

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ვლადიმერ ყუშიტაშვილი

საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა განლაგების ოპტიმალური სიღრმის დასაბუთება  
და შერჩევა

სპეციალობა 05.15.11. სამთო წარმოების ფიზიკური პროცესები

ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის  
მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი - 2006

სამეცნიერო ხელმძღვანელი ირაკლი გუჯაბიძე, ტექნ. მეცნ. დოქტ., პროფ.

ოფიციალური ოპონენტები: ლეონ მახარაძე, ტექნ. მეცნ. დოქტ., პროფ.,

თამაზ ჭურაძე, ტექნ. მეცნ. დოქტ., პროფ.

დისერტაციის დაცვა შედგება 2006 წლის 26 დეკემბერს 13 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის №T05.15. CN#3

სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე.

მისამართი: თბილისი, კოსტავას 77, სტუ-ს III კორპუსი, 217-ე აუდიტორია.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ბიბლიოთეკაში

ავტორეფერატი დაიგზავნა 24 ნოემბერს

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული მდივანი

ტექნ. მეცნ. დოქტ.

თ. ჯავახიშვილი

### ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**აქტუალობა.** საქალაქო მშენებლობის განვითარების მაღალი ტემპების გამო სულ უფრო საგრძნობლად შეიმჩნევა მიწის ფართობების დეფიციტი, რის შედეგადაც სხვადასხვა დანიშნულების ნაგებობათა განლაგების მიზნით აუცილებელი ხდება მიწისქვეშა სივრცეთა ინტენსიური ათვისება.

საქალაქო მშენებლობაში მიწისქვეშა სივრცეთა ათვისება ახალი ეტაპია, რომელიც საშუალებას იძლევა თანამედროვე ქალაქების დაპროექტება განხორციელდეს არა მარტო ჰორიზონტალური მიმართულებით, არამედ, მიწისქვეშა სივრცეთა რესურსების ათვისებით, ვერტიკალურადაც. მთელი რიგი სასიცოცხლო მნიშვნელობის ობიექტების და ნაგებობების (სატრანსპორტო, საკანალიზაციო და საკოლექტორო გვირაბები, ავტოსადგომები, ავტოფარეხები, საწყობები, მაღაზიები და სხვ.). მიწის ქვეშ განთავსება შესაძლებელს ხდის მნიშვნელოვნად შემცირდეს საქალაქო ტერიტორიების დეფიციტის პრობლემა.

თანამედროვე ქალაქების მიწისქვეშა სივრცეთა ათვისებაში როგორც დანიშნულებით, ასევე მშენებლობის მასშტაბებით განსაკუთრებული ადგილი მეტროპოლიტენებს \_ სწრაფ, არაქუჩის სარკინიგზო გზებს უკავია.

საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა ხაზების დაპროექტებისა და მშენებლობის ხერხების შერჩევას განსაკუთრებული მნიშვნელობა მათი მიწის ზედაპირიდან განლაგების სიღრმეს ენიჭება. მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის შესწავლის დაბალი დონის გამო დაპროექტებისას ერთ შემთხვევაში აიღება განლაგების სიღრმის დაუსაბუთებელი მარაგი, რაც ყოველწლიურად კაპიტალდაბანდებების საშუალოდ 36%-ით გადახარჯვას იწვევს, მეორე შემთხვევაში ურთიერთგავლენის ხარისხის შეუფასებლობის და განლაგების სიღრმის

დაუსაბუთებელი შემცირებით 25%-ით იზრდება ნაგებობათა შენახვისა და რემონტის ხარჯები, კერძო შემთხვევებში კი ყოველივე კატასტროფული შედეგებითაც სრულდება.

ბოლო წლებში საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა მშენებლობის როგორც სამამულო, ასევე უცხოურ პრაქტიკაში იყო შემთხვევები, როდესაც ქანთა მასივში მიმდინარე მექანიკურმა პროცესებმა მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა სერიოზული დეფორმაციები გამოიწვია. მაგალითად, 1988 წელს ქ. თბილისში მეტროპოლიტენის მშენებლობისას დაინგრა სადგ. "გლდანის" (ამჟამად სადგ. "ახმეტელი") სამაგრი, ხოლო "დელისი\_ვაჟა ფშაველას" ხაზზე საცხოვრებელი სახლების ფუნდამენტებმა დეფორმაცია განიცადა. საგრძნობი დეფორმაციები განიცადა ასევე ქ. მოსკოვში სახელმწიფო ბიბლიოთეკამ. მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა ნაგებობათა და სწრაფი სატრანსპორტო მაგისტრალის მშენებლობას მიწისზედა ნაგებობების კატასტროფულ ნგრევა მოჰყვა ქ. სეულში 1988 წელს, ხოლო ტოკიოში - 1990 წლის ბოლოს. 2006 წელს ქ. ბარსელონაში ერთ-ერთ მიწისქვეშა ნაგებობაში სამაგრის ჩამონგრევის შედეგად დაზიანდა რკინიგზა, რის გამოც დაიღუპა და დასახიჩრდა ათეულობით ადამიანი.

ზემოთქმული და ამჟამად საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა მშენებლობების მოცულობების ზრდის ყოველდღიური ტემპები განსაზღვრავენ წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალობას, რამდენადაც იგი ეძღვნება მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის პირობებში ქანთა მასივში მიმდინარე მექანიკური პროცესების შესწავლას, მიწისქვეშა ნაგებობათა ოპტიმალური განლაგების სიღრმის დასაბუთებას და შერჩევას.

**სამუშაოს მიზანია** საქალაქო მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის თავისებურებათა შესწავლა ამ უკანასკნელთა ოპტიმალური განლაგების სიღრმის დასაბუთებისა და შერჩევისათვის, რომლის დროსაც მინიმალური კაპიტალური და საექსპლუატაციო დანახარჯებით იქნება უზრუნველყოფილი მათი მდგრადობა.

**სამუშაოს იდეა** მდგომარეობს განლაგების სიღრმეზე დამოკიდებულებით, საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა მშენებლობის და საექსპლუატაციო მთლიანი ხარჯების ცვლილების კანონზომიერების დადგენაში.

**მეცნიერული სიახლე:**

- მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის პირობებში, განლაგების სიღრმეზე დამოკიდებულებით, დადგენილია მიწისქვეშა ნაგებობათა მშენებლობის და ექსპლუატაციის მთლიან ხარჯები, რომელსაც წილად-რაციონალური ფუნქციის სახე აქვს მკვეთრად გამოკვეთილი მინიმუმით;

- საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა განლაგების სიღრმის შერჩევა უნდა განხორციელდეს სისტემა "სამაგრი\_ქანის მთელანა\_ფუნდამენტი" წონასწორობის მდგომარეობისა და დანახარჯების მინიმუმის პირობიდან;

- საქალაქო მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის პირობებში მათი არახელსაყრელი განლაგების ვარიანტია მიწისზედა ნაგებობათა ფუნდამენტების მიწისქვეშა ნაგებობის თავზე განლაგება.

მიწისქვეშა ნაგებობისათვის არახელსაყრელია ასევე შემთხვევა, როდესაც მიწისზედა ნაგებობათა ფუნდამენტები განლაგებულია მიწისქვეშა ნაგებობის სიგანის ტოლ მანძილზე მასივის გვერდითა ნაწილებში;

**მეცნიერული დებულებების დასაბუთებულობა და უტყუარობა დამტკიცებულია**

თეორიული გაანგარიშების შედეგების კარგი თანხვედრით ნატურულ პირობებში მიღებულ შედეგებთან:

- მიმდებარე ქანების გადაადგილებების აბსოლუტურ სიდიდებთან (იზომებოდა 40 სარეპერო სადგურზე);
- სამაგრზე მოსულ დატვირთვისთან (იზომებოდა 60 დინამომეტრზე);
- ქანების დარღვეული არეების ზომებთან და წონასწორობის კონტურების ფორმებთან (შეისწავლებოდა 20 ექსპერიმენტულ უბანზე);
- მიწისქვეშა ნაგებობათა მდგრადობის პროგნოზის თანხვედრით, მათ ფაქტიურ მდგომარეობასთან;
- ნაგებობათა გავლენის პირობებში, მდგრადობის მართვის საშუალებების და რეკომენდაციების, საკვლევ-სამრეწველო დანერგვის დადებით შედეგებთან;
- გაანგარიშების და გაზომვის სიდიდეთა შორის სხვაობა არ აღემატება 19%.

**ნაშრომის თეორიული მნიშვნელობა** მდგომარეობს:

- მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა მექანიკური ურთიერთგავლენის კანონზომიერების დადგენაში;
- მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა მექანიკური ურთიერთგავლენის ძირითადი გეომექანიკური სიტუაციების დასაბუთებასა და კლასიფიკაციაში;
- მიწისქვეშა ნაგებობათა ოპტიმალური განლაგების სიღრმის განსაზღვრის მეთოდის შემუშავებასა და დასაბუთებაში.

**ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა** მდგომარეობს საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა მშენებლობის მეთოდების, ხერხების და განლაგების სიღრმის ისეთი ოპტიმალური პროექტირების მეთოდის შემუშავებაში, რომელიც მოგვცემს მშენებლობისა და საექსპლუატაციო ხარჯების შემცირების საშუალებას.

**სადისერტაციო ნაშრომის დასკვნებისა და რეკომენდაციების რეალიზაცია.**

საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა ოპტიმალური განლაგების სიღრმის შერჩევის და მიწისქვეშა ნაგებობათა მშენებლობის მეთოდი და საშუალებები მიღებული იქნა დასანერგად "კავგიპროტრანსის" ინსტიტუტში და დანერგილი ქ. თბილისში გლდანისა და ვარკეთილის საცხოვრებელ მასივებში მშენებარე მეტროპოლიტენის მონაკვეთების პროექტირებისა და მშენებლობისას. რეალურმა ეკონომიკურმა ეფექტმა გვირაბის 1 მ-ზე შეადგინა 1108 პირ. ერთეული.

**სადისერტაციო ნაშრომის აპრობაცია.** დისერტაციის ძირითადი დებულებები და შედეგები მოხსენებული იყო:

○ საქართველოს სამთო მრეწველობის ახალგაზრდა მეცნიერთა და სპეციალისტთა V რესპუბლიკურ სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე (თბილისი, 1986 წ.);

○ პროფესორ-მასწავლებელთა შემადგენლობის XXV რესპუბლიკურ სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე (თბილისი, 1988 წ.);

○ საკავშირო სემინარზე "ანალიტიკური მეთოდები და ე.გ.მ. გამოყენება სამთო ქანების მექანიკაში" (ნოვოსიბირსკი, 1991 წ.);

○ ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორ-მასწავლებელთა შემადგენლობის სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე (თბილისი, 1993 წ.);

○ ტექნიკური უნივერსიტეტის სასარგებლო წიაღისეულის საბადოთა დამუშავების კათედრის სამეცნიერო სემინარზე და კათედრის გაფართოებულ სხდომაზე (თბილისი, 2005 წ.);

○ ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოსთან არსებულ სამეცნიერო სემინარზე (თბილისი, 2006 წ.)

