

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნანა დონდოლაძე

საქართველოს შავიზღვისპირეთის კლიმატის
დახასიათება, მისი გავლენა რკინაბეტონის
ატმოსფერულ კოროზიაზე და მისდამი მდგრადი
ბეტონის მიღება

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილია დისერტაციის

ავტორ ეფერატი

თბილისი

2013 წ.

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

სამშენებლო ფაკულტეტზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი–ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, სრული პროფესორი მ. ლორთქიფანიძე

კონსულტანტი -ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, სრული პროფესორი ვ. ლოლაძე

რეცენზენტები: აკადემიური დოქტორი, ასოც. პროფესორი ზ. ქარუმიძე;

სს „საქ. საშენ. მეცნიერება“შენობა ნაგებობების
გამოცდისა და ტესტირების ლაბორატორიის უფროსი.
ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატი, ე. კომელნიკოვი

დაცვა შედგება 2013 წლის 29 მარტს, 14⁰⁰ საათზე.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის
სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი I, ბიბლიოთეკა.

მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 72

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ–ს

ბიბლიოთეკასა და სტუ–ს ვებ–გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს

სწავლული მდივანი:

სრ. პროფესორი მ. კუბლაშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

ნაშრომის აქტუალობა. საქართველოს შავი ზღვის სანაპირო სუბტროპიკული ზონაა თბილი, ზღვის ტენიანი კლიმატით. კლიმატის განსაკუთრებულობა ბეტონის კონსტრუქციების ექსპლუატაციის სპეციფიკურ პირობებს ქმნის. შავიზღვისპირეთში არსებული სულფატური გარემოს მოქმედების შედეგად სამშენებლო კონსტრუქციებში ბეტონი იშლება, არმატურა განიცდის კოროზიას და შენობა-ნაგებობა კი რღვევას.

საქართველოში მიმდინარე რეფორმები მოითხოვს მატერიალური წარმოების აღდგენას და სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის ინდუსტრიას. რაც თავისთავად ითვალისწინებს ახალი სამშენებლო მასალების დიდი რაოდენობით გამოყენებას. ამ პირობებში განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს რესურსების რაციონალური გამოყენება.

ყოველივე ზემოთ მოყვანილი გვიჩვენებს განსახილველი პრობლემის აქტუალობას. ამიტომ პროექტირების დროს ბეტონის ხსნარისათვის საჭირო მასალების შერჩევასა, აუცილებელია სრული ინფორმაცია გვქონდეს შემკვრელის თვისებების, აგრეთვე გამოსაყენებლად დაგეგმილი ცემენტის ან სხვა შემკვრელის შემადგენელი ნივთიერებების შესახებ. ეს საშუალებას მოგვცემს დავამუშაოთ და გამოვიყენოთ აუცილებელი ღონისძიებები, რათა გავაძლიეროთ ბეტონის მდგრადობა შავიზღვისპირეთის აგრესიულ გარემოში და შემაჯავებლის რეაქციული თვისებების ხასიათის გათვალისწინებით შევიმუშაოთ ბეტონის მიღების ახალი ტექნოლოგია ან ავირჩიოთ ყველაზე ოპტიმალური შემკვრელი, ეკონომიკური ეფექტის გათვალისწინებით.

ამ მიმართულებით მნიშვნელოვანი სამუშაოები აქვს ჩატარებული ტექნ. მეცნ. დოქტორს, პროფესორ ვლადიმერ ლოლაძეს. მისი კონსულტაციები, შენიშვნები და საქმიანი წინადადებები დაგვეხმარა სამუშაოს პროცესში, რისთვისაც გვინდა მადლობა გადავუხადოთ მას.

სამუშაოს მიზანი - შავიზღვისპირეთის, კერძოდ ბათუმის აგრესიული გარემოს პირობებისადმი (მაღალი ტენიანობა, მაღალი საშუალო წლიური ტემპერატურა, წლის განმავლობაში ნალექების დიდი რაოდენობა, ზღვის ანაორთქლით და შესაბამისად სულფატური მარილებით გაჯერებული ატმოსფერო) მდგრადი ბეტონის მიღება და ბეტონის კონსტრუქციებისა და ნაგებობების ხანმედეგობის ამაღლების ტექნოლოგიების შემუშავება.

აღნიშნული მიზნის მისაღწევად დასმულია და გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:

1. აგრესიული გარემოსადმი მდგრადი ბეტონის მიღების ტექნოლოგიის დამუშავება;
2. ბეტონში შემკვრელის სახით თხევადი გოგირდის გამოყენების კვლევა;
3. ადგილობრივი შემვსების გამოყენებით მძიმე და მსუბუქი გოგირდბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლა;
4. რეკომენდაციების შემუშავება შავიზღვისპირეთის აგრესიული გარემოს მიმართ კვლევით მიღებული მდგრადი გოგირდბეტონისაგან დამზადებული, მიწისქვეშა და წყალქვეშა ნაგებობების საძირკვლებისა და კედლებისათვის, საინჟინრო კომუნიკაციების მიწისქვეშა ქვების კონსტრუქციების, გზებისა და მოედნების ორფენიანი საფარის დასამზადებლად, ასევე ნაპირსამაგრ მშენებლობაში გამოსაყენებლად;
5. მძიმე და მსუბუქი პოლიმერლექობეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა;
6. მძიმე და მსუბუქ პოლიმერლექობეტონზე აგრესიული გარემოს გავლენის შესწავლა;
7. რეკომენდაციების შემუშავება ღვარცოფებისა და მეწყერების საწინააღმდეგოდ, ფერდოგამმაგრებელ სამუშაოებში პოლიმერლექო-ბეტონის კონსტრუქციების გამოსაყენებლად.

სამუშაოს მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:

- შესწავლილია ახალი, ადგილობრივი შემვსებით და დანამატად

ბაზალტის ქვის მტვრის გამოყენებით დამზადებული გოგირდბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები;

- განისაზღვრა გოგირდბეტონის R_b -სიმტკიცე კუმშვაზე; R_m - პრიზმული სიმტკიცე კუმშვაზე; R_c - სიმტკიცე გაჭიმვაზე ღუნვისას;

- კვლევების საფუძველზე დადგენილია აღნიშნული გოგირდბეტონის ტექნოლოგიური მახასიათებლები. შესწავლილია თხევადი გოგირდის სიბლანტის, შეკვრის უნარის და სიმტკიცის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება;

- დადგენილია, რომ გოგირდბეტონში მინერალური ბაზალტის ქვის მტვრის გამოყენება დადებით ზეგავლენას ახდენს მის სიმტკიცეზე;

- კვლევების საფუძველზე დადგენილია მძიმე და მსუბუქი გოგირდბეტონის შემადგენლობა, მასში შემავალი გოგირდის და მინერალური მტვრის ოპტიმალური კონცენტრაციით;

- ჩატარებული ექსპერიმენტების მათემატიკურ-სტატისტიკური დამუშავების საფუძველზე დადგინდა, რომ გოგირდბეტონის სიმტკიცის დამოკიდებულება გოგირდისა და მტვრის თანაფარდობაზე 95%-ზე მეტი სიზუსტით აღწერს მიმდინარე ტექნოლოგიურ პროცესს;

- გამოკვლეულია, ახალი სახის მსუბუქი, კონსტრუქციული პოლიმერლერბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები და ხანმედეგობა (წყალმედეგობა, კოროზიამედეგობა, ცვეთადობა, წყალშთანთქმადობა);

- პოლიმერლერბეტონის კონსტრუქციული ელემენტები თავისი სიმტკიცითა და დეფორმაციულობის მაჩვენებლებით არ ჩამოუვარდება მძიმე ბეტონისაგან დამზადებულ კონსტრუქციულ ელემენტებს.

სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება

- დადგენილია ადგილობრივ მძიმე და მსუბუქ შემსვებზე დამზადებული გოგირდბეტონების ოპტიმალური შემადგენლობა.

- შემუშავებულია შავიზღვისპირეთის სანაპირო ზოლში აგრესიული გრუნტის წყლების პირობებში მიწისქვეშა ნაგებობების ფუძე-სადირკვლებისა და კედლების გოგირდბეტონის კონსტრუქციების

დამზადების ტექნოლოგია;

- დადგენილია მშენებლობაში გოგირდბეტონის გამოყენების არეები, კერძოდ გოგირდბეტონის კონსტრუქციები წარმატებით შეიძლება გამოვიყენოთ შავიზღვისპირეთის სანაპირო ზოლში აგრესიული გრუნტის წყლების პირობებში მიწისქვეშა და წყალქვეშა ნაგებობების საძირკვლებისა და კედლების, საინჟინრო კომუნიკაციების მიწისქვეშა ჭების კონსტრუქციების, გზებისა და მოედნების ორფენიანი საფარის დასამზადებლად, ასევე ნაპირსამაგრ მშენებლობაში ღვარცოფებისა და მეწყერების საწინააღმდეგოდ;

- გოგირდბეტონის შესანიშნავ თვისებათაგან ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი თვისებაა მისი ხელახალი გადამუშავების შესაძლებლობა, რაც მნიშვნელოვნად გააადვილებს და გააიაფებს კონსტრუქციის დაზიანების შემთხვევაში სარემონტო სამუშაოებს.

