

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ქიმიური ტექნოლოგიის და მეტალურგიის ფაკულტეტი
სილიკატების ტექნოლოგიის მიმართულება (№35)

სტუ-ს საგრანტო
პროექტი № 4

პროექტის დასახელება

საქართველოს ენერგეტიკისა და სოფლის
მეურნეობის განვითარებისთვის საჭირო კრის-
ტემენტების და თვითდაწნეხილი წყალბაუმტარი
ბეტონების მიღება და კვლევა

(დამამთავრებელი ანგარიში)

პროექტის ხელმძღვანელი
ტ.მ.დ., პროფესორი

_____ თამაზ გაბადაძე

პროექტის მენეჯერი
ტ.მ.კ., პროფესორი

_____ ირაკლი სულაძე

თბილისი, 2014

ს ა რ ჩ ე ვ ი

შესავალი	3
I ნაწილი	
1. უჯლომადი და სწრაფმაგრებადი ცემენტების გამოყენება ჰიდროტექნიკურ-სამედიორაციო-წყალმომარაგების სისტემების ნაკეთობათა მოდელის დასამზადებლად	8
1.1. „ჰაიდელბერგცემენტის“ კასპის და რუსთავის ცემენტის ქარხნებში ტექნოლოგიური სიახლეებით მიღებული ცემენტების ბაზაზე სპეცტონების შედგენილობის შერჩევა და კვლევა	9
1.2. რუსთავის სწრაფმაგრებადი ცემენტის ბაზაზე მიღებული ბეტონის თვისებები (დამზადებულია ბეტონის ღარის მოდელი)	13
1.3. სწრაფმაგრებადი ბეტონის თვისებები ქვიშის მცირე რაოდენობით შემცველობის შემთხვევებისთვის (დამზადებულია ბეტონის მილის მოდელი)	15
1.4. არმირებული რკინაბეტონის ფილის მოდელი სწრაფმაგრებადი ცემენტის და ბეტონის ბაზაზე	18
ნაწილი II	
2. გაფართოებადი პრეს-ცემენტების და პრეს-ბეტონების მიღება	20
2.1. ლითონის მძლავრი ჰერმეტიკული ახალი სახის ფორმები, რომლებიც ზღუდავენ ცემენტის და ბეტონის (ბც და ბბ) გაფართოებას ყველა (სამი) მიმართულებით	21
2.2. გაფართოებადი კომპონენტების, ცემენტების და ბეტონების მიღება და მათი თვისებები	28
2.3. პრეს-ცემენტების ბაზაზე პრეს-ღუდაბის და პრეს-ბეტონის მიღება	29
დასკვნები	32
დანართები	36

შესავალი

წარმოდგენილი სამუშაო შეეხება სტუ-ს გამოყენებითი საგრანტო ნომინაციის საპროექტო წინადადების №4 2013წ. შესრულებას თემაზე „ საქართველოს ენერგეტიკისა და სოფლის მეურნეობის განვითარებისთვის საჭირო პრეს-ცემენტების და თვითდაწნეხილი წყალგაუმტარი ბეტონების მიღება და კვლევა”.

ხელშეკრულება გაფორმებულია 6 თვით, 2013 წლის ოქტომბრიდან 2014 წლის მარტის ბოლომდე. დაფინანსება შეადგენს 10 ათას ლარს (ვითხოვდით პროგრამის სრულ შესრულებას ერთი წლით, 30 ათასი ლარის დაფინანსებით).

სამუშაო შესრულებულია 2 ეტაპად 3-3 თვით თითოეული მათგანი. რექტორატში წარდგენილია შესაბამისი 2 შუალედური ანგარიში.

პრობლემა შეეხება სოფლის მეურნეობის სამელიორაციო სისტემების და ჰიდროენერგეტიკული მშენებლობის განვითარების ხელშეწყობას.

ცნობილია, რომ ენერგეტიკა და სოფლის მეურნეობა ითვლება საქართველოს განვითარების პრიორიტეტულ მიმართულებებად.

ჰიდროენერგეტიკული მშენებლობა და მელიორაცია წარმოადგენენ აღნიშნული პრიორიტეტული მიმართულებების განხორციელების ძირითად საშუალებებს.

ჰიდროტექნიკურ მშენებლობაში დიდი მნიშვნელობა ეძლევა ახალი ჰმს-ების მშენებლობას და ენგურჰმს-ის ძირითადი სადაწნეო გვირაბის აღდგენა-რეაბილიტაციას (2014 და შემდგომ წლებში).

სამელიორაციო სისტემების აღდგენა და ახლის მშენებლობა აგრეთვე ითვლება უპირველეს ამოცანად. ეს პროცესი უკვე დაწყებულია და გაგრძელდება უახლოესი 4-5 წლის განმავლობაში და შემდგომ ეტაპზეც.

ჰიდროტექნიკურ-სამელიორაციო მონოლითურ მშენებლობაში ვრცელდება დატკეპნილი ბეტონის გამოყენება (დატკეპნა წარმოებს ვიბრო-დამტკეპნი მძიმე სპეციალური მანქანებით). წყალგაუმტარი ბეტონის ნაკეთობების წარმოება კი რთული და ძვირი პროცესია და მოითხოვს ნაკეთობების წყლის ორთქლით ხანგრძლივ დამუშავებას, რისთვისაც საჭიროა საქვაბეების აგება, სათბობის, ელენერჯის, ორთქლის დიდი რაოდენობით ხარჯი, მაღალკვალიფიციური მომსახურე პერსონალის მოზიდვა (ან აღზრდა), დასაქმება და სხვა.

სტუ-ს სილიკატების ტექნოლოგიის მიმართულებას (კათედრა №35) აქვს ურთიერთობა ენერგეტიკის და სოფლის მეურნეობის სამინისტროებთან, ენგურჰმს-

ის, აჭარის ჰმს-ების, მტკვარ-ჰმს-ის და სამელიორაციო კომპანიების ხელმძღვანელობასთან, რის შედეგადაც იკვეთება გაფართოებადი ცემენტების გამოყენების პერსპექტივები, კერძოდ:

- სამელიორაციო სისტემებში წყალგაუმტარი ღარების და არხის რკინაბეტონის ფილების დასამზადებლად, ხვრელების, ბზარების და შოვების შესავსებად (მრავალ ათეულ კილომეტრზე) და სხვა,
- ენგურ-ჰმს-ის სადაწნეო გვირაბის აღსადგენად თვითდაძაბული ბეტონის გამოყენებით,
- მტკვარ-ჰმს-ის გვირაბისთვის წყალგაუმტარი თვითდაწნეხილი ნაკეთობების დასამზადებლად.

ყველა აღნიშნულ შემთხვევაში მიზანშეწონილია გაფართოებადი პრეს-ცემენტის გამოყენება თვითდაწნეხილი წყალგაუმტარი ბეტონის მისაღებად, რაც გათვალისწინებულია აღნიშნულ სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოში.

პრობლემა შეეხება ჰიდროტექნიკურ-სამელიორაციო მშენებლობაში წყალგაუმტარი ნაკეთობების წარმოებას და მონოლითურ მშენებლობას.

არსებული სამელიორაციო სისტემების აღდგენისა და ახლის მშენებლობისთვის საჭიროა დიდი რაოდენობის რკინაბეტონის ღარების და წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის არხის ფილების დამზადება (თითოეულის სიგრძეა 6 მეტრი, ყოველ კილომეტრზე საჭიროა 167 ცალი ღარი და 501 ცალი ფილა, მათგან 334 ცალი არხის ორ გვერდზე და 167 ცალი არხის ძირზე). სავარაუდოდ, უახლოეს პერიოდში ყოველწლიურად საჭიროა რამდენიმე ათეულ კილომეტრზე ღარების და არხის ფილების აღდგენა და ახლის მშენებლობა. მათი დამზადება და მშენებლობის უზრუნველყოფა საჭირო რაოდენობის ადგილობრივი ღარებით და ფილებით გადასაჭრელ პრობლემას წარმოადგენს. მით უმეტეს, რომ ამისთვის საჭიროა საქვაბეების აგება, სათბობის, წყლის ორთქლის, ელენერჯის, დამატებითი მუშახელის და სხვა სახის ხარჯის გაწევა.

აღნიშნული მიზნით სოფლის მეურნეობის სამინისტროს წინაშე დასმული იყო საკითხი სპეცცემენტების გამოყენების შესახებ, რომელიც დადებითი შეფასებით განხილული იყო „საქართველოს გაერთიანებული სამელიორაციო სისტემების კომპანიაში“ (იხ. დანართი 1).

პრობლემის გადასაჭრელად შეთავაზებულია პრეს-ცემენტების გამოყენება წყალგაუმტარი ნაკეთობების დასამზადებლად ყოველმხრივ შეკრულ მძლავრ ლითონის ფორმებში, რომლებშიც ბეტონის სწრაფი გაფართოების გამო მიიღწევა თვითდაწნეხა, მაღალი სიმტკიცე, სიმკვრივე და წყალგაუმტარებლობა წყლის ორთქლის და საქვაბეების გამოყენების გარეშე. ეს პროცესი შეიძლება განხორციელდეს ღია პოლიგონებზეც და მათ შორის მშენებლობის კონკრეტულ ადგილზეც, რაც შეამცირებს დიდ მანძილებზე ნაკეთობათა გადაზიდვის ხარჯებს და გამოათავისუფლებს სატრანსპორტო საშუალებებს.

მსგავსი საკითხი შეეხება მტკვარ-ჰმს-ის გვირაბისთვის წყალგაუმტარი ტიუბინგების დამზადებას იქვე ადგილზე უკვე არსებულ ფორმებში (ჯერ-ჯერობით მშენებლობა შეჩერებულია).

1997 წელს ენგურჰმს-ის ძირითადი სადაწნეო გვირაბის აღსადგენად გამოყენებულია ჩვენ მიერ დამზადებული გაფართოებადი ცემენტი, რომელიც დღემდე მუშაობს კარგად.

წარმოდგენილი სამუშაოს ძირითადი მიზანია მიღებულ იქნეს ისეთი შედგენილობის გაფართოებადი ბეტონი, რომელიც ყოველმხრივ შეკრულ მძლავრ ლითონის ფორმაში გამაგრების პირველ საათებში ან ერთ დღეში მოგვცემს მაღალ სიმტკიცეს (ისე, რომ შესაძლებელი იყოს ნაკეთობის ამოღება ფორმიდან, ან ფორმის გახსნა და ნაკეთობიდან მისი მოცილება) და სიმკვრივეს, ხოლო შემდგომ დღეებში გამაგრდება უფრო მეტად და დააკმაყოფილებს ამა თუ იმ ნაკეთობისთვის საჭირო კლასის ბეტონის მოთხოვნებს.

აღნიშნული მიზნის მისაღწევად საჭიროა სათანადო დიდი გაფართოების მქონე კომპონენტის და მის ბაზაზე კი – საშუალო სიდიდის გაფართოების მქონე სპეცცემენტის მიღება (მათ შორის ღია პოლიგონზეც, რიგითი სამშენებლო ნაყიდი პორტლანდცემენტის შერევით დამზადებულ გაფართოებად კომპონენტთან).

ასეთივე შერჩევაა საჭირო ენგურჰმს-ის (ან სხვა ჰმს-ების) თვითდაწნეხილი ბეტონების მისაღებად, განსაკუთრებით კი – ადგილობრივი წვრილი და მსხვილი შემესების გამოყენების შემთხვევებისთვის (სამეგრელოს, აჭარის, სამცხე-ჯავახეთის და სხვა რეგიონების მასალათა გათვალისწინებით).

პრობლემის გადასაწყვეტად მთავარია გაფართოებადი კომპონენტის წარმოების ათვისება, რომელიც შესაძლებელია: თბილისის ელმავალმშენებელ ქარხანაში (მცირე რაოდენობით), კავთისხევის ცემენტის ქარხანაში (დიდი რაოდენობით).

არის სხვა ვარიანტებიც, რაც შეიძლება შევთავაზოთ დაინტერესებულ ინვესტორებს.

ჩატარებული სამუშაოს შედეგად დამუშავებულია და შესწავლილია:

- გაფართოებადი კომპონენტების შედგენილობა, გამოწვის რეჟიმები და სხვა ტექნოლოგიური პარამეტრები, თვისებები,
- გაფართოებადი პრეს-ცემენტების შედგენილობა, თვისებები,
- სხვადასხვა შედგენილობის და დანიშნულების გაფართოებადი თვითდაწნეხილი ბეტონების თვისებები გამოყენების სფეროების გათვალისწინებით (ნაკეთობის წარმოება, მონოლითური მშენებლობა, გრუნტის დატკეპნა-გამაგრება, შოვების და ბზარების შევსება და სხვა).
- პირველად არის მიღებული სხვადასხვა გაფართოების უნარის მქონე პრეს-ცემენტების და პრეს-ბეტონების სიმტკიცეები და სხვა მახასიათებლები სამღერძა მიმართულებით გაფართოების შემზღუდავ გარემოში მათი გამაგრების პირობებში.