**პუბლიკაცია.** დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო ნაშრომში და მიღებულია ერთი საავტორო და ერთი საპატენტო მოწმობა.

**მოცულობა.** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ოთხი თავისა და ძირითადი დასკვნისაგან, შეიცავს 145 გვერდს, მათ შორის, 61 ნახაზს, 7 ცხრილს, 141 დასახელების ბიბლიოგრაფიას.

### სამუშაოს შინაარსი

დღეს მიწისქვეშა სივრცეები მსოფლიოს განვითარებულ ქვეყნებში უფრო ეფექტურად გამოიყენება ვიდრე ჩვენთან. ფართოდ გამოიყენება და მშენებლობის დიდი მასშტაბები აქვთ რთულ მრავალსართულიან მიწისქვეშა კომპლექსებს, მეტროპოლიტენებს, მიწისქვეშა გარაჟებს, ავტოსადგომებს და საავტომობილო მაგისტრალებს, კომუნალურ მიწისქვეშა ნაგებობებს და სხვ. მსოფლიოში ამჟამად ამ სფეროში შექმნილი და რეალიზებულია მრავალი ორიგინალური პროექტი.

საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა შორის განსაკუთრებული ადგილი მეტროპოლიტენს უკავია, რადგან უფრო მოსახერხებელ და მასობრივ სატრანსპორტო სახეობად ითვლება. მეტროპოლიტენის ტრასების დაპროექტებისას, როგორც წესი, უპირატესობა იმ პროექტებს ენიჭებათ, რომლებიც მშენებლობის პერიოდში არ არღვევენ ქალაქის რიტმულ ცხოვრებას, ე.ი. პროექტებს, რომლებიც ითვალისწინებენ მშენებლობის სამთო ხერხს.

საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა პროექტირება\_ მშენებლობისას განსაკუთრებული როლი მათ მიწის ზედაპირიდან განლაგების სიღრმეს ენიჭება. გვირაბების განლაგების სიღრმის შემცირება და მათი მიწის ზედაპირთან მიახლოება ხელს უწყობს როგორც ტრასის, ასევე დამხმარე და ძირითადი გვირაბების სიგრძეების შემცირებას. გარდა ამისა, მიწისქვეშა ნაგებობათა მცირე სიღრმეებზე განლაგებისას ისინი ექსპლუატაციის პერიოდში უფრო მოსახერხებელია.

მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა ნაგებობათა შორის სადგურები დიდი ზომებით გამოირჩევიან და მიეკუთვნებიან დიდი განივკვეთის მქონე გვირაბებს. მათი მიწის ზედაპირიდან განლაგების სიღრმე, სწორედ რომ, განსაზღვრავს მიწისზედა ნაგებობებთან ურთიერთგავლენის ხარისხს. აქედან გამომდინარე, ურთიერთგავლენის კანონზომიერებათა შესწავლისას ძირითადი ყურადღება სწორედ ამ ტიპის ნაგებობებზე უნდა გამახვილდეს.

მიწისქვეშა ნაგებობათა განლაგების სიღრმის შემცირების ტენდენციის გათვალისწინება, ასევე, მათი მიწისზედა ნაგებობებთან ურთიერთგავლენის ხარისხის შესახებ ინფორმაცია განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს, რადგან ზეგავლენის შედეგად შესაძლებელია მდგრადობა დაკარგოს როგორც ერთმა, ისე მეორემ.

მექანიკური პროცესების შესწავლის დაბალი დონის გამო დამპროექტებლები ამ პირობებში ხშირად იძულებულნი ხდებიან ნაგებობათა განლაგების სიღრმისა და სამაგრის შერჩევისას დაუშვან მრავალჯერადი მარაგები.

საქართველოში და ყოფილ სსრკ-ს სხვადასხვა ქვეყნებში ფართო გავრცელება პოვა მეტროპოლიტენის სადგურის გაძლიერებულმა ერთთაღიანმა კონსტრუქციამ მონოლითური რკინაბეტონის სამაგრით, რომელიც უმრავლეს შემთხვევაში მიწის ზედაპირიდან 50-60 მ-ის სიღრმეზე შენდება. საზღვარგარეთის პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ აუცილებელია სადგურის კონსტრუქციის მნიშვნელოვანი გამარტივება და განლაგების სიღრმის შემცირება. მშენებლობის თანამედროვე დასავლურ ტექნოლოგიებში მიწისქვეშა ნაგებობათა განლაგების სიღრმის მნიშვნელოვანი შემცირებისას, მიწის ზედაპირის ან შენობა - ნაგებობათა ფუნდამენტებისა და ფუძეების დეფორმაციის თავიდან აცილების მიზნით გათვალისწინებულია დამატებითი დამცავი ღონისძიებები, რომლებიც, როგორც წესი, მასივის დამცავი არეების გამტკიცების სამუშაოების ჩატარებაში მდგომარეობს.

მიწისქვეშა ნაგებობათა გაანგარიშების თანამედროვე მეთოდები შესაძლებელია მოვიძიოთ ბ. ამუსინის, ლ. ჯაფარიძის, ი. ბაკლაშოვის, ბ. კარტოზიას, ნ. ბულიჩევის, ა. ოლოვიანოვის, ნ. ფოტიევასა და სხვა მკვლევართა მონოგრაფიებში. გაანგარიშების მეთოდების თეორიული საფუძვლები, რაც მიწის ზედაპირის სიახლოვეს ითვალისწინებს, მოცემულია ი. არმანოვიჩის, ა. გოლდმანის, ა. დინნიკის, გ. სავინინის, დ. შერმანის და სხვათა შრომებში. ს. გუტმანის მიერ გადაწყვეტილია ამოცანა, როდესაც გვირაბის თავზე მიწის ზედაპირზე ნაგებობის წონით გამოწვეული დატვირთვა მოქმედებს.

საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა გაანგარიშების შედარებით დასაბუთებული მეთოდი შემუშავებულია ი. გუჯაბიძის მიერ, რომლის თანახმად მიწისქვეშა ნაგებობათა განლაგების სიღრმე განისაზღვრება სამგანზომილებიანი სისტემის - "სამაგრი\_მასივი\_ფუნდამენტის" ერთობლივი მუშაობის პირობიდან, რომლის დროსაც უზრუნველყოფილია როგორც მიწისზედა, ასევე მიწისქვეშა ნაგებობათა მდგრადობა. მასივის დამცავი არეების გამტკიცების მიზნით, თანამედროვე ტექნოლოგიების დანერგვის შემთხვევაში, რომელიც განლაგების სიღრმის ხელოვნურ შემცირებას უწყობს ხელს, შემოთავაზებული მეთოდი კარგავს კორექტულობას.

არსებული გაანგარიშების მეთოდების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ პრაქტიკაში ამ მეთოდების ფართო გამოყენება შეზღუდულია.

გვირაბების ირგვლივ ქანთა მასივში მიმდინარე მექანიკური პროცესების ექსპერიმენტული შესწავლის მეთოდების სამამულო პრაქტიკა საშუალებას იძლევა, გვირაბების მახლობლობაში პროცესები სრულად იქნეს შესწავლილი, მაგრამ მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის მექანიზმის შესწავლის შემთხვევაში ისინი ვერ უზრუნველყოფენ სრული ინფორმაციის მიღებას.

მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის პირობებში მზიდუნარიანი ელემენტების დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შესწავლის მეთოდების განხილვამ და ანალიზმა ცხადყო, რომ აუცილებელია ამ მეთოდების შემდგომი სრულყოფა. თანამედროვე მეთოდები უნდა ეფუძნებოდეს სისტემის - "სამაგრი\_ქანთა მასივი\_ფუნდამენტის" ერთობლივი დეფორმირების კანონზომიერებას და ითვალისწინებდეს ქანთა მასივის იზოტროპიულობასა და ანიზოტროპიულობას. მიწისქვეშა ნაგებობათა განლაგების სიღრმის ოპტიმიზაციის არსებული თანამედროვე მეთოდები შემუშავებულია ამოცანათა ვიწრო წრისათვის და ვერ იძლევა კაპიტალური და საექსპლუატაციო ხარჯების მინიმალურობის მოთხოვნათა შესანარჩუნებლად ეფექტური ტექნიკური გადაწყვეტილებების მიღების საშუალებას.

ნატურალური კვლევების მიზანი იყო მიწის ზედაპირამდე მიწისქვეშა ნაგებობის ირგვლივ ქანთა მასივსა და სამაგრი რეალიზებული მექანიკური პროცესების შესწავლა და მათი ხარისხობრივი და რაოდენობრივი თვისებების დადგენა.

ამ მიზნის მისაღწევად დაგეგმილი იქნა ნატურული კვლევების ჩატარება, რათა შესწავლილი ყოფილიყო:

- მეტროპოლიტენის ერთთაღიანი სადგურის ირგვლივ სამთო ქანების დეფორმაციები;
- ერთთაღიანი სადგურის მონოლითური სამაგრის დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა;
- დამხმარე გვირაბებსა და სამაგრზე მოსული დატვირთვა;
- გვირაბის კონტურიდან მიწის ზედაპირამდე სამთო ქანების გადაადგილებები;
- სამთო ქანებისა და სამაგრის ფიზიკური მდგომარეობა.

კვლევების ჩასატარებლად შეირჩა ქ. თბილისში მეტროპოლიტენის მშენებარე ერთ-ერთი ყველაზე დიდი მიწისქვეშა ობიექტი\_სადგური "ვაჟა-ფშაველა".

