

მ. თევზაძე, მ. მესხი

გამოყენებითი გეოდეზიის კურსი

თბილისი – 2010

უაკ 528.48(075.8)

მოცემულია გეოდეზიური საყრდენი ქსელების სახეები, მათი პროექტების შედგენისა და სიზუსტის შეფასების მეთოდები, ტოპოგრაფიულ-გეოდეზიური მიმოკვლევები, წრფივ ნაგებობათა ტრასირების საკითხები, დაკვალვითი სამუშაოების მეთოდები, მშენებლობისას გეომეტრიული პარამეტრების დაცვის კონტროლი და საინჟინრო ნაგებობათა დეფორმაციებზე გეოდეზიური დაკვირვებები.

ყურადღება გამახვილებულია გეოდეზიური საფუძვლის გეგმური და სასიმაღლო ქსელების პროექტების სიზუსტის შეფასების, ასევე გეოდეზიურ სამუშაოთა წარმოების პროექტების შედგენასა და საინჟინრო ნაგებობათა დაწევებსა და ძვრებზე გეოდეზიური დაკვირვების მეთოდებზე.

განკუთვნილია საინჟინრო გეოდეზიის, მარკშეიდერიისა და კადასტრის სპეციალობების ბაკალავრიატისა და მაგისტრატურის სტუდენტებისთვის.

რეცენზენტები:

სრული პროფესორი
ასოცირებული პროფესორი

თ. ჟორდანია
ა. კიკაბიძე

შესავალი

გამოყენებითი გეოდეზია გეოდეზიურ მეცნიერებათა ციკლში შემავალი დარგია, რომელიც საინჟინრო საქმეში გეოდეზიის გამოყენების საკითხებს შეისწავლის, ამიტომ მას საინჟინრო გეოდეზიასაც უწოდებენ.

კურსი შედგენილია საინჟინრო გეოდეზიის, მარკშიდერიისა და კადასტრის სპეციალობების ბაკალავრიატის და მაგისტრატურის სტუდენტთათვის შესაბამისი პროგრამების გათვალისწინებით და ორი ნაწილისგან შედგება.

პირველ ნაწილში განხილულია საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების ძირითადი მეთოდები და პრინციპები, ხოლო მეორე ნაწილში – გეოდეზიური სამუშაოები საინჟინრო ნაგებობათა მშენებლობისას.

კურსის სწავლების დაწყების მომენტიდან სტუდენტს შესწავლილი უნდა ჰქონდეს: გეოდეზია (ტოპოგრაფია), გეოდეზიური განაზომების მათემატიკური დამუშავების თეორია და ფოტოგრამმეტრია. ამ კურსთან ერთად კი შეისწავლება უმაღლესი გეოდეზია, გრავიმეტრია, საინჟინრო ნაგებობათა მშენებლობის ტექნოლოგია და გეოლოგია.

გამოყენებითი გეოდეზიის პროგრამის შედგენისას საფუძვლად მიღებულია ზოგადიდან კერძოზე გადასვლის (დედუქციის) პრინციპი. შესაბამისად, ჯერ განიხილება საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების ძირითადი მეთოდები და პრინციპები, ხოლო შემდეგ შეისწავლება ცალკეული სახის საინჟინრო ნაგებობათა მშენებლობისას გეოდეზიური სამუშაოების შემადგენლობა და შინაარსი. კურსის პროგრამის შედგენის არსებით ელემენტად გვევლინება თეორიული ნაწილის მჭიდრო კავშირი პრაქტიკულთან – ლაბორატორიულ და პრაქტიკულ მეცადინეობებთან. თეორია წინ უსწრებს ამა თუ იმ განყოფილების პრაქტიკულ მეცადინეობებს. ამ პრინციპის მტკიცედ დაცვა ხელს შეუწყობს

მიღებული თეორიული ცოდნის განმტკიცებას და მის ღრმად გაგებას.

მხედველობაშია მიღებული სტუდენტის პრაქტიკული გამოცდილების მნიშვნელობა და ამიტომ კურსში დიდი ადგილი ეთმობა გეოდეზიური ქსელის პროექტის სიზუსტის შეფასების, ასევე საინჟინრო ნაგებობის დაკვალვისა და შემოწმების საკითხებს.

მაღალ კურსებზე საგნის შესწავლისას უნდა გააქტიურდეს სტუდენტის ინდივიდუალური მუშაობა, პროგრამის ცალკეული საკითხების ლიტერატურული წყაროების მიხედვით შესწავლა და ინდივიდუალური გეგმით ცალკეული საკითხების უფრო ღრმად დამუშავება.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ვინაიდან გამოყენებითი გეოდეზიის კურსის შესწავლის დაწყებამდე სტუდენტს გავლილი უნდა ჰქონდეს გეოდეზიის საწყისი კურსი, ამიტომ წინამდებარე სახელმძღვანელოში არ განიხილება ელემენტარული გეოდეზიის საკითხები.

სახელმძღვანელო შედგენილია გეოდეზიის დარგში ცნობილი მეცნიერების – ნ. თევზაძის, გ. ლევჩუკის, ვ. ნოვაკის, ნ. ლებედევის, ვ. ბოლშაკოვის, გ. გლოტოვის და სხვათა სახელმძღვანელოებში მოტანილი საყოველთაოდ მიღებული მეთოდების, პრინციპებისა და დებულებების, აგრეთვე გამოყენებითი გეოდეზიის სპეციალობის სტუდენტებთან მრავალწლიანი ლექციების კურსის წაკითხვის გამოცდილების საფუძველზე.

თავი 1. საერთო ცნობები

1.1. გამოყენებითი გეოდეზიის საგანი და ამოცანები

გამოყენებითი გეოდეზიის საგანი არის საინჟინრო ობიექტების – საავტომობილო და სარკინიგზო გზების, ხიდების, მაგისტრალური მილსადენების, ელექტროგადამცემი ხაზების, აეროპორტების, სამრეწველო და სამოქალაქო შენობა-ნაგებობების, გვირაბების, ჰიდროტექნიკური კვანძების, პრეციზიული ნაგებობებისა და სხვათა საინჟინრო გეოდეზიური მომსახურება, მათი მიმოკვლევის, დაპროექტების, პროექტის ნატურაში გადატანის, მშენებლობისას კონტროლისა და ექსპლუატაციისას დეფორმაციებზე დაკვირვებების დროს. სხვანაირად რომ ვთქვათ, გამოყენებითი გეოდეზიის საგანია საინჟინრო ობიექტის მიმოკვლევის, მშენებლობისა და ექსპლუატაციისას წამოჭრილი სამეურნეო და კვლევითი ამოცანების ტოპოგრაფიულ-გეოდეზიური უზრუნველყოფის მეთოდების შესწავლა. ამასთან, საინჟინრო ნაგებობის დაპროექტებისას განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ტოპოგრაფიული საფუძვლის შექმნის მეთოდებს, ხოლო ნაგებობის აგებისა და კონსტრუქციის მონტაჟისას – გაანგარიშებული გეომეტრიული პარამეტრების მკაცრად დაცვისა და გეოდეზიური უზრუნველყოფის მეთოდებს.

სამშენებლო ობიექტების გეოდეზიური უზრუნველყოფისას გამოყენებითი გეოდეზია სარგებლობს სხვადასხვა მონაცემით:

- ასტრონომიულ-გეოდეზიურით – საყრდენი ქსელის პუნქტების კოორდინატები და ნიშნულები, მიმართულების აზიმიუტი;
- გრავიმეტრიულით – მოედნის მაღალი სიზუსტის გრავიმეტრიული აგეგმვა, შვეულის ნორმალიდან გადახრა;
- ტოპოგრაფიულით და ფოტოგრამმეტრიულით – სხვადასხვა მასშტაბის რუკები, ფოტორუკები და ფოტოგეგმები, აეროკოსმოსური გადაღების მასალები;

– საინჟინრო-გეოდეზიურით – მოედნის და ტრასის მსხვილმასშტაბიანი გეგმები, გზის და მდინარის გრძივი პროფილები, მრუდების ელემენტები, ვერტიკალური დაგეგმარების მასალები და სხვა.

გეოდეზიაში ცნობილი კლასიკური მეთოდების გარდა, გამოყენებით გეოდეზიაში იყენებენ გაზომვების ახალ, მაღალი სიზუსტის მეთოდებს – გასწვრივობიდან გადახრის გაზომვის სქემებსა და პროგრამებს, სიმებიან-ოპტიკურ, ინტერფერენციულ, მიკრონიველობისა და გვერდითი ნიველობის, ვერტიკალური დაპროექტების ხერხებს და ა.შ.

გარდა აღნიშნულისა, თანამედროვე რთული კონსტრუქციებისა და დანადგარების სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების გეოდეზიური უზრუნველყოფის, მათ დეფორმაციებზე დაკვირვებების და მრავალი სხვა სამუშაოსათვის იქმნება ახალი ორიგინალური ხელსაწყოები და მეთოდები.

გამოყენებითი გეოდეზიის ძირითადი შემადგენელი ნაწილებია:

- მოედნისა და ტრასის ტოპოგრაფიულ-გეოდეზიური მიმოკვლევა;
- შენობისა და ნაგებობის საინჟინრო-გეოდეზიური დაპროექტება;
- საინჟინრო-გეოდეზიური დაკვალვითი სამუშაო;
- კონსტრუქციისა და ტექნოლოგიური მოწყობილობის ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ საპროექტო სიბრტყეში მოყვანა-გასწორება;
- შენობა-ნაგებობების და მათი საძირკვლების დეფორმაციებზე დაკვირვებები.

გამოყენებითი გეოდეზიის თითოეული შემადგენელი ნაწილი დაკავშირებულია სამშენებლო პროცესის განსაზღვრულ ეტაპებთან და არსებითად განსხვავდებიან გადასაწყვეტი ამოცანებით და გაზომვების სიზუსტით.

ტოპოგრაფიულ-გეოდეზიური მიმოკვლევა – ყველაზე ცნობილი სამუშაოა და გულისხმობს სამშენებლო მოედანსა ან ტრასაზე გეგმური და სასიმაღლო საყრდენი ქსელების შექმნას,

მოედნისა და ტრასის მსხვილმასშტაბიან ტოპოგრაფიულ აგეგმვას, წრფივ ნაგებობათა ტრასირებას და სხვა.

საინჟინრო-გეოდეზიური დაპროექტება – გულისხმობს გეგმების და პროფილების სახით ტოპოგრაფიული საფუძვლის შექმნას, ნაგებობის გენგეგმის დამუშავებას, ნატურაში გამოსატანად პროექტის გეოდეზიურ მომზადებას, ჰორიზონტალური და ვერტიკალური დაგეგმარების ამოცანების გადაწყვეტას, ფართობების და მოცულობების გამოთვლას და სხვა.

დაკვალვითი სამუშაო – ძირითადი გეოდეზიური სამუშაოა პროექტის ნატურაში გადატანისას. როგორც წესი, იგი მოითხოვს, როგორც გეოდეზიური საფუძვლის, ისე გაზომვების უფრო მაღალ სიზუსტეს აგეგმვით სამუშაოსთან შედარებით. დაკვალვითი სამუშაო გულისხმობს: სადაკვალვო საფუძვლის შექმნას სხვადასხვა ტიპის ქსელის სახით; დაკვალვითი საფუძვლიდან ნაგებობის მთავარი ღერძების გამოტანას ნატურაში; საძირკვლის, მიწისქვეშა კომუნიკაციის და სხვა დეტალურ დაკვალვას.

საპროექტო სიბრტყეებში გეოდეზიური მოყვანა-გასწორება – სრულდება გეგმაში, სიმაღლეა და ვერტიკალზე. იგი ყველაზე ზუსტ საინჟინრო-გეოდეზიურ სამუშაოს მიეკუთვნება და სრულდება სპეციალურად ამ მიზნით დამუშავებული მეთოდებითა და ხელსაწყოებით. იგი გამოყენებითი გეოდეზიის ყველაზე უფრო ინტენსიურად განვითარებადი ნაწილია, რომელშიც ფართოდ ინერგება გაზომვის ახალი მეთოდები და ავტომატიზებული ხელსაწყოები.

დეფორმაციაზე დაკვირვება – სრულდება მაღალი სიზუსტის გეოდეზიური მეთოდებით და გულისხმობს: ქვაბულის და საძირკვლის დაჯდომების გაზომვას; ნაგებობის ჰორიზონტალური ძერის განსაზღვრას; მაღალი შენობის, კოშკის, ანძის ვერტიკალიდან გადახრის განსაზღვრას. დეფორმაციაზე დაკვირვება მიზნად ისახავს როგორც საწარმოო-ტექნიკურ, ისე სამეცნიერო ამოცანებს.

გამოყენებითი გეოდეზიის ძირითადი სამეცნიერო-ტექნიკური ამოცანებია:

- სხვადასხვა დანიშნულების გეოდეზიური საყრდენი ქსელების მეცნიერულად დასაბუთებული ოპტიმალური სქემების და პროგრამების შექმნა ძირითადი ტიპის საინჟინრო ნაგებობებისათვის;
- საინჟინრო ობიექტის მიმოკვლევის, დაპროექტების, დაკვალებისა და აგების კონტროლისას მეცნიერებისა და ტექნიკის უახლეს მიღწევებზე დამყარებული ყველაზე ეფექტური მეთოდებისა და გეოდეზიური ხელსაწყოების დამუშავება;
- მსხვილ და რთულ საინჟინრო ნაგებობათა მშენებლობისას დაგროვებული გეოდეზიური სამუშაოების წარმოების მდიდარი გამოცდილების განზოგადება.

1.2. გამოყენებითი გეოდეზიის განვითარების მოკლე ისტორიული მიმოხილვა

გეოდეზია ერთ-ერთი უძველესი მეცნიერებათაგანია. ჩვენი ამოცანა არ არის გეოდეზიის, როგორც მეცნიერების და პრაქტიკის განვითარების მრავალსაუკუნოვანი ისტორიის დეტალურად განხილვა და მისი თანმიმდევრული აღწერა. მოვიყვანთ მხოლოდ რამდენიმე ცნობილ ფაქტს მისი სიძველის დასადასტურებლად.

გეოდეზიური გაზომვები დედამიწის ზედაპირის ნაწილებად დაყოფისათვის ტარდებოდა ძველ ეგვიპტეში, ჩინეთსა და სხვა ქვეყნებში ძველი წელთაღრიცხვის ადრეულ საუკუნეებში (სწორედ აქედან გაჩნდა სახელწოდება „გეოდეზია“ – „მიწის დაყოფა“). მდ. ნილოსის მიდამოებში არსებობდა სარწყავი არხები, რომელთა მშენებლობა გეოდეზიური სამუშაოების შესრულებას მოითხოვდა.

ჩვ. წელთაღრიცხვამდე III საუკუნეში გეოდეზიის ფუძემდებლად წოდებულმა ერათოსთენემ, იმ დროისთვის საკმაოდ მაღალი სიზუსტით განსაზღვრა დედამიწის რადიუსი, თანაც მის მიერ გამოყენებული პრინციპი დღესაც ძირითადია.

თანამედროვე არქეოლოგიური გათხრები ადასტურებს, რომ გეოდეზია ჩაისახა და ვითარდებოდა ადამიანის სხვადასხვა სახის პრაქტიკული საქმიანობის შედეგად. უძველესი ცივილიზაციები ეგვიპტეში, წინა და შუა აზიასა და მსოფლიოს სხვა ადგილებში უკვე ფლობდნენ დასამუშავებელი მიწების უზენაეს დაყოფის ხელოვნებას, მარტივ გეოდეზიურ გაზომვებს სარწყავი არხებისა და სხვა დანიშნულების ნაგებობათა მშენებლობისათვის და სხვა. ეგვიპტიდან ეს ცოდნა გავრცელდა საბერძნეთში, შემდეგ კი ძველ რომში. ამ ქვეყნებში იგი თანდათანობით ფართოვდება და ყალიბდება, როგორც მეცნიერება.

დაგროვებული ცოდნისა და მიგნებების გამოყენებით დაიწყო პირამიდების, ტაძრების, ციხე-სიმაგრეების, შუქურების, არხებისა და სხვა ჰიდროტექნიკური ნაგებობების, გვირაბების, რთული ტრასების მქონე გზების, წყალგამტარი ქსელების, ანტიკური შენობებისა და ნაგებობების მშენებლობა. მრავალი ამ შემორჩენილ ნაგებობათაგან ამჟამადაც გვაკვირვებს სირთულით, ჩანაფიქრის სიღრმით და შესრულების გრანდიოზულობით. ძველ მშენებელს შეეძლო გამოეტანა ნატურაში ნაგებობის ღერძები, დაეკვალა მრუდები, აეგო მართი კუთხეები, გადაეცა სასიმაღლო ნიშნულები, მიეცა ტრასისთვის ქანობი, უზრუნველყო ნაგებობის ვერტიკალურობა, შეესრულებინა ტრასირებითი სამუშაო, უზრუნველყო შემხვედრი სანგრეგების გაყვანა და სხვა სახის საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაო.

ძველი მსოფლიოს შემორჩენილი ნაგებობების შესწავლა და ანალიზი აჩვენებს, რომ იმ დროს ხაზოვანი გაზომვები ტარდებოდა 1/2000-1/3000 ფარდობითი შეცდომით, კუთხური გაზომვები –

2 – 4', ხოლო სასიმაღლო 1-2 სმ შეცდომით. გაზომვების ასეთი სიზუსტე შენარჩუნდა XVIII საუკუნის ბოლომდე.

სამწუხაროდ ნაკლებად მოიპოვება ცნობები გეოდეზიის შემდგომი განვითარების შესახებ ჩვენი წელთაღრიცხვის XVIII საუკუნემდე. ჩვენამდე მოღწეული ცნობები გეოდეზიის შესახებ ძირითადად დაკავშირებულია სავაჭრო გზების და კავშირების გამოცოცხლებასთან, საზღვაო ნაოსნობის გაფართოებასთან და რუკების და გეგმების მოთხოვნების ზრდასთან.

საინჟინრო-გეოდეზიურმა სამუშაოებმა შემდგომი განვითარება XIX ს. პოვა სამრეწველო რევოლუციასთან დაკავშირებით. საგზაო მშენებლობის დიდმა მოცულობამ, გვირაბების და გემთსავალი არხების გაყვანის საჭიროებამ მოითხოვა ამ ნაგებობათა მიმოკვლევის და დაკვალვის განსაკუთრებული მეთოდების დამუშავება. ყველაზე მეტი სიძნელე ახლდა გვირაბების შემხვედრი სანგრევებით გაყვანას, რომელიც მიწისქვეშა და მიწისზედა ორიენტირების განსაკუთრებულ მეთოდებს მოითხოვდა. ეს მეთოდები შემდგომში გამოცალკევდა ე.წ. სამთო გეოდეზიად ანუ მარკშიდერიად.

წრფივ ნაგებობათა დაკვალვა საჭიროებდა აგეგმვით სამუშაოებს დიდ ტერიტორიაზე, რამაც მოითხოვა დიდი გეოდეზიური საყრდენი ქსელების განვითარება, მათი მკაცრი გაწონასწორება და სიზუსტის შეფასება. მთიან მასივში გვირაბების გაყვანისას იგებოდა მაღალი სიზუსტის ქსელები შვეულის გადახრის და რეფრაქციის გათვალისწინებით. გზებზე მიმოსვლის სიჩქარის გაზრდამ გაართულა ტრასების გეომეტრია. დაიწყეს ორმაგი სიძრულის სივრცითი მრუდების დაპროექტება, რომლებიც გეგმასა და პროფილზე შედგებოდა წრფეების, წრიული და გადასასვლელი მრუდებისგან და მოითხოვდა უფრო მაღალი სიზუსტის დაკვალვით სამუშაოებს. ამ პერიოდში ეყრება საფუძველი გამოყენებითი გეოდეზიის მეცნიერებად ჩამოყალიბებას.

1950 წლიდან იწყება გამოყენებითი გეოდეზიის სამუშაოების შემდგომი მკვეთრი განვითარება, რაც განაპირობა თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნიკურმა რევოლუციამ. შენდება ურთულესი პრეციზიული ნაგებობანი, დიდი კომპლექსური სისტემები. მუშავდება ნაგებობათა დეფორმაციებზე დაკვირვებების ახალი მეთოდები, დიდი განვრცობის მქონე ავტომატური ხაზების ჰორიზონტულ სიბრტყეში მოყვანის მეთოდები, ჰესების მაღალი დაწნევის კაშხლების დაპროექტებისა და მშენებლობის მეთოდები, პრეციზიულ ნაგებობათა დაკვალვისა და მათ დეფორმაციებზე დაკვირვების მეთოდები და სხვა.

თანამედროვე მრავალსართულიანი მშენებლობის მექანიზაცია და ტექნოლოგიური წარმოების ავტომატიზაცია მოითხოვს გეოდეზიურ განაზომთა მაღალ სიზუსტეს. მეცნიერული გამოკვლევები დიდი სიჩქარეების აეროდინამიკაში, ბირთვული ნაწილაკების დიდი ამჩქარებლების მშენებლობა, რადიონატენტათა კომპლექსების შეზუსტება (იუსტირება) მოითხოვს განსაკუთრებით მაღალი სიზუსტის იარაღებისა და ხელსაწყოების გამოყენებას, რომლებიც უზრუნველყოფენ გაზომვებს მილიმეტრის მეათედი და მეასედი სიზუსტით.

გამოყენებითი გეოდეზიის განვითარების შემდგომი უმთავრესი ამოცანაა მაღალი სიზუსტის გაზომვების ავტომატიზაცია და ამ მიზნით ელექტრონიკისა და ლაზერული ტექნიკის უახლეს მიღწევათა გამოყენება.

საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების სწრაფმა განვითარებამ გასული საუკუნის 50-იან წლებში მოითხოვა გამოყენებითი გეოდეზიის სპეციალობის შემოღება უმაღლეს სასწავლებლებში, რაც განხორციელდა ჯერ 1948წ. მოსკოვის გეოდეზიის, აეროფოტოაგეგმვისა და კარტოგრაფიის ინჟინერთა ინსტიტუტში, შემდგომ წლებში კი – ნოვოსიბირსკის, კიევის, ლვოვის, ლენინგრადის და სხვა ქალაქების უმაღლეს სასწავლებლებში.

1978წ. გამოყენებითი გეოდეზიის სპეციალობა გაიხსნა საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის გეოდეზიისა და მარკშიდერიის კათედრაზე, რაშიც უდიდესი წვლილი მიუძღვის კათედრის გამგეს, პროფ. ნ. თევზაძეს, რომელმაც ამ სპეციალობისათვის დაწერა გეოდეზიის პირველი ქართული სახელმძღვანელო. იგი მისი ცნობილი ავტორების მე-10 ტომია. გარდა ამისა, მის დანარჩენ ტომებში გამოყენებითი გეოდეზიის სპეციალობისათვის მრავალი მნიშვნელოვანი საკითხია განხილული, რაზეც ალიზარდნენ და ამჟამადაც იზრდებიან გეოდეზისტთა თაობები.

1.3. გამოყენებითი გეოდეზიის კავშირი მომიჯნავე საგნებთან

გამოყენებითი გეოდეზიის სამუშაოების თანამედროვე დონე მოითხოვს ფართო პროფილის სპეციალისტს, რომელიც ღრმად ფლობს გეოდეზიის, ფოტოგრამმეტრიის, გეოდეზიურ განაზომთა დამუშავების თეორიისა და პრაქტიკის, გრავიმეტრიის, ასტრონომიის, აგრეთვე ნაგებობათა დაპროექტებისა და მშენებლობის საკითხებს.

სპეციალისტს უნდა შეეძლოს მოცემული ტიპის ნაგებობისათვის გეოდეზიური გაზომვების აუცილებელი და საკმარისი სიზუსტის სწორად გაანგარიშება, გეოდეზიური სამუშაოების წარმოების საფუძვლიანი პროექტის შედგენა და პროექტის განხორციელების ყოველ სტადიაზე სამუშაოს ხარისხიანად შესრულება.

გამოყენებითი გეოდეზიის კურსი დაფუძნებულია გეოდეზიის, ფოტოგრამმეტრიის, უმაღლესი გეოდეზიის, გეოდეზიურ განაზომთა მათემატიკური დამუშავების თეორიულ და პრაქტიკულ დებულებებზე. ყველა ჩამოთვლილი საგნის შესწავლა და

დაუფლება გამოყენებითი გეოდეზიის დაუფლების აუცილებელი წინაპირობაა.

გამოყენებითი გეოდეზიის სამეცნიერო და პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტის მეთოდები გეოდეზიის ციკლში შემავალი საგნების გარდა ემყარება მათემატიკისა და ფიზიკის კანონებს. მათემატიკის დახმარებით მუშავდება გეოდეზიურ განაზომთა დამუშავების, ამოცანის დაყენებისა და გადაწყვეტის მეცნიერულად დასაბუთებული სქემები და პროგრამები და მყარდება გაზომვის შედეგებსა და საძიებელ სიდიდეებს შორის დამოკიდებულებები. მათემატიკის საფუძველზე ხდება განაზომთა შედეგების დამუშავება, რომელიც საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ საძიებელ სიდიდეთა უაღბათესი მნიშვნელობები.

მჭიდრო კავშირშია გამოყენებითი გეოდეზია ფიზიკის დარგებთან, კერძოდ ოპტიკასთან, ელექტრონიკასთან, რადიოტექნიკასთან, რომელთა საფუძველზეც ხდება გეოდეზიური ხელსაწყოების დამუშავება.

საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოები კავშირშია აგრეთვე ასტრონომიასთან, გრავიმეტრიასთან, კარტოგრაფიასთან, გეოლოგიასთან და მეცნიერების სხვა დარგებთან. მაგალითად, ცნობები ასტრონომიიდან აუცილებელია დედამიწის ზედაპირის პუნქტების კოორდინატების ასტრონომიული ზერხით განსაზღვრისათვის და პირიქით, გეოდეზიური მეთოდებით განსაზღვრული დედამიწის დიამეტრი გამოიყენება ასტრონომიაში მზის სისტემის პლანეტებს შორის მანძილის განსაზღვრისათვის, როგორც სიგრძის საზომი ერთეული. ასევე, გეოლოგია და კერძოდ, მისი ერთ-ერთი დარგი – გეომორფოლოგია, როგორც მეცნიერება დედამიწის ზედაპირის რელიეფის წარმოშობისა და განვითარების შესახებ – სჭირდება გეოდეზიას რელიეფის ფორმების რუკებსა და გეგმებზე სწორად გამოსახვისათვის.

საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების საფუძვლიანი პროექტის დამუშავებისა და ნატურულ დაკვირვებათა შედეგების სწორი

ანალიზისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს გეოლოგიისა და ჰიდროლოგიის, ნაგებობათა დაპროექტებისა და მშენებლობის ტექნოლოგიის შესწავლას.

1.4. საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების თავისებურებანი

საინჟინრო ნაგებობის ტიპისა და გაზომვების სახეების მიხედვით გეოდეზიური სამუშაოების ჩატარების მეთოდიკა სხვადასხვაგვარია, რაც შემსრულებლისგან მოითხოვს გეოდეზიური საფუძვლის შექმნის, განაზომთა შედეგების გაწონასწორებისა და სიზუსტის შეფასების თეორიის ღრმა ცოდნას, აგრეთვე მიმოკვლევითი და დაკვალვითი სამუშაოების გარკვეულ გამოცდილებას.

საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოები სრულდება ნაგებობის ცალკეული სახეების დაპროექტებისა და ნატურაში გადატანის მოთხოვნებთან დაკავშირებით. მაგალითად, ჰიდროტექნიკური ნაგებობის დაპროექტებისას განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ადგილმდებარეობის რელიეფის გამოსახვის დეტალურობა და სიზუსტე, რაც ძირითადად დაკავშირებულია დასატბორი ტერიტორიის საზღვრების დადგენასთან. ქალაქების და დასახლებული ადგილების აგეგმვისას დიდ როლს ასრულებს კაპიტალური ნაგებობანი, რომლებიც გენგეგმის დამუშავების საფუძველია.

საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების ერთ-ერთი თავისებურება ისაა, რომ განაზომები რედუცირებულ უნდა იქნეს არა რეფერენც-ელიფსოიდის ზედაპირზე, არამედ სამშენებლო მოედნის ან საინჟინრო ობიექტის საშუალო ღონეზე, როგორც დაყვანის ზედაპირზე.

გამოყენებითი გეოდეზიის სამუშაოების შესრულებისას იცავენ დედუქციის პრინციპს, ანუ პრინციპს ზოგადიდან კერძოსკენ,

მაგრამ გეოდეზიური განაზომების სიზუსტისადმი მოთხოვნები ამ დროს იზრდება საერთო გეოდეზიურთან შედარებით უკუმიმართულებით. მაგალითად, გეოდეზიაში (ტოპოგრაფიაში) საყრდენი ქსელების განვითარებისას სიზუსტე კლებულობს – ყოველი მომდევნო საფეხურის სიზუსტე ნაკლებია წინა საფეხურის სიზუსტეზე. საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოები კი მოითხოვს, რომ მომდევნო სტადიის სამუშაოების შესრულების სიზუსტე მეტი იყოს, ვიდრე წინა სტადიისა. როგორც ვიცით, საინჟინრო ობიექტზე გეოდეზიური სამუშაოები გაივლის შემდეგ სტადიებს: მიმოკვლევას, დაპროექტებას, დაკვალვას, მშენებლობის კონტროლს და დეფორმაციებზე დაკვირვებებს. თითოეულ მომდევნო სტადიაზე საყრდენი ქსელის სიზუსტე მეტი უნდა იყოს, ვიდრე წინა სტადიაზე. ეს კი ქსელების დაპროექტებისადმი მოითხოვს განსაკუთრებულ – არასტანდარტულ მიდგომას, კერძოდ ლოკალური საყრდენი ქსელების შექმნას. ასევე იზრდება სიზუსტე ზოგადიდან კერძოსკენ დაკვალვითი სამუშაოების წარმოებისას. ნაგებობის დაკვალვა სრულდება სამ ეტაპად, შემდეგი თანმიმდევრობით – ძირითადი ღერძების დაკვალვა, დეტალური დაკვალვა და ტექნოლოგიური ღერძების დაკვალვა. ამ დროს დაკვალვის სიზუსტე იზრდება ეტაპიდან ეტაპისკენ მნიშვნელოვანი სიდიდით, ზოგჯერ მთელი თანრიგითაც.

საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების ერთ-ერთი თავისებურება ისიც არის, რომ ნაგებობის ტიპის მიხედვით გრძივ და განივ ძვრებზე მოთხოვნა შეიძლება სხვადასხვა იყოს. მაგალითად, სწორხაზოვან გვირაბში პუნქტების გრძივი ძვრა არ ახდენს გავლენას გამკვეთი სანგრევების შეხვედრის სიზუსტეზე, ამიტომ ზედაპირზე და მიწისქვეშ გეოდეზიური საფუძვლის სიზუსტის ანგარიში ხდება ქსელების მხოლოდ განივ ძვრებზე. ხიდების მშენებლობის დროს, პირიქით, მთავარი ყურადღება ექცევა პუნქტების გრძივ ძვრას მალეების სიგრძეების და ბურჯების ცენტრებს შორის მანძილების უზრუნველსაყოფად.

საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების თავისებურებებს შეიძლება მივაკუთვნოთ ისიც, რომ პუნქტების მდებარეობის აბსოლუტური შეცდომა უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე ფარდობითი. მაგალითად, პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის დროს, რომელიც ხშირად გამოიყენება საინჟინრო გეოდეზიაში, აბსოლუტური შეცდომა (რომელიც დამოკიდებულია არა მარტო გადაკვეთის კუთხეზე, არამედ მანძილებზეც) უმცირესია, როდესაც გადაკვეთის კუთხე $109^{\circ}28'$ ტოლია. ფარდობითი შეცდომა (რომელიც მხოლოდ გადაკვეთის კუთხეზეა დამოკიდებული) კი მინიმალურია მაშინ, როდესაც გადაკვეთის კუთხე 90° -ია. ამიტომ საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების შესრულებისას ხელსაყრელია, რომ პირდაპირი კუთხური გადაკვეთა $109^{\circ}28'$ -ით შესრულდეს.

საინჟინრო-გეოდეზიური ქსელების აგებისას დიდ როლს ასრულებს პუნქტების ურთიერთმდებარეობის სიზუსტე, რომლებიდანაც ხდება ნაგებობების პროექტის ნატურაში გადატანა და გამოსავალი მონაცემების შეცდომების გავლენის ანალიზი დაკვალებების დროს.

თავი 2. საინჟინრო-გეოდეზიური საყრდენი ქსელები

2.1. გეგმური საინჟინრო-გეოდეზიური ქსელები

2.1.1. ქსელების სახეები, მათი დანიშნულება და მოთხოვნები სიზუსტისადმი

გეგმური საინჟინრო-გეოდეზიური ქსელების სახეებია: ტრიანგულაცია, ტრილატერაცია, პოლიგონომეტრია, ხაზოვან-კუთხური და სამშენებლო ქსელები. ისინი მოთხოვნების მიხედვით იქმნიან ქალაქების, მსხვილი სამრეწველო, სატრანსპორტო, ენერგეტიკული და სხვა ტიპის ობიექტების ტერიტორიებზე და ემსახურებიან მშენებლობის ამა თუ იმ სტადიაზე სამუშაოების შესრულებას, გეოდეზიურ საფუძვლად.

მოთხოვნები გეგმური საინჟინრო-გეოდეზიური ქსელების სიზუსტისადმი, სტაბილურობისა და პუნქტების სიმჭიდროვისადმი ხასიათდება დიდი მრავალფეროვნებით, რაც განპირობებულია ნაგებობათა მიმოკვლევის, დაპროექტების, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის პროცესში წამოჭრილი ამოცანების მრავალფეროვნებით.

საინჟინრო-გეოდეზიურ ქსელს ძირითადად აპროექტებენ მისი შემდგომი გახშირების შესაძლებლობის გათვალისწინებით დაკვალვებისა და 1 : 500 მასშტაბით ტოპოგრაფიული აგეგმვის უზრუნველყოფის მიზნით. თუმცა ხშირია შემთხვევები, როდესაც იმავე მიზნებისათვის გვიწევს ლოკალური ქსელის დაპროექტება მშენებლობის ამა თუ იმ სტადიაზე. ეს კი, როგორც ვიცით, განპირობებულია მშენებლობის თუ დაკვალვის ამა თუ იმ სტადიაზე სიზუსტის გაზრდით. საინჟინრო-გეოდეზიური ქსელის აგებისას ძირითადად ეყრდნობიან სახელმწიფო საყრდენ ქსელს.

სახელმწიფო გეოდეზიური ქსელის განვითარება საერთოდან კერძოზე გადასვლის პრინციპით მიმდინარეობს და იყოფა ოთხ

კლასად, რომლებიც ერთმანეთისაგან კუთხეების და მანძილების გაზომვის სიზუსტით და გვერდების სიგრძეებით განსხვავდებიან.

ტრიანგულაცია

ცხრილი 2.1.1.1

№	მ ა ჩ ვ ე ნ ე ბ ლ ე ბ ი	ტრიანგულაციის კლასი		
		2	3	4
1.	ტრიანგულაციის გვერდის სიგრძე, კმ.	7-20	5-8	2-5
2.	ბაზისის (გამოსასვლელი გვერდის) ფარდობითი შეცდომა	1: 300000	1: 200000	1: 150000
3.	სუსტი გვერდის ფარდობითი შეცდომა	1: 200000	1 : 120000	1 : 70000
4.	კუთხის მინიმალური ზომა სამკუთხედში	30 ⁰	20 ⁰	20 ⁰
5.	დასაშვები კუთხური შეუკვრელობა სამკუთხედში	4"	6"	8"
6.	კუთხის გაზომვის სკშ (შეუკვრელობებით გამოთვლილი)	1"	1,5"	2"

გეგმური სახელმწიფო ქსელის სიზუსტე ერთიან კოორდინატთა სისტემაში მსხვილმასშტაბიანი აგეგმვების უზრუნველყოფაზეა გათვლილი.

რადგან გეგმური საინჟინრო-გეოდეზიური ქსელი აუცილებლობის შემთხვევაში ეყრდნობა სახელმწიფო ტრიანგულაციის მე-2, მე-3 და მე-4 კლასის და საქალაქო პოლიგონომეტრიის მე-4 კლასის ქსელებს, ამიტომ (2.1.1.1) და (2.1.1.2) ცხრილებში შესაბამისად, მოცემულია მათი ტექნიკური მონაცემები.

№	მაჩვენებლები	სიდიდე
	სვლის ზღვრული სიგრძე, კმ:	
1.	ცალკეული სვლის	10
2.	გამოსავალ პუნქტს და საკვანძო წერტილს შორის	7
3.	საკვანძო წერტილებს შორის	5
4.	პოლიგონის ზღვრული პერიმეტრი	30
	სვლის გვერდის სიგრძე, კმ:	
5.	უდიდესი	2,00
6.	უმცირესი	0,25
7.	ოპტიმალური	0,50
8.	სვლაში გვერდების რიცხვი, $\leq$	15
9.	დასაშვები ფარდობითი შეუკვრელობა, $\leq$	1 : 25000
10.	კუთხის გაზომვის სკშ (შეუკვრელობებით გამოთვლილი)	2''
11.	სვლის ან პოლიგონის დასაშვები კუთხური შეუკვრელობა, $\leq$	$5'' \sqrt{n}$

ამ ცხრილში n არის კუთხეების რაოდენობა სვლასა ან პოლიგონში.

გეოდეზიური გეგმური საფუძვლის სახელმწიფო ქსელები გახშირდებიან 1-ლი და მე-2 თანრიგის ტრიანგულაციის და პოლიგონომეტრიის ქსელებით, რომელთა ძირითადი მახასიათებლები მოტანილია ქვემოთ (2.1.1.3) და (2.1.1.4) ცხრილებში შესაბამისად.

ტრიანგულაცია

ცხრილი 2.1.1.3

№	დ ა შ ვ ე ბ ი ს დ ა ს ა ხ ე ლ ე ბ ა	1 თანრიგი	2 თანრიგი
1.	სამკუთხედში გვერდის სიგრძე, კმ. $\leq$	5	3
2.	კუთხის მინიმალური სიდიდე, გრად. $\left\{ \begin{array}{l} \text{ერთიან ქსელში} \\ \text{დამაკ. სამკუთხედში} \\ \text{პუნქტის ჩასმისას} \end{array} \right.$	20 30 30	20 30 30
3.	სამკუთხ. რიცხვი გამოსავალ გვერდებს შორის ან გამოსავალ პუნქტსა და გამოსავალ გვერდს შორის $\leq$	10	10
4.	გამოსავალი გვერდის მინიმალური სიგრძე, კმ.	1	1
5.	კუთხის გაზომვის სკმ (ფერეროს ფორმულით)	5"	10"
6.	დასაშვები კუთხური შეუკვერელობა სამკუთხედში	20"	40"
7.	გამოსავალი (საბაზისო) გვერდის საშ. ფარდ. შეცდომა	1 : 50000	1 : 25000
8.	ყველაზე სუსტი გვერდის საშ. ფარდ. შეცდომა	1 : 20000	1 : 10000

№	დაშვებების დასახელება	1 თანრიგი	2 თანრიგი
1.	სვლის ზღვრული სიგრძე, კმ. $\begin{cases} \text{ორ გამოსავალ პუნქტს შორის} \\ \text{გამოს. და საკვ. პუნქტს შორის} \\ \text{ორ საკვანძო პუნქტს შორის} \end{cases}$	5 3 2	3 2 1,5
2.	პოლიგონის ზღვრული სიგრძე, (პერიმეტრი), კმ.	15	9
3.	გვერდის სიგრძე, მ-ში $\begin{cases} \text{უდიდესი} \\ \text{უმცირესი} \\ \text{საშუალო} \end{cases}$	800 120 300	350 80 200
4.	სვლაში გვერდების რაოდენობა, $\leq$	15	15
5.	სვლის დასაშვები (ზღვრული) ფარდობითი შეუკვერელობა	1 : 10000	1 : 5000
6.	კუთხის გაზომვის სკმ $m_{\beta} = \frac{\sqrt{f_{\beta}^2/n}}{N}$	5"	10"
7.	დასაშვები კუთხური შეუკვერელობა სვლასა ან პოლიგონში	10" $\sqrt{n}$	20" $\sqrt{n}$

ამ ცხრილში f_{β} კუთხური შეუკვერელობაა, n არის კუთხეების რიცხვი და N კი – სვლების ან პოლიგონების რაოდენობა.

საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების დაპროექტება ხდება მსხვილი მასშტაბის გეგმებზე. ამ დროს ყველაზე დიდი მოთხოვნები წაეყენება 1 : 1000 და 1 : 500 მასშტაბებით აგეგმვებს.

გეგმური გეოდეზიური ქსელების სიზუსტის გათვლისთვის გამოსავალი, სააგეგმო ქსელების სიზუსტისადმი მოთხოვნებია. გაწონასწორებული სააგეგმო საფუძვლის პუნქტების მდებარეობის ზღვრული შეცდომები სახელმწიფო და გახშირების გეოდეზიური ქსელების პუნქტების მიმართ ღია ადგილებსა და დასახლებულ ტერიტორიებზე არ უნდა აღემატებოდეს გეგმის მასშტაბის 0,2 მმ-ს. დასახლებულ ტერიტორიაზე სააგეგმო საფუძვლის პუნქტების კოორდინატებში შეცდომები არ უნდა აღემატებოდეს:

1 : 500 მასშტაბში – 0,1 მ-ს; 1 : 1000 მასშტაბში – 0,16 მ-ს.
და 1 : 2000 მასშტაბში – 0,3 მ-ს.

საყრდენი გეოდეზიური ქსელები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს დაკვალვითი სამუშაოებისთვისაც, მაგრამ იმ შემთხვევაში, როცა დაკვალვა უფრო მაღალი სიზუსტით ხდება, ვიდრე ავგებმითი სამუშაოებია, შეიქმნება სპეციალური დაკვალვითი საყრდენი ქსელი. ასეთი ლოკალური ქსელის შექმნისას მაღალი კლასის პუნქტები გამოიყენება მხოლოდ ქსელის ერთ-ერთ გვერდზე მიმართულების და ერთ-ერთ პუნქტზე კოორდინატების გადასაცემად.

ლოკალური გეოდეზიური ქსელების შექმნისას მათი სიზუსტე და სიმჭიდროვე მნიშვნელოვნად იცვლება მშენებლობის ერთი ეტაპიდან მეორეზე გადასვლისას. მსხვილი საინჟინრო ობიექტების მიმოკვლევის, დაკვალვის, მშენებლობის დროს კონტროლისა და ექსპლუატაციისას მოთხოვნები სიზუსტეების მიმართ იზრდება ეტაპიდან ეტაპზე გადასვლისას. ასეთი დინამიკა ქსელების მიმართ არასტანდარტულ მიდგომას მოითხოვს.

განვიხილოთ საინჟინრო-გეოდეზიური საყრდენი ქსელების აგების თავისებურებანი ქალაქის ტერიტორიაზე, ჰიდროენერგეტიკის ობიექტის, ხიდის, გვირაბის და სხვათა მშენებლობის დროს.

ქალაქის ტერიტორიაზე ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნების თანახმად სპეციალური ქსელები არ იქმნება და მთავარი გეოდეზიური საფუძველი სახელმწიფო ქსელებია. მათი სახე და კონფიგურაცია ქალაქის ფორმასა და ზომებზეა დამოკიდებული. სიგრძეზე გაშენებული ტიპის ქალაქებში მე-2 და მე-3 კლასების ტრიანგულაციას აპროექტებენ ერთმაგი ან ორმაგი სამკუთხედებისაგან. წრიული ფორმის ქალაქებისათვის კი ქსელის ძირითად სახედ ცენტრალური სისტემები გვევლინება. დიდ ტერიტორიაზე გეგმური ქსელი შეიძლება შედგებოდეს რამდენიმე ცენტრალური სისტემისაგან. ქალაქების ტერიტორიებზე ხშირად

იყენებენ მე-4 კლასის და 1-ლი და მე-2 თანრიგის პოლიგონომეტრიის ქსელებს.

ტრილატერაციის ქსელმა ქალაქის ტერიტორიაზე გავრცელება ვერ პოვა, ძირითადად შემდეგი მიზეზების გამო: პირობითი განტოლების შესადგენად სამკუთხედში არ გვაქვს ჭარბი განაზომი; ქსელი ყოველთვის ვერ გვაძლევს გვერდის საიმედო ორიენტირებას, რასაც მიყვავართ პუნქტების მნიშვნელოვან განივ ძვრებამდე, გარდა ამისა, ქალაქის ფარგლებში მანძილების გაზომვა გაძნელებულია არახელსაყრელი პირობების გამო. ამიტომ ქალაქის ფარგლებში ტრილატერაცია კონკურენციას ვერ უწევს პოლიგონომეტრიას, თუმცა მაღალი სიზუსტის მოკლეგვერდებიანი ტრილატერაციის ქსელები ფართოდ გამოიყენება მაღლივი და წრიული ნაგებობების, აგრეთვე პრეციზიული ნაგებობების მშენებლობისას.

პოლიგონომეტრიული ქსელების გარდა ქალაქის ფარგლებში პერსპექტიულ მეთოდად ითვლება ხაზოვან-კუთხური ქსელების გამოყენება, რომელსაც კოორდინატების და ღირებულებები კუთხეების დიდი სიზუსტით განსაზღვრის უფრო მეტი რეზერვი აქვს, ვიდრე სხვა ტიპის ქსელებს. ამის გარდა, ხაზოვან-კუთხური ქსელები შეიძლება აგებულ იქნეს ტიპური ფიგურებისაგან გადახრებით, სიზუსტის შენარჩუნებით, ე.ი. უფრო მოქნილი ქსელია.

ჰიდროენერგეტიკის ობიექტების მშენებლობისას წარმოიქმნება სპეციალური, ე.წ. ჰიდროტექნიკური ტრიანგულაციის შექმნის აუცილებლობა. მისი თავისებურება არის საბაზისო გვერდების სიგრძეებისა და მოკლე გვერდებით წარმოქმნილი კუთხეების გაზომვებისადმი წაყენებული მაღალი მოთხოვნები: კუთხეები იზომება $1 - 1,5''$, ხოლო საბაზისო (გამოსავალი) გვერდები – $1 : 200000 - 1 : 250000$ ფარდობითი ცდომილებით, რაც უზრუნველყოფს ტრიანგულაციის პუნქტის მდებარეობის განსაზღვრას 5 მმ-ით.

ჰიდროტექნიკური ტრიანგულაციის სქემა დამოკიდებულია კაშხლის სიგრძესა და ფორმაზე, მდინარის სიგანეზე, მდინარის ნაპირების რელიეფზე და ა.შ. დაკვალვითი სამუშაოების გამარტივებისათვის ტრიანგულაციის ერთ გვერდს ამთხვევენ კაშხლის ღერძს.

კანონური ტიპის ხეობებში ბეტონის კაშხლის მშენებლობისას იყენებენ მრავალიარუსიან ტრიანგულაციას, რომლის პუნქტები განლაგებულია ხეობის ორივე მხარეს სხვადასხვა სიმაღლეზე.

დიდი ხიდის მშენებლობისას გეგმური გეოდეზიური საფუძველი არის სახიდე ტრიანგულაცია, რომლის სიზუსტის ანგარიშისათვის გამოსავალს, ხიდის სიგრძის გაზომვისა და ბურჯების დაკვალვის სიზუსტის ნორმები შეადგენენ – 1-3 სმ სკმ. სახიდე ტრიანგულაციას აგებენ ძირითადად ერთი ან ორი გეოდეზიური ოთხკუთხედისაგან.

ხიდების მშენებლობის გეოდეზიურ საფუძვლად, სახიდე ტრიანგულაციის გარდა იყენებენ ხაზოვან-კუთხურ ქსელებს, რომლებიც შედგებიან ერთმაგი ან ორმაგი ე.წ. ბაზური სამკუთხედების ქსელისაგან.

გვირაბის ტრასის ნატურაში გადატანისთვის ძირითადი გეოდეზიური საფუძველია საგვირაბო ტრიანგულაცია ძირითად პოლიგონომეტრიასთან ერთად. საგვირაბო ტრიანგულაციის სიზუსტის ანგარიშისათვის გამოსავალია შემხვედრი სანგრევების ღერძების შეხვედრისას განივი ძვრის სიდიდისადმი მოთხოვნა. მაგალითად, ტიუბინგებით გამაგრებისას სწორხაზოვანი გვირაბის განივი ძვრის სკმ 50 მმ-ს არ უნდა აღემატებოდეს.

საგვირაბო ტრიანგულაცია აიგება სამკუთხედების სახით, რომელიც გვირაბის თავსა და ბოლოში ორ საბაზისო გვერდს ეყრდნობა და ხასიათდება მისი ელემენტების სიზუსტისადმი წაყენებული მაღალი მოთხოვნებით. მაგალითად, 5-8 კმ. სიგრძის გვირაბის მშენებლობისათვის აიგება ქსელი, რომლის გვერდები 2-

7 კმ. სიგრძისაა, კუთხის გაზომვის სკმ 1''-ს შეადგენს, ყველაზე სუსტი გვერდის ღირეჟციული კუთხის სკმ არის 2'' , ხოლო სუსტი გვერდის განსაზღვრის ფარდობითი ცდომილება – 1 : 150000.

სამრეწველო მოედნებზე საყრდენი გეოდეზიური ქსელი იქმნება მიმოკვლევის პროცესში და ემსახურება მსხვილმასშტაბიან ტოპოგეგმვას და დაკვალვითი ქსელის შექმნას. დიდი ტერიტორიის მქონე სამრეწველო ობიექტისათვის (30-50 კმ²) გამოსავალ გეოდეზიურ საფუძველს სახელმწიფო გეოდეზიური ქსელები შეადგენენ, უფრო მცირე მოედნისთვის ნებადართულია ადგილობრივი ქსელების შექმნა მე-4 კლასის ტრიანგულაციის ან შუქმანძილმზომური პოლიგონომეტრიის სახით.

პრეციზიული ნაგებობების მშენებლობისას შეიქმნება მაღალი სიზუსტის მიკროტრილატერაციის ქსელები მოკლე გვერდებით – 25-50 მ. ამ ქსელების პუნქტები განისაზღვრება 0,1-0,5 მმ და ზოგჯერ მეტი სიზუსტითაც.

2.1.2. ქსელის სიზუსტისა და საფეხურების რაოდენობის გაანგარიშების მეთოდები

ნებისმიერი დანიშნულების საინჟინრო-გეოდეზიური ქსელი, უნდა აიგოს რაციონალურად, სამუშაოების ოპტიმალურად წარმოების წესების დაცვით. ამასთან შეიძლება გადაწყვეტილ იქნეს ორიდან ერთ-ერთი ამოცანა – ძალების, ფინანსური სახსრებისა და დროის მოცემული დანახარჯისას უმაღლესი სიზუსტის მიღწევა ანუ ოპტიმიზაცია სიზუსტის კრიტერიუმით და მოცემული სიზუსტის ქსელის აგება ფინანსური და სხვა სახსრების მინიმალური დანახარჯით ანუ ოპტიმიზაცია ღირებულების კრიტერიუმით.

გეგმური საინჟინრო-გეოდეზიური ქსელის დაპროექტებისას მნიშვნელოვანია იმის გარკვევა, თუ როგორი სახე ექნება ქსელს – მთლიანად იქნება ბაზირებული სახელმწიფო გეოდეზიური ქსელის პუნქტებზე, თუ უნდა შეიქმნას, როგორც ლოკალური ქსელი. საორიენტაციოდ ამას ადგენენ დასაპროექტებელი და გამოსავალი ქსელების სიზუსტეების შედარებით.

საინჟინრო-გეოდეზიური ქსელი, მოთხოვნების შესაბამისად, ეტაპობრივად იქმნება – რამდენიმე კლასის და თანრიგის ქსელების აგებით. თუ ასაგეგმავ ან დასაკვალავ ტერიტორიაზე აუცილებელია მრავალსაფეხურიანი საფუძვლის შექმნა, მაშინ მისი განვითარების თითოეულ საფეხურზე უნდა გამოვიანგარიშოთ აგების მოთხოვნილი სიზუსტეები. ამასთან, უნდა ვეცადოთ დავაპროექტოთ რაც შეიძლება ნაკლები რაოდენობის საფეხური, რადგან, რაც მეტია საფუძვლის განვითარების სტადიები, მით უფრო მცირდება პუნქტის კოორდინატების განსაზღვრის სიზუსტეები.

თუ ქსელის განვითარების პროცესში სიზუსტისადმი მოთხოვნები იზრდება, მაშინ ყოველი შემდგომი საფეხურის შექმნა დაკავშირებული იქნება ლოკალური ქსელის აგებასთან, რომლის ერთ-ერთ პუნქტსა და ერთ-ერთ გვერდზე სახელმწიფო ქსელის პუნქტიდან გადაეცემა კოორდინატები და მიმართულება. ხოლო, თუ ქსელის განვითარება უფრო ზუსტიდან ნაკლები სიზუსტისკენ გადასვლის პრინციპით ხდება, მაშინ საფეხურების რიცხვისა და თითოეულ საფეხურზე ქსელების სიზუსტის საკითხი უნდა გადაწყდეს შემდეგი მეთოდის საფუძველზე. თუ საწყისი საფეხურის ქსელის საშუალო ფარდობით ცდომილებას აღვნიშნავთ T_k -თი, ბოლო საფეხურისას – T_b -თი, ხოლო წინა საფეხურიდან მომდევნოზე გადასვლისას სიზუსტის უზრუნველყოფის კოეფიციენტს – K -თი, მაშინ მრავალსაფეხურიანი ქსელის განვითარების შუალედურ საფეხურებისათვის შეგვიძლია დავწეროთ:

$$T_1 = \frac{T_b}{K_1}; \quad T_2 = \frac{T_1}{K_2} = \frac{T_b}{K_1 K_2}; \quad \dots \quad T_n = \frac{T_{n-1}}{K_n} = \frac{T_b}{K_1 K_2 \dots K_n}.$$

თუ მივიღებთ, რომ

$$K_1 = K_2 = \dots = K_n,$$

მაშინ

$$T_n = \frac{T_b}{K^n}. \quad (2.1.2.1)$$

აქედან შეიძლება გამოვთვალოთ სიზუსტის უზრუნველყოფის კოეფიციენტი

$$K = \sqrt[n]{\frac{T_b}{T_n}}. \quad (2.1.2.2)$$

ამ ფორმულის გამოყენება შეგვიძლია საფეხურების რაოდენობის საანგარიშოდ

$$n = \frac{l_g T_b - l_g T_n}{l_g K}. \quad (2.1.2.3)$$

გამოსავალი მონაცემების დამატებითი შეცდომის არსებობა ზემოთ მოცემულ ფორმულებში ε კოეფიციენტის გამოჩენას იწვევს, რის გამოც (2.1.2.2) და (2.1.2.3) ფორმულების ნაცვლად გვექნება:

$$K = \frac{1}{\varepsilon} \sqrt[n]{\frac{T_b}{T_n}} \quad (2.1.2.4)$$

და

$$n = \frac{l_g T_b - l_g T_n}{l_g K + l_g \varepsilon}. \quad (2.1.2.5)$$

გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ $\varepsilon \approx \sqrt{2}$.

განვიხილოთ მაგალითი. საწყისი საფეხურის (IV კლ. ტრიანგულაცია) საშუალო ფარდობითი სიზუსტეა 1:80000, საბოლოო საფეხურისა (თეოდოლიტური სვლა) კი – 1:4000. ორსაფეხურიანი ქსელის განვითარებისას ($n = 2$) სიზუსტის უზრუნველყოფის კოეფიციენტი (2.1.2.2) ფორმულის თანახმად

ტოლი იქნება $K = \sqrt{\frac{80000}{4000}} = \sqrt{20} \approx 4,5$. შუალედური

საფეხურისათვის ფარდობითი ცდომილების მნიშვნელი ტოლი იქნება $T_1 = \frac{80000}{4,5} \approx 18000$, ხოლო ზღვრული ფარდობითი ცდომილება ტოლი იქნება 1:9000, რაც საქალაქო პოლიგონომეტრიის 1-ლი თანრიგის სიზუსტეს შეესაბამება.

სამსაფეხურიანი ქსელის განვითარებისას იმავე სიდიდეების მნიშვნელობები ასეთი იქნება:

სიზუსტის უზრუნველყოფის კოეფიციენტი – $K = \sqrt[3]{20} \approx 2,7$.
 $T_1 = \frac{80000}{2,7} \approx 30000$, ზღვრული ფარდობითი ცდომილება –
 $T_{1\%} \approx 15000$; $T_2 = \frac{30000}{2,7} \approx 11000$, ზღვრული ფარდობითი ცდომილება – $T_{2\%} \approx 5500$; $T_3 = \frac{11000}{2,7} \approx 4000$, ზღვრული ფარდობითი ცდომილება – $T_{3\%} \approx 2000$. მიახლოებითი სიზუსტეების მიხედვით ამ საფეხურების შესაბამისად დასაპროექტებელი იქნება: მე-4 კლასის პოლიგონომეტრია, მე-2 თანრიგის პოლიგონომეტრია და თეოდოლიტური სვლები.

შეიძლება აღმოჩნდეს, რომ იმ უბანზე, სადაც ქსელებია ასაგები, არ არის გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტები. ამ შემთხვევაში გეოდეზიური საფუძვლის სხვადასხვა საფეხურში სიზუსტეების საანგარიშოდ მივიღოთ პირობა, რომ ბოლო საფეხურზე 1 კმ-ით დაშორებული ორი პუნქტის ურთიერთმდებარეობის ცდომილება ყველა წინა საფეხურებში განაზომთა შეცდომების გათვალისწინებით, არ აღემატება M სიდიდეს. თითოეულ საფეხურში განაზომთა შეცდომების გავლენა M ჯამურ სიდიდეზე აღენიშნოთ $m_1, m_2, \dots, m_n$, სადაც m -ის ინდექსები საფეხურის რიგით ნომერს აღნიშნავს. რადგანაც ისინი ერთმანეთისგან დამოუკიდებელი სიდიდეებია, ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ

$$M = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + \dots + m_n^2} . \quad (2.1.2.6)$$

m_i სიდიდე საფუძვლის განვითარების ნებისმიერ საფეხურზე შეიძლება გამოვთვალოთ,

$$m_i = \frac{M \cdot K^{i-1}}{\sqrt{1 + K^2 + K^4 + \dots + K^{2(n-1)}}}, \quad (2.1.2.7)$$

სადაც, M არის საფუძვლის განვითარების ბოლო საფეხურზე 1 კმ-ით დაშორებული ორი პუნქტის ურთიერთმდებარეობის საერთო ჯამური შეცდომა; K – სიზუსტის უზრუნველყოფის კოეფიციენტი წინა საფეხურიდან მომდევნოზე გადასვლის დროს;

i – საფეხურის (სტადიის) რიგითი ნომერი;

n – საფეხურების რაოდენობა ერთიან ქსელში.

M სიდიდე გეგმაზე მიიღება 0,2 მმ-ის ტოლი, რაც 1:500 მასშტაბისათვის 10 სმ-ია. როგორც (2.1.2.7) ფორმულიდან ჩანს, m სიდიდე მოცემული i საფეხურისათვის მცირედაა დამოკიდებული n -ზე ანუ საფეხურების რაოდენობაზე, სამაგიეროდ, მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული სიზუსტის უზრუნველყოფის კოეფიციენტზე.

2.1.3. ტრიანგულაციის პროექტის სიზუსტის შეფასების მიახლოებითი მეთოდი

ქალაქებისა და სამრეწველო ობიექტების, აგრეთვე სპეციალური საინჟინრო-გეოდეზიური ქსელების ტერიტორიებზე განლაგებული პუნქტების კოორდინატების განსაზღვრის სიზუსტეს და საიმედოობას დიდი მოთხოვნები წაყენება. ამის გამო წარმოიქმნება გეოდეზიური ქსელების პროექტების შეფასების აუცილებლობა.

პროექტის სიზუსტის შეფასების მიზანი კი არის გამოვავლინოთ ქსელის ცალკეული ელემენტების მიღების მოსალოდნელი სიზუსტე, განსაკუთრებით სუსტი გეომეტრიული კავშირების მქონე ადგილებში.

პროექტების შეფასების მეთოდები სხვადასხვაა და ძირითადად დამოკიდებულია ქსელის გეომეტრიულ მახასიათებლებზე. თუ გეოდეზიური საფუძვლის დაპროექტება ხდება, როგორც თავისუფალი ქსელის ან გამოსავალი მონაცემების უმნიშვნელო რაოდენობით, მაშინ განაზომთა შედეგების გაწონასწორებისათვის ყველაზე ხშირად კორელატების მეთოდს იყენებენ, ხოლო პროექტის შეფასებისთვის – წონით ფუნქციებს.

პროექტის სიზუსტის შესაფასებლად გარდა ზუსტი მეთოდებისა, არსებობს მიახლოებითი მეთოდები, რომელსაც ჩვენ ახლა განვიხილავთ.

ტრიანგულაციის მეთოდით საინჟინრო-გეოდეზიური ქსელების განვითარებისას ყველაზე ტიპურია სამკუთხედების ჯაჭვი, გეოდეზიური ოთხკუთხედები, ცენტრალური სისტემები დამატებითი დიაგნალებით, სამკუთხედებში პუნქტების ჩასმა და ამ ფიგურებისაგან შედგენილი სხვადასხვა კონფიგურაცია.

ქვემოთ განვიხილავთ სამკუთხედებისგან შედგენილი ქსელის პროექტის სიზუსტის შეფასების მიახლოებით მეთოდს.

გაწონასწორებული ელემენტების ფუნქციის საშუალო კვადრატული შეცდომის (სკშ) სიდიდე გამოითვლება ფორმულით

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}} , \quad (2.1.3.1)$$

სადაც, μ არის ერთეული წონის სკშ;

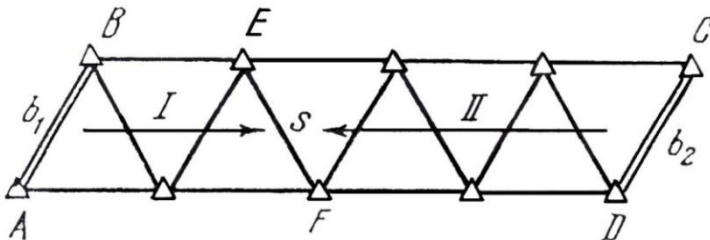
P_F – ფუნქციის წონა.

საწყისი მონაცემების შეცდომის გათვალისწინებით სრული შეცდომა ტოლია

$$m = \sqrt{m_{\text{გ.ა.}}^2 + m_F^2} . \quad (2.1.3.2)$$

EF დამაკავშირებელი გვერდის სკშ გამოითვლება მიახლოებითი ფორმულებით, რომლებიც დამყარებულია ამ გვერდის განსაზღვრის იმ წონების შეჯამებაზე, რომელიც b_1 და b_2 საბაზისო გვერდებიდან I და II მარშრუტებითაა განსაზღვრული (ნახ.2.1.3.1).

აღვნიშნოთ S გვერდის სკშ I რიგით მიღებული – m_{s_1} -ით, ხოლო II რიგით მიღებული – m_{s_2} -ით. შესაბამისი წონები იქნება:



ნახ. 2.1.3.1.

$$P_1 = \frac{\mu^2}{m_{s_1}^2}, \quad P_2 = \frac{\mu^2}{m_{s_2}^2} .$$

S გვერდის საშუალო სიგრძისათვის წონა გამოითვლება ფორმულით

$$P = P_1 + P_2 = \mu^2 \frac{m_{s_1}^2 + m_{s_2}^2}{m_{s_1}^2 \cdot m_{s_2}^2} . \quad (2.1.3.3)$$

განსასაზღვრელი S გვერდის სკშ კი ტოლი იქნება

$$m_S^2 = \frac{\mu^2}{P} = \frac{m_{s_1}^2 \cdot m_{s_2}^2}{m_{s_1}^2 + m_{s_2}^2} . \quad (2.1.3.4)$$

m_{s_1} და m_{s_2} სკშ გამოითვლება ფორმულებით, რომლებშიც გვერდის ლოგარიტმების შეცდომები შედის

$$m_{lgs}^2 = \frac{2}{3} m_\beta^2 \sum_1^n (\delta_A^2 + \delta_B^2 + \delta_A \cdot \delta_B) = \frac{2}{3} m_\beta^2 \sum_1^n R , \quad (3.1.3.5)$$

სადაც, m_{lgs} არის S გვერდის ლოგარიტმის შეცდომა;

m_β – კუთხის გაზომვის სკშ;

δ_A და δ_B – დამაკავშირებელი A და B კუთხეების $1''$ -ით შეცვლისას მათი სინუსების ლოგარიტმების ცვლილებები ლოგარიტმის მე-6 ნიშანში და განისაზღვრება ცხრილებიდან ან ფორმულით

$$\delta_A = \frac{M \cdot 10^6}{\rho''} \cdot ctg A = \frac{0,434 \cdot 10^6}{0,21 \cdot 10^6} \cdot ctg A \approx 2,1 ctg A .$$

როცა გაწონასწორება ხდება მიმართულებებით, მაშინ $m_\beta = m_{\text{მომ}} \sqrt{2}$. ბაზისის გვერდების შეცდომების გათვალისწინებით გვექნება

$$\left. \begin{aligned} m_{lgs_1}^2 &= m_{lgb_1}^2 + \frac{2}{3} m_\beta^2 \sum_1^k R , \\ m_{lgs_2}^2 &= m_{lgb_2}^2 + \frac{2}{3} m_\beta^2 \sum_k^n R . \end{aligned} \right\} \quad (2.1.3.6)$$

სადაც k არის b_1 ბაზისიდან S გვერდამდე სამკუთხედების რაოდენობა;

n – ქსელში სამკუთხედების რიცხვი.

გვერდის ფარდობით შეცდომასა და იმავე გვერდის ლოგარითმში შეცდომას შორის შემდეგი სახის დამოკიდებულებაა

$$\frac{m_s}{S} = \frac{m_{lgs}}{M \cdot 10^6} , \quad (2.1.3.7)$$

სადაც, M არის ნეპერის (ათობითი) ლოგარითმების მოდული და ტოლია

$$M = lge = 0,434294 ,$$

სადაც, e ნეპერის რიცხვია ($e = 2,718282$).

(2.1.3.7) ფორმულიდან გვაქვს

$$m_s = \frac{m_{lgs}}{M \cdot 10^6} \cdot S .$$

თუ m_{s_1} -სა და m_{s_2} -ს გამოვსახავთ გვერდის ლოგარითმის შეცდომებით, გვექნება

$$m_{s_1} = \frac{m_{lgs_1}}{M \cdot 10^6} \cdot S \quad \text{და} \quad m_{s_2} = \frac{m_{lgs_2}}{M \cdot 10^6} \cdot S .$$

$$m_{s_1} \text{ და } m_{s_2} \text{ მნიშვნელობებს თუ შევიტანს } (2.1.3.4)$$

ფორმულაში, მივიღებთ

$$m_s = \frac{S}{M \cdot 10^6} \frac{m_{lgs_1} \cdot m_{lgs_2}}{\sqrt{m_{lgs_1}^2 + m_{lgs_2}^2}} . \quad (2.1.3.8)$$

იმავე გვერდის დირექციული კუთხისათვის მსგავსი მსჯელობით გვექნება:

$$m_\alpha^2 = \frac{m_{\alpha_1}^2 \cdot m_{\alpha_2}^2}{m_{\alpha_1}^2 + m_{\alpha_2}^2} , \quad (2.1.3.9)$$

სადაც, m_α არის S გვერდის დირექციული კუთხის შეცდომის სიდიდე;

m_{α_1} და m_{α_2} – იმავე გვერდის შესაბამისად b_1 და b_2 ბაზისებიდან განსაზღვრული დირექციული კუთხეების შეცდომების სიდიდეები და ტოლია

$$m_{\alpha_1}^2 = \frac{2}{3} m_\beta^2 K \quad \text{და} \quad m_{\alpha_2}^2 = \frac{2}{3} m_\beta^2 (n - K) . \quad (2.1.3.10)$$

ბაზისების დირექციული კუთხეების შეცდომების გათვალისწინებით, გვექნება

$$\left. \begin{aligned} m_{\alpha_1}^2 &= m_{\alpha_{b_1}}^2 + \frac{2}{3} m_\beta^2 K , \\ m_{\alpha_2}^2 &= m_{\alpha_{b_2}}^2 + \frac{2}{3} m_\beta^2 (n - K) . \end{aligned} \right\} \quad (2.1.3.11)$$

(2.1.3.10) ფორმულის მნიშვნელობების ჩასმით (2.1.3.9) ფორმულაში, მივიღებთ

$$m_\alpha^2 = \frac{2}{3} m_\beta^2 \frac{K(n - K)}{n} .$$

$EF = S$ გვერდის ბოლო პუნქტის განივი შეცდომა (საორიენტაციო ხაზის მიმართ) ტოლი იქნება

$$m_q = \frac{m_\alpha}{\rho} \cdot S . \quad (2.1.3.12)$$

(2.1.3.8) და (2.1.3.12) ფორმულების გამოყენებით E და F პუნქტების ურთიერთმდებარეობის შეცდომას ანგარიშობენ ფორმულით

$$m^2 = m_s^2 + m_q^2 . \quad (2.1.3.13)$$

ცენტრალური სისტემის დაპროექტებისას, რომელშიც ერთი ბაზისია, სიზუსტის ანგარიში შეიძლება იმავე ფორმულებით, თუცა ამ დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ $m_{lg b_1} = m_{lg b_2} = m_{lgb}$ და $m_{a_{b_1}} = m_{a_{b_2}} = m_{a_b}$.

კუთხური განაზომების საჭირო სიზუსტის გასაგებად იყენებენ (2.1.3.1) ფორმულას

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}} .$$

თუ μ -ს არჩევისას, მას მივიღებთ m_β -ს ტოლად, გვექნება:

$$P_\beta = \frac{\mu^2}{m_\beta^2} = 1, \quad \text{ე.ი.} \quad m_\beta = \mu .$$

მაშინ იმავე (2.1.3.1) ფორმულიდან

$$m_\beta = \frac{m_F}{\sqrt{\frac{1}{P_F}}} . \quad (2.1.3.14)$$

ამრიგად, ქსელის მნიშვნელოვანი ელემენტის სკმ წინასწარ დადგენის შემდეგ შეიძლება გამოვთვალოთ ტრიანგულაციაში კუთხეების გაზომვის აუცილებელი სიზუსტე. საბაზისო გვერდის გაზომვის სიზუსტე შევა ფუნქციის წონის შებრუნებულ სიდიდეში $-\frac{1}{P_F}$ -ში. ამიტომ კუთხეების გაზომვის სიზუსტე განისაზღვრება საბაზისო გვერდების გაზომვის მოცემული სიზუსტის დროს.

2.1.4. ტრიანგულაციის ქსელში პუნქტების ჩასმის პროექტის სიზუსტის შეფასების მიახლოებითი მეთოდი

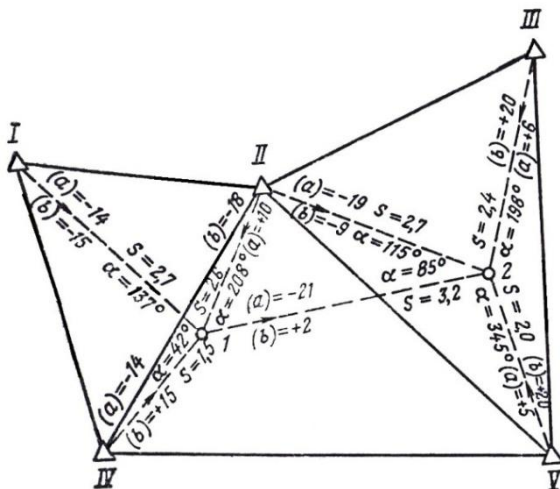
ტრიანგულაციის არსებული ქსელის გახშირებისას პუნქტების ჩასმის ხერხით, განაზომათა გაწონასწორებისათვის უფრო მიზანშეწონილადაა მიჩნეული პარამეტრული მეთოდი, ხოლო პროექტის სიზუსტის შესაფასებლად იყენებენ წონითი კოეფიციენტების ხერხს. მაგრამ პუნქტების ჩასმის პროექტის სიზუსტის შესაფასებლად ზუსტი მეთოდის გარდა, რიგ შემთხვევებში შეიძლება გამოყენებულ იქნეს გამარტივებული ხერხი ანუ მიახლოებითი მეთოდი, რომლის მეთოდიკასაც ქვემოთ განვიხილავთ.

მაგალითისათვის, ავიღოთ ტრიანგულაციის ქსელში ორი პუნქტის ჩასმის პროექტის სიზუსტის შეფასება, რომლის სქემაც მოცემულია ნახაზზე (ნახ.2.1.4.1), რომელზეც ნაჩვენებია

გაზომილი გვერდის სიგრძეები და მიმართულებების ღირეცეიული კუთხეები.

ჩასასმელი პუნქტის აბსცისის განსაზღვრის წონად თითოეული მიმართულებისათვის, ტრიანგულაციის პუნქტიდან ჩასასმელი პუნქტისკენ, მივიღოთ a^2 სიდიდე, ხოლო ორდინატის განსაზღვრის წონად – b^2 სიდიდე.

a და b სიდიდეები გამოითვლება შემდეგი თანამიმდევრობით:



ნახ. 2.1.4.1

$$\left. \begin{aligned} (a) &= - \frac{ps \sin \alpha}{S} \\ (b) &= + \frac{ps \cos \alpha}{S} \end{aligned} \right\} \quad (2.1.4.1)$$

არსებობს ცხრილები, რომლებშიც (a) და (b) სიდიდეები გამოთვლილია $S = 1$ კმ მნიშვნელობისათვის, ხოლო განზომილება მოცემულია დეციმეტრებით.

ცხრილებიდან ან (2.1.4.1) ფორმულებიდან განსაზღვრული (a) და (b) სიდიდეებით კი გამოითვლება a და b სიდიდეები

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{(a)}{S \text{ კმ}} \\ b &= \frac{(b)}{S \text{ კმ}} \end{aligned} \right\} \quad (2.1.4.2)$$

პროექტის სიზუსტის შეფასება ხდება თანდათანობითი მიახლოების ხერხით.

პირველ მიახლოებაში შესაფასებელი ქსელის ყველა პუნქტი მიიღება, როგორც მყარი პუნქტები კოორდინატებში ნულოვანი შეცდომებით. ჩასასმელი პუნქტის კოორდინატებში მოსალოდნელი შეცდომები თითოეული მიმართულების მიხედვით გამოითვლება ფორმულებით

$$\left. \begin{aligned} m_{x_i}^2 &= \frac{m_\beta^2}{a_i^2} , \\ m_{y_i}^2 &= \frac{m_\beta^2}{b_i^2} . \end{aligned} \right\} \quad (2.1.4.3)$$

ჯამური მოსალოდნელი შეცდომები ჩასასმელ პუნქტში შემავალი ყველა მიმართულების გათვალისწინებით გამოითვლება ფორმულებით

$$\left. \begin{aligned} M_x^2 &= \frac{m_\beta^2}{2\sum a^2} , \\ M_y^2 &= \frac{m_\beta^2}{2\sum b^2} . \end{aligned} \right\} \quad (2.1.4.4)$$

მნიშვნელში კოეფიციენტ 2-ს იღებენ პუნქტებზე ორმხრივი დაკვირვებებისას, როცა მიმართულებებზე გაზომვები ხდება როგორც გამოსავალ, ისე განსასაზღვრელ ანუ ჩასასმელ პუნქტებზე.

