

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მთვარისა თანანაშვილი

ბუნებრივ ფოროვან შემავსებლიანი სატრანსპორტო გვირაბების
მულმივი სამაგრის გაანგარიშების მეთოდის დამუშავება
გაყვანის ტექნოლოგიის გათვალისწინებით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად წარმოდგენილი

ავტორეფერატი

თბილისი
2012

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის
საგზაო დეპარტამენტის
ხიდებისა და გვირაბების მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი,
სრული პროფესორი – თამაზ ჭურაძე

რეცენზენტები: გ. აბაშიძე
რ. ცხევედაძე

დაცვა შედგება 2012 წლის „-----“ -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო
და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს
კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია -----
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა – სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი: ასოც. პროფ. რ. ველიჯანაშვილი

შესავალი

სატრანსპორტო მშენებლობისა და ექსპლოატაციის დროს გამოიყენება ფართო ასორტიმენტის ბუნებრივი და ხელოვნური მასალები. ბუნებრივი მასალის დამუშავება ადგილზე წარმოებს უსისტემოდ, ხშირად არ მოწოდება მისი ხარისხი, ყურადღება არ ექცევა სამუშაოს წარმოების ტექნოლოგიას.

ცხადია, რომ მასალებისა და ნედლეულის მიღება უნდა მოხდეს კვალიფიციური პერსონალის მიერ. მშენებლობაზე მასალის მიღების დროს შემოწმდეს მისი ხარისხი. ადგილზე მასალის მოპოვებისა და გადამუშავების პირობებში უნდა ხდებოდეს ნედლეულის მასალის თვისებების დადგენა (მსუბუქი ბეტონის შემადგენლობა, სიმტკიცისა და დეფორმაციული მაჩვენებლები, კოროზიული მედეგობა, ყინვადობა, წყალგაუმტარობა, ჭიმვადობა და სხვა).

მიწისქვეშა ნაგებობების სტატიკური მუშაობის თვალსაზრისით დიდი მნიშვნელობა აქვს მისი მასალის ჭიმვადობას. მსუბუქი ბეტონის ჭიმვადობა ორჯერ მეტია ვიდრე ჩვეულებრივი ბეტონის და გამჭიმავი ძაბვების მოქმედებისას მათ უფრო მეტად შეუძლიათ დეფორმირება ბზარების წარმოქმნის გარეშე.

მნიშვნელოვანია ამ თვისების გამოვლინება რკინაბეტონში. პ. წულუკიძის მონაცემებით არმირება ხელს უწყობს ზღვრული ჭიმვადობის დონის ზრდას ძაღვების უფრო თანაბარი გადანაწილებისა და ბეტონის არათანაბარი სტრუქტურის გასაშუალების ხარჯზე. ამის შედეგად იზრდება ბეტონის ბზარმედვეობა.

მონოლითური ბეტონის მიწისქვეშა ნაგებობები მუშაობენ არაცენტრალური კუმშვის პირობებში. როგორც წესი, საგვირაბო თაღის კლიტისა და ქუსლის ზონაში ადგილი აქვს არაცენტრალურ კუმშვას დიდი ექსცენტრისიტეტით, როდესაც კვეთის ნაწილში წარმოიქმნება გამჭიმავი ძაბვები. ცხადია ასეთ პირობებში ბეტონის ჭიმვადობის ხარისხს დიდი მნიშვნელობა აქვს.

მიწისქვეშა კონსტრუქციებისათვის, გამომდინარე მათი სტატიკური მუშაობის თავისებურებებიდან გრუნტთან ერთობლივი მუშაობის პირობებში, დეფორმაციების ზრდა აუმჯობესებს კონსტრუქციასა და გრუნტს შორის აქტიური ურთიერთქმედების გადანაწილებას, ხელს უწყობს რა უშუალოდ კონსტრუქციის დაძაბული მდგომარეობის ხარისხის დაქვეითებას. აქედან გამომდინარე, მსუბუქი ბეტონი ამ შემთხვევაში უპირატეს მდგომარეობაში არის მძიმე ბეტონთან შედარებით.

სამთო სატრანსპორტო გვირაბების დაპროექტებისას სეისმური ზემოქმედების გათვალისწინების თანამედროვე მეთოდები საშუალებას იძლევა გააკეთდეს დასკვნა იმის შესახებ, რომ სეისმური ზემოქმედებით გამოწვეული დამატებითი დაძაბული მდგომარეობა მძიმე ბეტონის სამაგრებში მნიშვნელოვნად მეტია, ვიდრე ადგილობრივ ფოროვან შემავსებლებზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონის სამაგრებში. სეისმურ ზემოქმედებაზე სატრანსპორტო გვირაბების გაანგარიშებების შედეგების ანალიზიდან ჩანს, რომ ბეტონის დრეკადობის მოდულის შემცირების კვალობაზე მცირდება კონტაქტური ძაბვებისა და შინაგანი ძაღვების საანგარიშო მნიშვნელობები.

ამგვარად, სატრანსპორტო გვირაბების სამაგრის მასალად ბუნებრივი ფოროვანი შემავსებლებით დამზადებული მსუბუქი ბეტონის გამოყენება საშუალებას იძლევა აიგოს მრავალფეროვანი მიწისქვეშა ნაგებობები უკეთესი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლებით, ვიდრე ტრადიციული მძიმე ბეტონის გამოყენებისას.

სამშენებლო ნომრებით რეგლამენტირებულია, რომ გვირაბის სამაგრის საანგარიშო მოდელები უნდა შეესაბამებოდნენ სამაგრის აგების ტექნოლოგიას. ამისათვის საჭიროა სანგრევის გავლენის ზონაში სამაგრის სივრცული ხასიათის გათვალისწინება.

თემის აქტუალობა. გვირაბის მუდმივი სამაგრი წარმოადგენს ყველაზე უფრო მატერიალურ და ძვირ ელემენტს.

მისი აგება მეტად რთული პროცესია და შეადგენს საერთო საგვირაბო-სამშენებლო სამუშაოების 20-50 %-ს. მიწისქვეშა ნაგებობების კონსტრუქციების აგების ღირებულება შეადგენს ნაგებობის საერთო ღირებულების 50-60 %. მაშასადამე, მიწისქვეშა ნაგებობების კონსტრუქციების სრულყოფა უნდა განვიხილოთ როგორც ერთ-ერთი გენერალური მიმართულება მიწისქვეშა მშენებლობის შემდგომი განვითარებისა.

მიწისქვეშა კონსტრუქციების სრულყოფის ღონისძიებების ეფექტურობა მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია მათთვის მასალების სწორად და მნიშვნელოვან შერჩევაზე.

ჩვენი ქვეყნის მთელ რიგ რეგიონებში არსებობს ბუნებრივი ფოროვანი სამთო ქანების საბადოები, რომლებიც მართალია არ მიეკუთვნებიან მტკიცე მასალას, მაგრამ საშუალებას იძლევიან მივიღოთ საშუალო და მაღალი მარკის კონსტრუქციული ბეტონი, ამავე დროს ამ რეგიონებში როგორც წესი შეიმჩნევა მკვრივი შემავსებლის მზარდი დეფიციტი.

ბუნებრივია, რომ ამ პირობებში წინა პლანზე დგება საკითხი მიწისქვეშა მშენებლობაში სამაგრის ბეტონში ბუნებრივი ფოროვანი შემვსებლების გამოყენების შესაძლებლობისა.

ეს ბეტონი მნიშვნელოვნად განსხვავდება ტრადიციული მძიმე ბეტონისაგან. მათ გააჩნიათ შედარებით ნაკლები საშუალო სიმკვრივე და მაღალი დეფორმატიულობა. მიწისქვეშა ბეტონის და რკინაბეტონის ნაგებობები წარმოადგენენ სტატიკურად ურკვევ სისტემას, რის გამოც მათი დაძაბული მდგომარეობა მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია მასალის და კონსტრუქციის დეფორმაციულ თვისებებზე. ის თუ რა გავლენას ახდენენ ისინი გვირაბის სამაგრის მზიდუნარიანობაზე საჭიროებს შესაბამის კვლევას.

ვინაიდან სანგრევის გავლენის ზონაში მუდმივი სამაგრის მუშაობა ატარებს სივრცულ ხასიათს, საჭიროა ადეკვატური ხასიათის გაანგარიშების საინჟინრო მეთოდის დამუშავება. რადგანაც, დრეკადობის თეორიის სამგანზომილები ამოცანის ამოხსნა ანალიზური ხერხით დაკავშირებულია გადაულახავ მათემატიკურ სირთულეებთან, რიცხვითი მოდელების გამოყენებისას საჭიროა დატვირთვების დაგეგმვა დრეკად-პლასტიკურ ზონაში.

აღნიშნული საკითხები განხილულია სადისერტაციო ნაშრომში, რაც განაპირობებს მის აქტუალობას.

კვლევის ძირითადი მიზანია. სატრანსპორტო გვირაბის მსუბუქი ბეტონის სტატიკური გაანგარიშების თეორიული ბაზის სრულყოფა გვირაბის გაყვანის ტექნოლოგიის გათვალისწინებით და სანგრევის წინსვლის შედეგად მისი დატვირთვის პროცესის ასახვა.

კვლევის ძირითადი ამოცანები.

- ძირითადი ფაქტორების დადგენა, რომელიც ძირითად გავლენას ახდენს სატრანსპორტო გვირაბების მონოლითური მსუბუქი მუდმივი სამაგრის დაძაბულ მდგომარეობაზე;
- მძიმე და მსუბუქი მონოლითური ბეტონის სამაგრის ნორმალური ძალის მნიშვნელობაზე მოქმედი ფაქტორების დადგენა;
- დიდი ჩაღრმავების მეტროპოლიტენის სადგურის და მიწისქვეშა სხვა კონსტრუქციების რაციონალური ფორმის დადგენა;
- მონოლითური მსუბუქი ბეტონის მუდმივი სამაგრის გაანგარიშება გვირაბის აგების ტექნოლოგიის გათვალისწინებით;
- ბუნებრივ ფოროვან შემდგომზე დამზადებული მსუბუქი ბეტონის გამოკვლევა კოროზიამდებობაზე, ფილტრაციაზე, ცვეთაზე.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე

- შესწავლილია და კრიტიკულად შეფასებულია მსუბუქი ბეტონის დრეკადობის მოდულის გავლენა მუდმივი სამაგრის დაძაბულ მდგომარეობაზე და მის მზიდუნარიანობაზე;
- რეკომენდირებულია საშუალო სიმაგრის ქანებისათვის დიდი ჩაღრმავების ერთთაღიანი კონსტრუქცია ვერტიკალური კედლების გარეშე;
- დამუშავებულია წრიული მოხაზულობის მუდმივი სამაგრის სტატიკური მუშაობის საინჟინრო მეთოდიკა: ამოხსნილია დრეკადობის თეორიის შესაბამისი ბრტყელი ამოცანა. სანგრევის გავლენის ზონაში სამაგრის სივრცული ხასიათის მუშაობის გათვალისწინება ხდება სანგრევის გავლენის ფუნქციის საშუალებით;
- დამუშავებული მეთოდიკის გამოყენებით თეორიულად დამტკიცდა სატრანსპორტო გვირაბების სამაგრებისათვის მძიმე ბეტონის ნაცვლად მსუბუქი ბეტონის გამოყენების რაციონალურობა.

მეცნიერული დებულების უტყუარობა და საფუძვლიანობა. მეცნიერული დებულების უტყუარობა და საფუძვლიანობა ემყარება დამუშავებული თეორიული მოდულით მიღებული შედეგების შეთავსებადობას არსებული სტანდარტული მეთოდიკით შესრულებული ექსპერიმენტალური კვლევების შედეგებთან. თვით გაანგარიშებას საფუძვლად უდევს დრეკადობის თეორიის (კერძოდ მიწისქვეშა ნაგებობების მექანიკის) პრინციპები.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ორი თავის დასკვნების და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან. შრომის საერთო მოცულობა შეადგენს ნაბეჭდი ტექსტის 118 გვერდს, 43 ნახაზს, და 20 ცხრილს.