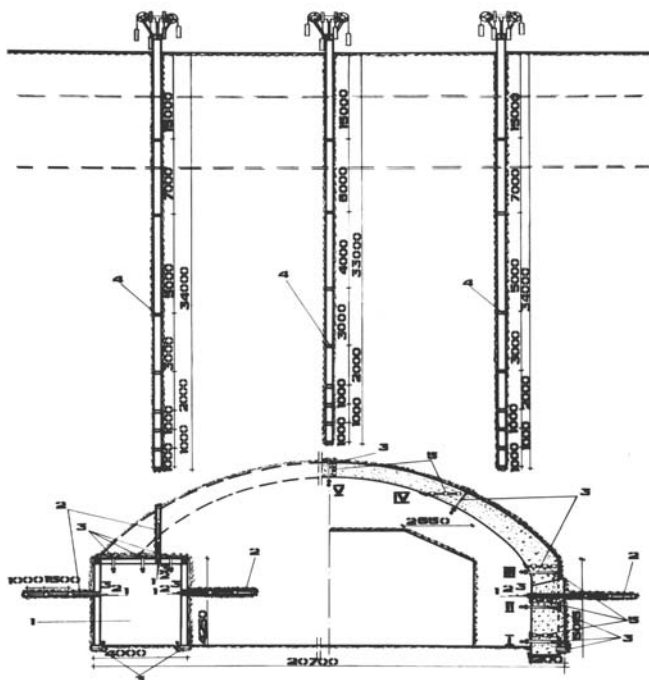
საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა შემთხვევაში სამთო გვირაბების სამაგრებში და მიმდებარე ქანთა მასივში დეფორმირების შესწავლის ცნობილი და კარგად დამუშავებული მეთოდების უცვლელი გამოყენება ნაკლებად ეფექტურია. საქმე იმაშია, რომ ექსპერიმენტული კვლევის არსებული მეთოდები საშუალებას იძლევიან სამთო გვირაბების კონტურიდან 5-8 მ მანძილზე (გავლენის არეები მცირე გაბარიტული ზომების გამო ამ საზღვრების იქით არ ვრცელდება) საკმაოდ სრულფასოვნად იქნეს შესწავლილი ქანთა მასივში

მიმდინარე მექანიკური პროცესები. მეტროპოლიტენის სადგურებისათვის აღნიშნული დიაპაზონი მათი დიდი ზომების გამო არასაკმარისია (ამ ნაგებობათა გავლენის არეები ხშირად 30-40 მ-ს აღწევს), ამიტომ აუცილებელი ხდება მიწის ზედაპირამდე ქანთა მასივის მთელი სისქის შესწავლა. გარდა ამისა, მეტროპოლიტენის სადგურები, დიდი ზომების გამო, როგორც წესი, შენდება რამდენიმე ეტაპად, აქედან გამომდინარე, ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდები უნდა ითვალისწინებდნენ მშენებლობის ეტაპობრიობასაც.

აღნიშნულის საფუძველზე მეტროპოლიტენის სადგურის როგორც სამაგრში, ასევე ქანთა მასივში მიმდინარე მექანიკური პროცესების შესწავლის მიზნით ჩვენს მიერ შემუშავებულ იქნა ახალი მეთოდიკა და ხელსაწყოები, რაც ასევე ითვალისწინებდა მეტროპოლიტენის სადგურის მშენებლობის ტექნოლოგიასაც.

კვლევის შემუშავებული მეთოდიკის თანახმად, მექანიკური პროცესების შესახებ სრული ინფორმაციის მისაღებად მიწისქვეშ, ასევე, მიწისზევით განლაგებული ყველა ექსპერიმენტული სადგური განთავსებული უნდა იყოს ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში. 1-ელ ნახ-ზე მოცემულია ექსპერიმენტული სადგურის კონსტრუქცია, სადაც საჭირო ინფორმაციის მისაღებად მოწყობილობები მშენებლობის ეტაპობრიობის გათვალისწინებით განთავსებულია როგორც მიწის ზედაპირზე, ასევე მიწისქვეშა ნაგებობის განივკვეთშიც.

ნატურული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ სადგურის თალის კონტურზე ქანთა მასივის მაქსიმალურმა ვერტიკალურმა გადაადგილებებმა 80 მმ შეადგინა, ხოლო კონტურიდან მოცილებით ეს გადაადგილებები მცირდება და 20 მ-ის სიღრმეზე 5 მმ-ს არ აღემატება. სადგურის სამაგრში მაქსიმალური მკუმშავი ძაბვები 3,0 მპა-ს არ აღემატება. ეს კვლევები საშუალებას იძლევა დავასკვნათ, რომ მეტროპოლიტენის ერთთაღიანი სადგურის განლაგების სიღრმე პროექტდება დიდი მარაგით და მშენებლობის არსებული ტექნოლოგიის პირობებში სხვა დამატებითი ღონისძიებების გამოყენების გარეშე შესაძლებელია 25 მ-მდე შემცირდეს.





ნახ. 1. კომპლექსური ექსპერიმენტული სადგურის კონსტრუქცია.

1 - გვერდითი გვირაბები; 2 - სიღრმული რეპერები; 3 - DP-1 და 45D-135 ტიპის მექანიკური დინამომეტრები; 4- CP-1 ტიპის რეპერი; 5- TD-1 ტიპის დინამომეტრი

ექსპერიმენტული კვლევის მიღებული შედეგები, ცხადია, ლოკალური ხასიათისაა და სამართლიანია მხოლოდ ექსპერიმენტული მონაკვეთებისათვის. მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის კანონზომიერებათა შემდგომი დაზუსტების, განზოგადების და განლაგების სიღრმის უფრო დასბუთებული შერჩევის მიზნით აუცილებელი იყო რიგი თეორიული კვლევების ჩატარება.

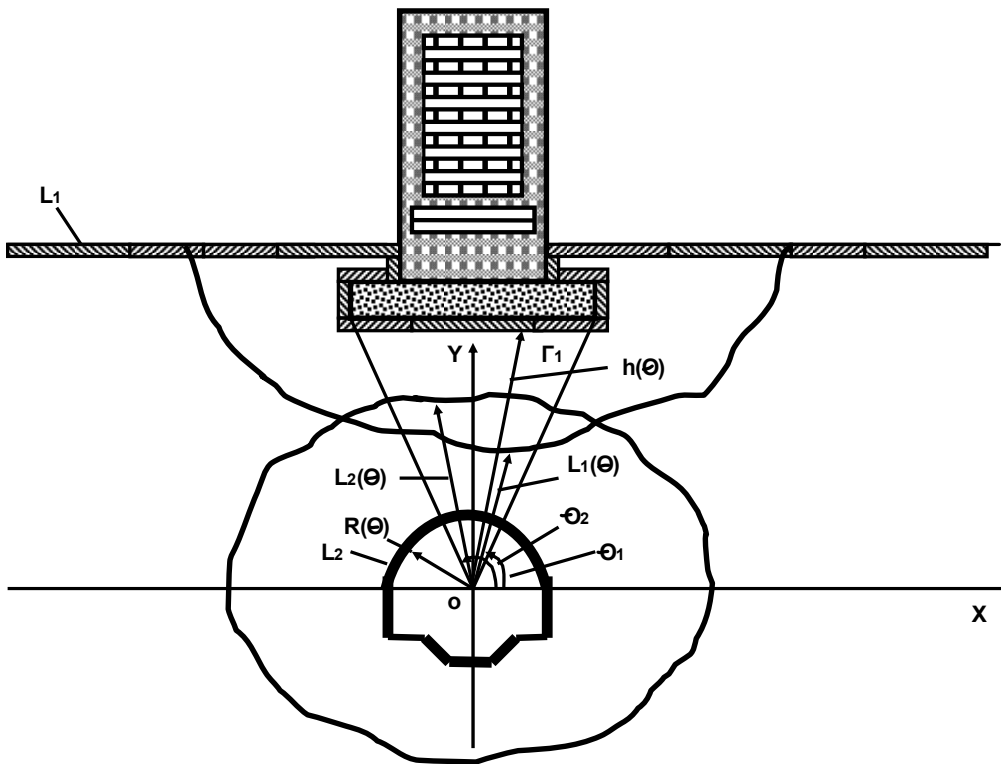
ქანთა მასივში რეალიზებული მექანიკური პროცესების თეორიული კვლევებისას ფართოდ გამოიყენება გაანგარიშების როგორც ანალიზური, ასევე რიცხვით მეთოდები. ცალკეულ შემთხვევებში საკმაოდ ხელსაყრელია ერთი საანგარიშო სქემის საზღვრებში როგორც ანალიზური, ასევე რიცხვითი მეთოდების ერთდროული გამოყენებაც. გაანგარიშების ამა თუ იმ მეთოდის შერჩევა მშენებლობის გეომექანიკურ სიტუაციაზეა დამოკიდებული.

გეომექანიკური სიტუაციების კლასიფიკაცია ავტორის მონაწილეობით პირველად შემუშავებულ იქნა ი. გუჯაბიძის მიერ. ამ კლასიფიკაციის თანახმად, შესასწავლ პირობებში მოსალოდნელია სამი ძირითადი გეომექანიკური სიტუაცია (ნახ. 2):

1. თუ  $\Gamma_1$  (მიწისზედა ობიექტის გავლენის არე) და  $\Gamma_2$  (მიწისქვეშა ნაგებობის გავლენის არე) ერთმანეთს გადაფარავენ ისე, რომ  $l_1 = l_1(\Theta)$  (მიწისზედა ნაგებობის გავლენის არის კონტურის საზღვარი), საზღვრის ყველა წერტილისათვის სრულდება  $l_1(\Theta) \leq R(\Theta)$  პირობა, ხოლო  $l_2 = l_2(\Theta)$  (მიწისქვეშა ნაგებობის გავლენის არის კონტურის საზღვარი), საზღვრის წერტილებისათვის  $\Theta_1 \leq \Theta \leq \Theta_2$  საზღვრებში არსებობს  $\Theta$  მნიშვნელობა, რომლის დროსაც  $l_2(\Theta) \geq h(\Theta)$ , მაშინ მიწისზედა ობიექტი იმყოფება მიწისქვეშა ნაგებობის გავლენის ქვეშ;
2. თუ  $\Gamma_1$  და  $\Gamma_2$  ერთმანეთს გადაფარავენ ისე, რომ  $l_2 = l_2(\Theta)$  საზღვრის ყველა წერტილისათვის  $\Theta_1 \leq \Theta \leq \Theta_2$  საზღვრებში სრულდება  $l_2(\Theta) \geq h(\Theta)$  პირობა, ხოლო  $l_1 = l_1(\Theta)$  საზღვრის წერტილებისათვის არსებობს  $\Theta$  მნიშვნელობა, რომლის დროსაც  $l_1(\Theta) \leq R(\Theta)$ , მაშინ მიწისქვეშა ობიექტი იმყოფება მიწისზედა ნაგებობის გავლენის ქვეშ;
3. თუკი  $\Gamma_1$  და  $\Gamma_2$  ერთმანეთს გადაფარავენ ისე, რომ  $l_1 = l_1(\Theta)$  საზღვრის წერტილებისათვის არსებობს  $\Theta$  მნიშვნელობა, რომლის დროსაც სრულდება  $l_1(\Theta) \leq R(\Theta)$  პირობა, ხოლო  $l_2 = l_2(\Theta)$  საზღვრის წერტილისათვის  $\Theta_1 \leq \Theta \leq \Theta_2$  საზღვრებში არსებობს  $\Theta$  მნიშვნელობა, რომლის დროსაც  $l_2(\Theta) \geq h(\Theta)$ , მაშინ მიწისზედა ობიექტი და მიწისქვეშა ნაგებობა იმყოფება მექანიკური ურთიერთგავლენის ქვეშ;

განგარიშები გვიჩვენებს, რომ განლაგების სიღრმე მიწისქვეშა ნაგებობათა კომპლექსების მშენებლობისას ყველაზე დიდი მიწისქვეშა ნაგებობის მიხედვით განისაზღვრება, ხოლო მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა ნაგებობათა მშენებლობისას ასეთებია სადგურები, რომელთა გავლენის არეები რამდენიმეჯერ აღემატება სხვა ნაგებობათა გავლენის არეებს. ამიტომ ამდაგვარ პირობებში ხშირ შემთხვევაში ადგილი აქვს პირველი გეომექანიკური სიტუაციის რეალიზაციას, ხოლო ქანთა მასივში მიმდინარე მექანიკური პროცესები ძირითადად მეტროპოლიტენის სადგურის მშენებლობით განისაზღვრება. აქედან გამომდინარე, განსაკუთრებული ყურადღება სწორედ ამ ნაგებობებს უნდა დაეთმოს.