მეორე და შემდგომ მიახლოებებში ითვალისწინებენ პირველ და წინა მიახლოებაში მიღებულ პუნქტების კოორდინატების გამოთვლილ შეცდომებს, რისთვისაც ანგარიშობენ A და B კოეფიციენტებს

$$\left. \begin{aligned} A^2 &= \frac{m_\beta^2}{m_{x_i}^2} , \\ B^2 &= \frac{m_\beta^2}{m_{y_i}^2} . \end{aligned} \right\} \quad (2.1.4.5)$$

გამოთვლები შეწყდება მაშინ, როცა ბოლო მიახლოებისას გამოთვლილი პუნქტების კოორდინატების მოსალოდნელი შეცდომები უმნიშვნელოდ განსხვავდება წინა მიახლოების იმავე სიდიდეებისაგან.

საბოლოოდ გამოითვლება ჩასასმელი პუნქტების მდებარეობის შეცდომები

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \sqrt{m_{x_1}^2 + m_{y_1}^2} , \\ M_2 &= \sqrt{m_{x_2}^2 + m_{y_2}^2} . \end{aligned} \right\} \quad (2.1.4.6)$$

როგორც ანალიზი აჩვენებს, მიახლოებითი შეფასების შედეგები მნიშვნელოვნად არ განსხვავდება ზუსტი შეფასების შედეგებისაგან.

2.1.5. პოლიგონომეტრიული ქსელის პროექტის სიზუსტის შეფასების მიახლოებითი მეთოდი

ბოლოებით მყარ პუნქტებზე მიბმული პოლიგონომეტრიული სვლის დაპროექტებისას, აუცილებელია განვსაზღვროთ სვლის შუა წერტილის მდებარეობის შეცდომა ყველა პირობისათვის გაწონასწორების შემდეგ.

ცნობილია, რომ სვლის სუსტი ადგილის შეცდომა ტოლია

$$m_k = \frac{1}{2} M ,$$

სადაც, M არის სვლის ბოლო პუნქტის მდებარეობაში შეცდომა საწყისი პუნქტის მიმართ ღირექციული კუთხეების პირობით გაწონასწორების შემდეგ და განისაზღვრება ფორმულით

$$M^2 = [m_{\xi}^2] + [D_{0,i}^2] \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} , \quad (2.1.5.1)$$

სადაც, m_{γ} არის გვერდის გაზომვის სკმ;

m_{β} – კუთხის გაზომვის სკმ;

$D_{o,i}$ – სვლის თითოეული პუნქტიდან მანძილი სვლის სიმძიმის ცენტრამდე.

როცა მანძილები იზომება კიდეულად, მაშინ გვექნება

$$M^2 = \mu^2[S] + \lambda^2 L^2 + [D_{o,i}^2] \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2}, \quad (2.1.5.2)$$

სადაც, μ და λ – ხაზოვანი გაზომვებისას შემთხვევითი და სისტემატური შეცდომების გავლენის კოეფიციენტებია;

$[S]$ სვლის პერიმეტრია;

L ჩამკეტი სვლის სიგრძეა.

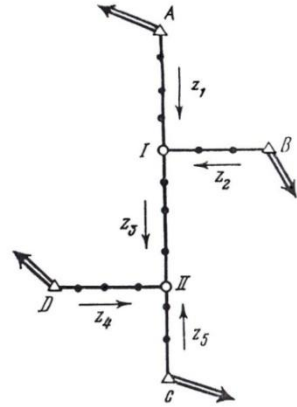
(2.1.5.1) და (2.1.5.2) ფორმულები ფართოდ გამოიყენება სიზუსტის მიახლოებითი გამოთვლებისას. გამოკვლევების თანახმად, სვლის სუსტ ადგილად ყოველთვის არ წარმოგვიდგება მისი შუა ნაწილი, განსაკუთრებით ტეხილი სვლების დროს. თუმცა ხაზოვანი გაზომვებისას სისტემატური შეცდომების და საწყისი მონაცემების შეცდომების გამო, სვლის შუა პუნქტები ყველაზე ნაკლები სიზუსტით განისაზღვრება.

პოლიგონომეტრიული ქსელების პროექტის სიზუსტის შეფასების ერთ-ერთი უმარტივესი მეთოდია თანდათანობითი მიახლოების ხერხი, რომლის არსი შემდეგში მდგომარეობს:

პირველი მიახლოებით, სვლების სისტემა, რომლებიც თავს იყრიან თითოეულ საკვანძო პუნქტში (I და II) (ნახ.2.1.5.1), განიხილება, როგორც დამოუკიდებელი სისტემა, რომელიც ეყრდნობა იმ პუნქტებს, რომელთა მდებარეობა ჯერჯერობით უშეცდომოდ ითვლება.

გამოითვლება საკვანძო პუნქტში შემავალ თითოეულ სვლაზე ამ პუნქტის მდებარეობის სკშ.

მაგალითად, I საკვანძო პუნქტისთვის გვექნება M_{z_1} , M_{z_2} და M_{z_3} სვლების შეცდომები, ხოლო II საკვანძო პუნქტისათვის – M_{z_3} , M_{z_4} და M_{z_5} . I საკვანძო პუნქტის მდებარეობის განსაზღვრის წონები სვლების მიხედვით ტოლია



ნახ. 2.1.5.1

$$P'_{z_1} = \frac{C}{M_{z_1}^2}; \quad P'_{z_2} = \frac{C}{M_{z_2}^2}; \quad P'_{z_3} = \frac{C}{M_{z_3}^2}.$$

I საკვანძო პუნქტის მდებარეობის განსაზღვრის სკშ პირველი მიახლოებით გამოითვლება ფორმულით

$$(M_I^2)_1 = \frac{C}{P_I}, \quad P_I = P'_{z_1} + P'_{z_2} + P'_{z_3}. \quad (2.1.5.3)$$

ანალოგიურად, II საკვანძო პუნქტისათვის გვექნება

$$(M_{II}^2)_1 = \frac{C}{P_{II}}, \quad P_{II} = P'_{z_3} + P'_{z_4} + P'_{z_5}. \quad (2.1.5.4)$$

ყველა ამ ფორმულაში C ნებისმიერად შერჩეული რიცხვია.

მეორე მიახლოებისას I და II საკვანძო პუნქტებში საწყისი მონაცემების შეცდომები იქნება არა ნულის ტოლი, არამედ მიიღება იმ სიდიდეების ტოლად, რომლებიც გამოთვლილია (2.1.5.3) და (2.1.5.4) ფორმულებით. ამასთან, წონების განსაზღვრისათვის გვექნება შემდეგი დამოკიდებულებები:

$$P''_{z_1} = P'_{z_1} = \frac{C}{M_{z_1}^2}; \quad P''_{z_2} = P'_{z_2} = \frac{C}{M_{z_2}^2}; \quad P''_{z_3} = \frac{C}{M_{z_3}^2 + (M_{II}^2)_1}.$$

ანალოგიურად, II საკვანძო პუნქტისათვის, გვექნება:

$$P''_{z_3} = \frac{C}{M_{z_3}^2 + (M_I^2)_1}; \quad P''_{z_4} = P'_{z_4} = \frac{C}{M_{z_4}^2}; \quad P''_{z_5} = P'_{z_5} = \frac{C}{M_{z_5}^2}.$$

მესამე მიახლოებისას, საწყისი მონაცემების შეცდომებად ღებულობენ I და II საკვანძო პუნქტების მეორე მიახლოებაში მიღებულ შეცდომებს და ა.შ. გამოთვლები გრძელდება მანამ, სანამ ბოლო ორ მიახლოებაში არ მივიღებთ პრაქტიკულად ერთნაირ შედეგებს.

2.1.6. კუთხეებისა და მანძილების გაზომვის თავისებურებანი პოლიგონომეტრიაში

ქალაქებისა და სამრეწველო ნაგებობათა ტერიტორიებზე დასაპროექტებელ პოლიგონომეტრიის ქსელებში კუთხეების და მანძილების გაზომვისას ადგილი აქვს თავისებურებებს, რომელთაც შეუძლიათ მნიშვნელოვანი გავლენა იქონიონ პუნქტების კოორდინატების განსაზღვრის მოსალოდნელ სიზუსტეზე. ამ თავისებურებებს შეიძლება მივაკუთვნოთ დაბრკოლებანი ქალაქის პირობებში პუნქტების ცენტრების ადგილმდებარეობის და პოლიგონომეტრიის გვერდების სიგრძეების შერჩევისას, შენობებისგან გამოწვეული გვერდითი რეფრაქცია, ტრანსპორტის მოძრაობისგან და სამრეწველო დანადგარების მუშაობისაგან გამოწვეული ინსტრუმენტების და სამიზნეების არამდგრადობა და სხვა.

მოკლე გვერდები გვაიძულებს, რაც შეიძლება ზუსტად დაიცენტროს ინსტრუმენტი. დაცენტრვის შეცდომის საშუალო სიდიდე 0,5-0,7 მმ-ზე მეტი არ უნდა იყოს. გვერდითი რეფრაქციის გავლენის შესასუსტებლად მზერის სხივი შენობიდან არანაკლებ 1 მ-ზე უნდა გადიოდეს. პოლიგონომეტრიული სვლის გვერდები უნდა განვაღავოთ შენობებიდან ჩრდილის მხარეს და გაზომვები ვაწარმოოთ ღრუბლიან ამინდში.

ზოგ შემთხვევაში კუთხეების გაზომვა შეიძლება ახლად წარმოქმნილი დაბრკოლების გამო მოგვიხდეს დამატებითი პუნქტის

ჩასმით და დამატებითი კუთხეების და მანძილების გაზომვით – არაცენტრული გზით.

პოლიგონომეტრიული ქსელის დაპროექტებისას მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ ტოლგვერდებიან გაჭიმულ პოლიგონომეტრიულ სვლაში, სვლის გვერდის ღირეცეიული კუთხის განსაზღვრის შეცდომა, გამოსავალი ღირეცეიული კუთხეების და კოორდინატების პირობებით გაწონასწორებისას, ყველა გვერდისათვის შეიძლება ჩავთვალოთ ერთნაირი. იგი განისაზღვრება ფორმულით

$$M_{\alpha} = M_{\beta} \sqrt{\frac{n^3 - 4n}{16(n^2 - 1)}} , \quad (2.1.6.1)$$

სადაც, m_{β} არის კუთხის გაზომვის სკმ;

n – სვლის გვერდების რაოდენობა.

როდესაც $n = 15$, M_{α} სიდიდე ახლოს არის M_{β} -თან ($m_{\alpha} \approx m_{\beta}$). თუ $n = 10$, $M_{\alpha} \approx 0,8m_{\beta}$, ხოლო როდესაც $n = 20$, $M_{\alpha} \approx 1,1m_{\beta}$.

ზემოთ აღნიშნული პირობების მქონე პოლიგონომეტრიული სვლისათვის მისი შუა წერტილის მოსალოდნელი განივი ძვრა განისაზღვრება ფორმულით

$$M_u = \frac{m_{\beta}}{\rho} S \sqrt{\frac{(n^2 - 1)(n^2 + 3)}{192n}} , \quad (2.1.6.2)$$

სადაც, S გვერდის სიგრძეა.

თუ მივიღებთ, რომ $S = 206$, $n = 10$, განივი ძვრა $M_u \approx 2,4m_{\beta}$, როდესაც $n = 15$, $M_u \approx 4,2m_{\beta}$, ხოლო როდესაც $n = 20$, $M_u \approx 6,4m_{\beta}$.

ღირეცეიული კუთხის გადაცემა პოლიგონომეტრიული სვლის შუაზე, მცირე გავლენას ახდენს განივი ძვრის შემცირებაზე.

პოლიგონომეტრიის სვლებში კუთხეების გაზომვის სიზუსტეზე გავლენას ახდენს, ძირითადად შემდეგი ფაქტორები:

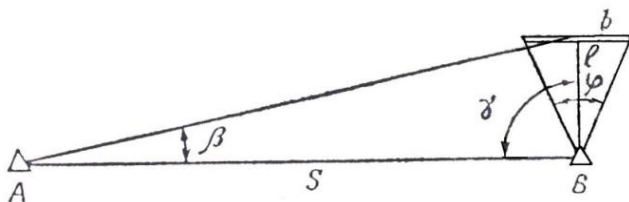
– ინსტრუმენტული შეცდომები;

- შეცდომა რელუქციისათვის;
- დაცენტრის შეცდომა;
- უშუალოდ გაზომვის შეცდომა;
- გარემო პირობებით გამოწვეული შეცდომა;
- კუთხეების არაცენტრული გზით გაზომვისას დამატებითი განაზომებით გამოწვეული შეცდომა.

რაც შეეხება პოლიგონომეტრიაში მანძილების გაზომვის მეთოდებს, უშუალოდ საზომი ხელსაწყოების გამოყენების გარდა, ბოლო წლებში ფართო გავრცელება პოვა მანძილმზომებმა (შუქმანძილმზომები, რადიომანძილმზომები, ელექტრონული გამზომი ხელსაწყოები) და მანძილების ირიბად გაზომვის მეთოდებმა, კერძოდ, მოკლებაზისიანმა პარალაქსურმა ხერხმა. ამთგან, ყველაზე ფართო გავრცელება მოიპოვა $II - a$, $II - b$, $III - a$ ტიპების და გასწვრივ-მოკლებაზისიანმა ხერხმა, რომელთა არსს ქვემოთ განვმარტავთ.

$II - a$ ტიპის პარალაქსური რგოლი გამოსახულია (2.1.6.1) ნახაზზე, საიდანაც გასაზომი $AB = S$ გამოითვლება ფორმულით

$$S = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} \frac{\sin(\gamma + \beta)}{\sin \beta} . \quad (2.1.6.3)$$



ნახ. 2.1.6.1.

(2.1.6.3) ფორმულის მიხედვით S გვერდის სიგრძის გაზომვის სკემა იქნება

$$\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 = \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{b}\right)^2 \left(\frac{m_\varphi}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{s}{l}\right)^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 . \quad (2.1.6.4)$$

თუ აღვნიშნავთ: $\frac{l}{b} = K_1$; $\frac{s}{l} = K_2$, მაშინ (2.1.6.4) ფორმულა მიიღებს სახეს

$$\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 = \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + K_1^2 \left(\frac{m_\varphi}{\rho}\right)^2 + K_2^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 . \quad (2.1.6.5)$$

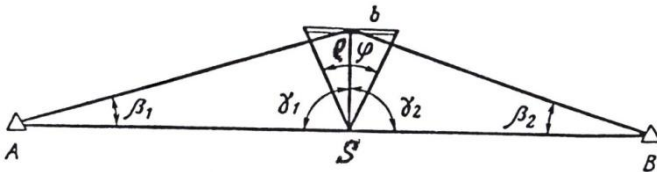
პარალაქსური რგოლის საუკეთესო ფორმად მიღებულია, როცა $K_1 = K_2 = K$. ამავე დროს, თუ მივიღებთ, რომ $m_\varphi = m_\beta$, მაშინ გვექნება

$$\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 = \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + 2K^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 . \quad (2.1.6.6)$$

როგორც პრაქტიკა აჩვენებს, II – a ტიპის რგოლი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს 1-ლი თანრიგის პოლიგონომეტრიაში 200 მ-მდე ხოლო მე-2 თანრიგის პოლიგონომეტრიაში 300 მ-მდე მანძილების გასაზომად.

საერთოდ, მიღებულია, რომ რაც მეტია φ პარალაქსური კუთხე და K კოეფიციენტი, მით მეტია გვერდის განსაზღვრის სიზუსტე. ამავე დროს $K = 10$ მეტად გაზრდა გაზომვებისთვის არახელსაყრელ პირობებს ქმნის.

გვერდის გაზომვის სიზუსტეს აუმჯობესებს III – a ტიპის პარალაქსური რგოლის გამოყენება, რომელიც მოცემულია (2.1.6.2) ნახაზზე



ნახ. 2.1.6.2

თუ ასეთ რგოლში γ_1 და γ_2 კუთხეები 90° -ისგან $1'$ -ზე მეტად არ განსხვავდება, მაშინ $AB = S$ სვლის გვერდის სიგრძე გამოითვლება ფორმულით

$$s = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2) . \quad (2.1.6.7)$$

გვერდის სიგრძის ფარდობითი სკშ გამოითვლება ფორმულით

$$\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 = \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + K_1^2 \left(\frac{m_\varphi}{\rho}\right)^2 + \frac{1}{8} K_2^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 . \quad (2.1.6.8)$$

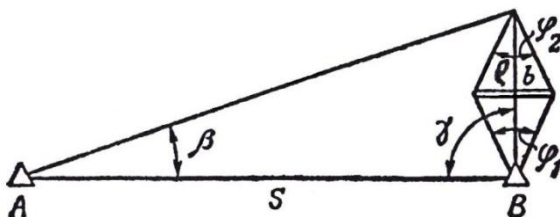
თუ $K_1 = K_2 = K$ და $m_\varphi = m_\beta$, მაშინ ფორმულა მიიღებს მარტივ სახეს

$$\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 = \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \frac{9}{8}K^2 \left(\frac{m_\varphi}{\rho}\right)^2. \quad (2.1.6.9)$$

III - a ტიპის რგოლს იყენებენ 1-ლი თანრიგის პოლიგონომეტრიის ქსელში მანძილების 400 მ-მდე გაზომვების დროს.

პარალაქსური რგოლის წვეროს შეცდომა AB გასწვრივობიდან არ უნდა აღემატებოდეს 0,1 მ-ს.

პარალაქსური ხერხით მანძილების გაზომვის დროს გამოყენებას პოულობს აგრეთვე *II - b* ტიპის რგოლი, რომელიც (2.1.6.3) ნახაზზეა გამოსახული



ნახ. 2.1.6.3

თუ ასეთ რგოლში γ კუთხე 90° -ისგან არ განსხვავდება $1'$ -ზე მეტად, მაშინ $AB = S$ გამოითვლება ფორმულით

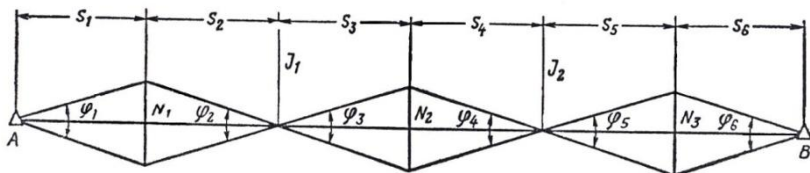
$$s = \frac{b}{2} \left(\operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2} \right) \operatorname{ctg} \beta. \quad (2.1.6.10)$$

მისი სიზუსტე კი გამოითვლება ფორმულით

$$\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 = \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \frac{1}{8}K_1^2 \left(\frac{m_\varphi}{\rho}\right)^2 + K_2^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2. \quad (2.1.6.11)$$

ამ ფორმულის გამარტივება ($K_1 = K_2 = K$ და $m_\varphi = m_\beta$) გვაძლევს (2.1.6.9) ფორმულას, ე.ი. ამ ტიპის რგოლის საშუალებით შეიძლება გაიზომოს 400 მ-მდე მანძილები 1-ლი თანრიგის პოლიგონომეტრიაში.

ბოლო დროს მანძილების გაზომვებისას გამოყენება პოვა გასწვრივ მოკლებაზისიანმა ხერხმა, რომელიც 2.1.6.4 ნახაზზეა ნაჩვენები.



ნახ. 2.1.6.4

$AB = S$ მანძილს ყოფენ 50 ან 60 მ-იან მონაკვეთებად, რომელთაგან თითოეულს ზომავენ მარტივი პარალაქსული ხერხით.

$S = AB$ მანძილი გამოითვლება მონაკვეთების შეჯამებით

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 .$$

თითოეული მონაკვეთის S_i სიგრძე გამოითვლება ფორმულით

$$S_i = \frac{b}{2} ctg \frac{\varphi_i}{2} , \quad (2.1.6.12)$$

ხოლო მისი სიზუსტე გამოითვლება ფორმულით

$$\left(\frac{m_{S_i}}{S_i} \right)^2 = \left(\frac{m_b}{b} \right)^2 + \left(\frac{S_i}{b} \right)^2 \left(\frac{m_\varphi}{\rho} \right)^2 . \quad (2.1.6.13)$$

$AB = S$ მთლიანი სიგრძის გაზომვის შეცდომა განისაზღვრება ფორმულით

$$m_s = m_{S_i} \sqrt{n} , \quad (2.1.6.14)$$

სადაც, n – მონაკვეთების რაოდენობაა.

გასწვრივ მოკლებაზისიანი ხერხი ხასიათდება რიგი უპირატესობით:

- მანძილის დაყოფა მოკლე მონაკვეთებად ზრდის პარალაქსური კუთხის სიდიდეს და შესაბამისად ზრდის თითოეული მონაკვეთის გაზომვის ფარდობით სიზუსტეს;
- მოკლე მანძილებზე იზრდება დამიზნების სიზუსტე;
- რადგანაც მონაკვეთების გაზომვის შემთხვევითი შეცდომები გროვდება მონაკვეთების რაოდენობიდან კვადრატული ფესვის პროპორციულად, ამიტომ მთელი გვერდის სიგრძის

ფარდობითი შეცდომა იქნება მეტი, ვიდრე თითოეული მონაკვეთის ფარდობითი შეცდომაა, მაგრამ არა უშუალოდ რაოდენობის პროპორციულად.

2.1.7. ხაზოვან-კუთხური ქსელები

შუქმანძილშომებისა და მანძილების მაღალი სიზუსტით გაზომვის ელექტრონული მეთოდების პრაქტიკაში ფართოდ დანერგვამ, განაპირობა ბოლო წლებში ხაზოვან-კუთხური ქსელების ხშირი გამოყენება. მათი შედარება სხვა ტიპის ქსელებთან საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ, რომ ქსელი, რომელშიც გვაქვს როგორც ხაზოვანი, ისე კუთხური გაზომვები, შედარებით უფრო მყარია, ამავე დროს მისი ფორმა შეიძლება მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს ტიპური ფორმებისაგან.

ხაზოვან-კუთხური ქსელების სიზუსტის გაანგარიშებისას მიზანშეწონილია განვასხვავოთ ორი შემთხვევა:

- ქსელი კონსტრუირებულია ისე, რომ განსასაზღვრავი ელემენტი შეიძლება მიღებულ იქნეს გაზომილი კუთხეების ან გაზომილი გვერდების სიგრძეების გამოყენებით;
- ქსელი კონსტრუირებულია ისე, რომ განსასაზღვრავი ელემენტი შეიძლება გამოთვლილ იქნეს როგორც ხაზოვანი, ისე კუთხური განაზომების ერთდროულად გამოყენების საფუძველზე.

პირველ შემთხვევაში, ხაზოვან-კუთხური ქსელების სიზუსტის ანგარიში არსებითად მარტივდება. მაგალითად, თუ რომელიმე ელემენტის წონა ხაზოვანი გაზომვების გამოყენებით მიღებული, არის – P_b , ხოლო იმავე ელემენტის წონა კუთხური გაზომვების საფუძველზე მიღებული – P_{β} , მაშინ ელემენტის სრული წონა მიიღება ამ ცალკეული წონების შეჯამებით

$$P_{b..j.} = P_{b.} + P_{\beta.}, \quad (2.1.7.1)$$

ხოლო იმავე ელემენტის სკმ იქნება

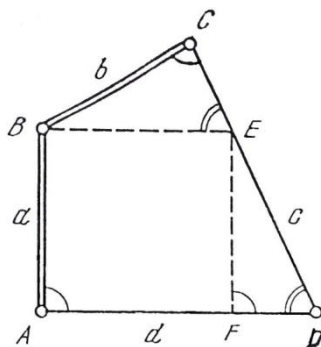
$$m_{b,j}^2 = \frac{m_b^2 \cdot m_j^2}{m_b^2 + m_j^2} . \quad (2.1.7.2)$$

მეორე შემთხვევაში, სიზუსტის წინასწარი ანგარიში უფრო რთულია და გამოითვლება გაწონასწორებული ფუნქციის სკმ-ის გამოსათვლელი საერთო ფორმულებით.

ხაზოვან-კუთხური ქსელის აგების ერთ-ერთი მაგალითია ე.წ. ზუბრიცკის უდიაგონალბო ოთკუთხედებისაგან შედგენილი ქსელი. რომლის ერთი ოთხკუთხედი 2.1.7.1

ნახაზზეა გამოსახული.

ასეთი ქსელის შეფასების მეთოდის არსი ისაა, რომ თუ $ABCD$ ოთხკუთხედში გაზომილია ყველა კუთხე და a და b მოსაზღვრე გვერდები, დანარჩენი ორი გვერდის (c და d) სიგრძე შეიძლება გამოთვლილ იქნეს გაზომილი სიდიდეების გამოყენებით



ნახ. 2.1.7.1.

$$C = DE + EC . \quad DE = \frac{a \sin A}{\sin D} , \quad EC = \frac{b \sin(C + D)}{\sin D} ,$$

$$C = \frac{a \sin A + b \sin(C + D)}{\sin D} . \quad (2.1.7.3)$$

ანალოგიურად, განისაზღვრება d მანძილი

$$d = AF + FD . \quad AF = \frac{b \sin C}{\sin D} , \quad FD = \frac{a \sin(A + D)}{\sin D} ,$$

$$d = \frac{b \sin C + a \sin(A + D)}{\sin D} . \quad (2.1.7.4)$$

მივიღოთ, ოთკუთხედში კუთხეების გაზომვის ცდომილებები ერთმანეთის ტოლად,

$$m_A = m_B = m_C = m_D = m_\beta .$$

მიღებული შედეგების სიზუსტე შევაფასოთ იმის გათვალისწინებით, რომ ფიგურაში წარმოიქმნება ერთი პირობითი განტოლება

$$(V_A) + (V_B) + (V_C) + (V_D) + W_\beta = 0 ,$$

სადაც

$$W_\beta = A + B + C + D - 360^0 .$$

c და d გვერდების სკშ გაწონასწორებული კუთხეების მიხედვით, მართკუთხედთან მიახლოებულ ოთხკუთხედში, რომელსაც უფრო ხშირად იყენებენ პრაქტიკაში, ტოლი იქნება:

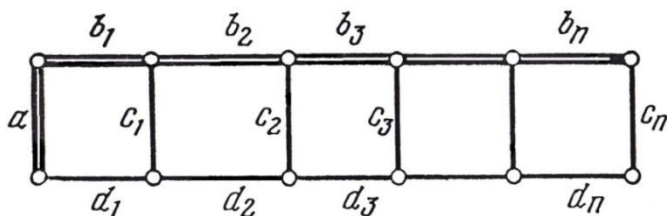
$$\left. \begin{aligned} m_c^2 &= m_a^2 + b^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} , \\ m_d^2 &= m_b^2 + a^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} . \end{aligned} \right\} \quad (2.1.7.5)$$

ოთხკუთხედებისაგან შემდგარ მწკრივში (ნახ.2.1.7.2), რომელიც გაწონასწორებულია ფიგურების პირობებით და მასში გაზომილია a და b (ან d) გვერდები, ბოლო C_n გვერდის განსაზღვრის სკშ ტოლია

$$m_{C_n}^2 = m_a^2 + \sum_1^n S^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} , \quad (2.1.7.6)$$

სადაც, S არის b (ან d) გაზომილი გვერდის სიგრძე;

n – ოთხკუთხედების რაოდენობა ქსელში.



ნახ. 2.1.7.2

კვადრატებთან მიახლოებული ოთხკუთხედებისათვის, ბოლო გვერდის ფარდობითი ცდომილება ტოლი იქნება

$$\left(\frac{m_{C_n}}{C_n} \right)^2 = \left(\frac{m_a}{a} \right)^2 + n \left(\frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 . \quad (2.1.7.7)$$

ოთხკუთხედების მწკრივის ორ გამოსავალ გვერდს შორის გაწონასწორებისას, შუალედი გვერდების შეცდომა გამოითვლება ცნობილი ფორმულით

$$m_c^2 = \frac{m_{n_1}^2 \cdot m_{n_2}^2}{m_{n_1}^2 + m_{n_2}^2}, \quad (2.1.7.8)$$

სადაც, n_1 და n_2 – გამოსავალი გვერდებიდან შესაფასებელ გვერდამდე ოთხკუთხედების რაოდენობაა.

უდიაგონალო გეოდეზიურმა ოთხკუთხედებმა ფართო გამოყენება პოვეს დასახლებულ და ტყიან ადგილებში გეოდეზიური საფუძვლის განვითარების დროს.

მაღალი სიზუსტის ხაზოვან-კუთხურ ქსელებში სიზუსტის გაზრდისათვის ზომავენ ყველა კუთხეს და გვერდს.

2.1.8. ტრილატერაციის ქსელები

საინჟინრო ნაგებობათა გეოდეზიური მომსახურებისას ზოგჯერ კუთხეების გაზომვებისას დიდ სიძნელეებს ვაწყდებით, რაც შეიძლება სამშენებლო დაბრკოლებებით იყოს გამოწვეული. ამ შემთხვევაში ჩნდება ტრილატერაციის ქსელების გამოყენების აუცილებლობა. საერთოდ, ქალაქის ფარგლებში მაღლივი და პრეციზიული ნაგებობების გეოდეზიური უზრუნველყოფისათვის ფართო გამოყენება პოვა მიკროტრილატერაციამ.

ტრილატერაციის ქსელში სიზუსტის ანგარიშს საფუძვლად უდევს A კუთხის m_A შეცდომას და სამკუთხედის გვერდების m_a, m_b, m_c შეცდომებს შორის კავშირი. ეს კავშირი, როდესაც $m_a = m_b = m_c = m_s$ დგინდება ფორმულით

$$m_A = m_s \sqrt{\frac{1}{P_A}} = m_s \sqrt{[ff]}. \quad (2.1.8.1)$$

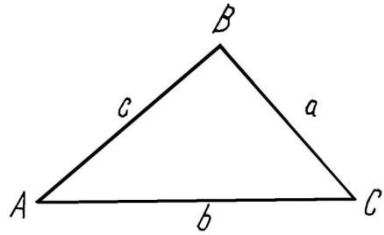
ABC სამკუთხედიდან (ნახ.2.1.8.1) კოსინუსების თეორემის თანახმად, გვექნება

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A . \quad (2.1.8.2)$$

აქედან, A კუთხის გამოსათვლელად გვაქვს

$$A = F = \arccos \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} .$$

A -ს გამოსახულების გაზომილი გვერდებით დიფერენცირებით, მივიღებთ წონითი ფუნქციის f_i კოეფიციენტებს:



ნახ. 2.1.8.1

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \frac{\partial A}{\partial a} = \rho \frac{a}{bc \sin A} = \rho \frac{a}{2\Delta} , \\ f_2 &= \frac{\partial A}{\partial b} = -\rho \frac{a \cos C}{2\Delta} , \\ f_3 &= \frac{\partial A}{\partial c} = -\rho \frac{a \cos B}{2\Delta} , \end{aligned} \right\} \quad (2.1.8.3)$$

სადაც Δ – სამკუთხედის ფართობია ($\Delta = \frac{bc \sin A}{2} = \frac{a^2 \sin B \sin C}{2 \sin A}$). თუ (2.1.8.3) მნიშვნელობებს შევიტანთ (2.1.8.1) ფორმულაში, მივიღებთ

$$m_A = \rho \frac{m_s}{a} \frac{\sin(B+C)}{\sin B \sin C} \sqrt{1 + \cos^2 B + \cos^2 C} . \quad (2.1.8.4)$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ იმ კუთხის ცდომილება, რომელიც გამოთვლილია სამკუთხედში თანაბარზუსტად გაზომილი გვერდების მეშვეობით პირდაპირპროპორციულია მოპირდაპირე გვერდის ფარდობითი ცდომილებისა და დამოკიდებულია K მამრავლის სიდიდეზე

$$K = \frac{\sin(B+C)}{\sin B \sin C} \sqrt{1 + \cos^2 B + \cos^2 C} .$$

თუ $\frac{m_a}{a} = \frac{m_b}{b} = \frac{m_c}{c}$, მაშინ (2.1.8.4) ფორმულის ნაცვლად გვაქვს

$$m_A = \rho \frac{m_s}{a} \sqrt{\frac{2(\delta_B^2 + \delta_C^2 + \delta_B \delta_C)}{M \cdot 10^6}} , \quad (2.1.8.5)$$

სადაც, δ_B და δ_C B და C კუთხეების სინუსების ლოგარიტმების ცვლილებებია (მე-6 ნიშანში) კუთხის 1" ცვლილებისას.

(2.1.8.4) და (2.1.8.5) ფორმულების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ტრილატერაციის ქსელში მეტი სიზუსტით განისაზღვრება ირიბი კუთხეები. ამავე დროს, გვერდების ფარდობითი ცდომილებების ტოლობისას სამკუთხედში გვერდების სხვადასხვა სიგრძეების დროს, იმისათვის, რომ კუთხეების და გვერდების გაზომვის სიზუსტეები იყოს თანაბარზომიერი, სამკუთხედში კუთხეები უნდა გაიზომოს სხვადასხვა სიზუსტით, რაც პრაქტიკულად არ შეიძლება ჩაითვალოს გამართლებულად.

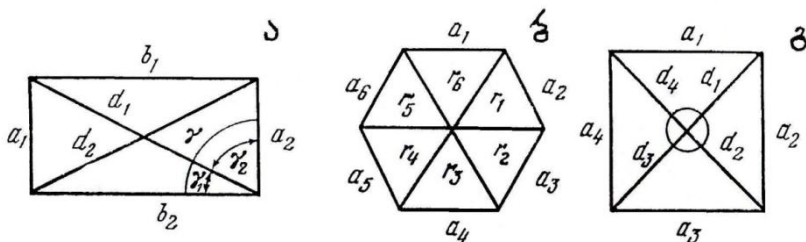
კუთხეების გამოთვლის არატოლზუსტობა სხვადასხვა სიგრძის გვერდების მქონე სამკუთხედში, გაწონასწორებისას შეიძლებოდა გაგვეთვალისწინებინა წონების მეშვეობით, მაგრამ სამკუთხედში სამი გვერდის გაზომვა არ გვაძლევს თავისუფალ წევრს და, ამდენად, საიმედო წონის და, როგორც შედეგი, გაზომილ კუთხეებში საიმედო შესწორებების მისაღებად, არაწარმომადგენლობითია.

ზემოთ ნათქვამ მოსაზრებას მივეყვართ დასკვნამდე, რომ არატოლგვერდა სამკუთხედში არ არის მიზანშეწონილი სამივე გვერდის გაზომვა. საკმარისია გაიზომოს მხოლოდ ერთი – ბლაგვი კუთხის პირდაპირ მდებარე გვერდი და კუთხეები. თანაც გვერდის გაზომვის სიზუსტე თანაბარზომიერი უნდა იყოს კუთხეების გაზომვის სიზუსტისა.

ტოლგვერდა ტრილატერაციის სამკუთხედში პუნქტების კოორდინატების განსაზღვრის სიზუსტის ასამაღლებლად მიზანშეწონილია სამივე კუთხისა და სამივე გვერდის გაზომვა, ამასთან, უნდა დავიცვათ გვერდებისა და კუთხეების გაზომვის თანაბარზომიერება.

მიკროტრილატერაციის ქსელს ჩვეულებრივ აგებენ სწორი ფორმის ფიგურებისაგან: სამკუთხედებისაგან, ოთხკუთხედებისაგან, ცენტრალური სისტემებისაგან.

2.1.8.2 ნახაზზე გამოსახულია ტრილატერაციის ყველაზე მეტად გავრცელებული სქემები



ნახ. 2.1.8.2

ეს სქემებია: ა) სამკუთხედების სისტემა; ბ) და გ) ცენტრალური სისტემები. ყველა ამ ფიგურაში წარმოიქმნება თითო პირობითი განტოლება.

ტრილატერაციის გაწონასწორებისას ქსელის ელემენტების სიზუსტე გარკვეული გაგებით იზრდება მისი ფორმის მიხედვით $\approx 15-20\%$ -ით.

2.1.9. გეოდეზიური სამშენებლო ბადე

სამოქალაქო და სამრეწველო ნაგებობათა კომპლექსის მშენებლობისას დაკავალვითი სამუშაოებისათვის, აგრეთვე შესრულებითი აგებმკვებისათვის გეოდეზიური საფუძვლის ერთ-ერთი რაციონალური სახე — გეოდეზიური სამშენებლო ბადეა. იგი არის საყრდენი პუნქტებისაგან შედგენილი კოორდინატთა სისტემა, სადაც პუნქტები კვადრატებისა და მართკუთხედების წვეროებშია განლაგებული.

სამშენებლო ბადე განკუთვნილია ნაგებობათა ძირითადი ღერძების ნატურაში გადასატანად. იმავდროულად, იგი

შესრულებითი აგეგმვებისათვის საფუძველია როგორც მშენებლობის დროს, ისე მისი დამთავრების შემდეგ. სამშენებლო ბადის პუნქტები ერთდროულად სასიმაღლო საფუძველიც არის სამშენებლო მოედანზე.

სამშენებლო ბადე, სიზუსტის მიხედვით უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

- სამშენებლო ბადის მეზობელი პუნქტების ურთიერთმდებარეობის ფარდობითი ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს 1:10000;
- სამშენებლო ბადის მართი კუთხეები უნდა აგებულ იქნას 20" სიზუსტით;
- მთავარი საფუძვლის მიმართ პუნქტების ურთიერთმდებარეობის შეცდომა ყველაზე სუსტ ადგილზე არ უნდა აღემატებოდეს 0,2 მმ 1:500 მასშტაბში, ე.ი. 10 სმ-ს.

სამშენებლო ბადის შექმნის ტექნოლოგია შემდეგი ეტაპებისაგან შედგება:

გამოსავალ მიმართულებათა დაპროექტება და ნატურაში გადატანა. ძირითადი მოთხოვნა, რომელიც ბადის ორიენტირებას წაყენება არის ბადის კოორდინატთა ღერძების ზუსტი პარალელურობა ნაგებობათა ძირითადი ღერძების მიმართ. დაპროექტებისას ცდილობენ, რომ ბადის პუნქტები არ მოხვდეს სამშენებლო სამუშაოების ზონაში და არ განადგურდეს. ბადის ორიენტირებისას, გამოსავალი მიმართულებისათვის იყენებენ სამშენებლო მოედნის ფარგლებში განლაგებულ გეოდეზიურ პუნქტებს. სამშენებლო ბადის და გამოსავალი პუნქტების კოორდინატებით, შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანებით გამოთვლიან ნატურაში გადასატანად აუცილებელ დაკვალვით ელემენტებს.

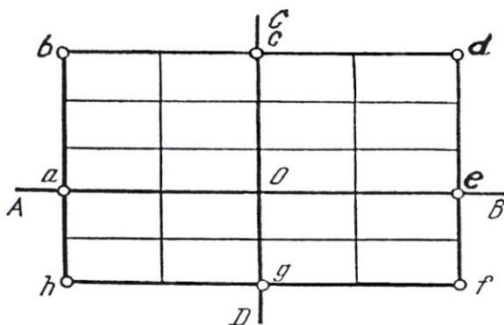
ბადის დეტალური დაკვალვა. გამოსავალი პუნქტების ნატურაში გადატანის შემდეგ იწყებენ ადგილზე კვადრატული ან

მართკუთხა ბადის აგებას გვერდების მოცემული სიგრძეებით და პუნქტების ადგილზე დამაგრებას.

სამშენებლო ბადის დაკვალვის რამდენიმე ხერხი არსებობს, ყველაზე მეტად გავრცელებულია ორი: ღერძული და რელეცირების ხერხი.

ღერძული ხერხის არსი ასეთია: ევრდნობიან ადგილზე დამაგრებულ გამოსავალ მიმართულებას და აგებენ ორ ურთიერთმართობ ღერძს AB -სა და CD -ს (ნახ.2.1.9.1).

მიღებულ მიმართულებებზე ცენტრიდან კომპარირებული ბაფთით ან მანძილმზომით გადაზომავენ ბადის გვერდების ტოლ მონაკვეთებს. ამ დროს ითვალისწინებენ ყველა შესწორებას. ღერძების ბოლო a, c, e, g წერტილებში აგებენ მართ კუთხეებს და აგრძელებენ დაკვალვას პერიმეტრის გასწვრივ. ამ ხერხის გამოყენებისას შეცდომები გროვდება, რომლის შემცირება შესაძლებელია ბადის პუნქტების გადაწვეით. ამრიგად, მივიღებთ ოთხ პოლიგონს, რომელთა პერიმეტრის გასწვრივ ჩასვამენ მუდმივ ნიშნებს, შეასრულებენ მათზე 1-ლი თანრიგის პოლიგონომეტრიულ სვლას, გააწონასწორებენ და მიიღებენ პოლიგონის საზღვრებზე განლაგებული პუნქტების კოორდინატებს. პოლიგონების შიგა პუნქტების კოორდინატებს ღებულობენ მე-2 თანრიგის პოლიგონომეტრიული სვლით ან გასწვრივებზე გადაკვეთებით.



ნახ. 2.1.9.1

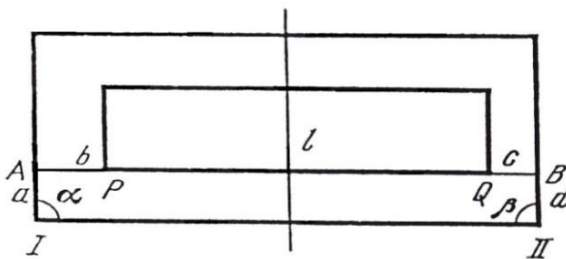
ღერძულ ხერხს იყენებენ მაშინ, როდესაც სამშენებლო მოედანი არ არის დიდი, ან დიდი სიზუსტე არ არის საჭირო.

რეღუცირების ხერხი გამოიყენება დიდი ტერიტორიის მომცველ სამშენებლო მოედნებზე. იგი უზრუნველყოფს სამშენებლო ბადის ელემენტების უფრო დიდი სიზუსტით განსაზღვრას. მისი არსი ასეთია: ნატურაში ჯერ გადააქვთ ბაღე თეოდოლიტური სვლის სიზუსტით და პუნქტებს ამაგრებენ დროებითი ნიშნებით; შემდეგ ქმნიან პოლიგონომეტრიულ სვლებს, რომლებშიც გაზომვების ჩატარების შედეგად განსაზღვრავენ ყველა პუნქტის კოორდინატებს. მიღებულ კოორდინატებს ადარებენ საპროექტოს და განსაზღვრავენ რეღუქციის ელემენტებს, რომელთა სიდიდეებზეც გადაანაცვლებენ დროებით ნიშნთან პუნქტებს. რეღუცირების შემდეგ პუნქტებს ამაგრებენ მყარად, რკინაბეტონის ნიშნებით. პოლიგონომეტრიული სვლის გარდა ამ დროს იყენებენ მიკროტრიანგულაციის, მიკროტრილატერაციის, უდიაგონალეზო ოთხკუთხედებისა და სხვა მეთოდებს.

სამშენებლო ბადის დაპროექტება. სამშენებლო ბადის სიზუსტისადმი მოთხოვნები განპირობებულია:

- ნაგებობის დანიშნულების, ზომების, ტექნოლოგიურ ხაზებს შორის კავშირებისა და სხვათა მიხედვით დაკვაღვითი სამუშაოების სიზუსტისადმი მოთხოვნებით;
- დაკვაღვითი სამუშაოებისათვის სამშენებლო ბადის პუნქტების გამოყენების რიგით.

სამშენებლო ბაღეებს პუნქტების გამოყენების ხასიათის მიხედვით ყოფენ ორ (A და B) ტიპად.



ნახ. 2.1.9.2

A ტიპის ბაღე აიღება იმ ანგარიშით, რომ ნაგებობის P და Q წერტილები (ნახ.2.1.9.2) დამოუკიდებლად განისაზღვროს ბადის I

და II პუნქტიდან. ამ შემთხვევაში PQ სიგრძის განსაზღვრის შეცდომა შემდეგი შეცდომებისაგან შედგება

$$m_{PQ}^2 = m_{I-II}^2 + a^2 \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + d^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} + m_b^2 + m_c^2, \quad (2.1.9.1)$$

სადაც, m_{I-II} I და II ბადის პუნქტების ურთიერთმდებარეობის შეცდომაა;

m_α და m_β – ბადეების კუთხეების განსაზღვრის სკშ;

m_b და m_c – b და c მანძილების გადაზომვის სკშ ბადეების გვერდზე A და B წერტილების ფიქსირების შეცდომების ჩათვლით.

(2.1.9.1) ფორმულიდან აშკარაა, რომ ბადის გვერდები 2-3-ჯერ უფრო ზუსტად უნდა განისაზღვრონ, ვიდრე PQ სიგრძის განსაზღვრის სიზუსტეა.

B ტიპის ბადე ხასიათდება იმით, რომ მისი პუნქტების გამოყენების დროს ჯერ დაიკვალება A წერტილი და AB მიმართულება, ხოლო შემდეგ საჭირო სიზუსტით გადაიზომება უშუალოდ PQ მანძილი. ამ დროს $m_{PQ} = m_l$ ანუ მანძილის გადაზომვის ცდომილების ტოლია. A და B ტიპის ბადეებისთვის დამახასიათებელი სიზუსტეები მოცემულია ქვემოთ 2.1.9.1 და 2.1.9.2 ცხრილებში.

A ტიპის ბადე ცხრ. 2.1.9.1

დაშვების სახე	ბადის თანრიგი	
	1	2
$\frac{m_l}{l}$	1 : 20000	1 : 10000
m_β	10''	20''
m_p	10სმ	10სმ

B ტიპის ბადე ცხრ. 2.1.9.2

დაშვების სახე	ბადის თანრიგი	
	3	4
$\frac{m_l}{l}$	1 : 5000	1 : 3000
m_β	20''	30''
m_p	10სმ	10სმ

ამ ცხრილებში $\frac{m_l}{l}$ არის გვერდის სიგრძის გაზომვის ფარდობითი შეცდომა;

m_β – ბადის კუთხეების დაკვალვის შეცდომა;

m_p – ბადის პუნქტის მდებარეობის შეცდომა მთავარი საფუძვლის პუნქტის მიმართ.

ბადის ტიპი და თანრიგი შეირჩევა ნაგებობის მიხედვით.

A ტიპის სამშენებლო ბადე, როგორც უფრო ზუსტი, მიზანშეწონილია შევქმნათ მსხვილი სამრეწველო კომპლექსის მშენებლობის დროს.

B ტიპის ბადე კი მიზანშეწონილია ავადოთ ისეთ ნაგებობათა დაკვალვისათვის, რომლებიც შეერთებული არიან ტექნოლოგიური ხაზებით.

განსაკუთრებული სიზუსტის მქონე შენობათა და ნაგებობათა დაკვალვისათვის სამშენებლო ბადის ინდივიდუალური დაპროექტებაა საჭირო.

ყველაზე რაციონალურად ბადეების აგების ისეთი სქემები ითვლება, რომლებიც პუნქტების ურთიერთმდებარეობის შეცდომების თანაბრად განაწილებას უზრუნველყოფს. ასეთი სქემებია:

– სამშენებლო ბადე, რომელშიც ყველა გვერდი და კუთხე გაზომილია პოლიგონომეტრიის მეთოდით;

- ბაღე, რომელშიც ყველა გვერდი და კუთხე გაზომილია კონტურზე, ხოლო შიგა გვერდები და კუთხეები განსაზღვრულია უდიაგონალეზო ოთხკუთხედებით;
- ბაღე, რომელიც აგებულია პოლარული ხერხით ზუსტი შექმანდილშომების გამოყენებით. ამ დროს ბადის თითოეული პუნქტი განისაზღვრება კუთხის და მანძილის გადაზომვით.

სამშენებლო ბაღე, ტერიტორიის მიხედვით, აიგება 2-3 საფეხურისაგან.

ბადის შექმნის 3-საფეხურიანი სისტემის დროს პირველი საფეხური არის ტრიანგულაცია (პუნქტების ბადის პერიმეტრზე ჩამაგრებით). მეორე საფეხურს ქმნიან 1 თანრიგის პოლიგონომეტრიული სვლებით, ხოლო მესამე საფეხურს – მე-2 თანრიგის სვლებით. ასეთი სისტემა იქმნება დიდ ტერიტორიაზე – ათეულ კვადრატულ კმ-ზე.

შედარებით მცირე ფართობზე სამშენებლო ბაღეს ქმნიან ორ საფეხურად.

აგების მეთოდისაგან დამოუკიდებლად, სამშენებლო ბადის პუნქტებს ამაგრებენ მუდმივი ნიშნებით – რკინაბეტონის მონოლითებით, ჩაბეტონებული რელსის ნაჭრებით ან მილებით, რომელსაც ზემოდან მარკა აქვს მიღუღებული, რადგანაც ისინი ერთდროულად სასიმაღლო საფუძვლადაც გამოიყენებიან.

სამშენებლო ბადის პუნქტებზე ძირითადად აწარმოებენ III-IV კლასის ნიველობას.

2.2. სასიმაღლო საინჟინრო-გეოდეზიური ქსელები

2.2.1. სასიმაღლო ქსელების დანიშნულება და მოთხოვნები სიზუსტისადმი

სასიმაღლო ქსელების სიზუსტე და სიმჭიდროვე ქალაქებისა და სამრეწველო მოედნების ტერიტორიებზე დამოკიდებულია დაკვალვითი და აგეგმვითი სამუშაოების მოთხოვნილ სიზუსტეზე, აგრეთვე ტერიტორიის სიდიდეზე.

საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოები ძირითადად ემყარება II – III – IV კლასების სახელმწიფო სანიველო ქსელებზე, რომლებიც ვითარდება 50-500 კმ² ტერიტორიაზე, III და IV კლ. სანიველო ქსელები ვითარდება 10-50 კმ² ქალაქის ტერიტორიაზე, ხოლო IV კლ. – 1-10 კმ² ტერიტორიაზე.

ეს ქსელები შეიძლება ტექნიკური მაჩვენებლებით ხასიათდება (ცხრ.2.2.1.1).

გეომეტრიული ნიველობა

ცხრ. 2.2.1.1

მაჩვენებლები	ნიველობის კლასები		
	II	III	IV
სვლის მაქსიმალური სიგრძე, კმ:			
გამოსავალ პუნქტებს შორის,	40	15	4
საკვანძო პუნქტებს შორის.	10	5	2
მაქსიმალური დაშორება მუდმივ ნიშნებს შორის, კმ:			
დასახლებულ ტერიტორიაზე,	2	0,2	0,2-0,5
დაუსახლებელ ტერიტორიაზე.	5	0,8	0,5-2,0
დასაშვები შეუკვრელობა პოლიგონებში და სანიველო სვლებში, მმ (L კმ-ში).	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$

II კლ. ნიველობის პუნქტებით ტერიტორია იფარება თანაბრად. ნიველობა სრულდება შეთავსების მეთოდით პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით.

II კლ. გახშირებისას III კლ. პუნქტებით, ნიველობა სრულდება ცალკეული სვლების ან პოლიგონების სახით. თუ III კლ. ნიველობის ქსელი დამოუკიდებელი საფუძვლის სახითაა, მაშინ ის სრულდება ჩაკეტილი პოლიგონების სისტემის სახით. სვლები სრულდება პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით. დანარჩენ შემთხვევაში III კლ. ნიველობა სრულდება ერთი მიმართულებით.

IV კლ. ნიველობა სრულდება ერთი მიმართულებით კედლის და გრუნტის რეპერებზე.

დაკვალვით სამუშაოებს სიმაღლეში სიზუსტისადმი ყველაზე დიდი მოთხოვნა წაეყენება მეტროპოლიტენის მშენებლობის დროს, აგრეთვე დიდი დიამეტრის თვითდინებითი, საკანალიზაციო კოლექტორების მშენებლობისას.

მეტროპოლიტენის მშენებლობისას, გვირაბების შემხვედრი სანგრევების ზუსტი შეხვედრისათვის სიმაღლეში, მშენებარე ტრასის გასწვრივ ქმნიან სპეციალურ სასიმაღლო ქსელებს III კლ. ნიველობის პროგრამით.

საკანალიზაციო კოლექტორების ჩალაგების მოთხოვნილი სიზუსტე დამოკიდებულია საპროექტო ქანობზე (0,5‰ ანუ 0,5 მ კმ-ზე) და საკანალიზაციო ჭებს შორის მანძილებზე (50, 75, 100 მ.). მოთხოვნილი სიზუსტის უზრუნველსაყოფად ზოგჯერ საჭიროა II ან III კლ. ნიველობა.

ჰიდროკვანძების, მაგისტრალური არხებისა და მელიორაციის სისტემების სასიმაღლო უზრუნველყოფისათვის იქმნება II, III, IV კლასის ნიველობის ქსელები.

სამშენებლო მოედანზე ყველა სამუშაო ერთიან სასიმაღლო სისტემაში სრულდება, კერძოდ, მიმოკვლევისა და დაპროექტებისათვის გამოყენებულ სისტემაში.

საინჟინრო-გეოდეზიური სპეციალური სანიველო ქსელების დამახასიათებელი თავისებურებაა სვლის სიგრძეებისა და რეპერებს შორის მანძილების არსებითი შემცირება, II-IV კლ. სახელმწიფო სანიველო ქსელების მეთოდის შენარჩუნებით.

უნიკალური და მსხვილი საინჟინრო ნაგებობების მშენებლობისას მონტაჟისთვის და დეფორმაციებზე დაკვირვებისათვის ქმნიან სპეციალურ საყრდენ-სასიმაღლო საინჟინრო-გეოდეზიურ ქსელებს ლოკალური აგებების სახით, რომელთა სიზუსტე ყოველი ცალკეული შემთხვევისათვის იანგარიშება ობიექტისადმი წაყენებული მოთხოვნების შესაბამისად.

2.2.2. სასიმაღლო ქსელების სიზუსტის შეფასების პრინციპები და ნიველობის თავისებურებანი

სასიმაღლო საინჟინრო-გეოდეზიური საფუძვლის აგებისას ტოპოგრაფიული აგებმებისა და საინჟინრო ნაგებობათა კომპლექსების დაკვალვისათვის, უმრავლეს შემთხვევაში არ წარმოიქმნება ქსელების აგების ხარისხის შეფასების აუცილებლობა, თუ მათი შედგენისას დაცულია ინსტრუქციის მოთხოვნები ცალკეული სვლების სიგრძეებისა და პუნქტების სიმჭიდროვის მიმართ.

თეორიული მოსაზრებებით და პრაქტიკით მტკიცდება, რომ პირველადი საფუძვლისა და უფრო მაღალი კლასის ქსელის გაზომვების სახით შექმნილი IV კლასის ქსელები სიზუსტის მიხედვით სრულებით აკმაყოფილებენ ყველაზე მსხვილი მასშტაბის აგებმებს კვეთის სიმაღლის ნებისმიერი სიდიდის დროს.

რაც შეეხება, მაღალი სიზუსტის დაკვალვითი სამუშაოების და მსხვილი და უნიკალური საინჟინრო ნაგებობების დეფორმაციებზე დაკვირვებისათვის აგებულ სასიმაღლო საფუძველს, ნიველობა

სრულდება ინსტრუქციის საერთო სავალდებულო მოთხოვნებისგან დიდი გადახრებით უფრო მაღალი სიზუსტეების უზრუნველსაყოფად. ამ შემთხვევებში წამოიჭრება სანიველო ქსელების პროექტების სიზუსტის შეფასების საკითხი. ცალკეულ შემთხვევებში ამ დროს სრულებით საკმარისია გამოვთვალოთ საკვანძო პუნქტების ნიშნულების მოსალოდნელი სკშ, მაგრამ ზოგჯერ საჭირო ხდება საკვანძო პუნქტებს შორის არსებული წერტილების მოსალოდნელი სიზუსტის განსაზღვრაც.

როგორც წესი, სასიმაღლო საფუძვლის სპეციალურ ქსელებს აპროექტებენ ერთი კლასისას ლოკალურად შემოსაზღვრულ ტერიტორიებზე.

ტრასებზე სანიველო სვლების დაპროექტებისას, უმჯობესია იგი განლაგდეს გზატკეცილებისა და გრუნტის გზების გასწვრივ დიდი დაქანების თავიდან ასაცილებლად.

ქალაქის ტერიტორიაზე სანიველო ტრასა უნდა გადიოდეს იმ ქუჩებზე, სადაც მოძრაობა ნაკლებია.

ჰიდროკვანძის ტერიტორიაზე სასიმაღლო ნიშნების ქსელი უნდა განლაგდეს ისე, რომ საპასუხისმგებლო ნაგებობებზე ნიშნულების გადაცემა მოხდეს ორი რეპერიდან და არა უმეტეს სამი დგომით.

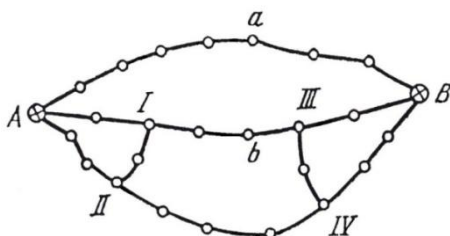
II კლ. ქსელის შემადგენლობაში უნდა შედიოდეს არანაკლებ ორი მყარი რეპერების ჯგუფისა (თითოეულ ჯგუფში სამი რეპერით), რომლებიც მდგრად ადგილებში იქნება განლაგებული. ასეთი ჯგუფური რეპერების გამოყენება შესაძლებელია ნაგებობათა ძვრებზე დაკვირვებებისა და II კლ. მუშა რეპერების საკონტროლოდ.

დავუშვათ, დაპროექტებულია სანიველო ქსელი (ნახ.2.2.2.1) A და B გამოსავალი და I, II, III, IV საკვანძო პუნქტებით. თუ ეს ქსელი ტოპოგრაფიული აგეგმვის საფუძვლად იქნება გამოყენებული, მაშინ უნდა შეფასდეს ქსელის ყველაზე სუსტ ადგილზე (მაგ. a) რეპერის ნიშნულის განსაზღვრის

მოსალოდნელი შეცდომა, აგრეთვე a და b რეპერების სიმაღლეში ურთიერთმდებარეობის შეცდომა, რომელიც აუცილებელია ნიველობის შემდგომი კლასის სიზუსტის ანგარიშისთვის.

თუ a პუნქტს შემდგომში გამოვიყენებთ შენობის ძვრებზე დაკვირვებისათვის, მაშინ მთავარია უზრუნველყოთ ამ რეპერის მდებარეობის სტაბილურობა. გამოთვლების გასამარტივებლად, შესაძლებელია საკვანძო პუნქტებს შორის ისეთი სანიველო სვლები გამოვტოვოთ, რომლებიც ნაკლებად მოქმედებენ სიზუსტის გაზრდაზე.

სანიველო ქსელის სიზუსტის შეფასებისას, პირველ რიგში ვსარგებლობთ სქემით და ტექნიკური მახასიათებლებით და ვითვლით საშუალო კვადრატული შეცდომების კვადრატების და საკვანძო რეპერებს შორის გასაზომ აღმატებათა წონების სიდიდეებს. ამ მიზნით ვსარგებლობთ ფორმულით



ნახ. 2.2.2.1

$$m_{\text{ჩ}}^2 = m_{\text{ჩ1კმ}}^2 \cdot L(\text{კმ}), \quad (2.2.2.1)$$

სადაც, $m_{\text{ჩ1კმ}}$ არის 1 კმ სანიველო სვლის სკშ;

$L(\text{კმ})$ — სანიველო სვლის სიგრძეა კმ-ობით.

გაზომილი აღმატების წონა გამოითვლება ფორმულით

$$P_i = \frac{c}{m_i^2}, \quad (2.2.2.2)$$

სადაც, c ნებისმიერი რიცხვია, რომელიც უნდა შეირჩეს ისე, რომ წონები გამოვსახოთ ჩვენთვის ხელსაყრელი ერთეულებით.

განვიხილოთ a და b რეპერებს შორის აღმატების განსაზღვრის სიზუსტის წინასწარი ანგარიში. AaB და AbB სვლებს საერთო კავშირი არ აქვთ. ამიტომ შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ

$$m_{ab(0)}^2 = m_{Aa(0)}^2 + m_{Ab(0)}^2, \quad (2.2.2.3)$$

სადაც, ab, Aa, Ab – საწყისი და ბოლო ასოების ჯუფდებით გამოსახული სანიველო სვლაა;

(0) ინდექსი სვლის აღნიშვნის ქვემოთ – მიაწინებს რომ ამ სვლის სკმ გამოთვლილია საშუალო შეწონილის პრინციპით. მაგალითად, Aa სვლისთვის გვექნება

$$m_{Aa(0)}^2 = \frac{C}{P_{Aa(0)}}, \quad P_{Aa(0)} = P_{Aa} + P_{Ba}.$$

$$P_{Aa} = \frac{C}{m_{Aa}^2}, P_{Ba} = \frac{C}{m_{Ba}^2}, P_{Aa(0)} = \frac{C}{m_{Aa}^2} + \frac{C}{m_{Ba}^2} = \frac{C(m_{Aa}^2 + m_{Ba}^2)}{m_{Aa}^2 \cdot m_{Ba}^2}.$$

(2.2.2.2) ფორმულის თანახმად გვექნება

$$m_{Aa(0)}^2 = \frac{m_{Aa}^2 \cdot m_{Ba}^2}{m_{Aa}^2 + m_{Ba}^2}. \quad (2.2.2.4)$$

ნებისმიერი სვლისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ აღწერილი პრინციპი, როგორც საშუალო შეწონილი წონის, ისე სკმ კვადრატის საანგარიშოდ. ამ დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ სვლების კონფიგურაცია და გამოვთიშოთ ზედმეტი სვლები. მაგალითად, $m_{Ab(0)}$ შეცდომის გამოთვლისას მიზანშეწონილია გავამარტივოთ ქსელი ყველაზე შორი II-IV სვლის გამოთიშვით. თუ II-IV სვლის აღმატების წინასწარი გამოთვლა გვინდა, მაშინ უნდა გამოვტოვოთ $A-I$ და $B-III$ სვლები და ა.შ.

h_{II-IV} აღმატების შეცდომის განსაზღვრისათვის შეგვიძლია ვისარგებლოთ ცნობილი მიახლოებული ფორმულით, რომელიც კავშირს ამყარებს გაწონასწორებულ და გაზომილ სიდიდეებს შორის.

$$m_{გაწ} = m_{გაზ} \sqrt{\frac{n-r}{n}}, \quad (2.2.2.5)$$

სადაც, n არის გაზომილ აღმატებათა რაოდენობა;

r – პირობით განტოლებათა რიცხვი.

(2.2.2.5) ფორმულა აღმატებათა შეცდომებს გვაძლევს 10-15% მეტობით.

სასიმაღლო საფუძვლის პუნქტებს ჩამაგრებენ ნიშნებით, რომლებიც შემდეგ ძირითად მოთხოვნებს უნდა აკმაყოფილებდეს:

- უზრუნველყოფდეს ნიშნის სამუშაო ნაწილის სტაბილურობას განსაზღვრული დროის განმავლობაში;
- ჰქონდეს ისეთი კონსტრუქცია, რომელიც უზრუნველყოფს ნიშნის ხანგრძლივად შენახვას;
- კონსტრუქცია იყოს დასამზადებლად და ჩასამაგრებლად მარტივი.

ქალაქის ტერიტორიაზე სანიველო ნიშნები მაგრდება კაპიტალური შენობებისა და ნაგებობების კედლებში. მარკები მაგრდება მიწიდან 1,5-1,7 მ სიმაღლეზე, ხოლო რეპერები – 0,3-0,6 მ. სიმაღლეზე.

არაა რეკომენდებული კედლის ნიშნების ჩამაგრება რკინიგზასთან მდებარე შენობების კედლებში, აგრეთვე ორი ნიშნის ჩამაგრება ერთი შენობის კედელში.

გრუნტის რეპერები ჩამაგრდება კაპიტალური შენობიდან მოშორებით და კლდოვან ქანებში.

ძალზე ეფექტურია ნიშნების ჩამაგრება ხიმიწვების სახით. ისინი უზრუნველყოფენ პუნქტის სასიმაღლო მდებარეობის საიმედოობას, მარტივია და ეკონომიური.

დიდი საინჟინრო ნაგებობების ძვრებზე დაკვირვებებისათვის ჩამაგრებენ ფუნდამენტურ რეპერებს.

ვერტიკალური რეფრაქციის მავნე გავლენისაგან დასაცავად უმჯობესია ნიველობა ჩავატაროთ ღრუბლიან დღეებში ან ღამით.

საინჟინრო ნაგებობათა მშენებლობის და ექსპლუატაციის დროს საჭიროა ზუსტი ნიველობის ჩატარება, რომლის ძირითადი მეთოდებია:

- გეომეტრიული ნიველობის მეთოდი მოკლე სამიზნე სხივით, რომელსაც იყენებენ საპასუხისმგებლო ნაგებობების საძირკვლებისა და სამშენებლო კონსტრუქციების ჯდომებზე დაკვირვებების დროს;

- ზუსტი ჰიდროსტატიკური ნიველობის მეთოდი ანათვლების ელექტრული ფიქსაციით;
- მიკრონიველობის გამოყენებაზე დამყარებული მეთოდები.

მაღალი სიზუსტის ნიველობის მისაღწევად მიმართავენ რიგ ღონისძიებებს:

- ნიველობისათვის საჭირო ხელსაწყოთა და ინსტრუმენტის გულმოდგინედ შერჩევა;
- მიკრომეტრის თავის დანაყოფების საფასურის გულმოდგინედ განსაზღვრა კომპენსაციურ ნიველირებში (*Ni 007, Ni 002, DNA 03*);
- ნიველირის სპეციალური პრეციზიული ასაწევ-დასაწევის დამზადება მისი სიმაღლის მდოვრედ შესაცვლელად;
- ნიველირის დაცვა ღია ჰაერზე მუშაობისას თბოდამცავი ხუფით. ეს *i* კუთხის სტაბილიზაციის საშუალებას იძლევა.

საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების რთული რელიეფის პირობებში წარმოებისას გეომეტრიულ ნიველობას ზოგჯერ ცვლის მაღალი სიზუსტის ტრიგონომეტრიული ნიველობა მოკლე სამიზნე სხივით (100 მ-მდე) და მაღალი სიზუსტის კუთხმზომი ხელსაწყოებით.

სამშენებლო მოედნებზე სანიველო ქსელებს ხშირად აწონასწორებენ, როგორც თავისუფალ ქსელებს.

გაწონასწორებული სანიველო სვლების სიზუსტის შეფასებისას საკვანძო წერტილის სკმ მიზანშეწონილია გამოვთვალოთ ფორმულით

$$m_H = \mu \sqrt{\frac{C}{P_H}} \quad , \quad (2.2.2.6)$$

სადაც μ არის ერთეული წონის სკმ;

P_H – საკვანძო წერტილის წონა (მასში შემავალი სვლების წონების ჯამი).

P_H სიდიდე გამოსავალ და K პუნქტებს შორის გამოითვლება ფორმულით

$$P_H = \frac{n}{K(n-K)} \quad \text{ან} \quad P_H = \frac{L}{L_K(L-L_K)}, \quad (2.2.2.7)$$

სადაც, n არის ყველა სვლაში სადგურების რაოდენობა;

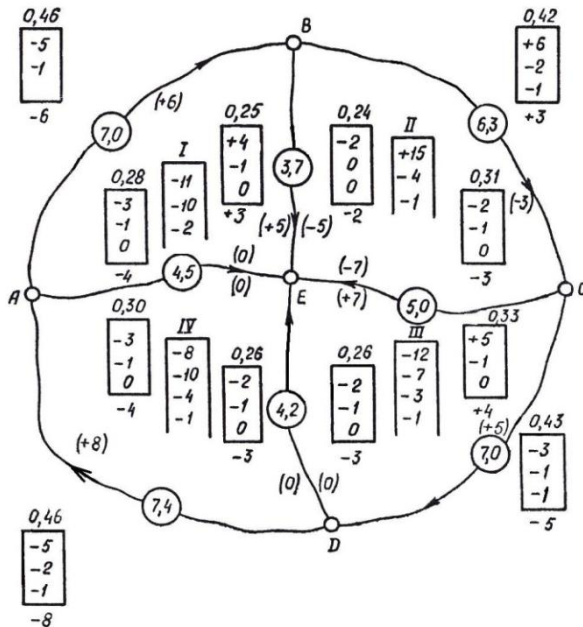
K – გამოსავალიდან K პუნქტამდე სადგურების რაოდენობა;

L – სვლების საერთო სიგრძე, კმ;

L_K – გამოსავალიდან K პუნქტამდე სვლების სიგრძე, კმ.

2.2.3. სასიმალო ქსელის განაზომთა სიზუსტის შეფასება პოლიგონების ხერხით

სანიველო სვლების პროექტის სიზუსტის შეფასება პოლიგონების ხერხით ხდება უშუალოდ ქსელის სამუშაო სქემაზე (ნახ.2.2.3.1).



ნახ. 2.2.3.1

სიზუსტის შეფასება ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

1. პოლიგონების ხერხით სანიველო სვლის გაწონასწორებაში იგულისხმება შეუკვრელობების თანმიმდევრობით განაწილება თითოეულ პოლიგონში შემავალი ცალკეული სექციების შებრუნებული წონის პროპორციულად. პრაქტიკულად, შეუკვრელობები ნაწილდება სექციის სიგრძის ან სექციაში სადგურების რაოდენობის პროპორციულად.
2. გამოთვლების დაწყების წინ სამუშაო სქემაზე აღინიშნება: სექციის სიგრძეები (ან სადგურების რაოდენობა სექციაში), რომელიც ეწერება უშუალოდ სექციაზე წრეში. სანიველო ქსელის თითოეული პოლიგონის შიგნით (გამუქებული სვეტები) ჩარჩოს თავზე ეწერება პოლიგონის ნომერი, ხოლო ჩარჩოს შიგნით პირველი ციფრი გამოსახავს ამ პოლიგონის შეუკვრელობას. პოლიგონის გარეთ სექციის პირდაპირ წითელი ჩარჩოების თავზე დაეწერება სექციის სიგრძის წილი პოლიგონის პერიმეტრის მიმართ. მაგალითად, I პოლიგონის სიგრძეა $7,0 + 3,7 + 4,5 = 15,2$. პირველი პოლიგონის გარეთ $7,0$ სიგრძის სექციის პირდაპირ ჩარჩოს თავზე დაეწერება $7,0 : 15,2 = 0,46$. ჩარჩოს შიგნით სვეტებად ჩაიწერება სათანადო სექციის შესაბამისი შესწორებების სიდიდეები.
3. შეუკვრელობების განაწილება იწყება ყველაზე დიდი შეუკვრელობის მქონე პოლიგონიდან. ეს სქემაზე II პოლიგონია $+15$ შეუკვრელობით.

შეუკვრელობების განაწილების პირველი წრე შედგება შემდეგი ეტაპებისაგან:

II პოლიგონის $+15$ შეუკვრელობა მრავლდება ამ პოლიგონის თითოეული სექციის წილობრივ სიგრძეზე და იწერება შესაბამისი ჩარჩოს შიგნით, მაგალითად, $+15 \cdot 0,42 = +6$ BC სექციისათვის, $+15 \cdot 0,33 = +5$ EC სექციისათვის და $+15 \cdot 0,25 = +4$ BE სექციისათვის. ეს

შესწორებები იწერება II პოლიგონის გარეთ წითელ ჩარჩოებში. რიცხვები მრგვალდება მთელამდე. რიცხვის ნიშანი მოცემული პოლიგონის შეუკვრელობის ნიშანს უნდა ემთხვეოდეს. ასეთნაირად ხდება შეუკვრელობის განაწილება ყველა პოლიგონზე. კონტროლისათვის განაწილებული შესწორებების ჯამი შეუკვრელობის ტოლი უნდა იყოს ($+6 + 5 + 4 = +15$).

4. შემდეგ გაწონასწორდება მოსაზღვრე პოლიგონი (პოლიგონი III), რომელიც შემდეგნაირად სრულდება:

განისაზღვრება ნარჩენი შეუკვრელობა. ამისათვის პოლიგონის შეუკვრელობა შეიცვლება ამ პოლიგონის სექციებზე მეზობელი პოლიგონებიდან გადმოსული შესწორებების გათვალისწინებით. მაგალითად, III პოლიგონმა II პოლიგონიდან მიიღო $+5$ შესწორება. III პოლიგონში შეუკვრელობა იყო -12 , ე.ი. ნარჩენი შეუკვრელობა III პოლიგონში იქნება $-12 + 5 = -7$. III პოლიგონის ნარჩენ შეუკვრელობას განაწილებთ მასში შემავალ სვლებზე იმავე პრინციპით, რაც წინა შემთხვევაში. ასე მიმდინარეობს შეუკვრელობების განაწილება ყველა პოლიგონში, რითიც მთავრდება პირველი წრე და იწყება გაწონასწორების მეორე წრე.

5. გაწონასწორების მეორე წრე იმით განსხვავდება პირველი წრისაგან, რომ პოლიგონების შეუკვრელობები უკვე განაწილებულია და ახალი შეუკვრელობა მიიღება იმ შესწორებების შეკრებით, რომლებიც მიიღო პოლიგონების სექციებმა პირველ წრეში გაწონასწორების შედეგად.

მაგალითად, ახალი შეუკვრელობა II პოლიგონში (-4) მიიღება CE სექციის შესწორებისა (-2) და BE სექციის შესწორების (-2) შეჯამებით.

6. შემდგომი გამოთვლები ხდება ზემოთ მითითებული თანმიმდევრობით. მეორე წრის დამთავრების შემდეგ

შეუდგებიან შეუკვრელობების განაწილების მესამე წრეს და ა.შ. გამოთვლები დამთავრდება, როდესაც სექციებზე მოსული შესწორებები იქნება ნულის ტოლი, როგორც ეს სქემაზეა ნაჩვენები.

7. შეუკვრელობების განაწილების დამთავრების შემდეგ გამოითვლიან შესწორებების ალგებრულ ჯამს თითოეულ სვეტში და მიუწერენ ქვეშ.

8. პერიფერიულ სექციაზე (რომელიც მხოლოდ ერთ პოლიგონში შედის) საბოლოო შესწორება ტოლია შესწორებების ჯამისა შებრუნებული ნიშნით, მაგალითად, BC სექციაზე (-3) , CD სექციაზე $-(+5)$, და ა.შ.

ეს შესწორება ჩაიწერება ფრჩხილებში პოლიგონის შიგნით. ორი პოლიგონის საერთო სექციაზე აღმატების შესწორება ტოლია მეზობელი პოლიგონებისათვის ნაპოვნი შესწორებების სხვაობისა. მაგალითად, CE სექციისათვის შესწორება იქნება $(+4) - (-3) = +7$ და ეწერება მიმართულების მარცხენა მხარეს, ხოლო EC სექციისათვის შესწორება იქნება $(-3) - (+4) = -7$. ასევეა დანარჩენი მოსაზღვრე სექციებისთვისაც $-BE$ და EB ; DE და ED ; AE და EA ;

9. სექციების აღმატებების შესწორებათა ჯამი პოლიგონში ტოლი უნდა იყოს პოლიგონის შეუკვრელობისა შებრუნებული ნიშნით.

ამით მთავრდება პოლიგონების ხერხით გაწონასწორება.

