

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნინო ნაკვეთაური

„კარკასულ-ბმულ სისტემაში არმატურის წინასწარდაძაბვის
ცვლილება, ბეტონის ცოცვალობის დეფორმაციების გავლენით“

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2017 წ.

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში,
სამშენებლო ფაკულტეტზე,

ა. სოხაძის სახელობის სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის
დეპარტამენტში.

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი ლია ბალანჩივაძე

რეცენზენტები: ასოც. პროფესორი მაია ჭანტურია

ტ.მ.კ. ნელი ერემაძე

დაცვა შედგება 2017 წლის ----- საათზე,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის
სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 508
მისამართი: თბილისი 0175, კოსტავას 72.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - სტუ-ს ვებ-გვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს

სწავლული მდივანი:

პროფესორი დ. ტაბატაძე

ნაშრომის საერთო დახასიათება

თემის აქტუალურობა: როგორც ცნობილია, გასული საუკუნის მიწურულს, საქართველოში და სეისმურად აქტიურ რეგიონებში, წარმატებით იყო დანერგილი ეფექტური 16 სართულიანი კარკასულ-პანელოვანი საცხოვრებელი შენობები, არმატურის დაჭიმვით სამშენებლო პირობებში ე.წ. „ჟეჟელის“ სისტემა. ამგვარი სისტემით ქ. თბილისში აგებულია ათობით საცხოვრებელი სახლი. კარკასულ-პანელოვანი შენობა არმატურის დაჭიმვით სამშენებლო პირობებში წარმოადგენს უსაფრთხო საცხოვრის მილიონობით ადამიანისათვის. შენობა იგებოდა ქარხნული წესით დამზადებული ასაწყობი ელემენტებისაგან.

1990 წლის ცნობილი მოვლენების შემდეგ, როდესაც ეკონომიკა დაინგრა და განადგურდა რკინაბეტონის ნაკეთობათა დამამზადებელი ყველა ქარხანა, ბევრი კარკასული შენობა „ჟეჟელის“ ტიპის დარჩა დაუმთავრებელი. ა.სოხადის სახელობის სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტმა მიზნად დაისახა ასეთი დაუსრულებელი შენობების ექსპერიმენტული შესწავლა და საექსპლუატაციო ვარგისიანობის დადგენა ანუ ათობით შენობისათვის „სიცოცხლის „ მინიჭება. ასეთი შენობები ქ. თბილისში რამდენიმე ათეულია, მათი სართულიანობა შეწყვეტილია სხვადასხვა სართულებზე. ამდენად, შესაძლებელია მშენებლობის გაგრძელება და ათასობით ოჯახის დაკმაყოფილება საცხოვრებელი ფართით.

დისერტაციის მიზანს შეადგენს: დაუმთავრებელი კარკასულ-ბმული შენობების შესწავლა არმატურის დაჭიმვით სამშენებლო პირობებში ე.წ. „ჟეჟელის“ სისტემა, რომელიც წარმოადგენს ურიგელო ჩარჩო-კავშირებიან კონსტრუქციულ უჯრედს წინასწარდამაბული გადახურვის ელემენტებით. გადახურვის ფილას ოთხივე მხარეს იჭერს სვეტების სიბრტყეში დაჭიმული მაღალი სიმტკიცის ბაგროვანი არმატურა, რომელიც სვეტებში არსებული ხვრელებით გადის ფილებს შორის ორივე მიმართულებით.

ექსპერიმენტული კვლევის ამოცანა:

- შეწყვეტილი მშენებლობის ობიექტების შესწავლა;
- არსებული დაძაბული ბაგირების საიმედოობის გამოკვლევა;
- ძაბვების სიდიდეების დადგენა ბეტონსა და არმატურაში;
- სვეტებისა და ფილების ზიდვის უნარის, ანუ სიმტკიცის დადგენით სისტემის საიმედოობის შეფასება.
- ბეტონის ხანგრძლივი დეფორმაციების გავლენით წინასწარდაძაბული ძალების ცვლილების შესწავლა და მათი გავლენა კონსტრუქციის ზიდვის უნარზე.
- მიღებული კვლევების შედეგად წარმოდგენილი იქნება დასკვნები–რეკომენდაციები, რომლის მიხედვითაც უნდა მოხდეს ასეთი ტიპის მშენებლობის დასრულება.

მეცნიერული სიახლე: შესრულებული სამუშაოს პრაქტიკული გამოყენება მნიშვნელოვანია. ნახევრად აგებული შენობების დასრულება მნიშვნელოვან საცხოვრებელ ფართობს შექმნის ქალაქს, დაკმაყოფილდება ფართის მოლოდინში მყოფი ათასობით ადამიანი, კერძოდ, ლტოლვილები, რომლებიც გაუსაძლის პირობებში იმყოფებიან.

ნაშრომის აპრობაცია და გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:

სადისერტაციო ნაშრომის, ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ სამ სემინარზე, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 83-ე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე. სადისერტაციო ნაშრომის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო შრომა.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:

დისერტაცია შედგება შესავლის, ოთხი თავის, ძირითადი დასკვნებისა და გამოყენებული ლიტერატურისაგან. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება 112 გვერდისაგან, გამოყენებულია 30 დასახელების ლიტერატურა.

ნაშრომის შინაარსი

შესავალში წარმოდგენილია თემის აქტუალობა, მეცნიერული სიახლე და პრაქტიკული მნიშვნელობა.

პირველ თავში განხილულია ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციებში დატვირთვის ხანგრძლივი ზემოქმედებისაგან აღძვრული – ცოცვადობის დეფორმაცია და მისი გავლენის თავისებურებების შესახებ. იმ მეცნიერული კვლევების შესახებ, რომელიც დაკავშირებულია ბეტონის ცოცვადობით გამოწვეულ დეფორმაციაზე.

ამ საკითხს მიემდგნა შრომები მეცნიერების: ა. გოლიშვილი, ი. ლივშიცი, ა. ზევინი, ა. სააკიანი, ვ. სიზონოვი, დ. პატროვი, ვ. ჩერნიგოროვი, გ. კიზირია, გვინჩიძე, დ. დოლიძე, ზედგენიძე და სხვა, რომელთა კვლევების შედეგად შეიქმნა ცოცვადობის დეფორმაციის დასადგენი სხვადასხვა თეორიები.

ცოცვადობის დეფორმაცია წარმოადგენს პლასტიკური დეფორმაციის ერთ-ერთ სახეს. ის ვითარდება დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას. ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციის ზეგავლენა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია წინასწარდაძაბულ რკინაბეტონის კონსტრუქციებში, რადგან აგების, მონტაჟის და ექსპლუატაციისას ელემენტების მუშაობის სტატიკური სქემა განსხვავებულია, რაც სისტემის დაძაბულ–დეფორმირებული მდგომარეობის შეფასებისას იძლევა არასაიმედო შედეგებს.

დისერტაციის მეორე თავში განხილულია კარკასულ-პანელოვანი „ჟეჟელის“ სქემის შენობების კონსტრუქციული ИМС სისტემა არმატურის დაჭიმვით სამშენებლო პირობებში, კონსტრუქციული ელემენტების გადაწყვეტის თავისებურება და მშენებლობის პრაქტიკა.

1956 წელს სერბეთის ქ. ბელგრადში სამშენებლო მასალების კვლევით ინსტიტუტში, პროფესორ ბრანკო ჟეჟელის ხელმძღვანელობით შემუშავდა ეფექტური, კარკასულ-პანელოვანი კონსტრუქციული სისტემა არმატურის დაჭიმვით სამშენებლო პირობებში. დანერგვიდან ერთი წლის შემდეგ,

მალევე დაიწყო მშენებლობა ახალ ბელგრადში, შემდეგ იუგოსლავიის ბევრ სხვა ქალაქშიც მათ შორის უცხოეთში [14].

აღნიშნული სისტემის უცხოეთის ქვეყნებში მშენებლობისა და ექსპლუატაციის გამოცდილებამ [16,18,19] აჩვენა საიმედოობა და 7,8,9 ბალის სეისმურ რეგიონებში მაღალი სეისმომდეგობა.

გასული საუკუნის 80-იან წლების მიწურულს ყოფილ სსრკ-ში დაიწყო ასეთი ტიპის კარკასული შენობების მშენებლობა და კონსტრუქციული დახვეწა სეისმური რეგიონებისათვის [11,12.13.27].

თბილისის ზონალური სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში ТНПЗНИИЭП-ში 1982-86 წლებში ტ.მ.დ. ა.მ. კიმბერგის ხელმძღვანელობით ჩატარდა აღნიშნულ შენობებზე მთელი რიგი ექსპერიმენტული კვლევები. მიღებული შედეგების საფუძველზე შემუშავდა „დროებითი რეკომენდაცია კარკასულ-პანელოვანი შენობების დაპროექტებისათვის“ [17].

ჩატარებული ექსპერიმენტული გამოკვლევების შედეგად დადგინდა, რომ მაქსიმალური მკუმშავი ძაბვები თავს იყრიან კვანძებში და შენარჩუნებულია მათ ნგრევამდე, შემუშავდა ჩალუნვების დასადგენი კოეფიციენტები, დამუშავდა წინასწარდაჭიმული არმატურის განთავსების ფორმები, მათი გავლენა გადახურვის მუშაობაზე ვერტიკალური დატვირთვებისას. დადგინდა ეკონომიური ეფექტი არსებულ კარკასულ შენობათა შედარებით, დადასტურდა მასალის ხარჯის მხრივ საგრძნობი ეკონომია.

