

მ. თევზაძე, მ. მესხი

# გამოყენებითი გეოდეზიის კურსი

## II ნაწილი

გეოდეზიური სამუშაოები  
საინჟინრო ნაგებობათა მშენებლობისას

თბილისი – 2011

წიგნში განხილულია სატრანსპორტო საინჟინრო ნაგებობათა, სამოქალაქო და სამრეწველო ობიექტების, ხიდების, გვირაბების, ჰიდროტექნიკური, პრეციზიული და სხვა ტიპის ნაგებობათა მშენებლობისას ჩასატარებელი საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოები – მიმოკვლევისა, გეოდეზიურ სამუშაოთა დაპროექტებისა, დაკვალვისა, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის სტადიებში.

დეტალურადაა განხილული საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოები, რომლებიც უნდა შესრულდეს საგზაო მშენებლობის, ხიდებისა და გვირაბების გეოდეზიური უზრუნველყოფის, შემხვედრი გვირაბების გაყვანისა და მიწისქვეშა გეოდეზიური საფუძვლის ორიენტირების ხერხების გამოყენებისას, აგრეთვე პრეციზიულ ნაგებობათა მშენებლობის დროს და სხვა.

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

რეცენზენტები:

სრული პროფესორი

თ. ჟორდანია

ასოცირებული პროფესორი

ა. კიკაბიძე

## შესავალი

წინამდებარე სახელმძღვანელო 2011 წელს გამოცემული გამოყენებითი გეოდეზიის I ნაწილის გაგრძელებაა და მოიცავს საინჟინრო ნაგებობათა მშენებლობისას გეოდეზიური უზრუნველყოფის მეთოდებს, მათი მიმოკვლევის, დაპროექტების, დაკვალვის, მშენებლობისას კონტროლისა და დეფორმაციებზე დაკვირვებების დროს.

სახელმძღვანელოს პროგრამა შესაბამისობაშია სილაბუსებთან.

კურსის პროგრამის შესაბამისად, სახელმძღვანელოს მეორე ნაწილში გადმოცემულია საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული საკითხები საინჟინრო ობიექტების მიმოკვლევის, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის დროს. კერძოდ, სახელმძღვანელოში თავების მიხედვით განხილულია: საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოები საავტომობილო და სარკინიგზო გზების, ხიდების, მაგისტრალური მილსადენების, ელექტროგადამცემი ხაზების, აეროპორტების, სამრეწველო და სამოქალაქო ნაგებობების, ჰიდროტექნიკური ობიექტების, გვირაბებისა და პრეციზიულ ნაგებობათა მშენებლობისას.

დიდი ადგილი ეთმობა ხიდების, ჰიდროტექნიკური ნაგებობებისა და სატრანსპორტო გვირაბების დაპროექტების, დაკვალვის, გეგმური და სასიმაღლო საყრდენი გეოდეზიური ქსელების შექმნის, მშენებლობის დროს კონტროლისა და ექსპლუატაციაში მყოფ ნაგებობათა დეფორმაციებზე დაკვირვების ხერხებსა და მეთოდებს.

# თავი 1. გეოდეზიური სამუშაოები საავტომობილო გზების მშენებლობისას

## 1.1. საავტომობილო გზების კლასიფიკაცია და ზოგადი ცნობები

სატრანსპორტო საინჟინრო ნაგებობები არის ხალხის გადაყვანი და ტვირთისა და ენერგიის ერთი პუნქტიდან მეორეში გადამტანი ობიექტები – საავტომობილო გზები, რკინიგზები, ხიდები, საჰაერო და საკაბელო ხაზები, მილსადენები, ისეთი სპეციალური ტრანსპორტი, როგორიცაა – საბავირო გზები, საჰაერო და მაგნიტურ ბალიშებზე მოძრავი შემადგენლობები და სხვა.

ჩამოთვლილთა შორის საავტომობილო გზა არის სხვადასხვა დანიშნულებისა და კონსტრუქციული თავისებურებების მქონე ნაგებობათა კომპლექსი, რომელიც უზრუნველყოფს გაანგარიშებული სიჩქარეებითა და დატვირთვებით სატრანსპორტო საშუალებათა უსაფრთხო მოძრაობას.

სამშენებლო ნორმების და წესების შესაბამისად, საავტომობილო გზები იყოფა:

- საერთო სარგებლობის;
- სამრეწველო საწარმოებთან მისასვლელი;
- შიგასამყურნეო დანიშნულების და
- დროებითი სარგებლობის გზები.

დანიშნულებისა და მოძრაობის სიჩქარის და ინტენსიურობის მიხედვით მიღებულია საავტომობილო გზების დაყოფა შემდეგ კატეგორიებად:

- I და II კატეგორიის გზები სახელმწიფო მნიშვნელობის მაგისტრალებია მოძრაობის ინტენსიურობით – **3000 + 6000** ავტომობილი დღელამეში, **120 – 150** კმ/ს სიჩქარით;

- III კატეგორიის გზები – სარაიონო მნიშვნელობის მაგისტრალებია **1000 + 3000** ავტომობილი დღელამეში ინტენსივობით და **100** კმ/ს სიჩქარით;
- IV და V კატეგორიის გზები – ადგილობრივი მნიშვნელობის გზებია მოძრაობის მცირე ინტენსივობით და **60 + 80** კმ/ს სიჩქარით.

ამასთან, საავტომობილო გზის ყველა გეომეტრიული პარამეტრი – მიწის ვაკისის სიგანე, ამოზნექილი და შეზნექილი ვერტიკალური და ჰორიზონტალური მრუდების რადიუსები, გრძივი პროფილის ზღვრული ქანობი და ა. შ. მჭიდროდაა დაკავშირებული საავტომობილო გზების კატეგორიებთან. ასე, მაგალითად, უდიდესი გრძივი ქანობი კატეგორიების მიხედვით იცვლება **30%**-დან (I კატეგორიის გზები) **70%**-მდე (V კატეგორიის გზები), ჰორიზონტალური მრუდის უმცირესი რადიუსი იცვლება 1000 მ-დან (I კატეგ.) 125 მ-მდე (V კატეგ.).

საავტომობილო გზებს გამოსახავენ სამ პროექციაში: გეგმაზე, გრძივ და განივ პროფილებზე. საავტომობილო გზის ღერძს, რომელიც ზოგადად სივრცული მრუდია, უწოდებენ ტრასას. ტრასის პროექციის გრაფიკულ გამოსახულებას ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე – ტრასის გეგმას უწოდებენ, ხოლო ვერტიკალურ სიბრტყეზე – ტრასის პროფილს.

საავტომობილო გზები პროფილში შედგება სწორი ხაზების და წრიული მრუდებისგან, ხოლო გეგმაში – სწორი ხაზებისგან, წრიული და კლოტოიდის ტიპის გადასასვლელი მრუდებისგან.

თანამედროვე საგზაო მაგისტრალები მათი დიდი სიჩქარეებით მოითხოვენ გეომეტრიული პარამეტრების გულდასმით დაცვას მშენებლობისა და ექსპლუატაციის დროს. ეს კი მიუთითებს მაგისტრალის გასწვრივ მუდმივი გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტების არსებობის აუცილებლობაზე საჭირო სიზუსტით და სიმჭიდროვით. გეგმაში მაგისტრალის გასწვრივ სვლების

ზღვრულმა შეცდომებმა არ უნდა გადააჭარბოს 1/5000, სიმაღლეში შეუკვრელობამ კი - **30√L** მმ.

## 1.2. საგზაო მიმოკვლევის ტექნოლოგიური სქემა

საავტომობილო გზების მიმოკვლევა მოიცავს შემდეგ სტადიებს:

**I. სარეკონოსცირებო (სადაზვერვო) მიმოკვლევა** პროექტის ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთებისთვის (ტედ). იგი მოიცავს

**1. საგზაო-ეკონომიკურ მიმოკვლევას:** რაიონის საწარმოო ძალების შესწავლა; ტრასის ყველაზე ეკონომიური ვარიანტის შერჩევა; გზის სანიმუშო მახასიათებლების ანგარიში (კატეგორია, მოძრაობის ზოლების რიცხვი, სიჩქარე); გარემოს დაცვის პირობების შესწავლა.

**2. გზის ძირითადი მიმართულების შერჩევას:** კამერალური ტრასირება **1: 25000, 1: 50000** მასშტაბის ტოპოგრაფიულ რუკებზე; არსებული აეროფოტოაგეგმვის მასალების საფუძველზე რთული უბნების ფოტოაგეგმების შედგენა; გეოლოგიური აგეგმვის მასალების შესწავლა; რთული უბნების მიმოხილვითი აეროფოტოაგეგმვა **1: 30000 – 1: 40000** მასშტაბით; რთული უბნების საველე გამოკვლევა; ვარიანტების შედარება, საბუშაოს მოცულობისა და ღირებულების ანგარიში, ძირითადი მიმართულების შერჩევა; გზის დაპროექტებაზე ტექნიკური დავალების შედგენა.

**II. დეტალური საპროექტო მიმოკვლევა** გზის და მასზე არსებული ყველა ნაგებობის ტექნიკური პროექტის დამუშავებისათვის (ტპ). იგი მოიცავს

1. გზის ოპტიმალური ვარიანტის შერჩევა: ვარიანტების გასწვრივ ზოლების აეროფოტოაგეგმვა **1:10000 – 1:15000** მასშტაბით; ტრასის ზოლზე გეგმური და სასიმალო საფუძვლის აგება; საინჟინრო-გეოლოგიური აგეგმვა; ანალიზური ფოტოტრიანგულაციის განვითარება; საინჟინრო-გეოლოგიური ფოტორუკების შედგენა; ვარიანტების პროექტირება და კამერალური ტრასირება; სამუშაოს მოცულობის ანგარიში; ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარება; ოპტიმალური ტრასის შერჩევა.

2. ტრასის საველე გამოკვლევასა და შეთანხმებას: ოპტიმალური ტრასის ნატურაში გამოტანა და მისი საველე გამოკვლევა; მოედნების, გადასასვლელების, სადგურების და რთული უბნების მსხვილმასშტაბიანი სტერეოტოპოგრაფიული და ტოპოგრაფიული აგეგმვა; ჰიდრომეტრული სამუშაოები სახიდე გადასასვლელებზე; ხელოვნური ნაგებობების ანგარიშისთვის ცნობების შეკრება; ტრასის შეთანხმება მიწის მეპატრონესთან და დაინტერესებულ ორგანიზაციებთან.

### III. აგებისწინა მიმოკვლევა მუშა ნახაზების შესადგენად (მპ). იგი მოიცავს

1. ტრასის დეტალურ დაკვლევას ადგილზე: საველე ტრასირება პიკეტაჟის დაკვალვით და ნიველობით; სახიდე გადასასვლელების და რთული ადგილების დამატებითი აგეგმვა **1:500 – 1:1000** მასშტაბით,  **$h = 0,5$  მ** კვეთის სიმაღლით; ტრასის მთავარი წერტილების დამაგრება.

2. ტრასის გასწვრივ მუდმივი გეოდეზიური საფუძვლის აგებას: ტრასიდან 30-50 მ მანძილზე სვლის რეკონოსცირება და პუნქტების ჩამაგრება 400-500 მ-ზე; გაზრდილი სიზუსტის თეოდოლიტურ-სანიველო სვლის შესრულება.

3. დაზვერვით სამუშაოებს: საინჟინრო-გეოლოგიური დაზვერვა; ჰიდრომეტრული გამოკვლევა; სამშენებლო მასალების კარიერების დეტალური დაზვერვა და აგეგმვა.
4. მასალების კამერალურ დამუშავებას და გეგმებისა და პროფილების შედგენას. რაც შეეხება გეოდეზიურ სამუშაოებს – მათი ტექნოლოგია დაწვრილებითაა გაშუქებული სახელმძღვანელოს პირველ ნაწილში (ტრასირებითი სამუშაოების თავში).

### 1.3. გზის ზედაპირის ვაკისის დაკვაღვა

გეოდეზიური აგეგმვის ან ციფრული მოდელის გამოყენებით მიღებულ ადგილმდებარეობის რელიეფის საფუძველზე, ინჟინერ-დამპროექტებელი ადგენს საგზაო ტრასის ელემენტების თანმიმდევრობას, რომლებმაც შეძლებისდაგვარად უნდა დააკმაყოფილონ შემდეგი პირობები:

- ცალკეულ პუნქტებს შორის გზის სიგრძე უნდა იყოს მინიმალური;
- მიწის სამუშაოების მოცულობა, მშენებლობის ღირებულება და საექსპლუატაციო ხარჯები უნდა იყოს მინიმალური;
- ტრასის ელემენტები უნდა პასუხობდეს იმ სატრანსპორტო საშუალებათა მოძრაობის სპეციფიკას, რომელთათვისაც განკუთვნილია გზა;
- გზის ვაკისი მძღოლის მიერ უნდა აღიქმებოდეს ფსიქოლოგიურად დამაჯერებლად;
- გზა ჰარმონიულად უნდა ეწერებოდეს გარემომცველ გარემოში.



გზის ზედაპირის ვაკისის დაკვალვისათვის სამუშაოების დაწყების წინ ახდენენ ტრასის აღდგენას, რომელშიც იგულისხმება:

- 1) პიკეტაჟის ინსტრუმენტული აღდგენა სწორი ხაზების სიგრძეების და მოხვევის კუთხეების საკონტროლო გაზომვებით და მრუდების დეტალური დაკვალვით;
- 2) პიკეტებზე საკონტროლო ნიველობა;
- 3) ხელოვნურ ნაგებობათა ღერძების შემოწმება;
- 4) ტრასისა და ხელოვნურ ნაგებობათა ღერძების დამაგრება.

ტრასის აღდგენის დროს სარგებლობენ სამუშაო პროექტის დოკუმენტებით: ტრასის გეგმით და პროფილით; სწორების და მრუდების უწყისით; ტრასის დამაგრების სქემით.

ტრასის აღდგენას იწყებენ ადგილზე მოხვევის კუთხის წვეროების მოძებნით. შემდგომ ასრულებენ ხაზების საკონტროლო გაზომვებს პიკეტაჟის ერთდროული დაკვალვით.

ტრასის მოსახვევებში დეტალურად დაკვალავენ გადასასვლელ და წრიულ მრუდებს, ამასთან  $R \geq 500 \text{ მ}$ , დაკვალვას ახდენენ ყოველ 20 მ-ში, ხოლო  $R < 500 \text{ მ}$  – ყოველ 10 მ-ში.

პიკეტაჟის აღდგენის და მრუდების დეტალური დაკვალვის შემდეგ ტრასას დაამაგრებენ. დამაგრების ნიშნებს აყენებენ მიწის სამუშაოების გავლენის გარეთ, მშენებლობის დამთავრებამდე მათ შესანარჩუნებლად.

ტრასის დამაგრებასთან ერთად, სამშენებლო სამუშაოების მომსახურების გასაუმჯობესებლად, მუშა რეპერების ქსელს ახშირებენ იმ კარაუდით, რომ ყოველ 4-5 პიკეტზე მოდიოდეს ერთი რეპერი. რეპერებად ძირითადად, იყენებენ ადგილობრივ საგნებს, მყარებს სიმაღლეში.

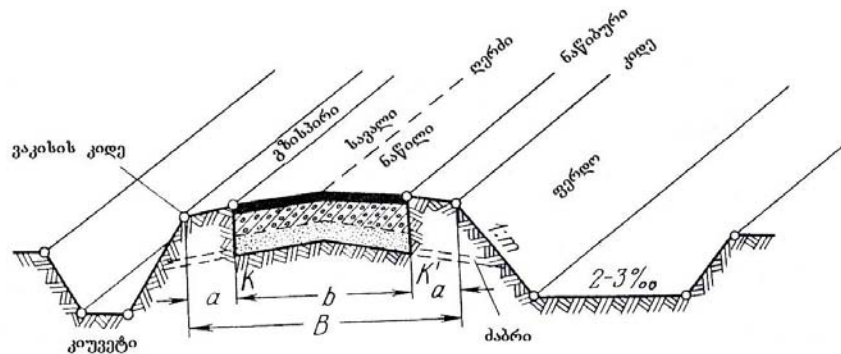
ტრასის საკონტროლო ნიველობაში ჩართავენ ყველა საპიკეტო და პლიუს წერტილებს, აგრეთვე მუდმივი და დროებითი რეპერების ქსელს. მიწის სამუშაოების მოცულობის

დაზუსტებისათვის ისეთ ადგილებში, სადაც ქანობი აჭარბებს **0,1 (6%)**, დაკვალავენ და ანიველებენ დამატებით განივ პროფილებს.

ტრასის აღდგენისას შეიძლება მოხდეს მისი კორექტირება მიწის საძუქრობის შემცირების და ტრასის მდებარეობის გაუმჯობესების მიზნით.

ტრასის აღდგენის საძუქრობის სიზუსტე არ უნდა იყოს ნაკლები დეტალური მიმოკვლევის სტადიაზე საძუქრობის სიზუსტეზე.

ტრასის აღდგენის და დამაგრების შემდეგ უნდა დაკვალოს იქნას გზის ზედაპირის ვაკისი. ავტოსაგზაო ვაკისი შედგება სავალი ნაწილისგან, გზისპირისგან, ფერდოსგან და კიუვეტისგან (ნახ. 1.3.1)



ნახ. 1.3.1

სავალი ნაწილის სიგანე შეიძლება იყოს **6 – 15** მ გზის კატეგორიის მიხედვით. სავალი ნაწილის გასამაგრებლად მის ორივე მხარეს აწყობენ **2 – 3,75** მ სიგანის გზისპირებს. გზისპირებს ემზრობა ფერდობები. ხაზს, რომელიც გზისპირს ჰყოფს ფერდობისგან, ეწოდება კიდე. გრძივ პროფილზე საპროექტო სიმაღლეები მოიცემა კიდეებზე.

**გზის სავალი ნაწილი** – ხელოვნური საფარია ასფალტისგან, ბეტონისგან, ქვაფენილისგან ან სხვა მასალისგან. საფარის

მოსაწყობად გზის ვაკისში იღებენ მიწის ვარცლს (გზის კალაპოტი). წყლის სწრაფი მოცილებისთვის გზის ვაკისს აქვს განივი ქანობი შუა ნაწილიდან კიდეებისკენ. ამ ქანობის სიდიდეს ნიშნავენ გზის საფარისგან დამოკიდებით. ცემენტბეტონის და ასფალტბეტონის დროს განივ ქანობს ნიშნავენ **15 – 20%**, ლორღის და ხრეშის საფარის დროს – **20 – 30%**, ხოლო ქვანაპირის დროს – **30 – 40%**. გზისპირებს განივი ქანობი **2%**-ით მეტი აქვთ, ვიდრე სავალი ნაწილის განივი ქანობია. ვარცლის ფსკერსაც აქვს განივი ქანობი იგივე სიდიდის, რაც სავალ ნაწილს.

გზის ორივე მხარეს იღებენ წყლის მოსაცილებლად თხრილებს, ე.წ. კიუვეტებს. კიუვეტის ფსკერის გრძივი ქანობი ტოლია გზის კიდეის ქანობის, მაგრამ არა უმცირეს **2%**. კიუვეტის ზედა ნაწილის სიგანე (ნახ. 1.3.2) ტოლია

$$D = 2h_k m + c$$

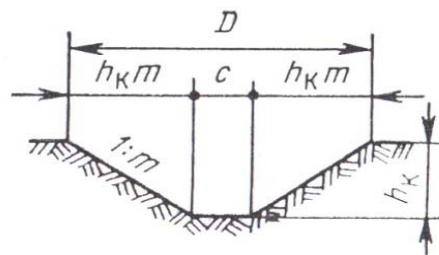
სადაც,  $h_k$  არის კიუვეტის სიღრმე,  $c$  – ფსკერის სიგანე,  $m$  – ფერდობის დახრილობის კოეფიციენტი (**ctg  $\alpha$** , სადაც  $\alpha$  – ფერდობის დახრის კუთხეა). ტიპური პროფილებისთვის  $h_k = 0,6$  მ,  $c = 0,4$  მ, **1:m = 1:1,5**, ე.ი.

$$D = 2 \cdot 0,6 \cdot 1,5 + 0,4 = 2,2$$

მ. კიუვეტის სიღრმის გაზრდით სწრაფად იზრდება ზედაპირის სიგანე.

განივი პროფილების დაკვალვა გულისხმობს ადგილზე გეგმაში და სიმაღლეში გზის ვაკისის

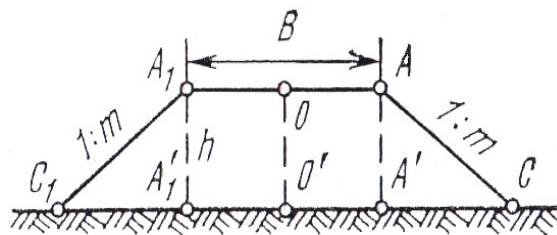
განივი პროფილის ყველა დამახასიათებელი წერტილის დანიშვნას: გზის ღერძის, კიდეის, გზისპირის, კიუვეტის, მიწაყრილის ან მიწაჭრილის ძირის და სხვ.



ნახ. 1.3.2

ტრასის სწორ უბნებზე განივ პროფილს აკეთებენ ყოველ **20 – 40** მ და გრძივი პროფილის ყველა გადაღუნვაზე. მრუდ უბნებზე განივ პროფილებს განლაგებენ მრუდის მხების მართობულად ცენტრის მიმართულებით. ცენტრისკენ მიმართულებას ადგენენ მოხვევის კუთხის ბისექტრისის მიხედვით. გეგმურ დაკვალვასთან ერთად ნატურაში გადააქვთ საპროექტო სიმაღლეები. მუშა ნიშნულები (ნაყარის ან ჭრილის) ტოლია გზის ღერძის ნიშნულებსა და გზისპირის ნიშნულებს შორის სხვაობის. თუ საპროექტო სიმაღლე მეტია ადგილის სიმაღლეზე, მაშინ გზა გაივლის მიწაყრილში, წინააღმდეგ შემთხვევაში – მიწაჭრილში.

**განივი პროფილის დაკვალვა მიწაყრილში.** სწორ ადგილზე დაკვალვის დროს (ნახ. 1.3.3) ადგილზე ამაგრებენ: გზის ღერძის **O'** წერტილს, გზის კიდეების **A<sub>1</sub>'** და **A'** წერტილებს და ნაყარის ძირის **C** და **C<sub>1</sub>** წერტილებს.



ნახ. 1.3.3

თუ ადგილის განივი ქანობი **3 – 4<sup>0</sup>**-ზე მეტი არ არის, მაშინ შეიძლება მივიღოთ **O'A<sub>1</sub>' = O'A' = B/2** და **A'C = A<sub>1</sub>'C<sub>1</sub> = mh**, სადაც **B** არის გზის ვაკისის საპროექტო სიგანე, **h** – ნაყარის სიმაღლე, **1:m** – ფერდობის დაქანება (ქანობი).

ადგილმდებარეობის მნიშვნელოვანი განივი დაქანებისას ნაყარში გზის დაკვალვა რამდენადმე რთულდება. (1.3.4) ნახაზიდან ჩანს, რომ ადგილის დაქანების გამო მანძილი გზის ღერძის **O'** წერტილიდან ნაყარის **C** და **C<sub>1</sub>** წერტილებამდე სხვადასხვა იქნება.



ზოგჯერ უფრო მოსახერხებელია  $l_1$  და  $l_2$  მანძილები გამოვთვალოთ არა  $\beta$  და  $v$  კუთხეებით, არამედ ადგილის და ფერდოს ქანობებით –  $1:n$  და  $1:m$ . ამისათვის (1.3.3) და (1.3.4) ფორმულებში სინუსები შევცვალოთ ტანგენსებით

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= \left( \frac{B}{2} + mh \right) \left( \operatorname{tg} \beta \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 v} \right) : (\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} v), \\ l_2 &= \left( \frac{B}{2} + mh \right) \left( \operatorname{tg} \beta \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 v} \right) : (\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} v). \end{aligned} \right\} \quad (1.3.6)$$

რადგანაც  $\operatorname{tg} v = 1:n$  და  $\operatorname{tg} \beta = 1:m$ , ამიტომ გვექნება

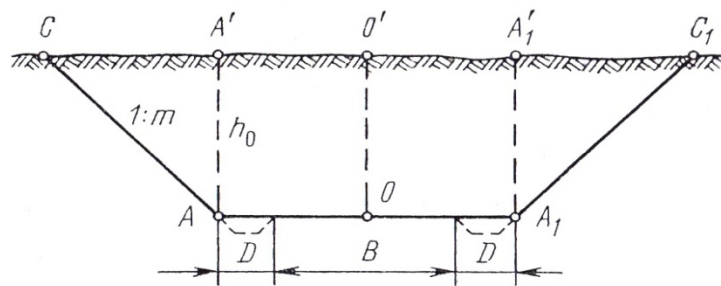
$$\left. \begin{aligned} l_1 &= \left( \frac{B}{2} + mh \right) \left( \sqrt{1 + n^2} \right) : (n + m), \\ l_2 &= \left( \frac{B}{2} + mh \right) \left( \sqrt{1 + n^2} \right) : (n - m). \end{aligned} \right\} \quad (1.3.7)$$

თუ ადგილის ქანობი ნაკლებია  $0,1(v \approx 6^\circ)$ ,  $l_1$  და  $l_2$  შეიძლება გამოვთვალოთ გამარტივებული ფორმულებით

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= \left( \frac{B}{2} + mh \right) [n : (n + m)], \\ l_2 &= \left( \frac{B}{2} + mh \right) [n : (n - m)]. \end{aligned} \right\} \quad (1.3.8)$$

ზემოთ აღწერილის გარდა, განივი პროფილები შეიძლება დაიკვალოს მიახლოებითი ხერხით – ლარტყის, თარაზოს და ფერდობის შაბლონის გამოყენებით.

**განივი პროფილის დაკვალვა მიწაჭრილში.** ამ შემთხვევაში მიწის ზედაპირზე აფიქსირებენ ტრასის ღერძის  $O'$  წერტილს (ნახ. 1.3.5),  $A'$  და  $A_1'$  გზის ვაკისის წერტილებს და კიდის  $C$  და  $C_1$  წერტილებს, ე.ი. მივიღებთ  $CAA_1C_1$  ტრაპეციას. შემდეგ დაკვალავენ კიუვეტებს, ვარცლს და გზისპირებს.



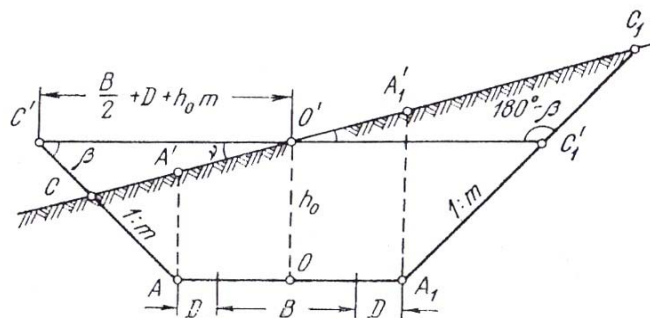
ნახ. 1.3.5

ვაკე ადგილას  $A'$  და  $A_1'$  წერტილებს პოულობენ შემდეგი მანძილების გადაზომვით

$$O'A' = O'A_1' = \frac{B}{2} + D.$$

შემდეგ ამ წერტილებიდან გადავზომავთ  $mh_0$  ქვედებულებს ორივე მხარეს და ვიპოვით მიწაჭრილის კიდეებს –  $C$  და  $C_1$  (ნახ. 1.3.5).

დახრილი ადგილმდებარეობის დროს მანძილი ღერძიდან მიწაჭრილის საზღვრამდე ფერდობის დაქანებით ნაკლები იქნება, ვიდრე აღმართისკენ (ნახ. 1.3.6). დახრილი მანძილები ღერძიდან მიწაჭრილის კიდემდე შეიძლება ვიანგარიშოთ ფორმულებით



ნახ.1.3.6

ფერდობის დაქანების მხარეს

$$l' = \left( \frac{B}{2} + D + mh_0 \right) [\sin \beta; \sin(\beta + \nu)], \quad (1.3.9)$$

ფერდობის აღმართის მხარეს

$$l'' = \left( \frac{B}{2} + D + mh_0 \right) [\sin\beta; \sin(\beta - \nu)], \quad (1.3.10)$$

სადაც,  $\nu$  არის ადგილის დახრის კუთხე,  $\beta$  – გზის ფერდოს დახრის კუთხე,  $h_0$  – მიწაჭრილის სიღრმე.

როგორც ნაყარის დროს, აქაც (1.3.9) და (1.3.10) ფორმულები შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით

$$\left. \begin{aligned} l' &= \left( \frac{B}{2} + D + mh_0 \right) \frac{\sqrt{1+n^2}}{n+m}, \\ l'' &= \left( \frac{B}{2} + D + mh_0 \right) \frac{\sqrt{1+n^2}}{n-m}. \end{aligned} \right\} \quad (1.3.11)$$

(1.3.11) ფორმულები მიახლოებით შეიძლება შემდეგი სახითაც წარმოვადგინოთ

$$\left. \begin{aligned} l' &\approx \left( \frac{B}{2} + D + mh_0 \right) \frac{n}{n+m}, \\ l'' &\approx \left( \frac{B}{2} + D + mh_0 \right) \frac{n}{n-m}. \end{aligned} \right\} \quad (1.3.12)$$

სადაც,  $1:n$  არის ადგილის ქანობი,  $1:m$  კი – გზის ფერდოს ქანობი. საპროექტო ნიშნულები მიწის ვაკისზე გადააქვთ სმ-ის სიზუსტით.

მიწის ვაკისის სამუშაოების დამთავრების შემდეგ ახდენენ შესრულებით აგეგმვას. ინსტრუმენტით აღადგენენ გზის ღერძს და ყოველ პიკეტზე ამოწმებენ ვარცლის, გზისპირების, კიუვეტების სიგანეებს, აგრეთვე ფერდოს ქანობს და ასრულებენ საკონტროლო ნიველობას. გადახრებმა არ უნდა გადააჭარბოს: გზის კიდის ნიშნულებში –  $\pm 5$  სმ-ს, ვარცლის სიგანეში –  $\pm 5$  სმ-ს, ვარცლის განივ ქანობში –  $\pm 5\%$ -ს, კიუვეტების გრძივ ქანობებში –  $\pm 1\%$ -ს.

დამთავრებულ გზის ვაკისზე ასრულებენ ავტოსაგზაო საფარველის დაგებისათვის დეტალურ დაკვლევას. საფარველი აიგება გამზადებულ მიწის ვარცლში. ვარცლის ძირი საფარველის ბუნებრივი საფუძველია. გზის საფარველი შედგება ხელოვნური



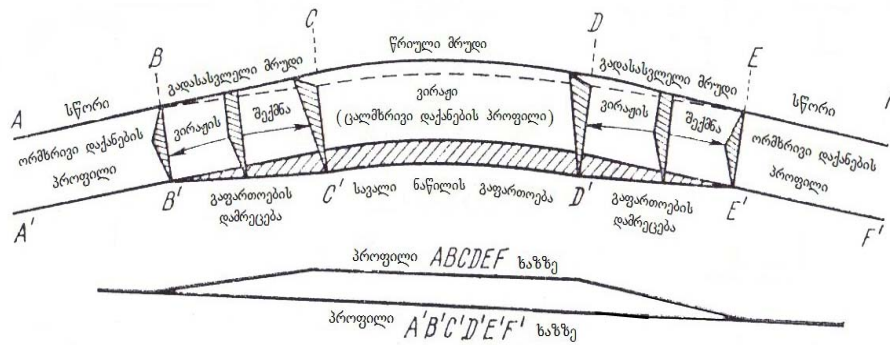
საფუძვლისაგან – ქვიშის ან ღორღისაგან, გამტარი შრისგან ბეტონის ან ქვის სახით და ცვეთადი ზედა შრისგან – ასფალტის სახით. საფარველის საერთო სისქე **30 – 40** სმ-ს შეადგენს. ინსტრუმენტით დანიშნავენ გზის ღერძის წერტილებს გეგმასა და სიმაღლეში. სიზუსტე გეგმაში – **3 – 5** მმ, სიმაღლეში – **2 – 3** მმ.

#### 1.4. ვირაჟები საავტომობილო გზებზე

ვირაჟი ფრანგული წარმოშობის სიტყვაა და ნიშნავს მობრუნებას, მოხვევას. საავტომობილო გზებზე ვირაჟებს აწყობენ იმ მრუდებზე, რომელთა რადიუსი ნაკლებია **3000** მ-ზე პირველი კატეგორიის გზებისთვის, ხოლო დანარჩენი გზებისთვის – როცა რადიუსი ნაკლებია **2000** მ-ზე. ვირაჟის დროს გზის ვაკისებს აძლევენ ცალმხრივი დაქანების განივ პროფილს დახრით მრუდის ცენტრისკენ.

ცალმხრივი დაქანების პროფილი შენარჩუნდება მთელი წრიული მრუდის სიგრძეზე. ვირაჟის შექმნა და გაუქმება, ანუ ორმხრივი დაქანების გზის ვაკისიდან გადასვლა ცალმხრივი დაქანების გზის ვაკისზე და პირიქით – ცალმხრივიდან ორმხრივზე, სრულდება გადასასვლელი მრუდების უბანზე, რომელნიც მდებარეობენ წრიული მრუდის ორივე მხარეს.

ვირაჟის საერთო სქემა წარმოდგენილია ნახ. 1.4.1-ზე.



ნახ. 1.4.1

ვირაჟის ძირითადი ელემენტებია:

- 1) ვირაჟის ქანობი, ანუ გზის ვაკისის ცალმხრივი განივი დაქანების სიდიდე;
- 2) ვირაჟის შექმნის (და გაუქმების) სიგრძე;
- 3) თვით ვირაჟის სიგრძე;
- 4) გზის სავალი ნაწილის გაფართოების სიდიდე.

ვირაჟის განივი ქანობი მრუდის რადიუსზეა დამოკიდებული. **3000 – 1000** მ რადიუსის დროს ვირაჟის ქანობს ნიშნავენ გზის სავალი ნაწილის განივი ქანობის ტოლს ორმხრივი დაქანების დროს. **1000** მ-ზე ნაკლები რადიუსის დროს ვირაჟის ქანობს აპროექტებენ სავალი ნაწილის განივ ქანობზე მეტს. ვირაჟის მაქსიმალური ქანობია **50%** ( $K \leq 600$  მ).

ვირაჟის შექმნა ხდება თანდათანობით და იგი წარმოადგენს მდოვრე გადასვლას ორმხრივი დაქანების პროფილიდან ცალმხრივი დაქანების პროფილზე. ამასთან მთავარ ცვლილებას განიცდის გზის ვაკისის გარე ნაწილი.

თუ ვირაჟის ქანობი გზის სავალი ნაწილის განივი ქანობის ტოლია, მაშინ ორმხრივი დაქანების პროფილიდან ცალმხრივზე გადასვლა ხდება გზის ვაკისის ღერძიდან გარეგანი ნახევრის ტრიალით ღერძის გარშემო. შინაგანი ნახევარი ამ დროს რჩება უცვლელად. თუ ვირაჟის ქანობი აჭარბებს ნორმალური პროფილის

ქანობს, ამ დროს ვირაჟის შექმნა ხდება მთელი გზის ვაკისის თანდათანობითი ბრუნვით შიგა გზის კილის ხაზის გარშემო, რომლის საპროფილო ნიშნულები არ იცვლება. 700მ-ზე ნაკლები რადიუსის დროს ვირაჟებზე ახდენენ გზის სავალი ნაწილის გაფართოებას შემდეგი სიდიდეებით:

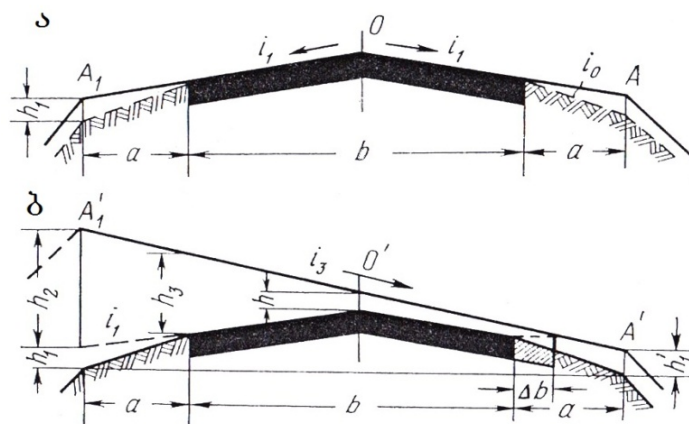
**R**, რადიუსი, მ: 700-500; 500-450; 400-250; 200-150; 125-90.  
 გაფართოება, მ: 0,40; 0,50; 0,60; 0,75; 1,00.

როგორც წესი, სავალ ნაწილს აფართოებენ გზისპირის შიგა ზოლის შემცირების ხარჯზე.

**ვირაჟის დაკვალვას** ასრულებენ გზის ვაკისის განივი პროფილების აგებით ყოველ 5–10მ-ში. ვირაჟის შექმნის დაწყებამდე გზისპირებს აძლევენ სავალი ნაწილის ტოლ განივ ქანობს, ე.ი. ორივე გზის კიდე 10მ მანძილზე აამაღლებენ  $h_1$  სიდიდეზე (ნახ. 1.4.2<sup>ა</sup>)

$$h_1 = a(l_0 - l_1).$$

სადაც,  $a$  არის გზისპირის სიგანე,  $l_0$  – გზისპირის განივი ქანობი;  $l_1$  – გზის სავალი ნაწილის განივი ქანობი ორმხრივი დაქანების პროფილში. განივ პროფილს ამ დროს აქვს  $AOA_1$  სახე (ნახ. 1.4.2<sup>ა</sup>).



#### ნახ. 1.4.2

ვირაჟის შექმნის ბოლოს (პირველი გადასასვლელი მრუდის ბოლო და წრიული მრუდის დასაწყისი), გზის ვაკის ექნება ცალმხრივი დაქანების პროფილი –  $A'O'A_1'$  (ნახ. 1.4.2<sup>ბ</sup>). ამასთან, თუ გზის ვაკის ბრუნვა შიგა გზის კილის გარშემო სრულდება, მაშინ განივი პროფილის დამახასიათებელი წერტილების აღმატება საწყისი კვეთის მიმართ, გზის გრძივი ქანობის მხედველობაში მიუღებლად, იქნება:

ღერძული წერტილისათვის

$$h = \left(\frac{b}{2} + \Delta b\right) l_3 - \frac{b}{2} l_1;$$

გზის ვაკის სავალი ნაწილის გარეგანი კიდე სთვის

$$h_3 = (b + \Delta b) l_3;$$

გზის ვაკის გარეგანი კიდე სთვის

$$h_2 = (a + b + \Delta b) l_3 + a l_1;$$

გზის ვაკის შიგა კიდე სთვის

$$h_1' = \Delta b \cdot l_3,$$

სადაც,  $\Delta b$  არის სავალი ნაწილის გაფართოება,  $l_3$  – ვირაჟის განივი ქანობი.

შუალედი განივი პროფილების აღმატებებს პოულობენ ზემოთ მოტანილი ფორმულების დახმარებით ინტერპოლაციით.

### 1.5. სერპანტინი საავტომობილო გზაზე და მისი

#### დაკვალება

**სერპანტინის ძირითადი ელემენტები.** ციცაბო ფერდობზე გზის ტრასირებისას საჭირო ხდება გზის გაყვანა ზიგზაგებით მოხვევის დიდი კუთხეებით, ან რაც იგივეა, შიგა მახვილი კუთხეებით. ამ დროს გზების შეუღლება ხშირ შემთხვევებში ხორციელდება სერპანტინებით (ნახ. 1.5.1). სერპანტინებს ხშირად აპროექტებენ

სერპანტინის ძირითადი ელემენტებია:

- თუ  $r_1 = r_2$  და  $l_1 = l_2$ , მაშინ სერპანტინი იქნება

სიმეტრიული სერპანტინის ანგარიშის დროს მოცემულია ძირითადი მრუდის  $R$  რადიუსი, დამხმარე მრუდის  $r$  რადიუსი და

გადასასვლელი მრუდის, ან სწორი მონაკვეთის,  $l$  სიგრძე. სვლის  $\varphi$  კუთხე (ნახ. 1.5.1) იზომება ადგილზე. დანარჩენი ელემენტები:  $\beta$  – დამხმარე მრუდის მოხვევის კუთხე,  $d$  – დამხმარე მრუდის მოხვევის წვეროდან ძირითადი მრუდის ცენტრამდე მანძილი,  $\gamma - \Delta FNO$ -ში ან  $\Delta EMQ$ -ში კუთხე და  $\varphi_0$  – მთავარი მრუდის ცენტრალური კუთხე, სერპანტინის დაკვალვისათვის არიან საჭირო და გამოითვლებიან.

დამხმარე მრუდის მოხვევის  $\beta$  კუთხეს ვიპოვით მართკუთხა სამკუთხედიდან ( $OFN$  ან  $OEM$ )

$$tg\beta = \frac{OF}{NF} . \quad (1.5.1)$$

რადგანაც,  $OF = R$ ,  $NF = l + T$ , სადაც  $T = rtg\beta/2$ , ამიტომ გვექნება

$$tg\beta = \frac{R}{l+T} = \frac{R}{l+rtg\frac{\beta}{2}} .$$

თუ  $tg\beta$ -ს გამოვსახავთ ნახევარკუთხის ტანგენსით ( $tg\beta = \frac{2tg\beta/2}{1-tg^2\beta/2}$ ), მივიღებთ კვადრატულ განტოლებას  $tg\beta/2$ -ს მიმართ

$$(2r + R)tg^2\frac{\beta}{2} + 2ltg\frac{\beta}{2} - R = 0 , \quad (1.5.2)$$

საიდანაც

$$tg\frac{\beta}{2} = \frac{-l + \sqrt{l^2 + (2r + R)R}}{2r + R} . \quad (1.5.3)$$

$\beta$  და  $r$  დახმარებით ცხრილიდან ან ცნობილი ფორმულებით ვიპოვით მრუდების ელემენტებს –  $T$ - ტანგენსს,  $BE$  – ბისექტრისას და  $K$  – მრუდის სიგრძეს.  $\Delta ONF$ -დან ვიპოვით

$$d = \frac{R}{sin\beta} . \quad (1.5.4)$$

კონტროლისთვის გვაქვს (იგივე სამკუთხედიდან)

$$d = \frac{l+T}{\cos\beta}.$$

სერპანტინის ცენტრში კუთხე, რომელიც განსაზღვრავს მიმართულებას ძირითადი მრუდის საწყის და ბოლო წერტილებში, ტოლი იქნება

$$\gamma = 90^\circ - \beta. \quad (1.5.5)$$

ძირითადი მრუდის ცენტრალური კუთხე ტოლი იქნება

$$\varphi_0 = 360^\circ - 2\gamma - \varphi, \quad (1.5.6)$$

ხოლო ძირითადი მრუდის სიგრძე ტოლია

$$K = R \frac{\varphi_0 \pi}{180^\circ}. \quad (1.5.7)$$

**სერპანტინის დაკვალვა.** სერპანტინის ნატურაში დაკვალვისას თეოდოლიტს აყენებენ მოხვევის კუთხის  $O$  წვეროში და  $OA$  და  $OB$  გასწვრივობაში გადაზომავენ  $d$  მანძილებს. ადგილზე მიიღება  $M$  და  $N$  წერტილები – დამხმარე მრუდების წვეროები. იგივე მიმართულებებზე  $T$  ტანგენსების გადაზომვით მივიღებთ  $A$  და  $E$  წერტილებს – სერპანტინის საწყის და ბოლო წერტილებს. შემდეგ  $OA$  და  $OB$  გვერდებიდან გადაზომავენ  $\gamma$  კუთხეს, მიღებულ  $OE$  და  $OF$  მიმართულებებზე გადაზომავენ მოცემულ  $R$  რადიუსს, რითაც ადგილზე ვიპოვით  $E$  და  $F$  წერტილებს – ძირითადი მრუდის დასაწყისს და ბოლოს. ძირითადი მრუდის დეტალურ დაკვალვას ახდენენ ყოველ  $3-5$  მ-ზე. ამისათვის  $\varphi_0$  კუთხეს ჰყოფენ სათანადო ნაწილებად და მიმართულებებზე გადაზომავენ  $R$  რადიუსებს.

კონტროლისათვის თეოდოლიტს აყენებენ დამხმარე მრუდის ერთერთ წვეროში, მაგალითად,  $M$  წერტილში და ზომავენ ადგილზე  $\beta$  კუთხეს, რომელიც გამოთვლილის ტოლი უნდა იყოს.