2.2.4. სასიმაღლო ქსელის პროექტის სიზუსტის შეფასება ზუსტი ხერხით

სასიმაღლო ქსელის პროექტის ხარისხის ზუსტი ხერხით, მაგ. კორელაციების ხერხით შესაფასებლად, აუცილებელია დავწეროთ ყველა პირობითი განტოლება, რომელიც წარმოიქმნება მოცემულ ქსელში და ამ სისტემას დავუმატოთ ქსელის შესაფასებელი ელემენტის (რომელიმე საკვანძო პუნქტის ნიშნული) წონითი ფუნქციის განტოლება. ნორმალურ განტოლებათა სისტემის ამოხსნით მივიღებთ წონითი ფუნქციის P_F -ის შებრუნებულ სიდიდეს – π_F , რომლის დახმარებით განვსაზღვრავთ გაწონასწორებული ფუნქციის მოსალოდნელ სკმ – m_F -ს. იგი ტოლია

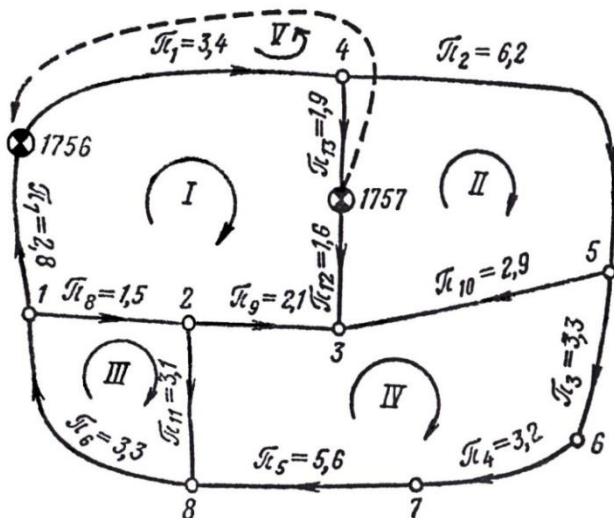
$$m_F = \mu_F \sqrt{\pi_F} \quad (2.2.4.1)$$

სადაც, μ_F არის ერთეული წონის სკმ.

ერთეულ წონად შეიძლება მივიღოთ ერთ სადგურზე აღმატების ან 1 კმ სანიველო სვლაზე აღმატებათა ჯამის შეცდომის სიდიდე.

კორელაციების (K) ნორმალურ განტოლებათა სისტემის შედგენისას რეკომენდებულია ვისარგებლოთ პოპოვის ხერხით, რაც ნიშნავს ნორმალურ განტოლებათა სისტემის შედგენას პირობით განტოლებათა შედგენის გარეშე. სანიველო სვლების სქემა წარმოდგენილია ნახაზზე.

2.2.4.1 ნახაზის მიხედვით შედგენილი, კორელაციების ნორმალურ განტოლებათა სისტემა შემდეგი სახის იქნება:



ნახ. 2.2.4.1

$$\left. \begin{aligned}
 1. & +(\pi_1 + \pi_7 + \pi_8 + \pi_9 + \pi_{12} + \pi_{13})K_1 - (\pi_{12} + \pi_{13})K_2 - \\
 & -\pi_8K_3 - \pi_9K_4 + (\pi_1 + \pi_{13})K_5 + W_1 = 0, \\
 2. & -(\pi_{12} + \pi_{13})K_1 + (\pi_2 + \pi_{10} + \pi_{12} + \pi_{13})K_2 - \\
 & -\pi_{10}K_4 - \pi_{13}K_5 + W_2 = 0, \\
 3. & -\pi_8K_1 + (\pi_6 + \pi_8 + \pi_{11})K_3 - \pi_{11}K_4 + W_3 = 0, \\
 4. & \pi_9K_1 - \pi_{10}K_2 - \pi_{11}K_3 + \\
 & +(\pi_3 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_9 + \pi_{10} + \pi_{11})K_4 + W_4 = 0, \\
 5. & +(\pi_1 + \pi_{13})K_1 - \pi_{13}K_2 + (\pi_1 + \pi_{13})K_5 + W_5 = 0.
 \end{aligned} \right\} (2.2.4.2)$$

დავსვათ ამოცანა - გამოვთვალოთ მე-8 პუნქტის ნიშნულის განსაზღვრის წონის (P_{H_8}) შებრუნებული სიდიდე - π_{H_8} . ამისათვის მე-8 პუნქტისათვის უნდა შევადგინოთ ფუნქციის განტოლება, რომელსაც სქემის მიხედვით შემდეგი სახე ექნება

$$H_8 = H_{1756} + h_{1-1756} + h_{8-1}. \quad (2.2.4.3)$$

(2.2.4.3) წონით განტოლებას შემდეგი წონითი კოეფიციენტები შეესაბამება:

$$[\pi a f] = -\pi_7, [\pi b f] = [\pi d f] = [\pi e f] = 0, [\pi c f] = -\pi_6 \text{ და } [\pi f f] = +(\pi_6 + \pi_7).$$

აქ a, b, c, d, e - შეესაბამება I, II, III, IV, და V (ფიქტიურ) პოლიგონებს.

(2.2.4.2) ნორმალურ განტოლებათა სისტემის ამოხსნით გაუსის სქემით გავიგებთ π_F სიდიდეს, რომლის დახმარებითაც განსაზღვრავთ m_F სიდიდეს (2.2.4.1) ფორმულით.

აღწერილი ხერხით სანიველო ქსელის ნებისმიერი პუნქტის ნიშნულის განსაზღვრის ფუნქციის განტოლება შეგვიძლია შევადგინოთ და ამით გავიგოთ მისი განსაზღვრის მოსალოდნელი სკმ.

ქსელის პროექტის შეფასება შეიძლება პარამეტრული ხერხითაც.

თავი 3. ტოპოგრაფიულ-გეოდეზიური მიმოკვლევები

3.1. მსხვილმასშტაბიანი საინჟინრო-ტოპოგრაფიული აგეგმვები

3.1.1. მსხვილმასშტაბიანი გეგმების საერთო დახასიათება

მსხვილმასშტაბიანი ეწოდება 1: 500, 1: 1000, 1: 2000, 1: 5000 მასშტაბში შედგენილ ტოპოგრაფიულ გეგმას.

დანიშნულების მიხედვით ანსხვავებენ **ძირითად** მსხვილმასშტაბიან გეგმებს ინსტრუქციების თანახმად შექმნილს საერთო ტოპოგრაფიული ამოცანების გადასაწყვეტად და **სპეციალიზებულს**- შექმნილს მეურნეობის ამა თუ იმ დარგის კონკრეტული ამოცანების გადასაწყვეტად. სპეციალიზებული გეგმები იქმნება უწყებრივი ინსტრუქციების მოთხოვნათა, აგრეთვე სამშენებლო ნორმების და წესების და სხვა ნორმატიული დოკუმენტების შესაბამისად.

დანიშნულების მიხედვით შედგენილ მსხვილმასშტაბიან გეგმებში განასხვავებენ მიმოკვლევით, შესრულებით და საინვენტარიზაციო გეგმებს. მიმოკვლევითი გეგმებისადმი მოთხოვნები, ძირითადად დამოკიდებულია დასაპროექტებელი საინჟინრო ნაგებობის სახეობაზე.

მსხვილმასშტაბიანი აგეგმვები ტერიტორიისა და ადგილობრივი პირობების მიხედვით, სრულდება ტაქტომეტრიული, თეოდოლიტური, მენზულური, სტერეოტოპოგრაფიული ან კომბინირებული მეთოდებით, ზოგჯერ კი ზედაპირის (მოედნის) ნიველობით. უკანასკნელ წლებში დიდი გამოყენება აქვს ადგილმდებარეობის ციფრული მოდელების (აცმ) გამოყენებით შექმნილ გეგმებს.

ტოპოგრაფიული გეგმა ხასიათდება მისი შედგენის სიზუსტით, დეტალურობით და სიტუაციისა და რელიეფის გამოსახვის სისრულით.

გეგმის სიზუსტე ეწოდება სიტუაციის და რელიეფის გამომსახავი წერტილის გეგმური და სასიმაღლო მდებარეობის ჯამურ სკშ-ს.

წერტილების გეგმური მდებარეობის სკშ განისაზღვრება ცნობილი ფორმულით

$$m_{ა.შ} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} . \quad (3.1.1.1)$$

თუ მივიღებთ, რომ $m_x = m_y = m_j$, მაშინ $m_{ა.შ} = m_j \sqrt{2}$, სადაც m_j არის წერტილის კოორდინატის სკშ. დასახლებული ტერიტორიისათვის $m_j \approx 0,2$ მმ.

საერთოდ, წერტილის კოორდინატების შეცდომები შეიცავს გეგმური საფუძვლის განვითარების შეცდომებს, აგეგმვითი განაზომების შეცდომებსა და გრაფიკული აგების შეცდომებს.

სხვადასხვა მეთოდით შედგენილი გეგმების სიზუსტე სხვადასხვაა და მერყეობს 0,3 – 0,4 მმ-ის ფარგლებში. ინსტრუქციის მოთხოვნების თანახმად, საგნებისა და კონტურების გეგმაზე გამოსახვისას წერტილების ურთიერთმდებარეობაში შეცდომამ არ უნდა გადაამეტოს 0,5 მმ-ს, ხოლო მთიან და ტყიან ადგილებში – გეგმის მასშტაბის 0,7 მმ-ს.

გეგმის სიზუსტე ნატურაში მით უფრო მცირე რიცხვით გამოისახება, რაც უფრო მსხვილი იქნება მასშტაბი. თუ მოცემული გვექნება შეცდომის დასაშვები სიდიდე, შეგვეძლება შევარჩიოთ მასშტაბი.

გეგმის დეტალურობა ხასიათდება გეგმაზე გამოსახული ფიგურების მსგავსებით რელიეფზე არსებულ იმავე ფიგურებთან და კონტურებთან. რაც უფრო მსხვილია მასშტაბი, მით მეტია გამოსახულების დეტალურობა.

გეგმის სისრულე გულისხმობს დაპროექტებისათვის აუცილებელი და მიღებული მასშტაბისთვის გეგმაზე

გამოსახვისთვის შესაძლებელი სიტუაციის ობიექტებით და რელიეფის ელემენტებით გეგმის შევსების ხარისხს. ტერიტორიის დასახლებულ ნაწილზე გეგმის სისრულის მოთხოვნა აგეგმვის მასშტაბის შერჩევისას განმსაზღვრელია.

გეგმის მასშტაბი განისაზღვრება მრავალი ფაქტორით: საპროექტო ამოცანით; დაპროექტების სტადიით; სიტუაციისა და რელიეფის სირთულით; მიწისქვეშა და მიწისზედა კომუნიკაციების სიხშირით და სხვა ფაქტორებით.

ვინაიდან, საინჟინრო ნაგებობათა დაპროექტება და მშენებლობა ხდება სტადიებად, ამის გამო იზრდება მოთხოვნა სტადიიდან სტადიამდე ტოპოგრაფიული საფუძვლისადმი. ყველა სტადიაზე ტოპოგრაფიული გეგმა წარმოადგენს მშენებლობის გენერალური გეგმის შედგენის, მისი ძირითადი ელემენტების გეგმაზე განლაგების, ნაგებობის ტექნოლოგიური სქემის დამუშავების საფუძველს. რაც უფრო რთულია ნაგებობა, მით უფრო მსხვილი მასშტაბის აგეგმვა მოითხოვება გენგეგმის შესადგენად.

დაუსაზღვრელ ტერიტორიაზე მოთხოვნები გეგმის სიზუსტის, დეტალურობის და სისრულისადმი რამდენადმე ნაკლებია დასახლებული ტერიტორიების შესაბამის მოთხოვნებთან შედარებით.

ყველაზე ხშირად საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოებისთვის გეგმის შემდეგ მასშტაბებს იყენებენ:

- 1) 1:10000 რელიეფის კვეთით $h = 1 - 2$ მ – მაგისტრალური ტრასების მიმართულების და დიდი სამშენებლო მოედნების ადგილმდებარეობის შესარჩევად, წყალსაცავების ფართობების და მოცულობების დასადგენად, წინასწარი დაპროექტებისათვის;
- 2) 1:5000 რელიეფის კვეთით $h = 0,5 - 1$ მ – ქალაქების და სამრეწველო კომპლექსების საფუძვლის და გენგეგმების შედგენისათვის, წრფივ ნაგებობათა

დაპროექტებისათვის, მელიორაციის ტექნიკური პროექტების შესადგენად;

3) 1:2000 რელიეფის კვეთით $h = 0,5 - 1$ მ – სამრეწველო, ჰიდროტექნიკური, სატრანსპორტო ნაგებობათა ტექნიკური პროექტების დამუშავებისთვის, საინჟინრო ქსელების დაპროექტებისთვის, მელიორაციის მუშა ნახაზებისთვის, ქალაქების განაშენიანების და დეტალური დაგეგმარების პროექტებისთვის, წითელი ხაზების გატარებისთვის;

4) 1:1000 რელიეფის კვეთით $h = 0,5$ მ – დაუსახლებელ ან მცირედ დასახლებულ ტერიტორიებზე შენობების და ნაგებობების მუშა ნახაზების შესადგენად, ქალაქის განაშენიანების გენგეგმის შესადგენად, მიწისქვეშა კომუნიკაციების და ვერტიკალური დაგეგმარების დეტალური პროექტების დამუშავებისთვის;

5) 1:500 რელიეფის კვეთით $h = 0,5$ მ – კაპიტალური განაშენიანების ქალაქების და სამრეწველო ტერიტორიების მუშა ნახაზების დასამუშავებლად, შესრულებითი დოკუმენტების შესადგენად.

რელიეფის გამოსახვის სიზუსტე მით უფრო მეტია, რაც უფრო მცირეა კვეთის სიმაღლე, თუმცა ეს უკანასკნელი უნდა შეესაბამებოდეს რელიეფის აგეგმვის სიზუსტეს. გეგმაზე იზოჰიფსების გამოსახვის სიზუსტეზე გავლენას ახდენს შეცდომების წყაროები, რომლებიც შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად:

- შეცდომების წყაროები, რომლებიც უმნიშვნელოდ არის დამოკიდებული რელიეფის დახრაზე;
- შეცდომების წყაროები, რომლებიც დამოკიდებულია რელიეფის დახრაზე.

პირველი ჯგუფის შეცდომები მეტ გავლენას ახდენს რელიეფის გამოსახვის სიზუსტეზე.

ინსტრუქციის მოთხოვნებით, რელიეფის გამოსახვის საშუალო შეცდომები გეოდეზიური საფუძვლის უახლესი პუნქტების მიმართ, არ უნდა აღემატებოდეს:

- 1:500 და 1:1000 მასშტაბებისათვის $2 \div 6^0$ -ით რელიეფის დახრისას $1/4 \div 1/3 h$;
- 1:2000 და 1:5000 მასშტაბებისათვის $2 \div 6^0$ -ით რელიეფის დახრისას კვეთის სიმაღლის $1/4 \div 1/3 h$.

პლანშეტების საველე კონტროლისას რელიეფის გამოსახვის სკმ იანგარიშება ფორმულით

$$m_H = \sqrt{\frac{[\Delta H^2]}{n}} , \quad (3.1.1.2)$$

სადაც, ΔH - საკონტროლო წერტილების სიმაღლეთა სხვაობებია გეგმიდან აღებულ და ნიველობით (გეომეტრიული ან ტრიგონომეტრიული) მიღებულ ნიშნულებს შორის; n – საკონტროლო წერტილების რიცხვია.

დაკვირვებებით მიღებულია m_H შეცდომების შემდეგი სიდიდეები:

- 1:500 და 1:1000 მასშტაბებისთვის $h = 0,5$ მ, $m_H = 0,08 - 0,12$ მ;
- 1:2000 და 1:5000 მასშტაბებისთვის $h = 1,0$ მ, $m_H = 0,18 - 0,22$ მ;
- 1:5000 მასშტაბისთვის, როცა $h = 2$ მ, $m_H = 0,3 - 0,4$ მ.

რელიეფის კვეთა შეირჩევა საინჟინრო ნაგებობის ტიპით, მისი დაპროექტებისადმი მოთხოვნებით, ქანობების დაცვის სიზუსტით, რელიეფის სირთულით. ყველაზე მაღალი სიზუსტე გეგმას ამ თვალსაზრისით მოეთხოვება მელიორაციული სისტემების (რწყვა, დაშრობა) დაპროექტების, თვითდინებითი არხების და ჰიდროკვანძების, ასევე წყალშემკრები აუზების დაპროექტების დროს.

დადგენილია, რომ ვაკე ადგილებისთვის რელიეფის გამოსახვის სკშ $m_H = \frac{1}{5} h$, ამიტომ $h_{min} = 5m_H$. ამასთან გასათვალისწინებელია ისიც, რომ იზოჰიფსებს შორის მანძილი უნდა იყოს $5 \div 20$ მმ ფარგლებში.

საინჟინრო ტოპოგრაფიული აგეგმვებისას შემდეგი კვეთის სიმაღლეებია მიღებული:

- 0,5 მ – 1:500 და 1:1000 მასშტაბების დროს 6⁰-მდე დახრისას და 1:2000 და 1:5000 მასშტაბებში ვაკე ადგილებში;
- 1,0 მ – 1:500 და 1:1000 მთიან ადგილებში და 1:2000, 1:5000 – ვაკე ადგილებში;
- 2,0 მ – 1:2000 და 1:5000 მასშტაბებში მთიან რაიონებში.

3.1.2. ტოპოგრაფიულ გეგმაზე გაზომვების სიზუსტე

სხვადასხვა საინჟინრო ამოცანის შესრულებისას გვიხდება ტოპოგრაფიული გეგმიდან გრაფიკულად განვსაზღვროთ ორ წერტილს შორის მანძილი, მიმართულება, ორ მიმართულებას შორის კუთხე, აღმატება, ქანობი, წერტილის ნიშნული, ფართობი და სხვა. გეგმიდან აღებული თითოეული ეს ელემენტი ხასიათდება თავისი სიზუსტით.

მანძილის განსაზღვრის სიზუსტე გეგმაზე შეგვიძლია შევაფასოთ A და B წერტილებს შორის (ნახ.3.1.2.1) S მანძილის გამოთვლის სიზუსტით, წერტილების გეგმიდან აღებული გრაფიკული კოორდინატების მიხედვით, ან გეგმაზე სახაზავით უშუალოდ გაზომვით.

$$\begin{array}{ccc} m_A & s & m_B \\ \circ & \text{---} & \circ \\ A & \propto & B \\ (x_A, y_A) & & (x_B, y_B) \end{array}$$

ნახ. 3.1.2.1.

S მანძილისთვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$S^2 = (x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 \quad (3.1.2.1)$$

აბსცისის და ორდინატის გეგმაზე გაზომვის ცდომილებებს A და B წერტილებისთვის თუ ერთმანეთის ტოლად ჩავთვლით, მივიღებთ:

$$m_{x_A} = m_{y_A} = m_{\partial A} \quad \text{და} \quad m_{x_B} = m_{y_B} = m_{\partial B},$$

მაშინ, ცდომილებათა თეორიის თანახმად, თუ სიდიდეები არაკორელირებულია (3.1.2.1) ფორმულის m_{x_A} , m_{y_A} და m_{x_B} , m_{y_B} ცვლადებით გადიფერენციალებით და სათანადო გამარტივებით, მივიღებთ

$$m_S^2 = m_{\partial A}^2 + m_{\partial B}^2. \quad (3.1.2.2)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ

$$m_A = m_{\partial A} \sqrt{2} \quad \text{და} \quad m_B = m_{\partial B} \sqrt{2},$$

მაშინ (3.1.2.2) ფორმულის ნაცვლად, გვექნება

$$m_S^2 = \frac{1}{2} (m_A^2 + m_B^2). \quad (3.1.2.3)$$

თუ A და B წერტილების მდებარეობის ცდომილებებს მივიღებთ ტოლებად, ე.ი.

$$m_A = m_B = m_{\text{მ.შ.}},$$

მაშინ

$$m_S = m_{\text{მ.შ.}}. \quad (3.1.2.4)$$

ამრიგად, ორი წერტილის კოორდინატების თანაბარზუსტი, არაკორელირებული განსაზღვრისას, ამ კოორდინატებით გამოთვლილი მანძილის სკშ ტოლია ერთ-ერთი წერტილის მდებარეობის ცდომილებისა.

წერტილების კოორდინატების შემთხვევითი შეცდომები არაკორელირებულად ითვლება, თუ ისინი გეგმაზე მიღებულია გეოდეზიური საფუძვლის სხვადასხვა პუნქტიდან (სადგურიდან).

თუ გეგმაზე უშუალოდ გავზომავთ მანძილს, მაშინ მისი სიზუსტე ძირითადად დამოკიდებული იქნება ორივე წერტილის მდებარეობის ცდომილებაზე.

გეგმაზე მიმართულების განსაზღვრის სიზუსტე შეგვიძლია შევაფასოთ იმავე მეთოდით – გეგმაზე კოორდინატების გაზომვით.

იმავე (3.1.2.1) ნახაზზე AB მიმართულების α კუთხე შეგვიძლია განვსაზღვროთ ფორმულით

$$\alpha = \arctg \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} . \quad (3.1.2.5)$$

მიმართულების განსაზღვრის სიზუსტის დასადგენად მივმართოთ ისევ ცდომილებათა თეორიას და მივიღოთ გამარტივებები

$$m_{\delta A} = m_{\delta B} = m_{\delta} .$$

მაშინ ღირეკციული კუთხის შეცდომისთვის გვექნება

$$m_{\alpha} = \frac{m_{\delta} \sqrt{2}}{S} = \frac{m_{\delta.შ.}}{S} .$$

კუთხურ განზომილებაში

$$m'_{\alpha} = \frac{m_{\delta.შ.}}{S} \rho' . \quad (3.1.2.6)$$

მაგალითად, $m_{\delta.შ.} = 0,3$ მმ, $S = 100$ მმ, $m_{\alpha} = \frac{0,3 \cdot 3438}{100} = 10,3'$.

გეგმაზე ორ მიმართულებას შორის ჰორიზონტალური კუთხის განსაზღვრის სიზუსტის ანგარიშისას, რომელიც ღირეკციული კუთხეების სხვაობით მიიღება, აუცილებელია მხედველობაში მივიღოთ, რომ ეს მიმართულებები იწყება საერთო წერტილში და, ამრიგად, მათი შეცდომები კორელაციურად დაკავშირებული იქნებიან. დაახლოებით თანაბარი სიგრძის გვერდების დროს, ჰორიზონტალური კუთხის განსაზღვრის სიზუსტე ტოლი იქნება

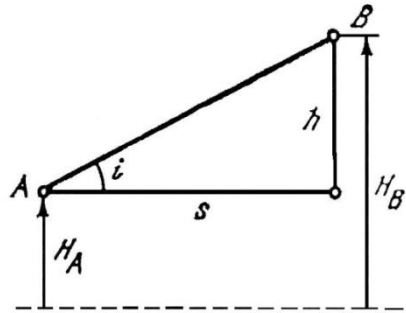
$$m_\beta = \frac{m_{ა.შ.}}{S} \sqrt{2 - \cos \beta} \rho . \quad (3.1.2.7)$$

90° -იანი კუთხის დროს

$$m_\beta = \frac{m_{ა.შ.}}{S} \rho \sqrt{2} ,$$

ე.ი. მივიღეთ ფორმულა, რომელიც შეესაბამება გვერდების ღირექციული მიმართულებების დამოუკიდებელ განსაზღვრას.

გეგმაზე აღმატებისა და ქანობის განსაზღვრის სიზუსტე დამოკიდებულია გეგმიდან A და B წერტილების ნიშნულების განსაზღვრის სიზუსტეზე (ნახ.3.1.2.2)



ნახ. 3.1.2.2

აღმატება ტოლია $h = H_B - H_A$, ხოლო ქანობი

$$i = \frac{h}{s} .$$

თუ მივიღებთ, რომ გეგმიდან აღებული ნიშნულები ტოლია, ე.ი.

$$m_{H_A} = m_{H_B} = m_H ,$$

მაშინ

$$m_h = m_H \sqrt{2} \quad (3.1.2.8)$$

და

$$m_i = \frac{m_H \sqrt{2}}{S} . \quad (3.1.2.9)$$

მაგალითად, $m_H = 0,1$ მ, $S = 30$ მ, $m_h = 0,1\sqrt{2} = 0,14$ მ და $m_i = \frac{0,14}{30} = 0,005$.

გეგმაზე ფართობის გაზომვის სიზუსტე დამოკიდებულია კონტურის მობრუნების წერტილების განსაზღვრის სიზუსტეზე და გამოსახება ფორმულით

$$m_P = m_{ა.შ.} \sqrt{P} \sqrt{\frac{1 + K^2}{2K}} , \quad (3.1.2.10)$$

სადაც, $m_{ა.შ.}$ არის მობრუნების წერტილების გეგმური მდებარეობის (ან გვერდის სიგრძის გაზომვის) სკშ;

P – გასაზომი ფართობის სიდიდე;

K – უბნის სიგრძის ფარდობა მისსავე სიგანეზე.

რადგან $\sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}$ გამოსახულებას მინიმუმი აქვს, როდესაც

$K = 1$, ამიტომ ფართობი უფრო ზუსტად ისაზღვრება კვადრატის შემთხვევაში. ამ დროს ფარდობითი ცდომილება ტოლია

$$\frac{m_P}{P} = \frac{m_{ა.შ.}}{\sqrt{P}}.$$

მაგალითად, $m_{ა.შ.} = 0,3$ მმ, $P = 2500$ მმ², $\frac{m_P}{P} = \frac{0,3}{50} = 0,6\%$.

3.1.3. მსხვილმასშტაბიანი აგეგმვის საფუძველი

მსხვილმასშტაბიანი აგეგმვის გეოდეზიური საფუძველი არის სახელმწიფო გეოდეზიური, გაზშირების და სააგეგმო ქსელები. ინსტრუქციის თანახმად, გეოდეზიურ ქსელს აპროექტებენ იმ ვარაუდით, რომ მისმა სიზუსტემ უზრუნველყოს მისი შემდგომი გაზშირება ყველაზე მსხვილი მასშტაბით (1:500) ტოპოგრაფიული აგეგმვისათვის, აგრეთვე დაკვალვითი სამუშაოების მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად.

ზემოთ აღნიშნული ქსელები აიგება 3.1.3.1 ცხრილის შესაბამისად

ტოპოგრა- ფიული აგეგმვის ფართობი, კმ²	საყრდენი ქსელის სახე			სააგეგმვო საფუძველი	
	ტრიანგულაცია, ტრილატერაცია, პოლიგონომეტრია		ნიველობა, კლასი	გეგმური	სასიმაღლო
	სახელმ- წიფო ქსელი, კლასი	გასშირების ქსელი, თანრივი			
>200	2, 3, 4	1,2	II, III, IV	თეოდოლი- ტური სვლები, მიკროტრიან- გულაცია	ტექნიკური ნიველობა
200-50	3, 4	1,2	II, III, IV		
50-10	4	1,2	III, IV		
10-5	4	1,2	IV		
5-2,5	-	1,2	IV		
2,5-1	-	2	IV		
< 1	-	-	-		

საინჟინრო-გეოდეზიური აგეგმვისა და დაკვალვითი სამუშაოებისათვის გეოდეზიური საფუძვლის სიზუსტის ანგარიშის თავისებურება ისაა, რომ მხედველობაში აუცილებლად უნდა მივიღოთ, არა მარტო განაზომთა ფარდობითი ცდომილებები, არამედ, უპირველეს ყოვლისა, ცდომილებათა აბსოლუტური მნიშვნელობები, რომელთა სიდიდეები შეზღუდულია აგეგმვის მასშტაბით და დაკვალვის სიზუსტით.

გეგმური ქსელი. დასახლებულ ტერიტორიაზე სახელმწიფო ქსელის სიმჭიდროვემ უნდა შეადგინოს არანაკლებ 1 პუნქტი 5 კმ² ფართობზე. გასშირების პუნქტების ჩათვლით სიმჭიდროვე იზრდება 4 პუნქტამდე 1 კმ² ფართობზე. დაუსახლებელ ტერიტორიაზე კი სიმჭიდროვე აღწევს – 1 პუნქტი 1 კმ²-ზე. გეოდეზიური ქსელების დაპროექტებისას ცდილობენ, რაც შეიძლება ნაკლები ქსელების

საფეხურები გვექონდეს, რომ შევამციროთ საფეხურიდან საფეხურზე შეცდომების დაგროვება. დიდსა და რთული სიტუაციის საშუალო ზომის მოედნებზე აპროექტებენ გვერდითი საფუძვლის სამ საფეხურს: ტრიანგულაციას, პოლიგონომეტრიას, თეოდოლიტურ სვლებს. ქსელს აპროექტებენ შემდგომში მისი დაკვალვითი სამუშაოებისა და შესრულებითი აგებმებისათვის მაქსიმალურად გამოსაყენებლად.

თითოეულ საფეხურში დასაშვებ სკმ-ს ანგარიშობენ ფორმულით

$$m_i = \frac{m_0 K^{i-1}}{\sqrt{1 + K^2 + K^4 + \dots + K^{2(n-1)}}} \quad , \quad (3.1.3.1)$$

სადაც, m_0 არის გეოდეზიური საფუძვლის აგების წინასწარ მოცემული სიზუსტე;

n – საფუძვლის საფეხურების რაოდენობა;

K – სიზუსტის უზრუნველყოფის კოეფიციენტი და გამოითვლება ფორმულით

$$K = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{m_0}{m_{\text{გაზ}}}\right)^2 - 1}} \quad , \quad (3.1.3.2)$$

სადაც, $m_{\text{გაზ}}$ განაზომათა ყველა შეცდომების ჯამური გავლენაა.

(3.1.3.1) ფორმულით ნაანგარიშები სკმ 3- და 4-საფეხურიანი ქსელების სისტემებში მოცემულია (3.1.3.2) ცხრილში.

ამ ცხრილის შედგენისას m_0 სიდიდე აღებულია ყველაზე მსხვილი მასშტაბისათვის – 1:500 . $m_0 = 0,2 \text{ მმ} \cdot 500 = 10 \text{ სმ}$. როგორც (3.1.3.2) ცხრილიდან ჩანს, საფეხურების რაოდენობისა და K კოეფიციენტის გაზრდისას, მკვეთრად იზრდება ტრიანგულაციის სიზუსტისადმი მოთხოვნები.

K	საფუძვლის სკმ, სმ						
	სამსაფეხურიანი სქემა			ოთხსაფეხურიანი სქემა			
	ტრიანგულ.	პოლიგონ.	სააგეგმო ქსელი	2კლ. ტრიანგ.	4კლ. ტრიანგ.	პოლიგონ.	სააგეგმო ქსელი
$\sqrt{2}$	3,8	5,3	7,8	1,6	3,6	5,2	7,3
2	2,2	4,4	8,8	1,1	2,2	4,3	8,7
2,5	1,5	3,7	9,2	0,9	1,5	3,7	9,2
3	1,0	3,1	9,4	0,4	1,1	3,2	9,5

სასიმაღლო ქსელი. სასიმაღლო საფუძველი ვითარდება II, III და IV კლასების ნიველობის სვლებისა და პოლიგონების სახით. II კლასის სანიველო ქსელი იქმნება დიდ ტერიტორიაზე 40 კმ პერიმეტრის მქონე პოლიგონებისა და 10 კმ სიგრძის სვლების სახით საკვანძო რეპერებს შორის. შემდეგ ქსელი გახშირდება III კლასის სვლებით, რომელთა სიგრძე არ უნდა აღემატებოდეს 15 კმ, საკვანძო პუნქტებს შორის კი – 5 კმ-ს. III კლასის ქსელი გახშირდება IV კლასის სვლებით, რომელთა რეპერებს შორის მანძილი 400 – 500 მ-ია. დაუსახლებელ ტერიტორიაზე – შესაძლებელია 1 კმ. IV კლასის სვლის სიგრძე დაიშვება 5 კმ-მდე მაღალი კლასის პუნქტებს შორის და 2-3 კმ საკვანძო პუნქტებს შორის.

სააგეგმო ქსელის განვითარება. სააგეგმო ქსელის აგების სქემა და პუნქტების სიმჭიდროვე დამოკიდებულია აგეგმვის მეთოდზე, მასშტაბსა და რელიეფის ხასიათზე.

სააგეგმო საფუძველი გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებიდან ვითარდება სხვადასხვა სახის გადაკვეთებით, მიკროტრიანგულაციის ან ხაზოვან-კუთხური ქსელების აგებით, თეოდოლიტური ან სხვა სვლების განვითარებით. დაუსახლებელ

ტერიტორიაზე 1:1000 – 1:2000 მასშტაბებით აგეგმვებისას პუნქტების რიცხვი 1 კმ²-ზე 12 – 16-მდეა.

თეოდოლიტურ სვლაში გვერდების სიგრძე 20 – 350 მ-ის ფარგლებში მერყეობს. სვლების ზღვრული სიგრძე 1:500 მასშტაბში არის 0,8 კმ, 1:1000 მასშტაბში – 1,2 კმ, 1:2000 მასშტაბში – 2 კმ და 1:5000 მასშტაბში – 4 კმ. ფარდობითმა ხაზოვანმა შეუკერელობამ არ უნდა გადააჭარბოს 1/2000 . შეუკერელობის აბსოლუტურმა სიდიდემ არ უნდა გადააჭარბოს: 1:500 მასშტაბში – 0,1 მ-ს, 1:1000 მასშტაბში – 0,15 მ-ს, 1:2000 და 1:5000 მასშტაბებში კი 0,2-0,3 მ-ს.

მიკროტრიანგულაციის ქსელის აგებისას საბაზისო გვერდებს შორის დასაშვებია იყოს 10-20 სამკუთხედი აგეგმვის მასშტაბის მიხედვით. საბაზისო გვერდები იზომება 1/5000 ფარდობითი ცდომილებით.

სააგეგმო საფუძვლის წერტილების ნიშნულების განსაზღვრისათვის იყენებენ ნიველობას: ტექნიკურს კვეთის სიმაღლით 0,5 და 1 მ და ტრიგონომეტრიულს რელიეფის კვეთით 2 მ და მეტი.

გეომეტრიული ნიველობა წარმოებს ორმხრივი ლარტყებით მხრის სიგრძით 150 მ-მდე. სვლის ან პოლიგონის დასაშვები შეუკერელობა გამოითვლება ფორმულით

$$\left. \begin{aligned} f_{h_{\text{ზღვ}}} &= 50\sqrt{L} , \\ \text{ან} \\ f_{h_{\text{ზღვ}}} &= 10\sqrt{n} , \end{aligned} \right\} \quad (3.1.3.3)$$

სადაც, L არის სვლის სიგრძე, კმ-ობით;

n – სვლაში სადგურების რაოდენობა;

სააგეგმო საფუძვლის განვითარებისას, როდესაც $h = 0,5$ მ, სანიველო სვლის დასაშვები სიგრძე გამოსავალ რეპერებს შორის 8 კმ-ს შეადგენს, საკვანძო პუნქტებს შორის კი – 4 კმ. როდესაც $h = 1$ მ, დასაშვები სიგრძეები იზრდება 2-ჯერ.

ტრიგონომეტრიულ ნიველობას იყენებენ სააგეგმო საფუძვლის პუნქტების სიმაღლეების განსაზღვრისათვის მთაგორიან ადგილებში, როდესაც $h = 2$ მ და მეტს. სვლის სიგრძე დაიშვება 2 კმ-მდე. ნიველობა სრულდება წინ და უკან სვლებით. სვლაში ან პოლიგონში დასაშვები შეუკვრელობა იანგარიშება ფორმულით

$$f_{h_{\text{ზღ}}}=0,04 S_{\text{საშ.}}\sqrt{n}, \text{ მ} \quad , \quad (3.1.3.4)$$

სადაც, $S_{\text{საშ.}}$ არის გვერდის საშუალო სიგრძე, ასეულ მეტრობით;
 n – გვერდების რაოდენობა სვლასა ან პოლიგონში.

3.1.4. აგეგმვის ტოპოგრაფიული მეთოდები

დასახლებული ტერიტორიის აგეგმვის მეთოდები.
 დასახლებულ ტერიტორიაზე ცალ-ცალკე სრულდება რელიეფის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური აგეგმვები 1:500 ან 1:1000 მასშტაბებით. ჰორიზონტალური აგეგმვა შედგება ფასადების და გასასვლელების, ასევე სიტუაციის შიგა კვარტალური აგეგმვებისაგან. სასიმაღლო აგეგმვა გულისხმობს კვარტალების ტერიტორიისა და გასასვლელების ნიველობას.

ქალაქების ტერიტორიის ტოპოგრაფიული აგეგმვა სრულდება ანალოგიური მეთოდით. შენობის ფასადებს და სიტუაციას იღებენ სვლის გვერდიდან მართკუთხა და პოლარული კოორდინატების და ხაზოვანი გადაკვეთების მეთოდებით. სასიმაღლო აგეგმვა სრულდება კვადრატებზე ნიველობით.

სოფლის დასახლების ასაგეგმავად იყენებენ გრაფო-ანალიზურ მეთოდს, რომლის დროსაც კაპიტალური ნაგებობების კუთხეების კოორდინატები განისაზღვრება ანალიზურად, ხოლო სიტუაციის დეტალებისა და ადგილის რელიეფის გადაღება ხდება მენზულის.

გასასვლელის აგეგმვა შედგება ფასადის ხაზის აგეგმვისაგან, შენობის კონტურების გაზომვისაგან, კვარტალის კუთხეების კოორდინატების განსაზღვრისაგან და სხვ.

ფასადის თეოდოლიტური აგეგმვისას იყენებენ მართკუთხა კოორდინატების ხერხს. სვლის წერტილებიდან ფასადის კონტურები შეიძლება აიგეგმოს ხაზოვანი გადაკვეთებით.

კვარტალისა და შენობის კუთხეების კოორდინატების განსაზღვრისათვის იყენებენ პოლარული კოორდინატების ხერხს.

ფასადის აგეგმვის შემდეგ ასრულებენ შიგაკვარტალურ აგეგმვას, რომელიც თეოდოლიტურ სვლებს ეყრდნობა. აგეგმვის მეთოდები და გაზომვის სიზუსტე იგივეა, რაც ფასადის აგეგმვისას.

გრაფიკულად მეთოდით აგეგმვისას პოლარული ან გადაკვეთების ხერხით განსაზღვრავენ შენობისა და კვარტალის კუთხეების კოორდინატებს და შემდეგ მენზულის ან ასრულებენ გასასვლელისა და კვარტალის სიტუაციის აგეგმვას.

დასახლებულ ტერიტორიაზე რელიეფის აგეგმვას ასრულებენ გასასვლელებისა და ქუჩების გრძივი და განივი პროფილების შესადგენად, აგრეთვე ტერიტორიის სასიმალო გეგმის მისაღებად, რაც აუცილებელია ვერტიკალური დაგეგმარების პროექტის დასამუშავებლად, გზების დასაპროექტებლად, მიწისქვეშა კომუნიკაციების, შენობებისა და ნაგებობების საძირკვლების დაპროექტებისთვის და სხვა. გეგმაზე შენობის კონტურის ფარგლებში იზოჰიფსები გატარდება წყვეტილად. მჭიდროდ დასახლებულ ტერიტორიაზე 1:5000 მასშტაბში იზოჰიფსები შეიძლება საერთოდ არ გატარდეს და რელიეფის დასახასიათებლად გამოვიყენოთ ნიშნულებიანი წერტილები.

გასასვლელების ნიველობა ტარდება საპიკეტო დამახასიათებელ წერტილებზე, აგრეთვე განივებზე. ამასთან ერთდროულად, ნიველობას ასრულებენ მიწისქვეშა კომუნიკაციების გამოსასვლელებზე, კაპიტალური შენობების კუთხეებზე, ხიდების ქვაფენილებზე, გვირაბის შესასვლელსა და ა.შ.

კვარტალის ნიველობა სრულდება შიგაკვარტალური ჰორიზონტალური აგეგმვის შემდეგ.

გრაფიკული მეთოდის გამოყენებისას დასახლებული ტერიტორიის სასიმალო აგეგმვა შეიძლება შესრულდეს მენზულაზე ჰორიზონტალურ აგეგმვასთან ერთდროულად.

დაუსახლებელი ტერიტორიის აგეგმვის მეთოდები.
დაუსახლებელი ტერიტორიის აგეგმვის მეთოდებიდან ცნობილია ტაქეომეტრიული და მენზულური აგეგმვის, აგრეთვე მოედნის ნიველობის მეთოდები. წრფივ ნაგებობათა მიმოკვლევისას რთული რელიეფის მქონე მოედნების ასაგეგმავად ყველაზე გავრცელებული მეთოდი ტაქეომეტრიული აგეგმვაა. ძირითადად იყენებენ ტაქეომეტრ-ავტომატებს, ელექტრონულ ტაქეომეტრებს და თანამედროვე კუთხმზომ ინსტრუმენტებს, რომლებიც ერთდროულად გაძლევენ წერტილებს შორის ჰორიზონტალურ მანძილებს და აღმატებებს.

სააგეგმო საფუძვლის წერტილების სიხშირე შეადგენს 1:500 მასშტაბში არანაკლებ 10 წერტილისა ერთ პლანშეტზე, 1:1000 მასშტაბში – არანაკლებ 20 წერტილისა, 1:2000 მასშტაბში – არანაკლებ 50 წერტილისა. ზღვრულ შეუკვრელობებს ანგარიშობენ – კუთხური გაზომვებისთვის

$$f_{\beta_{\text{ზღვ}}} = 1' \sqrt{n+1},$$

ხოლო ხაზოვანი გაზომვებისთვის

$$f_{S_{\text{ზღვ}}} = \frac{[S]}{T\sqrt{n}},$$

სადაც, n არის სვლაში გვერდების რაოდენობა;

$[S]$ – სვლის პერიმეტრი და 1:1000 მასშტაბში არის 300 მ, 1:2000 მასშტაბში – 600 მ;

$1/T$ – სვლის გვერდის გაზომვის ფარდობითი ცდომილებაა და ტაქეომეტრისთვის ტოლია- $1/400$.

მენზულურ აგეგმვას ასრულებენ დაუსახლებელი ტერიტორიის მცირე უბნებზე, უმთავრესად 1:1000 და 1:2000 მასშტაბებით აგეგმვისას, კვეთის სიმაღლით $h = 0,5$ მ. სააგეგმო ქსელი იქმნება

ანალიზური მეთოდებით და შეიძლება გახშირდეს მცირე მენზულური სვლებით.

1:1000 მასშტაბში მენზულური სვლა დაიშვება 250 მ 3 გვერდით, 1:2000 მასშტაბში – 500 მ 5 გვერდით, 1:500 მასშტაბში – 200 მ-მდე 2 გვერდით. საზოგადოებრივი შეუკვრელობა იგივეა, რაც ტექნომეტრიული აგეგმვისას, ხოლო $1/T$ ტოლია $1/300$. სასიმაღლო შეუკვრელობას ანგარიშობენ ისევე, როგორც ტექნიკურ ნიველობაში. პუნქტების სიხშირე 20-30%-ით ნაკლებია, ვიდრე ტექნომეტრიული აგეგმვისას. 1:1000 მასშტაბში ერთ პლანშეტზე საკმარისია 16 წერტილი.

მენზულური მსხვილმასშტაბიანი აგეგმვისას პლანშეტი უნდა დაიცენტროს ზუსტად. 1:500 და 1:1000 მასშტაბებით აგეგმვებისას დაცენტრვის შეცდომამ არ უნდა გადააჭარბოს – 5 სმ-ს, ხოლო 1:2000 მასშტაბით – 10 სმ-ს.

გადასასვლელ წერტილებს მენზულაზე განსაზღვრავენ პირდაპირი და შებრუნებული გადაკვეთებით.

ვაკე მოედნებზე, როდესაც რელიეფის გამოსახვის გაზრდილი სიზუსტეა საჭირო, ტოპოგრაფიულ აგეგმვას ასრულებენ მოედნის ნიველობის მეთოდით კვადრატებზე: 20×20 მ ზომებით 1:500 მასშტაბში, 30×30 მ – 1:1000 მასშტაბში და 40×40 მ – 1:2000 მასშტაბში. ძირითადი კვადრატის ზომები ამ დროს შეიძლება იყოს 200×200 მ ან 400×400 მ. კვადრატების გვერდებზე ამ დროს გაჰყავთ თეოდოლიტური და სანიველო სვლები, რომლებიც უფრო მაღალი კლასის გეოდეზიურ პუნქტებს ეყრდნობა და საზღვრავენ კვადრატების ჩამაგრებული წვეროების კოორდინატებსა და ნიშნულებს. ერთდროულად ასრულებენ სიტუაციურ აგეგმვას პოლარული და მართკუთხა კოორდინატების ან გადაკვეთების ხერხით. მოედნის ნიველობას ასრულებენ შესაძლებლობის მიხედვით ნიველირის ერთი დგომით 200×200 მ კვადრატის ცენტრში.

დაუსახლებელი ტერიტორიის აგეგმვის ზემოთ ჩამოთვლილი მეთოდების გარდა, ბოლო წლებში ინტენსიურად ვითარდება ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ერთდროული აგეგმვის მეთოდი – ე.წ. „ტოტალ შტეინის“ – გამოყენებით, რომლის დიდი უპირატესობაა ნაკლები შრომატევადობა, აგეგმვის სისწრაფე და მაღალი სიზუსტე.

3.1.5. მიწისქვეშა კომუნიკაციის აგეგმვის მეთოდები და სამუშაოთა ტექნოლოგია

სამრეწველო და სამოქალაქო ნაგებობათა ექსპლუატაციისას ინვენტარიზაციისათვის და რეკონსტრუქციისას ტექნიკური ამოცანების გადასაწყვეტად აუცილებელია გვქონდეს მიწისქვეშა კომუნიკაციების ზუსტი და სრული გეგმა მასში ცვლილებების დროული ასახვით.

გეოდეზიური გაზომვების მიხედვით ძირითადად გვაქვს სამი სახის მიწისქვეშა კომუნიკაცია. ესაა თვითდინებითი და დაწნევითი მილსადენები და საკაბელო ქსელები.

თვითდინებითი მილსადენი, რომლის მეშვეობითაც ძირითადად, გაბინძურებული წყალი ჩაედინება გამწმენდ ნაგებობაში, არის სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო კანალიზაცია. იგი შედგება ძირითადად, 600 მმ-მდე დიამეტრის აზბესტცემენტისა და უფრო მცირე დიამეტრის კერამიკის მილებისგან. მილების შეერთების ადგილებში, ტრასის მოსახვევებში, დიამეტრის შეცვლის ადგილებსა და ქანობების ცვლილების ადგილებში აწყობენ ჭებს. სწორ უბნებში ჭებს შორის მანძილი 50 – 100 მ უნდა იყოს.

თვითდინებით მილსადენებს მიეკუთვნება აგრეთვე სამელიორაციო სადრენაჟო გოფირებული მილები. ამ ტიპის მილსადენის მოწყობისას მკაცრად უნდა იქნეს დაცული ქანობები, რომლის მინიმალური სიდიდე 200 მმ დიამეტრის მილისთვის

არის 0,005 ანუ 5‰, 600 – 1000 მმ მილებისთვის – 1-დან 3‰-მდე და 1250 მმ მილებისთვის – 0,5‰.

დაწნევით მილსადენში წნევით გადააქვთ თხევადი ან გაზობრივი პროდუქტები. ეს მილსადენები ძირითადად ფოლადის მილებისგან (წყალსადენი, გაზსადენი და სხვა) შედგება. ბოლო წლებში ფართო გამოყენებას პოულობს პოლიმერებისგან დამზადებული მილები, რომლებიც გამოირჩევა ცვეთამუდგობით და დიდი მდგრადობით.

წყალსადენი დანიშნულების მიხედვით არის – სასმელი, სამრეწველო, დახურული სარწყავი სისტემის მიმყვანი და სხვა.

თბოქსელებს იყენებენ გათბობისა და ცხელი წყალმომარაგებისთვის იზოლაციით ან მის გარეშე, 2 – 3‰-იანი ქანობით.

გაზსადენები იყოფა მაღალი, საშუალო და დაბალი დაწნევის ტრასებად და მიწაში ჩადებულია 0,7 მ-ზე.

საკაბელო ხაზები იყოფა მაღალ და დაბალძაბვიან ძალურ კაბელებად და სუსტძალოვან ხაზებად – სატელეფონო და სატელეგრაფო კავშირისთვის, რადიოსთვის, სიგნალიზაციისა და სხვა დანიშნულებით. კაბელებს აწყობენ ბლოკებად მილებსა ან უშუალოდ ტრანშეის ფსკერზე, ქვიშაში და ზემოდან მოალაგებენ აგურების წყობას. ჩაწყობის სიღრმე 0,7 – 1 მ-ია. მაღალი ძაბვის კაბელებს აწყობენ 1,5 – 1,8 მ სიღრმეზე.

ზოგჯერ მიწისქვეშა ქსელებს კომპლექსურად ათავსებენ მიწისქვეშა გვირაბებში. მათი დაშორება შენობებისა და ნაგებობების საძირკვლებიდან უნდა იყოს 2 – 3 მ.

მოთხოვნები აგეგმვის სიზუსტისადმი. ყველა ტიპის კომუნიკაციის აგეგმვის სიზუსტე დაახლოებით ერთნაირია. დასახლებულ ტერიტორიაზე ტრასის შენობების საძირკვლის მიმართ მდებარეობის შეცდომები დასაშვებია – 0,1 – 0,15 მ-მდე. დაუსახლებელ ტერიტორიაზე კი – 0,5 მ-მდე.

კომუნიკაციების სასიმალო აგეგმვის სიზუსტე დამოკიდებულია საპროექტო ქანობისა და ნიშნულის დაცვისადმი მოთხოვნებზე. თვითდინებითი მილსადენისთვის მეზობელი ჭების ნიშნულებს შორის განსხვავება დასაშვებია 5 – 10 მმ, საპროექტო ქანობიდან გადახრა კი – ქანობის 10-20%-მდე. რაც შეეხება დაწნევით მილსადენებს, აქ მოთხოვნები შედარებით შერბილებულია და შესაძლებელია ტრიგონომეტრიული ნიველობის გამოყენება.

სამრეწველო და საქალაქო ტერიტორიებზე მიწისქვეშა ქსელებს აგეგმვენ 1:500 მასშტაბით, განსაკუთრებით რთულ ადგილებში კი – 1:200 მასშტაბით.

აგეგმვის მეთოდები. ყველაზე მარტივი და ზუსტია აგეგმვა უშუალოდ მშენებლობისას ანუ შესრულებითი აგეგმვა მიწის დაყრამდე. ტრასის საკვანძო ადგილები მიეძემა გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებს ან შენობა-ნაგებობის ღერძს. დიდ ტრასებზე ღია მილსადენებზე მისაღება მსხვილმასშტაბიანი აეროფოტოაგეგმვა.

მიწისქვეშა კომუნიკაციების ტრასების დაკარგული გეგმის აღსადგენად, ზოგჯერ საჭირო ხდება ძვირად ღირებული საძიებო შურფების მეთოდის გამოყენება.

ბოლო წლებში ფართოდ იყენებენ მილების და კაბელების დამძებნ ინდუქციურ ხელსაწყოებს. ამ მეთოდს საფუძვლად უდევს ელექტრომაგნიტური ინდუქციის პრინციპი. ყველა მძებნი ხელსაწყო ამ პრინციპზეა აგებული და განსხვავდებიან მხოლოდ სქემითა და მახასიათებლებით. ისინი შედგებიან ორი – გადამცემი და მიმღები ბლოკებისგან. ხმოვანი ინდიკაციის გარდა, მიმღები ბლოკი აღჭურვილია მხედველობითი ინდიკაციითაც (მილიამპერმეტრი).

ხელსაწყოების დახმარებით კომუნიკაციების მდებარეობის განსაზღვრა შეიძლება კონტაქტური და უკონტაქტო ხერხებით. კონტაქტური უფრო ზუსტია. უკონტაქტო ხერხს ძირითადად

იყენებენ კომუნიკაციის ტრასის დაახლოებით დასადგენად, მისი შემდგომი დაზუსტების მიზნით.

ინდუქციური მძებნი ხელსაწყოების მეშვეობით კომუნიკაციის გეგმური მდებარეობის გარდა, მის სასიმაღლო მდებარეობასაც აღგენენ. ამისთვის გეგმური მდებარეობის დაფიქსირების შემდეგ მიმდებ მოწყობილობას შემოაბრუნებენ ჰორიზონტალურ სიბრტყეში 90°-ით და მღოვრედ გადაადგილებენ კომუნიკაციის ჩადების სიღრმის გასაგებად.

ინდუქციური ხელსაწყოების გამოყენებისას მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს გრუნტის ტენიანობა და განლაგების სიღრმე. მისი მეშვეობით გეგმაზე მილსადენის მდებარეობის განსაზღვრის სიზუსტეა

$$m_g = 7,5 h, \text{ სმ } ,$$

ხოლო ჩალაგების სიმაღლის განსაზღვრის სიზუსტეა

$$m_k = 13 h, \text{ სმ } ,$$

სადაც, h — მილების განლაგების სიღრმეა, მეტრებით. კომუნიკაციების უმრავლესობისთვის $h = 2$ მ და ამიტომ $m_g = 15$ სმ, $m_k = 26$ სმ.

აგეგმვის სამუშაოთა ტექნოლოგია. მიწისქვეშა კომუნიკაციების აგეგმვა შემდეგ სამუშაოებს მოიცავს: მოსამზადებელი სამუშაოები, ადგილზე ქსელების რეკონსტრუქცია, ინდუქციური ხერხით გეგმური და სასიმაღლო მდებარეობის განსაზღვრა, არამეტალური მილსადენის მდებარეობის განსაზღვრა შურფების მეთოდით, მიწისქვეშა კომუნიკაციის ტრასის მიბმა გეოდეზიურ საფუძველზე, კომუნიკაციის გეგმისა და პროფილის შედგენა.

მოსამზადებელ სამუშაოებში შედის არსებული ტექნიკური დოკუმენტაციის მოძიება, რის საფუძველზეც აღგენენ მიწისქვეშა ქსელების სქემატურ ნახაზს და ცალკეული კომუნიკაციის დეტალურ სქემებს, აგროვებენ ცნობებს არსებული გეოდეზიური საფუძვლის შესახებ. შედგენილ სქემებს ექსპლუატაციის

სპეციალისტებთან ერთად აზუსტებენ ადგილზე რეკოგნოსცირებისას. მოსახვევებსა და ყოველ 50 მ-ზე სწორ ადგილებში ახდენენ დაძებნას ინდუქციური მეთოდით, რითაც საზღვრავენ კომუნიკაციის გეგმურ მდებარეობას და სიღრმეს.

არალითონის მილსადენების დაძებნისთვის რეკომენდებულია რადიოტალღური მეთოდი – რადიოპროფილირება, რითაც აფიქსირებენ კომუნიკაციის ღერძის გეგმურ მდებარეობას 0,1 – 0,2 მ სიზუსტით, ხოლო სასიმაღლო მდებარეობას – 1 მ სიზუსტით.

ინდუქციური, შურფებისა და რადიოპროფილირების ხერხებით დაძებნილი კომუნიკაციების ღერძის წერტილებს, ჭებს, ტრასის მოხვევისა და სხვა დამახასიათებელ პუნქტებს გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებთან ანალიზური მეთოდით აკავშირებენ, გაზომვის 1/2000 ფარდობითი ცდომილებით. დასახლებულ ტერიტორიაზე მიბმა სრულდება კაპიტალური შენობების წერტილებთან. სასიმაღლო მიბმისათვის იყენებენ III კლასის (თვითდინებითი მილსადენებისთვის) ან IV კლასის (ჭების და მილების ზედაპირების სიმაღლეთა განსაზღვრა) ნიველობას, დაწნევით მილსადენებში – ტექნიკურ და ტრიგონომეტრიულ ნიველობას.

მიწისქვეშა კომუნიკაციების გეგმის შედგენისას ძირითადი მასშტაბია 1:500. გეგმაზე საჭირო სიზუსტით და სისრულით გამოსახვენ ცალკეული კომუნიკაციებისა და მათთან მიბმული შენობების მდებარეობას მიღებული პირობითი აღნიშვნებით. დამატებით აღგენენ მიწისქვეშა კომუნიკაციების ცალკეული სახეების გეგმებს და გრძივ პროფილებს მათი დაწვრილებითი ანალიზური მახასიათებლებით: კოორდინატები, ნიშნულები, ქანობები, მილების დიამეტრები, ჭებს შორის მანძილები და სხვა.

3.1.6. ცნობები ადგილმდებარეობის ციფრული მოდელების შესახებ

ადგილმდებარეობის გამოსახვა ტოპოგრაფიული რუკებისა და გეგმების გამოყენების გარდა, შესაძლებელია ბოლო წლებში ინტენსიურად განვითარებადი ადგილის ციფრული და მათემატიკური მოდელების მეშვეობით.

ადგილმდებარეობის ციფრული მოდელი (აცმ) წარმოადგენს სამგანზომილებიან სივრცეში ცნობილ კოორდინატებიან წერტილთა მასივს, რომელიც გათვალისწინებულია რელიეფის აპროქსიმაციისთვის, ადგილის მათემატიკური მოდელის (ამმ) საშუალებით მისი ბუნებრივი მახასიათებლებით, პირობებითა და ობიექტებით.

კონკრეტული საინჟინრო ამოცანების გადასაწყვეტად გამოყენებულ ციფრული მოდელის მათემატიკურ ინტერპრეტაციას უწოდებენ ადგილმდებარეობის მათემატიკურ მოდელს (ამმ). აღსანიშნავია, რომ ერთი და იმავე აცმ-სათვის, საინჟინრო დანიშნულების მიხედვით, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს რამდენიმე სახის ამმ, კერძოდ წრფივი ან არაწრფივი სახის, მეორე, მესამე და ა.შ. რიგის ზედაპირების ამსახველი და სხვა.

ტოპოგრაფიული ინფორმაციის ანალიზური სახით წარმოდგენის საკითხი წამოიჭრა დაპროექტების ავტომატიზებული სისტემების განვითარების და გამომთვლელი მანქანების გამოყენებაზე დაფუძნებული ავტომატური მხაზველი ხელსაწყოების შექმნის შედეგად. განსაკუთრებით დიდ მნიშვნელობას იძენს აცმ საპროექტო გადაწყვეტათა ოპტიმალური ვარიანტის შერჩევისას (ტრასის შერჩევა, ვერტიკალური დაგეგმარების პროექტების ანგარიში და სხვა).

დანიშნულების მიხედვით აცმ იყოფა სიტუაციის და რელიეფის ციფრულ მოდელებად.

სიტუაციის ციფრული მოდელი იქმნება ქალაქების და სამრეწველო ტერიტორიებზე. ყველა შენობა, ნაგებობა და სიტუაციის სხვა ელემენტები მოიცემა დამახასიათებელი წერტილების კოორდინატებით.

რელიეფის ციფრული მოდელი იქმნება უფრო რთულად, ვიდრე სიტუაციის, რადგან ადგილს რთული ზედაპირი აქვს. რელიეფის წერტილების განლაგების ხერხების მიხედვით არჩევენ რეგულარულ, ნახევრად რეგულარულ და სტრუქტურულ მოდელებს.

რეგულარულ მოდელში, რომელსაც უმეტესად ვაკე ადგილებში იყენებენ, წერტილებს განლაგებენ კვადრატების ბადეების, ან წესიერი სამკუთხედების სახით. ბიჯის სიდიდეს აირჩევენ ისე, რომ აისახოს რელიეფის დამახასიათებელი გადალუნვები. რელიეფის სიროთულის და მასშტაბზე დამოკიდებულებით, ბადის გვერდის სიგრძეს იღებენ 5 – 10 მ 1:500 მასშტაბის დროს და 40 – 80 მ 1:5000 მასშტაბის დროს. ბადის სახით ქსელის აგება მნიშვნელოვნად ამარტივებს გეგმური კოორდინატების განსაზღვრას. ასეთი ქსელის გახშირებისას კამერალურად, ზედაპირი აპროქსიმირდება მე-2 ან მე-3 რიგის ზედაპირის სახით და სიმაღლეები განისაზღვრება არაწრფივი ინტერპოლაციით.

ნახევრად რეგულარული მოდელი, რომელიც უმთავრესად წრფივ ნაგებობათა გამოკვლევისას გამოიყენება, იქმნება მაგისტრალური ხაზის და მასზე განივების სისტემის განლაგებით. განივებზე წერტილებს იღებენ რელიეფის სიძრულის ადგილებში. განივების ღერძული წერტილების გეგმურ კოორდინატებს პოულობენ მაგისტრალის პიკეტაჟის მიხედვით და მისი გვერდების ღირექციული კუთხეებით. განივებზე წერტილების კოორდინატებს ანგარიშობენ ხაზოვანი გაზომვებით და ღირექციული კუთხეებით (მაგისტრალის ღირექციული კუთხისგან განსხვავდება 90⁰-ით). განივებზე სიმაღლეების ინტერპოლაცია ხდება წრფივი კანონით.

სტრუქტურულ მოდელში საყრდენი წერტილები შეირჩევა რელიეფის დამახასიათებელ გადაღუნვის ადგილებში მისი გეომორფოლოგიური თავისებურებების გათვალისწინებით. ამ მოდელში ადგილმდებარეობა აპროქსიმირდება მრავალწახნაგების სისტემებით, რომელთა წიბოებია რელიეფის სტრუქტურული ხაზები.

უსწორმასწორო ადგილას ზოგჯერ იყენებენ **სტატისტიკურ მოდელს**, რომელშიც ადგილმდებარეობის ზედაპირი განისაზღვრება „მცურავი კვადრატის“ ან „მცურავი წრის“ მეშვეობით. მათ განსაზღვრული ზომები აქვთ და მუდმივად გადაადგილდებიან. ზედაპირის ფორმა მოინახება მათემატიკური მოდელის ანალიზური ამოხსნით. მათემატიკური მოდელის სახე შეიძლება იყოს პირველი ან მეორე რიგის ზედაპირის განტოლება, რომლის უმცირეს კვადრატთა მეთოდით ამოხსნის შედეგად განისაზღვრება რელიეფის წერტილების ნიშნულები.

აცმ-ის მისაღებად საწყის ინფორმაციად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აეროფოტოსურათების დამუშავების მასალები, აგრეთვე საველე ტოპოგრაფიული სამუშაოებით და არსებული ტოპოგრაფიული გეგმების და რუკების დამუშავებით მიღებული მონაცემები.

აცმ-ის აგების ყველაზე ეფექტური მეთოდია ფოტოგრამმეტრიული, თანამედროვე, მაღალი სიზუსტის, კოორდინატთა ავტომატური რეგისტრაციის მქონე სტერეოხელსაწყოების გამოყენება. სტერეოწყვილების დამუშავებისას დაიმზირება რელიეფის დამახასიათებელი წერტილები და ავტომატურად რეგისტრირდება მათი ფოტოგრამმეტრიული კოორდინატები, სიმაღლეები და კოდური სახელწოდებანი. კომპიუტერში ეს მონაცემები გარდაიქმნება გეოდეზიურ სისტემად და დაგროვდება შემდგომში ცალკეულ პროგრამებში (ანალიზური დაპროექტება, გრაფიკული აგება) გამოსაყენებლად.

აცმ-ის აგების ასევე ეფექტურ საველე მეთოდად ითვლება ელექტრონული ტახეომეტრის და განსაკუთრებით „ტოტალ შტეინის“ გამოყენება, რომლებიც აღჭურვილია გამომთვლელი მოწყობილობით და საშუალებას იძლევა საველე პირობებში მივიღოთ რელიეფის დამახასიათებელი წერტილების კოორდინატები და ნიშნულები.

ადგილმდებარეობის ზედაპირის აპროქსიმაცია. დაკვირვებებით დადგენილია, რომ ადგილის რელიეფის სხვადასხვა ფორმა კარგად აპროქსიმირდება მეორე რიგის ზედაპირით 6 უცნობით.

$$H = a_1x^2 + a_2y^2 + a_3xy + a_4x + a_5y + a_6, \quad (3.1.6.1)$$

სადაც x და y რელიეფის წერტილის კოორდინატებია;

H – იმავე წერტილის ნიშნული;

$a_i (i = 1, 2, \dots, 6)$ მათემატიკური მოდელის უცნობი პარამეტრებია. a_i კოეფიციენტების განსაზღვრავად უნდა გვქონდეს მინიმუმ 6 წერტილი ცნობილი კოორდინატებით და ნიშნულებით. ჩვეულებრივ, მოდელის უმცირეს კვადრატთა მეთოდით ამოსახსნელად, იყენებენ 10-15 წერტილს. სასურველია, ეს წერტილები თანაბრად იყოს განაწილებული უბანზე, ამასთან შედეგები რომ არაკორელირებული იყოს, 3 და მეტი წერტილი არ უნდა მდებარეობდეს ერთ ხაზზე.

(3.1.6.1) განტოლებაში, ნებისმიერი წერტილის ცნობილი კოორდინატებით, a_i პარამეტრების მნიშვნელობების გაგების შემდეგ გავიგებთ მის ნიშნულს. თუ რელიეფი არ არის რთული ზედაპირი, მაშინ (3.1.6.1) განტოლების ნაცვლად იყენებენ პირველი რიგის ზედაპირის განტოლებას.

$$H = a_1x + a_2y + a_3. \quad (3.1.6.2)$$

ამ შემთხვევაში a_i კოეფიციენტების განსაზღვრისათვის საჭიროა მინიმუმ 3 საყრდენი პუნქტი თავისივე სამი კოორდინატით. მაგრამ კოეფიციენტების მეტი სიზუსტით განსაზღვრისთვის იღებენ 5-6 პუნქტს. (3.1.6.1) ან (3.1.6.2) მოდელით წერტილების ნიშნულების განსაზღვრის სიზუსტე უმთავრესად დამოკიდებულია იმაზე თუ რამდენად წარმატებითაა

შერჩეული წერტილები ზედაპირზე და რამდენად ადეკვატურად იწერება ეს ხელოვნური ზედაპირი ადგილის რელიეფში. ვაკე ადგილებში ამისთვის 1 ჰა-ზე უნდა გვქონდეს ~40 პუნქტი. უსწორმასწორო რელიეფისთვის ეს რიცხვი იზრდება 100-მდე 1 ჰა-ზე. მთაგორიან რელიეფზე კი შეიძლება საჭირო გახდეს 200-400 პუნქტი 1 ჰა-ზე.

გეგმის შედგენა აცმ-ის მიხედვით. მსხვილმასშტაბიანი ციფრული კარტოგრაფირებისთვის ფოტოგრამმეტრიული მეთოდით, აუცილებელია გვქონდეს ზუსტი სტერეოდამუშავებული ხელსაწყო კოორდინატების ავტომატური რეგისტრატორით, დიდი მესიერების მქონე კომპიუტერი, მასკანირებული დიგიტალიზირებული ავტომატი, კოორდინატური და ავტომატური გრაფომები.

ადგილმდებარეობის ციფრული მოდელის (აცმ) და ადგილმდებარეობის მათემატიკური მოდელის (ამმ) მეთოდების ბოლო წლებში ინტენსიურმა განვითარებამ და სრულყოფამ დიდად განაპირობა და შეცვალა საინჟინრო ობიექტების გეოდეზიური მიმოკვლევის და დაპროექტების ტექნოლოგია. საპროექტო-მიმოკვლევით სფეროში შემდგომი პროგრესი შეუძლებელია საპროექტო ოპტიმალურ გადაწყვეტათა და მათი გაანალიზება-შეფასების საქმეში ამ მეთოდების ფართოდ გამოყენების გარეშე.

3.2. წრფივ ნაგებობათა ტრასირება

3.2.1. საერთო ცნობები ტრასირების შესახებ

ტრასა დასაპროექტებელი წრფივი საინჟინრო ნაგებობის ღერძია, რომელიც ჯერ დაითანება ტოპოგრაფიულ რუკასა ან გეგმაზე, შემდეგ აღინიშნება ადგილზე. ტრასა შეიძლება მოცემულ იქნეს ადგილმდებარეობის ციფრულ მოდელში პუნქტების კოორდინატების ერთობლიობის სახით.

ტრასის ძირითადი ელემენტებია – გეგმა ანუ ტრასის პროექცია ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე და გრძივი პროფილი – ვერტიკალური ჭრილი საპროექტო ხაზზე.

ტექნიკური და ეკონომიკური პირობების მიხედვით ტრასის შერჩევისათვის საჭირო მიმოკვლევით სამუშაოთა კომპლექსს **ტრასირება** ეწოდება.

ტრასის დაპროექტებას ტოპორუკების, გეგმების, აეროგადაღების მასალების, აცმ-ის გამოყენებით **კამერალური ტრასირება** ეწოდება.

დაპროექტებული ტრასის გადატანას ადგილზე, მისი მდებარეობის შემდგომში დაზუსტებით და დამაგრებით ნატურაში, **საველე ტრასირება** ეწოდება.

ტრასა რთული სივრცული ხაზია. გეგმაზე იგი შედგება სწორი უბნებისგან, რომლებიც ერთმანეთთან შეუღლებული არიან ჰორიზონტალური მრუდებით მუდმივი და ცვლადი სიმრუდით (წრიული და გადასასვლელი მრუდები). გრძივ პროფილში ტრასა შედგება სხვადასხვა ქანობის ხაზებისგან, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებული არიან ვერტიკალური მრუდებით (წრიული).

ელექტროგადამცემ და საკანალიზაციო ტრასებზე ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ მრუდებს არ აპროექტებენ.

თვალსაზრისით გაზრდისთვის ტრასების გრძივი პროფილის ვერტიკალურ მასშტაბს 10-ჯერ დიდს იღებენ ჰორიზონტალურთან შედარებით. ადგილის დახასიათებისთვის ტრასის მართობულად აღგენენ განივ პროფილებს ერთნაირი ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მასშტაბით.

ტრასის კატეგორიები. ტოპოგრაფიული პირობების მიხედვით არსებობს მდელოზე, წყალგამყოფზე, ფერდობზე გამავალი და ხეობების გადამკვეთი ტრასები.

პირველი სახის ტრასა გაჰყავთ მდინარისპირა ტერასებზე. მას მღოვრე მდებარეობა აქვს გეგმასა და პროფილზე, მაგრამ კვეთს

ფერდობიდან ჩამომდინარე ნაკადებს და, ამდენად, მოითხოვს ძვირად ღირებული გადასასვლელების მოწყობას.

წყალგამყოფზე გამავალი ტრასა გეგმაზე რთული მოყვანილობისაა, მაგრამ სამუშაოთა მოცულობა მის გასაყვანად მცირეა.

ფერდობზე გამავალი ტრასა მიხვეულ-მოხვეულია გეგმაზე და აქვს ბევრი ხელოვნური გადასასვლელი. ამ ტიპის ტრასაზე ხშირია ჩამოქცევები, მეწყრები, რაც ართულებს მის ექსპლუატაციას.

ხეობების გადამკვეთი ტრასა გეგმაში ახლოსაა წრფესთან, გრძივ პროფილში ხშირია ზღვრული ქანობები. იგი ყველაზე ძვირად ღირებული ტრასაა, რადგან საჭიროებს ხიდებისა და გვირაბების აგებას.

პრაქტიკაში საქმე გვაქვს ჩამოთვლილი კატეგორიის ტრასების კომპლექსურ გაერთიანებასთან ანუ ერთი და იგივე ტრასა შეიძლება გადიოდეს ყველა ხსენებულ პირობებში. ტრასა უნდა აკმაყოფილებდეს მისი დაპროექტების ტექნიკური პირობებით დადგენილ განსაზღვრულ მოთხოვნებს ქანობებისა და მრუდების მინიმალურად დასაშვები რადიუსებისა და ექსპლუატაციისათვის მინიმალური დანახარჯების მიხედვით.

ტრასირება ვაკე ადგილას. ტრასის მდებარეობა ვაკე ადგილებში განისაზღვრება კონკრეტული წინააღობებით ანუ სიტუაციით. ყოველი მოხვევის კუთხე ტრასას აგრძელებს, რომლის სიდიდე მოხვევის კუთხეზეა დამოკიდებული. მაგალითად, თუ ტრასამ მოუხვია θ კუთხით, მისი დაგრძელების ფარდობითი სიდიდე იქნება

$$\lambda = \frac{1 - \cos\theta}{\cos\theta} . \quad (3.2.1.1)$$

რაც შეიძლება მოკლე ტრასის მისაღებად, ვაკე ადგილებში ტრასირებისას იცავენ შემდეგ მოთხოვნებს:

- ერთი კონტურული წინააღმდეგობიდან მეორემდე ტრასა გაჰყავთ წრფივად. ტრასის მოხვევა ამ დროს უნდა დასაბუთდეს;
- მოხვევის კუთხის წვერო უნდა დაინიშნოს წინააღმდეგობის შუაზე იმ ვარაუდით, რომ ტრასამ მდოვრედ შემოუაროს წინააღმდეგობას;
- მოხვევის კუთხე უნდა იყოს არა უმეტეს 20-30°-ისა.

ტრასირება მთაგორიან ადგილებში. მთაგორიან ადგილებში ტრასის მდებარეობა განისაზღვრება რელიეფით. რადგან ქანობები ამ დროს აჭარბებს ტრასის დასაშვებ ქანობს, ამიტომ ტრასირება ხშირად მიმდინარეობს ზღვრული ქანობებით. ამის გამო ტრასა დაგრძელდება, რომლის ფარდობითი სიდიდე ტოლია

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{i_{\text{რელ.}} - i_{\text{ტრ.}}}{i_{\text{ტრ.}}}, \quad (3.2.1.2)$$

სადაც $\Delta l = l' - l$ არის დაგრძელებული ტრასის ნაზრდი, მ;

l' – დაგრძელებული ტრასის სიგრძე, მ;

l – დაპროექტებული ტრასის სიგრძე, მ;

$i_{\text{რელ.}}$ – რელიეფის ქანობი;

$i_{\text{ტრ.}}$ – ტრასის დაპროექტებული ქანობი.

მაგალითად, თუ $i_{\text{რელ.}} = 0,015$, $i_{\text{ტრ.}} = 0,012$, მაშინ (3.2.1.2) ფორმულით მივიღებთ $\Delta l/l = 1/4$ ანუ ტრასა დაგრძელდება 25%-ით.

ტრასის დაგრძელებისას, რელიეფის ხასიათის მიხედვით მრუდების სახით იყენებენ სპირალებს, მარყუჟებს, სერპანტინებს და ა.შ.

მთიან ადგილებში ტრასირებისას იცავენ შემდეგ მოთხოვნებს:

- ტრასა უნდა გავიყვანოთ ზღვრული ქანობით, ე.ი. ნულოვანი სამუშაოების ხაზზე, ქანობის ცალკეულ მოედნებზე შემცირებით;
- ტრასის გეგმური ელემენტები და ნიშნულები უნდა შეირჩეს წინასწარ შედგენილი თეორიული პროფილის, ასევე

მრუდების და წრფეების შეუღლების მოთხოვნების მიხედვით;

- მოხვევის კუთხეების სიდიდეები უნდა დაინიშნოს ტრასის ქანობის დაცვით და უნდა აკერიდოთ მოხვევის მცირე რადიუსების დანიშვნას.

მაგისტრალური ტრასების მიმოკვლევის საერთო ტექნოლოგია.

ტრასების მიმოკვლევისას ორი ძირითადი ამოცანა წყდება:

- 1) ტრასის ოპტიმალური ვარიანტის შერჩევა;
 - 2) ტოპო-გეოდეზიური, საინჟინრო-გეოლოგიური, ჰიდროლოგიური და სხვა მასალების შეკრება ტრასის პროექტის შესადგენად.
- ტრასის დაპროექტება შედგება შემდეგი სტადიებისგან:
- ა) წინასაპროექტო მიმოკვლევა ტრასის ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთებისათვის (ტედ);
 - ბ) საპროექტო ტექნიკური მიმოკვლევა ტრასის ტექნიკური პროექტის დასამუშავებლად (ტპ);
 - გ) აგებისწინა მიმოკვლევა მუშა ნახაზების შესადგენად (მპ).

წინასაპროექტო მიმოკვლევის მიზანია მასალების შეკრება ტრასის ოპტიმალური მიმართულების შესარჩევად და ტედ-ისათვის, აგრეთვე მისი აგების ტექნიკური შესაძლებლობის დასასაბუთებლად, ტექნიკური პარამეტრების დასადგენად, სამუშაოს მოცულობისა და ღირებულების წინასწარი განსაზღვრისათვის და მშენებლობის ვადის დადგენისათვის. წინასაპროექტო მიმოკვლევა ტარდება უმთავრესად კამერალურად, მხოლოდ რთული რელიეფის პირობებში შეიძლება გახდეს საჭირო საველე და საჰაერო მიმოკვლევა. კამერალურ მიმოკვლევას ახდენენ ტოპოგრაფიულ რუკებზე, რომლებზეც აღნიშნავენ ტრასის მთავარ – საწყის, ბოლო და შუალედ პუნქტებს.