ახალი კონსტრუქციული სისტემა გამოირჩეოდა ძირითადი ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლების მაღალი მაჩვენებლებით. ამ სისტემის დანერგვით მცირდება ფოლადის ხარჯი 25÷40%-მდე, შრომატევადობა, ლითონის ხარჯი 20÷41,6%-ით, ბეტონის მოცულობა და მშენებლობის ღირებულება 40%-ით [24].

ახალი ეფექტური 16 სართულიანი კარკასულ-პანელოვანი სისტემა არმატურის საცხოვრებელი შენობები, პირველად სეისმურ რეგიონებში შენდებოდა კარკასულ-პანელოვანი სისტემით არმატურის დაჭიმვით

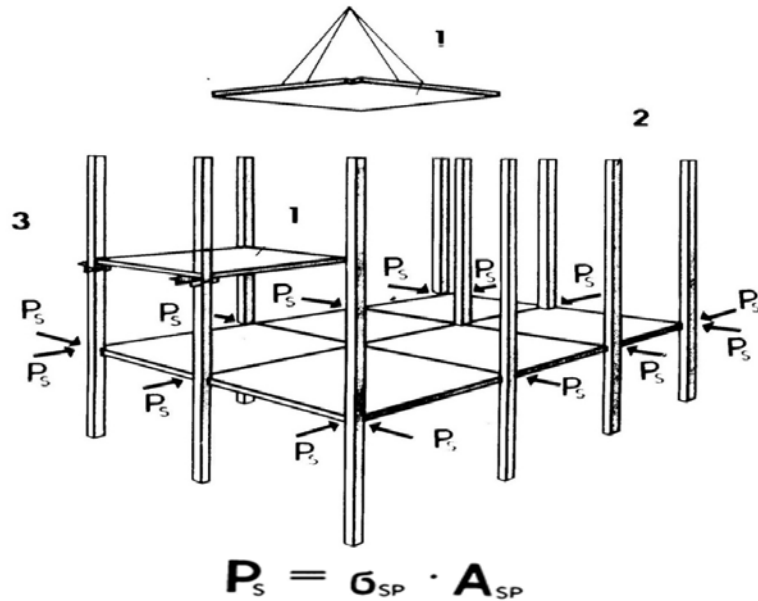
სამშენებლო პირობებში, და შედარებული იქნა უნივერსალურ კარკასულ-პანელოვან ИИС-04-თან, რომელთა ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარებითი ანალიზის შემდეგ გაირკვა სწორედ ახალი სისტემის ეფექტურობა, არმატურის ხარჯის შემცირდა 41%-ით.

რას წარმოადგენს „ჟეჟელის“ სისტემის 16 სართულიანი საცხოვრებელი სახლის ერთი უჯრედი:

კონსტრუქციული სისტემის უჯრედს შეადგენს 4 ასაწყობი სვეტი, გადახურვის ფილა, გვერდითი ელემენტები, სიხისტის დიაფრაგმები და წინასწარდაჭიმული ბაგროვანი არმატურა. სვეტი და გადახურვის ფილა ერთიანდება მთლიან დისკად ბაგროვანი არმატურების მოჭიმვით სამშენებლო პირობებში, რომელიც მოთავსებულია გადახურვის პანელებს შორის ორივე მიმართულებით და გადის სვეტებში განთავსებულ ხვრელებში. არმატურის მოჭიმვის შედეგად გადახურვის ფილებსა და სვეტებს შორის წარმოიშობა ხახუნის ძალები, რომლებიც ექსპლუატაციის პერიოდში უზრუნველყოფს სისტემის ერთობლივ მუშაობას (ნახ.1). „ჟეჟელის“ სისტემის კარკასში არ არის ჩასატანებელი დეტალები, არ არის კოჭები ფილების ტრადციული დასაყრდენი, ეკონომია კეთდება არა მარტო არმატურის, არამედ ძალზე დიდი მოცულობის ბეტონის არ გამოყენებაზე.

ყველა ჩატარებული კვლევების [2,9,16,17,18,19] ანალიზით ირკვევა რომ ძირითად სამშენებლო მასალად გამოყენებული იყო მაღალი სიმტკიცის B25, B30 კლასის ბეტონები და K-7 კლასის Ø15მმ ბაგროვანი არმატურა. არსებულ ტექნიკურ გადაწყვეტებში არ იყო დასაბუთებული ასეთი კლასის ბეტონების, ამ ზომის ელემენტებისა და ასეთი ტიპის კონსტრუქციების გამოყენებისა და გაანგარიშების მეთოდები, რაც ქმნიდა დიდ პრობლემას გადახურვის სისტემის კონსტრუირებისას. არსებული ნორმატიული მასალები არ იძლეოდა კონკრეტული სისტემის გაანგარიშების საშუალებას, რაც კიდევ უფრო აფერხებდა სისტემის დანერგვას. კონსტრუქციული სისტემისა და მისი კვანძების გაანგარიშების ერთიანი მეთოდიკის არ არსებობის გამო, რომელიც სისტემის რეალური მუშაობის აღმწერი უნდა

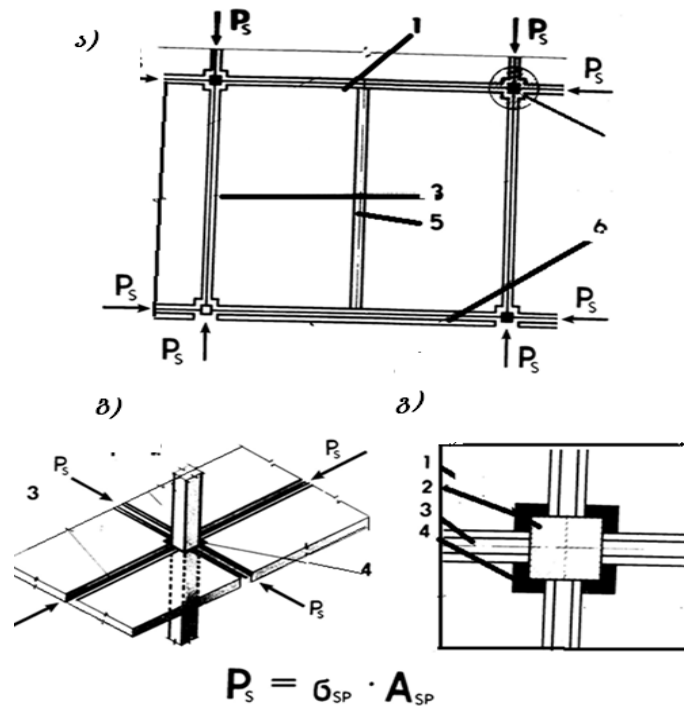
ყოფილიყო ექსპლუატაციისას, არ იძლეოდა საშენი მასალების სიმტკიცის ბოლომდე გამოყენების საშუალებას, რასაც ბოლოს მივყავდით კონსტრუქციის ზიდვის უნარის მაღალ მაჩვენებლებზე.



ნახ. 1. გადახურვის ფილა; 2- სვეტები; 3-სამონტაჟო მაგიდები;
Ps -მოჭიმვის ძალები.

კარკასულ-ბმული სისტემა სამშენებლო პირობებში წინასწარდამაბული არმატურით გაანგარიშების თვალსაზრისით ძალზე რთულია. ეს გამოწვეულია როგორც ცალკეული კვანძებისა და კონსტრუქციული გადაწყვეტებით, ასევე აგების ტექნოლოგიითაც.

წინასწარდამაბული კარკასის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა განსხვავდება ჩვეულებრივი ტრადიციული კარკასის დეფორმირებული მდგომარეობისაგან, შესაბამისად, გაანგარიშების მეთოდიც განსხვავებულია. თუ, ჩვეულებრივი კარკასის გაანგარიშებისას ცნობილია კვანძების მუშაობის საანგარიშო სქემები, აქ ასეთი სქემები არ არის დაზუსტებული. ამიტომ შემოღებულია დაშვებები, რომელიც ხშირად არ არის დასაბუთებული და ძირითადად ეყრდნობა ინჟინრულ გამოცდილებას და ინტუიციას.



ნახ.2. კარკასულ-პანელოვანი სისტემა არმატურის დაჭიმვით სამშენებლო პირობებში; ა) საერთო ხედი; ბ) სვეტისა და გადახურვის ფილების შეერთება; გ) შეერთების კვანძი: 1-გადახურვის ფილა; 2-სვეტები; 3-მონოლითური უბანი წინასწარდამაბული არმატურა; 4-შეერთების ნაკერი; 5-ცენტრალური ნაკერი გადახურვის ფილებს შორის; 6- გვერდითი ელემენტი.

ბუნებრივია, შესაძლებელია შეიქმნას ისეთი საანგარიშო სქემა, რომლის მოდელიც დეტალურად ასახავს კონსტრუქციის თავისებურებებს, მაგრამ მისი გაანგარიშება დაკავშირებულია კომპიუტერულ ტექნოლოგიებთან უახლოესი საინჟინრო პროგრამების უზრუნველყოფით, რაც თავის მხრივ ძვირადღირებული და შრომატევადია. მომავალში ალბათ ეს შესაძლებელი გახდება.

ჩატარებულ ექსპერიმენტულ გამოკვლევებში და რიცხვით მეთოდებში გამოყენებული კონსტრუქციული სისტემის საანგარიშო სქემა გამარტივებულია და დაყვანილია ბრტყელი ან სივრცითი კარკასის გაანგარიშების ჩარჩო-კავშიროვან შენობათა ტიპებზე.