ნატურაში  $\beta$  კუთხის აგების სიზუსტე უმთავრესად დამოკიდებულია  $R$  და  $d$  სიდიდეების გადაზომვის სიზუსტეზე ადგილზე.

$$\sin \beta = \frac{R}{d}, \quad (1.5.8)$$

ამიტომ ცდომილებათა თეორიის თანახმად

$$\frac{m_{\beta}^2}{\sin^2 \beta} = \frac{m_R^2}{R^2} + \frac{m_d^2}{d^2}.$$

თუ მივიღებთ, რომ

$$\frac{m_R}{R} = \frac{m_d}{d} = \frac{m_s}{S},$$

მაშინ

$$\frac{m_{\beta}}{\sin \beta} = \sqrt{2} \frac{m_s}{S},$$

ან რაც იგივეა

$$m'_{\beta} = \sqrt{2} \sin \beta \frac{m_s}{S} \cdot \rho'. \quad (1.5.9)$$

მთიან ადგილებში შეიძლება მიიღოთ  $m_s/S = 1/1000$ , კუთხე  $\beta$  ჩვეულებრივ  $25 - 30^\circ$  ტოლია, ე.ი.  $\sin \beta \approx 1/2$  და  $m_{\beta} = \sqrt{2} \cdot 3438 \cdot 1/2 \cdot 1/1000 = 2,5'$ .

ამრიგად, ადგილზე გაზომილი  $\beta$  კუთხე არ უნდა განსხვავდებოდეს გამოთვლილისგან  $2,5'$ -ზე მეტად.

გადავზომავთ რა  $ME$  მიმართულებაზე  $M$ -დან ტანგენსის ( $T$ ) სიდიდეს, მივიღებთ  $P$  წერტილს – დამხმარე მრუდის ბოლოს.  $A$  და  $P$  წერტილებიდან დეტალურად დაკკვალავთ დამხმარე მრუდს ყოველ  $10$  მ-ში, თუ  $r > 100$  მ და ყოველ  $5$  მ-ში, თუ  $r < 100$  მ. სერპანტინის მეორე დამხმარე მრუდს დაკკვალავთ ანალოგიურად.

სერპანტინის დასაწყისის პიკეტაჟს ვიპოვით, თუ ტრასის მოხვევის  $O$  წერტილის პიკეტაჟს გამოვაკლებთ  $d + T$ . თუ ამ უკანასკნელის პიკეტაჟს მივუმატებთ დამხმარე მრუდის  $K$  სიგრძეს, მივიღებთ დამხმარე მრუდის ბოლოს პიკეტაჟს. შემდეგ უმატებენ გადასასვლელი მრუდის ან სწორი მონაკვეთის  $L$  სიგრძეს და მივიღებთ ძირითადი მრუდის დასაწყისის პიკეტაჟს.



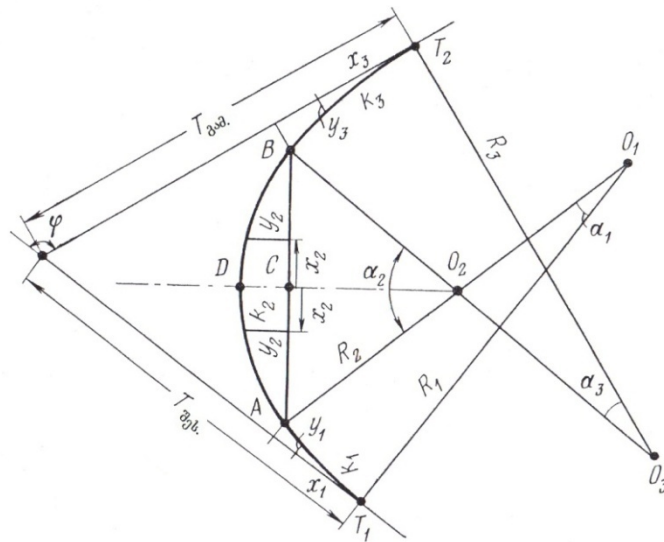
თუ ამ უკანასკნელს დავუმატებთ ძირითადი მრუდის  $K$  სიგრძეს, მივიღებთ ძირითადი მრუდის ბოლოს პიკეტაჟს და ა.შ.

სერპანტინის ყველაზე ვიწრო ადგილის სიგანე, როგორც ნახ. 1.5.1-დან ჩანს, ტოლია

$$M_1 N_1 = 2(BB' + d \sin \varphi / 2) . \quad (1.5.10)$$

## 1.6. საავტომობილო გზების გადაკვეთების დაკვალვა

**გადაკვეთა ერთ ღონეზე.** საავტომობილო გზების ერთ ღონეზე გადაკვეთისა და მიმხრობის დროს ზომავენ გზების ღერძების გადაკვეთის კუთხეს და აუღლებენ ერთმანეთთან ადგილმდებარეობის ყველაზე მოხერხებულ პირობებში. სასურველია, ღერძების გადაკვეთის კუთხე ახლოს იყოს  $90^\circ$ -თან. მიმხრობის ადგილზე მთავარი გზა შეძლებისდაგვარად უნდა იყოს სწორხაზოვანი. შეუღლების მინიმალური რადიუსი შიგა გზისპირის მიხედვით არ უნდა იყოს  $20 - 25$  მ-ზე ნაკლები. თუ მიმხრობა ბლაგვი კუთხით მოხდა, რეკომენდებულია რადიუსი გავზარდოთ ორჯერ. გადამკვეთი გზების შეუღლებას ასრულებენ ნაპირებზე ერთნაირი ან სხვადასხვა პარამეტრებიანი გადასასვლელი მრუდებით და შუალედი წრიული მრუდით. შეიძლება აგრეთვე გამოყენებულ იქნას სამი ტოტისგან შედგენილი მრუდი (ნახ. 1.6.1)



ნახ. 1.6.1

სამი ნაწილისგან შედგენილი მრუდიდან  $K_2$  საშუალო მრუდის მინიმალურად დასაშვები რადიუსია  $R_2$ , გვერდითი მრუდების  $(K_1 \text{ და } K_3)$   $R_1$  და  $R_3$  რადიუსები 2-3-ჯერ აღემატებიან  $R_2$ -ის რადიუსს.  $T_2$  შემავალი და  $T_3$  გამომავალი ტანგენსები განისაზღვრებიან მიღებული  $R_i$  რადიუსებითა და  $\alpha_i$  ცენტრალური კუთხეებით, აგრეთვე  $\varphi$  შეუღლების კუთხით.

მრუდების დეტალური დაკვალება წარმოებს ყოველ 5მ-ში მართკუთხა კოორდინატების ხერხით ტანგენსებიდან.

მრუდის შუა ნაწილი დაიკვალება ორდინატებით  $AB$  ქორდიდან.

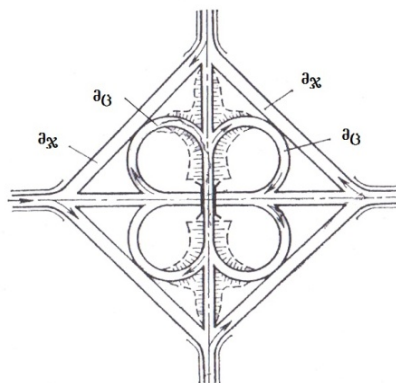
საავტომობილო გზის და რკინიგზის გადაკვეთისას ერთ ღონეზე მახვილი კუთხე გზების ღერძებს შორის არ უნდა იყოს  $60^\circ$ -ზე ნაკლები.

საავტომობილო გზების მისასვლელები რკინიგზის გადასასვლელთან 50მ მანძილზე უნდა დაპროექტდეს არა უმეტეს 30% გრძივი ქანობით.

**გადაკეთა სხვადასხვა ღონეზე.** I კატეგორიის გზები სხვა დანარჩენი კატეგორიის გზებთან, II კატეგორიის გზები II და III კატეგორიის გზებთან, აგრეთვე III კატეგორიის უმნიშვნელოვანესი გზები ერთმანეთს შორის იკვეთებიან სხვადასხვა ღონეზე გზაგამტარის მოწყობით და ერთი გზის გადავლით მეორე გზაზე. ნახ. 1.6.2-ზე მოცემულია ასეთი გადაკეთის სქემა ე.წ. „სამყურას ფოთლების“ სახით. მც – აღნიშნავს მარცხენა მოხვევას, მჯ – მარჯვენა მოხვევას.

მარცხენა მოხვევის ჩასასვლელების რადიუსი არ უნდა იყოს **50 – 60** მ-ზე ნაკლები, მარჯვენა მოხვევისა – **250** მ-ზე ნაკლები

(I და II კატეგორიის გზები) ან **125** მ-ზე ნაკლები (III კატეგორიის გზები). ერთგზიანი მარცხენა მოხვევის ჩასასვლელების საგალი ნაწილის სიგანე არის **5,5** მ, მარჯვენა მოხვევის – **5** მ, მრუდებზე დამატებითი გაფართოებების მოწყობის გარეშე.



ნახ. 1.6.2

ყველა ერთგზიან ჩასასვლელებზე აწყობენ **20 – 60%** ქანობის მქონე ვირაჟებს. გზების გრძივი ქანობი გზაგამტარის მისასვლელებთან არ უნდა იყოს **40%** მეტი. ვერტიკალური ამოზნექილი მრუდების უმცირეს რადიუსს იღებენ I-II კატეგორიის გზებზე – **1500** მ მარცხენა მოხვევის ჩასასვლელებზე და **5000** მ – მარჯვენა მოხვევისას. შეზნექილი მრუდებისათვის შესაბამისად – **1200** და **2000** მ.

გზაგამტარების პროექტების შესადგენად ადგილმდებარეობას აგეგმავენ 1:1000 ან 1:2000 მასშტაბით რელიეფის კვეთით – **0,5 – 1,0** მ.

## თავი 2. გეოდეზიური სამუშაოები რკინიგზების მშენებლობის დროს

### 2.1. სარკინიგზო მიმოკვლევა

სარკინიგზო მიმოკვლევის ტექნოლოგიის საერთო სქემა მსგავსია საავტომობილო გზების მიმოკვლევასა: საგზაო-ეკონომიკური მიმოკვლევა გზის პროექტის ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთებისათვის; დეტალური საპროექტო მიმოკვლევა ტექნიკური პროექტის დასაბუთებად; აგებისწინა მიმოკვლევა მუშა დაპროექტებისათვის. თითოეული ამ სტადიის შემაღენელ სამუშაოთა მოცულობა და თანამიმდევრობა ღვინდება საუწყებო ინსტრუქციებით.

სარკინიგზო გზების მიმოკვლევასა და დაპროექტებისათვის აუცილებელია შესრუდეს:

- **საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოები** – ტოპოგრაფიული გეგმების შედგენა, ტრასის გეომეტრიული პარამეტრების დადგენა (ქანობები, მოხვევის კუთხეები), სადგურების ადგილმდებარეობის შერჩევა, მდინარეებთან გადაკვეთის ადგილების და გადაკვეთის კუთხის შერჩევა და სხვ.;

- **ჰიდროლოგიური და ჰიდროტექნიკური სამუშაოები** – გზის გადამკვეთი მდინარეების ქცევის ხასიათის შესასწავლად და გადაკვეთის ადგილის შესარჩევად;

- **საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური სამუშაოები** – სამთო ქანების თვისებების და მათი წყალშემცველობის შესასწავლად.

სატრანსპორტო ნაგებობათა დაპროექტებისათვის ინსტრუქციებით მოთხოვნილი სიზუსტეების და დაშვებების სიდიდეებიდან გამომდინარე, შემდეგი მასშტაბის გეგმები შედგება:

- 1) **1:10000** მასშტაბის გეგმა ტრასის მიმართულების და ტრასაზე ასაგებ ნაგებობათა წინასწარი დაპროექტებისათვის;

- 2) **1: 5000** მასშტაბის გეგმა მშენებლობის საინჟინრო მომზადების და გენგეგმის შესადგენად;
- 3) **1: 2000** მასშტაბის გეგმა სატრანსპორტო, ჰიდროტექნიკურ და სამრეწველო ნაგებობათა ტექნიკური პროექტების შესადგენად;
- 4) **1: 1000** მასშტაბის გეგმა მუშა ნახაზების შესადგენად და ცალკეული პროექტების დასამუშავებლად;
- 5) **1: 500** მასშტაბის გეგმა ცალკეული კვანძების მუშა ნახაზების შესადგენად.

სარკინიგზო გზებს ტვირთის გადაზიდვის და მგზავრთა გადაყვანის ინტენსივობის მიხედვით ჰყოფენ სამ კატეგორიად:

I კატეგორიის გზები – სახელმწიფოებრივი მნიშვნელობის **~ 150** კმ/სთ სიჩქარით, მილიონობით ტვირთბრუნვით და მგზავრთა დიდი ნაკადის გადაყვანით;

II კატეგორიის გზები – სარაიონთაშორისო დანიშნულების **~ 100 – 120** კმ/სთ სიჩქარით, შედარებით ნაკლები ტვირთბრუნვით და მგზავრთა გადაყვანით;

III კატეგორიის გზები – ადგილობრივი დანიშნულების **~ 60 – 80** კმ/სთ სიჩქარით, მცირე ტვირთბრუნვით და მგზავრთა ნაკადის მცირე ინტენსივობით.

ძირითადი მოთხოვნები, რომლებიც წაყენება რკინიგზებს – ესაა სიმაღლე (ნაკლები დაქანება) და მოძრაობის უსაფრთხოება დასაშვები სიჩქარის დროს. ამის გამო რკინიგზებზე (ისევე, როგორც საავტომობილო გზებზე) მკაცრად იცავენ მაქსიმალურ სახელმძღვანელო ქანობებს და მოხვევის მინიმალურ რადიუსებს. სახელმძღვანელო ქანობები ( $i_{max}$ ) რკინიგზებზე კატეგორიების მიხედვით **15 – 30‰** არ აღემატება, ხოლო მრუდების რეკომენდებული უმცირესი რადიუსები – ჰორიზონტალური მრუდებისა – **1200 – 600** მ, ვერტიკალური მრუდებისა – **10000 – 5000** მ.

მცირე რადიუსის მრუდებზე ზღვრულად დასაშვებ ქანობს ამცირებენ. რკინიგზებისათვის შემცირების სიდიდე გამოისახება დამოკიდებულებით

$$\Delta l = 12,2 \frac{\varphi^0}{K}, \quad (2.1.1)$$

სადაც,  $\varphi$  არის ტრასის მოხვევის კუთხე, გრად.,  $K$  – მრუდის სიგრძე, მ-ში. რადგან  $K = R \frac{\varphi^0}{\rho^0}$ , ამიტომ

$$\Delta l = 12,2 \frac{\rho^0}{R} \approx 700/R. \quad (2.1.2)$$

მაგალითად, თუ  $L_{\text{კვ.}} = 20\%$ , მაქსიმალური დასაშვები ქანობი მრუდზე, რომლის  $R = 700$ მ, ტოლი იქნება

$$l = L_{\text{კვ.}} - \Delta l = 20 - 700/700 = 19\% .$$

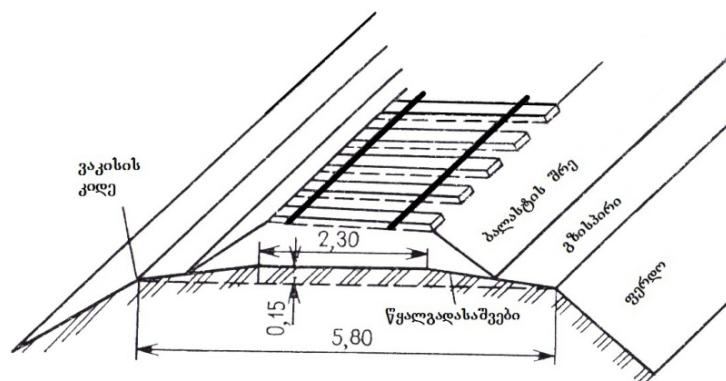
რკინიგზებზე სადგურებს და ბაქნებს სწორ ადგილებზე აშენებენ, უკიდურეს შემთხვევაში არა უმეტეს  $2,5\%$  დაქანებისა.

თანამედროვე საგზაო მაგისტრალები მათი დიდი სიჩქარეებით მოითხოვენ საპროექტო გეომეტრიული პარამეტრების მკაცრად დაცვას მშენებლობისა და ექსპლუატაციის დროს. აქედან გამომდინარე, სარკინიგზო მაგისტრალის გასწვრივ აუცილებელია გვქონდეს გეოდეზიური საფუძვლის მუდმივი პუნქტები სათანადო სიზუსტითა და სიხშირით.

გეგმაში, მაგისტრალების გასწვრივ სვლების ზღვრულმა შეცდომებმა არ უნდა გადააჭარბოს  $1/5000$ , ხოლო სიმაღლეში შეუკვრელობამ –  $30\sqrt{L}$ , სადაც  $L$  – სვლის სიგრძეა კმ-ში.

## 2.2. რკინიგზის ვაკისის დაკვალება

რკინიგზის ვაკისის ძირითადი ნაწილია მისი ზედა ნაგებობა – რელსები შპალებით, რომლებიც დაწყობილია საბალასტო შრეზე (ნახ. 2.2.1)



ნახ. 2.2.1

წყლის მოსაცილებლად საბალასტო შრის ქვეშ მოწყობილია წყალგადასაშვები (წყალმოსაცილებელი) პრიზმის სახით, რომელიც კიუვეტებს უერთდება.

ერთლიანდაგიან რკინიგზებზე, მიწის ვაკისის სიგანეს იღებენ **5,8** მ ქვიშის გრუნტზე, ან **6,5** მ თიხის შემცველ გრუნტზე.

ორლიანდაგიან რკინიგზებზე სიგანეს იღებენ **10** მ. გზის ორივე მხარეს აწყობენ წყლის მოსაცილებლად თხრილებს – კიუვეტებს, რომლის ფსკერის გრძივი ქანობი გზის კილის ქანობის ტოლია, მაგრამ არა უმცირეს **2%**.

კიუვეტის ძირის და ზედაპირის ზომები ანალოგიურია საავტომობილო გზებისთვის მოწყობილი კიუვეტის ზომებისა.

ასევე, რკინიგზების განივი პროფილების დაკვალების პრინციპი როგორც სწორ ადგილებში, ისე ფერდობებზე, ანალოგიურია

საავტომობილო გზების განივი პროფილების დაკვალვისა იგივე პირობებისათვის.

დამთავრებულ მიწის ვაკისზე ასრულებენ რკინიგზის ზედა საფარველის კონსტრუქციის შექმნისათვის დეტალურ დაკვალვებს.

რკინიგზის საფარველი შედგება ბალასტის შრისგან, შპალებისა და რელსებისგან. ინსტრუმენტით დაინიშნება თითოეული გზის ღერძი. მოსახვევებში ახდენენ გადასასვლელი და წრიული მრუდების დეტალურ დაკვალვებს. მიზანშეწონილია მრუდებზე დაკვალვები ჩავატაროთ ქორდების ან გამკვეთების ხერხით, რადგან ისინი უფრო ხელსაყრელია ნაყარით და მიწაჭრილით შევიწროებულ პირობებში და ამავე დროს უფრო მაღალი სიზუსტისაა. ერთდროულად, ნიველირით გამოაქვთ სიმაღლეში რელსების ზედაპირი **1 – 2** მმ სიზუსტით.

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ რელსის ზედაპირის (თავის) საპროექტო ნიშნულები, პროფილის საპროექტო ნიშნულს (ვაკისის კიდე ნიშნული) უნდა დავუმატოთ წყალგადასაშვები პრიზმის სიმაღლე (**0,15** მ), ბალასტის შრის სისქე, შპალების სისქე და რელსების სიმაღლე.

რკინიგზის მოხვევის ადგილებში მრუდებზე ითვალისწინებენ გზის გარეთა რელსის ამალვებას შიგა რელსთან შედარებით, რომლის ***h*** სიდიდე მმ-ში შეიძლება ვიანგარიშოთ ფორმულით

$$h = 12,5 \frac{v^2}{R} , \quad (2.2.1)$$

სადაც, ***v*** არის მატარებლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე კმ/ს, ***R*** – მრუდის რადიუსი, მ. გარე რელსის ***h*** შემაღლების უზრუნველყოფა ხდება ბალასტის დამატებით გარე რელსის ქვეშ.

რკინიგზის სიგანე რელსების შიგა წიბოებს შორის პირდაპირ უბნებზე და ***R* > 350** მ რადიუსის მქონე მოსახვევებში, ტოლია **1524** მმ. ***R* = 349 – 300** მ რადიუსის დროს, ეს სიგანე 1530 მმ ტოლია, ხოლო ***R* < 299** მ რადიუსის დროს – **1540** მმ.

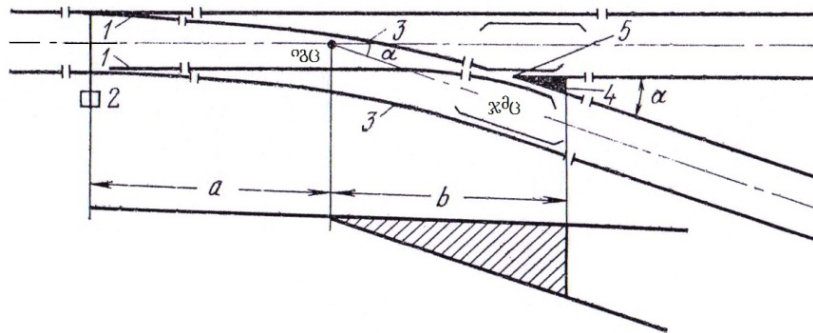


რელსებს შორის სიგანის მომატება ხდება შიგა რელსის მრუდის ცენტრისკენ გაწევის ხარჯზე. სიგანეს სწორი მონაკვეთების ან გადასასვლელი მრუდის ფარგლებში უმატებენ ყოველ 1მ გზაზე 1მმ-ით.

საჭირო ზომებისგან გადახრამ არ უნდა გადააჭარბოს 3 – 4მმ. მოხვევის უბნებში რკინიგზის ვაკისის გაგანიერებაც ხდება, რომლის სიდიდე  $R = 2000 - 1000$  მ ფარგლებში ტოლია 0,2 მ და  $R < 1000$  მ დროს – 0,3 მ.

### 2.3. რკინიგზების შეერთებების და პარკების დაკვალება

**გზების მიმხრობა.** მიმხრობა ხორციელდება ისრული გადამყვანის დახმარებით, რომელიც გზის სწორ მონაკვეთზე სრულდება (ნახ. 2.3.1)



ნახ. 2.3.1

ისრული გადამყვანის ძირითადი ნაწილებია: 1 – წამახვილებული რელსი; 2 – გადამყვანი მექანიზმი; 3 – გადამყვანი მრუდი; 4 – ჯვარედი. ჯვარედის მუშა წახნაგებს შორის მდებარე კუთხე – ჯვარედის კუთხედ იწოდება.  $2tg \alpha/2$

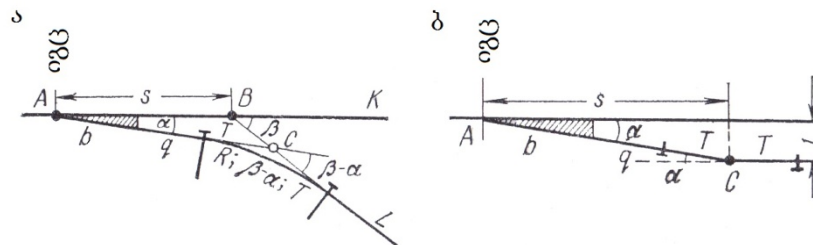
უწოდებენ ისრის მარკას და აღნიშნავენ  $1/N$ -ით.  $\alpha$  კუთხის სიმცირის გამო შეგვიძლია დავწეროთ

$$\frac{1}{N} = 2tg \frac{\alpha}{2} \approx tg \alpha . \quad (2.3.1)$$

სატვირთო გზებზე ყველაზე ხშირად იხმარება  $\frac{1}{N} = \frac{1}{9} = 0,11$ ,  $\alpha = 6^{\circ}20'25''$ , ხოლო სამგზავრო გზებზე –  $\frac{1}{N} = \frac{1}{11}$  ( $\alpha = 5^{\circ}11'40''$ ) ან  $\frac{1}{N} = \frac{1}{22}$  ( $\alpha = 2^{\circ}35'50''$ ).

ნახ. 2.3.1-ზე მე-5 წერტილს ჯვარედის მათემატიკური ცენტრი (ჯმც) ეწოდება, ხოლო ორი შემაერთებული გზის ღერძების გადაკვეთის წერტილს – ისრული გადამყვანის ცენტრი (იგც). მანძილი  $a$  იგც-დან ისრის დასაწყისამდე და მანძილი  $b$  – ჯვარედის დასასრულამდე, სტანდარტული მანძილებია და მოტანილია ცხრილებში ისრული გადამყვანის და რელსების ყველა მარკისათვის. ისრული გადამყვანის ადგილზე დაკვალვისას, აფიქსირებენ მისი ცენტრის მდებარეობას, საიდანაც შემდეგ ცნობილი ზომებით განალაგებენ ყველა ელემენტს.

არსებული გზისადმი  $(AK)$ , ახალი ტრასირებადი გზის  $(CL)$  მიმხრობის დაკვალვისათვის (ნახ. 2.3.2<sup>ა</sup>) ჯერ უნდა ვიპოვოთ გზების ღერძების გადაკვეთის წერტილი  $(B)$  და გავზომოთ მიმხრობის  $\beta$  კუთხე. რადგანაც ისრული გადამყვანი იწვევს გზის გადახრას  $\alpha$  მუდმივ კუთხეზე, ამიტომ  $CL$  და  $BK$  გზების შესაერთებლად ისრული გადამყვანის ცენტრი უნდა განვალაგოთ არა მიმხრობის  $B$  კუთხის წვეროში, არამედ  $A$  წერტილში



ნახ. 2.3.2

$AB = S$  მაძილი (ნახ. 2.3.2<sup>ა</sup>) შეიძლება ვიპოვოთ  $\triangle ABC$ -დან, რომელშიც ყველა კუთხე ცნობილია –  $\alpha, 180^\circ - \beta, \beta - \alpha$ . ცნობილია იგივე სამკუთხედის  $AC$  გვერდიც –  $AC = b + q + T$ .

$$S = \frac{(b + q + T) \sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta} . \quad (2.3.2)$$

(2.3.2) ფორმულაში  $\alpha$  კუთხე და  $b$  სიდიდე განისაზღვრებიან გადამევანის მარკით,  $\beta$  კუთხეს ზომავენ ადგილზე,  $q$  სიდიდე მოიცემა,  $T$  ტანგენსს მოცემული  $R$  რადიუსით და  $(\beta - \alpha)$  მოხვევის კუთხით აიღებენ ცხრილიდან ან იანგარიშებენ ფორმულით

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\beta - \alpha}{2} . \quad (2.3.3)$$

გადავზომავეთ გზის ღერძის გასწვრივ  $B$  წერტილიდან  $S$  მონაკვეთს და მივიღებთ  $A$  წერტილს – ისრული გადამევანის ცენტრს. ადგილზე მოხვევის კუთხის  $C$  წვეროს მოსაძებნად,  $E$  წერტილიდან  $BL$  მიმართულებაზე გადავზომავეთ  $BC$  მანძილს, რომელიც ტოლია

$$BC = \frac{(b + q + T) \sin \alpha}{\sin \beta} . \quad (2.3.4)$$

იგივე წერტილს მივიღებთ, თუ ისრული გადამევანის ცენტრში ( $A$ ) ავაგებთ ჯვარედის  $\alpha$  კუთხეს და გადავზომავეთ მასზე მანძილს

$$AC = b + q + T .$$

თუ ისრული გადამევანის დაყენების ადგილი ცნობილია, მაშინ მიმხრობის დაკვალვა ხდება შებრუნებული მიმდევრობით.

პარალელური გზების მიმხრობისას მანძილი ისრული გადამევანის ცენტრიდან მოხვევის კუთხის წვერომდე ტოლია (ნახ. 2.3.2<sup>ბ</sup>)

$$S = \frac{l}{\operatorname{tg} \alpha} = lN . \quad (2.3.5)$$

სადაც,  $l$  — პარალელური გზების ღერძებს შორის მანძილია.  
მაგალითად, თუ  $l = 5,3$  მ,  $\frac{1}{N} = \frac{1}{11}$ ,  $s = 5,3 \cdot 11 = 58,3$  მ.

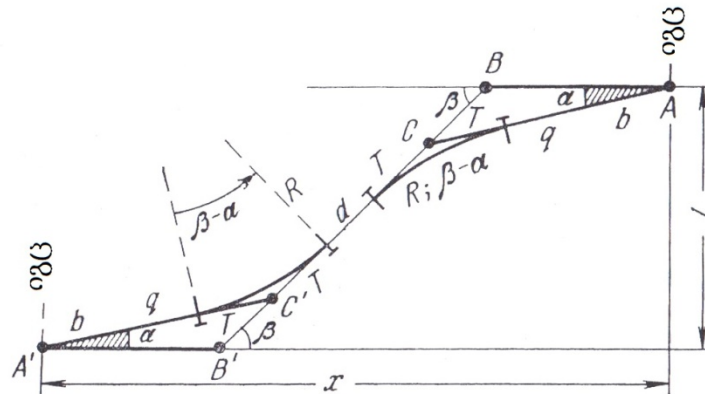
მოხვევის კუთხე  $C$  წერტილში ტოლია ჯვარედის  $\alpha$  კუთხის, ამიტომ ტანგენსი ტოლი იქნება

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{R}{2N} . \quad (2.3.6)$$

ხოლო სწორი მონაკვეთი  $q$  ტოლი იქნება

$$q = \frac{l}{\sin \alpha} - (b + T). \quad (2.3.7)$$

**გადასასვლელები.** მათ იყენებენ პარალელური გზების შესაერთებლად. ნახ.2.3.3-ზე მოტანილია პარალელური გზების შეერთების სქემა გადასასვლელების გამოყენებით. ერთი ტიპის ისრული გადამყვანების და მრუდების ერთნაირი რადიუსებისას მეორე ისრული გადამყვანის ცენტრის მდებარეობას ( $A'$ ) პირველი ისრული გადამყვანის ცენტრის ( $A$ ) მიმართ ვიპოვით გადასასვლელების დაპროექტებით აბსცისის ღერძზე (პირველი გზის ღერძი)



ნახ. 2.3.3

$$x = 2(b + q + T) \cos \alpha + (2T + d) \cos \beta . \quad (2.3.8)$$

გადასასვლელების პროექცია ორდინატების ღერძზე შეადგენს

$$y = l = 2(b + q + T) \sin \alpha + (2T + d) \sin \beta . \quad (2.3.9)$$

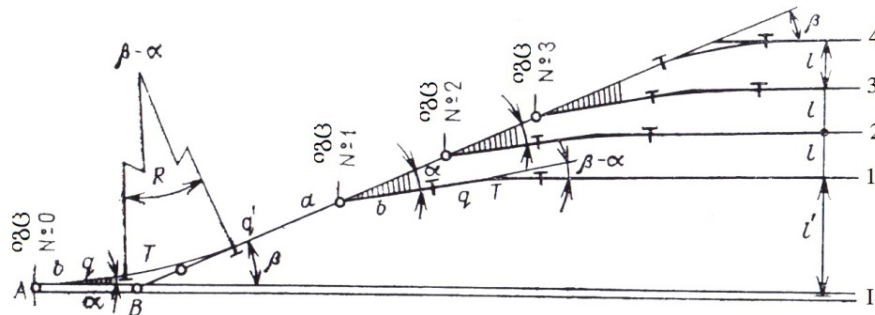
(2.3.8) და (2.3.9) ფორმულებიდან შებრუნებულ მრუდებს შორის ჩასმული სწორი  $d$  მონაკვეთი ტოლი იქნება

$$d = \frac{l - 2(b + q + T)\sin \alpha}{\sin \beta} - 2T. \quad (2.3.10)$$

$d$  და  $x$  სიდიდეების გასაანგარიშებლად ადგილზე ზომავენ  $l$  მანძილს გზებს შორის და გზების მიმხრობის  $\beta$  კუთხეს ან იღებენ იმ მსხვილმასშტაბიან გეგმიდან, რომელზეც აპროექტებენ გადასასვლელებს.  $T$  ტანგენსს ანგარიშობენ (2.3.3) ფორმულით. ჯვარედის  $\alpha$  კუთხეს და  $b$  სიდიდეს განსაზღვრავენ გადასასვლელის მარკით ცხრილებიდან.  $q$  სიდიდეს კი ირჩევენ ადგილმდებარეობიდან გამომდინარე.

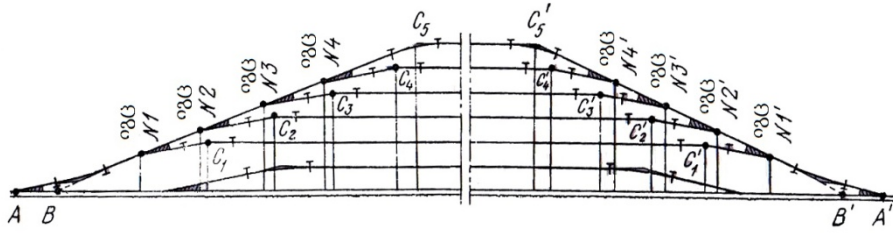
**ისრული (საისრე) ქუჩები.** საისრე ქუჩებს უწოდებენ რკინიგზებს, რომლებზეც განლაგდება ისრული გადამყვანები პარალელური გზების პარკის განტოტებისთვის.

ისრული ქუჩა შეიძლება განლაგდეს მთავარი გზისადმი ნებისმიერი კუთხით. მისი სიგრძის შესამცირებლად, მას აპროექტებენ მთავარი გზისადმი  $\beta$  კუთხით, რომელიც ჯვარედის  $\alpha$  კუთხეს აღმატება ( $\beta = 2\alpha, 3\alpha, \dots$ ). ამ შემთხვევაში საისრე ქუჩა (ნახ.2.3.4) შეუუღლდება მთავარ გზას №0 ისრული გადამყვანით და წრიული მრუდით. იმისათვის, რომ გზების პარკი, რომელიც გამოდის საისრე ქუჩიდან, პარალელური იყოს მთავარი გზისა, აუცილებელია  $\alpha$  კუთხეზე მობრუნების გარდა, დამატებით მოვაბრუნოთ ისინი  $(\beta - \alpha)$  კუთხეზე.



გზების პარკის დაკვალვას წაყენება ორი მთავარი მოთხოვნა:

- 1) ყველა საისრე გადამყვანის ცენტრი საისრე ქუჩაზე უნდა განლაგდეს ერთ სწორ ხაზზე; 2) ყველა გზის ღერძი უნდა იყოს პარალელური (ნახ. 2.3.5)



ნახ. 2.3.5

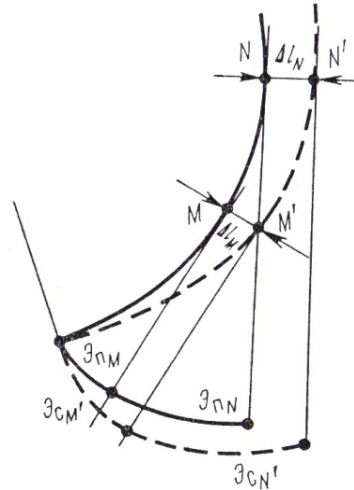
ნატურაში გადატანილ საისრე ქუჩებს და გზების პარკს გულდასმით ამაგრებენ ადგილზე. განსაკუთრებით კი – გადამყვანების ცენტრებს და მოხვევის კუთხის წვეროებს.

## 2.4. რკინიგზის აგებმის ხერხები

მოკლე  
წანამძღვარი.

თეორიული  
რკინიგზის

ნორმალური ექსპლუატაციისათვის პერიოდულად ახდენენ მის აგებმას, რომლის შედეგების მიხედვით შეარჩევენ მრუდების ისეთ პარამეტრებს, რომლებიც ყველაზე ახლოს მიუდგება არსებულს და განსაზღვრავენ ლიანდაგის შეზუსტების სიდიდეს, რის შედეგად



მან უნდა მიიღოს გაანგარიშებული ფორმა. გზის შეზუსტების დროს მრუდის  $M, N$  წერტილები (ნახ. 2.4.1) შემოწერენ  $M'M$  და  $N'N$  ხაზებს, რომლებიც მრუდის ნორმალთან არიან ახლოს.

რადგანაც გზის გადაადგილება მცირეა, ამიტომ ის გამოითვლება მრუდის ევოლვენტის სხვაობებით –  $(\mathfrak{B}_{\varphi})$  საპროექტო მნიშვნელობისა და  $(\mathfrak{B}_{\varphi'})$  ნატურაში გადაღებული ფაქტიური მნიშვნელობისათვის

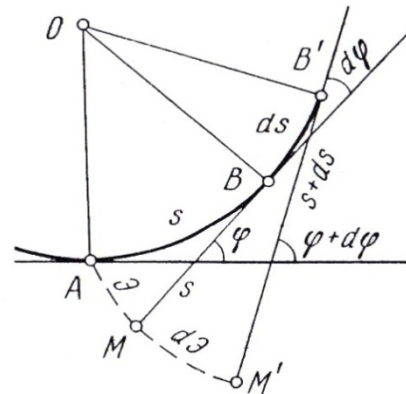
$$\Delta L_M = \mathfrak{B}_{\varphi M} - \mathfrak{B}_{\varphi' M} ,$$

$$\Delta L_N = \mathfrak{B}_{\varphi N} - \mathfrak{B}_{\varphi' N} .$$

ზოგადად, რომელიმე  $i$  წერტილისათვის

$$\Delta L_i = \quad (2.4.1)$$

მათემატიკურად, ევოლვენტას უწოდებენ ტრაექტორიას, რომელსაც შემოწერს მოქნილი და გაუჭიმავი ძაფის ბოლო რომელიმე მრუდიდან გადახვევისას. ეს მრუდი



ევოლვენტის სიმრუდის ცენტრების, ე.ი. ევოლუტის გეომეტრიული ადგილია. ამიტომ ნორმალ ევოლვენტის მიმართ რომელიმე  $M$  წერტილში ერთდროულად იქნება ევოლუტის მრუდის მიმართ მხები  $B$  წერტილში (ნახ. 2.4.2)

ევოლვენტის  $\mathfrak{B}$  სიგრძე მრუდის  $A$  საწყისი წერტილიდან  $E$  მიმდინარე წერტილამდე ტოლია ნახ. 2.4.2

$$\mathfrak{B} = \int_0^s \varphi ds , \quad (2.4.2)$$

სადაც,  $s$  არის  $AB$  მრუდის სიგრძე,  $\varphi$  – კუთხე  $A$  წერტილში მხებსა (ტანგენტის ხაზი) და მიმდინარე  $B$  წერტილში მხებს შორის. რადგანაც

$$\frac{d\varphi}{ds} = \frac{1}{\rho}, \quad (2.4.3)$$

სადაც,  $\rho$  – სიძრუდის რადიუსია, ამიტომ

$$\varphi = \int_0^s \frac{1}{\rho} (ds). \quad (2.4.4)$$

$R$  რადიუსის მქონე წრიული მრუდისათვის  $\frac{1}{\rho} = \frac{1}{R}$  და როგორც შედეგი

$$\varphi = \frac{1}{R} \int_0^s ds = \frac{s}{R}. \quad (2.4.5)$$

თუ  $\varphi$  მნიშვნელობას (2.4.5)-დან ჩავსვამთ (2.4.2)-ში, მივიღებთ წრიული მრუდის ევოლვენტის გამოსათვლელ ფორმულას

$$\vartheta = \frac{1}{R} \int_0^s s ds = \frac{s^2}{2R}, \quad (2.4.6)$$

რადიოიდალური სპირალის –  $\frac{1}{\rho} = \frac{s}{C}$  ტიპის გადასასვლელი მრუდისათვის ამ დროს

$$\varphi = \frac{1}{C} \int_0^s S ds = \frac{s^2}{2C}, \quad (2.4.7)$$

და გადასასვლელი მრუდის ევოლვენტა იქნება

$$\vartheta = \frac{1}{2C} \int_0^s s^2 ds = \frac{s^3}{6C}, \quad (2.4.8)$$

სადაც,  $C$  – გადასასვლელი მრუდის პარამეტრია.



(2.4.2) ფორმულის საფუძველზე ნატურაში გადაღებული ევოლვენტის სიდიდე გამოითვლება მიახლოებითი ფორმულით

$$\Phi_{\Sigma} = \sum_1^i \varphi_i d_i, \quad (2.4.9)$$

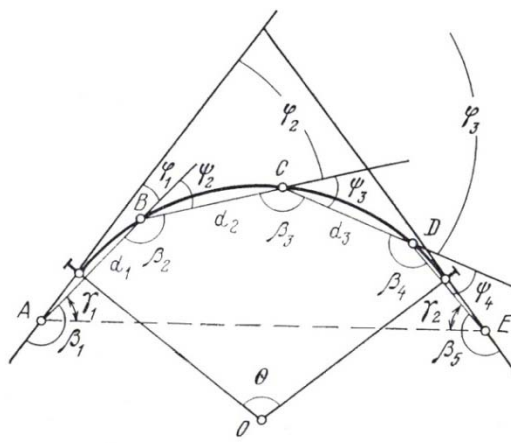
სადაც,  $d_i$  არის მონაკვეთები (ქორდები), რომლებადაც იყოფა აგეგმვისას მრუდი;  $\varphi_i - d_i$  ქორდების მოხვევის კუთხეები, ტანგენსის ხაზის საწყისი მიმართულების მიმართ („ქორდის აზიმუტი“).

$\Phi_{\Sigma}$  აზიმუტების განსაზღვრის მეთოდის მიხედვით განასხვავებენ რკინიგზაზე მრუდების აგეგმვის რამდენიმე ხერხს:

- 1) **ევოლვენტური სხვაობების ხერხი** –  $\varphi_{\Sigma}$  კუთხეებს განსაზღვრავენ ნატურაში გაზომილი ქორდების მობრუნების კუთხეებით;
- 2) **ჩალუნვის ისრების ხერხი** –  $\varphi_i$  კუთხეები იანგარიშება ნატურაში გაზომილი ჩალუნვის ისრების მიხედვით  $d_i$  ქორდების შუაში;
- 3) **ფოტოგრამმეტრიული ხერხი** –  $\varphi_i$  კუთხეებს ზომავენ სპეციალური ფოტოგრამმეტრიული ხელსაწყოებით მრუდის მახვილმასშტაბიანი აეროფოტოსურათების მიხედვით.

განვიხილოთ მოკლედ თითოეულის არსი.

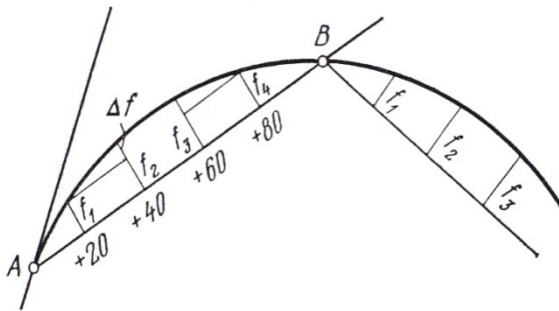
**ევოლვენტური სხვაობების ხერხი.** რკინიგზის ასაგეგმავ უბანზე საზომი ხელსაწყოთი (ხვეულა) აღნიშნავენ გზის გარე რელსზე **20** მ-იან მონაკვეთებს (ქორდები) და დაკვალავენ **100** მ-იან პიკეტებს, ამასთან **A** და **E** წერტილებს (ნახ. 2.4.3) შეარჩევენ სწორ უბანზე მრუდის საწყისი და ბოლო წერტილებიდან **40 – 60** მ მანძილზე. **A** და **E** წერტილები ურთიერთხილვადი უნდა იყვნენ.



ნახ. 2.4.3

პიკეტაჟზე თეოდოლიტით ზომავენ ქორდების მობრუნების კუთხეებს  $\beta_1, \beta_2, \dots$  და შესაძლებლობის დროს მიმხრობის  $\gamma_1$  და  $\gamma_2$  კუთხეებს.

ერთდროულად  $+20, +40, +60, +80$  (ნახ. 2.4.4) (პლუს) წერტილებზე გვერდითი ნივლოზის ხერხით, თეოდოლიტით ზომავენ ჰორიზონტალურად დაყენებულ ლარტყებზე მრუდის ჩაღუნვის ისრებს –  $f_1, f_2, \dots$  ლარტყა მაგრდება სპეციალური ბუნიკით რელსის თავზე. მისი ნულანათვალი (ქუსლი) ემთხვევა რელსის გრძივ ღერძს.



ნახ. 2.4.4

$A, B, C, D$  პიკეტაჟზე (ნახ. 2.4.4) თეოდოლიტს და დასამზერ მარკებს დაცენტრავენ რელსის ღერძზე. ჩაღუნვის ისრებს ზომავენ

ორჯერ – პირდაპირი  $(AB)$  და შებრუნებული  $(BA)$  მიმართულებით. სხვაობამ არ უნდა გადააჭარბოს 5მმ. საბოლოო მნიშვნელობად იღებენ მათ საშუალოს.