- მსხვილი ფორიანი შემვსებების თხევადი პოლიმერით დაფარვით მიღებულია მაღალი სიმტკიცის, მსუბუქი კონსტრუქციული მასალა-პოლიმერლექობეტონი;

- დამზადდა მსუბუქი პოლიმერლექობეტონის ფერდგამმაგრებელი კონსტრუქციები და განისაზღვრა მისი ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტურობა.

ნაშრომის აპრობაცია - კვლევის ძირითადი შედეგები მოხსენებულია:

გარემოს დაცვა საწარმოო ნარჩენებისაგან (პროგრამა და მოხსენების მასალები), I საერთაშორისო საზაფხულო სკოლა „ეკოლოგია და გარემოს დაცვა“-2009;

ხიჭაურის საერთაშორისო კონფერენციაზე „ტბელობა 2010“;

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტში ჩატარებულ საერთაშორისო კონფერენციაზე „გაზაფხული 2010“;

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტზე ჩატარებულ I და II სემინარებზე „საქართველოს შავიზღვისპირეთის გავლენა რკინა-ბეტონის ატმოსფერულ კოროზიაზე და მისდამი მდგრადი

ბეტონის მიღება“ შესაბამისად 2011 წლის ივლისსა და 2012 წლის თებერვალში.

დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა - ნაშრომი შედგება ორი თავის, დასკვნებისა და ლიტერატურის ჩამონათვალისაგან. იგი შეიცავს -- გვერდს, ცხრილი -- , ნახაზი -- , ლიტერატურა -- დასახელებისაა.

ნაშრომის შინაარსი

პირველ თავში – მოცემულია საქართველოს შავიზღვისპირეთის კლიმატური პირობების დახასიათება. შესწავლილია და გაანალიზებულია კლიმატის მონაცემები სანაპიროს სამ ქალაქში - ბათუმში, ფოთსა და სოხუმში. შესადარებელ ეტალონად აღებულია ქ. თბილისის კლიმატური მონაცემები, რადგან იგი მდებარეობს შედარებით მშრალ ზონაში.

ეს ქალაქები გამოირჩევიან საერთო კლიმატური თვისებებით; მაღალი ფარდობითი ტენიანობით, საშუალოდ 75-85%; წვიმიანი დღეების რაოდენობით დაახლოებით 2000 მმ წელიწადში; საშუალო წლიური ტემპერატურით 14-15°C; ცხელი პერიოდით წელიწადში 6 თვის განმავლობაში - მაისიდან სექტემბრის ჩათვლით, საშუალო ტემპერატურით 16-25°C, ხოლო მაქსიმალური 40-42°C. ამავე პერიოდში გამოიყოფა ნალექების განსაკუთრებით დიდი რაოდენობა. ტენიანობის დღიური რაოდენობა აღწევს 15-20%. აღსანიშნავია რომ ატმოსფერული ნალექები ძლიერ მინერალიზებულია. სანაპიროებისათვის ზაფხულში დამახასიათებელია მზის სიკაშკაშის დიდი ხანგრძლივობა, რომელიც ჰორიზონტალური ზედაპირებისათვის დღის 11 სთ-დან 14 სთ-მდე შეადგენს 800 კკალ/მ²-სთ. ზამთარში ზღვის სანაპიროს ახასიათებს თბილი ტემპერატურა 5-8°C. საშუალო მინიმალური ტემპერატურა აღწევს 4°C. დროდადრო მოდის თოვლი, რომელიც იქვე დნება.

შავიზღვისპირეთის ზოგიერთი ქალაქის კლიმატის საერთო მახასიათებლები მოყვანილია ცხრილებში 1 და 2. აქვე მოყვანილია შესაბამისი ტექნიკური ლიტერატურიდან ცნობილი, აღნიშნული კლიმატური პირობების აგრესიული გავლენა ბეტონის კონსტრუქციებზე.

ცხრილი 1

საქართველოს ზოგიერთი ქალაქის საშუალო ტემპერატურა და ნალექების წლიური რაოდენობა

ქალაქი	საშუალო წლიური ჯამური ნალექი, მმ	დღეების რაოდენობა წელიწადში		ჰაერის საშუალო წლიური ტემპ, °C	საშუალო აბსოლუტური ტემპერატურა, °C		აბსოლუტ. მაქსიმალური ტემპერატურა, °C	დღეების რაოდენობა 0,1მმ-ზე მეტი ნალექებით
		ნათელი	წვიმიანი		მაქსი	მინი		
ბათუმი	2718	168	109	14,5	33,0	-4,0	41,0	168,0
სოხუმი	1831	157	100	14,4	34,0	-4,0	41,0	157,0
ფოთი	1475	151	150	15,0	34,0	-4,0	40,0	151,0
თბილისი	559	111	108	12,7	37,0	-10,0	40,0	111,0

ცხრილი 2

საქართველოს ზოგიერთი ქალაქის ფარდობითი ტენიანობა, მზის სიკაშკაშის ხანგრძლივობა, წლიური რადიაცია და იონების კონცენტრაცია

ქალაქი	წლიური ფარდობითი ტენიანობა, %	მზის სიკაშკაშის ხანგრძლივობა, სთ	წლიური რადიაცია ნათელ ცაზე, კკალ/სმ ²	საშუალო წლიური ნალექების რაოდენობა, მმ	იონების კონცენტრაცია		საშუალო წლიური ქარის სიჩქარე, მ/წმ	დღეების საშუალო რაოდენობა ძლიერი ქარის დროს 15 მ/წმ
					SO ⁴ ''	CI'		
ბათუმი	81	1958	264	2046	122,03	365,3	1,8	16
ფოთი	78	2137	262	---	---	---	4.3	40
სოხუმი	75	2120	259	1321,8	59,66	28,9	2,4	16
თბილისი	66	2112	251	602,68	118,08	23,54	2,4	19

ხშირი წვიმების შედეგად კონსტრუქცია მრავალჯერად გაშრობა-დაზიანებას განიცდის. ამავ დროს აგრესიული ტენის მუდმივი მიგრაცია ხდება ბეტონის სიღრმეში. ნალექებში იონების, განსაკუთრებით ქლორისა და სულფიდების დიდი კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად აჩქარებს კოროზიული პროცესების განვითარებას. ამასთანავე, კონსტრუქციების ციკლურად განმეორებადი მრავალჯერადი გაღობა-გაშრობა, თანდათანობით არყევს ბეტონის სტრუქტურას და ამცირებს აგრესიისადმი მის სიმტკიცესა და მდგრადობას.

რკინა-ბეტონის ატმოსფერული კოროზიის განვითარებაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ქარი. ზღვის ზედაპირიდან ქარი იტაცებს მარილიანი წყლის წვეთებს, გადააქვს ისინი დიდ მანძილზე და იშთანთქმება ატმოსფერულ ნალექებში. ნალექები კი უარყოფითად ზემოქმედებს შენობების შემომფარგლავ კონსტრუქციებზე. განხილულია აგრეთვე თუ რა გავლენას ახდენს წყლისქვეშა და მიწისქვეშა ნაგებობებზე ზღვის და გრუნტის წყალი, რომლითაც ასე მდიდარია შავიზღვისპირეთი.

მოცემულია ბეტონის ხანმედეგობის ამაღლების ტრადიციული მეთოდები, აღნიშნულია, რომ არც ერთი მათგანი არ არის სრულყოფილი და ამასთან თითოეული ძალიან ადიდებს ბეტონის და შესაბამისად კონსტრუქციის თვითღირებულებას. ყოველივე ზემოთ თქმულის გათვალისწინებით დასმულია ამოცანა ისეთი ბეტონის შესაქმნელად, რომელიც მდგრადი იქნება შავიზღვისპირეთისათვის დამახასიათებელ გარემო პირობებში. იმის გამო, რომ გოგირდი ჭარბად არის ყაზახეთში, თურქმენეთში და ისეთ ქვეყნებში, რომლებიც ნავთობისა და გაზის მოპოვებას, გადამუშავებას და ექსპორტს აწარმოებენ, ამ ქვეყნებში გოგირდი დაგროვდა ნარჩენის სახით, ამიტომ მისი ფასი უმნიშვნელოა, ან ტრანსპორტირების ხარჯის ტოლია. ამიტომ ბეტონში შემკვრელის სახით გოგირდის გამოყენება მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს მოგვცემს.

შავიზღვისპირეთისათვის დამახასიათებელ გარემო პირობებისადმი მდგრადი, მაღალი სიმტკიცის, მცირე დეფორმაციული და

წყალშეუღწევადი ბეტონის მისაღებად საჭიროა, რომ მსხვილი შემვსები, გარდა სხვა თანაბარი პირობებისა, იყოს მედეგი და მშრალი, ე.ი. არ შეიცავდეს და არ შთანთქავდეს წყალს. ყოველივე ამის დაცვა შესაძლებელია აფუებადი მასალების (მაგ. ნაცარმიწა, თიხა, ფიქალი) თერმული დამუშავებით ან შემკვრელად თხევადი გოგირდის გამოყენებით ან კიდევ, მშრალი ფორიანი შემვსების დაფარვით მაღალი სიმტკიცის თხევადი პოლიმერული მასალებით, რომლებიც გარდა იმისა, რომ ზრდიან შემვსების სიმტკიცესა და წყალშეუღწევადობას, უზრუნველყოფენ ერთ შემთხვევაში შემვსებების ერთმანეთთან უწყლო შეჭიდულობას, რაც თავის მხრივ ხელს უწყობს შესაბამისი ბეტონების სიმტკიცის მატებას, ხოლო მეორე შემთხვევაში შემვსების ცემენტის ქვასთან შეჭიდულობის გაზრდას.