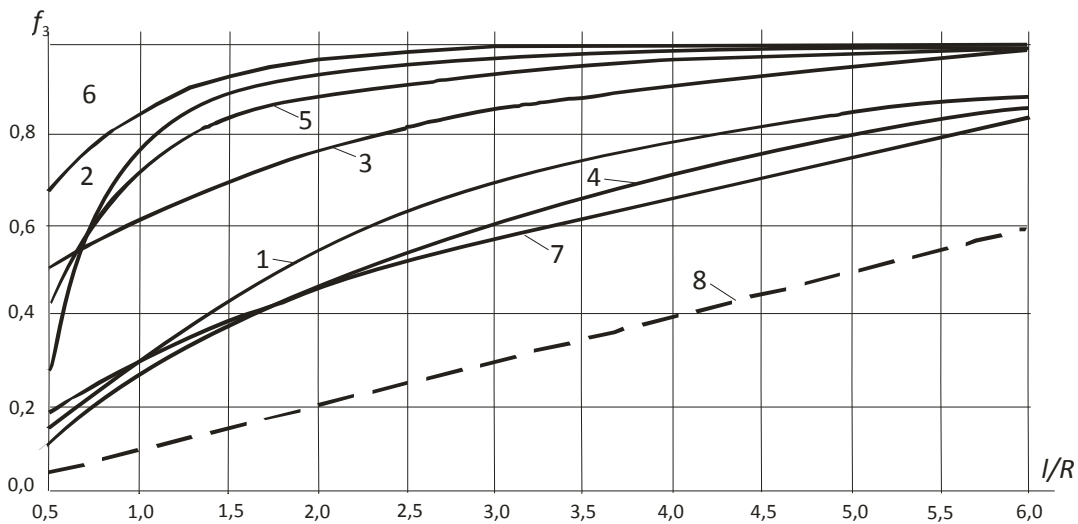
ნაშრომის აპრობაცია.

დისერტაციის მასალები მოხსენებული იქნა:

- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „ხიდებისა და გვირაბების“ მიმართულების სემინარზე;
- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს ორ სემინარზე;
- საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე „საავტომობილო ტრანსპორტისა და ავტოსაგზაო ინფრასტრუქტურის განვითარების პრობლემები, თბილისი 2009 წლის 20-21 მარტი;

დისერტაციის ძირითადი შედეგები და ზოგადი დასკვნები:

პირველ თავში განხილულია საზღვარგარეთ და საქართველოში მსუბუქი ბეტონის გამოყენების მაგალითები. აგრეთვე გაანალიზებულია სატრანსპორტო გვირაბების მუდმივი სამაგრის სტატიკური გაანგარიშების მეთოდები დეფორმირებად გარემოში. მოყვანილია სანგრევის გავლენის ფუნქციები (ნახ.1).



ნახ. 1. სანგრევის გავლენის ფუნქცია მიღებული სხვადასხვა ავტორების მიერ: 1 – ი. ლიბერმანი; 2 – ნ. ფოტიევა; 3 – თ. ჭურაძე-ვ. თარხნიშვილი; 4 – გ. კრუპენიკოვი; 5 – ბ. მუსინი; 6 – მ. ბაუდენდისტილი; 7 – ი. ზავსლავსკი; 8 – დენაღ-ბლანტი მოდელები;

მეორე თავში „შედგები და მათი განსჯა“ წარმოდგენილია წრიული მოხაზულობის გვირაბის მუდმივი სამაგრის გაანგარიშების თანამედროვე მოდელი, რომელიც ითვალისწინებს მისი აგების ტექნოლოგიას.

მიწისქვეშა ნაგებობების გაანგარიშების თეორიაში გამოიყოფა სამი ძირითადი მიმართულება:

1. გაანგარიშება მოცემული დატვირთვის მიხედვით;
2. გაანგარიშება უკუბჯენის გათვალისწინებით;
3. გაანგარიშება სამაგრისა და ქანის ერთობლივი დეფორმაციის გათვალისწინებით, როდესაც დაცულია პირობა:

$$U_g \neq U_b \tag{1}$$

სადაც U_g – გამონამუშევრის კონტურის რადიალური გადაადგილებაა სამაგრთან ურთიერთქმედების პროცესში;

U_b – სამაგრის რგოლის კონტურის რადიალური გადაადგილებაა.

პირველი მიმართულების თეორიის გამოყენება ძლიერ შეზღუდულია და შემოიფარგლება სუსტი ქანების სფეროთი.

მეორე მიმართულება ამჟამად ფართოდ გამოიყენება მიწისქვეშა ნაგებობების დაპროექტების პრაქტიკაში და საინჟინრო საანგარიშო მოდელების უმეტესი ნაწილი სწორედ ამ მიმართულებას მიეკუთვნება.

მიწისქვეშა ნაგებობების მშენებლობის თანამედროვე ტექნოლოგიებმა გამოავლინეს კონსტრუქციების მზიდუნარიანობის მნიშვნელოვანი რეზერვები, დაკავშირებული ამა თუ იმ სახის ტექნოლოგიებთან. ვინაიდან მეორე მიმართულების სტატიკური გაანგარიშების მეთოდებით ვერ ხერხდება კონკრეტული ტექნოლოგიის თავისებურების გათვალისწინება, ამიტომ დღესდღეობით სულ უფრო ხშირად მიმართავენ მესამე მიმართულების მეთოდებს, რომლებიც საშუალებას იძლევა გათვალისწინებული იქნას გვირაბის გაყვანის ტექნოლოგიის გავლენა სამაგრის დატვირთვის პროცესზე.

მიწისქვეშა კონსტრუქციის აგების ტექნოლოგიის გასათვალისწინებლად საჭიროა სივრცული ხასიათის ამოცანის გადაწყვეტა, რაც ხშირად დაკავშირებულია მთელ რიგ გადაულახავ მათემატიკურ სირთულეებთან.

ჩვენს მიერ შემუშავებული გაანგარიშების ანალიზური მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს გვირაბის გაყვანის ტექნოლოგიას, იგი ემყარება მყარი ტანის და მიწისქვეშა ნაგებობის მექანიკის ბრტყელ ამოცანას (ნახ. 2), ხოლო გვირაბის

სანგრევის გავლენის ზონაში ამოცანის მოცულობითი ფაქტორის გათვალისწინება ხდება სანგრევის გავლენის ფუნქციის საშუალებით(ნახ. 1). ამოცანის ამოსახსნელად პირველ რიგში საჭიროა მასივისა და სამაგრის მახასიათებლების განსაზღვრა.

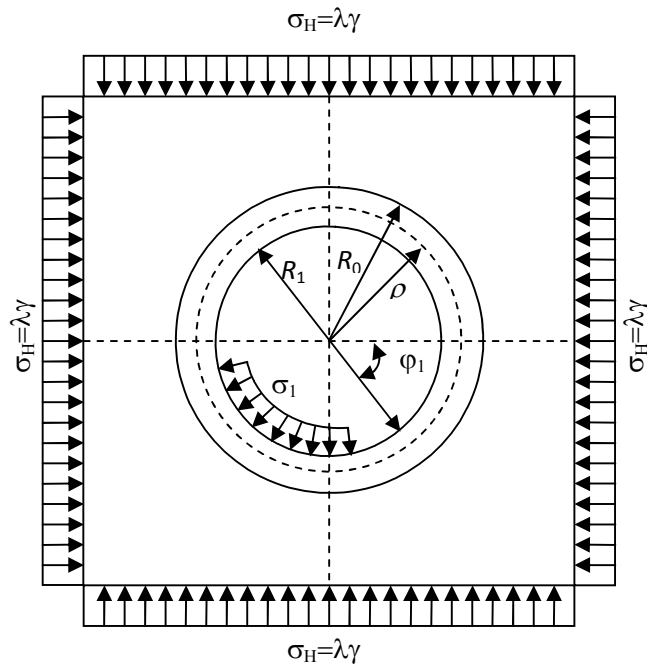
მასივის ძალოვანი მახასიათებლის განსაზღვრა შესაძლებელია გადაადგილების თეორიის ძირითადი განტოლების (2) გამოყენებით.

$$U_{\text{გ}}=U_1-U_0 \quad (2)$$

სადაც U_1 – გაუმაგრებელი კონტურის შესაძლო მაქსიმალური გადაადგილებაა, რეალიზებული გამოკვლევის მომენტისათვის;

U_0 – გაუმაგრებელი გამონამუშევრის კონტურის გადაადგილებაა, რეალიზებული სამაგრის ამოყვანამდე.

სიდიდეების U_1 და U_0 განსაზღვრის მიზნით განვიხილოთ მასივის მოდელი დრეკადი სიბრტყის სახით ორივე მხრიდან თანაბრად განაწილებული დატვირთვით. სიბრტყეზე დატვირთვის გადაცემის შემდეგ სიბრტყეში იქმნება წრიული ხვრელი და გადაადგილების გარკვეული სიდიდით განვითარების შემდეგ, რომლის სიდიდეც დამოკიდებულია სანგრევის სიბრტყის დაშორებაზე საკვლევი წერტილიდან, ჩაისმება დრეკადი რგოლი (ნახ. 2).



ნახ. 2. საანგარიშო სქემა

ჩავწერთ უ. ერჟანოვის ცნობილი ფორმულა, რომელიც განსაზღვრავს გამონამუშევრის კონტურის საწყის გადაადგილებას. იგი რეალიზებულია სამაგრთან ურთიერთობის გარეშე:

$$U_0 = 1,5 \gamma H R_0 \quad (3)$$

იმის გათვალისწინებით რომ, $1,5 = (1 + \mu)$ და $\gamma H = \sigma_n$, (3) განტოლება შეიძლება ჩავწერთ შემდეგნაირად:

$$U_0 = \frac{1 + \mu}{E} \sigma_n R_0 \quad (4)$$

სადაც μ – მასივის მასალის გვერდითი წნევის კოეფიციენტი;

γ – მასივის მასალის მოცულობითი წონა;

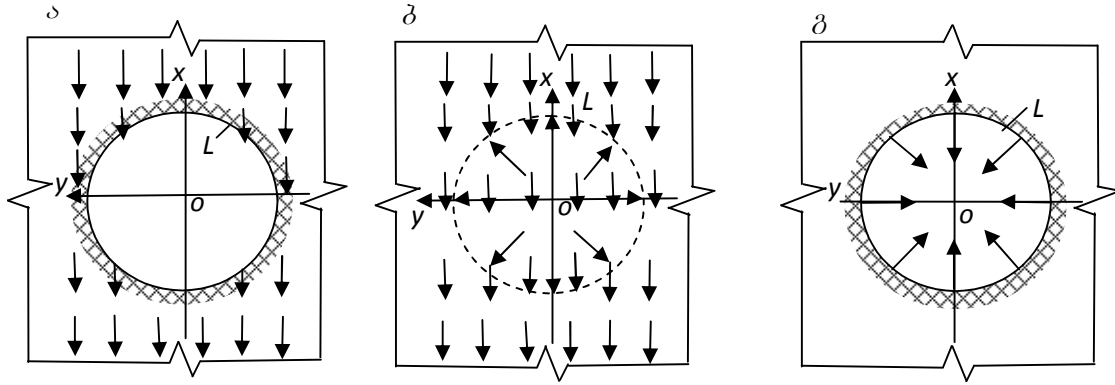
H – გამონამუშევრის ცენტრის ჩაღრმავება მიწის ზედაპირიდან;

E – მასივის მასალის დრეკადობის მოდული;

σ_n – საწყისი (ბუნებრივი) ძაბვები მასივში;

R_0 – გამონამუშევრის რადიუსი.

გაუმაგრებელი კონტურის მაქსიმალურად შესაძლო გადაადგილების (U_1) განსაზღვრის საშუალებას გვაძლევს დრეკად მოდელში ძალების დამოუკიდებლად მოქმედების (სუპერპოზიციის) პრინციპი.



ნახ. 3. დატვირთულ მასივში გამონამუშევრის გაყვანის სრული (ა) ძალების განსაზღვრის სქემა, როგორც საწყისი (ბ) და დამატებითი (მოხსნადი) (გ) ძალების ჯამი.

ამ პრინციპის შესაბამისად ძალები გამონამუშევრით დასუსტებულ მასივში (ნახ. 3 ა) შეიძლება განვიხილოთ როგორც საწყისი (ნახ. 3 ბ) და დამატებითი (მოხსნადი) ძალების (ნახ. 3 გ) ჯამი.

ცნება მოხსნადი ძალები შემოღებულია ი. როდინის მიერ დაძაბულ მასივში გამონამუშევრის წარმოქმნის მოდელირების მიზნით. სინამდვილეში რას ნიშნავს გამონამუშევრის წარმოქმნა დაძაბულ სიბრტყეში? გამონამუშევრის წარმოქმნა გულისხმობს ხერელის კონტურიდან მასზე არსებული რადიალური და მხები ძალების მოხსნას, ვინაიდან ხერელის კონტური თავისუფალია ძალებისაგან.