$A, B, C, \dots$  პიკეტურ წერტილებში  $\beta_i$  გაზომილი კუთხეების მიხედვით გამოითვლიან ქორდების მოხვევის კუთხეებს  $\psi_i = 180^\circ - \beta_i$  და ქორდების აზიმუტებს ტანგენსის ხაზის მიმართ (ნახ. 2.4.3)

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \psi_1, \\ \varphi_2 &= \psi_1 + \psi_2, \\ &\dots \dots \dots \\ \varphi_i &= \sum \psi_i. \end{aligned} \right\} \quad (2.4.10)$$

რადგან მონაკვეთები  $d = 20n$ , სადაც  $n$  – მეზობელ პიკეტებს შორის 20 მ-იანი ქორდების რიცხვია, ამიტომ (2.4.9) ფორმულის თანახმად, მივიღებთ ( $\varphi$  კუთხეები მოცემულია რადიანებში)

$$\vartheta_{\Sigma \psi_i} = 20 \sum n_i \varphi_i. \quad (2.4.11)$$

პლუს წერტილების ევოლვენტების გამოთვლისათვის სარგებლობენ მრუდის ჩაღუნვის ისრების გაზომვებით. ევოლვენტის ნაზრდი 20 მ მონაკვეთზე შეადგენს

$$\Delta \vartheta = d\varphi - \Delta f = 20\varphi - \Delta f, \quad (2.4.12)$$

სადაც,  $\Delta f$  – მეზობელი წერტილების ჩაღუნვის ისრების ალგებრული სხვაობაა (ნახ. 2.4.4). თუ თანმიმდევრობით შევაჯამებთ (2.4.12) სიდიდეებს, ვიპოვით ევოლვენტის სიგრძეებს  $+20, +40, \dots$  წერტილებისათვის. რადგანაც თითოეული პიკეტის ფარგლებში  $\sum \Delta f = 0$  და  $n = 1$ , ამიტომ

$$\sum_1^n (20\varphi - \Delta f) = 20\varphi. \quad (2.4.13)$$

პიკეტაჟური წერტილებისათვის კი დაცული უნდა იყოს ტოლობა

$$\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^n (20\varphi_i - \Delta f) = 20 \sum_{j=1}^n n\varphi_j , \quad (2.4.14)$$

რაც ევოლუციების გამოთვლის კონტროლს წარმოადგენს.

$b$  სიგრძის ცალკეული ქორდისათვის წრიული მრუდის რადიუსი განისაზღვრება ფორმულით

$$R = \frac{b}{2} \operatorname{ctn} \frac{\psi}{2} , \quad (2.4.15)$$

ან მიახლოებით

$$R \approx b^2/8f , \quad (2.4.16)$$

სადაც,  $f$  – ჩალუნვის ისარია ქორდის შუაში.

რადიუსის მიღებულ მნიშვნელობას ამრგვალებენ მთელ რიცხვამდე და ანგარიშობენ წრიული მრუდის სიგრძეს

$$K = R \cdot \varphi . \quad (2.4.17)$$

თუ გავითვალისწინებთ (2.4.1) და (2.4.2) ფორმულებს, შეზუსტების სიდიდე მრუდის მიმდინარე წერტილში ტოლი იქნება

$$\Delta l_i = \frac{S_i^2}{2R} - \varphi_{\text{ფი}} . \quad (2.4.18)$$

ამასთან, თუ  $\varphi_{\text{ფი}} > \varphi_{\text{ფი}}$  და  $\Delta l > 0$ , მაშინ რელსს გადაადგილებენ მრუდის ცენტრისკენ, ხოლო საწინააღმდეგო შემთხვევაში – მრუდის გარე მხარეს.

რადგანაც, გადასასვლელი მრუდების ჩაწერისას წრიული მრუდი გადაადგილება ცენტრისკენ  $P = l^2/24R$  სიდიდით, ამიტომ გზის შეზუსტებისას, გადაადგილების საერთო სიდიდე იქნება:

ა) წრიული მრუდის საზღვრებში

$$\Delta l_0 = \Delta l + P ; \quad (2.4.19)$$

ბ) გადასასვლელი მრუდის მეორე ნახევრის საზღვრებში  $S = l/2$ -დან წრიული მრუდის მიმხრობამდე ( $S = l$ )

$$\Delta L_0 = \Delta l + \left[ P - \frac{(l-S)^2}{6Rl} \right]; \quad (2.4.20)$$

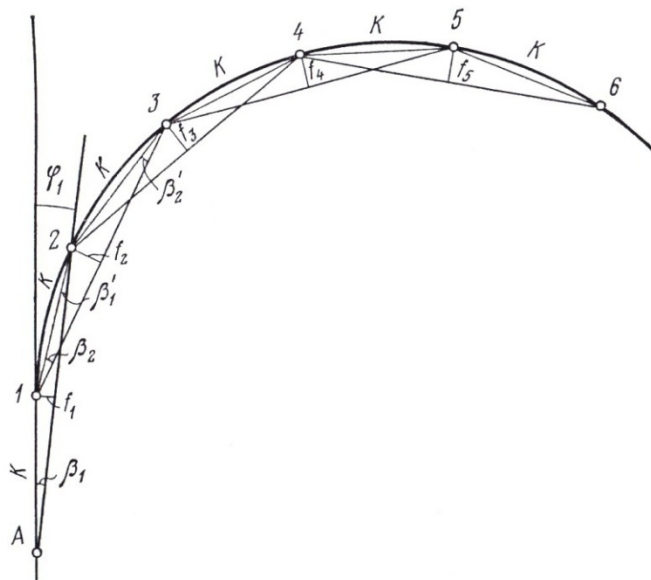
გ) გადასასვლელი მრუდის პირველი ნახევრის საზღვრებში – სწორ მონაკვეთთან შეერთების ადგილიდან ( $S = 0$ )  $S = l/2$ -მდე

$$\Delta L_0 = \Delta l + \frac{S^3}{6Rl}, \quad (2.4.21)$$

სადაც,  $S$  არის გადასასვლელი მრუდის სიგრძე დასაწყისიდან მიმდინარე წერტილამდე;  $l$  – გადასასვლელი მრუდის სიგრძე.

ეკოლვენტური სხვაობების ხერხის სიზუსტე  $R = 1000$  მ რადიუსის და  $K = 400$  მ მრუდის სიგრძის პირობებში, დაახლოებით  $5 - 8$  სმ-ია.

**ჩალუნვის ისრების ხერხი.** ამ ხერხის გამოყენებისას ზომავენ რელსის ჩალუნვის ისრების სიდიდეებს ყოველ  $20$  მ ქორდის შუაში  $10$  მ გადაფარვით (ნახ. 2.4.5).



ნახ.2.4.5

გაზომვების დაწყებამდე მრუდზე და სწორებზე გადაზომავენ **10** მ-იან მონაკვეთებს და აღნიშნავენ მათ გარეთა რელსის მუშა წახნაგზე. გაზომვებისას სარგებლობენ ორი შაბლონით **20** მ-იანი მავთულის დასაჭიმავად და მესამე შაბლონით – რელსის ჩალუნვის ისრების გასაზომად ქორდის შუაში.

ჩალუნვის ისრების გაზომილი სიდიდეებით შეიძლება გამოთვლილ იქნას ქორდების მოხვევის კუთხეები და მრუდის ტანგენსის მიმართ მათი მოხვევის კუთხეები

$$\beta_i = \frac{f_i}{K}, \quad \varphi_i = 2 \sum_1^i \frac{f_i}{K}, \quad (2.4.22)$$

სადაც,  $K = \frac{d}{2} = \frac{20}{2} = 10$  მ.

$\varphi$  კუთხეების მიხედვით ან უშუალოდ ჩალუნვის ისრების მიხედვით შეიძლება განსაზღვრულ იქნას ევოლვენტები:

$$\left. \begin{aligned} \vartheta_2 &= K\varphi_1 = K \frac{2f_1}{K} = 2f_1; \\ \vartheta_3 &= K(\varphi_1 + \varphi_2) = 2(2f_1 + f_2); \\ &\dots \dots \dots \\ \vartheta_{i+1} &= K \sum_1^i \varphi_i = 2[if_1 + (i-1)f_2 + \dots + f_i]. \end{aligned} \right\} \quad (2.4.23)$$

გაანგარიშებული (საპროექტო) და ჩალუნვის ისრების მიხედვით ნაპოვნი ევოლვენტების ფაქტიური სიდიდეებით, მრუდის ყოველი **K** მანძილით დაშორებული წერტილებისთვის, **(2.4.18) + (2.4.21)** ფორმულებით გამოვთვლით გზის გადანაცვლების სიდიდეებს.

ამ ხერხის გამოყენებისას, შეცდომების ძირითადი წყაროა ჩალუნვის ისრების გაზომვები, რომელშიც შედის რელსზე დანიშნული წერტილების უზუსტობა, ისრების არამართობულობა გაჭიმული მავთულისადმი და საკუთრივ გაზომვის შეცდომები. თუ მივიღებთ, რომ ჩალუნვის ისრები იზომება ერთნაირი  $m_f$

შეცდომით, მაშინ (2.4.23) ფორმულით ბოლო ევოლვენტისათვის ( $i = n$ ) გვექნება

$$m_{gK} = 2m_f n \sqrt{\frac{n + 1,5}{3}} , \quad (2.4.24)$$

სადაც,  $n$  – გაზომილი ჩალუნვის ისრების რიცხვია.

განხილული ხერხი გაცილებით ტლანქია სიზუსტის მიხედვით, ვიდრე წინა, რადგან შეცდომების სწრაფი დაგროვება ხდება.

**ფოტოგრამმეტრიული ხერხი.** ფოტოგრამმეტრიული ხერხის საფუძვლად მიღებულია ოპტიკური ქორდების მოხვევის კუთხეების უშუალოდ გაზომვის პრინციპი, მრუდის ბოლოების გამოსახულების შეთავსების გზით მახვილმასშტაბიან გეგმურ აეროფოტოსურათებზე.

ოპტიკური ქორდების ასაგებად სპეციალური ხელსაწყო დასაკვირვებელ სისტემაში, აეროფოტოსურათების მიხედვით მრუდების აგეგმვისათვის, მოთავსებულია თხელი ბიპრიზმა, რომელიც გამოსახულებას გადაადგილებს განსაზღვრულ სიდიდეზე. ბიპრიზმა დამაგრებულია ლიმბზე, რომლის მობრუნებით ერთმანეთს უერთდება მრუდის ბოლოების გამოსახულებები, ზომავს რა ამავე დროს ქორდების მობრუნების  $\varphi_i$  კუთხეებს მრუდის ტანგენსის ხაზის მიმართ.

$$\varphi_i = v_i - v_0 . \quad (2.4.25)$$

სადაც,  $v_i$  და  $v_0$  – ხელსაწყო ლიმბზე ანათვლებია ასაგეგმავ საწყის წერტილებში. ევოლვენტების სიგრძეებს პოულობენ (2.4.9) ფორმულით.

გზების ფოტოგრამმეტრიული ხერხით აგეგმვის ცდები აჩვენებენ, რომ ქორდების მობრუნების კუთხეების გაზომვის სიზუსტე არატრანსფორმირებული აეროფოტოსურათების მიხედვით არ აღემატება  $2'$ , ხოლო ევოლვენტების გაზომვის სიზუსტე –  $1,5 - 2$  სმ.

### თავი 3. გეოდეზიური სამუშაოები ხიდის მშენებლობის დროს

#### 3.1. სახიდე ტერიტორიის მიმოკვლევა და აგებმა

**ხიდი** – ხელოვნური საინჟინრო ნაგებობაა, რომელიც აიგება საავტომობილო, სარკინიგზო და სხვა დანიშნულების გზების მდინარესთან ან სხვა წინალობებთან გადაკვეთის ადგილებში. ხიდი შედგება მალეებისგან და ბურჯებისგან. იმის მიხედვით, თუ რა სახის წინალობას კვეთს, გვაქვს – ხიდი (მდინარის გადამკვეთი), ვიალუკი (ხეობის გადამკვეთი), გზაგამტარი (გზის გადამკვეთი) და ესტაკადა (ქალაქის ან ქარხნის ტერიტორიაზე გამავალი).

დანიშნულების მიხედვით ხიდი არის – სარკინიგზო, საავტომობილო, საქალაქო, შეთავსებული (სარკინიგზო და საავტომობილო ერთ ან სხვადასხვა დონეზე), აკვედუკი (ქალაქის წყალმომარაგებისთვის).

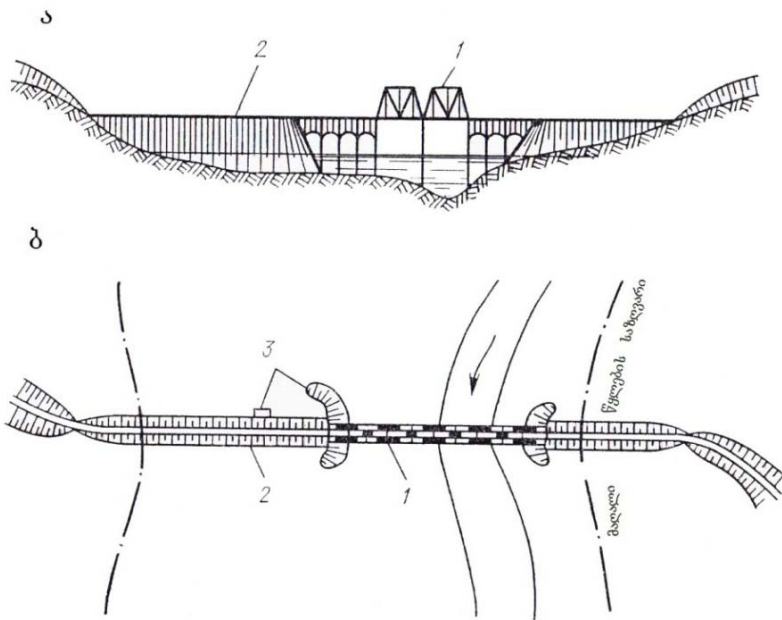


მასალის მიხედვით არჩევენ – ხის, ქვის, ბეტონის, რკინაბეტონის და მეტალის ხიდებს.

მალების და ბურჯების კონსტრუქციის სქემების მიხედვით ანსხვავებენ – კოჭური ტიპის, ჩარჩოიან, თაღოვან, კიდულ და კომბინირებული სისტემის ხიდებს.

კონსტრუქციის სიროთულისა და ზომების, აგრეთვე მშენებლობის ტექნოლოგიური და ორგანიზაციული ნიშნების მიხედვით, პირობითად ხიდებს ყოფენ: მცირე ხიდები – სიგრძით **25** მ-მდე; საშუალო ხიდები – სიგრძით **100** მ-მდე; დიდი ხიდები – სიგრძით **100** მ-ზე მეტი და კლასგარეშე ხიდები – სიგრძით **500** მ-ზე მეტი.

**სამუშაოს შემადგენლობა.** დიდი ხიდი რთულ საინჟინრო ნაგებობას წარმოადგენს, რომელიც შედგება უშუალოდ ხიდისგან – ბურჯებით და მალეებით – 1 (ნახ.3.1.1<sup>ა,ბ</sup>), ხილთან მისასვლელელებისგან – მიწის ჯებირებით და დამბებით – 2, სარეგულაციო მოწყობილობის სისტემისგან – 3 (ნახ.3.1.1<sup>ბ</sup>), რომელიც წყლის ნაკადის მდოვრე და უსაფრთხო გატარებას ემსახურება.



ნახ. 3.1.1

ხიდის პროექტი მუშავდება კომპლექსური მიმოკვლევის მასალების საფუძველზე, რომელიც გულისხმობს ტოპოგრაფიულ და საინჟინრო-გეოლოგიურ მიმოკვლევას, მდინარის ჰიდროლოგიური რეჟიმის დადგენას.

დიდი ხიდის მშენებლობისას მიმოკვლევითი სამუშაოების შემადგენლობაში შედის:

1. **ტოპო-გეოდეზიური სამუშაოები:** ა) ვარიანტების ტრასირება, ხიდის ადგილის შერჩევა, ნიშნების დამაგრება; ბ) ხიდის რაიონის სიტუაციური (გენერალური) გეგმის შედგენა, დეტალური აგებმა მდინარის სიღრმის გაზომვებით; გ) ხიდის სიგრძის განსაზღვრა, ბურჯების მიბმა ტრასის პიკეტაჟთან; დ) გეგმური სადაკვალვო საფუძვლის აგება; ე) სასიმაღლო საფუძვლის შექმნა, ნიშნულის გადაცემა მდინარეზე.
2. **საინჟინრო-გეოლოგიური მიმოკვლევა:** ა) ხიდის ტერიტორიის მსხვილმასშტაბიანი საინჟინრო-გეოლოგიური

აგეგმვა; ბ) მდინარეზე გადასასვლელის ადგილის დეტალური გეოლოგიური დაზვერვა, გეოლოგიური ჭრილის შედგენა; გ) სამშენებლო მასალების კარიერის დაზვერვა.

**3. ჰიდრომეტრული გაზომვები:** ა) წყლის დამახასიათებელი დონეების განსაზღვრა; ბ) დინების სიჩქარის და ნაკადის მიმართულების გაზომვა; გ) მდინარის ცოცხალი კვეთის განსაზღვრა, ქანობების და წყლის ხარჯის განსაზღვრა; დ) დაკვირვებები მორფომეტრულ გასწორებზე.

**სახიდე ადგილის შერჩევა.** მიმოკვლევის ერთერთი მთავარი ამოცანა ხიდის ასაგები ადგილის შერჩევაა. არჩეულმა ადგილმა უნდა დააკმაყოფილოს შემდეგი მოთხოვნები:

- 1) ხიდის ღერძი უნდა განლაგებულ იქნას მდინარის დინების მართობულად, ამასთან მდინარე ამ ადგილას უნდა იყოს სწორხაზოვანი და კალაპოტი უცვლელი მთელი რიგი წლების განმავლობაში (წყლის ნებისმიერი დონის დროს);
- 2) ხიდმა მდინარე უნდა გადაკვეთოს ყველაზე ვიწრო და ამაღლებული ნაპირების მქონე ადგილას;
- 3) ხიდის აგების ადგილზე გეოლოგიური პირობები უნდა იყოს ხელსაყრელი – ძირითადი ქანების არაღრმა ჩაწოლით და მდინარის ნაპირების მღოვრე რელიეფით.

მცირე ხიდი შეიძლება განლაგებულ იქნას ნებისმიერ პირობებში, თუმცა ცდილობენ ისიც განალაგონ დინების მართობულად. მისი აგებისას მიმოკვლევის დროს უნდა დადგინდეს: მდინარის წყალშემკრები აუზის ფართობი; აუზის სიგრძე და კალაპოტის ან ტალევეის საშუალო ქანობი; კალაპოტის გრძივი ქანობი უშუალოდ ხიდის სიახლოვეს და მდინარის განივი პროფილი ხიდის ადგილას.

წყალსაკრები ფართობი განისაზღვრება ტერიტორიის არსებული მსხვილი მასშტაბის მიხედვით. ჰორიზონტალების მიხედვით დაიტანენ გეგმაზე წყალგამყოფ ხაზს და პლანიმეტრით განსაზღვრავენ აუზის ფართობს.

აუზის გეგმაზე გამოყოფენ მთავარ ტალვევს, რომლითაც ჩაედინება აუზში წყლის ძირითადი მასა. ამ ტალვევით ზომავენ აუზის სიგრძეს და ჰორიზონტალების მიხედვით ან ნიველობით განსაზღვრავენ ტალვევის საშუალო ქანობს. ხიდის აგების ადგილზე ტრასის მართობულად შეადგენენ დაწვრილებით განივ პროფილს და განსაზღვრავენ კალაპოტის ქანობს ხიდიდან 200 მ ზევით და 100 მ ქვევით. ყველა სამუშაოები უნდა მიბმულ იქნას ძირითად ტრასასთან.

**ხიდის ტერიტორიის აგებმა.** დიდი ხიდის (100 მ-ზე მეტი) დასაპროექტებლად ადგენენ ტერიტორიის სიტუაციურ და უშუალოდ მშენებლობის უბნის დეტალურ მსხვილმასშტაბიან გეგმებს.

**სიტუაციური გეგმა** ხიდის მშენებლობის გენერალური გეგმის შედგენის საფუძველია. მას იყენებენ სამშენებლო სამუშაოების ორგანიზაციის პროექტის და გეოდეზიური სამუშაოების წარმოების პროექტის შესადგენად. სიტუაციური გეგმა შედგება 1:5000 მასშტაბით საშუალო სიდიდის მდინარეებისათვის (წყალმცირობისას – სიგანე 500 მ-მდე) და 1:10000 მასშტაბით დიდი მდინარეებისათვის. სიტუაციური გეგმა მოიცავს უბანს – მდინარის დინების ზევით – 1,5 მდინარის სიგანის და ქვევით – მდინარის ერთმაგი სიგანის მანძილზე. მდინარის ორივე ნაპირზე აგებმავენ რელიეფს იმ სიმაღლემდე, რომელიც აჭარბებს მაღალი წყლების დონეს (ადიდებისას) 1 – 2 მ-ით. აგებმა შეიძლება ჩატარდეს ადგილობრივ კოორდინატთა სისტემაში, მაგრამ უნდა უზრუნველყოს წერტილების აბსოლუტური ნიშნულების მიღება.

სიტუაციურ გეგმაზე ძირითადად გამოსახავენ სიტუაციის კონტურებს და რელიეფის იმ ელემენტებს, რომლებიც გავლენას ახდენენ მდინარის დინების მიმართულებასა და სიჩქარეზე. გეგმაზე დააქვთ აგრეთვე დროებითი და მუდმივი წყალსაზომი სადგურები.

ხიდის რაიონის აგებმა შეიძლება შესრულდეს ზედაპირული და აეროფოტოაგებმის მეთოდებით (დიდი ხიდების შემთხვევაში).

მთიან ადგილებში იყენებენ ზედაპირულ სტერეოფოტოგრამმეტრიას.

აგეგმვის გეოდეზიურ საფუძველს წარმოადგენს ქსელები სამკუთხედების რიგის სახით, რომელთა პუნქტებს განალაგებენ მდინარის სხვადასხვა ნაპირებზე, ხოლო ნიშნულებს გადაცემენ ტრიგონომეტრიული ნიველობით. ტყიან ადგილებში იყენებენ შუქმანძილშომურ სვლებს ან მოკლებაზისიან პოლიგონომეტრიას. სიტუაციური გეგმა შესაძლებელია შედგეს სახიდე გადასასვლელის რაიონის არსებულ **1:10000** მასშტაბის საფუძველზეც.

**დეტალური გეგმა** აუცილებელია ხიდის ნაგებობათა მუშა ნახაზების შესადგენად და ტრასის ხიდთან მისასვლელის პროექტის დასამუშავებლად. დეტალური გეგმის მასშტაბს იღებენ **1:1000**,  $h = 0,5$  მ კვეთის სიმაღლით, **300 – 500** მ ხიდის სიგრძის დროს და **1:2000**  $h = 1$  მ კვეთის სიმაღლით, **500** მ-ზე მეტი ხიდის სიგრძის დროს.

დეტალური გეგმა ხიდის ნაგებობის მუშა დაპროექტების ტოპოგრაფიულ საფუძველს წარმოადგენს, ამიტომ აგეგმვის სიზუსტე და გეოდეზიური საფუძვლის სიზუსტე უნდა შეესაბამებოდეს გეგმის მასშტაბის მოთხოვნებს. აგეგმვა სრულდება იგივე კოორდინატთა სისტემაში, რომელშიც სიტუაციური გეგმა შედგა.

თუ ხიდის რაიონის გეგმა მიღებულია აეროფოტოაგეგმვით, მისი გამოყენება შესაძლებელია დეტალური გეგმის შესადგენადაც. ზედაპირული მეთოდებიდან ღია ადგილებში იყენებენ მენზულურ და ტაქეომეტრიულ აგეგმვებს, ხოლო დახურულ ადგილებში – აგეგმვას განივების მეთოდით. ორივე შემთხვევაში აგეგმვის საფუძველი თეოდოლიტურ-სანიველო სვლაა, რომელიც გაჭიმულია ხიდის ღერძის გასწვრივ მდინარის ორივე ნაპირზე. სვლის ბოლოებს აბამენ გეოდეზიურ პუნქტებზე, ან თუ ეს უკანასკნელი არ არის, მაშინ ქმნიან პოლიგონურ სვლას.

სიღრმეების გაზომვებს ასრულებენ ნავიდან. გაზომვებისას საზღვრავენ: მდინარის სიღრმეს, გაზომვის პუნქტის გეგმურ მდებარეობას, წყლის დონის ნიშნულს. წყლის სიღრმეს ზომავენ ლარტყით ან მდინარის ექოლოტით. პუნქტის გეგმურ მდებარეობას წყალზე საზღვრავენ გადაკვეთებით ბაზისიდან, რომელიც ნაპირზე მდებარეობს.

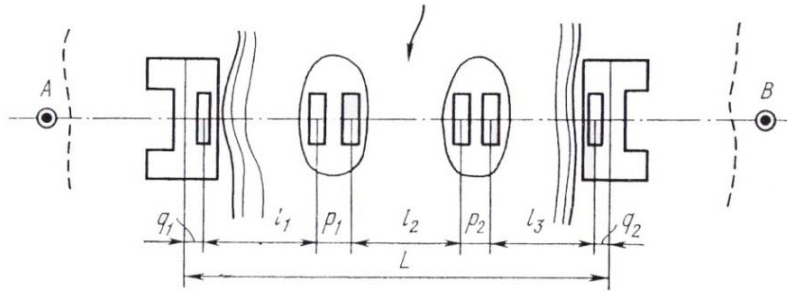
წყლის სიღრმეების გაზომვისას დაკვირვებას ახდენენ დროებით წყალსაზომ სადგურებში წყლის დონის ცვალებადობაზე. გაზომვების შედეგებით გამოთვლიან მდინარის ფსკერის ნიშნულებს და დაიტანენ გეგმაზე.

დიდი მდინარის სიღრმეების გაზომვისას მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ, რომ წყლის ზედაპირს აქვს განივი ქანობი, რომელიც გამოწვეულია დედამიწის ბრუნვის გამო, ცენტრიდანული ძალის გავლენით.

### 3.2. ხიდის სიგრძის განსაზღვრა

ხიდის სიგრძეს უწოდებენ მანძილს სახიდე გადასასვლელის ღერძის ორივე ნაპირზე ჩამაგრებულ ნიშნებს შორის. მისი სიგრძე საჭიროა ვიცოდეთ ხიდის პროექტის შესადგენად, ადგილებზე ხიდის ბურჯების ცენტრების განსაღებლად და ტრასის პიკეტაჟზე მათ მისაბმელად. მიმოკვლევის პროცესში ხიდის სიგრძეს საზღვრავენ  $\sim 1/5000$  ფარდობითი ცდომილებით, რაც საკმარისია სახიდე გადასასვლელის პროექტის დასამუშავებლად. შემდგომში კი, ხიდის ბურჯების ცენტრების დეტალური დაკვალვისას, ხიდის სიგრძის ცოდნა მეტი სიზუსტითაა საჭირო ( $\sim 1/30000$  ფარდობითი ცდომილება).

სახიდე გადასასვლელის სიგრძის ნატურაში სხვადასხვა მეთოდით გაზომვის სიზუსტე, ხიდის აგების აუცილებელი სიზუსტით განისაზღვრება. ხიდის საერთო სიგრძე ტოლია (ნახ. 3.2.1)



ნახ. 3.2.1

$$L = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{i=1}^{n-1} p_i + (q_1 + q_n) , \quad (3.2.1)$$

სადაც,  $L$  არის ხიდის სიგრძე,  $l$  — მალის საანგარიშო სიგრძე,  $p$  — მოსაზღვრე მალეების საყრდენი ნაწილების ღერძებს შორის მანძილი,  $q$  — მანძილი საყრდენი ნაწილის ღერძიდან სანაპირო ბურჯების კარადის კედლამდე,  $n$  — მალეების რიცხვი.

ხიდის სიგრძის გაზომვის აუცილებელი სიზუსტე  $l, p$  და  $q$  სიდიდეების მოთხოვნილი სიზუსტეებითაა განპირობებული. ამ სიდიდეების გადაზომვების დამოუკიდებლობის შემთხვევაში, ხიდის სიგრძის გაზომვის ცდომილება ტოლია

$$\delta_L^2 = \sum_{i=1}^n \delta_{l_i}^2 + (n-1)\delta_p^2 + 2\delta_q^2 , \quad (3.2.2)$$

სადაც,  $\delta_l = l/T$  არის ბურჯების დაკვალვისა და მალეების მონტაჟის დასაშვები შეცდომები (სამშენებლო ნორმების და წესების თანახმად რთული კონსტრუქციის ხიდებისთვის  $\delta_l = l/10000$ , მარტივი ხიდებისთვის  $\delta_l = l/6000$ );  $\delta_p$  — ორი მეზობელი საყრდენი ნაწილის ურთიერთმდებარეობის გრძივი შეცდომა;  $\delta_q = q$  მანძილის გადაზომვის შეცდომა.

რადგანაც საყრდენ ნაწილებს კვალავენ ხიდის ბურჯის ცენტრიდან და თითოეულის დაყენების შეცდომა დასაშვებია 5 მმ,

ამიტომ შეიძლება მივიღოთ  $\delta_p = 0,5\sqrt{2}$  სმ, ხოლო  $\delta_g = 0,5$  სმ.

ამრიგად გვექნება

$$\sigma_{L(\text{სმ})}^2 = \sum_1^n (l_{i(\text{სმ})}/T)^2 + (n-1)(0,5\sqrt{2})^2 + 2 \cdot 0,5^2$$

ან

$$\sigma_{L(\text{სმ})} = \sqrt{\sum_1^n \left(\frac{l_{i(\text{სმ})}}{T}\right)^2 + \frac{n}{2}} . \quad (3.2.3)$$

თანაბარი სიგრძის მალეების მქონე ხიდისათვის

$$\sigma_{L(\text{სმ})} = \sqrt{n \cdot \sigma_{l(\text{სმ})}^2 + \frac{n}{2}} . \quad (3.2.4)$$

მაგალითად,

თუ

$l = 100$  მ,

$n = 12$  ( $L = 1200$  მ),  $1/T = 1/10000$ , მივიღებთ  $\sigma_L = 4,2$  სმ და  $\sigma_L/L = 1/28800$ .

ხიდის სიგრძის განსაზღვრა ყველაზე მიზანშეწონილი და მარტივია შუქმანძილმზომით. მისი არარსებობისას, ხიდის სიგრძეს ზომავენ (მშრალ ხევზე ან ყინულზე) ხვეულათი ან ინვარის მავთულებით, შესაძლებელია გამოვიყენოთ პარალაქსური ხერხიც. თუ მდინარის შუაში კუნძულია, პარალაქსურ რგოლს განლაგებენ მასზე, თუ არა, პარალაქსური რგოლები განლაგდება მდინარის ორივე ნაპირზე, რაც ზრდის ხიდის სიგრძის განსაზღვრის სიზუსტეს  $\sqrt{2}$ -ჯერ. ხიდის სიგრძე შეიძლება განსაზღვრული იქნას ხიდის თავი და ბოლო წერტილების ჩართვით სადაკვალვო გეგმურ ქსელში, რაც კიდევ უფრო გაზრდის სიზუსტეს.



### 3.3. ხიდის სასიმალო საფუძველი

ხიდის მშენებლობის სასიმალო საფუძველს შეადგენს მდინარის ერთ ან ორივე ნაპირზე ჩამაგრებული მუდმივი რეპერები. სამშენებლო ნორმების და წესების მოთხოვნების თანახმად, ხიდის მშენებლობის სასიმალო უზრუნველყოფისთვის **50** მ სიგრძის ხიდებისათვის საკმარისია გვერდის ერთი რეპერი, **300** მ-მდე სიგრძის ხიდებისათვის – ორივე ნაპირზე თითო რეპერი, ხოლო **300** მ-ზე მეტი სიგრძის ხიდებისათვის – არა ნაკლებ ორი რეპერისა თითოეულ ნაპირზე. მუდმივ რეპერებს ამაგრებენ მყარ ადგილებში, ხიდის საშუალებისგან მოშორებით. ამათ გარდა, ხიდის მშენებლობის პერიოდში სანაპირო ბურჯების ტანში **0,5** მ სიმაღლეზე მიწიდან ჩამაგრებენ კედლის რეპერებს. აუცილებლობის შემთხვევაში მშენებლობის ახლოს შეიძლება ჩამაგრდეს დროებითი რეპერები.

ხიდის სასიმალო საყრდენი ქსელის მუდმივ რეპერებს, ტექნიკური ნიველობის სვლებით, აკავშირებენ სახელმწიფო სანიველო ქსელთან და წყალსაზომი სადგურების რეპერებთან (თუ ასეთები არის ახლოს).

მუდმივი რეპერების ნიშნულებს განსაზღვრავენ **3** მმ საშუალო კვადრატული შეცდომით (სკშ) გამოსავალი რეპერის ნიშნულის მიმართ, დროებითი რეპერების ნიშნულებს კი – **5** მმ სკშ.

ხიდის მშენებლობის პერიოდში, როგორც კი გაჩნდება ბურჯებზე ნიველირის ან ლარტყის დაყენების შესაძლებლობა, ნაპირებზე ჩამაგრებულ მუდმივ რეპერებს აკავშირებენ ერთმანეთთან სანიველო სვლებით.

გეომეტრიული ნიველობის სკშ აფასებენ ფორმულით

$$m_h = \eta \sqrt{L}$$

სადაც,  $L$  არის სვლის სიგრძე კმ-ში;  $\eta - 1$  კმ სანიველო სვლის სკმ, რომელიც ნიველობის კლასზეა დამოკიდებული. თუ გვეცოდინება წინასწარ ნიშნულის მეორე ნაპირზე გადაცემის  $m_n$  სიზუსტე და  $L$  სვლის სიგრძე (რაც ფაქტიურად ცნობილია), გავიგებთ 1 კმ-ზე ნიველობის სკმ, ანუ სანიველო სვლის კლასს

$$\eta = \frac{m_n}{\sqrt{L}}.$$

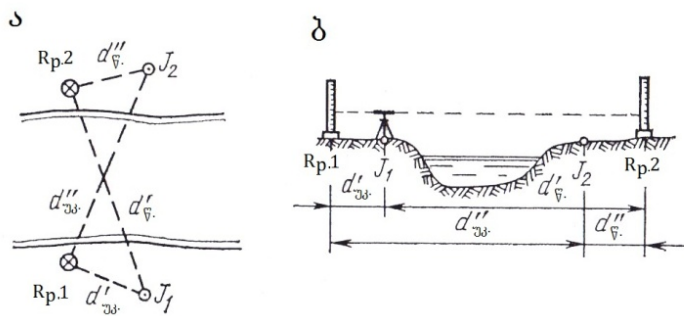
მუდმივი რეპერების მდებარეობას აკონტროლებენ მათ შორის აღმატების პერიოდული გაზომვებით. აღმატების უცვლელობა, უმეტეს შემთხვევაში, მიუთითებს რეპერების მდგრადობას.

აბსოლუტური ნიშნულების გასაგებად სვლებს მიაბამენ სახელმწიფო სანიველო ქსელის პუნქტებზე, რომლის დროსაც წამოიჭრება მეორე ნაპირზე ნიშნულის გადაცემის ამოცანა. ზამთარში გაყინულ მდინარეზე ეს ამოცანა წყდება ყინულზე ნიველობით, ზაფხულში – ორმაგი გეომეტრიული ნიველობის, ტრიგონომეტრიული ან ჰიდროსტატიკური ნიველობის მეთოდებით.

**ნიველობა ყინულზე.** ნიველობის ჩასატარებლად ყინულს გაბურღავენ და ჩაამაგრებენ პალოებს (დიდი სიღრმის მდინარეებზე) ლარტყების და ნიველირის (სამი პალო) დასაყენებლად, ან ნიშნულის უფრო ზუსტად გადაცემისათვის მდინარის ფსკერზე (მცირე სიღრმის მდინარეებზე) ჩაამაგრებენ გაჭრილ ყინულში ხიმინჯებს. გაზომვის დროს თვალი უნდა ვადევნოთ, რომ ხიმინჯის გარშემო წყალი არ გაიყინოს.

**ორმაგი გეომეტრიული ნიველობა.** მდინარის ორივე ნაპირზე დაახლოებით ტოლ სიმაღლეზე ჩაამაგრებენ რეპერებს (1 და 2 ნახ.3.3.1) ისეთ ადგილებში, სადაც მზერის სხივი მდინარის ზედაპირიდან გადის 2-3 მ სიმაღლეზე. 10-20 მ მანძილზე რეპერებიდან დანიშნავენ ნიველირის დასაყენებელ სადგურებს ( $J_1$  და  $J_2$ ). ამასთან, უნდა დაცულ იქნას მანძილების ტოლობა

$$d_{23}^{II} = d_{17}^{II} \quad \text{და} \quad d_{24}^{II} = d_{18}^{II}$$



ნახ. 3.3.1

ნიველირის აყენებენ  $J_1$  პუნქტზე და იღებენ  $d'_{12}$  და  $d'_{21}$  ანათვლებს, შემდეგ ნიველირი გადააქვთ მეორე ნაპირზე, აყენებენ  $J_2$  პუნქტზე, არ ცვლიან ჭოგრის ფოკუსირებას და იღებენ  $d''_{12}$  ანათვალს, შემდეგ კი ფოკუსირების შეცვლით –  $d'''_{12}$  ანათვალს. ამით შესრულდა ერთი ილეთი. მოთხოვნის მიხედვით ილეთი განმეორდება. თუ მანძილი დიდია, ანათვლების ასაღებად იყენებენ ლარტყაზე დამაგრებულ გადასაადგილებელ დაფას სქელი შტრიხებით (500 მ მანძილის დროს ხმარობენ დაფას, რომელზეც დატანილია 10 მმ სისქის შტრიხები, ხოლო შტრიხებს შორის მანძილი 50 მმ). ანათვლის აღების დროს მელარტყე, დამკვირვებლის სიგნალის მიხედვით, გადაადგილებს დაფას მანამ, სანამ სათანადო შტრიხი ზუსტად არ მოთავსდება ბისექტორში, რის შემდეგაც აიღება ანათვალი.

რადგანაც ორმაგი გეომეტრიული ნიველობის დროს დარღვეულია მანძილების ტოლობა ლარტყეებამდე, ამიტომ მიღებული აღმატება დამახინჯებული იქნება დედამიწის სიმრუდისა და რეფრაქციის გავლენით, აგრეთვე ჭოგრის სამიზნე ღერძისა და თარაზოს ღერძის არაპარალელურობით (ე.წ.  $i$  კუთხე).

აღმატება პირველი ნახევარილეთიდან ტოლი იქნება

$$h_1 = \Delta d_1 - \eta_1.$$

ლარტყაზე  $\mathcal{U}_1$  და  $\mathbb{V}_1$  ანათვლები შეიძლება ასე წარმოვადგინოთ:

$$\mathcal{U}_1 = a_1 + d_{\mathcal{U}}^t \cdot \frac{t_1''}{\rho''} ,$$

$$\mathbb{V}_1 = b_1 + d_{\mathbb{V}}^t \cdot \frac{t_1''}{\rho''} + (K + r_1) ,$$

სადაც,  $a_1$  და  $b_1$  არის ფაქტიური ანათვლები ლარტყაზე;

$d \cdot \frac{t''}{\rho''} - t$  კუთხის გავლენა საბოლოო ანათვალზე;

$(K + r_1)$  – დედამიწის სიმრუდისა და რეფრაქციის გავლენა.

$\mathcal{U}_1$  და  $\mathbb{V}_1$  ანათვლების მნიშვნელობათა ჩასმით აღმატების განმსაზღვრელ ფორმულაში, მივიღებთ

$$h_1 = a_1 - b_1 + (d_{\mathcal{U}}^t - d_{\mathbb{V}}^t) \frac{t_1''}{\rho''} - (K + r_1) . \quad (3.3.1)$$

(3.3.1) ფორმულა გვაძლევს აღმატების სიდიდეს ერთი ნახევარილეთიდან. მეორე ნახევარილეთიდან (ნიველირი გადატანილია მდინარის მეორე მხარეს  $\mathcal{J}_2$  წერტილში) აღმატება ტოლი იქნება

$$h_2 = \mathcal{U}_2 - \mathbb{V}_2 .$$

პირველი ნახევარილეთის ანალოგიურად გვექნება:

$$\mathcal{U}_2 = a_2 + d_{\mathcal{U}}^t \cdot \frac{t_2''}{\rho''} + (K + r_2) ,$$

$$\mathbb{V}_2 = b_2 + d_{\mathbb{V}}^t \cdot \frac{t_2''}{\rho''} .$$

აღმატების ფორმულაში შეტანით, მივიღებთ

$$h_2 = a_2 - b_2 + (d_{\mathcal{U}}^t - d_{\mathbb{V}}^t) \frac{t_2''}{\rho''} + (K + r_2) . \quad (3.3.2)$$

რეპერებს შორის საშუალო აღმატება ორივე ნახევარილეთიდან ტოლი იქნება

$$h = \frac{h_1 + h_2}{2}.$$

თუ ამ უკანასკნელში შევიტანო  $h_1$  და  $h_2$  მნიშვნელობებს (3.3.1) და (3.3.2) ფორმულებიდან, მივიღებთ

$$h = \frac{(a_1 - b_1) + (a_2 - b_2)}{2} + \frac{1}{2} \left[ \frac{d_{\Sigma}^I}{\rho^I} (t_1^I - t_2^I) + \frac{d_{\Sigma}^I}{\rho^I} (t_2^I - t_1^I) + (r_2 - r_1) \right]. \quad (3.3.3)$$

აქ მხედველობაშია მიღებული მანძილების ზემოთ მოტანილი ტოლობა  $d_{\Sigma}^I = d_{\Sigma}^{II}$  და  $d_{\Sigma}^{II} = d_{\Sigma}^I$ . (3.3.3) ფორმულის ანალიზიდან ჩანს, რომ თუ პირველ და მეორე სადგურებზე დაკვირვებისას  $i$  კუთხე არ შეცვლილა ( $t_1 = t_2$ ) და რეფრაქციაც დარჩა უცვლელი ( $r_1 = r_2$ ), მაშინ საშუალო აღმატება თავისუფალი იქნება ამ ფაქტორებით გამოწვეული შეცდომებისგან

$$h = \frac{(a_1 - b_1) + (a_2 - b_2)}{2}. \quad (3.3.4)$$

$i$  კუთხის თუნდაც უმნიშვნელო ცვლილება, იწვევს აღმატებაში მნიშვნელოვან შეცდომას. მაგალითად, თუ  $i$  კუთხის ცვლილება აღწევს  $2''$  და მდინარის სიგანე  $1000$  მ-ია, აღმატების განსაზღვრაში ცდომილება ტოლი იქნება

$$\Delta h_i = \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{\rho^I} (t_1^I - t_2^I) = 5 \text{ მ}.$$

ამიტომ უნდა ვეცადოთ ნიველირის გადატანისას არ შეიცვალოს  $i$  კუთხე.

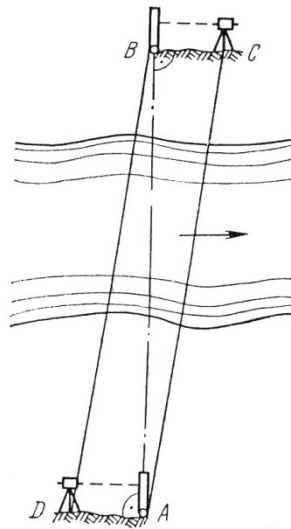
ცდების მონაცემებით, ტემპერატურის  $1^\circ$ -ით ცვლილება იწვევს  $i$  კუთხის სიდიდის ცვლილებას  $0,5''$ -ით.

ნიშნულის მეორე ნაპირზე გადაცემისას, თითოეული ილეთი უნდა ჩატარდეს რაც შეიძლება მცირე დროში, ხელსაყრელი პირობების დროს (დრუბლიანი), როცა რეფრაქციის გავლენა

ორივე ნაპირზე დაახლოებით ტოლია. ამის გარდა, რეფრაქციის გავლენის შესამცირებლად, ორმაგი გეომეტრიული ნიველობა უნდა ჩატარდეს ერთდროულად ორი ნიველირით, შემდგომში მათი ადგილების შეცვლით.

**ტრიგონომეტრიული ნიველობა.** ამ მეთოდით ნიშნულის მეორე ნაპირზე გადაცემისას ზენიტურ მანძილებს (დახრის კუთხეებს) ზომავენ ზუსტი ოპტიკური თეოდოლიტით ან თანამედროვე მაღალი სიზუსტის კუთხმზომი ინსტრუმენტით. დაკვირვებას ახდენენ პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით ერთდროულად ორი ინსტრუმენტით.

**A** და **B** წერტილები (ნახ.3.3.2), რომელთა შორის აღმატება უნდა გაიზომოს, წარმოადგენენ ხიდის დაკვალვითი საფუძვლის პუნქტებს.



ნახ. 3.3.2

ინსტრუმენტს და სამიზნეებს ათავსებენ პარალელოგრამის წვეროებში ( $AD = BC$ ). სასურველია ეს მანძილი არ აღემატებოდეს 3 მ-ს. სამიზნეებად იყენებენ ლარტყებზე დამაგრებულ გადასადგილებელ დაფებს გადიდებული შტრიხებით

(ზედა, შუა, ქვედა), რომელთა ღერძი შეთავსებულ უნდა იქნას ლარტყის შესაბამის შტრიხთან.

