასთანავე, რთულია ერთი პროცედურის გამოყოფა სტანდარტულ პროცედურად;

მეხუთე თავში წარმოდგენილია ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის თვისებების ექსპერიმენტალური კვლევა. ბეტონის საფარის სატკეპნით დაგება როგორც წესი მოიცავს შემდეგ პროცესებს: დოზირება და შერევა, პირველი ფენის და ქვედა ფენის მომზადება, ტრანსპორტირება, დაგება, დატკეპვნა, ნაკერების გაკეთება, გასწორება და დაცვა;

მეექვსე თავში განხილულია საკვლევი თემის პრაქტიკული გამოყენება და დანერგვა;

მეშვიდე თავში მოცემულია საბაზო და დატკეპნილი ბეტონის ნიმუშების ცვეთამედეგობის განსაზღვრა;

მერვე თავში წარმოდგენილია ძირითადი დასკვნები.

თავი I. საკითხის დასმა. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. საერთო ცნობები დატკეპნილი ბეტონის და მისი ეფექტურობის შესახებ

სტანდარტული ბეტონის და ტკეპნილი ბეტონის დატვირთვის ამტანობას თუ შევადარებთ პირველი შვიდი დღის შემდეგ, დატკეპნილ ბეტონს აქვს საკმაოდ კარგი ამტანობა დატვირთვაზე იმისთვის, რომ გაუძლოს მსუბუქი სატრანსპორტო საშუალებების მოძრაობას (როგორცაა შენობასთან მიმავალ გზაზე შესვლა ან გამოსვლა) უშუალოდ დაგების შემდეგ. დატვირთვის ამტანობა გამოწვეულია მრავალჯერადი დატკეპვნის პროცესის შედეგად და მსუბუქ სატრანსპორტო საშუალებებს აძლევს საშუალებას გაიარონ დატკეპნილი ბეტონის საფარზე მასალის დაზიანების ან განადგურების გარეშე. თუმცა, მსუბუქი სატრანსპორტო საშუალებების გარდა სხვა ტრანსპორტის მოძრაობა არ არის რეკომენდირებული სანამ როგორც ტკეპნილი ბეტონის, ისე სტანდარტული ბეტონის საფარი არ მიაღწევს ადეკვატურ სიმტკიცეს კუმშვაზე - როგორც წესი (15,0 და 20,0 მპა).



სურ. 1.1 დატკეპნილი ბეტონის საფარის მოწყობა

დატკეპნილი ბეტონით საფარის მოწყობა არის ეკონომიური და სწრაფად იგება ბევრი ტიპის საფარისთვის. მას ტრადიციულად იყენებენ საფარებისთვის, რომლებმაც უნდა გაუძლოს მძიმე დატვირთვას დაბალი სიჩქარის ადგილებში, მისი შედარებით უხეში ზედაპირის გამო. თუმცა, ბოლო წლებში მისი გამოყენება კომერციულ ტერიტორიებზე და ადგილობრივი ქუჩებისთვის და გზატკეცილებისთვის გაზრდილია.

ქვემოთ ჩამოთვლილია გამოყენების სფეროები:

- სამრეწველო ქარხანის მისასვლელი გზები და პარკირების ადგილები;
- ინტერმოდალური გადაზიდვის ეზოები, პორტები და დატვირთვის ნავსადგომები;
- სატვირთოს/ტვირთის ტერმინალები, საბითუმო ტვირთის საწყობი და განაწილების ცენტრები;
- დაბალი მოცულობის ურბანული და სასოფლო გზები;
- თვითმფრინავების პარკირების ადგილები;
- სამხედრო გრძელ- ან მოკლევადიანი დატვირთვის ზონები, გადაზიდვის ან გადატანის ბაზები ოპერაციებისთვის და საჰაერო ტრანსპორტის გაჩერების ადგილები;
- რეკრეაციული ტრანსპორტის საწყობი;
- სატრანსპორტო საშუალებების ტექნიკური მომსახურების ადგილები ან დასაწყობების ადგილები;
- დიდი კომერციული პარკინგის ადგილები;
- გზები საჯარო პარკებში;
- გზები ხე-ტყის მასალის და ხერხვის ოპერაციებისთვის;
- გზატკეცილების შესახვევები;
- დროებითი სამგზავრო ბილიკები, რომლებიც უნდა აშენდეს სწრაფად საგზაო მოძრაობის მიმართულების შესაცვლელად.



სურ.1.2 საცხოვრებელი ქუჩა



სურ. 1.3 შიდასახელმწიფოებრივი გზა

დატკეპნილ ბეტონთან დაკავშირებული დანაზოგი სტანდარტულ ბეტონთან შედარებით ძირითადად გამომდინარეობს ცემენტის შემცირებული შემცველობის, შემცირებული ფორმირების და დაგების ხარჯების შედეგად და მშენებლობის

შემცირებული დროის წყალობით. ამასთანავე, დატკეპნილი ბეტონი არ საჭიროებს ფორმებს ან გაპრიალებას და არ გჭირდებათ თარაზო შვეული და არმატურა [14; 16]

სატკეპნით დაგებული ბეტონის სხვა უპირატესი მახასიათებლები მოიცავს შემდეგს:

- ტკეპნილ ბეტონში წყლის მასის ნაკლები შემცველობა იწვევს ბეტონის ნაკლებად შეკუმშვას და დაბზარვას კუმშვისგან გამომდინარე დატვირთვის გამო;
- ტკეპნილი ბეტონი შეიძლება დააგოთ ისე, რომ მიიღოთ ძალიან მრუდე ადგილები, რომელიც იძლევა საშუალებას გაუძლოს მძიმე დატვირთვებს ჩავარდნის გარეშე - როგორცაა მძიმე ინდუსტრიული, სამთო, და სამხედრო დანიშნულების გზები;
- დაბალი შეღწევადობის გამო, სატკეპნით დაგებული ბეტონი უზრუნველყოფს შესანიშნავ გამძლეობას და ამტანობას ქიმიური შეტევების მიმართ, ყინვის პირობებშიც კი;
- ტკეპნილ ბეტონს არ უჩნდება ნატეხები და არ საჭიროებს შემდგომ შეკეთებას, გარდა იმ ადგილებისა სადაც მუშაობს მძიმე მუხლუხებიანი ტექნიკა ან საბურღები;
- მრეწველობაში გამოყენებისთვის - როგორცაა ნაგავსაყრელები, ხის გადამუშავების ობიექტები და ავზების სადებები - დრო და ხარჯები, რომლებიც უკავშირდება ერთობლივ ტექნიკურ მომსახურებას, შესაძლებელია თავიდან იქნეს აცილებული ვინაიდან როგორც წესი არ არის საჭირო დეფორმაციული ნაკერები;
- დატკეპნილი ბეტონი უზრუნველყოფს ქიმიური ნივთიერების და ბზარების მიმართ გამძლეობას ინდივიდუალურ ადგილებში, სადაც ადგილი აქვს წერტილოვან დატვირთვას მისაბმელიანი მანქანებით;
- ტკეპნილი ბეტონის საფარი ამტანია ცვედთადობის მიმართ, სტანდარტული ბეტონის საფარის მსგავსად, მძიმე დატვირთვის და დიდი ოდენობის მოძრაობის დროსაც კი;
- დატკეპნილი ბეტონის საფარების ღია ფერის ზედაპირის გამო, მცირდება განათების მოთხოვნები პარკირების და სასაწყობე ტერიტორიებზე;

- გამვლელ მსუბუქ სატრანსპორტო საშუალებებს, როგორცაა მანქანები და მსუბუქი სატვირთოები, შეუძლიათ გადაადგილდნენ ძალიან დაბალი სიჩქარით სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარზე დამთავრებიდან მალევე, მისი დაზიანების გარეშე;
- დატკეპნილ ბეტონში შესაძლებელია როგორც ბუნებრივი, ისე ხელოვნური წვრილმარცვლოვანი შემავსებლების გამოყენება;
- წვრილმარცვლოვანი შემავსებლები, რომლებიც არ გამოდგება ასფალტის საფარებისთვის, შეიძლება გამოიყენოთ დატკეპნილი ბეტონის საფარის მოსაწყობად;
- ნარევიდან გამომდინარე, მაღალი სიმკვრივის საფარების გამოყენებისას, ტკეპნილი ბეტონი შეიძლება დაიგოს (25.0 სმ) სისქის ფენებად;
- ტკეპნილი ბეტონის საფარს აქვს მზის არეკვლის მაჩვენებელი (SRI), რომელიც აღემატება მინიმუმ 29-ს, რომელიც მოითხოვება ენერგო და გარემოს დაცვის პროექტირების მართვაში (LEED), LEED კრედიტის 7 შესაბამისად: „სითბოს კუნძულის ეფექტი“ (დამატებითი ინფორმაციისთვის, იხ. <http://www.usgbc.org>);
- დატკეპნილი ბეტონის ყინვა-მედეგობაზე გამძლეობა მაღალია, ჰაერით გაჯერების გამოყენების შემთხვევაშიც კი. ათწლეულების მანძილზე, სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარები ცივ რეგიონებში კანადაში და ჩრდილოეთ შეერთებულ შტატებში ავლენდნენ შესანიშნავ გამძლეობას ყინვა-დნობაზე.

თავი II. დატკეპნილი ბეტონის საფარის

ზოგადი გამოყენება

ტკეპნილი ბეტონის გამოყენება განსხვავდება საბაზო მასალის გამოყენებისგან, ზედაპირის გარეშე, ალმასით გაპრიალებული გზატკეცილის საფარისგან. გამოყენების ტიპი ხშირად გვკარნახობს სიზუსტეს, რომელიც საჭიროა პროექტირებაში და მშენებლობაში.

მას შემდეგ რაც პირველად გამოიყენეს აშშ-ში და კანადაში 1970-იან წლებში, ტკეპნილი ბეტონი გამოყენებულ იქნა საფარების პროექტში მკაცრ და ნორმალურ კლიმატებში ყველა ტიპის ბორბლების დატვირთვის ქვეშ და აჩვენა შესანიშნავი მდგრადობა მძიმე ტექნიკის დატვირთვის ქვეშ და რთულ სამუშაო პირობებში. ჩვეულებრივ, მძიმე დატვირთვის საფარები სატკეპნით დაგებული ბეტონით იგება ხის გადამამუშავებელი ქარხნების ეზოებში, ინტერმოდალურ ტერმინალებში და სხვა სამრეწველო ტერიტორიებზე. თუმცა, ბოლო 10 წლის მანძილზე დატკეპნილი ბეტონის გამოყენება იზრდება დაბალფასიანი საფარების მიღების მიზნით ბევრ სტანდარტულ გზატკეცილზე და ქუჩაზე.

ვინაიდან დატკეპნილი ბეტონი ძალიან მშრალი ნარევი, რომელიც 75-დან 85 პროცენტამდე შემავსებლებს შეიცავს, შემავსებლების სწორი შეფარდება საშუალებას იძლევა ნარევი დაიტკეპნოს, რომელიც უზრუნველყოფს საჭირო სიმკვრივეს და ნარევის სიმტკიცეს.

სწორი შემრევის შერჩევა მნიშვნელოვანია ერთგვაროვანი ნარევის მისაღებად და დამგებისთვის მუდმივი მიწოდებისთვის. წარმოების, მათ შორის შემრევი ქარხნის თითოეული ტიპის კოეფიციენტის შესახებ დამატებითი ინფორმაციისთვის.

ტკეპნილი ბეტონის ნარევის ტრანსპორტირება ხდება თვითმცლელელებით და იგება ასფალტის ტიპის საგებით. მაღალი სიმკვრივის ასფალტის საგებები როგორც წესი გამოიყენება ერთ შრიანი საფარებისთვის (25,0სმ) სისქით და მრავალშრიანი საფარებისთვის, რომლის სისქე (17.8 სმ) მეტია. სატკეპნით დაგებული ბეტონის დაგების შესახებ დამატებითი ინფორმაციისთვის.



სურ. 2.1. დატკეპნილი ბეტონით საფარის მოწყობა

დატკეპნილი ბეტონის დაგების ბევრი შემთხვევა არ საჭიროებს ნაკერებს. თუმცა, ნაკერების გაკეთება შესაძლებელია ბზარების ადგილების გამოწვევისთვის, ესთეტიკური შესახედაობის გაუმჯობესებისთვის ან გაბზარული ადგილების შემცირებისთვის და ზედმეტი დატვირთვის გადატანის მისაღებად.

შესაბამისი გამოყენებისთვის ტკეპნილი ბეტონის გამოყენება შედეგად გვაძლევს მდგრად საფარს - რომელიც აკმაყოფილებს დღევანდელი ინფრასტრუქტურის ეკონომიკურ, გარემოს დაცვით და სოციალურ მოთხოვნებს. დატკეპნილი ბეტონის საფარები წარმოადგენს მდგრად არჩევანს შემდეგი მახასიათებლების გამო:

- მცირე პირდაპირი ენერჯია დაბალი მწარმოებლურობის და ტექნიკური მომსახურების ენერჯიის მცირე გამოყენების გამო;
- სამშენებლო საწვავის შემცირებული მოხმარება ასფალტის დაგებასთან შედარებით, უფრო მაღალი ფენების გამო;
- ბუნებრივი შემავსებლების გამოყენების შესაძლებლობა ყველაზე იაფი საშუალებით (სუბსტანციური გრანულარული ქვედა ფენის გამორიცხვით), და ამავდროულად მაღალი სტრუქტურული დატვირთვის გამტარიანობით;

- სამრეწველო დამატებითი მასალების მოხმარების შესაძლებლობა, როგორცაა ნაცარი, მიწა, გრანულირებული ბალასტური ღუმელის წიდა და გამომწვარი სილიკატი;
- ხანგრძლივი გამძლეობა;
- საბურავების გამძლეობა, რაც ზრდის საწვავის ეკონომიას;
- ნეგატიური ტექსტურა (საჭიროა რბილი საფარებისთვის);
- მეორადი გამოყენების შესაძლებლობა მომავალში ბეტონად ან გრანულარულ ბაზად გამოყენებისთვის;
- მაღალი სიციხის და სინათლის არეკვლის უნარი.

2.1 პორტები, ინტერმოდალური ობიექტები და მძიმე

სამრეწველო ობიექტები

პორტები და მძიმე სამრეწველო ობიექტები არის დიდი, ღია სივრცეები რამდენიმე დაბრკოლებით, რომელმაც შესაძლოა დააყოვნოს სამშენებლო პროცესი, რაც მათ იდეალურს ხდის ტკეზნილი ბეტონით მოწყობილი საფარით.

პორტებში და სხვა მძიმე სამრეწველო ობიექტებზე საფარები უნდა იყოს ძლიერი და გამძლე, იმიტომ რომ კონტეინერის გადასატან ტექნიკას შეიძლება ჰქონდეს დატვირთვა (14,0-დან 27,0-მდე ტ/კვ/მ) ან მეტი ერთ საბურავზე. იქ სადაც სასურველი სისქე (25.0 სმ) მეტია, საჭიროა ორი ფენა.

2.1.1 ტრანსპორტის ტიპი

- მძიმე კონტეინერების გადასატანი ტექნიკა და სატვირთოები, რომელთა დატვირთვა (14-დან 27,0-მდე ტონა) ერთ საბურავზე, არ არის უჩვეულო
- მოძრაობის სიჩქარე როგორც წესი არის (45,0 კმ/სთ) ან ნაკლები
- ზოლებად დაყოფილი მოძრაობისთვის, როგორცაა შესასვლელი გზები და სატვირთოებისთვის გათვლილი ზოლები, გათვალისწინებულ უნდა იქნეს გვერდულების დატვირთვა. სატკეპნით დაგებული ბეტონის მთლიანი ზედაპირის გადამეტების თავიდან აცილებისთვის, რათა არ დავუშვათ

გვერდულის დატვირთვა, გათვალისწინებულ უნდა იქნეს გასქელებული გვერდულები ან უფრო ფართო მონაკვეთები.

2.1.2 დაპროექტება

- აშშ ინჟინერთა შენაერთების (USACE) მეთოდი და დატკეპნილი ბეტონის დაგების კომპიუტერული პროგრამა ყველაზე გავრცელებული პროექტირების მეთოდებია, რომლებიც ამ მიზნით გამოიყენება.

2.1.3 ზედაპირის მახასიათებლები

- ზედაპირის შესახედაობა და ტექსტურა მნიშვნელოვანია, თუმცა ზოგადად არ ენიჭება დიდი მნიშვნელობა.
- ზედაპირის სისწორეს როგორც წესი აქვს (9.5 მმ) მაქსიმალური სხვაობა (3,0 მმ) სწორი კუთხისთვის.
- მოძრაობის დაბალი სიჩქარე [45,0 კმ/სთ]) იძლევა საშუალებას გამოყენებულ იქნეს სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარი.

2.1.4. ნაკერების ამოჭრა

- ვინაიდან ტკეპნილი ბეტონის საფარში ალაგ-ალაგ ბზარები როგორც წესი მჭიდროა და ესთეტიკა როგორც წესი არ არის მნიშვნელოვანი მძიმე ტექნიკის გამოყენებისთვის, როგორც წესი არ არის საჭირო ნაკერების ამოჭრა.
- ღია საცავ და დატვირთვის ადგილებში, სადაც არ არის კონცენტრირებული მოძრაობა ხაზში, ნაკერების ამოჭრა შესაძლებელია კვადრატულად, განივი (4.0-დან 6.0 მ-მდე) ინტერვალებით (20.0 სმ) ნაკლები სისქის საფარებისთვის და რომელიც 3-4-ჯერ ნაკლებია საფარის სისქეზე (20.3 სმ) სისქის ან უფრო მეტი.
- ადგილებში, სადაც გვაქვს კონცენტრირებული დატვირთვის ხაზი, გრძივი დაშორება უნდა იყოს (4.0-დან 6.0 მ-მდე) (20.0 სმ) ნაკლები სისქის საფარისთვის და 2.5-ჯერ ნაკლები საფარის სისქისთვის (20.0 სმ) სისქის საფარებისთვის.
- ნაკერების მოწყობა გათვალისწინებული უნდა იყოს მისასვლელი გზებისთვის და ადგილებისთვის სადაც ზოლებად დაყოფილი მოძრაობის სიჩქარე (45 კმ/სთ) ან ესთეტიკური მიზნებისთვის.

2.2 მსუბუქი სამრეწველო ტერიტორიები

მძიმე სამრეწველო ტერიტორიების მსგავსად, მსუბუქი სამრეწველო ტერიტორიები, როგორცაა სასაწყობო ობიექტები და ავტომატური საწარმოო ობიექტები, წარმოადგენს დიდ უწყვეტ ტერიტორიებს, რომლებიც იდეალურია სატკეპნით დაგებული ბეტონისთვის. ამ მიზნით გამოყენებისთვის, მოძრაობის სიჩქარე როგორც წესი (45,0 კმ/სთ) ნაკლებია. ამასთანავე, არ არის საჭირო ზედაპირის დამუშავება. ტრანსპორტის მოძრაობის დატვირთვა ნაკლებია ვიდრე პორტებში და სხვა მძიმე ტექნიკის მუშაობის ობიექტებზე; ამასთანავე, იშვიათად გამოიყენება მრავალმრიანი კონსტრუქცია. მისასვლელი გზები სამრეწველო კომპლექსში წარმოადგენს ტკეპნილი ბეტონის კიდევ ერთ გამოყენებას.

2.2.1 ტრანსპორტის ტიპი

- დიდი მოცულობის ნახევრადმისაბმელიანი სატვირთოები დატვირთვის, გადმოტვირთვის და პარკირების ტერიტორიებზე;
- მოძრაობის სიჩქარე როგორც წესი არის (45,0 კმ/სთ) ან ნაკლები;
- ზოლებად დაყოფილი მოძრაობის ადგილებისთვის, როგორცაა შესასვლელი გზები და გამოყოფილი სატვირთოების ზოლები, გვერდულის დატვირთვა გათვალისწინებულ უნდა იქნეს ანალიზში. დატკეპნილი ბეტონის საფარის მთლიანი ზედაპირის ზედმეტი დაგების თავიდან ასაცილებლად, რათა გამოვრიცხოთ გვერდულის დატვირთვა, უნდა გავითვალისწინოთ გასქელებული კიდეები ან უფრო ფართო მონაკვეთები.