მეორე გეომექანიკური სიტუაცია დამახასიათებელია მცირე ზომის მიწისქვეშა ნაგებობებისათვის, როგორებიცაა, მაგალითად, საკოლექტორო და კომუნალური გვირაბები.

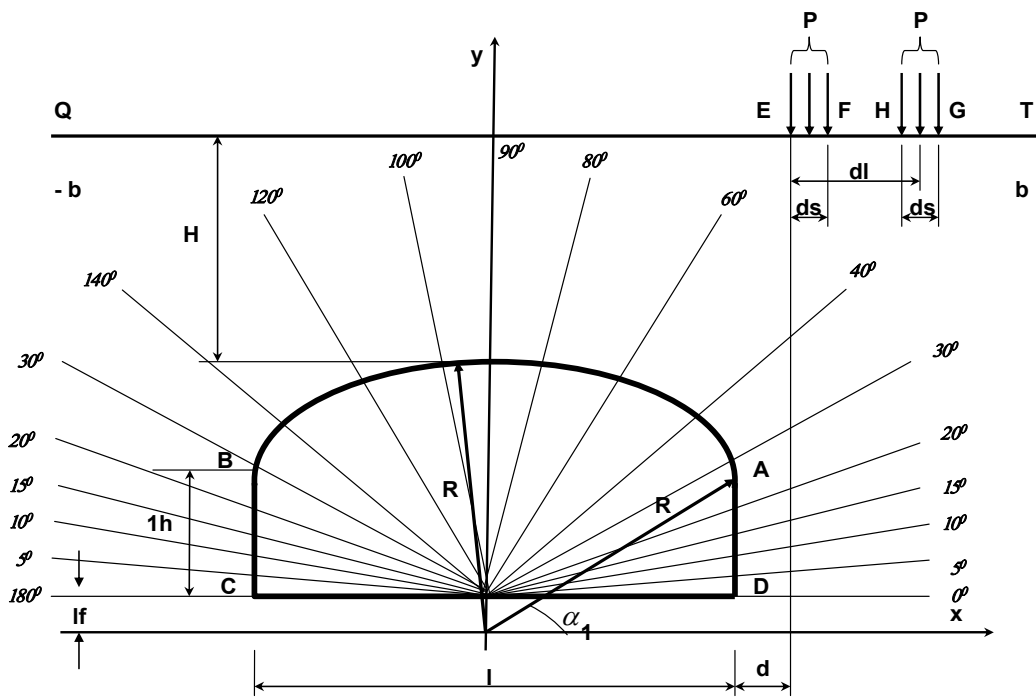


ნახ. 2. ძირითადი გეომექანიკური სიტუაციების განმსაზღვრელი საანგარიშო სქემა

მესამე გეომექანიკური სიტუაცია შესაძლებელია რეალიზებულ იქნეს მაშინ, როდესაც გამოიყენება მშენებლობის ისეთი ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც საშუალებას იძლევა, მნიშვნელოვნად შემცირდეს განლაგების სიღრმე, რაც თეორიული კვლევების დროს ასევე გათვალისწინებული იყო.

აღნიშნული თავისებურებების გათვალისწინებით შესასწავლ პირობებში უმეტეს მიწისქვეშა ნაგებობათა გაანგარიშება შესაძლებელია განხორციელდეს, როგორც ბრტყელი კონსტრუქციებისა. ამ შემთხვევების გამოსავლენად და საანგარიშო სქემისა და გაანგარიშების მეთოდის დასაბუთებისათვის, "ОИПТ-3" პროგრამით გამოკვლეული იქნა მიწისქვეშა ნაგებობის მოცულობით-დაძაბული მდგომარეობა სასრულ ელემენტთა მეთოდით, რომელიც ავტორის მონაწილეობით დამუშავდა საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში.

კვლევების შედეგებმა ნათელყო, რომ მოცულობითი ამოცანის მაგვირად ბრტყელი ამოცანის განხილვისას გაანგარიშების ცდომილება 10-15%-ს არ აღემატება, რაც შეესაბამება მიწისქვეშა ნაგებობათა გაანგარიშების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნილ სიზუსტეს. ბრტყელი ამოცანის საზღვრებში წარმატებით შეიძლება იქნეს გამოყენებული გაანგარიშების როგორც ანალიტიკური, ასევე რიცხვითი მეთოდები. მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის ძირითად თავისებურებათა გამოვლენის პირველ ეტაპზე გაანგარიშებები ჩატარდა ჯერ სასაზღვრო ელემენტთა მეთოდით (ნახ. 3), ხოლო მეორე ეტაპზე - სასრულ ელემენტთა მეთოდით (ნახ. 4).

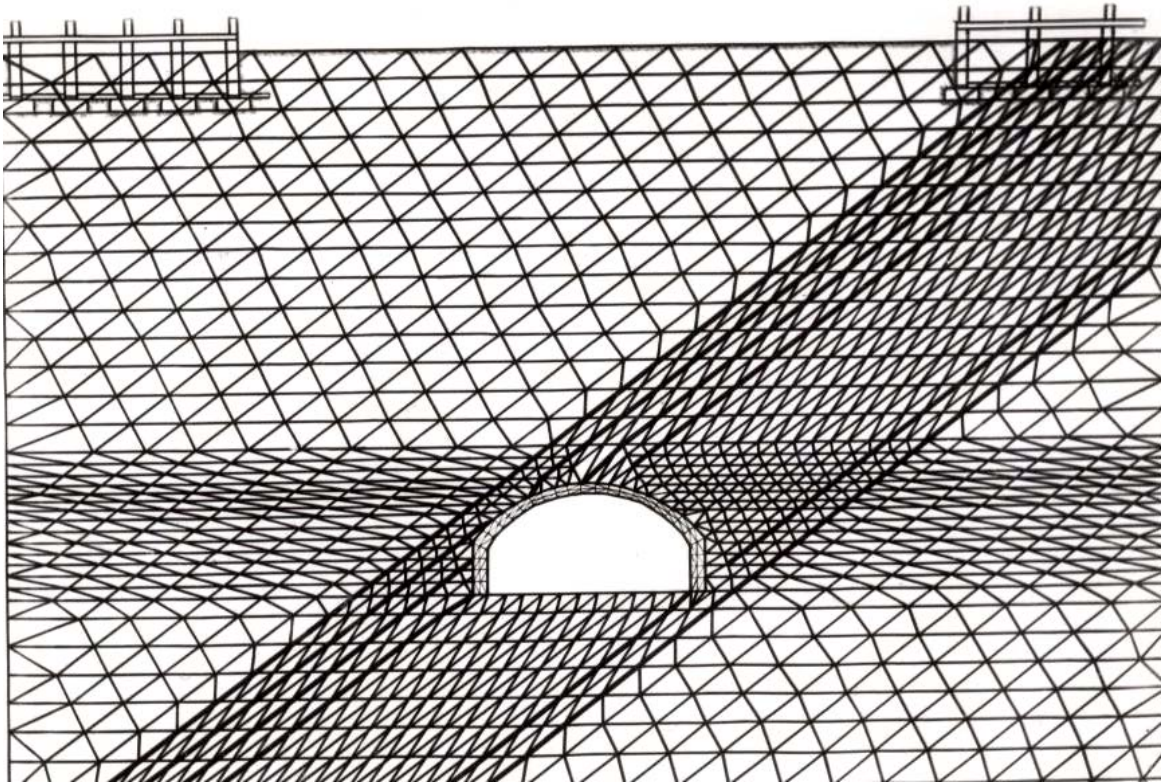


ნახ. 3. სასაზღვრო ელემენტთა მეთოდის საანგარიშო სქემა

მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის პირობებში მათი ურთიერთგანლაგების არასასურველი ვარიანტია, როდესაც მიწისზედა ნაგებობის ფუნდამენტები განლაგებულია მიწისქვეშა ნაგებობის თავზე.

მიწისქვეშა ნაგებობებისათვის არასასურველი ვარიანტია, როდესაც მიწისზედა ნაგებობათა ფუნდამენტები განლაგებულია მიწისქვეშა ნაგებობის სიგანის ტოლ მანძილზე მასივის გვერდითა ნაწილებში. იმ შემთხვევაში, როდესაც მიწისზედა ნაგებობისაგან გამოწვეული დატვირთვა მოქმედებს მიწისქვეშა ნაგებობის კედლების ვერტიკალურ სიბრტყეებში, ეს უკანასკნელი იმყოფება შედარებით უკეთეს პირობებში.

თეორიული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ სამთო ქანების არაერთგვაროვნება და შრეობრიობა მნიშვნელოვნად მოქმედებს შესასწავლ გარემოში რეალიზებად მექანიკურ პროცესებზე. სუსტი ქანის შრის არსებობის შემთხვევაში, მდგრადობის თვალსაზრისით, მიწისქვეშა ნაგებობისათვის სასურველია მისი ამ შრის ქვევით განლაგება. ამ შემთხვევაში ძაბვების და დეფორმაციის კომპონენტები მიწისქვეშა ნაგებობის ირგვლივ ნაწილდება შედარებით თანაბრად და გავლენის არის ზომები 35-40%-ით მცირდება მიწისზედა ნაგებობის ფუძეების მიმართულებით. ამასთან, უმჯობესდება მზიდუნარიანი ელემენტების მუშაობის პირობები. ანალოგიური ეფექტი მიიღება მიწისქვეშა ნაგებობის სამაგრის მუშაობაში შეყვნის დროის შემცირებითაც.



ნახ. 4. სასრულ ელემენტთა მეთოდის საანგარიშო სქემა

საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა გაანგარიშების გამოყენებული მეთოდი საშუალებას იძლევა, განლაგების სიღრმის ყველა მნიშვნელობიდან

გამოვყოთ ტექნიკურად დასაშვები ვარიანტები, ე. ი.  $H_i$  მნიშვნელობა, რომელიც აკმაყოფილებს წონასწორობის მოთხოვნებს და უზრუნველყოფს, როგორც მიწისზედა, ისე მიწისქვეშა ნაგებობების მდგრადობას.

$$u = [u], \quad (1) \quad \tau_n = \sigma_n t g \varphi + c. \quad (2)$$

$H$  ობტ მნიშვნელობა აიღება მინიმალური კაპიტალური და საექსპლუატაციო ხარჯების ტექნიკურად დასაშვები ვარიანტებიდან, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს მაქსიმალური ეკონომია.