დისერტაციის მესამე თავში განხილულია ცოცვადობის დეფორმაციების გამოთვლა ევროპული ნორმების მეშვეობით. განხილულია ბეტონისა და არმატურის, როგორც სამშენებლო მასალის მუშაობის თავისებურებანი და მათი გავლენა სხვადასხვა დატვირთვებისა და ზემოქმედებების ქვეშ, რომ კონსტრუქციული ელემენტებისა და სისტემების გაანგარიშებისას დამოკიდებულება ძაბვასა და დეფორმაციას შორის, შეიძლება იყოს ნებისმიერი, (წრფივი, არაწრფივი), თუ ისინი პასუხობს ბეტონის ქცევას. განსაკუთრებული შემთხვევის დროს (მათ შორის წინასწარდაძაბვისას), სპეციალური ცდების მონაცემების მიხედვით, აუცილებელია დადგინდეს ბეტონის სიმტკიცე კუმშვისას 28 დღეზე ნაკლები პერიოდისათვის.

თუ ბეტონის $f_{CK(t)}$ სიმტკიცე დადგენილია $t > 28$ დღეზე, აუცილებელია იგი გაიზარდოს კოეფიციენტ $K_1 = 0.85$ -ის გამოყენებით.

თუ აუცილებელია ბეტონის $f_{CK(t)}$ სიმტკიცის დადგენა $t \leq 3$ დროისათვის (მაგალითად: განყალიბების დროს, წინასწარდაძაბვის დროს), მაშინ ვითვალისწინებთ:

$$f_{CK(t)} = f_{cm(t)} - 8(\text{მგპ}) \text{ როცა } 3 < t < 28 \text{ დღეზე};$$

$$f_{CK(t)} = f_{ck} \geq 28 \text{ დღეზე.}$$

უფრო ზუსტი მნიშვნელობა $t \leq 3$ დღეზე, საჭიროა დადგინდეს სპეციალური ცდების შედეგად.

ბეტონის სიმტკიცე დამოკიდებულია ცემენტის ტიპზე, ტემპერატურასა და ტენიანობის პირობებზე. თუ ტემპერატურა $+20^\circ\text{C}$ და ტენიანობა შეესაბამება EN12390 პირობებს, ბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე სხვადასხვა ასაკის დროს შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით:

$$f_{cm(t)} = \beta_{cc}(t) f_{cm} \quad (3.1)$$

$$\text{როცა} \quad \beta_{cc}(t) = \exp \left\{ S \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\} \quad (3.2)$$

სადაც $f_m(t)$ არის ბეტონის სიმტკიცის საშუალო სიდიდე კუმშვაზე t დღის ასაკისას.

f_{cm} – ბეტონის სიმტკიცის საშუალო სიდიდე კუმშვაზე 28 დღის ასაკში;

$\beta_{cc}(t)$ – კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ბეტონის ასაკზე;

t – ბეტონის ასაკი დღეებში;

S– კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ცემენტის ტიპზე; S=0,2 ცემენტისათვის, რომლის სიმტკიცის კლასი CEM 24.5R, CEM 53.5N და CEM 53.5R (Clacc R); S=0.35 ცემენტისათვის სიმტკიცის კლასი CEM32.5R, CEM 42.5N (Clacc N) ; S=0.38 ცემენტის სიმტკიცის კლასი CEM 32.5N (Clacc S). ფორმულა (3.1) და (3.2)–ით სარგებლობა არ შეიძლება, თუ ბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე არ შეესაბამება 28 დღის სიმტკიცეს.

თუ სიმტკიცე გაჭიმვისას $f_{ct,sp}$ დადგენილია გახურების მეთოდით, მიახლოებული ბეტონის სიმტკიცის სიდიდე ღერძულ გაჭიმვაზე შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით:

$$f_{ct} = 0.9f_{ct,sp} \quad (3.3)$$

გაჭიმვაზე სიმტკიცის ცვლილება დროში დამოკიდებულია ტენიან არესა და ელემენტის ზომაზე:

$$f_{ctm} = (\beta_{cc}(t))^{\alpha} * f_{ctm} \quad (3.4)$$

სადაც $\alpha=1$, როცა $t \leq 28$ დღეზე, $\alpha=2/3$ როცა $t \geq 28$ დღეზე

f_{ctm} -ის მნიშვნელობა მოცემულია ასევე ცხრილ 3.1-ში.

ფორმულა (3.1) და (3.2)–ით სარგებლობა არ შეიძლება, თუ ბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე არ შეესაბამება 28 დღის სიმტკიცეს.

ბეტონის დრეკადი დეფორმაცია დამოკიდებულია მის სტრუქტურაზე (ძირითადად შემავსებელზე). სიდიდეები, რომელიც მოცემულია ნორმებში გასათვალისწინებელია საერთო შემთხვევების დროს. ამასთან, ისინი საჭიროა დაზუსტდეს, იმ შემთხვევაში, თუ კონსტრუქცია მგრძნობიარეა ზოგადი შემთხვევის სიდიდეებისგან გადახრების მიმართ.

ბეტონის დრეკადობის მოდული დამოკიდებულია შემავსებლის დრეკადობის მოდულზე. E_{cm} დრეკადობის მოდულის მიახლოებითი მნიშვნელობა (რომელიც მდებარეობს 0 და $0,4 f_{cm}$)*, კვარციტის შემავსებელზე მოცემულია ცხრილ 3.1-ში. თუ შემავსებელია ქვიშა ან დანალექი ქანები, დრეკადობის მოდული უნდა შემცირდეს 10÷30%-მდე.

ცხრილი 3.1

ბეტონის სიმტკიცისა და დეფორმაციულობის მახასიათებლები

სიმტკიცის მიხედვით ბეტონის კლასები														ანალიტიკური გამოსახულებები, განმარტებები	
f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,CUBE}$	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
f_{cm}	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (მგპ)
f_{ctm}	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,3x$ $f_{cm} = 0,30x f_{ck}^{2/3} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + (f_{cm}/10)) >$ $> C50/60$
$f_{ctk0,05}$	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk0,05} = 0,7x f_{ctm} 5\%$ -ით უზრუნველყოფა.
$f_{ctk0,95}$	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk0,95} = 1,3x f_{ctm} 95\%$ -ით უზრუნველყოფა.
E_{cm}	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm}/10)]^{-0,3}$
$\epsilon_{cl}(\%)$	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	$\epsilon_{cl}(\%) = 0,7 f_{cm}^{0,3} < 2,8$ იხ.ნახ.3.2
$\epsilon_{cul}(\%)$	3,5								3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	2,8	იხ.ნახ.3.2 $f_{ck} \geq 50$ მგპ; $\epsilon_{cul}(\%) = 2,8 + 27[(98 - f_{cm})/100]^4$
$\epsilon_{c2}(\%)$	2,0								2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	იხ.ნახ.3.3 $f_{ck} \geq 50$ მგპ; $\epsilon_{c2}(\%) = 2,0 + 0,085(f_{c3} - 50)^{0,53}$ $\epsilon_{c2}(\%) = 2,8 + 27[(98 - f_{cm})/100]^4$
$\epsilon_{cu2}(\%)$	3,5								3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	იხ.ნახ.3.3 $f_{ck} \geq 50$ მგპ; $\epsilon_{cu2}(\%) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$
n	2,0								1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	1,4	$f_{ck} \geq 50$ მგპ; $n = 1,4 + 23,4[(90 - f_{ck})/100]^4$
$\epsilon_{c3}(\%)$	1,75								1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,3	იხ.ნახ.3.4 $f_{ck} \geq 50$ მგპ; $\epsilon_{c3}(\%) = 1,75 + 0,55[(f_{ck} - 50)/40]$
$\epsilon_{cu3}(\%)$	3,5								3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	იხ.ნახ.3.4 $f_{ck} \geq 50$ მგპ; $\epsilon_{cu3}(\%) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$

თუ შემავსებელი არის ბაზალტი, ამ შემთხვევაში დრეკადობის მოდული იზრდება 20%-ით.

დრეკადობის მოდულის ცვლილება დროში შეიძლება გათვალისწინებული იყოს შემდეგნაირად:

$$E_{cm}(t) = (f_{cm}(t)/f_{cm})^{0.3} E_{cm}(3.5)$$

სადაც $E_{cm}(t)$ და $f_{cm}(t)$ არის დრეკადობის მოდული და ბეტონის წინაღობა კუმშვაზე მოცემულ t -დროში.

E_{cm} და f_{cm} – დრეკადობის მოდული და ბეტონის კუმშვაზე სიმტკიცე 28 დღის ასაკში.

$f_{cm}(t)/f_{cm}$ თანაფარდობა გამოითვლება ფორმულა 3.1–დან. პუასონის კოეფიციენტი მიიღება ტოლი 0,2–ის ბეტონისათვის, რომელსაც არ აქვს ბზარები, და ტოლია 0–ის როდესაც აქვს ბზარები.

თუ არ არის დიდი სიზუსტე საჭირო, ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტი შეიძლება მივიღოთ ტოლი $10 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$.