საწყისი და ბოლო პუნქტების შემაერთებელი წრფეები რუკაზე ქმნიან ე. წ. საჰაერო ხაზს, რომელიც საორიენტიროა ტრასის დაპროექტებისას. ერთდროულად, არსებული გეოლოგიური და ნიადაგის რუკების მიხედვით შეისწავლიან ტრასის თითოეული

ვარიანტის გასწვრივ საინჟინრო-გეოლოგიურ და ჰიდროგეოლოგიურ პირობებს და შეაქვთ შესაბამისი კორექტივები ტრასის მიმართულებაში. ანგარიშობენ თითოეული ვარიანტის ტრასის განვითარების კოეფიციენტს, რომელიც ტრასის მოქმედი სიგრძის ფარდობაა საჭაერო ხაზის სიგრძესთან, სამუშაოს დაახლოებით მოცულობას და ტექნიკურ-ეკონომიკური შედეგებით შეირჩევენ მათ შორის ხელსაყრელს.

აეროფოტოაგეგმვის მასალების არსებობა აადვილებს ტრასის შერჩევის საკითხს და ამაღლებს მიმოკვლევის ხარისხს.

ტრასის საპროექტო ტექნიკური მიმოკვლევის მიზანია დეტალური ტექნიკური მიმოკვლევის საფუძველზე შედგეს ტრასის ტექნიკური პროექტი (ტპ). ამ დროს შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტაა საჭირო:

- 1) ოპტიმალური ტრასის შერჩევა ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიკური შედეგების გზით;
- 2) ზუსტი მასალების შეკრება ტრასის და მასზე ყველა ნაგებობის ტექნიკური პროექტის დასამუშავებლად;
- 3) ტრასის მშენებლობის სახარჯთაღრიცხვო ღირებულების შედგენა.

ტრასის აგების წინა მიმოკვლევისას დეტალურად შეისწავლება ბუნებრივი პირობები შერჩეული ტრასის გასწვრივ, რომელიც მიზნად ისახავს ტრასის ზუსტი მდებარეობის დადგენას და დამაგრებას ადგილზე, ყოველგვარი სახის ზუსტი და სრული მასალების შეკრების საფუძველზე ტრასის მუშა დაპროექტებას (მპ). აგების წინა მიმოკვლევა იგივე საველე მიმოკვლევაა, რომლის საფუძველზეც დგება ტრასაზე არსებული ყველა ნაგებობის სამუშაო ნახაზები, ახსნა-განმარტებითი ბარათი, სამუშაოთა მოცულობის უწყისი და ხარჯთაღრიცხვა.

უშუალოდ ტრასის მშენებლობის დაწყების წინ ახდენენ ტრასის აღდგენას ადგილზე.

დიდი სიგრძის ტრასების რთულ მთაგორიან პირობებში მიმოკვლევისას როგორც აღენიშნეთ, სარგებლობენ აეროგადაღების მასალებით. ტრასების ოპტიმალური ვარიანტის შერჩევისას ამ დროს შეიძლება გამოვიყენოთ აერორადიონიველობის მასალები ტრასაზე გრძივი პროფილების შესადგენად.

აერორადიონიველობისას ადგილის წერტილების აღმატებები გაფრენის ხაზის გასწვრივ განისაზღვრება რადიოსიმაღლემზომის და სტატოსკოპის ჩვენებათა ერთდროული ფიქსირებით. რადიოსიმაღლემზომი არის იმპულსური რადიოლოკაციური დანადგარი, რომელიც აფიქსირებს მიმდინარე სიმაღლეებს საფრენი აპარატის გადაფრენისას, ხოლო სტატოსკოპი დიფერენციალური ბარომეტრია პროექტირების ცენტრების ურთიერთ-აღმატების გასაზომად. ამ მეთოდის სიზუსტე მცირეა – 2 – 3 მ. იმავე მიზნით იყენებენ აეროპროფილოგრაფს, რომელიც ავტომატურად იწერს დედამიწის ზედაპირის პროფილს გაფრენის ხაზის გასწვრივ. წინასგან განსხვავებით იგი ღამატებით შედგება მაინტეგრირებელი მოწყობილობისაგან, რომელიც აჯამებს რადიოსიმაღლემზომის და სტატოსკოპის მაჩვენებლებს და გამოსახავს გრაფიკულად.

3.2.2. კამერალური ტრასირება

ადგილმდებარეობის პირობების მიხედვით კამერალურ ტრასირებას ასრულებენ ტოპოგრაფიულ რუკაზე ცდების ან მოცემული ქანობით ტრასის აგების ხერხით.

ცდების ხერხი გამოიყენება ვაკე ადგილებში „თავისუფალი სვლების“ უბნებზე. ფიქსირებულ წერტილებს შორის შეარჩევენ რუკაზე უმოკლეს ტრასას და ადგენენ მასზე გრძივ პროფილს საპროექტო ხაზის გასწვრივ. პროფილის გაანალიზებით ადგენენ სად და რომელ მხარეს შეიძლება ტრასის გადაწევა იმ ვარაუდით,

რომ ადგილის სიმაღლეები ახლოს იყოს საპროექტოსთან. ამის შემდეგ ადგენენ ტრასის გაუმჯობესებულ პროექტს.

მთიან პირობებში „დაძაბული სვლების“ უბნებზე, კამერალური ტრასირების ყველაზე გავრცელებული მეთოდია ტოპოგრაფიულ რუკაზე მოცემული მიმართულებით ზღვრულად დასაშვები ქანობის ხაზის მოძებნა ანუ „ერთ ზომაზე დაყენებული მზომით სვლა“. ტრასირების ასეთი მეთოდის დროს მოცემული მასშტაბის ($1/M$) რუკაზე, რომლის კვეთის სიმაღლეა - h , განსაზღვრავენ ტრასირების ზღვრული ქანობისათვის ($i_{ტრ.}$) ქვედებულის სიდიდეს რუკის მასშტაბით

$$L = \frac{h}{tg \mathcal{V}} = \frac{h}{i_{ტრ.}}, \quad l = \frac{h}{i_{ტრ.}} \cdot \frac{1}{M}, \quad (3.2.2.1)$$

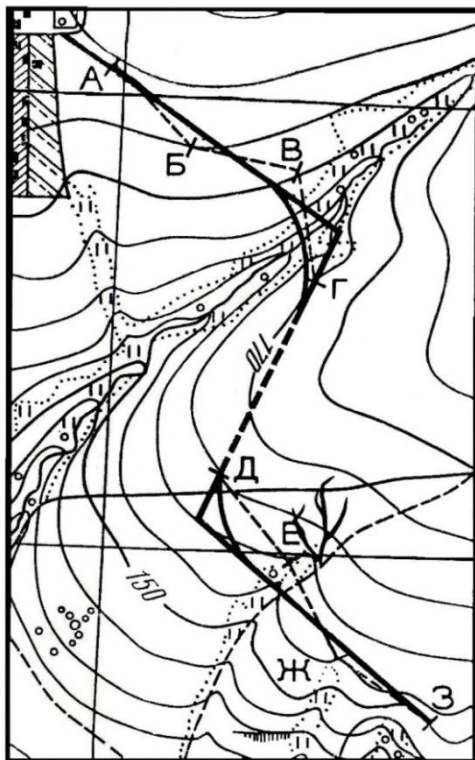
სადაც, L არის ქვედებულის სიგრძე ადგილზე;

l – ქვედებულის სიგრძე რუკაზე;

$\mathcal{V}$ – ტრასის დახრის კუთხე.

რუკაზე თუ საწყისი A წერტილიდან (ნახ.3.2.2.1), მიეყვებით ტრასის ძირითად მიმართულებას ბოლო 3 წერტილისაკენ l -ის ტოლი მზომის ბიჯით, გადაკვეთთ მეზობელ ჰორიზონტალს და ა.შ. ხეობების გადაკვეთისას მეზობელ ჰორიზონტალზე არ დავეშვებით, არამედ გადავალთ ხეობის მეორე მხარეს იმავე ნიშნულის მქონე ჰორიზონტალზე. ასევე იქცევით მდინარის გადაკვეთის დროსაც, რადგან დასაპროექტებელი ხიდი უნდა განლაგდეს დინების მართობულად. ადგილებში, სადაც ჰორიზონტალებს შორის მანძილი მეტია მზომის ბიჯზე ანუ ზღვრული ქანობით გამოთვლილ ქვედებულზე, წერტილებს ირჩევენ თავისუფლად, საჭირო მიმართულებით. ამ გზით ლეულობენ რუკაზე თანაბარი ქანობის ხაზს ანუ ნულოვანი სამუშაოების ხაზს. რადგან ასეთი ხაზი ძალზე კლაკნილი გამოდის გეგმაზე, ამიტომ მას შეასწორებენ, თუ საჭირო გახდება, ჩაწერენ მრუდებს. ჰორიზონტალების მიხედვით განსაზღვრავენ პიკეტების

ნიშნულებს A Б В ... Ж З ტრასაზე (ნახ.3.2.2.1) და შეადგენენ გრძივ პროფილს.



ნახ. 3.2.2.1

(3.2.2.1) ფორმულიდან შეიძლება გამოვიყვანოთ ტრასის ქანობის დასაშვები ცდომილების სიდიდე

$$i_{\text{ტრ.}} = \frac{h}{l} .$$

ცვლადი სიდიდეებით გადიფერენციალებით ცდომილებათა თეორიის თანახმად, მივიღებთ

$$\left(\frac{m_{i_{\text{ტრ.}}}}{i_{\text{ტრ.}}} \right)^2 = \left(\frac{m_h}{h} \right)^2 + \left(\frac{m_l}{l} \right)^2 .$$

ამ ფორმულაში მეორე შესაკრები შეგვიძლია უგულებელვყოთ და მივიღებთ

$$m_{i_{ტრ.}} = \frac{m_h}{h} i_{ტრ.} . \quad (3.2.2.2)$$

m_h/h შეგვიძლია მივიღოთ $1/5$ -ის ტოლი, მაშინ

$$m_{i_{ტრ.}} = \frac{1}{5} i_{ტრ.} ,$$

ე.ი. მოცემული $i_{ტრ.}$ ქანობი ნულოვანი სამუშაოების ხაზის ცალკეულ უბნებზე დაცული იქნება $\pm \frac{i_{ტრ.}}{5}$ ანუ 20% სიზუსტით. კამერალური ტრასირება შესაძლებელია სტერეომოდელითაც, მაგრამ მან იმის გამო, რომ საკმაოდ შრომატევადია, პრაქტიკაში ფართო გავრცელება ვერ პოვა.

3.2.3. ტრასის დაპროექტების ავტომატიზებული სისტემა

ტრასის შერჩევის და დაპროექტების ავტომატიზებული სისტემა ემყარება ადგილმდებარეობის ციფრული მოდელის (აცმ) გამოყენებას ტოპოგრაფიული საფუძვლის შესაქმნელად, კომპიუტერის გამოყენებას ვარიანტების გათვლისა და დაპროექტებისათვის და გრაფიკული ამგების გამოყენებას საპროექტო დოკუმენტაციის გრაფიკული გამოსახვისათვის.

დაპროექტების ავტომატიზებული სისტემისთვის ძირითადი გამოსავალი ინფორმაციაა:

- ტრასირების ზოლის აეროფოტოაგეგმა მსხვილ მასშტაბში სამაგალითო ვარიანტებით;
- ტრასის ზოლის გეოდეზიური საფუძველი აცმ-ის შესადგენად და პროექტის ნატურაში გადასატანად;
- მსხვილმასშტაბიანი საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდროლოგიური აგეგმვა;
- გეგმის და პროფილის პარამეტრები.

ტრასის ავტომატიზებული დაპროექტების სამუშაოთა ციკლი შემდეგი სახისაა:

გამოსავალი ინფორმაცია – პარამეტრების შერჩევა – ტრასის ანგარიში კომპიუტერზე – ტრასის აგება გრაფომგებზე – ტრასის ანალიზი და შეფასება – დაზუსტება და ახალი გადაწყვეტა – გამოსავალი ინფორმაცია.

ოპტიმალური ტრასა შეირჩევა თანამიმდევრული მიახლოების მეთოდით. ტრასის შერჩევას და დაპროექტებას ახდენენ ცალკეული უბნების მიხედვით. 200-300 მ ზოლი შეირჩევა ტოპოგეგმებით ან აეროფოტომასალების მიხედვით.

ტრასის გეგმის ანალიზური ანგარიში ხდება ცალკეული უბნების მიხედვით. ყოველი მოხვევის კუთხისთვის შეირჩევა სტანდარტული შეუღლების ვარიანტები, გამოითვლება მათი პარამეტრები, შედგება ადგილის მათემატიკური მოდელი (აჰმ), რომელთა დახმარებით გამოითვლება საჭირო პარამეტრები. მიღებული ანალიზური მონაცემებით, გრაფომგებით, აიგება ტრასა. ადგილის შესწავლის საფუძველზე ირჩევენ რელიეფის ციფრულ მოდელს (რეგულარული, ნახევრად რეგულარული, სტრუქტურული) და ზედაპირის მათემატიკური აპროქსიმაციის სახეს (ხშირად, მე-2 რიგის განტოლება).

გამოსავალი წერტილების კოორდინატებით გამოთვლელ მანქანაზე გადაწყვეტენ ზედაპირის აპროქსიმაციის განტოლებას უმცირეს კვადრატთა მეთოდით, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრება წერტილების ნიშნულები ცნობილი გეგმური კოორდინატებით, როგორც გრძივ, ისე განივ პროფილებზე.

ზედაპირის აპროქსიმაციის შერჩევა და მისი პარამეტრების დადგენა არის ტრასირების ავტომატიზებული დაპროექტების სისტემის ერთ-ერთი საპასუხისმგებლო ნაწილი, რომელიც საბოლოოდ განსაზღვრავს ტრასის პროფილის შედგენის სიზუსტეს.

გრძივი პროფილების მიხედვით ადგენენ სწორი მონაკვეთების საპროექტო ქანობებს, მოხვევის რადიუსებს, ვერტიკალური მრუდების გადალუნვის კუთხეებს (ვერტიკალურ კუთხეებს),

სწორების სიგრძეებს. ავტომატურ რეჟიმში გამოითვლება წერტილების საპროექტო და მუშა ნიშნულები.

ნულოვან სამუშაოთა წერტილები განისაზღვრება, როგორც წრფეების განტოლებათა ამოხსნის შედეგები (გადაკვეთის წერტილები). წრფის განტოლება შედგება პროფილის ორი წერტილის კოორდინატებით, რომელთაც სხვადასხვანაირი მუშა ნიშნულები აქვთ.

მუშა ნიშნულების მიხედვით ხდება მიწის სამუშაოთა მოცულობის ანგარიში. ერთდროულად დაპროექტდება ხელოვნური ნაგებობანი ტრასაზე, იანგარიშება სამუშაოთა ხარჯთაღრიცხვა, ხდება ცალკეული ვარიანტების ანალიზი და შეფასება.

ავტომატიზებული სისტემით შერჩეული ოპტიმალური ტრასისთვის გამოთვლიან ანალიზურ მონაცემებს (პოლარულ კოორდინატებს) ტრასის გასწვრივ მდებარე წერტილების და მოხვევის კუთხეების წვეროების დაკვალვისათვის, გეოდეზიური საფუძვლის უახლოესი პუნქტებიდან.

3.2.4. საველე ტრასირება

კამერალური ტრასირების შედეგად ტოპოგრაფიულ რუკაზე დაპროექტებული ოპტიმალური ტრასის ნატურაში გადატანა მოიცავს შემდეგ სამუშაოებს:

- ტრასის პროექტის ნატურაში გადატანის მოსამზადებელი სამუშაოები;
- ტრასის მოხვევის კუთხეების დაკვალვა;
- ხაზოვანი გაზომვები. პიკეტაჟის დაკვალვა და საპიკეტაჟო ჟურნალის შევსება;
- წრიული და გადასასვლელი მრუდების დაკვალვა;
- ტრასის ნიველობა. რეპერების ჩასმა ტრასის გასწვრივ;
- ტრასის ადგილზე დამაგრება;

- ტრასის მიხედვით გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებზე;
- მოედნების, გადასასვლელების, გადაკვეთების აგებმვა;
- საველე მასალების დამუშავება. ტრასის გეგმის და გრძივი პროფილის შედგენა.

საველე ტრასირებას იწყებენ ადგილის გულმოდგინე რეკონოსცირებით და ტრასის სიახლოვეს არსებული გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტების გამოვლენით. კამერალურ პირობებში დამუშავებული ტრასის პროექტი გადაიტანება ნატურაში მოხვევის კუთხეების წვეროების, გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებთან მიხედვით. გამოიკვლევენ ორ მეზობელ მოხვევის კუთხეს შორის მიმართულებას, არის თუ არა მათ შორის პირდაპირი მხედველობა. თუ პირდაპირი მხედველობა მათ შორის არ არის, მაშინ ეს მიმართულება შეიძლება განისაზღვროს ერთ-ერთი ხერხით ქვემოთ ჩამოთვლილთაგან:

1) თუ ახლოს არის გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტი ცნობილი კოორდინატებით, მაშინ ტრასის მიმართულებას დაადგენენ მოხვევის კუთხის წვეროდან ამ პუნქტთან შემართებული ხაზის მიმართულებიდან (მოხვევის კუთხის წვეროების კოორდინატები პროექტიდან არის ცნობილი);

2) მოხვევის კუთხის წვეროში ასტრონომიულად ან გიროთეოდოლიტით საზღვრავენ აზიმუტს რომელიმე კარგად ხილულ საგანზე. ამ მიმართულებიდან დაინიშნება ტრასა მისი დირექციული კუთხის მიხედვით;

3) ერთ-ერთ მოხვევის კუთხის წვეროში აყენებენ ლაზერულ სამიზნეს, რომლის სხივთა კონა ვერტიკალურია და რომელზეც დამზერა ხდება მეზობელი მოხვევის წვეროდან;

4) მოსაზღვრე მოხვევის წვეროებს შორის განავითარებენ პოლიგონომეტრიულ სვლას, რომლის დამაკავშირებელი გვერდიდან დაინიშნება ტრასის მიმართულება;

5) პრაქტიკაში ხშირად ტრასის მიმართულებას ადგენენ მაგნიტური აზიმუტის მიხედვით ან დამხმარე წერტილის ჩასმით და სათანადო გაზომვებით.

ტრასირებისას ჩვეულებრივ ზომავენ სვლის მარჯვენა β_i კუთხეებს. ტრასის მოხვევის კუთხეები განისაზღვრება:

$$\text{მარჯვენა მოხვევის შემთხვევაში} - \theta_{\text{პჯ}} = 180^0 - \beta_i ;$$

$$\text{მარცხენა მოხვევის შემთხვევაში} - \theta_{\text{მც}} = \beta_i - 180^0 .$$

ხაზოვანი გაზომვები ტრასირებისას სრულდება ძირითადად ორი სახის: პირველი სახის გაზომვებია – მოხვევის კუთხის წვეროებს შორის მანძილების განსაზღვრა. იგი კუთხეების გაზომვასთან ერთად სრულდება და განისაზღვრება მოხვევის წვეროების კოორდინატები. გაზომვის სიზუსტეა – $1/1000 \div 1/2000$. მეორე სახის გაზომვები ემსახურება პიკეტაჟის დაკვალვას, მრუდების და განივი პროფილის დაკვალვას.

გზების, მილსადენების, არხებისა და სხვა ტრასების მოხვევის ადგილებში ახდენენ მრუდების დაკვალვას (ძირითადად წრიული მრუდები). საგზაო ტრასაზე დიდ სიჩქარეებთან დაკავშირებით გზის სწორ უბნებს და წრიული მრუდების დასაწყისს და ბოლოს დამატებით აუღლებენ ცვლადი რადიუსის გადასასვლელი მრუდებით.

წრიული მრუდის ძირითადი ელემენტებია:

θ – მოხვევის კუთხე, განსაზღვრული ნატურაში;

R – მრუდის რადიუსი, დანიშნული ადგილის და ტრასის კატეგორიის მიხედვით;

T – ტანგენსი, მხეებების სიგრძე მოხვევის წვეროდან მრუდის თავსა და ბოლომდე;

K – მრუდის სიგრძე, მრუდის დასაწყისიდან ბოლომდე;

B – ბისექტრისა, მანძილი მოხვევის წვეროდან მრუდის შუა წერტილამდე;

D – მინაზომი, სხვაობა ტანგენსების ჯამსა და მრუდის სიგრძეს შორის.

წრიული მრუდის მთავარი წერტილებია – დასაწყისი, შუა და ბოლო წერტილები.

პიკეტაჟის დაკვალვის კონტროლისთვის გამოთვლიან მანძილებს ორ მეზობელ მოხვევის წვეროს შორის, რომელიც ტოლი უნდა იყოს მომდევნო და წინა მოხვევის წვეროების საპიკეტაჟო მნიშვნელობებს შორის სხვაობას დამატებული მინაზომი წინა მოხვევის წვეროზე

$$L = \text{PK}_{n+1} - \text{PK}_n + D_n \quad . \quad (3.2.4.1)$$

დაკვალულ ტრასას ამაგრებენ საიმედოდ, რომ შეიძლებოდეს მისი აღდგენა მშენებლობის დაწყების წინ. ჩამაგრებულ ნიშნებს უკეთებენ მარკირებას ზეთის საღებავით.

გადასასვლელ მრუდებს, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ჩასვამენ საგზაო ტრასების მრუდწირულ უბნებზე დიდი სიჩქარეებით მოძრაობისას. ასეთ უბანზე მოძრაობისას წარმოიქმნება ცენტრიდანული ძალა, რომლის მოქმედების გასანეიტრალებლად რკინიგზებზე გარე რელსს სწევენ მაღლა შიგა რელსთან შედარებით, საავტომობილო გზებზე კი აკეთებენ ვირაჟს ანუ ერთიანი დაქანების მქონე განივ პროფილს მრუდის ცენტრისკენ დახრით.

წრიული მრუდის ბოლო წერტილებს სწორ მონაკვეთებთან აუღლებენ გადასასვლელი მრუდებით, რომელთა რადიუსი იცვლება უსასრულობიდან (გადასასვლელი მრუდის დასაწყისში) წრიული მრუდის რადიუსამდე (წრიულ მრუდთან შეუღლებისას). გადასასვლელი მრუდის ჩასმისას ვირაჟი თანდათანობით იქმნება მისი დასაწყისიდან ბოლომდე, წრიული მრუდის ფარგლებში ვირაჟი უცვლელია, ხოლო მეორე გადასასვლელი მრუდის დასაწყისიდან მის ბოლომდე ვირაჟი თანდათანობით ქრება და სწორ უბანზე გადასვლისას ისევ ორმხრივი დაქანების ტრასა გვექნება.

გადასასვლელი მრუდების სახე მათემატიკურად ძალზე ახლოა რადიოიდის სპირალის ანუ კლოტიდის განტოლებასთან. მისი

სიგრძე არ აღემატება $0,15R$ (მაქსიმუმი 200 მ). წრიული მრუდის ორივე მხარეს გადასასვლელი მრუდების ჩასმისას წრიული მრუდი (K) მოკლდება თითოეული ბოლოდან გადასასვლელი მრუდის (l) ნახევრით და ასევე მცირდება მოხვევის კუთხე (θ) $2\varphi_l$ სიდიდით, სადაც

$$\varphi_l = \frac{l}{2R} . \quad (3.2.4.2)$$

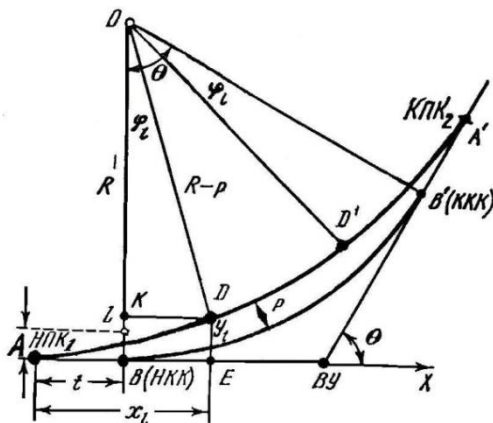
ამის გარდა, წრიული მრუდის დარჩენილი ნაწილი გადაადგილდება მრუდის ცენტრისკენ, ვინაიდან R რადიუსი შემცირდება P სიდიდით, რომელსაც წრიული მრუდის გადანაცვლება ეწოდება და ტოლია

$$P = \frac{l^2}{24R} . \quad (3.2.4.3)$$

წრიული მრუდის K სიგრძე მცირდება, მაგრამ მისი შემცირებული სიდიდე გადასასვლელი მრუდის l სიგრძეზე მეტი უნდა იყოს, ე.ი.

$$K \geq l .$$

ამ პირობის შესრულებისას, გადასასვლელი მრუდის ბოლოებს შორის მოთავსდება გადანაცვლებული წრიული მრუდი, როგორც ეს (3.2.4.1) ნახაზზეა ნაჩვენები



ნახ. 3.2.4.1.

როდესაც $\theta = 2\varphi_l$, მაშინ ერთი გადასასვლელი მრუდის ბოლო იქნება მეორე გადასასვლელი მრუდის დასაწყისი, ხოლო

წრიული მრუდი აღარ გვექნება. როდესაც $\theta < 2\varphi_l$, მაშინ გადასასვლელი მრუდები გადაფარავს ერთმანეთს და დაკვალვა შეუძლებელი გახდება. ამრიგად, დაკვალვა შესაძლებელია შემდეგი პირობით $\theta \geq 2\varphi_l$. პრაქტიკულად, $K \geq l$ ნაცვლად, ასრულებენ $K \geq l + 10$ მ მოთხოვნას.

წრიული მრუდების დაკვალვისათვის ძირითადად იყენებენ მართკუთხა და პოლარული კოორდინატების, ქორდების (გამკვეთების), წაგრძელებული ქორდებისა და სხვა ხერხებს.

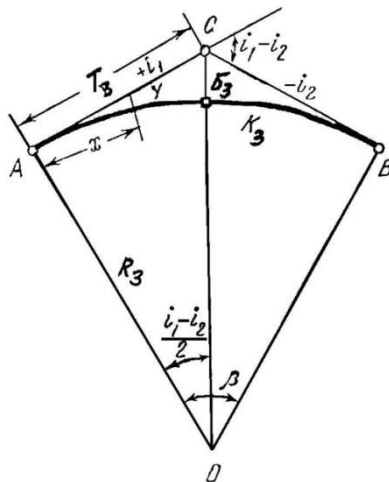
ტრასის დაპროექტებისას გრძივი პროფილის გადაღუნვის ადგილებს აუღლებენ ვერტიკალური მრუდებით. ისინი შეიძლება იყოს წრიული მრუდები ან კლოტოიდები. ვერტიკალური მრუდის სიგრძე (ნახ.3.2.4.2) ტოლია

$$K_{\mathfrak{g}\mathfrak{g}\mathfrak{g}} = R_{\mathfrak{g}\mathfrak{g}\mathfrak{g}} \beta \quad , \quad (3.2.4.4)$$

სადაც

$$\beta = \arctg (i_1 - i_2) .$$

დასაშვები საპროექტო ქანობების სიმცირის გამო, შეიძლება მივიღოთ



6sb. 3.2.4.2.

$$\beta = i_1 - i_2 \text{ .}$$

ამიტომ (3.2.4.4) ფორმულის ნაცვლად გვექნება

$$K_{\text{ვერტიკალური}} = R_{\text{ვერტიკალური}} (i_1 - i_2) . \quad (3.2.4.5)$$

ვერტიკალური მრუდის ტანგენსი ტოლია

$$T_{\text{ვერტიკალური}} = R_{\text{ვერტიკალური}} \tan \frac{\beta}{2} = R_{\text{ვერტიკალური}} \frac{i_1 - i_2}{2} . \quad (3.2.4.6)$$

ვერტიკალური მრუდის ბისექტრისა ტოლია

$$B_{\text{ვერტიკალური}} = \sqrt{T_{\text{ვერტიკალური}}^2 + R_{\text{ვერტიკალური}}^2} - R_{\text{ვერტიკალური}} ,$$

ა6

$$B_{\text{ვერტიკალური}} = \frac{T_{\text{ვერტიკალური}}^2}{2R_{\text{ვერტიკალური}}} = \frac{K_{\text{ვერტიკალური}}^2}{8R_{\text{ვერტიკალური}}} = R_{\text{ვერტიკალური}} \frac{(i_1 - i_2)^2}{8} . \quad (3.2.4.7)$$

პროფილის ნებისმიერი წერტილის მდებარეობა ვერტიკალურ მრუდზე განისაზღვრება X და Y მართკუთხა კოორდინატებით (ნახ. 3.2.4.2).

აბსცისებს გადათვლიან ყოველ 10 მ ვერტიკალური მრუდის დასაწყისიდან, ორდინატებს გამოთვლიან ფორმულით (ან აიღებენ ცხრილიდან)

$$Y = \frac{x^2}{2R} .$$

ორდინატების სიდიდეები გრძივი პროფილის საპროექტო ნიშნულებში შეაქვთ შესწორების სახით – დაამატებენ შეზნექილი მრუდის შემთხვევაში და აკლებენ გამოზნექილი მრუდის შემთხვევაში.

ვერტიკალური მრუდების ელემენტების და წერტილების კოორდინატების განსაზღვრისათვის შედგენილია სპეციალური ცხრილები, ისევე როგორც ჰორიზონტალური მრუდებისათვის.

3.2.5. ტრასის ნიველობა და აგეგმვა.

ტრასის მიბმა

ტრასაზე ნიველობას ასრულებენ მის გასწვრივ დაყენებულ მუდმივ და დროებით რეპერებზე, საპიკეტო და განივი პროფილის წერტილებზე. მუდმივ რეპერებს ამაგრებენ ყოველ 20-30 კმ-ზე, დიდ ხიდეტან, დასახლებულ პუნქტებში, სადგურების მოედნებზე და სხვა. დამატებით 2-3კმ შუალედებით ამაგრებენ დროებით რეპერებს. ნიველობას ასრულებენ ორი ნიველირით. პირველი ნიველირით გაივლიან ყველა საპიკეტო და პლუს წერტილებს, მუდმივ და დროებით რეპერებს. მეორე ნიველირით კი მხოლოდ რეპერებს, რომლებიც წერტილების დამაკავშირებელი არიან, აგრეთვე განივი პროფილის წერტილებს. კილომეტრულ პიკეტებს და რეპერებს აუცილებლად ანიველებენ ორივე ნიველირით, როგორც დამაკავშირებელ წერტილებს.

ერთმაგი ნიველობა დაიშვება მხოლოდ მოკლე ტრასებზე და ორმხრივი ლარტყებით. მთავორიან ადგილებში სჯობს ტრიგონომეტიული ნიველობის ჩატარება. ნიველობის სიზუსტე ხასიათდება შემდეგი ზღვრული შეცდომებით:

1) გამოსავალ პუნქტებს შორის ან პოლიგონის აღმატებათა შეუკვრელობამ არ უნდა გადააჭარბოს

$$f_{h_{\text{ზლ}}} = 50\sqrt{L}, \text{ კმ } , \text{ მმ } .$$

2) ორმაგი ნიველობით მიღებულ აღმატებათა ჯამებს შორის განსხვავებამ არ უნდა გადაამეტოს

$$\Delta h_{\text{ზლ}} = 50\sqrt{L} \cdot \sqrt{2} = 70\sqrt{L} , \text{ მმ } .$$

საველე ტრასირებისას ასრულებენ ტოპოგრაფიულ აგეგმვას ცალკეულ უბნებსა და მოედნებზე მსხვილი მასშტაბით (1:500 ÷ 1:2000). ვაკე ადგილებში აგეგმვას ასრულებენ განივებზე, მთავორიან ადგილებში კი იყენებენ ტაქიმეტრიულ ან მენზულურ

აგეგმვებს. დიდ ტრასებზე და სამთო რაიონებში იყენებენ სტერეოფოტოგრამმეტრიულ აგეგმვას.

მსხვილმასშტაბიანი ფოტოგეგმების არსებობისას ტრასას დაწვრილებით არ აგეგმავენ, მხოლოდ შეავსებენ ამ გეგმებზე სიტუაციას.

ტრასის მიბმა გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებზე სრულდება ტრასის თავში, ბოლოსა და განსაზღვრული შუალედებით შუაში. მიბმა სრულდება ტრიანგულაციის ან პოლიგონომეტრიის პუნქტებზე და სანიველო ქსელის რეპერებზე. მიბმის სიზუსტე არ უნდა იყოს ნაკლები ტრასის გაყვანის სიზუსტეზე. მიბმის სიხშირე კი დამოკიდებულია საფუძვლის პუნქტების ტრასიდან დაშორებაზე. მაგალითად, თუ ტრასიდან პუნქტამდე 3 კმ-ია, მიბმა უნდა მოხდეს ყოველ 25 კმ-ზე, 10 კმ-მდე დაშორებისას კი – ყოველ 50 კმ-ზე.

პოლიგონომეტრიული სვლის გრძივი და განივი ცდომილებების ტოლობის პირობებში, აუცილებელია აზიმუტი განისაზღვროს ყოველი 30-35 გვერდის შემდეგ. კუთხური შეუკვრელობა პოლიგონომეტრიულ სვლაში დაიშვება

$$f_{\beta_{\text{ზლ}}} = m_{\beta} \sqrt{n+1} ,$$

სადაც, m_{β} არის კუთხის გაზომვის სკმ;

n – ქსელში კუთხეების რაოდენობა.

ტრასის გასწვრივ შესრულებულ სანიველო სვლებს აკავშირებენ სახელმწიფო სანიველო ქსელის რეპერებთან არა უიშვიათეს ყოველი 15 კმ-ის შემდეგ.

3.2.6. ტრასირების მასალების დამუშავება

ტრასირების მასალები მუშავდება თანდათანობით – მოწმდება ჟურნალები, აწონასწორებენ სანიველო და სააგეგმო სვლებს, ანგარიშობენ კოორდინატებს და სიმაღლეებს, აღგენენ გეგმებს და პროფილებს. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს მოხვევის კუთხეების გამოთვლების სისწორეს. ზაზოვანი გაზომვები მოწმდება პიკეტაჟის დაკვალვით, ჟურნალში ამოწმებენ მრუდის ელემენტების და ბოლო წერტილების საპიკეტაჟო მნიშვნელობების გამოთვლის სისწორეს. საველე ჟურნალებსა და გამოთვლებს აწარმოებს ორი შემსრულებელი – კონტროლის მიზნით.

მრუდებისა და წრფეების უწყისში შეაქვთ ტრასის ელემენტები. წრფის სიგრძეს ანგარიშობენ, როგორც სხვაობას შემდგომი მრუდის დასაწყისის და წინა მრუდის ბოლოს საპიკეტაჟო მნიშვნელობებს შორის. მოხვევის კუთხეების წვეროებს (BY) შორის მანძილი (L) იანგარიშება, როგორც მეზობელი წვეროების საპიკეტაჟო მნიშვნელობებს შორის სხვაობას დამატებული წინა მრუდის მინაზომი

$$L = \text{PK } BY_{n+1} - \text{PK } BY_n + D_n \quad (3.2.6.1)$$

წრფეებისა და მრუდების უწყისის შედგენის სისწორის კონტროლია:

1) მრუდების ტანგენსების ჯამის გაორმაგებულ სიდიდესა და მრუდების სიგრძეთა ჯამს შორის სხვაობა უნდა უდრიდეს ტრასაზე მინაზომთა ჯამს

$$2\sum T - \sum K = \sum D \quad (3.2.6.2)$$

2) ტრასის მარჯვენა და მარცხენა კუთხეთა ჯამების სხვაობა ტოლი უნდა იყოს ტრასის ბოლო და საწყისი გვერდების დირექციული კუთხეების სხვაობისა

$$\sum \theta_{\text{მკ}} - \sum \theta_{\text{მც}} = \alpha_{\text{ბ}} - \alpha_{\text{ს}} \quad (3.2.6.3)$$

3) სწორი მონაკვეთების (P) ჯამი პლუს მრუდების (K) ჯამი უნდა უდრიდეს ტრასის სიგრძეს (S), რომელიც თავის მხრივ ტოლია ტრასის ბოლო და საწყისი წერტილების საპიკეტაჟო მნიშვნელობების სხვაობისა და ამავე დროს მოხვევის წვეროებს შორის მანძილების ჯამის და ყველა მინაზომების ჯამის სხვაობისა

$$\sum P + \sum K = \sum L - \sum D = S \quad (3.2.6.4)$$

ტრასის გეგმას ადგენენ 1:5000 ან 1:10000 მასშტაბში მოხვევის წვეროთა კოორდინატებით ან ღირეცეიული კუთხეებით და გვერდების სიგრძეებით. გეგმაზე გადააქვთ სიტუაცია, ტრასის დამაგრების ნიშნები, მრუდების საწყისი და ბოლო წერტილები, მოხვევის ადგილები, კილომეტრები. მოხვევის ადგილებში აწერენ მრუდების ელემენტებს, წრფეებზე – მათ სიგრძეებსა და აზიმუტებს.

ტრასის აგეგმილ უბანზე ადგენენ გრძივ პროფილს. პროფილზე დაიტანენ საპროექტო ხაზის მიახლოებით მდებარეობას, რომელიც შემდეგში დაზუსტდება. ყოველი სახის წრფივი ნაგებობისათვის დადგენილია პროფილის სტანდარტული სახე.

პროფილზე ნიშნულებს აწერენ სანტიმეტრობით. წერტილებს აერთებენ ტეხილით. ჰორიზონტალურ მრუდებს აჩვენებენ გამოზნეკილობით ზევით, თუ ტრასა უხვევს მარჯვნივ და პირიქით. მრუდზე აწერენ საწყისი და ბოლო წერტილების პიკეტაჟს, აგრეთვე მრუდის მთავარ ელემენტებს. ქანობებს აწერენ მეთასვლელებში (პრომილებში).

საპროექტო ნიშნულებით გამოხაზავენ საპროექტო ხაზს და ანგარიშობენ და აწერენ მუშა ნიშნულებს.

საველე ტრასირების ძირითადი საბუთებია:

- განმარტებითი ბარათი პროექტის ნატურაში გადატანის მასალებით;
- ტრასის გეგმა, გრძივი და განივი პროფილები;

- მოედნების, სადგურების და სხვათა მსხვილმასშტაბიანი გეგმები;
- მიწის სამუშაოების სქემატური გეგმები;
- ტრასის გადაკვეთის ადგილების, ხელოვნურ ნაგებობათა და სხვათა ჩამონათვალი;
- ტრასის დამაგრების, მრუდებისა და წრფეების, გაწონასწორების, კოორდინატთა გამოთვლის და სხვა უწყისები;
- რეპერების სიმაღლეების კატალოგი, ცენტრებისა და ნიშნების სქემები.

თავი 4. გეოდეზიური დაკვალვითი სამუშაოები

4.1. ნაგებობათა დაკვალვის თეორიული საფუძვლები

4.1.1. დაკვალვითი სამუშაოების პრინციპი და სიზუსტის ნორმები

ნაგებობის დაკვალვა ეწოდება გეოდეზიურ სამუშაოთა კომპლექსს პროექტის ნატურაში გადასატანად, მისი გენგეგმის და მუშა ნახაზების შესაბამისად, რაც გულისხმობს მშენებარე ნაგებობის ცალკეული დამახასიათებელი წერტილებისა და სიბრტყეების გეგმური და სასიმაღლო მდებარეობის ადგილზე განსაზღვრას.

შინაარსით დაკვალვითი და ტოპოგეგმვითი სამუშაოები ურთიერთსაპირისპიროა. თუ აგეგმვისას ადგილზე გაზომვების საფუძველზე და პირდაპირი გეოდეზიური ამოცანების მეშვეობით იანგარიშება პუნქტის მდებარეობა, შედგება გეგმა და პროფილები და ამ გაზომვების სიზუსტე დამოკიდებულია აგეგმვის მასშტაბზე, დაკვალვის დროს, პირიქით, საპროექტო გეგმის და პროფილების მიხედვით, შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანების მეშვეობით, პოულობენ ადგილზე ნაგებობის ღერძებისა და წერტილების მდებარეობას იმ სიზუსტით, რომელიც გათვალისწინებულია ნორმატული დოკუმენტებით. ამიტომ დაკვალვითი სამუშაოებისას გაზომვის ხერხები რამდენადმე განსხვავებულია, გაზომვის ხერხებისგან აგეგმვითი სამუშაოებისას, ხოლო სიზუსტე დაკვალვითი სამუშაოებისას მნიშვნელოვნად მაღალია აგეგმვითი სამუშაოების სიზუსტესთან შედარებით. მაგალითად, კუთხეებისა და მანძილების გაზომვის სიზუსტის გაზრდისთვის, მათ ზომავენ რამდენიმე ილეთით პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით და მათში შესწორებების შეტანით. ნაგებობის დაკვალვისას ადგილზე მოცემულია რომელიმე წერტილი და გამოსავალი

მიმართულება და საჭიროა ვიპოვოთ მეორე წერტილი ან მიმართულება მათგან მანძილის ან კუთხის გადაზომვით, რომელთა სიდიდეები ფიქსირებულია. ამიტომ ამ გადაზომვების მრავალგზის განმეორება სიზუსტეს ვერ გაზრდის. საჭიროა სხვა პრინციპით მიდგომა.

პროექტის ნატურაში გადატანისას გეომეტრიული საფუძველია ნაგებობის გრძივი და განივი ღერძები, რომელთა მიმართაცაა მოცემული მუშა ნახაზზე ყველა საპროექტო ზომა. მთავარი დამკველავი ღერძები მიეძღება გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებს.

წრფივ ნაგებობათა მთავარ ღერძებად გვევლინება ამ ნაგებობათა გრძივი ღერძები (კაშხლებზე, ხიდებზე, გზებზე, გვირაბებში და სხვ.), შენობა-ნაგებობებში – მათი სიმეტრიის ღერძები, ან კედლების გაბარიტული ღერძები.

მთავარი დამკველავი ღერძების გარდა ანსხვავებენ ნაგებობათა საპასუხისმგებლო ნაწილების ძირითად ღერძებს. მთავარ და ძირითად ღერძებთან აკავშირებენ დამხმარე ღერძებს.

სიბრტყეებისა და ცალკეული წერტილების სიმაღლეებს ანგარიშობენ პირობითი ზედაპირიდან (შენობებში ეს არის პირველი სართულის იატაკის დონე) ზევით პლუს ნიშნით, ქვევით – მინუს ნიშნით.

ნაგებობის დაკვალვა სრულდება სამ ეტაპად:

პირველ ეტაპზე სრულდება ძირითადი დაკვალვითი სამუშაოები. გეოდეზიური დაკვალვის პუნქტებიდან შებრუნებული ამოცანების გადაწყვეტით, ადგილზე პოლარული კოორდინატებით პოულობენ ძირითადი დამკველავი ღერძების მდებარეობას და ამაგრებენ მათ ადგილზე ნიშნებით. მთავარი ღერძებიდან ახდენენ შენობის ძირითადი ღერძების დაკვალვას და დამაგრებას.

მეორე ეტაპზე სრულდება ნაგებობის დეტალური დაკვალვა, რომელიც განსაზღვრავს ნაგებობის ელემენტების ურთიერთმდებარეობას. დეტალური დაკვალვა სრულდება მეტი სიზუსტით, ვიდრე მთავარი ღერძების დაკვალვა. თუ მთავარი

ღერძების დაკვალვა ადგილზე შეიძლება 3-5 სმ სიზუსტით, დეტალური დაკვალვა უნდა ჩატარდეს 2-3 მმ სიზუსტით და ზოგჯერ მეტიც.

მესამე ეტაპზე სრულდება ნაგებობის ტექნოლოგიური ღერძების დაკვალვა. ეს ეტაპი ყველაზე მეტ სიზუსტეს – $0,1 \div 1,0$ მმ და მეტსაც მოითხოვს.

ამგვარად, ნაგებობის დაკვალვისას დაცულია გეოდეზიური სამუშაოების ზოგადი პრინციპი: საერთოდან კერძოსკენ. თუმცა ამ სამუშაოების შესრულების სიზუსტე იზრდება პირველიდან მესამე ეტაპისკენ.

საერთოდ, ნაგებობის დაკვალვის სიზუსტე დამოკიდებულია ნაგებობის ტიპზე, დანიშნულებაზე, სამშენებლო მასალაზე, წარმოების ტექნოლოგიურ თავისებურებაზე და რეგლამენტირებულია სამშენებლო ნორმებითა და წესებით.

ნაგებობის ღერძიდან სიმეტრიული, ზღვრულად დასაშვები, გადახრა პროექტში მოცემული Δ დაშვების მიხედვით ტოლია

$$\pm \delta = \frac{\Delta}{2} .$$

0,9973 ალბათობით საშუალო კვადრატული გადახრა

$$\sigma = \frac{\delta}{3} = \frac{\Delta}{6} .$$

ზოგადად, საინჟინრო ნაგებობის აგების სიზუსტე დამოკიდებულია გეოდეზიური გაზომვების სიზუსტეზე – σ_{δ} , პროექტის ტექნოლოგიური ანგარიშის სიზუსტესა – σ_{γ} და სამშენებლო – სამონტაჟო სამუშაოების სიზუსტეზე – σ_{ϵ} . ჩამოთვლილი ფაქტორების დამოუკიდებლობის პირობებში ნაგებობის რომელიმე წერტილის თეორიულიდან გადახრის σ – სკმ-ის სიდიდე შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით

$$\sigma^2 = \sigma_{\delta}^2 + \sigma_{\gamma}^2 + \sigma_{\epsilon}^2 , \quad (4.1.1.1)$$

სადაც, σ_{δ} არის ზაზოვანი, კუთხური და სასიმაღლო განაზომთა შეცდომების ჯამური სიდიდე; σ_{γ} – დანადგარების, აგრეგატების, ხაზების პროექტების ტექნოლოგიური გათვლების ჯამური

შეცდომა; σ_k – სამშენებლო და სამონტაჟო სამუშაოების შეცდომების ჯამური გავლენა.

გადახრის დასაშვები სიდიდე მოცემულია პროექტში და ჯამურმა გავლენამ არ უნდა გადააჭარბოს მას.

გეოდეზიურ განაზომთა სიზუსტის ანგარიშისას ხშირად იყენებენ თანაბარი გავლენის პრინციპს, შეცდომის ცალკეული დამოუკიდებელი წყაროს სიდიდის გასაგებად. მაგალითად, ფუნქციაში

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2 \quad (4.1.1.2)$$

დაუშვებენ, რომ $\sigma_1 \approx \sigma_2 \approx \sigma_3 \approx \dots \approx \sigma_n$, რის შემდეგ შეცდომების თითოეული წყაროს გავლენა არ გადააჭარბებს შემდეგ სიდიდეს

$$\sigma_i = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (4.1.1.3)$$

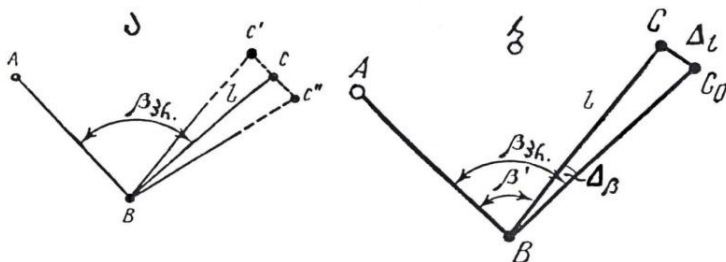
σ_i სიდიდის მიხედვით ანგარიშობენ გაზომვების სიზუსტეს, შეიმუშავენ სამუშაოს ჩატარების მეთოდიკას, შეირჩევენ ინსტრუმენტებს.

4.1.2. დაკვალვითი სამუშაოების ელემენტები

დაკვალვითი სამუშაოების ძირითადი ელემენტებია: საპროექტო კუთხის აგება, საპროექტო მანძილის გადაზომვა, საპროექტო ნიშნულის ნატურაში გადატანა, საპროექტო ქანობებით ხაზისა და სიბრტყის ადგილზე გადატანა.

საპროექტო კუთხის ადგილზე აგება. ადგილზე β საპროექტო კუთხის ასაგებად აუცილებელია მოცემული გამოსასვლელი BA გვერდიდან (ნახ. 4.1.2.1^ა) გადავზომოთ ($\beta_{კრ}$) საპროექტო კუთხე. ამისათვის თეოდოლიტს დააყენებენ B წერტილში, ჭოგრის დაუმიზნებენ A წერტილს, შეუთავსებენ ლიბისა და ალიდადის 0^0 ანათვლებს (ჩვეულებრივ, 0^0 -თან ახლოს), მიუმატებენ ამ ანათვალს საპროექტო $\beta_{კრ}$ კუთხეს, აუშვებენ ალიდადას და

ბრუნვით დააყენებენ მას საჭირო ანათვალზე. მზერის ღერძის გასწვრივობაში l საპროექტო მანძილის გადაზომვით ადგილზე აფიქსირებენ C' წერტილს (ნახ. 4.1.2.1^ა). იმავეს იმეორებენ ვერტიკალური წრედის მეორე მდებარეობაში და დანიშნავენ მეორე – C'' წერტილს. $C'C''$ მანძილს გაყოფენ შუაზე და ადგილზე დანიშნავენ C წერტილს. ABC კუთხე იქნება დაბალი სიზუსტით ადგილზე გადატანილი საპროექტო კუთხე.



ნახ. 4.1.2.1

თუ საჭიროა საპროექტო კუთხის მაღალი სიზუსტით გადატანა, მაშინ ზემოთ აღწერილი ჩვეულებრივი სიზუსტით ადგილზე გადატანილ ABC კუთხეს (ნახ. 4.1.2.1^ბ) ზომავენ რამდენიმე ილეთით, განსაზღვრავენ მის β' ზუსტ მნიშვნელობას და შეადარებენ β_{36} საპროექტო მნიშვნელობას. იღებენ საპროექტო და გაზომილ კუთხეებს შორის სხვაობას

$$\Delta\beta = \beta_{36} - \beta'.$$

და ცნობილი BC საპროექტო მანძილით, გამოითვლიან $CC_0 = \Delta l$ წრფივ შესწორებას (რედუქცია)

$$\Delta l = l \frac{\Delta\beta}{\rho}. \quad (4.1.2.1)$$

C წერტილიდან ადგილზე გადავზომავეთ Δl სიდიდეს, BC -ს მართობულად, $\Delta\beta$ -ს ნიშნის მიხედვით ერთ ან მეორე მხარეს. ამით საბოლოოდ დავაფიქსირებთ ადგილზე საპროექტო კუთხეს, შედარებით მაღალი სიზუსტით. ეს კუთხე იქნება $ABC_0 = \beta_{36}$, კონტროლისათვის მას კიდევ გაზომავენ.

საპროექტო კუთხის აგების სიზუსტე დამოკიდებულია გაზომვის შეცდომაზე (დამზერა და ანათვლის აღება ლიმბზე), ინსტრუმენტულ შეცდომასა და გარემო პირობებზე.

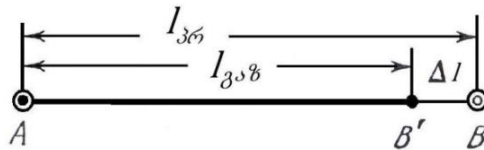
დაცენტრვის და რელუქციის და გამოსავალი მონაცემების შეცდომები (A და B პუნქტების მდებარეობათა შეცდომები), საპროექტო კუთხის აგების სიზუსტეზე გავლენას არ ახდენს, თუმცა იწვევს BC მიმართულებისა და C წერტილის მდებარეობათა გადანაცვლებას.

(4.1.2.1) ფორმულიდან გამომდინარე, ხაზოვანი რელუქციის შეცდომა ტოლი იქნება

$$m_{\Delta l} = l \frac{m_{\Delta \beta}}{\rho} . \quad (4.1.2.2)$$

მაგალითად, თუ $l = 200$ მ, $m_{\Delta \beta} = 1,5''$ მაშინ $m_{\Delta l} \approx 1,5$ მმ. ეს სიდიდე შეიძლება სახაზავით გადაიზომოს ადგილზე დამაგრებულ პალოზე.

საპროექტო მანძილის გადაზომა. საპროექტო მანძილის ადგილზე გადატანის პრინციპი იგივეა, რაც საპროექტო კუთხის აგებისა.



ნახ. 4.1.2.2

ადგილზე მოცემული A წერტილიდან მოცემული AB მიმართულებით (ნახ.4.1.2.2) გადაზომავენ და დააფიქსირებენ საპროექტო მანძილთან მიახლოებულ სიდიდეს. ამ მანძილს ზომავენ საჭირო სიზუსტით რამდენჯერმე, ყველა შესწორების გათვალისწინებით. მიღებულ $l_{გაზ}$ სიდიდეს ადარებენ $l_{პრ}$ საპროექტო მნიშვნელობას, პოულობენ $\Delta l = l_{პრ} - l_{გაზ}$ ხაზოვან შესწორებას, რომელსაც Δl ნიშნის მიხედვით გადაზომავენ B' წერტილიდან. კონტროლისათვის ზომავენ AB მანძილს.

საპროექტო მანძილის აგების სიზუსტე დამოკიდებულია მხოლოდ AB' მანძილის და Δl შესწორების გადაზომვების სიზუსტეზე.

მხედველობაში უნდა გვქონდეს, რომ საპროექტო მანძილების უშუალოდ გადაზომვისას ნატურაში, გადაზომვების შესწორებებს ხაზების გაზომვებთან შედარებით, საპირისპირო ნიშანი აქვთ. მაგალითად, ვთქვათ გვაქვს საზომი ხელსაწყო, რომლის სიგრძე გაზომვის ტემპერატურაზე, მეტია მის ნომინალურ სიგრძეზე. ორ წერტილს შორის მანძილის გაზომვისას შესწორება უნდა შევიტანოთ $+$ ნიშნით. პირიქით, თუ ხელსაწყო თავის ნომინალურ სიგრძეზე მოკლეა, მაშინ შესწორება უნდა შევიტანოთ $-$ ნიშნით.

საპროექტო მანძილების გადაზომვისას ყველაფერი საპირისპიროდ იქნება და შესწორებები შებრუნებული ნიშნით უნდა შევიტანოთ.

დახრილ ადგილებში ხაზების გაზომვისას, შესწორება დახრილობისათვის უნდა შევიტანოთ მინუს ნიშნით, რადგან დახრილი ყოველთვის მეტია ჰორიზონტალურ ხაზზე. მანძილების გადაზომვებისას გვექნება შებრუნებული მოვლენა, რადგან გადასაზომი მანძილი ჰორიზონტალური ქვედებულია და ხშირად გადაზომა გვიწევს დახრილ ზედაპირზე, ამიტომ ჰორიზონტალურიდან დახრილზე გადასვლის დროს ხაზის სიგრძე მატულობს. ამრიგად, დახრილობისთვის შესწორება უნდა შევიტანოთ პლუს ნიშნით.

საპროექტო ნიშნულის ნატურაში გადატანა. საპროექტო სიმაღლეები ადგილზე გადააქვთ უახლოესი რეპერებიდან ინსტრუმენტის ჰორიზონტის გამოყენებით. ნიველირს დავაყენებთ რეპერსა და გადასატან წერტილს შორის შუაში (ნახ. 4.1.2.3) და განვსაზღვრავთ ინსტრუმენტის ჰორიზონტს

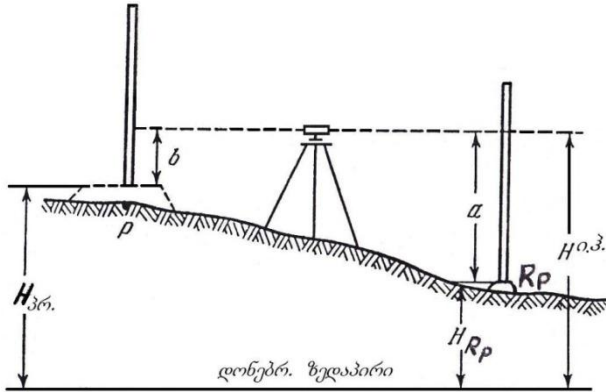
$$H^{0.3} = H_{Rp} + a .$$

P საპროექტო წერტილის ადგილზე დაყენებისთვის საჭიროა ვიცოდეთ b ანათვალ ლარტყაზე. ნახაზიდან

$$H_{Rp} + a = H_{პრ} + b ,$$

საიდანაც

$$b = H_{Rp} + a - H_{პრ} = H^{o.პ.} - H_{პრ} . \quad (4.1.2.3)$$



ნახ. 4.1.2.3

გამოვთვლით (4.1.2.3) ფორმულით b ანათვალის სიდიდეს, P წერტილში ლარტყას დაყენებთ იმ სიმაღლეზე, რომ მასზე ანათვალ იყოს b . ამისათვის შეიძლება მოგვიწიოს ლარტყის აწევა ან დაწევა და ძირის დაფიქსირება.

კონტროლის მიზნით ადგილზე დატანილ P წერტილზე ნიველობით განსაზღვრავენ მის ფაქტობრივ სიმაღლეს და შეადარებენ საპროექტოს.

საპროექტო ნიშნულის ადგილზე გადატანისას ძირითადი შეცდომებია:

- საწყისი მონაცემების შეცდომები;
- რეპერზე დაყენებულ ლარტყაზე a ანათვალის m_a შეცდომა;
- ლარტყის b საპროექტო ანათვალზე დაყენების m_b შეცდომა;
- საპროექტო წერტილის ნატურაში დაფიქსირების $m_{ფ}$ შეცდომა.

საერთო ჯამში გვაქვს

$$m_{\text{პრ}}^2 = m_{R_p}^2 + m_a^2 + m_b^2 + m_{\text{ფ}}^2 . \quad (4.1.2.4)$$

წერტილის საპროექტო ნიშნული ადგილზე შეიძლება გადატანილ იქნეს გამოთვლილი აღმატების სიდიდითაც

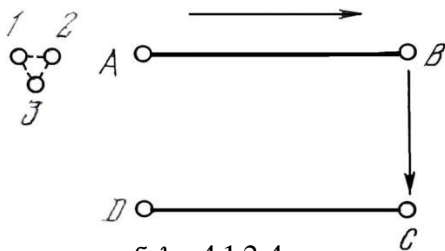
$$h_{\text{პრ}} = H_{\text{პრ}} - H_{R_p} , \quad (4.1.2.5)$$

მაგრამ იგი შედარებით შრომატევადია და იშვიათად მიმართავენ.

საპროექტო ქანობის მქონე ხაზის და სიბრტყის ნატურაში გადატანა. საპროექტო ქანობის ადგილზე გადასატანად იყენებენ როგორც ნიველირს, ისე თეოდოლიტს. განსაკუთრებით ეფექტური ამ მიზნით ლაზერული ხელსაწყოებია.

ნიველირს ადგილზე ისე ამაგრებენ, რომ მისი ორი ამწევი ხრახნი AB ხაზის გასწვრივობაში იყოს (ნახ. 4.1.2.4). A და B წერტილებში მახლობელი რეპერებიდან გადააქვთ მოცემული AB მანძილით და გრძივი ქანობით გამოთვლილი საპროექტო ნიშნულები. ნიველირს ორი ხრახნის მოძრაობით და მიახლოების ხერხით ისე დავხრით, რომ A და B წერტილებზე დაყენებულ ლარტყებზე მივიღოთ ერთნაირი ანათვლები. ამით ნიველირის მზერის სხივს ვაყენებთ საპროექტო ქანობის (AB მიმართულებით) პარალელურად. ლარტყის

შეტანით AB გასწვრივობაში და მასზე იმავე ანათვალთა დაფიქსირებით, AB ხაზი გადატანილი იქნება მოცემული საპროექტო ქანობით.



ნახ. 4.1.2.4

ანალოგიურად გადააქვთ

ნატურაში საპროექტო სიბრტყე, რომელსაც ექნება როგორც გრძივი ქანობი AB მიმართულებით, ისე განივი ქანობი BC მიმართულებით. ამ დროს მოქმედებენ სამი ამწევი ხრახნით და თანდათანობითი მიახლოებით აღწევენ იმას, რომ A, B, C და D (ნახ.4.1.2.4) წერტილებზე დაყენებულ ლარტყებზე ანათვლები ერთნაირი იყოს. შემდეგ ნებისმიერ წერტილზე

ლარტყას ისე დავაყენებთ, რომ მასზე ანათვალთ იგივე იყოს. ლარტყის ქუსლი ფიქსირდება ადგილზე. ამ სამუშაოს შესრულება უძვობესია თეოდოლითით, რომლის გამოყენებისას მას აყენებენ რომელიმე საწყის წერტილში და მის მიმართ ზომავენ ინსტრუმენტის სიმაღლეს. ნულადგილის გათვალისწინებით კერტიკალურ წრედზე აყენებენ საპროექტო ქანობის შესაბამის დახრის კუთხის ანათვალს. თუ სარზე აღვნიშნავთ ინსტრუმენტის სიმაღლეს, სარის ძირს კი დავაფიქსირებთ, მივიღებთ საპროექტო ქანობის მქონე ზედაპირს.

4.1.3. ძირითადი ღერძების დაკვალვის ხერხები

ძირითადი ღერძების დაკვალვა ნაგებობის ტიპის, გაზომვების პირობების და დაკვალვის მოთხოვნილი სიზუსტისგან გამომდინარე, შეიძლება შესრულდეს სხვადასხვა ხერხით: პოლარული ან მართკუთხა კოორდინატების ხერხით, კუთხური, ხაზოვანი ან გასწვრივობაში გადაკვეთებით, შეკრული პოლიგონის, ჩაკეტილი სამკუთხედისა და სხვა ხერხებით.

პროექტის ნატურაში გადატანის სიზუსტე შეიძლება გამოვსახოთ ფორმულით

$$m^2 = m_{ლაკ}^2 + m_{ფიქ}^2 + m_{გამ}^2, \quad (4.1.3.1)$$

სადაც, $m_{ლაკ}$ არის უშუალოდ დაკვალვითი სამუშაოების შეცდომა;

$m_{ფიქ}$ – გადატანილი წერტილის ადგილზე დაფიქსირების შეცდომა;

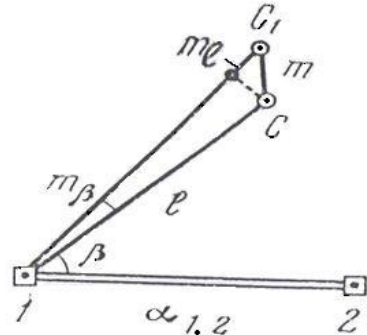
$m_{გამ}$ – საწყისი ანუ გამოსავალი მონაცემების გავლენის შეცდომა.

დაკვალვითი სამუშაოების შეცდომის სიდიდე დამოკიდებულია ნაგებობის დაკვალვის გეომეტრიაზე, მისი აგების ხერხზე და შეიძლება გამოვთვალოთ გეოდეზიაში ცნობილი ფორმულებით.

ფიქსირების შეცდომა დამოკიდებულია წერტილის ადგილზე დაპროექციების ხერხზე და მცირეა ოპტიკური დაცენტრვის გამოყენებისას.

გამოსავალი მონაცემების შეცდომის გავლენა დაკვალვის სიზუსტეზე რთული საკითხია და ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში სპეციალურ გამოკვლევას საჭიროებს.

პოლარული კოორდინატების ხერხი. ამ ხერხს ხშირად იყენებენ პოლიგონომეტრიისა და სამშენებლო ბადის პუნქტებიდან დაკვალვის დროს. ადგილზე ნაგებობის C წერტილი (ნახ.4.1.3.1) განისაზღვრება



ნახ. 4.1.3.1

საპროექტო β კუთხის აგებით და ამ მიმართულებაზე საპროექტო l მანძილის გადაზომვით, რომელთა სიდიდეებს პოულობენ პოლიგონომეტრიის პუნქტის და საპროექტო წერტილის კოორდინატებით, შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნით.

$$\left. \begin{aligned} tg\alpha_{1,c} &= \frac{y_c - y_1}{x_c - x_1}; \\ l &= \frac{y_c - y_1}{\sin\alpha_{1,c}} = \frac{x_c - x_1}{\cos\alpha_{1,c}}; \\ \beta &= \alpha_{1,2} - \alpha_{1,c} . \end{aligned} \right\} \quad (4.1.3.2)$$

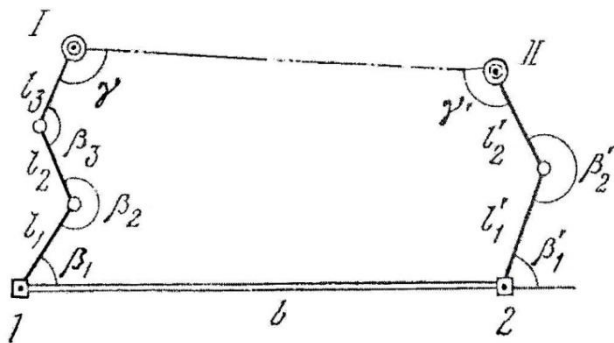
კონტროლის მიზნით, C წერტილში ზომავენ კუთხეს 1 და 2 პუნქტებზე დამხერით და ადარებენ მის გამოთვლილ მნიშვნელობას.

C წერტილის ადგილზე დაკვალვის სიზუსტეზე გამოსავალი პუნქტების მიმართ ძირითადად გავლენას ახდენენ β კუთხის აგების $- m_\beta$ და l მანძილის გადაზომვის $- m_l$ შეცდომები

$$m_c^2 = m_l^2 + l^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} . \quad (4.1.3.3)$$

დაცენტრვისა და რედუქციის შეცდომები საპროექტო კუთხის აგების სიზუსტეზე უშუალო გავლენას არ ახდენს, თუმცა იწვევს C წერტილის გადაადგილებას და მით მეტად, რაც მეტია β კუთხე. ამ შეცდომის შესამცირებლად ცდილობენ, რომ $\beta < 90^\circ$, ხოლო $l < b$, სადაც b 1-ელ და მე-2 პუნქტებს შორის მანძილია (ბაზისი).

საპროექტო პოლიგონის აგება. როცა დასაკვალავი წერტილი (I, II) დიდი მანძილითაა დაშორებული გამოსავალი წერტილიდან (1,2), მაშინ პოლარული მეთოდის გამოყენება მრავალგზის გვიხდება. I საპროექტო წერტილის გადასატანად პოლიგონომეტრიის 1-ლი პუნქტიდან და შესაბამისად, II საპროექტო წერტილის გადასატანად პოლიგონომეტრიის მე-2 პუნქტიდან (ნახ.4.1.3.2), მრავალგზის გვიხდება β_i კუთხეებისა და l_i მანძილების გადაზომვა.



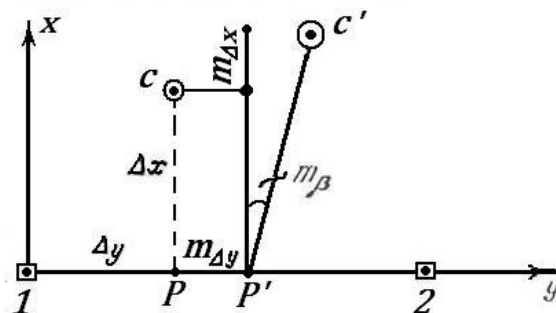
ნახ. 4.1.3.2

თუ I და II წერტილები ურთიერთხილვადია, ზომავენ γ და γ' მიმხრობის კუთხეებს, შედეგად მიიღება 1 I II 2 ჩაკეტილი პოლიგონი, რომელსაც აწონასწორებენ და გამოთვლიან I და II პუნქტების კოორდინატებს, რომელსაც ადარებენ საპროექტო კოორდინატებს და საჭიროების შემთხვევაში ახდენენ მათ რედუქციებას. I და II პუნქტების ურთიერთმდებარეობის შეცდომა ტოლი იქნება

$$m_{I,II}^2 = m_{1,I}^2 + m_{2,II}^2 + m_{1,2}^2, \quad (4.1.3.4)$$

სადაც, $m_{1,I}$ და $m_{2,II}$ – საპროექტო სვლების ბოლო წერტილების მდებარეობის შეცდომებია, რომლებიც გამოთვლილია პოლიგონომეტრიული სვლის ძვრის ცნობილი ფორმულებით; $m_{1,2}$ – 1 და 2 გამოსავალი პუნქტების ურთიერთმდებარეობის შეცდომაა.

მართკუთხა კოორდინატების ხერხი. ამ ხერხს იყენებენ მაშინ, როდესაც მოედანზე გვაქვს გეოდეზიური სამშენებლო ბადე, რომლის კოორდინატა სისტემაშია მოცემული პროექტის ყველა მთავარი წერტილის მდებარეობა.



ნახ. 4.1.3.3

გამოთვლით ბადის უახლოესი პუნქტიდან Δx და Δy (ნახ. 4.1.3.3) ნაზრდებს და გადავზომავთ მათ ბადის სათანადო გვერდზე. მიღებული p წერტილიდან ბადის გვერდის მართობულად თეოდოლითი აგებენ 90° -იან კუთხეს წრედის ორი მდებარეობით და მასზე გადაზომავენ მეორე ნაზრდს – მიღებულ C წერტილს დაამაგრებენ ადგილზე. კონტროლის მიზნით C წერტილი შეიძლება ავაგოთ ბადის სხვა პუნქტიდან.

მანძილების გადაზომვის და კუთხის აგების ცდომილებების შედეგად ადგილზე მივიღებთ P' და C' წერტილებს. ასეთი გზით დაკვალვისას სიზუსტეზე უმთავრესად მოქმედებენ გასწვრივობაში კოორდინატა ნაზრდების გადაზომვის შეცდომები ($m_{\Delta x}$ და $m_{\Delta y}$) და კუთხის აგების m_{β} შეცდომა.

თუ დაკვალვას შევასრულებთ ორდინატების ღერძიდან, გვექნება

$$m^2 = m_{\Delta y}^2 + m_{\Delta x}^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \Delta x^2, \quad (4.1.3.5)$$

ხოლო აბსცისთა ღერძიდან შესრულებისას, გვექნება

$$m^2 = m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \Delta y^2. \quad (4.1.3.6)$$

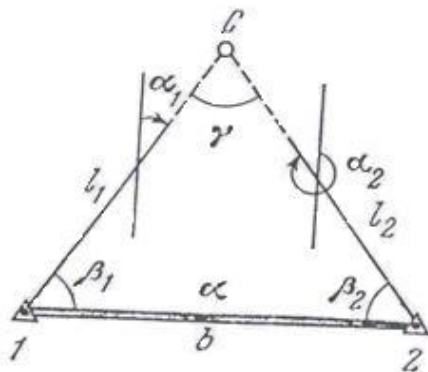
როგორც (4.1.3.5) და (4.1.3.6) ფორმულებიდან ჩანს, m დაკვალვის შეცდომის სიდიდე დამოკიდებულია იმაზე, თუ რომელი ნაზრდი გადაიზომება პირველად. შეცდომა ნაკლები იქნება იმ შემთხვევაში თუ გვერდის მართობზე გადავზომავთ უფრო მოკლე მანძილს, რადგან ამ დროს კუთხის აგების შეცდომის გავლენა იქნება მცირე.

ამის გამო, წესადაა მიღებული, რომ მართკუთხა კოორდინატების ხერხით დაკვალვისას დიდ ნაზრდს გადაზომავენ გასწვრივობაში, ხოლო მცირე ნაზრდს — მის მართობულად.

პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის ხერხი. ეს ხერხი უმთავრესად გამოიყენება ხიდეებისა და ჰიდროტექნიკური ნაგებობების დაკვალვისას.

საპროექტო C წერტილის (ნახ.4.1.3.4) მდებარეობას პოულობენ 1 და 2 პუნქტებზე ერთდროულად β_1 და β_2 კუთხეების გადაზომვის შედეგად, გადაკვეთით. 1 — 2 გვერდი გადაკვეთის ბაზისია (b). დამკვალავი β_1 და β_2 კუთხეები იანგარიშება,

როგორც გვერდების ღირექციული კუთხეების სხვაობა, ღირექციული კუთხეები კი — 1 და 2 გამოსავალი და C დასაკვალავი პუნქტების კოორდინატებით — შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნით.



ნახ. 4.1.3.4

ცნობილია, რომ

პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის სკშ ტოლია

$$m^2 = \frac{m_\beta^2 (l_1^2 + l_2^2)}{\rho^2 \sin^2 \gamma} , \quad (4.1.3.7)$$

ან, რადგან (4.1.3.4) ნახაზიდან

$$l_1 = b \frac{\sin \beta_2}{\sin \gamma} \quad \text{და} \quad l_2 = b \frac{\sin \beta_1}{\sin \gamma}$$

ამიტომ

$$m^2 = \frac{m_\beta^2 b^2}{\rho^2} \cdot \frac{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}{\sin^4 \gamma} , \quad (4.1.3.8)$$

სადაც m_β – β_1 და β_2 კუთხეების აგების შეცდომაა, რომლის სიდიდეზეც გავლენას ახდენს საკუთრივ კუთხური გაზომვები, ინსტრუმენტული და გარემო პირობების შეცდომები.

როგორც (4.1.3.7) და (4.1.3.8) ფორმულების ანალიზი აჩვენებს, გადაკვეთის ყველაზე ხელსაყრელ ფიგურად გვესახება ტოლფერდა სამკუთხედი, სადაც $\beta_1 = \beta_2$, $\gamma = 180^\circ - 2\beta$ და $l_1 = l_2$. ამ შემთხვევისათვის (4.1.3.7) ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს

$$m_{(l)} = \frac{m_\beta}{\rho} \cdot \frac{l\sqrt{2}}{\sin 2\beta} , \quad (4.1.3.9)$$

ხოლო (4.1.3.8) ფორმულა ასე გამოისახება

$$m_{(\beta)} = \frac{m_\beta b\sqrt{2}}{\rho} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin^2 2\beta} . \quad (4.1.3.10)$$

(4.1.3.9) ფორმულიდან გადაკვეთის ფარდობითი შეცდომა იქნება

$$\frac{m_{(l)}}{l} = \frac{m_\beta \sqrt{2}}{\rho \sin 2\beta} . \quad (4.1.3.11)$$

ამ ფუნქციას მინიმუმი აქვს, როცა $\frac{1}{\sin 2\beta} = 1$ ანუ როცა $\beta = 45^\circ$ და $\gamma = 90^\circ$. ამგვარად, ფარდლობითი მინიმალური შეცდომის სიდიდე ტოლი იქნება

$$\frac{m_{(l)}}{l} = \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{2} . \quad (4.1.3.12)$$

90⁰-დან გადახრისას ეს შეცდომა იზრდება $\sin \gamma$ -ს უკუპროპორციულად და $\gamma = 30^0$ და $\gamma = 150^0$ აღწევს ორმაგ სიდიდეს, ვიდრე $\gamma = 90^0$.

(4.1.3.10) ფორმულის ანალიზი მინიმუმზე განსხვავებულ შედეგს გვაძლევს.

$\frac{\sin \beta}{\sin^2 2\beta}$ ფუნქციის მინიმუმია მაშინ, როცა $\beta = 35^0 16'$ ანუ, როცა გადაკვეთის კუთხე ტოლია $\gamma = 180^0 - 2\beta = 109^0 28'$. ამ დროს შეცდომის აბსოლუტური სიდიდე (4.1.3.10) ფორმულის მიხედვით, გვექნება

$$m_{(\beta)} = \frac{m_{\beta} b}{\rho} \cdot \frac{3\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}. \quad (4.1.3.13)$$

ამ შემთხვევაში მანძილი დასაკვალავ წერტილამდე ტოლი იქნება

$$l = \frac{b}{2\cos 35^0 16'} = \frac{b\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}.$$

$m_{(\beta)}$ შეცდომის ფარდობითი სიდიდე იქნება

$$\frac{m_{(\beta)}}{l} = \frac{3}{2} \frac{m_{\beta}}{\rho}.$$

ეს სიდიდე $\sim 1,07$ -ჯერ მეტია, ვიდრე ფარდობითი შეცდომა, როცა $\gamma = 90^0$. პირიქით, აბსოლუტური შეცდომა, როცა $\gamma = 109^0 28'$ უფრო მცირე იქნება, ვიდრე მაშინ, როცა $\gamma = 90^0$.