დრეკად მოდელში ამ ოპერაციის განხორციელება შეიძლება ძალების საწყის ველზე უწონადო სიბრტყეში ხერელის კონტურზე მოქმედი მოხსნადი ძალების დამატებით. ცხადია, რომ მოხსნადი ძალები სიდიდით ტოლია საწყისისა და საწინააღმდეგოა ნიშნით. ე. ი. გამონამუშევრის გაყვანის შედეგად მასივში წარმოქმნილ დეფორმაციებს და გადაადგილებებს იწვევს მოხსნადი ძალები.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, შიგა კონტურის რადიალური გადაადგილებისათვის შეიძლება ჩაიწეროს:

$$U_0 = \frac{1+\mu}{E} R_0 (\sigma_n - \sigma_1) \quad (5)$$

სადაც σ_1 – მოხსნადი დაბეჭობა.

ამოცანის მოცულობითი ხასიათის გათვალისწინების მიზნით საჭიროა (3) და (5) განტოლებებში შემავალი სიდიდეები გავამრავლოთ სანგრევის გავლენის რომელიმე ფუნქციაზე (ნახ. 3), რომელთაც აქვთ შემდეგი საერთო სახე:

$$f(x) = (1 - e^{-n/2R_0}) \quad (6)$$

სადაც n – ექსპონენტის კოეფიციენტი;

l – მანძილია სანგრევის სიბრტყიდან მასივის გამოსაკვლევ წერტილამდე;

R_0 – გამონამუშევრის რადიუსია.

განსაკუთრებით აღსანიშნავია, რომ ამჟამად არსებული სანგრევის ფუნქციის გამოყენების ხერხები საშუალებას იძლევა განისაზღვროს სამაგრზე მოსული საბოლოო დატვირთვები, მაგრამ მათი საშუალებით შეუძლებელია დავადგინოთ სანგრევის წინსვლაზე დამოკიდებული სამაგრის დატვირთვის პროცესი.

ამ პროცესის დადგენა სისტემის “მასივი – სამაგრი” მუშაობის ძალიან მნიშვნელოვანი ფაქტორია, ამიტომ ჩვენს მათემატიკური მოდელირებისას მასივის მახასიათებელში შევიყვანეთ ორი ფუნქცია, რომელთაგანაც ერთი გამოსახავს მასივის გადაადგილებას, გამოწვეულს გარეგანი დატვირთვებით, მეორე კი ასახავს სამაგრის რეაქციით გამოწვეულ მასივის გადაადგილებას.

კონსტრუქციაზე მოსული გარე რადიალური დატვირთვა შეიძლება დადგინდეს თხელკედლიანი რგოლის რადიალური გადაადგილების განმსაზღვრელი

$$U = \frac{\sigma_l R_0^2}{E'_{\text{საგ}} \cdot d} \quad (7)$$

სადაც σ_1 – კონსტრუქციაზე მოქმედი გარე რადიალური დატვირთვა;

E – მუდმივი სამაგრის დაყვანილი დრეკადობის მოდულია,

$$E'_{\text{საგ}} = \frac{E_{\text{საგ}}}{1 - \mu_{\text{საგ}}^2} \quad (8)$$

(7)-ე განტოლების (2)-ე განტოლებასთან ერთობლივი ამოხსნით, ამ უკანასკნელში შემავალი სიდიდეების მნიშვნელობის მხედველობაში მიღებით და ამოცანის სივრცითი ხასიათის გათვალისწინებით მიღებული შედეგის გამრავლებით სანგრევის გავლენის ფუნქციაზე მივიღებთ:

– პროფ. თ. ჭურაძისა და ვ. თარხნიშვილის სანგრევის ფუნქციის გამოყენების შემთხვევაში (ნახ. 1)

$$\sigma_1 = \frac{2\gamma H(0,55e^{-nl_1/R_0})d}{(2R-d)(1-\nu) + 2d(1-0,55e^{-nl/R_0})} \quad (9)$$

– მ. ბაუდენდისტელის სანგრევის გავლენის ფუნქციის გამოყენების შემთხვევაში (ნახ. 1)

$$\sigma_1 = \frac{2\gamma H[(1-0,64e^{-1,75l_1/R_0}) - (1-0,64e^{-1,75l/R_0})]d}{(2R-d)(1-\nu) + 2d[1 - (1-0,64e^{-1,75l/R_0})]} \quad (10)$$

ცნობილია, რომ სამაგრის კვეთში მოქმედი მღუნავი მომენტი შემდეგ კავშირშია რგოლის ღერძის გადაადგილებასთან [4]:

$$\frac{d^2U_\rho}{d\varphi^2} + U_\rho = -\frac{M\rho^2}{E_{\text{ბაგ}}I_{\text{ბაგ}}} \quad (11)$$

სადაც U_ρ – რგოლის ღერძის დეფორმაციაა;

φ – კუთხე რადიუს-ვექტორსა და სამაგრის ვერტიკალურ ღერძს შორის;

ρ – რგოლის ღერძის რადიუსი.

(7)-ე ფორმულის შესაბამისი გარდაქმნის საფუძველზე, რაც მოცემულია სტატიის ერთ-ერთი ავტორის ნაშრომში, მიღებულია მღუნავი მომენტებისა და ნორმალური ძალების განმსაზღვრელი შემდეგი ფორმულა:

მღუნავი მომენტისათვის

$$M = \frac{-2[(2-\lambda)\sin^2\varphi - (1+2\lambda)\cos^2\varphi]E_{\text{ბაგ}}I_{\text{ბაგ}}(1-\nu_{\text{ბაგ}}^2)(1+\nu_{\text{ბაგ}})R_0\gamma H}{\rho(1-\nu_{\text{ბაგ}}^2)R_0E_{\text{ბაგ}} + (1+\nu_{\text{ბაგ}}^2)E_{\text{ბაგ}}d(1-0,64e^{-1,75H/R_0})} \times \\ \times [(1-0,64e^{-1,75l_1/R_0})(1-0,64e^{-1,75l/R_0})] \quad (12)$$

ნორმალური ძალისათვის

– თ. ჭურაძე – ვ. თარხნიშვილის ფუნქციის გამოყენებით

$$N = \sigma_1\rho = \frac{E_{\text{ბაგ}}d\rho\gamma H(\cos^2\varphi + \lambda\sin^2\varphi)(1+\nu_{\text{ბაგ}})(0,55e^{-nl_1/R_0} - 0,55e^{-nl/R_0})}{(1-\nu_{\text{ბაგ}})R_0E_{\text{ბაგ}} + (1+\nu_{\text{ბაგ}})E_{\text{ბაგ}}d(1-0,55e^{-nl/R_0})} \quad (13)$$

– მ. ბაუდენდისტელის ფუნქციის გამოყენებით

$$N = \sigma_1\rho = \frac{E_{\text{ბაგ}}d\rho\gamma H(\cos^2\varphi + \lambda\sin^2\varphi)(1+\nu_{\text{ბაგ}})(0,55e^{-nl_1/R_0} - 0,55e^{-nl/R_0})}{(1-\nu_{\text{ბაგ}})R_0E_{\text{ბაგ}} + (1+\nu_{\text{ბაგ}})E_{\text{ბაგ}}d[1 - (1-0,64e^{-1,75l/R_0})]} \times \\ \times [(1-0,64e^{-1,75l_1/R_0}) - (1-0,64e^{-1,75l/R_0})] \quad (14)$$

ქვემოთ მოყვანილია გაანგარიშების მაგალითი ჩვენს მიერ დამუშავებული მეთოდის მიხედვით.

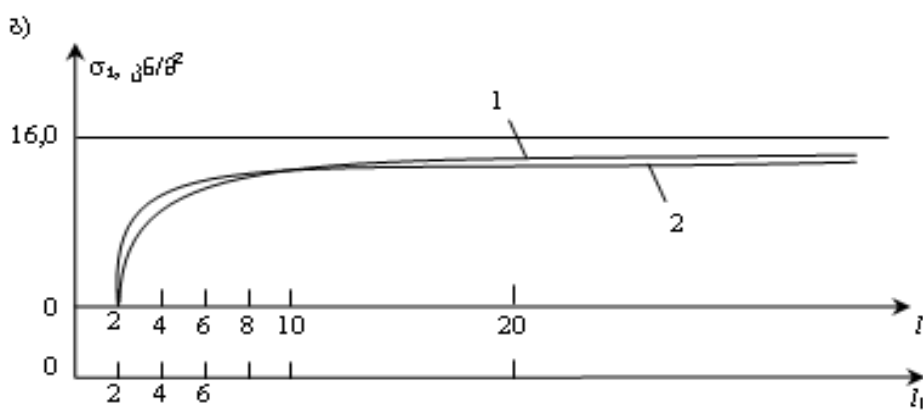
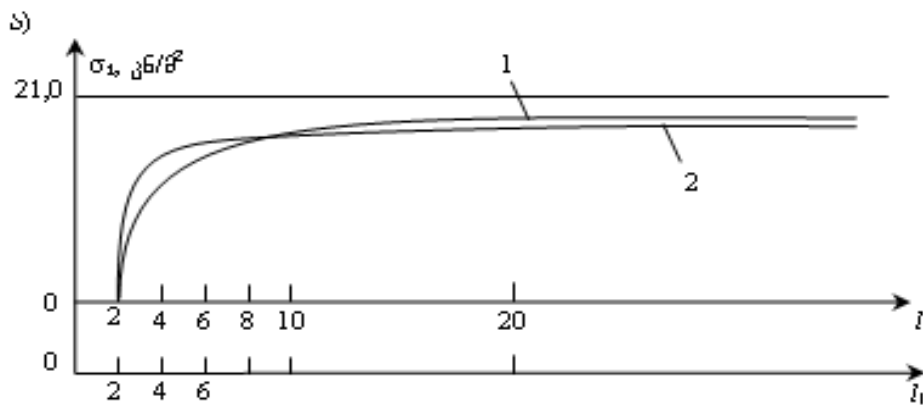
საწყისი მონაცემებია:

გვირაბის შიგა და გარე დიამეტრი პირობითად მივიღოთ ერთმანეთის ტოლი $D=7,5$ მ; მუდმივი სამაგრის მასალის დრეკადობის მოდული $E_{საგ}=2,65 \cdot 10^7$ კნ/მ²; მუდმივი სამაგრის მასალის პუასონის კოეფიციენტი $\mu_{საგ}=0,25$; მუდმივი სამაგრის მასალის მოცულობითი წონა $\gamma_{საგ}=24$ კნ/მ³; ქანის მასივი – ბუნებრივი ტენიანობის თიხოვანი ფიქალები; მასივის ქანების პუასონის კოეფიციენტი $\mu_{მას}=0,2$; მასივის ქანების მოცულობითი წონა $\gamma_{მას}=20$ კნ/მ³; გვირაბის ჩაღრმავება $H=30$ მ.

მანძილები სანგრევის შუბლიდან საანგარიშო კვეთამდე (l) და სანგრევის შუბლიდან სტატიკურ მუშაობაში კვეთის ჩართვამდე (l_1) ცვალებადია.

ფორმულებით (8) და (9) სანგრევის გავლენის ზონაში განსაზღვრული მკუმშავი ძაბვების ცვლის ამსახველი მრუდები l_1 მანძილის სხვადასხვა სიდიდეებისათვის წარმოდგენილია 4 ნახაზზე.

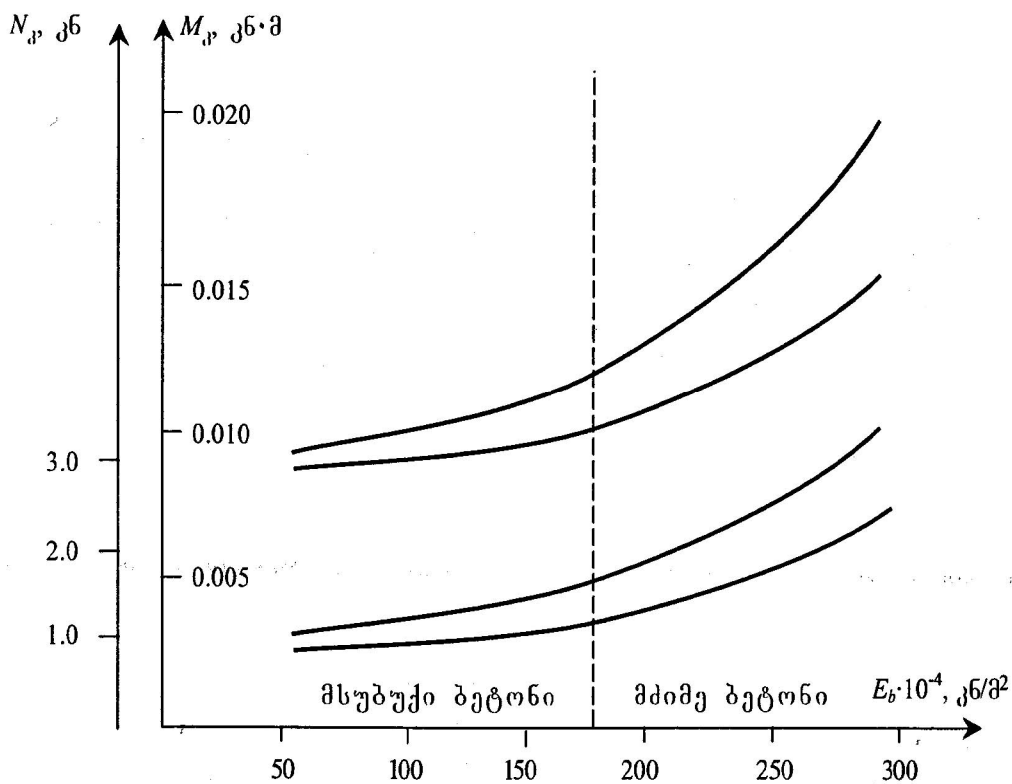
ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევების შედეგებით, რაც წარმოდგენილია მე-4 ნახაზზე, ისე როგორც ნატურული და სმმ-ით ჩატარებული კვლევები, თვალნათლივ მოწმობენ, რომ სანგრევის გავლენა სამაგრის დატვირთვის პროცესზე ვრცელდება (2-3)D მანძილზე. შემდგომში ხდება დატვირთვის პროცესის სტაბილიზაცია.