მეორე თავში – მოყვანილია ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები. განხილულია მდგრადი ბეტონის დამზადების ტექნოლოგია, სადაც ერთის მხრივ, შემკვრელის როლს ასრულებს თხევადი გოგირდი, ხოლო მეორეს მხრივ წარმოდგენილია ახალი სახის ბეტონი-პოლიმერლექობეტონი, სადაც მსუბუქი მსხვილი შემვსები იფარება თხევადი პოლიმერით.

გოგირდბეტონი გაციების შედეგად გამყარებული გოგირდის, წვრილმარცვლოვანი დანამატის-მინერალური ბაზალტის ქვის მტვრის და შემვსების-ქვიშა, ღორღი, ხრეშის ნარევის წარმოადგენს. გოგირდბეტონის დადებით თვისებებს პირველ რიგში მიეკუთვნება: სიმტკიცის სწრაფი აკრეფა, რომელიც მხოლოდ გოგირდბეტონის ნარევის გაციებასთან არის დაკავშირებული, მაღალი სიმტკიცე, რიგი აგრესიული პროდუქტების მიმართ ქიმიური მედეგობა, დაბალი წყალშეუღწევადობა და შესაბამისად მაღალი ყინვამედეგობა. გოგირდბეტონის მიღების ტექნოლოგია უმნიშვნელოდ განსხვავდება ასფალტბეტონის წარმოების ტექნოლოგიისაგან, შეიძლება მათი არსებულ ასფალტის ქარხნებში დამზადება.

გოგირდბეტონის დამზადება წარმოებდა 160⁰-180⁰C-მდე გაცხელებული გამდნარი გოგირდის ნადნობის შერევით ამავე

ტემპერატურამდე გაცხელებულ შემკვებებთან. ფორმებში ჩაწყობილი ნარევის შემკვრივება დატვირთვის ქვეშ ვიბრირებით ხდებოდა.

დადგენილია მძიმე და მსუბუქი გოგირდბეტონის შემადგენლობა, მასში შემავალი გოგირდისა და მინერალური ბაზალტის ქვის მტვრის ოპტიმალური კონცენტრაციით.

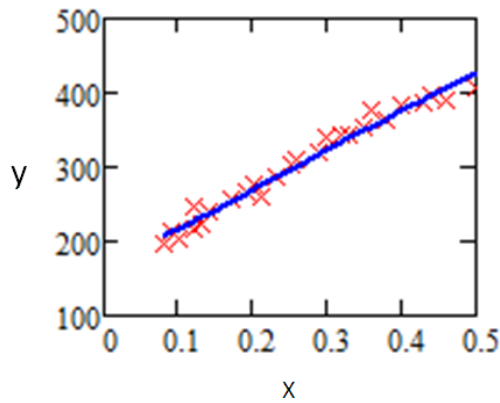
ცხრილი 3.

ექსპერიმენტის მონაცემების დამუშავება

№	გოგირდისა და ბაზალტის მტვრის თანაფარდობა	ექსპერიმენტის შედეგები, $A_{\text{ქსპ.}}, \text{კმ/სმ}^2$	განგარიშებები (1) ფორმულის მიხედვით, $A_{\text{თეორ.}}, \text{კმ/სმ}^2$	ცდომილება %	ვარიაციული მწკრივი
1	2	3	4	5	6
1	1:0,08	195.2	206.6404	5.536359	8.538766
2	1:0,09	212.1	211.9184	0.085672	6.679236
3	1:0,1	203.3	217.1965	6.398141	6.398141
4	1:0,12	247.2	227.7527	8.538766	6.184054
5	1:0,12	217.2	227.7527	3.404011	5.536359
6	1:0,13	223.2	233.0308	2.158866	5.288022
7	1:0,14	238.9	238.3089	0.248033	5.218014
8	1:0,17	255.5	254.1432	0.533873	4.814225
9	1:0,19	265.2	264.6994	0.189125	3.404011
10	1:0,2	275.3	269.9775	2.158866	2.997959
11	1:0,21	260.7	275.2556	5.288022	2.906083
12	1:0,23	285.2	285.8118	0.214044	2.725771
13	1:0,25	301.7	296.368	1.799132	2.652356
14	1:0,26	310.8	301.646	6.184054	2.39441
15	1:0,29	318.5	317.4803	0.321177	2.158866
16	1:0,3	339.6	322.7584	5.218014	1.799132
17	1:0,32	342.4	333.3146	2.725771	1.550916
18	1:0,33	344.7	338.5927	2.39441	0.730665
19	1:0,35	351.7	349.1489	0.730665	0.533873
20	1:0,36	375.1	354.427	6.679236	0.406367
21	1:0,38	363.5	364.9832	0.406367	0.321177
22	1:0,4	382.5	375.5394	2.652356	0.248033
23	1:0,43	385.1	391.3736	2.906083	0.214044
24	1:0,44	397.3	396.6517	1.550916	0.189125
25	1:0,45	390.7	407.2079	2.997959	2.158866
26	1:0,5	407.7	428.3203	4.814225	0.085672

გოგირდბეტონში დანამატის სახით მინერალური მტვრის ოპტიმალური რაოდენობის დასადგენად ჩატარებული ექსპერიმენტების მონაცემები (ცხრ.3) მათემატიკურ-სტატისტიკურად დავამუშავეთ. გოგირდბეტონის სიმტკიცის დამოკიდებულება გოგირდისა და მინერალური ქვის მტვრის თანაფარდობაზე შეიძლება აღიწეროს წრფივი ფუნქციით, (ნახ. 1) რომელიც აპროქსიმებული შემდეგი განტოლებით:

$$y = ax + b \quad (1)$$



ნახ. 1. გოგირდბეტონის სიმტკიცის დამოკიდებულება გოგირდისა და მტვრის თანაფარდობაზე.

არსებული ექსპერიმენტალური მონაცემების საშუალებით ვღებულობთ რიგ განტოლებებს, რომელთა გამოყენებითაც უმცირეს კვადრატთა მეთოდით ვადგენთ კოეფიციენტების a -სა და b -ს მნიშვნელობებს (ცხრ. 4)

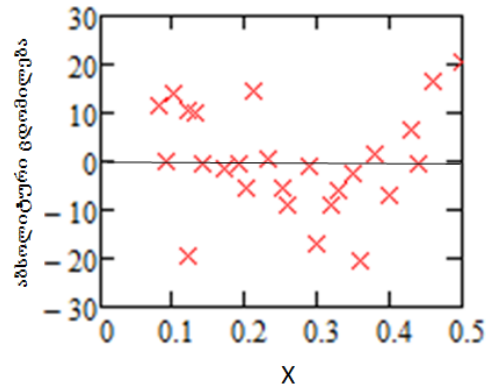
ცხრილი 4.

წრფივი განტოლების კოეფიციენტების მნიშვნელობები

№	კოეფიციენტი	მნიშვნელობა
1	a	527,809402
2	b	164,4156

პროგრამა «Mathcad»-ის გამოყენებით ჩატარებულმა გაანგარიშებებმა, გვიჩვენა, რომ შემოთავაზებული განტოლება საკმარისი სიზუსტით აღწერს გოგირდბეტონის სიმტკიცის დამოკიდებულებას გოგირდისა და მტვრის თანაფარდობაზე. აგებული ცდომილებათა გრაფიკი (ნახ.2) გვიჩვენებს, რომ

მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილება შეადგენს 20 მპა, რაც არ აღემატება 5-10%. განტოლება (1)-ის გამოყენების რეკომენდაციისათვის საჭიროა თეორიული და ექსპერიმენტით მიღებული შედეგების თანხვედრის შემოწმება პირსონის χ^2 კრიტერიუმის გამოყენებით.



ნახ.2. ცდომილებათა გრაფიკი (1) განტოლების მიხედვით.

ამისათვის მიღებული ცდომილებანი (ცხრილი 3) გამოისახა პროცენტებში და განლაგდა ვარიაციული მწკრივის სახით. ვარიაციული მწკრივი დაიყო ინტერვალებად და დადგინდა ამ ინტერვალებში მოხვედრილი ცდომილების რაოდენობა n_j .

დაკვირვების შედეგები, რომლებიც მიღებული იქნა გოგირდბეტონის სიმტკიცის გოგირდისა და მტვრის თანაფარდობაზე დამოკიდებულების დასადგენად შემოწმდა მონაცემების ერთგვაროვნებაზე, ამონაკრებთა შემთხვევითობაზე და დროში სტაბილურობაზე.

ამონაკრების შემთხვევითობის შეფასება მოხდა მედიანათა მეთოდის მეშვეობით. როგორც ცნობილია მედიანად აიღება ვარიაციული მწკრივის შუა ელემენტი თუ ამონაკრებთა რაოდენობა კენტია (2), ხოლო ორი შუა ელემენტის არითმეტიკული საშუალო მნიშვნელობა თუ ამონაკრებთა რაოდენობა ლუწია, როგორც მოცემულ შემთხვევაში (3).