ამრიგად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ გადაკვეთის ბაზისის (b) მოცემული სიდიდისას და დამკვალავი კუთხეების (β_i) აგების მოცემული სიზუსტისას, პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის ფარდობითი შეცდომა დამოკიდებულია დაკვალვის კუთხის სიდიდეზე და მინიმალურია, როცა $\gamma = 90^0$. ყოველგვარი გადახრა ამ კუთხის სიდიდისაგან იწვევს შეცდომის გაზრდას. პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის აბსოლუტური შეცდომა დამოკიდებულია არა მარტო γ კუთხის სიდიდეზე, არამედ l მანძილზეც და უმცირესია, როცა $\gamma = 109^0 28'$.

სახელდობრ, ამ კუთხით გადაკვეთა ყველაზე ხელსაყრელია საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების დროს, რადგანაც ყველაზე მნიშვნელოვანი სწორედ გაზომვების აბსოლუტური შეცდომებია.

ჩაკეტილი სამკუთხედის ხერხი. პირდაპირი კუთხური გადაკვეთით მიღებული დაკვალული წერტილის მდებარეობის დასაზუსტებლად იყენებენ ჩაკეტილი სამკუთხედის ხერხს. ამ ხერხის დროს ნატურაში C წერტილის (ნახ. 4.1.3.4) განსაზღვრის შემდეგ 1 და 2 გამოსავალ პუნქტებზე ზომავენ β_1 და β_2 გადაზომილი კუთხეების ზუსტ მნიშვნელობებს. შემდეგ C წერტილშიც ზომავენ γ კუთხეს.

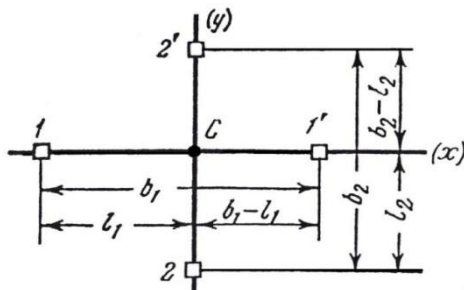
შეუკვრელობას სამკუთხედში ანაწილებენ თანაბრად და საზღვრავენ C წერტილის კოორდინატებს. იმავე C წერტილის საპროექტო კოორდინატებთან შედარების გზით პოულობენ შესწორებებს – ხაზოვანი რედუქციის სიდიდეებს და გადაადგილებენ ადგილზე C წერტილს.

4.1.4. დეტალური დაკვალვის ხერხები

ნაგებობის დეტალური დაკვალვა მთავარი და ძირითადი ღერძების დამაგრებული წერტილებიდან სრულდება, უმთავრესად გასწვრივობის და ხაზოვანი გადაკვეთის ხერხებით ან მათი კომბინაციით.

გასწვრივობის ხერხი. ამ ხერხის გამოყენებისას ადგილზე წერტილის მდებარეობა განისაზღვრება ორი გასწვრივობის გადაკვეთით, რომლებიც ნაგებობის მოპირდაპირე მხარეებზეა დამაგრებული. გასწვრივობები იქმნება მზერის სხივებით ან მავთულებით (ნახ. 4.1.4.1)

ეს ხერხი უმთავრესად გამოიყენება სამრეწველო და სამოქალაქო ნაგებობათა დაკვალვისას, სადაც გასწვრივობები სამშენებლო ღერძების პარალელურია და გადაიკვეთება მართი კუთხით.



ნახ. 4.1.4.1

გასწვრივობითი გადაკვეთის m სიზუსტე დამოკიდებულია თვით გასწვრივობების აგების სიზუსტეზე ($1 - 1'$ და $2 - 2'$), გამოსავალი მონაცემების შეცდომებზე ($m_{გა.მ}$), აგრეთვე ადგილზე ნაპოვნი წერტილის (C) ფიქსირების შეცდომაზე ($m_{ფ}$)

$$m^2 = m_{1,2}^2 + m_{გა.მ}^2 + m_{ფ}^2 . \quad (4.1.4.1)$$

(4.1.4.1) ფორმულაში შემავალი პირველი წევრი – გასწვრივობების აგების შეცდომა – $m_{1,2}$ – დამოკიდებულია თეოდოლიტის დაცენტრვის ($m_{ც}$), სამიზნის რედუქციის ($m_{რ}$), დამზერის ($m_{დ}$), ჭოგრის ფოკუსირების ($m_{ფოკ}$), გარემო პირობების ($m_{გ.პ.}$) შეცდომებზე და შეგვიძლია დავწეროთ

$$m_{1,2}^2 = m_{ც}^2 + m_{რ}^2 + m_{დ}^2 + m_{ფოკ}^2 + m_{გ.პ.}^2 . \quad (4.1.4.2)$$

ხელსაწყოს დაცენტრვის შეცდომა ტოლია

$$m_{ც} = \frac{m_e}{\sqrt{2}} \left(1 - \frac{l}{b} \right) , \quad (4.1.4.3)$$

სადაც, e დაცენტრვის ხაზოვანი შეცდომაა;

l და b სიდიდეები (4.1.4.1) ნახაზზეა ნაჩვენები.

ნიშნის რედუქციისგან გამოწვეული შეცდომის სიდიდე ტოლია

$$m_{\epsilon} = \frac{m_{e_1}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{l}{b} , \quad (4.1.4.4)$$

სადაც, e_1 რედუქციის ხაზოვანი ელემენტია.

დამზერის შეცდომა კუთხურ განზომილებაში ტოლია

$$m_{\delta} = \frac{\delta}{\nu} , \quad (4.1.4.5)$$

სადაც, δ მზერის კრიტიკული კუთხეა, სეკ. ($\delta \approx 15 - 20''$);

ν – ჭოგრის გამადიდებლობა.

ფოკუსირების შეცდომა – განაზომთა შეცდომების ერთ-ერთი არსებითი წყაროა. ფოკუსირების შეცვლა იწვევს კოლიმაციური შეცდომის სიდიდის შეცვლას.

პრაქტიკულად, ფოკუსირების შეცდომის გავლენის შესამცირებლად, განზომები აუცილებლად უნდა შევასრულოთ წრედის ორი მდებარეობით.

თანამედროვე მაღალი სიზუსტის კუთხმზომ ინსტრუმენტებში ფოკუსირების შეცდომა დაახლოებით დამზერის შეცდომის ტოლია, ე. ი.

$$m_{\phi} \approx m_{\delta} = \frac{\delta}{\nu} . \quad (4.1.4.6)$$

გარემო პირობებისგან გამოწვეული შეცდომებიდან ყველაზე არსებითია გვერდითი რეფრაქცია, გამოწვეული ტემპერატურული გრადიენტის გამო.

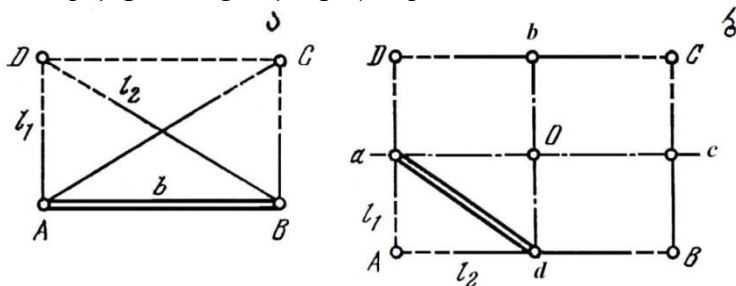
რეფრაქციის გავლენის შესამცირებლად, გასწვრივობით გადაკვეთებს ასრულებენ მრავალგზის, სხვადასხვა ტემპერატურულ პირობებში.

გამოსავალი მონაცემების შეცდომების გავლენა გასწვრივობაზე ცენტრირების და რედუქციის შეცდომის გავლენის ანალოგიურია.

ხაზოვანი გადაკვეთის ხერხი. ამ ხერხის დროს წერტილის მდებარეობა განისაზღვრება მანძილების გადაკვეთით, იმ პირობით, რომ საზომი ხელსაწყო სიგრძე გადასაზომ მანძილზე მეტი იყოს.

$ABCD$ ნაგებობის ხაზოვანი გადაკვეთის ხერხით დასაკვალავად (ნახ. 4.1.4.2^ა), რომლის $AB = b$ გვერდი

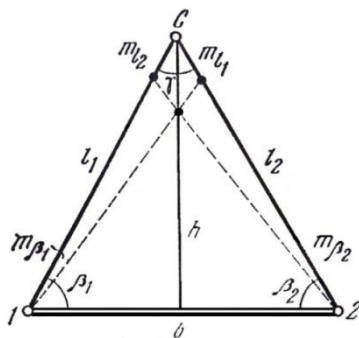
განსაზღვრულია სამშენებლო ბადის ან პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან, A წერტილიდან საზომით გადაზომავენ $AD = l_1$ მანძილს, ხოლო B წერტილიდან $-l_2 = \sqrt{l_1^2 + b^2}$ მანძილს. მათ გადაკვეთაზე დაინიშნება D წერტილი. ანალოგიურად განისაზღვრება C წერტილი. საკონტროლოდ გაზომავენ CD მანძილს, რომელიც b -ს ტოლი უნდა იყოს.



ნახ. 4.1.4.2

თუ ნაგებობა იკვალება ღერძული წერტილებიდან (a, b, c, d) (ნახ. 4.1.4.2^ბ) a და d ნიშნებზე აყენებენ მზომი ხელსაწყოს ნულოვან შტრიხებს და საპროექტო l_1 და l_2 მანძილებით ადგილზე დაინიშნავენ A წერტილს, d და c ნიშნებიდან პოულობენ B წერტილს და ა. შ.

საზოვანი გადაკვეთის სიზუსტის შეფასებისთვის ვისარგებლოთ პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის შეცდომის გაშლილი ფორმულით (4.1.3.8) და (4.1.4.3) ნახაზით.



ნახ. 4.1.4.3

$$m^2 = b^2 \frac{\sin^2 \beta_2}{\sin^4 \gamma} \left(\frac{m_{\beta_1}}{\rho} \right)^2 + b^2 \frac{\sin^2 \beta_1}{\sin^4 \gamma} \left(\frac{m_{\beta_2}}{\rho} \right)^2 . \quad (4.1.4.7)$$

გამოვსახოთ კუთხეების სინუსების ფარდობა გვერდების ფარდობით და კუთხეების შეცდომები – გვერდების სიგრძის შეცდომებით (ნახ. 4.1.4.3)

$$\frac{\sin \beta_1}{\sin \gamma} = \frac{l_2}{b} , \quad \frac{\sin \beta_2}{\sin \gamma} = \frac{l_1}{b} ,$$

და

$$\frac{m_{\beta_1}}{\rho} = \frac{m_{l_2}}{l_1} , \quad \frac{m_{\beta_2}}{\rho} = \frac{m_{l_1}}{l_2} ,$$

მაშინ გვექნება

$$m^2 = \frac{1}{\sin^2 \gamma} (m_{l_1}^2 + m_{l_2}^2) .$$

მანძილების გადაზომვის ერთნაირი სიზუსტისას

$$m_{l_1} = m_{l_2} = m_l ,$$

გვექნება

$$m = \frac{m_l \sqrt{2}}{\sin \gamma} . \quad (4.1.4.8)$$

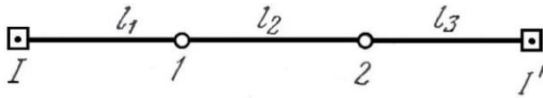
ხაზოვანი გადაკვეთისას ბაზისის მუდმივი სიგრძის დროს და ხაზოვან განაზომთა მოცემული სიზუსტისას (4.1.4.8) ფორმულას მინიმუმი აქვს $\gamma = 90^\circ$ დროს.

ამრიგად, ხაზოვანი გადაკვეთა ყველაზე ხელსაყრელია მართი კუთხის შემთხვევაში ($\gamma = 90^\circ$).

ხაზოვანი გადაკვეთის სიზუსტეზე გავლენას ახდენს უშუალოდ გაზომვის შეცდომები, აგრეთვე გამოსავალი მონაცემებისა და ფიქსირების შეცდომები.

გასწვრივ – ხაზოვანი ხერხი. ამ ხერხის დროს საპროექტო მანძილებს გადაზომავენ გასწვრივობაში, რომლითაც ღერძებია დამაგრებული.

I და I' გამოსავალი პუნქტებია (ნახ.4.1.4.4) ნაგებობის მთავარ ღერძზე. გასწვრივობას აკეთებენ მზერის სხივით. მცირე მანძილებზე მზერის სხივი შეიძლება შევცვალოთ სამონტაჟო მავთულით. მანძილებს ზომავენ ფოლადის ან ინვარის საზომი ხელსაწყოებით. დაკვალვის კონტროლს წარმოადგენს მიბმა მეორე გამოსავალ პუნქტზე.



ნახ. 4.1.4.4

ამ ხერხის შეცდომების ძირითადი წყაროებია – გასწორის აგება და მასზე საპროექტო მანძილების გადაზომვა.

4.2. დაკვალვითი სამუშაოების ტექნოლოგია

4.2.1. პროექტის გეოდეზიური მომზადება

საინჟინრო ნაგებობათა მშენებლობა კომპლექსური მიმოკვლევის საფუძველზე დამუშავებული მუშა ნახაზების საფუძველზე ხორციელდება. პროექტის ნატურაში გადატანისათვის ძირითადი დოკუმენტებია:

გენერალური გეგმა 1:500 – 1:2000 მასშტაბში, რომელშიც ტოპოგრაფიულ საფუძველზე ასახულია ყველა დასაპროექტებელი ნაგებობა, მთავარი წერტილები კოორდინატებით და დამახასიათებელი სიბრტყეების ნიშნულები. თუ ნაგებობა რთულია – გენერალურ გეგმას (გენგეგმას) შეავსებენ მთავარი და ძირითადი ღერძების დაკვალვის ნახაზით, თუ საქალაქო მშენებლობაა – განაშენიანების წითელი ხაზებით. გენგეგმაზე ასევე უნდა იყოს გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებზე მიბმის მონაცემები;

მუშა ნახაზი, რომელზეც მსხვილი მასშტაბით მოიცემა ყველა ნაგებობის გეგმა, ჭრილები, პროფილები დეტალების ზომებითა და ნიშნულებით;

ვერტიკალური დაგეგმარების პროექტი 1:1000 – 1:2000 მასშტაბით. იგი არის რელიეფის გარდაქმნის პროექტი განსაზღვრული ქანობის მქონე ზედაპირის შექმნისათვის წყლის ნაკადის მოსაცილებლად;

მიწის სამუშაოების კარტოგრამა, სადაც მოცემულია მოსაჭრელი და დასაყრელი მოცულობები და ნაჩვენებია მიწის გადაადგილების მიმართულებები;

გზების, მიწისქვეშა და საჰაერო კომუნიკაციების გეგმები და გრძივი პროფილები 1:2000 – 1:5000 ჰორიზონტალური და 1:200 – 1:500 ვერტიკალური მასშტაბებით;

გეოდეზიური საფუძვლის სქემა, ცენტრების და ნიშნების ნახაზები, კოორდინატების და ნიშნულების უწყისი;

განმარტებითი ბარათი პროექტში განხილულ ყველა გადაწყვეტილების დასაბუთებითა და საინჟინრო გაანგარიშებით.

ზემოთ ჩამოთვლილის გარდა, საჭიროა სამშენებლო და გეოდეზიური სამუშაოების წარმოების ორგანიზაციის პროექტის შესწავლა, ასევე მშენებლობის კალენდარული გეგმა, დამხმარე საწარმოებისა და ღრობითი ნაგებობების განლაგების პროექტი, ე.წ. **მშენგენგეგმა**.

საინჟინრო ნაგებობის პროექტის ნატურაში გადატანის წინ ახდენენ მის **გეოდეზიურ მომზადებას**, რომელიც გულისხმობს:

- 1) პროექტის ანალიზურ გაანგარიშებას;
- 2) დამკვალავი ნახაზის შედგენას მთავარი ღერძების გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებზე მიბმის მონაცემებით;
- 3) გეოდეზიური სამუშაოების წარმოების პროექტის დამუშავებას.

პროექტის გეოდეზიური მომზადება დამოკიდებულია ნაგებობის დაპროექტების ხერხზე – ანალიზური, გრაფიკული ან ანალიზური თუ გრაფიკული იქნება იგი.

ანალიზური ხერხის დროს ყველა საპროექტო მონაცემს გამოითვლიან მათემატიკური გაანგარიშებით. ნაგებობის გენგეგმა ემსახურება მხოლოდ მიღებულ საპროექტო გადაწყვეტილებათა თვალსაზრისით. დაპროექტების ამ მეთოდს ძირითადად იყენებენ საწარმოთა რეკონსტრუქციისა და გაფართოებისთვის, სარკინიგზო კვანძებზე და სხვ.

გრაფიკული ხერხის დროს ნაწილი გამოსავალი მონაცემებისა აიღება ტოპოგრაფიული გეგმიდან გრაფიკული სახით (მაგ. არსებული შენობის ზომები), დანარჩენი ნაწილი განისაზღვრება ანალიზურად (მაგ. საპროექტო ნაგებობათა ზომები).

გრაფიკული მეთოდი გამოიყენება მაშინ, როცა ნაგებობის პროექტი არ არის დაკავშირებული არსებულ ნაგებობასთან. ამ დროს პროექტის გაანგარიშებას ახდენენ მისი მთავარი წერტილების გრაფიკულად აღებული კოორდინატების მიხედვით. შერჩეული გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნით პოულობენ ცალკეული ხაზების სიგრძეებს და ღირებულებებს.

პროექტის ანალიზური გაანგარიშებისას საპროექტო ზომებით და კუთხეებით გამოთვლიან ნაგებობათა ღირებულების გადაკვეთის, მშენებლობის წითელი ხაზების კოორდინატებს და პირიქით, ადგილზე გაზომვებით ან გეგმიდან მიღებული გამოსავალი კოორდინატებით პოულობენ ხაზების სიგრძეების და კუთხეების საანგარიშო სიდიდეებს.

პროექტის ანალიზური გაანგარიშებისას ტიპურ გეოდეზიურ ამოცანებად გვევლინება პირდაპირი და შერჩეული გეოდეზიური ამოცანები, ორი წრფის გადაკვეთის წერტილის განსაზღვრა, წრფისა და მრუდის გადაკვეთის წერტილის განსაზღვრა, მოცემული წრფისადმი პარალელური და მართობი წრფეების

გატარება, წრიული ნაგებობის ცენტრის კოორდინატების გამოთვლა და სხვ.

პროექტის გეოდეზიურ საფუძველზე მიბმა ეწოდება გეოდეზიური მონაცემების გაანგარიშებას, რომელთა მიხედვითაც ადგილზე დაიკვალება ნაგებობის მთავარი და ძირითადი ღერძები. გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებზე მიბმა იანგარიშება გარანტირებული კონტროლით.

რეკონსტრუქცია-გაფართოებისას მიბმის მონაცემებია ძველი ნაგებობის კონტურებიდან ან ღერძებიდან მანძილები საპროექტო ნაგებობამდე. კონტროლისთვის ერთ-ერთ მთავარ წერტილს დააკავშირებენ სამშენებლო მოედანზე არსებულ ერთ-ერთ გეოდეზიურ პუნქტთან.

ზოგი საინჟინრო ობიექტის (ხიდი, გვირაბი, კაშხალი) მთავარი ღერძის გამოსავალი წერტილები ჩაირთვება დამკველავ ქსელში, რაც ამარტივებს მთავარი ღერძის დაკვალვას.

ქალაქის ტერიტორიაზე ნაგებობის პროექტის მიბმა სრულდება წითელი ხაზის პუნქტებზე პოლარული ან მართკუთხა კოორდინატების ხერხით. წითელი ხაზების გეგმას ადგენენ პროექტის დეტალური დაგეგმარების დამუშავების დროს.

ნაგებობის გენგეგმის, ანალიზური გაანგარიშების და მიბმის პროექტის საფუძველზე ადგენენ დაკვალვის ნახაზს, რომელიც ძირითადი დოკუმენტია ნაგებობის მთავარი ღერძების ნატურაში გადატანისათვის.

ამ დოკუმენტში 1:2000 – 1:5000 ან უფრო მსხვილ მასშტაბში აჩვენებენ დაკვალვის საფუძვლის პუნქტებს, მთავარი ღერძების მდებარეობას მათი კოორდინატებით და დასაკვალავი ელემენტებით, ნაგებობის კონტურებს გვერდების სიგრძეებით და მოხვევის კუთხეებით.

გეოდეზიური სამუშაოების წარმოების პროექტი მუშავდება სამშენებლო ობიექტის გენგეგმის, მშენგენგეგმის და ცალკეული საინჟინრო ნაგებობის აშენების ტექნიკური პირობების შესწავლის

საფუძველზე. იგი სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების წარმოების საერთო პროექტის შემადგენელი ნაწილია და მჭიდროდაა დაკავშირებული მასთან.

ეს პროექტი მოწოდებულია სამშენებლო სამუშაოების და ტექნოლოგიური მოწყობილობების მონტაჟის მთელი კომპლექსის გეოდეზიური მონაცემებით დროული უზრუნველყოფისათვის.

იგი შედგება შემდეგი ძირითადი განყოფილებებისაგან:

- 1) **გეოდეზიური სამუშაოების ორგანიზაცია სამშენებლო მოედანზე** – სამუშაოების ტექნოლოგია და შესრულების კალენდარული გეგმა, გეოდეზიური სამსახურის სქემა და ფუნქციები, გეოდეზიური ინსტრუმენტებით და ხელსაწყოებით უზრუნველყოფა, გეოდეზიური სამუშაოების წარმოების ხარჯთაღრიცხვა;
- 2) **ძირითადი საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოები** – გეგმური და სასიმაღლო დაკვალვითი საფუძვლის აგების სქემა და პროგრამა და მისი სიზუსტის დასაბუთება, გაწონასწორება, ცენტრების და ნიშნების ტიპები, გეგმური და სასიმაღლო საფუძვლის პუნქტების მდგრადობის კონტროლის პერიოდულობა, განაზომთა მოთხოვნილი სიზუსტის გაანგარიშება, გაზომვების მეთოდების შერჩევა და დასაბუთება;
- 3) **გეოდეზიური დაკვალვითი სამუშაოები** – ნაგებობის მთავარი და ძირითადი ღერძების დაკვალვა; მშენებლობის ნულოვანი ციკლის გეოდეზიური მომსახურება, სამშენებლო – სამონტაჟო სამუშაოთა ეტაპების მიხედვით ნაგებობის დეტალური დაკვალვა, შესრულებითი აგებმვა;
- 4) **კონსტრუქციების და მოწყობილობების გეოდეზიური შემოწმება** – სამონტაჟო ღერძების დაკვალვა და დამაგრება, კონსტრუქციების და მოწყობილობების დაყენება და შემოწმება გეგმაში, სიმაღლეში, ვერტიკალზე,

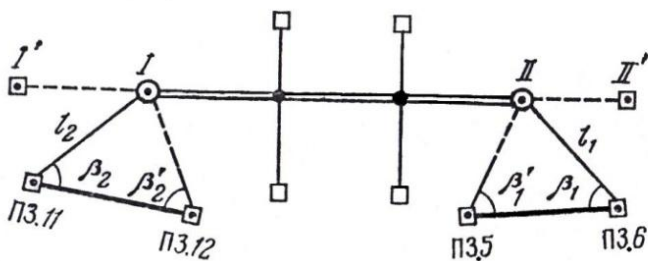
მოთხოვნები სიზუსტისადმი, ხელსაწყოები, საკონტროლო გაზომვები;

- 5) **ნაგებობის დეფორმაციებზე დაკვირვებები** – გაზომვის სიზუსტის დასაბუთება, გაზომვის მეთოდები, საჭირო გეოდეზიური საფუძველი, ნიშნების, მარკების, რეპერების განლაგების სქემა, დაკვირვებების ხანგრძლივობა და პერიოდულობა, წარსადგენი საანგარიშო დოკუმენტაცია.

4.2.2. ძირითადი დაკვალვითი სამუშაოები

მთავარი ღერძების დაკვალვას ახდენენ გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებიდან, რომელიც სპეციალურად ამ მიზნითაა აგებული, ან შექმნილია სამშენებლო მოედნის მსხვილმასშტაბიანი აგეგმვისათვის.

მთავარი ღერძების დასაკვალავად ადგენენ სქემატურ ნახაზს, რომელზეც აჩვენებენ უახლოეს საფუძვლის პუნქტებს, მთავარი ღერძების მდებარეობას სადაკვალვო ელემენტებით, ნაგებობის საპროექტო ზომებს. 4.2.2.1 ნახაზზე ნაგებობის გრძივი ღერძი I – II დაკვალულია პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან პოლარული ხერხით. I და II პუნქტებს ჩაამაგრებენ ფუნდამენტური ნიშნებით.



ნახ. 4.2.2.1

I და II მთავარი ღერძის პუნქტებიდან 20 – 30 მ-ის მოშორებით და მათ გასწვრივობაში ჩაამაგრებენ I' და II' დამატებით ნიშნებს. მიბმა ხდება (11 და 6) პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან. მიბმის კონტროლისათვის მე-12 პუნქტზე შეიძლება β_2' მიმართულების გაზომვა. ძირითადი ღერძის გასწვრივობაში დანიშნავენ წერტილებს, რომლებშიც გრძივი ღერძის მართობულად დაკვაღავენ და დაამაგრებენ განივ ძირითად ღერძებს.

მოედანზე სამშენებლო ბადის არსებობისას მასთან აკავშირებენ შენობის გაბარიტულ ღერძებს მართკუთხა კოორდინატების ხერხით.

საპროექტო მანძილების გაზომვის ფარდობითი შეცდომა, თუ ეს მანძილი არ აღემატება 100 – 200 მ – დაიშვება $1/5000$, საპროექტო კუთხეების გადაზომვისა – $20''$.

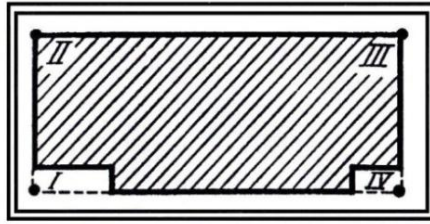
ნაგებობის მთავარი ღერძების (გრძივი და განივი) დაკვაღვის შემდეგ ინსტრუმენტით ამოწმებენ ღერძების ურთიერთმართობულობას (გადახრა დასაშვებია $30''$). ეს ერთ-ერთი მთავარი მოთხოვნაა, რადგანაც ამ ღერძების გადახრა გამოიწვევს შემდგომში ნაგებობის დანარჩენი ღერძების გადახრასაც.

ფარგსაკვაღავის დაპროექტება და აგება. ნაგებობის ღერძები დაკვაღულ უნდა იქნეს ერთმანეთის მიმართ $\pm 1 - 2$ მმ შეცდომით. ასეთი სიზუსტის უზრუნველყოფისთვის ნაგებობის პერიმეტრის გასწვრივ აგებენ სპეციალურ ხის ან ლითონის ფარგსაკვაღავს. იგი ხაზოვანი გაზომვებისა და ღერძების დამაგრებისთვის ხელშემწყობ პირობებს ქმნის.

ფარგებს აპროექტებენ გენგეგმის მიხედვით ნაგებობის ღერძების პარალელურად. გაჭიმული ფორმის ნაგებობისას, ფარგს აპროექტებენ მართკუთხედის ფორმისას (ნახ. 4.2.2.2).

ფარგი შეიძლება იყოს მთლიანი ან არამთლიანი – ბოძების სახით. სიმაღლეს იღებენ $0,5 \div 1,2$ მ. თუ ადგილი დაფერდებულია, ფარგს აგებენ საფეხურებად. მას კვაღავენ ღერძების დამაგრებული

წერტილებიდან. უფრო ხშირად არამთლიან ფარგს იყენებენ, რომელიც ხელს არ უშლის ტრანსპორტის გადაადგილებას მოედანზე და ამავე დროს ეკონომიზაცაა.



ნახ. 4.2.2.2

მთლიან ფარგს იყენებენ მაშინ, როცა დაკვალვისთვის მეტი სიზუსტეა საჭირო. ფარგსაკვალავის სახეობისგან დამოუკიდებლად, ისინი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

- 1) ფარგების გვერდები პარალელური უნდა იყოს ნაგებობის ღერძების. ძირითადი ღერძების ფარგების მიხედვით დაკვალვისას ხაზოვანი გაზომვების საშუალო კვადრატული ფარდობითი ცდომილება შეადგენს 1:25000. ასეთი სიზუსტე რომ უზრუნველყოთ, პარალელურობა დაცული უნდა იყოს არა უმეტეს $\sim 20'$ გადახრისა;
- 2) ფარგი უნდა იყოს სწორხაზოვანი. დასაშვები გადახრა, ხაზოვანი გაზომვების იმავე ფარდობითი ცდომილების გათვალისწინებით, 20 მ მანძილზე არ უნდა აღემატებოდეს ~ 6 სმ. სწორხაზოვნობას აძლევენ თეოდოლიტით.
- 3) ფარგი უნდა იყოს ჰორიზონტალური, რომ არ გვიხდებოდეს მანძილების გადაზომვის დროს დახრილობისთვის შესწორებების შეტანა. ორ წერტილს შორის სიმაღლეთა სხვაობა 6 მ მანძილზე არ უნდა აღემატებოდეს ~ 4 სმ-ს.

ამრიგად, ერთ ღონეზე დაყენებისთვის საჭიროა გამოვიყენოთ ნიველირი.

მთავარი ღერძების გამოტანა ფარგზე ქმნის ღერძულ დამკვალავ სისტემას, რომელიც შემდგომში ნაგებობის დეტალური დაკვალვის საფუძველს შეადგენს. ფარგებზე ღერძებს ნიშნავენ ხეზე ფანქრით ან ცარცით, ლითონზე კი – კაწრავენ ან აკეთებენ ჭდეებს.

ღერძების დაკვალვის დამთავრების შემდეგ, ახდენენ მანძილების საკონტროლო გაზომვებს ორ მეზობელ ღერძს შორის და ადარებენ მას საპროექტოს. სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს 1 – 3 მმ. ფარგებზე გაზომვები ტარდება კომპარირებული საზომი ხელსაწყოებით ან თანამედროვე ზუსტი მანძილმზომი ხელსაწყოებით.

ღერძის საბოლოო მდებარეობა ფარგზე ფიქსირდება ხეზე ლურსმნით და მეტალზე კერნით, თვალსაჩინოებისთვის შემოავლებენ ზეთის საღებავს და დააწერენ ნომერს. მთლიანი ფარგის დროს მნიშვნელოვან ღერძებს დამატებით ამაგრებენ გრუნტის ნიშნებით.

ღერძული დაკვალვითი საფუძვლის აგების სამუშაოების დამთავრების შემდეგ, შეადგენენ სამუშაოების ჩაბარების აქტს და შესრულებით ნახაზს, რომელზეც დაიტანენ:

- გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებს დაკვალვითი ელემენტების ჩვენებით;
- ფარგებს ღერძების მდებარეობით და მათ შორის მანძილების ჩვენებით;
- ღერძების დამაგრების ნიშნებს.

ფარგზე დაკვალული და დამაგრებული მთავარი და ძირითადი ღერძები ნაგებობის მიწისზედა ნაწილის ამოყვანასთან ერთად კარგავს თავის პრაქტიკულ მნიშვნელობას. ამიტომ სამშენებლო კონსტრუქციების მონტაჟისას დაკვალვითი სამუშაოების გაგრძელებისთვის ღერძების დამაგრების ნიშნები ფარგებიდან უნდა გადატანილ იქნას შენობის შიგნით.

ნიშნების გადატანას ახდენენ გასწვრივობის ხერხით ნულოვანი ციკლის სამუშაოების დამთავრების შემდეგ. ღერძების გადატანის სამუშაოები უნდა შესრულდეს დიდი მონდომებით და შეცდომა არ უნდა გადააჭარბოს 1 – 2 მმ-ს.

ღერძებს შენობის შიგნით ამაგრებენ უმთავრესად მეტალის ნიშნებით, რომელიც საძირკველშია ჩაბეტონებული.

4.2.3. ქვაბულის და საძირკვლის დეტალური დაკვალვა

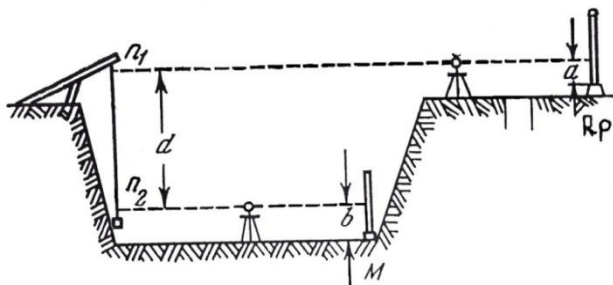
საინჟინრო ნაგებობის დეტალური დაკვალვა თანამიმდევრობით, სამშენებლო–სამონტაჟო სამუშაოების ეტაპების მიხედვით ხდება. ჯერ ახდენენ ქვაბულის დაკვალვას მიწის სამუშაოების შესასრულებლად, შემდეგ დაკვალავენ ღერძებს ფუძე-საძირკვლის ამოსაყვანად. ბოლოს ასრულებენ კონსტრუქციების და მოწყობილობათა სამონტაჟო და ნაგებობის მიწისზედა ნაწილის მშენებლობისთვის სამუშაოებს.

ქვაბულის ამოყვანის ეტაპზე გეოდეზისტის ამოცანაა სადაკვალვო ნახაზის საფუძველზე ქვაბულის კონტურის ძირითადი ღერძების გადატანა ადგილზე. ამისთვის ფარგსაკვალავზე გამოტანილ ღერძულ წერტილებზე გაჭიმავენ სამონტაჟო მავთულებს, რომელთა გადაკვეთის წერტილების დაპროექციება ხდება შვეულებით, ქვაბულის თანდათანობით ჩაღრმავებისას. გადააქვთ ქვაბულის ფსკერზე საპროექტო ნიშნული და ამოწმებენ ქვაბულის ფსკერის და ფერდების დაგეგმარებას. მიწის სამუშაოთა მოცულობის დასადგენად იყენებენ მოედნის ნიველობას.

მცირე შენობისთვის ქვაბულის დაკვალვა შესაძლებელია საძირკვლის ღერძების დაკვალვასთან ერთად.

ღრმა ქვაბულის ამოღებისას ჯერ გააქვთ გრუნტი და შემდეგ აგებენ დამატებით ფარგსაკვალავს. ამ დროს ქვაბულის კონტურები

დაიკვალება უშუალოდ ძირითადი ღერძებიდან. ქვაბულის ამოღების შემდეგ, მის ფსკერზე გადააქვთ ნიშნული უახლოესი რეპერიდან. თუ ქვაბულის ფერდობები დამრეცია, ნიშნულის გადაცემა ხდება ნიველირის დახმარებით უშუალოდ ფერდობზე მისი დაყენებით, ხოლო როცა ფერდობები ციცაბოა, ნიშნულს გადასცემენ ორი ნიველირით და საზომი ლენტით (ნახ. 4.2.3.1)



ნახ. 4.2.3.1

როგორც (4.2.3.1) ნახაზიდან ჩანს, ქვაბულის ფსკერზე M წერტილის ნიშნული ტოლი იქნება

$$H_M = H_{R_p} + a - d - b , \quad (4.2.3.1)$$

სადაც, a და b ლარტყაზე ანათვლებია;

$d = n_2 - n_1$ – საზომ ლენტზე აღებული ანათვლების სხვაობა (0-ით ზემოთ). კონტროლისთვის M წერტილზე ნიშნულს გადასცემენ სხვა რეპერიდან. ნიშნულის გადაცემის სიზუსტე 1 სმ-ია. საერთოდ, სიზუსტე განისაზღვრება ფორმულით

$$m_{H_M}^2 = H_{R_p}^2 + 2m_a^2 + m_d^2 . \quad (4.2.3.2)$$

ამ ფორმულაში მიღებულია, რომ $m_a \approx m_b$. სამუშაოს დამთავრების შემდეგ ახდენენ ქვაბულის შესრულებით აგეგმვას გრძივი და განივი ღერძებიდან. შესრულებით გეგმაზე იწერება მანძილები კონტურებზე. შუაში აწერენ საპროექტო ნიშნულს, ხოლო ფსკერის კუთხეებში აწერენ ხაზს ზევით ზედაპირის ნიშნულს, ხაზის ქვეშ კი – ფაქტობრივ ნიშნულს. საპროექტო ნიშნულიდან გადახრამ არ უნდა გადაჭარბოს 2-3 სმ-ს, საპროექტო ზომებიდან გადახრამ კი – 5 სმ-ს.

საძირკვლის გეგმური და სასიმალო დაკავალვა მშენებლობის ნულოვანი ციკლის გეოდეზიური მომსახურების ერთ-ერთი საპასუხისმგებლო ეტაპია. მისი საპროექტო მდებარეობის ზუსტ დაყენებაზე დამოკიდებული მთელი შენობის კარკასის როგორც ამოყვანის, ისე მისი შემდგომი მდგრადობა-სიმტკიცე.

გეოდეზიური სამუშაოების შედგენილობას და სიზუსტეს განსაზღვრავს საძირკვლის ტიპი – ასაკრები, ერთიანი, ლენტური თუ სხვა სახის.

მონოლითური რკინაბეტონის საძირკვლის ამოყვანისას ძირზე აყრიან ღორღს ან მოასხამენ ბეტონის ხსნარს და ამოჰყავთ საძირკვლის ფორმის ყალიბი (შეფიცვრა). მასში დებენ არმატურას და ავსებენ ბეტონით. ყალიბის ამოყვანისას სარგებლობენ ფარგსაკვალავზე დამაგრებული ღერძებით. ღერძებად იყენებენ წვრილ სამონტაჟო მავთულს. პროექტიდან დასაშვებმა გადახრებმა შეიძლება შეადგინოს $\pm 5 - 10$ მმ. მავთულებიდან შვეულების გამოყენებით წერტილები ქვევით ჩააქვთ. ყალიბზე ნიშნულები გადააქვთ ნიველირით 3-5 მმ სიზუსტით.

საძირკვლის ყალიბის აგების დროს განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ანკერული ჭანჭიკების ზუსტად პროექტის მიხედვით დატანას, რომლებზეც შემდეგ მეტალის კონსტრუქციები და მოწყობილობანი უნდა დამონტაჟდეს.

ანკერულ მოწყობილობას აყენებენ საძირკვლის ღერძებიდან. თითოეული ანკერული ჭანჭიკი დაყენებულ უნდა იქნეს საპროექტო მდგომარეობაში გრძივი და განივი ღერძებიდან, საპროექტოდან არა უმეტეს ± 5 მმ გადახრით. ამ სამუშაოს გასაადვილებლად ანკერული მოწყობილობის თითოეული ტიპობრივი ჯგუფისთვის ამზადებენ განსაკუთრებულ თარგს, რომელსაც სამონტაჟო კონდუქტორი ეწოდება. იგი შედგება ლითონის ჩარჩოსგან, რომელზეც პროექტთან ზუსტი შესაბამისობით აღნიშნულია საკოორდინატო ღერძები და გაკეთებულია ნახვრეტები ჭანჭიკების

დაყენების ადგილზე. სამონტაჟო კონდუქტორს ზოგჯერ ხისგანაც ამზადებენ.

კონდუქტორის ადგილზე დამაგრებისას მის საკოორდინატო ღერძებს ათავსებენ საძირკვლის შესაბამის ღერძებთან, ხოლო ზედაპირის ზედა ნაწილს აყენებენ საპროექტო ნიშნულის დონეზე.

რადგანაც სამონტაჟო სამუშაოების ხარისხს ძირითადად განსაზღვრავს ანკერულ მოწყობილობათა დაყენების სიზუსტე, ამიტომ საძირკვლის დაბეტონებამდე აუცილებელია ჩატარდეს ამ მოწყობილობათა დაყენების გეგმურ-სასიმაღლო შემოწმება.

საკონტროლო გაზომვებით საზღვრავენ თითოეული ჭანჭიკის ცენტრის გადახრას მისი საპროექტო მდებარეობიდან (დასაშვებია 5 მმ). რადგანაც დაბეტონებისას ვიბრატორის მოქმედების და ბეტონის ჯდომის გამო ყალიბი გადაადგილდება, ამიტომ ფაქტობრივი მდებარეობის დასადგენად შესრულებითი აგეგმვის შედეგად აღგენენ შესრულებით ნახაზს და ანკერული მოწყობილობების შესრულებითი მონაცემების უწყისს, რომლების მიხედვითაც ხდება საძირკვლის მიღება სამონტაჟო სამუშაოებისთვის.

ასაკრები საძირკვლის რკინაბეტონის ფილების ადგილზე დასაყენებლად, გულდასმით ასწორებენ ქვაბულის ძირს, ძირითადი ღერძებით ამონტაჟებენ ფილებს და მათ შორის ყოველ 15-20 მ-ზე ე.წ. „შუქურა ფილებს“. ამ ფილებზე დაყრდნობით აყენებენ დანარჩენებსაც. ერთდროულად, ფილებს ნიველირით აყენებენ საპროექტო სიმაღლეზე. დასაშვები გადახრებია გეგმაში – ± 10 მმ, სიმაღლეში – 10 მმ-მდე.

ხიმინჯებიანი საძირკვლების დაკვალებისას, ხიმინჯებს აპროექტებენ რიგებში და განალაგებენ ცალკეული ჯგუფების სახით. ხიმინჯებიანი მოედნის დაკვალებისთვის ძირითადი ღერძები გადააქვთ თეოდოლიტით ქვაბულში და ამაგრებენ დროებითი ნიშნებით. ძირითადი ღერძებიდან დაიკვალება დამხმარე ღერძები, ღერძის გასწვრივ დაჭიმავენ სამონტაჟო მავთულს და მართკუთხა

კოორდინატებით ან უშუალოდ გასწვრივობაში გადაზომვებით დაინიშნება ხიმიწვების ცენტრების მდებარეობა. ხიმიწვები ჩაესობა შვეულად (ვერტიკალიდან გადახრა – $0,01H$) საპროექტო ნიშნულამდე ნიველირის დახმარებით. შესრულებითი ავეგმვით აღგენენ პროექტიდან გადახრებს, რომელთა სიდიდემ არ უნდა გადააჭარბოს $0,15D$, სადაც D ხიმიწვის დიამეტრია (არა უმეტეს 5 სმ).

4.2.4. კომუნიკაციების დაკვალვა

სამშენებლო მოედანზე მრავალი სახის კომუნიკაციაა: მიწისქვეშა საკომუნიკაციო ქსელები, მიწისზედა მილგაყვანილობები, გზები და სხვ.

თითოეული კომუნიკაცია ნატურაში უნდა გადატანილ იქნას ზუსტად პროექტის მიხედვით. გეგმაში კომუნიკაციებს კვალავენ საშუალოდ 1:2000 ფარდობითი ცდომილებით. სიმაღლეში ყველაზე ზუსტად იკვალება თვითდინებითი მილსადენები, რომელთაც მცირე საპროექტო ქანობი აქვთ. დაწნევითი მილსადენებისთვის ქანობები ნაკლები სიზუსტით იკვალება, საკაბელო ხაზები კი საერთოდ არ ითხოვს სიმაღლეში დაკვალვას.

დასახლებულ ტერიტორიაზე, კომუნიკაციები ძირითადად, ნაგებობის ღერძების პარალელურად განლაგდება და დაიკვალება სამშენებლო ბადიდან, პოლიგონომეტრიის პუნქტიდან ან წითელი ხაზიდან.

ცალკეული კომუნიკაციის დაკვალვის ნახაზზე დააქვთ გეოდეზიური საფუძვლის უახლოესი პუნქტები და მათ მიმართ უჩვენებენ დასაკვალავი კომუნიკაციის მდებარეობას. გეოდეზიური პუნქტებიდან კვალავენ ტრასის მხოლოდ მოხვევის კუთხეებს ან საკვანძო წერტილებს კომუნიკაციის ტრასაზე ყოველ 300-500 მ. ყველა

საშუალოდ ჭებს საზღვრავენ ამ პუნქტებს შორის გასწვრივობაში სათანადო საპროექტო მანძილების გადაზომვით.

რადგან მილსადენის ტეხილობა ართულებს მილების ნორმალურ ჩაწობას, ამიტომ მილგაყვანილობას აწვებენ, შესაძლებლობის მიხედვით, მაქსიმალურად სწორხაზოვნად.

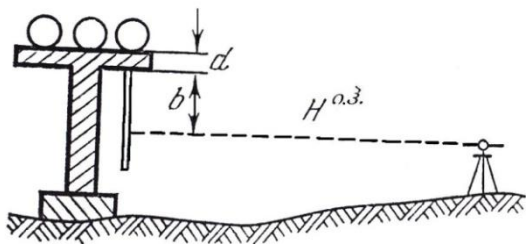
დამთავრებულ უბნებზე ახდენენ ტრასის შესრულებით აგეგმვას, ამოწმებენ მისი ღერძის დამთხვევას ტრასის პროექტთან. განსხვავება დასაშვებია $\pm 2 - 3$ სმ, იმ პირობით, რომ არ იქმნებოდეს უკუქანობი, განსაკუთრებით თვითღინებითი მილსადენებისთვის.

მიწისქვეშა მილსადენების ჩაწობისას წარმატებით იყენებენ ლაზერულ ხელსაწყოებს (ლაზერული თეოდოლიტი, ლაზერული ნიველირი, მიმართულების ლაზერული მაჩვენებელი), რომლებიც საშუალებას გვაძლევს შევქმნათ ტრასაზე მოცემული ქანობის საყრდენი ანუ რეფერენტული ხაზი, რომლის მიხედვით განსაზღვრავენ ნატურაში ტრანშეის ღერძს და სიღრმეს.

თუ მილსადენი ზედაპირულია და განლაგებულია საყრდენ ბოძებზე, მაშინ ადგილზე კვალავენ ბოძების დაყენების ადგილებს და დაყენების საპროექტო სიმაღლეებს. საყრდენებს კვალავენ იგივე ხერხით, როგორც ჭებს მიწისქვეშა კომუნიკაციების დაკვალვის დროს.

თუ მილსადენი დედამიწის ზედაპირიდან $3 - 5$ მ სიმაღლეზეა განლაგებული, მაშინ საყრდენებზე მილების ძირის ნიშნულის გასაგებად ლარტყას ქუსლით მიაბჯენენ საყრდენის ქვედა სიბრტყეს (ნახ.4.2.4.1).

ნიველირს აყენებენ რეპერსა და საყრდენს შორის და იღებენ ანათვალს ლარტყაზე.



ნახ. 4.2.4.1

საყრდენის ზედა ნაწილის ნიშნული იქნება

$$H = H^{o.3.} + b + d , \quad (4.2.4.1)$$

სადაც, $H^{o.3.}$ ინსტრუმენტის ჰორიზონტია (ტოლია რეპერის ნიშნულს დამატებული რეპერზე დაყენებულ ლარტყაზე ანათვალი);

b – ლარტყაზე ანათვალი (ლარტყის ნული ზევით);

d – საყრდენის ზედა ნაწილის სისქე.

სამუშაოს დასრულების შემდეგ ადგენენ შესრულებით ნახაზს საყრდენებს შორის მანძილების და ნიშნულების ჩვენებით.

თავი 5. სამონტაჟო სამუშაოების გეოდეზიური უზრუნველყოფა

5.1. სამონტაჟო სამუშაოების გეოდეზიური მომზადება

ფუძე-საძირკვლის მშენებლობის დამთავრების შემდეგ იწყება სამონტაჟო სამუშაოების ეტაპი – სამშენებლო კონსტრუქციების და ტექნოლოგიური მოწყობილობების დაყენება გეგმურ და სასიმაღლო საპროექტო მდებარეობაში. ამ სამუშაოების სიზუსტე რეგლამენტირებულია სამშენებლო ნორმებით და წესებით და ნაგებობის აშენების ტექნიკური პირობებით და ჩადებულია გეოდეზიური სამუშაოების წარმოების პროექტში.

სამონტაჟო სამუშაოების სკშ ხასიათდება შემდეგი სიდიდეებით:

- კონსტრუქციების (ანკერული მოწყობილობის და რკინაბეტონის ჭიქების, მეტალური და რკინაბეტონის სვეტების, კოჭების, ფერმების, რიგელების, კედლის პანელების და ფილების ღერძების) გეგმურ მდგომარეობაში დაყენების სიზუსტე – 1 – 2 მმ;
- იმავე ტიპის კონსტრუქციების სასიმაღლო მდებარეობაში დაყენების სიზუსტე – 1 – 2 მმ;
- მეტალური და რკინაბეტონის სვეტების ღერძების ვერტიკალიდან გადახრა 15 მ-მდე სიმაღლის დროს – 2-3 მმ, 15 მ-ზე მეტი სიმაღლის დროს – $0,002H$ (H - სიმაღლეა მ-ში), მაგრამ არა უმეტეს – 7 მმ;
- კედლის პანელების და ფილების ღერძების ვერტიკალიდან გადახრა – 1 მმ;
- ტექნოლოგიური ღერძების გეგმური და სასიმაღლო მდებარეობის სიზუსტე – 0,5 – 1 მმ.

სამონტაჟო სამუშაოების შესრულებას წინ უსწრებს მისი გეოდეზიური მომზადება, რაც გულისხმობს:

- საძირკვლის შესრულებით აგეგმვას და თუ საჭიროა საყრდენი სიბრტყეების დაყვანას საპროექტო დონემდე;
- ტექნოლოგიური ღერძების დაკვალვას და ადგილზე დამაგრებას, როგორც საინჟინრო ნაგებობისთვის – მაღალი სიზუსტის სამონტაჟო გეოდეზიური საფუძვლის აგებას;
- სასიმაღლო სამონტაჟო საფუძვლის განვითარებას;
- დამკველს ღერძების და საკოორდინატო ნიშნების ფიქსირებას დეტალებზე;
- საკოორდინატო ნიშნებისთვის დასაყენებელი ელემენტების გამოთვლას.

სამშენებლო სამუშაოების დამთავრების შემდეგ სრულდება საძირკვლის შესრულებითი აგეგმვა. გამოვლენილი დაუშვებელი გადახრების გასწორებას ახდენენ დაუყოვნებლივ და ამზადებენ საძირკველს სამონტაჟო სამუშაოების ჩასატარებლად.

ტექნოლოგიურ ღერძებს შეარჩევენ საძირკვლის ნახაზის გულდასმით შესწავლის შემდეგ, შეათანხმებენ მას პროექტის და მონტაჟის მთავარ ინჟინრებთან და ამაგრებენ ნატურაში, ამათუიძ ნიშნებით.

ჩამაგრებული ნიშნები ხანგრძლივი სარგებლობისთვის არის გათვალისწინებული და უნდა იყვნენ ხელუხლებელნი არა მარტო მონტაჟის დროს, არამედ ღეფორმაციებზე დაკვირვებების დროსაც. ნიშნების კონსტრუქცია საშუალებას უნდა გააძლევდეს მაღალი სიზუსტით მოვახდინოთ მათზე ინსტრუმენტების დაცენტრვა. საჭირო სიზუსტის მიხედვით ტექნოლოგიურ ღერძებს ამაგრებენ ძირეულ ქანებამდე რამდენიმე მეტრის სიღრმეზე. დამატებითი ღერძების დასამაგრებლად იყენებენ უფრო მარტივი ტიპის ნიშნებს.

მოწყობილობის გეგმაში დაყენების წინ ამოწმებენ ტექნოლოგიური ღერძების მდებარეობას, მათ მართობულობას.

სამშენებლო კონსტრუქციების და ტექნოლოგიური მოწყობილობების სიმაღლეში დაყენებისთვის საჭიროა მუშა რეპერების ხშირი ქსელი. რეპერებს აყენებენ საძირკვლებში, სვეტებზე და სხვ. მუშა რეპერების ნიშნულებს პერიოდულად ამოწმებენ მყარ სასიმაღლო პუნქტებს შორის ნიველობით.

რთული და პრეციზიული ნაგებობების მონტაჟისათვის (ელექტრონული მაჩქარებლები, რადიოტელესკოპები, მაღლივი შენობები და სხვ.) მიკროტრილატერაციის, ტრიანგულაციის ან პოლიგონომეტრიის მეთოდებით ქმნიან ზუსტ საყრდენ ქსელებს. ნაგებობის გენგეგმის მიხედვით ამ ქსელის პუნქტები განლაგდება ტექნოლოგიურ ღერძებსა ან მათ პარალელურ ხაზებზე. პუნქტები უზრუნველყოფილი უნდა იყოს მაღალი სიზუსტის იძულებითი დაცენტრვის მოწყობილობებით. ნაგებობის გეომეტრიის მიხედვით სამონტაჟო საყრდენ ქსელებს აგებენ ოთხკუთხედების, ცენტრალური, რადიალური ან წრიული სისტემების სახით.

5.2. კონსტრუქციის გეგმაში დაყენების და შემოწმების ხერხები

სამშენებლო კონსტრუქციების და ტექნოლოგიური მოწყობილობების გეგმაში დაყენებას ახდენენ ტექნოლოგიური ღერძებიდან, რომლებიც ადგილზე მაგრდება წვრილი მავთულებით (სიმებით) ან ოპტიკური ხელსაწყოებით. ამასთან დაკავშირებით, კონსტრუქციების გეგმაში დაყენებისთვის იყენებენ სიმების, სიმიან-ოპტიკურ და ოპტიკურ ხერხებს.

სიმების ხერხის დროს სამონტაჟო ტექნოლოგიური ღერძი მოცემულია $0,1 - 0,5$ მმ დიამეტრის სიმიით (მავთულით), რომელიც გაჭიმულია ღერძის ჩამაგრების ადგილებს შორის. რადგან სიმი დაჭიმვის მიუხედავად შუაში ჩაღუნულია, ამიტომ ჩამაგრების

წერტილები უნდა აიწიოს დასამონტაჟებელი დეტალების დონის ზევით. ჩალუნვის სიდიდე იანგარიშება ფორმულით

$$f = \frac{q l^2}{8F} , \quad (5.2.1)$$

სადაც, f არის ჩალუნვის სიდიდე, მ-ობით;

q – 1 მ სიმის მასა, კგ-ობით;

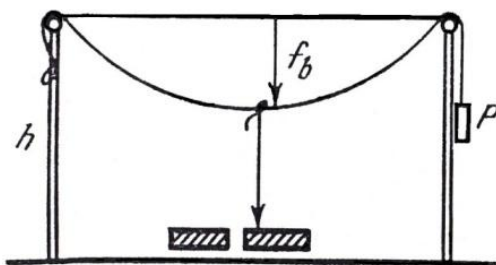
l – გასწვრივობის (ტექნოლოგიური ღერძის) სიგრძე, მ-ობით;

F – სიმის დაჭიმულობა, კგ-ობით.

მაგალითად, 0,3 მმ დიამეტრის სიმისათვის, თუ $q = 0,55 \cdot 10^{-3}$ კგ, $l = 200$ მ, $F = 9$ კგ, გვექნება $f = 0,31$ მ.

დაჭიმული სიმიდან მონტაჟი ხორციელდება ჩამოშვებული ზონარიანი შვეულების მეშვეობით (ნახ. 5.2.1)

გრძელ ხაზებზე ჩალუნვის ისრის შესამცირებლად ჭერში ამაგრებენ ზონარს, რომელზეც ზუსტად გასწვრივობაში ჩამოკიდებენ სიმს. ამ დროს შეცდომების წყაროები იქნება: სიმის არასწორად შეთავსება სამონტაჟო ღერძთან; სიმის რხევა მუშაობის პროცესში; სიმის დაპროექტება შვეულით მოწყობილობის დასაყენებლად. დახურულ შენობებში, როდესაც გასწვრივობის სიგრძე $l = 80$ მ-ს, ამ ხერხით მიიღწევა 2 მმ სიზუსტე.



ნახ. 5.2.1

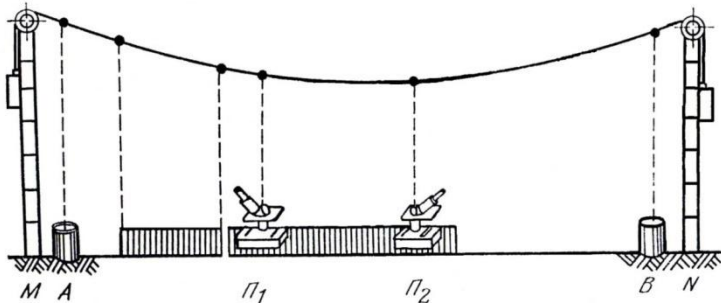
სიმს, როგორც სამონტაჟო ღერძს, რამდენიმე უპირატესობა აქვს. კერძოდ, მასზე არ მოქმედებს რეფრაქცია, ფოკუსირების ცვლილება და სხვა, მაგრამ ამ უპირატესობების უკეთ გამოყენებისთვის ზონარიანი შვეული უნდა შეიცვალოს ოპტიკური მაპროექტებელი ხელსაწყოთი.

სიმიან-ოპტიკური ხერხის დროს ტექნოლოგიური ღერძი ისევ დაჭიმული სიმიამ, ხოლო დაპროექტებისთვის გამოყენებულია ოპტიკური ხელსაწყო – მაპროექტებელი ორდინატომეტრი, მიკროსკოპი.

მაპროექტებელი ხელსაწყო უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობებს:

- ცილინდრული თარაზოების ღერძები მართობული უნდა იყოს ხელსაწყოს ბრუნვის ღერძის;
- სამიზნე ღერძის ვერტიკალური ნაწილი უნდა ემთხვეოდეს ხელსაწყოს ბრუნვის ღერძს და მდებარეობდეს ზესადგამის საკონტაქტო სიბრტყეში.

ამ პირობების შესრულების დროს სამიზნე ღერძის სიმაღლე დამზერისას ზესადგამის კონტაქტური სიბრტყე იქნება ტექნოლოგიური ღერძის გასწვრივობაში. მოწყობილობის მონტაჟისათვის სიმაღლე დაჭიმავენ სადგამებზე (M და N ბოძები) (ნახ. 5.2.2)



ნახ. 5.2.2

ჭოჭონაქების განივი გადაადგილებით აღწევენ, რომ A და B ნიშნებზე, რომლებიც ტექნოლოგიურ ღერძს ამაგრებს ადგილზე, მაპროექტებელი ხელსაწყოს ჭოგრის მხედველობის არეში სიმის გამოსახულება ზუსტად ძაფთა ბადის გადაკვეთაზე მოდიოდეს. კონტროლისათვის ხელსაწყოს აბრუნებენ 180^0 -ით და იმავეს იმეორებენ. სიმაღლე საბოლოოდ ამაგრებენ ადგილზე ჭოგრის ორი

მდებარეობის შუაში. ამ გზითვე ხდება სიმის მდებარეობის შემოწმება მუშაობის პროცესში.

დაყენებულ სიმს ლებულობენ ტექნოლოგიურ ღერძად. ამ ღერძის გასწვრივ მოწყობილობის მონტაჟისთვის, Π_1 და Π_2 მდგომარეობებში აყენებენ ოპტიკურ ცენტრირს (ნახ. 5.2.2). ბრუნვის ღერძს მიმართავენ შვეულად და ოპტიკური მიკრომეტრით საზღვრავენ, სამონტაჟო გასწვრივობიდან დასაყენებელი სექციის გადახრის სიდიდეს. შემდეგ გადაადგილებენ სექციას მასზე დაყენებულ ხელსაწყოთან ერთად მანამ, სანამ სიმის გამოსახულება არ გაივლის ძაფთა ბადის ცენტრში (ამ დროს თარაზოები გასწორებული უნდა იყოს). ერთდროულად, სექციას აყენებენ საპროექტო სიმაღლეზე.

სიმიან-ოპტიკური ხერხის ძირითადი შეცდომებია:

- ტექნოლოგიური ღერძის დამაგრება;
- ღერძის გასწვრივობაში სიმის დაყენება;
- ოპტიკური ხელსაწყოთი დაპროექტება;
- გარემო პირობების გავლენა (სიმის რხევა, სიმის განათებულობა).

სიმის რხევის მიზეზი ჰაერის მოძრაობაა. პრაქტიკაში, ამ ხერხის გამოყენებით მიღწეულ იქნა 0,08 – 0,1 მმ სკმ 400 მ სიგრძის ხაზის დროს.

ამ ხერხის გამოყენება ხშირად იზღუდება იმის გამო, რომ დამონტაჟებული აგრეგატი ფარავს ღერძებს და სიბრტყეებს და არ იძლევა მათზე სიმის დაპროექციების საშუალებას.

ოპტიკური ორდინატომეტრი შედგება სამზერი ჭოგრისგან, რომლის მზერის სხივს თარაზოს მეშვეობით ვერტიკალურად მიმართავენ.

ოპტიკური სამიზნეხლის ხერხის გამოყენებისას კონსტრუქციის დაყენება და კონტროლი ხდება სამზერი ჭოგრის და სამიზნეხლი ნიშნების მეშვეობით. ამ დროს ტექნოლოგიურ ღერძად გვევლინება მზერის ხაზი, რომელსაც იძლევა

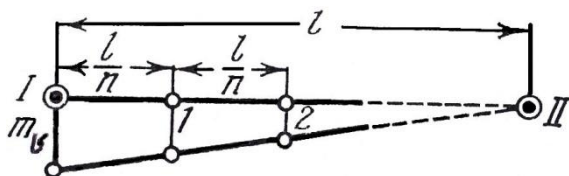
თეოდოლიტი ან ალინიომეტრი. ეს უკანასკნელი გამოირჩევა დიდი გამადიდებლობის ჭოგრით და ზუსტი თარაზოთი, აგრეთვე ნიშნებზე მაღალი სიზუსტის იძულებითი დაცენტრვის მოწყობილობით. მას არ გააჩნია ჰორიზონტალური და ვერტიკალური წრედები, მაგრამ აქვს ოკულარის ან ოპტიკური მიკრომეტრი წერტილების გასწვრივობიდან გადახრის გასაზომად. ჭოგრის შეუძლია დახრა 30^0 -მდე.

ოპტიკური გასწვრივობა შეიძლება განხორციელდეს პირდაპირი დამიზნების ან თანდათანობითი გასწვრივობის ხერხებით.

პირდაპირი დამიზნებისას ღერძის საწყის წერტილზე აყენებენ ალინიომეტრს, ბოლოში კი – სამიზნე ნიშანს. მზერის ხაზის გასწვრივობაში თანდათანობით შეაქვთ მოძრავი ნიშნები, რომლებიც აფიქსირებენ მოწყობილობის წერტილებს. რადგან დამიზნების შეცდომა ჭოგრიდან დაშორების პროპორციულად იზრდება, ამიტომ როგორც კი დააყენებენ სექციებს ხაზის პირველ ნახევარზე, ხელსაწყოს და სამიზნეს უცვლიან ადგილებს და აგრძელებენ მეორე ნახევრის მონტაჟს ხელსაწყოსკენ. ამ ხერხის შეცდომების ძირითადი წყაროებია:

- გასწვრივობის ორიენტირება;
- მოძრავი ნიშნის გასწვრივობაში შეტანა;
- ჭოგრის ფოკუსირების ცვლილება;
- გარემო პირობების გავლენა (გვერდითი რეფრაქცია).

თანდათანობითი გასწვრივობის ხერხის დროს დამაგრებულ პუნქტებს შორის მანძილი იყოფა n თანაბარ ნაწილად (20-50 მ).



ნახ. 5.2.3

I პუნქტში დაყენებულ ინსტრუმენტს უმიზნებენ II პუნქტში დაყენებულ ნიშანს (ნახ. 5.2.3) და მზერის სხივის გასწვრივობაში ამონტაჟებენ სექციებს მოძრავი ნიშნების მეშვეობით პირველ შუალედში, რომელიც ტოლია l/n . შემდეგ ინსტრუმენტი გადააქვთ 1 წერტილში, უმიზნებენ ისევ II ნიშანს და ამონტაჟებენ 1-2 წერტილებს შორის, შემდეგ ხელსაწყო გადააქვთ მე-2 წერტილში და ა. შ. კონტროლისათვის იმეორებენ ყველაფერს უკუსვლით II პუნქტიდან I პუნქტისკენ.

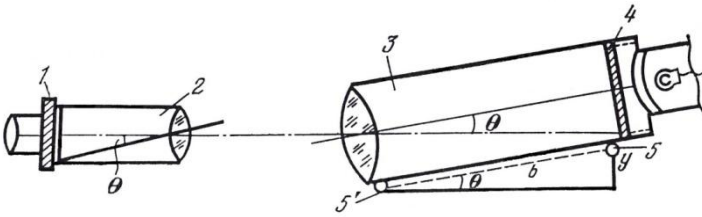
ზემოთ განხილული ხერხების გარდა, კონსტრუქციების გეგმაში მონტაჟისათვის იყენებენ აგრეთვე ე. წ. „ოპტიკურ სიმს“, რომელიც შედგება სამზერი ჭოგრის და წერტილოვანი მანათობელი ნიშნისგან, აგრეთვე მიკროტელესკოპს, რომელიც ზომავს გასწვრივობიდან გადახრებს ავტორეფლექციის პრინციპით.

ავტორეფლექციის პრინციპი დამყარებულია ბრტყელი სარკიანი ნიშნის თვისებაზე (რომელიც გასწვრივობაში გადაადგილდება), შეიცვალოს არეკლილი სხივის მიმართულება სარკის მობრუნების ორმაგ კუთხეზე.

5.3. სწორხაზოვნობის შემოწმების მაღალი სიზუსტის ხერხები

სწორხაზოვნობის შემოწმების ხერხებიდან მაღალი სიზუსტით გამოირჩევა კოლიმატორული, ავტოკოლიმატორული და დიფრაქციული ხერხები, იყენებენ აგრეთვე ინტერფერომეტრსაც. მოკლედ განვიხილოთ მათი მოქმედების პრინციპები.

კოლიმატორულ ხერხს ფართოდ იყენებენ ღერძის ერთ ხაზზე გასწორების გამოსაკვლევად. რადგან ამ ხერხის გამოყენებისას გაზომვები ტარდება პარალელურ სხივთა კონით, ამიტომ ფოკუსის შეცვლა აღარ არის საჭირო მანძილების ცვლილებისას.



ნახ. 5.3.1

კოლიმატორული სისტემა (ნახ. 5.3.1) შედგება სამზერი ჭოგრისაგან (2) ოკულარის მიკრომეტრით (1) და კოლიმატორისაგან (3), რომელიც პარალელური სხივების კონას იძლევა. კოლიმატორის დაშტრიხული ნაწილი (4) განლაგებულია მის ფოკალურ სიბრტყეში და განათებულია ნათურით. კოლიმატორის ბადის გამოსახულება მიიღება სამზერი ჭოგრის ფოკალურ სიბრტყეში, რომელიც დაფოკუსებულია უსასრულობაზე და ემთხვევა ოკულარის მიკრომეტრის ძაფთა ბადეს.

კოლიმატორის გადაადგილებისას ჭოგრის მზერის სხივის პარალელურად, სხივთა კონა არ შეიცვლის მიმართულებას და კოლიმატორის ბადის გამოსახულება დარჩება უძრავად, ხოლო კოლიმატორის θ კუთხით მობრუნების ან დახრის შემთხვევაში, იმავე კუთხით გადაიხრება სხივთა კონა ჭოგრის მზერის ღერძიდან, და გამოიწვევს დაშტრიხული ბადის სათანადოდ გადაადგილებას სამზერი ჭოგრის ფოკალურ სიბრტყეში. ამ გადაადგილების θ კუთხური სიდიდე შეიძლება გაიზომოს ოკულარის მიკრომეტრის მეშვეობით, θ -ს მეშვეობით კი შეიძლება განისაზღვროს მოცემული მიმართულებიდან წრფივი გადახრის Y სიდიდე.

კოლიმატორის საყრდენ წერტილებს (5 და 5') შორის მანძილი, რომლითაც ის კონტაქტშია შესამოწმებელ სიბრტყესთან, ხელსაწყოს b ბაზას შეადგენს. (5.3.1) ნახაზის მიხედვით შეგვიძლია დავწეროთ

$$Y = \frac{b \theta''}{\rho''} . \quad (5.3.1)$$

ოკულარის მიკრომეტრის პრინციპის თანახმად $\theta'' = \mu'' \cdot n$, სადაც μ'' – ოკულარის მიკრომეტრის დანაყოფის ფასია, n – დანაყოფების რაოდენობა. θ'' მნიშვნელობის შეტანით (5.3.1) ფორმულაში, გვექნება

$$Y = \frac{b\mu''n}{\rho''} . \quad (5.3.2)$$

ამრიგად, თუ სამზერ ჭოგრს დავაყენებთ გამოსავალ საყრდენ პუნქტზე და მის კოლიმაციურ სიბრტყეს ვაორიენტირებთ მოცემული ღერძის მიხედვით, მაშინ, შესამოწმებელი ღერძის გასწვრივ კოლიმატორის გადაადგილებისას ოკულარის მიკრომეტრით კოლიმატორის ძაფთა ბადის გადაადგილების გაზომვით ხელსაწყოს b ბაზის სიგრძით ერთმანეთისგან დაშორებულ წერტილებში, განესაზღვრავთ ღერძის გასწვრივობიდან წერტილების შეცდომების სიდიდეებს.

ცდომილებათა თეორიის თანახმად (5.3.1) ფორმულიდან მივიღებთ Y სიდიდის გაზომვის სიზუსტეს (b ბაზის სიდიდე ცნობილია საკმარისი სიზუსტით)

$$m_Y = b \frac{m_\theta}{\rho''} . \quad (5.3.3)$$

(5.3.3) ფორმულიდან გამომდინარეობს გაზომვის კოლიმატორული მეთოდის ძირითადი უპირატესობა – ღერძიდან წერტილის შეცდომების განსაზღვრის სიზუსტე პრინციპში არ არის დამოკიდებული დასაკვირვებელ წერტილებამდე მანძილებზე. თუმცა, პრაქტიკულად, დიდი დაშორებისას უარესდება დაკვირვების პირობები.

დაკვირვებებმა აჩვენა, რომ მხედველობის ხელსაყრელი პირობების დროს 400 მ მანძილზე θ კუთხის გაზომვის სკმ 3-4 ილეთიდან, შეადგენს $\sim 0,5''$, რაც $b = 200$ მმ დროს იძლევა $m_Y = 0,5$ მკმ.

კოლიმატორით შეიძლება შევამოწმოთ სიბრტყის დაყენება ვერტიკალურ მდგომარეობაშიც. ამისათვის ოკულარის მიკრომეტრი უნდა შევაბრუნოთ 90° -ით.

ავტოკოლიმატორული ხერხი. ავტოკოლიმაციურ სისტემაში სამზერი ჭოგრი შეთავსებულია კოლიმატორთან და იქმნება ერთიანი ავტოკოლიმატორული ხელსაწყო. წერტილების გასწვრივობაში შემოწმება ხდება სარკიანი ნიშნის დახმარებით. სისტემის ძაფთა ბადე განლაგებულია ობიექტივის ფოკალურ სიბრტყეში. ავტოკოლიმაციაში იგულისხმება, რომ ჭოგრიდან გამოსული სხივთა კონის ბრტყელ სარკეში არეკვლის შედეგად, გამოსახულება მიიღება ძაფთა ბადეზე. ამასთან, თუ სარკე დაყენებულია ზუსტად ავტოკოლიმატორის ღერძის მართობულად, მაშინ გამოსახულებანი დაემთხვევა ერთმანეთს.

ბრტყელი სარკის შებრუნება ან დახრა რომელიმე β კუთხით, იწვევს ავტოკოლიმაციური გამოსახულების გადახრას 2β კუთხით. სარკემდე მანძილის გაზრდით მცირდება ბადის ავტოკოლიმაციური გამოსახულების განათებულობა და ეს შესამჩნევია 30 მ-ზე მეტ მანძილზე, რაც ავტოკოლიმაციური სისტემის მთავარი ნაკლია. ამ ხერხის გამოყენებისას შეცდომების წყაროებიდან ყველაზე მეტი გავლენის მქონე – შესამოწმებელი ზედაპირის ხორკლიანობაა კონტაქტების ადგილებში.

ავტოკოლიმაციური თეოდოლიტი დამზადებულია $T2 (TB - 1)$ ოპტიკური თეოდოლიტის ბაზაზე.

დიფრაქციული ხერხის საფუძველია იუნგის ცნობილი ინტერფერენციული ცდა დიფრაქციით ორი ჭრილიდან. სინათლე წერტილოვანი წყაროდან ვიწრო ჭრილის მქონე ნიშანში გავლის შემდეგ ხვდება ორჭრილიან სპექტრულ ნიშანზე. სინათლის ტალღები ჭრილებში დიფრაქციის შემდეგ შედის გეომეტრიული ჩრდილის არეში და ჭრილების დიამეტრის და მათ შორის მანძილების სათანადო შერჩევით გადაფარავს ერთმანეთს, რაც ქმნის ინტერფერენციულ სურათს, რომელსაც აკვირდება დამკვირვებელი.

კონსტრუქციის შემოწმებისთვის გამოიყენება განხილული მოვლენის შემდეგი კანონზომიერება: ცალკეული ჭრილის ცენტრი,

სპექტრული ნიშნის სიმეტრიის ღერძის საშუალო წერტილი და ინტერფერენციული სურათის შუა ზოლის ცენტრი ყოველთვის ერთ სივრცულ ხაზზე მდებარეობენ. სპექტრული ორჭრილიანი ნიშნის განივად გადაადგილებისას სათანადოდ გადაადგილება ინტერფერენციული სურათის ცენტრიც და სამივე ცენტრი მაინც ერთ სწორზე იქნება.

წერტილების გასწვრივობიდან შეცილების გაზომვის სიზუსტე 400 მ მანძილზე არ აღემატება 60 მკმ-ს.

სწორხაზოვნობის კონტროლისათვის იყენებენ აგრეთვე ინტერფერომეტრს – ხელსაწყოს, რომელშიც გამოყენებულია სინათლის ინტერფერენციის პრინციპი.

როგორც ცნობილია, თხელი გამჭვირვალე ფირფიტის სინათლის პარალელური სხივთა კონით განათებისას სხივების ოპტიკური სვლის სხვაობათა შედეგად წარმოიქმნება ინტერფერენციული სურათი სწორი ან წრიული ზოლების სახით, რომელთა გამრუდების მიხედვით შეიძლება შეფასდეს ღერძების ან სიბრტყეთა ზედაპირების არასწორხაზოვნობა.

5.4. კონსტრუქციის საპროექტო სიმაღლეზე დაყენების ხერხები

სამშენებლო კონსტრუქციის, მოწყობილობებისა და აგრეგატების საპროექტო ნიშნულზე დაყენება და მათი სასიმაღლო მდებარეობის შემოწმება შესაძლებელია გეომეტრიული, ჰიდროსტატიკური და მიკრონიველობის მეთოდებით.

გეომეტრიული ნიველობა. ეს ხერხი საპროექტო სიმაღლეზე დაყენების ერთ-ერთი გავრცელებული ხერხია. მოთხოვნილი სიზუსტის და გაზომვის სქემის მიხედვით ირჩევენ ნიველობის ამა

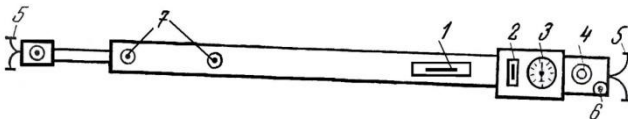
თუ იმ კლასს. უპირატესობას ანიჭებენ მოკლე სხივით ნიველობას (25 მ-მდე).