კაპიტალურ დაბანდებათა ეკონომიკური ეფექტურობა დაყვანილი ხარჯების მინიმუმის პირობიდან განისაზღვრება.

თითოეული ვარიანტისათვის დაყვანილი ხარჯები განისაზღვრება, როგორც კაპიტალური და საექსპლუატაციო ხარჯების ჯამი, დაყვანილი ერთ განზომილებამდე. ეფექტურობის ნორმატივის შესაბამისად,

$$\{c_i + E_H K_i\} \rightarrow \min,$$

(3)

სადაც  $c_i = c_i^0 + c_i^1;$

$c_i^0$  არის სამშენებლო სამონტაჟო სამუშაოების

თვითღირებულება;

$c_i^1$  - საექსპლუატაციო ხარჯები;

$E_H$  - ეკონომიური ეფექტურობის შედარების ნორმატიული

კოეფიციენტი,

რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$E_H = \frac{c_1 - c_i}{K_i - K_1},$$

სადაც  $c_i - K_i$  შესადარებელი ვარიანტების კაპიტალური დაბანდებაა.

განლაგების  $H_i$  სიღრმეზე დამოკიდებულებით მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა ნაგებობათა განლაგების სხვადასხვა ვარიანტების შედარებისას (3) ფორმულაში

შემავალი სიდიდეები  $H_i$ -ს ფუნქციები იქნება. მაშინ დაყვანილი ხარჯების მინიმალურობის პირობა მიიღებს სახეს

$$\frac{d(c_i + E_H K_i)}{dH} = 0; \quad \frac{d^2(c_i - E_H K_i)}{dH^2} > 0.$$

სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების თვითღირებულება შესაძლებელია გამოისახოს შემდეგ ნაირად:

$$c_i = \sum_{i=1}^n V_i c_i^p$$

(4)

სადაც  $n$  არის სამუშაოთა სახეობების რაოდენობა;

$V_i$  - მოცემულ ობიექტზე ერთი სახეობის სამუშაოს მოცულობა;

$c_i^p$  - ერთი სახეობის სამუშაოს თვითღირებულების ერთეული.

განლაგების სიღრმის  $H_i$  ცვლილებისას სამუშაოთა სახეობები, რომლებიც შესულია გამოსახულებაში, არის მხოლოდ იმ მიწისქვეშა ნაგებობათა მოცულობები, რომლებიც  $H_i$ -ს ცვლილებასთან ერთად იცვლება.

მეტროპოლიტენის არსებული მიწისქვეშა ნაგებობები შეიძლება დაიყოს ოთხ ძირითად ჯგუფად: 1 - მეტროპოლიტენის სადგურები; 2 - გადასარბენი გვირაბები; 3 - საესკალატორო გვირაბები, 4 - დამხმარე ნაგებობები (ჭაურები, მისასვლელი გვირაბები, ელ.დეპო და სხვ.).

შესაბამისად, მივიღებთ:

$$c_i^0 = V_1 c_1^p + V_2 c_2^p = L_1 c_1^p + L_2 c_2^p, \quad (5)$$

სადაც  $c_1^p$  - 1 მ მიწისქვეშა ნაგებობის მშენებლობის თვითღირებულება;

$L_1$  - ჭაურის სიღრმე;

$L_2$  - საესკალატორო გვირაბის სიგრძე.

(5) ფორმულაში  $L_1$  და  $L_2$  ყოველთვის შეიძლება გამოისახოს  $H_i$ -თ ასე:

$L_1 = H_i$ , ხოლო  $L_2 = (H_i - h) / \sin 30^\circ = 2(H_i - h)$ , სადაც  $h$  - მიწისზედა ვესტიბიულის განლაგების სიღრმეა;

აღნიშნულის გათვალისწინებით (4) მიიღებს სახეს:

$$c_i^0 = H_i (c_1^p + 2c_2^p) - 2hc_2^p. \quad (6)$$

შესაბამისი ფორმულების ჩასმისა და გარდაქმნების შემდეგ (6) მიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{AH_i + B}{cH_i + D} \rightarrow \min,$$

(7)

სადაც  $c = -2c_2^p$ ;  $D = K_1 - Nc_1^p + 2hc_2^p$ ;  $A = k_1(c_1^p + 2c_2^p + 2m) - 2c_1 c_1^p$ ;

$B = (k_1 - Nc_1^p + 2hc_2^p)[2h(c_2^p + m) - c_1^p] + (Nc_1^p - 2hc_2^p)[2h(c_2^p + m) - c_1^p + c_1]$

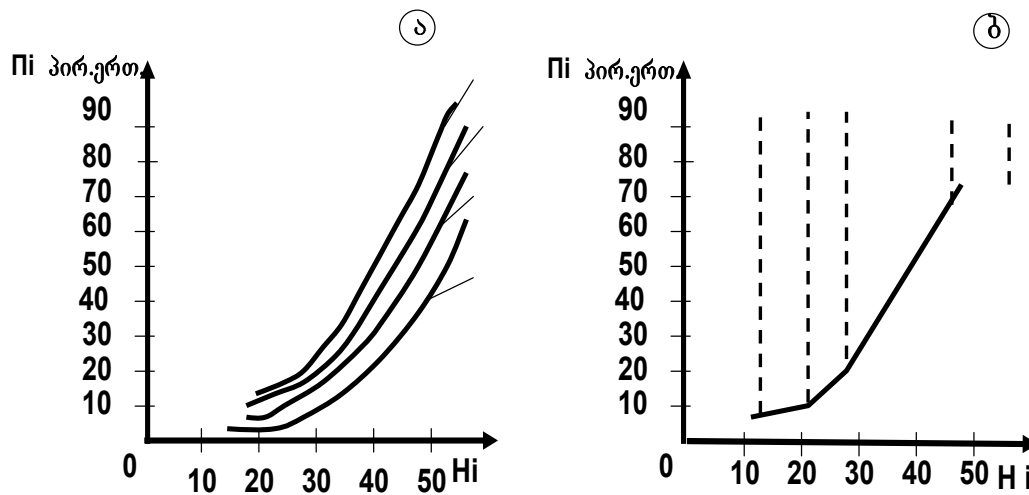
მიღებული (7) ფორმულის ანალიზის შედეგად შეიძლება ითქვას, რომ მისი გამოყენება საშუალებას იძლევა განისაზღვროს მეტროპოლიტენის ერთთადიანი სადგურის ოპტიმალური განლაგების სიღრმე, რომლის დროსაც მშენებლობისა და ექსპლუატაციის მინიმალური დანახარჯებით გარანტირებული იქნება როგორც მიწისზედა, ასევე მიწისქვეშა ნაგებობათა უსაფრთხო მდგომარეობა.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ქ. თბილისში მეტროპოლიტენის მშენებლობის პირობების, მიწისქვეშა და მიწისზედა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის (ნახ. 2) და ერთთადიანი სადგურის მშენებლობის სპეციფიკის გათვალისწინებით (7) ფორმულაში შესაბამისი პარამეტრების ჩასმით განგარიშებულ იქნა სხვადასხვა განლაგების  $H_i$  სიღრმისათვის მთლიანი ხარჯები.

5 ა ნახ-ზე მოცემულია განლაგების სიღრმეზე მთლიანი ხარჯების  $\Pi_i$  დამოკიდებულების გრაფიკი, მაშინ როდესაც მასივი წარმოდგენილია ერთგვაროვანი ქანთა მასივით. გრაფიკიდან ჩანს, რომ მიწისქვეშა ნაგებობის

განლაგების სიღრმის შემცირებასთან ერთად თითქმის წრფივად მცირდება მთლიანი ხარჯებიც. მიწისზედა ნაგებობათა ფუნდამენტებთან მიახლოებისას წრფიობრიობიდან გადახრა იზრდება.

არაერთგვაროვანი მასივის (ნახ. 5 ბ) შემთხვევაში ეს დამოკიდებულება უფრო რთული კონფიგურაციისაა. როგორც დიაგრამიდან ჩანს, დამოკიდებულება



ნახაზი 5. ერთგვაროვან (ა) და არაერთგვაროვან (ბ) ქანებში მთლიანი ხარჯების დამოკიდებულების გრაფიკი

$\Pi_i = f(H_i)$  ქანთა შრეების საზღვარზე იცვლება და განლაგების სიღრმის შემცირებით ხარჯებიც მცირდება.

5 ა, ბ ნახ-ზე მოცემული დამოკიდებულება აგებულია მიწისქვეშა ნაგებობათა განლაგების დიდი სიღრმეებისათვის. ამ პირობებში მიწისქვეშა და მიწისზედა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის ძალები მცირეა, ამიტომ დამოკიდებულებას მინიმუმის დამახასიათებელი წერტილები არ გააჩნია და ამიტომ ოპტიმალური განლაგების სიღრმე მისი მინიმალური მნიშვნელობაა.  $\Pi_i = f(H_i)$  დამოკიდებულების მისაღებად  $H_i$ -ს მცირე მნიშვნელობებისათვის აუცილებელია გამოყენებულ იქნეს მშენებლობის ისეთი სპეციალური მეთოდები და საშუალებები, რომლებიც საშუალებას მოგვცემენ, მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ინტენსიური ურთიერთგავლენის პირობებში, მათი მდგომარეობის უზრუნველყოფის მიზნით გავზარდოთ მიმდებარე ქანთა მასივის მზიდუნარიანობა. ამ ღონისძიებების გამოყენება, რასაკვირველია, დაკავშირებული იქნება დამატებით ხარჯებთან.

ამ მიზნით შესწავლილი იქნა საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა მშენებლობის ის მეთოდები, რომლებიც მიმართულია მიწისქვეშა ნაგებობების ირგვლივ ქანთა მასივის მდგრადობის ამაღლებისაკენ. ეს მეთოდები ითვალისწინებს მასივის გამტკიცებას:

1. დამცავი ეკრანით (ჰორიზონტალური საცემენტაციო ჭაბურღილების გამოყენება);

2. დამცავი ქოლგით (სხვადასხვა სიღრმეებზე და განსხვავებული კუთხეებით დახრილი და განლაგებული ხიმინჯები);

3. ანკერული სამაგრით (ქანთა მასივში ჩამაგრებული ღეროების სივრცითი სისტემა).

პრაქტიკაში აღნიშნული მეთოდებიდან უფრო გავრცელებულია პირველი ორი, ამიტომ მათზე დაყრდნობით ჩვენ მიერ მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ინტენსიური ურთიერთგავლენის პირობებში მიღებულ იქნა  $\Pi_i = f(H_i)$  დამოკიდებულება. გამოთვლები ჩატარდა ქ. თბილისში მეტროპოლიტენის სადგურ "ვაჟა-ფშაველას" ერთთაღიანი სადგურის მშენებლობის რეალური პირობებისათვის.