ნახ. 4. დამოკიდებულება სანგრევის გავლენის ზონაში სამაგრის დატვირთვის პროცესსა და სანგრევის წინსვლას შორის:

ა) როცა $l=0; l_1=2,0$ მ; ბ) როცა $l=0; l_1=40$ მ

აღნიშნული მოწმობს მიღებული შედეგების კრებადობას. მე-5 ნახაზი ცხადყოფს, რომ მუდმივი სამაგრის დრეკადობის მოდული ($E_{საშ}$) დიდ გავლენას ახდენს მდუნავი მომენტების და ნორმალური ძალების მნიშვნელობაზე. ასე მაგალითად, დრეკადობის მოდულის ზრდისას მძიმე ბეტონის შემთხვევაში მდუნავი მომენტების და ნორმალური ძალის მნიშვნელობები მკვეთრად იცვლება, მაშინ როდესაც მსუბუქი ბეტონის შემთხვევაში ეს ცვალებადობა უმნიშვნელოა.

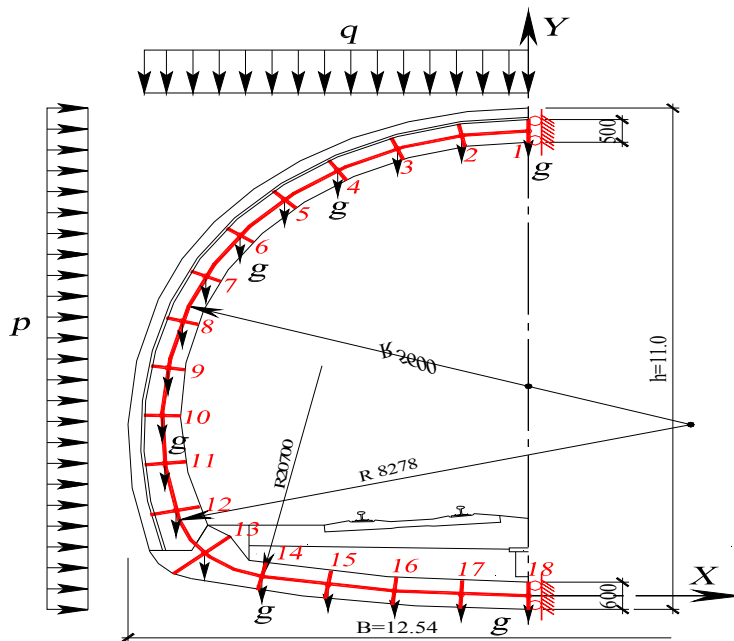


ნახ. 5. მღუნავი მომენტების და ნორმალური ძალების დამოკიდებულება ბეტონის დრეკადობის მოდულზე 1- თ. ჭურაძის და ვ. თარხნიშვილის, 2- ბაუდენდისტელის მიერ მიღებული სანგრევის ფუნქციის გამოყენების შემთხვევაში.

რაც იმას მოწმობს, რომ უფრო რაციონალურია გვირახის მუდმივი სამაგრებისათვის მსუბუქი ბეტონის გამოყენება, რომლებსაც ერთსა და იგივე სიმტკიცის მნიშვნელობებისათვის გააჩნიათ დრეკადობის მოდულის ($E_{საგ}$) უფრო დაბალი მნიშვნელობა და აქედან გამომდინარე, მღუნავი მომენტების (M) და ნორმალური ძალების (N) ნაკლები მნიშვნელობები. მიღებული თეორიული შედეგები დასტურდება სატრანსპორტო გვირახების ნატურული გამოკვლევებით მიღებული სხვადასხვა ავტორის მიერ.

მაშასადამე თეორიულად მტკიცდება სატრანსპორტო გვირახების მუდმივ სამაგრებში დაბალმოდულიანი ბეტონის გამოყენების ხელსაყრელობა ნაცვლად მძიმისა და, კერძოდ, ისეთი მსუბუქი კონსტრუქციის გამოყენება, რომლის დრეკადობის მოდული საშუალოდ შეადგენს მძიმე ბეტონის დრეკადობის მოდულის 50-70%-ს.

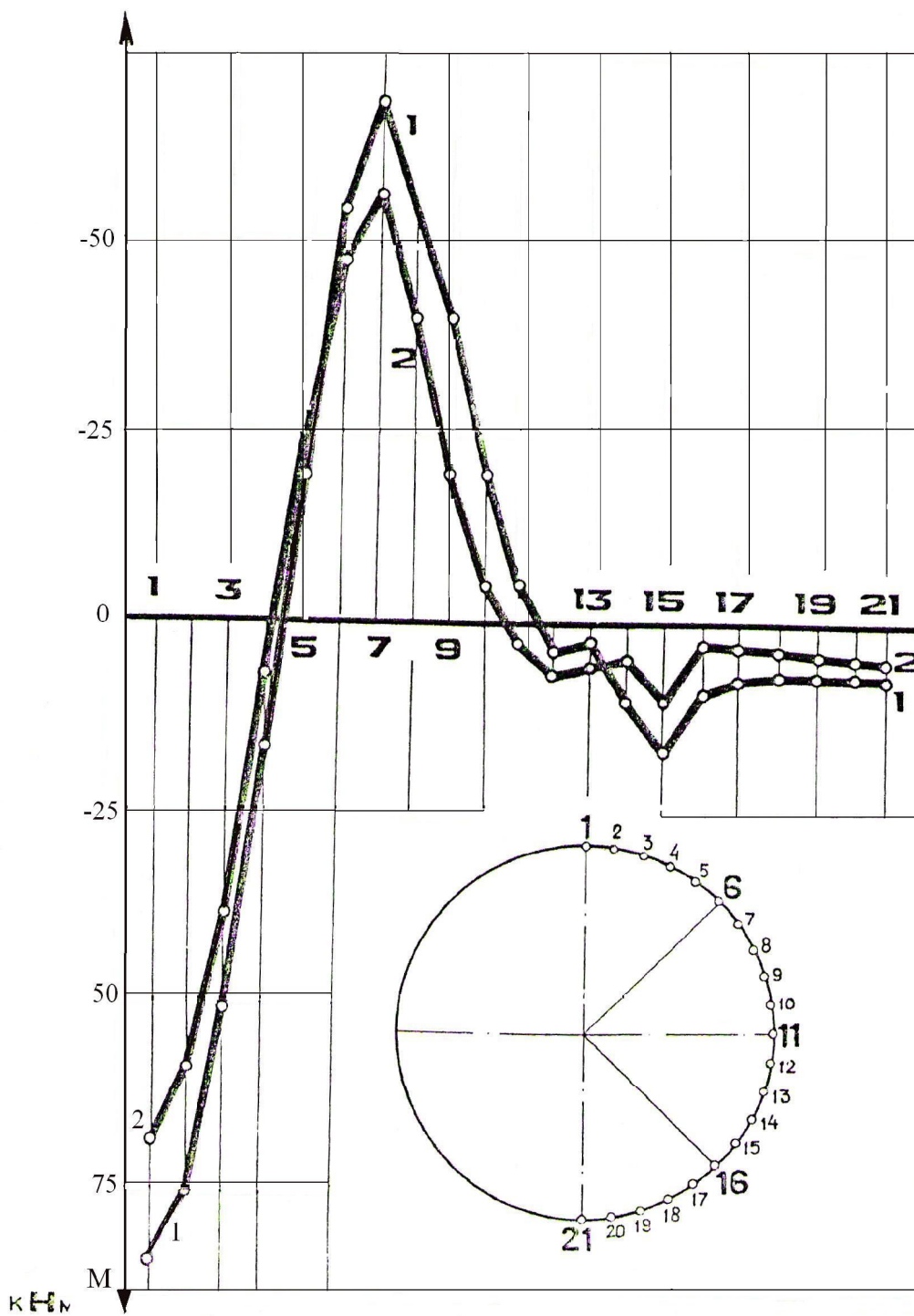
სატრანსპორტო გვირაბის, ერთლიანდაგიანი, ორლიანდაგიანი რკინიგზის გვირაბის სამაგრის სტატიკური გაანგარიშებები (ნახ. 6) წარმოდგენილი სქემებით აღასტურებენ, რომ ძალების ცვალებადობის მახასიათებლები ორივე შემთხვევისათვის არის ანალოგიური. თუმცა პირველ შემთხვევაში მიღებული მომენტები მნიშვნელოვნად დიდია, ვიდრე მეორე შემთხვევაში. კლიტის კვეთში ეს სხვაობა 18,1 %-ია. ნორმალური ძალები კი მცირედ განსხვავდებიან, მაგრამ დრეკადობის მოდულის შემთხვევაში სხვაობა შედარებით მაღალია.



ნახ. 6 სამაგრის საანგარიშო სქემა

სტატიკური გაანგარიშების ძირითადი შედეგები გრაფიკის სახით მოცემულია ნახაზებზე 7-10. სადაც ნაჩვენებია მდუნავი მომენტის, ნორმალური ძალების და მათი ექსცენტრისიტეტების ცვალებადობის გრაფიკები კლიტის კვეთისთვის ბეტონის სხვადასხვა სიდიდის დრეკადობის მოდულისათვის 10 სმ.

ამ გრაფიკებიდან ვასკვნიტ რომ კლიტის კვეთში სამაგრის მასალის დრეკადობის მოდულის ცვალებადობის მიხედვით იცვლება როგორც მდუნავი მომენტის, ისე ნორმალური ძალების სიდიდეები. ეს ცვალებადობა კანონზომიერი ხასიათისაა. კერძოდ დრეკადობის მოდულის შემცირება იწვევს მდუნავი მომენტის სიდიდის შემცირებას, ხოლო ნორმალური ძალები კი პირი-



ნახ. 7 ერთლიანდავიანი წრიული სამაგრის სისტით $h=50$ სმ, მღუნავი მომენტების ეპიურა ქანში სიმაგრის კოეფიციენტით -2 .