ბეტონის ცოცვადობა და ჯდენა დამოკიდებულია გარემოს ტენიანობაზე, ელემენტის ზომასა და ბეტონის სტრუქტურაზე. ცოცვადობაზე ასევე გავლენას ახდენს ბეტონის ასაკი, როდესაც მასზე პირველად მოსდეს დატვირთვა, მისი ხანგრძლივობა და დატვირთვის მოდების სიჩქარე. ცოცვადობის კოეფიციენტი $\varphi(t, t_0)$ დამოკიდებულია მხებ დრეკადობის მოდულზე E_c , რომელიც აიღება $1,05 E_{cm}$ –ის ტოლი. თუ არ არის საჭირო დიდი სიზუსტე, შეიძლება ვისარგებლოთ ცოცვადობის კოეფიციენტის მიხედვით, რომელიც მოცემულია ცხრილ 3.1–ში, იმ პირობით, რომ მკუმშავი დატვირთვა ბეტონში არ აღემატება $0,45 f_{ck}(t)$, პირველი დატვირთვის t_0 -ასაკის შემთხვევაში).

როცა დრო $t = \infty$ ბეტონის ცოცვადობის კოეფიციენტი $\varepsilon_{cc}(\infty; t)$ მუდმივი მკუმშავი დატვირთვისას ε_c , რომელიც t_0 ასაკის ბეტონზეა მოდებული, ტოლია:

$$\varepsilon_{cc}(\infty; t) = \varphi(\infty; t) \cdot (\varepsilon_c / E_c)(3.6)$$

თუ მკუმშავი დატვირთვა ბეტონში t_0 ასაკისას აჭარბებს $0,45 f_{ck}(t_0)$ –ს, მაშინ ცოცვადობა არის არაწრფივი. ასეთი მაღალი დატვირთვა შეიძლება იყოს გადატვირთვის შედეგი, მაგალითად, რკინაბეტონის წინასწარდატვირთვით.

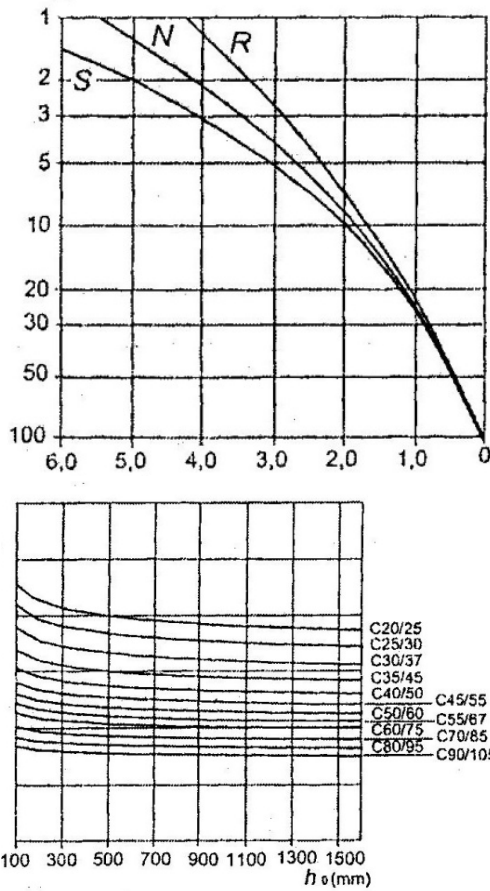
ელემენტებში. ასეთ შემთხვევაში ცოცვადობის არაწრფივობის კოეფიციენტი უნდა გამოითვალოს ფორმულით.

$$\varphi_k(\infty; t_0) = \varphi(\infty; t_0) \exp(1.5(K_0 - 0.45)) \quad (3.7)$$

ნახ.3-ზე მოყვანილი პარამეტრები შეესაბამება -40°C და $+40^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურას და $W\%=40\%$ და $W\%=100\%$ საშუალო ფარდობით ტენიანობას, აქ $\varphi(\infty; t_0)$ ცოცვადობის საბოლოო კოეფიციენტია.

$\bar{n}_c/f_{cm}(t_0)$ – ფარდობითი ძაბვა;

\bar{n}_c – მკუმშავი ძაბვა.



ნახ.3. ბეტონის ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში ცოცვადობის კოეფიციენტის გამოთვლის მეთოდი.

$f_{cm}(t_0)$ – დატვირთვის დროს საშუალო სიმტკიცე კუმშვაზე;

t_0 – ბეტონის ასაკი პირველი დატვირთვის დროს;

h_0 – პირობითი ზომა – $2A_c/u$, სადაც A_c – განივი კვეთის ფართობი;

u – კვეთის პერიმეტრი, რომელიც გასამყარებლად არის განკუთვნილი.

S, N და R– ცემენტის კლასი.

კონსტრუქციის არაწრფივი გაანგარიშებისას “ძაბვა-დეფორმაციას” შორის დამოკიდებულება ნაჩვენებია ნახ.4-ზე. ხანმოკლე დატვირთვისას ეს დამოკიდებულება აღიწერება გამოსახულებით:

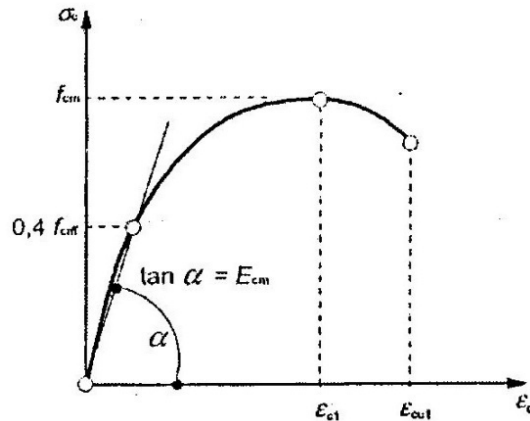
$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{K\eta - \eta^2}{1 + (K+2)\eta} \quad (3.8)$$

$$\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1} \quad (3.9)$$

სადაც ε_{c1} არის დეფორმაცია მაქსიმალური დატვირთვისას და აიღება 3.1 ცხრილის შესაბამისად.

$$K = 1.05 E_{cm} |\varepsilon| / f_{cm}, \quad (f_{cm} - \text{ასევე ცხრილი 3.1 შესაბამისად})$$

გამოსახულება (3.8) მართებულია თუ $0 < |\varepsilon_c| < |\varepsilon_{c1}|$ ნომინალური ზღვრული დეფორმაციისას.



ნახ.4 კონსტრუქციების გაანგარიშებისას სქემატური თანაფარდობა ძაბვასა და დეფორმაციას შორის

კვეთებისა და სისტემების გაანგარიშებისას შეიძლება გამოყენებული იყოს ნებისმიერი დამოკიდებულება ძაბვასა და დეფორმაციას შორის, თუ ისინი პასუხობს ბეტონის ქცევას.

მეოთხე თავში განხილულია ექსპერიმენტული და თეორიული კვლევები, რომელიც ჩატარდა რკინაბეტონის კარკასულ-ბმულ შენობებზე სამშენებლო პირობებში არმატურის დაჭიმვით ხანგრძლივი დეფორმაციების გავლენისა და სისტემის საიმედოობის შესასწავლად.

დასახული ამოცანების გადაწყვეტა შესაძლებელი გახდა ქ. თბილისის სხვადასხვა უბნებში მდებარე 10 დასრულებული და 2 დაუმთავრებელი 16 სართულიანი შენობა კარკასულ-პანელოვანი სისტემით არმატურის დაჭიმვით სამშენებლო პირობებში (ნახ.5, ნახ.6).

10 16-სართულიანი კორპუსის დათვალიერება-კვლევისას აღმოჩნდა რომ კორპუსებს არ გააჩნიათ ისეთი დეფექტები, რაც ნორმებით არ არის დასაშვები. დასრულებულ და ექსპლუატაციაში მყოფი საცხოვრებელი სახლების მზიდ ელემენტები: სვეტები, გადახურვის ფილები და მონოლითური ნაკერები, სადაც განთავსებულია წინასწარდაჭიმული არმატურა, მთლიანად ვარგისია ნორმალური ექსპლუატაციისათვის.



ნახ. 5 ქუჩელის სისტემის შენობები დასრულებული ქ.თბილისში



ნახ. 6 შმიდტის ჩაქური

ნახ. 7 ძაბვების გაზომვის პროცესი

მზიდ ელემენტებში არამრღვევი მეთოდით: ხელსაწყო შმიდტის ჩაქურით. კონსტრუქციული ელემენტების სხვადასხვა წერტილებში შემოწმდა ბეტონის სიმტკიცე, რომელიც შეადგენდა 30-40%-ით მეტს, ვიდრე პროექტშია მითითებული, რაც მოსალოდნელიც იყო და უნდა მივაწეროთ შეკუმშული ბეტონის არაერთგვაროვნებას. კორპუსებში სხვადასხვა სიდიდის წინასწარი მომკუმშავი ძალებისა და განსხვავებული ზომის გადახურვის ფილებში სიმტკიცისა და მომკუმშავი ძალების კვლევით მიღებული შედეგები მოცემულია მე-2 ცხრილში.