6 ა, ბ, გ, დ ნახ-ზე მოცემულია პირველი ჯგუფის დამხმარე ღონისძიების (A-B მონაკვეთები) გამოყენების შემთხვევაში მიღებული გაანგარიშების შედეგები.

დიაგრამიდან კარგად ჩანს, რომ  $\Pi_i$  დანახარჯები  $H_i$ -ს შემცირებასთან ერთად მცირდება და 10-12 მ-მდე ყველას მსგავსი მოხაზულობა აქვს.

6 ა, ბ ნახ-ზე მოყვანილია  $\Pi_i = f(H_i)$  დამოკიდებულების გრაფიკი  $f=1,5$ (ა);  $2$ (ბ) სიმაგრის ქანებში. სადგურის ოპტიმალური განლაგების სიღრმე და მინიმალური ხარჯები, შესაბამისად, იცვლება: კერძოდ,  $H_{\text{ოპტ}} = 9,3$ მ,  $f=1,5$  სიმაგრის ქანებში არის 10მ, ხოლო ხარჯები  $H_{\text{მინ}}=2,2$  მილ.პირ.ერთ.,  $f=2$  სიმაგრის ქანების შემთხვევაში, შესაბამისად,  $H_{\text{ოპტ}}=9,3$ მ;  $H_{\text{მინ}}=2,0$  მილ.პირ.ერთ.

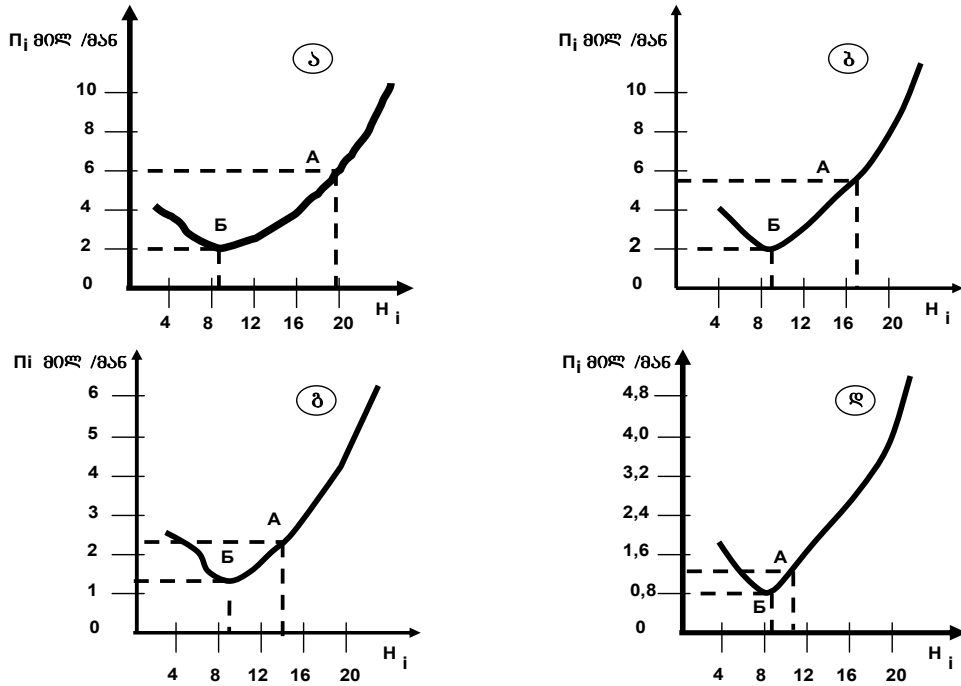
6 გ, დ ნახ-ზე შესაბამისად, მოყვანილია  $\Pi_i = f(H_i)$  დამოკიდებულების გრაფიკი, როდესაც ქანთა მასივი წარმოდგენილია  $f=5$  და  $f=10$  სიმაგრის ქანებით. ამ შემთხვევაში, შესაბამისად, ოპტიმალური განლაგების სიღრმე  $H_{\text{ოპტ}}=9,0$ მ;  $8,2$ მ; ხოლო ხარჯები  $H_{\text{მინ}}=1,4$  და  $0,9$  მილ.პირ.ერთ.

7 ა, ბ, გ, დ ნახ-ზე მოცემულია მეორე ჯგუფის დამხმარე ღონისძიების გამოყენების შემთხვევაში მიღებული გაანგარიშების შედეგები სხვადასხვა სიმაგრის ქანების შემთხვევაში. დიაგრამიდან ჩანს, რომ  $\Pi_i$  დანახარჯები  $H_i$ -ს შემცირებასთან ერთად მცირდება, მაგრამ დამატებითი ღონისძიების ზონაში მთლიანი ხარჯები პირველ ვარიანტთან შედარებით იზრდება. რაც შეეხება ოპტიმალური განლაგების სიღრმეს, იგი ქანების სიმაგრის მიხედვით იცვლება დაახლოებით იმავე საზღვრებში, როგორშიც იყო პირველი ვარიანტის დროს. ამ შემთხვევაში ქანების სიმაგრის მიხედვით ( $f=1,5$ ;  $2$ ;  $5$ ;  $10$ ),  $H_{\text{ოპტ}}=10,1$ ;  $9,6$ ;  $9,1$ ;  $8,6$  მ-ია, ხოლო  $H_{\text{მინ}}=2,85$ ;  $2,32$ ;  $1,62$  და  $1,2$  მილ.პირ.ერთ.

სხვადასხვა გეომექანიკურ სიტუაციაში "ვაჟა-ფშაველას" ერთთაღიანი სადგურის მშენებლობის რეალური პირობების გათვალისწინებით, დამცავი ქოლგის გამოყენების შემთხვევაში გაანგარიშების შედეგები მოცემულია მე-8 ნახ-ზე. მიღებული დიაგრამიდან კარგად ჩანს, რომ  $\Pi_i = f(H_i)$  დიაგრამის გრადიენტის მკვეთრი ცვლილება გეოლოგიურ ჭრილზე ქანების შრეების საზღვრებს ემთხვევა. ამასთან, მაგარი ქანების შრიდან სუსტზე გადასვლის შემთხვევაში გრადიენტი იზრდება და პირიქით. მე-8 ნახ-ზე  $\Pi_i = f(H_i)$  დამოკიდებულების გრადიენტი  $H=60$ მ-დან  $H=30$ მ-მდე არ იცვლება.



ცვლილებები იწყება  $H=30\text{მ}$ -დან  $H=11,8\text{მ}$ -მდე. დამატებითი ღონისძიების დაწყების შემდეგ იწყება შემცირება, რაც დამხმარე ღონისძიებების გატარების შემდეგ მშენებლობის ღირებულების გაზრდის შედეგია. ამ შემთხვევაში  $H_{\text{ოპტ}}=8,6$  მ, ხოლო ხარჯები  $H_{\text{მინ}}=1,0$  მილ.პირ.ერთ.



ნახ. 6.  $\Pi_i$  დამოკიდებულება  $H_i$  ჰორიზონტალური ჭაბურღილების გამოყენების შემთხვევაში, როდესაც ქანის სიმაგრეა  $f=1,5; 2; 5; 10$

მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა ნაგებობათა მშენებლობისას მასივის მდგრადობის გაზრდის მიზნით ქ. თბილისის პირობებში სხვადასხვა მეთოდების გამოყენებისას ოპტიმალური განლაგების სიღრმე, რომლის დროსაც მთლიანი ხარჯები  $\Pi$  მინიმალურია ( $H_{\text{მინ}}=1,6$  მილ.პირ.ერთ.), შეადგენს  $H_{\text{ოპტ}}=H_{\text{მინ}}=9,1$  მ, ხოლო მშენებლობის შედარებით ეფექტური მეთოდია დამცავი ქოლგის გამოყენებით ქანების გამტკიცება.

მეტროპოლიტენის ფუნქციონირების ეფექტურობა მოსახლეობის ტრანსპორტირების დროის ხარჯის შემცირებისა და მათი ტრანსპორტირებისაგან დაღლილობის ეფექტურობის გათვალისწინებით იანგარიშება ფორმული:

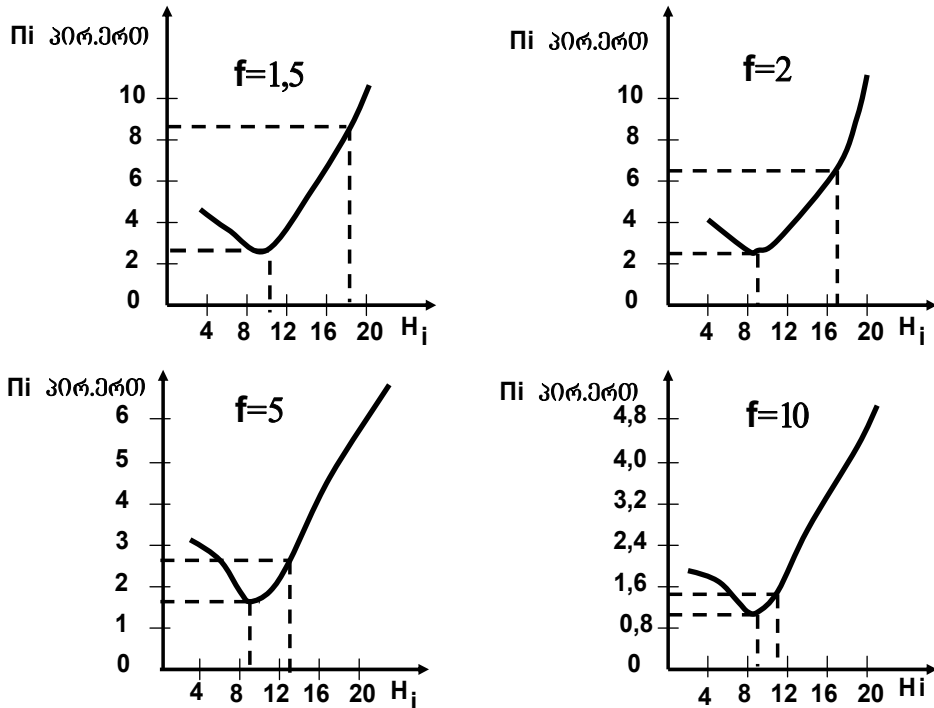
$$\Theta = K_{\Pi} (T_1' - T_2') \times m_0,$$

(8)

სადაც  $K_{\Pi}$  არის მოსახლეობის მიერ მეტროპოლიტენით სარგებლობის რაოდენობა წელიწადში;

$T_1^I - T_2^I$  - მეტროპოლიტენის ჩარღმავება სხვადასხვა ვარიანტების დროს;

$m_0$  - მოსახლეობის დროის დანახარჯების სხვაობა.  
შესასწავლ პირობებში შეიძლება დავწეროთ:



ნახ. 7.  $\Pi_i$  დამოკიდებულება  $H_i$  დამცავი ქოლგის გამოყენების შემთხვევაში, როდესაც ქანის სიმაგრეა  $f=1,5;2;5;10$

$$T_1^I - T_2^I = \frac{\Delta L^*}{V^*},$$

სადაც  $V^*$  უსკალატორის მოძრაობის სიჩქარეა;

$$\Delta L^* = (H_{\max} - H_i) \times 0,5.$$

ამ უკანასკნელის გათვალისწინებით

$$\Theta = \frac{0,5K_{II} \cdot M_0}{V^*} (H_{\max} - H_i) \text{ მილ.პირ.ერთ.}$$

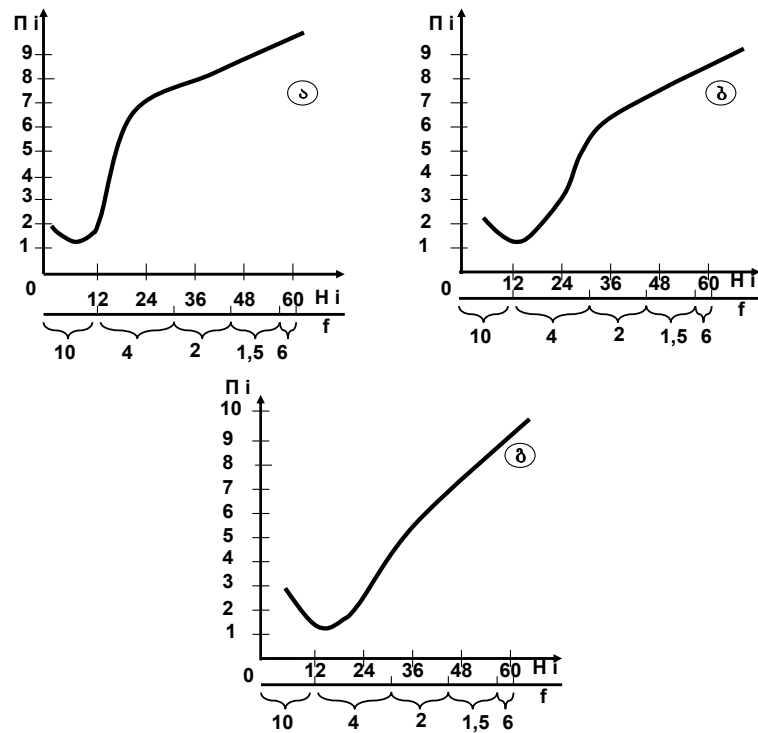
(9)

ამ ბოლო გამოსახულებაში შესაბამისი მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ, რომ მეტროპოლიტენის ექსპლუატაციის ეფექტურობა მისი სიღრმის შემცირებასთან ერთად იზრდება (ნახ. 9).

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სასარგებლო წიაღისეულის საბადოთა დამუშავების და მიწისქვეშა ნაგებობების მშენებლობის კათედრაზე ავტორის მონაწილეობით შემუშავებულ იქნა გვირაბის მშენებლობის ხერხი, რომლის მიზანი იყო ნაგებობის მდგრადობის გაზრდა და მიწისზედა ნაგებობის

გავლენის პირობებში მცირე სიღრმეზე განლაგებული გვირაბებისათვის მაქსიმალური მოგების მიღება. მეთოდი შემუშავებულია მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა ნაგებობათა მშენებლობისათვის ქ.თბილისის და მის მსგავს პირობებში.

10 ა, ბ, გ, დ ნახ-ზე მოცემულია შემუშავებული მეთოდისათვის  $\Pi_i$  მთლიანი ხარჯების დამოკიდებულება განლაგების სიღრმეზე მაშინ, როდესაც მასივი



ნახ. 8. განლაგების სიღრმეზე მთლიანი ხარჯების დამოკიდებულება სხვადასხვა გეომექანიკურ სიტუაციაში

წარმოდგენილია ერთგვაროვანი ქანებით. ნახ-ზე 10 ა, ბ ნახ-ზე მოცემულია  $\Pi_i$ - $H_i$  დამოკიდებულების გაანგარიშების შედეგები, როდესაც ქანთა მასივი წარმოდგენილია  $f=1,5; 2$  სიმაგრის ქანებით. ამ შემთხვევაში განლაგების სიღრმის ოპტიმალური მნიშვნელობები, შესაბამისად,  $H_{opt}=8,5; 7,0$  მ, ხოლო ხარჯები -  $H_{min}=558000; 500000$  პირ. ერთ. 10 გ, დ ნახ-ზე დიაგრამა შეესაბამება შემთხვევას, როდესაც ქანების სიმაგრე  $f=5; 10$ -ია. ამ პირობებში  $H_{opt}=6,8; 6,1$  მ, ხოლო ხარჯები  $H_{min}=346000; 245000$  პირ. ერთ.

მიღებული შედეგებით დასტურდება, რომ შემუშავებული მეთოდის გამოყენება საშუალებას იძლევა უფრო ეფექტურად შემცირდეს განლაგების სიღრმე და 20-25%-ით \_ მთლიანი ხარჯები.

ამგვარ მიდგომას ეფუძნება გვირაბის ჭერის წინმსწრები სტაბილიზაციის პრინციპი. მეთოდის პარამეტრების დაცვა საშუალებას იძლევა მცირე

სიღრმეებზე მშენებლობისას სხვა ცნობილ მეთოდებთან შედარებით უფრო მნიშვნელოვნად შემცირდეს ხარჯები, გვირაბის გაყვანის დროს გამოირიცხოს ჭერის ჩამოქცევის შესაძლებლობა და უზრუნველყოფილ იქნეს ნაგებობათა მდგრადობა მინიმალური მატერიალური და შრომითი დანახარჯებით.

ქანების კონსოლიდაციის მეთოდის გამოყენებისას პირდაპირი ხარჯები 25 მ სიგრძის მონაკვეთზე იყო 3542 პირ.ერთ., ხოლო 1 მ მზა გვირაბზე  $3542:25=142$  პირ.ერთ.

მთლიანი ხარჯები 1 მ გვირაბზე:

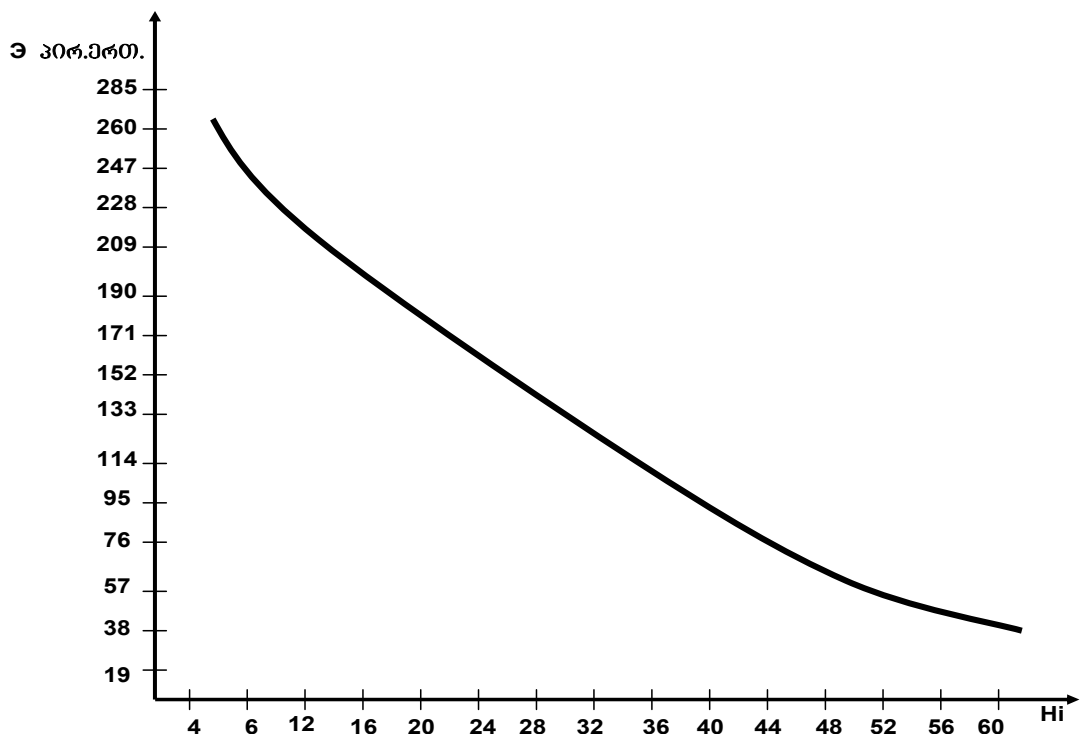
$$C_2 = 824 + 142 = 966 \text{ პირ.ერთ.}$$

1 მ გვირაბზე რეალური ეკონომიკური ეფექტი იყო

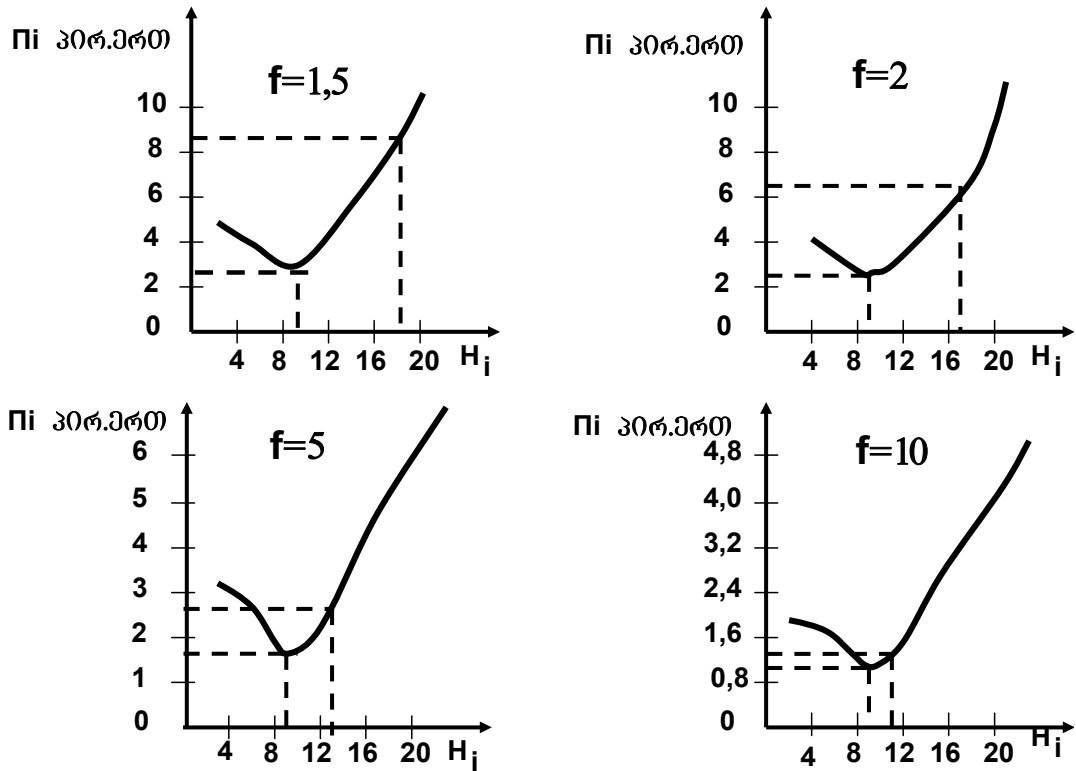
$$C_{\text{ეკო.}} = C_1 - C_2 = 2074 - 966 = 1108 \text{ პირ.ერთ.}$$

შემუშავებული მეთოდით აშენდა 40 მ შემაერთებული გვირაბი, რომლის დროსაც, შესაბამისად, მთლიანი ეკონომიკური ეფექტი იყო

$$40 \times 1108 = 44320 \text{ პირ.ერთ.}$$



ნახ. 9. განლაგების სიღრმეზე დამოკიდებულებით მეტროპოლიტენის ექსპლუატაციის ეფექტურობა



ნახ. 10. შემუშავებული მეთოდის გამოყენებისას  $P_i$ -ის დამოკიდებულება  $H_i$ -ზე.