საქართველოში დაბალი გაფართოების (0,1-1,0%) მქონე ცემენტი იწარმოება მცირე რაოდენობით (20-30 ტონა/წელ.). იგი არ გამოდგება პრეს-ცემენტად და მისგან თვითდაწნეხილი ბეტონის მიღება შეუძლებელია, მაგრამ გამოდგება უჯლომადი (უბზარებო) ბეტონის მისაღებად.

გაფართოებადი პრეს-ბეტონის მისაღებად საჭიროა, რომ პრეს-ცემენტის გაფართოება იყოს 5-10-ჯერ მეტი, ხოლო გაფართოებადი კომპონენტის კი – კიდევ უფრო მეტი. ასეთი სახის არც-ერთი მასალა საქართველოში (და ამიერკავკასიაში) არ იწარმოება, თუმცა იგი საჭიროა ახალი აღნიშნული პერსპექტიული მიმართულებების განვითარების მიზნით.

ჩვენ ხელთ არის ენერგეტიკის სამინისტროს მიერ გადმოცემული მასალა, რომლის მიხედვითაც ამერიკელი ახალგაზრდა სპეციალისტები რეკომენდაციას უწევენ სამინისტროს ჰიდროტექნიკურ მშენებლობაში გაფართოებადი ცემენტების გამოყენების შესახებ, რაც ჩვენ რეალურად გვაქვს გაკეთებული 1997 წელს ენგურ-ჰმს-ის ძირითადი სადაწნეო გვირაბის რეაბილიტაციისთვის, ხოლო ჩვენი შრომა ამ საკითხზე გამოქვეყნებულია ჯერ კიდევ 1971 წელს საკავშირო ჟურნალში „ჰიდროტექნიკური მშენებლობა“ (იხ. დანართი 2).

წინამდებარე სამუშაოს შესრულების შემდეგ მიღებული დადებითი შედეგები გამოყენებული იქნება ჰიდროტექნიკურ-სამელორაციო სისტემებში აღნიშნული მიზნებისთვის.

დამზადებულია 3-დერძა მიმართულებით დახურული ლითონის მძლავრი ფორმები ღარების, მიღების და სიმტკიცეზე გამოსაცდელი ნიმუშების (5X5X5 სმ) დასაყალიბებლად.

დაყალიბებულია სხვადასხვა დიამეტრის და სისქის მქონე ბეტონის მიღები და ღარები და რკინაბეტონის ფილა.

მიღებულია სწრაფმაგრებადი და მაღალი მარკის ბეტონები, რომელთა სიმტკიცე კუმშვაზე შეადგენს:

1 დღე-ღამის გამაგრების შემდეგ 150-180,

2 დღე-ღამის შემდეგ 300-500 და

28 დღე-ღამის შემდეგ 500-700 კგძ/სმ².

მიღებულია დადებითი შედეგები.

I ნაწილი

1. უჯდომადი და სწრაფმაგრებადი ცემენტების გამოყენება ჰიდროტექნიკურ-სამელიორაციო-წყალმომარაგების სისტემების ნაკეთობათა მოდელების დასამზადებლად

ცნობილია, რომ ამჟამად საქართველოს ეკონომიკის აღმავლობის სამთავრობო პრიორიტეტულ მიმართულებებად ითვლება – სოფლის მეურნეობის, ჰიდროენერგეტიკის, მშენებლობის და სხვა დარგების განვითარება.

სოფლის მეურნეობის აღმავლობისთვის აუცილებელია სამელიორაციო სისტემების განვითარება (წყალსაცავები, ღარები, მილები, სარწყავ ნაგებობათა არხების ფილები, ტორკრეტ-ბეტონი, სადრენაჟე მილები, დატბორილი და დაჭაობებული გრუნტის შეშრობა-გამაგრება-ლიკვიდაცია და სხვა). მსგავსი ნაკეთობები საჭიროა აგრეთვე, რეგიონული განვითარების სამინისტროს სამშენებლო სამუშაოებისთვისაც.

ჰიდროენერგეტიკის განვითარებისთვის აუცილებელია წყალგაუმტარი ბეტონის, გვირაბების ტიუბინგების, ღარების, მილების და სხვა ნაკეთობათა დამზადება და აგრეთვე სპეციალური ჰიდროტექნიკური ცემენტების გამოყენება (დაბალტუტემშემცველი, დაბალეგზოთერმული, სულფატმდგრადი და სხვა).

სილიკატების ტექნოლოგიის მიმართულებაზე (კათედრა №35) მუდმივად მიმდინარეობს სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები აღნიშნული (და სხვა) მნიშვნელოვანი პრობლემების თანდათანობით გადაჭრის მიზნით. მაგალითად, მიღებულია წყალგაუმტარი ზესაწრაფმაგრებადი უჯდომადი, გაფართოებადი, დამძაბავი და პრესცემენტები რეგულირებადი გაფართოების უნარით და არაფეთქებადი დამანგრეველი მასალები (ეკოლოგიური უსაფრთხოების გათვალისწინებით) მთის ქანების, ფუნდამენტების და ნაგებობათა უსაფრთხოდ დაბზარვისა და დანგრევისთვის.

ყველა აღნიშნულ სპეცმასალას გამოყენების დიდი პერსპექტივა გააჩნია მშენებლობის ტემპის დაჩქარებისა და სხვადასხვა ახალი მიმართულებების განვითარებისთვის.

1.1. „ჰაიდელბერგცემენტის“ კასპის და რუსთავის ცემენტის ქარხნებში ტექნოლოგიური სიახლეებით მიღებული ცემენტების ბაზაზე სპეცტონების შედგენილობის შერჩევა და კვლევა

უკანასკნელი პერიოდში „ჰაიდელბერგცემენტმა“ კასპის და რუსთავის ცემენტის ქარხნებში განახორციელა რამდენიმე სიახლე, რომელთა შედეგადაც გაუმჯობესდა ცემენტის ხარისხი, წინა წლებში მათ მიერვე წარმოებულ ცემენტებთან შედარებით. ეს სიახლეებია.

კასპის ცემენტის ქარხანაში (პირველად საქართველოში) ცემენტის დაფქვის წისქვილთან დაიდგა სეპარატორი, რომლის დანიშნულებაცაა დაფქული ცემენტი დაახარისხოს ფრაქციების (ზომების) მიხედვით ისე, რომ მსხვილი ფრაქცია ისე უბრუნდება წისქვილს წმინდად დაფქვის მიზნით, ხოლო წვრილი (სასურველი) ფრაქცია მიდის სილოსში რეალიზაციისთვის. ცნობილია, რომ რაც უფრო წმინდად არის დაფქული ცემენტი (გარკვეულ სიდიდემდე), მით უფრო სწრაფად მაგრდება იგი და აქვს მაღალი მარკა. სტანდარტის შესაბამისად რიგითი ცემენტების დაფქვის სიწმინდე შეადგენს 2500-3000 სმ²/გ, ხოლო სწრაფმაგრებადი და მაღალი მარკის ცემენტების კი - 3500-4500 სმ²/გ. დაფქული ცემენტების მარცვლების ზომებია, ძირითადად, 5-80 მკმ (მიკრომეტრი). სეპარატორი იძლევა საშუალებას, რომ ვარგულიროთ სასურველი ფრაქციების შემცველობა მზა ცემენტში, რაც იძლევა ცემენტის თვისებების რეგულირების საშუალებას.

სეპარატორიანი წისქვილები მუშაობენ დახურული ციკლით, მათ გარეშე კი – ღია ციკლით.

გარდა აღნიშნული დადებითი მხარეებისა სეპარატორიან წისქვილში დაფქულ ცემენტებს ახასიათებს უარყოფითი მხარეებიც, კერძოდ:

- მშენებლობაზე წყლის დასხმის შემდეგ ეს ცემენტები შედარებით სწრაფად შეიკვრებიან და გამოიწვევენ ბეტონის სველი ნარევის ნაადრევ შედედებას, რაც ზღუდავს ბეტონის გადატანას შორ მანძილებზე და მათ გატარებას „პომპას“ მილებში (მანქანური წესით ბეტონის დაყალიბების თანამედროვე მეთოდია), ამიტომ საჭირო ხდება ორგანული პლასტიფიკატორების და სუპერპლასტიფიკატორების აუცილებელი დამატება, რაც აძვირებს ბეტონს,

- წმინდად დაფქული ცემენტი პლასტიური ბეტონის მიღებისათვის მოითხოვს მეტ წყალს, რაც უარყოფითია, რადგან იზრდება ბეტონის ფორიანობა, ჩაჯდომა (შეკლება), ცოცვადობა და ბზარწარმოქმნა, ზოგჯერ კი – მცირდება სინტიცე და ყინვაგამძლეობა.

რუსთავის ცემენტის ქარხანაში ცემენტის გამაგრების დაჩქარებისა და სიმტკიცის ზრდისთვის, მიმართავენ სხვა ხერხს, კერძოდ: ცემენტის დაფქვის წისკვილში აწოდებენ უმნიშვნელო რაოდენობის ორგანულ დანამატს, რომელიც ხელს უწყობს ცემენტის დაფქვას, მოითხოვს წყლის მცირე რაოდენობას, ზრდის შეკერის და ბეტონის შედეგების ვადებს, აჩქარებს გამაგრებას და ზრდის ცემენტის მარკას (რეალურად იწარმოება 500 მარკის ცემენტი).

სეპარატორის დადგმა მოითხოვს მაღალ კაპიტალდაბანდებას (რამდენიმე მილიონი დოლარი), ელექტროენერჯის მუდმივ ხარჯს, კვალიფიციური მომსახურე პერსონალის გამოყენებას და სხვა ხარჯებს.

დაფქვის პროცესში ორგანული დანამატის გამოყენება კი მოითხოვს უმნიშვნელო კაპიტალდაბანდებას, მაგრამ მუდმივ საექსპლოატაციო ხარჯს ამ ორგანული დანამატის შექენაზე.

აღნიშნული სამრეწველო სიახლეების გათვალისწინებით ჩვენ მიერ დამზადებულია უჯდომადი და გაფართოებადი ცემენტები და ბეტონები კასპის და რუსთავის ცემენტების ბაზაზე.

მიღებული უჯდომადი ბეტონები გამოყენებულია ღარების, მიღების, ფილების და ტიუბინგების ლაბორატორიული ნიმუშების (მოდულების) დასამზადებლად, რომელთა ფორმები და ზომები ნაჩვენებია სურათებზე (იხ. დანართები). ხოლო ერთ-ერთი ბეტონის ღარის მოდელი გადაცემულია მედიორაციის კომპანიაში, სადაც მან მიიღო დადებითი შეფასება.

უჯდომადი და გაფართოებადი ცემენტების და ბეტონების მისაღებად კასპის და რუსთავის სამრეწველო ცემენტებს ემატებოდა გაფართოებადი კომპონენტი სხვადასხვა რაოდენობით (3-10% და მეტი). ეს კომპონენტი მზადდება ადგილობრივი ნედლეულის ბაზაზე მომზადებული კაზმის გამოწვით 1100-1350°C-ზე, რაც შეიძლება განხორციელდეს არსებული ცემენტის ქარხნების თავისუფალ (დაუტვირთავ) მბრუნავ

ღუმელებში (მათ შორის კავთისხევის კერძო ცემენტის ქარხნის მცირე სიმძლავრის მბრუნავ ღუმელშიც).

ცხრილში 1 მოცემულია ბეტონის შედგენილობის გავლენა მის თვისებებზე.

რუსთავის ცემენტის ქარხნიდან აღებული იყო რიგითი საქარხნო პორტლანდცემენტი (რათა მოგვეხდინა შედარება კასპის სეპარატორგავლილ ცემენტთან), ხოლო კასპის ცემენტის ქარხნიდან კი – სეპარატორიან წისქვილში მიღებული ცემენტი.

გამოყენებული იყო მდინარის ქვისა (ფრაქცია 5 მმ-ზე ნაკლები) და დამსხვრეული ღორღის (ფრაქცია 5-15 მმ).

მზადდებოდა სტანდარტული პრიზმები 40X40X160 მ, რათა სიმტკიცე გამოცდილი ყოფილიყო ღუნვაზეც და კუმშვაზეც.

ნიმუშების დაყალიბება ხდებოდა ვიბრომაგიდაზე.

სტანდარტის შესაბამისად ცემენტის ნიმუშები 1 დღე-ღამე მაგრდებოდა ჰაერზე (ნესტიან გარემოში), შემდეგ კი – წყალში, ხოლო ბეტონის ნიმუშები – ჰაერზე.

ცხრ. 1-დან ჩანს, რომ კასპის სეპარატორიან წისქვილში დაფქული ცემენტის სიმტკიცე მეტია, ვიდრე რუსთავის ცემენტის ქარხნის რიგითი სამშენებლო ცემენტის, მაგრამ კასპის ეს ცემენტიც არ გამოირჩევა დიდი სიმტკიცით.