თუ n -კენტი რიცხვია

$$x_{მედ} = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \quad (2)$$

თუ n -ლუწი რიცხვია

$$x_{\text{შედ}} = \frac{1}{2} \left[x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)} \right] \quad (3)$$

სადაც, $\left(\frac{n+1}{2}\right); \left(\frac{n}{2}\right); \left(\frac{n}{2}+1\right)$ - ცდის რიგითი ნომერია.

ექსპერიმენტის შედეგებიდან მკვეთრად გამოკვეთილი დაკვირვების გამოსაყოფად გამოყენებული იქნა კრიტერიუმი (4).

ამონაკრეფის შემთხვევითობა გამართლებულია, თუ სრულდება პირობა:

$$l_{\text{დაკ}} > l_{\text{კრ}}; \quad \tau_{\text{დაკ}} < \tau_{\text{კრ}} \quad (4)$$

სადაც, $l_{\text{დაკ}}$ - დადებითი და უარყოფითი სერიების რაოდენობაა;

$\tau_{\text{დაკ}}$ - ყველაზე გრძელი სერიის ხანგრძლივობაა.

$$l_{\text{კრ}} = \left[\frac{1}{2} (n + 1 - 1.96\sqrt{n-1}) \right]$$

$$\tau_{\text{კრ}} = [3.3 \ln(n+1)]$$

მიღებული ექსპერიმენტის შედეგების დროში სტაბილურობა შემოწმდა დამოკიდებულებით (5).

$$r^2 = q^2 / \sigma^2 \quad (5)$$

სადაც,
$$q^2 = \frac{1}{2(n-1)} \sum_i^n (x_{i+1} - x_i)^2$$

σ^2 - ამონაკრეფის საშუალო კვადრატული გადახრაა.

დაკვირვებათა შედეგების დამუშავების შედეგად მივიღეთ:

ა) ერთგვაროვნებაზე

$$t_{\text{დაკ}} = \frac{|x_{\text{დაკ}} - \bar{x}|}{\sigma} \quad (6)$$

სადაც,

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

n - ცდის რაოდენობა (ექსპერიმენტით მიღებული ცდების რაოდენობა);

მონაცემების (ცხრილი 3) დამუშავების შედეგები მოყვანილია ცხრილში 5.

ცხრილი 5.

ექსპერიმენტული შედეგების დამუშავება

№	x_i	ერთგვაროვნებაზე		დროში სტაბილურობაზე		შემთხვევითობაზე - თუ $x_i < x_{med}$ + თუ $x_i > x_{med}$
		$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$x_{i+1} - x_i$	$(x_{i+1} - x_i)^2$	
1	5.536359	2,6	6,76	-5,45	29,7	+
2	0.085672	-2,84	8,06	6,32	39,9	-
3	6.398141	3,47	12,04	2,14	4,58	+
4	8.538766	5,61	31,47	-5,14	26,42	+
5	3.404011	0,47	0,22	-1,24	1,54	-
6	2.158866	-0,77	0,59	-1,91	3,65	-
7	0.248033	-2,68	7,18	0,28	0,078	-
8	0.533873	-2,4	5,76	-0,34	0,11	-
9	0.189125	-2,74	7,51	1,97	3,88	-
10	2.158866	-0,77	0,59	3,13	9,797	-
11	5.288022	2,36	5,57	-5,08	25,81	+
12	0.214044	-2,7	7,4	1,59	2,53	-
13	1.799132	-1,13	1,28	4,38	19,18	-
14	6.184054	3,25	10,56	-5,86	34,34	+
15	0.321177	-2,61	6,81	4,9	24	-
16	5.218014	2,28	5,2	-2,5	6,25	+
17	2.725771	-0,2	0,04	0,33	0,11	-
18	2.39441	-0,54	0,29	-1,66	2,75	-
19	0.730665	-2,2	4,84	5,95	35,4	-
20	6.679236	3,75	14,06	-6,27	39,3	+
21	0.406367	-2,53	6,4	2,24	5,02	-
22	2.652356	-0,28	0,078	0,26	0,07	-
23	2.906083	-0,02	0,0004	-1,36	1,85	-
24	1.550916	-1,38	1,904	1,45	2,1	-
25	2.997959	0,068	0,0046	1,81	3,28	-
26	4.814225	1,88	3,53			+

Σ 76,1

Σ 148,15

Σ 321,65

x_i ცდების მნიშვნელობებია.

$$\bar{x} = 2,93 ; \sigma^2 = 5,93 ; \sigma = 2,43 ;$$

$$\max t_{დაკ} = \frac{/8,54-2,93/}{2,43} = 2,3;$$

$$\min t_{დაკ} = \frac{/0,086-2,93/}{2,43} = 1,17;$$

$$t_{დაკ} = 2.3 > t_{კრ} = 1,113;$$

$$t_{დაკ} = 1,17 > t_{კრ} = 1,113$$

ამონაკრეფი ერთგვაროვანია.

ბ) დროში სტაბილურობაზე

$$\bar{x} = 2,93; \quad \sigma^2 = 5,93; \quad q^2 = 12,87; \quad r^2 = 2,17$$

სარწმუნოების შემთხვევაში $p = 0,001$, $r_{კრ}^2 = 0,482$, $r_{დაკ}^2 = 2,17 > r_{კრ} = 0,482$

ამონაკრეფი სტაბილურია დროში.

გ) შემთხვევითობისათვის რადგან $n=26$ მედიანა განისაზღვრა ფორმულით

(3)

$$x_{მედ} = \frac{1}{2}[0,652 + 2,39] = 1,52$$

$$l_{კრ} = \left[\frac{1}{2}(26 + 1 - 1.96\sqrt{26 - 1}) \right] = 7,6, l_{დაკ} = 13;$$

$$\tau_{კრ} = [3.3 \ln(26 + 1)] = 10,9; \quad \tau_{დაკ} = 6.$$

რადგან პირობა (4) სრულდება ამონაკრეფი შემთხვევითია და სტოქასტურად დამოუკიდებელი.

ანგარიშმა აჩვენა, რომ ექსპერიმენტის შედეგები ერთგვაროვანია, შემთხვევითია და დროში სტაბილურია. შესაბამისად, ექსპერიმენტით მიღებული და ფორმულით გაანგარიშებული მონაცემების შეფასება შეიძლება პირსონის კრიტერიუმით.

ინტერვალებში მოხვედრილი თეორიული სიხშირეები გამოითვლება ფორმულით:

$$n_j = \frac{n\Delta x}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_j - \bar{x}_j)^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

სადაც:

x_j - ინტერვალის შუალედური მნიშვნელობა;

\bar{x}_j - დაკვირვების შედეგად მიღებულ რიცხვით მნიშვნელობათა აწონილი საშუალო;

σ - იგივე სიდიდის საშუალო კვადრატული გადახრა;

Δx - ინტერვალის სიგრძე;

n - შემთხვევათა რიცხვის (ექსპერიმენტიდან მიღებული წერტილების რაოდენობა).

\bar{x}_j გამოითვლება ფორმულით:

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{j=1}^m n_j x_j}{\sum_{j=1}^m n_j} \quad (8)$$

სადაც, m - ინტერვალთა რაოდენობაა.

როგორც ცნობილია

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m n_j (x_j - \bar{x}_j)^2}{\sum_{j=1}^m n_j}} \quad (9)$$

გამოთვლის სიმარტივის მიზნით ვსარგებლობთ აღნიშვნით

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (10)$$

სადაც,

$$t = \frac{x_j - \bar{x}_j}{\sigma} \quad (11)$$

და ნორმალური განაწილების ფუნქციის ცხრილით.

ცხრილი 6.

თანადობის კრიტერიუმის χ^2 საანგარიშო ცხრილი

ინტერვალების №	ინტერვალების საზღვრები	ემპირიული სიხშირე n_j	ინტერვალების შუალედური მნიშვნელობა x_j	$t = \frac{x_j - \bar{x}_j}{\sigma}$	$\varphi(t)$	თეორიული სიხშირე n'_j	$\chi^2 = \frac{(n_j - n'_j)^2}{n_j}$
1	-8; -6	1	-7; 7	-1,89986	0,06565	1	0,07148
2	-6; -4	3	-5, -15	-1,37437	0,155186	2	0,536059
3	-4; -2	4	-3, 12	-0,84887	0,278321	3	0,199794
4	-2; 0	3	-1, -3	-0,32338	0,378715	4	0,501362
5	0; 2	8	1, 8	0,202113	0,390976	4	1,653249
6	2; 4	3	3, 9	0,727607	0,306239	3	0,058126
7	4; 6	2	5, 10	1,253101	0,181988	2	0,000479
8	6; 8	1	7, 7	1,778595	0,082053	1	0,007105
9	8; 10	1	9, 9	2,304088	0,028069	0	0,471633

Σ3,499287

თავისუფლების ხარისხი იანგარიშება ფორმულით

$$S = m - r - 1 \quad (12)$$

სადაც,

m - ინტერვალების რაოდენობაა;

r - განაწილების კანონში მონაწილე პარამეტრების რიცხვი.

თავისუფლების ხარისხი $S = 8$ და მნიშვნელობების დონის $\alpha=0,05$ -ის მიხედვით დგინდება, რომ $\chi_{0,05}^2 = 15,507$, რაც გაცილებით მეტია მიღებულ ჯამურ მნიშვნელობაზე $15,507 > 3,499$ (ცხრილი 6).