2.2.2 სისქის განსაზღვრა

- იმ საფარების პროექტირების ცხრილები, რომლებიც განკუთვნილია შერეული მოძრაობისთვის (მანქანები და სატვირთოები) წარმოდგენილია ამერიკის ბეტონის ინსტიტუტის (ACI) ორ დოკუმენტში:
 - *ქუჩების და ადგილობრივი გზებისთვის ნაკერებიანი ბეტონის საფარის პროექტირების სახელმძღვანელო* (ACI 325.12R-02)

○ ბეტონის პარკირების ლოტების პროექტირების და დაგების სახელმძღვანელო (ACI 330R-08)

- კომპიუტერული პროგრამა StreetPave ან WinPAS შერეული მოძრაობისთვის;
- სატკეპნით დაგებული ბეტონის დაგების პროგრამა ან USACE მეთოდი

2.2.3 ზედაპირის მახასიათებლები

- ზედაპირის შესახედაობა და ტექსტურა მნიშვნელოვანია, თუმცა ზოგადად არ არის დიდი მნიშვნელობის სატვირთოების მოძრაობის ტერიტორიებზე. პარკირების ადგილებში და ადგილებში, სადაც შესახედაობა და ტექსტურა მნიშვნელოვანია, ყურადღება უნდა მიექცეს (16 მმ) ნომინალური მაქსიმალური ზომის აგრეგატის გამოყენებას და საფარის ნაკერს;
- ზედაპირის სისწორეს როგორც წესი აქვს (9.5 მმ) მაქსიმალური სხვაობა (3 მმ) სწორი კუთხისთვის;
- ზედაპირის გარეშე სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარი მისაღებია როდესაც მოძრაობის სიჩქარეა (45,0 კმ/სთ) ან ნაკლები.

2.3 აეროპორტის მომსახურება

აეროპორტები როგორც წესი იყენებენ იდეალური ზედაპირის გარეშე დატკეპნილი ბეტონის საფარს ტექნიკური მომსახურების ტერიტორიებისთვის, პარკირების ადგილებისთვის და თოვლის დაგროვების ადგილებისთვის. საფარმა უნდა გაუძლოს დიდ დატვირთვას, როგორცაა თოვლის გაწმენდა და მძიმე სატვირთოების მოძრაობა თოვლის გაწმენდისას. ამასთანავე, დატკეპნილი ბეტონის საფარი არ დაირღვევა თოვლის დნობით გამოწვეულ სისველის პირობებში.

შემადგენელი მონაკვეთები, რომლებიც სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფუძვლის ნაწილია, თხელი ასფალტის ფენით ან შეუკავშირებელი ბეტონის ფენით, გამოიყენება ასაფრენი ბილიკების, გასაჩერებელი ბილიკების და გასაჩერებელი ადგილებისთვის. ზედაპირის გარეშე სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარი არ არის რეკომენდირებული თვითმფრინავების მოძრაობისთვის ზედაპირის შემავსებლის შესაძლო გადაადგილების გამო პირველი ორი წლის მანძილზე.

2.3.1 ტრანსპორტის ტიპი

- ტექნიკური მომსახურების ადგილები
- აეროპორტის პარკინგის ადგილები
- თოვლის შესანახი

2.3.2 ზედაპირის მახასიათებლები

- დაბალი სიჩქარის მოძრაობის პარკინგის ადგილები და ტექნიკური მომსახურების ტექნიკის ადგილები როგორც წესი არ საჭიროებს სისწორის სპეციფიკაციას ან ზედაპირის დამუშავებას
- გასაჩერებელი ადგილები, ასაფრენი ბილიკები საჭიროებს ზედაპირის დამუშავებას, როგორც წესი ასფალტის ზედაპირის ფენას ან ბეტონის სტრუქტურულ შეუკავშირებელ ზედაფენას.

2.3.3 ნაკერების ამოჭრა

- ნაკერების ამოჭრა არ არის საჭირო ტექნიკური მომსახურების ადგილებში
- ამოჭრა სასურველია ბზარების გასაჩენად და ესთეტიკური მიზნებისთვის პარკირების ადგილებში.

ზედაპირის მქონე სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარის ამოჭრა დამოკიდებულია დაგებულ კონკრეტულ ზედაპირზე.



სურ. 2.2. დატკეპნილი ბეტონის საფარის მოწყობა აეროპორტში

2.4 მაგისტრალური ქუჩები

მაგისტრალური ქუჩების დაგებისას საგზაო მოძრაობას ყოველთვის ძირითადი ყურადღება ეთმობა. საგზაო მოძრაობის შეზღუდვებისა და მრავალშრიანი ასფალტის დაგებისთვის საჭირო დროის გამო, ზოგიერთი კომპანია არჩევს სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარს მაგისტრალური გზებისთვის. სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარის დაგება შესაძლებელია სწრაფად, პროექტის და მომხმარებლის ხარჯების დაზოგვით.

ამ ტიპის გამოყენების მაგალითად შეგვიძლია მოვიყვანოთ ლეინ ავენიუს საფარის რეკონსტრუქცია კოლუმბიაში, ოჰაიო, რომელიც შედგება (20.3 სმ) სატკეპნით დაგებული ბეტონისგან, რომელიც (7.5 სმ) ასფალტმოსხმული ზედაპირია, რომელიც უზრუნველყოფს გლუვ ზედაპირს მაღალი სიჩქარით მოძრავი ტრანსპორტისთვის. ამ ოთხი-ექვს ზოლიანი მაგისტრალური ქუჩისთვის გამოიყენეს სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარი.

მეორე მაგალითი არის 2009 წელს US 78-ის მშენებლობა აიკენში, სამხრეთ კაროლინა, სადაც (25.4 სმ) სატკეპნით დაგებულმა ბეტონმა ჩაანაცვლა არსებული ასფალტის საფარის სრული მოცულობა. სატკეპნით დაგებული ბეტონის ზედაპირი აღმასით დამუშავდა მეოთხე ხაზის მონაკვეთზე, რამაც გააუმჯობესა ზედაპირის სისწორე და უზრუნველყო ზედაპირის ტექსტურა ხელსაყრელ ფასად.

2.4.1 ტრანსპორტის ტიპი

- ავტობუსები
- სამგზავრო მანქანები
- სატვირთოები
- კომპიუტერული პროგრამა StreetPave ან WinPAS შერეული მოძრაობისთვის.

2.4.2 ზედაპირის მახასიათებლები

- მაღალი სიჩქარით მოძრაობის გამო, მაგისტრალური ქუჩების უმეტესობა მოიცავს ზედაპირის დამუშავებას, როგორცაა აღმასით დამუშავება ან ასფალტის თხელი ზედაპირული ფენა (2-3 ინჩი [5.1-დან 7.6 სმ-მდე]);

- თუ საჭირო საფარის სისქე აღემატება 10 ინჩს (25.4 სმ), კარგი ალტერნატივაა ქვედა ფენა დაიგოს სატკეპნით და სტანდარტული ბეტონის ზედა ფენა გადაეგოს სატკეპნით დაგებულ ბეტონზე (მე-19 გვერდზე იხ. მრავალშრიანი სისტემები).

2.4.3 ნაკერების ამოჭრა

- ამოჭრილი ნაკერები როგორც წესი გამოიყენება როდესაც ზედაპირი ალმასით არის დამუშავებული ან როდესაც გამოიყენება ასფალტის ზედაპირის ფენა. ასფალტი ზოგჯერ უერთდება პირდაპირ შეერთებული სატკეპნით დაგებული ბეტონის ფენას ესთეტიკური მიზნებისთვის და ერთგავროვანი მოვლისთვის;
- განივი ნაკერები უნდა დაშორდეს 15-20 ფუტით (4.6-დან 6.1 სმ-მდე) ინტერვალებით საფარებისთვის, რომლებიც 8 ინჩის (20.3 სმ) სისქისაა და 3-4 (ფუტებში) საფარის სისქის (ინჩებში) საფარებისთვის, რომლებიც 8 ინჩია (20.3 სმ) სისქით ან უფრო მეტი;
- გრძივი დაშორება უნდა იყოს 15-დან 20 ფუტამდე (4.6-დან 6.1 მ-მდე) 8 ინჩი (20.3 სმ) სისქის საფარისთვის და 2.5-ჯერ (ფუტებში) საფარის სისქეზე (ინჩებში) 8 ინჩიანი (2.3 სმ) სისქის ან მეტი სისქის საფარებისთვის. ყურადღება უნდა მიექცეს, რომ ნაკერები არ გაკეთდეს ბორბლების გავლის ადგილას;
- მრავალშრიანი სისტემებისთვის, რომლებიც იგება სატკეპნით, როგორც ბაზა, ბეტონის ზედა ფენა იყენებს სტანდარტული ბეტონის ნაკერების დისტანციას.



სურ. 2.3. დატკეპნილი ბეტონის საფარის მოწყობა მაგისტრალურ გზაზე

2.5 ადგილობრივი ქუჩები

მშენებლობის სიჩქარე, ეკონომიურობა და საგზაო მოძრაობისთვის ადრე გახსნა მთავარი მიზეზებია ტკეპნილი ბეტონის დაგების გამოყენებისთვის, ქუჩებში და ადგილობრივ გზებზე. ამასთანავე, ბეტონის სატკეპნით დაგება ახალი საცხოვრებელი უბნებისთვის უზრუნველყოფს ძლიერ სამუშაო პლატფორმას ობიექტზე მუშაობისა და მშენებლობის დროს. ზედაპირების დამუშავება შესაძლებელია როდესაც სამუშაო დასასრულს უახლოვდება.

როდესაც საგზაო მოძრაობის სიჩქარე (45,0 კმ/სთ) მეტია, ზედაპირის სისწორე მნიშვნელოვანია. ზედაპირის უკეთესი სისწორის მისაღწევად, უმეტეს პროექტებში გამოიყენება მაღალი სიმკვრივის დასაგებები და/ან ალმასით გაპრიალება. თხელი ასფალტის ზედაპირის ფენა, რომელიც იგება სატკეპნით დაგებულ ბეტონზე, კიდევ ერთი ვარიანტია. ზოგიერთ შემთხვევაში, მსუბუქი ტრანსპორტის მოძრაობა ნებადართულია სატკეპნით დაგებულ ბეტონზე დაგებიდან 24 საათის მანძილზე.

2.5.1 ტრანსპორტის ტიპი

- სამგზავრო სატრანსპორტო საშუალებები
- მომარაგების სატვირთოები
- ავტობუსები

სწორზედაპირიანი სატკეპნით დაგებული ბეტონის ამოჭრა დამოკიდებულია კონკრეტულ საფარზე.



სურ. 2.4 დატკეპნილი ბეტონის საფარის მოწყობა ადგილობრივ ქუჩაზე

თავი III. დატკეპნილი ბეტონის მახასიათებლები და მასალები

3.1 დატკეპნილი ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები

სატკეპნით დაგებული ბეტონის მახასიათებლები სტანდარტული ბეტონის საფარის მსგავსია, თუმცა მიიღება შერევის სხვადასხვა პროპორციებით და მშენებლობის სხვა ტექნოლოგიით. სატკეპნით დაგებული ბეტონის საინჟინრო მახასიათებლების აღმწერი მონაცემები ეფუძნება ცილინდრების ტესტებს, რომლებიც აღებულია ფაქტიურად შესრულებული დაგების პროექტებიდან, ასევე სრულ მასშტაბიანი ტესტირების მონაკვეთებიდან.

სატკეპნით დაგებული ბეტონის საინჟინრო თვისებების განსაზღვრისთვის გამოყენებული ტესტები მოიცავს:

- ASTM C1435 / C1435M, დატკეპნილ-დაპრესილი ბეტონის ყალიბის სტანდარტული პრაქტიკა ცილინდრულ ყალიბებში ვიბრაციული ჩაქუჩის გამოყენებით;
- ASTM D1557, ლაბორატორიული დაპრესვის მახასიათებლების სტანდარტული ტესტირების მეთოდები მოდიფიცირებული ძალის გამოყენებით (2.700 kN-m/m³);
- ASTM C39 / C39M, სტანდარტული ტესტის მეთოდი ცილინდრული ბეტონის ნიმუშების კუმშვაზე;
- ASTM C42 / C42M, ASTM C1170 / C1170M, სტანდარტული ტესტირების მეთოდი ბურღით ამოღებული ნიმუშების (კერნების) ტესტირებისთვის;
- ASTM C78, ბეტონის სიმტკიცე ღუნვაზე სტანდარტული ტესტირების მეთოდი (ბეტონის ძელაკის გამოყენებით, სამ წერილზე დატვირთვით).

3.1.1 სიმტკიცე

დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცის თვისებები დამოკიდებულია შემკვრელი მასალების რაოდენობაზე, წყალ/ცემენტის ფარდობაზე და შემავსებლის ხარისხზე. ზოგადად ტკეპნილი ბეტონის საფარს აქვს უფრო მაღალი სიმტკიცე კუმშვაზე და ღუნვაზე, სტანდარტული ბეტონის საფართან შედარებით. ნარევის პროექტირების ანალიზი ტარდება პროექტირების სიმტკიცის კრიტერიუმების დაკმაყოფილების მიზნით.

3.1.2 სიმტკიცე კუმშვაზე

ტკეპნილი ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას, სტანდარტულ ბეტონთან შედარებით როგორც წესი მერყეობს 28-დან 41 მპა-მდე. ზოგიერთი პროექტი აღწევს 48 მპა მეტ სიმტკიცეს კუმშვაზე; თუმცა, პრაქტიკული და სამშენებლო ხარჯების თვალსაზრისით შესაძლებელია მოთხოვნილი იყოს მეტი სისქე, ვიდრე ამ სახის სიმტკიცეს აქვს.

მჭიდროდ დაფქვილი შემავსებლები, რომლებიც გამოიყენება ტკეპნილი ბეტონის ნარევი ხელს უწყობს ბეტონს მიაღწიოს სიმტკიცის მაღალ დონეს კუმშვისას. დაბალი წ/ცმ ფარდობა ტკეპნილი ბეტონის ნარევი წარმოშობს ნაკლებ პოროზიულ ცემენტის მატრიცას, რომელიც ასევე ხელს უწყობს ბეტონის სიმტკიცის ზრდას კუმშვაზე. ყოველი ნარევის პროპორციას აქვს ოპტიმალური ტენიანობის შემცველობა, რომელზეც იგი აღწევს მაქსიმალურ მშრალ სიმკვრივეს. სიმკვრივე ყველაზე ხშირად უზრუნველყოფს მაქსიმალურ სიმტკიცეს. [6;9]

3.1.3 სიმტკიცე გაჭიმვაზე ღუნვის დროს

სიმტკიცე გაჭიმვაზე ღუნვის დროს პირდაპირ დაკავშირებულია ბეტონის ნარევი სიმკვრივესთან და სიმტკიცესთან. სწორად დატკეპნილი დაგებული ბეტონის შემთხვევაში, შემავსებლები მჭიდროდ არის დაპრესილი და ამცირებს ბზარების წარმოქმნას. მასის სიმკვრივე და მისი შემავსებლების ნაწილეკებთან მოქნილობის სიმტკიცე მაღალია, წ/ცმ დაბალი შეფარდების გამო. ამის შედეგად, დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცე, რაც ნარევის პროექტირებაზეა დამოკიდებული, ზოგადად მაღალია სტანდარტულ ბეტონთან შედარებით.

ცოტა ინფორმაციაა ხელმისაწვდომი დატკეპნილი ბეტონის ღუნვის სიმტკიცეზე, ვინაიდან რთულია ამოჭრილი ძელის ნიმუშების მიღება ფაქტიურად დაგებული ობიექტებიდან და სტანდარტიზებული ტესტირების მეთოდების არ არსებობის გამო სავსე პირობებში და ლაბორატორიაში ძელების დამუშავების დროს. ძელების და ამობურღული ცილინდრული ნიმუშების საფუძველზე, რომლებიც ამოღებულია უშუალოდ ობიექტიდან, დამოკიდებულება კუმშვის და ღუნვის

სიმტკიცეებს შორის დატკეპნილ ბეტონში სტანდარტული ბეტონის საფარის მსგავსია და შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგი ფორმულით.

$$f_r = C \sqrt{f_c}$$

სადაც:

f_r = სიმტკიცე ლუნვაზე (მესამე წერტილზე დატვირთვა) (MPa)

f_c = სიმტკიცე კუმშვაზე, (MPa)

C = მუდმივა 9 და 11-ს შორის, დატკეპნილი ბეტონის ფაქტიური ნარევიდან გამომდინარე.

3.2 დრეკადობის მოდული

დრეკადობის მოდულები გამოხატავს წრფივ დამოკიდებულებას დრეკად სხეულზე მოდებულ ძაბვებსა და მასში აღძრული დეფორმაციების მახასიათებელ სიდიდეებს შორის, როგორც ქვემოთაა ნაჩვენები:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

სადაც:

E = დრეკადობის მოდულს (მპა);

σ = დატვირთვა (სიმტკიცის ზღვარი) მპა;

ϵ = დეფორმაცია.

დრეკადობის მოდულები წარმოადგენს მასალის გადახრას რევერსიული დრეკადი დეფორმაციის გასავლელად დატვირთვის მიმართ.

ტესტები ტკეპნილი ბეტონიდან ამობურღულ ცილინდრულ ნიმუშებზე (კერნებზე), რომლებიც მიღებულია უშუალოდ ობიექტიდან მიუთითებს, რომ

ტკეპნილი ბეტონის დრეკადობის მოდულების სიდიდეები მსგავსია ან ოდნავ მაღალია სტანდარტული ბეტონისაზე, როდესაც ნარევეს აქვს მსგავსი ცემენტის შემცველობა.

3.2.2 სიმტკიცე ღუნვაზე

ღუნვის სიმტკიცე დატკეპნილი ბეტონის ინტერფეისზე მნიშვნელოვანი საინჟინრო თვისებაა. ღუნვის სიმტკიცე განსზღვრავს იმას თუ როგორ იმოქმედებენ დატკეპნილი ბეტონის საფარები დაგებული მრავალ ფენად, როგორც ერთ შრიანი ან ნაწილობრივ მოხრილი ან მოუხრელი ფენები. დატვირთვის ამტანი ძალა ნაწილობრივ მოხრილ ან მოუხრელ ფენებზე უფრო დაბალია ვიდრე მოხრილი ფენების, რომელთაც იგივე სისქე აქვთ. როგორც წესი, ადეკვატური ღუნვის სიმტკიცე მიიღწევა როდესაც საფარის ფენები დაგებულია ერთმანეთის შემდეგ ერთი საათის ინტერვალით, თუმცა დაგება შესაძლოა უფრო სწრაფად იყოს საჭირო თბილ ამინდში.

მონაცემები ტესტის მონაკვეთებიდან მიუთითებს, რომ ინტერფეისის საკმარისი მოხრის სიმტკიცის მიღწევა შეიძლება სათანადოდ დაგებულ სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარში. თუმცა, მონაცემები ასევე აჩვენებს, რომ მოხრის სიმტკიცის განვითარება გრძივად დაგებული ნაკერების ნაპირების გასწვრივ შეიძლება უფრო ნაკლები იყოს ვიდრე მოხრის სიმტკიცე შიდა ადგილებში.

3.2.3 ყინვამედეგობა

ტკეპნილი ბეტონის საფარს ცივ კლიმატში ზოგადად ემუქრება ორი ტიპის დაზიანება: შიდა დაზიანება და ზედაპირის მოხსნა. მიუხედავად იმისა, რომ დაზიანების ეს ორი ტიპი შესაძლებელია ერთდროულად მოხდეს, ისინი გამიჯნული და განსხვავებული და დამოუკიდებელი ფენომენებია. თუ სატკეპნით დაგებული ბეტონი მნიშვნელოვან ტენს მოიცავს, F-T ციკლებმა შესაძლოა წარმოშვას შიდა დაზიანება, რაც ანელებს დინამიკურ დრეკადობის მოდულებს და იწვევს გაფართოებას. ზედაპირის მოხსნა შესაძლოა მოხდეს F-T ციკლების დროს, როდესაც ბეტონზე დიდი ოდენობის ტენი დაფიქსირდება. ეს პროცესი უარესდება გაყინული მარილების დროს. ტკეპნილი ბეტონის ნარევი ამასთანავე უნდა დაიგოს ისე რომ გაუძლოს F-T ციკლებით გამოწვეულ ორივე შეტევას.