I- მრუდი მძიმე ბეტონის დროს;

II - მრუდი მსუბუქი ბეტონის დროს

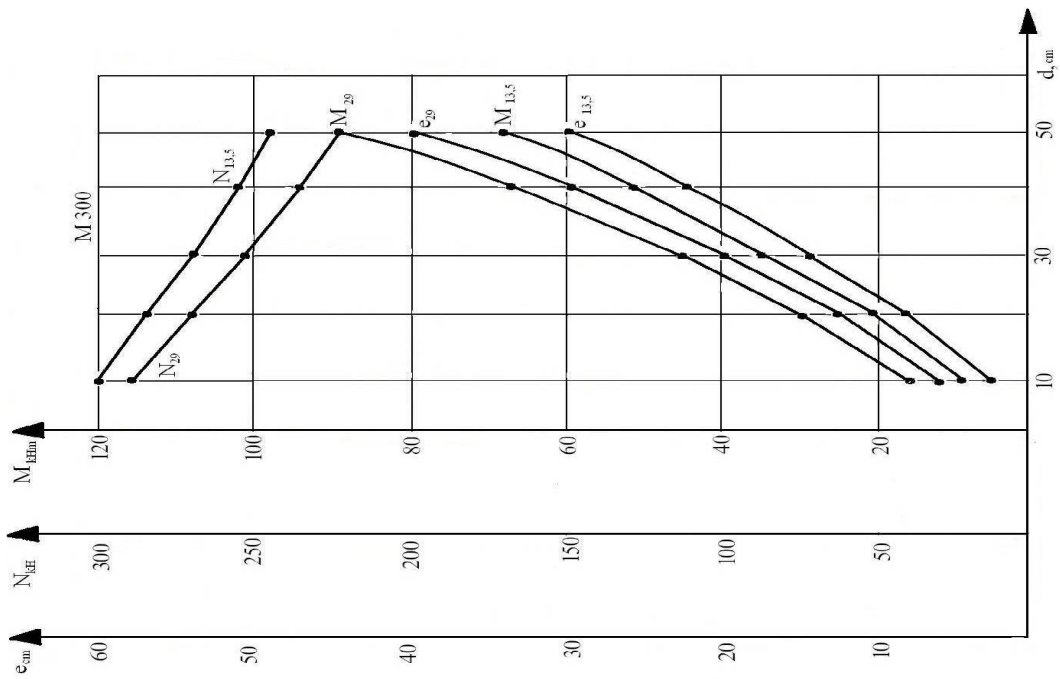
ქით იზრდება. საყურადღებოა ის ფაქტი რომ მღუნავი მომენტის სიდიდის შემცირებას თან სდევს ნორმალური ძალების ზრდა. ეს კი ადასტურებს იმას, რომ საგვირაბო სამაგრის მუშაობის პირობები უმჯობესდება. ექსცენტრისიტეტების სიდიდეები უფრო მაღალი ხარისხით მცირდება ვიდრე მღუნავი მომენტები. არაცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე საგვირაბო სამაგრის მასალის დრეკადობის მოდულის შემცირება აუმჯობესებს მისი მუშაობის პირობებს. იგი უმჯობესდება უფრო მეტად, რაც უფრო მცირდება დრეკადობის მოდულის სიდიდე. მიღებული შედეგების ანალიზმა დაგვანახა, რაც მეტია სამაგრის კედლის სისქე უფრო მნიშვნელოვანია ეს დამოკიდებულება. თუ კი 10 სმ სისქის სამაგრში მღუნავი მომენტის სიდიდე მცირდება 15 %-ით ნორმალური ძალის სიდიდე იზრდება 1 %. ხოლო ექსცენტრისიტეტი მცირდება 16 %-ით, 50 სმ სისქის კედლიან სამაგრში ეს ცვლილებები შეადგენენ შესაბამისად 33 %, 10 % და 46 %-ს.

სტატიკური გაანგარიშების შედეგების ანალიზით შეგვიძლია ვიმსჯელოთ გარემომცველი ქანების დაძაბულობის მდგომარეობაზე სამაგრის სხვადასხვა სიხისტის დროს. ნახ. 8-ზე ნაჩვენებია ქანის უკუბჯენის სიდიდის სამაგრის ბეტონის დრეკადობის მოდულზე დამოკიდებულების გრაფიკები სხვადასხვა სისქის სამაგრებისათვის. ეს გრაფიკები აგებულია სამაგრის სხვადასხვა სიმაღლის წერტილებისათვის. წერტილი 6 მდებარეობს ვერტიკალიდან 45⁰ ის მიმართულებით, წერტილი 7 – 54⁰ იანი მიმართულებით, ხოლო წერტილი 8 კი 68⁰ კუთხის მიმართულებით. მოცემული შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს რომ, სამაგრის სიხისტის შემცირებით მნიშვნელოვნად იცვლება გრუნტის უკუბჯენის სიდიდეც, იცვლება გრუნტის უკუბჯენის ზონის სიდიდეც. სამაგრის სისქის შემცირებით იზრდება გრუნტის ურთიერთქმედების ზონის სიდიდე. სამაგრის 10 სმ-ის სისქის შემთხვევაში გრუნტის უკუბჯენის ზონა ვრცელდება „6“ წერტილზე ზევით, მაშინ როდესაც 50 სმ-სისქის შემთხვევაში ეს ზონა ძლივს აღწევს „7“ წერტილამდე გავრცელებას. სამაგრის სისქის შემცირებით უკუბჯენა მნიშვნელოვნად იზრდება. სამაგრის 10 სმ სისქის შემთხვევაში უკუბჯენა ვრცელდება 8 წერტილამდე, თითქმის 2-ჯერ მეტად ვიდრე 50 სმ სისქის შემთხვევისას. გრუნტის უკუბჯენის სიდიდე იცვლება ასევე დრეკადობის მოდულის სიდიდის მიხედვითაც. სამაგრის 20 სმ-იანი სისქის შემთხვევაში დრეკადობის მოდულის შემცირებით „7“ წერტილში გრუნტის უკუბჯენა გაიზარდა 38 %-ით,

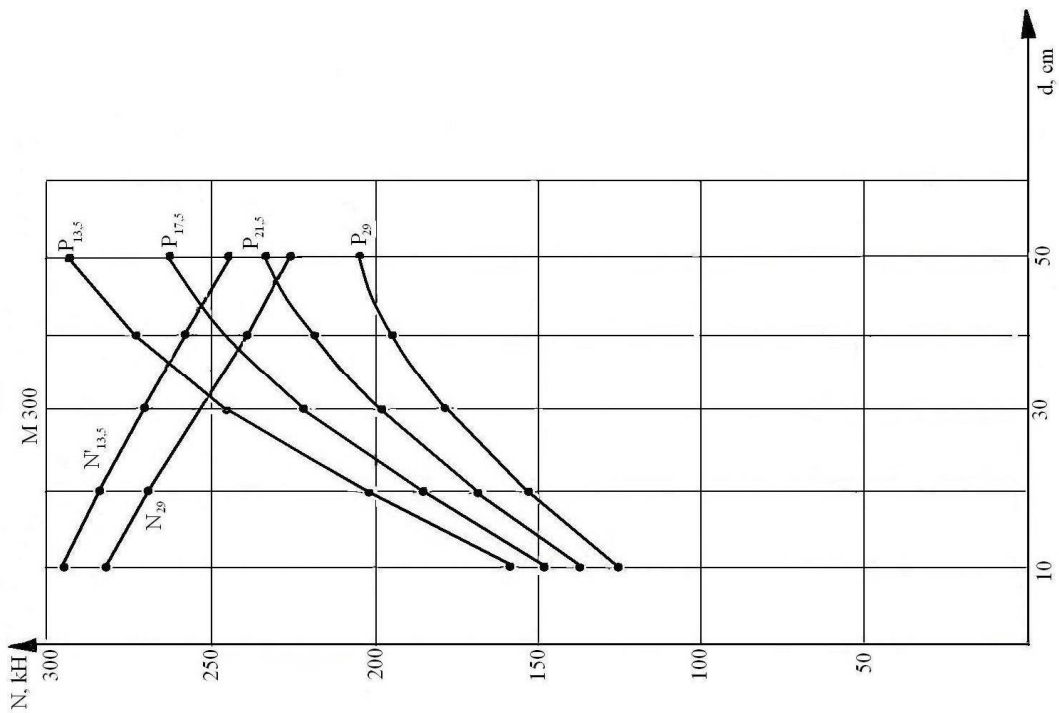
ხოლო „8” წერტილში – 20 %-ით. 40 სმ სისქის სამაგრში კი „7” და „8” წერტილებში შესაბამისად იზრდება 89 %-ით და 38 %-ით.

ასე რომ, დიდი სისქის სამაგრების შემთხვევაში მსუბუქი ბეტონის გამოყენება საკმაოდ ეფექტურია. მოცემული შედეგები ადასტურებს რომ გვირაბის სამაგრის სისისტის შემცირება მნიშვნელოვნად ზრდის გრუნტის ურთიერთქმედების ზონის და შესაბამის უკუბჯენის სიდიდეს. ადრე ვაჩვენეთ რომ სისისტის შემცირებით მღუნავი მომენტები მცირდება, ხოლო ნორმალური ძალების სიდიდე იზრდება და შესაბამისად უმჯობესდება სისტემა „სამაგრი – გრუნტი”, ამავდროულად მცირდება სამაგრის დაძაბულობის ხარისხი და იზრდება გრუნტის უკუბჯენაც, რაც იწვევს სამაგრის ირგვლივ გარემოს როლის გაზრდას სისტემაში „სამაგრი – გრუნტი”.

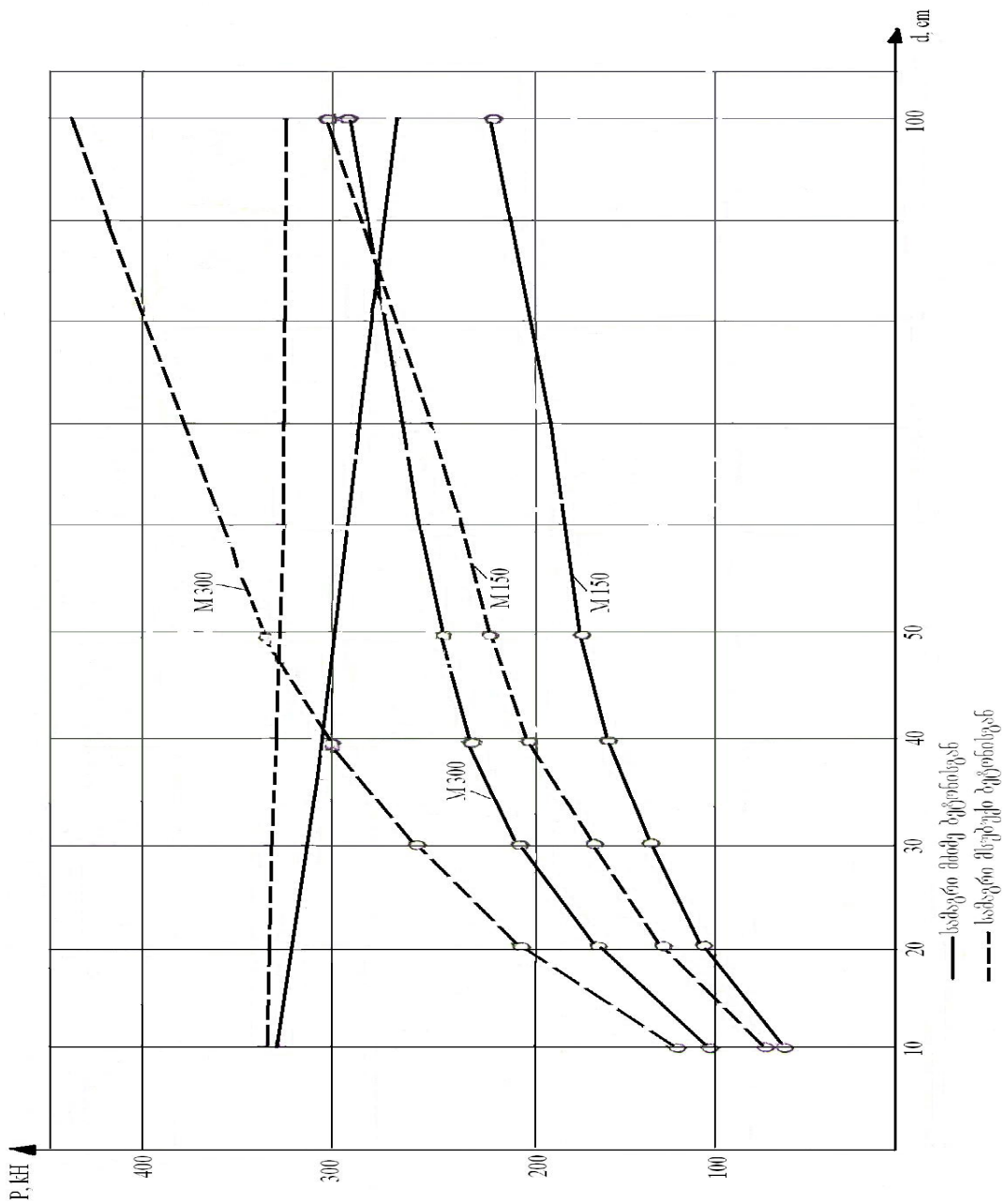
ნახ. 8 და ნახ. 9-ზე ნაჩვენებია მღუნავი მომენტების და მათი ექსცენტრი-სიტეტების ცვლილების გრაფიკები. ეს გრაფიკები და სხვა სახის გაანგარიშებები ნათლად ადასტურებენ შემდეგს: მსუბუქი ბეტონი მარკით 150 – სამაგრის სიქით 50 სმ, საშუალო სიმკვრივით 1400 კგ/სმ³ (198 კნ) უფრო მეტი აქვს მზიდუნარიანობა, ვიდრე იგივე სამაგრს მძიმე ბეტონისგან დამზადებულს მარკით – 300/195. 200 – მარკის მსუბუქი ბეტონის 10 სმ იანი და 20 სმ სისქის სამაგრს და 300 მარკის მძიმე ბეტონის სამაგრს ერთიდაიგივე მზიდუნარიანობის მახასიათებლები აქვთ. M 200 სამაგრის 30-40 სმ სისქის შემთხვევაში მსუბუქი ბეტონის სამაგრი უფრო მზიდუნარიანია ვიდრე, იგივე 300 მარკის მძიმე ბეტონისგან დამზადებული, შესაბამისად 5 % და 12 %-ით. 50 სმ სისქის შემთხვევაში ეს უპირატესობა 17 %-ს აღემატება. შედეგების ანალიზით დასტურდება რომ, სამაგრის სისქის ზრდისას უფრო იზრდება მსუბუქი ბეტონის გამოყენების ეფექტურობა და ამის ხარჯზე შესაძლებელი ხდება ბეტონის მარკის შემცირება, რაც მეტად მნიშვნელოვანია რთულ მიწისქვეშა სამუშაოების წარმოებისას, როცა ბეტონის მაღალი მარკის მიღწევა გართულებულია.