ექსპერიმენტის შედეგებში გოგირდბეტონის სიმტკიცის დამოკიდებულება მასში შემავალი გოგირდისა და მინერალური მტვრის თანაფარდობაზე ასევე შეიძლება აღიწეროს განტოლებით

$$y = a_1 \cdot x^{a_2} \cdot e^{a_3 x} \quad (13)$$

სადაც, y - ბეტონის სიმტკიცეა კუმშვაზე, მპა;

x -გოგირდბეტონში შემავალი გოგირდისა და მტვრის თანაფარდობა;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ კოეფიციენტებია.

იმის გამო, რომ გოგირდბეტონს მინერალური მტვრის დამატების გარეშე აქვს გარკვეული სიმტკიცე, გოგირდისა და მტვრის ნებისმიერი თანაფარდობის პირობებში ბეტონის სიმტკიცე ნულის ტოლი ვერ იქნება. ამიტომ განტოლებაში გაჩნდა დამატებითი პარამეტრი და განტოლებამ მიიღო სახე

$$y = a_1 \cdot (x + a_4)^{a_2} \cdot e^{a_3(x+a_4)} \quad (14)$$

გამოთვლების გასამარტივებლად მოცემული დამოკიდებულების გამომსახველი ფუნქცია გალოგარითმდა (ცხრილი 3). საბოლოოდ, კი გოგირდბეტონის სიმტკიცის დამოკიდებულება მასში შემავალი გოგირდისა და მინერალური მტვრის თანაფარდობაზე აღიწერა განტოლებით (15).

$$\lg y = a_1 \cdot (-\lg x + a_4)^{a_2} \cdot e^{a_3(-\lg x + a_4)} \quad (15)$$

სადაც y - გოგირდბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა;

x - გოგირდბეტონში არსებული გოგირდისა და მინერალური მტვრის თანაფარდობა;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ კოეფიციენტებია.

ლოგარითმულ განტოლებაში შემავალი კოეფიციენტები ისევე, როგორც წრფივი განტოლების შემთხვევაში ნაპოვნია პროგრამა Mathcad-ის 12 ვერსიის, ფუნქცია genfit-ის უმცირეს კვადრატთა მეთოდით.

ამ ფუნქციის მეშვეობით აგებული ცდომილებათა გრაფიკი (ნახ.3) გვიჩვენებს, რომ მიღებული კოეფიციენტების მნიშვნელობებისათვის მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილება შეადგენს 0,06-ს, რაც არ აღემატება 5-10%, რაც სავსებით დასაშვებია საინჟინრო ტექნოლოგიური პროცესებისათვის.

ამ შემთხვევაშიც მათემატიკური მოდელის ადეკვატურობის შეფასებისათვის ჩვეულებრივ რეკომენდირებულია თანადობის კრიტერიუმის გამოყენება.

დაკვირვების შედეგები, რომლებიც მიღებული იქნა გოგირდბეტონის სიმტკიცის გოგირდისა და მტვრის თანაფარდობაზე დამოკიდებულების დასადგენად შემოწმდა ერთგვაროვნებაზე, ამონაკრებთა შემთხვევითობისა და დროში სტაბილურობაზე.

გოგირდბეტონის ზემოთ მოყვანილი განსაკუთრებული თვისებების ასევე მონაცემების (სწრაფი გამყარება და გამყარებისთანავე მაღალი სიმტკიცე, დაბალი წყალშეღწევადობა, ყინვამედეგობა, წყალუჟონადობა, კოროზია მედეგობა, ხელმეორედ გადამუშავების შესაძლებლობა) გათვალისწინებით გოგირდბეტონის შემადგენლობის შერჩევა, გოგირდის შემკვრელზე ისეთი კომპოზიციის შექმნის პირობიდან ხდება, რომელსაც მაღალი მოლეკულური სიმტკიცის გოგირდის პოლიმერული მოდიფიკაციის წარმოქმნის უნარი ექნება. ამავე დროს ეკონომიკური მოსაზრებიდან გამომდინარე გოგირდბეტონში გამოყენებული მასალა იაფი და ხელმისაწვდომი უნდა იყოს. ამიტომ შემადგენლობის შერჩევას არჩევანი გაკეთდა იმავე შემავსებლებზე, რაც ცემენტთან ბეტონს აქვს: ხრეში, ღორღი და ქვიშის ნარევი.

გოგირდი (S) გამოიყენებოდა გრანულოვანი, მოყვითალო-ლიმონისფერი, მოცულობითი წონით $\gamma_0=1000\text{კგ/მ}^3$. მძიმე გოგირდბეტონში აუცილებელ წვრილდისპერსიულ დანამატად გამოვიყენე მინერალური ბაზალტის ქვის მტვერი. მძიმე და მსუბუქ შემკვრელებზე დამზადებული გოგირდბეტონის შემადგენლობები მოცემულია ცხრილში 7 და 8.

გოგირდბეტონის დამზადება წარმოებდა 160-180° C-მდე გაცხელებული გამდნარი გოგირდის შენადნობის შერევით ამავე ტემპერატურამდე გაცხელებულ შემვსებებთან. ფორმებში ჩაწყობილი ნარევის შემკვრივება დატვირთვის ქვეშ ვიბრირებით ხდებოდა. გოგირდბეტონის სიმტკიცის მახასიათებლები მოყვანილია ცხრილში 9. საიდანაც ჩანს, რომ როგორც მძიმე ისე მსუბუქი გოგირდბეტონის სიმტკიცე გაჭიმვაზე ღუნვისას დაახლოებით 1,5-ჯერ აღემატება იმავე კლასის ცემენტის ბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებლებს, რაც გოგირდბეტონის მაღალ სტრუქტურულ სიმტკიცეზე მეტყველებს.

ცხრილი 7

მძიმე შემვსებზე დამზადებული გოგირდბეტონის შემადგენლობა

შემადგენლობა №	მასალების დანახარჯები 1მ ³ ნარევეზე					ნარევის შემადგენლობის ფარდობითი მასური დამოკიდებულება
	S	ქვ.0-5	ღ ⁵⁻¹⁰	ღ ¹⁰⁻²⁰	მტვ.	
1	340	838	363	844	-	S:ქვ:ღ ⁵⁻¹⁰ :ღ ¹⁰⁻²⁰ = =1:2,46:1,1:2,48
2	347	584	1122	-	347	S:ქვ:ღ ⁵⁻¹⁰ : მტვ. = =1:1,68:3,23:1
3	420	515	1173	-	240	S:ქვ:ღ ⁵⁻¹⁰ : :მტვ.=1:1,23:2,8:0,57
4	544	543	1017	-	240	S:ქვ:ღ ⁵⁻¹⁰ =1:1:1,87:0,44
5	504	566	352	705	252	S:ქვ:ღ ⁵⁻¹⁰ :ღ ¹⁰⁻²⁰ :მტვ.=1:1,12:0,7;1,4:0,5

ცხრილი 8.

ფოროვან შემვსებზე დამზადებული გოგირდბეტონის შემადგენლობა

შემადგენლობა №	მასალების დანახარჯები 1მ ³ ნარევეზე					γ ₀ , კგ/მ ³	ნარევის შემადგენლობის ფარდობითი მასური დამოკიდებულება
	S	ქვ.0-5	ღ ⁵⁻¹⁰	ღ ¹⁰⁻²⁰	მტვ.		
1	737	383	480	-	-	1600	S:ქვ:ღ ⁵⁻¹⁰ =1:0,52:0,65
2	976	674	400	-	-	2030	S:ქვ:ღ ⁵⁻¹⁰ =1:0,69:0,41
3	875	729	187,5	250	-	2050	S:ქვ:ღ ⁵⁻¹⁰ :ღ ¹⁰⁻²⁰ = =1:0,83:0,21:0,29
4	266	480	604	-	205	1555	S:ქვ:ღ ⁵⁻¹⁰ : :მტვ.=1,8:2,27:0,77

ცხრილი 9.
გოგირდბეტონის სიმტკიცის მახასიათებლები

ბეტონის სახე და ნიმუშის სერია	R _b , კგძ/სმ ²	R _m , კგძ/სმ ²	R _დ , კგძ/სმ ²
მძიმე გოგირდბეტონი	330	305	105,3
მსუბუქი გოგირდბეტონი	335	350	77,4

ციკლური დატვირთვებისას დრეკადი დეფორმაციების მოდულის ცვლილების გამოკვლევამ დატვირთვების ციკლის რაოდენობაზე გვიჩვენა, რომ გოგირდბეტონის დეფორმაციის მოდულის ცვლილება იმავე კანონზომიერებას ექვემდებარება, რასაც ცემენტის ბეტონების დრეკადი დეფორმაციის მოდულის ცვლილება. ამასთან ერთად გოგირდბეტონის დრეკადი დეფორმაციის მოდულები მეტია ცემენტის ბეტონების დრეკადი დეფორმაციის მოდულების ნორმატიულ მაჩვენებელზე.