## დასკვნა

სადისერტაციო ნაშრომში მოცემულია საქალაქო მიწისქვეშა ნაგებობათა ოპტიმალური განლაგების სიღრმის შერჩევის ახალი მეცნიერული გადაწყვეტა, რომლის დროსაც უზრუნველყოფილი იქნება როგორც მიწისქვეშა, ასევე მიწისზედა ნაგებობათა მდგრადობა მინიმალური დანახარჯების პირობებში.

სამუშაოში მიღებული ძირითადი დასკვნები და სამეცნიერო და პრაქტიკული შედეგები მდგომარეობს შემდეგში:

1. დადგენილი იქნა, რომ მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის კანონზომიერებათა შესწავლის დაბალი დონის გამო, გაანგარიშებებში აღებული დაუსაბუთებელი განლაგების სიღრმეები ერთ შემთხვევაში იწვევენ ყოველწლიურად კაპიტალდაბანდებათა 36%-ით გადახარჯვას, ხოლო მეორე შემთხვევაში ურთიერთგავლენათა გაუთვალისწინებლობით 25%-ით იზრდება შენახვისა და რემონტის ხარჯები. ცალკეულ შემთხვევებში ხდება როგორც მიწისქვეშა, ასევე მიწისზედა ნაგებობებთან კატასტროფული რღვევები;

2. მიწისქვეშა და მიწისზედა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის პირობებში ქანთა მასივში მიმდინარე მექანიკური პროცესების შესასწავლად შემუშავებულია მეთოდიკა და ხელსაწყოები, რომლებიც საშუალებას იძლევა, ნატურულ პირობებში კომპლექსურად იქნეს შესწავლილი მიწის ზედაპირამდე სამთო ქანთა მასივის დეფორმაციები, სამაგრზე მოსული დატვირთვა და მასში აღძრული ძაბვები მშენებლობის ეტაპობრიობის გათვალისწინებით;

3. ქ. თბილისში მეტროპოლიტენის სადგურ "ვაჟა-ფშაველას" მშენებლობისას ნატურული კვლევებით დადგენილ იქნა, რომ სადგურის კონტურზე ჭერის ქანების მაქსიმალური გადაადგილებები შეადგენენ 80 მმ-ს; კონტურიდან დაშორებით გადაადგილებები მცირდება და 20 მ სიღრმეზე არ აღემატება 5 მმ-ს. მაქსიმალური მკუმშავი ძაბვები სადგურის სამაგრში არ აღემატება 3,0 მპა-ს, ხოლო გამჭიმი ძაბვები უმნიშვნელოა. ეს კვლევები საშუალებას იძლევიან დავასკვნათ, რომ ერთთადიანი სადგურის განლაგების სიღრმე პროექტდება დიდი მარაგებით და არსებული მშენებლობის ტექნოლოგიით დამატებითი ღონისძიებების გამოყენების გარეშე შესაძლებელია შემცირდეს 25 მ-მდე;

4. მიწისქვეშა და მიწისზედა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის პირობებში მზიდი ელემენტების დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შესწავლის მიზნით შემუშავებულია მეთოდიკა, რომელიც ეფუძნება სასრული ელემენტების მეთოდს. მეთოდი საშუალებას იძლევა, გათვალისწინებულ იქნეს სამთო ქანთა მასივის არაერთგვაროვნება, ანიზოტროპიულობა და მშენებლობის ეტაპობრიობა. თეორიული კვლევების შედეგების სისწორე მტკიცდება ნატურული დაკვირვებებისას მიღებული შედეგების შესაბამის შედეგებთან კარგი თანხვედრით;

5. ქალაქის მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის პირობებში მათი არახელსაყრელი განლაგების ვარიანტს წარმოადგენს, როდესაც მიწისზედა ნაგებობათა ფუნდამენტები განლაგებულია მიწისქვეშა ნაგებობათა თავზე;

6. მიწისქვეშა ნაგებობისათვის არახელსაყრელია, როდესაც მიწისზედა ნაგებობათა ფუნდამენტები მასივის გვერდითა ნაწილებში განლაგებულია მიწისქვეშა ნაგებობის სიგანეზე;

7. იმ შემთხვევაში, როდესაც მიწისზედა ნაგებობისაგან გამოწვეული დატვირთვა მოქმედებს მიწისქვეშა ნაგებობის კედლების ვერტიკალურ სიბრტყეებში, ეს უკანასკნელი იმყოფება შედარებით უკეთეს პირობებში.

8. თეორიული კვლევების შედეგად დადგენილი იქნა, რომ სამთო ქანების არაერთგვაროვნება და შრეობრიობა მნიშვნელოვნად მოქმედებს შესასწავლ პირობებში რეალიზებად მექანიკურ პროცესებზე. ქანთა სუსტი შრის არსებობის შემთხვევაში მიწისქვეშა ნაგებობის მდგრადობის თვალსაზრისით უფრო ხელსაყრელია მისი ამ შრის ქვემოთ განლაგება. ამ შემთხვევაში მიწისქვეშა ნაგებობის ირგვლივ ძაბვისა და დეფორმაციის კომპონენტები ნაწილდება უფრო თანაბრად, 35-40%-ით მცირდება მიწისზედა ნაგებობათა საძირკვლების მიმართულებით გავლენის არეები და უმჯობესდება მზიდი ელემენტების მუშაობის პირობები. ანალოგიური ეფექტი მიიღება მიწისქვეშა ნაგებობის სამაგრის მუშაობაში შეყვანის დროის შემცირებითაც;

9. ქალაქის მიწისქვეშა ნაგებობის განლაგების სიღრმე უნდა განისაზღვროს სისტემა "სამაგრი\_ქანის მთელანა\_ფუნდამენტის" წონასწორობის პირობიდან, როდესაც მინიმალურია კაპიტალური და სამშენებლო ხარჯები. შემუშავებულია ქალაქის მიწისქვეშა ნაგებობის ოპტიმალური განლაგების სღრმის მეთოდიკა. მშენებლობის გავრცელებული მეთოდებისათვის განსაზღვრულია ოპტიმალური განლაგების სიღრმეების მნიშვნელობები და მიწისქვეშა ნაგებობის მშენებლობისა და ექსპლუატაციის მთლიანი ხარჯები. მაგალითად, წინმსწრები ჭაბურღილების გამოყენების შემთხვევაში  $H_{\text{ობტ.}}=9,1$  მ;  $\Pi_{\text{მინ.}}=1,6$  მილ. პირ. ერთ.; დამცავი ქოლგის მეთოდის გამოყენებისას  $H_{\text{ობტ.}}=9,5$  მ;  $\Pi_{\text{მინ.}}=2,01$  მილ. პირ. ერთ.

10. მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ურთიერთგავლენის პირობებში შემუშავებულია მიწისქვეშა ნაგებობათა მშენებლობის მეთოდი წინმსწრები დამცავი ეკრანის გამოყენებით, რომელიც საშუალებას იძლევა, მნიშვნელოვნად შემცირდეს  $H_{\text{ობტ}}$  და  $\Pi_{\text{მინ}}$  ისე, რომ უზრუნველყოფილ იქნეს ნაგებობათა მდგრადობა. განსაზღვრულია განლაგების სიღრმეები და მშენებლობის და ექსპლუატაციის დროს მათი შესაბამისი მთლიანი ხარჯები  $H_{\text{ობტ}}=7,1$  მ.  $\Pi_{\text{მინ}}=412,2$  მილ. პირ. ერთ. შემუშავებული მეთოდი დაინერგა "გლდანი-ვარკეთილის" მეტროპოლიტენის ხაზის მონაკვეთების მშენებლობისას. დანერგვის შედეგად მიღებულმა მთლიანმა ეკონომიკურმა ეფექტმა 44320 პირ.ერთ. შეადგინა.

### **დისერტაციის ძირითადი დებულები გამოქვეყნებულია შემდეგ ნაშრომებში:**

1. საავტორო მოწმობა 1694914 СССР – სამთო გვირაბების მშენებლობის ხერხები ვ. ყუშიტაშვილი და სხვები, 1991 წ.
2. ი. გუჯაბიძე, ვ. ყუშიტაშვილი – მეტროპოლიტენის მიწისქვეშა ნაგებობათა ირგვლივ მექანიკური პროცესების შემსწავლელი მეთოდიკა და ხელსაწყოები. სპი-ს შრომები 1989, 41-42 გვ.
3. ი. გუჯაბიძე, ვ. ყუშიტაშვილი და სხვ. ქ.თბილისში მეტროპოლიტენის ერთთადიანი სადგურის სამაგრის და მიმდებარე სამთო ქანთა მასივის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შესწავლა გავლენის არეების განსაზღვრით. ქ. თბილისის სამეცნიერო-ტექნიკური შემოქმედების ცენტრის ანგარიში. №გრ 78057662 საინ. №006578 1990, 133 გვ.
4. ი. გუჯაბიძე, ვ. ყუშიტაშვილი. მზიდუნარიანი ელემენტების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის შესწავლის ექსპერიმენტული მეთოდები. პროფესორ-მასწავლებელთა შემადგენლობის სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის მასალები, 16-19 ნოემბერი, 1993.
5. პატენტი №200641 \_ ჭაბურღილის სიღრმივი რეპერი. ვ. ყუშიტაშვილი ი. გუჯაბიძე, 1993.
6. ი. გუჯაბიძე, ვ. ყუშიტაშვილი, ზ. გუდავაძე. ქალაქის მიწისქვეშა ნაგებობათა მზიდუნარიანი ელემენტების დაძაბულ-დეფორმირებული

მდგომარეობის შესწავლის ექსპერიმენტული მეთოდები. სამთო ჟურნალი,  
მოსკოვი, 2006.