ცხრილი 1

ბეტონის შედგენილობის გავლენა მის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებზე

№	ბეტონის შედგენილობა მასური წილი			წ/ც	სიმტკიცის ზღვარი, კგძ/სმ ² , დღე-ღამეში							
					ღუნვაზე				კუმშვაზე			
	ცემენტი	ქვიშა	ღორღი		1	2	3	28	1	2	3	28
1	1	–	–	0,25	–	–	–	–	210	425	500	930
2	1	1	1	0,37	26	64	85	>100	120	216	305	480
3	1	1	2	0,40	29	50	60	>100	110	220	285	400
4	1	1	3	0,41	17	40	45	90	102	185	252	340
5	1	–	–	0,26	–	–	–	–	310	470	530	1080

6	1	1	1	0,38	38	65	85	>100	145	280	450	525
7	1	1	2	0,42	32	60	72	>100	120	276	380	460
8	1	1	3	0,43	24	48	64	>100	105	260	330	400

შენიშვნა: №№1-4 დაყალიბებულია რუსთავის ქარხნის რიგით ცემენტზე, ხოლო №5-8 კასპის სეპარატორგაედილ ცემენტზე.

ბეტონის მშრალი ნარევი 1 წონით ნაწილ ცემენტზე შეიცავდნენ 2, 3 და 4 წონით ნაწილ ქვის და ხრეშის ნარევი, ე.ი. მშრალი ბეტონის ნარევი შეიცავდნენ 33, 25 და 20% ცემენტს (სველ ბეტონზე კი ნაკლებს), რაც მშრალი ბეტონის ნარევი შეადგენდა დაახლოებით 400 და 500 კგ-ს (1:3 და 1:4, ცემენტი:შემესები, შეფარდების დროს).

პორტლანდცემენტის ასეთი ხარჯები მიღებული იყო ლილოს რკინაბეტონის ქარხანაში, სადაც მზადდებოდა სამელიორაციო სისტემების ღარები, ცენტრიფუგირებული მილები და წყლის არხის ფილები (წინასწარ დაძაბული არმატურით).

როგორც ცხრ.1-დან ჩანს ბეტონის სიმტკიცეები 1 დღის გამაგრების შემდეგ დიდად არ განსხვავდება ერთმანეთისგან (ამ ორი ქარხნის ცემენტების თვისებებიდან გამომდინარე), მაგრამ შემდეგ დღეებში ეს განსხვავება უფრო საგრძნობია.

ცემენტის ხარჯის შემცირების შემთხვევაში (1:4) კასპის ცემენტზე დაყალიბებული ბეტონის მარკა შეადგენს 400-ს, ხოლო რუსთავის რიგით სამშენებლო ცემენტზე კი – 300-ს (აქტიურობა 340 კგ/სმ²).

კასპის სეპარატორიანი ცემენტი უმჯობესია იგივე კასპის რიგით სამშენებლო ცემენტზე (სიმტკიცის გათვალისწინებით), მაგრამ სეპარატორი არ იძლევა გამორჩეული თვისებების მქონე ცემენტების მიღების საშუალებას.

აღნიშნული შედგენილობის ბეტონების სიმტკიცეები დაახლოებით 2-2,5 –ჯერ ნაკლებია, ვიდრე ცემენტის ცომის (1:0) სიმტკიცეები. ეს მაჩვენებელი არ არის მუდმივი, რადგან ერთიდაიგივე შედგენილობის მშრალი ბეტონის ნარევი სხვადასხვა წყალ-ცემენტის ფარდობის დროს (წ/ც, B/Ц) იძლევა განსხვავებულ შედეგებს, რაც მეტია წყალი, მით ნაკლებია სიმტკიცე.

**12. რუსთავის სწრაფმაგრებადი ცემენტის ბაზაზე
მიღებული ბეტონის თვისებები
(დამზადებულია ბეტონის ღარის მოდელი)**

ცხრილში 2 მოცემულია „ჰაიდელბერგცემენტის“ რუსთავის ცემენტის ქარხნის სწრაფმაგრებადი ცემენტის დამის ბაზაზე მიღებული ბეტონის ორი შედგენილობის (1:2, 1:3, ცემენტი:შემესების ნარევი, ქვიშა+ლორღი) თვისებები. ქვიშის ფრაქცია იყო 5 მმ-მდე, ლორღის 8-22 მმ. ბეტონის ნიმუშები 2 დღე-ღამე მაგრდებოდა ჰაერზე, შემდეგ კი-წყალში. ცემენტის ნიმუშები 1 დღე-ღამე მაგრდებოდა ჰაერზე (სინესტეში), შემდეგ კი – წყალში.

ცხრილი 2

რუსთავის სწრაფმაგრებადი ცემენტის ბაზაზე მიღებული ბეტონის თვისებები

№	ბეტონის შედგენილობა მასური წილი			წ/ც	სიმტკიცის ზღვარი, კგძ/სმ ² , დღე-ღამეში							
					ღუნვაზე			კუმშვაზე				
	ცემენტი	ქვიშა	ლორღი		2	7	28	1	2	3	7	28
1	1	–	–	0,25	54	80	–	440	580	710	820	1075
2	1	1	1	0,48	47	58	72	–	290	310	485	550
3		1	2	0,45	40	51	62	–	220	280	405	510

გარდა ნიმუშებისა, რომლებიც გამოიცდებოდა ღუნვაზე და კუმშვაზე, ბეტონი (1:3) გამოყენებული იყო აგრეთვე საირიგაციო სისტემის ღარის მოდელის დასამზადებლად (სურ. 1).



სურ. 1. სწრაფმაგრებადი ცემენტის ბაზაზე მიღებული ბეტონით დამზადებული ღარის და ფილის მოდელები

როგორც ცხრ. 2-დან ჩანს ცემენტის ცომს ერთი დღე-ღამის განმავლობაში ჰაერზე (სინესტეში) გამაგრების შემთხვევაში ღუნვაზე ჰქონდა სიმტკიცე 54, ხოლო კუმშვაზე 440 კგ/სმ², ე.ი. ღუნვაზე სიმტკიცე შეადგენდა 8-ჯერ ნაკლებს, ვიდრე კუმშვაზე.

ამ ცემენტის ცომის (1:0) სიმტკიცე კუმშვაზე 2 დღეში შეადგენდა 580, ხოლო ბეტონის (1:3, ქვიშა-ღორღის ნარევით) 220 კგ/სმ², ე.ი. ბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე იყო 2,6-ჯერ ნაკლები, ვიდრე ცემენტის ცომის, ღუნვაზე კი 1,3-ჯერ ნაკლები.

ამგვარად, ბეტონის ნარევი ცემენტის ხარჯის შემცირება უფრო მეტია, ვიდრე ამ ბეტონის სიმტკიცის ვარდნა ცემენტის ცომთან შედარებით.

ბეტონის სიმტკიცე ღუნვაზე 28 დღე-ღამის შემდეგ შეადგენდა 8,2 –ჯერ ნაკლებს, ვიდრე – კუმშვაზე.

28 დღე-ღამის შემდეგ ბეტონის (1:3) სიმტკიცე კუმშვაზე (510 კგ/სმ²) იყო 2,1 ჯერ ნაკლები, ვიდრე ცემენტის ცომის (1075 კგ/სმ²).

ამგვარად, რუსთავის ცემენტის ბაზაზე შეიძლება მიღებულ იქნეს სწრაფ-მაგრებადი ბეტონი 2 დღე-ღამის განმავლობაში გამყარების შემდეგ სიმტკიცით კუმშვაზე 220 კგ/სმ², ხოლო 28 დღეში 500 მარკით (1:1,2, ცემენტი:ქვიშა:ლორღის შედგენილობის დროს).

1.3. სწრაფმაგრებადი ბეტონის თვისებები ქვიშის მცირე რაოდენობით შემცველობის შემთხვევებისთვის (დამზადებულია ბეტონის მილის მოდელი)

ადრე ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ რაც უფრო მცირეა ქვიშა მარცვლების ზომა და რაც უფრო მეტია ქვიშის რაოდენობა დულაბში, მით უფრო ნაკლებია გაფართოების სიდიდე ცემენტის ცომთან შედარებით. მსხვილი შემესები ცემენტის გაფართოების სიდიდეზე ახდენს ნაკლებ გავლენას.

აღნიშნულის გამო ბეტონში შეტანილია მცირე რაოდენობის ქვიშა (1:0,2:2 და 1:0,2:3) და ასეთი ბეტონის თვისებები მოცემულია ცხრილში 3.

გამოყენებული იყო რუსთავის ცემენტი, რომელსაც ჰქონდა მაღალი სიმტკიცე როგორც 1, ასევე 28 დღეში. შემესების ფრაქციის ზომებია 8-22 მმ, ქვიშის კი – 5 მმ-ზე ნაკლები.

ცხრილი 3

სწრაფმაგრებადი მაღალი მარკის (600, 700) ბეტონები ქვიშის მცირე შემცველობით

№	ბეტონის შედგენილობა მასური წილი			წ/ც	სიმტკიცის ზღვარი, კგ/სმ ² , დღე-ღამეში							
					ღუნვაზე			კუმშვაზე				
	ცემენტი	ქვიშა	ლორღი		2	7	28	1	2	3	7	28
1	1	–	–	0,26	–	–	–	435	505	680	800	1110
2	1	0,2	2	0,46	44	51	58	220	308	374	530	710
3	1	0,2	3	0,44	31	42	48	160	215	310	405	630

ბეტონის მშრალი ნარევი (1:0,2:3) შეიცვალა დაახლოებით 476 კგ ცემენტს მზე (სველი ნარევი კი – დაახლოებით 450 კგ/მ³), რაც გავრცელებული ხარჯია სამელიორაციო სისტემების ნაკეთობების წარმოებაში.

დაყალიბებული იყო ბეტონის მილის მოდელი ზომებით: $D_{გარეოა} - 20$, $D_{შიგა} - 10$, სიგრძე – 20 სმ. (სურ.2, 3, 4).



სურ. 2. ბეტონის მილის მოდელი



სურ.3. ბეტონის მილის მოდელები



სურ.4. აწყობილი ბეტონის მილის მოდელი

სწრაფმაგრებადი ცემენტის და ბეტონის გამოყენება იძლევა საშუალებას, რომ სწრაფად გაგათავისუფლოთ მილი ფორმიდან, რათა გაიზარდოს ფორმების ბრუნვალობა (ე.ი. გამოყენების სიხშირე), რაც მეტად მნიშვნელოვანია, რადგან იზრდება წარმოების სიმძლავრე ძვირადღირებული ლითონის სპეციალური ფორმების მცირე რაოდენობით არსებობის შემთხვევებშიც კი.

ჩვენ შემთხვევებში პლასტიური ბეტონის ნარევით და ვიბრომაგიზე დაყალიბებული მილის მოდელი გათავისუფლებული იყო ფორმიდან 4-5 საათში (შეერთქელის გარეშე), რაც ძლიერ საინტერესოა მრეწველობაში გამოყენების თვალსაზრისით.

როგორც ცხრ. 3-დან ჩანს გამოყენებული იყო ცემენტი („ჰაიდელბერგის“ რუსთავის ცემენტის ქარხნიდან) მაღალი სიმტკიცით 1-28 დღე-ღამეში, რომელიც იძლევა საშუალებას, რომ მცირე რაოდენობის ქვიშის გამოყენების შემთხვევაში მივიღოთ სწრაფმაგრებადი ბეტონი (1 დღე-ღამეში 160-220 კგძ/სმ², სიმტკიცით კუმშვაზე), მაღალი მარკით (600-700 კგძ/სმ²) 28 დღე-ღამეში.

ერთ დღე-ღამეში ცემენტის ცომის სიმტკიცე 2,7 – ჯერ მეტია ბეტონის სიმტკიცეზე, 28 დღე-ღამეში კი 1,7 –ჯერ (ბეტონი 1:3,2).

ამგვარად, ქვიშის მცირე რაოდენობით და მაგარი ღორღის შემცველობის შემთხვევაში შეიძლება მივიღოთ მაღალი მარკის (600, 700) სწრაფმაგრებადი ბეტონები (1 დღე-ღამეში 160-220 კგძ/სმ²), რაც მეტად მნიშვნელოვანია ბეტონის და რკინაბეტონის ნაკეთობების და კონსტრუქციების წარმოებისთვის.

1.4. არმირებული რკინაბეტონის ფილის მოდელი

სწრაფმაგრებადი ცემენტის და ბეტონის ბაზაზე

სამელიორაციო და ჰიდროტექნიკური სისტემების წყლის არხები და წყალსაცავები უმეტესად მოპირკეთებულია დიდი ზომის წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ფილებით. სატრანსპორტო, ჰიდროტექნიკური და მეტროპოლიტენის გვირაბები ამოგებულია ტიუბინგებით (მტკვარ-ჰესის გვირაბის ტიუბინგებისთვის დამზადებულია ფორმები). ამიტომ საინტერესოა სწრაფმაგრებადი ცემენტის და ბეტონის გამოყენება ფილების და ტიუბინგების მოდელის დასამზადებლად.

სწრაფმაგრებადი ცემენტის და ბეტონის თვისებები არმირებული ფილას
მოდელის დასამზადებლად

№	ბეტონის შედგენილობა მასური წილი			წ/ც	სიმტკიცის ზღვარი, კგძ/სმ ² , დღე-ღამეში				
					კუმშვაზე				
	ცემენტი	ქვიშა	ღორღი		1	2	3	7	28
1	1	–	–	0,45	440	680	810	840	1075
2	1	0,5	2	0,46	210	260	305	375	445

ცემენტის და ბეტონის თვისებები მოცემულია ცხრ. 4.