ცხრილი 2

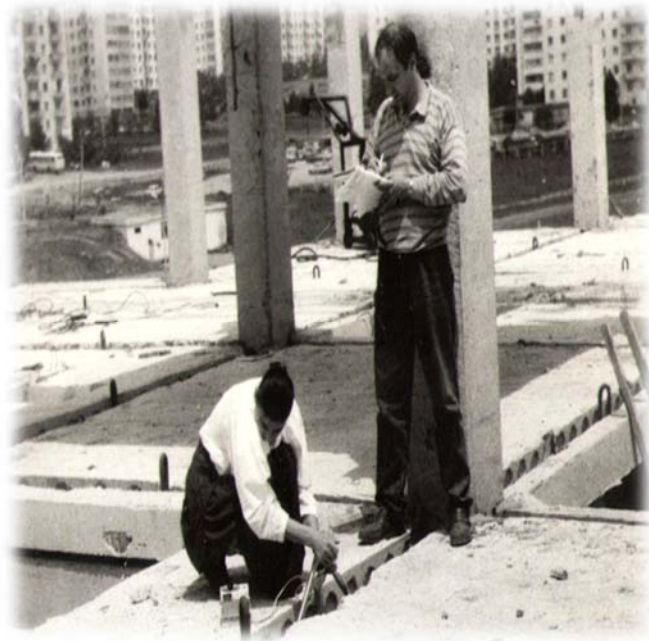
№	გადახურვის ფილა		ასაწყ. ბეტონის სიმტკიცე, კუმშვაზე, მპა	მონოლთ. ბეტონის სიმტკიცე, კუმშვაზე, მპა	წინასწარ დაჭიმული ძალები, კნ
	h, სმ	ზომები, მ			
1	h =22	4,4x5,8	39,0	17,0	240...450
2	h =22	6,0x6,0	30...35	19,0	266...528
3	h =22	6,0x6,0	35,0	32,0	250...480
4	h =22	4,2x4,2	24,5	19,0	254...493
5	h =16	4,2x4,2	31,5	19,9	143...284
6	h =16	4,2x4,2	25,1	25,5	350...380
7	h =22	6,0x6,0	30...35	19,0	266...528

ასაწყობი და მონოლითური რკინაბეტონის ელემენტების ვიზუალური დათვარიელებით კორპუსებში რაიმე დაზიანებები არ დაფიქსირებულა, მაშინ როცა ქ.თბილისში 90-იანი წლიდან დღემდე მომხდარი მიწისძვრების შედეგად მრავალი ახალი კორპუსი მე-2 და მე-3 კატეგორიის დაზიანების სიაშია და მოითხოვს აღდგენა-გაძლიერებას.

საინტერესო შედეგები აჩვენა დაუმთავრებელმა ორმა კორპუსმა (ნახ.8, ნახ.9). იქ, სადაც დღესაც ღია ცის ქვეშ დგას ერთი მე-7 და მის გვერდით მე-3 სართულამდე შეწყვეტილი კორპუსი, რომელთაც არ გააჩნიათ არცერთი საინჟინრო კომუნიკაცია, კვანძების ზოგიერთი ნაწილები დაუმონოლითებელია და გაჭიმული არმატურა დაუცველია კოროზიისაგან (ნახ.10).



ნახ. 8. დაუსრულებული ყეყელის სისტემის შენობები ქ.თბილისში (3 და 6 სართული).



ნახ. 9. მონიტორინგი დაუსრულებულ შენობებზე ქ.თბილისში

მიმდებარე სამ სართულიანი კორპუსიც იგივე მდგომარეობით ასევე დაკავებულია. შენობები ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტროს ბალანსზეა.



ნახ. 10. მზიდი ელემენტების შემოწმების პროცესი

დაუმთავრებელი კორპუსების მზიდი ელემენტები შემოწმებული იქნა პირველი სართულიდან მე-6 სართულის ჩათვლით, როგორც ასაწყობი ისე მონოლითური უბნები, შემოწმდა ასევე განაპირა და შუა კვანძები, სიხისტის დიაფრაგმები. აღებული მაჩვენებლები მოყვანილია მე-3 ცხრილში. როგორც მე-3 ცხრილიდან ჩანს, მონიტორინგის შედეგად მზიდი

ელემენტების სიმტკიცის მახასიათებლები შეესაბამება და აკმაყოფილებს პროექტით გათვალისწინებულს.

სისტემის საიმედოობის დასადგენად დაუმთავრებელი კორპუსის მონიტორინგის შედეგად ასაწყობ და მონოლითურ ელემენტებში მიღებული ბეტონის სიმტკიცის მახასიათებლების გათვალისწინებით და საინჟინრო კომპიუტერული პროგრამა LIRA-SAPR-13 მეშვეობით შეიქმნა საანგარიშო მოდელის ორი ვარიანტი და გამოიცადა მუდმივმოქმედ დატვირთვებსა და წინასწარი ძაბვების ზემოქმედებაზე, რომლის შედეგები წარმოდგენილია სქემებსა და სურათებზე.

ცხრილი 3

ბეტონის სიმტკიცე ასაწყობ დამონოლითურ ნაკერებში, მპა					
ელემენტების დასახელება	I სართული				
	სვ-1	სვ-2	სვ-3	სვ-4	სვ-5
სვეტები	42(52)	53(48)	24(30)	38(32)	42(50)
გადახურვის ფილები	ფ-1 53(34)	ფ-2 32(34)	ფ-3 35(42)	ფ-4 32(34)	ფ-5 22(32)
მონოლითური ნაკერები	ნ-1 42(32)	ნ-2 34(38)	ნ-3 34(36)	ნ-4 33(32)	ნ-5 32(34)
II სართული					
სვეტები	სვ-1 32(52)	სვ-2 43(48)	სვ-3 34(30)	სვ-4 28(32)	სვ-5 52(40)
გადახურვის ფილები	ფ-1 43(44)	ფ-2 42(44)	ფ-3 35(32)	ფ-4 32(43)	ფ-5 28(29)
მონოლითური ნაკერები	ნ-1 32(42)	ნ-2 44(38)	ნ-3 41(36)	ნ-4 43(42)	ნ-5 52(44)
VI სართული					
სვეტები	სვ-1 38(40)	სვ-2 43(42)	სვ-3 42(40)	სვ-4 35(38)	სვ-5 32(33)
გადახურვის ფილები	ფ-1 20(24)	ფ-2 28(30)	ფ-3 28(20)	ფ-4 22(24)	ფ-5 18(22)
მონოლითური ნაკერები	ნ-1 25(29)	ნ-2 22(38)	ნ-3 32(36)	ნ-4 32(32)	ნ-5 26(34)
დიაფრაგმა მე-2 სართ.	38	42			
დიაფრაგმა მე-3 სართ.	41	42			
დიაფრაგმა მე-6 სართ.	39	40			

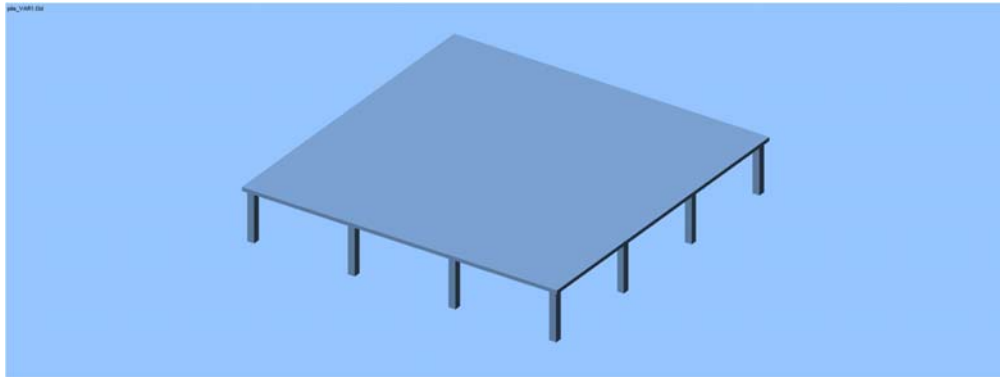
შენიშვნა: ფრჩხილებში მოთავსებული მაჩვენებლები აღებულია სხვადასხვა

ხელსაწყოთი.

მოდელში გამოყენებული იყო ობიექტზე აღებული გასაშუალებული მაჩვენებლები) და მაღალი კლასის ბაგროვანი არმატურის K-7-ის მექანიკური მახასიათებლები (როგორც პროექტით მიღებული).

I ვარიანტი

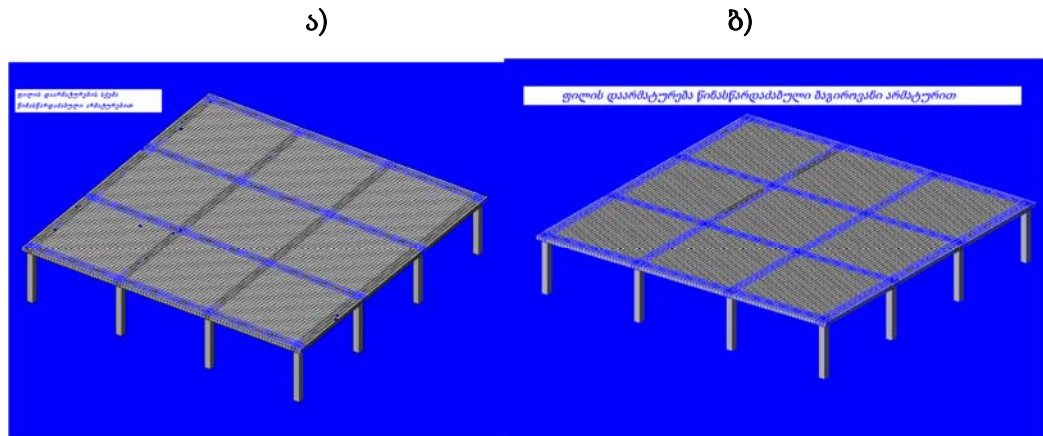
გადახურვის ფილა $h_f = 22$ სმ; B25 კლასის ბეტონი; $R_b = 14.5$ მპა; $V_{ser} = 8 \div 12$ კნ/მ²; ფილა არმირებული იყო $\varnothing 8$ A – I კლასის არმატურით (ორმაგი ბადე 150x150 მმ ბიჯით); ფილაში: $E_b = 30,0 \cdot 10^3$ მპა; სვეტი 40x40 სმ; B25 კლასის $R_b = 14.5$ მპა; $E_b = 30,0 \cdot 10^3$ მპა; მონოლითური ნაკერი 4x22სმ B25; $R_b = 14.5$ მპა $E_b = 30,0 \cdot 10^3$ მპა; (ნახ.10).