საველე სამუშაოს კვლევები მიუთითებს, რომ დატკეპნილი ბეტონის დაგება კარგად შესრულდა ცუდი ამინდის პირობებში. კვლევები შეერთებულ შტატებში და კანადაში აჩვენებს, რომ სატკეპნით დაგებული ბეტონის ნარევი, ჰაერით გაჯერებული ან მის გარეშე, კარგად შესრულდა სამ დეკადაზე მეტი ხნის მანძილზე. პიგოტმა (1999) შეამოწმა და მოხსენება გააკეთა დატკეპნილ ბეტონზე შეერთებულ შტატებსა და კანადაში. კვლევამ დაასკვნა რომ სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარი სხვადასხვა კლიმატურ პირობებში და 3-დან 20 წლამდე ასაკის სხვაობით, კარგად შესრულდა. კვლევაში აღნიშნულია, რომ დაჰაერების გარეშე სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარებს შეუძლია უზრუნველყოს საიმედოობა და გამძლეობა F-T გარემოში, ვინაიდან ნაზავს აქვს ადეკვატური ცემენტის შემცველობა, მყარი შემავსებლები, სათანადო შერევა, ადეკვატური სიმკვრივე და სათანადო სისწორე.

დაჰაერების გარეშე ტკეპნილი ბეტონის განხილვისას კონკრეტული გამოყენებისთვის, ყურადღება უნდა მიექცეს დატკეპვის ტექნოლოგიას მაქსიმალური სიმკვრივის მისაღწევად, რაც გათვალისწინებულია ლაბორატორიულ და საველე ცდებში. კარგად დატკეპნილი და სწორი პროპორციის მქონე ტკეპნილი ბეტონის ნარევი იწვევს ჰაერის ბუშტების კარგ გადანაწილებას, რასაც შეუძლია საიმედოდ გაუძლოს F-T ციკლებს. გოტიერმა და მარჩანდმა (2002წ) აღნიშნეს, რომ სათანადოდ შერეული ტკეპნილი ბეტონის ნარევის, დატკეპნილს 100% სველ სიმკვრივეზე, აქვს კარგი ყინვაგამძლეობა, რათა თავიდან იქნეს აცილებული შიდა დაზიანება. პიჟენის და მარჩანდის (1993) კვლევამ აჩვენა, რომ ჰაერით გაუჯერებელმა სატკეპნით დაგებული ბეტონის ნარევმა გაუძლო გაყინვის 300 ციკლს და ღლობას დაზიანების გარეშე. ეს კვლევა გვაჩვენებს, რომ გარკვეული დატკეპნილი ჰაერის სიცარიელები მოქმედებს როგორც ჰაერის ბუშტუკები. ავტორების გამოკვლევებში დაჰაერებული ნარევის გამოყენება არ იწვევს მნიშვნელოვან სფერულ სიცარიელებს და აშკარაა რომ ჰაერის სიცარიელების უმეტესობა გამოწვეულ იქნა გამკვრივების მეშვეობით.

არსებობს რამდენიმე მნიშვნელოვანი გასათავლისწინებელი ფაქტორი ყინვამედეგ ტკეპნილი ბეტონის საფარისთვის:

- მასალის შერჩევა ყინვაგამძლე ტკეპნილი ბეტონისთვის მსგავსია სტანდარტული ბეტონისა. შემავსებლის შერჩევა ეფუძნება ჩვეულებრივ შემოწმების პროცესს. ნებისმიერი მასალის შემავსებელი ფასდება და დადგენილი შესაბამისობა კონკრეტული გარემოსთვის სტანდარტულ ბეტონის საფარში შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს ტკეპნილი ბეტონისთვის თანაბრად. უნდა შეირჩეს მტკიცე, გამძლე, ამინდის ამტანი შემავსებლები, რომლებიც აკმაყოფილებს სტანდარტის ASTM C33 მოთხოვნებს.
- კარგი შემავსებელი უზრუნველყოფს მაქსიმალურ სიმკვრივეს საველე სამუშაოებში. იგი უზრუნველყოფს არა მხოლოდ მაღალ სიმტკიცეს ცემენტის მინიმალური შემცველობით, მინიმალურად შეღწევადი ზედაპირით, არამედ უზრუნველყოფს წყალშეუღწევადობას.
- ცემენტის შემკვრელების რაოდენობა და შერჩევაც მნიშვნელოვანია. ნორმალური ცემენტის შემცველობა აუცილებელია საკმარისი სიმტკიცის მისაღებად. წ/ცმ შეფარდების მიღწევა 0.40-ის ქვემოთ დამტკიცებულია რომ უპირატესია აუცილებელი სიმტკიცის და შეღწევადობის შემცირების მიზნით. წყლის შემამცირებელი ქიმიური ნივთიერებების დამატება ხელს უწყობს ამ დაბალი წ/ცმ ფარდობის მიღწევას, ამასთანავე უზრუნველყოფს სწორი მუშაობის საშუალებას. კვლევებმა კანადაში აჩვენა, რომ მინიმალური დანამატების გამოყენება, როგორცაა დიოქსიდი, ხელს უწყობს ყინვამედეგობის გაუმჯობესებას, ამტანობას. დიოქსიდი აუმჯობესებს სატკეპნით დაგებულ ბეტონის მახასიათებლებს და აჩქარებს მექანიკური სიმტკიცის განვითარებას. დიოქსიდი გამოიყენება უმეტესად შერეულ ცემენტებში, 7-8 პროცენტი ჩანაცვლებით. სხვა დამატებითი შემკვრელი მასალების გამოყენება შესაძლებელია სათანადო შერჩევით, შეფასებით და გათვლებით, წარმოების, დაგების, დაპრესვის და ამინდის პირობების გათვალისწინებით.
- ტკეპნილი ბეტონებ შესაძლო სიმტკიცემდე უზრუნველყოფს ყველაზე მეტ პოტენციალს მაღალი სიმტკიცის და დაბალი გამტარობისთვის, რაც წარმოადგენს ორ ძირითად ფაქტორს ყინვამედეგი ბეტონისთვის.

გასწორება უმნიშვნელოვანეს როლს თამაშობს ყინვამდეგი ტკეპნილი ბეტონისთვის, განსაკუთრებით საფარის ზედაპირზე. მშენებლობის ეტაპზე, დაწყებული შერევიდან დამთავრებული ოპერაციებით, განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს იმისთვის, რომ უზრუნველყოთ რომ დატკეპნილი ბეტონიდან ტენის ზედმეტი აორთქლება არ მოხდეს. ვინაიდან ტკეპნილი ბეტონიდან არ ჟონავს წყალი, უნდა გაითვალისწინოთ ზედაპირის წინასწარ გამრობა (გამკვრივებამდე). თუ ტენის დაკარგვის შემცირებაზე არ იზრუნებთ, გამრობამ შესაძლოა შეასუსტოს სატკეპნით დაგებული ბეტონის ზედაპირი, ზედაპირი მუდმივად უნდა შენარჩუნდეს ტენიანი, რათა ტენი არ დაიკარგოს გასწორების კომპონენტის სათანადოდ გამოყენებამდე.

როდესაც დატკეპნილი ბეტონი გამოიყენება დაბალი ტემპერატურის პირობებში, უნდა გავითვალისწინოთ შემდეგი პრაქტიკა:

- მტკიცე, დაუზიანებელი, გამძლე შემავსებლების გამოყენება;
- დაპრესვა სულ მცირე 98% მოდიფიცირებულ პროქტორულ სიმკვრივემდე;
- წ/ცმ შეფარდების შემცირება 0,4-ზე ქვემოთ;
- დიოქსიდის გამოყენება როგორც ცემენტის ნაწილობრივ ჩამნაცვლებელის;
- სათანადო და დროული დატკეპვნა მაქსიმალური სიმკვრის მიღების მიზნით;

3.2.4 კუმშვა

ნებისმიერი მნიშვნელოვანი ცვლილება მოცულობაში, რომელსაც ადგილი ჰქონია დატკეპნილი ბეტონის საფარში გამოწვეულია შრობისას შეკუმშვით. თუმცა, მოცულობის შეცვლა, რომელიც ასოცირდება შრობისას შეკუმშვასთან, როგორც წესი ნაკლებია, ვიდრე სტანდარტული ბეტონის შემთხვევაში, ტკეპნილ ბეტონში წყლის დაბალი შემცველობი გამო. ამრიგად, ცემენტის მასის ნაკლები მოცულობა იწვევს ნაკლებ შეკუმშვას და ნაკლებ ბზარებს დატკეპნილი ბეტონის შემთხვევაში. თერმული გაფართოება და შეკუმშვის თვისებები ტკეპნილ ბეტონში მსგავსია სტანდარტული ბეტონისა, რომლებიც შედგება მსგავსი მასალებით. [6;9]

3.3. ტკეპნილი ბეტონის მასალების შერჩევა

დატკეპნილი ბეტონი შეიცავს იგივე ძირითად მასალებს, რასაც სტანდარტული ბეტონი - მსხვილმარცვლოვანი და წვრილმარცვლოვანი შემავსებლები, შემკვრელი მასალები (ცემენტი, ნაცარი, და ა.შ.), წყალი, ქიმიური დანამატები - თუმცა ისინი გამოიყენება სხვადასხვა პროპორციებით. დატკეპნილ ბეტონში გამოყენებული მასალების ფასი ზოგადად სტანდარტული ბეტონისაზე დაბალია. ტკეპნილ ბეტონს როგორც წესი ცემენტის ნაკლები შემცველობა აქვს სტანდარტულ ბეტონთან შედარებით. ცემენტის დაბალი შემცველობა მასალების თანხების დანაზოგს განაპირობებს.

მასალების სწორად შერჩევა მნიშვნელოვანია დატკეპნილი ბეტონის ნარევებისთვის. ნარევის რეცეპტების ცოდნა სამშენებლო მოთხოვნებთან და სპეციფიკაციებთან ერთად მნიშვნელოვანია იმისთვის, რომ დატკეპნილმა ბეტონმა დააკმაყოფილოს პროექტირების და დაგების მიზნები.

3.3.1 შემავსებლები

მინერალური შემავსებლები შეადგენს დატკეპნილი ბეტონის მოცულობის 85%-მდე და მნიშვნელოვან როლს ასრულებს, დადგენილ სიმკვრივეში სავსე პირობებში, ვიბრაციული დატკეპვის პირობებში, კუმშვის და ღუნვის სიმტკიცეში, თერმულ თვისებებში, გრძელვადიან გამძლეობაში და ხანგრძლივ ვარგისიანობაში.

სტანდარტულ ბეტონში გამოყენებული შემავსებლები, კარგი დამტკიცებული ჩანაწერით ასევე კარგად მუშაობს სატკეპნით დაგებულ ბეტონში. როგორც სტანდარტული ბეტონის შემთხვევაში, შემავსებლების უნდა შემოწმდეს ხარისხზე და შესაბამისობაზე მშენებლობის მთელი პერიოდის მანძილზე. ტესტირება შესაძლებელია ჩატარდეს შემავსებლის გრადაციის შესაბამისობაზე, ასევე თვისებებზე, როგორცაა შეწოვა, ფარდობითი გრავიტაცია, პლასტიურობის მაჩვენებელი, შეწოვის ამტანობა, ტუტე-დიოქსიდის რეაქტიულობა (ASR), და გამძლეობა.

დატკეპნილი ბეტონი განსხვავდება სტანდარტული ბეტონისგან მისი გრადაციის მოთხოვნებით. განსხვავებული გრადაციის მოთხოვნები მომდინარეობს საჭიროებიდან, რომ ტკეპნილი ბეტონის შემავსებლის ჩონჩხი გამკვრივდეს საგებით

და ფოლადის დოლურით და რეზინის ბორბლებიანი დატკეპვნის პირობებში. წვრილ და მსვილმარცვლოვანი შემავსებლების გრადაცია უნდა შეირჩეს გამძლეობის, დაპრესვის და ზედაპირის მოსწორების უზრუნველყოფის მიზნით.

სწორი შემავსებლების შერჩევა და შემავსებლის გრადაცია დატკეპნილი ბეტონის საფარებისთვის ამცირებს სეგრეგაციის პოტენციალს და აუმჯობესებს საფარის სიმტკიცეს და გამძლეობას. შემავსებლების შერჩევა ასევე გავლენას მოახდენს როგორც წყლის მოთხოვნებზე, ისე საჭირო შემკვრელი მასალების ოდენობაზე.

შემავსებლების შერჩევის და შერევის პრაქტიკა შესაძლოა დამოკიდებული იყოს ადგილობრივ პრაქტიკაზე, სამშენებლო სპეციფიკაციებზე, ზემოქმედების სიმწვავეზე და სხვადასხვა ზომების ხელმისაწვდომობაზე, ასევე ბეტონის მწარმოებლის და კონტრაქტორის მოხერხებულობაზე და ეკონომიკურ გარემოზე. დამსხვრეული ან დაუმსხვრეველი შემავსებლები ან ნარევი შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს ტკეპნილი ბეტონის ნარევიებში, უშუალოდ ხელმისაწვდომიდან გამომდინარე.

სურათი 3.1. შემოთავაზებული კომბინირებული შემავსებლის გრადაცია წვრილ და მსვილმარცვლოვანი აგრეგატების გრადაციის რკალებით

მსვილმარცვლოვანი შემავსებლის ფორმა მნიშვნელოვანია; შრეებიანი ნაწილაკები და ზედმეტად დაგრძელებული ნაწილაკები არ უნდა გამოიყენოთ, ეკონომიური, ძლიერი და გამძლე ბეტონის მიღების თვალსაზრისით.

მაღალი ხარისხის დატკეპნილი ბეტონის მისაღებად, როგორც მსვილმარცვლოვანი და წვრილმარცვლოვანი შემავსებლები უნდა იყოს მაგარი და გამძლე. სტანდარტული ფიზიკური მახასიათებლების ტესტები, როგორცაა სტანდარტში ASTM C33 ჩამოთვლილი, ბეტონის შემავსებლის სტანდარტული სპეციფიკაცია გათვალისწინებულ უნდა იქნეს დატკეპნილი ბეტონის ნარევი გამოყენებული ყველა შემავსებლის შეფასებისთვის.



სურ. 3.1 მსხვილმარცვლოვანი და წვრილმარცვლოვანი შემავსებლების ნიმუშები

დატკეპნილი ბეტონის ნარევისთვის რეკომენდირებულია მსხვილმარცვლოვანი შემავსებლები, რომლებიც აკმაყოფილებს სტანდარტს ASTM C33 / AASHTO M6/M80. მსხვილმარცვლოვანი შემავსებლები ხშირად ლიმიტირებულია და გულისხმობს 19მმ-ს, რათა არ მოხდეს სეგრეგაცია და მიღწეულ იქნეს უფრო მჭიდრო ზედაპირი. ტიპური განსხვავდება 16-დან 19 მმ-მდე.

შეგიძლიათ გამოიყენოთ 19მმ-ზე მეტი (38 მმ) და სწორი პროპორციის შემთხვევაში (სწორი წვრილმარცვლოვანი შემავსებლის გამოყენებით), მოგცემთ კარგი ხარისხის ზედაპირს. უფრო დიდი მსხვილმარცვლოვანი შემავსებელი როგორც წესი გამოიყენება არა მზიდი ფენისთვის ან მეორადი გამოყენებისთვის, სადაც ზედაპირის შესახედაობა არ არის დიდად მნიშვნელოვანი. 19 მმ-ზე მცირე ღორღის ფრაქცია (13 მმ) შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სეგრეგაციის შესამცირებლად, წებოვნების ხელის შესაწყობად, დახურული ზედაპირის მისაღებად, და უკეთესი ხარისხის სვლისთვის. თუმცა, უფრო მცირე ღორღის ფრაქცია შეუძლია გაზარდოს ცემენტის მოხმარება და შეამციროს საფარის სიმტკიცის პოტენციალი. ყოველდღიური ლაბორატორიულ ტესტებთან ერთად უნდა ჩატარდეს ლოს ანჯელესის ხახუნის ტესტი (ASTM C131 / AASHTO T96). ზოგიერთ ადგილას შესაძლოა საჭირო გახდეს სიმტკიცის ტესტირება (ASTM C88 / AASHTO T104), ტუტე-დიოქსიდის რეაქტიულობაზე (ASTM C586 და ASTM C1105 / AASHTO T303), გამძლეობის კოეფიციენტზე (ASTM D3744 / AASHTO T103), და თერმული გაფართოების კოეფიციენტზე (AASHTO TP60).

სატკეპნით დაგებული ბეტონის შემავსებლის ჩონჩხი უნდა გამყარდეს დატკეპვით, რომელზეც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს წვრილმარცვლოვანი შემავსებელი. წვრილმარცვლოვანი შემავსებლის მაღალი მოცულობა იძლევა საშუალებას შემცირდეს ცემენტი და შესაბამისი მასა, რომელიც მსხვილმარცვლოვანი შემავსებლის სათანადო გრადაციით დაბალანსების დროს უზრუნველყოფს დატკეპნილ და გამძლე ნარევს.

წვრილმარცვლოვანი შემავსებლების სიხისტე, რაც ასევე მნიშვნელოვანია ასფალტის ნარევებში, არ არის კრიტიკულად მნიშვნელოვანი დატკეპნილი ბეტონის ნარევებში. ცნობილია, რომ ასფალტის ნარევის გამძლეობასა და დაკვალვის ამტანობაზე დიდ გავლენას ახდენს წვრილმარცვლოვანი შემავსებლების სიხისტე. დაკვალვის ამტანობა ასფალტის საფარში იზრდება ნარევში წვრილმარცვლოვანი შემავსებლების სიხისტის ზრდასთან ერთად.

ტკეპნილ ბეტონთან შედარებისას, ასფალტის შემრევს არ აქვს ეკვივალენტი შერევის სიმტკიცე შემავსებლის შესაკავშირებლად. ასფალტის სიმტკიცე ამის ნაცვლად გამომდინარეობს შემავსებლის შეერთებიდან, რომელიც დამოკიდებულია მსხვილ და წვრილმარცვლოვანი შემავსებლების სიხისტეზე. ამასთანავე, ასფალტის საფარის სტრუქტურა შეიძლება დაიგოს უფრო თხელი ფენებით, ვიდრე საჭიროა დატკეპნილი ბეტონისთვის სწორი კონსოლიდაციის მისაღებად.

ბუნებრივი რესურსებიდან მიღებული წვრილმარცვლოვანი შემავსებლები ხშირად გლუვიზედაპირიანი, რაც იწვევს შედარებით ნაკლებ სიხისტეს. შემავსებლის რესურსები ამის გამო მიჩნეულია შეუთავსებლად დატვირთული მოძრაობის გზებზე ასფალტის დასაგებად, განსაკუთრებით ზედაპირის ან ზედაპირის ახლოს მდებარე ფენებისთვის.

ამის საპირისპიროდ, ბუნებრივი წვრილმარცვლოვანი შემავსებლები, რომლებიც უფრო გლუვია, ხშირად გამოიყენება ტკეპნილი ბეტონისთვის ძლიერი მატრიცის შესაქმნელად. ამის შედეგად, წვრილმარცვლოვანი შემავსებლების ბუნებრივი წყაროები, რომლებსაც აკლიათ სიხისტე, შეიძლება გამოიყენოთ სწორად დაფქვილ მსხვილმარცვლოვან შემავსებლებთან კომბინაციაში და ცემენტთან.

შედეგად ვიღებთ ერთ ფენას, რომელიც შეიძლება იყოს 25,0 სმ-მდე სისქის და მაინც აკმაყოფილებდეს საჭირო სიმკვრივეს.

წვრილმარცვლოვანი შემავსებლის შერჩევა უმნიშვნელოვანესია, ვინაიდან განსაზღვრავს ტკეპნილი ბეტონის წყლის მოთხოვნას (და ამრიგად ცემენტის მოხმარებას), დატკეპვნის უნარს, ზედაპირის სისწორეს, და გამძლეობას. მდინარის ქვიშა კარგი რესურსია ბეტონის ნარევისთვის; თუმცა, წარმოებული ქვიშა ასევე დასაშვებია და გამოიყენება ტკეპნილი ბეტონის წარმოებაში. ასევე შეიძლება დამსხვრეული კლდის ქანების გამოყენება, თუ პროდუქტის მდგრადობისთვის ხდება მისი სათანადოდ გამოყენება.