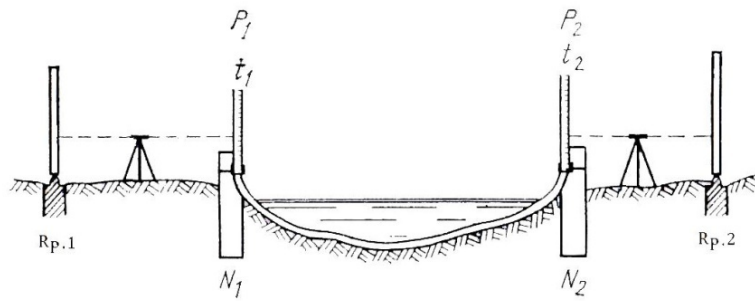
განსაზღვრავენ რა ინსტრუმენტის ზენიტის ადგილს ( $M_z$ ) და დააყენებენ ვერტიკალურ წრედზე ( $90^\circ + M_z$ ) ანათვალს, ერთდროულად ორივე ნაპირზე უმიზნებენ ჭოგრის სამიზნეს, გაასწორებენ თარაზოს (ვერტიკალურ წრედზე) და აიღებენ ანათვალს ლარტყაზე, რომელიც ინსტრუმენტის სიმაღლის ტოლი იქნება. დაამთავრებენ რა გაზომვებს ერთ ნაპირზე, ინსტრუმენტებს შეუცვლიან ადგილებს. დაკვირვებას იწყებენ ზენიტური მანძილების გაზომვით შორეულ ლარტყეებზე და ამთავრებენ ინსტრუმენტის სიმაღლის განსაზღვრით.

ორმხრივი ტრიგონომეტრიული ნიველობის ფორმულა იქნება

$$h = S \cdot \operatorname{tg} \frac{z_2 - z_1}{2} + \frac{l_1 + l_1}{2} - \frac{l_2 + l_2}{2}, \quad (3.3.5)$$

სადაც,  $z_1$  და  $z_2$  არის ერთი და იგივე სამიზნის ზენიტური მანძილები ერთდროულად სხვადასხვა ინსტრუმენტით გაზომილი;  $l_1$  და  $l_2$  – ერთიდაიგივე სამიზნის სიმაღლეები ლარტყის ქუსლიდან;  $l_1$  და  $l_2$  – ინსტრუმენტის სიმაღლეებია  $A$  და  $B$  რეპერებზე;  $S$  –  $A$  და  $B$  პუნქტებს შორის მანძილი, განსაზღვრული დაკვალითი საფუძვლიდან. აღმატებების მიღებული მნიშვნელობებიდან განსაზღვრავენ საშუალოს და მისგან გადახრებით შეაფასებენ ნიშნულის გადაცემის სიზუსტეს.

**ჰიდროსტატიკური ნიველობა.** ნიშნულის გადაცემა მდინარის მეორე ნაპირზე შეიძლება განხორციელდეს ჰიდროსტატიკური ნიველობის გზით (ნახ. 3.3.3).



ნახ. 3.3.3

ერთი სანიველო სადგურის მანძილზე  $N_1$  და  $N_2$  ბოძებიდან მყარ ადგილებზე დააყენებენ 1 და 2 რეპერებს. რადგანაც ზიარ ჭურჭლების კანონის თანახმად  $N_1$  და  $N_2$  ბოძებთან წყლის დონეები ერთ სიმაღლეზე იქნება, ამიტომ მარტივია მათი დაკავშირება ნიველირით 1 და 2 რეპერებთან. დაკვირვებას ახდენენ დროის განსაზღვრული ინტერვალებით. ერთდროულად ნაპირებზე ზომავენ წყლის და ჰაერის წნევას და ტემპერატურას, აღმატებაში შესწორებების შესატანად. მრავალი დაკვირვებიდან საზღვრავენ საშუალოს. ხელსაყრელ პირობებში ეს მეთოდი უზრუნველყოფს ნიშნულის გადაცემას რამდენიმე მილიმეტრის ცდომილებით.

### 3.4. ხიდის გეგმური საფუძველი

ხიდის მშენებლობის გეგმურ გეოდეზიურ საფუძველს სპეციალურად შექმნილი საყრდენი გეოდეზიური ქსელის პუნქტები წარმოადგენენ. მას სადაკავალვო ქსელი ეწოდება და მათგან გამოაქვთ ნატურაში ხიდის ბურჯების ცენტრები და ღერძები. იგი ერთერთი ყველაზე საპასუხისმგებლო, რთული და მაღალი სიზუსტით შესასრულებელი სამუშაოა ხიდის მშენებლობისას.



სამშენებლო ნორმები და წესები მოითხოვენ, რომ ხიდის ბურჯების ცენტრების მდებარეობის საშუალო კვადრატული შეცდომა არ აღემატებოდეს ხიდის მალეების მონტაჟის შეცდომებს – **15–20** მმ-ს. ამიტომ საფუძვლის პუნქტების მდებარეობის შეცდომები, როგორც გამოსავალი პუნქტებისა, 1,5-2-ჯერ მცირე უნდა იყოს და საშუალოდ შეადგენდეს **10** მმ-ს. აქედან გამომდინარე, პუნქტების კოორდინატების შეცდომები არ უნდა იყოს  $m_x = m_y \approx 6 - 7$  მმ-ზე მეტი.

ბურჯების დაკვალვის მეთოდის და გარემო პირობების მიხედვით, ხიდების მშენებლობისას გეოდეზიურ სადაკვალვო საფუძვლად იყენებენ ტრიანგულაციის, ხაზოვან-კუთხური (ე.წ. „ბაზური სამკუთხედების“), პოლიგონომეტრიის და ტრილატერაციის ქსელებს.

სახიდე სადაკვალვო საფუძვლის პუნქტებს ჩაამაგრებენ მდგრად ქანებში ყველაზე მაღალი (წყალდიდობისას) წყლის დონის ზევით და დაკვალვითი სამუშაოების ჩასატარებლად ხელსაყრელ ადგილებში.

დიდი ხიდების დროს, ხიდთან მისასვლელების, სარეგულაციო და ნაპირგასამაგრებელი ნაგებობების მშენებლობისათვის გეოდეზიური საფუძველი იქმნება შუქმანძილმზომური ან მოკლებაზისიანი პოლიგონომეტრიის დამატებითი სვლების სახით, პუნქტების **15** მმ სკმ განსაზღვრით.

საშუალო და მცირე ხიდების მშენებლობისას გეოდეზიურ საფუძვლად იყენებენ ხიდის ღერძის ორივე ნაპირზე დასამაგრებელ გამოსავალ პუნქტებს.

სადაკვალვო ქსელის პუნქტების კოორდინატები ისაზღვრება ადგილობრივ კოორდინატთა სისტემაში, რომლის სათავეს, ჩვეულებრივ ათავსებენ ხიდის ღერძის დასაწყისში, აბსცისთა ღერძს კი – ხიდის ღერძის გასწვრივ. აბსცისების და ორდინატების უარყოფითი სიდიდეების თავიდან ასაცილებლად, მათ უმატებენ ერთიდაიგივე რიცხვს (მაგ. **1000** მ). ხშირად,

გამოსავალ პუნქტებს, ხიდის მშენებლობის პერიოდში მათი დაცულობისათვის, განლაგებენ ხიდის არა ძირითად, არამედ მონაცვლე ღერძზე, რომელიც მის პარალელურად იქნება განლაგებული.

შუქმანძილმზომური და კუთხური გაზომვებისას, რეფრაქციის გავლენის შესასუსტებლად, მზერის სხივი წყლის ან ღეღამიწის ზედაპირიდან 3 მ-ზე მაღლა უნდა გადიოდეს.

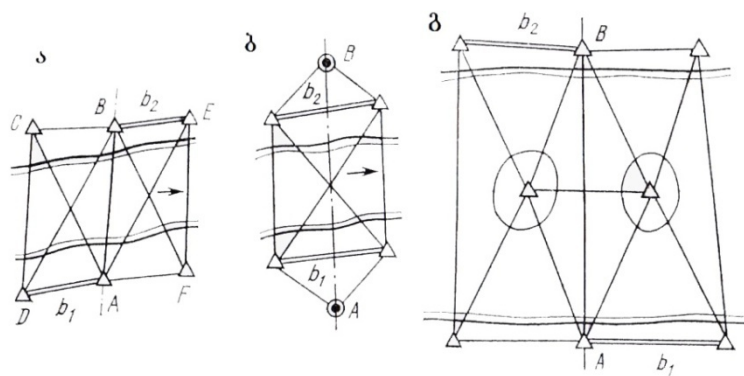
**სახიდე ტრიანგულაცია.** ხიდის სადაკვალვო ქსელის აგება ტრიანგულაციის მეთოდით, ე.ი. სამკუთხედების რიგის სახით, რომელშიც იზომება ყველა კუთხე და საბაზისო გვერდები, დიდხანს ძირითადი მეთოდი იყო ხიდების მშენებლობისას. ეს აიხსნება იმ სირთულეებით, რომლებიც დაკავშირებული იყო გვერდების სიგრძეების გაზომვასთან. ტრიანგულაციის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს შემოვიფარგლოთ გაცილებით მოკლე მანძილების და მათი მცირე რაოდენობის გაზომვებით. ამიტომ ტრიანგულაციის ქსელის აგება ამჟამად უმჯობესია, თუ მანძილების გაზომვა სრულდება საზომი ხელსაწყოებით (შუქმანძილმზომის არ არსებობის, არასაკმარისი სიზუსტის, აგრეთვე მეორე ნაპირზე მიუწვდომლობის გამო).

საზომი ხელსაწყოებით (ინვარის ან ფოლადის მავთულებით, კომპარირებული ხვეულათი, სკალებიანი ლენტებით) გაზომვისას, ბაზისის ადგილს შეარჩევენ ნაპირზე მკვრივი გრუნტით, სწორ პორიზონტალურ უბანზე, არა უმეტეს 2<sup>0</sup> დახრით. ბაზისის სიგრძეს ირჩევენ იმ პირობით, რომ კუთხეები ქსელში იყოს არა ნაკლებ 25 – 30<sup>0</sup>. უნდა აღინიშნოს, რომ ბაზისის საზომი ხელსაწყოებით გაზომვა შრომატევადი პროცესია და სასურველია მისი, სათანადო სიზუსტის შუქმანძილმზომით გაზომვა.

სახიდე ტრიანგულაციის ტიპურ ფიგურად ორმაგი გეოდეზური ოთხკუთხედი გვევლინება (ნახ. 3.4.1<sup>ა</sup>), რომელშიც **AB** გვერდი ემთხვევა ხიდის გრძივ ღერძს, ხოლო **CD** და **EF** გვერდები ხიდის ბურჯების სადაკვალვო გვერდებია.

შევიწროვებულ პირობებში, ზოგჯერ ხიდის ღერძი შეუუღლდება ტრიანგულაციის პუნქტებს დამატებითი აგებით (ნახ. 3.4.1<sup>ბ</sup>). მდინარეში კუნძულების არსებობისას სახიდე ტრიანგულაცია შეიძლება განვითარდეს ცენტრალური სისტემის სახით (ნახ. 3.4.1<sup>გ</sup>). ქსელების მსგავსი სახე შეიძლება აგებულ იქნას დიდ მდინარეებსა და ტბებზე, სადაც კუნძულების არარსებობისას პუნქტებს ამაგრებენ წყალში მყარად ჩასმულ ბოძებზე.

გეოდეზიური ოთხკუთხედის ფორმა შეირჩევა სახიდე ტრიანგულაციის პუნქტებიდან ბურჯების დაკვალვის პირობით – მაქსიმალური შესაძლებელი სიზუსტე პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის ხერხით. როგორც ცნობილია, ამისათვის აუცილებელია, რომ გადაკვეთის კუთხე ბურჯის ცენტრში  $\sim 90^\circ$  შეადგენდეს. ამ დროს ოთხკუთხედის გვერდების სიგრძე ნაპირზე ხიდის სიგრძის ან სადაკვალვო გვერდის  $\sim 1/2$  იქნება.



ნახ. 3.4.1

ამრიგად, დაკვალვის სიზუსტის გაზრდისათვის გეოდეზურ ოთხკუთხედს უნდა ქონდეს გაჭიმული ფორმა სიგანის შეფარდებით სიგრძესთან  $\sim 1/2$  და დიაგონალთან ირიბი კუთხეებით –  $\beta = \arctg 1/2 \approx 27^\circ$ . ასეთი კუთხეების არსებობისას იზრდება სამკუთხედების გეომეტრიული კავშირის შეცდომები („შებრუნებული წონა“) და პუნქტების მდებარეობაში

მოთხოვნილი სიზუსტის უზრუნველსაყოფად, აუცილებელი ხდება კუთხური გაზომვების სიზუსტის გაზრდა.

სახიდე ტრიანგულაციის პროექტის წინასწარი ანგარიში ხდება სამკუთხედების მწკრივის ელემენტების სიზუსტის შეფასების ფორმულებით, სადაც ეს ელემენტები გაწონასწორებულია ფიგურების, აზიმუტების და ბაზისების პირობებით. დაზუსტებული ანგარიში ხდება სახიდე გადასასვლელის გამოსავალ პუნქტებს შორის გვერდის წონითი ფუნქციის და სადაკვალვო გვერდის („გადაკვეთის ბაზისი“) ერთი ან ორივე პუნქტის აბსცისისა და ორდინატის წონითი ფუნქციების ამოხსნით. პირობითი განტოლებების შედგენისათვის აუცილებელი კუთხეების, გვერდებისა და კოორდინატების სიდიდეები უნდა აღებულ იქნას პროექტიდან. განვსაზღვრავთ ნორმალურ განტოლებათა სისტემის ამოხსნით,  $1/P_F$  შებრუნებული წონის სიდიდეს გაწონასწორების შემდეგ და თუ მოცემული გვექნება ტექნიკური მოთხოვნების თანახმად, ელემენტის განსაზღვრის  $m_F$  სკმ, ვიპოვით გაზომილი კუთხის ერთეული წონის  $\mu$  სკმ.

$$\mu = \frac{m_F}{\sqrt{\frac{1}{P_F}}} \quad (3.4.1)$$

მაგალითად, თუ  $1/P_F = 9,6$  ერთეულს ლოგარითმის მე-6 ნიშანში,  $m_F = 10$  მმ, რაც ხიდის სიგრძის –  $L = 1$  კმ დროს გვაძლევს –  $m_{\text{გფ}} = m_F \cdot 0,434 \cdot 10^6 / L = 4,3$  ერთეულს ლოგარითმის მე-6 ნიშანში, მივიღებთ  $\mu = 4,3 / \sqrt{9,6} = 1,4''$ .

სახიდე ტრიანგულაციის პუნქტებს შორის მხედველობა უზრუნველყოფილია მათზე პირამიდების სახით სათანადო სიმაღლის ნიშნების აგებით. ცენტრების ჩამაგრებისას განსაკუთრებით გულდასმით დაყავთ ნულზე ნიშნების რედუქცია.

ტრიანგულაციის ქსელში ზომავენ ორ საბაზისო გვერდს სხვადასხვა ნაპირზე, არაუმეტეს 2 – 3 მმ სკმ. შუქმანდილზომის გამოყენებისას, საბაზისოდ იღებენ პუნქტებს შორის გრძელ

გვერდებს, განლაგებულს სხვადასხვა ნაპირზე. ინვარის მავთულით გაზომვისას ბაზისებად ირჩევენ ნაპირებზე განლაგებულ მოკლე გვერდებს.

დაკვლევითი სამუშაოებისათვის ძალზე მნიშვნელოვანია გვერდის საბაზისო გვერდების დაუმახინჯებელი მასშტაბი. ამიტომ ბაზისის გაზომვამდე და გაზომვის შემდეგ სავსე ან სტაციონალურ კომპარატორზე აკონტროლებენ შუქმანძილზომის მუდმივის, ან ინვარის მავთულის განტოლების უცვლელობას. გაზომილ მანძილებში შეაქვთ შესწორებები მეტეოროლოგიური პირობებისათვის (შუქმანძილზომი), კომპარიებისა და ტემპერატურისათვის (ინვარის ხელსაწყო), აგრეთვე ხაზის დახრილობისათვის. პუნქტების ნიშნულებს შორის დიდი სხვაობისას, ქსელს არედუცირებენ საშუალო ღონეზე ან ხიდის ღერძზე, რომელიც მიიღება დაყვანის ზედაპირად.

კუთხური გაზომვები სრულდება თანამედროვე მაღალი სიზუსტის კუთხზომი ინსტრუმენტებით – **1 – 2<sup>წ</sup>** სკმ, თეოდოლიტის და ნიშნების ზუსტი დაცენტრვით. კუთხეების გაზომვების პირობები ძალზე არათანაბარია. ზოგი მიმართულება გადის ხმელეთზე, ზოგი წყალზე (ტემპერატურული გრადიენტი სხვადასხვა სიდიდის და მიმართულებისაა), რაც იწვევს კუთხეების გაზომვებში მნიშვნელოვან შეცდომებს (**3 – 5<sup>წ</sup>**-მდე).

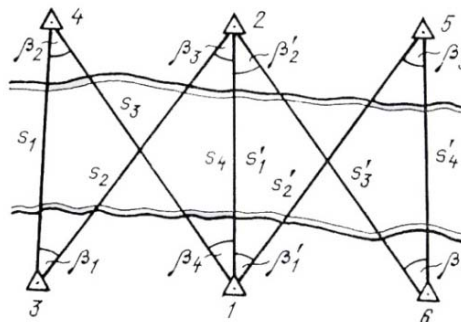
გვერდითი რეფრაქციის გავლენის შესამცირებლად მზერის სხივს ასწევენ წყლის და მიწის ზედაპირიდან მაღლა – **2 – 3** მ-ით, გაზომვებს ატარებენ დილით და საღამოთი, ხოლო დღისით – ღრუბლიანი ამინდის და სუსტი ნიავის დროს.

სახიდე ტრიანგულაციის განაზომები გაწონასწორდება ზუსტი (მკაცრი) ხერხით და გამოითვლება, როგორც დამოუკიდებელი ქსელი.

**ხაზოვან-კუთხური ქსელები.** შუქმანძილშომების სრულყოფისა და მათი პრაქტიკაში ფართოდ დანერგვის შემდეგ, ხიდის სადაკვალვო ქსელის აგების ძირითად მეთოდად იქცა ხაზოვან-კუთხური ქსელების აგება, სადაც იზომება როგორც პორიზონტალური კუთხეები, ისე გვერდები, მაგრამ არა ყველა კუთხე და გვერდი. ხშირად ასეთ ქსელებს აგებენ ერთმაგი ან ორმაგი გეოდეზიური ოთხკუთხედების სახით (ნახ.3.4.2), რომელსაც ზოგი ავტორი ე.წ. „ბაზურ სამკუთხედებს“ უწოდებს. ნახ.3.4.2-ზე წარმოდგენილ ქსელში გაზომილია ოთხი გვერდი  $S_1, S_2, S_3, S_4$  და ოთხი კუთხე –  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  (ერთმაგ გეოდეზიურ ოთხკუთხედში). ნაპირზე მდებარე გვერდები და მიმართულებები – **1,3** და **2,4** არ იზომება. ჩვეულებრივ, სახიდე გადასასვლელზე აგებენ ორმაგ გეოდეზიურ ოთხკუთხედს, რომელშიც შუა გვერდი – **1-2** შეთავსებულია ხიდის ღერძთან, **3-4** და **5-6** კი დაკვალვის ბაზისებს წარმოადგენენ.

ნახაზზე წარმოდგენილი ქსელი გამოირჩევა რიგი უპირატესობით:

- ნაპირების გასწვრივ მიმართულებით არარსებობა საშუალებას გვაძლევს გავზომოთ დაახლოებით ერთნაირ გარემო პირობებში, რაც ამცირებს გვერდითი რეფრაქციის გავლენას;
- პუნქტებს შორის ხილვადობა უზრუნველყოფილია მაღალი ნიშნების აგების გარეშე;
- შედარებით მცირე კუთხური და ხაზოვანი გაზომვების მოცულობისას ქსელი გამოირჩევა საკმარისი სიზუსტით და



ადგილმდებარეობის რთულ პირობებში მაღალი მანევრირებით.

ე.წ. „ბაზურ სამკუთხედში“ წარმოიშობა სამი პირობა – ფიგურების, გვერდების და პროექციების.

**ფიგურის პირობა** მდგომარეობს მკვეთ დიაგონალებთან კუთხეების ტოლობაში

$$180^\circ - (\beta_1 + \beta_2) = 180^\circ - (\beta_3 + \beta_4) ,$$

ე.ი. გაზომილი კუთხეების ჯამების ტოლობაში

$$\beta_1 + \beta_2 = \beta_3 + \beta_4 . \quad (3.4.2)$$

ანუ შესწორებებში გამოსახული

$$\left. \begin{array}{l} \text{სადაც} \quad \begin{array}{l} v_{\beta_1} \mid v_{\beta_2} \quad v_{\beta_3} \quad v_{\beta_4} \mid W_{\beta} = 0 , \\ W_{\beta} = \beta_1 + \beta_2 - \beta_3 - \beta_4 . \end{array} \end{array} \right\} \quad (3.4.3)$$

ამ ფორმულებში  $v_{\beta_i}$  არის განაზომებში შესწორებები, ხოლო  $W_{\beta}$  – კუთხური შეუკვრელობა.

**გვერდების პირობა** აგებულია შემდეგ დებულებაზე – ორი მეზობელი სამკუთხედისათვის საერთო გაუზომავე გვერდი (2-4 გვერდი 2-3-4 და 2-1-4 სამკუთხედებისათვის, აგრეთვე 1-3 გვერდი 1-2-3 და 1-4-3 სამკუთხედებისათვის), გამოთვლილი ამ სამკუთხედებში გაზომილი ელემენტების მიხედვით უნდა ტოლები იყვნენ (კოსინუსების თეორემის თანახმად). მაგალითად, 2-4 გვერდისათვის გვექნება

$$S_1^2 + S_2^2 - 2S_1S_2\cos\beta_1 = S_3^2 + S_4^2 - 2S_3S_4\cos\beta_4 , \quad (3.4.4)$$

ანუ

$$\left. \begin{aligned} & \left[ (S_1 - S_2 \cos \beta_1) v_{S_2} + (S_2 - S_1 \cos \beta_1) v_{S_2} - \right. \\ & \left. - (S_3 - S_4 \cos \beta_4) v_{S_3} - (S_4 - S_3 \cos \beta_4) v_{S_4} + \right. \\ & \left. + S_1 S_2 \sin \beta_1 \frac{v_{\beta_1}''}{\rho''} - S_3 S_4 \sin \beta_4 \frac{v_{\beta_4}''}{\rho''} \right] \frac{1}{a_1} + W_S = 0, \\ & W_S = a_1 - \sqrt{S_3^2 + S_4^2 - 2 S_3 S_4 \cos \beta_4}, \\ & a_1 = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 - 2 S_1 S_2 \cos \beta_1}; \end{aligned} \right\} \quad (3.4.5)$$

პროექციების პირობა მდგომარეობს მასში, რომ „ბაზური სამკუთხედების“ გვერდების პროექციების ჯამი სახიდე გადასასვლელის ღერძზე ტოლია ნულის

$$S_1 \cos(\beta_1 - \beta_4) - S_3 \cdot \cos \beta_4 + S_4 - S_2 \cdot \cos \beta_3 = 0, \quad (3.4.6)$$

ანუ

$$\left. \begin{aligned} & \cos(\beta_1 - \beta_4) v_{S_2} - \cos \beta_3 v_{S_2} - \cos \beta_4 v_{S_3} + \\ & + v_{S_4} - \frac{S_1 \cdot \sin(\beta_1 - \beta_4) v_{\beta_1}''}{\rho''} + \frac{S_2 \cdot \sin \beta_3 v_{\beta_3}''}{\rho''} + \\ & + \frac{[S_1 \cdot \sin(\beta_1 - \beta_4) + S_3 \cdot \sin \beta_4] \cdot v_{\beta_4}''}{\rho''} + W_{S_3} = 0, \\ & W_{S_3} = S_1 \cos(\beta_1 - \beta_4) - S_3 \cdot \cos \beta_4 + S_4 - S_2 \cdot \cos \beta_3. \end{aligned} \right\} \quad (3.4.7)$$

პირობით განტოლებებს ამოხსნიან შემდეგი პირობის დაცვით

$$[P_\beta v_\beta^2 + P_S v_S^2] = \min, \quad (3.4.8)$$

სადაც  $P_\beta$  და  $P_S$  – გაზომილი კუთხეების და გვერდების წონებია და მიიღება  $P_\beta = 1$ ,  $P_S = m_\beta^2/m_S^2$ .

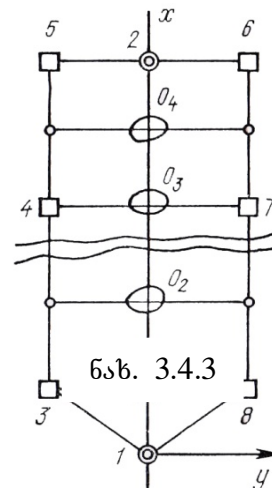
გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ე.წ. „ბაზური სამკუთხედების“ შემცველ ქსელებში გვერდების გაწონასწორებული დირექციული კუთხის შეცდომა კუთხური გაზომვების შეცდომის ტოლია –  $m_x = m_\beta$ . გაწონასწორებული გვერდის სკმ პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული ქსელის ზომასა და ფორმაზე და დაახლოებით 15%-ით ნაკლებია საზოგადო გაზომვების შეცდომებზე



–  $m_{\text{ფ.}} = 0,85m_{\text{ფ.}}$ . კოორდინატების და სადაკავლო ბაზისის ბოლო პუნქტების მდებარეობის შეცდომები იზრდება სახიდე გადასასვლელის სიგრძის გაზრდით და ქსელის გადანაცვლებით. ამასთან, აბსცისების შეცდომა (ხიდის ღერძის გასწვრივ) იზრდება უფრო სწრაფად, ვიდრე ორდინატების.

**პოლიგონომეტრია.** ხიდის ბურჯების მშენებლობის უზრუნველყოფისათვის პოლიგონომეტრია უფრო მოსახერხებელი ქსელია შედარებით მცირეწყლიან (ან მშრალი კალაპოტის) ადგილებში. ქსელი შეიძლება შედგებოდეს შეუქმანდილმზომური პოლიგონომეტრიის სვლებისგან, რომლებიც ეყრდნობა სახიდე გადასასვლელის გამოსავალ პუნქტებს (ნახ.3.4.3). გრძივი გვერდები 3-5 და 6-8 ხიდის ღერძის (1-2) პარალელურია და განლაგდებიან მისგან დაახლოებით 100 მ-ზე ისე, რომ პუნქტები არ მოხვდეს მშენებლობის ზონაში. ასეთ სვლებში გვერდებს ზომავენ 2-3 მმ სკმ-ით, კუთხეებს – 2-3″ სკმ-ით, ე.ი. ისეთი ანგარიშით, რომ გაწონასწორებულ სვლაში პუნქტების ურთიერთმდებარეობის შეცდომამ არ გადაჭარბოს 10 მმ.

**ტრილატერაცია.** ამ ტიპის ქსელებში, რომლებიც ფორმით ტრიანგულაციის ქსელების მსგავსია, იზომება მხოლოდ გვერდების სიგრძეები. ყველაზე ხშირად ტრილატერაციისას იყენებენ გეოდეზიურ ოთხკუთხედებს. გაზომილი გვერდებით გამოითვლება კუთხეები (კოსინუსების თეორემით) და შემდეგ პუნქტების კოორდინატები. ხიდების სადაკავლო ქსელების აგებისას ტრილატერაციის ქსელებს იშვიათად იყენებენ, მხოლოდ იმ შემთხვევებში იყენებენ, როცა კუთხური გაზომვები გაძნელებულია ღრუბლიანობის, რეფრაქციის ან სხვა



მიზნების გამო. ასევე, მისაღებია ტრილატერაციის გამოყენება ხიდის მშენებლობისას მაღალ მთიან ადგილებში, როცა პუნქტებს შორის დიდია აღმატება და გვიხდება სივრცული ქსელის აგება.

### 3.5. ხიდის ბურჯების ცენტრების დაკვალვა

**ბურჯების კონსტრუქცია და აგების ტექნოლოგია.** ხიდის ბურჯების აგება რთული, შრომატევადი და ძვირადღირებული პროცესია, ამიტომ ბურჯების კონსტრუქციის შერჩევა ხშირად განისაზღვრება მათი აგების ეკონომიურობით და ტემპებით. განასხვავებენ შუალედურ და ბოლო (სანაპირე) ბურჯებს. შუალედური ბურჯები შედგება სამი ძირითადი ნაწილისგან: საძირკველი, ბურჯის ტანი და თავისგან, რომლის შემადგენლობაში შედის ფერმისქეშა ფილა (რიგელი, მწეკოჭი) და დაარმატურებული მოედანი საყრდენი ნაწილების დასაყენებლად. თალური ტიპის ხიდების შუალედური ბურჯების კონსტრუქციაში ფერმისქეშა ფილა არ არის. სანაპირე ბურჯები შედგება საძირკვლის, ბურჯის ტანის, კარადის კედლის, ფერმისქეშა ფილის და რკინაბეტონის ფრთებისგან – ბურჯის შესაუღლებლად საგზაო ვაკისთან.

ჰიდროგეოლოგიური პირობების მიხედვით, ბურჯების საძირკველი ამოყავთ ღია ქვაბულში, ბუნებრივ (კლდოვან) საყრდენზე, ხიმიწებზე (ხის, რკინაბეტონის, ფოლადის), ჩასაშვები ჭებით და კესონებით (ორ უკანასკნელს იშვიათად იყენებენ). ძირითადად, ბურჯებს აგებენ მართკუთხა ან წრიული ფორმის რკინაბეტონის მთლიანი ხიმიწების სახით.

ბურჯების ამოყვანის ხერხების მიხედვით არჩევენ მონოლითურ, ასაწყობ-მონოლითურ და ასაწყობ ბურჯებს.

ბურჯების დაკვალვითი სამუშაოების შემადგენლობაში შედის: ბურჯის საძირკვლის ცენტრის, კონტურის და ნიშნულის გადატანა

ადგილზე; ბურჯის ღერძების და ცენტრის დაკვალვა; ბურჯის ტანის კონტურის, თავის ნიშნულის და ფერმისქვეშა ნაწილის გადატანა ნატურაში.

**სახიდე გადასასვლელის ტრასის აღდგენა.** სახიდე გადასასვლელის მშენებლობისათვის განსაზღვრავენ და ადგილზე დაამაგრებენ ბურჯების ცენტრების მდებარეობას, ხიდან მისასვლელებისა და სარეგულაციო მოწყობილობების ღერძებს, აგრეთვე ასრულებენ ამ ნაგებობათა აგების და მალეების დამონტაჟებისას დეტალურ გეგმურ და სასიმალო დაკვალვით სამუშაოებს. ჩამოთვლილ სამუშაოთაგან ყველა რთული და საპასუხისმგებლო – ხიდის ბურჯების ცენტრების დაკვალვაა.

დაკვალვითი სამუშაოების დაწყებამდე აღადგენენ ტრასას: აზუსტებენ პიკეტაჟს, ამოწმებენ სახიდე გადასასვლელის შეუღლების ადგილს მისასვლელებთან, აკონტროლებენ გეგმური და სასიმალო საფუძვლის პუნქტების მდებარეობას.

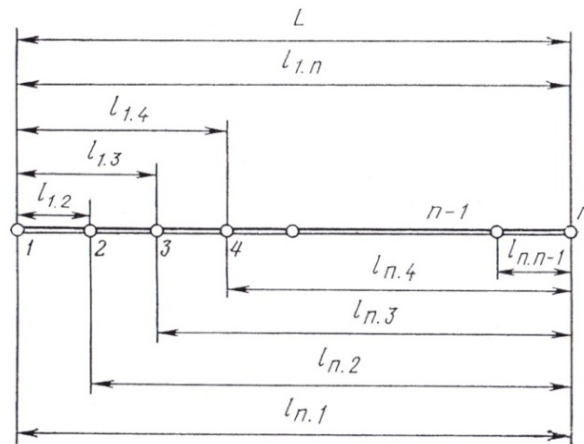
სახიდე გადასასვლელის ადგილზე მდებარეობა ტრასის საერთო პიკეტაჟით და გამოსავალ (**A** და **B**) პუნქტებთან მიხედვით განისაზღვრება (ნახ. 3.5.1). ბურჯების ცენტრები მოიცემა კოორდინატებით, საპიკეტაჟო მნიშვნელობით და კონტროლისათვის – ხიდის მალეებს შორის მანძილებით.

ბურჯების ცენტრების დაკვალვისათვის ყველაზე ხშირად იყენებენ: უშუალოდ საზომი ხელსაწყოებით დაკვალვას; შუქმანძილშომებით დაკვალვას; პირდაპირი და შებრუნებული კუთხური გადაკვეთების ხერხებით დაკვალვას.



წერტილები გააქვთ სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების ზონიდან, მათი მშენებლობის დამთავრებამდე შენახვის მიზნით.

**ბურჯების ცენტრების დაკვალვა შუქმანძილშოშობებით.** მშრალ კალაპოტში, გაყინულ მდინარეზე, აგრეთვე კუნძულებიან კალაპოტში, ბურჯების ცენტრები შეიძლება დაიკვლოს შუქმანძილშოშობებით. საპროექტო მანძილები საყრდენი პუნქტებიდან ბურჯების ცენტრამდე იზომება ნახ. 3.5.2-ზე მოტანილი სქემის მიხედვით რედუცირების ხერხით. გაზომვების კონტროლისათვის შუქმანძილშოშობით გაზომვები ტარდება ორივე საყრდენი წერტილიდან (ნახაზზე 1 და  $n$ ).



ნახ. 3.5.2

ბურჯების ასეთი ხერხით დაკვალვა საშუალებას გვაძლევს ერთდროულად მივიღოთ მანძილების გაწონასწორებული სიდიდეები და შუქმანძილშოშობის მუდმივი სიდიდის შესწორება.

ნახ. 3.5.2-ის მიხედვით, პირდაპირ სვლაში იზომება მანძილები:  $l_{1,2}, l_{1,3}, l_{1,4}, \dots, l_{1,n}$ , ხოლო შებრუნებულ სვლაში მანძილები:  $l_{n,n-1}, l_{n,n-2}, l_{n,n-3}, \dots, l_{n,1}$ . ყოველი წყვილი პირდაპირი და შებრუნებული განაზომების ჯამი გვაძლევს ხიდის სიგრძეს

$$\left. \begin{aligned} L_2 &= l_{1,2} + l_{n,2} , \\ L_3 &= l_{1,3} + l_{n,3} , \\ L_4 &= l_{1,4} + l_{n,4} , \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \\ L_{n-1} &= l_{1,(n-1)} + l_{n,(n-1)} , \end{aligned} \right\} \quad (3.5.1)$$

ხიდის საშუალო სიგრძე ტოლი იქნება

$$L_{\text{საშ}} = \frac{[L_t]_2^{n-1}}{n-2} . \quad (3.5.2)$$

ხიდის სიგრძის უშუალო გაზომვებიდან პირდაპირი და შებრუნებული სვლებით, ხიდის სიგრძის საშუალო სიდიდე ტოლია

$$F_{\text{საშ}} = \frac{L_{1n} + L_{n1}}{2} . \quad (3.5.3)$$

(3.5.2) და (3.5.3) ფორმულებიდან გამომდინარე, შექმანილმზომის მუდმივის შესწორება იქნება

$$\Delta_{\text{შ}} = L_{\text{საშ}} - L_{\text{მზ}},$$

ან

$$\Delta_{\text{შ}} = \frac{L_{1n} + L_{n1}}{2} - \frac{[L_t]_2^{n-1}}{n-2} . \quad (3.5.4)$$

გაზომილ მანძილებში  $\Delta_i$  შესწორებების გამოთვლის და შეტანის შემდეგ გაწონასწორებული გვერდების კონტროლი იქნება

$$l_{1,t} + l_{n,t} = L_{1n} . \quad (3.5.5)$$

ერთეული წონის შეცდომა ტოლი იქნება

$$\mu = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-2}} . \quad (3.5.6)$$

მანძილების გაწონასწორებული სიდიდეებიდან გამოითვლება მალეების სიგრძე. მათი შედარებით საპროექტო სიდიდეებთან განისაზღვრება ბურჯების ცენტრებისათვის რელუქციის სიდიდეები.

**ბურჯების ცენტრების დაკვაღა პირდაპირი კუთხური გადაკვეთით.** დიდ მდინარეებზე ხიდების ბურჯების ცენტრების დასაკვაღად ხშირად იყენებენ პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის მეთოდს. დაკვაღვისათვის წინასწარ შეადგენენ გენერალურ

დაკვალვით ნახაზს, რომელზეც დააქვთ საპიკეტაჟო ტრასაზე მიბმული გამოსავალი პუნქტები, სახიდე დაკვალვითი ქსელის პუნქტები, ქსელის გვერდების ღირეცეიული კუთხეები და ხიდის ბურჟების ცენტრები გადაკვეთის ბაზისის პუნქტებზე მიმართულებებით და დაკვალვის კუთხეების სიდიდეებით. თითოეული ბურჟის ცენტრი დაიკვალება მინიმუმ სამი მიმართულებიდან – გადაკვეთის ბაზისის ორივე პუნქტიდან და ხიდის გრძივი ღერძის გასწვრივობიდან. დამატებით ბურჟის ცენტრი შეიძლება დაიკვალოს მეორე გადაკვეთის ბაზისის ერთერთი პუნქტიდან (მეოთხე მიმართულება).

ბურჟის კონტურში სამიზნე დაიდგმება ორი თეოდოლიტის მზერის სხივების გადაკვეთის წერტილში, რომელიც  $\beta_1$  და  $\beta_2$  დამკვალავი კუთხეების გადაზომვით მიიღება (ნახ.3.5.3). საშუალო სრულდება წრედის ორი მდებარეობიდან საშუალო წერტილის დამაგრებით ადგილზე. მესამე თეოდოლიტით ამ წერტილის მდებარეობას აზუსტებენ ხიდის ღერძზე.

როგორც ცნობილია, საპროექტო წერტილის განსაზღვრის სიზუსტე პირდაპირი კუთხური გადაკვეთით, სახიდე ქსელის პუნქტების  $m_{3,4}$  ურთიერთმდებარეობის შეცდომის გათვალისწინებით, გამოისახება ფორმულით

$$m_{3,6} = \sqrt{\left(\frac{m_{\beta}^u}{\rho''} l \sqrt{2}\right)^2 + m_{3,4}^2}, \quad (3.5.7)$$

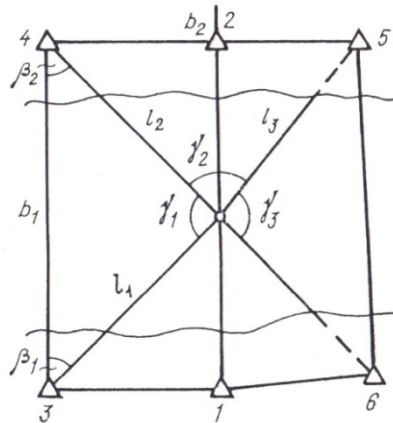
სადაც,  $m_{3,6}$  არის პირდაპირი გადაკვეთის სკშ;  $m_{\beta}$  – კუთხის გაზომვის სკშ;  $l$  – გვერდის სიგრძე;  $m_{3,4}$  – მე-3 და მე-4 პუნქტების ურთიერთმდებარეობის შეცდომა (ე.ი. გამოსავალი მონაცემების შეცდომა).

მაგალითად, თუ გადაკვეთის ბაზისი  $b = 1200$  მ,  $l = 850$  მ,  $m_{3,4} = 10$  მმ, პირდაპირი კუთხური გადაკვეთის მოცემული სიზუსტის –  $m_{3,6} = 20$  მმ დროს დამკვალავი კუთხეების აგების

$$m_{\beta}^{\text{II}} = \frac{p^{\text{II}}}{b} \cdot \sqrt{m_{\beta_2}^2 - m_{\beta_4}^2} = \frac{206000}{1200000} \cdot \sqrt{400 - 100} \approx 2,9^{\text{II}}.$$

### ბურჯების ცენტრების დაკვალვა შებრუნებული კუთხური

გადაკვეთით. ღრმა და ღილ მდინარეებზე, როგორც კი გაჩნდება ასაგები ბურჯის კონტურზე ინსტრუმენტის დაყენების საშუალება, იყენებენ შებრუნებულ კუთხურ გადაკვეთას ბურჯის ცენტრიდან დამკვალავი ბაზისების მინიმუმ სამ წერტილზე. ამ



ღროს ბურჯის ცენტრის გამოთვლილი მნიშვნელობის რედუცირება ხდება ბურჯის საპროექტო ცენტრთან თანდათანობითი მიახლოების ანუ დაყვანის ხერხით. ამ ხერხის გამოყენებისას წინასწარ გამოთვლიან თითოეული ბურჯისათვის ნახ.3.5.3 ასაყენებელ ელემენტებს ბურჯის ცენტრისა და გეოდეზიური პუნქტის კოორდინატებით. დააყენებენ ინსტრუმენტს დაახლოებით ბურჯის ცენტრში, ზომავენ სახიდე ქსელის მე-3 და მე-4 პუნქტებზე მიმართულებებს შორის კუთხეს, ასევე მე-4 და მე-5, აგრეთვე მე-5 და მე-6 მიმართულებებს შორის  $\beta_i$  კუთხეებს (ნახ.3.5.3). კუთხეების გაზომილ და საპროექტო სიდიდეებს შორის სხვაობებისა და დასაყენებელი ელემენტების მიხედვით განისაზღვრება კოორდინატთა რედუქციის სიდიდეები, რომელთა გადაზომვით კოორდინატთა ღერძებზე, პოულობენ ბურჯის დაზუსტებულ ცენტრს. ამოცანა იხსნება თანდათანობითი მიახლოების ხერხით.

ტრადიციული შებრუნებული გადაკვეთისგან განსხვავებით, რომლის ღრმსაც პუნქტის მდებარეობა ადგილზე ცნობილია და



ამოცანა მდგომარეობს ამ პუნქტის კოორდინატების განსაზღვრაში, დაყვანის ხერხის, ანუ რაც იგივეა, თანდათანობითი მიახლოების ხერხის დროს, პირიქით, კოორდინატებია ცნობილი და საჭიროა ამ წერტილის დანიშვნა ადგილზე ბურჯის ცენტრის სახით. თუ ბურჯის ცენტრს აღვნიშნავთ  $I$ -თი, ხოლო ინსტრუმენტის დაყენების წერტილს  $J$ -თი, მაშინ ცნობილი  $x_I$  და  $y_I$  საპროექტო კოორდინატებით და შებრუნებული გადაკვეთით ნაპოვნი ინსტრუმენტის დგომის წერტილის  $x_J$  და  $y_J$  კოორდინატებით, სახიდე სადაკვალვო ქსელის პუნქტებზე ყოველი მიმართულებისათვის გვექნება

$$t_{JI} = \arctg \frac{y_I - y_J}{x_I - x_J}. \quad (3.5.8)$$

თუ (3.5.8) ტოლობას დავშლით ტეილორის მწკრივად და შემოვიფარგლებით პირველი რიგის დაშლის წევრებით, აგრეთვე დასაყენებელი ელემენტების გამოყენებით, მიიღება განტოლებათა სისტემა, რომლის ამოხსნის შედეგად ღებულობენ დაყვანის (რედუქციის) ელემენტებს კოორდინატთა ღერძების გასწვრივ.

როგორც შებრუნებული გადაკვეთის შემთხვევაში, აქაც დაყვანის ელემენტების განსაზღვრის სიზუსტე არსებითადაა დამოკიდებული ბურჯის ცენტრის იმ წრის მიმართ მდებარეობაზე, რომელიც დამკვალავი ქსელის პუნქტებზე გადის. ამიტომ ამ ხერხის გამოყენებისას წინასწარ შეარჩევენ დასაკვირვებელ პუნქტებს.

ინსტრუმენტის დაყენების წერტილის დიდი დაშორების დროს ბურჯის ცენტრიდან (რამდენიმე მეტრამდე), ამოცანა წყდება თანდათანობითი მიახლოების მეთოდით, კომპიუტერზე.