რკინაბეტონის ფილა (სურ.1) ზომებით 32X47 სმ, სისქით 5 სმ, არმირებული იყო 5 მმ-იანი 12 ცალი არმატურით, მათგან 6 ცალი გრძელი არმატურა ჩაწყობილი იყო სიგრძეზე, ხოლო 6 ცალი მოკლე არმატურა – სიგანეზე. ფილა პლასტიური ბეტონით დაყალიბდა ვიბრომაგიდაზე.

ცხრ. 4-დან ჩანს, რომ რუსთავის ცემენტი და მის ბაზაზე დამზადებული ბეტონი მაგრდება სწრაფად და აქვთ მაღალი სიმტკიცე. განსაკუთრებული აღნიშვნის ღირსია, რომ 1, 2 და 3 დღის გამაგრების შემდეგ ბეტონის სიმტკიცე შეადგენს 210, 260 და 305 კგძ/სმ².

ასეთი სწრაფმაგრებადი და მაღალი მარკის ბეტონების გამოყენება იძლევა საშუალებას, რომ დავაჩქაროთ მშენებლობის ტემპი, ხელი შევეწყოთ საქართველოს სამთავრობო პრიორიტეტული მიმართულებების სწრაფ შესრულებას, ეკონომიკის აღმავლობას და მოსახლეობის დასაქმებას.

ამგეარად, უჯდომადი ცემენტების გამოყენებას დიდი პერსპექტივა გააჩნია უბზარებო (ან მცირეზარებიანი) წყალგაუმტარი ბეტონების მისაღებად, განსაკუთრებით, ჰიდროტექნიკურ-სამედიორაციო-წყალმომარაგების სისტემებში.

II ნაწილი

2. გაფართოებადი პრეს-ცემენტების და პრეს-ბეტონების მიღება

გაფართოებადი ბეტონის (ბბ) მისაღებად საჭიროა გამოყენებულ იქნეს მასზე ბევრად მეტად გაფართოებადი ცემენტი (ბც), ხოლო ამ უკანასკნელის მისაღებად კი – მასზე კიდევ უფრო მეტად გაფართოებადი კომპონენტი (ბპ).

მზა დაფქული გაფართოებადი კომპონენტი (ბპ) ემატება მზა საქარხნო პორტლანდცემენტს სასურველი რაოდენობით (ცემენტის ქარხანაში, ან დაფქვის საწარმოებში, ან მშენებლობაზე ღია პოლიგონებზე და სხვა) იმის მიხედვით თუ როგორი სიდიდის გაფართოების ცემენტი და ბეტონი ესაჭიროება მომხმარებელს.

ხშირ შემთხვევაში (ცვალებადი გარემო პირობების გათვალისწინებით) შესაძლებელია უმჯობესი იყოს, რომ მშენებელმა თვითონ შეარჩიოს ადგილზე (სამშენებლო ლაბორატორიაში) კონკრეტულ ნაყიდ პორტლანდ ცემენტს რამდენი დაუმატოს ბპ, რომ მიიღოს სასურველი ბც და ბბ. უდმივი და მასიური (ბევრი) გამოყენების შემთხვევებში ალბათ უმჯობესი იქნება ბც-ის დამზადება ცემენტის ქარხანაში.

წყალგაუმტარი ნაკეთობების (ღარები, მილები, გვირაბის ტიუბინგები, არხის ფილები და სხვა) დასამზადებლად ამჟამად გამოიყენება ძვირადღირებული დიდი ზომის ლითონის ფორმები, რომლებიც მათში დაყალიბებულ რკინაბეტონის ნაკეთობებთან ერთდ განიცდიან წყლის ორთქლით ხანგრძლივ დამუშავებას (5-10 საათი და მეტი), რათა ბეტონმა მიიღოს ისეთი სიმტკიცე, რომ შესაძლებელი იყოს ნაკეთობს ამოღება ფორმიდან და – ფორმის ხშირი გამოყენება – უმეტეს შემთხვევაში ამისათვის საჭიროა 1 დღე-ღამე (ე.ი. ერთ ფორმაში ერთი ნაკეთობა მიიღება ერთ დღეში, რაც ძალიან ცოტაა).

პრეს-ცემენტის და პრეს-ბეტონის გამოყენება გამიზნულია იმისთვის, რომ საქვაბეების (ე.ი. წყლის ორთქლის) გარეშე ერთ დღეში ერთ ფორმაში მივიღოთ მინიმუმ ერთი აღნიშნული ნაკეთობა, რადგან საქვაბეების მუშაობა მოითხოვს სათბობის და ელენერგიის მუდმივ დიდ ხარჯს, მომსახურე კვალიფიციური მუშაკების გამოყენებას, დიდ კაპიტალდაბანდებას და სხვა ხარჯებს, რაც აძვირებს პროდუქციას. არდა ამისა, დიდი ნაკეთობების შორ მანძილზე გადატანა ხარჯებთან არის დაკავშირებული.

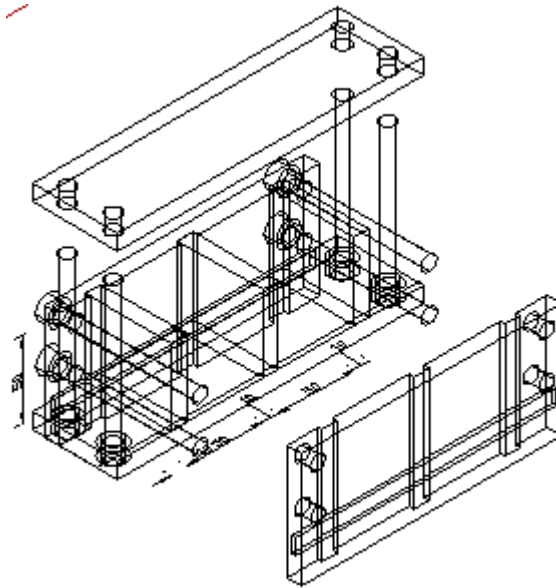
აღნიშნული ნაკეთობების დამზადება ღია პოლიგონებზე მათი გამოყენების სფეროს სიახლოვეს (საქვებების გარეშე) მოიტანს საკმარის მაღალ მოგებას.

2.1. ლითონის მძლავრი ჰერმეტიკული ახალი სახის ფორმები, რომლებიც ზღუდავენ ცემენტის და ბეტონის (ბც და ბბ) გაფართოებას ყველა (სამი) მიმართულებით

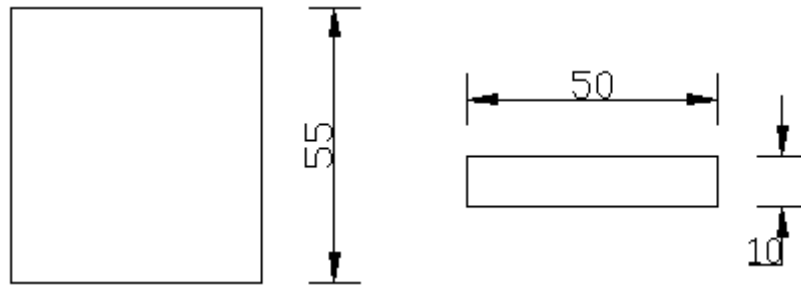
დიდი გაფართოებას მქონე ცემენტები და ბეტონები (ბც, ბბ) ყოველთვის უნდა მუშაობდნენ 2- და 3- ღერძა მიმართულებით გაფართოების შემზღუდავ გარემოში თუ საჭიროა მაღალი სიმტკიცის და წყალგამტარებელი ნაკეთობების მიღება ან ნაგებობების მშენებლობა. წინააღმდეგ შემთხვევაში თავისუფალი გაფართოების პროცესში მათში შეიძლება გაჩნდეს ბზარები, რაც გამოიწვევს დაბალი სიმტკიცის და წყალგამტარი ბეტონის მიღებას.

იმისათვის, რომ ერთ დღეში ერთ ფორმაში მივიღოთ დიდი ზომის ნაკეთობა (საქვების და წყლის ორთქლის გარეშე) საჭიროა ბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე იყოს მინიმუმ 100-200 კგ/სმ² (ნაკეთობის ზომების მიხედვით). ღუნვაზე მუშაობის გაზრდისთვის საჭიროა არმატურის (განსაკუთრებით კი წინასწარ დაძაბული არმატურის) გამოყენება.

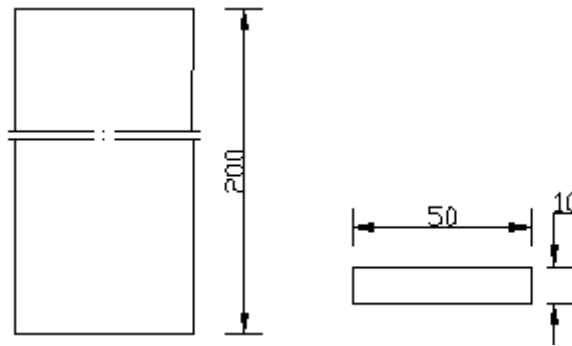
აღნიშნული ნაკეთობების მოდელების დასამზადებლად შექმნილია ლითონის მძლავრი ყოველმხრივ ჰერმეტიკულად დახურული ფორმები (ნახ. 1-16). ამ ფორმებშია დაყალიბებული ღარები, მილები და სიმტკიცეზე გამოსაცდელი ნიმუშები (5X5X5 სმ).



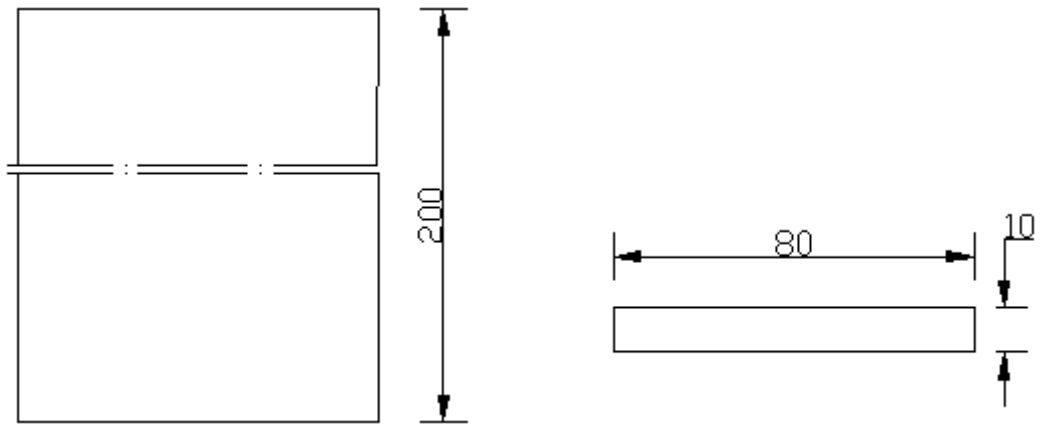
ნახ. 1. პროექტის ფორმა 50X50X50 ბრიკეტისათვის