შლამები და თიხები სატკეპნით დაგებული ბეტონის შემავსებლებში არ უნდა გამოვიყენოთ, ვინაიდან მათ შესაძლოა გაზარდონ შეკუმშვა და შეამცირონ სიმტკიცე. რეკომენდირებულია, რომ პლასტიურობის მაჩვენებელი, რომელიც გადის ნომ. 40 საცერში, შემცირდეს ოთხამდე. წვრილმარცვლოვანი შემავსებელი როგორც წესი მისაღებია 2-დან 8 პროცენტამდე.

3.3.2 შემკვრელი მასალები

ტკეპნილი ბეტონის ნარევს დამზადება შესაძლებელია ნებისმიერი ძირითადი ტიპის ჰიდრავლიკური ცემენტისგან, შერეული ცემენტისგან ან ჰიდრავლიკური ცემენტის და პუცოლანის კომბინაციისგან. შერჩევის და ჰიდრავლიკური ცემენტების და დამატებითი შემკვრელი მასალების დეტალური განხილვა შეგიძლიათ იხილოთ სტანდარტში ACI 225R, *ჰიდრავლიკური ცემენტების შერჩევის და გამოყენების სახელმძღვანელო და ინტეგრირებული მასალები და სამშენებლო პრაქტიკა ბეტონის საფარისთვის: პრაქტიკული სახელმძღვანელო* (IMCP 2007).

როგორც სტანდარტულ ბეტონში, ასევე ტკეპნილი ბეტონის ნარევში გამოყენებული მასალები უნდა შეირჩეს სულფატის ზემოქმედებაზე, პოტენციური ტუტის რეაქტიულობაზე ქიმიური გამძლეობის, ხახუნის გამძლეობის მიხედვით. შემკვრელი მასალების ტიპს დიდი მნიშვნელობა აქვს ჰიდრატაციის კოეფიციენტზე

და სიმტკიცის განვითარებაზე და ამასთანავე, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სიმტკიცეზე ადრეულ ასაკში.

დატკეპნილი ბეტონის საფარში როგორც წესი გამოიყენება I და II ტიპის ცემენტები. III ტიპის გამოყენება შესაძლებელია როდესაც საჭიროა ადრეული სიმტკიცის მიღება და V ტიპის გამოყენება შესაძლებელია ადგილებში, სადაც არის ნიადაგის სპეციფიური პირობები, რაც ამ ტიპის ცემენტისთვისაა მისაღები. შემკვრელი მასალები უნდა აკმაყოფილებდეს სტანდარტების ASTM C150 და ASTM C1157 მოთხოვნებს.

თუ გამოიყენება ნაცარი (ASTM C 618 ტიპები F და C), იგი როგორც წესი შეადგენს შემკვრელი მასალის მთლიანი მოცულობის 15-დან 20 პროცენტამდე. ბეტონის ზედაპირის სკალირების თავიდან ასაცილებლად, ნაცარის შემცველობა უნდა აღემატებოდეს მთლიანი მოცულობის 25 პროცენტს.

წიდა (ASTM C989) ან დიოქსიდი (ASTM C1240) ასევე შეიძლება გამოიყენოს ტკეპნილი ბეტონის ნარევი. ნაცარის და წიდას მსგავსად, დიოქსიდმა შესაძლოა გაზარდოს ბეტონის სიმტკიცე და ყინვამედეგობა, თუმცა ასევე შეიძლება გაზარდოს დაპრესვისთვის საჭირო ძალის მოცულობა. ყველაზე ეკონომიური და ტექნიკურად გამართლებულია დიოქსიდშერეული ცემენტის გამოყენება შემრევ ქარხანაში დამატების ნაცვლად.

წიდას და დიოქსიდის გამოყენება გავრცელებულია დასავლეთ კანადაში ან შერთებულ შტატებში. თუმცა დიოქსიდი უკვე 10 წელზე მეტია გამოიყენება აღმოსავლეთ კანადაში, განსაკუთრებით კვებეკში, მაღალი დატვირთვის დატკეპნილი ბეტონის საფარის დაგებაში. ცივი ამინდის პირობებში დიოქსიდს შეუძლია დააჩქაროს და გააუმჯობესოს ტკეპნილი ბეტონის მექანიკური თვისებები. დიოქსიდები უმეტესად გამოიყენება შერეულ ცემენტებში ჩანაცვლების დონეზე 7-დან 8 პროცენტამდე.

პუცოლანის და სხვა მინერალური დანამატების ბეტონში გამოყენების ინსტრუქცია მოცემულია სახელმძღვანელოში: *ინტეგრირებული მასალები და სამშენებლო პრაქტიკა ბეტონის საფარისთვის: პრაქტიკული სახელმძღვანელო.*

შერეული ცემენტები (ცემენტები, რომელსაც აქვს პუცოლინის ან წიდის წინასწარ განსაზღვრული პროცენტულობა) ასევე შეგიძლიათ გამოიყენოთ დატკეპნილი ბეტონის ნარევებში.

3.3.3 წყალი

წყლის შემცველობა ქიმიური ჰიდრაციისთვის დატკეპნილ ბეტონში გამომდინარეობს ორი რესურსიდან. წყლის ხარისხი როგორც წესი უნდა აკმაყოფილებდეს სტანდარტის ASTM C1602 მოთხოვნებს. ინჟინერმა უნდა განსაზღვროს, რომ წყლის რესურსი ტესტირებულა მშენებლობამდე, თუ ეს შესაძლებელია, გამოიყენოს ობიექტისთვის დამახასიათებელი წყალი გამოიყენოთ სატკეპნით დაგებული ბეტონის ნაზავისთვის. მნივნილოვანია იცოდეთ სამშენებლო წყლის რესურსის მდებარეობა და ნებისმიერი შეზღუდვები მის პროექტში გამოყენებაზე.

3.3.4 ქიმიური მინარევები

მინარევების შერჩევა ძირითადად მოიცავს მინარევების განსაზღვრული რაოდენობების და ტიპების ეფექტურობას, რომლებიც გამოყენებულ უნდა იქნეს ნარევეში. ქიმიური ნივთიერებების დანამატები რომლებიც ჩვეულებრივ გამოიყენება სტანდარტულ ბეტონში - როგორცაა წყლის შემამცირებლები, შემაკავებლები, დამაჩქარებლები და შემწებებლები - შესაძლებელია გამოიყენოთ გამოიყენოთ სატკეპნით დაგებულ ბეტონში.

ვინაიდან სატკეპნით დაგებული ბეტონის ნარევები ძალიან მშრალია, ეფექტურობისთვის დანამატები უნდა დაემატოს დიდი ოდენობით, ვიდრე სტანდარტულ ბეტონში. ნებისმიერი დანამატი უნდა დაიტესტოს გამოყენებამდე, რათა განისაზღვროს ახალი და გამაგრებული ტკეპნილი ბეტონის თვისებებზე მისი შედეგები. ტკეპნილი ბეტონის დასაგებად შეგიძლიათ იხილოთ ASTM C94, ქიმიური ნივთიერებების დანამატების სპეციფიკაციები ბეტონისთვის.

დანამატის შემამცირებლობის უნარი შეამციროს წყლის მოთხოვნები ან ტკეპნილი ბეტონის ნარევების დამატებითი დატკეპვის უზრუნველყოფა დამოკიდებულია გარკვეულწილად შემავსებლის მოცულობაზე და ტიპზე.

ზოგიერთი მწარმოებელი მიიჩნევს რომ უფრო იაფია ცემენტის შემცველობის გაზრდა, ვიდრე წყლის შემამცირებელი დანამატების გამოყენება. თუმცა, ამან შესაძლოა წარმოშვას სხვა საკითხები, როგორცაა ნარევის უფრო მეტად შეკუმშვა.

შემაფერხებელი დანამატები შეამცირებს ტკეპნილი ბეტონის ჰიდრატაციას და ამრიგად ხელს შეუწყობს დატკეპვნის დროის გაზრდას და გააუმჯობესებს ღუნვის სიმტკიცებს გვერდით მდებარე ხაზებს ან შემდგომ ფენებს შორის.

დამაჩქარებელი დანამატების გამოყენება შესაძლებელია თუ მიზნად გვაქვს დაგების დროის დაჩქარება, მაგალითად როდესაც საგზაო მოძრაობისთვის გზა მალე უნდა გაიხსნას.

თუ დანამატებს ამატებთ, უნდა ჩატარდეს გაფართოებული ლაბორატორიული და საველე ტესტირება, რათა განისაზღვროს სათანადო დოზირება.

თავი IV. ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის თვისებების თეორიული კვლევა

4.1 ტკეპნილი ბეტონის ნარევის პროპორციები

ხარისხიანი ტკეპნილი ბეტონის ნარევის მისაღებად მასალების შერჩევასთან ერთად გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მასალების სწორ პროპორციებს. ნარევის შექმნის პროცესში უნდა ჩაატაროთ ლაბორატორიული ცდები და გამოიყენოთ სამეცნიერო და სისტემური მიდგომა, რომელიც ითვალისწინებს სასურველ საიჟინრო თვისებებს, სამშენებლო მოთხოვნებს და ეკონომიას.

ნარევის პროპორციების რამდენიმე მეთოდი წარმატებით გამოიყენება მთელი მსოფლიოს მასშტაბით ტკეპნილი ბეტონის სტრუქტურებისთვის; ამასთანავე, რთულია ერთი პროცედურის გამოყოფა სტანდარტულ პროცედურად. თუმცა, ყველაზე გავრცელებული ნარევის პროპორციების მეთოდები მოიცავს ქვემოთ ჩამოთვლილ ზოგად მიდგომებს:

1. ნიადაგის დატკეპვის მიდგომა: ცემენტი-შემავსებლები, ნარევისთვის, რომელშიც განსაზღვრულია ოპტიმალური ტენიანობა და მაქსიმალური სიმკვრივე
2. კონსისტენტობის მიდგომა: წ/ცმ ფარდობა, მუდმივად კონსისტენტობის შენარჩუნებით და აბსოლუტური მოცულობით განსაზღვრული ნარევით.

სატკეპნით დაგებული ბეტონის პროპორციების შერჩევა ცხრილი 1.

კონსტრუქციულობა	მექანიკური მახასიათებლები	ეკონომია	ხანმედეგობა
ნაზავი არის კონსტრუქციული, აღწევს საჭირო სიმკვრივეს ოპტიმალური დატკეპვის ძალით	სიმტკიცე კუმშვაზე; სიმტკიცე ღუნვაზე;	ადგილობრივი ხელმისაწვდომი მასალები, ცემენტის ნაკლები შემცველობა, დანამატის გამოყენება;	წყლის დაბალი გამტარიანობა, ცვეთაზე მაღალი გამძლეობა,

ნებისმიერი მეთოდის გამოყენებისას, მთავარი მიზანია მოვაწყოთ ბეტონი საფარი, რომელსაც:

- აქვს საკმარისი მოცულობის მასა შემავსებლის დასაფარად რათა შეავსოს მათ შორის სიცარიელები;
- შეუძლია მიიღოს საჭირო მექანიკური და დრეკადობის თვისებები;
- აქვს დატკეპვნის შედეგად მიღებული მახასიათებლები, რომელიც აადვილებს საჭირო სიმკვრივის მიღწევას;
- ძლებს კარგად მოცემულ გარემოში;



სურ. 4.1 დატკეპნილ ბეტონში გამოყენებული მასალები

4.2. მასალების გათვალისწინება ტკეპნილი ბეტონის პროპორციების შერჩევისას

4.2.1 შემავსებლები

დატკეპნილი ბეტონი უნდა დაიგოს კარგად დამსხვრეული შემავსებლებით, რათა მოვახდინოთ მასის შემცველობის ოპტიმიზაცია, შევამციროთ სიცარიელები,

შევამციროთ აგრეგაცია და ვუზრუნველყოთ მკვრივი, სწორი, მჭიდრო ზედაპირი. დატკეპნილი ბეტონის ნარევები ხშირად საჭიროებს წვრილმარცვლოვანიდან მსხვილმარცვლოვან შემავსებლებამდე მაღალ პროპორციას, ვიდრე სტანდარტული ბეტონი.

4.2.2 წყალი

წყლის შემცველობა უნდა იყოს ისეთი, რომ ნარევი საკმარისად მშრალი იყოს რათა გაუძლოს ვიბრაციული სატკეპნის წონას ჯერ კიდევ სველ მდგომარეობაში, რათა უზრუნველყოს ცემენტის მასის თანაბარი განაწილება.

4.2.3 შემკვრელი მასალები

გამოყენებული შემკვრელი მასალები უნდა აკმაყოფილებდეს საჭირო პროექტირების სიმტკიცის და გამძლეობის მოთხოვნებს.

4.2.4 ქიმიური დანამატები

სხვადასხვა ქიმიური დანამატები - როგორცაა წყლის შემამცირებლები, შემაკავებლები, დამაჩქარებლები და ა.შ. - შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს დატკეპნილი ბეტონის ნარევი, რათა გაუმჯობესდეს ნარევის შეკავშირება. ტკეპნილი ბეტონის ნარევის ფაქიურად მშრალი მასის გამო, ქიმიური ნივთიერებების დანამატების საჭირო დოზირება ტკეპნილ ბეტონში ზოგადად უფრო მეტია სტანდარტული ბეტონის ნარევთან შედარებით.

4.2.5 სიმტკიცე კუმშვაზე

მასალების ცვალებადობის, შერევის, ტრანსპორტირების და დაგების ცვალებადობის ერთმანეთთან შეთანხმების მიზნით, დატკეპნილი ბეტონის ნარევებს პროპორციების შერჩევა უნდა მოხდეს ლაბორატორიაში, რათა მიღწეულ იქნეს განსაზღვრულ სიმტკიცეზე მეტი სიმტკიცე.

სტანდარტის დამტკიცებამდე, რეკომენდირებულია რომ შემზავებელმა განსაზღვროს სიმტკიცის კრიტერიუმები ყოველი კონკრეტული პროექტისთვის. საჭირო საშუალო სიმტკიცე, ამასთანავე, სიმტკიცის მისაღები კრიტერიუმი, მათ

შორის ტესტირების მეთოდები, ნათლად უნდა განისაზღვროს პროექტის სპეციფიკაციებში.

4.2.6 ბეტონის კონსისტენციის მეთოდი

ბეტონის კონსისტენციის მეთოდი როგორც წესი მოითხოვს ნარევის კონკრეტული პარამეტრების დადგენას - როგორცაა შემავსებლის ოდენობა, წყლის ოდენობა ან შემკვრელი მასალების ოდენობა.

ბოლო წლებში შემოღებულ იქნა ყველაზე თეორიული და ფუნდამენტალური მიდგომა ტკეპნილი ბეტონის ნარევის პროპორციების მიმართ, რომელსაც მყარი გაჩერების მოდელი ეწოდება. ეს მეთოდი გამოიყენება თითოეული მშრალი მასალების განსაზღვრისთვის (ცემენტი, ნაცარი, ქვიშა და მსხვილმარცვლოვანი შემავსებელი), რაც ახდენს მოცემული დატკეპნილი ბეტონის ნარევის სიმკვრივის ოპტიმიზაციას.

ოპტიმიზირებული სიმკვრივის გამოყენებით, წყლის ოდენობა, რომელიც აუცილებელია სიცარიელების შესავსებად მშრალ მასალებს შორის, ძალიან ადვილად გამოითვლება. კონკრეტული მასალების მახასიათებლების ცოდნით (როგორცაა გრადაცია, ფარდობითი გრავიტაცია და ჰაერის სიცარიელები) თითოეული მშრალი მასალისთვის, სარწმუნო კომპიუტერული სიმულაციები შეიძლება გაკეთდეს ამ მოდელის გამოყენებით. ამ მყარი გაჩერების მოდელის მთავარი უპირატესობა არის ის, რომ იგი შეიძლება გამოიყენოთ ტკეპნილი ბეტონის ნარევის ოპტიმალური პროპორციების სწრაფად გამოთვლისთვის, დიდი მოცულობის ლაბორატორიული საცდელი პარტიების მომზადების გარეშე.

4.2.7 ოპტიმალური მასის მოცულობის მეთოდი

ოპტიმალური მასის მოცულობის მეთოდი შემუშავდა ტკეპნილი ბეტონის ნარევების შესარევად მასიური სტრუქტურების მშენებლობისთვის. ეს მეთოდი ეფუძნება კონცეფციას, რომ ოპტიმალური დატკეპნილი ბეტონის ნარევის უნდა ჰქონდეს საკმარისი მასა, რათა სრულად შეივსოს სიცარიელები, რომლებიც რჩება როდესაც გრანულარული კარკასი მიაღწევს მის მაქსიმალურ სიმკვრივეს დატკეპვის პირობებში. თუ ნაკლები მასა გამოიყენება, დატკეპვის შემდეგ დარჩენილმა

სიცარიელებმა შეიძლება შეამციროს მექანიკური თვისებები და გაზარდოს წყალშედწევადობა.

4.2.8 შემკვრელი მასალების შერჩევა

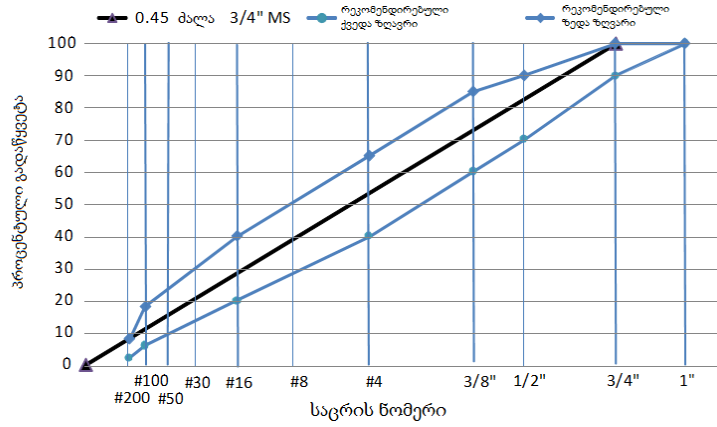
შემკვრელი მასალების შერჩევა ეფუძნება კონკრეტული პროექტის სპეციფიკაციებს, ეკონომიკურ მოსაზრებებს და მასალების ხელმისაწვდომობას და წარმოების საკითხებს. მზიდი ფენებისთვის კარგი საწყისი წერტილი შეიძლება იყოს 11 და 13 პროცენტს შორის ცემენტისთვის, რომელსაც არ აქვს დამატებული ქიმიური დანამტები.

4.2.9 ტენის და სიმკვრივის დამოკიდებულების შექმნა

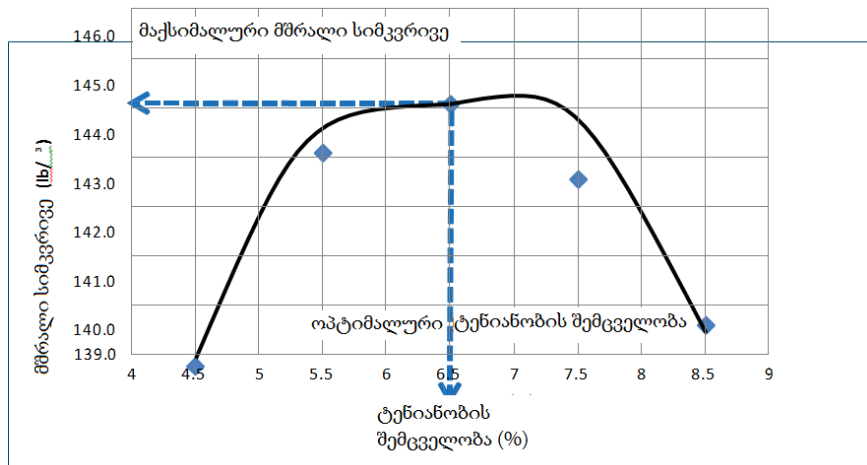
შემკვრელი მასალების პროცენტულობისთვის, ირჩევა სხვადასხვა ტენიანობის შემცველობა, ტენის და სიმკვრივის დამოკიდებულების შექმნისთვის. როგორც ნაჩვენებია გრაფ. 2.2. უმეტესი შემავსებლებისთვის, ოპტიმალური ტენის შემცველობა დადგენილია რომ არის 5-8 პროცენტი. რეკომენდირებულია, რომ ტენიანობის შემცველობა განსხვავდებოდეს ამ თვალსაზრისით, ტესტირებული შემავსებლის მანამდე არსებული გამოცდილების მიხედვით.