ნახ. 8 ძაღვების ცვლილების გრაფიკი წრიული მოხაზულობის გვირგვინის თაღის კლიტეში ქანებში სიმაგრის კოეფიციენტით $f=2$ კლიტის სისქის მიხედვით.



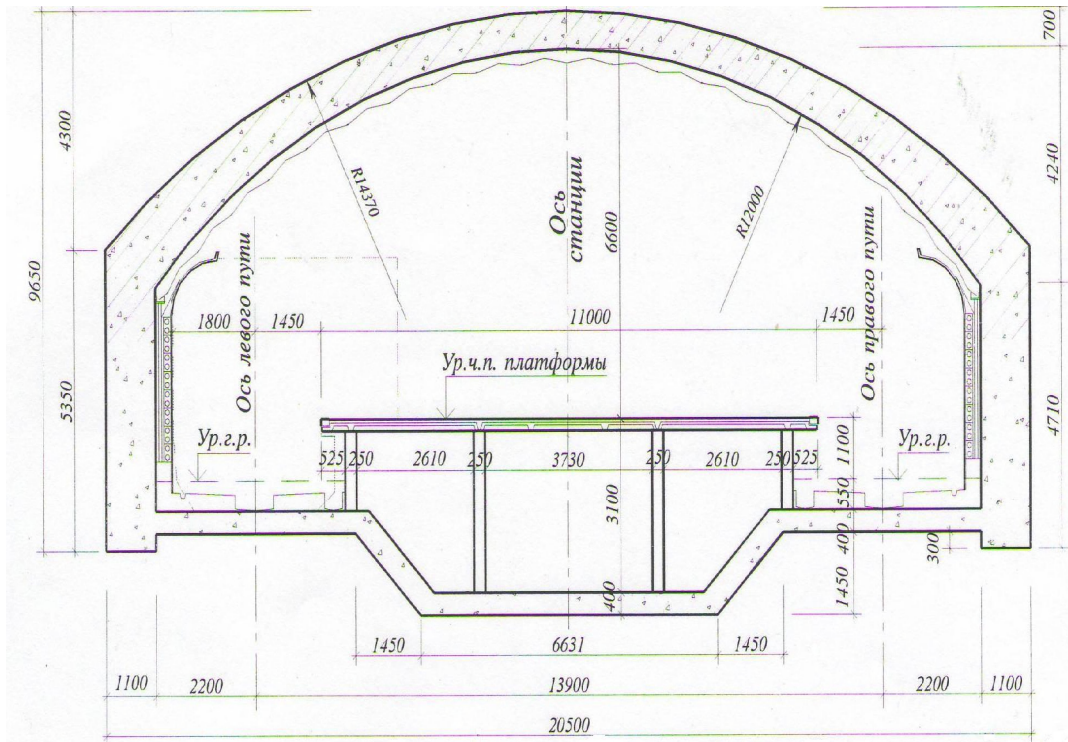
ნახ. 9 წრიული მოხაზულობის სამაგრის მდგრადობის შესაძლო გრაფიკი კლიტეში სიმაგრის კოეფიციენტით $f=2$. კლიტის სისქის მიხედვით



ნახ. 10 წრიული მოხაზულობის სამაგრის მდგრადობის შესაძლო გრაფიკი მძიმე და მსუბუქი ბეტონისათვის მარკით 150 და 300, გრუნტის სიმაგრის კოეფიციენტით $f=2$

დანაღეკ კლდოვან ქანებში მიწისქვეშა სივრცის ათვისებისას უმთავრესად გამოიყენება ერთთაღიანი კონსტრუქციები.

მეტროპოლიტენის ერთთაღიანი სადგური თბილისის პირობებში დაპროექტებული იყო ჯერ კიდევ 1967 წელს (სადგური 300 არაგველი). მაგრამ იგი მაშინ გარკვეული მიზეზებით არ იქნა განხორციელებული. თბილისში პირველი ერთთაღიანი სადგური აშენდა მოგვიანებით – პოლიტექნიკური ინსტიტუტი (ნახ. 11)

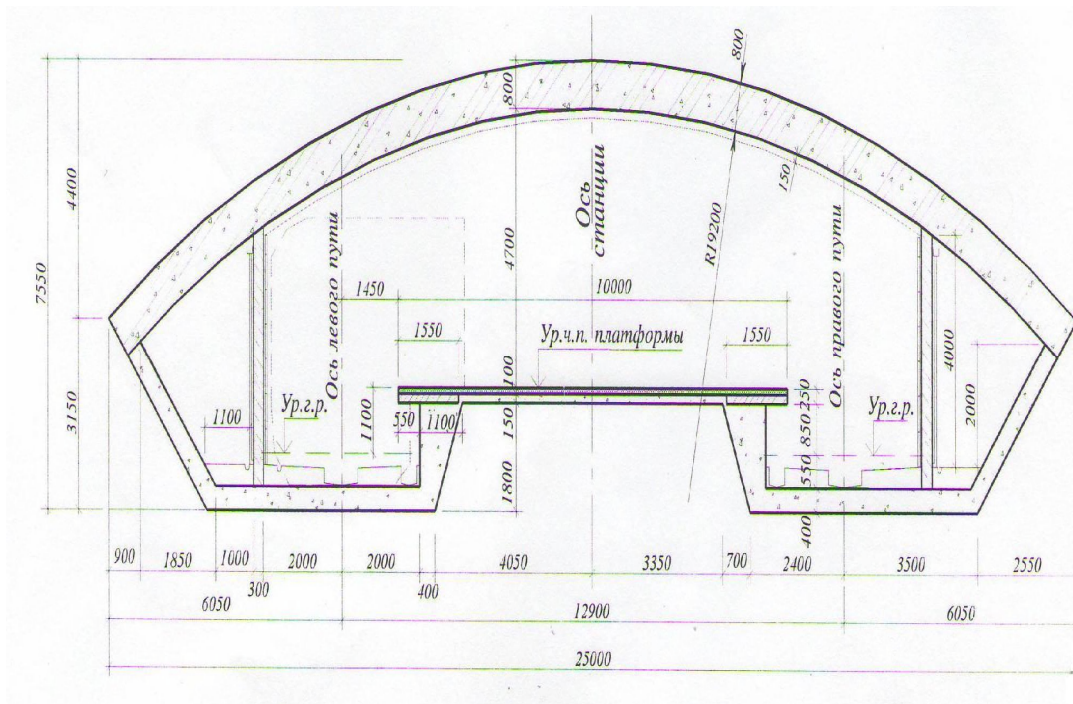


ნახ. 11. სადგური „პოლიტექნიკური ინსტიტუტის“ კონსტრუქცია

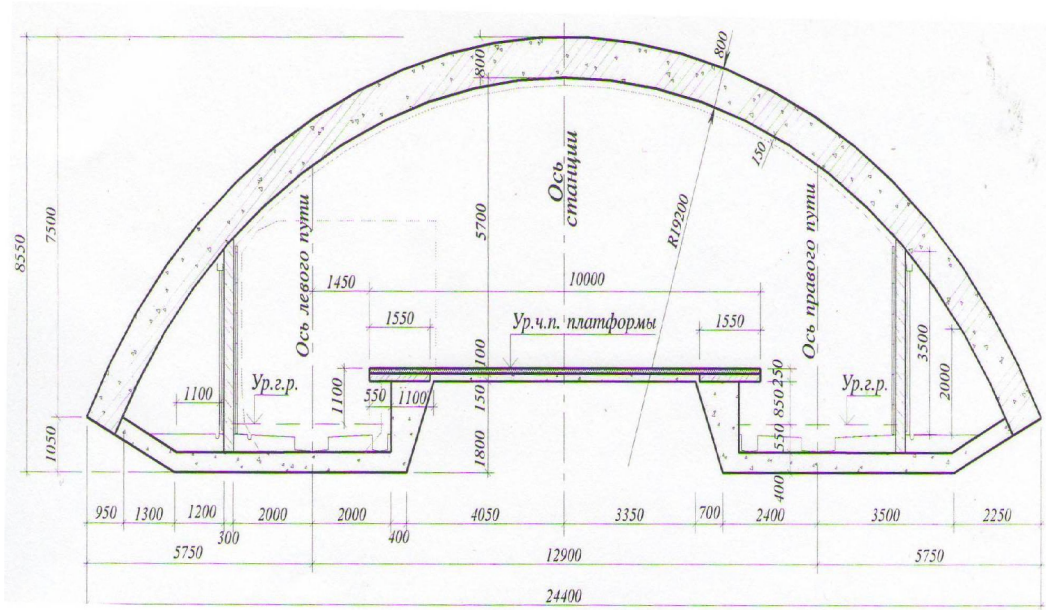
ამ სადგურის მშენებლობისას საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის ხიდებისა და გვირაბების კათედრის თანამშრომლების მიერ შეისწავლებოდა გვირაბის გაყვანის ტექნოლოგიის საკითხი სამთო წნევის ფორმირებაზე. ამ სადგურის წარმატებულმა მშენებლობამ და სანკვეტერბურგის რკინიგზის ტრანსპორტის ინსტიტუტის გვირაბების და მეტროპოლიტენების კათედრაზე ექვივალენტური მასალების მეთოდით მოდელირების შედეგებმა თვალნათლივ აჩვენა ქ. თბილისში ერთთაღიანი სადგურების შესაძლებლობა და მიზანშეწონილობა.

ვინაიდან მომავალში ქ. თბილისში განსაზღვრულია 4-5 დიდი ჩადრმაგების მეტროპოლიტენის და სხვა დანიშნულების მიწისქვეშა ნაგებობების ერთთაღიანი კონსტრუქციები, ჩვენს მიერ გაანალიზებული იქნა ნახაზებზე 11-14 ერთთაღიანი კონსტრუქციების დაძაბული მდგომარეობა. ცხრილებში 1-2 გაანგარიშების