ამავე თავში მოყვანილია მძიმე და მსუბუქი გოგირდბეტონის კვლევები განმეორებით მკუმშავ მცირე ციკლიან დატვირთვებზე. გოგირდბეტონის მცირეციკლიან და განმეორებით მკუმშავ დატვირთვაზე გამოკვლევის ექსპერიმენტში მიღებული შედეგები მოყვანილია ცხრილში 10.

ექსპერიმენტები ჩატარდა იგივე მეთოდიკით, რომელიც ცემენტის ბეტონების ციკლური დატვირთვის დროს. ექსპერიმენტით დადგინდა, რომ ციკლური გამოცდების ჩატარების დროს ადგილი აქვს გოგირდბეტონის სიმტკიცის შემცირებას 22-25%-ით იმ ნიმუშებში, სადაც $\frac{\sigma}{R_m} > 0,9$, ანუ რომელთა ციკლური დატვირთვების სიდიდე უახლოვდებოდა მრღვევ ძალას. ხოლო, როცა $\frac{\sigma}{R_m} = 0,86$ -ს დროს გოგირდოვანი ბეტონისათვის სიმტკიცის შემცირება 6%-ის ტოლია. დანარჩენ შემთხვევებში სიმტკიცის შემცირებას ადგილი არ ჰქონია. რაც გოგირდბეტონის საკმარის გამძლეობაზე მიგვითითებს მცირე ციკლური მკუმშავი დატვირთვებისას.

ცხრილი 10
მცირეციკლიან მკუმშავ დატვირთვაზე გამოცდის შედეგები მსუბუქი
გოგირდბეტონის ნიმუშების მაგალითზე

დატვირთვა P, კგძ	საშუალო დეფორმაციები		პუასონის კოეფიციენტი $\nu = E_{გან} / E_{გრძ}$	დრეკადობის მოდული	
	გრძივი $E_{გრძ} \cdot 10^{-5}$	განივი $E_{გან} \cdot 10^{-5}$		$E_{გრძ}^{\delta} \cdot 10^{-3}$, კგძ/სმ ²	$E_{გან}^{\delta} \cdot 10^{-3}$, კგძ/სმ ²
300	0,0	0,0	0,00	0	0
1200	17,5	-5,5	-0,31	429	-41250
2400	48,0	-9,5	-0,20	313	-142500
3600	72,5	-15,5	-0,21	310	-348750
4600	119,0	-15,5	-0,13	242	-445625
3600	91,5	-14,5	-0,16	246	-326250
2400	62,5	-4,5	-0,07	240	-67500
1200	26,0	-1,0	-0,04	288	-76500
300	5,5	2,0	0,36	341	3750

მეორე ციკლზე გამჭოლი ბზარი სიმაღლის 3/4-ზე $P=3600$ კგძ= 225 კგძ/სმ²;
რღვევა მეოცე ციკლზე $P=4600$ კგძ= $287,5 \times 0,85=244$ კგძ/სმ²;

მთლიანობაში გამოკვლევებმა გოგირდბეტონის საკმაოდ საიმედო მუშაობა გვაჩვენა მცირეციკლიანი მკუმშავი დატვირთვების დროს.

ამავე თავში შესწავლილია გოგირდბეტონის გამოყენების შესაძლებლობა ორშრიანი საფარის ქვედა შრის მოსაწყობად. გოგირდბეტონის სიმტკიცის მაღალი მაჩვენებლების გათვალისწინებით შესწავლილი იქნა ორშრიანი სამოსის მოწყობის ეფექტურობა ორი შემთხვევისათვის: პირველი-ზედა ფენა ცემენტბეტონისაგან და ქვედა მძიმე გოგირდბეტონისაგან; მეორე-ზედა შრე ცემენტის ბეტონისაგან, ქვედა მსუბუქ ფოროვან შემდგებზე (ახალქალაქის ვულკანურ წიდაზე) დამზადებული გოგირდბეტონისაგან. ცდები მზადდებოდა 10X10X40სმ ძელაკების ღუნვაზე გამოცდით ძალის მოდების სამწერტილიანი სქემით, ნიმუშების გრძივი განლაგებისას ცემენტის ბეტონისა და გოგირდბეტონის შრეების სისქე კვეთის სიმაღლეში 1:0; 2:1; 1:1; 1:2; 0:1 შეადგენდა. ცემენტის ბეტონის შრის ფორმაში ჩაწყობა გოგირდიანი ბეტონის შრის გაცივების შემდეგ წარმოებდა. ორფენიანი ნიმუშების გამოცდის შედეგები ქვედა ფენით მძიმე გოგირდბეტონისაგან მოყვანილია და ქვედა ფენით მსუბუქი გოგირდბეტონისაგან ცხრილში 11.

მიღებული შედეგებიდან ჩანს, რომ ორშრიანი სამოსის ქვედა შრეში გოგირდბეტონის გამოყენებისას, მისი სიმტკიცე საგრძნობლად აღემატება ცემენტის ბეტონის ერთფენოვანი ნიმუშის გაჭიმვის სიმტკიცეს ღუნვისას. გამოცდილებამ აჩვენა, რომ მსუბუქ გოგირდბეტონში მინერალური (ქვის) მტვრის გამოყენება დადებით ზეგავლენას ახდენს, გარდა ამისა კვლევების დადებითი შედეგებისას, მიწისქვეშა, წყალქვეშა, ნაპირსამაგრი, საგზაო და აეროდრომის სამშენებლო სამუშაოების მასშტაბების გათვალისწინებით, საკმაოდ ეფექტურად გადაიჭრება ასეთი ტიპის სამრეწველო ნარჩენების უტილიზაციის საკითხი.

ცხრილი 11.

ორფენიანი, 10X10X40სმ ზომის ნიმუშის გაჭიმვაზე ღუნვით გამოცდის შედეგები

ორფენიანი ნიმუში მძიმე გოგირდბეტონის ქვედა ფენით			ორფენიანი ნიმუში მსუბუქი გოგირდბეტონის ქვედა ფენით		
ცემენტბეტონის ზედა შრის სისქე, სმ და ფენათა დამოკიდებ-ბა	მძიმე გოგირდბეტონის ქვედა შრის სისქე, სმ და ფენათა დამოკიდებ-ბა	ელემენტის სიმტკიცე გაჭიმვაზე ღუნვისას, P _n , კგმ/სმ ²	ცემენტბეტონის ზედა ფენის სისქე, სმ და ფენათა დამოკიდებ-ბა	მსუბუქი გოგირდბეტონის ქვედა ფენის სისქე, სმ და ფენათა დამოკიდებ-ბა	ელემენტის სიმტკიცე გაჭიმვაზე ღუნვისას, P _n , კგმ/სმ ²
10(1:0)	0(0:1)	32,2	10(1:0)	0(0:1)	32,2
6,6(2:1)	3,3(1:2)	50,7	6,6(2:1)	3,3(1:2)	44,6
5(1:1)	5(1:1)	60,6	5(1:1)	5(1:1)	48,3
3,3(1:2)	6,6(2:1)	35,6	3,3(1:2)	6,6(2:1)	50,5
0(0:1)	10(1:0)	51,5	0(0:1)	10(1:0)	72

გამოკვლეულია, როგორც მძიმე ისე მსუბუქ ფოროვან შემავსებელზე დამზადებული გოგირდბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები. დასაბუთებულია მსუბუქი და მძიმე გოგირდბეტონის უპირატესობა აგრესიულ გარემოში ჩვეულებრივ პორტლანდცემენტზე დამზადებულ ბეტონთან შედარებით. გოგირდბეტონის თვისებებიდან გამომდინარე დადგენილია მისი გამოყენების არეალი.

გამოკვლეულია, როგორც მძიმე ისე მსუბუქ ფოროვან შემავსებელზე დამზადებული პოლიმერლექობეტონის ფიზიკურ-მექანიკური და თვისებები ხანმედეგობა (წყალშთანთქმადობა, წყალმედეგობა, ცვეთადობა,) და აგრესიული გარემოს გავლენა პოლიმერლექობეტონის სიმტკიცეზე

(კოროზიამედეგობა). დასაბუთებულია მსუბუქი და მძიმე პოლიმერლექობეტონის უპირატესობა აგრესიულ გარემოში ჩვეულებრივ პორტლანდცემენტზე დამზადებულ ბეტონთან შედარებით.

მსუბუქი ბეტონი ოკამის საბადოს ფორიან შემცსებზე ბუნებრივ მდგომარეობაში ხასიათდება მაღალი წყალშთანთქმადობით (საკუთარი მასის 18-20%): პოლიმერლექობეტონის წყალშთანთქმადობის გამოსაკვლევად ჩატარდა ექსპერიმენტები 10X10X10 სმ ზომების კუბებზე დადგენილი ნორმის მიხედვით. საცდელი ნიმუშები გამოიცადა დაორთქვლიდან მეორე დღეს. მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილში 12. ცხრილის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ პოლიმერლექობეტონში, როცა პოლიმერად გამოიყენებოდა 40% ეპოქსიდის ფისი და 60% ბაკელიტის ლაქი ცოტათი მეტია 5%-ზე. მაგრამ თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ ნიმუშების გამოცდა მოხდა თბოტენიანი დამუშავებიდან მეორე დღეს და არა რაღაც დროის შემდეგ, შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ პოლიმერლექობეტონის წყალშთანთქმადობა დროთა განმავლობაში იქნება გაცილებით ნაკლები და არა ზღვრულად დასაშვები.