ნახ.10. გადახურვის ფილის მოდელი

II ვარიანტი

გადახურვის ფილა $h_f = 22$ სმ; B30 კლასის ბეტონი; $R_b = 17$ მპა; $V_{ser} = 8 \div 12$ კნ/მ²; ფილა არმირებული იყო $\varnothing 8$ A – I კლასის არმატურით (ორმაგი ბადე 150x150 მმ ბიჯით); ფილაში: $E_b = 32,5 \cdot 10^3$ მპა; ასაწყობი სვეტები: 40x40 სმ; B35 კლასის ბეტონისაგან $R_b = 19,5$ მპა; $E_b = 34,5 \cdot 10^3$ მპა; მონოლითური ნაკერი (40x220მმ) ბეტონი კლასით B30; $R_b = 14.5$ მპა $E_b = 30,0 \cdot 10^3$ მპა. ორივე ვარიანტის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ.11-ზე.

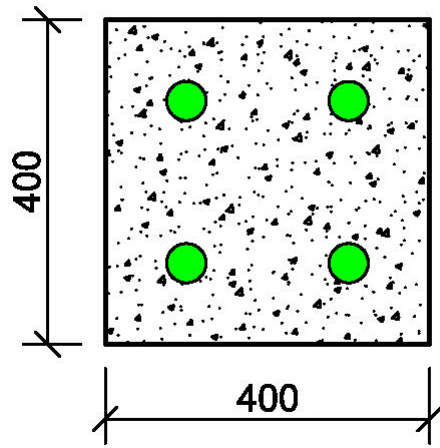


ნახ. 11. მოდელის საანგარიშო სქემები:

ა) I ვარიანტი; ბ) II ვარიანტი.

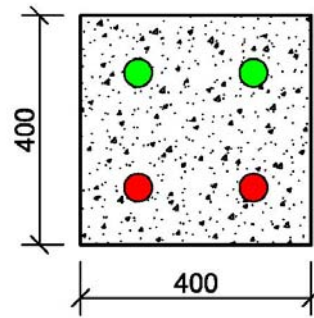
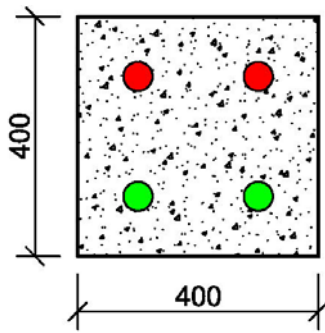
სისტემის საიმედოობის დასადგენად, განვიხილეთ რღვევის იმიტაციის 4 ვარიანტი (ნახ.12), რომელიც შევადარეთ პირველ ეტალონურ ვარიანტს. არმატურის სხვადასხვა მიმართულებით ჩაჭრით გამოწვეული რღვევის შემთხვევები და მათი შედეგები, წარმოდგენილია როგორც ნახაზებზე ასევე ცხრილის სახით, კერძოდ, როდესაც არმატურის ჩაჭრა მოხდა მხოლოდ ერთი მიმართულებით (ნახ.12 II ჩაჭრა), დეფორმაციის მაქსიმალური მაჩვენებელი X და Y ღერძების მიმართ შეადგენდა მასშ. 3,9მმ და მინ.0,0017მმ, ნორმებით დასაშვები ჩაღუნვა შეადგენს 4 სმ. ამრიგად, დაჭიმული ბაგირის ასეთ ჩაჭრას ტრაგიკულ შედეგამდე არ მივყავართ, (იხ.ნახ.14). რკინაბეტონის ელემენტი სიხისტის შესაბამისად ახდენს ძაბვების გადანაწილებას მეზობელ ელემენტებზე, რაც შეეხება ფილის დეფორმაციას არმატურის ჩაჭრის შემთხვევაში, მატულობს, მაგრამ აკმაყოფილებს დასაშვები ჩაღუნვის პირობას. რაც შეეხება მესამე ვარიანტს, აქ არმატურის ჩაჭრა განხორციელდა ოთხივე მხრიდან მხოლოდ შუა მალში, შედეგები მოცემულია ნახაზებზე (12,13,14,15), მაქსიმალური გადაადგილება ღერძის მიმართ ემთხვევა ეტალონური ვარიანტის გადაადგილებას, რაც ადასტურებს ვარაუდს იმის შესახებ რომ სისტემის მწყობრიდან გამოყვანა არ შეუძლია ერთი სვეტის ირგვლივ არმატურების ჩაჭრას, გინდ იყოს ეს შემთხვევა განაპირა ან შუა მალში.

ეტალონური ნიმუში



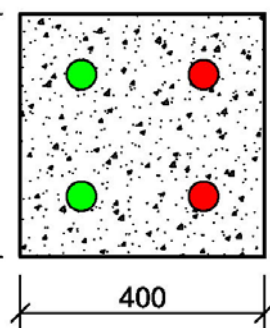
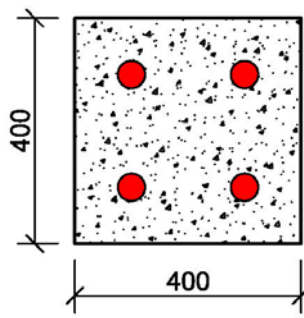
II-ჩაჭრა

IV -ჩაჭრა



III- ჩაჭრა

V - ჩაჭრა



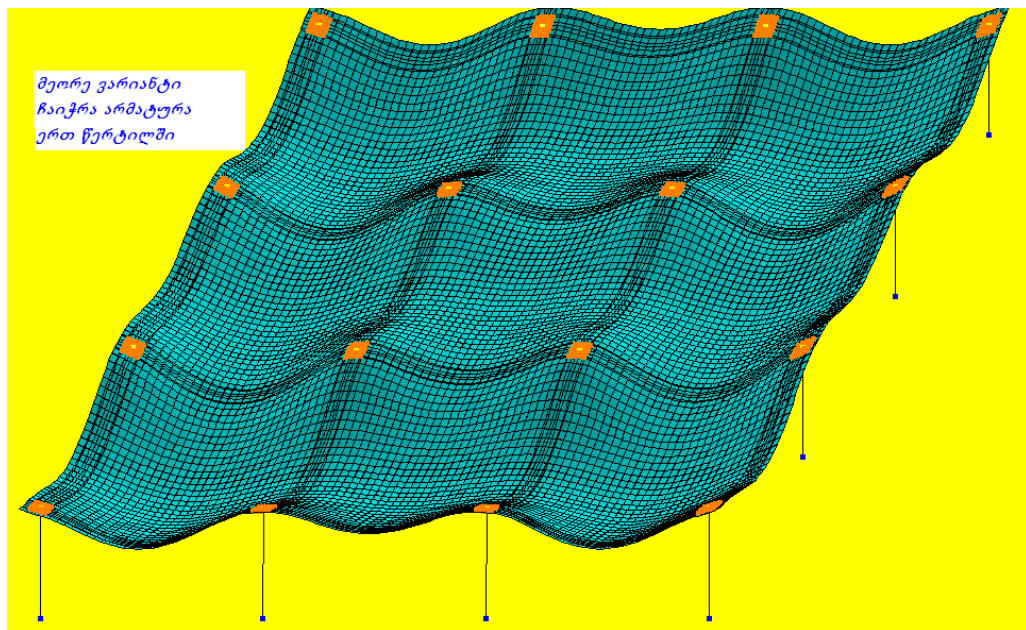
- ჩატრილი ბაზირი
- ჩაუჭრილი (არსებულ) ბაზირი

ნახ.12 . არმატურის ჩაჭრის სქემები

სხვადასხვა მხრიდან არმატურის ჩაჭრისას მხოლოდ განაპირა მალის გარდა ჩაანკერების სიგრძე სავსებით საკმარისია იმისათვის, რომ არ მოხდეს გადახურვის ფილის დასაშვებზე მეტად ჩაღუნვა ან სვეტიდან ჩაცურება.

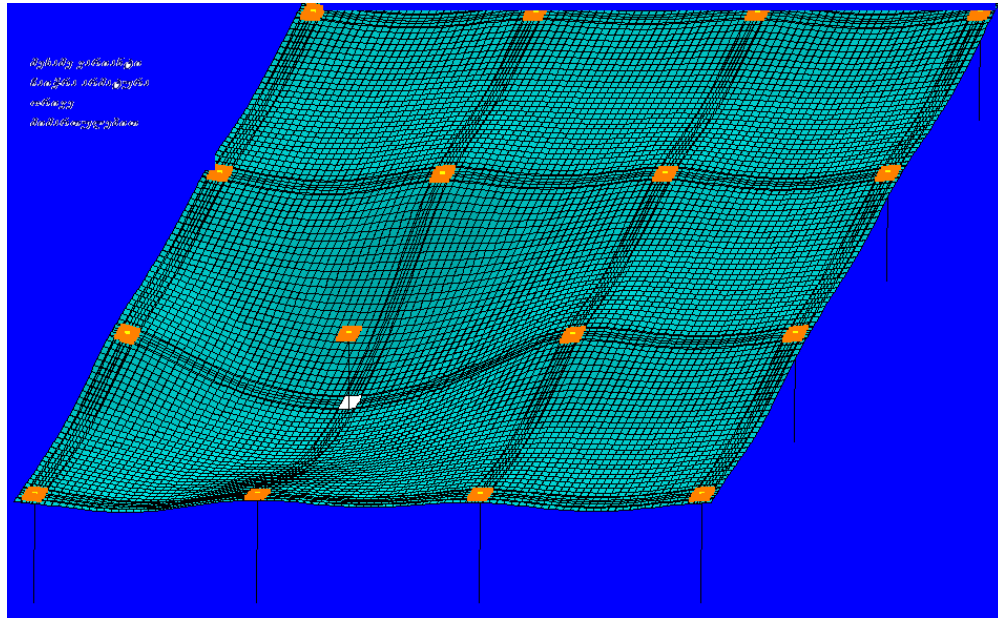
მაბევრის მნიშვნელობები ასაწყობ და მონოლითურ უბნებში არმატურის ჩაჭრის შემდეგ მაქსიმალური შეადგენს 561კნ/მ² (რაც 25-28%-ით ნაკლებია საანგარიშოზე) .