თითოეული შემკვრელის შემცველობისთვის შეიძლება გამოიყენოთ მოდიფიცირებული პროექტორის ტესტის მეთოდი (ASTM D1557) რათა განსაზღვროთ მაქსიმალური სიმკვრივე და ოპტიმალური ტენიანობის შემცველობა. უფრო სუსტი შემავსებლების გამოყენებისას, სტანდარტული პროექტორის ტესტი (ASTM D698) უნდა გაითვალისწინოთ ტესტირების დროს აგრეგატების დაშლის თავიდან აცილების მიზნით. ASTM C1170, სტანდარტული ტესტირების მეთოდი კონსისტენციის და სიმკვრივის

განსაზღვრისთვის ტკეპნილ ბეტონში, ვიბრირების ცხრილის გამოყენებით, მეორე მეთოდია, რომლის გამოყენება შეიძლება ტკეპნილი ბეტონის ტენიანობის და სიმკვრივის დამოკიდებულების განსაზღვრისთვის. რეკომენდირებულია, რომ შეიქმნას სულ მცირე სამი მონაკვეთი სამი სხვადასხვა შემავსებლის შემცველობისთვის. მაგალითად, სამი ტიპის შემავსებლის შემცველობა შეიძლება იყოს 10 პროცენტი, 12 პროცენტი და 14 პროცენტი.



გრაფ. 4.1. შემოთავაზებული შემავსებლის გრადაციის ხაზი და 0.45 ძალის რკალი



გრაფ. 4.2. ტენიანობის და სიმკვრივის რკალი



სურ.4.2 დატკეპნილი ბეტონის საფარების სტრუქტურული დიზაინი

4.3 ტკეპნილი ბეტონის წარმოება

სატკეპნით დაგებული ბეტონის წარმოება მოიცავს შემდეგ პროცესებს:

- მასალების შერჩევა და რესურსის დადგენა
- მასალების დამუშავება და დასაწყობება
- შერევა
- დოზირება და მონიტორინგი
- წარმოების დაგეგმვა
- ტრანსპორტირება
- ხარისხის კონტროლი

ტკეპნილი ბეტონის წარმოება სხვადასხვა გზით:

- ცენტრალური დოზირების ქარხნები (წყვილბრუნნიანი შემრეველები და ქვაბიანი შემრეველები)



4.3 ტკეპნილი ბეტონის წარმოება

- მშრალი დოზირების ქარხნები, რომლებიც იყენებს შემრევ სატვირთოებს
- უწყვეტი ნაკადის შემრევები (თიხის წისქვილი და ჰორიზონტალური ბუნიკიანი შემრევები)
- დოლურა შემრევები

ბეტონის მიწოდება შემრევი ქარხნიდან წარმოების გადამწყვეტი ასპექტია ვინაიდან ტკეპნილი ბეტონის მშრალი ნარევი ზრდის სეგრეგაციის პოტენციალს. დატკეპნილი ბეტონი როგორც წესი მიეწოდება თვითმცლელელებში, თუმცა გადასატანი შემრევების გამოყენება ზოგჯერ შესაძლებელია მცირე პროექტებისთვის. დატკეპნილი ბეტონის წარმოების ხარისხის კონტროლის ეტაპები მოიცავს დასაწყობებული მასალების ყოველდღიურ შემოწმებას და მასალების მონიტორინგს მათი მიწოდებისას.

ტკეპნილი ბეტონის წარმოების ტექნიკის ადაპტირება ობიექტისთვის დამახასიათებელ პირობებთან და ადგილობრივ ხელმისაწვდომ მასალებთან, შედეგად მოგვცემს ხარჯების შემცირება და ნაზავის ხარისხის გაუმჯობესება.

1	მასალების შესყიდვა ყველაზე შესაბამისი და ეკონომიური მასალების შერჩევამასალების შემოწმება და მიღების კრიტერიუმების განსაზღვრა
2	მასალების დასაწყობება მაცემენტებელი მასალების შენახვა აგრეგატების სწორად შენახვატემპერატურის და მტვრის კონტროლი სეგრეგაციის და ტენიანობის კონტროლი
3	ხარისხის კონტროლი და მიღების გეგმახარისხის კონტროლის გეგმის განსაზღვრარესურსების შემოწმება და ინვენტარის კონტროლი შენახული მასალების პერიოდული შემოწმება
4	დოზირება სეგრეგაციის თავიდან აცილება პირველი შეტანა / პირველი გამოტანა სხვადასხვა ნაზავების დოზირება ტემპერატურის შენარჩუნების სტრატეგიები
5	შემრევი ქარხნის მოცულობის შერჩევა დაგების სიჩქარის შესაბამისად შერევის ხარისხი, კონსისტენცია და ერთგვაროვნება ხარისხის ონლაინ მონიტორინგი შერევა
6	მასალების და ტექნიკის ხარისხის კონტროლი/ხარისხის უზრუნველყოფა ქარხნის დანადგარების რეგულარული კალიბრირება ბეტონის ხარისხის ტესტირება ჩამოსხმამდე ტრანსპორტირების აღჭურვილობის ხარისხი
7	მიწოდება რაოდენობის წარმოება კონსისტენცია სიჩქარე
8	ტრანსპორტირება და მწარმოებლურობა
9	ბეტონის დაცვა ზედმეტი ტემპერატურისგან და ქარის, ტენიანობის დაკარგვისგან და ა.შ.
10	გადაზიდვის ციკლის დაგეგმვა

4.3.1 ტკეპნილი ბეტონის შემრევი ქარხნები

ტკეპნილი ბეტონის შერევის ორი მეთოდი არსებობს დოზირების ტიპის და უწყვეტი შემრევები. დოზირების ტიპის შემრევები შედგება მოძრავთავიანი ან

ფიქსირებული დოკუმენტებისგან და გადასატანი შემრევებისგან (მშრალი პარტიის მზა შერევის სატვირთოები). დოზირების ტიპის შემრევები როგორც წესი გამოიყენება შედაერბით მცირე პროექტებისთვის და ერთდროულად აწარმოებს ტკეპნილი პარტიას.

შერევის ციკლის შემდეგ შემრევი უნდა დაიცალოს სრულად და მასში ხელახლა ჩაიტვირთოს მასალები შემდეგი პარტიისთვის.

უწყვეტი შემრევები მოიცავს თიხის წისქვილებს და ჰორიზონტალურ ბუნიკიან შემრევ ქარხნებს. უწყვეტი შემრევები როგორც წესი გამოიყენება დიდი პროექტებისთვის და უწყვეტად აწარმოებს სატკეპნით დაგებულ ბეტონს. მასალები უწყვეტად შედის ერთი ბოლოდან და ახლად შერეული ბეტონი გამოდის მეორე ბოლოდან.

შემრევის არჩევა უნდა მოხდეს კონტრაქტორის/მიმწოდებლის მიერ, ერთგვაროვანი პროდუქტის მისაღებად საჭირო სპეციფიკაციების საფუძველზე, პროექტის მოცულობის, ტექნიკის ხელმისაწვდომობის, ეკონომიის და მანძილის გათვალისწინებით. სწორი შემრევი უმნიშვნელოვანესია დასაგები ტექნიკისთვის უწყვეტად და მდგრადი ხარისხით მისაწოდებლად.

დოზირების ტიპის ქარხნები როგორც წესი ახდენს კომპონენტების პროპორციების განსაზღვრას შემავსებლების, ცემენტის და დანამტებისების აწონვით და შესარევი წყლის მოცულობის განსაზღვრით. უწყვეტი ნაკადის შემრევი ქარხნები ზომავს თითოეული ელემენტის წონას და/ან მოცულობას. პარტიის წონის ან მოცულობითი პროპორციების მონიტორინგი ტკეპნილ ბეტონის წარმოებისას არსებითია ხარისხის კონტროლისთვის.

წარმოების დროს ხარისხის კონტროლისთვის მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ ქარხნის გაზომვის და კონტროლის სისტემა. გაზომვების ტიპი და კონტროლის სისტემის განსაზღვრებები მნიშვნელოვანია იმისთვის, რომ უზრუნველყოთ ნაზავის პროპორციების და ქარხნის ჩანაწერების ზუსტად გადაცემა ქარხნის ოპერატორსა და ხარისხის კონტროლის კოლექტივს შორის.



სურ.4.4. მოძრავთავიანი დოლურა შემრევი



სურ. 4.5 ჰორიზონტალურ ბუნკიანი შემრევი (მარცხნივ) და შემრევი ახლო ხედი (მარჯვნივ)

4.3.2 დოზირება და მონიტორინგი

მასალების ზუსტი დოზირება მთავარია ტკეპნილი ბეტონის ნარევის ხარისხის მისაღებად. დოზირება უნდა მოხდეს ASTM C94-ის შესაბამისად. შემრევი ქარხანა (დოზირების ან უწყვეტი) სათანადოდ უნდა დაკალიბრდეს. ორივე ტიპის ქარხნის დაკალიბრება და მუშაობა შედარებით ადვილია.

ტკეპნილი ბეტონის პარტიების სპეციფიკაციები სტანდარტული ბეტონის მსგავსია. პარტიის ზოგადი სპეციფიკაციები შეგიძლიათ იხილოთ სტანდარტში ASTM C94. თუმცა, დატკეპნილი ბეტონისთვის გათვალისწინებულ უნდა იქნეს შემდეგი პუნქტები:

- იდეალურ შემთხვევაში, ქარხანა უნდა აღიჭურვოს ტენიანობის სენსორებით, შემავსებლების ცვალებადი ტენიანობის და პარტიების მასალების მასებში ცვლილებების კომპენსირებისთვის.
- შერევის პროცესში შემავსებლის და სხვა კომპონენტების ბუნკერები უნდა დაპროექტდეს სეგრეგაციის შესამცირებლად. ასევე შეიძლება ეკრანების მოთავსება ზედმეტი ზომის შემავსებლების მოსაშორებლად.
- მაღალსიჩქარიანი და უწყვეტი წარმოებისთვის, განსაკუთრებით შემკრებ დოზატორში, ყურადღება უნდა მიექცეს „გაურკვეველ მასალას“ ყოველი აწონვის ბოლოს. საჭიროა საზომი და მკვებავი აღჭურვილობის სინქრონიზაცია დოზირებაში და შერევაში სიზუსტის შესანარჩუნებლად.
- შემავსებლის შკალის დაკალიბრირება და სიზუსტე უნდა შემოწმდეს ხშირად.
- შემავსებლების უნდა შეინახოთ ნესტში ან შერევიდან დაგებამდე გაშრობის პოტენციალის შემცირების მიზნით.

თავი V. ადგილობრივ საშენ მასალებზე დამზადებული დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის თვისებების ექსპერიმენტალური კვლევა

5.1 ბეტონის საფარის სატკეპნით დაგება როგორც წესი მოიცავს შემდეგ პროცესებს:

- დოზირება და შერევა
- პირველი ფენის და ქვედა ფენის მომზადება
- ტრანსპორტირება
- დაგება
- დატკეპვნა
- ნაკერების გაკეთება
- გასწორება და დაცვა

დატკეპნილი ბეტონის საფარი იგება ასფალტის დასაგები ტექნიკით და იმ ტექნოლოგიების კომბინაციით, რომლებიც გამოიყენება როგორც ასფალტის, ისე სტანდარტული ბეტონის საფარის დაგებისთვის. ტკეპნილი ბეტონი საფარისთვის არ გამოიყენება თარაზოები, მეტალის არმატურა ან ფორმები.

სტანდარტული ბეტონის საფარის დაგებისგან განსხვავებით, ბეტონის სატკეპნით დაგება საჭიროებს დატკეპვნას ვიბრაციული ფოლადის დოლურით და რეზინის საბურავებიანი სატკეპნებით. ამასთანავე, დაგების ნიმუში უნდა გაკეთდეს სამუშაოს დაწყებამდე, რათა განისაზღვროს დაგების თანმიმდევრობა (დაგების ტექნიკის მიმართულება, ზოლების სიგრძე და სიგანე), სამშენებლო ნაკერების მდებარეობა და სატკეპნით დაგებული ბეტონი საწარმოო ქარხნის მდებარეობა. გეგმა გვამღევს შესაძლებლობას ვუზრუნველყოთ უწყვეტი დაგება, დავიცვათ დაგების განრიგი და მინიმუმამდე დავიყვანოთ ცივი ნაკერები. სიფრთხილის ზომების მიღება საჭიროა წარმოებიდან გასწორებამდე, რათა თავიდან ავიცილოთ (ან სულ მცირე შევამციროთ) ბეტონის სეგრეგაცია და ტენიანობის დანაკარგი.



სურ.5.1 დატკეპნილი ბეტონის საფარის მოწყობა

5.2 პირველი ფენა, ქვედა ფენა და ძირითადი ფენის მომზადება

პირველი ფენა უნდა დაიპრესოს ერთგვაროვნად მაქსიმალური სიმკვრივის სულ მცირე 95 პროცენტამდე, სტანდარტის ASTM D1557 შესაბამისად. პირველი ფენა, გრანულარული ქვედა ფენა და ძირითადი რიგი ტკეპნილი ბეტონის საფარისთვის უნდა უძლებდეს და საკმარისად მაგარი უნდა იყოს რათა შეძლოთ სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარის დატკეპვნი. სანამ სატკეპნით დაგებული ბეტონის დამუშავება დაიწყება, დასაგები ტერიტორია უნდა დაიყოს და ფორმა მიეცეს გეგმებში ნაჩვენებ ხაზებად და დონეებად ან ინჟინრის მიერ მითითების შესაბამისად. დაგების პროცესის დროს, ნებისმიერი გამოუსადეგარი ნიადაგი ან მასალა უნდა გაიტანოთ და ჩაანაცვლოთ მისაღები მასალით.

გრანულარული ქვედა ფენა ხშირად გამოიყენება საფარის უკანა ნაწილიდან წყლის დასაწრეტად და ბეტონის გაჟღენთვის თავიდან ასაცილებლად ადგილებში, სადაც საფარის ფსკერი ექვემდებარება ცივი დანით ციკლირებას. ძირის რიგის ადეკვატური სისწორე მოითხოვება საფარისთვის, რომელსაც შედარებით მჭიდრო სისწორის დაშვება აქვს.

ვინაიდან სატკეპნით დაგებული ბეტონი ძალიან სენსიტიურია გრანულარული პირველი ფენიდან მომდინარე ჭარბი ტენის მიმართ, ზედმეტად ტენიანი ადგილები უნდა დამუშავდეს, რათა გაშრეს და ხელახლა დაიპრესოს ან ამოითხაროს და

ჩანაცვლდეს დამტკიცებული მასალით. თუ ეს არ მოხერხდება, ტენიანობა უნდა გაკონტროლდეს ადეკვატური დრენირებით.

თუ დაგება იმ ადგილებში, სადაც სუსტი ნიადაგია, სველი პირველი ფენებია ან საჭიროებს უფრო ძლიერ პლატფორმას, შეიძლება გამოიყენოთ დამუშავებული ბაზა.

სატკეპნით დაგებული ბეტონის საფარის დაგებამდე, ბუნებრივი პირველი ფენის ზედაპირი, გრანულარული ქვედა ფენა და დამუშავებული პირველი ფენა უნდა გაიწმინდოს და გათავისუფლდეს უცხო სხეულებისგან, დაგუბებული წყლისგან და ყინულისგან. პირველი ფენა, ქვედა ფენა ტკეპნილი ბეტონის საფარის დაგების დროს უნდა იყოს ერთგვაროვნად ტენიანი, რათა ხელი შეუწყოს პირველი ფენის და ქვედა ფენის დაცვას დატკეპნილი ბეტონის საფარიდან ნესტის გადევნაში. თუ საჭიროა წყლით დანამვა გარკვეული ადგილების ხელახალი დატენიანებისთვის, ყურადღება უნდა მიექცეს ტალახის, გუბურების ან სარწყავი ტექნიკის მიერ დატოვებული ღრმა ნაკვალევის ფორმირებას. ბეტონის სატკეპნით დაგებისას პირველი ფენა უნდა შემოწმდეს სათანადო სიმკვრივეზე და რბილი ან ამოხერილი ადგილები უნდა გასწორდეს.



სურ.5.2 პირველი ფენის მომზადება

მიუხედავად შერევის და დოზირების შერჩეული მეთოდისა, ტკეპნილი ბეტონის ნარევი როგორც წესი ტრანსპორტირდება სამუშაო ადგილას თვითმცლელელებით.

ტკეპნილი ბეტონის ძალიან მშრალი კონსისტენციის გამო ზოგჯერ გამოიყენება გასათხევადებელი დანამატები (პლასტიფიკატორები) როდესაც დატკეპნილი ბეტონის გადატანა ხდება გადასატან შემრევებში.

დატკეპნილი ბეტონის ტრანსპორტირებისას უნდა გაითვალისწინოთ შემდეგი საკითხები:

- ტრანსპორტის პარკის მოცულობა და კონფიგურაცია უნდა განისაზღვროს შემრევის მწარმოებლურობის, ტრანსპორტირების მანძილის, დამგები ქარხნის მოცულობის, კლიმატის და დაგების დროის (დღე/ღამე) გათვალისწინებით.

- ვინაიდან ბეტონის მოთავსება შესაძლებელია პირდაპირ თვითმცლელეებში მოძრავთავიანი დოლურიდან და ჰორიზანტალურ ბუნკიანი შემრევებიდან, გადასატანი შემრევების გამოყენება მოიცავს დამატებით ნაბიჯს თვითმცლელზე დაცლისთვის.

- თვითმცლელეები უნდა იყოს სუფთა, ხშირად გაირეცხოს. ტკეპნილი ბეტონი შეიძლება მიეწეოს თვითმცლელის კორპუსზე და თუ არ გაირეცხება, შეიძლება გადმოცლის დროს გამოიწვიოს პრობლემები. ამასთანავე, ყუთი უნდა გაიწმინდოს მიწოდების შემდეგ, რათა უზრუნველყოს ძველი და პოტენციურად გამომშრალი ბეტონი არ ჩაისხმება შემდეგი სატვირთოს დატვირთვისას.

- ტკეპნილი ბეტონი უნდა დაფაროთ ბრეზენტით ან სხვა შესაბამისი საფარით, რათა თავიდან აიცილოთ ტენიანობის დანაკარგი, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს პრობლემები დაგების, დატკეპვის და მუშაობის დროს. ამასთანავე, შემრევი უნდა იყოს ოპტიმალური ტენიანობის შემცველობის ოდნავ ზემოთ რათა შეაჩეროს წყლის დანაკარგი ტრანსპორტირების დროს. ოპტიმალური ტენიანობის შემცველობა საჭიროა სათანადოდ დაპრესვისთვის.

- ვიბრაციული (მოქანავე) ბუნკერი დაცლის ადგილას საჭიროა გაიხსნას და დაიხუროს ყოველი დატვირთვის დროს, სეგრეგაციის თავიდან ასაცილებლად.

5.3 ტკეპნილი ბეტონის საფარის მოწყობა

სატკეპნით დაგებული ბეტონი როგორც წესი იგება ასფალტდამგებით, რომელიც ზოგჯერ მოდიფიცირდება შედარებით დიდი მოცულობის მასალის

საგებით გადატანის შემთხვევაში. მოდიფიკაციები შეიძლება მოიცავდეს მიწოდების ბუნკერსა და დაგებულ ფენას შორის ადგილის დაგრძელებას და განაწილების ხრახნების რეგულირებას ფენის წინ, რათა უზრუნველყოთ, რომ ბეტონი განაწილდეს ერთგვაროვნად დაგების ზოლის სიგანის გასწვრივ. დამგებს უნდა ჰქონდეს საკმარისი დაგების სიმძლავრე სულ მცირე შემრევი ნომინალურ წამროების მოცულობაზე 1.5-ჯერ მეტი.