ცხრილი 12.

მსუბუქი ბეტონის და პოლიმერლექობეტონის წყალშთანთქმადობის კვლევა

ბეტონის სახე		ნიმუშის #	ნიმუშის მასა, კგ					გამომშრალი მუდმივ მასამდე, კგ	წყალშთანთქმადობის კოეფიციენტი, %	
			წყალშთანთქმადობა, დღე-ღამეში							
			0	1	2	3	4			5
პოლიმერლექობეტონი	40% ეპოქსიდის ფისი,	1	530,59	562,26	564,43	560,78	566,02	566,02	523,0	7,9
	60% ბაკელიტის ლაქი	2	529,54	558,34	559,67	558,8	561,2	561,2	522,02	7,48
		3	530	557,5	558,2	591,51	559,5	560,0	522,5	7,2

შენახვის პირობები პოლიმერლექობეტონის სიმტკიცეზე და დეფორმაციულობაზე მხოლოდ გამყარების სტადიაში (1-2 თვის ასაკში) ახდენს მნიშვნელოვან გავლენას. პოლიმერლექობეტონის შენახვის უკეთესი პირობაა ბუნებრივად მშრალი გარემო, ხოლო ცუდია წყალში შენახვა (რადგან წყალი ხელს უშლის პოლიმერის გამყარებას). კომბინირებული შენახვა (4 თვე წყალში და 3 თვე ბუნებრივ-მშრალ გარემოში) სიმტკიცის ზრდას იწვევს. პოლიმერლექობეტონის შემდგომის სიმტკიცე არსებით გავლენას არ ახდენს პოლიმერლექობეტონის საბოლოო სიმტკიცეზე. ჩვეულებრივი მძიმე ბეტონისა და მსუბუქი პოლიმერლექობეტონის სიმტკიცეებს შორის სხვაობა უმნიშვნელოა.

ცნობილია, რომ მასალა ითვლება წყალმედევად იმ შემთხვევაში, თუ მისი წყალმედევობის ან დარბილების კოეფიციენტი მეტია 0,9-ზე.

რადგან გამოცდილი ნიმუშების წყალმედევობის კოეფიციენტი მეტია 0,9-ზე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ გამოკვლეული ბეტონი წყალმედეგია. მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილში 13.

ცხრილი 13.

მსუბუქი ბეტონისა და პოლიმერლექობეტონის წყალმედევობის კვლევა

ბეტონის სახე		სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, R, კგმ/სმ ²								წყალმედევობის კოეფიციენტი
		ნიმუშები 50 - ციკლიანი წყალგაჟღენთვა-გამომშრობით				საკონტროლო ნიმუშები				
		R ₁	R ₂	R ₃	R _{საშ}	R ₁	R ₂	R ₃	R _{საშ}	
პოლიმერლექობეტონი	40% ეპოქსიდის ფისი, 60% ბაკელიტის ლაქი	311	306	315	311	318	310	315	314	0,99

პოლიმერლექობეტონის კოროზია მედეგობის კვლევისათვის ბეტონის ნიმუშები მოვათავსეთ ორ სხვადასხვა აგრესიულ გარემოში. გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ 40% ეპოქსიდის ფისის და 60% ბაკელიტის ლაქის ნარევით დამზადებულ პოლიმერლექობეტონის კოროზიამედევობის კოეფიციენტი

ზღვის წყლებისა და აგრესიული გრუნტის წყლების გარემოში ყოფნის შემდეგ 0,99 -1.02 აქვს და ის გაცილებით მეტია 0,9. შესაბამისად შეიძლება ვთქვათ, რომ მოცემული პოლიმერლექობეტონი მედეგია აგრესიული გარემოს მიმართ.

ცხრილი 14.

პოლიმერლექობეტონის(40% ეპოქსიდის ფისით 60% ბაკელიტის ლაქით)
ცვეთადობის კვლევა

#	h ₁ , სმ	h ₂ , სმ	h ₃ , სმ	h ₄ , სმ	F, სმ ²	g, სმ	ციკლი	ცვეთადობის კოეფიციენტი, K _{ცვ} გრ/სმ ²
I	7,1	7,0	7,1	7,1	7,81X7,05=50,619	608	0	0,494
	6,85	6,95	6,95	6,95		596	I	
	6,85	6,90	6,90	6,85		590	II	
	6,75	6,80	6,85	6,82		586	III	
	6,70	6,75	6,80	6,80		583	IV	
II	7,00	6,90	7,10	7,00	7,1X6,95=49,345	605	0	0,466
	6,90	6,85	6,95	6,95		595	I	
	6,80	6,80	6,90	6,90		590	II	
	6,75	6,77	6,85	6,87		585	III	
	6,70	6,75	6,80	6,85		582	IV	
III	7,00	7,10	7,05	7,00	7,1X7,15=50,765	610	0	0,501
	6,90	6,98	6,90	6,85		592	I	
	6,85	6,90	6,85	6,80		589	II	
	6,80	6,85	6,80	6,75		585	III	
	6,77	6,80	6,80	6,70		583,5	IV	

პოლიმერლექობეტონის ცვეთადობაზე გამოცდის შედეგები მოყვანილია ცხრილიში 14. მათი ანალიზიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ 40% ეპოქსიდის ფისით და 60% ბაკელიტის ლაქით მიღებულ პოლიმერლექობეტონს ცვეთადობის კოეფიციენტი იგივე აქვს, როგორც მძიმე ლითონებს. ამავე დროს, თუ გავითვალისწინებთ, რომ პოლიმერლექობეტონის ცვეთადობა განისაზღვრებოდა თბოტენიანი დამუშავებიდან მესამე დღეს, ხოლო პოლიმერლექობეტონის სიმტკიცე

ინტენსიურად იზრდება დროში, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ აღნიშნული შედგენილობების პოლიმერლეჩობეტონი პასუხობს ცვეთადობის მოთხოვნებს.

ამავე თავში განხილულია ფერდობის გამაგრების რამდენიმე ვარიანტი. თუმცა უბნებზე, რომლის გრძივი დაფერდება 30⁰-ს აღემატება, წყლის ხარჯი მნიშვნელოვანია და მდებარეობს ხელოვნური წყლის ნაგებობასთან ახლოს, ფერდობის გამაგრება განხილული მეთოდებით შეიძლება არასაკმარისი აღმოჩნდეს. ასეთ შემთხვევებში, ან უფრო ციცაბო ფერდობებისა და სუსტი გრუნტების დროს ასაწყობი რკინაბეტონის ან ასფალტბეტონის ფილები გამოიყენება, რომლებიც წყალმოვარდნების, ტალღების და სხვა. დამანგრეველი მოქმედებისაგან ფერდობის დასაცავადაა გაანგარიშებული. დამუშავებულია ასაწყობი, მძიმე რკინაბეტონის ფერდოგასამაგრი კონსტრუქციები, რომლებიც აწყობის შედეგად პროფილირებულ უჯრედს ქმნის. იგი აუცილებლობის შემთხვევაში შეიძლება გრუნტით ამოივსოს და ბალახით ან ასფალტით დაიფაროს. თუმცა ეს კონსტრუქციები მძიმეა და ამიტომ ხელით მათი დამონტაჟება რთული და შრომატევადია. მათი უარყოფითი მხარეა აგრეთვე დაბალი ხანმედეგობა.

აღნიშნული ნაკლოვანებების აღმოსაფხვრელად, მძიმე ბეტონის ნაცვლად უმჯობესია პოლიმერლეჩობეტონის გამოყენება, რომელიც საშუალებას იძლევა 30-40%-ით შემსუბუქდეს კონსტრუქცია, ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით კი არ ჩამოუვარდეს მძიმე ბეტონისაგან დამზადებულ კონსტრუქციები, იყოს ხანმედეგი და ამავე დროს ფოლადის ხარჯის 25%-ით შემცირეს.

მესამე თავში – მოცემულია სამუშაოს საბოლოო დასკვნები და რეკომენდაციები. აგრესიული გარემოს ზემოქმედებისაგან ბეტონის დაცვის დღეს არსებული ღონისძიებები ძვირადღირებული და არასაკმარისია. ამიტომ შავიზღვისპირეთის კლიმატურ პირობებში ბეტონის კონსტრუქციების დაცვის ერთ-ერთ საშუალებად ბეტონში შემკვრელის

სახით თხევადი გოგირდის გამოყენება მიგვაჩნია. ცემენტთან ბეტონთან შედარებით გოგირდიან ბეტონს რიგი განსაკუთრებული თვისებები გააჩნია. ისეთები როგორცაა: დაბალი წყალშეღწევადობა, წყალუქონადობა, მაღალი სიმტკიცის სწრაფად მიღწევა და შენარჩუნება, კოროზია მედეგობა.