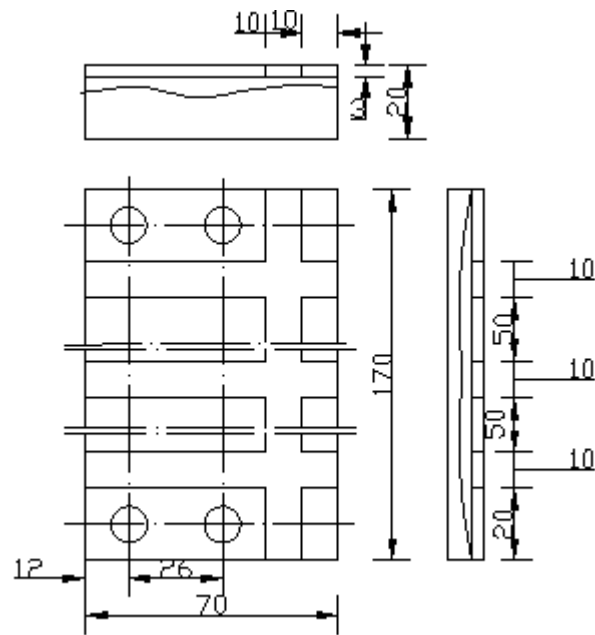
ნახ. 2. ტიხარი



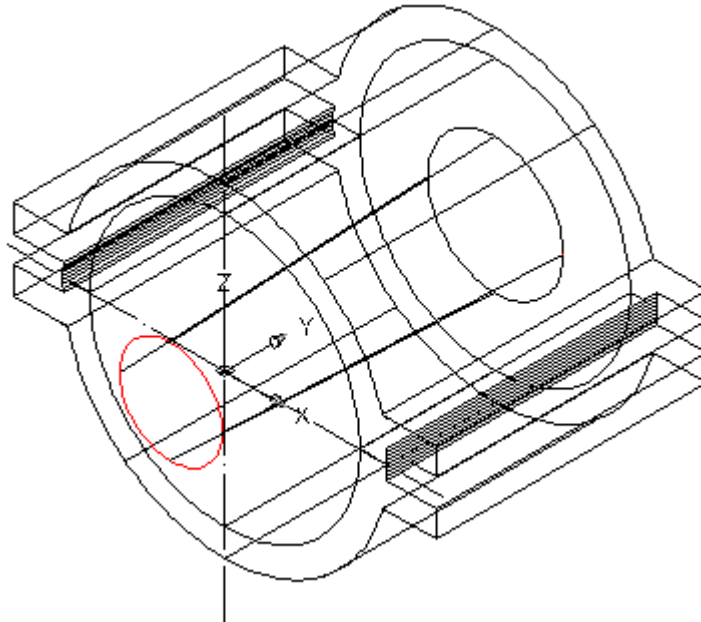
ნახ. 3. ძირი



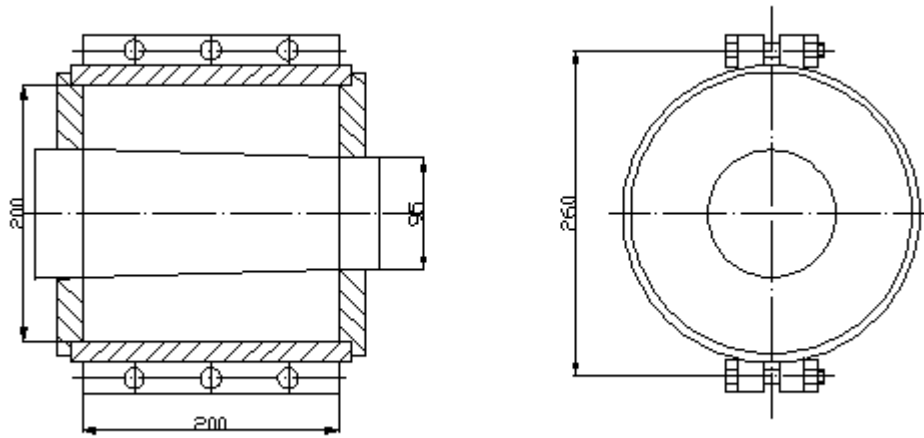
ნახ. 4. სახურავი



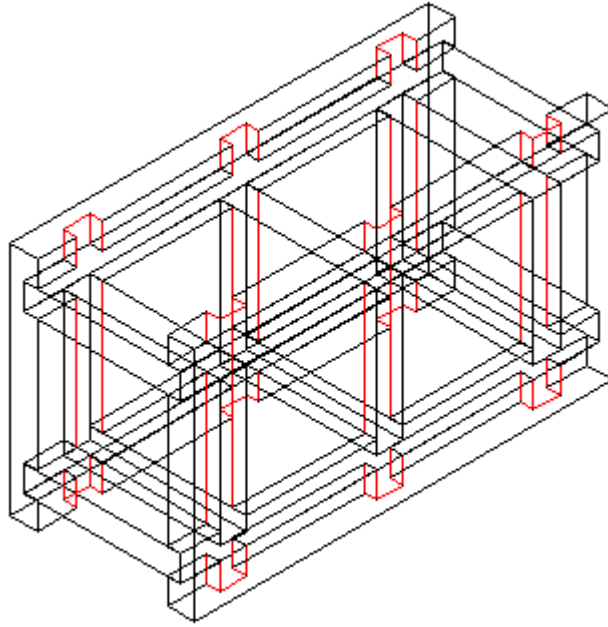
ნახ. 5. გვერდი



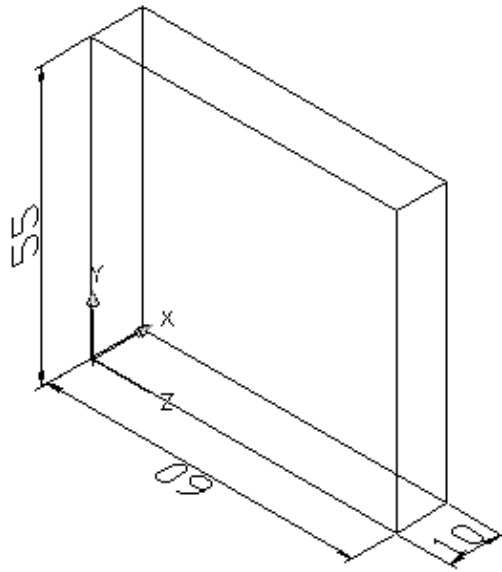
ნახ. 6. პრესფორმა მიღისათვის



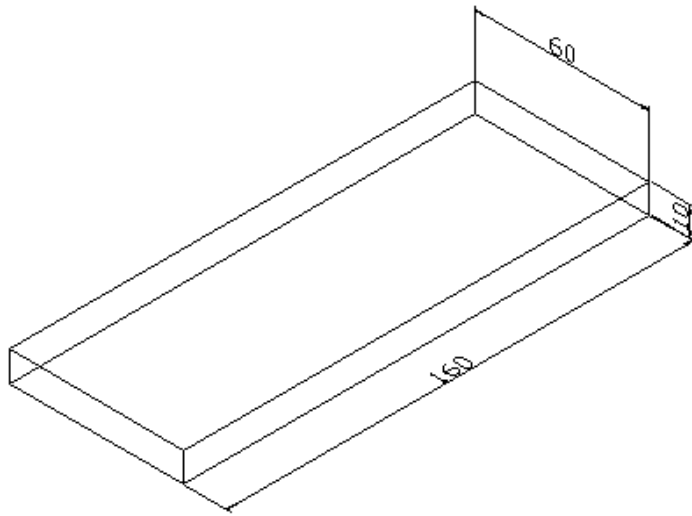
ნახ. 7. პრესფორმა მიღისათვის



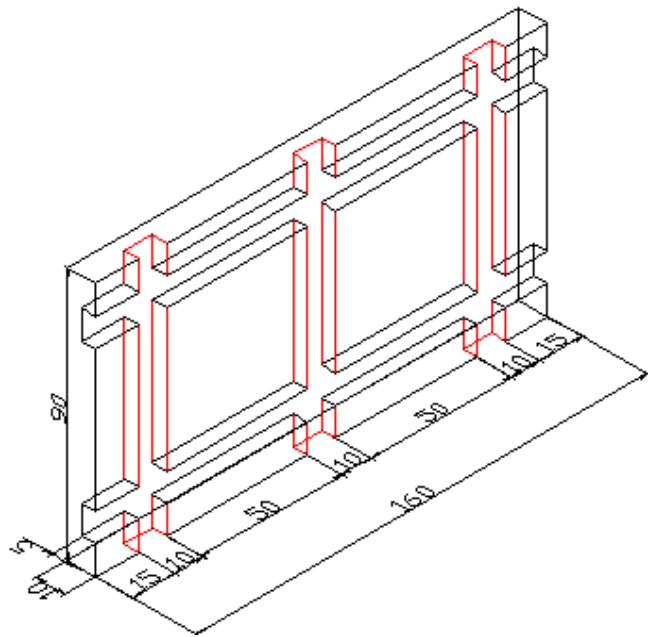
ნახ. 8. პროექტორმა 50X50X50 ბრიკებისათვის



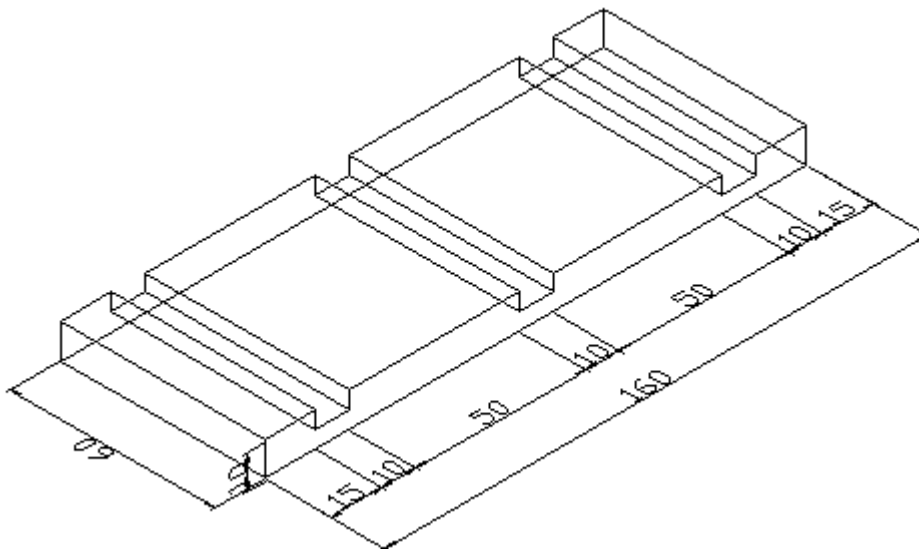
ნახ. 9. ტიხარი



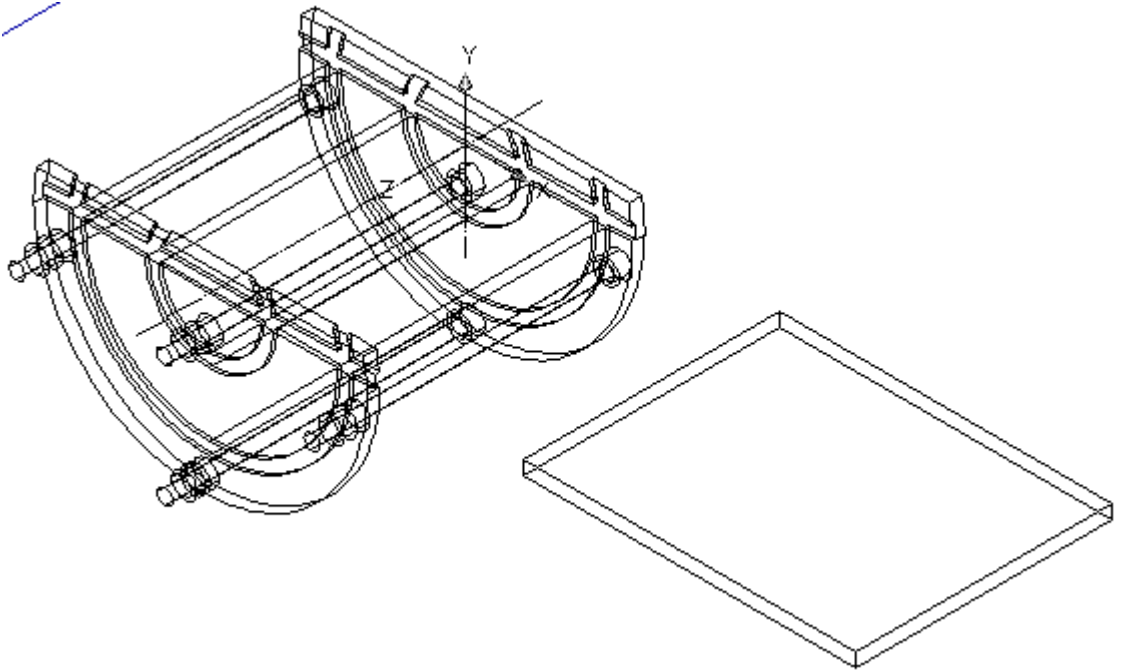
ნახ. 10. ფილა ზედა



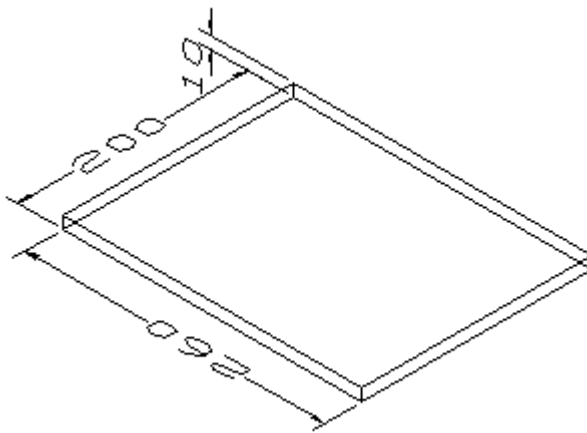
ნახ. 11. გვერდითი კედელი



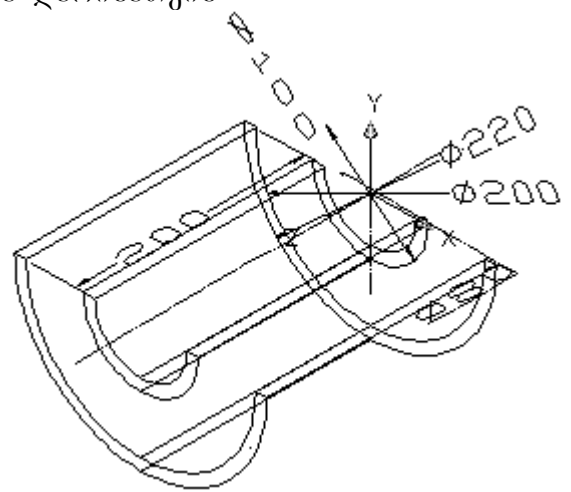
ნახ. 12. ფილა ქვედა



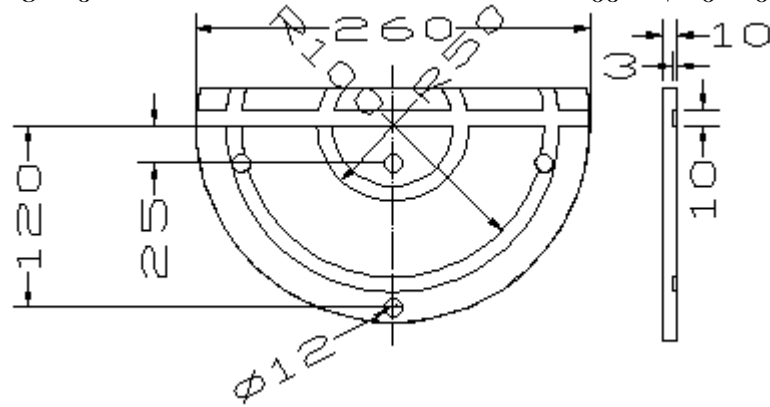
ნახ. 13. პრესფორმა ღარისათვის



ნახ. 14. სახურავი



ნახ. 15. ნახევარწრე ზედა და ქვედა



ნახ. 16. სახურავი გვერდითი

2.2. გაფართოებადი კომპონენტების, ცემენტების და ბეტონების მიღება და მათი თვისებები

როგორც უკვე იყო აღნიშნული, გაფართოებადი ბეტონის (ბბ) მისაღებად უნდა გამოვიყენოთ მასზე ბევრად უფრო მეტი გაფართოების მქონე ცემენტი (ბც) და კიდევ უფრო მეტი გაფართოების მქონე კომპონენტი (ბპ), რომელიც ემატება ან რიგით პორტლანდ ცემენტს (ცაღკე) ან ბეტონს უშუალოდ მშენებლობაზე.