შიში იმისა, რომ კარკასულ-პანელოვანი სისტემა არმატურის დაჭიმვით სამშენებლო პირობებში საიმედოობის თვალსაზრისით საშიშია, უსაფუძვლოა, რასაც ამტკიცებს მათი 35 წლიანი ექსპლუატაციის პრაქტიკა.

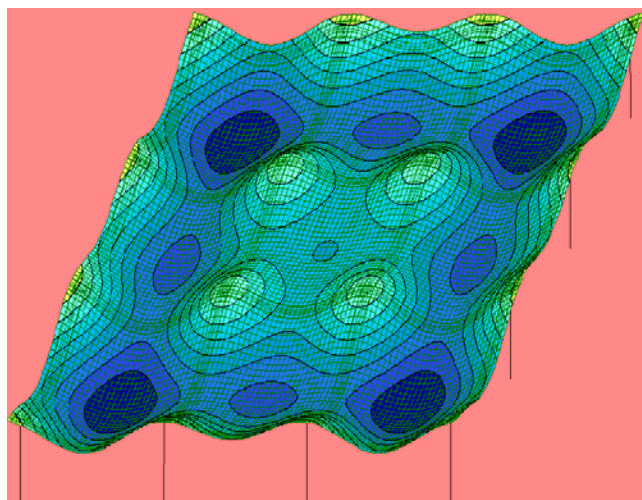
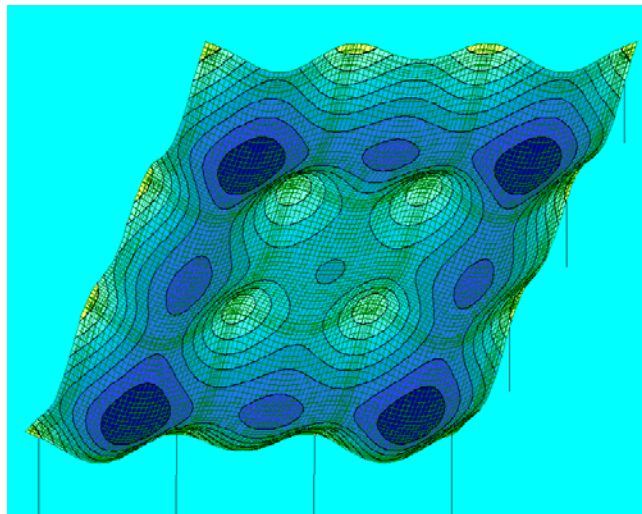


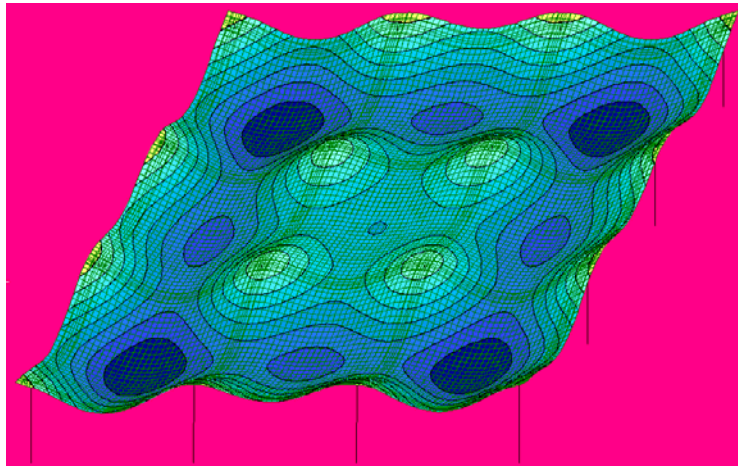
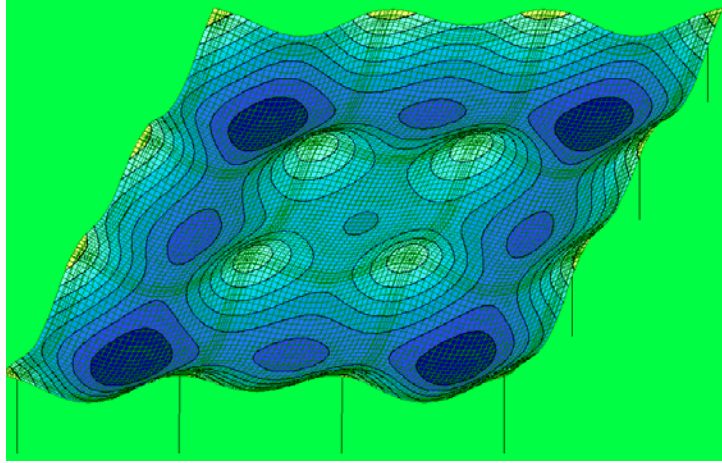
ნახ.13. ფილის დეფორმაციის სქემა მეორე ვარიანტი (მაქს. ჩაღუნვა 3,88მმ).

როგორც სადისერტაციო ნაშრომშია აღწერილი „ჟეჟელის“ სისტემის კარკასული 16 სართულიანი საცხოვრებელი სახლები, რომლებიც განკუთვნილი იყო სეისმური რეგიონებისათვის, როგორც ზემოთ ავლნიშნეთ ქ. თბილისშიც იყო აგებული და რამდენიმე ათეული დაუმთავრებელი დარჩა. მათზე გამოკვლევების ჩატარებისა და მიღებული მონაცემების ანალიზის შედეგად შეგვიძლია დავასკვნათ:



ნახ.14. არმატურის ჩაჭრით მიღებული ჩალუნვა (მაქს.15,1მმ)





ნახ.15. ფილის ჩალუნვების სქემები არმატურის ჩაჭრისას

ძირითადი დასკვნები

1. ქ. თბილისში „ჟეჟელის“ სქემით აგებული და ექსპლუატაციაში მყოფი შენობების მონიტორინგმა გვიჩვენა, რომ ცვლილებები დაჭიმულ ბაგირებსა და დამონოლითებულ ბეტონში სიმტკიცის თვალსაზრისით არ შემცირებულა, პირიქით 30-35 წლის შემდეგ რკინაბეტონის ელემენტებში სიმტკიცის მახასიათებლები გაზრდილია 25-30%-ით, რაც დადასტურებულია მრავალი კვლევების ანალიზით ლიტერატურაში.
2. დაჭიმული ბაგირების კვლევებმა გვიჩვენა, რომ მიუხედავად ხანგრძლივი დროის განმავლობაში უმეტესადაა დარჩენილი, ინარჩუნებენ საპროექტო სიმტკიცეს, დაცულია კოროზიისაგან, საიმედოდ არის ჩაანკერებული.
3. ძაბვები ბეტონში და არმატურაში ასაწყობ გადახურვის ფილებსა და სვეტებში საპროექტო სიდიდის ტოლია და ცვლილებები გაუარესებული არ არის, იგი მომავალი ექსპლუატაციისათვის საიმედოა.
4. გამოკვლეულია ბეტონის ცოცვადობის დეფორმაციით გამოწვეული ძაბვების შემცირება წინასწარდაჭიმულ ბაგირში. კვლევებმა აჩვენა რომ ბეტონის ცოცვადობას არავითარი გავლენა დაჭიმვის სიდიდეზე ბაგირში არ გამოუწვევია, კონსტრუქციის ზიდვის უნარზე გავლენა არ მოუხდენია.
5. ჩატარებული კომპიუტერული ექსპერიმენტის შედეგად დადასტურდა, რომ დაუსრულებული „ჟეჟელის“ სისტემის 16 სართულიანი სახლების მშენებლობის დასრულება შესაძლებელია მონოლითური კარკასული შენობების მსგავსად, გარკვეული რეკომენდაციების გათვალისწინებით.
6. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები, რომელიც ასაწყობ და მონოლითურ ელემენტებში მიღებული ბეტონის სიმტკიცის მახასიათებლებითა და საინჟინრო კომპიუტერული პროგრამა LIRA-SAPR-13-ის დახმარებით, მოდელზე შესრულდა, კარკასულ-ბმული სისტემის საიმედოობის დასადგენად, აკმაყოფილებს მასზე წაყენებულ მოთხოვნებს და ადასტურებს მის უპირატესობებს სეისმური რაიონებისათვის.

დაუმთავრებელ კორპუსებზე ჩატარებული მონიტორინგის შედეგების საფუძველზე ვიძლევიტ შემდეგ რეკომენდაციებს მისი საბოლოო დასრულებისათვის.