ამ ხერხის დროს ბურჯის ცენტრის მდებარეობის განსაზღვრის სიზუსტე უმთავრესად დამოკიდებულია შებრუნებული გადაკვეთის სიზუსტეზე. გადაკვეთის სკშ შეიძლება გამოთვლილი იქნას ფორმულით (აღნიშვნები იხილეთ ნახ. 3.5.3-ზე)

$$m_{\Sigma\Phi}^2 = \left( \frac{m_Y l_2}{\rho \sin \gamma} \right)^2 \cdot \left[ \left( \frac{l_1}{b_1} \right)^2 + \left( \frac{l_3}{b_2} \right)^2 \right] + m_{\Sigma 4.5}^2, \quad (3.5.9)$$

სადაც,  $m_{\Sigma\Phi}$  არის შებრუნებული კუთხური გადაკვეთის სკმ;  $m_Y$  –  $\gamma_1$  და  $\gamma_2$  გაზომილი კუთხეების სკმ;  $l_1, l_2, l_3$  – ბურჯის ცენტრიდან დამკვალავი ქსელის პუნქტებამდე მანძილები;  $m_{\Sigma 4.5}$  – პუნქტების ურთიერთმდებარეობის შეცდომა;  $b_1, b_2$  – ქსელის გვერდების (დაკვალვის ბაზისების) სიგრძეები. როგორც პირდაპირი გადაკვეთის დროს, აქაც მივიღოთ, რომ  $l_1 = l_2 = l_3 = l$ ,  $b_1 = b_2 = l\sqrt{2}$ . მაშინ გვექნება

$$m_{\Sigma\Phi} = \sqrt{\left( \frac{m_Y l}{\rho \sin \gamma} \right)^2 + m_{\Sigma 4.5}^2}. \quad (3.5.10)$$

ამ ფორმულიდან კუთხეების გაზომვის სიზუსტე ტოლი იქნება

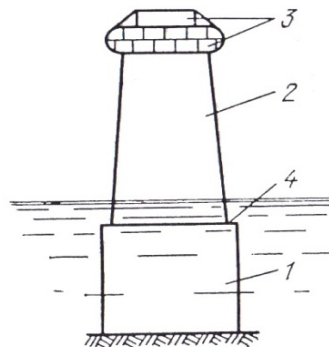
$$m_Y = \frac{\rho \sin \gamma}{l} \sqrt{m_{\Sigma\Phi}^2 - m_{\Sigma 4.5}^2} \quad (3.5.11)$$

მაგალითად, თუ  $m_{\Sigma\Phi} = 20$  მმ,  $m_{\Sigma 4.5} = 10$  მმ,  $l = 850$  მ,  $\gamma \approx 90^\circ$ ,  $m_Y = \frac{206000}{850000} \sqrt{400 - 100} \approx 4,2''$ .

დაყვანის ხერხის დროს დაკვალვით სამუშაოებს ასრულებს ერთი დამკვირვებელი დამხმარების გარეშე (რამდენ პუნქტზეც არ უნდა მიმდინარეობდეს დაკვირვება).

**ხიდის ბურჯების დეტალური დაკვალვა.** ბურჯის ამოყვანისას ანსხვავებენ: საძირკველს (1), ბურჯის ტანს (2) და ფერმისქვეშა ნაწილს (3), რომელზეც აყენებენ მალის ნაგებობას (ნახ.3.5.4). თუ მდინარე იყინება, მაშინ ბურჯს აძლევენ ყინულმჭრელ ფორმას.

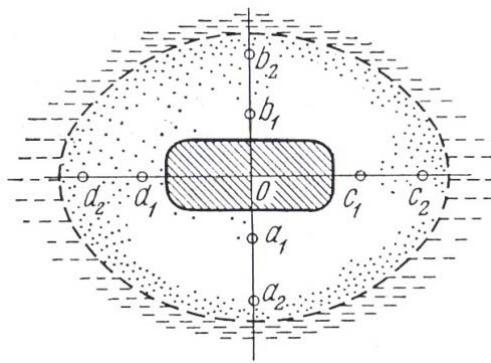
საძირკველს აღრმავებენ მყარ ქანებამდე. საძირკველის ზედა ნაწილს მეტი ზომები აქვს გეგმაში, ვიდრე ბურჯის ტანის



საყრდენს, რის გამო წარმოიქმნება საფეხური  $(4) \sim 0,5$  მ ზომით, რაც ბურჯების დაკვალვის დროს საშუალებას გვაძლევს მოვახდინოთ შესწორების შეტანა ბურჯის ცენტრის დაკვალვის პროექტიდან გადახრის დროს. ღრმა მდინარეებზე ბურჯებს აშენებენ ხიმიწვებიან საძირკველზე, დასაშვები ჭებით ან კესონებით (იშვიათ შემთხვევებში). გარსიანი ხიმიწვი წარმოადგენს დიდი დიამეტრის რკინაბეტონის მილს, ჩაღრმავებულს გრუნტში ვიბროდანადგარით. მილს ავსებენ ბეტონით, რომელზეც დააშენებენ ბურჯს.

მშრალ კალაპოტზე და კუნძულზე ბურჯების დეტალურ დაკვალვას ასრულებენ ნატურაში დამაგრებული ღერძებიდან. მშრალ კალაპოტზე ბურჯის ამოყვანისას აშენებენ ჰორიზონტალურ ფარგსაკვალავს, რომელზეც ბურჯის ცენტრიდან გამოაქვთ სახიდე გადასასვლელის მთავარი ღერძი და მის მართობულად ბურჯის გრძივი ღერძი. მათი გადატანა საძირკველში ხდება სამონტაჟო მავთულით და შვეულით.

კუნძულზე ბურჯის საძირკვლის ამოყვანისას, შექმანზილმზომით ან კუთხური გადაკვეთებით განსაზღვრავენ ბურჯის ცენტრის ზუსტ მდებარეობას და დააყენებენ მასზე ინსტრუმენტს, დამზერენ მარჯვენა და მარცხენა გამოსავალ პუნქტებზე და დაამაგრებენ ამ ღერძის გასწვრივობაში  $a_1, a_2$  და  $b_1, b_2$  წერტილებს (ნახ.3.5.5). ხიდის ღერძის გასწვრივობაში დამაგრებული ეს წერტილები ადგილზე აფიქსირებენ ბურჯის განივ ღერძს. ამ ღერძის მართობულად აფიქსირებენ ბურჯის გრძივი ღერძის წერტილებს –  $c_1, c_2$  და  $d_1, d_2$ . კუნძულზე დაამაგრებენ ღროებით მუშა რეპერს, რომელსაც აკონტროლებენ ნაპირზე განლაგებული მუდმივი რეპერიდან.



ნახ. 3.5.5

**ბურჯების შესრულებითი აგეგმვა.** ბურჯების ამოყვანის დამთავრების შემდეგ ტარდება მისი შესრულებითი აგეგმვა, რომელიც გულისხმობს: ბურჯების ცენტრების კოორდინატების განსაზღვრას; მალეების ზომების განსაზღვრას; ფერმისქევა მოედნების და მუშა რეპერების საკონტროლო ნიველობას; ბურჯებისა და სარეგულაციო ნაგებობათა დეტალურ აგეგმვას.

ბურჯების ცენტრების ფაქტიურ მდებარეობას აფიქსირებენ ბურჯის ტანის ზედა კონტურზე, ერთდროულად ზომავენ მალეების სიგრძეებს ბურჯების ცენტრებს შორის, რომლებიც საპროექტოსგან არ უნდა განსხვავდებოდეს – **1 – 2** სმ მეტად.

ბურჯების სასიმაღლო კონტროლი სრულდება IV კლასის ნიველობით ორივე ნაპირზე ჩამაგრებულ რეპერებს შორის, ბურჯებზე გავლით პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით.

ბურჯის დეტალურ აგეგმვას ასრულებენ მისი გრძივი და განივი ღერძებიდან. შესრულებითი აგეგმვის მასალებიდან შეადგენენ ბურჯების შესრულებით ნახაზს, ბურჯების ცენტრებს შორის მანძილების და რეპერების ნიშნულების უწყისს. ყველა ეს დოკუმენტაცია საჭიროა მალეების ნაგებობების მონტაჟისას.

### 3.6. ხიდის მალეების მონტაჟი

გეოდეზიური სამუშაოების მეთოდთა და ორგანიზაცია ხიდის მალეების მონტაჟის დროს განპირობებულია მალეების კონსტრუქციითა და მასალით, აგრეთვე მათი აწყობისა და დაყენების ტექნოლოგიით. მალეების მონტაჟის ხერხები დამოკიდებულია მალის ნაგებობის ტიპსა და სტატიკურ სქემაზე, მისი ელემენტების ზომასა და მასაზე, ხიდმშენებლობის ტექნიკის ღონესა და წარმოების სხვა ფაქტორებზე.

**მონტაჟის ხერხები.** ხიდის მალეების მონტაჟის ყველაზე გავრცელებული ხერხებია: აწყობა კიდულ და ნახევრადკიდულ მდგომარეობაში; აწყობა გემხარიხაზე მისი შემდგომი გადატანით ადგილზე – ტივტივების დახმარებით ან ამწეთი; აწყობა ნაპირზე მისი შემდგომი გადაადგილებით ხიდის ღერძის გასწვრივ ძირითად ან დამატებით ბურჯებზე.

**კიდული და ნახევრადკიდული აწყობა** – დიდი ხიდების მალეების მონტაჟის ძირითადი და ყველაზე ეკონომიური ხერხია. სამუშაოთა ტექნოლოგია ამ ხერხის გამოყენებისას კარგადაა დამუშავებული და ათვისებული. ამ ხერხის დროს მონტაჟი სრულდება უშუალოდ მალის დაყენების ადგილზე.

ნახევრადკიდულ მდგომარეობაში აწყობისას, მალის ნაგებობა თანდათანობით იზრდება ბურჯიდან შუამდე ან მეზობელ ბურჯამდე, ამასთან მალის მზა ნაწილი მუშაობს, როგორც კონსოლი და ეყრდნობა დროებით ამოყვანილ შუალედ ბურჯს.

კიდულ მდგომარეობაში მალის აწყობისას კონსტრუქციის ელემენტები მონტაჟდება ბოლოებიდან მალის შუა ნაწილისკენ, ხარაჩოების ან დამხმარე ბურჯების გარეშე.

**ნაპირზე მალის აწყობას და მის შემდგომ გადაადგილებას წყალში** – ტივტივების დახმარებით – იყენებენ განიერ და ღრმა მდინარეებზე, ხოლო ხიდის ღერძის გასწვრივ მის გადასადგილებლად იყენებენ ჯალამბრებსა და ჰიდრავლიკურ დომკრატებს.

ხიდის მალეების მონტაჟის მიღებული ტექნოლოგიისგან დამოუკიდებლად, გეოდეზიური სამუშაოები ძირითადად შემდეგი სახისაა:

- ხიდის გრძივი ღერძის დეტალური დაკვალვა მისი სწორხაზოვნობის პერიოდულად შემოწმებით ოპტიკური სამიზნელების დახმარებით ან გვერდითი ნიველობით. დასაშვები გადახრა – 5 მმ.
- ფერმების ძირითადი კვანძების სიმაღლეში დაყენება გეომეტრიული ან ზუსტი ტრიგონომეტრიული ნიველობით;
- საკონტროლო პერიოდული დაკვირვებები მალეების აწყობის პროცესში.

სამშენებლო ნორმების და წესების თანახმად, მალეების ნაგებობათა მონტაჟისას გეოდეზიური კონტროლი ხორციელდება ყველა სტადიაზე – დაწყებიდან დამთავრებამდე – გეომეტრიული პარამეტრების საპროექტოსთან შესაბამისობაში მოყვანის მიზნით.

მალის ნაგებობის მონტაჟისა და საკონტროლო გაზომვებისათვის ეფექტურია ლაზერული სამიზნეებისა და ლაზერული ნიველირების გამოყენება. ისინი საშუალებას გვაძლევენ დავაფიქსიროთ ღერძები სივრცეში ან სიბრტყეზე ცუდი განათებულობის, ქარისა და წვიმის პირობებშიც.

**შესრულებითი აგეგმვა.** მალეების მონტაჟის დამთავრების შემდეგ სრულდება მისი გეგმურ-სასიმაღლო მდებარეობის შემოწმება შესრულებითი აგეგმვის სახით. აგეგმვის მეთოდით, როგორც ცალკეულ ეტაპებზე, ისე დამთავრებულ სამუშაოზე, ერთნაირია და არ არის დამოკიდებული მალეების მონტაჟის ხერხებზე.

შესრულებითი აგეგმვის შედეგად შედგება მალის ნაგებობის გეგმა, ფერმების გრძივი პროფილი და რკინიგზის ხიდებისათვის – გზის გრძივი პროფილი.

დამონტაჟებული კონსტრუქციების შესრულებითი აგეგმვის შედეგები ფორმდება სათანადო ოქმით, სადაც ნაჩვენები იქნება გეომეტრიული პარამეტრების პროექტისგან გადახრის შედეგები. გადახრები არ უნდა აჭარბებდეს სამშენებლო ნორმებით და წესებით დაშვებულ სიდიდეებს.

შესრულებითი აგეგმვების ჩატარება ლაზერული ხელსაწყოებით აჩვენებს, რომ კონსტრუქციების ელემენტების გეგმურ-სასიმალო მდებარეობის განსაზღვრის ცდომილება 150 მ-მდე მანძილების დროს შეადგენს 2 – 4 მმ და ძირითადად დამოკიდებულია მეტეოროლოგიური ფაქტორების გავლენაზე.

**დეფორმაციებზე დაკვირვებები.** ხიდების დეფორმაციის დამახასიათებელია ბურჯების კერტიკალური დაწევები (ჯდომები), გამოწვეული საძირკველზე სტატიკური და დინამიკური დატვირთვების გავლენით, ჰორიზონტალური გადაადგილებები (ძვრები), გამოწვეული წყლის ნაკადის დაწოლის ან სხვა ფაქტორების გავლენით და დახრები, აგრეთვე მალეების ნაგებობათა ჩაღუნვა, გადახრა-გადაფერდება და ტეხილობა. დაკვირვებები იწყება ბურჯების ამოყვანის დაწყებიდან და გრძელდება ხიდის ექსპლუატაციის საწყის პერიოდში. დაკვირვებებს ატარებენ 1-3 თვის პერიოდულობით, აგრეთვე გაზაფხულის და შემოდგომის წყალდიდობების შემდეგ.

დაწევების და ჩაღუნვების გასაზომად სრულდება ბურჯებსა და მალეებზე დამაგრებული მარკების პერიოდული ნიველობა. გამოსავალ რეპერებად იყენებენ ხიდის სადაკვალვო სასიმალო ქსელის რეპერებს, თუ მათი მდგრადობა ეჭვს არ იწვევს, ან სპეციალურად ამ მიზნით ჩამაგრებულ სიღრმით ნიშნებს. ერთ ბურჯზე ჩამაგრდება 3-4 მარკა პერიმეტრის გასწვრივ. მალეების ჩაღუნვის გასაზომად სავალ ნაწილზე დაამაგრებენ სადეფორმაციო მარკებს, რომელთა რაოდენობა დამოკიდებულია მალეების კონსტრუქციულ თავისებურებებზე, გეგმაში ზომებსა და დატვირთვების სიდიდეებზე. ნიველობის კლასი დამოკიდებულია

ხიდის კატეგორიაზე და გაზომვის მოთხოვნილ სიზუსტეზე (ჩვეულებრივ II ან III კლ.).

ნაპირისგან მოშორებულ ბურჯებზე დაკვირვებები შეიძლება შესრულდეს ტრიგონომეტრიული ნიველობით **3 – 5** მმ სიზუსტით.

ბურჯების ჰორიზონტალური ძვრების განსაზღვრა შესაძლოა კუთხური გადაკვეთებით ან გასწვრივობიდან გადახრების გაზომვებით.

ბურჯების გვერდითი გადაადგილების (ხიდის ღერძის მიმართულებით) განსაზღვრისათვის პერიოდულად იზომება მანძილები ბურჯების ცენტრებს შორის ინვარის მავთულით ან მაღალი სიზუსტის დიფერენციალური შუქმანძილზომით.

ჰორიზონტალურ გადაადგილებებს საზღვრავენ  $m_{x,y} = 0,0004h$  (მაგრამ არაუმეტეს **5** მმ) საშუალო კვადრატული შეცდომით, სადაც ***h*** – ბურჯის სიმაღლეა, მ-ში.



## თავი 4. გეოდეზიური სამუშაოები მაგისტრალური მილსადენის მშენებლობის დროს

### 4.1. მილსადენის ტრასის მიმოკვლევა

მაგისტრალური მილსადენის დანიშნულებაა ნავთობის, ნავთობპროდუქტების და გაზის დიდ მანძილზე ტრანსპორტირება. მის შემადგენლობაში შედის:

- 1) სარეწიდან სათავო ნაგებობამდე მიმყვანი მილსადენი;
- 2) სათავო ნაგებობა, რომელიც შედგება სატუმბი სადგურებისგან (ან საკომპრესოროსგან გაზსადენისას) და სატევადო პარკისგან ნავთობის ან გაზის დასაგროვებლად;
- 3) ტრასაზე ყოველ **80 – 100** კმ-ზე განლაგებული შუალედური სადგურები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მილსადენში მაღალ წნევას;
- 4) წრფივი ნაგებობები – **500 – 1420** მმ დიამეტრიანი მილსადენები – ყოველ **5 – 10** კმ-ზე ჭებით და გადასასვლელებით მდინარეებზე (დიუკერებით), ხეობებზე (ესტაკადებით) და საგზაო მაგისტრალებზე.

მომსახურების გასაადვილებლად მაგისტრალური მილსადენის ტრასის გასწვრივ გაყავთ სატელეფონო ხაზი და გრუნტის გზა.

**მოთხოვნები დაპროექტებაზე.** მაგისტრალურ მილსადენს დებენ ნიადაგში არა ნაკლებ  $0,8$  მ სიღრმეზე. მცირე დიამეტრის მილსადენის ქანობს აპროექტებენ უმთავრესად ადგილის რელიეფის პარალელურად. პიკეტაჟს დაკვალავენ დახრილ ზედაპირზე, დახრილი მანძილებით ადგენენ გრძივ პროფილსაც. ტრასის გეგმას აგებენ ჰორიზონტალური ქვედებულებით.

დიდი დიამეტრის მილსადენს აპროექტებენ არა ადგილის ქანობის პარალელურად, არამედ გეგმასა და პროფილში გაანგარიშებული პარამეტრების მიხედვით. ამიტომ პიკეტაჟის დაკვალვა ხდება ჰორიზონტალური ქვედებულებით, ისევე, როგორც სხვა ტრასებზე.

ჰორიზონტალური მრუდების რადიუსს ნიშნავენ  $R(\text{მ}) \leq 0,9D$  ( $30$ ), სადაც  $D$  – მილსადენის გარე დიამეტრია მმ-ში. ვერტიკალურ მრუდებს აპროექტებენ მიწაყრილის (ზეინულის), ე.წ., დრეკადი ხაზის მიხედვით. რთულ პირობებში დასაშვებია მილსადენის გაყვანა ზედაპირულად – ბოძებზე.

**მიმოკვლევა ტექნიკური პროექტის შესადგენად.** მილსადენის საწყის პუნქტად ითვლება სათავო ნაგებობის მოედანი, საბოლოო პუნქტად კი – ქარხანა, ბაზა ან გამანაწილებელი პუნქტი. ამ პუნქტებს შორის ხდება ტრასის მიმოკვლევა ისე, რომ ის აკმაყოფილებდეს ყველა ტექნიკურ მოთხოვნას და ამასთან იყოს მინიმალური დანახარჯების მქონე, ე.ი. ოპტიმალური.

ტრასის ვარიანტებს მონიშნავენ ტოპოგრაფიულ გეგმაზე. შესაძლებლობის ფარგლებში, ტრასას უახლოებენ არსებულ რკინიგზას ან საავტომობილო გზას, ტრასის მშენებლობისა და ექსპლუატაციის დროს სატრანსპორტო მომსახურების მიზნით. ტრასის შერჩეული მიმართულების გასწვრივ ასრულებენ აეროფოტოაგეგმვას  $1:10000 - 1:20000$  მასშტაბით. ადგილზე ანვითარებენ გეოდეზიურ საფუძველს და ახდენენ

აეროფოტოსურათების გეგმურ-სასიმალო მიზმას და საველე დემიფირებას. ერთდროულად ასრულებენ მარშრუტულ საინჟინრო-გეოლოგიურ მსხვილმასშტაბიან აგეგმვას. **1: 5000 – 1: 10000** მასშტაბის ფოტოგეგმების შესწავლისა და მოცემული საინჟინრო-გეოლოგიური აგეგმვის საფუძველზე განისაზღვრება ტრასის ოპტიმალური ვარიანტი.

ტექნიკური მიმოკვლევის საველე ეტაპის დროს აზუსტებენ ტრასის მდებარეობას ნატურაში და ამაგრებენ მის ძირითად წერტილებს, ირჩევენ გადასასვლელებისა და სადგურების მოედნების ადგილებს.

დასახლებულ პუნქტებთან ტრასის მიახლოება არ შეიძლება **200 – 300** მ-ზე ახლოს. ამასთან ნავთობსადენის ტრასას აპროექტებენ დასახლებული პუნქტის ჰორიზონტზე დაბლა, ხოლო გაზსადენს – მაღლა.

ტრასის გასწვრივ ზოლის სიგანეს იღებენ **15 – 20** მ, ხოლო ტყეში განაკაფს აკეთებენ **12** მ სიგანით. თუ ტრასა შედგება ორი პარალელური ხაზისგან, მათ შორის მანძილს იღებენ **10** მ.

**მიმოკვლევა მუშა ნახაზების შესადგენად.** მუშა ნახაზების შესადგენად მიმოკვლევა – იგივე საველე ტრასირებაა. ამ დროს ზომავენ მოხვევის კუთხეებს და ადგილზე ამაგრებენ მოხვევის წვეროებს, დაკვალავენ პიკეტებს. სრულდება ნიველობა და გადასასვლელების აგეგმვა.

სამუშაოს ასრულებს საძიებო პარტია, რომლის შემადგენლობაში შედიან გეოდეზისტები, გეოლოგები და მუშები.

რეპერებს ტრასაზე ამაგრებენ ყოველ **2 – 3** კმ, ცდილობენ რა დაამთხვიონ მოხვევის კუთხეებს.

თუ ტრასა უზრუნველყოფილია სასიმალო საფუძველით, ნიველობას პიკეტებზე ასრულებენ ერთმაგი სვლით, ორმხრივი ლარტყებით. თუ არ არის უზრუნველყოფილი, მაშინ ნიველობას ასრულებენ ორი ხელსაწყოთი, ერთიმეორის მიყოლებით.

ტრასას აკავშირებენ გეოდეზიურ პუნქტებთან, დაახლოებით ყოველ 50 კმ-ზე. თუ პუნქტები არ არის, განსაზღვრული შუალედებით, ყოველ 30-40 გვერდის შემდეგ, განსაზღვრავენ ჭეშმარიტ აზიმუტს. სააგეგმო სვლების ზღვრული ფარდობითი შეუკვრელობა დასაშვებია **1:500 – 1:1000**, სანიველო სვლებში დასაშვები შეუკვრელობა კი იანგარიშება, როგორც ტექნიკური ნიველობისა.

**მოედნების და გადასასვლელების აგებმა.** მაგისტრალური მილსადენის ტრასის მიერ მდინარეების, ხეობების და სხვ. გადაკვეთისას საჭირო ხდება ამ ადგილების დაწვრილებითი აგებმა **1:500** ან **1:1000** მასშტაბით.

ტრასის გადასვლისას მდინარეებსა და ხეობებზე აკეთებენ დიუკერებს, ე.ი. მილსადენის ჩაღრმავებას წინალობის ფსკერზე დაბლა. მთის მდინარეებისა და ღრმა ხეობების გადაკვეთისას კი აგებენ ესტაკადებს.

რკინიგზებისა და საავტომობილო გზების გადაკვეთა მილსადენებით ხდება მართი კუთხით იმ ადგილებში, სადაც გზა გაყვანილია მიწაყრილში.

მილსადენის ტრასირების პარალელურად, ახდენენ სათავო ნაგებობათა მოედნების მიმოკვლევას და აგებმას – **1:500** მასშტაბით. სწორ ადგილებში აგებმას ასრულებენ ნიველობით კვადრატებზე, რთული რელიეფისას კი – ტაქტომეტრიული მეთოდით. ყოველ ასეთ მოედანზე ჩაამაგრებენ 1-2 რეპერს.

საველე ტრასირებისა და აეროფოტოაგეგმვის მასალების საფუძველზე შედგება ტრასის გეგმა **1:5000 – 1:10000** მასშტაბით, ცალკეული მოედნებისა და გადასასვლელების გეგმები კი – **1:500 – 1:1000** მასშტაბით, აგრეთვე ტრასისა და გადასასვლელების გრძივი პროფილები.

## 4.2. დაკვალვითი სამუშაოები მილსადენის მშენებლობის დროს

მილსადენის მშენებლობის დაწყების წინ აღადგენენ და დაამაგრებენ ადგილზე მოხვევის კუთხის წვეროებს, ტრასის პიკეტაჟს, დეტალურად დაკვალავენ მრუდებს, გაახშირებენ მუშა რეპერების ქსელს (ყოველ 1 კმ-ზე), ასრულებენ ხაზების საკონტროლო გაზომვებს და განმეორებით ნიველობას.

განსაკუთრებით გულდასმით უნდა შესრულდეს მილსადენის მოხვევის ადგილებში ტრანშეის დაკვალვა, რომ არ ქონდეს ადგილი მილსადენის შეხებას ტრანშეის კედლებთან.

გრძივი პროფილის გადაღუნვის ადგილებში დაკვალავენ დიდი რადიუსის მქონე ვერტიკალურ მრუდებს.

ზიგზაგიანი კონტურის მქონე ზედაპირულ მილსადენებს ტემპერატურული თვითკომპენსაციით, ამონტაჟებენ ბოძებზე ყოველ **100 – 120** მ-ში.

მდინარეებზე გადასვლისას ნაპირებზე ამაგრებენ დიუკერის ღერძს, ხოლო თხრილი მდინარის ფსკერზე უნდა ჩაღრმავდეს არა ნაკლებ **0,8 – 1** მ-ზე.

მთის მდინარეებსა და ღრმა ხეობებზე მილსადენის გადავლისას აგებენ ესტაკადებს, რომლის საყრდენების დასაკვალავად იყენებენ იმავე მეთოდებს, რასაც ხიდის ბურჯების დაკვალვის დროს.

მილსადენის ტრანშეაში ჩადების შემდეგ ხდება მისი შესრულებითი აგებმვა. შესრულებით გრძივ პროფილზე აჩვენებენ ნაყარის ზედაპირის ფაქტიურ სიმაღლეს, მილსადენის ზედა ნაწილის სიღრმეს, ტრანშეის სიღრმეს, აგრეთვე მილების დიამეტრს.

დიდი დიამეტრის მილსადენებში, შიგა წნევის ცვლილების შედეგად შეიძლება წარმოიშვას საგრძნობი გრძივი და განივი დეფორმაციები, მისი გამობერვა. ამიტომ დიდი დაწნევის

მაგისტრალურ მილსადენებზე აუცილებელია ჩატარდეს დეფორმაციებზე დაკვირვებები. ამ მიზნით უნდა აიგოს გეოდეზიური საფუძველი, რომელიც უზრუნველყოფს 1 – 2 სმ სიზუსტეს.

## **თავი 5. გეოდეზიური სამუშაოები ელექტრო-გადამცემი ხაზის მშენებლობის დროს**

### **5.1. ელექტრო-გადამცემი საჰაერო ხაზის ტრასის შერჩევა**

**ტრასის შერჩევის ტექნიკური პირობები.** ელექტრო-გადამცემი ხაზები იყოფა საკაბელო (მიწისქვეშა) და საჰაერო ხაზებად. საკაბელო ხაზი ძვირადღირებულია და გაიყვანება დასახლებულ ადგილებში. მაღალი ძაბვის ხაზები ძირითადად საჰაერო გზით გაიყვანება.

საჰაერო ხაზების ძირითადი ელემენტებია: საყრდენი ანძები, მავთულები და იზოლატორები.

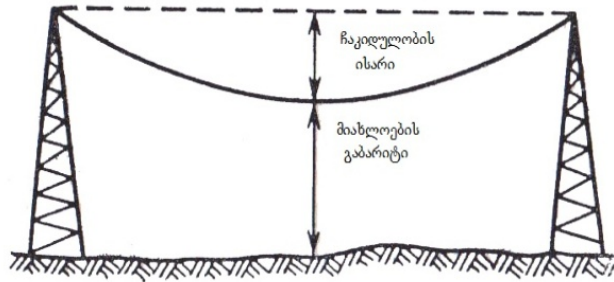
საყრდენი ანძებიდან ანსხვავებენ – ანკერულს და შუალედურს. ანკერული ანძა ისეთი საყრდენია, რომელიც მავთულის დაჭიმულობისაგან გამოწვეულ დაძაბულობას თავის თავზე იღებს. ანკერული ტიპის საყრდენებში გამოირჩევა კუთხური საყრდენები, რომლებსაც ტრასის მოხვევის წვეროებში აგებენ და სპეციალური საყრდენი ანძები, რომლებსაც აგებენ განიერი ან მაღალი

წინაღობის გადასასვლელებზე. შუალედურ საყრდენებს ანკერულ საყრდენებს შორის დაჭიმული მავთულების შესაკავებლად აყენებენ.

ორ მეზობელ საყრდენ ანძას შორის მანძილი ძაბვის სიდიდის მიხედვით განსხვავდება და შეადგენს: **110 – 150** კვ ძაბვის დროს – **200 – 300** მ; **220 – 500** კვ ძაბვის დროს – **300 – 400** მ; **750** კვ ძაბვის დროს – **350 – 450** მ.

ანკერული მალი, ე.ი. ორ მეზობელ საყრდენ ანძას შორის მანძილი 5-7 კმ ტოლი მიიღება.

ელექტრო-გადამცემი ხაზის ტრასის მიმოკვლევისას უნდა მხედველობაში იქნას მიღებული, ე.წ. გამტარების მიახლოების გაბარიტი, ანუ დასაშვები უმოკლესი მანძილი დაჭიმული გამტარის უდაბლეს წერტილსა (ჩაღუნვის ისრის მაქსიმალური სიდიდის დროს) და დედამიწის ზედაპირს შორის (ნახ. 5.1.1). მისი დასაშვები სიდიდე სხვადასხვა პირობებისათვის განსხვავებულია და შეადგენს: **220 – 500** კვ ძაბვის ხაზისათვის – დაუსახლებელ ადგილებში **7 – 8** მ-ს, ძნელად მისაწვდომ ადგილებში – **6 – 7** მ-ს; **750** კვ ძაბვისას შესაბამისად **12** მ და **10** მ-ს.



ნახ. 5.1.1

ჰორიზონტალური დაშორება გამტარებსა და უახლოეს შენობასა და ნაგებობამდე უნდა იყოს არანაკლებ: **110 – 500** კვ ძაბვისას – **20 – 30** მ; **750** კვ ძაბვისას კი **40** მ. ეს მანძილი გამტარის ორივე მხარეს ქმნის დამცავ ზონას, რომლის

ფარგლებში აკრძალულია ყოველგვარი სამშენებლო სამუშაოები, კარიერების დამუშავება, მასალების დასაწყობება.

მანძილი ორ მეზობელ მაღალი ძაბვის ხაზს შორის ან მაღალი ძაბვის ხაზსა და კავშირგაბმულობის ხაზს შორის არ უნდა იყოს ნაკლები მოცემულ უბანზე ყველაზე მაღალი ანძის სიმაღლეზე. **500** და **750** კვ ძაბვის დროს ეს მანძილი **50 – 100** მ-ია.

რკინიგზის ხაზის გადაკვეთის ან მასთან მიახლოებისას მანძილი ანძიდან ელმავლის საკონტაქტო ქსელის ღერძამდე არ უნდა იყოს ნაკლები ანძის სიმაღლე პლუს 3 მ. ვერტიკალური მანძილი ელექტრო-გადამცემი ხაზის გამტარებიდან რკინიგზის საკონტაქტო ქსელის ანძების წვერომდე არ უნდა იყოს **8 – 9** მ-ზე ნაკლები – **150 – 500** კვ ძაბვისას და **10,5 მ - 750** კვ ძაბვის დროს.

საავტომობილო გზის გადაკვეთისას უმცირესი მანძილი ანძიდან გზის კიდეზე შეიძლება იყოს ანძის სიმაღლის ტოლი. თუ ტრასა გადის გზის პარალელურად, ეს მანძილი იზრდება **5** მ-ით. ვერტიკალური მანძილი მავთულიდან გზამდე არ უნდა იყოს **8 – 9** მ-ზე ნაკლები **220 – 500** კვ ძაბვისას და **14 მ – 750** კვ ძაბვისას.

ტყის მასივის გადაკვეთისას, ტყეში განაკაფის სიგანე უნდა შეადგენდეს არანაკლებ განაპირა გამტარებს შორის მანძილი პლუს ხეების სიმაღლე.

მიწის ფართობი ელექტრო-გადამცემი ხაზის ქვეშ რჩება მიწის მფლობელის სარგებლობაში, იმ უბნების გარდა, რომლებიც ანძებს უჭირავთ.

ტრასის ზოლის სიგანე შეადგენს **15 – 30** მ.

**საჰაერო ხაზის მიმართულების შერჩევა.** დიდი მაგისტრალური ტრასის შერჩევა ხდება ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთების გზით. მცირე ტრასის მიმართულება შეიძლება შერჩეულ იქნას დაპროექტებაზე ტექნიკური დავალების მომზადებისას. ტრასა



შეირჩევა ტექნიკური მოთხოვნების შესაბამისად, ტოპოგრაფიული, საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდრომეტრული პირობების გათვალისწინებით.

ელექტრო-გადამცემი ხაზის საწყისი წერტილი, ჩვეულებრივ ჰიდროტექნიკური, თბური ან ატომური ელექტროსადგურია, საბოლოო წერტილი კი მსხვილი ტერიტორიულ-სამრეწველო კომპლექსი. ამ პუნქტებს შორის ტრასა უნდა იყოს რაც შეიძლება მცირე სიგრძის, გადიოდეს ხელსაყრელ ადგილებში და დანახარჯები იყოს მინიმალური.

ტრასის მიმოკვლევისას გვერდს უვლიან აეროდრომებს (არაუახლოეს 4 კმ-ზე), მჭიდროდ დასახლებულ პუნქტებს, ნაკრძალებს, საკურორტო ზონებს და ნაყოფიერ მიწებს. სასურველია, რომ ტრასამ რაც შეიძლება ნაკლებად გადაკვეთოს შენაკადები, ხეობები, საინჟინრო ნაგებობები. ტრასის გადახვევა ახლოს უნდა იყოს მართ კუთხესთან და არანაკლებ 45°. არ არის სასურველი ტრასის მოხვევა წინალობებსა და გადასასვლელებზე. შესაძლებლობის მიხედვით ტრასას უახლოებენ არსებულ გზებს.

ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიკური შედარებით შეირჩევა ტრასა, რომელიც ეკონომიურია და საიმედოა ექსპლუატაციაში.

**ტრასის საველე დათვალიერება.** ადგილზე ტრასის დათვალიერებისას აზუსტებენ ტოპოგრაფიულ და გეოლოგიურ პირობებს, რომლის დროსაც განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევენ მდინარეებსა და სხვა წინალობებზე გადასასვლელების შერჩევას, რომლის შემდეგ ტრასას ადგილზე ამაგრებენ გრუნტის ნიშნებით.

საველე დათვალიერებისას ავსებენ სპეციალურ ჟურნალს, რომელშიც შეიტანენ ტრასის სქემას და მის მიბმას ადგილობრივ საგნებზე.

## 5.2. საჰაერო ტრასის საპროექტო ტექნიკური მიმოკვლევა

ელექტრო-გადამცემი საჰაერო ხაზის ტექნიკური მიმოკვლევა ტარდება შერჩეული და დამტკიცებული ოპტიმალური მიმართულებით.

ამ მიმოკვლევის მიზანია მოპოვებულ იქნას მასალები ტექნიკური ან სამუშაო პროექტის დასამუშავებლად.

მცირე სიგრძის ტრასებისათვის ტექნიკურ მიმოკვლევას ასრულებენ ზედაპირული მეთოდებით, დიდი ტრასებისათვის კი იყენებენ აერომეთოდებს.

**ზედაპირული მეთოდი.** შერჩეული ტრასის ძირითადი წერტილები მიბმის მასალების მიხედვით ან კოორდინატებით გამოაქვთ პროექტიდან ნატურაში. ამ წერტილებით განისაზღვრება ტრასის მიმართულება და დაინიშნება გასწვრივობაში წერტილები ყოველ **500 – 700** მ, მაგრამ არა უმეტეს **1** კმ.

ელექტრო-გადამცემი ხაზი შედგება მხოლოდ სწორი მონაკვეთებისგან, მრუდების გარეშე, მოხვევის კუთხის წვეროებით, რომლებიც ხელსაყრელ ადგილებში დაინიშნება. რადგან მრუდები არ გვაქვს, პიკეტებს დაკვალავენ მინაზომის გარეშე.

საგზაო და მილსადენი ტრასებისგან განსხვავებით, სადაც პიკეტაჟის დაკვალვა აუცილებელია პროექტის ნატურაში გადასატანად, საჰაერო ხაზის ტრასაზე პიკეტების არსებობა ყოველ **100** მ-ში განსაკუთრებულ როლს არ თამაშობს. გრძივი პროფილი შეიძლება შედგეს რელიეფის დამახასიათებელ წერტილებზე აღებული პლუს წერტილების მიხედვით. ტრასაზე ანძების დაკვალვა ხდება უახლოესი მოხვევის კუთხის ან გასწვრივობის წერტილიდან. ამიტომ საჰაერო ხაზების მიმოკვლევას ეფექტურია ტრასირების უპიკეტაჟო ხერხი.

ტრასის ნიველობა სრულდება გრძივი პროფილის შედგენის მიზნით, რომელზეც აპროექტებენ ანძის მდებარეობას და სიმაღლეს, რომელიც გამტარების მიახლოების გაანგარიშებულ გაბარიტს უზრუნველყოფს. სიმაღლეში დაშვებული შეცდომა პლუს

წერტილების შერჩევისას არ უნდა აღმატებოდეს **0,3** მ-ს. ნიველობის სიზუსტეც ამ სიდიდის შესაბამისი უნდა იყოს. ვაკე ადგილებში ძირითადად სრულდება, ტექნიკური ნიველობა, ხოლო მთიან ადგილებში – ტრიგონომეტრიული ნიველობა. ტრასაზე ყოველ **8–10** კმ ჩასვამენ რკინაბეტონის რეპერებს.

ორი პარალელური საჰაერო ხაზის ტრასირებისას, ყოველ **3–5** კმ ტრასები დაკავშირდება ერთი დასახელების წერტილებით – მოხვევის წვეროებით ან გასწვრივობის წერტილებით. ამ შემთხვევაში, რეპერებს ორივე ტრასისთვის საერთოს აყენებენ, ტრასების მიმართულებებს შორის შუაში.

საჰაერო ხაზის ზოლის აგეგმვისათვის ტაქსომეტრიული სვლების გამოყენებისას დახრის კუთხეებს ზომავენ ორი წრედით. სვლაში პუნქტებს ირჩევენ ტრასის გასწვრივ რელიეფისა და სიტუაციის აგეგმვის უზრუნველყოფის ანგარიშით. სვლების გეგმურ-სასიმალო მიბმა ხორციელდება ყოველ **15–20** კმ, სვლის შეუკერელობამ არ უნდა გადაჭარბოს – თეოდოლიტურ – სანიველო სვლაში – ხაზოვანმა **1:800**, სასიმალომ **5√L**, სმ, ტაქსომეტრიულ სვლაში – ხაზოვანმა **1:300**, სასიმალომ **30√L**, სმ.

**აერომეთოდი.** ამ მეთოდის გამოყენებისას, ტრასის შერჩეული მიმართულების გასწვრივ ასრულებენ მარშრუტულ აეროფოტოაგეგმვას **1:12000–1:15000** მასშტაბით, მთიან რაიონებში – **1:8000–1:10000** მასშტაბით, ხოლო მოედნებსა და დიდ წინაღობებს გადაიღებენ **1:4000–1:6000** მასშტაბით.

საველე მომზადება შედგება აეროფოტოსურათების მიბმისა და დეშიფრირებისგან და წინალობათა სიმაღლეების განსაზღვრისგან.

ტოპოგეგმაზე დანიშნული ტრასა ზუსტდება ფოტოსქემების, სტერეოწყვილების და ფოტოგეგმების მიხედვით.

სივრცული ფოტოტრიანგულაციის დახმარებითა და აეროფოტოსურათების სტერეოდამუშავებით განისაზღვრება

მოხვევის კუთხის წვეროების, გასწვრივობის, წინაღობების და სხვ. წერტილების კოორდინატები, აგრეთვე ანგარიშობენ საპიკეტო წერტილების ნიშნულებს და ტრასის ნატურაში მიბმის მონაცემებს.

ფოტოგრამეტრიული სამუშაოების შედეგად შედგება ტრასის გეგმა და პროფილი.

**საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდროლოგიური სამუშაოები.** ტრასის კომპლექსური შესწავლის მიზნით სრულდება ტრასის **300**მ სიგანის ზოლის მარშრუტული საინჟინრო-გეოლოგიური მსხვილმასშტაბიანი აგეგმვა.

ანძების განლაგების ადგილების დაპროექტებისას, აუცილებელია დეტალური გეოლოგიური და ჰიდროლოგიური მიმოკვლევა, რომელიც მიმოკვლევის მეორე სტადიაზე სრულდება მუშა ნახაზების შესადგენად. ამისათვის ანძების განლაგების პროექტი გადააქვთ ადგილზე, გაბურღავენ დაზვერვით ჭაბურღილებს თითოეული ანძის ადგილზე და შეისწავლიან წყლის რეჟიმს. ერთდროულად აგეგმავენ ადგილს  $1:500$  მასშტაბით  $h = 0,5$  მ კვეთის სიმაღლით.

**ანძების საპროექტო მდებარეობის ნატურაში დაკვალვა.** ანძების ცენტრების ადგილზე დაკვალვისათვის ძირითადი მასალებია ელექტრო-გადამცემი ხაზის სამუშაო გეგმა და პროფილი, აგრეთვე ტრასის გეოდეზიურ პუნქტებზე ან სხვა საგნებზე მიბმის მონაცემები.

გეგმაზე აჩვენებენ ანძების განლაგებას მათი ტიპის, პიკეტაჟის და ნომრის ჩვენებით. მოხვევის წვეროებზე აწერენ მოხვევის კუთხის სიდიდეს. ტრასის სიტუაციის ელემენტებთან გადაკვეთის ადგილებში აწერენ წინაღობათა ნიშნულებს. გრძივ პროფილზე აჩვენებენ აგრეთვე საყრდენი ანძების დაყენების ადგილებს და ანძებს შორის მანძილებს.

ანძების დაკვალვა ხდება მათი საპიკეტაჟო მნიშვნელობებით უახლოესი დამაგრებული წერტილებიდან. მანძილებს დამაგრებული

წერტილებიდან ანძებამდე ან ანძებს შორის ზომავენ მანძილშომით, თითოეულ მალში დახრილობისათვის შესწორების შეტანით და აკონტროლებენ დამაგრებულ ნიშნებზე მიბმით.

ანძებს შორის გაზომილი მანძილების გადახრამ საპროექტოსგან არ უნდა გადააჭარბოს მალის სიგრძის  $1/200$ . მიღებული შეუკვრელობა ნაწილდება მეზობელ მალეებზე. საჭიროების შემთხვევაში, ანძის ცენტრის ადგილის გადანაცვლება დასაშვებია ტრასის გასწვრივ 3 მ-ით.

ანძების ცენტრების დანიშვნისას ასრულებენ დედამიწის ზედაპირიდან გამტარების მიახლოების გაბარიტის საკონტროლო განსაზღვრას.

აგებული ელექტრო-გადამცემი საჰაერო ხაზის შესრულებითი აგებმისას იზომება ცალკეულ ანძებს შორის მანძილები, გამტარების მიახლოების გაბარიტები და ანძების დაყენების ვერტიკალურობა.

დამთავრებული საჰაერო ტრასის თვალსაჩინო სურათს იძლევა ტრასის გასწვრივ ჩატარებული მარშრუტული აეროფოტოაგეგმვა, რომელზეც კარგად ჩანს ცალკეული ანძები, ქვესადგურები, მდინარეებსა და ხეობებზე გადასასვლელები და სიტუაციის სხვა ელემენტები.

## თავი 6. გეოდეზიური სამუშაოები აეროპორტის მშენებლობის დროს

### 6.1. აეროპორტის ტერიტორიის მიმოკვლევა

**აეროპორტის ნაგებობები.** აეროპორტები დანიშნულების მიხედვით არიან საერთაშორისო, რესპუბლიკური და ადგილობრივი მნიშვნელობის. რაც უფრო მეტი მგზავრის გადაყვანა და აფრენა-დაჯდომის ოპერაციები სრულდება, მით მეტი მაღალი კატეგორიისაა აეროპორტი.

აეროპორტი რთული კომპლექსური ნაგებობაა, რომელიც შედგება აეროდრომისგან, საჰაერო მისასვლელი ზოლებისგან, სამოსამსახურო-ტექნიკური ტერიტორიისგან, აგრეთვე რადიონავიგაციის და აფრენა-დაჯდომის მართვის ობიექტებისგან.

აეროდრომის ტერიტორიაზე გაზრდილი სიზუსტით ტარდება რელიეფის კერტიკალური დაგეგმარება. მთავარ ასაფრენ ზოლს განლაგებენ ქარების გაბატონებული მიმართულების გასწვრივ, რომელსაც გვერდებიდან და ბოლოში ესაზღვრება უსაფრთხოების

ზოლები. ზოლებს აკეთებენ ძირითადად, ცემენტ-ბეტონის საფარველით, რომელიც უზრუნველყოფილია შუქსიგნალიზაციით და რადიოტექნიკური მოწყობილობით. გვერდითი ზოლის რემონტისას, სათანადოგოდ აკეთებენ გრუნტის ასაფრენ-დასაჯდომ ზოლს.