გკ-ის მისაღებად გამოყენებულია ცემენტის ქარხნებში არსებული ადგილობრივი ნედლეული მომზადებული კაზმი ლაბორატორიაში (მიმართულებაზე, კათედრა №35) გამოიყენება ბრიკეტების დასამზადებლად, რომლებიც გამოიწვება სილიტის ღუმელში 1100, 1200, 1300 და 1350⁰C-ზე. გამომწვარი მასა იფქვება ბურთულებიან წისქვილში და გამოიყენება რიგით სამშენებლო პორტლანდ-ცემენტზე დანამატად უჯდომადი და გაფართოებადი პრეს-ცემენტების და პრეს-ბეტონების მისაღებად. შესწავლილია მრავალი ბპ-ის თვისებები ქვევით მოცემულია ერთ-ერთი მათგანის თვისებები, რომელიც გამომწვარია 1350⁰C-ზე კერძოდ: ჰაერზე გაფართოება შეადგენს 1 დღე-ღამეში 33, 2 დღ.-45, 3 დღ.-53, 7 დღ.-80%-ს. ეს გკ დაემატა რიგით პორტლანდცემენტს 5, 10, 20 და 30%-ის რაოდენობით.

ცხრილში 5 მოცემულია ბც-ის თვისებები, რომელიც შეიცავს მზა ნაყიდ პორტლანდცემენტს 5 და 10 % ბპ –ის დანამატით (20 და 30% დანამატი აფართოებს ცემენტს 10%-ზე მეტად, რაც არასასურველია დასახული მიზნისთვის, ამიტომ ცხრილში არ არის მოცემულია მათი თვისებები).

ცხრილი 5

გაფართოებადი პრეს-ცემენტების თვისებები 5 და 10% გაფართოებადი კომპონენტის შემცველობით

№	ბპ-ის შემცველობა ბც-ში, %	წ/ც	გაფართოება,%, დღე-ღამეში				სიმტკიცე კუმშვაზე თავისუფალი (შეუზღუდავი) გაფართოების პირობებში, კგძ/სმ ² , დღე			
			1	3	7	28	1	3	7	28
1	–	0,26	–	–	–	–	300	640	745	935
2	5	0,26	0,75	0,95	1,35	1,50	310	500	610	680
3	10	0,28	1,38	2,80	4,75	4,95	270	350	420	450

შენიშვნა: ნიმუშები 1 დღე-ღამე მაგრდებოდნენ ჰაერზე, შემდეგ კი - წყალში.

როგორც ცხრ. 5 –დან ჩანს პორტლანდცემენტის ცომი 1 დღე-ღამეში იძლევა საკმაოდ მაღალ სიმტკიცეს, რომელსაც არ ჩამორჩება გაფართოებადი ცემენტი 5% გაფართოებადი კომპონენტის (ბპ) შემცველობით, მიუხედავად საკმაო გაფართოებისა (0, 75% ერთ დღე-ღამეში).

ბც 10% ბპ-ის შემცველობით ხასიათდება დიდი გაფართოებით 1,38-4,95%, ამიტომ მისი სიმტკიცე კუმშვაზე თავისუფალი გაფართოების ნიმუშის გამოცდის შემთხვევაში ნაკლებია, ვიდრე პორტლანდცემენტის (პც), მაგრამ თუ ნიმუში დაყალიბებულია და მაგრდება 3-დერძა მიმართულებით გაფართოების შემზღუდავ ახალ მძლავრ ლითონის ფორმაში, მაშინ მისი სიმტკიცე არ ჩამორჩება პც-ის სიმტკიცეს და შეადგენს 325 და 955 კგ/სმ² (1 და 28 დღე-ღამეში). ამასთანავე იგი ავითარებს დიდ წნევას ფორმაზე, თვითონ კი ძლიერ მკვრივდება (იტკეპნება, მიიღება პრეს-ცემენტი) და ხდება წყალგაუმტარი.

აღნიშნული პრეს-ცემენტების ბაზაზე მიღებული პრეს-დუღაბების და პრეს-ბეტონების თვისებები მოცემულია შემდეგ პარაგრაფში.

2.3. პრეს-ცემენტების ბაზაზე პრეს-დუღაბის და პრეს-ბეტონის მიღება

გაფართოებადი კომპონენტების (ბპ) და ცემენტები (ბც) მიღება საჭიროა გაფართოებადი დუღ ბის და ბეტონის მისაღებად, საბოლოოდ კი წყალგაუმტარი მკვრივი ბეტონის და რკინაბეტონის ნაკეთობების დასამზადებლად და ნაგებობების მშენებლობისთვის.

მიტომ აღნიშნული გაფართოებადი კომპონენტების და ცემენტების ბაზაზე დამზადებულია მრავალი შედგენილობის დუღ ბი და ბეტონი, ზოგიერთი მათგანის თვისებები მოცემულია ცხრილში 6, სხვების კი – მის გარეშე ტექსტში.

მაბალოთი-1. თუ გვინდა, რომ მივიღოთ ბეტონი, რომლის გაფართოება იქნება 0,1 -0,25, მაშინ უნდა გამოვიყენოთ ბც №2 (ცხრ.5) და მისი შემცველობა ბეტონში უნდა იყოს 450-500 კგ/მ³. ასეთი ბეტონის სიმტკიცე 1 და 2 დღეს შეადგენს

არა ნაკლებ 100 და 200 კგ/სმ², მაგრამ მისი გამაგრება უნდა მოხდეს 2- ა 3 – დერძა მიმართულებით გაფართოების შემზღუდავ მძლავრ ლითონის ფორმაში.

მაბალოთი-2 თუ გვინდა, რომ მივიღოთ დიდი წნევის მქონე ძლიერი ბეტონი, რომლის გაფართოება იქნება 0,5 - 1,0 %, მაშინ უნდა გამოვიყენოთ ბც №3 (ცხრ.5) და მისი ხარჯი მ³ ბეტონში უნდა იყოს, ასევე 450-500 კგ. ასეთი დიდი გაფართოების მქონე ბეტონი უნდა დაყალიბდეს 3-დერძა ე.ი. ყველა მიმართულებით გაფართოების შემზღუდავ მძლავრ ლითონის ფორმაში, სადაც იგი გამაგრდება, გამკვრივდება, იქნება წყალგაუმტარი და მაღალი სიმტკიცის (100-200 კგ/სმ², 2-3 დღეში), ე.ი. ასეთი ბეტონი თვითონ დაწინებავს თავის თავს მძლავრ ჰერმეტიკულ ფორმაში, ამიტომ მას ვუწოდეთ **პრეს-ბეტონი**.

ცხრილში 6 მოცემულია სხვადასხვა შედგენილობის (1:1, 1:2, 1:3) დუღაბის გაფართოების სიდიდეები, რომელთაც დიდი მნიშვნელობა აქვთ ბეტონის შედგენილობაში ქვიშის და ცემენტის შეტანის რაოდენობის, ქვიშის მარცვლების ზომის, ცემენტის გაფართოების, წ/ც ფაქტორის გათვალისწინებით. რაც უფრო წვრილია ქვიშის მარცვლები, მით უფროს ნაკლებია დუღაბის გაფართოება (სხვა ერთნაირ პირობებში). გამოყენებული ქვიშა იყო წვრილმარცვლოვანი.

ცხრილი 6

სხვადასხვა შედგენილობის დუღაბის გაფართოება
(წვრილმარცვლოვანი ქვიშის ბაზაზე)

№	დუღაბის შედგენილობა		წ/ც	თავისუფალი გაფართოება, %, დღე-ღამეში			
	ცემენტი	ქვიშა		1	3	7	28
1	1	–	0,26	1,38	2,80	4,75	4,95
2	1	1	0,33	1,02	2,10	2,70	3,40
3	1	2	0,35	0,75	1,15	1,55	2,05
4	1	3	0,36	0,30	0,65	0,85	1,20

შენიშვნა. ნიმუშები ერთი დღე-ღამე მაგრდებოდნენ ჰაერზე, შემდეგ კი – წყალში.

როგორც ცხრილი 6-დან ჩანს გაფართოებადი ცემენტის ნორმალური სისქის ცომი (1:0) ერთ დღეში ჰაერზე ფართოვდება 4,6-ჯერ უფრო მეტად, ვიდრე დუღაბი

1:3, 28 კი – 4,1 –ჯერ მეტად, ხოლო 1:1 შედგენილობის დუღაბთან შედარებით, შესაბამისად, 1,35-ჯერ და 1,45-ჯერ მეტად. რაც მეტია გამაგრების დრო, მით ნაკლებია ფარდობითი განსხვავება გაფართოების სიდიდეებს შორის ცემენტის ცომსა და დუღაბს შორის. გაფართოების აბსოლუტურ სიდიდეებს შორის კი ეს განსხვავდება თანდათან მატულობს.

ბეტონის მსხვილი შემესებიც (ღორღი, ხრეში) ამცირებს ცემენტის გაფართოებას, ამიტომ ბეტონის გაფართოების სასურველი სიდიდე შერჩეული უნდა იყოს ექსპერიმენტული გზით კონკრეტული ქვიშის და ღორღის (ხრეშის) გამოყენების შემთხვევებისთვის.

დუღაბი 1:2-გან დაყალიბებული იყო ნიმუშები 5X5X5 სმ 3-დერძა მიმართულებით გაფართოების შემზღუდავ ლითონის მძლავრ ახალ ჰერმეტიკულ ფორმაში კუმშვაზე სიმტკიცის განსაზღვრისთვის, რამაც 2 დღეში შედაგინა 152 კგძ/სმ². ასეთი სიმტკიცის დუღაბი (და ბეტონი) შეიძლება ამოღებულ იქნეს ფორმიდან (ყალიბიდან) სამრეწველო პირობებში (საქვების და წყლის ორთქლის გამოყენების გარეშე).

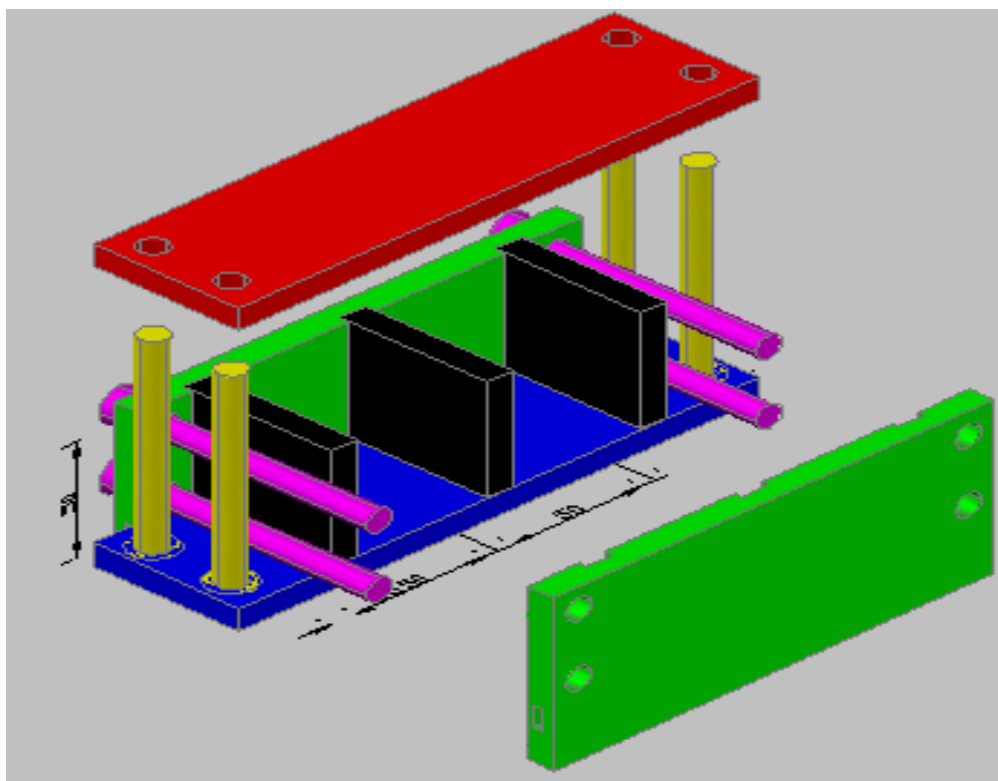
ყველა აღნიშნული დუღაბის და ბეტონის სიმტკიცე 28 დღე-ღამის გამაგრების შემდეგ შეადგენს 300-500 კგძ/სმ² და მეტსაც.