ტექნიკური ნიველობა უზრუნველყოფს ნიშნულის გადაცემას სადგურზე 2-3 მმ საშუალო შეცდომით, მაღალი სიზუსტის ნიველობის მეთოდის გამოყენებისას კი ეს სიზუსტე 0,1-0,2 მმ-ს აღწევს. ამ სიზუსტის მიღწევა კი შესაძლებელია თანამედროვე ნიველირებისა და ინვარის სპეციალური ლარტყების გამოყენებით.

მიკრონიველობა. მიკრონიველირში გამოყენებულია მაღალი სიზუსტის თარაზოები, რომელთა დანაყოფის ფასი 5'' – 10'' – 20''-ია.

მიკრონიველირის ქვესადგამი შესამოწმებელ ზედაპირს ეყრდნობა ორი საყრდენი წერტილით, რომელთა შორის მანძილს ხელსაწყოს ბაზა ეწოდება. ხელსაწყოს მდგრადობისთვის გამოყენებულია ამორტიზატორები. გვერდით დახრის თავიდან აცილებისთვის ხელსაწყოზე აყენებენ განივ თარაზოს (30'').

აღმატების უწყვეტ გადაცემას მიკრონიველირის დახმარებით ზედაპირის ერთი წერტილიდან მეორეზე – უწოდებენ მიკრონიველობას. ამ პროცესის დროს ხელსაწყოს უკანა საყრდენი წერტილი დაიდგმება იმ ადგილზე, სადაც მანამდე იმყოფებოდა წინა საყრდენი წერტილი. მიკრონიველობას ასრულებენ ხელსაწყოს ორი მდგომარეობით – პირდაპირითა და შებრუნებულით (180°-ზე მობრუნებით). ეს საშუალებას გვაძლევს შევამოწმოთ თარაზოს ნულადგილი და გამოვრიცხოთ სისტემატური შეცდომები აღმატებაში.



ნახ. 5.4.1

(5.4.1) ნახაზზე გამოსახულია მიკრონიველირის ერთ-ერთი მოდელი MH – 3. გრძივ თარაზოს (1), რომლის დანაყოფის ფასი

არის 5'' ამწევი ზრახნით (4) დააყენებენ ნულპუნქტზე. განივი თარაზო (2) კი რეგულირდება ამორტიზატორის საყრდენებით (6). ინდიკატორი (3) ჰორიზონტალურადაა განლაგებული ანათვლის აღების მოხერხებულობისთვის. ხელსაწყოს ბაზა შეიძლება იყოს 900 მმ-დან 1200 მმ-მდე და მაგრდება ზრახნებით (7). ხელსაწყოს გადასაადგილებლად შესამოწმებელ ზედაპირზე მას აქვს გორგოლაჭები (5). ანათვალი ინდიკატორზე, როცა გრძივი თარაზოს ღერძი საყრდენი ზედაპირის, პარალელურია არის ნულ ადგილი. მისი სიდიდე მოცემული იუსტირების დროს უნდა იყოს მუდმივი. მისი მერყეობა მოქმედებს გაზომვის სიზუსტეზე.

ჰიდროსტატიკური ნიველობა დამყარებულია ზიარჭურჭლის პრინციპზე. სიზუსტის გაზრდის თვალსაზრისით ჰიდრაულიკურ სისტემაში აუცილებელია ბარომეტრული წნევისა და ტემპერატურის ცვლილების საგულდაგულოდ გათვალისწინება და სადგურზე გაზომვის პერიოდში გარემო პირობების უცვლელობისთვის ზომების მიღება. ამის გარდა წყლის სვეტის სიმაღლე ზიარ ჭურჭლებში არ უნდა იყოს მაღალი.

ზუსტი სამონტაჟო სამუშაოებისთვის სპეციალურად იქნა დამუშავებული ვერცხლისწყლიანი ჰიდროსტატიკური ნიველირი. მისი უპირატესობა ის არის, რომ იგი ნაკლებად მგრძნობიარეა წნევისა და ტემპერატურის ცვლილებისადმი.

ჰიდროსტატიკური ნიველირით აღმატება იზომება ზიარჭურჭლის პირდაპირი და შებრუნებული მდებარეობის დროს. შეცდომების ძირითადი წყაროებია:

- ზიარჭურჭელში დონეთა შორის განსხვავება და კაპილარობის მოვლენის გავლენა;
- ზრახნის წვეტისა და სითხის მენისკის არაზუსტი კონტაქტი;
- სანიველირო ზედაპირზე ხელსაწყოს დაყენების შეცდომის გავლენა;
- წნევისა და ტემპერატურის ცვალებადობის გავლენა.

ამჟამად არსებულ სხვადასხვა კონსტრუქციის გადასატან და სტაციონარულ ჰიდროსტატიკურ ნიველირში სითხის დონის ფიქსაციის შემდეგი პრინციპებია გამოყენებული:

- ფიქსაციის ვიზუალური ხერხი. ანათვალი აიღება სკალაზე (ნაკლებად ზუსტია);
- ფიქსაციის ვიზუალურ-კონტაქტური ხერხი. ანათვალი აიღება მიკროსრაზნის მეშვეობით;
- ფიქსაციის ელექტრო-კონტაქტური ხერხი – უზრუნველყოფს მაღალ სიზუსტეს;
- ფიქსაციის ინდუქციური გადამწოდების ხერხი – ინფორმაცია მიიღება დისტანციურად;
- ფიქსაცია ფოტოელექტრონული გადამწოდების გამოყენებით.

ელექტროკონტაქტური და ფოტოელექტრონული ხერხების საფუძველზე შექმნილია მაღალი სიზუსტის სტაციონარული ჰიდროსტატიკური სისტემები, რომლებიც საშუალებას იძლევა წერტილთა შორის აღმატებები განვსაზღვროთ დისტანციურად, ავტომატურად, მაღალი სიზუსტით.

5.5. კონსტრუქციის ვერტიკალურ მდგომარეობაში დაყენებისა და შემოწმების ხერხები

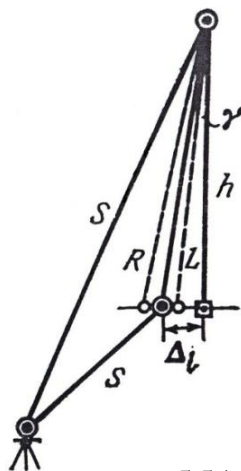
სამშენებლო კონსტრუქციისა და ტექნოლოგიური მოწყობილობების ღერძებს ვერტიკალურად აყენებენ, მოთხოვნილი სიზუსტის მიხედვით, სხვადასხვა ხერხით: მექანიკური შვეულით, თეოდოლიტის დახრილი სხივის დაპროექციებით, გვერდითი ნიველობით, ზენიტ-ხელსაწყოს ოპტიკური ვერტიკალით.

მექანიკური შვეულის გამოყენება ყველაზე მარტივი ხერხია კონსტრუქციის დაყენებისას. რხევის შესამცირებლად იყენებენ მძიმე შვეულს. კონსტრუქციის ზევით კონსოლზე ჩამოკიდებენ შვეულს და ზომავენ კონსტრუქციის კედლიდან დაშორებას,

როგორც ზევით, ისე ქვევით. მათ შორის სხვაობით დგინდება ვერტიკალიდან გადახრის ხაზოვანი სიდიდე. ამ ხერხის სიზუსტე აღწევს $1/1000$. უფრო ზუსტ შედეგს იძლევა მექანიკური შვეული კოორდინატომეტრთან ერთობლივად.

თეოდოლიტის დახრილი სხივით დაპროექციების ხერხით ვერტიკალურობის შემოწმებისას იყენებენ თეოდოლიტს, რომელსაც აყენებენ კონსტრუქციიდან დაახლოებით მისი სიმაღლის ტოლ მანძილზე ($S \approx h$).

მზერის ღერძს უმიზნებენ ქვევით განლაგებულ ღერძულ ნიშანს და ჭოგრის სწევნ მალლა, სადაც დანიშნავენ წერტილს. ანალოგიურ წერტილს დანიშნავენ წრედის მეორე მდგომარეობის დროს და აფიქსირებენ ორი წრედის საშუალოს. ამ წერტილიდან კონსტრუქციამდე დაშორება გვიჩვენებს თუ რამდენად უნდა გადავხაროთ კონსტრუქციის ზედა ნაწილი კოლიმაციურის მართობი სიბრტყეში, რომ მან დაიჭიროს ვერტიკალური მდგომარეობა.



ნახ. 5.5.1

ღერძების ვერტიკალურობის შემოწმებისას, პირიქით, ზედა ღერძულ ნიშანს აპროექტებენ ორი წრედით ქვევით, საფუძველზე. Δl გადახრა (ნახ. 5.5.1) ღერძის საპროექტო მდგომარეობიდან იქნება კონსტრუქციის დახრის ხაზოვანი სიდიდე. დახრის კუთხური ზომა იქნება

$$\gamma = \frac{\Delta l}{h} \rho \quad (5.5.1)$$

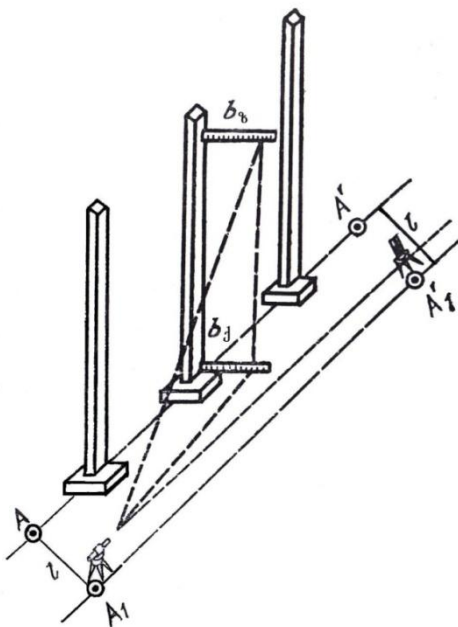
ამ ხერხის შეცდომების ძირითადი წყაროებია:

- თეოდოლიტის ვერტიკალური ბრუნვის ღერძის დახრა;
- დამზერის შეცდომა;
- თეოდოლიტის დაყენება არაგასწვრივობაში;
- ღერძების ნიშნების ადგილზე ფიქსირება;

- რეფრაქციის გავლენა.

გვერდითი ნიველობის ხერხი. სამშენებლო კონსტრუქციის (სვეტი, კედელი) ვერტიკალურობის შემოწმებისათვის ფართოდ იყენებენ გვერდითი ნიველობის ხერხს. შესამოწმებელ უბანზე სვეტების რიგის ღერძიდან l მანძილზე (ნახ. 5.5.2) დაკვალავენ პარალელურ ღერძს და დაამაგრებენ A_1 და A_1' წერტილებს თეოდოლიტის და მარკის დასაყენებლად. თეოდოლიტს დაუმიზნებენ მარკას და სამშერი ჭოგრის აწევით ან დაწევით აიღებენ სვეტზე მიდგმულ ლარტყებზე ანათვლებს ზევით $b_{\text{ჰ}}$ და ქვევით $b_{\text{ქ}}$. ამ ანათვლების სხვაობა

$$\Delta l = b_{\text{ქ}} - b_{\text{ჰ}} \quad (5.5.2)$$



ნახ. 5.5.2

ახასიათებს სვეტის გვერდით გადახრას ხაზოვან განზომილებაში, ხოლო სვეტების ძირში აღებული ანათვლების გადახრა l მანძილიდან

$$\Delta a = l - b_j \quad (5.5.3)$$

აჩვენებს კონსტრუქციის საფუძვლის გეგმაში დაყენების სიზუსტეს. გვერდითი ნიველობის ხერხის შეცდომების ძირითადი წყაროა:

- პარალელური გასწვრივობის აგების შეცდომა;
- ცენტრირების და რედუქციის შეცდომები;
- ხელსაწყოთა ჰორიზონტზე მოყვანის შეცდომა;
- ლარტყის სვეტისადმი არამართობულობის შეცდომა;
- ლარტყაზე ანათვლის აღების შეცდომა;
- რეფრაქციის გავლენა.

ანალიზი აჩვენებს, რომ 100 მ მანძილზე გვერდითი ნიველობის ხერხი უზრუნველყოფს 20 მ სიმაღლის კონსტრუქციის დაყენებას – 1,5-2 მმ სიზუსტით.

ოპტიკური ვერტიკალის ხერხი. მაღლივი შენობა-ნაგებობის მშენებლობისას გეგმური კოორდინატების გადაცემისას ერთი ჰორიზონტიდან მეორეზე და კონსტრუქციების ვერტიკალზე დაყენებისას იყენებენ ოპტიკურ ხელსაწყოებს – ზენიტ- ოცპ (ოპტიკურ მაცენტრებელ ხელსაწყოთა), ПОБП (ვერტიკალური პროექტირების ოპტიკურ ხელსაწყოთა) და Ni 007 კომპენსაციური ნიველირის ბაზაზე დამზადებულ PZL ხელსაწყოთა.

ზენიტ-ხელსაწყოთა ძირითადი ნაწილებია: ტეხილი სამხერი ჭოგრი ზევით მიმართული (ზოგჯერ ზევით და ქვევით – ზენიტ-ნადირის ტიპის) მზერის სხივით; ორი ურთიერთმართობული მაღალი სიზუსტის თარაზო (3 – 5'') ; ოპტიკურცენტრიანი ქვესადგამი. ჭოგრის გამაღიებლობაა 30 – 40[×]. PZL ვერტიკალზე დაყენებას უზრუნველყოფს 1 მმ-ის სიზუსტით 100 მ სიმაღლის ნაგებობის დროს.

ცდებით დადგენილია, რომ ნაგებობის 100 მ-მდე სიმაღლისას ზენიტ-ხელსაწყოთა ტიპის ინსტრუმენტით დაპროექტირების სიზუსტე შეიძლება გამოისახოს ტოლობით

$$m = 0,5 \cdot 10^{-5} h, \quad \text{მმ} .$$

ოპტიკური ვერტიკალური დაპროექციებისას ძირითადი შეცდომების წყაროებია:

- ზენიტ-ხელსაწყოს დაცენტრვა;
- ხელსაწყოს ჰორიზონტირება – თარაზოთი ან მზერის სხივის ვერტიკალურ მდგომარეობაში მოყვანა კომპენსატორით;
- ნიშანზე დამზერა ან უჯრედულას შტრიხებზე ანათვლის აღება;
- გარემო პირობების გავლენა;
- წერტილის დაფიქსირება.

თავი 6. შესრულებითი აგებმვა

6.1. შესრულებითი გეგმის შედგენა

შესრულებითი აგებმვა, პროექტის ნატურაში გადატანის სიზუსტის დასადგენად და ყველა იმ გადახრის გამოსავლენად სრულდება, რომლებიც დაშვებულ იქნა მშენებლობის დროს. იგი საჭიროა აგრეთვე, აგებული ობიექტების ფაქტობრივი კოორდინატებისა და ნიშნულების განსაზღვრისათვის, ცალკეული ნაწილების ზომების დადგენისა და სხვა ანალიზური მონაცემებისათვის, რომლებიც გვჭირდება შესრულებითი დოკუმენტაციის შესადგენად. შესრულებით აგებმვას ექვემდებარება ნაგებობის არა ყველა, არამედ ის ნაწილები, რომლებზეც დამოკიდებულია მთელი ნაგებობის სიმტკიცე და მდგრადობა. ჩვეულებრივ, სამუშაოების წარმოების პროექტში არის იმ ნაწილების ჩამონათვალი, რომელთა შესრულებითი აგებმვაც უნდა ჩატარდეს.

შესრულებითი აგებმვა სრულდება მშენებლობის პროცესში – სამშენებლო და სამონტაჟო სამუშაოების ცალკეული ეტაპების დამთავრებისთანავე და მთავრდება გამზადებული ნაგებობის საბოლოო გეგმურ-სასიმალო აგებმვით.

შესრულებითი აგებმვების მეთოდისა და სიზუსტე განპირობებულია აგებული შენობისა და ნაგებობის ექსპლუატაციაში მიღების მოთხოვნილი ტექნიკური პირობებით.

შესრულებითი აგებმვის გეოდეზიური საფუძველია:

- ა) ცალკეული შენობების, საამქროების, მოწყობილობების და დანადგარების საზღვრებში – საძირკვლის დამაგრებული ღერძები და მუშა რეპერების ქსელი;
- ბ) სამშენებლო მოედნის ფარგლებში – დაკვალვითი საფუძვლის პუნქტები, შევსებული პოლიგონომეტრიული და სანიველო სკლებით;

გ) სამშენებლო მოედნის ფარგლებს გარეთ – მიმოკვლევის დროს ჩამაგრებული გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტები, აგრეთვე სპეციალურად განვითარებული გეგმური და სასიმაღლო ქსელები.

შესრულებითი აგეგმვა გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებიდან ჩვეულებრივ ანალიზური ხერხებით სრულდება: პოლარული ხერხით, მართობებსა და გასწვრივობაზე გადაზომვით, ხაზოვანი და კუთხური გადაკვეთებით. წერტილების ნიშნულები განისაზღვრება გეომეტრიული ნიველობით.

გეოდეზიურმა საფუძველმა და აგეგმვის მეთოდებმა უნდა უზრუნველყონ შესრულებითი გეგმის შედგენა სამრეწველო და საქალაქო მოედნებზე 1:500 მასშტაბით, ხოლო ჰიდროკანძების, აეროდრომების, დიდი ხიდების სამშენებლო მოედნებზე – 1:1000 – 1:2000 მასშტაბით.

შესრულებითი აგეგმვის დროს განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევენ ნაგებობის დაფარულ ელემენტებს: ქვებულს, საძირკველს, მიწისქვეშა მილსადენებს, საკაბელო ხაზებს, რომლებიც მათ მიწით ამოვსებამდე უნდა იქნას აგეგმილი.

მიწისქვეშა კომუნიკაციებში განისაზღვრება მოხვევის კუთხის წვეროს კოორდინატები, იზომება მილის დიამეტრი და ტებს შორის მანძილები. ნიველობით ადგენენ ქვაბულის ძირის და ზედა ნაწილის ნიშნულებს. ზედაპირულ მილსადენებსა და ელექტროგადამცემ ხაზებში ამოწმებენ საყრდენებს შორის მანძილებს და სხვა.

შენობების და ნაგებობების მშენებლობისას შემდეგი სახის შესრულებით დოკუმენტაციას ადგენენ:

- მიწისქვეშა ნაწილზე – მზა ქვაბულის მიღების აქტი შესრულებითი აგეგმვით, შენობის ან ნაგებობის ძირითადი ღერძების დაკვალვის აქტი შესრულებით სქემასთან ერთად, შენობის მიწისქვეშა ნაწილის გამზადების აქტი შესრულებითი სქემით;

- მიწისზედა ნაწილზე – მიწისქვეშა ნაწილის შესრულებითი აგეგმვის მიღება-ჩაბარების აქტი საკონტროლო გაზომვებთან ერთად, სასართულე (საიარუსე) შესრულებითი გეოდეზიური აგეგმვების სქემები.

საგზაო ტრასებზე ამოწმებენ მრუდების ელემენტებს, გეოდეზიურ საფუძველთან აკავშირებენ მოხვევის კუთხის წვეროებს, საზღვრავენ რელსების თავების ნიშნულებს და სხვ.

ვერტიკალური დაგეგმარების შესრულებითი აგეგმვა ზედაპირის ნიველობის მეთოდით სრულდება. ღია ადგილებში ნიველობას ასრულებენ 10-20 მ სიგრძის მქონე კვადრატებსა ან განივებზე.

მრგვალი ტიპის ნაგებობებში განისაზღვრება ცენტრის კოორდინატები და რადიუსები.

სვეტების, პანელების და სხვა კონსტრუქციების ვერტიკალურობის დასადგენად იყენებენ დახრილი სხივით დაპროექციების და გვერდითი ნიველობის მეთოდებს.

ტექნოლოგიური მოწყობილობების შესრულებითი აგეგმვა სრულდება ძირითადი ღერძების დამაგრებული ნიშნებიდან ან დაკვალვითი ქსელების პუნქტებიდან.

შესრულებით აგეგმვასთან ერთდროულად ივსება პროექტიდან გადახრების ჟურნალი, რომელშიც უჩვენებენ მნიშვნელოვანი ელემენტების პროექტიდან გადახრებს გეგმასა და სიმაღლეში. თუ ისინი არ აღემატება დასაშვებს, დადგენილს სამშენებლო ნორმებითა და წესებით, მაშინ ჟურნალში აღნიშნავენ, რომ გადახრას არ აქვს ადგილი.

სამშენებლო კონსტრუქციების მდებარეობის გეოდეზიური კონტროლის დასაშვები სკმ იანგარიშება ფორმულით

$$m = \frac{1}{5} \delta ,$$

სადაც, δ არის სამშენებლო კონსტრუქციის საპროექტო მდებარეობიდან ნორმებით დასაშვები გადახრა.

6.2. შესრულებითი გენერალური გეგმის შედგენა

სამშენებლო ობიექტის ტიპის, ზომებისა და დანიშნულების, აგრეთვე დაპროექტების მიღებული მეთოდების მიხედვით ადგენენ გენერალურ გეგმას (სამშენებლო მოედანზე) 1:500 მასშტაბით, ან საერთო გეგმას 1:1000 მასშტაბით. ცალკეულ ობიექტებზე დამატებით ადგენენ დეტალურ გენერალურ გეგმას (გენგეგმა) 1:200 – 1:500 მასშტაბით.

საპროექტო გენგეგმა მუშავდება და ზუსტდება დაპროექტების ყველა სტადიაზე. იგი ძირითადი დოკუმენტია ნაგებობის პროექტის ნატურაში გადასატანად.

შესრულებით გენგეგმას ადგენენ შესრულებითი აგებმეგების საფუძველზე. საპროექტო გენგეგმისგან განსხვავებით, რომელზეც შენობები დააქვთ კედლების ღერძების მიმართ, შესრულებით გენგეგმაზე აჩვენებენ ფაქტობრივად არსებულ მდგომარეობას.

განასხვავებენ მიმდინარე და საბოლოო შესრულებით გენგეგმებს. მიმდინარე ანუ ოპერატიული შესრულებითი გენგეგმა ივსება სამშენებლო სამუშაოების დაწყებიდან და მასში აისახება მშენებლობის მთელი პროცესი მუდმივი, დამხმარე და დროებითი შენობა-ნაგებობებით. განსაკუთრებული მნიშვნელობა ოპერატიულ შესრულებით გენგეგმას მიწისქვეშა კომუნიკაციებისთვის აქვს.

მიმდინარე გენგეგმას ადგენენ პირობით (სამშენებლო) კოორდინატთა სისტემაში 1:1000 ან 1:2000 მასშტაბით, მოედნის ზომებისა და შენობის სართულიანობის მიხედვით. მისი შედგენის საფუძველია ადგილმდებარეობის გეგმები და ნაგებობათა შესრულებითი ნახაზები.

საბოლოო შესრულებითი გენგეგმა შედგება მშენებლობის დამთავრების შემდეგ. გენგეგმაზე გამოსახავენ ყველა მუდმივ შენობა-ნაგებობას, რომელიც უნდა ჩაბარდეს ექსპლუატაციაში. იგი დამთავრებული ნაგებობის ძირითადი დოკუმენტია, რომლის

მიხედვითაც შესრულება ყველა შემდგომი საინჟინრო ამოცანა მისი ექსპლუატაციისა და რეკონსტრუქცია-გაფართოების დროს.

საბოლოო გენგეგმა სრულდება მყარ გეოდეზიურ საფუძველზე მაქსიმალური სიზუსტით, დეტალურობითა და სისრულით, შერჩეული მასშტაბის მიხედვით.

საბოლოო შესრულებითი გენგეგმის კომპლექტი შედგება კრებითი გენგეგმისგან 1:1000 – 1:2000 მასშტაბით, ცალკეული დანადგარების და რთული კვანძების გენგეგმისგან 1:200 – 1:500 მასშტაბით, კომუნიკაციების სპეციალიზებული გეგმებისგან 1:1000 – 1:2000 მასშტაბით.

მცირე ობიექტისთვის აღგენენ ერთ გენგეგმას 1:500 მასშტაბით. რადგან შესრულებითი გენგეგმა უნიკალური დოკუმენტია და გამრავლებას არ ექვემდებარება, ამიტომ მას აღგენენ ფერადი პირობითი ნიშნებით, რაც მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს მის აღქმას და თვალსაჩინოცაა.

კრებით გენგეგმაზე გამოსახულია:

- ა) ტრიანგულაციის, პოლიგონომეტრიის, სამშენებლო ბადის, გრუნტისა და კედლის რეპერების ყველა არსებული პუნქტი;
- ბ) სამშენებლო მოედნის რელიეფი;
- გ) პროექტით არსებული ყველა კომუნიკაციის ქსელი;
- დ) გამწვანების ზონა, სკვერი, ღია მოედნები და სხვა.

ნახაზი რომ არ გადაიტვიროთ, მასზე აწერენ მინიმალურ რიცხვით მონაცემებს: გეოდეზიური პუნქტების დასახელებას, საკვანძო ჭების ნომრებსა და რელიეფის ნიშნულებს დამახასიათებელ წერტილებში. შენობა-ნაგებობის კოორდინატებს და ნიშნულებს აწერენ სიტუაციის მიხედვით.

დანადგარების, აგრეგატების, საამქროების შესრულებით გენგეგმაზე 1:200 – 1:500 მასშტაბით დააქვთ ნაგებობის მთელი კომპლექსი: საძირკველი, მილსადენები და საკაბელო ხაზები ჭებით, განშტოებებით და დამახასიათებელ წერტილებში

ნიშნულების ჩვენებით. ნაგებობებზე, რომელთა დეფორმაციებზეც დაკვირვებები მიმდინარეობს, აჩვენებენ ჯდომის ნიშნების განლაგებას, რეპერებს, გეგმურ ნიშნებს.

სპეციალიზებულ შესრულებით გენგეგმებზე იძლევიან დატანილი ნაგებობის რიცხოვრივ მახასიათებლებს. საერთოდ, რეკომენდებულია შემდეგი სახის სპეციალიზებული გენგეგმების შედგენა:

- 1) ჰორიზონტალური და ვერტიკალური დაგეგმარების;
- 2) კანალიზაციის;
- 3) წყალსადენის და თბოფიკაციის ქსელების;
- 4) ტექნოლოგიური მილსადენების;
- 5) საკაბელო მიწისქვეშა და საჰაერო ქსელების.

გენგეგმის შედგენის საერთო წესი ასეთია:

- ა) გამოსახვენ გეოდეზიური საფუძვლის ყველა პუნქტს, შენობებსა და ნაგებობებს, რკინიგზას და საავტომობილო გზებს, მიწისქვეშა და მიწისზედა კომუნიკაციებს, გაზონებს, სკვერებს, გამწვანების ზონას და სხვა;
- ბ) გამოსახვენ ობიექტის მიმდებარე ტერიტორიის რელიეფს;
- გ) ასრულებენ ჩარჩოების გაფორმებას.

რელიეფის გამოხაზვისას ჰორიზონტალებს ატარებენ 0,25 – 0,50მ კვეთით ადგილის დახრისა და გეგმის მასშტაბის მიხედვით.

შესრულებით გენერალურ გეგმას თან ახლავს შემდეგი მასალები:

- ა) სამშენებლო მოედნის გეოდეზიური საფუძვლის სქემა პუნქტების კოორდინატების კატალოგით და რეპერების და ნიშნების სიმაღლეებით;
- ბ) ცალკეული ნაგებობის მიხედვით მთელი მშენებლობის პერიოდში დაგროვებული საველე გეოდეზიური დოკუმენტაცია;
- გ) გეოდეზიურ სამუშაოებზე, ასევე ნაგებობის ძვრებსა და დეფორმაციებზე დაკვირვების განმარტებითი ბარათი.

თავი 7. ნაგებობის დეფორმაციაზე დაკვირვება

7.1. ნაგებობის დაწევაზე დაკვირვება გეოდეზიური მეთოდებით

7.1.1. საერთო ცნობები ნაგებობის დეფორმაციის შესახებ

შენობა-ნაგებობებსა და მათ საძირკვლებზე დეფორმაციები წარმოიშობა ბუნებრივი და ტექნიკური ფაქტორების ზემოქმედებით. ძირითადად დეფორმაციები სამთო ქანების ძვრებთან არის დაკავშირებული. ეს ძვრები შეიძლება მოხდეს როგორც ვერტიკალურ, ისე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში.

საძირკვლის და მთელი ნაგებობის ვერტიკალურად ქვევით გადაადგილებას დაწევა, დაჯდომა ეწოდება, ხოლო მის გვერდით გადაადგილებას – ძვრა ანუ ჰორიზონტალური გადაადგილება.

საძირკვლის ვერტიკალური დეფორმაცია იყოფა შემდეგ სახეებად:

დაწევა – რომელიც გრუნტის შემჭიდროვების შედეგად წარმოიშობა გარე დატვირთვების ზემოქმედებით და ზოგ შემთხვევაში გრუნტის საკუთარი წონის შედეგად, რომელსაც მისი სტრუქტურის შეცვლა არ მოსდევს;

დაჯდომა – რომელიც წარმოიშობა, როგორც დაწევის შემთხვევაში, გარე დატვირთვების და თვით გრუნტის საკუთარი წონის შედეგად, მაგრამ გრუნტის სტრუქტურის ძირეული ცვლილებით.

გაუქმდობა და გამოშრობა, რომლებიც ხშირად ფუძის აწევას იწვევენ – ეს დეფორმაციებია, რომლებიც დამოკიდებულია თიხის შემცველი გრუნტის მოცულობის შეცვლასთან მისი ტენიანობის, ტემპერატურის შეცვლის ან ნივთიერებათა ქიმიური ზემოქმედების შედეგად.

ჩაღუნვა – დედამიწის ზედაპირის დეფორმაცია, რომელიც გამოწვეულია სასარგებლო წიაღისეულის დამუშავებით (ე.წ. გამოქვეშება), ჰიდროგეოლოგიური პირობების შეცვლით და ა. შ.

სადირკვლის ამა თუ იმ წერტილის დაწვევა გამოიხატება ვერტიკალური მონაკვეთის სიდიდით. თუ ეს მონაკვეთები ტოლია, მაშინ დაწვევას უწოდებენ თანაბარზომიერს და პირიქით, თუ მონაკვეთები ტოლი არ არის, გვექნება არათანაბარზომიერი დაწვევა.

გრუნტების კლასიფიკაცია მასზე განლაგებული შენობის წონის მიმართ მგრძნობიარობის მიხედვით ასეთია:

მცირედ კუმშვადი – მასზე აგებული ნაგებობის საშუალო დაწვევა არ აღემატება 5 სმ;

საშუალოდ კუმშვადი – ნაგებობის საშუალო დაწვევა არის 5-15 სმ ფარგლებში;

ძლიერად კუმშვადი – ნაგებობის საშუალო დაწვევა აღემატება 15 სმ.

არათანაბარი დაწვევა იწვევს ნაგებობის დაზრას, სადირკვლის ჩაღუნვას, ნაგებობის გრესა-გამრუდებას და სხვა სახის დეფორმაციებს. იგი სადირკველსა და კედლებში იწვევს ნაპრალებს და რღვევას.

შენობა-ნაგებობები, პირობითად, ჯდომისადმი მგრძნობიარობის მიხედვით, შეიძლება იყოს: აბსოლუტურად მყარი ნაგებობა, რომელიც ჯდება, როგორც ერთიანი სივრცული სხეული; საკმაოდ მყარი ნაგებობა – რომელიც ხასიათდება მცირედი უთანაბრო დაწვევებით; ფარდობითად მყარი ნაგებობა – რომელიც საკმაოდ მგრძნობიარეა უთანაბრო დაწვევებისადმი; არამყარი ნაგებობა – რომელიც ძლიერ უთანაბრო დაწვევებით ხასიათდება.

ნაგებობის საკუთარი წონით გამოწვეული დაწვევები სადირკველში გრუნტის გამკვრივებასთან ერთად, დროთა განმავლობაში წყდება – ამასთან, როგორც წესი, ქვიშიან გრუნტში დაწვევა საწყის პერიოდში დიდი სიჩქარით ხდება, შემდგომ კი ხასიათდება სწრაფი ჩაქრობით. თიხიან გრუნტში,

პირიქით, დაწვეა იწყება მცირე სიჩქარით და ნელა ქრება დროთა განმავლობაში.

ფერდობზე დაცურების და ცალმხრივი დატვირთვის გავლენით (მაგალითად, წყლის დაწოლა, ჰაერის წნევა და სხვ.) წარმოიქმნება ნაგებობის ჰორიზონტალური ძვრა.

საძირკვლისა და ნაგებობის ერთობლივი დეფორმაცია შემდეგი პარამეტრებით ხასიათდება:

- 1) ცალკეული საძირკვლის თუ სამშენებლო ბლოკის სრული დაწვეა – S ;
- 2) შენობა-ნაგებობის საძირკვლის მთლიანი საშუალო დაწვეა – $S_{საშ}$;
- 3) საძირკვლის წერტილების არათანაბარზომიერი დაწვეა – ΔS ;
- 4) დაწვეების ფარდობითი არათანაბარზომიერება – $\Delta S/l$, ე. ი. საძირკვლის ორი წერტილის დაწვეების სხვაობის ფარდობა მათ შორის მანძილზე;
- 5) საძირკვლის დახრა – i , იმავე საძირკვლის განაპირა წერტილების დაწვეების (ΔS) ფარდობა საძირკვლის სიგრძეზე ან სიგანეზე. საძირკვლის დახრა იწვევს ნაგებობის გადახრას ვერტიკალიდან – Q ;
- 6) ფარდობითი ჩაღუნვა – f/l - საძირკვლის ჩაღუნვის ისრის ფარდობა საძირკვლის სიგრძესთან ან სიგანესთან;
- 7) ნაგებობის გრეხის კუთხე – χ ;
- 8) ნაგებობის ჰორიზონტალური ძვრა – U .

შენობა-ნაგებობის და საძირკვლის ერთობლივი დეფორმაციის ზღვრულად დასაშვები სიდიდე – $S_{ზღ}$ დგინდება დაპროექტების სათანადო ნორმებითა და ექსპლუატაციის ტექნიკური წესებით.

შენობა-ნაგებობების და საძირკვლების დეფორმაციებზე დაკვირვებებს აქვს პრაქტიკული და სამეცნიერო მნიშვნელობა. პრაქტიკული მნიშვნელობა ისაა, რომ გაზომვის შედეგები ახასიათებს ფუძის მდგრადობას და საძირკვლის საიმედოობას,

ამასთან საშუალებას გვაძლევს დავაპროექტოთ ღონისძიებები, რომლებიც აგვაცილებენ კატასტროფულ შედეგებს და შევცვალოთ შენობა-ნაგებობის ტექნიკური ექსპლუატაციის წესები საჭიროების მიხედვით.

დეფორმაციებზე დაკვირვებების სამეცნიერო მნიშვნელობა მდგომარეობს გაზომვების შედეგად იმ მონაცემების მიღებაში, რომლებიც დაგვეხმარება ფუძეების გაანგარიშების მეთოდების დაზუსტებაში, სხვადასხვა ტიპის გრუნტების და ნაგებობათა ჯგუფებისთვის ზღვრულად დასაშვები დაწევების დადგენაში.

დეფორმაციებზე დაკვირვებები უნდა ტარდებოდეს ნაგებობის მშენებლობის დაწყებიდან (ქვაბულის ამოღებიდან) და მისი ექსპლუატაციის პირველი წლებიდან დეფორმაციების სტაბილიზაციამდე, ამასთან დაკვირვებათა ციკლები უნდა მოიცავდეს დროის თანაბარ მონაკვეთებს, ხოლო გაზომვები სრულდებოდეს უმოკლეს დროში.

სამშენებლო ნორმების და წესების თანახმად, გეოდეზიური დაკვირვებები დაწეებსა და ძვრებზე სრულდება სპეციალური ტექნიკური დავალების (ტედ) მიხედვით, რომელშიც მითითებულია:

- ა) შენობა-ნაგებობის ის ნაწილები, რომლებზეც უნდა ჩატარდეს გეოდეზიური დაკვირვება;
- ბ) გამოსავალი (საყრდენი) რეპერების და საკონტროლო (დეფორმაციული) მარკების და ნიშნების განლაგება;
- გ) დაკვირვებების პერიოდულობა;
- დ) მოთხოვნილი სიზუსტე;
- ე) საანგარიშო დოკუმენტების ჩამონათვალი.

დეფორმაციებზე დაკვირვებების შედეგები გვიჩვენებს, თუ რა ზომით უზრუნველყოფს საპროექტო გადაწყვეტა ნაგებობის საიმედოობას და საექსპლუატაციოდ ვარგისიანობას. ამასთან საშუალებას გვაძლევს დროულად მივიღოთ ზომები წარმოქმნილ დეფორმაციებთან ბრძოლაში და მისი შედეგების ლიკვიდაციაში.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, დეფორმაციებს იწვევს ბუნებრივი და ტექნოლოგიური წარმოშობის ფაქტორები.

ძირითადი ბუნებრივი ფაქტორებია:

- 1) სამთო ქანების მიდრეკილება ჩალუნვისადმი, დაცურებისადმი და სხვა საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური მოვლენებისადმი;
- 2) ქანების ბურცვალობა წყალშემცველი ქანების გაყინვისას და გალხობისას;
- 3) ჰიდროთერმული პირობების ცვალებადობა, რომელიც დამოკიდებულია ტექტურის სეზონურ და წლიურ მერყეობასთან, ქანების ტენიანობასა და გრუნტის წყლების დონეზე.

ძირითადი ტექნოლოგიური ფაქტორებია:

- 1) ნაგებობის და შენობის წონის გავლენა;
- 2) გრუნტის წყლების დონის ხელოვნურად აწევა-დაწევის გავლენა ქანების თვისებებზე;
- 3) საძირკვლის დასუსტება მის ქვეშ სასარგებლო წიაღისეულის გამოღებით;
- 4) საძირკველზე დაწოლის ცვლილება გვერდით ახალი ნაგებობის ამოყვანით;
- 5) მანქანა-დანადგარების მუშაობით გამოწვეული საძირკვლის ვიბრაცია.

ნაგებობის დეფორმაციაზე გავლენას ახდენს აგრეთვე ფუძე-საძირკვლის ფორმა, ზომები და სიხისტე, შენობა-ნაგებობის შიგნით სტატიკური და დინამიკური დატვირთვების განაწილება და სხვა ფაქტორები.

7.1.2. დაკვირვება ქვაბულის დეფორმაციაზე და მისი გავლენის ზონის განსაზღვრა

შენობის საძირკვლის დეფორმაციაზე დაკვირვებას იწყებენ ქვაბულის ამოღებისთანავე მისი ფსკერის უკუდეფორმაციის შესწავლით, მასზე ბუნებრივი წნევის მოხსნის შემდეგ. ღრმა ქვაბულის ღროს ბუნებრივი წნევა სამთო ქანებში ირღვევა და შედეგად შეიმჩნევა ქვაბულის ფსკერის აწევა.

ამ პროცესზე დაკვირვების მიზანია ქვაბულის ფსკერის სხვადასხვა წერტილის აწევის დახასიათებისთვის მონაცემების შეკრება. აწევის სიდიდე დამოკიდებულია წნევის განტვირთვის სიდიდესა და მიმდინარეობაზე, ქანების ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე, ქვაბულის ზომასა და სხვა ფაქტორებზე.

ქვაბულის სიღრმე ჰიდროტექნიკური ნაგებობის მშენებლობის ღროს ზოგჯერ 20-50 მ-ს აღწევს. ქვაბულის ფსკერში თიხის შემცველი ქანების არსებობისას წნევის განტვირთვა იწვევს წყლის გადაადგილებას განტვირთვის ზონისკენ, რაც ქანების სტრუქტურული დეფორმაციის მიზეზი ხდება და იწვევს მათ ამობურცვას. ამობურცვის შედეგი კი არის ქვაბულის ძირის აწევა, რომლის სიდიდე ცალკეულ შემთხვევებში 20-30 სმ და მეტსაც აღწევს.

ქვაბულის ძირის აწევის სიდიდის გაზომვისთვის წინასწარ ბურღავენ ჭაბურღილებს, რომლებშიც სპეციალური კონსტრუქციის ნიშნებს ამაგრებენ. ჭაბურღილს ჩააღრმავებენ შემდეგი ფორმულით გამოთვლილ სიღრმეზე

$$H_{ჭაბ} = H_1 - (H_2 - 0,8) ,$$

სადაც, H_1 ჭაბურღილის ზედაპირის ნიშნულია მ-ებით; H_2 – ქვაბულის ფსკერის საპროექტო ნიშნული, მ-ებით; 0,8 მ ნიშნის ჩაღრმავების სიდიდეა ფსკერს ქვემოთ. ნიშნები ჩაცემენტდება და მათზე უახლოესი რეპერიდან გადაეცემა ნიშნული ტვირთმობმული

ინვარის მავთულით ან კომპარირებული ბაფთით. აღმატების განსაზღვრის სიზუსტე 1 მმ-ია.

ჭაბურღილებს გეგმურად აკავშირებენ გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებთან და საზღვრავენ მათ კოორდინატებს. ქვაბულის ამოღების შემდეგ საზღვრავენ შენარჩუნებული ჩაცემენტებული ნიშნის ნიშნულს გეომეტრიული ნიველობით და ადარებენ საწყის ციკლში განსაზღვრულ ნიშნულს. სხვაობა მათ შორის იქნება ამობურცვის ან დაწვევის სიდიდე. ფსკერის ამობურცვა მაქსიმალურია ქვაბულის ცენტრში და იკლებს ნაპირებისკენ.

სამთო ქანები ქვაბულის ამოღებისას ღეფორმაციას განიცდის არა მარტო უშუალოდ ამოღების ადგილას, არამედ მის გარშემოც განსაზღვრულ არეზე, რომელსაც ჯდომის ძაბრი (მულდა) ეწოდება.

აქედან გამომდინარეობს ამოცანა ჯდომის მულდის სიდიდის გამოსავლენად, რომელიც საშუალებას მოგვცემს გავითვალისწინოთ შენობის დაზიანებისაგან დამცავი ღონისძიებები.

ჯდომის ძაბრის სიდიდის განსაზღვრისათვის და მისი განვითარების ხასიათის გამოსავლენად არსებულ ნაგებობაზე საძირკველთან ახლოს ჩასვამენ კედლის სანიველო ნიშნებს. თუ შენობა მშენებლობის ადგილიდან 100 მ-ზე შორს მდებარეობს, მაშინ აყენებენ გრუნტის რეპერებს (2 მ სიღრმემდე).

ნიშნების სიმაღლეებს საზღვრავენ ციკლებში გაზომვებით III კლ. ნიველობის პუნქტებიდან. ამასთან პირველი და ბოლო ორი-სამი ციკლი მიზანშეწონილია შესრულდეს II კლ. ნიველობის მეთოდით.

გაზომვების პირველი ციკლი უნდა შესრულდეს ქვაბულის მიწის სამუშაოების დაწყებამდე, მეორე ციკლი სრულდება ქვაბულის ამოღების შემდეგ. შემდგომი გაზომვები კი მიმდინარეობს შენობის აგებასთან ერთად დატვირთვების ზრდის მიხედვით.

შენობის გარშემო პუნქტები განლაგდება 10-30 მ ზომის კვადრატის წვეროებში საძირკვლის ფსკერის დონეზე (ძვრის მუდღის დასადგენად).

დაწვევების გაზომვებთან ერთდროულად უნდა ჩატარდეს დაკვირვებები გრუნტის წყლის დონის ცვალებადობაზე, ქანების ტენშემცველობაზე, მათი სიმკვრივის ცვალებადობაზე, ტემპერატურასა და სხვა ფაქტორებზე, რომლებსაც შეუძლიათ გავლენა მოახდინონ ჯდომის ძაბრის განვითარებაზე.

7.1.3. ნაგებობაზე დასაკვირვებელი ნიშნების განლაგება

ნაგებობაზე დასაკვირვებელი ნიშნების განლაგება გაზომვის მეთოდებზეა დამოკიდებული. ვერტიკალურ დაწვევაზე დაკვირვებებისთვის შემდეგ გეოდეზიურ მეთოდებს იყენებენ:

- 1) გეომეტრიულ ნიველობას მოკლე სხივით (25 მ-მდე);
- 2) ტრიგონომეტრიულ ნიველობას მოკლე სხივით (100 მ-მდე);
- 3) ჰიდროსტატიკურ ნიველობას გადასატანი ან სტაციონარული ხელსაწყოებით;
- 4) ნაგებობაზე განლაგებულ ნიშნებზე ფოტოგრამმეტრიულ და სტერეოფოტოგრამმეტრიულ დაკვირვებებს.

პრეციზიულ ნაგებობებზე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მიკრონიველობის მეთოდი ხელსაწყოს 2 მ ბაზით.

აბსოლუტური ჯდომის განსაზღვრისათვის ნიველობას ასრულებენ გამოსავალი რეპერებიდან. ფარდობითი ჯდომები კი განისაზღვრება ნაგებობის რომელიმე წერტილის მიმართ ჩატარებული გაზომვებით.

ყველაზე გავრცელებული მეთოდია პერიოდული მაღალი სიზუსტის ნიველობა ნიშნებზე, რომლებიც ნაგებობაზეა

დამაგრებული. ეს ნიშნები, რომელთაც „ჯდომის მარკები“ ან სადეფორმაციო მარკები ეწოდება, ნაგებობასთან ერთად მოძრაობს და მათზე დაკვირვებით შეგვიძლია ვიმსჯელოთ ნაგებობის ამა თუ იმ ნაწილის დაწევის სიდიდეზე.

სასიმაღლო საფუძვლად, რომლის მიმართაც განისაზღვრება ცალკეული მარკების დაწევები, აიღება ფუნდამენტური, გრუნტის ან კედლის რეპერთა ქსელი, რომლებიც ნაგებობისგან ძვრის მუდღის ზონის გარეთ არის ჩამაგრებული (ფუნდამენტური შეიძლება შენობასთან ახლოსაც ჩამაგრდეს) და რომელთა უძრაობა გარანტირებული უნდა იყოს დეფორმაციებზე დაკვირვებების მთელი პერიოდის განმავლობაში.

საყრდენი გეოდეზიური ნიშნების და სადეფორმაციო მარკების განლაგება ნაგებობის ცალკეული წერტილების დაწევების და ძვრების გაზომვის მთელი სამუშაოს ერთ-ერთი ძირითადი ნაწილია. მათი განლაგების ადგილის შერჩევასა და ნიშნების რაოდენობაზე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული გამოვლენილი დეფორმაციების ხარისხი და სისრულე. ამიტომ ნიშნების განლაგების ადგილები უნდა შეარჩიოს გეოდეზისტმა ფუძე-საძირკვლების სპეციალისტთან ერთად.

ნაგებობაზე მარკების განლაგების პროექტს ადგენენ საძირკვლის კონსტრუქციის, მის ცალკეულ ნაწილებზე მოსული დატვირთვის, აგრეთვე გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური პირობების გათვალისწინებით. მარკებს განლაგებენ დაახლოებით ერთ დონეზე შენობის კუთხეებში, საძირკვლის გრძივი და განივი ღერძების გასწვრივ და საერთოდ, შენობის ისეთ ადგილებში, სადაც ყველაზე მეტი დაწევაა მოსალოდნელი – საძირკვლის მეზობელი ბლოკების შეერთებაზე, უდიდესი დინამიკური დატვირთვის ზონის გარშემო, ცუდი გეოლოგიური პირობების არსებობის ზონაში და ა. შ.

ფუძე-საძირკვლის დეფორმაციებზე დაკვირვების სახელმძღვანელო წესების მიხედვით, მარკები უნდა განლაგდეს

შენობის პერიმეტრზე ყოველ 10-15 მ-ზე და თუ შენობის სიგანე 15 მ-ზე მეტია, მარკებს განლაგებენ განივ კედლებზეც მათი გრძივ ღერძთან გადაკვეთის ადგილებში.

სამრეწველო ნაგებობაზე მარკებს განლაგებენ მზიდ სვეტებზე და გრძივი და განივი ღერძების გასწვრივ არანაკლებ 3 ყოველ მიმართულებაზე.

მრავალსართულიან საწარმოო შენობებსა და სამრეწველო ნაგებობაზე, რომელთაც საძირკველში ერთიანი საყრდენი ფილა აქვთ, მარკების რაოდენობა საკმარისი უნდა იყოს იმისთვის, რომ სრულად დახასიათდეს დასაკვირვებელი ნაგებობისა თუ შენობის დაწევა, დახრა, ჩაღუნვა. ამიტომ მარკები უნდა განლაგდეს თანაბარზომიერად ნაგებობის მთელ ტერიტორიაზე – 1 მარკა 100 მ² ფართობზე.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობაზე, რომელიც სექციებადაა დაყოფილი, უნდა დამაგრდეს არანაკლებ 3 მარკა თითოეულ სექციაზე, ხოლო თუ სექციის სიგანე 15 მ-ზე მეტია – არანაკლებ 4 მარკისა.

7.1.3.1 ნახაზზე ნაჩვენებია მარკების განლაგების მაგალითები: კედლებსა და კოლონებზე (ნახ. 7.1.3.1^ა) და საძირკველზე (ნახ. 7.1.3.1^ბ).

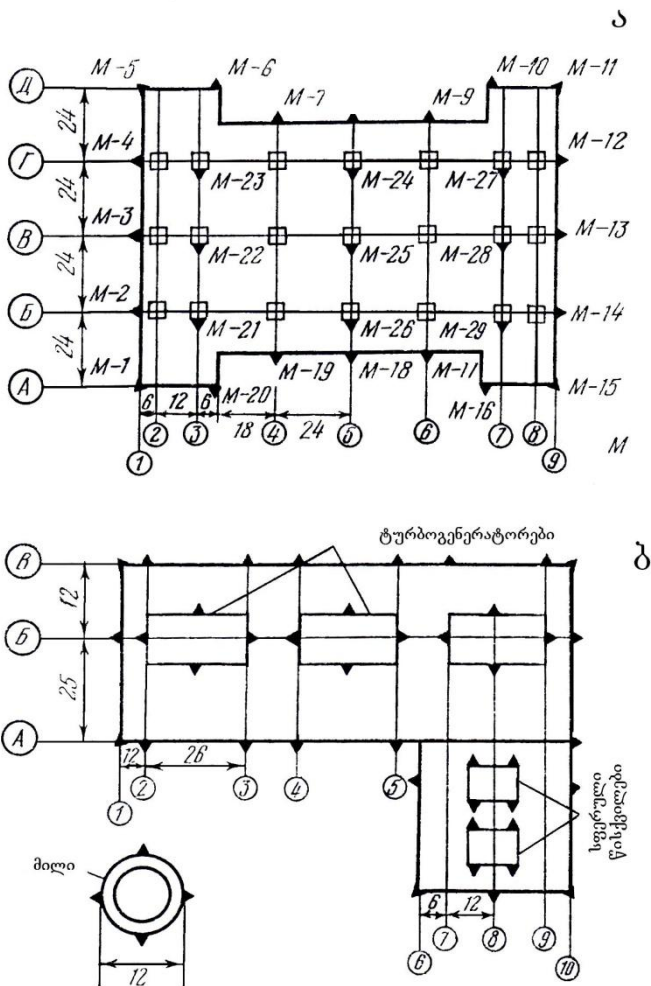
მარკების განლაგებას აპროექტებენ შენობა-ნაგებობის საძირკვლის გეგმაზე. თითოეულ მარკას ნომრავენ, დაკარგვის შემთხვევაში მის მაგივრად ჩასვამენ ახალ მარკას (3 მ რადიუსში) და აწერენ იმავე ნომერს.

ნაგებობის საძირკველში მარკებს გარდა განლაგებენ 50-100 მმ დიამეტრის ჭბაურდილებს გრუნტის წყლის დონესა და ტემპერატურაზე რეჟიმული დაკვირვებებისათვის.

დაწევის მარკების სახეები. უმარტივესი სახის მარკა არის 15 სმ სიგრძის კუთხოვანი ფოლადის ნაჭერი კედელში ჩასაბეტონებლად და 5 – 6 სმ სიგრძისა – ფოლადის

კონსტრუქციებზე მისაღულებლად. სვეტზე მარკას მიაღულებენ გაშიშვლებულ რკინის არმატურაზე.

კედელში ჩამაგრებული მარკა ისეთი უნდა იყოს, რომ მასზე შეიძლებოდეს ლარტყის როგორც დაყენება, ისე ჩამოკიდება. უკანასკნელ შემთხვევაში ლარტყას უნდა ჰქონდეს სპეციალური მოწყობილობა მარკაზე ჩამოსაკიდებლად (ნახ. 7.1.3.2ა,ბ).

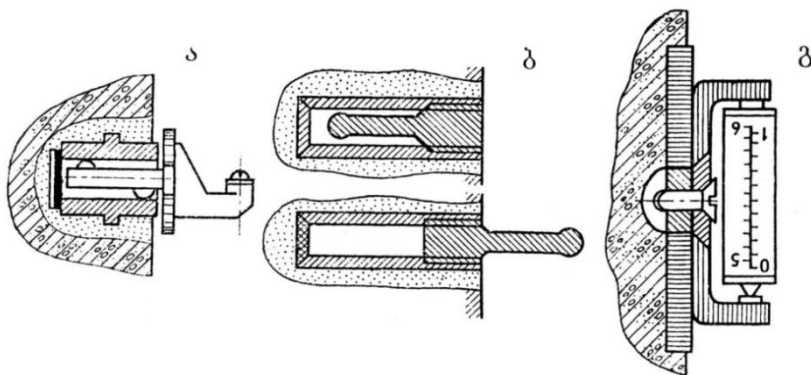


ნახ. 7.1.3.1

მაღალი სიზუსტის დაკვირვებებისათვის სხვადასხვა ტიპის სკალიან მარკებს იყენებენ, რომლებიც ერთდროულად ლარტყასაც ცვლის და დაკვირვების სიზუსტესაც ზრდის (ნახ. 7.1.3.2ა).

საძირკველზე აყენებენ 60-100 მმ სიგრძის მარკებს ნახევრად სფერული თავებით რომელთა დიამეტრია 20-30 მმ. ზემოდან მას ეფარება სახურავი. კედელსა და ცოკოლში ჩასამაგრებლად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სამონტაჟო რეკოლვერით ჩამაგრებული დიუბელ-ლურსმანი.

ცალკეული ქანების შრეთა დეფორმაციების გასაზომად ხმარობენ ჯგუფურ რეპერს. ეს არის მილი, რომელშიც ჩაშვებულია რამდენიმე მცირე დიამეტრის ფოლადის ღერო, ან დაჭიმული ინვარის მავთული.



ნახ. 7.1.3.2

გამოსავალი სანიველო საფუძველი. სიზუსტისადმი მოთხოვნების მიხედვით გამოსავალ საფუძველად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს: სიღრმითი ფუნდამენტური რეპერები, ჩამაგრებული ღრმად, ძირეულ ქანებში; გრუნტის რეპერები, ჩამაგრებული 1,5-2 მ სიღრმეზე; კლდის ქანებში ჩაბეტონებული რეპერები და კედლის ნიშნები, ჩამაგრებული ისეთი შენობების და ნაგებობების კედლებში, რომელთა დეფორმაციები პრაქტიკულად შეიძლება ჩაითვალოს დამთავრებულად.

ფუნდამენტურ რეპერებს შენობასთან ახლოს, შეიძლება თვით შენობაშიც განლაგებენ. გრუნტის და კედლის რეპერები შენობის გავლენის ზონის გარეთ უნდა განლაგდეს – არანაკლებ 70-80 მ. კაშხლების მშენებლობისას საყრდენი რეპერები გააქვთ ჯდომის ზონის გარეთ. ჩვეულებრივ, მათ ამაგრებენ მდინარის ორივე ნაპირზე კაშხლის ქვემოთ 0,5-1,0 კმ-ზე. საყრდენი რეპერები ჩამაგრდება ჯგუფურად, ჯგუფში არანაკლებ 3 რეპერისა ისე, რომ მათი გაკონტროლება შესაძლებელი იყოს ნიველირის ერთი დგომით. გრუნტის მუშა რეპერებს ნაგებობასთან ახლოს ამაგრებენ. გრუნტის რეპერი გამოსახულია 7.1.3.3 ნახაზზე.

საერთოდ, გამოსავალი რეპერების განლაგების სქემა დამოკიდებულია შენობის კონფიგურაციაზე, სამშენებლო მოედნის საინჟინრო-გეოლოგიურ და ტოპოგრაფიულ დახასიათებაზე, მშენებლობის წარმოების ტექნოლოგიასა და ორგანიზაციაზე.

ფუნდამენტურ რეპერს ამაგრებენ ორს თითო ნაგებობაზე I კლ. ნიველობით მუშაობისას. პრეციზიული და განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო ნაგებობისათვის სიღრმითი რეპერების რაოდენობა შეიძლება ერთი ნაგებობისთვის სამამდე გაიზარდოს.

გრუნტის რეპერების რაოდენობა ერთი შენობისთვის უნდა იყოს არანაკლებ სამისა, კედლის რეპერებისა კი – არანაკლებ ოთხისა.

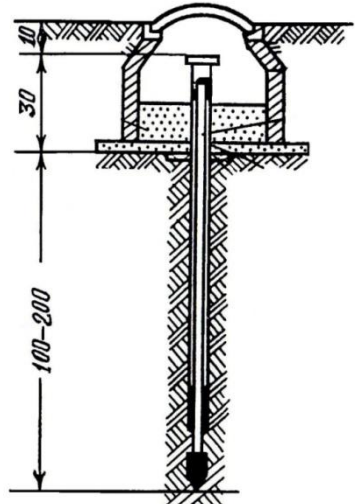
მთავარი მოთხოვნა ყველა ტიპის გამოსავალი რეპერებისადმი არის მათი მდგრადობა დეფორმაციებზე დაკვირვებების მთელი პერიოდის განმავლობაში.

გამოსავალი რეპერების განლაგების სქემას ათანხმებენ მშენებლობის რაიონის გენგეგმასთან. მათი დაყენების შემდეგ ერთ-ერთ მათგანზე გადაეცემა ნიშნული უახლოესი სახელმწიფო სასიმაღლო გეოდეზიური ქსელის პუნქტიდან.

მაღალი სიზუსტის გაზომვებისთვის საჭიროა რეპერის მასალის ტემპერატურული გაფართოების გათვალისწინებაც, რისთვისაც მათ ამზადებენ ინვარიდან ან ბიმეტალისგან,

რომელთაც მინიმალური ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტი აქვთ.

გამოსავალი საყრდენი ქსელის რეპერების და შენობა-ნაგებობის კედლებსა და სვეტებზე, თუ საძირკვლის იატაკზე ჩამაგრებული მარკების და ნიშნების დაყენების შემდეგ, ადგენენ შესრულებითი აგებმვის ნახაზს, სადაც ნაჩვენებია იქნება ყველა რეპერი და მარკა მათი ნუმერაციით, ადგილზე განლაგებით და მათ შორის მანძილების ჩვენებით 1:500 მასშტაბით. სანიველო სვლების საერთო სქემა ნაგებობებით და გამოსავალი რეპერებით შეიძლება გამოისახოს 1:1000 ან 1:2000 მასშტაბით ნაგებობის ზომების მიხედვით.



ნახ.7.1.3.3

7.1.4. ნაგებობის დაწვევის განსაზღვრა

შენობის ან ნაგებობის დაწვევის განსაზღვრის ყველაზე გავრცელებული მეთოდი სადეფორმაციო მარკების პერიოდული მაღალი სიზუსტის გეომეტრიული ნიველობაა მოკლე სხივით. სხვადასხვა ტიპის და სტანდარტის ნაგებობისთვის დაწვევა-დაჯდომის განსაზღვრის სიზუსტის უზრუნველსაყოფად საკმარისია I ან II კლასის ნიველობა, ხოლო განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი (პრეციზიული) ნაგებობისათვის შეიძლება საჭირო გახდეს ზუსტი ნიველობის სპეციალური მეთოდების დამუშავება.

შენობის ან ნაგებობის დეფორმაციაზე დაკვირვებების სახელმძღვანელო დებულებების თანახმად, ფუძისა და საძირკვლის

დაწვევები განისაზღვრება I კლ. ნიველობის მეთოდით ინსტრუმენტის ორი ჰორიზონტით, წინ და უკან მიმართულებით, მაღალი სიზუსტის ნიველირებისა და ინვარის ლარტყების გამოყენებით.

სანიველო სვლა იწყება გამოსავალ რეპერზე და მთავრდება მასზევე. მზერის სხივის სიგრძე დასაშვებია 25-მ-მდე, ხოლო სხივის სიმაღლე დედამიწის ზედაპირიდან – 0,8 მ.

ნაგებობის შიგნით მდებარე ჯდომის მარკებზე ნიშნულის გადაცემას ახდენენ ფანჯრის ან კარის ღიობის მეშვეობით. არაა რეკომენდებული ნიველირის დაყენება ცივი და თბილი ჰაერის მასების საზღვარზე. ნიველირის i კუთხე არ უნდა აღემატებოდეს $20''$, ხოლო სადგურზე მხრების უტოლობა – 0,4 მ-ს. მხრების უტოლობათა დაგროვება შეკრულ სვლაში არ უნდა აღემატებოდეს – 2 მ-ს. განსხვავება ორი ჰორიზონტით გაზომილ აღმატებაში 0,3 მმ-ზე ნაკლები უნდა იყოს.

მაღალი სიზუსტის ნიველობისას სადგურზე აღმატების გაზომვის შეცდომა საშუალოდ შეადგენს 0,1 მმ-ს, ხოლო სვლების და პოლიგონების ზღვრული შეუკვრელობა არ უნდა აღემატებოდეს

$$f_{h_I} = 0,3\sqrt{n}, \text{ მმ}, \quad (7.1.4.1)$$

სადაც, n – სადგურების რაოდენობაა.

II კლ. ნიველობას იყენებენ მრავალი სამრეწველო ნაგებობის დაწვევების გასაზომად, კომპენსატორიანი ნიველირით და ინვარის შტრიხებიანი ლარტყებით. ნიველობას ასრულებენ ერთი ჰორიზონტით, პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით. კიდულ სვლაში დაიშვება არა უმეტეს 2 სადგურისა. მხრების უტოლობა სადგურზე დაიშვება 1მ-მდე, ხოლო დაგროვება სვლაში – 3-4 მ. მზერის სხივის სიგრძე დასაშვებია 30 მ-მდე.

ზღვრული შეუკვრელობა შეკრულ სვლაში ან პოლიგონში ტოლია

$$f_{h_{II}} = 1,0\sqrt{n}, \text{ მმ}. \quad (7.1.4.2)$$

ძლიერ კუმშვად გრუნტზე აგებული ნაგებობის დაწვევაზე დაკვირვება შეიძლება შესრულდეს III კლ. ნიველობით – საშუალო სიზუსტის ნიველირით და ორმხრივი ლარტყებით. კიდულ სვლაში ამ დროს დასაშვებია 5 სადგური. მზერის სხივის სიგრძე დასაშვებია 40 მ-მდე, სხივის სიმაღლე ზედაპირიდან – 0,3 მ, მხრების უტოლობა სადგურზე – 2 მ-მდე, უტოლობათა დაგროვება სვლაში კი – 5 მ-მდე. ზღვრული შეუკვრელობა იანგარიშება ფორმულით

$$f_{h_{III}} = 2,0\sqrt{n}, \quad \text{მმ} . \quad (7.1.4.3)$$

გაზომვის შედეგების დამუშავებისას ნიველობის სიზუსტის შეფასება ხდება საველე განაზომებით და გაწონასწორების შედეგად მიღებული შესწორებათა შედეგებით.

საველე განაზომთა შეფასებისას, ორმაგ განაზომთა შედეგებით სადგურზე ნიველობის სკშ ტოლია

$$m_{h_{\text{სკშ}}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]}{n}} , \quad (7.1.4.4)$$

სადაც, d – სადგურზე გაზომილი აღმატების ორმაგი განაზომის სხვაობაა;

n – ქსელში ტოლზუსტი სხვაობების რაოდენობა.

შეკრული სვლებისა და პოლიგონებისათვის ერთ სადგურზე აღმატების შეცდომა - $m_{h_{\text{სკშ}}}$ და 1 კმ სვლაზე შეცდომა - $\eta_{1\text{კმ}}$ განისაზღვრებიან ფორმულებით

$$m_{h_{\text{სკშ}}} = \sqrt{\frac{[f_h^2]}{n}} , \quad (7.1.4.5)$$

$$\eta_{1\text{კმ}} = m_{h_{\text{სკშ}}} \sqrt{\frac{[n]}{[L]}} . \quad (7.1.4.6)$$

ამ ფორმულებში, f_h არის პოლიგონის ან სვლის შეუკვრელობა, მმ-ობით;

n – სადგურების რაოდენობა სვლასა ან პოლიგონში;

N – სვლების ან პოლიგონების რაოდენობა ქსელში;

L – სვლის სიგრძე ან პოლიგონის პერიმეტრი, კმ-ობით.

ქსელს აწონასწორებენ, როგორც თავისუფალს, ზუსტი მეთოდებით. რადგან დაწვევაზე პერიოდული დაკვირვების დროს სანიველო სვლების სქემა უცვლელია, ამიტომ ნორმალური განტოლებების შედგენას და მათ ამოხსნას თავისუფალი წევრების მიმართ ახდენენ მხოლოდ საწყის ციკლში. შემდგომი ციკლებისათვის შესწორებებს გამოსახავენ უშუალოდ მოცემული ციკლის შეუკვრელობების (თავისუფალი წევრების) საშუალებით, რაც მნიშვნელოვნად ამარტივებს გაწონასწორებით გამოთვლებს.

გაწონასწორების შედეგებით 1 კმ სვლაზე სკმ ანგარიშობენ ფორმულით

$$\eta_{1კმ(გაწ.)} = \sqrt{\frac{[Pv^2]}{N - r}} \quad , \quad (7.1.4.7)$$

სადაც, N არის სვლების (პოლიგონების) რაოდენობა მთელ ქსელში;

r – საკვანძო წერტილების რიცხვი;

P – სვლის წონა ($p = 1/L$, სადაც L – სვლის სიგრძეა, კმ);

v – გაწონასწორებით მიღებული შესწორება საშუალო აღმატებაში საკვანძო წერტილებს შორის.

სამუშაოების შესრულების დროს თვალყური უნდა ვადევნოთ, რომ ყველა ციკლში სისტემატური შეცდომები აბსოლუტური სიდიდებით უმნიშვნელო იყოს. როგორც პრაქტიკა აჩვენებს, მოკლე სხივებით მაღალი სიზუსტის ნიველობის ყველა მოთხოვნის დაცვისას, 5-7 კმ სიგრძის სვლებში სისტემატური შეცდომები იმდენად უმნიშვნელოა, რომ შეიძლება მათი უგულებელყოფა.

გაზომვების განმეორებითი გაწონასწორების და სიზუსტის შეფასების შემდეგ ანგარიშობენ ჯდომითი მარკების ნიშნულებს (H) და ადგენენ სვლის წერტილების დაწვევის უწყისს. გარდა

დაწვეებისა (S), ანგარიშობენ ნაგებობის დეფორმაციის სხვა პარამეტრებსაც:

1) ორ ბოლო ციკლს შორის ($j - 1$ და j) S დაწვეის სიდიდე

$$S_{(j-1),j} = H_j - H_{j-1} . \quad (7.1.4.8)$$

2) ჯამური დაწვეა დაკვირვებების დაწვეების მომენტიდან

$$S_j = H_j - H_0 . \quad (7.1.4.9)$$

3) საძირკვლის არათანაბარი დაჯდომა მიმდინარე j ციკლში

$$\Delta S_{1,2} = (S_2 - S_1)_j . \quad (7.1.4.10)$$

4) საძირკვლის დახრა

$$i_{1,2} = \frac{\Delta S_{1,2}}{l_{1,2}} , \quad (7.1.4.11)$$

სადაც, $l_{1,2}$ საძირკვლის 1-ელ და მე-2 მარკებს შორის მანძილია.

5) ჩალუნვის ისრის სიდიდე საძირკვლის ღერძის გასწვრივ

$$f = \frac{2S_2 - (S_1 + S_3)}{2} , \quad (7.1.4.12)$$

სადაც, S_1 და S_3 არის საძირკვლის ღერძზე განაპირა მარკების დაწვეები; S_2 შუალედი მარკის დაწვეა.

6) საძირკვლის ფარდობითი ჩალუნვა

$$f_{\%} = \frac{f}{l_{1,3}} , \quad (7.1.4.13)$$

სადაც, $l_{1,3}$ – 1-ელ და მე-3 განაპირა მარკებს შორის მანძილია.

7) რომელიმე n მარკის საშუალო თვითური ან საშუალო წლიური დაწვეის სიჩქარე

$$v_n = \frac{S_n}{t} , \quad (7.1.4.14)$$

სადაც, t დაკვირვების დროა თვეობით ან წლობით;

S_n – n მარკის ჯამური დაწვეა t დროის განმავლობაში.

8) მთელი ნაგებობის დაჯდომის საშუალო სიჩქარე

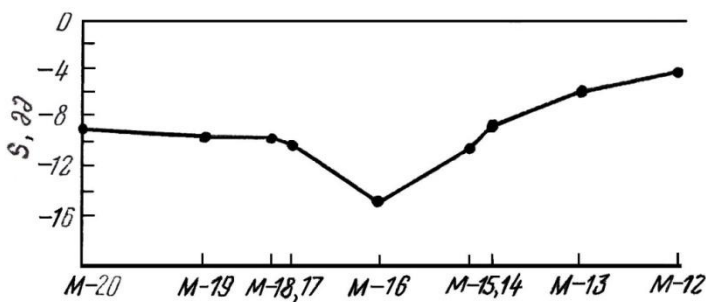
$$v_{\text{საშ}} = \frac{\sum v}{K} , \quad (7.1.4.15)$$

სადაც, K დასაკვირვებელი მარკების რაოდენობაა.

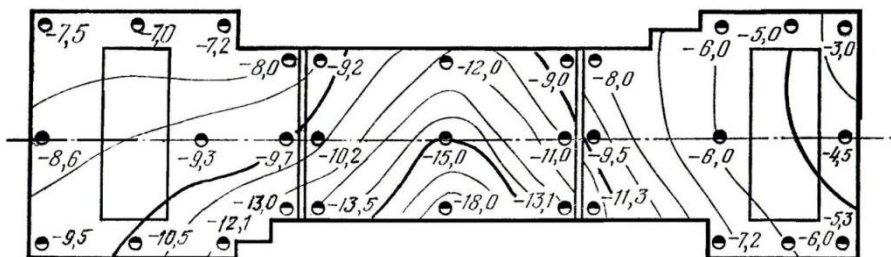
ნაგებობის დაწევის მსვლელობის თვალსაჩინოდ წარმოდგენისთვის ადგენენ პროფილებს გრძივი და განივი ღერძების გასწვრივ (ნახ. 7.1.4.1), ტოლი ჯამური დაწევების მრუდების გეგმას საძირკვლის ფუძისათვის (ნახ. 7.1.4.2) და საძირკვლის მარკების დაწევების შეთავსებულ გრაფიკებს (ნახ. 7.1.4.3).

ზემოთ ჩამოთვლილ გრაფიკებს გარდა სამოქალაქო და სარეწველო ნაგებობებისათვის ადგენენ გაბარიტულ გვერდებზე ჩამაგრებული მარკების დაწევების ეპიურებს (ნახ.7.1.4.4). ნახაზზე შუაში მოცემულია საინჟინრო ნაგებობაზე მარკების განლაგების სქემა ($M1, M2, \dots, M18$), ხოლო თითოეული გვერდის გასწვრივ – მარკების დაწევების სიდიდეები.

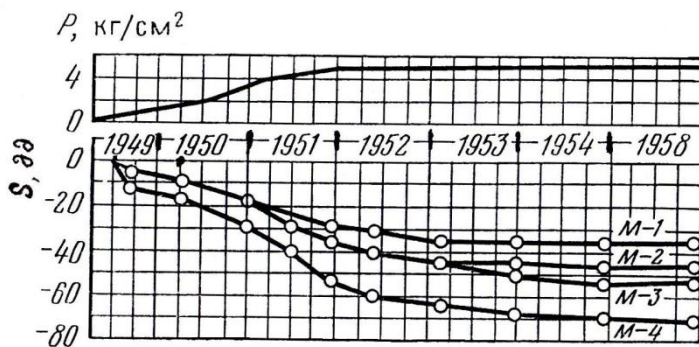
ეპიურაზე სწორი სქელი ხაზი – საძირკვლის ძირის პირობითი მდებარეობაა დეფორმაციის გაზომვის საწყისი ციკლისათვის, ხოლო მომდევნო ხაზები გვიჩვენებს საძირკვლის მდებარეობას ბოლო და ბოლოსწინა ციკლისათვის. ეპიურაზე ნაჩვენებია ციფრები მარკების დაწევის მაჩვენებელია ამა თუ იმ ციკლში, მმ-ობით.



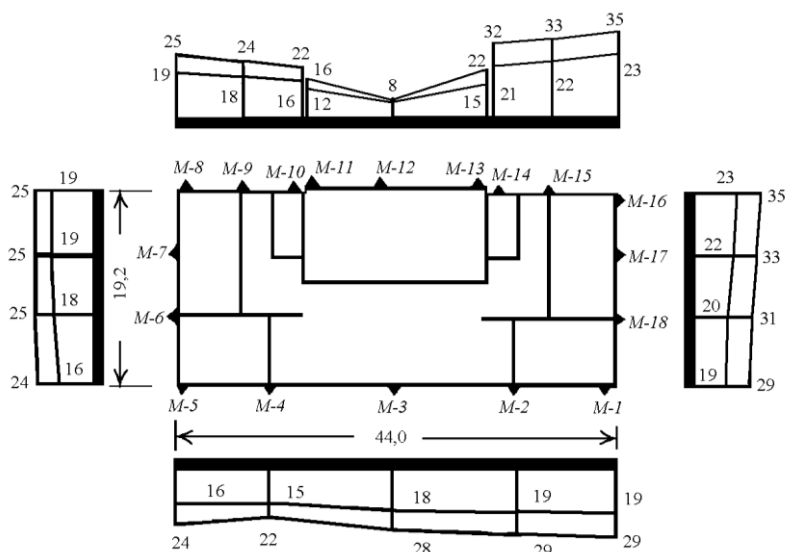
ნახ. 7.1.4.1



636. 7.1.4.2



636. 7.1.4.3



636. 7.1.4.4

გარდა ჩამოთვლილისა, ადგენენ ტემპერატურის და გრუნტის წყლის დონეთა მერყეობის გრაფიკებს ციკლების მიხედვით, განსაკუთრებით გაზაფხულსა და შემოდგომაზე, როცა ამ ფაქტორების ცვლილებები მაქსიმალურია.

7.1.5. დაწევებზე გეოდეზიურ დაკვირვებათა სიზუსტე

დაწევებზე გეოდეზიური დაკვირვებების სიზუსტის ნორმირებას ახდენენ ორი წინაპირობიდან გამომდინარე: 1) როცა დაახლოებით ცნობილია დასაკვირვებელი ნაგებობის სასიმალო ზღვრული მდგომარეობის განმსაზღვრელი დაწვევის სიდიდე და 2) როცა გვინდა, დავადგინოთ ნაგებობის დაწვევის მიმდინარეობის ხასიათი.

საინჟინრო ნაგებობის დაწვევის გეოდეზიური მეთოდებით გაზომვისას წამოიჭრება დაკვირვებათა სიზუსტის განსაზღვრის საკითხი, რომლის სწორ გადაწყვეტაზე დამოკიდებული ხელსაწყოების და გაზომვების მეთოდის შერჩევა.