თვითმფრინავების დგომისა და მომსახურებისათვის აგებენ მათ დასაყენებელ ადგილებს. სამოსამსახურო დანიშნულების ნაგებობებში განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს მიწისქვეშა საინჟინრო ქსელს, რომელიც შედგება წყლის მოსაშორებელი სისტემისგან, წყალგამტარი ქსელისგან, საკაბელო და საკომუნიკაციო ხაზებისგან და სხვ. სამოსამსახურო-ტექნიკურ ტერიტორიაზე აიგება სატრანსპორტო და ადმინისტრაციულ-სამოსამსახურო დანიშნულების ნაგებობები (აეროვაგზალი, პერონი, ტექნიკური სამსახური), სარემონტო დანიშნულების ნაგებობა, საწყობი და სხვა ნაგებობები, რომლებიც ფრენის ნორმალური პირობების შექმნას ემსახურებიან.

#### **აეროპორტის მოედნის შერჩევისადმი მოთხოვნები.**

აეროპორტის მოედნის შერჩევისას უნდა გათვალისწინებულ იქნას შემდეგი მოთხოვნები:

- მოედანი უნდა იყოს საკმარისი ზომების, რათა განლაგებულ იქნას მასზე ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი ნაგებობა. მოედანი უნდა ორიენტირებულ იქნას გაბატონებული ქარების მიმართულებით;
- აფრენა-დაჯდომის ოპერაციების უსაფრთხოებისათვის აუცილებელია, რომ მოედნის რელიეფს ქონდეს არა უმეტეს 0,02 ქანობისა. წვიმის წყლის სწრაფი მოცილებისათვის ასაფრენ მოედანს არ უნდა ქონდეს 0,005 ქანობზე ნაკლები. ამ პირობებში შესასრულებელ სამუშაოთა მოცულობა იქნება მინიმალური;
- მოედანს უნდა ქონდეს ღია საჰაერო მისასვლელები, განსაკუთრებით გაბატონებული ქარების მიმართულებით;

- გრუნტი უნდა იყოს მდგრადი და წყლის ღრმა ჩაწოლით. მოედანზე არ უნდა იყოს დაჭაობებული უბნები, ხეობები, არ უნდა ქონდეს ადგილი მეწყერულ მოვლენებს და არ იჭერდეს მოვარდნილ წყლებს.

**სამუშაოები აეროპორტის მიმოკვლევისას.** ზემოთ ჩამოთვლილი მოთხოვნების გათვალისწინებით შერჩეულ მოედანზე ასრულებენ კომპლექსურ მიმოკვლევას მსხვილმასშტაბიანი გეგმების შესადგენად და პროექტის ადგილზე გადასატანად.

მოედნის შერჩევა ხდება კამერალურად: ტოპოგეგმის მიხედვით შეისწავლიან რაიონის ტერიტორიას და არსებული გეგმური და სასიმაღლო გეოდეზიური საფუძვლის მონაცემებს.

მსხვილი აეროპორტების დაპროექტება ხდება ორ სტადიად: ტექნიკური პროექტი და მუშა ნახაზები და მათ შესაბამისად, ასრულებენ შემდეგ საინჟინრო-გეოდეზიურ სამუშაოებს:

- 1) ტექნიკური პროექტისათვის მიმოკვლევის სტადიაში: ა) მთავარი ასაფრენი ზოლის მიმართულებით ტრასირება და ამ მიმართულების პარალელურად **400 x 400** მ გვერდების მქონე კვადრატების დაკვალვა; ბ) აეროპორტის მოედნის აგეგმვა მიმდებარე ტერიტორიით **1:5000** მასშტაბით რელიეფის **0,5 – 1** მ კვეთით; გ) საჰაერო მისასვლელების გამარტივებული აგეგმვა წინაღობების დაწვრილებითი დახასიათებით, მათი სიმაღლეების და საფუძვლის პუნქტების ნიშნულების განსაზღვრით;
- 2) მუშა ნახაზებისთვის მიმოკვლევის სტადიაში: ა) **1:2000 – 1:1000** მასშტაბით მოედნის აგეგმვისათვის და პროექტის ადგილზე გადატანისათვის გეოდეზიური საფუძვლის შექმნა; ბ) აეროდრომის მოედნის აგეგმვა **1:2000** მასშტაბით რელიეფის **0,50 – 0,25** მ კვეთით, კვადრატებზე ნიველობის გზით; გ) განაშენიანების ტერიტორიის აგეგმვა **1:1000 – 1:500** მასშტაბით რელიეფის კვეთით 0,5 მ; დ) მისასვლელი გზების,



წყალგამტარების ელექტრო-გადამცემი ხაზების,  
ღვარგამტარი კოლექტორების ტრასების მიმოკვლევა.

გეოდეზიურ სამუშაოებთან ერთად საჭიროა მოედნის  
საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდროლოგიური მიმოკვლევა,  
აგრეთვე ნიადაგის გამოკვლევა და მეტეოროლოგიური მონაცემების  
შეგროვება ქარის მიმართულებასა და სიჩქარეზე, ნალექების  
რაოდენობაზე, ტემპერატურულ რეჟიმსა და ჰაერის ტენიანობაზე  
და სხვ.

## 6.2. აეროპორტის მშენებლობის გეოდეზიური საფუძველი

**გეოდეზიური საფუძვლის სიზუსტე.** აეროპორტის მოედნის  
მიმოკვლევის პროცესში შექმნილი გეოდეზიური ქსელი, როგორც  
საფუძველი აგეგმვითი სამუშაოებისათვის, ჩვეულებრივ  
წარმოადგენს საყრდენს აეროპორტის პროექტის ადგილზე  
გადატანისთვის. ამიტომ ამ საფუძველმა სიზუსტის მიხედვით უნდა  
დააკმაყოფილოს, როგორც აგეგმვითი სამუშაოების მოთხოვნები,  
ისე განაშენიანების და ასაფრენი ზოლების ძირითადი ღერძებისა  
და წითელი ხაზების დაკვალვისათვის წაყენებული მოთხოვნები.  
გარდა ამისა, დაკვალვითი სამუშაოების გამარტივებისათვის  
ცდილობენ გეოდეზიური პუნქტები მოათავსონ **400 × 400 მ**  
კვადრატების წვეროებში.

ამ მოთხოვნათა დასაკმაყოფილებლად, გეოდეზიური  
საფუძვლის პუნქტების ურთიერთმდებარეობის სკმ არ უნდა

გადააჭარბოს **10** სმ-ს, ხოლო რეპერების სიმაღლეში შეცდომებმა გამოსავალი რეპერის მიმართ – 25 მმ-ს.

**გეგმური საფუძველი.** აეროპორტების მიმოკვლევისას **1: 5000** მასშტაბით ასაგეგმავი მოედანი შეიძლება 20 კმ<sup>2</sup> ფართობს შეადგენდეს, **1: 2000** მასშტაბით – 5-8კმ<sup>2</sup> ფართობს (აეროდრომის ტერიტორია), **1: 500 – 1: 1000** მასშტაბით – 1კმ<sup>2</sup> ფართობს (განაშენიანების ტერიტორია). ამიტომ აეროპორტის მიმოკვლევის პრაქტიკაში **1: 5000** მასშტაბში აგეგმვას, ჩვეულებრივ სააგეგმო საფუძველზე ატარებენ, ხოლო გეოდეზიურ საფუძველს ხაზოვან-კუთხური აგების სახით, ქმნიან **1: 2000** და **1: 500 – 1: 1000** მასშტაბით მოედნის აგეგმვისათვის, აგრეთვე დაკავალვითი სამუშაოებისათვის.

გეოდეზიურ დაკავალვით საფუძველს, უმთავრესად ანვითარებენ პოლიგონომეტრიის სვლების, ან უდიაგონალეზო ოთხკუთხედების მწკრივის სახით. გეოდეზიურ პუნქტებს განალაგებენ აეროპორტის ძირითადი ნაგებობების ახლოს და უთავსებენ **400 × 400** მ კვადრატების წვეროებს.

პოლიგონომეტრიას აპროექტებენ შეკრული სვლებით. გვერდებს ზომავენ შუქ – ან რადიომანძილმზომებით, პარალაქსური ხერხით, სკალებიანი ბაფთებით, ან ხვეულათი.

უდიაგონალეზო ოთხკუთხედების დროს **400** მ სიგრძის გვერდებს ზომავენ პერიმეტრზე შუქმანძილმზომით ან პარალაქსური ხერხით. ოთხკუთხედში იზომება ყველა კუთხე. მწკრივებს აკავშირებენ ცნობილი გვერდებით.

**სასიმაღლო საფუძველი.** აეროპორტის მოედნის წერტილთა ნიშნულებით შედგება ვერტიკალური დაგეგმარების პროექტი და იანგარიშება მიწის სამუშაოების მოცულობა. ნიშნულების მიხედვით გამოაქვთ ნატურაში აეროდრომის ზედაპირის ყველა ელემენტები, აგრეთვე მიწისქვეშა კომუნიკაციები.

სასიმაღლო საფუძველად იყენებენ III კლასის ნიველობის ქსელს, რომელიც ჩაკეტილი პოლიგონების სახით სრულდება

პოლიგონომეტრიის ან უდიაგონალეზო ოთხკუთხედების სვლებზე. გეგმურ ნიშნებს შეუთავსებენ სასიმაღლოს. III კლასის რეპერებს შორის ასრულებენ IV კლასის სანიველო სვლებს ძირითადი კვადრატების გვერდებზე.

**პუნქტების ჩამაგრება.** გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებს ჩამაგრებენ ბეტონის ნიშნებით, მუშა საფუძვლის წერტილებს – ხის ბოძებით. რადგანაც თითოეული გეგმური ნიშანი იმავდროულად რეპერსაც წარმოადგენს, ამიტომ მათ ამაგრებენ უფრო ღრმად. იყენებენ სხვადასხვა კონსტრუქციის ნიშნებს, უფრო ხშირად 5–6 სმ დიამეტრის მილს ნახევარსფეროს თავით. ნიშნის ცენტრი მიწის ზედაპირის დონეზე ან 5–10 სმ-ით დაბლა უნდა იყოს. ნიშანს ჩააბეტონებენ. თუ ხის ნიშანს იყენებენ, თავზე დაასობენ ლურსმანს.

**მიბმა.** აეროპორტის მოედანზე აგებულ გეოდეზიურ საფუძველს, როგორც წესი, გამოთვლიან სახელმწიფო სისტემის კოორდინატებში და აბსოლუტურ ნიშნულებში, ე.ი. მიბმა ხდება სახელმწიფო ქსელის პუნქტებზე. თუ აღნიშნულის შესაძლებლობა არ არის, მაშინ ქსელის ერთ გვერდზე განსაზღვრავენ ასტრონომიულ აზიმუტს აგეგმვისა და აეროდრომის ღერძების ორიენტირებისთვის ჭეშმარიტი მერიდიანის მიხედვით.

### 6.3. აეროპორტის ტერიტორიის აგეგმვა

**კვადრატების ძირითადი ბადის დაკვალვა.** გეოდეზიურ სამუშაოებს აეროპორტის მოედანზე იწყებენ ასაფრენი ზოლის ძირითადი მიმართულების დაკვალვიდან. ადგილზე ეს მიმართულება გადააქვთ მოცემული აზიმუტით და დაკვალავენ ყოველ 400 მ. დაეყრდნობიან რა ამ წერტილებს, მთელ მოედანზე დაკვალავენ 400×400 მ კვადრატების ძირითად ბადეს. ერთდროულად სრულდება გვერდებისა და კუთხეების გაზომვები, ბადის ყველა

პუნქტის კოორდინატების განსაზღვრისათვის. მუდმივი ნიშნების ჩამაგრების შემდეგ, მათზე ასრულებენ IV კლ. სანიველო სვლას.

**1:5000** მასშტაბით აგეგმვა. ტექნიკური პროექტის შესაღვენად მოედანს აგეგმავენ **1:5000** მასშტაბით რელიეფის კვეთით **0,5 – 1** მ. გეგმურ და სასიმაღლო საფუძველს წარმოადგენს კვადრატების ძირითადი ბადე, ხოლო იქ, სადაც ბადე არ არის, საფუძველს წარმოადგენს თეოდოლიტური და სანიველო სვლების ქსელი.

მოედანს აგეგმავენ ტოპოგრაფიული მეთოდით, რომელიც რელიეფის გულდასმით გამოსახვის საშუალებას იძლევა. დიდ მოედნებზე იყენებენ სტერეოტოპოგრაფიულ მეთოდს.

**1:2000** და **1:1000** მასშტაბით აგეგმვა. აეროპორტის მუშა ნახაზების შესაღვენად აეროდრომის ტერიტორიას აგეგმავენ **1:2000** მასშტაბით და განაშენიანების ტერიტორიას – **1:1000** მასშტაბით, მოედნის ნიველობით. სააგეგმო საფუძველად ამ დროს გვემსახურება **400** მ-იანი ძირითადი ბადე, რომელიც გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებს ეყრდნობა. ძირითადი კვადრატების შიგნით იკვალება **40 × 40** მ ბადე **1:2000** მასშტაბით აგეგმვისათვის და **20 × 20** მ ბადე **1:1000** მასშტაბით აგეგმვისათვის. ერთდროულად ასრულებენ სიტუაციის აგეგმვას, რომელსაც ბადესთან აკავშირებენ ხაზოვანი გადაკვეთებით, პერპენდიკულარების ან პოლარული ხერხით.

ასაფრენი ზოლის ტერიტორიაზე ნიველობას ასრულებენ განსაკუთრებით გულდასმით. საველე სამუშაოების დამთავრების შემდეგ აღგენენ გეგმას **1:2000** მასშტაბით (განაშენიანების ტერიტორიისათვის **1:1000** მასშტაბით). გეგმაზე კოორდინატებით დააქვთ გეოდეზიური პუნქტები და მათ მიხედვით – კვადრატების ბადე. ამ ბადის მიხედვით, აბრისებით გადააქვთ გეგმაზე სიტუაცია. პუნქტებს მიუწერენ ნიშნულებს და ატარებენ ჰორიზონტალებს **0,25 – 0,5** მ კვეთით.

## 6.4. აეროპორტის მისასვლელების აგებმვა

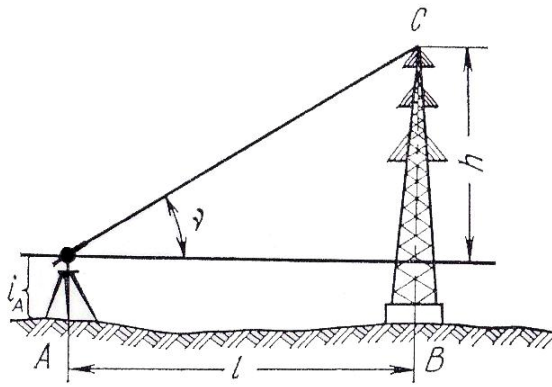
აეროპორტის მოედანს, მოთხოვნების მიხედვით, წინასწარ შეარჩევენ არსებულ გეგმებზე, ხოლო მისი საბოლოო დაზუსტება ხდება ადგილის დათვალიერების შემდეგ.

როგორც მისასვლელი, ისე მოედანი უნდა მიბმულ იქნას გეგმურად და სასიმაღლოდ გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებზე. სასურველია სხვადასხვა სვლების ერთმანეთთან დაკავშირება, რათა მივიღოთ შეკრული პოლიგონები, რომლებიც საიმედო კონტროლის საშუალებას იძლევა.

**მისასვლელების აგებმვა.** საჰაერო მისასვლელების გეგმებს ადგენენ არსებული ტოპოგრაფიული და ფოტოგეგმების საფუძველზე. განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევენ არსებული შენობა-ნაგებობების და სხვა მაღალი წინააღობების სიმაღლეთა განსაზღვრას, რომლებმაც შეიძლება დაბრკოლება შეუქმნას აფრენა-დაჯდომის ოპერაციებს.

წინააღობათა სიმაღლეების განსაზღვრა შესაძლებელია რამდენიმე ხერხით:

**ტრიგონომეტრიული ნიველობის ხერხის** გამოყენებისას ზომავენ  $l$  მანძილს წინააღობამდე და  $\alpha$  დახრის კუთხეს –  $H_A$  სიმაღლის მქონე  $A$  საყრდენ პუნქტზე, რის შემდეგ ანგარიშობენ წინააღობის  $C$  წერტილის სიმაღლეს (ნახ. 6.4.1)

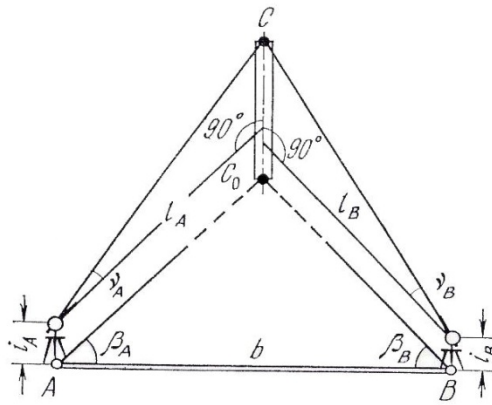


ნახ. 6.4.1

$$H_C = H_A + l_A + l \operatorname{tg} \gamma . \quad (6.4.1)$$

პირდაპირი სივრცული გადაკვეთის ხერხის დროს ადგილზე შეარჩევენ ბაზისს იმ ანგარიშით, რომ მისი ბოლო პუნქტებიდან ჩანდეს წინააღობის წვერო. ბაზისს გეგმურად მიაბამენ მოედნის გეოდეზიურ საფუძველს და გადასცემენ ბაზისის ბოლოებზე ნიშნულებს (შესაძლებლობის შემთხვევაში ბაზისად ირჩევენ კვადრატის გვერდს).

გვეცოდინება რა ბაზისის  $b$  სიგრძე,  $\beta_A$  და  $\beta_B$  გაზომილი კუთხეებით განისაზღვრება  $l_A$  და  $l_B$  მანძილები წინააღობამდე, ხოლო  $v_A$  და  $v_B$  გაზომილი დახრის კუთხეებით –  $h_A$  და  $h_B$  აღმატებები (ნახ. 6.4.2).



ნახ. 6.4.2

**A** და **B** საღურების სიმაღლეებით ორჯერ განისაზღვრება წინალობის **C** წვეროს სიმაღლე

$$\left. \begin{aligned} H_{C_A} &= H_A + l_A + l_A \operatorname{tg} \gamma_A, \\ H_{C_B} &= H_B + l_B + l_B \operatorname{tg} \gamma_B. \end{aligned} \right\} \quad (6.4.2)$$

სადაც

$$\left. \begin{aligned} l_A &= b \frac{\sin \beta_B}{\sin (\beta_A + \beta_B)}, \\ l_B &= b \frac{\sin \beta_A}{\sin (\beta_A + \beta_B)}. \end{aligned} \right\} \quad (6.4.3)$$

ამ ხერხით წინალობის სიმაღლის განსაზღვრის სიზუსტე დამოკიდებულია ბაზისის, კორიზონტალური და უმთავრესად ვერტიკალური კუთხეების გაზომვის სიზუსტეზე. ინსტრუმენტის სიმაღლეთა გაზომვის შეცდომებს მათი მცირე გავლენის გამო, უგულებელყოფენ. რადგანაც ამ ხერხის დროს წინალობის სიმაღლე ორჯერ ისაზღვრება, ამიტომ მოსალოდნელია, რომ საშუალო სიმაღლის შეცდომა  $\sqrt{2}$ -ჯერ ნაკლები იქნება, ვიდრე წინა ხერხის დროს.

წინალობის სიმაღლის განსაზღვრა შესაძლებელია ვერტიკალური გადაკვეთის ხერხის გამოყენებითაც ადგილზე შერჩეული ორი სხვადასხვა სიმაღლის მქონე პუნქტებიდან. ამ

ხერხებს გარდა, უფრო წარმატებით და ეფექტურად იყენებენ სტერეოფოტოგრაფიულ აგეგმვას ფოტოთეოდოლიტის გამოყენებით.

წინააღმდეგობა სიმაღლეების განსაზღვრის შემდეგ ადგენენ საპაეო მისასვლელების გეგმას და პროფილს.

## 6.5. ასაფრენი ზოლების ღერძების დაკვალვა

დაკვალვითი სამუშაოების წინ ამოწმებენ გეგმური და სასიმაღლო საფუძვლის პუნქტების ფიზიკურ მდგომარეობას – ზომ არ არიან დაძრულნი ან განადგურებულნი. შერჩევით ამოწმებენ ნიშნებს **40 × 40** მ კვადრატების წვეროებზე. განსაკუთრებით ამოწმებენ იმ პუნქტების გეგმურ მდებარეობას, რომლებიდანაც დაიკვალება ასაფრენი ზოლების ღერძები.

აეროპორტის ნაგებობათა პროექტის ნატურაში გადატანას იწყებენ ასაფრენ-დასაჯდომი ზოლის გრძივი ღერძის ადგილზე დაკვალვით. მათგან კი სრულდება აეროდრომის ნაგებობათა დაკვალვები.

ღერძების დაკვალვა გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებიდან, მიბმის სქემის მიხედვით სრულდება. ჩვეულებრივ, საფუძვლის და ღერძის პუნქტების კოორდინატებით, შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნით მიღებული მანძილებითა და კუთხეებით (პოლარული კოორდინატებით) ადგილზე პოულობენ ასაფრენი ზოლის ღერძის საწყის და ბოლო პუნქტებს. მათ შორის დაიკვალება პიკეტები – ბოლოებიდან შუისკენ ისე, რომ უზრუნველყოფილ იქნას ღერძის დაკვალვა **1:5000** ფარდობითი ცდომილებით.

დაკვალვის შემდეგ დროებით ნიშნებს შეცვლიან მუდმივით – მთავარ წერტილებზე აყენებენ რეპერის ტიპის ბეტონის ნიშნებს,



ზოლო პიკეტებზე ხის პალოებს ლურსმნით ცენტრების ადგილზე. გრძივ ღერძს დამატებით ამაგრებენ ზოლის გარეთ **100 – 150** მ-ზე გატანილი მყარი ნიშნებით.

მისასვლელი და სხვა გზების ღერძების დაკვალვა ხდება ასაფრენი ზოლის გრძივი ღერძიდან.

დაკვალვითი სამუშაოების დამთავრების შემდეგ ადგენენ აეროდრომის ღერძების დაკვალვისა და დამაგრების შესრულებით ნახაზს – **1: 5000** მასშტაბით და ახდენენ შესრულებითი გაზომვების სიზუსტის შეფასებას.

ასაფრენ-სადაჯდომი ზოლის ღერძის სიგრძეში შეცდომა შეიძლება განსაზღვრულ იქნას ფორმულით

$$m_L^2 = \frac{1}{2}(m_1^2 + m_2^2) \quad (6.5.1)$$

სადაც  $m_1$  და  $m_2$  ასაფრენი ზოლის მთავარი წერტილების დამოუკიდებლად განსაზღვრის შეცდომებია. პუნქტების პოლარული კოორდინატებით დაკვალვის დროს გვაქვს

$$\left. \begin{aligned} m_1^2 &= m_{i_1}^2 + l_1^2 \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2, \\ m_2^2 &= m_{i_2}^2 + l_2^2 \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 + m_{\beta_{\text{ფ.წ}}}^2, \end{aligned} \right\} \quad (6.5.2)$$

სადაც  $m_{\beta_{\text{ფ.წ}}}$  არის გამოსავალი მონაცემების შეცდომა, კონკრეტულად იმ პუნქტების ურთიერთმდებარეობის შეცდომა, რომლებიდანაც ხდება 1 და 2 პუნქტების განსაზღვრა;  $m_{i_1}$  და  $m_{i_2} = l_1$  და  $l_2$  საპროექტო მანძილების გადაზომვის შეცდომები;  $m_\beta = \beta$  საპროექტო კუთხის აგების შეცდომა. თუ მივიღებთ, რომ  $l_1 = l_2 = l$ ,  $m_{i_1} = m_{i_2} = m_i$  და შევიტანთ (6.5.1) ფორმულაში, მივიღებთ

$$m_L^2 = \frac{1}{2}m_{\beta_{\text{ფ.წ}}}^2 + l^2 \left( \frac{m_i}{l} \right)^2 + l^2 \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2. \quad (6.5.3)$$

ასაფრენი ზოლის ღერძის აზიმუტში შეცდომა იანგარიშება ფორმულით

$$m_x = \frac{m_E}{L} \rho. \quad (6.5.4)$$

## 6.6. მიწის სამუშაოები აეროდრომის დაგეგმარებისას

**კვადრატების მეთოდი.** აეროდრომის ვერტიკალური დაგეგმარებისას მიწის სამუშაოები ორ ეტაპად სრულდება. პირველ ეტაპზე მიწის მასას გადაადგილებენ მოსაჭრელი ფართობიდან ჩასაყრელისკენ, დაახლოებით სწორი ზედაპირის მისაღებად. მეორე ეტაპზე კი იგივე სრულდება საპროექტო ნიშნულების დონეზე ზედაპირის დაქანების მისაღებად. თითოეულ ეტაპს შეესაბამება დაკვალვითი სამუშაოების შესრულების თავისი წესი. დაკვალვის მეთოდი ერთიდაიგივეა – კვადრატების მეთოდი.

პირველ ეტაპზე შემდეგ დაკვალვით სამუშაოებს ასრულებენ:

- კვადრატების წვეროებში პალოებზე აწერენ მუშა ნიშნულებს – ნაყარი „პლუსი“ (+), მოჭრა „მინუს“ (-);
- მიწის მოჭრისა და დაყრის საზღვრებს აკონტურებენ სარყეებით და აჩვენებენ ყველაზე მეტად მოსაჭრელი ან დასაყრელი ადგილისკენ მიმართულებას (ნახ. 6.6.1)

- ნაყარის ზოგიერთ დამახასიათებელ წერტილში აყენებენ სამიზნელებს, რომელთა ზედა ნაწილი შეესაბამება ნაყარის საპროექტო ნიშნულს.

დაახლოებით მოსწორების შემდეგ ნახ. 6.6.1 ; ადგილის საპროექტო ნიშნულებზე დაყვანას, რის შემდეგ ახდენენ შესრულებით აგებმას.

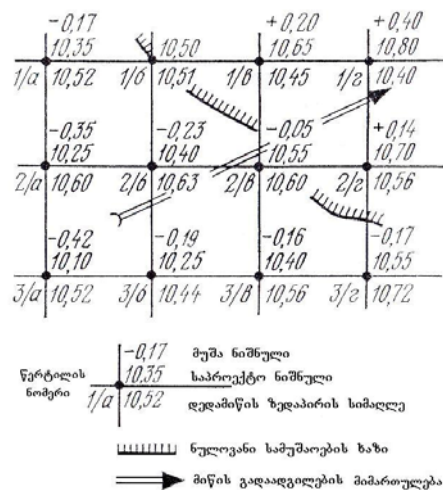
შესრულებით გეგმაზე, 1:2000 მასშტაბით, აჩვენებენ 40x40 მ კვადრატების წვეროთა საპროექტო ნიშნულებს, ფაქტიურ სიმაღლეებს და გადახრებს საპროექტოსგან, რომლებმაც არ უნდა გადააჭარბოს ±50 მმ. ქანობების გადახრა საპროექტო მნიშვნელობიდან დასაშვებია ±0,001.

კვადრატების მეთოდით მიწის სამუშაოების შესრულება მექანიზებულია.

### ტაქსომეტრიული

მეთოდი. ამ მეთოდის გამოყენებისას ტაქსომეტრით ადგილზე დაკვალავენ საპროექტო ჰორიზონტალების დამახასიათებელი წერტილების გეგმურ და სასიმაღლო მდებარეობას და ამ მონაცემებით გადაადგილებენ მიწის მასას. სადგურებად

იყენებენ 200 – 300 მ-ით ერთმანეთისგან დაშორებულ წერტილებს, რომლებზეც განსაზღვრავენ დამახასიათებელ წერტილებამდე



პოლარულ კოორდინატებს. შემდეგ მანძილებითა და სადგურისა და დამახასიათებელი წერტილების ნიშნულების სხვაობით განსაზღვრავენ დახრის კუთხეს. ამ მონაცემებით საპროექტო ჰორიზონტალების დამახასიათებელ წერტილებს დაკვალოვენ ადგილზე, რისთვისაც ინსტრუმენტის სიმაღლე გადააქვთ წერტილებზე დაყენებულ სარყეებზე ან ლარტყებზე.

ტაქომეტრიდან წერტილებამდე 100-150მ მანძილისა და ადგილის მცირე დახრის კუთხის დროს ( $2-3^{\circ}$ ), ეს მეთოდი უზრუნველყოფს 3 სმ საშუალო სიზუსტეს, რაც საკმარისია ვერტიკალური დაგეგმარებისათვის.

ზემოაღწერილი მეთოდით ნატურაში გადატანილი წერტილების ნიშნულები იოლად კონტროლდება ნიველირით.

ტაქომეტრიული მეთოდის ნაკლია შრომისა და დროის დიდი დანახარჯები დაკვალითი ნახაზების შედგენაზე და ადგილზე კუთხეების და მანძილების გადაზომვაზე.

აეროდრომის ტერიტორიის ვერტიკალური დაგეგმარების სამუშაოების შემდეგ შეუდგებიან ასაფრენ-დასაჯდომი ზოლების განივი პროფილების დაკვალვას. ზოლები ორმხრივი დაქანებისაა – 0,006 – 0,008 განივი ქანობებით. ზოლის ნაპირებზე მოწყობილია დამრეცი ღარები წვიმის წყლის მიმღები ჭებით და გადახურულია ცხაურით. ზოლებზე ხელოვნური საფარის მოსაწყობად მიწაში ამოიღებენ ვარცლის მსგავს სივრცეს, რომლის დაკვაღვა ხდება ზოლის გრძივი ღერძიდან ყოველ 20 მ-ზე განივი პროფილებით. გასწორებულ ვარცლზე ახდენენ შესრულებით აგეგმვას 1:1000 მასშტაბით. ვარცლის ფსკერის ნიშნულების გადახრა საპროექტო მნიშვნელობიდან დასაშვებია  $\pm 30$  მმ. ზოლის ქვეშ მოხვედრილი წყლის მოსაცილებლად ვარცლში აწყობენ დრენაჟს, რომლის საშუალებით წყალი მოხვდება წყალმიმღებ ჭებში, ზოლო იქედან – საკანალიზაციო კოლექტორში.

## 6.7. ასაფრენი ზოლების დაბეტონება და მიწისქვეშა კომუნიკაციების დაკვალვა

ასაფრენ-დასაჯდომი ზოლის საფარი ცემენტ-ბეტონისაა, რომელსაც ათავსებენ ვარცლში ხელოვნურ საგებზე (ქვიშის ან ქვიშაქვის ბალიშზე). საპროექტო სიმაღლეები უნდა დაცულ იქნას **1 – 2** სმ სიზუსტით, ხოლო ზოლის განივი საპროექტო ქანობები – **0,001 – 0,002**-ით.

**ზოლების დაბეტონება** სრულდება რელსიანი ან ურელსო ბეტონდამგები მანქანებით. ბეტონდამგები აფორმებს პროფილს ზუსტად საპროექტო სიმაღლეზე. დამთავრებულ უბანზე ასრულებენ საკონტროლო ნიველობას. საპროექტოდან გადახრამ არ უნდა გადააჭარბოს 5 მმ-ს.

თუ ასაფრენ ზოლზე დაიგება მზა რკინაბეტონის ფილები, მაშინ ახდენენ ფილების კუთხური წერტილების გეგმურ და სასიმაღლო დაკვალვას. კონტროლისათვის ანიველებენ დაგებული ფილების შეერთებებს, სადაც სიმაღლეში სხვაობამ არ უნდა გადაამეტოს 2 მმ-ს. სამუშაოების დასრულების შემდეგ ახდენენ შესრულებით აგეგმვას.

**მიწისქვეშა კომუნიკაციების დაკვალვა.** აეროდრომის მიწისქვეშა ქსელები (წყალსარინები, კაბელები და სხვ.) განლაგებულია ასაფრენი ზოლების ღერძების პარალელურად და ამ ღერძიდან დაიკვალებიან. თუ კომუნიკაცია მნიშვნელოვნადაა დაშორებული ზოლის ღერძიდან, მაშინ მისი დაკვალვა ხდება ძირითადი კვადრატების პუნქტებიდან. კომუნიკაციის ღებალური დაკვალვა და მშენებლობა, როგორც წესი, სრულდება დაგეგმარებითი სამუშაოების დაწყებამდე.

ჭების მოწყობისას განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ჭის ზედაპირის ნიშნულის დაცვას, რათა მისი ღონე არ აღემატებოდეს დაბეტონებული ზოლის ღონეს.

კომუნიკაციების ჩაწობისა და ჭების მშენებლობის დამთავრების შემდეგ ახდენენ მის შესრულებით აგეგმვას: ზომავენ ჭებს შორის მანძილს; მიაბამენ ჭებს გეოდეზიური ქსელის პუნქტებზე და სიტუაციის მახლობელ წერტილებზე; საზღვრავენ ჩალაგებული მილების დიამეტრებს და ანიველებენ ჭების სახურავებს. ამ მონაცემების საფუძველზე ადგენენ კომუნიკაციების შესრულებით გეგმასა და პროფილს 1: 2000 მასშტაბით. საკაბელო ხაზებს აეროდრომის ფარგლებში ჩაალაგებენ ვერტიკალური დაგეგმარების სამუშაოების შემდეგ.

## თავი 7. გეოდეზიური სამუშაოები სამრეწველო ობიექტის მშენებლობისას

### 7.1. სამრეწველო მოედნის შერჩევა და აგეგმვა

სამრეწველო კომპლექსის მშენებლობისათვის მოედანი უნდა შეირჩეს პროექტის ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთებისას.

მოედნის ზომებმა და მისმა კონფიგურაციამ საშუალება უნდა მოგვცეს, განვაღაგოთ ძირითადი შენობები, ნაგებობები და კომუნიკაციები ტექნოლოგიური პროცესისა და შიდასაქარხნო ტრანსპორტის სქემის შესაბამისად, პერსპექტივაში წარმოების გაფართოების გათვალისწინებით.

შერჩეული მოედნის რელიეფი უნდა იყოს, შესაძლებლობის მიხედვით, მშვიდი, ცალ მხარეს ან შუიდან ორივე მხარეს დაქანებით. სასურველია, დაქანება მოკლე გვერდის გასწვრივ იყოს. მაქსიმალური ქანობი დასაშვებია 0,1 (~6°), ხოლო მინიმალური –

**0,03( $\sim 10'$ )**. ასევე სასურველია, მოედანი მიმხრობილ იქნას უახლოეს რკინიგზასთან, ან ავტომაგისტრალთან.

სამშენებლო მოედნის შერჩევაზე ღიდ გავლენას ახდენს წარმოების სპეციფიკა, მისი მომარაგება ტექნოლოგიური და სამშენებლო მასალებით, ენერგიით და ა.შ. მნიშვნელოვანია აგრეთვე, მოედნის სიახლოვეს ქალაქის მშენებლობისათვის ხელსაყრელი ადგილის არსებობა.

სამრეწველო ობიექტის ტექნიკური პროექტის დამუშავებისათვის შერჩეულ მოედანს აგეგმავენ **1:2000** მასშტაბით რელიეფის კვეთით –  **$h = 1$  მ**. არსებული გეგმებისა და რუკების მიხედვით, დამატებით ადგენენ მშენებლობის რაიონის სიტუაციურ გეგმას **1:10000 – 1:25000** მასშტაბით, რომელზეც დააქვთ სამრეწველო კომპლექსის მოედნის კონტური, აგრეთვე საქალაქო მშენებლობის, საავტომობილო გზების და რკინიგზების, გამწმენდი ნაგებობების, დასახლების, ტყის მასივის, მდინარეების, კარიერების და სხვ. კონტურები. ტოპოგრაფიულ აგეგმვასთან ერთდროულად ასრულებენ მსხვილმასშტაბიან საინჟინრო-გეოლოგიურ აგეგმვას.

სამრეწველო ობიექტის მუშა ნახაზების შესადგენად, ძირითადი სამრეწველო ნაგებობების და ქალაქის განაშენიანების ტერიტორიას აგეგმავენ **1:500** მასშტაბით რელიეფის კვეთით  **$h = 0,5$  მ**. აგეგვა შეიძლება შესრულდეს, როგორც სტერეოფოტოგრამმეტრიული, ისე ტოპოგრაფიული მეთოდებით. აგეგმვის მეთოდისგან დამოუკიდებლად, რელიეფი უნდა გამოსახულ იქნას დეტალურად.

## 7.2 სამრეწველო მოედნის გეოდეზიური საფუძველი

ინსტრუქციის მიხედვით სამრეწველო და საქალაქო მშენებლობის ტერიტორიაზე გეოდეზიურ საფუძვლად შეიძლება გამოყენებულ იქნას მე-2-4 კლასის სახელმწიფო ქსელები, 1-ლი და მე-2 თანრიგის (ანალიზური) გაზომვების ქსელები, II-IV კლასის სანიველო ქსელები, სააგეგმო საფუძველი. გეოდეზიური ქსელების დაპროექტება წარმოებს 1:500 მასშტაბით აგეგმვისა და დაკვალვითი სამუშაოების, აგრეთვე გაზომვების ქსელების წარმოების უზრუნველსაყოფად.

დიდ სამრეწველო მოედნებზე (30 – 50 კმ<sup>2</sup>) იყენებენ მე-4 კლასის ტრიანგულაციას 3 – 4 კმ სიგრძის გვერდებით ან მის შემცველ მე-4 კლასის შუქმანილმზომურ პოლიგონომეტრიას.

გეოდეზიური საფუძვლის სამსაფეხურიანი სქემის გამოყენებისას, აიღებენ სიზუსტის უზრუნველყოფის კოეფიციენტს –  $K = \sqrt{2}$  ტოლს და თითოეული საფეხურისადმი ღებულობენ შემდეგ მოთხოვნებს (აგეგმვის უზრუნველსაყოფად 1:500 მასშტაბით): 1) გამოსავალი გეოდეზიური საფუძველი –  $m_1 = 3,8$  სმ; 2) გაზომვების საფუძველი –  $m_2 = 5,3$  სმ; 3) სააგეგმო საფუძველი –  $m_3 = 7,8$  სმ. ეს სიზუსტეები უნდა განხილულ იქნას, როგორც გაწონასწორებულ ქსელში, პუნქტების ურთიერთმდებარეობაში სუსტი ადგილის სკშ.

თუ განაშენიანების პროექტის (წითელი ხაზების) ნატურაში გადასატანად ესარგებლობთ გეოდეზიური საფუძველით, მაშინ სიზუსტის გაანგარიშებას ვახდენთ ფორმულით

$$m_1 = m_2 \sqrt{L/l} , \quad (7.2.1)$$

სადაც  $L$  არის სამრეწველო კომპლექსის მოედნის საერთო სიგრძე, კმ;  $l$  – ტექნოლოგიურად ერთმანეთთან დაკავშირებული უბნების საშუალო სიგრძე, კმ;  $m_2$  – წითელი ხაზებისა და მთავარი ღერძების დაკვალვის სკშ (2 – 3 სმ).



მაგალითად, თუ  $L = 8$  კმ,  $l = 2$  კმ და  $m_1 = 2,5$  სმ, მაშინ  $m_1 = 5$  სმ, ე.ი. ამ მოედნისათვის გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტების ურთიერთ მდებარეობის შეცდომამ (დაკვალვითი სამუშაოების წარმოებისათვის) არ უნდა გადააჭარბოს 5 სმ-ს.

როცა მოედანი გადაჭიმულია  $3 - 4$  კმ სიგანის ზოლად, გეოდეზიური საფუძვლის ყველაზე ხელსაყრელი სახე – ტრიანგულაციის ტოლგვერდა სამკუთხედების მწკრივია, რომელიც თავსა და ბოლოში გაზომილ ბაზისებს ეყრდნობა. ასეთი მწკრივის შუაში დამაკავშირებელი გვერდის ლოგარიტმის სკმ (გაწონასწორებული ფიგურების, ბაზისების და აზიმუტების პირობებით) ტოლია

$$m_{lgS_{n/2}}^2 = 1/2 m_{lgb}^2 + 3/4 m^2 n, \quad (7.2.2)$$

სადაც  $n$  არის სამკუთხედების რიცხვი მწკრივში;  $m$  – კუთხის გაზომვის სკმ;  $m_{lgb}$  – ბაზისის გვერდის ლოგარიტმის სკმ ( $m_{lgb}/M \cdot 10^6 = m_b/b$ ).

მაგალითად, თუ  $m_b/b = 1/200000$ ,  $m = 2''$ ,  $n = 6$ , მაშინ გვექნება  $m_{lgb} = 0,434 \cdot 10^6 / 200000 = 2,2$  ერთეული ლოგარიტმის მე-6 ნიშანში.  $m_{lgS_{n/2}}^2 = 1/2 \cdot 4,8 + 3/4 \cdot 4 \cdot 6 = 20,4$ ,  $m_{lgS_{n/2}} = 4,5$ , ხოლო ფარდობითი შეცდომა იქნება –  $m_{S_{n/2}}/S_{n/2} = 4,5/0,434 \cdot 10^6 \approx 1/100000$ , რაც 3 კმ სიგრძის დროს შეადგენს  $m_{S_{n/2}} = 3$  სმ.

გვერდის აზიმუტში  $m_\alpha = m_\beta = 2''$  შეცდომისას, მწკრივის შუაში პუნქტების ურთიერთ მდებარეობაში შეცდომა იქნება

$$m_{n/2} = \sqrt{m_{S_{n/2}}^2 + \left( \frac{m_\alpha \cdot S}{\rho''} \right)^2} = \sqrt{18} \approx 4,3 \text{ სმ.}$$

როცა მოედნის სიგანე  $6 - 8$  კმ აღწევს, გეოდეზიურ საფუძვლად უნდა აგებულ იქნას ცენტრალური სისტემების

მწკრივი (ორმაგი სამკუთხედების ქსელი), რომელიც გაწონასწორდება გამოსავალ ბაზისებსა და მათ აზიმუტებს შორის. ასეთი მწკრივის შუაში გვერდის ლოგარიტმის შეცდომა შეიძლება გამოთვლილ იქნას მიახლოებული ფორმულით

$$m_{i_{gS}}^2 = \frac{1}{2} m_{i_{gb}}^2 + \frac{r+3}{2} m^2 \delta^2, \quad (7.2.3)$$

სადაც  $r$  არის ცენტრალური სისტემების რაოდენობა;  $\delta$  – დამაკავშირებელი კუთხის ლოგარიტმის ცვლილების საშუალო სიდიდე ( $60^\circ$ -ზე  $\delta = 1,22$ ).

თუ, მაგალითად  $r = 4$ ,  $m_b/b = 1/200000$  ( $m_{ib} = 2,2$ ),  $m = 2''$ , მაშინ გვექნება

$$m_{i_{gS_{r/2}}}^2 = 2,4 + 3,5 \cdot 4 \cdot 1,5 = 23,4, \quad m_{i_{gS_{r/2}}} = 4,8$$

ფარდობითი ცდომილება ტოლი იქნება  $m_{S_{r/2}}/S = 4,8/0,434 \cdot 10^6 \approx 1/90000$ ,  $S = 3$  კმ სიგრძისას

$m_{S_{r/2}} = \frac{300000}{90000} \approx 3,3$  სმ.  $m_{\pi} = m_{\beta} = 2''$  დროს, პუნქტების

ურთიერთ მდებარეობაში შეცდომა იქნება –

$$m_{r/2} = \sqrt{10,6 + 8,5} \approx 4,4 \text{ სმ.}$$

თუ ტრიანგულაციის მაგივრად გვექნება პოლიგონომეტრიული სვლები, ისინი უნდა აიგოს ჩაკეტილი პოლიგონების სახით  $1,5 - 2,0$  კმ გვერდების სიგრძეებით, რომლებიც უნდა განლაგდნენ ღერძების პარალელურად.

**სანიველო ქსელები.** დიდ სამრეწველო მოედნებზე სასიმაღლო საფუძველს – III კლასის ნიველობის პოლიგონები შეადგენენ, რომლებიც განლაგდება ტერიტორიის პერიმეტრზე. სააგეგმო და დაკვალვითი სამუშაოებისათვის, სასიმაღლო ქსელი გახშირდება IV კლასის სანიველო სვლებით. სანიველო ქსელი გაწონასწორდება, როგორც თავისუფალი ქსელი. IV კლასის სვლები და პოლიგონები უნდა დაკავშირებულ იქნან III კლასის პუნქტებთან. სანიველო ქსელებს იმ ვარაუდით აპროექტებენ, რომ

სიმაღლეების გამოტანა ნატურაში შესაძლებელი იყოს არა უმეტეს **2 – 3** მმ სკმ.

ნაგებობის საძირკვლის დაწვევებზე დაკვირვებისათვის მშენებლობისა და ექსპლუატაციის პერიოდში აგებენ მაღალი სიზუსტის ლოკალურ ქსელებს სადგურზე აღმატების გაზომვის არა უმეტეს **0,1 – 0,2** მმ ცდომილებით.