წარმოდგენილ სამუშაოში ძირითადი ყურადღება ექცევა ბეტონის სიმტკიცეს 1-2 დღის განმავლობაში, რათა სამრეწველო დიდი ზომის რეალური ნაკეთობა (ღარი, მილი, ფილა, ტიუბუნგი) ამოღებულ იქნეს ფორმიდან 1-2 დღეში (ორთქლის გამოყენების გარეშე).

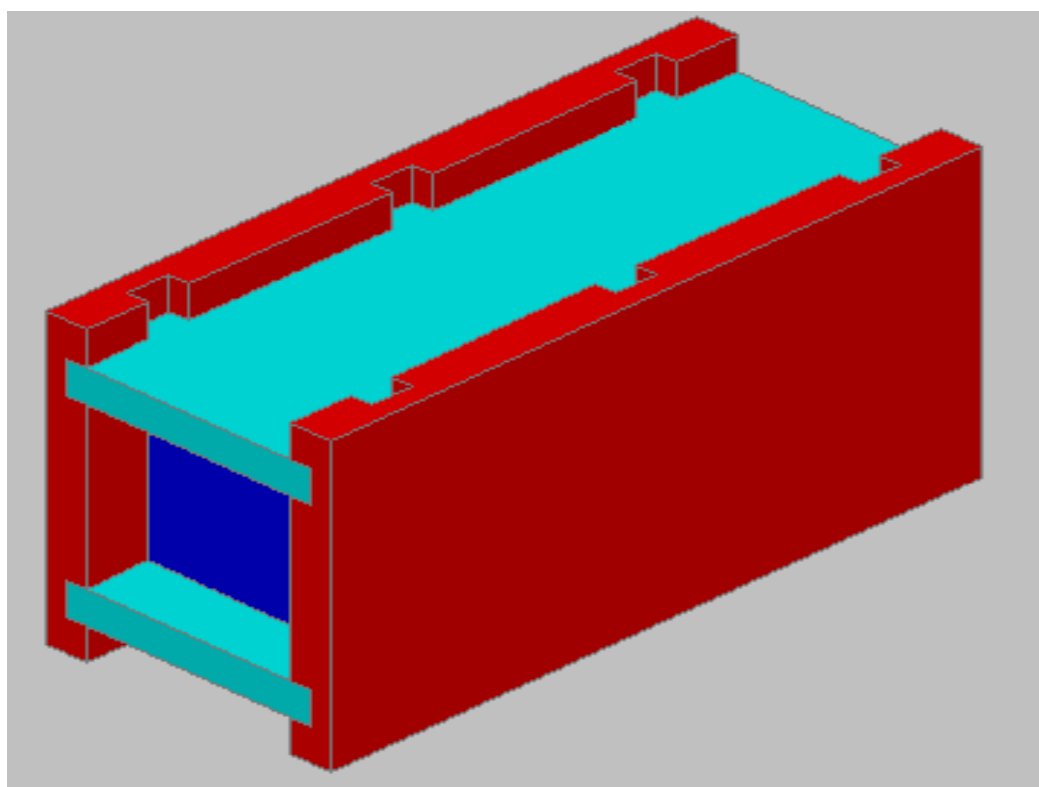
თვითდაწინხილი პრეს-ბეტონის გამოყენებას დიდი პერსპექტივა აქვს ჰიდროტექნიკურ-საირიგაციო-წყალმომარაგების სისტემებში დატკეპნილი ბეტონის მისაღებად (რისთვისაც ამჟამად გამოიყენება მძიმე ვიბრო-დამტკეპნი მექანიზმები).

დასკვნები

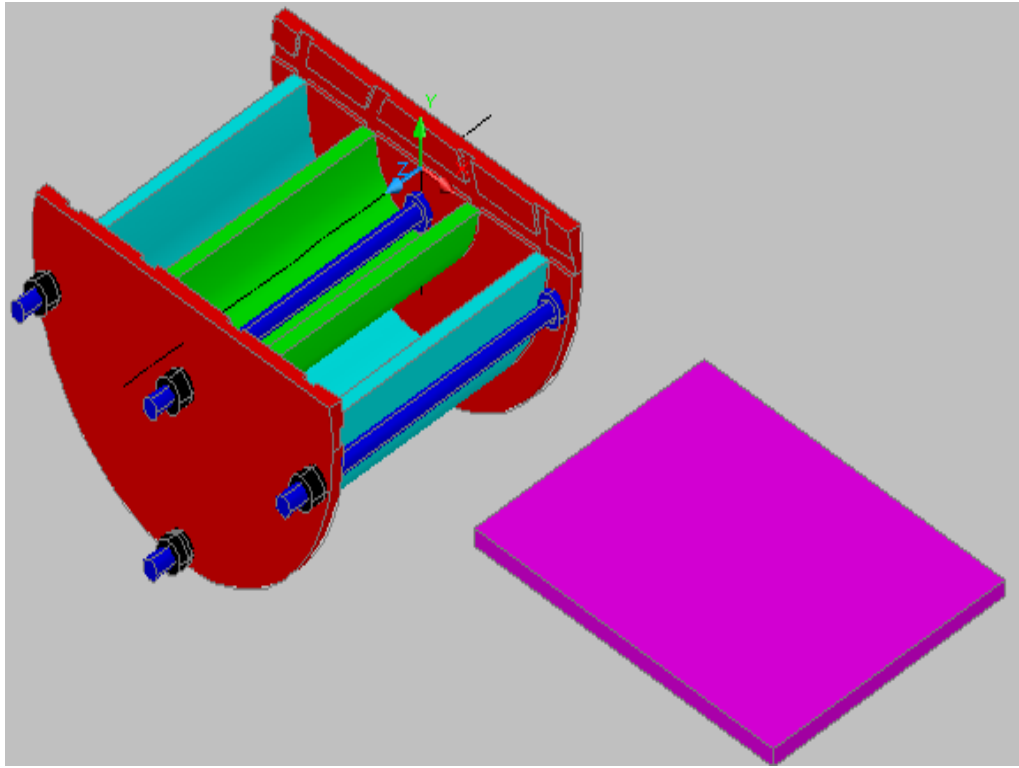
1. დამუშავებულია გაფართოებადი კომპონენტის (ბპ) და გაფართოებადი ცემენტის (ბც) მიღების ტექნოლოგია ადგილობრივი რესურსების ბაზაზე. გკ-ის კაზმის გამოწვა წარმოებს 1100-1300°C –ზე, რაც შეიძლება განხორციელდეს ცემენტის ქარხნების რეალურ მოქმედ მბრუნავ ღუმელებში. ბც შეიძლება მიღებულ იქნეს ცემენტის ქარხნის წისქვილში ბპ-ის და კლინკერის ერთობლივი დაფქვით ან ბპ-ის და პორტლანდცემენტის ცალ-ცალკე დაფქვით და შემდეგ კი იქვე მათი – შერევით. დაფქული გკ შეიძლება შეერიოს მშენებლობაზე ბეტონის შემრევში ცემენტს და შემავსებლებს.
2. მიღებულია უჯდომადი და უბზარებო სწრაფმაგრებადი და მაღალი მარკის ბეტონი კუმშვაზე სიმტკიცით: 1 დღე-ღამის გამაგრების შემდეგ 150 - 180, 2 დღეში – 200 - 300, 3 დღეში – 300 – 500 და 28 დღეში 500 – 700 კგ/სმ².
3. მიღებულია დიდი გაფართოების მქონე პრეს-ცემენტები და პრეს-ბეტონები, რომლებიც 3 – ღერძა მიმართულებით გაფართოების შემზღუდავ მძლავრ ლითონის ფორმებში (შექმნილია აღნიშნული სამუშაოებისთვის სპეციალურად აწყობილი სახით ნაჩვენებია სურ. 5, 6, 7, 8), განიცდიან თვითდატკეპნას, გამკვრივებას, იძენენ წყალგაუმტარებლობის თვისებას და მაღალ სიმტკიცეს გამაგრების პირველ დღეებში, რაც საჭროა დიდი ზომის ნაკეთობების ამოსაღებად ფორმიდან საქვაბეების და წყლის ორთქლის გამოყენების გარეშე, რომლებიც მოითხოვენ როგორც მაღალ კაპიტალდაბანდებას, ასევე საექსპლოატაციო მუდმივ ხარჯებს სათბობზე, ელენერგიაზე, კვალიფიციური მომსახურე პერსონალის ხელფასზე და სხვა. ასეთი პრეს-ბეტონების დაყალიბება შეიძლება უშუალოდ მშენებლობის ახლოს და პოლიგონებზე, რაც შეამცირებს მზა ნაკეთობების გადაზიდვებს შორ მანძილებზე და ამისათვის გაწეულ სატრანსპორტო ხარჯებს.



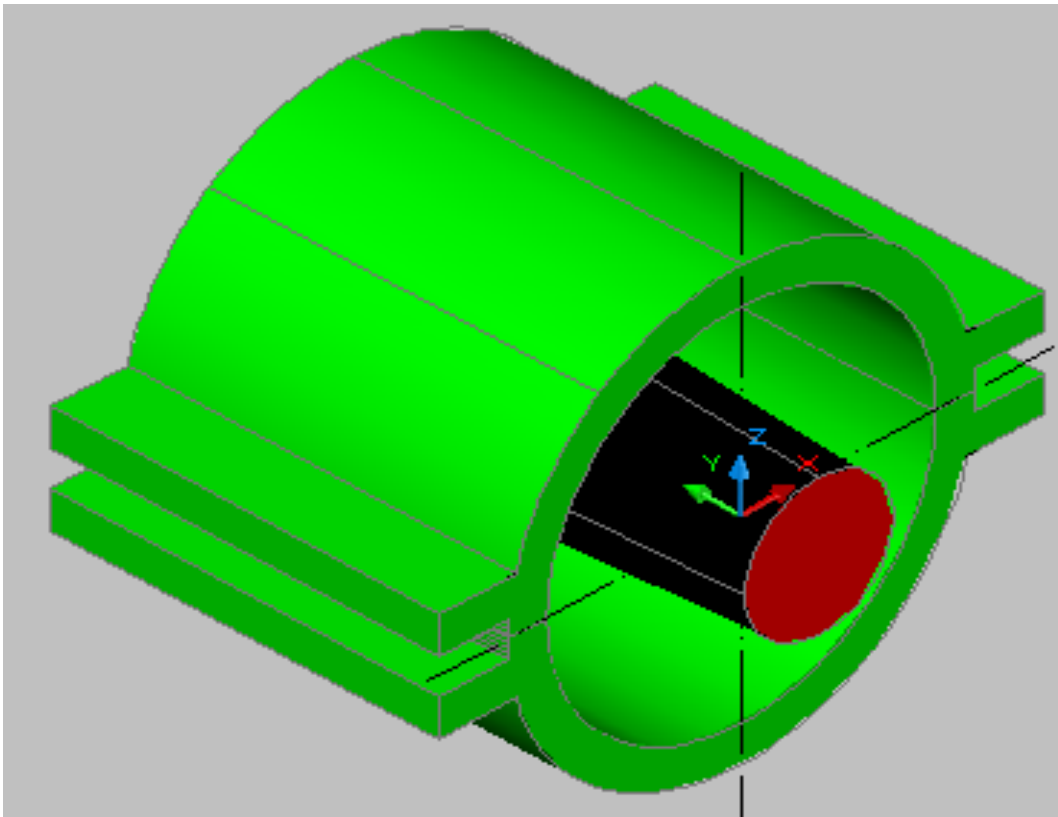
სურ. 5. პრესფორმა 50X50X50 ბრიკეტისათვის



სურ. 6. პრესფორმა 50X50X50 ბრიკეტისათვის



სურ. 7. პრესფორმა ღარისათვის



სურ. 8. პრესფორმა მილისათვის

4. შერჩეული ცემენტებით და ბეტონებით დაყალიბებულია ღარების, მიღების, ფლების და გვირაბის ტიუბინგების მოდულები, რომლებიც ფორმებიდან ამოღებულია ერთი დღე-ღამის განმავლობაში გამაგრების შემდეგ (წყლის ორთქლით დამუშავების გარეშე). მაღალი სიმტკიცის ღარის მოდული გადაცემულია შპს „საქართველოს გაერთიანებული სამელიორაციო სისტემების კომპანია“-ში, სადაც მან დაიმსახურა დადებითი შეფასება.