დაგების დროს სეგრეგაციის თავიდან აცილების მიზნით, დამგები ბუნკერი არ უნდა დაიცალოს ბოლომდე, ბუნკერის გვერდები არასოდეს არ უნდა აიწიოს ზემოთ, და ბეტონი ყოველთვის უნდა ფარავდეს მიწოდების ბუნკერს.

ბეტონის დაგების ოპერაციები უნდა აკმაყოფილებდეს ზედაპირის ერთგვაროვნებას და ფენის სისქის მოთხოვნებს. დამგები როგორც წესი აღჭურვილია ავტომატური კონტროლის მოწყობილობებით, როგორცაა გადასატანი სასრიალო ან ელექტრონული ზოლის კონტროლის მოწყობილობა. ზოლის გამოყენება შესაძლებელია პირველი ხაზისთვის და გარე ნაპირისთვის მომდევნო ხაზებზე, მეორე მხარის მიმართულების საჩვენებლად.

რიგის ზემოდან ქვემოთ სათანადოდ დატკეპნისთვის, შეიძლება ასფალტის ტექნიკის გამოყენება რიგებისთვის, რომლებიც (15 სმ) სისქისაა ან ნაკლები, თუ ბეტონის ნარევის და დამგები ტექნიკის წინა გამოცდილება სხვა რამეს არ განსაზღვრავს. მაღალი სიმკრივის ასფალტის დამგები ტექნიკა წარმატებით გამოიყენება 15სმ-ზე სქელი საფარებისთვის.

თუ საჭიროა ერთზე მეტი რიგის დაგება პროექტირების სისქის მისაღებად, არსებული პრაქტიკა ითვალისწინებს თანაბარი სისქის ორ რიგს. ზედა რიგი უნდა დაიგოს ქვედა რიგის შემდეგ 60 წუთის მანძილზე (თუმცა ეს ინტერვალი დამოკიდებულია ნარევეზე და გარემო პირობებზე), რათა მივიღოთ ფენებს შორის კარგი კავშირი.

თუ ზედა რიგი იგება ქვედა რიგის შემდეგ 60 წუთზე მეტის დაგვიანებით, ფენები ზოგადად უნდა შეერთდეს ნაწილობრივ, რაც იწვევს სტრუქტურული ძალის დაკარგვას. ამ შემთხვევაში, ქვედა რიგის ჰორიზონტალური ზედაპირი უნდა გაიწმინდოს ჰაერის ან წყლის ჰავლით, რათა მოშორდეს ნარჩენები და მტვერი ზედა რიგის დაგებამდე.

დაგების და დატკეპვნის დრო მნიშვნელოვანია ბეტონის საბოლოო სახის ადეკვატური სიმტკიცის და სისწორის მისაღებად. ბეტონი იგება და იტკეპნება მაშინ როცა ჯერ კიდევ ტენიანია და შეიძლება მისი დამუშავება, როგორც წესი მიწოდებიდან 60 წუთის მანძილზე. ბეტონის დატკეპვნის დროის ლიმიტი ეხება დროს მომიჯნავე ხაზებს შორის, ვინაიდან ნაკერის ადგილი როგორც წესი დასაპრესი რიგის ბოლო პორციაა. ზოლის სიგანის ოპტიმიზაცია და უფრო მეტად სიგრძის, უმთავრესია სათანადო ინტერვალის შენარჩუნებისთვის. სულ მცირე ორი დამგების გამოყენებით შესაძლებელია ორ მომიჯნავე ზოლს შორის ინტერვალის შემცირება. ასეთ შემთხვევებში, სატკეპნით დაგებული ბეტონის წარმოება შესაბამისი უნდა იყოს ორივე დამგებისთვის ბეტონის მისაწოდებლად.

5.4 ტკეპნილი ბეტონის საფარის დატკეპვნა ვიბროკატოკებით

დატკეპნილი ბეტონის დაგებისას დატკეპვნის ეტაპი მნიშვნელოვანია ბეტონის საფარის სიმკვრივეზე, სიმტკიცეზე, გამტარიანობაზე და სისწორეზე მისი ძლიერი გავლენის გამო. ტკეპნილი ბეტონი როგორც წესი იპრესება 10 ტონიანი ორმაგდოლურიანი ვიბრატორული სატკეპნით დაგებისთანავე. რეზინის ბორბლებიანი სატკეპნები ასევე წარმატებით გამოიყენება, განსაკუთრებით საბოლოო გატარებისთვის, ზედაპირის ბზარების და ხარვეზების მოსაშორებლად და სწორი, მკვრივი ზედაპირის მისაღებად. ფოლადის ერთდოლურიანი ვიბრაციული სატკეპნების კომბინაცია უკან დაკიდულ მრავალსაბურავიანთან უპირატესია ორივე ტიპის სატკეპნებისთვის.

იმის გამო, რომ ტკეპნილი ბეტონის საფარის ზედაპირზე არ არის წყლის დინება, ბეტონის დატკეპვნის მზაობის დადგენის კარგი მეთოდია დავაკვირდეთ ახალი ბეტონის ქცევას სტატიკური სატკეპნის გავლის დროს. ბეტონს, რომელსაც აქვს დაპრესისთვის სათანადო კონსისტენცია თანაბრად გასწორდება სატკეპნის გადავლისას.



სურ.5.3 ფოლადის დოლურიანი და რეზინის საბურავებიანი სატკეპნები

გასწორება უკიდურესად მნიშვნელოვანი ფაქტორია ბეტონის სიმტკიცისა და გამძლეობისთვის. გასწორება სასარგებლოა ბეტონისთვის, ვინაიდან ბეტონს აძლევს საშუალებას განავითაროს სიმტკიცე და არ მოხდეს დანაწევრება, დამტვერვა და გამაგრებული ზედაპირის გაფართოება.

ვინაიდან ტკეპნილი ბეტონიდან არ ჟონავს წყალი, აორთქლება იწყება დაუყოვნებლივ მასიდან წყლის მოსაშორებლად, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს შეკუმშვის შედეგად წარმოქმნილი ბზარები და მეჩხერი მიკრო ბზარები, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ზედაპირის დაზიანება. ბეტონის ეფექტურად გასწორება ხელს უშლის ნაზავის წყლის აორთქლებას და უნდა შეასრულოთ საბოლოო დატკეპნისთანავე რაც შეიძლება სწრაფად.

პროექტების უმეტესობისთვის გამოიყენება ბეტონის გასასწორებელი თეთრი ნივთიერება, რომელიც შეესაბამება სტანდარტს ASTM C309 „თხევადი გარსის წარმომქმნელი ნივთიერებები ბეტონის გასასწორებლად“. ვინაიდან სატკეპნით დაგებულ ბეტონს აქვს წყლის გაცილებით დაბალი შემცველობა და არ ავლენს წყლის ჟონვას, გამასწორებელი ნივთიერება უნდა გამოიყენოთ საბოლოო დატკეპნისთანავე ზედაპირის ვადამდე გამოშრობის პრევენციისთვის. ამიტომ, ადეკვატური გასასწორებელი გარსი უნდა დაედოს ზედაპირის დასალუქად და ამორთქლების შესამცირებლად. ღია ზედაპირის ტექსტურიდან გამომდინარე და ზედაპირის შეწოვის უნარის გამო, გამასწორებელი ნივთიერების ოდენობა შეიძლება იყოს 1,5-2-

ჯერ მეტი ვიდრე სტანდარტული ბეტონისთვის. ამ ქმედებამ უნდა უზრუნველყოს, რომ ერთგვაროვანი, სიცარიელებებისგან თავისუფალი გარსი გადაეფაროს ბეტონის საფარის მთელს ზედაპირს.

როგორც წესი, ბეტონის ტენიანობის რეგულირება არ არის დამტკიცებული რომ ზოგავს ხარჯებს, ვინაიდან მას სჭირდება დიდი ოდენობით წყლის გამოყენება მინიმუმ შვიდი დღით. როცა ტენის რეგულირებას იყენებთ, წყლის ავზი აღჭურვილი უნდა იყოს სპრეით, რომელიც გამოიყენება ზედაპირზე ტენიანობის შესანარჩუნებლად პირველ დღეს, რის შემდეგაც გამოიყენება მოსარწყავი შესასხურებელი სისტემა, დასველებული ტილო, ან წყლის ავზი გასწორების დარჩენილი პერიოდისთვის. გარემო პირობებიდან გამომდინარე, წყლის ავზები ზოგჯერ ვერ უზრუნველყოფს სწრაფად მიწოდებას ისე რომ არ მოხდეს ზედაპირის გაშრობა.

5.5 ადგილობრივი ინერტული მასალების გრანულომეტრიული ანალიზი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორიაში ჩატარდა ბეტონის შემადგენელი კომპონენტების (წვრილი შემვსები: 4.75 – 0.075 მმ ფრაქციის; მსხვილი შემვსები ღორღი: 37.5 – 4.75 მმ ფრაქციის) ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ლაბორატორიული ანალიზი.

ღორღი (37,5 - 4.75 მმ)

ნორმატიული დოკუმენტის დასახელება, რის მიხედვითაც ტარდება გამოცდა:
EM 1110-2-2006 Roller-Compacted Concrete.

მარცვლოვანი შემადგენლობა (გრანულომეტრია) ცხრილი 3.

№	ღორღის ნიმუში m = 2000.0 გრ			
	საცრის ზომა (მმ)	წონა გრ	კერძო ნარჩენი %	სრული ნარჩენი %
	1	2	3	4
1	37.5	2000	100	0
2	25.0	1221	61,05	38,95
3	19.0	862	43,10	56,90
4	12.5	640	32,00	68,00

5	9.5	441	22,05	77,95
6	4.5	262	13,10	86,90

მტვრისებრი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა

ცხრილი 4.

№	ლორღის ფრაქციის სისხო, მმ	სინჯის მასა განღეეკამდე, m გრ	სინჯის მასა განღეეკვის შემდეგ, m ₁ გრ	მინარევის შემცველობა, %	საშუალო, %
1	4.5-37,5	10000	9972.0	0.28	0.27
2	4.5-37,5	10000	9974.0	0.26	

ნაყარი სიმკვრივე (მოცულობითი მასა)

ცხრილი 5.

სინჯის №	ჭურჭლის მოცულობა, V სმ ³	მასა, გრ		სიმკვრივე, ρ _H კგ/მ ³	
		ჭურჭლის, m	ჭურჭელი მასალით, m ₁	სინჯის	საშუალო
1	5000	914.5	2338.0	1423.5	1425.3
2	5000	914.5	2341.6	1427.1	

ჭემმარიტი სიმკვრივე (37.5-19.0)

ცხრილი 6.

სინჯის №	მასა, გრ				სიმკვრივე, ρ გრ/სმ ³	
	პიკნომეტრი ღორღით, m	ცარიელი პიკნომეტრი, m ₁	პიკნომეტრი დისტლირებული წყალი, m ₂	პიკნომეტრი დისტლირებული წყალი და ღორღით, m ₃	სინჯის	საშუალო
1	66.5	36.5	136.7	155.91	2.78	2.77
2	66.5	36.5	136.7	155.84	2.76	

ჭემმარიტი სიმკვრივე (19.0-4.75)

ცხრილი 7.

სინჯის №	მასა, გრ				სიმკვრივე, ρ გრ/სმ ³	
	პიკნომეტრი ღორღით, m	ცარიელი პიკნომეტრი, m ₁	პიკნომეტრი დისტლირებული წყალი, m ₂	პიკნომეტრი დისტლირებული წყალი და ღორღით, m ₃	სინჯის	საშუალო
1	66.5	36.5	136.7	155.87	2.77	2.76
2	66.5	36.5	136.6	155.70	2.75	

ტენიანობა

ცხრილი 8.

სინჯის №	სინჯის მასა, გრ		ტენიანობა, W %	
	ტენიანი ღორღის წონა, M	მშრალი ღორღის წონა, M ₁	სინჯის	საშუალო
1	2320.0	2304.2	0.68	0.59
2	2315.1	2303.6	0.50	

ქვიზა (4.75 – 0.15მმ)

ნორმატიული დოკუმენტის დასახელება, რის მიხედვითაც ტარდება გამოცდა:

EM 1110-2-2006 Roller-Compacted Concrete

მარცვლოვანი შედგენილობა (გრანულომეტრია)

ცხრილი 9.

№	m = 2000.0 გრ			
	საცრის ზომა (მმ)	წონა გრ	კერძო ნარჩენი %	სრული ნარჩენი %
	1	2	3	4
1	9.5	2000	100	100
2	4.75	1961	1.95	98.05
3	2.36	1543	22.85	77.15
4	1.18	1204	39.80	60.20
5	0.60	1102	44.90	55.10
6	0.30	875,5	106,22	43,75
7	0.15	657,5	117,12	32,85

მტვრისებრი და თიხისებრი ნაწილაკების შემცველობა ცხრილი 10.

ნიმუშის №	სინჯის მასა, გრ		მინარევების შემცველობა, %	
	განლექვამდე, m	განლექვის შემდეგ, m ₁	სინჯის	საშუალო
1	1000	975.1	2.49	2.56
2	1000	973.7	2.63	

ჭემმარიტი სიმკვრივე (4.75-1.18)

ცხრილი 11.

სინჯის №	მასა, გრ				სიმკვრივე, ρ გრ/სმ³	
	პიკნომეტრი ქვიშით, m	ცარიელი პიკნომეტრი, m ₁	პიკნომეტრი დისტილირებულ წყალი, m ₂	პიკნომეტრი დისტილირებული წყალი და ქვიშით, m ₃	სინჯის	საშუალო
1	66.5	36.5	136.7	155.91	2.78	2.77
2	66.5	36.5	136.7	155.84	2.76	

ჭემმარიტი სიმკვრივე (1.18-0.15)

ცხრილი 12.

სინჯის №	მასა, გრ				სიმკვრივე, ρ გრ/სმ³	
	პიკნომეტრი ქვიშით, m	ცარიელი პიკნომეტრი, m ₁	პიკნომეტრი დისტილირებული წყალი, m ₂	პიკნომეტრი დისტილირებული წყალი და ქვიშით, m ₃	სინჯის	საშუალო
1	66.5	36.5	136.7	155.91	2.78	2.77
2	66.5	36.5	136.7	155.84	2.76	

ნაყარი სიმკვრივე (მოცულობითი მასა)

ცხრილი 13.

სინჯის №	ჭურჭლის მოცულობა, V სმ³	მასა, გრ		სიმკვრივე, ρ გრ/სმ³	
		ჭურჭლის, m	ჭურჭელი მასალით, m ₁	სინჯის	საშუალო
1	1000	360.2	1937.7	1577.5	1573.1
2	1000	360.2	1928.9	1568.7	

ცარიელობა

$$V_n = \left(1 - \frac{1573.1}{2.77 * 1000}\right) * 100\% = 43.20 \%$$

ტენიანობა

ცხრილი 14

სინჯის №	სინჯის მასა, გრ		ტენიანობა, W %	
	ტენიანი ქვიშის, M	მშრალი ქვიშის, M ₁	სინჯის	საშუალო
1	2131	1997.6	6.67	6.79
2	2112	1975.4	6.91	

5.6 ცემენტის აქტივობის დადგენა

5.6.1 პორტლანდცემენტი

ცემენტის სახეობაა, რომელსაც ფართოდ იყენებენ მშენებლობაში. მას დებულობენ დაწვრილმანებულ კლინკერისა და თაბაშირის ნარევისაგან. ზოგჯერ უმატებენ აქტიურ მინერალურ ნივთიერებებს. პორტლანდცემენტის უმნიშვნელოვანესი თვისებებია: სიმტკიცის გაზრდა გამყარებისას, წყალმდეგობა, ყინვამდეგობა და სხვა.

ამზადებენ პორტლანდცემენტის სხვადასხვა სახეობებს: უფრო სწრაფადმყარებადს, პლასტიფიცირებულს, ჰიდროფობურს, სულფატმდეგს, პუცოლანთანს, წიდაპორტლანდცემენტს, თეთრს, ფერადს და სხვა. მათი მარკებია: M300, M400, M500 და M600.

დატკეპნილი ბეტონის დასამზადებლად ჰიდრავლიკურ შემკვრელ ნივთიერებად შერჩეული იქნა შპს „Heidelberg Cement“ CEM II/B-P 32.5 N-ის წარმოების ცემენტი, რომელიც ფართოდ გამოიყენება მშენებლობაში. მისი უმნიშვნელოვანესი თვისებებია სიმტკიცის გაზრდა, წყალმდეგობა აგრესიულ გარემოში, ყინვამდეგობა და სხვა თვისებები.

5.6.2 ნორმატიული დოკუმენტის დასახელება, რის მიხედვითაც

ტარდება გამოცდა:

გოსტ 310.2-76 „ცემენტი. დაფქვის სიწმინდის განსაზღვრა“. გამოცდის მეთოდები“; გოსტ 310.3-76 „ცემენტი. ნორმალური ცომის, შეკვრის ვადების და თანაბარზომიერების განსაზღვრა“; გოსტ 310.4-81 „ცემენტი. სიმტკიცის განსაზღვრა ღუნვაზე და კუმშვაზე“.

ცემენტის ქიმიური შემადგენლობა

ცხრილი 15

მახასიათებლები	EN 197-1	ფაქტიური
ხურებითი დანაკარგი	არაა ნორმირებული	%
SiO ₂	„-----“	

Al ₂ O ₃	„-----“	
Fe ₂ O ₃	„-----“	
CaO	„-----“	
MgO	არა უმეტეს 5%	
SO ₃	1 %-3.5 %	
კლინკერის მინერალოგიური შემადგენლობა		
C ₃ S	არაა ნორმირებული	
C ₂ S	„-----“	
C ₄ AF	„-----“	
C ₃ A	„-----“	
MgO	არა უმეტეს 5%	

5.6.3 ცემენტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

ცემენტის დაფქვის სიწმინდის განსაზღვრა (ნარჩენი საცერზე) ცხრილი 16

ნიმუში №	სინჯის მასა, გრ		ცემენტის დაფქვის სიწმინდე %	
	საწყისი, m გრ	საბოლოო №0.08 საცერში გასული, m ₁ გრ	სინჯის	საშუალო
1	50	50	0	0
2	50	50	0	

ცემენტის ნორმალური ცომის სისქის განსაზღვრა

ცხრილი 17

ნიმუში №	სინჯის მასა, m გრ	წყლის რაოდენობა, V მლ	ლითონის ცილინდრის ცემენტის ცომში ჩაძირვის სიღრმე, h მმ	წყლის პროცენტული რაოდენობა ცემენტის მასიდან, %
1	300	89.4	6	29.8
2	300	88.5	7	29.5

ცემენტის შეკვრის ვადების განსაზღვრა (დასაწყისი და დასასრული) ცხრილი 17

ნიმუში №	ცემენტის წყალთან არევის დრო სთ, წთ	ანათვლის აღების დრო სთ, წთ	ცემენტის ცომში ნემსის ჩაძირვის სიღრმე H მმ	შეკვრის ვადების	
				დასაწყისი სთ, წთ	დასასრული სთ, წთ
1	16:03	16:18	40	2.02	6.10
		18:20	38		
		22:28	1		
2	14:10	14:25	40	2.15	6.18

ცემენტის სიმკვრივის განსაზღვრა

ცხრილი 18

ნიმუში №	სიმჯის მასა, m გრ	სითხის მოცულობა, V სმ ³	სიმკვრივე, გრ/სმ ³
1	63.0	20	3.15
2	63.0	20	3.15

ცემენტის დულაბისაგან დამზადებული ნიმუშების გამოცდა

ღუნვაზე და კუმშვაზე საწყისი მონაცემები

ცხრილი 19

ნიმუში №	ნიმუშის რაოდენობა	ცემენტის ხარჯი, გრ	ქვიშის ხარჯი, გრ	წყლის ხარჯი, მლ	წყ/ც	განთხევის საშუალო დიამეტრი, მმ	ვიბრაცია, წთ	შენახვის პირობები	
								ჰიდრაგლიკურ საკეტებიან აბაზანაში, სთ	წყლიან აბაზანაში, დღე
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3	500	1500	200	0.4	109	3	24	3; 28

№	დასახელება	ლუნვა 3	ლუნვა 28		კუმშვა 3 დღე		კუმშვა 28 დღე			
		დღე	დღე							
	ნიმუშის ზომები, სმ	1	2		3		4			
1	სიმაღლე, h სმ	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	სიგანე, α სმ	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	განივკვეთის ფართობი, S სმ ²	---	---	---	16	16	16	16	16	16
3	მრღვევი დატვირთვა, P კნ	---	---	---	35.19	34.51	64.64	60.55	74.05	67.58
4	სიმტკიცის ზღვარი, მპა	5.51	7.93	7.00	22.0	21.6	40.4	37.8	46.3	42.2
5	სიმტკიცის ზღვარი, კგ/სმ ²	56.16	80.73	71.37	224.18	220.10	411.67	385.18	471.79	430.01
6	სიმტკიცის ზღვრის გასაშუალებული მნიშვნელობა (ლუნვაზე ორი, ხოლო კუმშვაზე ოთხი უდიდესი შედეგიდან) კგ/სმ ²	56.16	76.05		222.14		424.66			

5.7 არსებული ქიმიური დანამატის შესწავლა

5.7.1 მიკროსილიკა

ჩვენს შემთხვევაში დანამატად გამოვიყენეთ სილიკა. აქვე მოგვყავს დანამატის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები:

სილიკას ტექნოლოგია:

სილიკა წარმოადგენს ძალიან წვრილ ბუმბუტის მაგვარ ამორფულ კაჟმიწის ნაწილაკებს, რომლის საშუალო ხვედრითი ზედაპირია 20კვმ/გრ გრანულომეტრიული ზომა 0,1მიკრონი. იყენებენ სილიკის მტვერსაც. ანუ ფხვნილისებრი წვრილად დაფქვილი დომენის წიდა. სილიკა არის ერთ-ერთი ეფექტური ქიმიკატი ბეტონის ჰიდროიზოლაციის და დაცვისთვის. სილიკას მთავარი და ყველაზე აღსანიშნავი მოქმედების თვისებაა მისი უნიკალური შესაძლებლობა წარმოქმნას არაგადამუშავებადი კრისტალის ფორმაცია, ბეტონის ფორებსა და კაპილარების

სიღრმეში. ბეტონში წარმოიქმნება კრისტალური სტრუქტურა, რომელიც ლუქავს ბეტონს ყველანაირი წყლისა და სითხის შეღწევისაგან.