### 7.3 სამშენებლო ბადის სიზუსტის ანგარიში

სამრეწველო ნაგებობის მოედანზე დაკვალვით საფუძველს, ძირითადად გეოდეზიური სამშენებლო ბადეების სახით ქმნიან, რომელთა საკოორდინატო ღერძები პარალელური უნდა იყოს ნაგებობის მთავარი ღერძების.

დიდ მოედნებზე სამშენებლო ბადეებს რედუცირების მეთოდით ქმნიან, რომელშიც იგულისხმება:

- 1) ბადის ღერძების საპროექტო მიმართულებათა ნატურაში გამოტანა;
- 2) ბადის პუნქტების დაკვალვა მიახლოებით, თეოდოლიტური სვლის სიზუსტით და პუნქტების ღრობით დამაგრება;
- 3) მიახლოებით ჩამაგრებულ პუნქტებზე ხაზოვან-კუთხური ქსელების განვითარება და ამ პუნქტების ზუსტი კოორდინატების დადგენა;
- 4) ქსელის გაწონასწორება და თითოეული პუნქტისათვის რედუქციის ელემენტების გამოთვლა;
- 5) პუნქტების რედუცირება;
- 6) ბადის ხაზოვანი და კუთხური ელემენტების საკონტროლო გაზომვები.

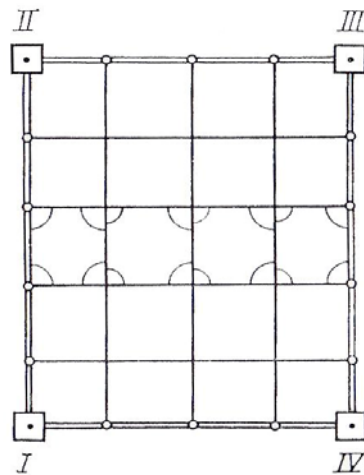
დიდ მოედნებზე სამშენებლო ბადის განვითარებისას გეოდეზიურ ქსელებს სამ საფეხურად აგებენ. პირველ რიგში ბადის პერიმეტრზე ანვითარებენ 1 თანრიგის პოლიგონომეტრიის

სვლებს. რადგანაც ამ დროს სვლებში სწრაფად გროვდება აზიმუტური შეცდომები, რომელსაც ქსელის პუნქტების მნიშვნელოვან განივ ძვრებამდე მივყავართ, ამიტომ მოხვევის წვეროებში პოლიგონომეტრიული სვლა უნდა ეყრდნობოდეს მე-4 კლასის პოლიგონომეტრიის პუნქტებს. ბადის შემავსებელი მე-2 თანრიგის ქსელის პუნქტების კოორდინატები ყველაზე მოსახერხებელია განისაზღვროს უდიაგონალებო ოთხკუთხედების ერთიანი (მთლიანი, უწყვეტი) ქსელის აგებით, რომელიც ბადის ყველა ელემენტს ერთიან სისტემაში აკავშირებს.

ამრიგად, დიდ ტერიტორიაზე აგებულ სამშენებლო ბადეზე რეკომენდებულია შემდეგი საზოგადო-კუთხური აგებები:

- 1) ბადის პერიმეტრის გასწვრივ მე-4 კლასის პოლიგონომეტრია გვერდების სიგრძით  $1 - 2$  კმ, კუთხეებისა და გვერდების გაზომვის –  $m_g = 2''$  და  $m_i = 10$  მმ სკშ. იგი ერთმანეთთან აკავშირებს I, II, III და IV პუნქტებს (ნახ. 7.3.1);
- 2) 1-ლი თანრიგის გაჭიმული პოლიგონომეტრიული სვლები მე-4 კლასის პოლიგონომეტრიის პუნქტებს შორის, გვერდების სიგრძით  $200$  მ და  $m_g = 5''$  და  $m_i = 5$  მმ სკშ;
- 3) მე-2 თანრიგის შემავსებელი სვლები უწყვეტი უდიაგონალებო ოთხკუთხედების სახით, რომელიც ეყრდნობა 1-ლი თანრიგის პოლიგონომეტრიას. ასეთ ქსელში იზომება ოთხივე კუთხე  $m_g = 5''$  სიზუსტით.

სამშენებლო ბადის  
 სიზუსტის ანგარიშისას  
 ჩვეულებრივ, მოითხოვება, რომ  
 მეზობელი პუნქტების  
 ურთიერთ მდებარეობის სკშ არ  
 გადააჭარბოს  $1/10000$ , ე.ი.  
**200** მ გვერდის სიგრძისას –  
**20** მმ-ს. ეს სიზუსტე უნდა  
 დააკმაყოფილოს მე-2  
 თანრიგის შემავსებელი ქსელის  
 პუნქტებმა ყველაზე სუსტ  
 ადგილზე – უდიაგონალეზო  
 ოთხკუთხედების შუაში.



ნახ. 7.3.1

ამრიგად, გვაქვს

$$m_2 = \sqrt{m_{i_2}^2 + \left( \frac{m_{\pi_2}'' l}{\rho''} \right)^2} = 20.88, \quad (7.3.1)$$

სადაც  $m_{i_2}$  არის გვერდის სიგრძის განსაზღვრის შეცდომა;

$m_{\pi_2}$  – გვერდის აზიმუტის გადაცემის შეცდომა.

თანაბარი გავლენის პრინციპის მიხედვით გვექნება

$$m_{i_2} = \frac{20}{\sqrt{2}} = 14.288, \quad m_{\pi_2} = \frac{20\rho''}{\sqrt{2}l} = 14.6''.$$

საწყისი მონაცემების შეცდომა ამ შემთხვევაში, 1-ლი  
 თანრიგის პოლიგონომეტრიაში გაწონასწორებული ელემენტების  
 შეცდომები იქნება, რომლებიც ტოლია –  $m_{\rho} = 5''$  და  $m_l = 5$  მმ.

უდიაგონალეზო ოთხკუთხედების ერთიან ქსელში სუსტი  
 გვერდის სკშ შეიძლება გამოვთვალოთ (საწყისი მონაცემების  
 შეცდომების გაუთვალისწინებლად) ფორმულით

$$m_{i_{\pi}} = \frac{m_{\rho}''}{2\rho''} L\sqrt{n_y}, \quad (7.3.2)$$

$$m_{i_x} = \frac{m_{g_2}^H}{2\rho^H} L \sqrt{n_x} , \quad (7.3.3)$$

სადაც,  $m_{i_x}$  და  $m_{i_y}$  არის გვერდის გაზომვის შეცდომა მწკრივის შუაში  $x$  და  $y$  ღერძების პარალელურად;  $n_x$  და  $n_y$  – ფიგურების (კვადრატების) რაოდენობა მწკრივში;  $m_{g_2}$  – მე-2 თანრიგის ქსელში კუთხის გაზომვის სკმ.

ამ ფორმულებით შეგვიძლია გამოვთვალოთ უდიაგონალეზო ქსელებში კუთხეების გაზომვის სიზუსტე

$$m_{g_2} = \frac{2m_i \rho^H}{L \sqrt{n}} \quad (7.3.4)$$

თუ, მაგალითად,  $n = 15$ ,  $L = 200$  მ ( $L = 3$  კმ),  $m_i = 14,2$  მმ, გვექნება  $m_{g_2} = 7,5''$  (7.3.4. ფორმულიდან). სიზუსტის მარაგით შეიძლება მივიღოთ კუთხური გაზომვების სიზუსტე  $5''$  ტოლი.

უდიაგონალეზო ოთხკუთხედების გაწონასწორებულ ქსელებში აზიმუტები ქსელის სხვადასხვა ნაწილებში დაახლოებით ერთნაირი სიზუსტით განისაზღვრება. მათი განსაზღვრის სიზუსტე დაახლოებით კუთხური გაზომვების სიზუსტეს უტოლდება და მასზე დაშვებები ( $m_x = 14,6''$ ) იოლად უზრუნველსაყოფია.

## 7.4. სამრეწველო ნაგებობათა დაკვალვა

სამრეწველო ნაგებობების მთავარ და გაბარიტულ ღერძებს ნატურაში დაკვალავენ სამშენებლო ბადის პუნქტებიდან საპროექტო კოორდინატების მიხედვით, მართკუთხა კოორდინატების ხერხით 1/5000 სიზუსტით.

დიდი დანადგარის (მოწყობილობის) დაკვალვისას ბადის სხვადასხვა პუნქტებიდან, გაბარიტულ ღერძებს შორის მანძილში შეცდომა შეადგენს

$$m^2 = m_A^2 + m_B^2 + m_{AB}^2 + 2m_\Phi^2, \quad (7.4.1)$$

სადაც  $m_A$  და  $m_B$  არის სამშენებლო ბადის  $A$  და  $B$  პუნქტებიდან გაბარიტული ღერძების დაკვალვის შეცდომები მართკუთხა კოორდინატების ხერხის გამოყენებისას;  $m_{AB} = A$  და  $B$  პუნქტების ურთიერთ მდებარეობის შეცდომა (მმ) და ტოლია  $m_{AB} = 20\sqrt{n}$  ( $n$  – გვერდების რიცხვია);  $m_\Phi$  – ღერძის წერტილების ფიქსირების შეცდომა.

გაბარიტული ღერძებიდან საძირკვლის დაკვალვისას აგებენ ფარგსაკვალავს და მისგან გასწვრივობითი ხერხით დაკვალავენ ძირითად სამშენებლო ღერძებს. ძირითად ღერძებს აფიქსირებენ ფარგსაკვალავზე.

ძირითადი ღერძებიდან ასრულებენ ქვაბულის, საძირკვლის ღერძების და კომუნიკაციების დეტალურ დაკვალვას. ყველაზე საპასუხისმგებლო ამ დროს საანკერო მოწყობილობათა, აგრეთვე საძირკვლის საყრდენი ფილების (სამშენებლო კონსტრუქციების მონტაჟისათვის) დაკვალვა და შემოწმებაა. დეტალური დაკვალვითი სამუშაოები სრულდება სიმის, ოპტიკური დამიზნების ან ლაზერული ხერხებით. საპროექტოდან დასაშვები გადახრებია  $2 - 3$  მმ. სიმაღლეში პუნქტები გეომეტრიული ნიველობით დაიკვალება დაახლოებით იგივე სიზუსტით.

## 7.5. სვეტების (კოლონების) დაყენება

ფოლადის ან რკინაბეტონის სვეტებს აყენებენ მათთვის სპეციალურად მომზადებულ საძირკველზე. სვეტების საძირკვლის ზედაპირზე ჩაამაგრებენ გეოდეზიურ ნიშნებს, რომლებითაც გამოაქვთ გრძივი და განივი დაკვალვითი ღერძები. ნიშნების თავი მაგრდება საძირკვლის საპროექტო ზედაპირის ღონეზე.

საძირკვლის ზედაპირისა და საყრდენი ფილის გადახრამ სვეტის ძირის საპროექტო სიმაღლიდან, აგრეთვე ანკერული ჭანჭიკების მდებარეობაში გადახრამ არ უნდა გადააჭარბოს 7.5.1 ცხრილში მოტანილ სიდიდეებს.

ცხრილი 7.5.1

| გადახრის სახეობა                                                                                        | დასაშვები გადახრა                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| საყრდენი ფილის ზედა გარანდული ზედაპირი:<br>ა) სიმაღლის მიხედვით<br>ბ) დაქანების მიხედვით                | $\pm 1,5 \text{ მ}$<br>$1/1500$                             |
| საძირკვლის ზედაპირი (ან საყრდენი დეტალების სიბრტყე):<br>ა) სიმაღლის მიხედვით<br>ბ) დაქანების მიხედვით   | $\pm 5 \text{ მ}$<br>$1/1000$                               |
| ანკერული ჭანჭიკები:<br>ა) გეგმაში (საყრდენი კონტურის შიგა)<br>ბ) ჭანჭიკის ზედა ტორსის სიმაღლის მიხედვით | $5 \text{ მ}$<br>$+20; -0 \text{ მ}$<br>(ცალმხრივი დაშვება) |

სვეტის დაყენებასთან ერთდროულად განსაზღვრავენ მისი ფუძის და ამწისქვეშა კონსოლის სიმაღლეს, რომელიც საპროექტო სიდიდისგან არ უნდა განსხვავდებოდეს  $\pm 5 \text{ მ}$ -ზე მეტად.

სვეტებს ვერტიკალურად აყენებენ შვეულებით ან თეოდოლიტით, ხოლო მისი ვერტიკალურობის შემოწმება განივი მიმართულებით სრულდება გვერდითი ნიველობის ხერხით. გრძივი მიმართულებით სვეტების ვერტიკალურობას ამოწმებენ ზედა კაწრულა ნიშნის დაპროექტებით თეოდოლიტის ვერტიკალური წრედის ორი



მდებარეობით. გადახრამ არ უნდა გადააჭარბოს სვეტის სიმაღლის  $1/1000$ , მაგრამ არა უმეტეს **35** მმ.

რკინაბეტონის სვეტის ფუძეს აბეტონებენ საძირკველში მოწყობილ სპეციალურ ჩაღრმავებაში, რომელსაც ჭიქა ეწოდება. ჭიქასა და სვეტის წახნაგებს შორის ტოვებენ **2 – 3** სმ სივანის ღრეჩოებს, რომელშიც სვეტის დამაგრებისას ასხამენ ცემენტის ხსნარს.

სვეტების ცალკეული ელემენტების განლაგებაში დასაშვებმა გადახრებმა გეგმაში და სიმაღლეში არ უნდა გადააჭარბოს **5** მმ.

მაღლივ ნაგებობათა სამშენებლო კონსტრუქციების დაყენებისთვის, რომლებიც ვერტიკალურობის დაცვის გაზრდილ სიზუსტეს თხოულობს (**100** მ და მეტი სიმაღლის ნაგებობისთვის – **2 – 3** მმ), იყენებენ მაღალი სიზუსტის თანამედროვე კუთხმზომ ინსტრუმენტებს ან ზენიტ-ხელსაწყოებს.

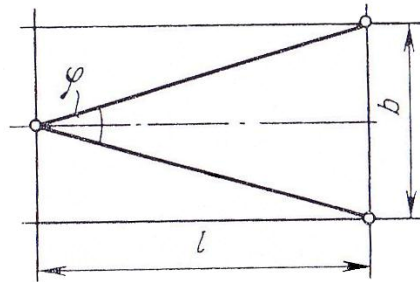
## 7.6. ამწისქვეშა გზების შემოწმება

ამწისქვეშა სალიანდაგო გზების საპროექტო მდებარეობაში დაყენებისა და ექსპლუატაციის პერიოდში მათი პერიოდული შემოწმებისას გზის ღერძის გეგმურ-სასიმაღლო მდებარეობას გარკვეული გეომეტრიული მოთხოვნები წაეყენება. გზის თითოეული ხაზი ჰორიზონტალური და სწორხაზოვანი უნდა იყოს და მდებარეობდეს ერთ სასიმაღლო დონეზე. ეს მოთხოვნები უნდა შესრულდეს საპროექტოდან **8 – 15** მმ გადახრით, ხოლო ლიანდაგის ღერძებს შორის მანძილში –

**8 = 10** მმ გადახრით. აქედან გამომდინარე, ამწისქვეშა გზის თითოეული ხაზის დაკვალვის და მათი სიმაღლეზე დაყენების საშუალო კვადრატული შეცდომა ტოლი უნდა იყოს – **m = 1/58** და უნდა შეადგენდეს არა უმეტეს **3 – 2** მმ. გზის ღერძები

გამოაქვთ თეოდოლიტით და ამაგრებენ სვეტებზე მიღებული რკინის ნაჭრით. სასიმალო დაყენებისთვის იყენებენ ნიველობას, რომლის მიხედვით ადგენენ გზის გრძივ პროფილს.

ამწისქვეშა გზის ორ ზაზს შორის  $b$  მანძილი შეიძლება განისაზღვროს როგორც საზომი ლენტით, ისე პარალელური ხერხით.



ნახ. 7.6.1

(7.6.1) ნახაზიდან გვაქვს

$$b = 2l \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \quad (7.6.1)$$

საჭირო სიზუსტე გამოითვლება ფორმულით

$$m_b^2 = b^2 \left( \frac{m_l}{l} \right)^2 + l^2 \left( \frac{m_\varphi}{\rho} \right)^2 \quad (7.6.2)$$

თუ მივიღებთ, რომ  $m_b = 2$  მმ, მაშინ თანაბარი გავლენის პრინციპის მიხედვით, გვექნება

$$\frac{m_l}{l} = \frac{2}{\sqrt{2}b} \quad \text{და} \quad m_\varphi = \frac{2\rho}{\sqrt{2}l}$$

თუ  $b = 24$  მ,  $l = 240$  მ, მაშინ  $m_l/l = 1/17000$  და  $m_\varphi = 1,2''$ .

თუ მივიღებთ, რომ  $m_l/l = 1/10000$  და  $m_\varphi = 1''$ , მაშინ შეცდომა  $m_b = 2,7$  მმ, რაც შეესაბამება მოთხოვნილ სიზუსტეს.

გზის ღერძებს შორის მანძილი შეიძლება განისაზღვროს გვერდითი ნიველობის ხერხითაც.

## 7.7. ტექნოლოგიურ მოწყობილობათა შემოწმება

სამრეწველო დანადგარების საპროექტო გეგმურ მდებარეობაში დაყენება უმთავრესად სიმისა და სიმიან-ოპტიკური ხერხებით წარმოებს **0,5 – 1,0** მმ საშუალო სიზუსტით. შესრულებით აგეგმვას, იგივე შემოწმებას კი ოპტიკური დამიზნების ხერხით ახდენენ. საპროექტო სიმაღლეზე დაყენებისთვის, ჩვეულებრივ ზუსტ გეომეტრიულ ნიველობას იყენებენ. ჰორიზონტალურობას ამოწმებენ დასადები თარაზოთი ან ჰიდროსტატიკური ნიველობით, ვერტიკალურობას კი – თეოდოლიტით ან ზენიტ-ხელსაწყოთი.

**ტურბოგენერატორის შემოწმება.** თავისი სპეციფიკურობით გამოირჩევა გეოდეზიური სამუშაოები ტურბოგენერატორის მონტაჟისას. განსაკუთრებით ზუსტად უნდა იქნას გამოყვანილი საპროექტო მდებარეობაში ტურბოგენერატორის გრძივი და განივი (კონდენსატორის) ღერძები. მაღალი სიზუსტის ნიველობით აყენებენ საძირკვლის ჩარჩოს (**0,2** მმ შეცდომით **1** მ-ზე) და ამაგრებენ ანკერული ჭანჭიკებით.

ტურბოგენერატორის დაყენებისას უნდა მიღწეულ იქნას როტორისა და სტატორის ღერძების დამთხვევა და ტურბინისა და გენერატორის ღერძების ერთ ხაზზე გასწორება ისე, რომ ადგენდეს ტურბოგენერატორის საერთო ღერძს, რომლის გეგმილი ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე იქნება სწორი ხაზი, ხოლო ვერტიკალურ სიბრტყეზე – მდოვრე მრუდი (ე.წ. ლილვის დრეკადი ხაზი).

ტურბოგენერატორის მონტაჟს იწყებენ საძირკვლის ფილაზე ტურბინის სტატორის დაყენებით. აგრეგატების გეგმურ მდგომარეობაში დაყენების ეფექტური მეთოდი –

მიკროტელესკოპის ტიპის ოპტიკური ხელსაწყოების გამოყენებაა. შემოწმებენ ტურბინის სტატორის მდებარეობას და საიმედოდ დაამაგრებენ მას ანკერული ჭანჭიკებით, რის შემდეგ იწყებენ როტორის დაყენებას. ანალოგიურად დააყენებენ გენერატორის როტორსა და სტატორს. ზღვრული შეცდომები ამ დროს დასაშვებია **0,03 – 0,05** მმ.

ტურბოგენერატორის გეგმური მდებარეობის შემოწმებისას უნდა გათვალისწინებული იქნას დიდი ტემპერატურული დეფორმაციები, წარმოქმნილი როტორის მუშაობის პროცესში, რომელსაც მისი და სტატორის ცენტრის ძვრასთან მივყევართ.

**მაღალი სიზუსტის კონვეიერული ხაზის შემოწმება.** მაღალი სიზუსტის ავტომატური კონვეიერების და სხვა წრფივი ნაგებობების დაყენებისა და შემოწმებისთვის დამუშავებულია განსაკუთრებით ზუსტი მეთოდები და ორიგინალური ხელსაწყოები.

ასეთი აგრეგატების და ხაზების ძირითადი ღერძები ადგილზე მაგრდება სიღრმითი გეგმურ-სასიმაღლო ნიშნებით, რომელთაც ზემო ნაწილში თერმოიზოლაცია აქვთ. გეგმური დაყენება ხდება სიმიან-ოპტიკური ხერხით, ოპტიკური მაპროექტებელი ხელსაწყოთა ან პრეციზიული ორდინატომეტრის გამოყენებით. ხაზის პერიოდული შემოწმება სრულდება კოლიმატორული ან დიფრაქციული ხერხით. სასიმაღლო დაყენებისა და შემოწმებისთვის იყენებენ მაღალი სიზუსტის გეომეტრიულ ნიველობას ან მიკრონიველობას.

ავტომატური ხაზების შემოწმებისთვის გამოყენებული გასწვრივობითი გაზომვის ოპტიკური ხელსაწყოები და მიკრონიველობა, მართალია, საკმაოდ მაღალ სიზუსტეს უზრუნველყოფს, მაგრამ ნაკლებ ნაყოფიერია. ამიტომ აუცილებელია გამოყენებული იქნას ავტომატიზებული მაღალი სიზუსტის ხერხები. ამ მიზნით მიზანშეწონილია ფოტოელექტრონული მოწყობილობის გამოყენება, რომელიც

შესამოწმებელი ხაზის ცალკეული წერტილების გადახრას ზომავს ლაზერული სხივის კონით შექმნილი რეფერენტული ხაზიდან.

გამოკვლევებმა აჩვენა ამ ხერხის მაღალი სიზუსტე და საიმედოობა.

## თავი 8. გეოდეზიური სამუშაოები

### ქალაქისა და დასახლებული

### პუნქტების მშენებლობისას

#### 8.1. ქალაქის დაგეგმარებისა და გაშენების

#### პროექტების შედგენა

ქალაქების დაგეგმარებისა და გაშენების პროექტების შედგენისა და ადგილზე გადატანისთვის საჭირო გეოდეზიური სამუშაოები გამოირჩევა მრავალფეროვნობით და უმეტესწილად დამოკიდებულია დასაპროექტებელი ტერიტორიის ზომებსა და დაპროექტების სტადიებზე.

დაგეგმარებისა და გაშენების პროექტების დამუშავება სრულდება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მოთხოვნების საფუძველზე, სამშენებლო მეურნეობის განვითარების პერსპექტიული გეგმების მიხედვით და ხორციელდება შემდეგ საპროექტო ეტაპებად:

- 1) ქალაქის გენერალური გეგმა;
- 2) ცალკეული რაიონებისა და მიკრორაიონების დეტალური დაგეგმარების პროექტი;
- 3) საცხოვრებელი რაიონების, მიკრორაიონების, ქუჩებისა და მოედნების გაშენების პროექტი.

რაიონული დაგეგმარების სქემა შედგება **1:100000** ან **1:50000** მასშტაბის რუკებზე. დასახლებული პუნქტების საპროექტო გეგმები სრულდება **1:25000** მასშტაბით.

სამშენებლო ნორმებითა და წესებით, ქალაქის ფარგლებში ქუჩებისთვის შემდეგი უდიდესი ქანობები და უმცირესი მოხვევის რადიუსის სიდიდეებია გათვალისწინებული:

- ჩქაროსნული გზებისთვის –  $L_{max} = 40\%$ ,  $R_{min} = 600$  მ;

- მაგისტრალური გზებისთვის:

ა) საერთო საქალაქო დანიშნულების –  $L_{max} = 50\%$ ,

$R_{min} = 400$  მ;

ბ) რაიონული დანიშნულების –  $L_{max} = 60\%$ ,

$R_{min} = 250$  მ;

გ) ადგილობრივი დანიშნულების –  $L_{max} = 80\%$ ,

$R_{min} = 125$  მ.

მოედნებისთვის გრძივმა და განივმა ქანობებმა არ უნდა გადააჭარბოს  $30\%$ .

ქალაქის დაგეგმარების პროექტის შედგენისას გენგეგმის დამუშავებისთვის იყენებენ  $1:5000$  მასშტაბის ტოპოგრაფიულ გეგმას. დიდი ქალაქების დაგეგმარებისას დასაშვებია  $1:10000$  მასშტაბის გამოყენება, ხოლო პატარა ქალაქებისა და დაბებისთვის –  $1:2000$  მასშტაბის გეგმის გამოყენება. ქალაქის მიმდებარე რაიონის გეგმები შედგება  $1:25000$  მასშტაბით.

დეტალური დაგეგმარების პროექტი შედგება დამტკიცებული გენგეგმის საფუძველზე და შეიცავს შემდეგ დოკუმენტებს:

ა) წითელი ხაზების გეგმა  $1:2000$  ან  $1:1000$  მასშტაბით, რომელზეც განსაკუთრებით გამოყოფენ წითელი ხაზების მისაბმელ ნაგებობებს;

ბ) წითელი ხაზების დასაკვალავი ნახაზი  $1:2000$  მასშტაბით, ტრიანგულაციის ან პოლიგონომეტრიის პუნქტებთან მიხედვით;

გ) ქუჩების განივი პროფილი  $1:100$  ან  $1:200$ -იანი მასშტაბით მასზე კომუნიკაციების დატანით;

დ) წითელი ხაზების გეგმასთან შეთავსებული ვერტიკალური დაგეგმარების პროექტი;

ე) გაშენების ესკიზები **1: 2000** ან **1: 1000** მასშტაბით.

დეტალური დაგეგმარების პროექტს თან ახლავს განმარტებითი ბარათი, რომელშიც მოცემულია რაიონის დახასიათება, აღწერილია ბუნებრივი და საინჟინრო-სამშენებლო პირობები, ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები და მიღებული გადაწყვეტილებების დასაბუთება პროექტის ყველა განყოფილების მიხედვით.

გაშენების პროექტი შედგება დეტალური დაგეგმარების პროექტის საფუძველზე ორ სტადიად: ტექნიკური პროექტი და მუშა ნახაზები.

ტექნიკური პროექტის ძირითადი დოკუმენტებია: დასაპროექტებელი მშენებლობის სიტუაციური გეგმა, გაშენების გენგეგმა და მაკეტი.

მუშა ნახაზები შედგება მომავალი წლის მშენებლობის მოცულობისთვის დამტკიცებული ტექნიკური პროექტის საფუძველზე. საპროექტო დოკუმენტების კომპლექტში შედის:

ა) გაშენების უბნის გენგეგმა **1: 500 – 1: 1000** მასშტაბით;

ბ) დაკვალვითი ნახაზი **1: 500 – 1: 1000** მასშტაბით;

გ) სამშენებლოდ მიღებული ნაგებობის და შენობის ნახაზების კომპლექტი;

დ) ტერიტორიის ვერტიკალური დაგეგმარების ნახაზი **1: 500 – 1: 1000** მასშტაბით საპროექტო ჰორიზონტალების, ნიშნულების, ქანობების და მიწის საშუაოების კარტოგრამის ჩვენებით.

დაგეგმარების გენერალური პროექტის შედგენისთვის მოითხოვება მთელი საქალაქო ტერიტორიის აგეგმვა **1: 5000** მასშტაბით.

დაგეგმარების დეტალური დამუშავებისთვის აგეგმვა წარმოებს **1: 2000** მასშტაბით საქალაქო ტერიტორიის ცალკეულ უბნებზე.

ხოლო ამ უბნების შიგ შერჩევით – **1:500** მასშტაბით, გაშენების პროექტის შესადგენად. ეს გარემოება მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული გეოდეზიური საფუძვლის მოთხოვნილი სიზუსტის და პუნქტების სიხშირის ანგარიშისას.

საერთოდ, გეოდეზიური საფუძვლის ანგარიშისას გამოსავალია **1:500** მასშტაბის გეგმა.

## 8.2 ქალაქის დაგეგმარებისა და გაშენების პროექტის ნატურაში გადატანა

ქალაქისა და სხვა დასახლებული პუნქტებისთვის განკუთვნილი ტერიტორიების ათვისება და გაშენება ქალაქის ან დაბის დამტკიცებული გენგეგმის თანახმად ხორციელდება. გენგეგმის საფუძველზე მუშავდება დეტალური დაგეგმარების პროექტი, რომლის დოკუმენტებში შედის წითელი ხაზების პროექტი, შედგენილი 1:2000 მასშტაბის გეგმაზე.

წითელი ხაზების პროექტი ადგენს აშენებულ კვარტალებს, გასასვლელებს და გაზონებს შორის საზღვრებს. ადგილზე წითელი ხაზების მიხედვით ხორციელდება კაპიტალური შენობებისა და ნაგებობების მეშვეობით, რომლებიც საყრდენის სახელითაა ცნობილი. წითელი ხაზების წერტილები ადგილზე მაგრდება ისევე, როგორც სააგეგმვო თეოდოლიტური სვლის პუნქტები.

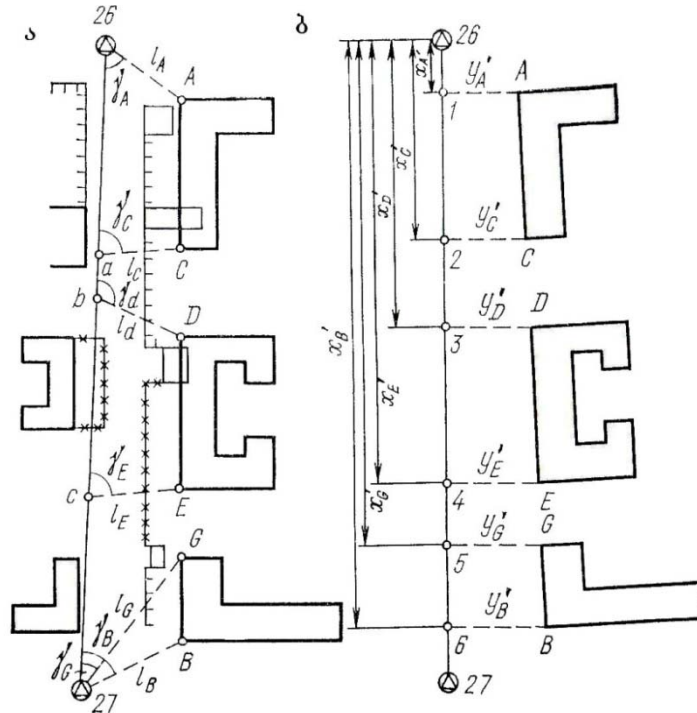
წითელი ხაზების წერტილების კოორდინატების გაანგარიშებისას იყენებენ გრაფიკულ (კოორდინატები განისაზღვრება გეგმიდან გრაფიკულად), ანალიზურ (კოორდინატები განისაზღვრება დეტალური აგეგმვების მონაცემებით) და კომბინირებულ მეთოდებს, რომლებშიც შეხამებულია გრაფიკული და ანალიზური მეთოდები.

გრაფიკულ მეთოდს იყენებენ წითელი ხაზების წინასწარი გაანგარიშებისას და მშენებლობის მოსამზადებელი სამუშაოების დროს.



ანალიზური მეთოდი მეტი სიზუსტით გამოირჩევა და უზრუნველყოფს აუცილებელ სიზუსტეს. ამ მეთოდის გამოყენებისას, შენობების კუთხური საყრდენი წერტილების კოორდინატებს ღებულობენ პერპენდიკულარების, გადაკვეთების და პოლარული ხერხების მეშვეობით.

(8.2.1) ნახაზზე წარმოდგენილია წითელი ხაზების პროექტის ფრაგმენტი, რომელზეც ნაჩვენებია საყრდენი ნაგებობანი. ასეთების არარსებობისას წითელი ხაზების მიბმა ადგილზე ხორციელდება სიტუაციის ან რელიეფის დამახასიათებელ წერტილებზე.



ნახ. 8.2.1

ნახაზზე ნაჩვენებია დაგეგმარების პროექტის ნატურაში გადატანა პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან: ა)ნახაზზე – პოლარული კოორდინატების ხერხით; ბ)ნახაზზე – პერპენდიკულარების (მართკუთხა კოორდინატების) ხერხით.

ადგილზე პროექტის გადატანას წინ უსწრებს მისი ანალიზური მომზადება, რომელიც მდგომარეობს ერთიან საქალაქო კოორდინატთა სისტემაში კვარტალების კუთხეების კოორდინატების განსაზღვრაში. გამოსავლად ითვლება საყრდენი ნაგებობების კუთხეების კოორდინატები, განსაზღვრულნი პოლიგონომეტრიის პუნქტიდან.

ანალიზურად კოორდინატების განსაზღვრისას მხედველობაში უნდა მივიღოთ ქაღალდის დეფორმაცია, რომლის ხაზოვანი სიდიდე მიიღება 2%-ის ფარგლებში, ამასთან სხვადასხვა მიმართულებით მისი სიდიდე სხვადასხვაა.

გაზომილ ხაზის სიგრძეში შესწორების შეტანისთვის განისაზღვრება გეგმის დეფორმაციის კოეფიციენტი  $X$  და  $Y$  ღერძების გასწვრივ

$$K = \frac{D_x - D_y}{D_m}, \quad (8.2.1)$$

სადაც  $D_m$  არის გეგმაზე საკოორდინატო ბადის გვერდის თეორიული სიგრძე,  $D_y$  – მისი ფაქტიური სიგრძე. ღერძების მიხედვით  $K_x$  და  $K_y$  სიდიდეებით შეიძლება გამოვთვალოთ შესწორებები ხაზის სიგრძესა და დირექციულ კუთხეში:

$$\left. \begin{aligned} v_i &= [K_x \cos^2 \alpha + K_y \sin^2 \alpha] \rho' \\ v'_{\alpha} &= \sin 2\alpha / 2 (K_y - K_x) \rho' \end{aligned} \right\} \quad (8.2.2)$$

სადაც  $\alpha$  – ხაზის დირექციული კუთხეა.

სიზუსტის გაზრდის მიზნით, მანძილებს საკოორდინატო ბადიდან განსაზღვრულ წერტილამდე ზომავენ კვადრატის ორივე გვერდიდან.

ნატურაში გადატანილი წერტილების და წითელი ხაზების საკონტროლოდ ასრულებენ გაზომვებს ე.წ. შესრულებით სვლებში. გადახრები დაახასიათებენ პროექტის ადგილზე გადატანის სიზუსტეს.

დაგეგმარების პროექტის ცალკეული წერტილების ნატურაში გადატანის შეცდომებმა გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტების მიმართ არ უნდა გადააჭარბოს: მრავალსართულიანი დაგეგმარების რაიონში  $\pm 5$  სმ-ს, მცირესართულიანი დაგეგმარების რაიონში –  $\pm 8$  სმ-ს და დაუსახლებელ ტერიტორიაზე  $\pm 10$  სმ-ს.

პროექტის ამა თუ იმ წერტილის გადატანის ხერხი შეირჩევა პროექტის შედგენისას – ადგილზე პირობების მიხედვით. ყველაზე გავრცელებული – პოლარული ხერხია.

მაგალითად,  $A$  და  $B$  წერტილები (კვარტალის კუთხეები) თუ ადგილზე გადასატანია პოლარული ხერხით 26 და 27 პოლიგონომეტრიული პუნქტებიდან (ნახ.8.2.1<sup>ა</sup>), წინასწარ გამოთვლიან დამკვალავ ელემენტებს –  $26 - A$  და  $27 - B$ , ანუ  $l_A$  და  $l_B$  ხაზების სიგრძეებს და მათ დირექციულ კუთხეებს შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანების ამოხსნით (26 და 27 პოლიგონომეტრიის პუნქტების კოორდინატებითა და  $A$  და  $B$  კვარტალის კუთხეების საპროექტო კოორდინატებით). დირექციული კუთხეებით გამოითვლება დამკვალავი კუთხეები –  $\gamma_A$  და  $\gamma_B$ .  $C, D, E, \dots$  კაპიტალური გაშენების წერტილების ადგილზე გადატანისთვის სარგებლობენ  $a, b, c$  გასწვრივობის წერტილებით, რომლებსაც ამაგრებენ პოლიგონომეტრიულ სვლებზე თეოდოლიტით.

თუ პოლიგონომეტრიის ხაზსა და წითელ ხაზს შორის ნატურაში შენობა ან ნაგებობა არ არის, მაშინ იყენებენ პერპენდიკულარების ხერხს (მართკუთხა კოორდინატების ხერხი). ამ დროს გამოთვლიან  $Y'_A, Y'_C, \dots$  პერპენდიკულარების (პირობითი ორდინატების) სიგრძეებს (ნახ.8.2.1<sup>ბ</sup>), რომლებიც  $A, C, \dots$  წერტილებიდანაა დაშვებული 26-27 პოლიგონომეტრიის ხაზზე. ამის გარდა გამოთვლიან პირობით აბსცისებს  $X'_A, X'_C, \dots$ , რომელთა სიდიდეები გამოითვლება  $XY$  გეოდეზიურ კოორდინატთა

სისტემის  $X'Y'$  პირობით კოორდინატა სისტემაში გარდაქმნის ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} X' &= \Delta Y \sin \alpha + \Delta X \cos \alpha \\ Y' &= \Delta Y \cos \alpha - \Delta X \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (8.2.3)$$

სადაც  $\Delta X$  და  $\Delta Y$  არის პროექტის წერტილების (რომელთათვისაც გამოითვლება  $X'$  და  $Y'$  პირობითი კოორდინატები) და პოლიგონომეტრიული პუნქტის კოორდინატა ნაზრდები;  $\alpha = 26-27$  გვერდის დირექციული კუთხეა.

შენობის დეტალური დაკვალვისთვის მის გარშემო აგებენ ფარგსაკვალავს, რომელზეც ამაგრებენ გრძივ და განივ ღერძებს. ამ სამშენებლო ღერძებიდან ასრულებენ საძირკვლისა და ნულოვანი ციკლის ყველა სამუშაოს.

### 8.3 ვერტიკალური დაგეგმარების პროექტის ნატურაში გადატანა

**ვერტიკალური დაგეგმარება** არის სამუშაოთა კომპლექსი, რომლის მიზანია არსებული რელიეფის გარდაქმნა ასათვისებელი ტერიტორიის ნორმალური საექსპლუატაციო პირობების უზრუნველსაყოფად. სხვანაირად რომ ვთქვათ, ვერტიკალური დაგეგმარება გულისხმობს საქალაქო ტერიტორიის რელიეფის შეცვლას მის მისასადაგებლად გაშენების, კეთილმოწყობის და საინჟინრო-სატრანსპორტო საჭიროებათათვის.

ნახაზს ვერტიკალური დაგეგმარების პროექტით უწოდებენ ვერტიკალური დაგეგმარების სქემას და ადგენენ **1:5000** მასშტაბით. მის შესადგენად გამოსავალი მასალა – ტოპოგრაფიული გეგმა **1:5000** მასშტაბით რელიეფის კვეთით **1 – 2** მ.

სამშენებლო ორგანიზაციები, რომლებიც სამუშაოებს ქალაქში ასრულებენ, წითელი ხაზების კოორდინატებთან ერთად

სახელმძღვანელოდ უნდა ღებულობდნენ წითელ (საპროექტო) ნიშნულებსაც.

ვერტიკალური დაგეგმარების სქემის საფუძველზე შედგება ტექნიკური პროექტი, რისთვისაც სარგებლობენ 1:1000 ან 1:500 მასშტაბის ტოპოგრაფიული გეგმით.

ვერტიკალური დაგეგმარება მოიცავს შემდეგ სამუშაოებს: მოკვლევა; ვერტიკალური დაგეგმარების პროექტის დამუშავება, რომელიც შედგება რელიეფის ორგანიზაციის გეგმისგან და მიწის მასების გეგმისგან (კარტოგრამა); მიწის სამუშაოებისგან, რომელშიც იგულისხმება მიწის ჩამოჭრა, დაყრა, გადაადგილება, დატკეპნა და სხვა.

დიდი ტერიტორიის ვერტიკალური დაგეგმარების პროექტს ადგენენ ორ სტადიად (ტექნიკური პროექტი და მუშა დოკუმენტაცია), ხოლო მცირე ტერიტორიისას – ერთ სტადიად (მუშა პროექტირება).

ვერტიკალური დაგეგმარების პროექტის დამუშავებისას იცავენ შემდეგ ტექნიკურ პირობებს:

- საპროექტო ქანობა ( $L_x$ ) არ უნდა გადაჭარბოს ზღვრულად დასაშვებ ( $L_{max}$ ) სიდიდეს და არ უნდა იყოს მინიმალურად დასაშვებ ( $L_{min}$ ) სიდიდეზე მცირე, ე.ი. შესრულდეს პირობა  $L_{min} \leq L_x \leq L_{max}$ ;
- მიწის სამუშაოების საერთო მოცულობა ( $V$ ) დასაგეგმარებელი ტერიტორიის ფარგლებში, შესაძლებლობის მიხედვით, უნდა იყოს მინიმალური;
- მოსაჭრელი მიწის მოცულობა ( $V_{\text{ჭ}}$ ) დაახლოებით ტოლი უნდა იყოს დასაყრელი მიწის  $V_{\text{ყ}}$  მოცულობისა.

ზემოთ ჩამოთვლილ მოთხოვნებთან ერთად, ვერტიკალური დაგეგმარების სამუშაოებმა არ უნდა გააუარესოს ჰიდროგეოლოგიური პირობები. არ უნდა დაარღვიოს გრუნტის

წყლების რეჟიმი და არ უნდა წარმოქმნას ნიადაგის ეროზიისა და მეწყერებისთვის ხელშემწყობი პირობები.

ვერტიკალური დაგეგმარების სამუშაოების წარმოებისას ანუ პროექტის ადგილზე გადატანისას გამოსავალ დოკუმენტს წარმოადგენს მუშა ნახაზი საპროექტო სიმაღლეებითა და მუშა ნიშნულებით და მიწის სამუშაოების კარტოგრამა. ტერიტორია უნდა უზრუნველყოფილ იქნას რეპერებით – 1 კმ<sup>2</sup>-ზე 1 რეპერი. პროექტის ნატურაში გადატანას იწყებენ გასასვლელების დაკვალვით. გასასვლელის ღერძს ამაგრებენ პალოებით, რომლებზეც აწერენ მოჭრის ან დაყრის სიმაღლეს სმ-ში. ყველა პიკეტებსა და დამახასიათებელ წერტილებზე დაკვადავენ საპროექტო განივ პროფილს. როგორც წესი, დაგეგმარებით სამუშაოებს ჯერ ასრულებენ შავად (მიწის ძირითადი მასის დაყრა, ჩამოჭრა, გადანაცვლება), ხოლო შემდეგ ასრულებენ საბოლოო დაგეგმარებით სამუშაოებს, რომლის დროსაც საპროექტო ნიშნულები გამოსავალი რეპერიდან გამოაქვთ 5 მმ სკმ.

გასასვლელების დაგეგმარების შემდეგ იწყებენ შიგაკვარტალურ დაგეგმარებას. ამ დროს დაკვალვისათვის იყენებენ კვადრატების მეთოდს, ან გამფორმებელი სიბრტყეების ნატურაში მოცემის მეთოდს. ამ მეთოდის გამოყენებისას პალოებს ამაგრებენ ნულოვანი სამუშაოების ხაზზე.

ვერტიკალური დაგეგმარების ნატურაში გამოტანისას იყენებენ ცნობილ ფორმულას

$$b = H_f - H_{\text{პ.რ.}}$$

სადაც  $H_f$  არის ინსტუმენტის ჰორიზონტი და ტოლია  $H_f = H_{\text{პ.რ.}} + a$ , სადაც  $H_{\text{პ.რ.}}$  არის გამოსავალი რეპერის ნიშნული;  $a$  – ლარტყაზე ანათვალი (რეპერზე);  $H_{\text{პ.რ.}}$  – რომელიმე წერტილის საპროექტო სიმაღლე.

ზოგ შემთხვევაში სარგებლობენ ნიველირის დახრილი სხივით, რომელიც საპროექტო ქანობის პარალელურია.

პროექტის ნატურაში გადატანის შემდეგ ახდენენ საკონტროლო ნიველობას ფაქტიური ნიშნულების განსასაზღვრავად და მათი საპროექტო ნიშნულებისგან გადახრების დასადგენად.

დაგეგმარებითი სამუშაოების ოპერატიული კონტროლი ხორციელდება სპეციალური ლაზერული სამიზნეების დახმარებით.