1. შემოწმდეს და დადგინდეს დაუმთავრებელი კორპუსების ქვეშ განთავსებული გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები და მოხდეს არსებული საძირკვლების მდგომარეობის დეტალური შესწავლა, რომლის მიხედვით განისაზღვრება დასაშენებელი სართულების რაოდენობა.
2. სისტემის როგორც თეორიულ, ასევე კომპიუტერულ გაანგარიშებას თავის - თავზე აიღებს ტექნიკური უნივერსიტეტის, სამშენებლო ფაკ-ტის, სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტი და ზედამხედველობას გაუწევს ასევე მშენებლობის პროცესს.
3. დაუმთავრებელი კორპუსების მშენებლობა უნდა დასრულდეს მონოლითური კარკასული სისტემით, რომელიც უზრუნველყოფს შენობების შემდგომ საიმედო ექსპლუატაციას.

სამეცნიერო შრომების სია

1. ნ. ნაკვეთაური. მრავალსართულიანი კარკასული შენობები „ჟეჟელის“ სისტემის მიხედვით. ჯ. ლეჟავას სახ. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ათინათი“, თბილისი, №2 (20) 2016 (გვ.137-139);
2. ნ. ნაკვეთაური, ლ. ბალანჩივაძე. დიაფრაგმის გავლენა არმატურაში წინასწარდამაბული ძალების ცვალებადობაზე. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", თბილისი, №4 (43) 2016 (გვ. 44-46);
3. ნ. ნაკვეთაური. ცოცვადობის დეფორმაციის გავლენა წინასწარდამაბული რკინაბტონის კონსტრუქციების მუშაობის თავისებურებებზე. სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. „ტექნიკური უნივერსიტეტი,“ თბილისი, 2016 (გვ. 14-18).

Abstract

Relevance of the topic: As it is known in the end of the last century, Georgia and other seismically active regions have successfully implemented so-called Zhezheli 16-storey frame-panel residential buildings with bending armature under constructional conditions. Dozens of residential houses in Georgia are presented by such construction, which provide safe housing for millions of people. The building was constructed with prefabricated elements.

After infamous events of 1990, when the economy collapsed and all factories producing reinforced concrete products were abandoned, many frame buildings of “Zhezheli” type have remained unfinished. A. Sokhadze Civil and Industrial Construction Department decided to conduct experimental study and supportability of such unfinished buildings, i.e. granting life to dozens of buildings. There are several dozen of such buildings in Tbilisi, where construction process was suspended on different floors, some of them are demolished (on Tsereteli Avenue), some are still in the foundation phase (Didi Digomi) and two buildings in Guramishvili 64 are still waiting for a builder. Thus, it is possible to continue construction and provide thousands of families with accommodation.

The aim of the dissertation: the “Zhezheli” system is presented by a frame building in which the roofing foil from all four directions is held by the pre-pressured force of the armoured fittings that are strained between the columns; Straining of cables takes place on construction site.

The task of experimental research is:

- Study of unfinished construction;
- Investigation of the reliability of existing tense cables;
- Determination of tensioning values in concrete and armature;
- Assessing the reliability of the system by determining breaking point of columns and tiles.
- The study and effects of changes pre-pressured strengths caused by long-term deformation of concrete.

• As a result of the research, conclusions and recommendations will be presented, according to which the construction of such type should be completed.

Scientific Novelty: Practical application of the completed work is important. Completion of semi-built buildings will provide the city with substantial residential place, thousands of people's requirements for accommodation will be met, namely refugees who are living in unbearable conditions.

The first chapter of the dissertation discusses the nature and development characteristics of concrete's and reinforced concrete structures' long-term deformation – creep. Those scientific studies related to the deformation of concrete due to creep.

The scientists working on this process: A. Goalishev, I. Livshits, A. Zevin, A. Saakyan, V. Sizionov, D. Patrov, V. Chernigorov, G. Kiziria, Gvinchidze, D. Dolidze, Zedgenidze and others, as a result of their research several different creep theories were created.

Creation and development of several scientists' creep theories are discussed in details, that state that deformation due to creep is a type of plasticity deformation. It develops due to long-term pressure. The development of concrete creeping deformation is especially important in pre-strained reinforced concrete structures, since the static scheme of construction, installation and work of operational elements is different, which results in unreliable results in assessing the system's tense-deformation state.

Second chapter of the dissertation discusses effective constructive ИМС system with bending armature under constructional conditions of carcass-panel, its efficiency, the specifics of constructive elements and building practices.

In 1956 in Serbia, Belgrade, the construction materials research institute, under the guidance of Professor Branco Zhezhel, has developed an efficient, carcass-paneling constructive system with bending armature under constructional conditions. A year later after implementation constructions began in new

Belgrade, then in many other cities of Yugoslavia: BanjaLuka, Tuzla, Nishe, Ossieke, Nivasade, Pančevo, Sarajevo and others [24].

In 1982-86, in ТбилЗНИИЭП under the guidance of A.M. Kimberberga number of experimental studies have been conducted. Based on the results obtained, "Temporary Recommendations for Designing Frame-Panel Buildings" has been drawn up [27].

As a result of experimental studies it has been established that maximum dense pressure was located in the nodes and maintained before their destruction, the coefficients of deflection have been found, the form of disposition of pre-pressured fittings have been developed and their effect on covering works with respect to vertical loads. The recommendation was developed that provided substantial economy of materials compared to current project.

The new constructive system distinguishes itself by high values of basic technical and economic characteristics. By implementing this system, stainless steel usage will be reduced to 25÷40%, labour intensity will be reduced, metal usage by 20÷41,6% and construction cost by 40% [24].

The constructive cell of the system is created by built-in columns, roofing tiles, and pre-pressured cable fittings. The column and roof tiles are integrated into the whole disk with pre-pressured fitting under construction conditions, that are located in both directions between the roof panels and goes through holes in the columns. As a result of fitting clamping friction between tiles and columns is created, that provides system's combined operation during exploitation.

Analysis of conducted surveys [12,17,26,27,29] found that the main building material used was a high-strength B25, B30-grade concrete and K-7 grade Ø15 mm cable fittings. In all existing technical solutions the use of such concrete types and the sizes of the elements as well as application and calculation methods weren't justified, that created a major problem in the construction of the roofing system.

The existing normative materials did not allow for the calculation of the specific system, which further hindered the implication of the system. Due to

absence of a single methodology of calculation of constructive system and its nodes, which should have been a descriptor of real work during exploitation, did not allow for the full usage of building materials' strength, which led to the higher indicators of building's load bearing capacity.

The carcass-link system in construction conditions is very difficult to calculate in terms of pre-pressured fittings. This is caused by both individual nodes and constructive solutions, as well as construction technology.

The tense-deformed condition of the pre-pressured frame differs from the deformed condition of the usual traditional carcass, and hence the calculation method is different. If for the calculation of usual frame the operational scheme of nodes is known, in this case such schemes aren't specified. That is why the assumptions made are often not justified and are based on engineer experience and intuition.

The third chapter of the dissertation discusses the calculation of deformations due to creeping using European norms. Concrete and reinforced concrete are considered, the features of the construction material and its impact on various loads, the fact that in the calculation of structural elements and the system, the relationship between tension and strain can be any (linear, nonlinear) if they correspond to the behaviour of concrete. In special cases (also pre-pressured), according to the information from special attempts, it is necessary to set the strength of concrete for a period of less than 28 days and, based on the results obtained, to study the effect of long-term deformation.

The module of concrete elasticity depends on the filling elasticity module. E_{cm} relative value of elasticity module (which lays at 0 and $0.4f_{cm}$) * is given in the tables for different fillers. If fillings are presented by sand or sedimentary rocks, the elasticity module should be reduced to 10 ÷ 30%. If the filler is basalt, in this case the elasticity module increases by 20%.

The creep of concrete depends on environmental humidity, size of the element and concrete structure. The creep is also affected by the age of the

concrete when it was first loaded, its duration and the speed of loading. The creeping coefficient $\varphi(t, t_0)$ depends on the tangent creep module E_c , which is equal to $1.05E_{cm}$. If there is no need for greater accuracy, creeping coefficient given in the appropriate table can be used, provided that tension in concrete does not exceed $0.45f_{ck}$ (t - is the first load in case of t_0 age).

The fourth chapter examines the experimental and theoretical studies conducted in the reinforced concrete frame-link buildings in order to study the reliability of the system and long-term deformation caused by fittings.

Fulfilment of planned tasks has been made possible by monitoring 10 completed and 2 unfinished 16-storey buildings located in different districts of Tbilisi (Gldani Second, Third and Seventh Microdistricts, Varketili Third Microdistrict, Vazisubani Microdistricts and Nutsubidze Plateau).

Review and study of 10 16-storey buildings found that the buildings do not have defects that aren't allowed by the norms. The load-bearing elements of completed and operating residential houses include: columns, roofing tiles and monolithic joints, where pre-pressured fittings are located. Concrete strength was checked with two different hammers that are based on reversible elasticity method, which was about 30-40% more than specified by the project, which was anticipated due to concrete hardening conditions and due to heterogeneity.

Two unfinished buildings showed interesting results. The bearing elements of unfinished buildings were checked from the first floor to the 6th floor, prefabricated as well as monolithic areas, hardness diaphragms, side and centre nodes were also checked.

In order to determine the reliability of the system as a result of the monitoring of unfinished construction, taking into account stability characteristics of prefabricated and monolithic concrete elements and using engineering software LIRA-10 two versions of calculating models were developed and tested for the impact of permanent loads and pre-tension. The model used B25 class characteristic

concrete (it corresponds to the object's average parameter) and mechanical characteristics of high-grade cable steel K-7 of (asserted by the project).

The final results are given in main conclusions.