იმისათვის, რომ ბეტონი გახდეს კრისტალურად წყალგაუმტარი, სილიკა როგორც აქტიური ქიმიკატი უნდა გახდეს ბეტონის მასის განუყოფელი ნაწილი. ბეტონი ფორიანი (კაპილარული სისტემის) მასალაა და სილიკა ბეტონის სტრუქტურაში ტენიანობის და წყლის მიგრაციის მეშვეობით ავსებს მის ფორებსა და სიცარიელებს. ეს პროცესი ქმნის რეაქციას სილიკასა და ბეტონში მყოფ სინოტივს შორის. საბოლოო შედეგად ვიღებთ ბეტონში წარმოქმნილ არა გადამუშავებად ან დნობად კრისტალებს, ისინი ავსებენ ფორებსა და კაპილარებს რის შედეგადაც ბეტონი ხდება სითხე გაუმტარი. თუ წყალი მაინც შეაღწევს ბეტონის სტრუქტურაში, სილიკას კრისტალები განაახლებენ კრისტალების ზრდას და ამოავსებენ დარჩენილ ფორებს.

შერჩეული სილიკა უნიკალური ქიმიური საშუალებაა ბეტონის დამუშავებისათვის, მისი წყალგაუმტარობის, დაცვის და ხარისხის გაუმჯობესებისათვის. სილიკა წარმოადგენს მშრალ ფხვნილს, რომელსაც ამატებენ ბეტონის ხსნარში. ეს აქტიური ქიმიკატები რეაქციაში შედიან ახალ ბეტონში არსებულ წყალთან და ცემენტის ჰიდრატაციის თანმხლებ პროდუქტებთან, რითაც იწვევენ კატალიზატორულ რეაქციას, შედეგად ვღებულობთ უხსნად კრისტალური მასას ბეტონის ყველა ფორებსა და კაპილარებში.

ჩვენ ვაპირებთ საგზაო ბეტონისთვის სხვა დანამატების გამოყენებასაც, მაგალითად II ტიპის მინერალური დანამატი პოლიპლასტი, იგი არის ჰაერჩამთრევი დანამატი საგზაო ბეტონის საფარისათვის და განსაზღვრულია საფასარის სამუშაო დროის გაზრდისათვის ტემპერატურის ხშირი ცვალებადობის პირობებში. გამოყენების არეა აგრეთვე ხისტი და ნაკლებ მოძრავი ნარევების წარმოება. აგრეთვე ვიბრაციული მანქანების საშუალებით დამზადებული ნაკეთობები.

კონსტრუქციებისა და ნაკეთობების დამზადება რომელთა ექსპლოატაცია ხდება რთულ გარემო პირობებში: ციკლიური გასშრობა-დატენიანების, ყინვა-დნობის.

საგზაო ბეტონის სტრუქტურაში უზრუნველყოფილი იქნება პირობითად დახურული სისტემის შექმნა, რის შედეგადაც გაიზრდება მისი ყინვამედეგობა, ბეტონის ძვრადობა და მდგრადობა განშრევეების მიმართ. მის გამოყენება ეფექტურია

ხისტი ბეტონის ნარევისა და წვრილი ფრაქციის დიდი რაოდენობის ნარევებში გამოყენებისას.

5.8. დატკეპნილი ბეტონის დამზადების ტექნოლოგიის შემუშავება და

ოპტიმალური ნარევის მიღება

ჩატარდა ამ სფეროში არსებული მდგომარეობის კვლევები და ანალიზი. პროექტის მთავარ მიზანს წარმოადგენს ისეთი თვისებების მქონე დატკეპნილი ბეტონის შექმნა, რომელიც წარმატებით იქნება გამოყენებული საავტომობილო გზების საფარის მოწყობაში. მოძიებული იქნა და კრიტიკულად გაანალიზდა აშშ არმიის ინჟინერთა კორპუსის ნორმატული დოკუმენტი დატკეპნილი ბეტონის შესახებ - „Roller-Compacted concrete”, Engineering and Design. U.S. Army Corps of Engineers, DC 20314-1000, Manual No. 1110-2-2006. ეს დოკუმენტი დატკეპნილი ბეტონების შესახებ ყველაზე ავტორიტეტულია და ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოს მასშტაბით. მასში გაანალიზებულია მსოფლიოში სხვადასხვა პერიოდში გამოყენებული (მათ შორის კაშხლებში, საავტომობილო გზებში), დატკეპნილი ბეტონების მრავალფეროვანი შემადგენლობები (რეცეპტები), რომლის საფუძველზეც შემოთავაზებულია თანამედროვე რეცეპტების შექმნის სქემა. გავითვალისწინეთ რა საქართველოში ხელმისაწვდომი ადგილობრივი წარმოების შემკვრელების და შემავსებლების არსებობა, ჩვენ მიერ დასახულ გეგმაში შეტანილი იქნა ხსენებული ნორმატიული დოკუმენტთან შედარებით რეცეპტის შექმნის ახლებური მიდგომა, რომელიც ითვალისწინებს მიკროსილიკის დამატებას ცემენტის ან ნაცრის მტვრის გარკვეული რაოდენობის ჩანაცვლებით.

საბაზო ბეტონის ნარევის რეცეპტი

ცხრილი 21

საბაზო ბეტონის ნარევის რეცეპტი	მოცულობა, მ ³	სიმკვრივე, გრ/სმ ³	წონა	
			ტ	კგ
ცემენტი, კგ	0.0329	3.15	0.1036	103.63
ნაცარი, კგ	0.022	2.26	0.0497	49.72
წყალი, მლ	0.107	1.0	0.107	107

ღორღი 37.5-19.0 მმ, კგ	0.143	2.77	0.3961	396.11
ღორღი 19.0-4.75 მმ, კგ	0.186	2.76	0.5133	513.36
ქვიშა 4.75-1.18 მმ, კგ	0.249	2.77	0.6897	689.73
ქვიშა 0.15 მმ, კგ	0.0351	2.77	0.0972	97.227
შემავსებლების მოცულობითი მასა, მ ³	0.8321	-	-	-

შენიშვნა: რეცეპტი დაანგარიშებულია მშრალ ინერტულ მასალებზე

სილიკას დამატება ცემენტის 5%

ცხრილი 22

საბაზო ბეტონის ნარევის რეცეპტი	მოცულობა, მ ³	სიმკვრივე, გრ/სმ ³	წონა	
			ტ	კგ
ცემენტი, კგ	0.0313	3.15	0.0985	98.59
სილიკა, კგ	0.0016	2.22	0.0035	3.552
ნაცარი, კგ	0.022	2.26	0.0497	49.72
წყალი, მლ	0.107	1.0	0.107	107
ღორღი 75-37.5 მმ, კგ	0.219	2.79	0.6110	611.01
ღორღი 37.5-19.0 მმ, კგ	0.143	2.77	0.3961	396.11
ღორღი 19.0-4.75 მმ, კგ	0.186	2.76	0.5133	513.36
ქვიშა 4.75-1.18 მმ, კგ	0.249	2.77	0.6897	689.73
ქვიშა 0.075 მმ, კგ	0.0351	2.77	0.0972	97.227
შემავსებლების მოცულობითი მასა, მ ³	0.8321	-	-	-

5.9 დატკეპნილი ბეტონების ნიმუშების გამოცდა სიმტკიცეზე და წყალშეუღწევადობის პარამეტრების დადგენა

პროცესის აღწერა: ბეტონის ნიმუშებს გამოცდამდე ერთი დღე-ღამით ადრე იღებენ გასაორთქლებელ კამერიდან და ვაყოვნებთ ჩვეულებრივ ლაბორატორიულ პირობებში გასაშრობად. კუმშვაზე გამოსაცდელად ნიმუშებს ათავსებენ ჰიდრავლიკურ წნეხში ცენტრალურ ადგილზე. წნეხში შეჰყავთ მონაცემები (ნიმუშის დასახელება, ზომები, ასაკი) და ახდენენ დატვირთვის ზემოქმედებას (0.6 ± 0.4 მპა/წმ) მანამ, სანამ ბეტონის სტრუქტურა არ დაიწყებს რღვევას. გამოსაცდელ ნიმუშებს შორის დრო არ უნდა იყოს 30 წმ-ზე მეტი. წნეხი ავტომატურად საზღვრავს მრღვევ ძალას P (კნ) და სიმტკიცეს კუმშვისას $R_{კომ}=P/F$ (მპა) სიზუსტით 0.1 მპა, სადაც ნიმუშის განივკვეთის ფართობია F (სმ²).

მიღებული შედეგები შეიტანება ცხრილში

საბაზო დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცე კუმზვისას, კლასის დადგენა															
№	დამზადების თარიღი	წიბუმი	ასაკი	კონუსის კლასი (მ.მ)	ჰაერშემცველობა, %	ზომები $D_{ფედ} \times D_{ჰგ} \times h$, სმ	ფართობი, S სმ ²	მოცულობა, V სმ ³	მასა, M გ	სიმკვრივე, $\rho_{სმ}^{20}$	წიბუმის სერიის საშუალო სიმკვრივე	მრღვევი დატვირთვა, სიმტკიცე, კგ/სმ ²	სიმტკიცე, კგ/სმ ²	სიმტკიცე, კგ/სმ ²	წიბუმის სერიის საშუალო სიმტკიცე მზა/კგ.სმ ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	10.02.2017	1	28	-	-	15×30	176,62	5298.75	12231	2,308	2.342	648,12	36,7	373,97	35,07/357,41
2	10.02.2017	2	28	-	-	15×30	176,62	5298.75	12781	2,412		609,27	34,5	351,55	
3	10.02.2017	3	28	-	-	15×30	176,62	5298.75	12301	2,321		586,31	33,2	338,30	
4	10.02.2017	4	28	-	-	15×30	176,62	5298.75	12344	2,329		633,99	35,9	365,82	

დანამატანი (მიკროსილიკას დამატება ცემენტის 5%) დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცე
კუმშვისას, კლასის დადგენა

ცხრილი 24.

დანამატანი (მიკროსილიკას დამატება ცემენტის 5%) დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას, კლასის დადგენა															
№	დამზადების თარიღი	ნიმუში ნომერი	ასაკი დღე-ღამე	კონუსის ჯდენა, (სმ)	ჰერმეცელობა, %	ზომები d×h, სმ	ფართობი, S სმ ²	მოცულობა, V სმ ³	მასა, M გ	სიმკვრივე,	ნიმუშის სერიის საშუალო სიმკვრივე	მრეკვეი	სიმტკიცე, მპა	სიმტკიცე, კგ/სმ ²	ნიმუშის სერიის საშუალო სიმტკიცე მპა/კგ/სმ ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	10.02.2017	1	28	-	-	15×30	176.62	5298.75	12799	2.415	2.350	708,16	40,1	409,63	39,5/402,75
2	10.02.2017	2	28	-	-	15×30	176.62	5298.75	12381	2.336		694,03	39,3	400,46	
3	10.02.2017	3	28	-	-	15×30	176.62	5298.75	12299	2.321		404,54	39,7	404,54	
4	10.02.2017	4	28	-	-	15×30	176.62	5298.75	12344	2.329		686,97	38,9	396,39	

ცდის აღწერის პროცედურა: ნიმუშები გამკვრივების შემდეგ დაყოფნებული იქნა ერთი დღე-ღამის განმავლობაში ლაბორატორიის ტემპერატურაზე, რის შემდეგაც მოხდა ნიმუშების გასუფთავება, პარაფინით დამუშავება და მათი წყალშეუღწევადობის გამოსაცდელ სპეციალურ სტენდზე STZHSJ-4 დამაგრება. ერთდროულად სტენდზე მოთავსებული იქნა 6 ნიმუში. ნიმუშების ქვედა ზედაპირზე სპეციალური აპარატის საშუალებით განხორციელდა წყლის მიწოდება, საწყისი დაწნევით 0.1 მპა. დაწნევის მომატება ხდებოდა ავტომატურად 0.1 მპა ყოველ 8 საათის შემდეგ.

მიღებული შედეგები შეიტანება საგამოცდო ოქმში №2.

საბაზო დატკეპნილი ბეტონის ნიმუშებში წყალშეუღწევადობის განსაზღვრა

ცხრილი №25

ბეტონის საპროექტო მარკა W				
№	ნიმუშის სიმაღლე, h×d მმ	წყლის მაქსიმალური დაწნევა,მპა	დაწნევის ხანგრძლივობა წთ, სთ	წყალშეუღწევადობა, მმ
1	2	3	4	5
1	სიმაღლე 170.00 ზედა შიდა დიამეტრი 174.00 ქვედა შიდა დიამეტრი 185.00	0.800	8 სთ	ნიმუში №1 - 8
2		0.800	8 სთ	ნიმუში №2 - 9
3		0.800	8 სთ	ნიმუში №3 - 8
4		0.800	8 სთ	ნიმუში №4 - 7
5		0.800	8 სთ	ნიმუში №5 - 8
6		0.800	8 სთ	ნიმუში №6 - 5

წყალშეუღწევადობის კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$W=10H-1$, სადაც H შეესაბამება დაწნევას (ატმ), რომელზეც ფიქსირდება წყლის ამოჟონვა, ნიმუშის ზედა ზედაპირიდან.

ჩვენ შემთხვევაში, წყლის ამოჟონვა დაფიქსირდა $W=0.600-0.100\text{მპა}=0.500\text{მპა}$. აქედან გამომდინარე დადგინდა, რომ საბაზო ბეტონის წყალშეუღწევადობის კოეფიციენტი $W=5$ -ს.

**დანამატიანი (მიკროსილიკას დამატება ცემენტის 5%) დატკეპნილი ბეტონის
ნიმუშებში წყალშეუღწევადობის განსაზღვრა**

ცხრილი №26

ბეტონის საპროექტო მარკა ც				
№	ნიმუშის სიმაღლე, h×d მმ	წყლის მაქსიმალური დაწნევა, მპა	დაწნევის ხანგრძლივობა წთ, სთ	წყალშეუღწევადობა, მმ
1	2	3	4	5
1	სიმაღლე 170.00 ზედა შიდა დიამეტრი 174.00 ქვედა შიდა დიამეტრი 185.00	0.800	8 სთ	ნიმუში №1 - 5
2		0.800	8 სთ	ნიმუში №2 - 6
3		0.800	8 სთ	ნიმუში №3 - 6
4		0.800	8 სთ	ნიმუში №4 - 5
5		0.800	8 სთ	ნიმუში №5 - 4
6		0.800	8 სთ	ნიმუში №6 - 5

წყალშეუღწევადობის კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით: $W=10H-1$, სადაც H შეესაბამება დაწნევას (ატმ), რომელზეც ფიქსირდება წყლის ამოჟონვა, ნიმუშის ზედა ზედაპირიდან.

ჩვენ შემთხვევაში, წყლის ამოჟონვა დაფიქსირდა $W=0.900-0.100\text{მპა}=0.800\text{მპა}$. აქედან გამომდინარე დადგინდა, რომ დანამატიანი (მიკროსილიკა ცემენტის მასის 5%) ბეტონის წყალშეუღწევადობის კოეფიციენტი $W=8$.



სურათი 5.4



სურათი 5.5



სურათი 5.6



სურათი 5.7



სურათი 5.8



სურათი 5.9



სურათი 5.10



სურათი 5.11



სურათი 5.12



სურათი 5.13



სურათი 5.14



სურათი 5.15



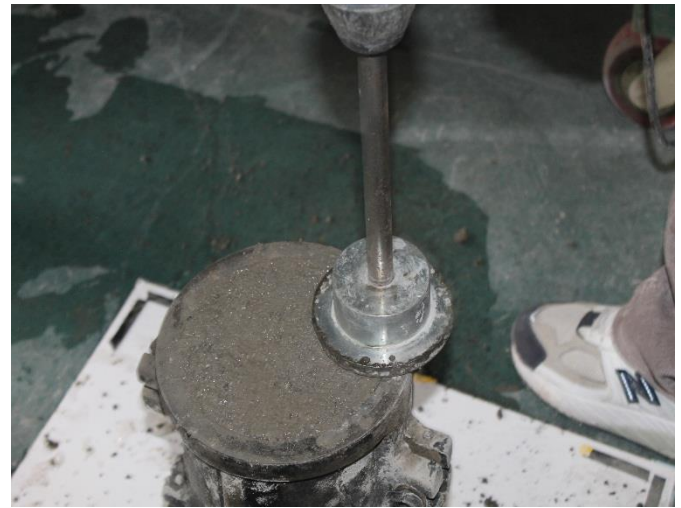
სურათი 5.16



სურათი 5.17



სურათი 5.18



სურათი 5.19



სურათი 5.20



სურათი 5.21

თავი VI. საკვლევი თემის პრაქტიკული გამოყენება და დანერგვა

შპს „ახალ გზა“-თან თანამშრომლობის პერიოდში ქ. ბათუმში მესხეთის ქუჩის კეთილმოწყობის პროექტით გათვალისწინებული იყო 5600 მ² საერთო ფართობით, გზის მონაკვეთის მოწყობა 16 სმ სისქის ტკეპნილი ბეტონის საფარით. აღნიშნული თანამედროვე მეთოდით გზის საფარის მოწყობა ითვალისწინებს ფუძის გრუნტის სტაბილიზაციას 30 სმ სიღრმეზე ცემენტის (5%) და ნაცარის (15%) დამატებით და საფუძვლის მოწყობას 0-40 ფრაქციული ღორღით (სისქით 20 სმ).

მოწყობილი საფუძვლის ზედა ფენის ტესტირება შესრულებულია ZFG 3000 მარკის დინამიკური დეფლექტორის გამოყენებით. ტესტირების შედეგები მოყვანილია ცხრილებში. მიღებული შედეგების თანახმად მოწყობილი დინამიკური დეფორმაციის მოდული იცვლება დიაპაზონში $E_{vd}=(58\div 65)$ მპა, ხოლო სტატიკური დეფორმაციის მოდული - $E_{v2}=(115\div 130)$ მპა, აღემატება მის საპროექტო მაჩვენებელს (100 მპა) და აკმაყოფილებს ევროპული სტანდარტის (TP BF-STB Part B, პ 8.3) მოთხოვნებს.