სამშენებლო ნორმებისა და წესების მოთხოვნების თანახმად, ტიპობრივი შენობებისა და ნაგებობების დაწვევის განსაზღვრის m_{Σ} სკმ გამოსავალი რეპერის მიმართ არ უნდა აღემატებოდეს:

- 1 მმ-ს, შენობებისა და ნაგებობებისათვის, რომლებიც კლდოვანი ან ნახევრად კლდოვანი ქანების შემცველ გრუნტზე არიან აგებული;
- 2 მმ-ს, შენობებისა და ნაგებობებისათვის, რომლებიც ქვიშიან, თიხიან ან სხვა კუმშვად გრუნტზე არიან აგებული;

- 5 მმ-ს, შენობებისა და ნაგებობებისათვის, რომლებიც ნაყარ, ტორფიან ან სხვა ძლიერ კუმშვად გრუნტზე არიან აგებული.

პრეციზიული და რთული ნაგებობებისათვის დაწვევებზე დაკვირვებების სიზუსტისადმი მოთხოვნები სპეციალურად იანგარიშება.

დაწვევების განსაზღვრისას ძირითადი ფორმულა (7.1.4.9) მიმდინარე ციკლში შეიძლება შემდეგი სახით წარმოვადგინოთ (K მარკისათვის)

$$S_j = H_j - H_0 = (H_0 + [h_j]_I^K) - (H_0 + [h_0]_I^K) , \quad (7.1.5.1)$$

ან, რაც იგივეა,

$$S_j = [h_j]_I^K - [h_0]_I^K , \quad (7.1.5.2)$$

სადაც, $H_0 - I$ გამოსავალი რეპერის ნიშნულია;

$[h_j]_I^K$ და $[h_0]_I^K$ გაწონასწორებული აღმატებებია შესაბამისად, დაკვირვებების მიმდინარე და საწყისი ციკლებისათვის გამოსავალი I რეპერიდან რომელიმე K მარკამდე.

რეპერების საკმარისი მდგრადობის დროს, ნიველობის შედეგები ცალკეულ ციკლებში დამოუკიდებელნი არიან და დაწვევის შეცდომა ტოლი იქნება

$$m_{S_j}^2 = m_{[h_j]}^2 + m_{[h_0]}^2 .$$

თუ მივიღებთ, რომ $m_{[h_j]} = m_{[h_0]} = m_{[h]}$, გვექნება

$$m_S = m_{[h]} \sqrt{2} . \quad (7.1.5.3)$$

თუ ნიველობა სადგურებზე ერთნაირი სიზუსტით ტარდება, მაშინ სისტემატური შეცდომის მცირე გავლენისას

$$m_{[h]} = m_{h_k} \sqrt{K} , \quad (7.1.5.4)$$

სადაც, m_{h_k} არის სადგურზე გაზომილი აღმატების სკმ;

K – სადგურების რიცხვი გამოსავალი რეპერიდან დასაკვირვებელ მარკამდე.

თუ (7.1.5.4)-ის მნიშვნელობას შევიტანთ (7.1.5.3)-ში, მივიღებთ:

$$m_S = m_{h_b} \sqrt{2K} . \quad (7.1.5.5)$$

თუ ქსელის ყველაზე სუსტ წერტილად მივიღებთ $K = \frac{n}{2}$,
 სადაც, n სვლასა ან პოლიგონში სადგურების რიცხვია, მაშინ
 გვექნება

$$m_S = m_{h_b} \sqrt{n} . \quad (7.1.5.6)$$

როცა მოცემული გვექნება მოთხოვნილი სიზუსტის სიდიდე (m_S)
 და ნიველობის კლასი (m_{h_b}), მაშინ (7.1.5.6) ფორმულიდან
 შეიძლება განვსაზღვროთ სადგურების დასაშვები რიცხვი

$$n = \frac{m_S^2}{m_{h_b}^2} . \quad (7.1.5.7)$$

დაწევებზე დაკვირვებების დროს ნიველირიდან ლარტყებამდე
 მანძილები იცვლება 5-10-15მ-დან 30-40 მ-მდე, ამიტომ სადგურზე
 გაზომილი აღმატებები არ იქნება ტოლზუსტი.

ერთეული წონის შეცდომად რეკომენდებულია ისეთი
 აღმატების შეცდომა, რომელიც მიღებულია მზერის სხივის
 ოპტიმალური სიგრძის დროს, მაგალითად 20 მ დროს და
 გაზომვების მიღებული მეთოდით.

ქსელების დაპროექტების დროს, მზერის სხივის სიგრძით
 ანგარიშობენ ერთ სადგურზე ნიველობის შეცდომას

$$m_{h_b} \approx \frac{m_{\text{დამზ.}}}{2}$$

და აღმატების ერთეული წონის შეცდომას $-\mu_h$, მზერის სხივის
 ოპტიმალური სიგრძის დროს, რომელიც ერთეულ წონად არის
 მიღებული. ამ შემთხვევაში ტოლზუსტი შედეგის წონა იქნება

$$P_h = \frac{\mu_h^2}{m_{h_b}^2} , \quad (7.1.5.8)$$

ხოლო შებრუნებული წონა ტოლი იქნება

$$\pi_h = \frac{1}{P_h} = \frac{m_{h_b}^2}{\mu_h^2} . \quad (7.1.5.9)$$

როდესაც ვიანგარიშებთ სანიველო ქსელის სქემის მიხედვით ეკვივალენტური სადგურების რაოდენობას გამოსავალი რეპერიდან ყველაზე სუსტ წერტილამდე ანუ $[\pi_h]$, (7.1.5.9) ფორმულით შევძლებთ განვსაზღვროთ ერთეული წონის დასაშვები შეცდომა, რომელიც უზრუნველყოფს დაწვეების განსაზღვრის მოთხოვნილ სიზუსტეს

$$\mu_h = \frac{m_s}{\sqrt{2[\pi_h]}} \quad (7.1.5.10)$$

რთული სასიმაღლო ქსელების დაპროექტებისას, დაწვეებზე დაკვირვებებისათვის, შეიძლება წინასწარ დავნიშნოთ ერთეული წონის მინიმალურად შესაძლო შეცდომა (μ_h) და მოთხოვნილი m_s სიზუსტის მიხედვით (7.1.5.10) ფორმულით ვიანგარიშოთ ეკვივალენტური სვლების დასაშვები სიდიდე $[\pi_h]$

$$[\pi_h] = \frac{m_s^2}{2\mu_h^2} \quad (7.1.5.11)$$

მაგალითად, თუ მივიღებთ, რომ $\mu_h = 0,07$ მმ, $m_s = 1$ მმ, (7.1.5.11) ფორმულით მივიღებთ $[\pi_h] = \frac{1^2}{2 \cdot 0,07^2} \approx 100$.

თუ დაპროექტებულ ქსელში ტოლზუსტი სადგურების რიცხვი აღემატება ვიანგარიშებულს, მაშინ საჭირო იქნება გავიყვანოთ დამატებითი ჩამკეტი სვლა ან შევამციროთ ქსელის საერთო სიგრძე დამატებითი გამოსავალი რეპერით.

სანიველო ქსელის დაპროექტებისას მნიშვნელოვანი საკითხია მარკების დაწვეის სხვაობათა განსაზღვრის სიზუსტის უზრუნველყოფა.

(7.1.4.10) ფორმულიდან (7.1.5.2)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$\Delta s_{1.2} = ([h_j]_1 - [h_0]_1) - ([h_j]_2 - [h_0]_2) \quad , \quad (7.1.5.12)$$

სადაც, $[h]_1$ და $[h]_2$ გაწონასწორებული აღმატებების ჯამია გამოსავალი რეპერიდან 1 და 2 მარკებამდე მიმდინარე j და საწყის 0 ციკლებში.

თუ მივიღებთ, რომ გაზომილი აღმატებები არ არის კორელირებული და ციკლებში ნიველობათა სიზუსტეები ტოლია, გვექნება

$$m_{\Delta s_{1.2}}^2 = 2m_{[h]_1}^2 + 2m_{[h]_2}^2 .$$

(7.1.5.5) თანახმად, ტოლზუსტი გაზომვებისთვის სადგურზე

$$m_{\Delta s_{1.2}}^2 = 2m_{h_k}^2 \cdot (k_1 + k_2)$$

ან

$$m_{\Delta s_{1.2}} = m_{h_k} \cdot \sqrt{2(k_1 + k_2)} , \quad (7.1.5.13)$$

სადაც, k_1 და k_2 სადგურების რაოდენობაა გამოსავალი რეპერიდან 1 და 2 მარკებამდე. არატოლზუსტი გაზომვების დროს ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$m_{\Delta s_{1.2}}^2 = 2\mu_h^2 ([\pi_h]_1 + [\pi_h]_2) ,$$

სადაც, μ_h ერთეული წონის შეცდომა;

$[\pi_h]_1$ და $[\pi_h]_2$ ექვივალენტური სვლების სიგრძეებია გამოსავალი რეპერიდან 1 და 2 მარკებამდე.

7.1.6. დაწევებზე გეოდეზიური დაკვირვებების პერიოდულობა

საინჟინრო ნაგებობათა დაწევებზე გეოდეზიური დაკვირვებების პრაქტიკა აჩვენებს, რომ არსებობს განსაზღვრული კავშირი დაკვირვებების სიზუსტესა და პერიოდულობას შორის, სახელდობრ, დაკვირვებების სიზუსტე უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაშია პერიოდულობასთან, სხვანაირად რომ ვთქვათ, რაც უფრო მაღალი სიზუსტისაა დაკვირვება, მით უფრო იშვიათია და პირიქით, რაც უფრო დაბალი სიზუსტისაა, მით უფრო ხშირია. მარტივად რომ ვთქვათ, აუცილებელია ან ხშირად ჩავატაროთ „უხეში“ დაკვირვებები ან იშვიათად – „ზუსტი“ დაკვირვებები.

ეკონომიურობის თვალსაზრისით, სასურველია ციკლებს შორის დროის ინტერვალის გაზრდა ნაგებობის დაწვევის პროცესის ინფორმაციულობის დაუკარგავად ანუ დაკვირვების პერიოდულობის ოპტიმიზაცია.

მშენებარე საპასუხისმგებლო ნაგებობების დაწვევებზე დაკვირვებები საძირკვლის ამოყვანისთანავე იწყება. თუ დაკვირვების საწყისი ციკლი დაიგვიანებს, მაშინ შემდგომი დაკვირვებები, ინფორმაციის დაკარგვის გამო, რამდენადმე გაუფასურდება.

გაზომვების სიხშირე, იგივე პერიოდულობა, დამოკიდებულია დაწვევის განვითარებაზე დროში, ხოლო დაკვირვებების ხანგრძლივობა დამოკიდებულია ნაგებობის ტიპზე და იმ სამთო ქანების ლითოლოგიურ შემადგენლობასა და ფიზიკურ მდგომარეობაზე, რომლებიც საძირკველშია განლაგებული.

დაწვევის უდიდესი წილი სამშენებლო პერიოდზე მოდის, მაგრამ ზოგჯერ დაწვევები მშენებლობის დამთავრების შემდეგაც წლობით გრძელდება. მალე მთავრდება დაწვევები კლდოვან ქანებზე აგებული ნაგებობისათვის, სადაც დეფორმაციები დაიყვანება დრეკად დეფორმაციებზე. ასევე, შედარებით მალე მთავრდება დაწვევები ქვიშიან საფუძველზე აგებული ნაგებობისათვის. რაც შეეხება თიხის შემცველ გრუნტებს, მათზე აგებული ნაგებობებისათვის დაწვევის სტაბილიზაცია წლობით გრძელდება.

დაკვირვების პირველი ციკლი სრულდება საძირკვლის ამოყვანის შემდეგ, როცა ნაგებობის წონა მისი მთელი წონის 25%-ს მიაღწევს, შემდგომი ციკლები ტარდება, როცა შენობის წონა მიაღწევს მთელი წონის 50, 75 და 100%-ს.

შენობის აგების შემდეგ, ექსპლუატაციის პერიოდში დაკვირვებები სრულდება წელიწადში 2-3-ჯერ სტაბილიზაციის დადგომამდე ანუ როცა დაწვევის სიჩქარე არ იქნება 1-2 მმ/წ მეტი.

დაწვევის გაზომვების პერიოდულობა ექსპლუატაციის პერიოდში უმთავრესად დამოკიდებულია დაწვევის პროგნოზირების

ხარისხზე. კარგად შესრულებული პროგნოზი მნიშვნელოვნად ამცირებს ნატურაში დაკვირვებების სიხშირეს და როგორც შედეგი, მასზე გაწეულ ხარჯებს.

7.1.7. დაწვევების პროგნოზირება

საინჟინრო ნაგებობათა დაწვევების პროგნოზირებისათვის მათემატიკური მოდელის შერჩევის და გამოკვლევისას ღვება კითხვა – რა სახის მოდელი გამოვიყენოთ და რამდენი უნდა იყოს დაკვირვებების მონაცემთა ანუ წინა ისტორიის მოცულობა, რომ უზრუნველყვით პროგნოზის წინასწარ დადგენილი სიზუსტე. ამ კითხვაზე ერთმნიშვნელოვანი პასუხი არ არსებობს. იგი უნდა ვეძებოთ სხვადასხვა სახის (ექსპონენციალური, პოლინომიალური, ჰიპერბოლური და სხვ.) მათემატიკური მოდელების და სხვადასხვა რაოდენობის მონაცემთა გამოყენებით, „ცდისა და შეცდომის“ მეთოდით ოპტიმალურ გადაწყვეტაში, რის შედეგადაც მივიღებთ კონკრეტულ განაზომთა შედეგებისთვის კონკრეტული სახის მოდელს და განაზომთა კონკრეტულ მოცულობას.

პრაქტიკაში დაწვევების პროგნოზირების რამდენიმე მეთოდს იყენებენ, რომელთა შედეგები კარგად უხამდება ნატურული დაკვირვებების შედეგებს, თუმცა ზოგჯერ არის მნიშვნელოვანი გადახრები.

პროგნოზირების დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს ისეთი ფაქტორების გათვალისწინებას, როგორიცაა ქვაბულის ფსკერის უკუდეფორმაცია, ჰიდროლოგიური პირობები, ნაგებობის ტიპი, აგების მეთოდი, გრუნტების ფარდობითი კუმშვადობა და სხვ.

ყველაზე ხშირად, დაწვევების t დროში აპროქსიმაციისთვის იყენებენ მრუდის ექსპონენციალურ სახეს

$$S_t = S_K(1 - e^{-\alpha t}) , \quad (7.1.7.1)$$

სადაც, S_K ნაგებობის საბოლოო დაწვევის სიდიდეა, რომელიც თეორიულად შეიძლება ნაანგარიშები იყოს ეკვივალენტური შრის ან შრეობრივი დაჯამების მეთოდებით. პრაქტიკულად, მას იღებენ მსგავსი ტიპის და მსგავს გეოლოგიურ პირობებში აგებული ნაგებობის საბოლოო დაწვევის მიახლოებულად;

α გრუნტის ფარდობითი კუმშვადობის კოეფიციენტი.

S_K და α სიდიდეები განისაზღვრება დაკვირვების შედეგებიდან, უმცირეს კვადრატთა მეთოდით, $[\delta_j^2] = \min$ პირობით, სადაც δ_j შესწორებები ტოლია

$$\delta_j = S_{tj} - S'_{tj} ,$$

სადაც, S'_{tj} ნატურაში გაზომილი დაწვევებია t დროში. (7.1.7.1) ფორმულის წრფივ სახეზე დასაყვანად ავიღოთ კერძო წარმოებულები α და S_K -თი, გვექნება

$$S_{tj} = (S_{tj})_0 + \left(\frac{\partial S_{tj}}{\partial \alpha} \right)_0 \Delta \alpha + \left(\frac{\partial S_{tj}}{\partial S_K} \right)_0 \Delta S_K , \quad (7.1.7.2)$$

სადაც $\Delta \alpha = \alpha - \alpha_0$; $\Delta S_K = S_K - S_{K_0}$; $(S_{tj})_0 = S_{K_0}(1 - e^{-\alpha_0 t j})$;

α_0 და S_{K_0} - α და S_K უცნობების მიახლოებული საწყისი სიდიდეებია. თუ კერძო წარმოებულების სიდიდეებს აღვნიშნავთ შესაბამისად:

$$a_j = \left(\frac{\partial S_{tj}}{\partial \alpha} \right)_0 = S_{K_0} t j e^{-\alpha_0 t j} ;$$

$$b_j = \left(\frac{\partial S_{tj}}{\partial S_K} \right)_0 = 1 - e^{-\alpha_0 t j}$$

და შევიტანთ (7.1.7.2) ფორმულაში, მივიღებთ შესწორებების განტოლებებს

$$\delta_j = a_j \Delta \alpha + b_j \Delta S_K + l_j , \quad (7.1.7.3)$$

სადაც, თავისუფალი წევრი - $l_j = (S_{tj})_0 - S'_{tj}$.

შესწორებების (7.1.7.3) განტოლებიდან მიიღება ნორმალურ განტოლებათა სისტემა

$$\left. \begin{aligned} [aa]\Delta\alpha + [ab]\Delta S_K + [al] &= 0, \\ [ab]\Delta\alpha + [bb]\Delta S_K + [bl] &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (7.1.7.4)$$

ნორმალურ განტოლებათა ამოხსნით ვიპოვიოთ $\Delta\alpha$ და ΔS_K ,
საიდანაც განვსაზღვრავთ α და S_K სიდიდეებს

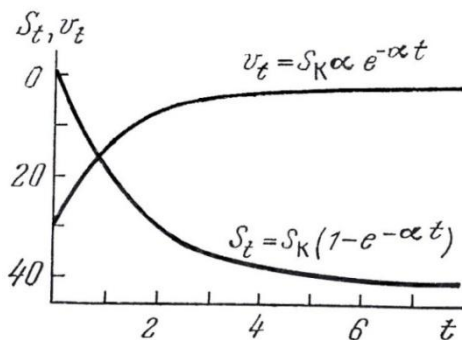
$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \alpha_0 + \Delta\alpha, \\ S_K &= S_{K_0} + \Delta S_K. \end{aligned} \right\} \quad (7.1.7.5)$$

ამ სიდიდეების ჩასმით (7.1.7.1) ფორმულაში, მივიღებთ განტოლებას, რომლითაც შევძლებთ დაწვევის პროგნოზირებას 1-2 ციკლით ადრე.

(7.1.7.1) ფორმულის მეშვეობით შეგვიძლია დაწვევის სიჩქარის პროგნოზირებაც

$$v = \frac{dS_t}{dt} = S_K \propto e^{-\alpha t}. \quad (7.1.7.6)$$

(7.1.7.6) ფორმულიდან გამოდის, რომ დაწვევის მაქსიმალური სიჩქარე გვექნება დაკვირვების დასაწყისში, შემდეგ კი მისი სიდიდე თანდათან მცირდება, რაც ნათლად ჩანს ნახაზზეც (ნახ. 7.1.7.1)



ნახ.7.1.7.1

დაკვირვებები აჩვენებს, რომ დაწვევის პრაქტიკული სტაბილიზაცია (7.1.7.1) ფორმულის მიხედვით ხდება მაშინ, როცა $\alpha t \geq 6$. აქედან, ვინაიდან ვიცით α კოეფიციენტის მიახლოებითი მნიშვნელობა, საორიენტიროდ განვსაზღვრავთ დროს (t), რომლის განმავლობაში უნდა ჩატარდეს დაკვირვებები.

დაწვევების პროგნოზირებისათვის ექსპონენციალური მოდელის გარდა იყენებენ პოლინომსაც

$$S_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n, \quad (7.1.7.7)$$

სადაც a_i პარამეტრებია, რომელთა სიდიდეები განისაზღვრება უმცირეს კვადრატთა მეთოდით. პოლინომის ხარისხს ადგენენ გამოკვლევებით, რომლებიც გვიჩვენებს, რომ ხარისხის გაზრდას ყოველთვის არ ახლავს პროგნოზის სიზუსტის გაზრდა.

მიღებულია, რომ ქვიშიანი და თიხიანი გრუნტებისთვის კარგ შედეგს იძლევა პოლინომი, რომლის ხარისხი $n = 2 - 3$.

დაწვევების პროგნოზირებისას რეკომენდებულია პარამეტრების შემდგომი დაზუსტება ბოლო ციკლების დაკვირვებების შედეგების დამატებით საწყის მონაცემებზე.

7.1.8. სასიმაღლო საფუძვლის რეპერების მდგრადობის ანალიზი

საინჟინრო ნაგებობის დაწვევის განსაზღვრისას იგულისხმებოდა, რომ სასიმაღლო საფუძვლის რეპერები (ან ერთი მათგანი მაინც) დაკვირვებების ყველა ციკლის განმავლობაში არ იცვლიან თავიანთ ნიშნულებს დაკვირვებათა სიზუსტის ფარგლებში. ფაქტობრივად, როგორც დაკვირვებები აჩვენებს, თვით სიღრმითი (ფუნდამენტური) რეპერებიც კი, რომლებიც დიდ სიღრმეზე კლდის ქანებშია ჩამაგრებული, იცვლიან თავიანთ მდებარეობას, რის გამოც გაზომილ აღმატებებში შედის შეცდომები.

ამ შეცდომების სიდიდეების ზუსტი გამოვლენისათვის აუცილებელია გამოსავალი რეპერების მდგრადობის გულდასმითი ანალიზის ჩატარება, რაც საშუალებას მოგვცემს გამოვავლინოთ

ყველაზე სტაბილური რეპერი, რომელსაც მოცემულ ციკლში მივიღებთ გამოსავლად.

ზოგჯერ გამოსავალ რეპერად იღებენ ობიექტიდან ყველაზე დაშორებულს, მაგრამ ამ დროს ნიშნულების გადაცემისას ვკარგავთ სიზუსტეს. ასეთ გაურკვეველ სიტუაციაში, სასურველია გვქონდეს ისეთი გამოსავალი ნიშნები, რომლებიც თავიანთი კონსტრუქციით მისი საიმედოდ შენახვის გარანტიას იძლევა. თუმცა სრულებით სტაბილური ნიშნის შექმნაც პრაქტიკულად შეუძლებელია.

ამიტომ სასიმაღლო საფუძვლის რეპერების მდგრადობის ანალიზს განმეორებითი გაზომვების შედეგების მიხედვით, დიდი ყურადღება ეთმობა. ასეთი ანალიზის ერთ-ერთი უმარტივესი მეთოდი აღმატებათა შედარების ხერხია ჯგუფში განლაგებულ რეპერებზე.

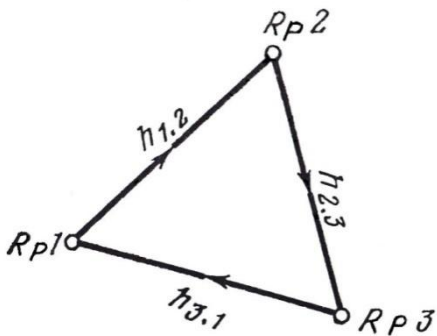
რეპერის დაჯდომა იწვევს ამ რეპერსა და მის მეზობლად განლაგებულ რეპერებს შორის აღმატებათა ცვლილებას. ამიტომ რეპერებს შორის აღმატებათა სისტემატური ცვლილება ციკლიდან ციკლამდე, უპირატესად ერთი ნიშნის შეუკვრელობათა გაჩენა რეპერთა ჯგუფში, რეპერის სასიმაღლო მდებარეობის ცვალებადობის ნიშანია.

თუ, მაგალითად, რეპერების ჯგუფში (ნახ.7.1.8.1) $h_{1.2}$ აღმატება ნიველობის სიზუსტის ფარგლებში, უცვლელი რჩება ყველა ციკლში, ხოლო $h_{2.3}$ და $h_{1.3}$ აღმატებები სისტემატურად იზრდება, მაშინ არის იმის საფუძველი, რომ ვთქვათ R_p3 განიცდის დაჯდომას.

უფრო მცირეა იმის დაშვების საფუძველი, რომ R_p1 და R_p2 თანაბრად იწვევენ მაღლა. თუმცა ამის შესახებ საფუძვლიანი მსჯელობა შეიძლება მხოლოდ ყველა დაკვირვების შედეგად მიღებული შეუკვრელობების ანალიზის შემდეგ.

სასიმაღლო საფუძვლის რეპერების მდგრადობის უფრო საიმედო მონაცემებს იძლევა აღმატებათა კორელაციური ანალიზი.

თუ რეპერები მდგრადია, მაშინ სხვადასხვა ციკლში განაზომი ერთი და იგივე აღმატება ერთმანეთისგან



ნახ. 7.1.8.1

დამოუკიდებელია და განსხვავდებიან ნივლეობის სიზუსტის ზღვრებში. ამ დროს კორელაციის კოეფიციენტები ნულთან ახლოს იქნება. როცა რეპერთა ჯდომის სიდიდეები უფრო მეტია, ვიდრე განაზომთა შეცდომები, მაშინ აღმატებათა ციკლებში ერთმანეთს შორის კორელირებული იქნება და ამ დროს კორელაციის კოეფიციენტები 0 და 1 შორისაა. აქედან გამომდინარე, კორელაციის კოეფიციენტების ანალიზით შეიძლება განვსაზღვროთ ჯდომადი ან მდგრადი რეპერი და მივიღოთ რეპერის ჯდომის მიახლოებითი სიდიდე რეგრესიის განტოლების მეშვეობით.

კორელაციური ანალიზის გამოყენებისათვის უნდა გვქონდეს დაკვირვებათა მასალები არანაკლებ 8-10 ციკლისა. ციკლებში თითოეული აღმატებისათვის გამოითვლიან მათ საშუალო სიდიდეებს – $h_{j\text{საშ}}$, საშუალოდან გადახრების სიდიდეებს – Δ_j , რომელთა მიხედვით გამოითვლიან სტანდარტულ გადახრებს

$$\sigma_{h_j} = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n-1}} \quad (7.1.8.1)$$

და აღმატებათა შორის წყვილ კორელაციებს:

$$\left. \begin{aligned} r_{h_1 h_2} &= \frac{[\Delta_1 \Delta_2]}{n} \frac{1}{\sigma_{h_1} \sigma_{h_2}} , \\ r_{h_1 h_3} &= \frac{[\Delta_1 \Delta_3]}{n} \frac{1}{\sigma_{h_1} \sigma_{h_3}} , \\ r_{h_2 h_3} &= \frac{[\Delta_2 \Delta_3]}{n} \frac{1}{\sigma_{h_2} \sigma_{h_3}} . \end{aligned} \right\} \quad (7.1.8.2)$$

გამოთვლიან აგრეთვე კერძო კორელაციის სიდიდეებს და მრავლობით კორელაციებს.

ამოწმებენ კორელაციის კოეფიციენტების საიმედო მნიშვნელობას მისი საშუალო კვადრატული გადახრით

$$\sigma_r = \frac{1 - r_h^2}{\sqrt{n - 1}} . \quad (7.1.8.3)$$

კორელაციის კოეფიციენტი არსებითია, თუ

$$r_h \geq 3\sigma_r .$$

ორ აღმატებას შორის წრფივი დამოკიდებულებისას რეგრესიის განტოლებას ექნება სახე

$$h_1 = \rho_{h_1/h_2} h_2 + a , \quad (7.1.8.4)$$

სადაც ρ რეგრესიის კოეფიციენტია და ტოლია

$$\rho_{h_1/h_2} = r_{h_1 h_2} \frac{\sigma_{h_1}}{\sigma_{h_2}} ,$$

a პარამეტრია, რომელიც ისაზღვრება დაკვირვების მასალების დამუშავებით.

განხილულის გარდა, რეპერების მდგრადობის ანალიზის სხვა მეთოდებიც არის შემოთავაზებული. ერთ-ერთი მათგანია რუმინელი გეოდეზისტის ა. კოსტეხელეს მიერ დამუშავებული მეთოდი, რომელიც რეპერთა ჯგუფში ყველაზე მდგრადი რეპერის ნიშნულის უცვლელობის პრინციპს ემყარება. ავტორის აზრით, თავისუფალი სანიველო ქსელის გაწონასწორების შემდეგ სხვადასხვა ციკლში ერთი დასახელების აღმატებათა ცვალებადობა გამოწვეულია უმთავრესად რეპერების ჯდომით. ამ პრინციპზე დაყრდნობით გამოვლინდება მდგრადი რეპერი.

7.1.9. დაწვევის განსაზღვრა ჰიდროსტატიკური და ტრიგონომეტრიული ნიველობით

ჰიდროსტატიკური ნიველობა. საძირკვლის დაწვევას ხშირად ჰიდროსტატიკური ნიველობით აკვირდებიან. არსებობს ჰიდროსტატიკური ნიველობის ორი ხერხი: 1) გადასატანი სისტემით და 2) უფრო რაციონალური – საძირკვლის პერიმეტრის ირგვლივ სტაციონარული ჰიდროსტატიკური სისტემის დაყენებით. ჰიდროსტატიკურ ნიველობას მიმართავენ ძირითადად მაშინ, როცა გეომეტრიული ნიველობის ჩატარება შეუძლებელია ან ნიველირის დაყენების გართულების გამო ან ადამიანის ყოფნაა არასასურველი. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში სჯობს სტაციონარული ჰიდროსტატიკური სისტემის გამოყენება ინფორმაციის ავტომატური რეგისტრაციით და მისი დისტანციური მიღებით.

ჰიდროსტატიკური ნიველობის ძირითადი შეცდომები გამოწვეულია გარემო პირობების გავლენით. ტემპერატურული გავლენის შესამცირებლად შლანგებს იატაკზე ალაგებენ ჰორიზონტალურად. ღია ჰაერზე მუშაობისას სისტემა იზოლირებული უნდა იყოს თბოიზოლაციით, ხოლო გაზომვები უნდა ჩატარდეს ღამით ან დღისით ღრუბლიან ამინდში.

ჰიდროსტატიკური სისტემის გულდასმით განლაგებისა და გაზომვების სწორი მეთოდის გამოყენებისას ტემპერატურული გავლენა შეიძლება დაყვანილ იქნეს მცირე სიდიდემდე – 0,1 მმ.

გაზომვის შედეგებზე ასევე გავლენას ახდენს ატმოსფერული წნევის ცვლილება, განსაკუთრებით კი ისეთი სისტემის დროს, რომელშიც მცირე სიმკვრივის სითხეა ჩასხმული. ყველაზე ხშირად სისტემის შემავსებლად იყენებენ წყალს 0,1% ფორმალინის ხსნარის დამატებით. დაბალი ტემპერატურის დროს იყენებენ

სისტემას, რომელშიც სხვადასხვა სახის სპირტი ან ანტიფორზია ჩასხმული.

ჰიდროსტატიკურ სისტემაში შეიძლება გაზომვების ავტომატიზება, თუ პიეზომეტრებს აღვჭურავთ ელექტრული კონტაქტებით. პიეზომეტრის დაჯდომისას დენგამტარი სითხე შეკრავს წრედს, რომლის შემდეგ პულტზე გადაეცემა სათანადო სიგნალი.

ტრიგონომეტრიული ნიველობა. ნაგებობის დაწევაზე დაკვირვებისათვის ტრიგონომეტრიულ ნიველობას იყენებენ მაშინ, როცა შეუძლებელია გეომეტრიული ან ჰიდროსტატიკური ნიველობის გამოყენება. ასეთი შემთხვევები გვაქვს მაღალი დაწნევის ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობისას მთიან ადგილებში.

ტრიგონომეტრიული ნიველობა ასეთ შემთხვევებში სრულდება მაღალი სიზუსტის კუთხმზომი ინსტრუმენტებით მზერის მოკლე სხივის გამოყენებით (100 მ-მდე) და ისეთი ლარტყებით, რომლებზეც მოძრავი (გადასაადგილებელი) სამიზნეებია დამაგრებული.

აღმატების სიდიდე ინსტრუმენტის ჰორიზონტალურ მდებარეობასა და ლარტყაზე სამიზნის შტრიხის ღერძს შორის გამოითვლება ფორმულით

$$h = l \operatorname{ctg} Z \quad , \quad (7.1.9.1)$$

სადაც, l ჰორიზონტალური ქვედებულია ხელსაწყოდან სამიზნე ნიშნამდე. მას უშუალოდ ზომავენ ან გამოთვლიან ფორმულით

$$l = b \frac{\sin Z_1 \sin Z_2}{\sin(Z_1 - Z_2)} \quad , \quad (7.1.9.2)$$

სადაც, b არის მანძილი ლარტყაზე სამიზნე შტრიხებს შორის;

Z_1 და Z_2 – სამიზნე ზედა და ქვედა შტრიხების ზენიტური მანძილები;

Z – ნიშნის შუა ხაზის ზენიტური მანძილი.

ზენიტური მანძილები იზომება მაღალი სიზუსტის ინსტრუმენტებით. დასაკვირვებელი წერტილების ვერტიკალურ გადაადგილებას (დაწევას) გამოთვლიან, როგორც სხვაობას აღმატებათა შორის სათანადო ციკლებში.

აღმატების განსაზღვრის სიზუსტის ამაღლებისთვის ზენიტურ მანძილებს (ვერტიკალურ კუთხეებს) ზომავენ თანამიმდევრობით ლარტყის სამიზნის სამ შტრიხზე და საბოლოოდ იღებენ საშუალოს.

როგორც პრაქტიკა აჩვენებს, ხელშემწყობ პირობებში მაღალი სიზუსტის კუთხმზომი ინსტრუმენტით 100 მ მანძილზე აღმატება შეიძლება გაიზომოს 0,2-0,4 მმ სიზუსტით.

შეცდომების ყველაზე მნიშვნელოვანი წყაროა ვერტიკალური რეფრაქცია, რომელსაც შეუძლია დაამახინჯოს ზენიტური მანძილების ჭეშმარიტი სიდიდეები.

7.2. ნაგებობის ძვრებზე დაკვირვება

გეოდეზიური მეთოდებით

7.2.1. ნიშნების განლაგება

ძვრებზე დაკვირვებისათვის

შენიშნება-ნაგებობათა საძირკვლების ჰორიზონტალური გადაადგილების (ძვრების) გაზომვები წარმოებს ქვემოთ ჩამოთვლილი მეთოდებით და მათი კომბინაციებით: გასწვრივობითი გაზომვების, ცალკეული მიმართულებების, გეოდეზიური გადაკვეთების, ტრიანგულაციის, ტრილატერაციის, პოლიგონომეტრიის, სტერეოფოტოგრამმეტრიული გადაღების და კომბინირებული მეთოდებით.

აბსოლუტურ ჰორიზონტალურ გადაადგილებად ღებულობენ იმ ძვრებს, რომლებიც ნაგებობის გავლენის სფეროს გარეთ

განლაგებული მდგრადი პუნქტებიდან განისაზღვრება, ხოლო იმ ძვრებს, რომლებიც განისაზღვრება ნაგებობის რომელიმე წერტილის მიმართ, ფარდობითი ძვრები ეწოდებათ.

სამშენებლო ნორმების და წესების მოთხოვნების თანახმად, შენობა-ნაგებობების ძვრების გაზომვები დასაშვებია შემდეგი შეცდომებით:

- 1 მმ, იმ ნაგებობებისათვის, რომლებიც კლდოვან ან ნახევრად კლდოვან გრუნტებზეა აგებული;
- 3 მმ, იმ ნაგებობებისათვის, რომლებიც ქვიშიან, თიხიან ან სხვა სახის კუმშვად გრუნტებზეა აგებული;
- 5 მმ, იმ ნაგებობებისათვის, რომლებიც ნაყარი ქვების საფუძველზეა აგებული (მაღალი დაწნევითი კაშხლები);
- 10 მმ ნაყარ, ტორფიან და სხვა სახის ძლიერ კუმშვად გრუნტებზე აგებული ნაგებობებისათვის;
- 15 მმ მიწის საფუძველზე აგებული ნაგებობებისათვის.

ძვრების გაზომვათა პერიოდულობა ყოველი ცალკეული შემთხვევისათვის დამოკიდებულია გრუნტის თვისებებზე, ნაგებობის სახეზე, მოსალოდნელი დეფორმაციის სიდიდესა და სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების გრაფიკზე.

ძვრებზე გეოდეზიური დაკვირვებების პირველი (საწყისი) ციკლი, შენობის გავლენის სფეროს გარეთ განლაგებული საყრდენი ნიშნების მდებარეობის სტაბილიზაციის შემდეგ სრულდება, ვიდრე გამოვლინდებოდეს ნაგებობაზე ჰორიზონტალურად მოქმედი ძალები.

დაკვირვებათა მეორე ციკლი სრულდება, როგორც კი დაიწყება ნაგებობაზე ჰორიზონტალური ძალების მოქმედების გამოვლენა. შემდეგი გაზომვები სრულდება ძალების მოქმედების გაზრდის ან შემცირების მიხედვით. გაზომვების შედეგად განისაზღვრება საძირკვლის დრეკადი და ნარჩენი დეფორმაციები.

ნაგებობის ექსპლუატაციაში შესვლის შემდეგ ძვრებზე დაკვირვებები სრულდება ნაგებობის სიმტკიცის შემოწმებისათვის

წელიწადში 1-2-ჯერ, როცა გარემო პირობები მკვეთრ ცვლილებას განიცდის (გაზაფხული, შემოდგომა).

ჰორიზონტალურ გადაადგილებებზე დაკვირვებები წყდება, როცა ძვრების სიჩქარეები ნაკლები ხდება 1-2 მმ/წ. დაკვირვებები შეიძლება განაზღვდეს, თუ შეიცვალა ნაგებობის ექსპლუატაციის პირობები, ან გაჩნდა გაუთვალისწინებელი ფაქტორების ზემოქმედება (გვერდით ახალი შენობის აგება).

ნიშნების განლაგება ნაგებობაზე. ძვრებზე დაკვირვებებისათვის გამოსავალი ნიშნები იყოფა საყრდენ და საორიენტირო ნიშნებად. **საყრდენი ნიშნები** შენობის კონფიგურაციის გათვალისწინებით განლაგდება შენობასთან ახლოს, მათზე ინსტრუმენტის და სამიზნე ნიშნების დაუბრკოლებლად და მოხერხებულად განლაგების მიზნით. რაც შეეხება **საორიენტირო ნიშნებს**, ისინი გამიზნულია საყრდენი ნიშნების უძრაობის საკონტროლოდ და შეიძლება იმყოფებოდეს ამ უკანასკნელიდან 1-2 კმ მოშორებით და მათი რაოდენობა თითოეული საყრდენი პუნქტისთვის არ უნდა იყოს 2-3-ზე ნაკლები. შენობა-ნაგებობათა ძვრების გასაზომად შენობაზე დამაგრებული ნიშნები (რომელთაც სადღეღორმაციო ან საკონტროლო ნიშნებსაც უწოდებენ) საძირკველთან ახლოს უნდა განლაგდეს, რათა შემცირდეს მათზე ნაგებობათა დახრის გავლენა. სამშენებლო ნორმებისა და წესების მოთხოვნების მიხედვით, სამოქალაქო შენობაზე ნიშნებს აყენებენ პერიმეტრზე, 20 მ დაშორებით. კუთხეებსა და იმ ადგილებში, სადაც ჰორიზონტალური დატვირთვა უდიდესია, ნიშნებს შორის მანძილს 10-15 მ-მდე ამცირებენ.

სამრეწველო ნაგებობებზე ცალკეული საძირკვლების ძვრების გაზომვისას ნიშნებს ამაგრებენ თითოეულ ბლოკზე არანაკლებ 3. ზოლური ტიპის საძირკვლებისათვის ნიშნების დაყენების სიხშირე 15-20 მ-ია.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობისათვის ყველაზე ხელსაყრელი ადგილი ნიშნების დასაყენებლად კაშხლის ტანში გვირაბის

(პატერნა) იატაკია, რომლის თავსა და ბოლოში დატოვებული უნდა იყოს ხვრელები ნიშნების ცენტრების კაშხლის თხემზე გამოსატანად. თუ კაშხალი დაყოფილია სექციებად, ყოველ სექციაში ამაგრებენ არანაკლებ 2 ნიშანს, თუ სექციის სიგანე 20 მ-ზე მეტია, მაშინ არანაკლებ – 4-სა. თითოეულ ნიშანზე თავისუფლად უნდა შეიძლებოდეს ინსტრუმენტის ან სამიზნე მარკის დაყენება.

გეგმური ნიშნების ტიპები. ნიშნები შეიძლება იყოს სხვადასხვა კონსტრუქციის. ყველაზე მარტივია რკინის ღერო, რომლის ერთი ბოლო მაგრდება ბეტონში, ხოლო მეორეში მაგრდება სამხერი მარკა. ნიშანი შეიძლება იყოს ოთხკუთხა, რომლის ცენტრში ჩამაგრებულია ღერო მასზე დასაცენტრი მოწყობილობის დასაყენებლად.

სამიზნე ნიშანი ბრტყელ დაფას წარმოადგენს, რომელზეც დატანილია სხვადასხვა ფერით შეღებილი რომელიმე გეომეტრიული ფიგურა. სამიზნე ნიშნის სიგანე იანგარიშება იმ პირობით, რომ მისმა გამოსახულებამ დაფაროს ძაფთა ბადის ბისექტორის $1/3$ ნაწილი

$$b = \frac{U''l}{3\rho''} \quad , \quad (7.2.1.1)$$

სადაც, U'' ძაფთა ბადის ბისექტორის კუთხური სიდიდეა;

l საშუალო მანძილია ინსტრუმენტიდან სამიზნე ნიშნამდე, მმ.

მარკის სიმაღლეს იღებენ არანაკლებ $3b$. როგორც პრაქტიკა აჩვენებს, ყველაზე კარგია კონცენტრული წრეების დატანა ნიშანზე და ცვალებადი სისქის ჯვარი.

სამიზნე ნიშნები შეიძლება იყოს უძრავი ან მოძრავი. უძრავს იყენებენ გასწვრივობიდან გადახრების კუთხური ან ხაზოვანი ოპტიკური გაზომვების დროს, აგრეთვე საყრდენ და საორიენტირო პუნქტებზე დასაყენებლად.

მოდრავ ნიშნებს იყენებენ ძირითადად გასწვრივობის ზაზიდან სადეფორმაციო ნიშნების გადახრების უშუალოდ გაზომვებისათვის. მათ აქვთ მოწყობილობა იძულებითი დაცენტრვისათვის.

საყრდენი გეგმური პუნქტები ჩამაგრდება დახურული და ღია სახის ნიშნებით. დახურული ნიშნები მაგრდება გვირაბებში. ასეთ ნიშანზე ინსტრუმენტი დაიცენტრება ოპტიკური ცენტრირის საშუალებით. ღია ტიპის ნიშნები მაგრდება დედამიწის ზედაპირზე. ასეთი ნიშნებიდან დაკვირვებებისას ინსტრუმენტს უშუალოდ ნიშნის დამცენტრავ მოწყობილობაზე აყენებენ.

კუთხური და გასწვრივობითი გაზომვებისათვის იყენებენ ნიშნის სპეციალურ მოწყობილობას დამცენტრავი ლეროს მქონე საკოორდინატო მაგიდით.

ნიშნების მეტალის კოროზიისაგან დასაცავად იყენებენ ელექტროდამცავ პროტექტორს ან ბიტუმის იზოლაციას 3-4 მმ სისქით. ატმოსფერული კოროზიისაგან დასაცავად იყენებენ საიზოლაციო საღებავებს.

7.2.2. შენობა-ნაგებობათა ძვრების გაზომვა გასწვრივობის მეთოდით

შენობებისა და ნაგებობების ძვრების განსაზღვრისათვის ძირითადად იყენებენ გასწვრივობითი დაკვირვების ხერხებს, რადგან ეს მეთოდი გამოირჩევა მაღალი შრომის ნაყოფიერებით და ამავე დროს უზრუნველყოფს გაზომვების აუცილებელ სიზუსტეს.

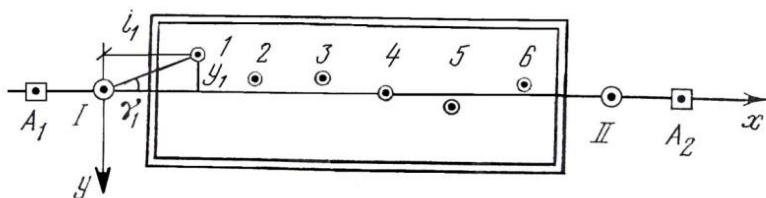
გასწვრივობის სწორი ზაზის შესაქმნელად იყენებენ მცირე დიამეტრის დაჭიმულ სიმს (მავთულს) ან ინსტრუმენტის მზერის (ოპტიკურ) სხივს. ეს ინსტრუმენტი შეიძლება იყოს თეოდოლიტი ან აღინიომეტრი.

საერთოდ, გასწორი (გასწვრივობა) ეწოდება ვერტიკალურ სიბრტყეს, რომელიც გადის ორ დამაგრებულ წერტილზე და რომლის მიმართაც იზომება დასაკვირვებელი წერტილების გადახრები. გასწორის გასწვრივ განლაგებენ აბსცისის ღერძს, კოორდინატთა სათავეს კი – ერთ-ერთ საყრდენ პუნქტში. საყრდენი პუნქტები უნდა განლაგდეს დეფორმაციის ზონის გარეთ. მათი უძრაობა კონტროლდება საორიენტაციო პუნქტებიდან. თუ საყრდენი პუნქტების მდებარეობაში შეიმჩნევა ძვრა, განაზომებში შეტანილ უნდა იქნეს შესწორებები.

გასწვრივობის ხერხს იყენებენ უმთავრესად, კაშხლების, ხიდების, შემაკავებელი ჯებირების, სვეტების რიგის და სხვათა ძვრების გასაზომად, სადაც საშუალება გვაქვს დავამაგროთ წერტილები სწორ ხაზზე და ერთ ღონეზე.

7.2.2.1 ნახაზზე მოცემულია გასწორითი გაზომვებისას ნიშნების განლაგების სქემა, სადაც A_1 და A_2 გამოსავალი (საყრდენი) პუნქტებია, I და II – გასწვრივობაზე დასაკვირვებელი პუნქტები, ხოლო 1,2,..., სადეფორმაციო (დაკვირვებადი) წერტილებია.

ნაგებობების ძვრებზე დაკვირვებებისას გასწვრივობის ხაზიდან წერტილების გადაადგილებები განისაზღვრება მცირე პარალაქსური კუთხეების გაზომვით ან მოძრავი სამიზნე ნიშნის გამოყენებით.



ნახ.7.2.2.1

მცირე კუთხეების ხერხით ძვრების გაზომვის არსი ისაა, რომ ხელსაწყოს ვაყენებთ I პუნქტში, ნიშანს – II პუნქტში. ვაორიენტირებთ ინსტრუმენტის მზერის სხივს I – II ხაზის

გასწვრივ და ვზომავთ ოპტიკური ან ოკულარის მიკრომეტრით რამდენიმე ილეთით $I - II$ გასწვრივობიდან $1, 2, \dots$ წერტილების კუთხურ გადახრებს. გაზომილი γ_i კუთხეებით და l_i მანძილებით (ნახ. 7.2.2.1) განისაზღვრება განივი ძვრების Y_i ხაზოვანი სიდიდეები

$$Y_i = l_i \frac{\gamma_i''}{\rho''} . \quad (7.2.2.1)$$

გადახრათა (Y_i) შეცდომების გამოთვლისას მანძილების გაზომვის ცდომილება, როგორც უმნიშვნელო გავლენის მქონე, შეიძლება უგულებელვყოთ, რის შედეგადაც მივიღებთ გადახრების (ძვრების) შეცდომების გამოსათვლელ ფორმულას

$$m_{\gamma_i} = l_i \frac{m_{\gamma_i}''}{\rho''} , \quad (7.2.2.2)$$

სადაც, m_{γ_i} კუთხეების გაზომვის ცდომილებაა.

მაგალითად, თუ $l = 200$ მ, $m_{\gamma} = 1''$, გვექნება $m_{\gamma} = 1$ მმ.

მოდრავი ნიშნის ხერხის გამოყენებისას უშუალოდ იზომება გასწვრივობიდან გადახრების Y_i სიდიდეები. ამისათვის მოძრავი ნიშანი მარაგდება მიკრომეტრული ზრახნით, რომლის სკალაზე ანათვალს, როცა ნიშნის სიმეტრიის ღერძი გადის ნიშნის ცენტრზე, ეწოდება ნიშნის ნულადგილი და განისაზღვრება ნიშანზე ორჯერ დამხერით – პირდაპირ და ღერძის გარშემო 180° -ზე შემობრუნებით. წერტილზე დამხერისას ვიღებთ ანათვალს სკალაზე და გამოვაკლებთ მას ნულადგილს. ასეთ განსაზღვრას იმეორებენ ყოველი წრედის მდებარეობაზე 2-3-ჯერ და იგებენ საშუალოს. ანათვლების დამოუკიდებელი სიდიდეების მისაღებად მოძრავი მარკა შეყავთ გასწვრივობაში ჯერ მარჯვნიდან, შემდეგ მარცხნიდან. მოძრავი მარკის ხერხის სიზუსტე შეიძლება ვიანგარიშოთ შემდეგი ფორმულით

$$m_{\gamma}^2 = \frac{l^2}{\rho^2} (m_{\text{ორ.}}''^2 + m_{\text{მ.შ.}}''^2 + m_{\text{ფოკ.}}''^2) , \quad (7.2.2.3)$$

სადაც, $m''_{\text{ორ.}}$ არის გასწვრივობის ორიენტირების კუთხური შეცდომა, ე.ი. უძრავ მარკაზე დამიზნების შეცდომა;

$m''_{\text{მ.შ.}}$ – მოძრავი მარკის გასწვრივობაში შეტანის კუთხური შეცდომა;

$m''_{\text{ფოკ.}}$ – ფოკუსირების შეცდომის კუთხური სიდიდე;

l – ხელსაწყოდან მარკამდე მანძილი.

თუ მივიღებთ, $m_{\text{ორ.}} \approx m_{\text{მ.შ.}} \approx m_{\text{ფოკ.}} = \frac{20''}{v}$, სადაც v – გამადიდებლობაა, გვექნება

$$m_y = \frac{l \cdot 20'' \cdot \sqrt{3}}{\rho'' v} . \quad (7.2.2.4)$$

მაგალითად, თუ $l = 200$ მ, $v = 40\times$, მაშინ $m_y = \frac{20\sqrt{3}}{40} \cdot \frac{200\,000}{206\,000} = 0,8$ მმ. შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ერთი და იმავე დაკვირვების პირობებისათვის, მცირე კუთხეების და მოძრავი მარკის ხერხები დაახლოებით ერთი და იმავე სიზუსტისაა. პრაქტიკაში, გავრცელება უფრო მოძრავი მარკის ხერხმა პოვა, როგორც უფრო მარტივმა, რომელსაც ნაკლები გამოთვლები სჭირდება და უფრო მეტად ექვემდებარება ავტომატიზაციას.

ჰორიზონტალური გადაადგილების სიდიდე განისაზღვრება, როგორც სხვაობა Y_i და Y_0 გადახრების სიდიდეებისა, რომლებიც გაიზომება მიმდინარე i და საწყის ციკლებში

$$U_{i,0} = Y_i - Y_0 ,$$

ან, როგორც სხვაობა ორ მეზობელ ციკლს შორის

$$U_{i,i-1} = Y_i - Y_{i-1} .$$

ციკლებში განაზომების ტოლზუსტობის და გეგმური საფუძვლის საკმარისი მდგრადობისას

$$m_u = m_y \sqrt{2} .$$

(7.2.2.2) და (7.2.2.4) ფორმულების გათვალისწინებით ძვრების სკშ ტოლია

მცირე კუთხეების ხერხის დროს

$$m_{U_\gamma} = \frac{l m_\gamma'' \sqrt{2}}{\rho''} . \quad (7.2.2.5)$$

მოძრავი მარკის ხერხის დროს

$$m_{U_y} = \frac{l 20'' \sqrt{6}}{\rho'' v} . \quad (7.2.2.6)$$

(7.2.2.5) და (7.2.2.6) ფორმულებიდან გამომდინარეობს, რომ გასწვრივობის მეთოდით ძვრების განსაზღვრის შეცდომა იზრდება ინსტრუმენტიდან მარკამდე მანძილის პირდაპირპროპორციულად. მაღალი სიზუსტის კუთხმზომი ინსტრუმენტებისთვის ($m_\beta \approx 1''$) ეს შეცდომა დაახლოებით 1 მმ-ია გასწვრივობის 200 მ სიგრძის დროს და 5 მმ – მანძილის 1 კმ-მდე გაზრდის დროს.

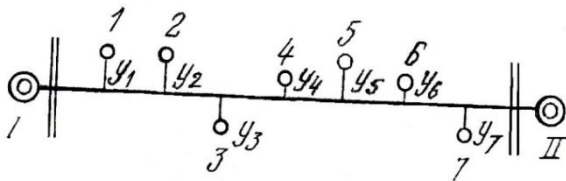
თუ გავითვალისწინებთ, რომ ხიდეები, კაშხლები და სხვა ნაგებობანი ხშირად რამდენიმე კმ სიგრძისაა, ხოლო მათი ძვრების გაზომვის სიზუსტე 0,5-1 მმ-ს არ უნდა აღემატებოდეს, წამოიჭრება გასწვრივობითი გაზომვების ისეთი მეთოდის შექმნის საჭიროება, რომელიც პირველ რიგში დააკმაყოფილებს გაზომვების მოთხოვნილ სიზუსტეს, ხოლო მეორე მხრივ საშუალებას მოგვცემს ასეთი ზუსტი გაზომვები ჩავატაროთ მხედველობის სხვადასხვა პირობებში.

პრაქტიკულად დამუშავებულია და იყენებენ გასწვრივობითი გაზომვების სხვადასხვა სქემას და პროგრამებს, ესენია: სრული გასწვრივობის, ნაწილობითი გასწვრივობის, თანამიმდევრული გასწვრივობის, გადამფარავი გასწვრივობის, თანამიმდევრულ-ნაწილობითი გასწვრივობის და სხვა სახის სქემები და პროგრამები.

თითოეული სქემა ხასიათდება განსაკუთრებული გეომეტრიით და გაზომვების თანამიმდევრობით და ქვემოთ განვიხილავთ. ამ სქემებისგან დამოუკიდებლად ყველა გამოყენებული ინსტრუმენტი, სამიზნე მარკები და ნიშნების თავები იძულებითი დაცენტრვის მოწყობილობებით ისე უნდა იყოს მოწყობილი, რომ დაცენტრვისა და რედუქციის შეცდომები შეადგენდეს მმ-ის მესამედ ნაწილს და

მათი გავლენა ძვრების განსაზღვრის სიზუსტეზე ისეთი იყოს, რომ შესაძლებელი გახდეს მისი უგულებელყოფა.

სრული გასწვრივობის სქემა. იგი გასწვრივობითი გაზომვის სქემებს შორის ყველაზე მარტივია. ნაგებობაზე დამაგრებული დასაკვირვებელი წერტილების $1, 2, 3, \dots$ გადახრები გასწვრივობის $I - II$ ხაზიდან იზომება უშუალოდ (ნახ. 7.2.2.2)



ნახ. 7.2.2.2

გაზომვის მეთოდის არსი შემდეგია: ხელსაწყოს აყენებენ I საწყის პუნქტში, აორიენტირებენ II პუნქტზე და თანამიმდევრულად მოძრავი მარკის ან მცირე კუთხეების ხერხით იგებენ გასწვრივობიდან $1, 2, 3, \dots$ წერტილების $Y_1, Y_2, Y_3, \dots$ გადახრებს. დაკვირვების პროგრამა ითვალისწინებს თითოეულ წერტილში „წრელი მარჯვნივ“ და „წრელი მარცხნივ“ გაზომვებს პირდაპირი ($I - II$) და შებრუნებული ($II - I$) მიმართულებებით. ორი წრელით დაკვირვებას იყენებენ მზერის სხივის, ინსტრუმენტის ძირითად ღერძთან ექსცენტრისიტეტისა და ჭოგრის ფოკუსირების შეცდომების გამოსარიცხად.

ამ სქემის დროს Y_i გადახრები განისაზღვრება სხვადასხვა სიზუსტით ხელსაწყოდან წერტილებამდე მანძილის მიხედვით

$$m_{Y_i} = \frac{l_i m_g''}{\rho''} ,$$

სადაც, m_g გასწვრივობითი გაზომვების კუთხური შეცდომაა.

გადახრის გაზომვის წონა პირდაპირ სვლაში ტოლია

$$P_{i_3} = \frac{1}{m_{Y_i}^2} = \frac{\rho^2}{m_g^2 l_{i,i}^2} . \quad (7.2.2.7)$$

ამ დროს მეტი სიზუსტით განისაზღვრება ახლოს მდებარე წერტილების გადახრები და ნაკლები სიზუსტით – ბოლო წერტილების. უკუსვლაში გვექნება პირიქით და მათი წონა იქნება

$$P'_{i_{\text{უკ}}} = \frac{\rho^2}{m_{\text{გ}}^2 l_{II.i}^2} \quad (7.2.2.8)$$

პირდაპირი და უკუსვლის გადახრების საშუალო სიდიდე იქნება

$$Y_{i_{\text{საშ}}} = \frac{Y_i P_i + Y_i' P_i'}{P_i + P_i'} \quad (7.2.2.9)$$

საშუალო წონა იქნება

$$P_i = P_i + P_i' = \frac{\rho^2 (l_{I.i}^2 + l_{II.i}^2)}{m_{\text{გ}}^2 \cdot l_{I.i}^2 \cdot l_{II.i}^2} \quad (7.2.2.10)$$

გადახრის სკშ იქნება

$$m_{Y_{i_{\text{საშ}}}} = \frac{m_{\text{გ}}}{\rho} \cdot \frac{l_{I.i} \cdot l_{II.i}}{\sqrt{l_{I.i}^2 + l_{II.i}^2}} \quad (7.2.2.11)$$

თუ მივიღებთ, რომ დასაკვირვებელ წერტილებს შორის მანძილები ტოლია და შუა მე-4 წერტილისათვის (ნახ. 7.2.2.2) შეცდომა 1-ის ტოლია, მაშინ სხვა წერტილებისთვის შეცდომების სიდიდეები შესაბამისად იქნება:

1-ლი და მე-7 წერტილებისთვის – 0,35;

მე-2 და მე-6 წერტილებისთვის – 0,67;

მე-3 და მე-5 წერტილებისთვის – 0,91;

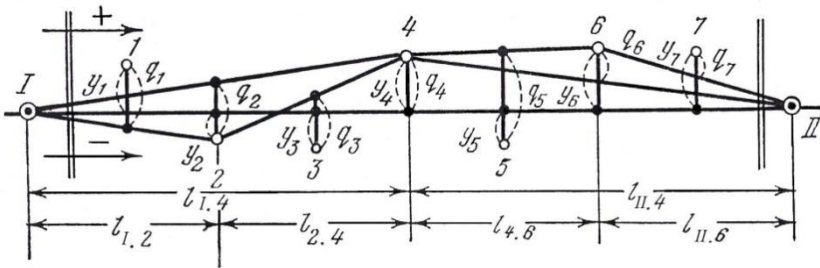
მე-4 წერტილისთვის – 1,00.

როგორც აქედან ჩანს, სრული გასწვრივობის სქემის გამოყენებისას შუალედი წერტილების განსაზღვრის სიზუსტე 3-ჯერ მცირეა, ვიდრე განაპირა წერტილების, რაც ამ სქემის დიდი ნაკლია და რომელიც ზღუდავს მის გამოყენებას დიდი სიგრძის გასწვრივობებში.

ნაწილობითი გასწვრივობის სქემა.

ამ სქემის დროს I და II დასაკვირვებელ პუნქტებს შორის მანძილი იყოფა 4 დაახლოებით ტოლ ნაწილად: I.2, 2.4, 4.6 და

6.II (ნახ.7.2.2.3). გაზომვების მეთოდითაა ასეთია: დასაწყისში I.II გასწვრივობის მიმართ განისაზღვრება მე-4 წერტილის მდებარეობა. შემდეგ I.4 და II.4 „ნახევარგასწვრივობებიდან“ განისაზღვრება მე-2 და მე-6 წერტილების მდებარეობანი, ხოლო შემდეგ I.2, 2.4, 4.6 და 6.II „მეოთხედგასწვრივობებიდან“ განისაზღვრება დანარჩენი (1,3,5,7) წერტილების მდებარეობა. ამრიგად, საერთო გასწვრივობას იყენებენ მხოლოდ შუა წერტილის მდებარეობის განსაზღვრისათვის.



ნახ. 7.2.2.3

გაზომვების პროგრამაში შედის გადახრების განსაზღვრა პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით. რადგანაც სიგრძეები სხვადასხვაა, სხვადასხვა იქნება მათი მდებარეობის განსაზღვრის სიზუსტეც. ამის გასაწონასწოებლად მიმართავენ გაზომვებისას ილეთების სხვადასხვა რაოდენობას. მაგალითად, მე-4 წერტილზე გაზომვები ჩატარდება 4 ილეთით, მე-2 და მე-6 წერტილებზე 2 ილეთით, დანარჩენებზე – თითო ილეთით.

რადგან ამ სქემის დროს გაზომვები ტარდება სხვადასხვა გასწვრივობიდან, ამიტომ წამოიჭრება გაზომილი q_i კერძო გადახრების საერთო Y_i გადახრებზე დაყვანის ამოცანა.

გაზომილი q_i გადახრების საერთო Y_i გადახრებზე დაყვანა ხდება მარტივი გეომეტრიული დამოკიდებულებების საფუძველზე, რომლებიც, როგორც ნახაზიდან ჩანს, მსგავსი სამკუთხედების თვისებებიდან გამომდინარეობს. ამასთან გასათვალისწინებელია

გადახრის ნიშანიც – მარჯვნივ თუ მარცხნივ არის გადახრა გასწვრივობიდან.

თუ მანძილებს ჩავთვლით ტოლებად:

$$l_{I.4} = l_{II.4} = \frac{1}{2} l_{I.II};$$

$$l_{I.2} = l_{2.4} = l_{4.6} = l_{6.II} = \frac{1}{4} l_{I.II};$$

$$l_{I.1} = l_{1.2} = l_{2.3} = l_{3.4} = l_{4.5} = l_{5.6} = l_{6.7} = l_{7.II} = \frac{1}{8} l_{I.II}.$$

მაშინ საერთო გასწვრივობიდან წერტილთა გადახრების სკშ შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი ფორმულებით (აქ იგულისხმება რომ კერძო q_i გადახრები დაყვანილია საერთო Y_i გადახრებზე):

$$\left. \begin{aligned} m_{Y_4} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{m_{\delta}''}{\rho''} l_{I.II}; \\ m_{Y_2} = m_{Y_6} &= \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{m_{\delta}''}{\rho''} l_{I.II}; \\ m_{Y_1} = m_{Y_7} &= \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot \frac{m_{\delta}''}{\rho''} l_{I.II}; \\ m_{Y_3} = m_{Y_5} &= \frac{\sqrt{11}}{8} \cdot \frac{m_{\delta}''}{\rho''} l_{I.II}. \end{aligned} \right\} \quad (7.2.2.12)$$

პირდაპირი და შებრუნებული სვლების გათვალისწინებით (7.2.2.12) ფორმულებში მოცემული ცდომილებები შემცირდება $\sqrt{2}$ -ჯერ.

პირველი სქემის (სრული გასწვრივობა) მსგავსად თუ მე-4, შუა წერტილის ცდომილებას 1-ის ტოლად მივიღებთ, დანარჩენი წერტილებისათვის ნაწილობითი სქემის შემთხვევაში გვექნება შემდეგი სიდიდეები:

1-ლი და მე-7 წერტილებისთვის – 0,43;

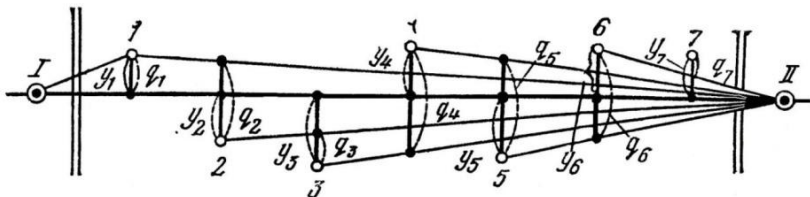
მე-2 და მე-6 წერტილებისთვის – 0,71;

მე-3 და მე-5 წერტილებისთვის – 0,83;

მე-4 წერტილისთვის – 1,00.

როგორც ვხედავთ, ნაწილობითი სქემის შემთხვევაში, სრული გასწვრივობის სქემასთან შედარებით, შეცდომების სიდიდეები ერთმანეთთან რამდენადმე დაახლოებულია. თუმცა, მაქსიმალური შეცდომა აქაც შუაში გვაქვს და მისი სიდიდე 2-ჯერ და მეტად აღემატება განაპირა წერტილების მდებარეობის შეცდომებს, რაც ამ სქემისთვისაც უარყოფითი მხარეა.

თანამიმდევრული გასწვრივობის სქემა.



ნახ. 7.2.2.4

ამ სქემაში გამოყენებულია გეოდეზიაში ფართოდ ცნობილი დებულება, რომ ხაზების ორიენტირების სიზუსტე იზრდება შორეულ პუნქტებზე დამზერით, ხოლო გადახრების გაზომვის ხაზოვანი სიდიდე მაღალი სიზუსტით ისაზღვრება მოკლე მანძილებზე.

ამ სქემის არსი ასეთია: გასწვრივობაში, რომელიც დაახლოებით n თანაბარ ნაწილებად არის დაყოფილი (25-50 მ სიგრძის), საწყის პუნქტში აყენებენ ინსტრუმენტს, ბოლო პუნქტში – მარკას. I, II გასწვრივობიდან წრედის ორი მდებარეობით ზომავენ მხოლოდ 1 წერტილის გადახრას (ნახ.7.2.2.4), შემდეგ ხელსაწყო გადააქვთ 1 წერტილში და $1, II$ გასწვრივობიდან ზომავენ მე-2 წერტილის კერძო q_2 გადახრას, შემდეგ ხელსაწყო გადააქვთ მე-2 წერტილში და $2, II$ გასწვრივობიდან ზომავენ მე-3 წერტილის კერძო q_3 გადახრას და ა.შ., შემდეგ კი ყველაფერს იმეორებენ შებრუნებული მიმართულებით.

წერტილის კერძო q_i გადახრები, როგორც წინა შემთხვევაში, დაჰყავთ საერთო გასწვრივობიდან Y_i გადახრებზე გეომეტრიული დამოკიდებულებებით.

თანამიმდევრული გასწვრივობის სქემის დროს გაზომილი კერძო გადახრები შეიძლება ჩავთვალოთ თანაბარხუსტად

$$m_q = \frac{m''_{\delta}}{\rho''} \frac{l_{I,II}}{n} , \quad (7.2.2.13)$$

სადაც n ნაწილებად დაყოფის რიცხვია.

ერთი და იმავე წერტილების Y_i გადახრები პირდაპირი და უკუმიმართულებით გაზომვების დროს სხვადასხვა სიზუსტით განისაზღვრება. საშუალო შედეგის წონა $P_{\text{საშ}} = P + P'$, სადაც P და P' პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულების დროს განსაზღვრული წონებია. სკშ ტოლი იქნება

$$m_{Y_{\text{საშ}}} = \frac{1}{\sqrt{P_{\text{საშ}}}} ,$$

ან

$$m_{Y_{\text{საშ}}} = \frac{m_Y \cdot m'_Y}{\sqrt{m_Y^2 + m'^2_Y}} . \quad (7.2.2.14)$$

თუ შუა წერტილის შეცდომას ამ სქემის გამოყენებისას მივიღებთ 1-ის ტოლად, მაშინ (7.2.2.14) ფორმულით დანარჩენი წერტილებისათვის სკშ ტოლი იქნება.

1-ლი და მე-7 წერტილებისთვის – 0,70;

მე-2 და მე-6 წერტილებისთვის – 0,87;

მე-3 და მე-5 წერტილებისთვის – 0,97;

მე-4 წერტილისთვის – 1,00.

თუ ამ სიდიდეებს შევადარებთ წინა სქემების ანალოგიურ სიდიდეებთან, ვნახავთ, რომ თანამიმდევრულ გასწვრივობის სქემაში კიდევ უფრო თანაბრდება ძვრების განსაზღვრის სიზუსტეები სხვადასხვა მანძილით დაშორებული

წერტილებისათვის. ამ სქემაში შუა წერტილის შეცდომა მხოლოდ $\sqrt{2}$ -ჯერ აღემატება განაპირა წერტილების შეცდომებს.

პრაქტიკამ აჩვენა, რომ რაც უფრო გრძელია გასწვრივობა, მით უფრო მეტი ეფექტით გამოიყენება თანამიმდევრული გასწვრივობის სქემა მოკლე ბიჯით (~ 25 მ).

მოცემული გასწვრივობის სიგრძის ($l_{I,II}$) და შუა წერტილში გადახრის განსაზღვრის მოთხოვნილი სიზუსტის მიხედვით, ზოგჯერ ანგარიშობენ თუ რამდენ ნაწილად უნდა დაიყოს გასწვრივობა

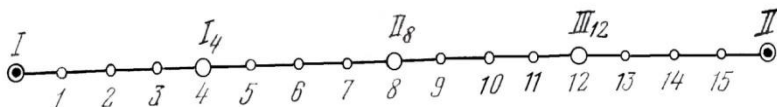
$$n = \left(\frac{m_g''}{\rho''} \frac{l_{I,II}}{2\sqrt{2} m_{Y_{\text{საშ}}}} \right)^2.$$

მაგალითად, თუ $m_g'' = 1''$, $l_{I,II} = 800$ მ და $m_{Y_{\text{საშ}}} = 0,5$ მმ, მივიღებთ

$$n = \left(\frac{1 \cdot 800\,000}{2\sqrt{2} \cdot 0,5 \cdot 206\,000} \right)^2 \approx 8.$$

ამ დროს თითოეული ნაწილის სიგრძე $l \approx \frac{800}{8} \approx 100$ მ. თუ იმავე პირობებისათვის, $m_{Y_{\text{საშ}}} = 0,35$ მმ-ს, მაშინ $n \approx 16$ და $\frac{l}{n} = 50$ მ.

ნაწილობით-თანამიმდევრული გასწვრივობის სქემა.



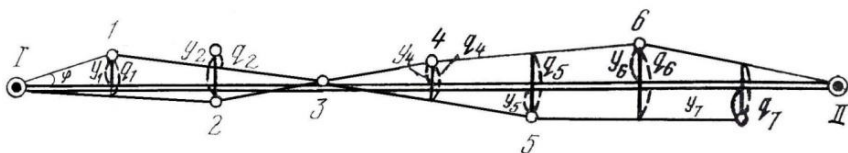
ნახ. 7.2.2.5

ზოგიერთ შემთხვევაში მიზანშეწონილია გასწვრივობითი გაზომვების ისეთი სქემის გამოყენება, რომელიც აერთიანებს მიმდევრობითი და ნაწილობითი გასწვრივობების სქემების უპირატესობებს.

ამ სქემის არსი ისაა, რომ: I,II საერთო გასწვრივობა (ნახ.7.2.2.5) დაყოფილია 4 ნაწილად. I,II₈ გასწვრივობიდან ზომავენ 1 წერტილის გადახრას, შემდეგ 1,II₈ გასწვრივობიდან

მე-2 წერტილის გადახრას და ა.შ. ბოლოს $3.II_8$ გასწვრივობიდან ზომავენ I_4 (იგივე 4) გადახრას. ამის შემდეგ $I_4.III_{12}$ გასწვრივობიდან ზომავენ მე-5 წერტილის გადახრას, $5.III_{12}$ -დან მე-6-ის გადახრას და ა.შ. ბოლოს $7.III_{12}$ -დან ზომავენ II_8 (იგივე მე-8 წერტილი) გადახრას. შემდეგ $II_8.II$ გასწვრივობიდან ზომავენ მე-9 წერტილის გადახრას და ა.შ. აგრძელებენ მანამ, სანამ არ განსაზღვრავენ მე-15 წერტილის გადახრას $14.II$ გასწვრივობიდან. შებრუნებულ სვლას ასრულებენ ისევ, როგორც პირდაპირს. გაზომილი კერძო გადახრების დაყვანას საერთო გადახრებზე ასრულებენ ისევ, როგორც ნაწილობითი და თანამიმდევრული სქემების დროს.

გადამფარავი გასწვრივობის სქემა. ყველა განხილულ სქემაში მოითხოვებოდა საწყის და ბოლო პუნქტებს შორის ხედვა. მაგრამ ზოგჯერ არის შემთხვევები, როცა ამ პუნქტებს შორის არ არის ხილვადობა, მაგალითად, მრუდწირულ გვირაბში. ამ დროს იყენებენ გადამფარავი გასწვრივობის სქემას, რომელშიც დასაკვირვებელ წერტილთა მდებარეობა განისაზღვრება ამ წერტილის უკან და წინ მდებარე მოსაზღვრე ნიშნების მიერ შექმნილი გასწვრივობიდან გადახრებით (ნახ.7.2.2.6)



ნახ. 7.2.2.6

პირდაპირი სვლის დროს ინსტრუმენტს აყენებენ I წერტილში, სამიზნე მარკას – მე-2 წერტილში და $I.2$ გასწვრივობიდან ზომავენ 1 წერტილის გადახრას (q_1). შემდეგ ხელსაწყოს აყენებენ 1 წერტილში, მარკას – მე-3 წერტილში და 1.3 გასწვრივობიდან ზომავენ მე-2 წერტილის გადახრას (q_2) და ა.შ. პირდაპირი სვლა მთავრდება მე-7 წერტილის გადახრის გაზომვით $6.II$ გასწვრივობიდან (q_7). შებრუნებულ სვლაში

ინსტრუმენტს აყენებენ II პუნქტში, მარკას მე-6 წერტილში და ზომავენ მე-7 წერტილის გადახრას და ა.შ. I პუნქტამდე. თუ გადახრათა სიდიდეები დიდია, იყენებენ მცირე კუთხეების ხერხს, მცირე გადახრების დროს კი – მოძრავი მარკის ხერხს. გაზომვები სრულდება ინსტრუმენტის ორი წრედით.

გაზომვის შედეგები დაყავთ I.II გასწვრივობიდან გადახრებზე. ამისათვის პოულობენ φ კუთხეს I.II საერთო გასწვრივობას და I.1 კერძო გასწვრივობას შორის. ასევე პოულობენ გასწვრივობის სვლის მობრუნების კუთხეებს, იღებენ კერძო კოორდინატთა სისტემას, რომლის სათავეს იღებენ I წერტილში, ხოლო აბსცისთა ღერძის მიმართულებას I.1-ის გასწვრივ. გამოითვლიან გვერდების ღირებულებას კუთხეებს, გასწვრივობის წერტილების ორდინატებს. φ კუთხით გადადიან კოორდინატთა კერძო სისტემიდან საერთო გასწვრივობის სისტემაზე.

ამ სქემის დროს პირდაპირ სვლაში უმცირესი შეცდომა გვაქვს 1-ელ წერტილში, უდიდესი – ბოლო წერტილში. შებრუნებულ სვლაში პირიქით იქნება.

ამ სქემის დროს შუა წერტილის შეცდომა 4-ჯერ აღემატება განაპირა წერტილების შეცდომებს:

1-ლი და მე-7 წერტილებისთვის – $m = 0,24$;

მე-2 და მე-6 წერტილებისთვის – $m = 0,55$;

მე-3 და მე-5 წერტილებისთვის – $m = 0,86$;

მე-4 წერტილისთვის – $m = 1,00$.

გადამფარავი სქემის დროს შეცდომები სწრაფად გროვდება, რაც მისი ძირითადი ნაკლია. მაგრამ ამ სქემას იყენებენ მაშინ, როცა სხვა სქემების გამოყენება შეუძლებელია.

შედარებისათვის ცხრილში (ცხრ.7.2.2.1) მოცემულია გასწვრივობითი გაზომვების ზემოთ განხილული ყველა სქემის შედარებითი ანალიზი, საიდანაც ნათლად ჩანს თანამიმდევრობითი სქემის უპირატესობა დანარჩენ სქემებთან შედარებით.