შავიზღვისპირეთის აგრესიული გარემოს შესაბამისი ბეტონის მისაღებად ჩატარებული კვლევების შედეგად მიღებულია:

1. ოპტიმალური შემადგენლობის მძიმე და მსუბუქ ფოროვან, ბუნებრივ შემკვსებზე დამზადებული გოგირდიანი ბეტონები, რომელთა სიმტკიცის მახასიათებლები სრულად აკმაყოფილებენ აგრესიული გარემოს მიმართ მდგრადი ბეტონებისადმი სნ და წ-ით წაყენებულ მოთხოვნებს, რომლებიც შენობების საძირკვლის ფილაში ან საგზაო მშენებლობაში, გრუნტის წყლების პირობებში ორფენიანი საფარის ქვედა ფენაში გამოიყენება.
2. როგორც მძიმე, ისე მსუბუქი გოგირდბეტონის მახასიათებლები გაჭიმვაზე ღუნვისას 1,5-ჯერ აჭარბებენ იგივე კლასის ცემენტის ბეტონების სიმტკიცის მახასიათებლებს, რაც გოგირდიანი ბეტონების მაღალ სტრუქტურულ სიმტკიცეზე მეტყველებს.
3. გოგირდბეტონის კიდევ ერთ განსაკუთრებულ თვისებას წარმოადგენს მისი გაცივებისთანავე სიმტკიცის ზღვრის მიღწევა. ამ თვისების გამო იგი წარმატებით შეგვიძლია გამოვიყენოთ მეწყერების და წყალმოვარდნების დროს ნაპირსამაგრ სამუშაოებში.
4. იმის გამო, რომ გოგირდის შემკვრელი თვისება იცვლება მისი ტემპერატურის ცვლასთან ერთად, წუნდებული გოგირდბეტონის კონსტრუქციები შეიძლება დავამტვრიოთ, გავაცხელოთ და ხელახლა დავამზადოთ კონსტრუქციები. ამით თავიდან ავიცილებთ ზედმეტ ხარჯებს და გარემოსაც დავიცავთ სამშენებლო ნაგვისაგან.
5. დამუშავებულია მაღალი სიმტკიცის, მცირე დეფორმაციული და წყალშეუღწევი პოლიმერული დანამატით დაფარული ფორიან შემკვსებზე დამზადებული კონსტრუქციული მსუბუქი ბეტონი-პოლიმერლექობეტონი, რომელსაც გააჩნია მცირე მასა, მაღალი სიმტკიცე, წყალშეუღწევადობა და

ზღვრული ჭიმვადობა, ამიტომ მისი გამოყენება მძიმე ბეტონის მსგავსად შესაძლებელია საპასუხისმგებლო ნაკეთობებსა და კონსტრუქციებში (მათ შორის წინასწარ დაძაბულშიც).

6. ექსპერიმენტით დადგინდა, რომ ადგილობრივ მსუბუქ შემვსებზე დამზადებული მსუბუქი პოლიმერლერობეტონის (მოცულობითი მასით 1200-1800 კგ/მ³) კუმშვაზე სიმტკიცემ მიაღწია 500 კგ/სმ²-ზე და მეტს. დადგინდა, რომ შესაბამის მსუბუქ ბეტონებთან შედარებით პოლიმერლერობეტონებს გააჩნიათ 2-2,5-ჯერ მეტი სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე, კუმშვაზე და ღუნვაზე, 2-ჯერ მეტი კუმშვადობა და ჭიმვადობა, გაცილებით ნაკლები ცოცვადობა და ჯდენა, ამავე დროს ერთნაირი დატვირთვების დროს პოლიმერლერობეტონის ჭიმვადობა და კუმშვადობა 2-ჯერ ნაკლებია შესაბამის მსუბუქ ბეტონებთან შედარებით.

7. პოლიმერლერობეტონის მოცულობითი მასით 1200-1800 კგ/სმ³ მნიშვნელოვანი თვისებაა მისი მაღალი ხანმედეგობა. ჩატარებული ცდებით დადგინდა, რომ პოლიმერლერობეტონი აკმაყოფილებს სახსტანდარტის მიერ წაყენებულ მოთხოვნებს წყალმედეგობაზე, წყალშთანთქმაზე, წყალშელწევადობაზე, კოროზიამედეგობაზე, აგრესიულ გარემოსთან მედეგობაზე.

8. პოლიმერლერობეტონის ნაპირგამმაგრებელი, ფერდოგამმაგრებელი კონსტრუქციები შესაბამის მძიმე კონსტრუქციებთან შედარებით გამოირჩევიან სიმსუბუქით, ხანმედეგობით, სიმტკიცითა და შავიზღვისპირეთის აგრესიული გარემოს მიმართ მედეგობით.

9. ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშებით დადგენილია გოგირდბეტონის და პოლიმერლერობეტონის კონსტრუქციების ეკონომიკური სიახლე, რომელიც მიიღება ერთის მხრივ ცემენტის, მეორეს მხრივ კი ფოლადის ეკონომიით და ხანმედეგობის მნიშვნელოვანი გაზრდის ხარჯზე.

დისერტაციის ძირითადი დებულებები მოცემულია შემდეგ შრომებში:

1. ნ.დონდოლაძე, გარემოს დაცვა საწარმოო ნარჩენებისაგან (პროგრამა და მოხსენების მასალები), ისაერთაშორისო საზაფხულო სკოლა „ეკოლოგია და გარემოს დაცვა“-2009;
2. Z.Megrelishvili, V. Loladze, M. Lordkipanidze, N. Abzhandadze, T. Jojua, N. Dondoladze, Technologic Decision of Using Sulfur Concrete in Subsurface and Deep Constructions and Structures and in Lower Layer of Road and Airport Paving, Binternational conference & Exhibition, Batumi-Spring-2010 May 7-9;
3. ზ.მეგრელიშვილი, ნინო დონდოლაძე, ნანა დონდოლაძე, ბუნებრივი რესურსების რაციონალური გამოყენების ეკონომიკური ასპექტები, შრომები კრებულში "საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია დიდაქარობა-2010" 30-31 ოქტომბერი, ხულო, ხიჭაური;
4. Л. Угулава, Н. Дондоладзе, З.Мегрелишвили, Анализ метеорологических условия прибрежных городов Черноморского побережья Грузии, Энергия №3(55);
5. Л. Угулава, Н. Дондоладзе, Т.Турманивзе, Климатические условия, влияющие на долговечность эксплуатационных свойств ограждающих конструкции здания Черноморского побережья Грузии, Энергия №3(55);
6. ნ.დონდოლაძე, თ.თურმანიძე, ბეტონის ხანგრძლივი სიმტკიცის ზღვრის შესწავლა კუმშვის დროს, ჟურნალი „ენერგია“ 1(57), თბილისი, 2011;
7. ნ.დონდოლაძე, თ.თურმანიძე, რკინა-ბეტონის მონოლითურ კონსტრუქციებში ადრეული დატვირთვების გავლენა ბეტონის მახასიათებლებზე, ჟურნალი „ენერგია“ 2(58), თბილისი, 2011;
8. В.Лоладзе, М.Лордкипанидзе, Н.Дондоладзе, Н.Табатадзе, Использование серного бетона в экстремальных ситуациях для производства бетонных работ, Строительство 3(22), 2011;
10. მ. ლორთქიფანიძე, თ. ჯოჯუა, ნ. დონდოლაძე, აგრესიული გარემოს მიმართ მდგრადი ბეტონის მიღება, ენერგია 4(64), 2012;
11. ნ.დონდოლაძე, გოგირდბეტონის სიმტკიცის, გოგირდისა და ბაზალტის მტვრის თანაფარდობაზე დამოკიდებულების ექსპერიმენტული მონაცემების შემოწმება ერთგვაროვნებაზე, შემთხვევითობაზე და დროში სტაბილურობაზე, მშენებლობა, #1, 2013;
12. ნანა დონდოლაძე, ზ. მეგრელიშვილი, ნინო დონდოლაძე, აგრესიულ გარემოში ხანგამძლე ბეტონის შემადგენელ კომპონენტებს შორის დამოკიდებულების ექსპერიმენტული მონაცემების შემოწმება ერთგვაროვნებაზე, შემთხვევითობაზე და დროში სტაბილურობაზე, ენერგია, 1(65), 2013;

ABSTRACT

Because of antropological influence the natural conditions changes. This process is known all over the world and in Adjarian region as well. Adjara differs by its humidity. Because of the pollution the sulphate medum is formed in the atmosphere (acid rains). At the same time sea evaporation also includes sulphate salt. Buildings located on the sea beach are particularly effected by these salts.

In Adjara because of such kind of sulphate medium the concrete of building constructions destroys and the reinforcement corrodes. That's why the reasearch of the concrete prepared with chemical additives (sulphate solution or sulphur solution) is quite an actual matter for keeping the concrete construction resistant. We propose active additives for the concrete soluton to protect it from agressive surrounding.

Production of the concrete which will be resistant to the agressive (sulphate) surrounding. For this purpose the following reseaches will be done:

- The collection and the prossesing of the information concerning to the main sources and the character of the pollution of the surroundings in Adjara.;
- Monitoring of the existing buildings effected by atmosphere and humid corrosion;
- Selection of the composition of sulphur concrete produced from local aggregate;
- The definition of technological properties of the placement of the goods by sulphur concrete;
- The definition of phisical and mechanical properties of the produced sulphur concrete;
- The research of deformed properties of the sulphur concrete;
- The research of the frost resistance of the sulphur concrete;
- The research of the work of sulphur concrete under short-cycle and repeated compressive load;
- The research of the joint work of the sulphur concrete and the reinforcement;
- The research of the joint work of the sulphur concrete and the standard concrete;
- The research of the work of the sulphur concrete and sulphur ferroconcrete in the agressive surrounding;
- The structural and physical and chemical analysis of the sulphur concrete.