დადგენილი იქნა, ქ. ბათუმში მესხეთის ქუჩის კეთილმოწყობის პროექტით გათვალისწინებული გზის, ტკეპნილი ბეტონის საფარის სისქე და მისი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები. გზის საფარიდან ამოიბურღა სამი ცილინდრული ნიმუში, „HUSQVARNA“-ს ფირმის „DM 230“ მოდელის სპეციალური ბურღის გამოყენებით (სურათი 7).



სურ.6.1 ნიმუშების ამობურღვა საექსპერიმენტო გზის საფარიდან

ამობურღული ნიმუშების სიმაღლეები იცვლება დიაპაზონში $17 \div 21$ სმ. რაც აღემატება მის საპროექტო სისქეს 16 სმ-ს.

ტკეპნილი ბეტონის სიმტკიცის დასადგენად კუმშვაზე, ადგილზე გამოყენებული იქნა ურღვევი კონტროლის მეთოდი „proceq“-ის ფირმის „silver schmidt“ სკლერომეტრის გამოყენებით (სურათი 8).

ურღვევი კონტროლის შედეგად მიღებული მონაცემები მოყვანილია შესაბამის ცხრილში მიღებული შედეგებიდან ჩანს რომ სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმშვაზე იცვლება დიაპაზონში $25 \div 32$ მპა. თუ გავითვალისწინებთ, რომ ანათვლები აღებულია 5 დღის ასაკის ბეტონზე, აღნიშნული ბეტონი დიდი ალბათობით 28-ე დღეს გადააჭარბებს მის საპროექტო მაჩვენებელს $32,7$ მპა-ს (B 25).



სურ. 6.2 სიმტკიცის დადგენა ურღვევი კონტროლის მეთოდით დატკეპნილი ბეტონის გზის საფარის საშუალო სიმტკიცის დასადგენად კუმშვაზე გამოცდილი იქნა როგორც გზის საფარიდან ამობურღული ცილინდრული ნიმუშები (სურათი 9), ასევე გზის საფარის მოწყობის პროცესში დაყალიბებული ცილინდრული ნიმუშები (სურათი 10).



სურ. 6.3 გზის საფარიდან ამობურღული ცილინდრული ნიმუშები



სურ. 6.4. ლაბორატორიაში დამზადებული დატკეპნილი ცილინდრული ნიმუშები

ნიმუშები დაყალიბება განხორციელდა 5-5 სანტიმეტრიან ფენებად, თითოეული ფენის ჩატკეპვით, „ROLLER-COMPACTED CONCRETE“ საერთაშორისო დოკუმენტის სრული წესების დაცვით.

ნიმუშები გადმოტანილი იქნა სსიპ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო, საგამოცდო ლაბორატორიაში და გამოცდილი იქნა STYE-2000C მარკის წნეხის გამოყენებით.

ამობურღული ნიმუშების გამოცდის შედეგად მიღებული საშუალო სიმტკიცე ტოლია 42.9 მპა, ხოლო დაყალიბებული ნიმუშების გამოცდის შედეგად მიღებული საშუალო სიმტკიცე ტოლია 42.1 მპა.

მიღებული შედეგები ცხადყოფს, რომ ჩვენ მიერ შემუშავებული რეცეპტი და მისი პრქტიკული გამოყენება იყო მიზანშეწონილი და ორივე შემთხვევაში მიღებული შედეგები აღემატება მის საპროექტო მაჩვენებელს 32,7 მპა. (B 25)

ქ. ბათუმში, მესხეთის ქუჩაზე, საველე პირობებში უშუალოდ ობიექტზე მოპოვებული მასალების და მათი ლაბორატორიაში გამოცდით მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გაკეთებული იქნას შემდეგი დასკვნები:

1. ფუძის გრუნტის სტაბილიზაციის შედეგად მიღებული სტატიკური დეფორმაციის მოდული- Ev2 იცვლება დიაპაზონში 115÷130 მპა, აღემატება მის საპროექტო მაჩვენებელს (100 მპა) და აკმაყოფილებს ევროპული სტანდარტის (TP BF-STB Part B, პ 8.3) მოთხოვნებს.
2. ტკეპნილი ბეტონის გზის საფარიდან ამობურღული ნიმუშების სიმძლევები იცვლება დიაპაზონში 17 ÷ 21 სმ და აღემატება პროექტით გათვალისწინებულ გზის საფარის სისქეს 16 სმ.
3. როგორც ტკეპნილი ბეტონის გზის საფარიდან ამობურღული ნიმუშების საშუალო სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმშვაზე 42.9 მპა, ასევე საფარის მოწყობის პროცესში დაყალიბებული ცილინდრული ნიმუშების გამოცდის შედეგად მიღებული საშუალო სიმტკიცის მაჩვენებელი კუმშვაზე 42.1 მპა, აღემატება მის საპროექტო მაჩვენებელს 32.7 მპა (B 25).

თავი VII . საბაზო და დატკეპნილი ბეტონის ნიმუშების

ცვეთამდეგობის განსაზღვრა

ჩვენს მიერ დადგენილი იქნა საბაზო და დატკეპნილი ბეტონის ცვეთამდეგობის კოეფიციენტი. ნიმუშების ცვეთამდეგობა განისაზღვრა EN 1338 (ბეტონის ბლოკები ქვაფენილებისათვის, მოთხოვნები და გამოცდის მეთოდები. დანართი H, ცვეთამდეგობის განსაზღვრა ბიომეს აპარატის ტესტით) სტანდარტის საფუძველზე. გამოცდისათვის გამოყენებული იქნა: ბიომეს ცვეთის აპარატი, ფირმა Matest, მოდელი C 129; ვენტილირებადი საშრობი ღუმელი, Controls, მოდელი 10- D1397 და ელექტრული სასწორი CUW220H, დანაყოფის ფასი 10 მგ, მაქს. დატვირთვა 2200 გრ. თავდაპირველად განხორციელდა ნიმუშების დაჭრა 7*7*7სმ ზომის კუბებად ლაბორატორიის პირობებში, DEWALT-ის სპეციალურ საჭრელ დაზგაზე (იხ. სურათები 1 და 2), ხოლო დაჭრის შემდეგ უსწორმასწორო ზედაპირების გლუვად დამუშავება მოხდა CONTROLS GRINDING MACHINE 55-C0221/B3 დანადგარზე.

ნიმუშების გეომეტრიული ზომები და მასები მოცემულია ცხრილში № 27.

ცხრილი № 27.

ნიმუშის N	ნაკეთობის დასახელება	ზედაპირის ზომები სმ, ფართობი სმ ²	სიმაღლე სმ	მასა m გრ
1	ბეტონის კუბი	6,95×7,05=49,0	7,25	837,8
2		7,0×7,05=49,35	7,10	809,5
3		7,05×7,1=50,0	7,17	836,2

ამის შემდეგ ნიმუშები გამოიცადა ბიომეს აპარატში 22 ბრუნიანი 16 ციკლით (იხ. სურათები 7.1; 7.2; 7.3; 7.4; 7.5). ყოველი 4 ციკლის შემდეგ ნიმუში იწონებოდა. გაზომვების შედეგები და გამოთვლილი მასის დანაკარგები მოცემულია ცხრილში №28.

გაზომვების შედეგები და გამოთვლილი მასის დანაკარგები ცხრილი № 28

ნიმუშის N	ნაკეთობის დასახელება	ნიმუშის მასა გრ				მასის საერთო დანაკარგი Δm , გრ	მასის დანაკარგი გ/სმ ²	მასის საშუალო დანაკარგი გ/სმ ²
		4 ციკლის შემდეგ	8 ციკლის შემდეგ	12 ციკლის შემდეგ	16 ციკლის შემდეგ			
1	ბეტონის კუბი	832,6	827,0	822,4	817,7	20,1	0,41	0,42
2		804,2	799,0	793,6	788,3	21,2	0,43	
3		830,9	825,7	820,3	815,2	21,0	0,42	

EN 1338 სტანდარტის მიხედვით, ბეტონის ცვეთამდეგობის კლასისა და მარკის დადგენის მიზნით უნდა განისაზღვროს მოცულობის V დანაკარგი ფართობის ერთეულზე, რაც გამოითვლება ფორმულით $V=m/p$,

სადაც: V არის მოცულობის დანაკარგი 16 ციკლის შემდეგ, კუბურ მილიმეტრებში გამოსახული;

m - მასის დანაკარგი 16 ციკლის შემდეგ, გრამებში გამოსახული;

P - ნიმუშის სიმკვრივე, გრ/მმ³-ში.

ვთვლით თითოეული ნიმუშის სიმკვრივეს გრ/მმ³-ში

$P_1 = 0,00235$ გრ/მმ³, $P_2 = 0,00231$ გრ/მმ³, $P_3 = 0,00233$ გრ/მმ³ და

განვსაზღვრავთ მოცულობის საერთო დანაკარგს თითოეული ნიმუშისათვის $V_1 = 20,1/0,00235 = 8\ 553,2$ მმ³, $V_2 = 21,2/0,00231 = 9\ 177,5$ მმ³, $V_3 = 21,0/0,00233 = 9\ 012,8$ მმ³. V_1 არის ბეტონის ნიმუში 1-ის მოცულობის დანაკარგი 4 899 მმ² ფართობზე. კლასისა და მარკის შესაფასებლად კი გვჭირდება მოცულობის დანაკარგი 5 000 მმ² -ზე. ამიტომ V_1 -ს ვამრავლებთ 4 899-ზე და ვყოფთ 5 000-ზე: $8\ 553,2 \times 4\ 899 / 5\ 000 = 8380,0$ მმ³ / 5 000 მმ²

ანალოგიურად ვთვლით დანარჩენ სხვა ნიმუშებზეც: $9058,19$ მმ³ / 5 000 მმ² და $9\ 012,8,0$ მმ³ / 5 000 მმ².

EN 1338-ის ცხრილი 5-ს მიხედვით, თუ 5 000 მმ²-ზე მოცულობის დანაკარგი < 18 000 მმ³-ზე, საბაზო და დატკეპნილი ბეტონის ნიმუშები მიეკუთვნება ბეტონის ცვეთამდეგობის უმაღლეს კლასს 4, მარკით I, რასაც აკმაყოფილებს წარმოდგენილი ბეტონი.



სურათი 7.1



სურათი 7.2



სურათი 7.3



სურათი 7.4



სურათი 7.5

თავი VIII. ძირითადი დასკვნები

1. სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილია საქართველოში საავტომობილო გზების მშენებლობაში დატკეპნილი ბეტონების გამოყენების პერსპექტივა და ამ უაღრესად პროგრესული მეთოდის დანერგვისათვის აუცილებელი კვლევის შედეგები;
2. გამოკვლევების აქტუალობა განპირობებულია დატკეპნილი ბეტონებით მოწყობილი საავტომობილო გზების მაღალი საექსპლოატაციო მაჩვენებლებით, მოწყობის სიმარტივით და ამ მეთოდით მოწყობილი გზების ხანგრძლივი საექსპლოატაციო ვარგისიანობით;
3. გამოკვლევული და შესწავლილი იქნა ადგილობრივი ინერტული მასალების (ქვიშა $0.15 \div 4.75$ მმ ფრაქციის; ღორღი და ხრეში $4.75 \div 37.5$ მმ ფრაქციის) ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები და მათი გამოყენების პერსპექტივა დატკეპნილი ბეტონების მომზადების პროცესში;
4. ლიტერატურაში არსებული რეკომენდაციების საფუძველზე შერჩეული იქნა დატკეპნილი ბეტონის ნარევისთვის ცემენტის (Heidelbergcement, CEM II/B-P 32.5 N). კვლევის შედეგად ცემენტის სიმკიცემ კუმშვაზე 28-ე დღეს შეადგინა 424.66 კგ/სმ²;
5. შერჩეული მასალების გამოყენებით დამუშავებული იქნა დატკეპნილი ბეტონის ნარევის შემადგენლობა და დამზადებული იქნა შესაბამისი ნიმუშები;
6. სტუ-ს სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორიაში ბეტონის ნიმუშების კუმშვაზე ჩატარებულმა ცდებმა დაგვანახა, რომ დანამატიანი დატკეპნილი ბეტონის სიმტკიცე მეტია საბაზო ბეტონის სიმტკიცესთან შედარებით, კერძოდ, საბაზო ბეტონის სიმტკიცემ 28-ე დღეს შეადგინა $35,07$ (მპა) $357,41$ (კგ/სმ²), ხოლო დანამატიანი (მიკროსილიკას დამატება ცემენტის 5%) დატკეპნილი

ბეტონის სიმტკიცემ 28-ე დღეს 39,5 (მპა) 402,75 (კგ/სმ²). სავარაუდოდ, დანამატიან ბეტონის სიმტკიცის მატების მიზეზი ბეტონის სტრუქტურის ერთგვაროვნებაა, რაც გამოწვეულია მიკროსილიკატური დანამატის მიერ ფორებისა და მიკრობზარების კრისტალიზაციით ამოვსების შედეგად;

7. დატკეპნილი ბეტონის წყალშეუღწევადობაზე გამოცდის შედეგად დადგინდა, რომ საბაზო ბეტონის წყალშეუღწევადობის კოეფიციენტი $W=5$, ხოლო დანამატიანი (მიკროსილიკას დამატება ცემენტის 5%) ბეტონის წყალშეუღწევადობის კოეფიციენტი $W=8$, რაც გამოწვეულია მიკროსილიკას დამატებით. მიკროსილიკა არის ერთ-ერთი ეფექტური ქიმიკატი ბეტონის ჰიდროიზოლაციის და დაცვისთვის. მიკროსილიკას მთავარი და ყველაზე აღსანიშნავი მოქმედების თვისებაა მისი უნიკალური შესაძლებლობა წარმოქმნას არაგადამუშავებადი კრისტალის ფორმაცია, ბეტონის ფორებსა და კაპილარების სიღრმეში. ბეტონში წარმოიქმნება კრისტალური სტრუქტურა, რომელიც ლუქავს ბეტონს ყველანაირი წყლისა და სითხის შეღწევისაგან.
8. იმისათვის, რომ ბეტონი გახდეს კრისტალურად წყალგაუმტარი, მიკროსილიკა როგორც აქტიური ქიმიკატი უნდა გახდეს ბეტონის მასის განუყოფელი ნაწილი. ბეტონი ფორიანი (კაპილარული სისტემის) მასალაა და მიკროსილიკა ბეტონის სტრუქტურაში ტენიანობის და წყლის მიგრაციის მეშვეობით ავსებს მის ფორებსა და სიცარიელებს. ეს პროცესი ქმნის რეაქციას მიკროსილიკასა და ბეტონში მყოფ სინოტივეს შორის. საბოლოო შედეგად ვიღებთ ბეტონში წარმოქმნილ არა გადამუშავებად ან დნობად კრისტალებს, ისინი ავსებენ ფორებსა და კაპილარებს რის შედეგადაც ბეტონი ხდება სითხე გაუმტარი. თუ წყალი მაინც შეაღწევს ბეტონის სტრუქტურაში, მიკროსილიკას კრისტალები განაახლებენ კრისტალების ზრდას და ამოავსებენ დარჩენილ ფორებს.

9. ლაბორატორიაში მიღებული შედეგები წარმატებით იქნა დანერგილი საქართველოში, დატკეპნილი ბეტონებით მოწყობილი ნორიოს ნაგავსაყრელთან მისასვლელი გზის მონაკვეთზე და ქ. ბათუმში მესხეთის ქუჩაზე გზის საფარის მოწყობის პროცესში;
10. აღნიშნული ობიექტებიდან აღებული ნიმუშების გამოცდის შედეგები კარგ შესაბამისობაშია ლაბორატორიული კვლევების შედეგებთან;
11. აქედან გამომდინარე ჩვენს მიერ მიღებული კვლევების შედეგები წარმატებით შეიძლება იქნას გამოყენებული საქართველოში საავტომობილო გზების მშენებლობაში დატკეპნილი ბეტონების დანერგვის პროცესში;
12. EN 1338-ის ცხრილი 5-ს მიხედვით, თუ 5 000 მმ²-ზე მოცულობის დანაკარგი <18 000 მმ³-ზე, საბაზო და დატკეპნილი ბეტონის ნიმუშები მიეკუთვნება ბეტონის ცვეთამედეგობის უმაღლეს კლასს 4, მარკით I, რასაც აკმაყოფილებს წარმოდგენილი ბეტონის ნიმუშები;
13. ჩვენ მიერ ჩატარებული ცდების და მოძიებული ლიტერატურის საფუძველზე შეგვიძლია დარწმუნებით ვთქვათ, რომ აღნიშნული საკითხი უაღრესად მნიშვნელოვანია საავტომობილო გზების მშენებლობაში, გამომდინარე მისი ეკონომიურობის, საფარის მოწყობის სიმარტივის და ეფექტურობის თვალსაზრისით,

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ა. ნადირაძე; ბეტონის შემსვებების ტექნოლოგია. თბილისი, 1998.
2. ა. ჩიქოვანი; ბეტონის ტექნოლოგია. თბილისი, 2015.
3. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва. 1993.
4. David R. Luhr, PhD, Portland Cement Association;
5. www.cement.org/pavements;
6. ASTM C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens;
7. ASTM C42 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete;
8. ASTM C78 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading);
9. ASTM C94 Specification for Chemical Admixtures for Concrete;
10. ASTM C666 Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing;
11. ASTM C1240 Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures;
12. ASTM C1602 Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete;
13. AASHTO TP60 Coefficient of Thermal Expansion of Hydraulic Cement Concrete;
14. Boethius, A. and Ward1-Perkins, J. B. (1970). Etruscan and roman Architecture, Penguin Books, Middlesex, England.
15. Cassie, W. F. (1965). "The First Structural Reinforced Concrete," Structural Concrete, 2(10).

16. Collins, P. (1959). Concrete, The Vision of a New Architecture, Faber and Faber, London.
17. Condit, C. W. (1968). American Building, Materials and Techniques from the First Colonial Settlements to the Present, University of Chicago Press.
18. Drexler, A. (1960). Ludwig Miles van der Rohe, George Braziller, New York.
19. Farebrother, J. E. C. (1962). "Concrete - Past, Present, and Future," The structural Engineer, October.
20. Mainstone, R. J. (1975). Developments in Structural Form, The MIT Press, Cambridge.
21. National Concrete Pavement Technology Center Institute for Transportation Iowa State University;
22. www.cptechcenter.org;
23. ВСН 16-95 Ведомственные строительные нормы. Инструкция по применению укатываемого малоцементного бетона в конструкциях дорожных одежд. МОСКВА-1997;
24. Савицкий В.В., Петрович П.П., Дмитричев А.В. Лабораторные исследования укатываемого сталефибробетона // Науч.-техн. сб. / Воен.-техн. ун-т при Спецстрое России. - Балашиха, 2003. - Вып. 7. - С. 122-124;
25. Инструкция по применению укатываемого малоцементного бетона в конструкциях дорожных одежд: ВСН 16-95 / Департамент стр-ва Москвы. - М., 1995. - 31 с;
26. Пинус Э.Р. Об упрочнении зоны контакта между заполнителем и вяжущим в бетоне. - Балашиха, 1969. - С. 14-28. - (Тр. / Союздорнии);
27. Методические рекомендации по устройству оснований дорожных одежд из «тощего» бетона: ОДМД / Мин-во трансп. РФ, Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор). - М.: ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2003. - 35с.

28. Qhw S., Update of ICOLD Bulletin 126 on RCC Dams. The 7th International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams, September 24-25. 2015. Chengdu. China. 2015.
29. PCA, Portland Cement Association. Production of Roller-Compacted Concrete, Canada, 2006.
30. ACI 309.5R-00 Compaction of Roller-Compacted Concrete. Reported by ACI Committee 309, Chairman R.E.Viller, 2000.
31. Roller-Compacted Concrete. US Army Corps of Engineers. Manual No. 110-2-2006. 2000
32. Chonggang S., RCC dams in China, Proceeding of the 5th International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams, 17-19 November 2003, Madrid, Spain
33. . Abdo F.Y., Roller-Compacted Concrete Dams: Design and Construction Trends. Hydro Review, November 2008.
34. EN 1338:2003 - ბეტონის ბლოკები ქვაფენილებისათვის, მოთხოვნები და გამოცდის მეთოდები. დანართი H, ცვეთამედეგობის განსაზღვრა ბიომეს აპარატის ტესტით.