წერტილის ნომერი	გადახრის განსაზღვრის სკშ, მმ			
	სრული გასწვრივობის სქემა	ნაწილობითი გასწვრივობის სქემა	თანამიმდევრობითი გასწვრივობის სქემა	გადამფარავი გასწვრივობის სქემა
1,7	0,68	0,84	0,55	1,27
2,6	1,30	1,37	0,66	2,90
3,5	1,76	1,62	0,67	4,53
4	1,94	1,94	0,75	5,28

7.2.3. შენობა-ნაგებობათა ძვრების განსაზღვრა ხაზოვან-კუთხური აგებების გამოყენებით

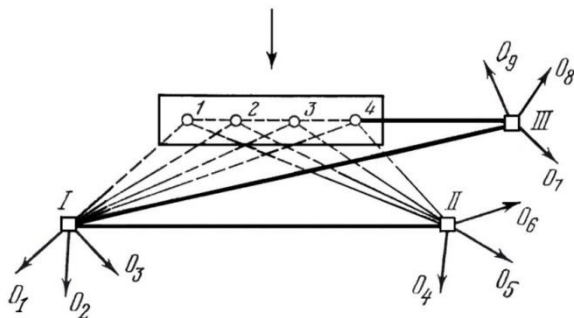
ხაზოვან-კუთხური აგებებით შენობა-ნაგებობების ძვრების განსაზღვრისათვის, საინჟინრო ნაგებობის სახეობისა და მისი დანიშნულების, ადგილმდებარეობის, რელიეფის ფორმების და გაზომვის საშუალებათა მიხედვით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს:

- 1) მიმართულებების ხერხი;
- 2) ტრიანგულაციის ხერხი;
- 3) ტრილატერაციის ხერხი;
- 4) ხაზოვან-კუთხური ქსელების ხერხი;
- 5) კუთხური გადაკვეთის ხერხი;
- 6) კომბინირებული ხერხი.

განვიხილოთ თითოეულის გამოყენების პირობები და არსი.

მიმართულებების ხერხი. ამ ხერხით შეიძლება გაიზომოს ნებისმიერი ნაგებობის ძვრები, როცა შეუძლებელია მასზე

გასწვრივობის დამაგრება ან დასაკვირვებელი წერტილების რაოდენობა მცირეა – არაუმეტეს 3-5 წერტილისა.



ნახ. 7.2.3.1

მიმართულების ხერხით ნაგებობის ძვრის გასაზომად საჭიროა არანაკლებ სამი საყრდენი პუნქტი (I, II, III. ნახ.7.2.3.1). თანაც ერთი (ნახაზზე III) სასურველია ისე დავამაგროთ, რომ ამ პუნქტიდან მიმართულებები დასაკვირვებელ წერტილებამდე (1,2,3,4) დაახლოებით მართობულად იყოს ნაგებობის მოსალოდნელი ძვრის მიმართულებისადმი. სამი საყრდენი პუნქტი უნდა ადგენდეს სამკუთხედს არანაკლებ 30^0 -იანი კუთხეებით. მანძილი საყრდენი პუნქტიდან დასაკვირვებელ პუნქტამდე არ უნდა იყოს 1000 მ-ზე მეტი. თითოეული საყრდენი პუნქტიდან დასაკვირვებელი წერტილის ძვრის სიდიდე იანგარიშება მანძილით და საორიენტირო მიმართულებების ცვლილებით.

$$q = l \frac{\Delta\beta''}{\rho''} \quad , \quad (7.2.3.1)$$

სადაც, l არის საყრდენი პუნქტიდან წერტილამდე მანძილი, მმ;

$\Delta\beta$ – დასაკვირვებელ წერტილზე მიმართულების ცვლილება ციკლებს შორის.

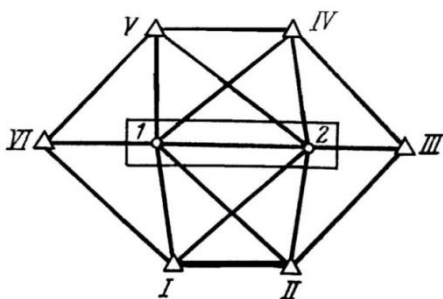
ყოველი ცალკეული კერძო ძვრის შეცდომას ანგარიშობენ ფორმულით

$$m_q = \frac{m_{\Delta\beta}}{\rho} l \quad . \quad (7.2.3.2)$$

გაზომვების ყოველი ციკლის დროს უნდა გაკონტროლდეს საყრდენი პუნქტების მდგრადობა. ამ მიზნით იყენებენ შებრუნებულ გადაკვეთებს შორის განლაგებულ საორიენტირო პუნქტებზე, ტრილატერაციას და სხვ. ყოველ ციკლში საორიენტირო მიმართულებები უცვლელი უნდა იყოს. ნაგებობის ძვრა განისაზღვრება მხოლოდ მყარი პუნქტიდან, დანარჩენი ორი ამ შემთხვევაში გამოიყენება საკონტროლოდ. საორიენტირო მიმართულებები იზომება მაღალი სიზუსტის ინსტრუმენტით რამდენიმე ილეთით.

თითოეული მარკის ძვრის მიმართულება და სიდიდე განისაზღვრება გრაფიკულად. მარკის ძვრის ვექტორის სრულ სიდიდეს და მიმართულებას საზღვრავენ, როგორც ძვრის ვექტორის პროექციას მოქმედი ძალის მიმართულებაზე.

ტრიანგულაციის ხერხი. ამ ხერხს ძირითადად იყენებენ მთაგორიან ადგილებში განლაგებული ბეტონის თაღოვანი კაშხლის ძვრებზე დასაკვირვებლად. იგულისხმება სპეციალური ჰიდროტექნიკური ტრიანგულაციის ქსელის აგება, რომელშიც პუნქტების სახით ჩართულია დასაკვირვებელი წერტილები (ნახ.7.2.3.2).



ნახ. 7.2.3.2

ნაგებობის დასაკვირვებელი წერტილები შეიძლება განლაგებული იყოს სხვადასხვა სიმაღლეზე.

ქსელში იზომება ბაზისები და კუთხეები. გაწონასწორების შემდეგ გამოითვლება პუნქტების კოორდინატები. ძვრის სიდიდეს და მიმართულებას საზღვრავენ კოორდინატების ცვლილებებით სხვადასხვა ციკლში.

ძვრის საშუალო კვადრატული ცდომილება იანგარიშება ფორმულით

$$m_q = \sqrt{m_{\Delta X}^2 + m_{\Delta Y}^2} \quad , \quad (7.2.3.3)$$

სადაც, $m_{\Delta X}$ და $m_{\Delta Y}$ არის კოორდინატთა ნაზრდების სკმ.

ტრიანგულაციის პუნქტები უნდა განლაგდეს ნაგებობის დეფორმაციის ზონის გარეთ. თუ მათი მდგრადობა ეჭვს იწვევს, უნდა შემოწმდეს უფრო შორს მდებარე მყარი პუნქტებიდან.

ნაგებობის ძვრის გასაზომად ტრიანგულაციის მეთოდის გამოყენების განსაკუთრებულობა არის ის, რომ მოკლე გვერდების გამო იგი უზრუნველყოფს ძვრების სიდიდეების მაღალი სიზუსტით მიღებას. ამასთან, თუ ტრიანგულაციის ქსელის დანიშნულება მხოლოდ ძვრების გაზომვა იქნება, მაშინ აუცილებელი არ არის ბაზისის დიდი სიზუსტით გაზომვა. ამ დროს იყენებენ პირობითი ბაზისის ხერხს, რომელიც იზომება მცირე სიზუსტით – $\frac{1}{1000}$ – $\frac{1}{2000}$ და მუდმივია ყველა ციკლში.

ტრილატერაციის ხერხი. ცალკეულ შემთხვევებში, გაზომვების პირობების მიხედვით, ტრიანგულაციას თაღოვანი კაშხლების ძვრებზე დაკვირვებებისას, ცვლიან ტრილატერაციით. იგი გამოიყენება ძირითადად იმ წერტილების ძვრებზე დასაკვირვებლად, რომლებიც განლაგებულია კაშხლის ტანის ახლოს ნაპირებზე და რომლებიდანაც შეიძლება განისაზღვროს კაშხლის ძირის ახლოს განლაგებული წერტილების კოორდინატები გადაკვეთების ხერხით.

ტრიანგულაციის ხერხთან შედარებით, მას გააჩნია რიგი უპირატესობანი:

- კაშხლის და ზედა ბიეფის პუნქტების კოორდინატების განსაზღვრის უფრო მაღალი სიზუსტე;
- სამუშაოს შესრულებაზე დროის ნაკლები ხარჯი და მცირე შრომატევადობა.

ტრილატერაციის ხერხის გამოყენებისას ყველაზე მიზანშეწონილად ითვლება ოთხკუთხედებისგან შემდგარი ქსელი. რაც შეეხება ქსელის შექმნის სამუშაოებს, იგი ტრიანგულაციის ქსელის ანალოგიურია.

ხაზოვან-კუთხური ქსელების ხერხი. ასეთი ქსელების შექმნა დაკავშირებულია სავსელე სამუშაოების დიდ მოცულობასთან (იზომება გვერდები და კუთხეები), ამიტომ მას პრაქტიკაში ნაკლები გამოყენება აქვს. ჩვეულებრივ, მას იყენებენ იმ შემთხვევებში, როცა ცალ-ცალკე ტრიანგულაციის ან ტრილატერაციის მეთოდები ვერ აკმაყოფილებენ ძვრების გაზომვის მოთხოვნილ სიზუსტეს. ზოგჯერ ამ ხერხს იყენებენ მთიან რაიონებში წყალსატევების ნაპირებისა და კაშხლის თხემზე წერტილების მოძრაობათა შესწავლისას.

ხაზოვან-კუთხური ქსელის სქემა მსგავსია ტრიანგულაციის სქემისა (ნახ.7.2.3.2). მისი დაპროექტებისას მხედველობაში უნდა მივიღოთ შემდეგი – სხვა გეოდეზიურ ქსელებთან შედარებით, იგი უფრო მყარია. ამასთან ქსელის კონფიგურაცია შეიძლება არ იყოს იდეალური მაშინ, როცა ტრიანგულაციის და ტრილატერაციის სიმყარე დიდადაა დამოკიდებული ქსელის გეომეტრიულ კონფიგურაციაზე;

ხაზოვან-კუთხური ქსელები დაახლოებით 1,5-ჯერ ზუსტია ტრიანგულაციასა და ტრილატერაციაზე, თუ ქსელში გაზომვები ტოლზუსტია.

ხაზოვანი და კუთხური გაზომვების ერთდროული გაწონასწორება იწვევს ქსელის ელემენტების სიზუსტის გაზრდას, თუ კუთხური და ხაზოვანი გაზომვების შედეგების ფარდობით შეცდომათა თანაფარდობისთვის სრულდება პირობა

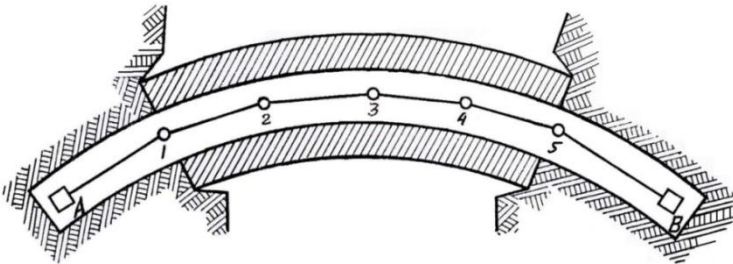
$$\frac{1}{3} < \frac{m_{\beta}}{\rho} : \frac{m_S}{S} < 3 .$$

თუ ეს პირობა არ სრულდება, მაშინ მიზანშეწონილია ჩავატაროთ მხოლოდ კუთხური ან მხოლოდ ხაზოვანი გაზომვები იმის მიხედვით, რომელი სიდიდეა უფრო მცირე $\frac{m_{\beta}}{\rho}$ თუ $\frac{m_S}{S}$.

ზოგ შემთხვევაში, შეიძლება გაიზომოს არა ყველა, არამედ გვერდების ნაწილი. გაზომვების საჭირო მოცულობას ირჩევენ პუნქტების კოორდინატების ან გვერდების სიგრძეების წინასწარ მოცემული სიზუსტისგან გამომდინარე.

პოლიგონომეტრიის ხერხი. შევიწროებულ პირობებში მუშაობისას, ზოგჯერ ძვრების გასაზომად მიზანშეწონილია პოლიგონომეტრიული ხერხის გამოყენება. კერძოდ, მისი გამოყენება ხელსაყრელია გვირაბების წერტილების, თაღოვანი კაშხლების და წრიული ტიპის ნაგებობების ძვრების გაზომვებისათვის (ნახ.7.2.3.3).

თაღოვანი კაშხლის ტანში (პატერნაში) განლაგებულ პოლიგონომეტრიულ სვლებში, საყრდენ პუნქტებს შორის (რომლებიც ნაპირებზე მყარ ქანებშია ჩამაგრებული), როგორც წესი, სვლის აზიმუტური მიბმის საშუალება არ არის და გაწონასწორებისას სარგებლობენ მხოლოდ კოორდინატების პირობით, რაც ძვრების გაზომვის მცირე დასაშვები ცდომილებებისას (1-3 მმ), მოითხოვს სვლაში კუთხური გაზომვების მაღალ სიზუსტეს.



ნახ. 7.2.3.3

ასე მაგალითად, თუ სვლის სიგრძე 500 მ-ია, გვერდის სიგრძე – $l = 100$ მ (გვერდების რაოდენობა $n = \frac{500}{100} = 5$) და ძვრის განსაზღვრის დასაშვები შეცდომა – 2 მმ, თანაბარი გავლენის პრინციპის მიხედვით, მივიღებთ:

$$\text{დასაშვები გრძივი ძვრა} - m_t = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \text{ მმ};$$

$$\text{დასაშვები განივი ძვრა} - m_u = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \text{ მმ}.$$

გაწონასწორების შემდეგ სვლის შუა წერტილის გრძივი ძვრა იქნება

$$m_t = \frac{m_l \sqrt{n}}{2},$$

სადაც, m_l არის სვლის გვერდის გაზომვის სკშ.

წინა ფორმულიდან

$$m_l = \frac{2m_t}{\sqrt{n}} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{5}} \approx 1,2 \text{ მმ}.$$

განივი შეცდომა სვლის შუაში კოორდინატული მიბმით, ტოლი იქნება

$$m_u = \frac{m_\beta}{\rho} l \sqrt{\frac{n(n^2 + 3)}{48}},$$

საიდანაც

$$m_\beta = \frac{m_u}{l} \rho \sqrt{\frac{48}{n(n^2 + 3)}} \approx 1,7''.$$

რაც შეეხება პოლიგონომეტრიულ სვლას კაშხლის თხემზე, აქ არის საშუალება გავზომოთ შემაკავშირებელი კუთხეები ბოლო საყრდენ პუნქტებზე. ამ შემთხვევაში, განივი შეცდომა სვლის შუაში, რომელიც გაწონასწორებული იქნება კოორდინატების და აზიმუტების პირობებით, ტოლია

$$m_u = \frac{m_\beta}{\rho} l \sqrt{\frac{n(n+2)(n^2+2n+4)}{192(n+1)}}.$$

ზემოთ მოტანილი მაგალითისათვის, $m_p = 2,7''$.

ამ მაგალითებიდან ჩანს, რომ პოლიგონომეტრიულ სვლაში მანძილების გასაზომად უნდა გამოვიყენოთ მაღალი სიზუსტის მანძილმზომები ან ინვარიის მავთულები. კუთხური გაზომვებიც მაღალი სიზუსტის ინსტრუმენტებით უნდა ჩავატაროთ.

პოლიგონომეტრიული გაზომვები მაღლივ კაშხალზე და დაკვირვებები პირდაპირ და შებრუნებულ შევეულებზე ხშირად ერთდროულად სრულდება.

პირდაპირ შევეულში ვერტიკალური ხაზი ფიქსირდება 0,8-1,2 მმ დიამეტრის მავთულით, რომელიც ზედა იარუსზეა ჩამაგრებული 20 კგ დატვირთვით. ქვედა იარუსზე მავთულის მდებარეობა განისაზღვრება მექანიკური ან ოპტიკურ-ელექტრონული ტიპის კოორდინატომეტრის დახმარებით, რომელიც 0,5-1 მმ სიზუსტეს უზრუნველყოფს. შეცდომების მთავარი წყარო მავთულის რხევაა.

ნაგებობის საძირკვლის ძვრებზე დაკვირვებები შეიძლება ჩატარდეს შებრუნებული მოტივტივე შევეულის დახმარებით (მ. მურავიოვის კონსტრუქცია). იგი ზედაპირზე ამოდის ვერტიკალური ხვრელით და მისი მოქმედების პრინციპი დამყარებულია არქიმედეს კანონზე. საძირკველში ქვედა ბოლოთი ჩამაგრებული მავთულის ზედა ბოლო მყარადაა დაკავშირებული სიცარიელის შემცველ ტივტივასთან, (ტორის სხეული), რომელიც წყალშია ჩაშვებული. მავთული დაჭიმულია ამომგდები ძალის გავლენით. საძირკვლის წერტილის დაძვრისას ტივტივა მავთულიანად გადაადგილდება, რასაც ზომავენ მიკროსკოპით საკოორდინატო მაგიდის მიმართ, რომლის ღერძები დამოუკიდებელია შევეულისაგან.

კუთხური გადაკვეთების ხერხი. ამ ხერხს ხშირად იყენებენ კაშხალზე მიუდგომელი წერტილების ძვრების გასაზომად. პირდაპირ კუთხურ გადაკვეთას ფართოდ იყენებენ კაშხლის ტანის ზედა და ქვედა წერტილების, აგრეთვე წყალსაცავის გვერდებზე მეწყრული წერტილების ძვრების გასაზომად. შებრუნებული

გადაკვეთები უფრო ეფექტური აღმოჩნდა მიწისა და ნაყარი ქანების კაშხლების ძვრებზე დაკვირვებებისათვის. დაკვირვების პროექტის შედგენისას, ძვრის განსაზღვრის მოცემული ცლომილებით, გამოთვლიან საყრდენ პუნქტზე კუთხის გაზომვის სიზუსტეს, ილეთების რაოდენობას და შეიარჩევენ გაზომვების მეთოდოკას.

ძვრების გამოთვლა რეკომენდებულია დიფერენციალურად, არა ყოველ ციკლში პუნქტების კოორდინატების გამოთვლით, არამედ ციკლიდან ციკლამდე მათი ცვლილებებით. ამიტომ სამუშაოთა მოცულობა მეორე და შემდეგ ციკლებში მცირდება.

კომბინირებული ხერხი. პრაქტიკაში ხშირად წარმოიქმნება ზემოთ განხილული ხერხების ერთმანეთთან კომბინაციაში გამოყენების შესაძლებლობა და ხშირად იმ მიზეზით, როცა საყრდენი პუნქტები არამდგრადია.

ზემოთ განვიხილეთ ტრიანგულაციის მეთოდთან ერთად პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის ხერხის გამოყენება ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ძვრებთან დაკავშირებით. როცა საყრდენი პუნქტები არ არის მყარი, მაშინ გაზომვების გასწვრივობით მეთოდებთან ერთად გამოიყენება ცალკეული მიმართულებების ან ტრიანგულაციის ხერხები.

ტრიანგულაციის ხერხი გასწვრივობის ხერხთან ერთად, ხშირად გამოიყენება ზღვების სანაპიროებისა და შემაკავებელი კედლების ძვრებზე დაკვირვებების დროს. ამ დროს გასწვრივობიდან ისაზღვრება დასაკვირვებელი წერტილების გადახრები, ხოლო სატრიანგულაციო დაკვირვებებით – საყრდენი პუნქტების მდგრადობა.

კომბინირებული ხერხის დროს ძვრების სიზუსტეთა შეფასება ხდება თითოეული ხერხისთვის ცალ-ცალკე, რის შემდეგ შეფასდება ნაგებობის წერტილების ძვრების საერთო სკმ გაზომვის ცალკეულ ციკლში.

7.3. შენობებისა და ნაგებობების დახრასა და ნაპრალებზე დაკვირვებები

შენობა-ნაგებობათა დახრას კონკრეტული ტექნიკური მოთხოვნების და დაკვირვების პირობების მიხედვით ზომავენ სხვადასხვა მეთოდით: მექანიკური შვეულებისა და ოპტიკური მცენტრაციების მეშვეობით, კლინომეტრებით და გეოდეზიური აგებების საშუალებით, რომელშიც იგულისხმება – კოორდინატების, ვერტიკალური დაპროექციების, კუთხეებისა და მაღალი სიზუსტის ნიველობის ხერხები.

შენობა-ნაგებობათა გადახრებს ზომავენ როგორც მშენებლობის დროს, ისე მისი დამთავრების შემდეგ.

საძირკვლების და ნაგებობების დახრაზე დაკვირვებებისას გაზომვის ზღვრული შეცდომები არ უნდა აღემატებოდეს:

- აგრეგატების და მანქანა-დანადგარების საძირკვლებისთვის – $0,00001 L$;
- სამოქალაქო და სამრეწველო შენობა-ნაგებობების კედლებისთვის – $0,0001 H$;
- საკვამლე მიწებისათვის, კოშკებისათვის, ანძებისათვის – $0,0005 H$.

სადაც, L საძირკვლის სიგრძეა, მ, H – ნაგებობის სიმაღლე, მ.

შვეულის გამოყენება. შენობის გადახრის გასაზომად ზოგჯერ იყენებენ მექანიკურ შვეულს. მავთულს გამოაბამენ კონსტრუქციის ან შენობის ზემო ნაწილში და ვერტიკალიდან გადახრას აფიქსირებენ ასათვლელი მოწყობილობით ქვემოთ სკალაზე. გადახრის სიდიდე და მიმართულება განისაზღვრება შენობის საძირკველში ჩამაგრებული ცენტრიდან შვეულის გადახრის სიდიდით. შეცდომის ძირითადი წყარო შვეულის რხევაა. ეს მეთოდი უზრუნველყოფს გაზომვის მოთხოვნილ სიზუსტეს 15 მ სიმაღლის ნაგებობისთვის. იმავე მიზნით გამოიყენება ოპტიკურ-

მექანიკური ხელსაწყო – პენდამეტრი, რომლითაც იზომება შვეულის გადახრა ვერტიკალიდან მართკუთხა კოორდინატთა სისტემაში, ერთდროულად ორი ურთიერთმართობი გვერდებიდან. იგი შედგება სამზერი ჭოგრისა და ორი მიკროსკოპისგან, რომლებიდანაც დამზერილი შვეული ჩანს ერთ ფოკალურ სიბრტყეში და დაიმზირება ოკულარიდან. ორივე გამოსახულება ერთდება ძაფთა ბადის გადაკვეთაზე და მიკროსკოპ-მიკრომეტრის სკალების მიხედვით ანათვლებს იღებენ X და Y ღერძების გასწვრივ.

ვერტიკალური დაპროექციების ხელსაწყოების გამოყენება. გადახრების გაზომვისათვის იყენებენ სხვადასხვა სახის ოპტიკურ, თარაზოიან ხელსაწყოებს ან კომპენსატორიან ზენიტ-ხელსაწყოებს, რომლებსაც მზერის ღერძი ავტომატურად მოჰყავთ შვეულ მდგომარეობაში.

ხელსაყრელ პირობებში ამ ტიპის ხელსაწყოები 100 მ სიმაღლის შენობის გადახრას ზომავს 1 მმ ცდომილებით (მაგ. *PZL*). გაზომვების სიზუსტის გაზრდისათვის ზენიტ-ხელსაწყოებში დაიწყეს ლაზერების გამოყენება, რომელიც ამავე დროს გაზომვის პროცესის ავტომატიზაციის საშუალებას იძლევა. ლაზერის სხივს ვერტიკალურად მიმართავენ ან ზუსტი თარაზოთი, ან კომპენსატორით.

კოორდინატების ზერხი. ნაგებობის გარშემო სიმაღლის 2-3-ჯერად მანძილზე აგებენ ჩაკეტილ პოლიგონომეტრიულ სვლას და ლოკალურ კოორდინატთა სისტემაში გამოთვლიან 3-4 მუდმივად ჩამაგრებული პუნქტის კოორდინატებს. შემდეგ ამ პუნქტებიდან განსაზღვრული დროის შუალედებით პირდაპირი კუთხური გადაკვეთებით განსაზღვრავენ შენობაზე კარგად შესამჩნევი წერტილების კოორდინატებს. ამ კოორდინატების სხვაობით მიმდინარე და საწყის ციკლებში პოულობენ გადახრის მდგენლებს

$$\left. \begin{aligned} Q_x &= X_j - X_0 \\ Q_y &= Y_j - Y_0 \end{aligned} \right\} \quad (7.3.1)$$

სადაც, X_0, Y_0 არის წერტილის კოორდინატები საწყის ციკლში;

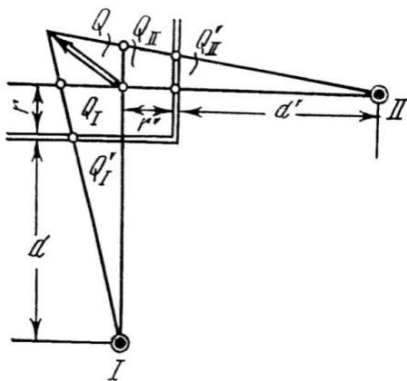
X_j, Y_j — იმავე წერტილის კოორდინატები j ციკლში.

დასაკვირვებელი წერტილის გეგმური გადახრის სრული სიდიდე და მიმართულება იქნება

$$\left. \begin{aligned} Q &= \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}, \\ \operatorname{tg} \alpha_Q &= \frac{Q_y}{Q_x}. \end{aligned} \right\} \quad (7.3.2)$$

გაზომვების სიზუსტე იანგარიშება პირდაპირი მრავალგზისი გადაკვეთების ფორმულებით.

ვერტიკალური დაგეგმილების ხერხი. ნაგებობის ორ ურთიერთმართობ ღერძზე ამაგრებენ I და II მუდმივ პუნქტებს (ნახ.7.3.1.).



ნახ.7.3.1

ამ პუნქტებზე აყენებენ თეოდოლიტს და წრედის ორი მდებარეობით, ნაგებობაზე შერჩეულ წერტილს აგეგმილებენ ქვევით საძირკველზე. ამას იმეორებენ განსაზღვრულ დროის შუალედებში. გადახრის Q სრული სიდიდის განსაზღვრისათვის აუცილებელია, პირველ ყოვლისა, ჩავატაროთ ერთდროული დაკვირვებები I და II პუნქტებიდან და მეორე რიგში, გრაფიკულად ან ანალიზურად გადავიდეთ გადახრების Q_I' და Q_{II}' მდგენლებიდან ცენტრალურ პროექციაში გადახრების

ორთოგონალურ Q_I და Q_{II} სიდიდეებზე. ცენტრალურ პროექციაში გადახრის დამახინჯება მით მეტი იქნება, რაც უფრო ახლოს იქნება I და II პუნქტები შენობის საძირკველთან და რაც მეტი იქნება დაგეგმილების სიმაღლე.

(7.3.1) ნახაზიდან გვაქვს

$$\left. \begin{aligned} \frac{Q_I}{r+d} &= \frac{Q'_I}{d}, \quad \text{საიდანაც } Q_I = Q'_I \left(1 + \frac{r}{d}\right), \\ \frac{Q_{II}}{r'+d'} &= \frac{Q'_{II}}{d'}, \quad \text{საიდანაც } Q_{II} = Q'_{II} \left(1 + \frac{r'}{d'}\right). \end{aligned} \right\} \quad (7.3.3)$$

სრული გადახრის სიდიდე იქნება

$$Q = \sqrt{Q_I^2 + Q_{II}^2}. \quad (7.3.4)$$

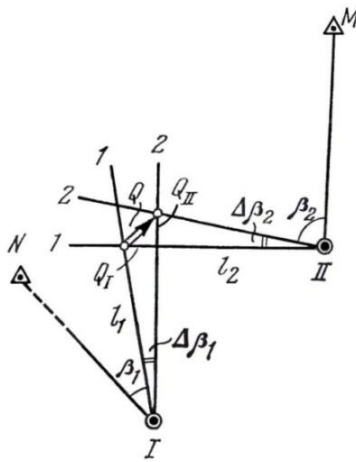
ამ ხერხის სიზუსტე ძირითადად, დამოკიდებულია ხელსაწყოს მთავარი ღერძის ვერტიკალურ მდგომარეობაში მოყვანის სიზუსტეზე.

ჰორიზონტალური კუთხეების ხერხი. დახურული საძირკვლის მქონე მაღლივი შენობისათვის დახრაზე დაკვირვება მიზანშეწონილია ჩავატაროთ ზუსტი თეოდოლიტით I და II პუნქტებზე პერიოდულად IN და IIM მიმართულებებსა და დასაკვირვებელ პუნქტზე მიმართულებას შორის კუთხეების გაზომვით (ნახ.7.3.2)

ამ კუთხეების ცვლილებებით და ჰორიზონტალური მანძილებით დასაკვირვებელ პუნქტამდე – l_1 -ითა და l_2 -ით (ნახ.7.3.2) ვპოულობთ სრული გადახრის მდგენლებს:

$$Q_I = \frac{l_1 \Delta \beta_1}{\rho}, \quad Q_{II} = \frac{l_2 \Delta \beta_2}{\rho},$$

სადაც, l_1 და l_2 შეიძლება განისაზღვროს I და II პუნქტებიდან პირდაპირი კუთხური გადაკვეთით.



ნახ. 7.3.2

Q_I და Q_{II} მდგენლებით ვიპოვიტ სრული გადახრის სიდიდეს

$$Q = \sqrt{Q_I^2 + Q_{II}^2} . \quad (7.3.5)$$

გადახრის ხაზოვანი სიდიდის (Q) ფარდობა შენობის სიმაღლესთან (H) მოგვცემს შენობის გადახრას კუთხურ განზომილებაში

$$\gamma = \frac{Q}{H} \rho . \quad (7.3.6)$$

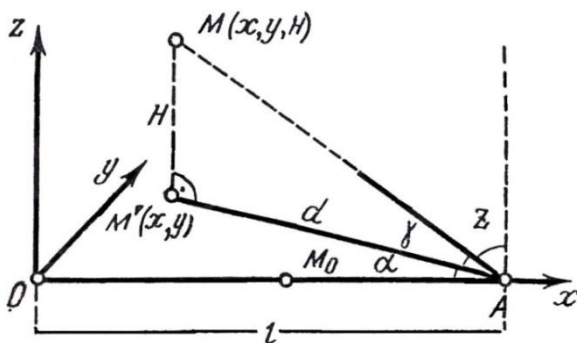
ამ ხერხის სიზუსტე ძირითადად დამოკიდებულია β_1 და β_2 კუთხეების გაზომვის სიზუსტეზე.

თუ შენობის დახრაზე დაკვირვებას ახდენენ პუნქტებიდან, რომელთა დამხერის ხაზებს შორის იქმნება γ კუთხე, მაშინ სრული გადახრა ტოლი იქნება

$$Q = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{Q_I^2 + Q_{II}^2 - 2Q_I \cdot Q_{II} \cdot \cos \gamma} . \quad (7.3.7)$$

ჰორიზონტალური და ვერტიკალური კუთხეების ხერხი. ამ ხერხის დროს A საყრდენი პუნქტიდან (ნახ.7.3.3) თეოდოლითი ზომავენ ჰორიზონტალურ კუთხეებს ნაგებობის ცენტრზე მიმართულებას და შენობის ზევით მარკირებულ წერტილზე

მიმართულებას შორის, აგრეთვე ზენიტურ (ვერტიკალურ) კუთხეს ამ უკანასკნელზე. საყრდენი პუნქტი საძირკვიდან უნდა იყოს დამორებული არანაკლებ შენობის სიმაღლის ტოლ მანძილზე.



ნახ. 7.3.3

კოორდინატთა სათავეს ღებულობენ ნაგებობის ცენტრში (0 წერტილი), ხოლო X ღერძს მიმართავენ OA მიმართულებით. ნაგებობის საძირკველში აბსცისის ღერძზე ამაგრებენ M_0 მარკას და X ღერძის გასწვრივობაში (OXZ სიბრტყეში) შენობის სახურავზე ამაგრებენ M მარკას.

დაკვირვების თითოეულ ციკლში, თეოდოლიტის ერთი და იმავე სიმაღლის დროს ზომავენ მცირე ჰორიზონტალურ კუთხეს AM_0 და AM მიმართულებებს შორის, აგრეთვე ზენიტურ კუთხეს.

ნახ.(7.3.3)-ის მიხედვით M' წერტილის (M -ის პროექცია) კოორდინატები იქნება

$$\left. \begin{aligned} x &= l - d \cos \alpha \\ y &= d \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (7.3.8)$$

სადაც, l თეოდოლიტიდან ნაგებობის ცენტრამდე მანძილია;

d – AM მანძილის ჰორიზონტალური პროექცია.

$\Delta M'MA$ -დან გვაქვს

$$d = \frac{H}{\operatorname{tg} \gamma} = H \operatorname{tg} Z .$$

d -ს ამ მნიშვნელობის შეტანით (7.3.8) ფორმულაში, მივიღებთ

$$\left. \begin{aligned} x &= l - H \cos \alpha \operatorname{tg} Z, \\ y &= H \sin \alpha \operatorname{tg} Z. \end{aligned} \right\} \quad (7.3.9)$$

მაღალი სიზუსტის ნიველობის ხერხი. მყარად განლაგებული ნაგებობის (საკვამლე მილი, კოშკი, ანძა, ელევატორი) დახრა შეიძლება გაიზომოს საძირკვლის დაწვევების გაზომვის შედეგებით.

საძირკველზე ურთიერთმართობი ღერძების ბოლოებში განლაგებულ მარკებზე მაღალი სიზუსტის პერიოდული ნიველობით განისაზღვრება მათი დაწვევები, ხოლო დაწვევების სხვაობით (ΔS) – საძირკვლის დახრა ღერძების გასწვრივ. ასე, მაგალითად, 1.2 ღერძისათვის დახრა ტოლი იქნება

$$i_{1.2} = \frac{\Delta S_{1.2}}{l_{1.2}}.$$

ნაგებობის H სიმაღლის დროს, მისი წვეროს გადახრის მდგენელი ამ ღერძის გასწვრივ ტოლი იქნება

$$Q_{1.2} = H \cdot i_{1.2} = H \frac{\Delta S_{1.2}}{l_{1.2}}.$$

გადახრის სრული სიდიდე განისაზღვრება ურთიერთმართობი ღერძების გასწვრივ მდგენლების მეშვეობით, პარალელოგრამის წესით. ამ ხერხის სიზუსტე ტოლია

$$m_{Q_{1.2}} = m_{\Delta S_{1.2}} \frac{H}{l_{1.2}}.$$

კლინომეტრების გამოყენება. მყარი ნაგებობის დახრის განსაზღვრა შესაძლებელია სხვადასხვა სახის კლინომეტრის მეშვეობით, რომლებიც ზედსადები მაღალი სიზუსტის თარაზობია დანაყოფის ფასით 2 – 5'' (მიკროკრენომეტრი, კლინომეტრი, მიკრონიველერი).

მიკროკრენომეტრი სამი ზუსტი თარაზოსგან შედგება მიკრომეტრული გამზომი ხრახნებით. კლინომეტრი გადასატანი ხელსაწყოა, რომლის ძირითადი ნაწილი ზუსტი თარაზოა, ერთ-ერთ ბოლოზე გამზომი ხრახნით.

ამ ხელსაწყოებით გაზომვა დამხმარე, საკონტროლოა.

ნაპრალებზე დაკვირვებები. ნაგებობის საძირკვლის არათანაბარი დეფორმაციები იწვევს ნაპრალების წარმოქმნას. განსაკუთრებით საშიშია ნაპრალების წარმოქმნა ჰიდროტექნიკური ნაგებობის ბეტონის კაშხალში, როცა გაშიშვლებული არმატურა კოროზიას განიცდის და წარმოიქმნება წყლის ფილტრაციის ხელშემწყობი პირობები.

განვითარების მიხედვით ნაპრალი შეიძლება იყოს აქტიური და არააქტიური. აქტიური ნაპრალი ფართოვდება. დაკვირვება ზდება სამი კოორდინატის მიხედვით. ნაპრალის გამოვლენისათვის სარგებლობენ სპეციალური შუქურით, რომელიც წარმოადგენს თაბაშირის, ალუბასტრის ან მინის ფილას. ასეთი შუქურა მაგრდება ნაპრალში განივად ყველაზე ფართო ადგილას და მყარად. თუ ნაპრალი აქტიურია, მაშინ თვით შუქურაზე წარმოიქმნება ნაპრალი, რომლის სიდიდეს ზომავენ სახაზავით.

ასეთი დაკვირვებები უფრო ხარისხობრივია, ვიდრე რაოდენობრივი. ნაპრალის გასაზომად არსებობს სხვადასხვა ხელსაწყო: დეფორმომეტრი, ნაპრალმზომი, შტანგენფარგალი, მიკრომეტრი, საათური ტიპის ინდიკატორი და სხვა. გაზომვის სიზუსტე სხვადასხვაა.

ძნელად მისადგომ ადგილას ნაპრალის გასაზომად ხმარობენ ინდუქციური ტიპის გადამწოდებს ინფორმაციის დისტანციური მიღებით. შესაძლებლობის შემთხვევაში ნაპრალს უღებენ ფოტოსურათებს.

7.4. ნაგებობის დეფორმაციებზე დაკვირვება ფოტოგრამმეტრიული მეთოდებით

ნაგებობის დეფორმაციების (დაწევა, ძვრა, დახრა) ფოტოგრამმეტრიული მეთოდით განსაზღვრისას, სპეციალური კამერებით (ფოტოთეოდოლიტებით) ახდენენ ნაგებობაზე დამაგრებული მარკების ფოტოგრაფირებას და შემდეგ, სათანადო ხელსაწყოების მეშვეობით ფოტოსურათებზე ჩატარებული გაზომვებით ღებულობენ ამ მარკების კოორდინატებს.

მეთოდის დადებითი მხარეებია:

- სწრაფად მიიღება წერტილთა გადაადგილება სამივე ღერძის მიმართ;
- უმოკლეს დროში ფიქსირდება დიდი რაოდენობის წერტილების მდებარეობა (საველე სამუშაოები მნიშვნელოვნად მარტივდება), მათ შორის ძნელად მისადგომ და საშიშ ადგილებში განლაგებული წერტილებისა;
- რაც მთავარია, არის შესაძლებლობა ხელმეორედ, დოკუმენტურად გაიზომოს იმავე ციკლის დეფორმაციები ფოტოსურათზე.

მეთოდს აქვს უარყოფითი მხარეები:

- სხვა გეოდეზიურ მეთოდებთან (გასწვრივობითი გაზომვები, ნიველობა) შედარებით დეფორმაციის განსაზღვრის მცირე სიზუსტე;
- ფოტოსურათების დამუშავებაზე დიდი დანახარჯები;
- ამ მეთოდისთვის გათვალისწინებული ხელსაწყოების სიძვირე.

აქედან გამომდინარე, ფოტოგრამმეტრიული მეთოდი რენტაბელური და ეფექტურია დიდი რაოდენობის წერტილების დეფორმაციების განსაზღვრისას. იგი ფართო გამოყენებას

პოულობს არქიტექტურული ძეგლების დეფორმაციებსა და მეწყერულ მოვლენებზე დაკვირვებების დროს.

ნაგებობაზე ფოტოგრამმეტრიული მეთოდით დაკვირვებებისას ძირითადად იყენებენ ფოტოთეოდოლიტებს (*Phototheo*), გასაზომ კამერებს (*UMK*) და სტერეოფოტოგრამმეტრიულ კამერებს (*SMK*).

ფოტოთეოდოლიტი განკუთვნილია ჰორიზონტალურად განლაგებული ობიექტური ღერძით ფოტოგადაღებისათვის. მისი დასამაგრებელი ჩარჩო უნდა განლაგებული იყოს ზუსტად ობიექტივის ფოკალურ სიბრტყეში ($f = const$). უმცირესი დაშორება, რომლის დროსაც გამოსახულება ჯერ კიდევ საკმაოდ მკაფიოა, იანგარიშება ფორმულით

$$Y_{min} = \frac{f^2}{\lambda n} , \quad (7.4.1)$$

სადაც, f კამერის ფოკუსური მანძილია, მმ;

λ გამოსახულების არასიმკვეთრის დასაშვები სიდიდეა, მმ;

$1:n$ ობიექტივის ფარდობითი ნახვრეტი.

თუ, მაგალითად, $f = 192$ მმ, $\lambda = 0,1$ მმ, $1:n = 1:25$, გვაქვს $Y_{min} = 15$ მ. ნაგებობის ახლო მანძილიდან გადასაღებად ფართოდ გამოიყენება ფოტოკამერა *UMK* რომლის ფოკუსური მანძილი $f = 100$ მმ, და რომლის ობიექტივი მოძრავი ტუბუსის დახმარებით შეიძლება დაფოკუსდეს 3 მ-დან ∞-მდე.

საინჟინრო მიზნებისათვის იყენებენ აგრეთვე მცირეფორმატიან, სინქრონულად მომუშავე *SMK* ტიპის სტერეოფოტოკამერებს 55 მმ ფოკუსური მანძილით და 40 და 120 მმ მუდმივი ბაზისებით.

პირველს იყენებენ 1,5 მ-დან 10 მ-მდე მანძილზე გადასაღებად, მეორეს – 5 მ-დან 30 მ-მდე მანძილზე გადასაღებად.

ფოტოგრაფირების მეთოდით ნაგებობის დეფორმაცია შეიძლება მივიღოთ ორი გზით:

- 1) ობიექტის ფოტოგრაფირებით ერთი წერტილიდან – ფოტოგრამმეტრიული მეთოდით;

2) ობიექტის ფოტოგრაფირებით ბაზისიდან – სტერეო-ფოტოგრამმეტრიული მეთოდით.

პირველი ხერხი საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ დეფორმაციები მხოლოდ იმ ღერძების გასწვრივ, რომლებიც სურათის სიბრტყის პარალელურია (X, Z) და ზოგ შემთხვევაში შეუძლია შეცვალოს გასწვრივობითი გაზომვები და ნიველობა. ის ორგანიზაციულად მარტივია.

მეორე ხერხი უფრო უნივერსალურია, რადგან შეუძლია განსაზღვროს დეფორმაცია სამივე ღერძის გასწვრივ (X, Y, Z). ფოტოგრაფირება ხდება ბაზისის ბოლოებიდან, რომლის სიგრძე ობიექტამდე მანძილის $1/5 \div 1/10$ შეადგენს. თუ ნაგებობა დიდი სიგრძისაა, მას რამდენიმე ბაზისიდან გადაიღებენ.

ობიექტზე ფოტოგრამმეტრიული თუ სტერეოფოტოგრამმეტრიული მეთოდების გამოყენების შესახებ საკითხის გადაწყვეტისათვის წინასწარ უნდა გამოვთვალოთ ნაგებობის წერტილთა კოორდინატების მოსალოდნელი შეცდომები და შევადაროთ ისინი მოცემულ დასაშვებ სიდიდეებს.

ფოტოგრამმეტრიული მეთოდი. ნაგებობის დეფორმაციების გასაზომად პერიოდული ფოტოგრამმეტრიული გადაღება ხდება ერთი წერტილიდან, ე.წ. ნულოვანი ბაზისიდან. გადაღების დროს ცდილობენ სურათის ჩარჩოს სიბრტყე ნაგებობის სიბრტყის პარალელური გახადონ. მიღებულ ფოტოსურათებს ზომავენ სტერეოკომპარატორზე, ამასთან მარცხენა კასეტაში ჩადებენ საწყის სურათს, მარჯვენაში კი – მიმდინარე ციკლში მიღებულ ფოტოსურათს და საზღვრავენ წერტილების გადაადგილებებს.

სტერეოკომპარატორზე გაზომილი ძვრებით გამოთვლიან დეფორმაციის მდგენლებს დაკვირვების პერიოდისათვის.

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= \frac{Y}{f} \Delta x, \\ \Delta Z &= \frac{Y}{f} \Delta z, \end{aligned} \right\} \quad (7.4.2)$$

სადაც, ΔX – დეფორმაციის ჰორიზონტალური მდგენელია იმ სიბრტყეში, რომელიც მართობია ფოტოთეოდოლიტის კამერის ოპტიკური ღერძისადმი (განივი ძვრა); ΔZ – დეფორმაციის ვერტიკალური მდგენელია (დაწვევა); Δx და Δz – წერტილების გადაადგილებებია x და z ღერძების მიმართ სურათზე; Y – ფოტოთეოდოლიტის დაშორებაა ობიექტიდან; f – ფოტოკამერის ფოკუსური მანძილია.

(7.4.2) ფორმულებით დეფორმაციების განსაზღვრის სიზუსტე ძირითადად დამოკიდებულია ფოტოსურათებზე Δx და Δz გაზომვების სიზუსტეზე:

$$\left. \begin{aligned} m_{\Delta x} &= \frac{Y}{f} m_{\Delta x} , \\ m_{\Delta z} &= \frac{Y}{f} m_{\Delta z} . \end{aligned} \right\} \quad (7.4.3)$$

ამრიგად, დეფორმაციის განსაზღვრის შეცდომები Y დაშორების პირდაპირპროპორციულია და f საფოკუსო მანძილის უკუპროპორციულია.

f და Y სიდიდეები ყოველთვის შეიძლება გაიზომოს საჭირო სიზუსტით.

მაგალითად, იმისათვის, რომ დეფორმაციის (ძვრა ან დაწვევა) განსაზღვრის შეცდომამ არ გადააჭარბოს 0,3-0,5 მმ, ფოკუსური მანძილი უნდა გაიზომოს 1 მმ სიზუსტით, ხოლო დაშორება 20-30 სმ სიზუსტით. ეს უკანასკნელი მეტად მნიშვნელოვანია, რადგან არ არის აუცილებელი, რომ ყველა გასაზომი წერტილი ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში იყოს განლაგებული.

მაგალითად, თუ სტერეოკომპარატორზე ძვრების გაზომვის სიზუსტე ტოლია $m_{\Delta x} = m_{\Delta z} = 0,01$ მმ, $Y = 15$ მ, $f = 192$ მმ, (7.4.3) ფორმულით გვექნება $m_{\Delta x} = m_{\Delta z} = \frac{15\ 000}{192} \cdot 0,01 = 0,8$ მმ.

პრაქტიკულად, გარე ორიენტირების ელემენტების შეცდომათა გამო, დეფორმაციის განსაზღვრის სიზუსტე კლებულობს და

საშუალოდ 1,5-2 მმ-ს აღწევს მაგალითში მოცემული პირობებისათვის, ე.ი. 2-2,5-ჯერ კლებულობს.

სტერეოფოტოგრამმეტრიული მეთოდი. როცა დეფორმაციის განსაზღვრა გვინდა სამივე ღერძის მიმართ (მაგ. ნაგებობის დახრა) უნდა გამოვიყენოთ სტერეოფოტოგრამმეტრიული მეთოდი. ამ დროს ობიექტს გადაიღებენ ღვომის ორი წერტილიდან (ბაზისიდან), რის შედეგად ვიღებთ ორ ურთიერთგადამფარველ ფოტოსურათს. სტერეოკომპარატორზე ამ შემთხვევაში იზომება წერტილების x და z კოორდინატები და p ჰორიზონტალური პარალაქსი (სურათის ღერძების სისტემაში), რომელთა მიხედვით შემდეგ გამოითვლება ნაგებობის წერტილების სივრცული კოორდინატები:

$$\left. \begin{array}{lcl} \text{დაშორება} & - & Y = \frac{B}{p} f, \\ \text{აბსცისა} & - & X = \frac{B}{p} x, \\ \text{სიმაღლე} & - & Z = \frac{B}{p} z, \end{array} \right\} \quad (7.4.4)$$

სადაც, B — ბაზისია, ე.ი. გადაღების წერტილებს შორის მანძილი;

p — ჰორიზონტალური პარალაქსი;

f — კამერის საფოკუსო მანძილი.

ყველა შემდგომ გადაღებას ასრულებენ ერთი და იმავე ბაზისიდან, ზუსტად ერთნაირად ორიენტირებული ფოტოთეოდოლიტიდან.

დეფორმაციის სიდიდის მისაღებად გამოითვლება დაკვირვებების საწყის და მიმდინარე ციკლებში წერტილთა კოორდინატების ნაზრდები:

$$\left. \begin{aligned} \Delta Y_j &= Y_j - Y_0 = Bf \left(\frac{1}{p_j} - \frac{1}{p_0} \right), \\ \Delta X_j &= X_j - X_0 = B \left(\frac{x_j}{p_j} - \frac{x_0}{p_0} \right), \\ \Delta Z_j &= Z_j - Z_0 = B \left(\frac{z_j}{p_j} - \frac{z_0}{p_0} \right). \end{aligned} \right\} \quad (7.4.5)$$

ბაზისის სიგრძეს ირჩევენ Y ღამორების $1/5 \div 1/10$, რაც შეადგენს $5 \div 10$ მ-ს. ასეთი სიგრძის ბაზისი უნდა გაიზომოს 1 მმ სიზუსტით, რაც დეფორმაციების გაზომვაში გამოიწვევს 0,1 მმ შეცდომას.

სურათებზე x, z და p სიდიდეების გაზომვების სიზუსტის მიხედვით ნაგებობის წერტილების განსაზღვრის სკმ ცალკეული ღერძების მიმართ შეიძლება განისაზღვროს ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} m_{\Delta Y}^2 &= 2 \left(\frac{Bf}{p^2} \right)^2 m_p^2, \\ m_{\Delta X}^2 &= 2 \left(\frac{B}{p} \right)^2 m_x^2 + 2 \left(\frac{BX}{p^2} \right)^2 m_p^2, \\ m_{\Delta Z}^2 &= 2 \left(\frac{B}{p} \right)^2 m_z^2 + 2 \left(\frac{BZ}{p^2} \right)^2 m_p^2. \end{aligned} \right\} \quad (7.4.6)$$

თუ (7.4.6) ფორმულებში p -ს შევცვლით მისი მნიშვნელობით (7.4.4)-ის პირველი ტოლობიდან $p = \frac{Bf}{Y}$, მაშინ (7.4.6)-ის ნაცვლად მივიღებთ შემდეგ ფორმულებს:

$$\left. \begin{aligned} m_{\Delta Y} &= \frac{Y}{f} \sqrt{2 \left(\frac{Y}{B} \right)^2 m_p^2}, \\ m_{\Delta X} &= \frac{Y}{f} \sqrt{2 m_x^2 + 2 \left(\frac{Y}{B} \right)^2 \left(\frac{x}{f} \right)^2 m_p^2}, \\ m_{\Delta Z} &= \frac{Y}{f} \sqrt{2 m_z^2 + 2 \left(\frac{Y}{B} \right)^2 \left(\frac{z}{f} \right)^2 m_p^2}. \end{aligned} \right\} \quad (7.4.7)$$

განვიხილოთ მაგალითი: $Y = 15$ მ, $B = 3$ მ; $f = 192$ მმ; $m_X = m_Z = 0,01$ მმ; $m_p = 0,005$ მმ; $x = 50$ მმ; $z = 30$ მმ.

ცდომილებების სიდიდეები ტოლი იქნება:

$$m_{\Delta Y} = 2,8 \text{ მმ}; \quad m_{\Delta X} = 1,3 \text{ მმ}; \quad m_{\Delta Z} = 1,2 \text{ მმ};$$

ასეთი სიზუსტის მისაღებად ფოტოთეოდოლიტის ორიენტირების შეცდომამ არ უნდა გადააჭარბოს $5''$, რაც სპეციალური საორიენტო მოწყობილობის საშუალებით მიიღწევა. ფოტოთეოდოლიტის და სამიზნე მარკების დაცენტრვის შეცდომებმა არ უნდა გადააჭარბოს $0,1$ მმ-ს, ამის მიღწევა კი შტატივებზე დაყენებით შეუძლებელია. ამ მიზნით ბაზისის ბოლოებში უნდა აიგოს ბეტონის სვეტები სპეციალური – იძულებითი დაცენტრვის მოწყობილობებით.

იმისათვის, რომ დავადგინოთ დეფორმაცია დინამიური დატვირთვების ქვეშ ანუ წამიერი დეფორმაცია, ობიექტის გადაღება უნდა მოხდეს ბაზისის ორივე ბოლოდან ერთდროულად, სინქრონულად მომუშავე ფოტოთეოდოლიტებით ან ფოტოკამერებით.

7.5. მეწყერზე დაკვირვება გეოლეზიური მეთოდებით

მეწყერული პროცესების განვითარების თავისებურება განპირობებულია მრავალი ფაქტორით, რომელთაგან უმთავრესია: გეოლოგიური აგებულება და ფერდობის რელიეფი, ჰიდროგეოლოგიური, ჰიდროლოგიური და კლიმატური პირობები, ტექტონიკური მოძრაობები, მცენარეული საფარის ხასიათი, ადამიანის სამეურნეო საქმიანობა და ბევრი სხვა ფაქტორი.

მეწყერი თავისი არსით ფიზიკურ-გეოლოგიური მოვლენაა, რომელიც სიმძიმის ძალის გავლენით მიწის მასების გადაადგილებას წარმოადგენს. იწყება იგი მცირედ შესამჩნევი გადაადგილებით და მთავრდება აქტიური და ხშირად კატასტროფული ჩამოქცევით.

განსაკუთრებულ სიმწვავეს მეწყერული პრობლემა იძენს მთიან ფერდობებთან და მდინარეების და ზღვების სანაპიროებთან ახლო ტერიტორიების საცხოვრებელი მიზნით ათვისებისას.

რამდენადაც მეწყრის ჩამოქცევის შედეგების ლიკვიდაცია ბევრად ძვირი ჯდება, ვიდრე მისი თავიდან აცილების ღონისძიებებისა, ამიტომ აუცილებელია სერიოზულად მიუდგეთ მეწყერული პროცესის დაფარული (თვალით შეუმჩნეველი) პერიოდის, ანუ ფერდობის მდგრადობის დარღვევის პროცესის აღმოჩენის პრობლემას მისი განვითარების საწყის სტადიაზე იმ მიზნით, რომ მივიღოთ მეწყერსაწინააღმდეგო აუცილებელი ღონისძიებები.

გეგმაში მეწყერს ნახევრად წრიული ფორმა აქვს, ქმნის ფერდობზე ჩადაბლებას, რომელსაც მეწყრის ცირკს უწოდებენ. მისი წარმოშობა დაკავშირებულია ზედაპირზე წყალშემცველი ჰორიზონტის გამოსვლასთან, რის გამოც სველდება ფერდობი, რაც იწვევს ძირითად ქანებზე ელუვიურ-დელუვიური მასების დასრიალებას.

მიწის მასის წონასწორობის პირველად დარღვევას, ჩვეულებრივ, რაიმე ეფექტური ძალა იწვევს, რომელიც არღვევს ბუნებრივ წონასწორობას – გრუნტების შეკავშირებას. შედეგად წარმოიქმნება პირველი მოძრაობა (პირველადი მეწყერი), შემდგომი მოძრაობები უკვე ვითარდება, როგორც პირველის შედეგი. დასაწყისში მეწყერი მოძრაობს საკმაოდ სწრაფად, შემდგომ მისი მოძრაობა ნელდება და ბოლოს ხდება მისი სტაბილიზაცია. მაგრამ ხშირად ამის შემდეგ იწყება ახალი მცირე პულსირებადი მოძრაობები (მეორადი მეწყერი), რომელიც ძალზე საშიშია მშენებლობისათვის, რადგან იოლად აქტიურდება მიწის მასების წონასწორობის დარღვევით, რაც ქვაბულის ამოღებას ახლავს თან.

მეწყერული პროცესები კლასიფიცირდება როგორც სიდიდით, ისე მისი განვითარების სიჩქარით.

სიდიდის მიხედვით მას ყოფენ მიკრო- და მაკროგადაადგილებად. პირველი სახის მოძრაობები პირველ ხანებში შეუმჩნეველია და არ გამოიხატება რელიეფსა და შენობებში ნაპრალების გაჩენით. მათი შემჩნევა შეიძლება სპეციალური მაღალი მგრძნობიარობის ხელსაწყოებით. მეორე სახის მოძრაობები ხასიათდება ხარისხობრივი და რაოდენობრივი მახასიათებლებით (ნაპრალების გაჩენა რელიეფსა და შენობებში, კონსტრუქციების გადახრა და სხვა).

განვითარების სიჩქარის მიხედვით მეწყერული მოვლენები იყოფა ნელი მოქმედების (ბრადიგადაადგილებები) და სწრაფი მოქმედების (ტაქიგადაადგილებები) მოძრაობებად. პირველი სახის მოძრაობა ნელია და ხშირად არ წარმოადგენს საშიშროებას. მეორე სახის მოძრაობა კი ხასიათდება დიდი სიჩქარით და ხშირად კატასტროფული შედეგებით მთავრდება.

მეწყერთა მოძრაობის ეს კლასიფიკაცია საშუალებას გვაძლევს დიფერენცირებულად მივუდგეთ მეწყერზე გეოდეზიური დაკვირვებების საკითხის გადაწყვეტას სიზუსტის თვალსაზრისით,

ანუ შევირჩიოთ გეოდინამიკური დაკვირვებების ოპტიმალური მეთოდოლოგია.

მეწყერზე გეოდეზიური დაკვირვების მრავალი მეთოდი გამოიყენება. ისინი საშუალებას გვაძლევენ მივიღოთ მეწყერული ძვრების როგორც ფარდობითი, ისე აბსოლუტური სიდიდეები. ამ უკანასკნელის დროს საყრდენი პუნქტები მეწყერული პროცესების გავლენის ზონის გარეთ უნდა იქნეს განლაგებული.

გეოდეზიური ნიშნები დაყენების ადგილის მიხედვით იყოფა საყრდენ (უძრავ) და მეწყერულ (მოძრავ) ნიშნებად.

მეწყერის გადაადგილებაზე გეოდეზიური დაკვირვებები სრულდება შემდეგი მეთოდებით:

- 1) ღერძული (ერთგანზომილებიანი) მეთოდები – რომლების დროს წერტილების გადაადგილება განისაზღვრება დამაგრებული გასწვრივობის მიმართ;
- 2) გეგმური (ორგანზომილებიანი) მეთოდები – რომლებსაც გეგმაზე წერტილთა პროექციების გადაადგილებების განსაზღვრისათვის იყენებენ (X და Y ღერძების მიმართ);
- 3) სივრცული (სამგანზომილებიანი) მეთოდები – რომლებსაც იყენებენ წერტილების სივრცეში (X, Y და H ღერძების მიმართ) სრული გადაადგილებების განსაზღვრისათვის;
- 4) სასიმაღლო მეთოდები – რომლებიც წერტილების მხოლოდ ვერტიკალური გადაადგილებების განსაზღვრისათვის გამოიყენება (H ღერძის მიმართ).

ღერძული მეთოდები გამოიყენება მაშინ, როცა საკმაოდ ზუსტადაა ცნობილი წერტილების გადაადგილების მიმართულება.

ღერძულ მეთოდებს მიეკუთვნება:

- მეწყერის მოძრაობის გასწვრივ წერტილებს შორის მანძილების გაზომვა;
- მეწყერის მოძრაობის მიმართ მართობულად დამაგრებული გასწვრივობის ხაზიდან წერტილების გადაადგილების გაზომვები;

- მიმართულებების ხერხი, რომელიც გულისხმობს მეწყრული წერტილების გადაადგილებების განსაზღვრას საყრდენი წერტილების მიმართ იმ მიმართულებების ცვლილებით, რომელიც გადის საყრდენი წერტილიდან მეწყრულ წერტილებზე.

გეგმური მეთოდები უფრო სრულყოფილი მეთოდებია, რადგან ისინი დამოკიდებული არ არის ძერის მიმართულების წინასწარ ცოდნაზე. სასიმაღლო მეთოდებთან ერთად ისინი მეწყრის გადაადგილების უფრო სრულ სურათს იძლევა.

გეგმურ მეთოდებს მიეკუთვნება:

- პირდაპირი და შებრუნებული კუთხური გადაკვეთები;
- ხაზოვანი გადაკვეთები;
- პოლარული კოორდინატების ხერხი.

სივრცული მეთოდები წინა მეთოდებთან შედარებით უფრო უნივერსალურია, რადგანაც განისაზღვრება წერტილების სივრცული მდებარეობა (X, Y, H) .

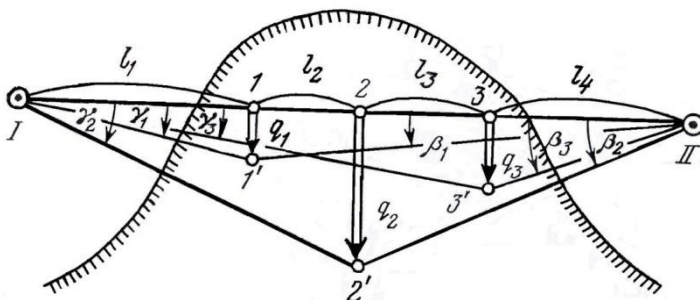
სივრცულ მეთოდებს მიეკუთვნება:

- სივრცული გადაკვეთა ჰორიზონტალური და ვერტიკალური კუთხეების გაზომვით;
- ზედაპირული სტერეოფოტოგრამმეტრიული გადაღება, რომელშიც იგულისხმება მეწყრის რაიონის პერიოდული ფოტოგრაფირება და მიღებული ფოტოსურათების ანალიზი.

სასიმაღლო მეთოდები გულისხმობს გეომეტრიული და ტრიგონომეტრიული ნიველობის გამოყენებას და აღმატებების განსაზღვრას საყრდენ და მეწყრულ ნიშნებს შორის.

თუ მეწყერი ერთი მიმართულებით მოძრაობს, მაშინ ღერძულ მეთოდს იყენებენ. ძირითადი მიმართულების მართობულად განლაგებენ დასაკვირვებელ გასწვრივობას, რომლის საყრდენ პუნქტებს ჩასვამენ მყარ ადგილებში – I და II პუნქტები (ნახ.7.5.1). ამ პუნქტებიდან გასწვრივობის ხერხით ახდენენ განივი

გადაადგილებების გაზომვებს $1, 2, 3, \dots$ წერტილებისათვის. თუ ეს წერტილები გასწვრივობის მიმართულებითაც გადაადგილება, მაშინ ამ გადაადგილებას ზომავენ ხაზობრივად ($l_1, l_2, \dots$), ხოლო სიმაღლეში გადაადგილებას – ნიველობით.



ნახ. 7.5.1

მეწყერზე დაკვირვებებისათვის ეფექტურია ელექტრონული ტაქეომეტრები და თანამედროვე კუთხმზომი ხელსაწყოები, ხოლო დიდ ტერიტორიაზე განვითარებული მეწყერულ მოვლენაზე დასაკვირვებლად – აეროფოტოგრამმეტრიული გადაღება.

მეწყერზე დაკვირვების სრული ციკლი მეწყერის აქტიურობის მიხედვით, სრულდება 1-2-ჯერ წელიწადში. სრულ დაკვირვებებს შორის იყენებენ საშუალო დაკვირვებებს (ვიზუალური და ნახევრად ინსტრუმენტული), რომელიც გვეხმარება მეწყერული პროცესების რეჟიმის დადგენაში.

აუცილებელია აგრეთვე, საყრდენი პუნქტების მდგრადობაზე საკონტროლო დაკვირვებები მეწყერული პროცესის მთელი აქტიურობის პერიოდში.

დაკვირვებების შედეგად გამოითვლება ჰორიზონტალური და ვერტიკალური გადაადგილებების სიდიდეები, მიმართულება და სიჩქარე. ტარდება ჩამოთვლილი მახასიათებლების სიზუსტეების შეფასება. ძირითადი მასალა ამ დროს ტოპოგრაფიული გეგმებია მათზე დატანილი საყრდენი და მეწყერული ნიშნებით და უწყისები წერტილების კოორდინატებით და ნიშნულებით.

განაზომთა შედეგები შეიძლება შეიცავდეს სისტემატურ შეცდომებს, რომელთა მთავარი მიზეზი წერტილთა მდებარეობის განსაზღვრის არაერთდროულობასთან იქნება დაკავშირებული. ამ შეცდომებისაგან განთავისუფლებისათვის ყველა განაზომი დაყვანილ უნდა იქნეს დროის ერთ მომენტზე. ამას დროის მიხედვით კორექტირება ეწოდება და გრაფიკულად სრულდება.

თუ გაზომვის ერთი სახე უფრო ზუსტია, ვიდრე მეორე (მაგალითად, ნიველობა უფრო ზუსტია, ვიდრე გეგმური გაზომვები), მაშინ ააგებენ გრაფიკს ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ გადაადგილებებს შორის დამოკიდებულებისათვის (რომელსაც ძვრების ვექტორის დახრის მრუდი ეწოდება) და შეგვეძლება ავაგოთ გამოთვლილი ჰორიზონტალური ძვრების მრუდი, როგორც ტოლზუსტი, გამოსავალი ვერტიკალური ძვრების მრუდთან. ამ ოპერაციას მდებარეობის მიხედვით კორექტირება ეწოდება.

მეწყერზე გეოდეზიური დაკვირვებები, აგრეთვე გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური დაკვირვებები ერთდროულად უნდა გაანალიზდეს, რაც საშუალებას მოგვცემს განვსაზღვროთ წერტილთა გადაადგილების ობიექტური მიზეზები და შევიძუშაოთ მეწყრებთან ბრძოლის ღონისძიებები.

ლიტერატურა

1. ვ. აბაშიძე გეოდეზიური გრავიმეტრიის მოკლე კურსი. თბ. „ჯეოსიაი“, 2004.
2. Большаков В. Д., Маркузе Ю. И. Городская полигонометрия. М. Недра, 1978.
3. Брайт П.И. Геодезические методы измерений деформаций оснований и сооружений. М. Недра, 1965.
4. Булгаков Н.П., Рывина Е.М., Федотов Г.А. Прикладная геодезия. М.Недра, 1990.
5. Глотов Г. Ф. Курс инженерной геодезии. М.Недра, 1972.
6. Григоренко А.Г., Киселев М.И. Инженерная геодезия. М.изд.высшая школа, 1988.
7. Григоренко А.Г. Измерение смещений оползней. М.Недра, 1988.
8. მ. თევზაძე ფიზიკური მანძილსაზომები. თბ. განათლება, 1996.
9. ნ. თევზაძე საინჟინრო გეოდეზია. ტ. 8, თბ. განათლება, 1979.
10. ნ. თევზაძე საინჟინრო გეოდეზია. ტ. 9, თბ. განათლება, 1980.
11. ნ. თევზაძე საინჟინრო გეოდეზია. ტ. 10, თბ. განათლება, 1982.
12. Инженерная геодезия. Авт. Багратуни Г.В., Ганьшин В.Н., Данилевич Б.Б и др. М.Недра, 1984.
13. Инженерная геодезия. Визгин А.А., Ганьшин В.Н., Коугия В. А. и др. М.изд. высшая школа, 1985.
14. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. М.Недра, 1973.

15. Карлсон А.А. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами. М.Энергия, 1980.
16. Климов О. Д. Основы инженерных изысканий. М. Недра, 1974.
17. Курс инженерной геодезий. Авт.: Новак В.Е., Лукьянов В.Ф. и др. М.Недра, 1989.
18. Лебедев Н.Н. Курс инженерной геодезий. М.Недра, 1974.
19. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. М.Недра. 1981.
20. Левчук Г.П., Новак В.Е., Лебедев Н.Н. Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений. М.Недра, 1983.
21. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве. Под. ред. Большакова В.Д., М. Недра, 1976.
22. Михелев Д.Ш., Рунов И.В., Голубцев А.И. Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений. М.Недра, 1977.
23. Пискунов М.Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений. М.Недра, 1980.
24. Пискунов М.Е. Наблюдения за осадками и горизонтальными смещениями сооружений геодезическими методами. М.МИИГА и К. 1973.
25. Практикум по курсу прикладной геодезии. Авт.: Лебедев Н.Н., Новак В.Е., Левчук Г.П. и др. М. Недра, 1977.
26. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. М.Стройиздат, 1975.

27. Справочник геодезиста (под ред. Большакова В.Д. и Левчука Г.П.) М.Недра, 1975.
28. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам (под ред. Большакова В. Д. и Левчука Г.П.) М.Недра, 1980.
29. Федоров В.И., Шилов П.И. Инженерная геодезия. М.Недра, 1982.
30. Ямбаев Х.К. Высokоточные створные измерения. М.Недра, 1978.

სარჩევი

შესავალი	3
თავი 1. საერთო ცნობები	5
1.1. გამოყენებითი გეოდეზიის საგანი და ამოცანები	5
1.2. გამოყენებითი გეოდეზიის განვითარების მოკლე ისტორიული მიმოხილვა	8
1.3. გამოყენებითი გეოდეზიის კავშირი მომიჯნავე საგნებთან	12
1.4. საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების თავისებურებანი	14
თავი 2. საინჟინრო-გეოდეზიური საყრდენი ქსელები	17
2.1. გეგმური საინჟინრო-გეოდეზიური ქსელები	17
2.1.1. ქსელების სახეები, მათი დანიშნულება და მოთხოვნები სიზუსტისადმი	17
2.1.2. ქსელების სიზუსტისა და საფეხურების რაოდენობის გაანგარიშების მეთოდები	25
2.1.3. ტრიანგულაციის პროექტის სიზუსტის შეფასების მიახლოებითი მეთოდი	29
2.1.4. ტრიანგულაციის ქსელში პუნქტების ჩასმის პროექტის სიზუსტის შეფასების მიახლოებითი მეთოდი	34
2.1.5. პოლიგონომეტრიული ქსელის პროექტის სიზუსტის შეფასების მიახლოებითი მეთოდი	37
2.1.6. კუთხეებისა და მანძილების გაზომვის თავისებურებანი პოლიგონომეტრიაში	40
2.1.7. ხაზოვან-კუთხური ქსელები	46
2.1.8. ტრილატერაციის ქსელები	49
2.1.9. გეოდეზიური სამშენებლო ბადე	52
2.2. სასიმაღლო საინჟინრო-გეოდეზიური ქსელები	59
2.2.1. სასიმაღლო ქსელების დანიშნულება და მოთხოვნები სიზუსტისადმი	59

2.2.2. სასიმაღლო ქსელების სიზუსტის შეფასების პრინციპები და ნიველობის თავისებურებანი - - - - -	61
2.2.3. სასიმაღლო ქსელის განაზომთა სიზუსტის შეფასება პოლიგონების ხერხით - - - - -	67
2.2.4. სასიმაღლო ქსელის პროექტის სიზუსტის შეფასება ზუსტი ხერხით - - - - -	71
თავი 3. ტოპოგრაფიულ-გეოდეზიური მიმოკვლევები - - -	74
3.1. მსხვილმასშტაბიანი საინჟინრო-ტოპოგრაფიული აგეგმვები - - - - -	74
3.1.1. მსხვილმასშტაბიანი გეგმების საერთო დახასიათება - -	74
3.1.2. ტოპოგრაფიულ გეგმაზე გაზომვების სიზუსტე - - -	79
3.1.3. მსხვილმასშტაბიანი აგეგმვის საფუძველი - - - - -	83
3.1.4. აგეგმვის ტოპოგრაფიული მეთოდები - - - - -	88
3.1.5. მიწისქვეშა კომუნიკაციის აგეგმვის მეთოდები და სამუშაოთა ტექნოლოგია - - - - -	92
3.1.6. ცნობები ადგილმდებარეობის ციფრული მოდელების შესახებ - - - - -	97
3.2. წრფივ ნაგებობათა ტრასირება - - - - -	101
3.2.1. საერთო ცნობები ტრასირების შესახებ - - - - -	101
3.2.2. კამერალური ტრასირება - - - - -	107
3.2.3. ტრასის დაპროექტების ავტომატიზებული სისტემა - -	110
3.2.4. საველე ტრასირება - - - - -	112
3.2.5. ტრასის ნიველობა და აგეგმვა. ტრასის მიბმა - - - -	119
3.2.6. ტრასირების მასალების დამუშავება - - - - -	121
თავი 4. გეოდეზიური დაკვალვითი სამუშაოები - - -	124
4.1. ნაგებობათა დაკვალვის თეორიული საფუძვლები - - - -	124
4.1.1. დაკვალვითი სამუშაოების პრინციპი და სიზუსტის ნორმები - - - - -	124
4.1.2. დაკვალვითი სამუშაოების ელემენტები - - - - -	127
4.1.3. ძირითადი ღერძების დაკვალვის ხერხები - - - - -	133
4.1.4. დეტალური დაკვალვის ხერხები - - - - -	140

4.2. დაკვალვითი სამუშაოების ტექნოლოგია - - - - -	145
4.2.1. პროექტის გეოდეზიური მომზადება - - - - -	145
4.2.2. ძირითადი დაკვალვითი სამუშაოები - - - - -	150
4.2.3. ქვაბულის და საძირკვლის დეტალური დაკვალვა - - -	154
4.2.4. კომუნიკაციების დაკვალვა - - - - -	158

თავი 5. სამონტაჟო სამუშაოების გეოდეზიური

უზრუნველყოფა - - - - -	161
5.1. სამონტაჟო სამუშაოების გეოდეზიური მომზადება - - -	161
5.2. კონსტრუქციის გეგმაში დაყენების და შემოწმების ხერხები - - - - -	163
5.3. სწორხაზოვნობის შემოწმების მაღალი სიზუსტის ხერხები - - - - -	168
5.4. კონსტრუქციის საპროექტო სიმაღლეზე დაყენების ხერხები - - - - -	172
5.5. კონსტრუქციის ვერტიკალურ მდგომარეობაში დაყენებისა და შემოწმების ხერხები - - - - -	175

თავი 6. შესრულებითი აგებმა - - - - -

6.1. შესრულებითი გეგმის შედგენა - - - - -	180
6.2. შესრულებითი გენერალური გეგმის შედგენა - - - - -	183

თავი 7. ნაგებობის დეფორმაციაზე დაკვირვება - - -

7.1. ნაგებობის დაწევაზე დაკვირვება გეოდეზიური მეთოდებით - - - - -	186
7.1.1. საერთო ცნობები ნაგებობის დეფორმაციის შესახებ - -	186
7.1.2. დაკვირვება ქვაბულის დეფორმაციაზე და მისი გავლენის ზონის განსაზღვრა - - - - -	191
7.1.3. ნაგებობაზე დასაკვირვებელი ნიშნების განლაგება - - -	193
7.1.4. ნაგებობის დაწევის განსაზღვრა - - - - -	199
7.1.5. დაწევებზე გეოდეზიურ დაკვირვებათა სიზუსტე - - - -	206
7.1.6. დაწევებზე გეოდეზიური დაკვირვებების პერიოდულობა -	210
7.1.7. დაწევების პროგნოზირება - - - - -	212

7.1.8. სასიმაღლო საფუძვლის რეპერების მდგრადობის ანალიზი - - - - -	215
7.1.9. დაწევის განსაზღვრა ჰიდროსტატიკური და ტრიგონომეტრიული ნიველობით - - - - -	219
7.2. ნაგებობის ძვრებზე დაკვირვება გეოდეზიური მეთოდებით - - - - -	221
7.2.1. ნიშნების განლაგება ძვრებზე დაკვირვებისათვის - - - -	221
7.2.2. შენობა-ნაგებობათა ძვრების გაზომვა გასწვრივობის მეთოდით - - - - -	225
7.2.3. შენობა-ნაგებობათა ძვრების განსაზღვრა ხაზოვან- კუთხური აგებების გამოყენებით - - - - -	239
7.3. შენობების და ნაგებობების დახრასა და ნაპრალებზე დაკვირვებები - - - - -	248
7.4. ნაგებობის დეფორმაციებზე დაკვირვება ფოტოგრამმეტრიული მეთოდებით - - - - -	256
7.5. მეწყერზე დაკვირვება გეოდეზიური მეთოდებით - - - -	263
ლიტერატურა - - - - -	269