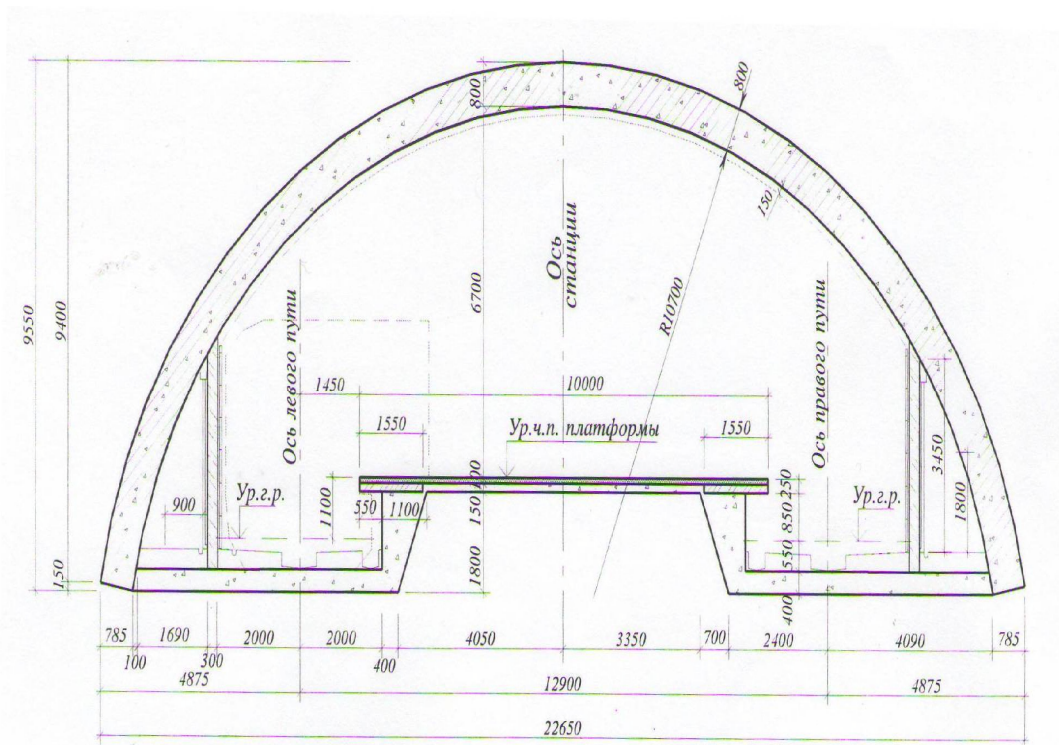
შედეგები მოწმობენ, რომ მცირე აწეულობის თაღის უშუალოდ ქანზე დაყრდნობილი კონსტრუქციების მდგომარეობა (ნახ. 12-14) ხელსაყრელად გამოირჩევა კედელზე დაყრდნობილი კონსტრუქციისაგან (ნახ. 11). მაგალითად ქანებში ქანის სიმაგრის კოეფიციენტით პროტოდიაკონოვის მიხედვით $f=3$ კლიტეში კვეთის სიმაღლით 80 სმ მღუნავი მომენტები იმდენად მცირეა, რომ ნორმალური ძალების მაქსიმალური ექცენტრისიტეტი არ აღემატება 12-1 სმ. ე. ი. ყველაზე დაძაბული კვეთებიც კი მუშაობს არაცენტრალურ კუმშვაზე მცირე ექსცენტრისიტეტით. 25 მ. მაღის არც ერთ კვეთში არ წარმოიშვება გამჭიმავი ძაბვები. ბეტონი მუშაობს მხოლოდ კუმშვაზე და თაღის ყველა კვეთი აკმაყოფილებს მზიდუნარიანობის მოთხოვნის პირობას. ამასთანავე შესაძლებელია თაღქვეშა გვერდითი ნაწილების სამსახურებრივი მიზნებისათვის გამოყენება.



ნახ. 12. სამაგრი ქანზე დაყრდნობილი თაღით (ვარიანტი 1)



ნახ. 13. სამგური ქანზე დაყრდნობილი თაღით (ვარიანტი 2)



ნახ. 14. სამგური ქანზე დაყრდნობილი თაღით (ვარიანტი 3)

ცხრილში 1 მოყვანილია მღუნავი მომენტების მნიშვნელობები ერთთაღიანი სადგურის სხვადასხვა კონსტრუქციული ფორმებისათვის. სტატიკური გაანგარიშებები შესრულებულია სამი სხვადასხვა მნიშვნელობის ქანის უკუბჯენის კოეფიციენტისთვის: სუსტ ბზაროვანი, საშუალო ბზაროვანი (ეს მნიშვნელობა შემცირებულია 25 %-ით) და ძლიერ ბზაროვანი.

ცხრილი 1

ქანის სახე	თაღში მაქსიმალური მღუნავი მომენტი, ტმ			
	კედლის სიმაღლე, მ			
	0	2,4	3,6	4,8
სუსტ ბზაროვანი	48,96	63,55	77,79	89,05
საშუალო ბზაროვანი	51,85	66,24	73,95	84,12
ძლიერ ბზაროვანი	56,94	68,3	78,3	86,79

საინტერესოა აღინიშნოს, რომ ქანების დეფორმირება უმნიშვნელო გავლენას ახდენს სამაგრის მზიდუნარიანობაზე (ცხრილი 2)

ცხრილი 2

ქანის სახე	მზიდუნარიანობა							
	კლიტეში				ქუსლში			
	კედლის სიმაღლე, მ				კედლის სიმაღლე, მ			
	0	2,4	3,6	4,8	0	2,4	3,6	4,8
სუსტ ბზაროვანი	480	454	450	444	600	454	430	133
საშუალო ბზაროვანი	477	453	446	440	602	463	438	149
ძლიერ ბზაროვანი	462	452	443	436	600	467	444	166

ჩატარებულმა თეორიული კვლევების შედეგებმა განაპირობა საქართველოში არსებული მსუბუქი შემავსებლების თვისებების გამოკვლევა მათი სატრანსპორტო გვირაბების სამაგრის მასალად გამოყენებისათვის.

გამოკვლეული იქნა მსუბუქი ბეტონი დამზადებული სადამოს საბადოს შემვსებზე, რომელიც ჯავახეთის მთიანეთის ყველაზე დიდი წიღური კონუსია საქართველოში. ვულკანური წიდეები წარმოდგენილია ორი ნაირსახეობით მურა-წითელით და მუქი-რუხი ფერით. შლაკების ორივე ნაირსახეობა გამოსადეგია შემავსებლად მსუბუქი ბეტონისათვის. ვულკანური შლაკი წარმოადგენს მოწითალო-მოყავისფრო, მუქი-რუხი და მოყვითალო-რუხი ფერების ფოროვანი სტრუქტურის გრანულოვან ლავას. ძირითადი მასა არის ვულკანური მინა შედებილი მოწითალო-წაბლისფერ ფერად განპიროვნებული რკინის უანგეულის მიერ, რომლებიც ნაწილობრივ ჩაკრისტალიზირებულია, იშვიათ შემთხვევაში კი ხასიათდებიან გამჭვირვალობით. შემადგენლობის მიხედვით ქანები მიეკუთვნებიან ანდეზიტ-ბაზალტის ფოროვან ნაირსახეობას. გამოკვლეული ვულკანური შლაკის ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში 3.

ცხრილი 3

ვულკანური წიდის ფიზიკო-მექანიკური თვისებები

წიდის დახასიათება	შემვსებლის სისქე, მმ		
	ქვიშა 0-5 მმ-ის სისქით	ღორღის სისქე, მმ	
		5-10	10-20
ფხვიერი სიმკვრივე, კგ/მ ³	1150	1005	980
ღორღის სიმტკიცე, მპა	–	6,7	5,7
მარცვალს შორის სიცარიელე, %	–	42	46
მასის მიხედვით წყალშთანთქვა, %	–	12	13

გამოკვლეული იქნა B15 და B25 კლასის მსუბუქი ბეტონები დამზადებული 400 მარკის პორტლანდცემენტზე. გამოკვლევების შედეგები მოცემულია ცხრილში 3. ნიმუშების ყველა სერიისათვის მზადდებოდა კუბები ზომით 15X15X15 სმ და პრიზმები 10X10X40 სმ და ძელები 4X4X16 სმ. დაბეტონება და დატკეპნა

მიტვირთვით ხორციელდებოდა ვიბრომაგიდაზე. ერთ დღეში განქარგილების შემდეგ ნიმუშების ნაწილი თავსდებოდა წყლით შევსებულ აბაზანაში, ნაწილი კი ლაბორატორიულ შენობაში და გამოიცდებოდა ერთთვიან და ექვსთვიან ასაკში.

ცხრილი 4

მსუბუქი ბეტონის შემადგენლობა

სერია	ბეტონის კლასი	1 მ ³ ბეტონის შემადგენლობა, კგ				წყალი
		ცემენტი	სილა სისქით 0-5 მმ	ღორღი სისქით, მმ		
				5-10	10-20	
I	B15	255	660	335	435	235
II	B25	410	550	320	485	270

ჰაერზე გამშრალი ნიმუშების დეფორმაცია განისაზღვრებოდა 50 მმ წინაღობის ბაზის მქონე გადამწოდებით, ხოლო წყალში შენახულებისათვის – ტენზომეტრებით 100 მმ ბაზით.

ბეტონის სიმტკიცის და საშუალო სიმკვრივის მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილში 5. აქ მოყვანილი შედეგებიდან ჩანს, რომ ჰაერზე გამშრალი და წყალში მოთავსებული 28 დღის ასაკის ნიმუშების სიმტკიცე თითქმის არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან, მაგრამ 180 დღის განმავლობაში ყველა შემთხვევისთვის ადგილი აქვს ბეტონის სიმტკიცის ზრდას. ბეტონის დრეკადობის მოდელი 28 დღის განმავლობაში არის დამოკიდებული ნიმუშების შენახვის პირობებზე. ანალოგიური სურათია 180 დღის ასაკის ბეტონის ნიმუშებისათვის.

მსუბუქი ბეტონის სიმტკიცისა და დეფორმირებადობის
მახასიათებლები

სერია	შენახვა	ბეტონის ასაკი დღე	γ_b ტ/მ ³	R მპა	R _b მპა	R _{bt} მპა	R _b ·10 ⁻³ მპა
I	ჰაერზე გამშრალი	28	1,72	21,3	16,1	1,22	12,9
		180	1,76	23,6	18,3	1,45	13,1
	წყალში	28	1,73	20,9	16,1	2,24	12,6
		180	1,75	22,8	18,3	1,26	12,8
II	ჰაერზე გამშრალი	28	1,80	31,1	25,2	1,88	14,9
		180	1,83	33,9	27,3	2,06	15,1
	წყალში	28	1,84	29,3	23,7	1,85	14,8
		180	1,86	35,1	28,6	2,10	15,2

ცემენტ-ქვიშის სატამპონაჟო ხსნარების შედარებითი კოროზიული მედეგობის განსასაზღვრავად სულფატურ გარემოში დამზადებული იქნა 1X1X2სმ ზომის ნიმუშები. გამოყენებული იქნა კასპის პუცოლანური ცემენტი, საღამოს კარიერის ვულკანური წიდა და კვარცოვანი ქვიშა. რის შემდეგაც ნიმუშები 6 თვის განმავლობაში ინახებოდა Na₂SO₄ 10 %-იან ხსნარში და მტკნარ წყალში. ამის შემდეგ განისაზღვრებოდა კოროზიული მედეგობის კოეფიციენტი K_{C6}, რომელიც მოცემულია ცხრილში 6.

ვულკანურ წიდაზე და კვარცოვან სილაზე ცემენტ-ქვიშის ხსნარის შედარებითი კოროზიული მედეგობის გამოკვლევამ გვაჩვენა, კოროზიული მედეგობის კოეფიციენტი თითქმის არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ე. ი. მიწისქვეშა მშენებლობაში სულფატური აგრესიის გარემოში შესაძლებელია გამოვიყენოთ საღამოს კარიერის ვულკანური წიდის მსუბუქი შემკვები.

სერიების მიხედვით წყალშთანთქვამ შეადგინა: I – 1-6%; II – 5-6%.

ბეტონის წყალშედწევადობის ხარისხი შეფასებული იქნა ფილტრაციის კოეფიციენტის საშუალებით შემდეგი ფორმულის გამოყენებით:

$$K_{\text{ფ}} = \frac{Q}{F_{\sigma}(H/R)t} \quad (8)$$

სადაც $Q - t$ დროში სმ³ ბეტონში გაფილტრული წყალია; H - წყლის წნევა, სმ; R - ნიმუშის სიმაღლე, სმ; F_{σ} - ნიმუშის განივი კვეთის ფართი, სმ².

ცხრილი 6

**კვარციანი სილისა და ვულკანურ წიდაზე დამზადებული ქვიშა-ცემენტის
ხსნარის შედარებითი კოროზიული მედეგობა**

ხსნარის დასახელება	ნიმუშების სიმტკიცე ღუნვაზე			K _{C6}
	მტკნარ წყალში		10 %-იანი ხსნარი	
	28 დღე	6 თვე	6 თვე	
კასპის პუცოლანური პორტლანდ-ცემენტი+კვარციანი სილა	5,3	6,4	6,2	0,99
კასპის პუცოლანური პორტლანდ-ცემენტი+ვულკანური წიდა	4,6	5,7	5,4	0,96

ფილტრაციის კოეფიციენტის გასაშუალებელი მნიშვნელობები I და II სერიისათვის და აგრეთვე შედარებისათვის მოყვანილი სხვა ავტორების მონაცემები მოცემულია ნახ. 13-ზე.

როგორც ნახაზიდან ჩანს შესწავლილი მსუბუქი ბეტონები წყალშედწვეადობის მიმართებაში აკმაყოფილებენ ჰიდროტექნიკური ბეტონის მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს, სადაც $K_{\text{ფ}}$ იმყოფება $1 \cdot 10^7 - 10^{11}$ ფარგლებში.

ჩატარებული ცდებით დადგინდა, რომ გამოკვლეული მსუბუქი ბეტონები დამზადებული ბუნებრივ ფოროვან შემცსების გამოყენებით აკმაყოფილებენ ნორმატიულ მოთხოვნებს

დასკვნები.

ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად გაკეთებულია შემდეგი ძირითადი დასკვნები:

1. ბუნებრივ ფოროვან შემცსებზე დამზადებული ბეტონის გამოყენება რეკომენდირებულია მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა ნაგებობებში (სადგურები,

გადასარბენი გვირაბები და სხვა), რკინიგზის, ავტოგზის და სხვა სატრანსპორტო გვირაბებში პირველ რიგში იმ რეგიონებში, რომლებსაც გააჩნიათ კონსტრუქციული ბეტონისათვის გამოსაყენებელი ფოროვანი სამთო ქანების საბადოები. მათი გამოყენება მიზანშეწონილია მონოლითურ სამაგრებში, რომლებშიც დაუშვებელია ბზარების წარმოშობა, როცა გვირაბი განლაგებულია დაწყლოვანებულ სამთო მასივში.

ბუნებრივი ფოროვანი მასალების გამოყენებით ბეტონის მუდმივი სამაგრის ეფექტურობა იზრდება გვირაბის სუსტ ქანებში გაყვანის შემთხვევაში განივი კვეთის ზომების და სამაგრის სისქის ზრდასთან ერთად. ბუნებრივ ფოროვან შემცველებზე ბეტონის გამოყენება მონოლითურ რკინაბეტონის სამაგრებში ზრდის არმატურის ეფექტურობის გამოყენებას, ამცირებს მის ხარჯს და უზრუნველყოფს მასალებზე დანახარჯების ეკონომიას 20–30 % ფარგლებში.

2. ძირითად ფაქტორებად რომლებიც გავლენას ახდენენ სატრანსპორტო გვირაბების მონოლითური ბეტონის მუდმივი სამაგრის დაძაბულ მდგომარეობაზე ითვლება: მისი სისქე, გრუნტის დრეკადობის კოეფიციენტი და ბეტონის დრეკადობის მოდული.

სამაგრის დამყოლობის და გრუნტისკენ მიმართული მისი დეფორმაციის გაზრდის შედეგად სამთო მასივში მატულობს უკუბრუნება. მძიმე ბეტონიდან მსუბუქზე გადასვლის შედეგად სისტემაში „სამაგრი-მასივი“ ხდება ხელსაყრელი ხასიათის ცვლილებები, როცა გადანაწილების შედეგად მცირდება სამაგრის დაძაბული მდგომარეობა და მაღლდება გვირაბის გარშემო ქანის როლი. ეს გარემოება განაპირობებს მძიმე ბეტონისაგან საგვირაბო კონსტრუქციებთან შედარებით, მივიღოთ უფრო რაციონალური და ეკონომიური კონსტრუქციები.

3. მონოლითური ბეტონის სამაგრის მზიდუნარიანობა, ნორმალური ძალის ზღვრული მნიშვნელობა დამოკიდებულია მის სისქეზე, ქანის სიმაგრის კოეფიციენტზე, სიმტკიცეზე, დრეკადობის მოდულზე, ბეტონის საშუალო სიმკვრივეზე და ხნოვანებაზე. მსუბუქი ბეტონის სამაგრებისათვის იგი მნიშვნელოვნად მაღალია, ვინაიდან გადასვლა მძიმე ბეტონიდან მსუბუქზე ნორმალური ძალის ექსცენტრისიტეტის მნიშვნელობის დიდად შემცირების გამო იწვევს სამაგრის მზიდუნარიანობის გაზრდას. მზიდუნარიანობა იზრდება ბეტონის სიმტკიცის და ხანდაზმულობის, სამაგრის სისქის და ქანის დრეკადი უკუბრუნების ზრდასთან ერთად. დრეკადობის მოდულის გაზრდის შემთხვევაში სამაგრის

მზიდუნარიანობა მცირდება. მძიმე ბეტონიდან მსუბუქზე გადასვლა ბეტონის მარკის შემცირების საშუალებას იძლევა. ტიპურ პროექტებში მიღებული მძიმე ბეტონის 200 მარკა მსუბუქზე გადასვლისას შეიძლება შეიცვალოს 150 მარკით.

4. მძიმე ბეტონიდან მსუბუქზე გადასვლა საშუალებას იძლევა შევამციროთ გვირაბის სამაგრის სისქე.

სამაგრის სისქის განსაზღვრა გრუნტის სიმაგრის კოეფიციენტზე, ბეტონის სიმტკიცეზე და დრეკადობის მოდულზე. იგი დიდდება ბეტონის დრეკადობის მოდულის ზრდასთან ერთად და კლებულობს გრუნტის სიმაგრის ზრდის შემთხვევაში. სამაგრის ადეკვატური შერჩევით რეგულირდება მიწისქვეშა კონსტრუქციის ურთიერთობა სამთო მასივთან, რაც უზრუნველყოფს მასივსა და სამაგრს შორის მოქმედი კონტაქტური ძაბვების ხელსაყრელ განაწილებას და მასივის გრუნტის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების მაქსიმალურ გამოყენებას და მისი როლის ამაღლებას სისტემაში – „მასივი-სამაგრი“, რაც უზრუნველყოფს საგვირაბო კონსტრუქციების რაციონალურ და ეკონომიურ გამოყენებას

6. დიდი ჩაღრმავების მეტროპოლიტენის სხვადასხვა ოთხი ფორმის კონსტრუქციის კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ:

- ქანის დეფორმაციულობა უმნიშვნელოდ მოქმედებს სამაგრის მზიდუნარიანობაზე;

- კედლის სიმაღლის ზრდასთან ერთად საგრძნობლად მცირდება სამაგრის მზიდუნარიანობა;

- ქ. თბილისში დიდი ჩაღრმავების მეტროპოლიტენისათვის და დიდი ქალაქების მიწისქვეშა სივრცის ათვისებისას ეკონომიური და მიზანშეწონილია ქანზე დაყრდნობილი დამრეცი თაღის გამოყენება.

7. დამუშავებულია წრიული მოხაზულობის მიწისქვეშა კონსტრუქციების გაანგარიშების საინჟინრო მეთოდის სახერხის ზონაში მისი სივრცული მუშაობის ხასიათის გათვალისწინებით. ამოცანის სივრცული ხასიათის გათვალისწინება ხდება სახერხის ფუნქციის საშუალებით.

8. დამუშავებული საინჟინრო მეთოდის იძლევა მონოლითური ბეტონის მუდმივი სამაგრის გაანგარიშების საშუალებას, გვირაბის აგების ტექნოლოგიის გათვალისწინებას და სამაგრის დატვირთვის პროცესზე სახერხის წინსვლის შედეგად მისი დატვირთვის დადგენას.

დისერტაციის თემასთან დაკავშირებული პუბლიკაციები.

1. მ. თანანაშვილი, ნ. მაისურაძე ნ. კვაჭაძე, სატრანსპორტო გვირაბების მუდმივი სამაგრი ბუნებრივ ფოროვან შემესვებზე. // საქართველოს საავტომობილო საგზაო შრომების კრებული №4, თბილისი: 2009, –გვ. 37-39.
2. მ. თანანაშვილი, მ. გრძელიშვილი, ლ. ცქვიტინიძე, ქ. გოლეითიანი. წრიული მოხაზულობის გვირაბის მუდმივი სამაგრის გაანგარიშების თანამედროვე პერსპექტიული მოდელი // მეცნიერება და ტექნოლოგიები №1-3, თბილისი: 2011, –გვ. 73
3. Тананашвили М. С. Особенности конструкций и материалов обделок горных транспортных тоннелей // Транспорт №3-4, 2008, -с. 34-35
4. Тананашвили М. С. Целесообразность и эффективность применения бетонов на природных пористых заполнителях в тоннелостроении // Транспорт №3-4, 2008, -с. 32-33.
5. Чурадзе Т. К., Тананашвили М. С. Влияние отставания от забоя крепи горизонтальной выработки на процесс ее нагружения при подвигании забоя // Транспорт №1-2, Тбилиси, 2009, 46-49.
6. TananaSvili M., Megrelishvili Z. Research of technological and design data of lightweight concrete jn local poros fillers // Problems of mechanis №2 (35), Tbilissi, 2009, -p. 96-102.

Abstract.

Concrete represents a very common building material; it is widely used in industrial, civil, hydraulic engineering and transport construction.

In the underground facilities practice for permanent support material are widely applied various modifications of concrete (heavy monolithic concrete, precast reinforced concrete structures, pressed concrete, foam concrete and others).

Currently in Georgia is mainly used the heavy concrete, as a light concrete, for that application tradition was founded still in 30-ies of the last century, it has not yet found wide distribution, despite the fact that it reduces the cost of construction and transportation costs.

The main cause of this is the lack of data on light concrete and its raw materials construction - technical properties and of adequate method for permanent support analysis.

The application of local material in the construction industry field represents an urgent problem. Exactly for this problem is concerned in the tunnel construction field one part of the present work. In particular, in it is investigated under the transport tunnels construction conditions possibility of application of concrete made with the application of local natural foam fillers.

As the basic characteristics of underground transport facilities support general state are presented water resistance, stretchability, creeping, seismic stability. The carried out tests proved that the light concrete water resistance is mainly determined due the cement stone, but not the aggregate conductivity. porous aggregate grains around is formed a compacted shell of cement stone, as a result is avoided the water filtration through the porous aggregate. For example, the good water resistance of ceramsite concrete is explained by the closed pores structure with air inclusions in the pores. The air bubbles penetrate in pores, through that water would be circulated, hangs on its walls and create corks. Due the water penetration into the concrete is increasing air back pressure and decreases the water filtration. Studies have shown that level of ceramsite concrete water resistance is higher than for made from granite aggregate concrete.

From the static behavior of underground facilities great importance have the material stretchability. The stretchability of lightweight concrete is two times more than routine concrete and under the impact of tensile forces they are more capable of deformation without cracks generating.

It is important to reveal these characteristics in reinforced concrete. By P. Tsulukidze data the reinforcement supports to increase the level of limit stretchability due more equal distribution and concrete inhomogeneous structure averaging. As a result is increasing concrete crack resistance.

Monolithic reinforced concrete's underground structures are operating in eccentric compressive conditions. As a rule, in the areas of tunnel arch key and heel occurs eccentric compressive with large eccentricity, when in the part of cross-section are arising tensile forces. It is obvious that in such conditions the great importance has the quality of concrete's stretchability.

In comparison with heavy concrete in light concrete increased creeping deteriorate static operating conditions of structures under bending and promotes of their deflections increasing. These factors are negatively affecting the pre-stressed reinforcement concrete structures behavior that causes the increase pre-stressing losses.

For underground structures, depending on their static behavior features in the combined behavior with ground the deformations growth improves the active interactions distribution between structure and ground, it helps to decrease the quality of the structure's stress mode. Therefore, lightweight concrete in this case is in a privileged position compared to the heavy concrete.

At mining transport tunnels design modern methods of seismic impact consideration gives the possibility to make conclusions on the caused by seismic impact additional stress mode in the heavy concrete supports is significantly more than in the made from local porous aggregates lightweight concrete. From the analysis of transport tunnels seismic impact results is obvious that the due the reducing of concrete modulus of elasticity also decreases the design values of contact stresses and internal forces.

Thus, the application of lightweight concrete made from natural porous aggregates as the transport tunnels supports material gives the possibility to construct variety of underground structures with better technical - economic indicators, than at application of the traditional heavy concrete.

Now to solve the elastic problem at underground pressure (constant stresses) definition in permanent support pressure the tunnel is usually considered as having infinite length, i.e. is not taken into account the excavation impact and is considered the planar problem. This expression is true, when the supports are constructed with large delay from supports (about the 5-6 times more value of cross-section size). In the case when the support is constructed directly from excavation then elastic and plastic deformations in the supports cross-sections aren't yet developed, because they are stopped by excavation.

Further due the excavation displacement these deformations are developed and become a support loading.

The planar problems didn't taking into account these circumstances, so is required a solution of complex three-dimensional problem that is often the connected with the mathematical nature insurmountable difficulties.

In the work this task is solved according to the theory of elasticity of the function by multiplying on the excavation influence function.

An excavation influence function adequate method is developed. At solution of underground structures mechanics problem the excavation influence function is differently applied. The method of this function application has great importance, because in this circumstance and the function itself expression kind has decisive importance for the calculation accuracy and its approximation of the structure real behavior.

In lot of papers the excavation influence function is applied to identify the array point's initial displacements. This approach takes into account the so called technological clearance and would be calculated the final value of load. But the intermediate value of load in this case is assumed by reduced values. In other works are proposed the excavation progress influence on support loading process. But there are not considered the support construction place, due that applied in such manner increased loading is equal to the actual loading, when the excavation is moved to infinity.

These shortcomings are avoided by introducing the excavation influence function's two sub-functions, already in the array model development process.

In the working are solved two of the most important problem:

Is developed a light concrete permanent support calculating method by taking into account the tunnel construction technology;

Is defined the permanent support deformability(stiffness) influence on its stress mode.