შპს "საქართველოს გაერთიანებული
სამელიორაციო სისტემების კომპანია"

LTD "UNITED MELIORATIVE
SYSTEM COMPANY OF GEORGIA"

0114 ქ. თბილისი, II ხეივანის ქ. № 4 ტელ: (995 32) 2 45 77 50 ფაქსი: (995 32) 2 45 77 50
N4 Meore kheivani str. Tbilisi, Georgia, 0114 Tel: (995 32) 2 45 77 50 Fax: (995 32) 2 45 77 50

№ 01/02/01-377

15 03 2013 წ

საქართველოს სოფლის მეურნეობის
მინისტრის პირველ მოადგილეს
ბატონ დავით შერვაშიძეს

ასლი: სტუ-ს სილიკატების ტექნოლოგიის
მიმართულების (კათედრა N35)
ხელმძღვანელს ბატონ თამაზ გაბადაშეს

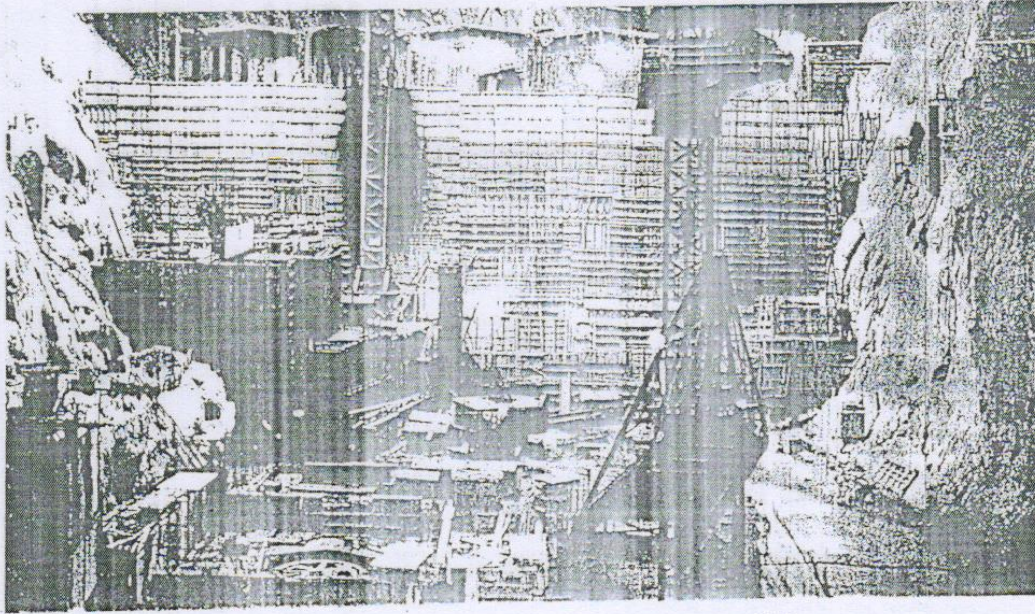
ბატონო დავით,
განვიხილეთ თქვენი 2013 წლის 11 მარტის N01-01-13/1326 წერილი, თანდართულ
სტუ-ს სილიკატების ტექნოლოგიის მიმართულების (კათედრა N35) ხელმძღვანელის
22.02.2013 N6316 წერილთან და ბიზნეს გეგმასთან ერთად.

მოგახსენებთ, რომ საქართველოს შთაერობის დადგენილებით, მიმდინარე წელს
გათვალისწინებულ სარეაბილიტაციო სამუშაოებზე საპროექტო ორგანიზაციების მიერ
გარკვეული პროექტები დასრულებულია, გავლილი აქვს სახელმწიფო ექსპერტიზები და
მიმდინარეობს სატენდერო წინადადებების მომზადების პროცედურები, ნაწილი
პროექტები დამთავრების სტადიაშია, შესაბამისად 2013 წლის გეგმა და თანხები
გაწერილია.

შემოთავაზებული წინადადება ნამდვილად მისაღებია, ამიტომ აღნიშნული
საკითხი ჩვენი კომპანიის და სტუ-ს სპეციალისტებთან ერთად უნდა იქნეს განხილული,
შესწავლილი და შემდგომ პერიოდში გათვალისწინებული.

პატივისცემით
დირექტორი

3. კირტავა ჯაჯა



სტრ. 30.

ს 36.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

4.7.

1971

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

12

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 624.974.06:027.512

Расширяющийся бетон
для строительства напорных гидротехнических туннелей

Кандидат техн. наук Т. Г. ГАБАДАЦЕ и инженер Н. Г. ПЕРГАДЗЕ

ОТ РЕДАКЦИИ

Ниже публикуется статья о расширяющемся бетоне и о лабораторных испытаниях применения его для строительства напорных гидротехнических туннелей. Как нам сообщили из Министерства промышленности строительных материалов СССР, в целях развития технологии производства такого цемента, поиска оптимальных партий и исследования их применения составлен координационный план на 1971--1973 гг.

Нами получен алуанитовый расширяющийся цемент (АИИ) на базе портландцемента и алуанитовой шихты, обожженной при 600-700°C [1, 2], а из шихты также - расширяющийся бетон, который в гидротехническом строительстве может быть применен или изготовлен при строительстве самообжатых и самоупрочняемых бетонных и железобетонных массивных изделий или монолитных сооружений, а также для затекания в стыки и швы. Расширяющиеся и самоупрочняющие растворы могут быть применены для цементации и анкеровки из бетонной оболочки, и безусадочные растворы - для гидроизоляции изделий и сооружений и др.

В данной работе нами обращено внимание на применение расширяющихся бетонов для строительства самообжатых бетонных массивных туннелей с целью увеличения их несущей способности, экономии металла, упрощения производства работ и др., что может дать большой технико-экономический эффект.

Знакомители пополнили в Русском варианте, применяемые на строительстве Нигури гэс, песок с модулем крупности 2,68 и гравий (шебень) с размерами зерен 5-20 мм; состав бетона 1:1,65:2,7.

Работа выполнялась в сотрудничестве с Тбилизгидропроектом по предложению проф. А. А. Лосеберидзе.

Предлагаемый алуанитовый расширяющийся цемент (АИИ), в зависимости от состава и режима обжига алуанита, может расширяться до 5-15% и более. Бетон с расходом 400 кг/м³ АИИ при температуре окружающей среды 5-20°C во влажных или водных условиях твердения могут расширяться до 0,5-3,5%. Расширение бетонов полностью стабилизируется через 7-14 суток твердения. Указанные величины расширения бетона могут быть получены при В/Ц=0,5-0,6 и осадке конуса от 5 см до получения полного расширения. Схватывание АИИ позволяет укладку бетонной смеси в опалубку через 30 минут после окончания перемешивания смеси с водой. При использовании ССБ в количестве 0,15% от веса цемента указанное время составляет 1-1,5 ч. При этом не ухудшаются прочность, расширение и самообжатие бетона.

Прочность бетона, расширяющегося до 0,2-2,0%, через месяц твердения без ограничения расширения составляет 100-200 кг/см². Чем больше расширение, тем меньше прочность бетона, однако со временем разность между ними уменьшается и наблюдается интенсивный рост прочности. При ограничении расширения бетона его прочность значительно больше, чем при твердении без ограничения расширения. Бетон с расширяемостью до 3,5% через 28 суток твердения без ограничения расши-

рения был покрыт сплошными трещинами и имел прочность 36 кг/см^2 , а при двухстороннем ограничении расширения — 142 кг/см^2 и трещины на нем не наблюдались.

С целью выявления возможности применения указанного расширяющегося бетона для строительства расширяющихся бетонных массивных конструкций были поставлены следующие эксперименты.

Из указанного бетона с расходом АИИ 400 кг/м^3 при $V/C=0,5$ в стальной оболочке было изготовлено кольцо. Бетонное кольцо в объеме твердеющего сердечника. Бетон покрывали каучуковыми опилками. Температура воздуха составляла $5-15^\circ\text{C}$ (в среднем 10°C). Деформации объема измерялись утром и вечером тензодатчиками электроспротивления (11 шт.) с прибором АИД-1м. Размеры оболочки: диаметр $2,41 \text{ м}$, толщина стенки $1,2 \text{ см}$, высота 20 см ; размеры бетонного кольца: внутренний диаметр $2,24 \text{ м}$, наружный $2,41 \text{ м}$, толщина 10 см , высота 20 см .

Бетон в свободном виде расширялся на $0,8\%$, что вызвало относительную деформацию объема на $20 \cdot 10^{-3}$; бетон при этом получил самоуплотнение $50,4 \text{ кг/см}^2$; удельный коэффициент упругости скальной оболочки K_0 составил 208 кг/см^2 . При неуплотнении бетона с большим расширением можно получить самоуплотнение большей величины.

Бетонное кольцо в стальной оболочке получило самоуплотнение на $20,16 \text{ кг/см}^2$ (при $K_0=208 \text{ кг/см}^2$ до появления трещин и фидарации воды) выдержало внутреннее гидростатическое давление $17,04 \text{ кг/см}^2$. Это показывает, что при большом расширении самоуплотнения бетон в оболочке или в другой упругой среде не держит гидростатическое давление большой величины.

Самоуплотнение бетонных колец больше при твердении в воде и меньше на воздухе, при влажном затвердении получаются средние результаты. Независимо от уплотнения бетона, твердения и дозой и влажности среды, со временем не уменьшается, а бетон воздушного твердения уменьшается на $10-15 \text{ кг/см}^2$ до стабилизации, время стабилизации различно и зависит от величины самоуплотнения. Самоуплотнение бетонного кольца с сердечником больше, чем без сердечника.

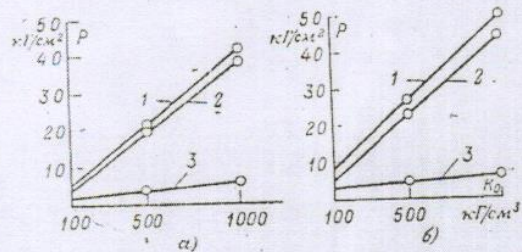
По полученным результатам относительной деформации ($20 \cdot 10^{-3}$) стальной оболочки с диаметром $2,41 \text{ м}$ и другими характеристиками бетона и кольца определена несущая способность бетонных оболочек массивных туннелей по расчетным формулам, предложенным проф. А. А. Досиберице [2].

Несущая способность оболочек массивных туннелей (кг/см^2) из бетона на напрягающем элементе с учетом допущения в бетоне растягивающих напряжений определяется следующим уравнением:

$$P = \frac{8,5 + q_0 \left[2 + \frac{2}{m(2+m)} \right]}{1 + \frac{2(a-1)}{1+am(2+m)}} \quad (1)$$

² Испытания в стальных оболочках проводились в лаборатории железобетона ТИИСТЭИ, руководимой проф. Г. Д. Шекерди с участием инженеров И. И. Ахмедови и А. С. Насадие.

³ Подобранные в расчете в предельных формулах приведены в отчете Грузинского технического института.



Несущая способность бетонных оболочек массивных туннелей. Зависимость несущей способности бетонной оболочки (P) от удельного коэффициента упругости скальной породы (K_0) породы: а — при $m=0,1$; б — при $m=0,5$. 1 и 2 — на напрягающем элементе; 3 — на портландцементе.

при недопущении в бетоне растягивающих напряжений —

$$P = \frac{q_0 \left[2 + \frac{2}{m(2+m)} \right]}{1 + \frac{2(a-1)}{1+am(2+m)}} \quad (2)$$

а из бетона на обычном портландцементе по формуле

$$P = \frac{8,5}{1 + \frac{2(a-1)}{1+am(2+m)}} \quad (3)$$

где $8,5 \text{ кг/см}^2$ — допускаемое напряжение в оболочке при коэффициенте запаса, равном 2; q_0 — величина упругого отпора скальной породы (оболочки); m — относительная толщина оболочки; a — фактор упругих характеристик оболочки и породы.

На рисунках приводятся расчетные величины несущей способности бетонных оболочек массивных туннелей на напрягающем элементе и на портландцементе.

Эти данные показывают, что несущая способность бетонных оболочек на напрягающем элементе в 2,3–7,5 раз больше, чем на портландцементе; несущая способность бетонных оболочек на напрягающем элементе без учета их растягивающих напряжений в 1,3–6,8 раза больше, чем оболочек на портландцементе с допустимым напряжением на растяжение у внутренней поверхности оболочки. Чем больше K_0 , тем больше эффект от применения напрягающего элемента. Поэтому применение расширяющегося бетона с указанной целью более целесообразно в жестких скальных породах.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. С. Куателадзе, Т. Г. Габаладзе, Н. Г. Пергадзе, Растворы и бетоны на напрягающем элементе с добавкой обожженного алунита, «Бетон и железобетон», 1970, № 5.
2. К. С. Куателадзе, Т. Г. Габаладзе, Н. Г. Пергадзе, Напрягающие элементы, содержащие алунит, обожженный при 700°C , «Цемент», 1970, № 6.