#### **8.4. გეოდეზიური სამუშაოები მრავალსართულიანი ასაწყობი შენობის აგებისას**

**გეოდეზიური სამუშაოების ტექნოლოგიური სქემა.** ასაწყობი მრავალსართულიანი შენობის აგებისას გეოდეზიური სამუშაოების წარმოების შემდეგი ტექნოლოგიური სქემაა მიღებული:

- 1) ქალაქის გეოდეზიურ საფუძველთან დაკავშირებული პოლიგონომეტრიის ქსელის აგება სამშენებლო მოედანზე;
- 2) შენობის მთავარი და გაბარიტული საპროექტო ღერძების გადატანა ნატურაში პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან;
- 3) დეტალური დაკვალვითი სამუშაოები შენობის მიწისქვეშა ნაწილის ამოყვანისას (ნულოვანი ციკლი);
- 4) საყრდენი გეოდეზიური ქსელის (საბაზო ქსელის) აგება გამოსავალ ჰორიზონტზე - საძირკვლის ფილაზე;
- 5) საბაზო ქსელის პუნქტების დაპროექციება სამონტაჟო ჰორიზონტებზე. იარუსებზე (სართულებზე) საყრდენი კარკასული ქსელების შექმნა;
- 6) საიარუსე (სასართულე) დაკვალვითი ქსელების განვითარება. დეტალური დაკვალვა სამშენებლო კონსტრუქციების მონტაჟისათვის;
- 7) დაყენებული კონსტრუქციების საიარუსე შესრულებითი აგებმვა;

8) ფუძე-საძირკვლის დაწევაზე გეოდეზიური დაკვირვებები.

**გეგმური ქსელების შექმნა.** შენობის მიწისზედა ნაწილის აშენებისთვის საძირკვლის ფილის ზედაპირზე აგებენ საყრდენ გეოდეზიურ ქსელს მიკროტრილატერაციის მწკრივის სახით, რომელიც ორიენტირებული უნდა იქნეს შენობის მთავარი ღერძების პარალელურად. მიკროტრილატერაციის გვერდების სიგრძეები (20 – 25 მ) დამოკიდებულია შენობის ზომებსა და კონფიგურაციაზე. გვერდების სიგრძეთა გასაზომად ჩვეულებრივ იყენებენ ინვარის მავთულს, სკალებიან ბაფთას ან მაღალი სიზუსტის ხვეულას. გვერდების სიგრძის გაზომვის სკმ არ უნდა აღემატებოდეს 0,3 – 0,5 მმ (არა უმეტეს 1:50000 ფარდობითი ცდომილებისა).

ტრილატერაციის ქსელების ტიპურ ფიგურებს წარმოადგენენ ერთმაგი ან ორმაგი გეოდეზიური ოთხკუთხედები, ცენტრალური სისტემები ან წრიული ფორმის შენობა-ნაგებობებისთვის - რადიალური ტიპის ქსელები. ასეთ ქსელებში მხოლოდ ერთი პირობითი განტოლება წარმოიქმნება და ისინი შეიძლება გაწონასწორებულ იქნან მზა ფორმულებით, რომლებიც წიგნებსა და ცნობარებშია მოტანილი.

როგორც ფორმულების ანალიზიდან ჩანს, ტრილატერაციის ქსელის მართკუთხედის ტიპის ცენტრალურ სისტემაში რამდენადმე მცირდება კუთხეების და პუნქტების კოორდინატების განსაზღვრის სიზუსტე იმავე ზომების გეოდეზიურ ოთხკუთხედთან შედარებით. ამიტომ პრაქტიკაში უპირატესობას აძლევენ მართკუთხედს დიაგონალების გადაკვეთის ფიქსირების გარეშე, ანუ გეოდეზიურ ოთხკუთხედს.

**საყრდენი ქსელების დაპროექცია ვერტიკალზე.** შენობის აგებასთან ერთად, საყრდენი გეგმური ქსელის პუნქტების ცენტრები, დამაგრებულნი საძირკვლის ფილაზე, უნდა ატანილი (ვერტიკალური დაპროექციებით) იქნას თანდათანობით მაღლა



სართულებზე. ამ მიზნით იყენებენ ზუსტ შვეულებს ან ვერტიკალური დაპროექციების სპეციალურ ხელსაწყოებს (**ΠΟΒΠ, PZL**), რომლებიც კომპენსაციური ნიველირის ბაზაზეა დამზადებული და იძლევა ვერტიკალურ მზერის სხივს როგორც ზენიტის, ისე ნადირის მიმართულებით.

ამ ხელსაწყოების დახმარებით პუნქტების დაპროექტების სიზუსტე განისაზღვრება მიახლოებითი ემპირიული ფორმულით

$$m_H = 0,01H, H + 0,3 \text{ მ},$$

სადაც, **H, მ** – დაპროექტების სიმაღლეა მ-ში.

**ΠΟΒΠ** და **PZL** ხელსაწყოებით დაკვირვებისთვის სამშენებლო კონსტრუქციებში გათვალისწინებულია ნახვრეტები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევენ დავმზიროთ საძირკვლის გამოსავალი პუნქტიდან ზემოთ სართულებზე მდებარე პუნქტებზე. სამშენებლო სამუშაოების ჰორიზონტზე ამაგრებენ სპეციალურ გამჭვირვალე მასალისგან დამზადებულ პალეტას კვადრატული ბადით, რომელზეც ფიქსირდება ქვემოდან ატანილი წერტილი. ამ წერტილს ნახვრეტის თავზე ამაგრებენ ორი წვრილი მავთულით (დიამეტრი **0,2 – 0,4** მმ). სართულზე დანიშნულ პუნქტების ცენტრებს შორის ზომავენ მანძილებს, რომლებსაც ადარებენ საძირკვლის ფილაზე იმავე პუნქტებს შორის მანძილებს. გაზომვის სიზუსტე აქაც იგივე უნდა იყოს, რაც საყრდენ ქსელში საძირკველზე. დაუშვებელი გადახრისას გაზომვებს იმეორებენ და საჭიროებისას ახდენენ კორექტირებას.

ზემოსართულების ქსელების სიზუსტეზე დიდ გავლენას ახდენს შენობის დეფორმაცია მშენებლობის პროცესში (ქარის დაწოლა, ტემპერატურული გრადიენტი და სხვ.), აგრეთვე საძირკვლის არათანაბარი დაწევა.

მაღლივი შენობების აგების პრაქტიკა აჩვენებს, რომ კარკასული ქსელების აგების სიზუსტე იზრდება, თუ ზედა იარუსებზე დაპროექტება წარმოებს არა უშუალოდ გამოსავალი

პუნქტებიდან, არამედ, თანდათანობით, ბიჯური მეთოდით, ყოველი 10-20 იარუსის შემდეგ.

შენობის  $H$  სიმაღლის დროს, უკანასკნელ იარუსზე პუნქტის დაპროექტების შეცდომა საძირკველზე არსებულ გამოსავალ პუნქტთან შედარებით ტოლია

$$m_H^2 = \left( \frac{m_{\text{ვ.გ.წ.}}'' H}{\rho''} \right)^2 + \left( \frac{m_{\text{ს.ს.გ.}}'' H}{\rho''} \right)^2 + m_{\text{ვ}}^2 + m_{\text{გ}}^2, \quad (8.4.1)$$

სადაც,  $m_{\text{ვ.გ.წ.}}$  არის ვერტიკალზე ორიენტირების შემთხვევითი კუთხური შეცდომა, გამოწვეული კომპენსატორის ან თარაზოს დაყენების უზუსტობით, დამზერის შეცდომით, შემთხვევითი რეფრაქციით;  $m_{\text{ს.ს.გ.}}$  – სისტემატური შეცდომა, გამოწვეული სისტემატური რეფრაქციით, შენობის ცალმხრივი გაზურებით მზისგან და სხვ.  $m_{\text{ვ}}$  და  $m_{\text{გ}}$  – შესაბამისად ხელსაწყო ცენტრირების და საკოორდინატო პალეტაზე პუნქტის დაფიქსირების შეცდომები.

$n$  საფეხურიანი ბიჯური მეთოდით პროექტირების დროს უკანასკნელი იარუსის კარკასული ქსელის პუნქტის მდებარეობაში შეცდომა ბაზური ქსელის პუნქტთან შედარებით შეადგენს

$$m_{H_n}^2 = \left( \frac{m_{\text{ვ.გ.წ.}}'' H}{\rho'' n} \right)^2 + \left( \frac{m_{\text{ს.ს.გ.}}'' H}{\rho'' n} \right)^2 + m_{\text{ვ}}^2 n + m_{\text{გ}}^2 n \quad (8.4.2)$$

ან, რაც იგივეა

$$m_{H_n}^2 = \left( \frac{m_{\text{ვ.გ.წ.}}'' H}{\rho'' \sqrt{n}} \right)^2 + \left( \frac{m_{\text{ს.ს.გ.}}'' H}{\rho''} \right)^2 + (m_{\text{ვ}}^2 + m_{\text{გ}}^2) n \quad (8.4.3)$$

მაგალითად, თუ  $H = 180$  მ,  $n = 3$ ,  $m_{\text{ვ.გ.წ.}} = 2''$ ,  $m_{\text{ს.ს.გ.}} = 1''$ ,  $m_{\text{ვ}} = 0,5$  მმ,  $m_{\text{გ}} = 0,5$  მმ. (8.4.1) ფორმულით სართულებზე გამჭოლი დაპროექციებისას გვექნება

$$m_H = \sqrt{\left( \frac{2'' \cdot 180000}{206000''} \right)^2 + \left( \frac{1'' \cdot 180000}{206000''} \right)^2 + 0,5^2 + 0,5^2} =$$

$$= \sqrt{4,4} = 2,2 \text{ მმ};$$

ხოლო (8.4.2) ფორმულით საფეხურებრივი მეთოდით დაპროექციებისას –

$$m_{H_n} = \sqrt{\left(\frac{2'' \cdot 100000}{206000''}\right)^2 + \left(\frac{1'' \cdot 100000}{206000''}\right)^2 + (0,5^2 + 0,5^2)3} = \\ = \sqrt{3,3} = 1,8 \text{ მმ}.$$

ფორმულებისა და მაგალითის შედეგების შედარება აჩვენებს, რომ იარუსების მიხედვით დაპროექციებისას შემთხვევითი შეცდომების გავლენა მცირდება, ხოლო სისტემატურის გავლენა იგივე რჩება. რაც შეეხება დაცენტრვისა და ფიქსაციის შეცდომებს, ისინი პროპორციულად იზრდებიან ორიენტირების საფეხურების გაზრდასთან ერთად.

თუ შენობა ძალზე მაღალია, აუცილებელი ხდება საფეხურებით ორიენტირების მეთოდის გამოყენება. ამ დროს უნდა ვეცადოთ შევამციროთ დაცენტრვისა და ფიქსირების შეცდომათა სიდიდეები.

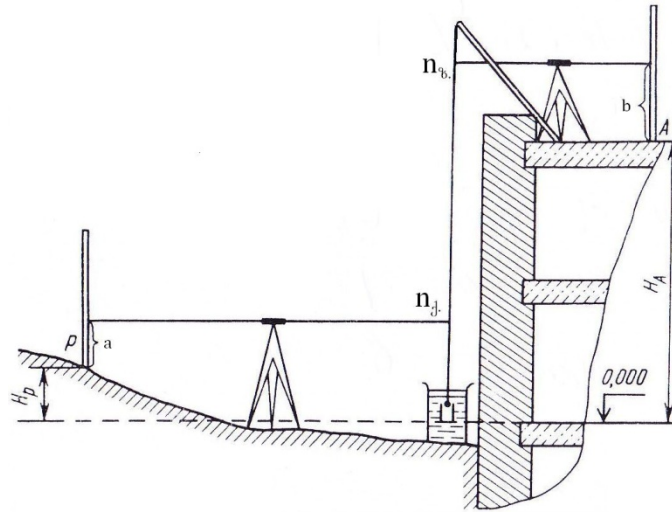
დეტალური დაკვალვებისთვის, იარუსის საყრდენი ქსელი უნდა გახშირდეს დაკვალვითი ქსელის პუნქტებით გასწვრივობითი ან ხაზოვანი გადაკვეთებით. პუნქტები მაგრდება სვეტებზე ან გადახურვის ფილებზე.

ამრიგად, მრავალსართულიანი (მაღლივი) ასაწყობი შენობის აგებისას გეოდეზიური ქსელი სამი სახის აიგება:

- 1) საბაზო საყრდენი ქსელი გამოსავალ ჰორიზონტზე;
- 2) კარკასული საყრდენი ქსელი სამონტაჟო ჰორიზონტზე;
- 3) საიარუსე დასაკვალავი ქსელი.

მაღლივი შენობების აგებისას, ხშირად ქარის გავლენის გამო ძნელდება ხელსაწყობის დაყენება-გასწორება, ამიტომ ზოგჯერ იყენებენ შებრუნებულ შვეულებს, რომლებიც მნიშვნელოვნად ზრდის დაპროექციების სიზუსტეს.

საპროექტო ნიშნულების გადაცემა. საძირკვლის ფილაზე გამოსავალი რეპერის სიმაღლე განისაზღვრება სანიველო საფუძვლის არა ნაკლები ორი პუნქტიდან. იარუსებზე ნიშნულის გადაცემას ახდენენ ან კედლის კაწრულებს შორის მანძილების გაზომვით, ან თუ ეს შეუძლებელია, ნიველირით და კრონშტეინზე ჩამოკიდებული ტვირთიანი ხვეულას დახმარებით, რომლის ბოლო ჩაშვებულია წყლიან ჭურჭელში (ნახ.8.4.1)



ნახ. 8.4.1

(8.4.1) ნახაზის მიხედვით ზევით სართულზე მდებარე  $A$  წერტილის ნიშნული ტოლი იქნება

$$H_A = H_p + a + (n_2 - n_1) - b, \quad (8.4.4)$$

სადაც,  $H_p$  არის რეპერის ნიშნული,  $a$  – რეპერზე დაყენებულ ლარტყაზე ანათვალი,  $b$  – სართულზე  $A$  წერტილზე დაყენებულ ლარტყაზე ანათვალი, ხოლო  $n_2$  და  $n_1$  – ხვეულაზე ზედა და ქვედა ანათვლები.

გამოსავალი ჰორიზონტიდან სამონტაჟო ჰორიზონტზე ნიშნულის გადაცემისთვის იყენებენ აგრეთვე მეკომეტრის ტიპის მაღალი სიზუსტის დიფერენციალურ შუქმანძილმზომს, რომელსაც

შეუძლია მოაბრუნოს სხივი ჰორიზონტალური მდებარეობიდან ვერტიკალურად.

მაღლივი შენობების აგებისას დეტალური დაკვალვის დროს უნდა მიღწეულ იქნას იარუსებზე ვერტიკალურობა, მზიდი კონსტრუქციების ღერძების გასწორება, სალიფტე შახტების მიმმართველების ვერტიკალურობა, გადახურვების ჰორიზონტალურობა, კონსტრუქციების საყრდენების საპროექტო სიმაღლეში მოყვანა და ა.შ.

სიმაღლეში დაყენება ხდება ნიველირით **0,5 – 1** მმ სიზუსტით. სვეტების დაყენება გეგმურად და მათი ვერტიკალურობის შემოწმება ხდება თეოდოლიტით დახრილი სხივის ან გვერდითი ნიველობის ხერხებით **1 – 2** მმ სიზუსტით. ყოველივეს შემდეგ ახდენენ შესრულებით აგებმებს და მაღლივი შენობების დაწეგნებას, ძვრებას და გადახრებზე დაკვირვებებს, რისთვისაც იყენებენ გეოდეზიურ ან ფოტოგრამმეტრიულ მეთოდებს.

## 8.5 გეოდეზიური სამუშაოები კოშკური ტიპის მაღლივი ნაგებობის მშენებლობისას

კოშკური ტიპის მაღლივი ნაგებობების მშენებლობა, როგორცაა სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო საკვამლე მიწები, შხეფსაცივრები, რადიო და ტელეანძები, რთულ გეოდეზიურ უზრუნველყოფას მოითხოვს. დიდ სიმაღლეზე მუშაობისას ადგილი აქვს რხევით მოძრაობას ქარის დაწოლისა და ტემპერატურული ფაქტორის გამო. ამის გარდა, სიმაღლეში მატებისას ზრდადი დატვირთვისგან შეიძლება წარმოიქმნას არათანაბარი დაწეგნები და როგორც შედეგი ნაგებობის დახრა, რაც მხედველობაშია მისაღები გეოდეზიური სამუშაოების პროექტის შედგენისას.

კომპლექსური ტიპის ნაგებობათა მშენებლობისას საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების ძირითადი ამოცანებია: პირველ რიგში, ნაგებობის ღერძის ვერტიკალურობის დაცვა; მეორე მხრივ, ქაშვების, რგოლების, იარუსების ფორმების უზრუნველყოფა სიზუსტის ფარგლებში, რათა ჰორიზონტალურ ჭრილში ექსცენტრისიტეტს არ ჰქონდეს ადგილი და მესამე, აუცილებელია ნაგებობის დეფორმაციის ხასიათის შესწავლა და გამოვლენა როგორც მშენებლობის, ისე ექსპლუატაციის მთელი შემდგომი პერიოდის განმავლობაში.

სამრეწველო საკვამლე მიწებს კონსტრუქციულ-გეომეტრიულად აგებენ ცილინდრული ფორმისას 60მ-მდე სიმაღლის დროს და კონუსური ფორმისას – მეტი სიმაღლის დროს. ცილინდრული მიწების დიამეტრს ირჩევენ იმ პირობით, რომ  $H/D \leq 20$ , სადაც  $H$  არის მიწის სიმაღლე,  $D$  – მისი დიამეტრი. კონუსური ფორმის დროს მსახველის ქანობს 80 მ-მდე სიმაღლისას იღებენ 2%, ხოლო 80 მ-ზე ზემოთ – ცვალებადს – 2 – 1,5%.

საკვამლე მიწების სიმაღლე შეიძლება იყოს 300 მ და მეტიც.

რადიო და ტელეანძებს აგებენ 300 – 500 მ და მეტი სიმაღლისას. დიამეტრის სიმაღლესთან ფარდობას იღებენ 1:15-დან 1:25-მდე.

კომპლექსური ტიპის მაღლივი ნაგებობების აშენებისას წარმოიქმნება გეოდეზიური საფუძვლის ორ საფეხურად შექმნის აუცილებლობა – საყრდენი ქსელისა და სამუშაო ტექნოლოგიური საფუძვლის სახით. პირველი საფეხური მშენებლობის დაწყებამდე იქმნება, მეორე კი – ნულოვანი ციკლის სამუშაოების დამთავრების შემდეგ.

საყრდენი ქსელი იქმნება ნაგებობის ნატურაში დაკვალებისა და შემდგომ მის დეფორმაციებზე დაკვირვებებისთვის. სასურველია ამ ქსელის განლაგება მთავარი ღერძების მიმართულებით და ცენტრიდან თანაბარ მანძილებზე – ცენტრალური სისტემის სახით.

ამ ქსელის პუნქტების მდებარეობას საზღვრავენ ტრიანგულაციის, ტრილატერაციის ან ხაზოვან-კუთხური მეთოდებით.

სამუშაო ტექნოლოგიურმა საფუძველმა უნდა უზრუნველყოს ნაგებობის ღერძების გადატანა სამუშაო ჰორიზონტზე – ვერტიკალური დაპროექციების მეთოდით. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ დაბალი ნაგებობისთვის ( $\leq 100$  მ) მცირე განივი კვეთით სამუშაო ტექნოლოგიურ საფუძველს არ ქმნიან. ამ შემთხვევაში ნაგებობა ნატურაში გადაიტანება ვერტიკალური დაპროექციების მეთოდით.

დიდი განივი კვეთის მქონე ნაგებობებისთვის იყენებენ სქემებს რადიალურ-წრიული საყრდენი ქსელების სახით.

ღერძების გადატანისას მაღლა – სამუშაო ჰორიზონტზე, მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ, რომ კოშკური ტიპის ნაგებობანი ძალზე მგრძნობიარენი არიან გარეშე ფაქტორების მოქმედების მიმართ, კერძოდ, ცალმხრივი ტემპერატურული მოქმედებისა და ქარების მიმართ. ამიტომ, ღერძების მაღლა გადატანის სამუშაოები უნდა ჩატარდეს ღამით ან დილით ადრე, უქარო ამინდის დროს. აუცილებელია აგრეთვე, ნაგებობის დახრის და გალუნვის კონტროლი. ამ მიზნით ნაგებობის კორპუსზე ყოველ  $25 - 30$  მ ამაგრებენ მარკებს, რომლებზე დამზერითაც კონტროლდება ნაგებობის მდგომარეობა.

დიდი სიმაღლის ნაგებობისთვის ( $> 150 - 200$  მ) ღერძების მაღლა გადატანისას შეაქვთ შესწორებანი კოშკის გალუნვისათვის, რომელთა სიდიდეებს პოულობენ უმცირეს კვადრატთა მეთოდით მეორე ამ მესამე რიგის პოლინომებიდან:

$$\Delta S_i = a_0 + a_1 h_i + a_2 h_i^2 \text{ ან } \Delta S_i = a_0 + a_1 h_i + a_2 h_i^2 + a_3 h_i^3,$$

სადაც  $\Delta S_i$  არის სამონტაჟო  $h_i$  ჰორიზონტზე შესწორების სიდიდე,  $a_i$  – პარამეტრები, რომელთა განსაზღვრისათვის წინასწარ იზომება აშენებულ ჰორიზონტებზე ( $h_i$ ) შესწორებათა სიდიდეები ( $\Delta S_i$ ).

## თავი 9. გეოდეზიური სამუშაოები ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობის დროს

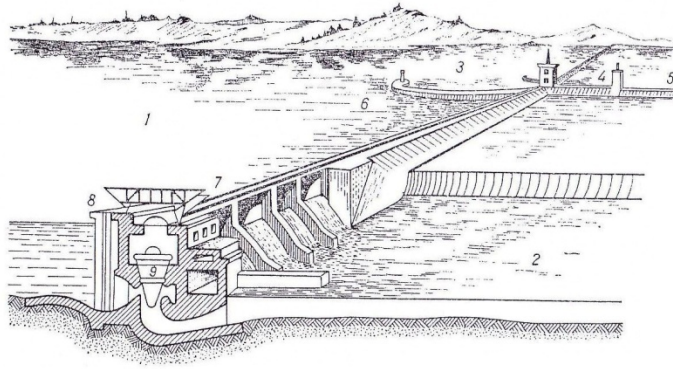
### 9.1. ზოგადი ცნობები ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა დანიშნულება წყლის რესურსების გამოყენებაა სხვადასხვა სამეურნეო ამოცანების გადასაწყვეტად. მათგან უმთავრესია: მდინარეთა ენერგიის გამოყენება ჰიდროელექტროსადგურებში (ჰეს); სატრანსპორტო პრობლემების გადაჭრა მაგისტრალური არხების მეშვეობით; მიწების ჰიდრომელიორაცია – მორწყვა და ამოშრობა; ქალაქების, დაბების და სამრეწველო ობიექტების წყალმომარაგება და სხვ.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ერთობლიობას ჰიდროკვანძს უწოდებენ. მისი შემადგენელი ნაწილებია: კაშხალი, ჰეს-ი, გემების გასატარებელი ნაგებობანი, თევზის გასაშვები მოწყობილობანი, წყალსაცავი.

შესაძლებლობის მიხედვით კაშხლის თხემს იყენებენ სატრანსპორტოდაც. ნახ.(9.1.1)-ზე ნაჩვენებია ჰიდროკვანძი ვაკე ადგილზე





ნახ. 9.1.1

ნახაზზე მოცემულია ზედა ბიეფი – 1, ქვედა ბიეფი – 2, ავანპორტი – 3, გემსაგალი რაბი – 4, ქვედა მისასვლელი არხი – 5, მიწის კაშხალი – 6, ბეტონის წყალგასაშვები კაშხალი – 7, ჰეს-ის შენობა – 8, ტურბინა და გენერატორი – 9.

კაშხლის დანიშნულებაა შექმნას წყალსაცავი ჰეს-ში წყლის მისაწოდებლად. ზომებითა და კონსტრუქციით იგი შეიძლება იყოს მარტივი ან რთული. ასაგები მასალის მიხედვით არჩევენ მიწის, ქვანაგებულის, ბეტონის და რკინაბეტონის კაშხლებს. წყლის გაშვების პირობების მიხედვით კაშხლები შეიძლება იყოს: ყრუ, წყალსაგდები და წყალგადასაშვები (წყლის გადაშვებით თხემზე). კონსტრუქციული ნიშნების მიხედვით ბეტონის და რკინაბეტონის კაშხლები არიან გრავიტაციული, თაღური, თაღურ-გრავიტაციული და კონტრფორსული (გვერდსამაგრი).

გრავიტაციული კაშხლები დიდი მასის მქონე ნაგებობებია, რომლებიც წყლის დაწნევას საკუთარი წონით აწონასწორებენ. მათი განივი კვეთი ახლოა მართკუთხა სამკუთხედის ფორმასთან ჰიპოტენუზით ქვედა ბიეფისკენ (მაგ. კრასნოიარსკის კაშხალი).

თაღური კაშხლები, როგორც გეგმაში, ისე ვერტიკალურ ჭრილში მრუდხაზოვანი ფორმისაა და მუშაობენ როგორც ღრეკადი თაღური სისტემები დაყრდნობილი კლდოვან ნაპირებზე (მაგ. ენგურჰესის კაშხალი).

თაღურ-გრაფიკაციული კაშხლები მუშაობენ ერთდროულად, როგორც თაღური და როგორც გრაფიკაციული კაშხლები.

კონტროლსული (გვერდსამაგრი) კაშხლები შედგება მთელი რიგი კორტფორსებისგან- კედლებისგან, რომელთა ფორმა განიკვეთში ახლოსაა ტრაპეციასთან. მათ აყენებენ ერთმანეთისგან დაშორებით და გადაკეტავენ ან მუდმივი სადაწნეო კედლებით, ან საკეტებით. წყლის დაწოლა გადახურვაზე გადაეცემა კონტროლსებს, რომლებიც თავის მხრივ მას გადასცემენ ნაგებობის საძირკველზე.

კაშხალი მდინარეს ჰყოფს ორ ნაწილად – ზედა და ქვედა ბიეფად. ზედა ბიეფში არის წყალშემკრები აუზი, რომელიც ქმნის **H** დაწნევას, განპირობებულს ზედა და ქვედა ბიეფებს შორის სიმაღლეთა სხვაობით. ვაკე ადგილებში აგებენ მასიურ გრაფიკაციულ კაშხლებს, ხოლო მთიან ხეობებში ამოყავთ თაღური კაშხლები. **H** დაწნევა ვაკე ადგილებში მცირეა – არ აღემატება **25 – 30** მ, მთიან ადგილებში კი მისი სიდიდე **200 – 300** მ აღწევს (ენგურის, ნურეკის, ჩირკეის და სხვ.).

როგორც ყველა რთული ნაგებობა, ჰიდროტექნიკური ობიექტებიც დაპროექტდება ორ სტადიად: ტექნიკური პროექტი და მუშა ნახაზები. ამასთან მნიშვნელოვანი როლი განეკუთვნება პროექტის ტექნიკურ-ეკონომიკურ დასაბუთებას.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა დაპროექტება მოითხოვს ადგილის რელიეფის დეტალურ გამოხაზვას დიდი სიზუსტით – რელიეფის კვეთით **0,5 – 1** მ.

გრძივი პროფილის შედგენა დიდ მდინარეებზე, რომელთა დონის დაცემა **1** კმ მანძილზე – **5 – 10** სმ არ აღემატება, მოითხოვს II-III კლასის ნიველობას.

პროექტის ნატურაში გადატანისას საჭირო ხდება საპროექტო სიმაღლეებისა და ქანობების ზუსტად დაცვა, რაც მოითხოვს მაღალი კლასის სანიველო საფუძვლის შექმნას ერთიან სასიმაღლო სისტემაში.

კაშხლის დაპროექტებისას დიდი მნიშვნელობა აქვს ე.წ. ნორმალური საყრდენი (შემტბორი) ღონის სიმაღლის შერჩევას, ანუ ზედა ბიეფის ღონის შერჩევას, რომელიც განსაზღვრავს წყლის დაწნევის სიდიდეს და აქედან გამომდინარე, ჰესის საანგარიშო სიმძლავრეს, აგრეთვე წყალშემკრები აუზის კონტურებს.

ჰეს-ის სიმძლავრის გაანგარიშებისას დიდ მნიშვნელობას იძენს წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობის (იგივე წყალგადასაშვები პრიზმის) გათვლა, რომელიც ტოლია

$$V_{\text{სარ}} = V_{\text{სა}} - V_{\text{გ}},$$

სადაც  $V_{\text{სარ}}$  არის წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობა,  $V_{\text{სა}}$  – წყალსაცავის სრული მოცულობა,  $V_{\text{გ}}$  – წყალსაცავის „მკვდარი“ მოცულობა, ანუ წყლის ის მოცულობაა, რომელიც არ მონაწილეობს ტურბინების მუშაობაში.

დაწნევისა და სასარგებლო მოცულობის გაანგარიშების სიზუსტე უმთავრესად დამოკიდებულია ტოპოგრაფიულ-გეოდეზიურ მონაცემებზე. ზედა და ქვედა ბიეფის ღონეთა სიმაღლეები ჩვეულებრივ წყალსაზომი სადგურების სანიველო ნიშნებიდან განისაზღვრება.

## 9.2 მდინარის გრძივი პროფილის შედგენა

**პროფილის არსი და დანიშნულება.** მდინარის გრძივი პროფილი კალაპოტის უდიდესი სიღრმის ან მისი შუაწელის დინამიური ხაზის გასწვრივ ვერტიკალური ჭრილია. იგი ტეხილია, როგორც ჰორიზონტალურ, ისე ვერტიკალურ სიბრტყეში და აქვს ცვალებადი ქანობი, განპირობებული ადგილისა და დროის ფაქტორებით.

მდინარის გრძივი პროფილის დანიშნულება მრავალმხრივია: ჰეს-ბის დაპროექტება; გემთმომოსვლის პირობების გაუმჯობესება; კაშხლების განლაგების პროექტის შედგენა; წყალმომარაგების

საკითხები; ხე-ტყის დაცურების პრობლემები და სხვ. განსაკუთრებულ მნიშვნელობას კი მდინარის გრძივი პროფილი იძენს ჰეს-ბის კასკადური სქემის დაპროექტებისას დაწნევის სიდიდის განსაზღვრის თვალსაზრისით.

მდინარის გრძივი პროფილის შედგენისთვის აუცილებელია წყლის ზედაპირის დამახასიათებელი წერტილების ღონეთა განსაზღვრა მდინარის მთელ სიგრძეზე. რადგანაც ეს ღონეები განუწყვეტლივ იცვლება, ხოლო მთელი მდინარის ერთდროული ნიველობა შეუძლებელია, ამიტომ წამოიჭრება სასიმაღლო განაზომთა დროის ერთ განსაზღვრულ მომენტზე დაყვანის ამოცანა (ჩვეულებრივ, წყალმცირობისას ყველაზე დაბალი ღონე).

გრძივი პროფილის შესადგენად მდინარის კლდოვან ნაპირზე (დიდ მდინარეებზე ორივე მხარეს) გაყავთ მაგისტრალური სანიველო სვლა მაღალი კლასის სიზუსტით. ამ სვლის პუნქტებიდან სიმაღლეებს გადასცემენ მუშა რეპერებზე, რომლებიც მდინარის კალაპოტის ახლოს განლაგდება. მუშა სვლები შედარებით დაბალი კლასისაა და მათ იყენებენ მდინარეში წყლის ზედაპირის ღონეთა ნიველობისთვის.

**მდინარის ქანობის განსაზღვრის სიზუსტისადმი მოთხოვნები.** ჰიდროტექნიკური საინჟინრო მიმოკვლევის მრავალი ამოცანის გადასაწყვეტად ფართო გამოყენება აქვს ე.წ. შეზის ფორმულას. მას იყენებენ მდინარის კალაპოტის გამტარუნარიანობის, არხების ცოცხალი კვეთის, მილსადენებში წყლის ხარჯის და სხვ. გაანგარიშებისას. ამ ამოცანათა შორისაა მდინარის ნაკადის ქანობის განსაზღვრის სიზუსტე, რომელიც გამოიყვანება შეზის ფორმულის ანალიზის საფუძველზე

$$v = C\sqrt{RI} , \quad (9.2.1)$$

სადაც  $v$  არის ღინების სიჩქარე, მ/სეკ;  $C$  – სიჩქარის კოეფიციენტი;  $R$  – ჰიდრაულიკური რადიუსი, რომელიც ტოლია კალაპოტის ცოცხალი კვეთის ფართობის  $(\omega)$  ფარდობისა მდინარის სველ პერიმეტრთან  $(P)$  (დიდი მდინარეებისთვის

ჰიდრავლიკური რადიუსი ნაკადის საშუალო სიღრმის ტოლია);  
 $l$  – წყლის ნაკადის ქანობი.

(9.2.1) ფორმულიდან გამოდის, რომ ნაკადის ქანობი ტოლია

$$l = \frac{v^2}{c^2 R} .$$

თუ სიჩქარის კოეფიციენტის სიდიდედ, როცა  $R > 1$ ,  
 მივიღებთ

$$C = \frac{1}{n} R^{1,5\sqrt{n}} ,$$

სადაც  $n$  – ხორკლიანობის (სიმქისის) კოეფიციენტია და  $v$ -ს  
 გამოვსახავთ დამოკიდებულებით

$$v = \frac{Q}{\omega} ,$$

სადაც  $Q$  – წყლის ხარჯია, მ<sup>3</sup>/სეკ, მივიღებთ

$$l = \frac{Q^2 n^2}{R^{2,5\sqrt{n}} R \omega^2} . \quad (9.2.2)$$

თუ (9.2.2) ფორმულას გავალოგარიტმებთ და ხარისხის  
 მაჩვენებლისთვის  $2,5\sqrt{n}$  მივიღებთ მის ზღვრულ სიდიდეს –  
 $n = 0,05$ , გვექნება

$$\ln l = 2 \ln Q + 2 \ln n - 1,58 \ln R - 2 \ln \omega .$$

აქედან ( $Q, n, R, \omega$  დამოუკიდებლად განსაზღვრისას) მივიღებთ

$$\left(\frac{m_l}{l}\right)^2 = 4 \left(\frac{m_Q}{Q}\right)^2 + 4 \left(\frac{m_n}{n}\right)^2 + 2,5 \left(\frac{m_R}{R}\right)^2 + 4 \left(\frac{m_\omega}{\omega}\right)^2 . \quad (9.2.3)$$

ყველაზე გულდასმითი ნატურული განსაზღვრისას ფარდობითი  
 ცდომილებანი შეიძლება მივიღოთ

$$\frac{m_Q}{Q} = 1,5\%, \quad \frac{m_n}{n} = 3\%, \quad \frac{m_R}{R} = 1\%, \quad \frac{m_\omega}{\omega} = 1\% .$$

მაშინ (9.2.3) ფორმულიდან ვიპოვიით

$$\frac{m_l}{l} = \sqrt{9 \cdot 10^{-4} + 36 \cdot 10^{-4} + 2,5 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 10^{-4}} = 0,072 .$$

მიღებული სიდიდე ახლოსაა თვითდინებითი მილსადენების და ღია ბეტონის ღარების საპროექტო ქანობების ნატურაში გადატანის დასაშვები შეცდომის სიდიდესთან ( $m_t = 0,10$ ).

მდინარეთა ქანობების განსაზღვრისას ნიველობით  $t = h/L$ , სადაც  $h$  არის წერტილებს შორის აღმატება („მდინარის ვარდნა“), ხოლო  $L$  — მათ შორის მანძილი. მანძილის გაზომვის შეცდომის უგულებელყოფისას, შეგვიძლია დავწეროთ

$$\frac{m_t}{t} = \frac{m_h}{h}, \quad (9.2.4)$$

სადაც  $m_h/h$  — მდინარის ნიველობის ფარდობითი შეცდომაა. მივიღოთ იგი ქანობის განსაზღვრის მოთხოვნილ სიზუსტეზე 2-ჯერ ნაკლები —  $m_h/h = 0,036$  ან

$$m_h = 0,036h. \quad (9.2.5)$$

როგორც ცნობილია, ნიველობის სიზუსტე ტოლია

$$m_h = \eta\sqrt{L}, \quad (9.2.6)$$

სადაც  $\eta$  არის აღმატების განსაზღვრის სკშ სანიველო სვლის 1 კმ-ზე, მმ;  $L$  — სვლის სიგრძე, კმ-ში.

თუ (9.2.5) და (9.2.6) ფორმულების მარჯვენა მხარეებს გავუტოლებთ, მივიღებთ

$$\eta = 0,036 \frac{h}{\sqrt{L}}. \quad (9.2.7)$$

თუ გვეცოდინება მდინარის ვარდნა (ქანობი) 1კმ მანძილზე, განვსაზღვრავთ ამავე მანძილზე ნიველობის დასაშვები შეცდომის სიდიდეს, ანუ განვსაზღვრავთ მაგისტრალური სვლის ნიველობის საჭირო კლასს. თუ მივიღებთ,  $\eta$  სკშ 2,5-ჯერ ნაკლებს ზღვრულ შეცდომაზე, განვსაზღვრავთ მის მნიშვნელობებს:

ნიველობის II კლასისთვის —  $\eta_{კლ} = 2$  მმ, ზღვრული —  $5\sqrt{L}$ ;

ნიველობის III კლასისთვის —  $\eta_{კლ} = 4$  მმ, ზღვრული —  $10\sqrt{L}$ ;

ნიველობის IV კლასისთვის –  $\eta_{კმ} = 8 \text{ მმ}$ , ზღვრული –  $20\sqrt{L}$ ;

ტექნიკური ნიველობისთვის –  $\eta_{კმ} = 12 - 20 \text{ მმ}$ , ზღვრული –  $30\sqrt{L} - 50\sqrt{L}$ .

თუ მდინარის 1 კმ სიგრძეს მივიღებთ სტანდარტად და ჩავსვამთ (9.2.7) ფორმულაში  $h$  სხვადასხვა მნიშვნელობებს, მივიღებთ (9.2.1) ცხრილს, რომლითაც მდინარის ქანობის მიხედვით, შეიძლება რეკომენდაცია მივცეთ მაგისტრალური და სამუშაო სანიველო სვლების ამათუიშ კლასს.

ცხრილში, მდინარეთა ღონის ნიველობის სიზუსტის განსაზღვრისას მიღებულია, რომ ეს სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს 2-ჯერ ნაკლები სიზუსტით, ვიდრე მაგისტრალური სვლის ნიველობისა.

რადგან (9.2.7) ფორმულაში სიზუსტის რაღაც მარაგია ჩადებული, მდინარის 1 კმ-ზე 5 სმ-ზე ნაკლები სიდიდით ვარდნისას, მაგისტრალური სვლა შეიძლება ისევ II კლასით განიველდეს (საერთოდ, ჰიდროტექნიკური მიმოკვლევის პრაქტიკაში მაგისტრალურ სვლებში I კლ. ნიველობას, როგორც წესი, არ იყენებენ).

ცხრილი 9.2.1

| მდინარის<br>ვარდნა<br>1 კმ-ზე,<br>სმ | მდინარის<br>ქანობი,<br>$i$ | მაგისტრალური<br>სვლებისთვის |                    | მდინარეთა ღონის<br>ნიველობისთვის |                 |
|--------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------|
|                                      |                            | $\eta$ , მმ                 | ნიველობის<br>კლასი | $\eta_{კმ} = 2\eta$ ,<br>მმ      | ნიველობის კლასი |
| 5                                    | 0,00005                    | 1,8                         | II                 | 3,6                              | II              |
| 10                                   | 0,00010                    | 3,6                         | II                 | 7,2                              | III             |
| 15                                   | 0,00015                    | 5,4                         | III                | 10,8                             | IV              |
| 20                                   | 0,00020                    | 7,2                         | III                | 14,4                             | IV              |
| 25                                   | 0,00025                    | 9,0                         | IV                 | 18,0                             | ტექნიკური       |
| 30                                   | 0,00030                    | 10,8                        | IV                 | 21,6                             | "               |
| 35                                   | 0,00035                    | 12,6                        | IV                 | 25,2                             | "               |

|     |         |      |           |      |                 |
|-----|---------|------|-----------|------|-----------------|
| 40  | 0,00040 | 14,4 | IV        | 28,8 | "               |
| 50  | 0,00050 | 18,0 | IV        | 36,0 | "               |
| 60  | 0,00060 | 21,6 | ტექნიკური | 43,2 | "               |
| 70  | 0,00070 | 25,2 | "         | 50,4 | ტრიგონომეტრიული |
| 80  | 0,00080 | 28,8 | "         | 57,6 | "               |
| 90  | 0,00090 | 32,4 | "         | 64,8 | "               |
| 100 | 0,00100 | 36,0 | "         | 72,0 | "               |
|     |         |      |           |      | "               |

მოსავალ მასალად 1:10000-დან 1:100000-მდე მასშტაბის ტოპოგრაფიული რუკები და მდინარეთა არსებული გრძივი პროფილებია მიღებული.

**მდინარეში წყლის დონის ნიველობა.** მაგისტრალური სანიველო სვლის რეპერებიდან ნიშნულებს გადასცემენ მდინარის კალაპოტის ახლოს ჩამაგრებულ რეპერებზე, რომელთაც იყენებენ მდინარეთა დონის ნიველობისთვის.

წყლის დონეებს აფიქსირებენ ყოველ 1-3 კმ, მდინარის დამახასიათებელ წერტილებზე: ჩქერებზე, ჭორომებზე, მკვეთრი მოხვევის ადგილებზე, კუნძულებით შევიწროებულ უბნებზე, ზედა და ქვედა ბიეფებში, ხიდეტან, შენაკადებთან და ა.შ.

მდინარის დამახასიათებელ წერტილებს, სადაც წყლის დონის ფიქსირებისთვის მდინარის კიდეზე ჩამაგრებენ პალოებს, ერთდღიანი კავშირის წერტილებს (ეკწ) უწოდებენ. მდინარეს ყოფენ 30-50 კმ სიგრძის უბნებად, რომელზეც მიამაგრებენ ერთ სანიველო ბრიგადას. უბნის სიგრძე წყლის დონის ცვალებადობის ინტენსივობაზეა დამოკიდებული. უბნების საზღვარზე, აგრეთვე სხვა დამახასიათებელ წერტილებში აწყობენ დროებით წყალსაზომ საგუშაგოებს, რომლებშიც წყლის დონეზე სისტემატური დაკვირვებები წარმოებს.

მდგრადი დონისას (როდესაც დონე იცვლება არაუმეტეს 1 სმ დღეში), პალოებს ასობენ წყლის ზედაპირის დონეზე ერთი დღის



განმავლობაში კატარღის ან მოტორიანი ნავის გამოყენებით. ნიველობა უნდა დამთავრდეს 2-3 დღეში, რათა გვქონდეს იმის რწმენა, რომ პალოების სიმაღლე ამ დროში არ შეცვლილა.

პალოებს ჩაამაგრებენ წყლის კიდედან 1 მ დაშორებით ან სპეციალურად გათხრილ ტრანშეებში უქარო ამინდის დროს. კონტროლისთვის ნაპირზე ამაგრებენ პალოებს. ნაპირის პალოებს მუშა ნიველობით აკავშირებენ მაგისტრალური სანიველო სვლის რეპერებთან (ნახ.9.2.1)

მაგისტრალური სვლის მუდმივ რკინაბეტონის რეპერებს ჩაამაგრებენ მდგრად ადგილებში ყოველ 5-7 კმ, შესაძლებლობის ფარგლებში, მდინარის დამახასიათებელი წერტილების ახლოს. დროებითი რეპერები შეიძლება დაყენებულ იქნას ყოველ 2-3 კმ-ში.

მუშა სანიველო სვლები, როგორც ე ნახ. 9.2.1 ი, გაყავთ პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით. ძათი სიზუსტე 2-ჯერ ნაკლებია მაგისტრალური სვლის სიზუსტეზე (ჩვეულებრივ IV კლ. ნიველობა).

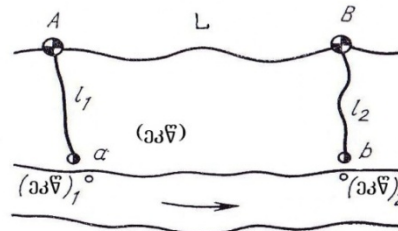
ორ წერტილს  $(\text{ავწ}_1 \text{ და } \text{ავწ}_2)$  შორის ვარდნილობის განსაზღვრის  $m_h$  სკშ შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$m_h = \sqrt{m_L^2 + m_{i_1}^2 + m_{i_2}^2 + 2m_{\Phi}^2}, \quad (9.2.8)$$

სადაც  $m_L$  არის A და B (ნახ.9.2.1) წერტილებს შორის მაგისტრალური სვლის სკშ;  $m_{i_1}$  და  $m_{i_2} = l_1$  და  $l_2$  მუშა სანიველო სვლების სკშ;  $m_{\Phi}$  - წყლის დონეთა დაფიქსირების სკშ (ჩვეულებრივ იღებენ 5-10 მმ).

$$m_L = \eta_1 \sqrt{L}, \quad m_{i_1} = \eta_2 \sqrt{l_1}$$

თუ ამ სიდიდეებს ჩავსვამთ (9.2.8)-ში, მივიღებთ



$$m_h = \sqrt{\eta_1^2 L + \eta_2^2 (l_1 + l_2) + 2m_{\Phi}^2} . \quad (9.2.9)$$

თუ მივიღებთ, რომ  $l_1 \approx l_2 = l$ , გვექნება

$$m_h = \sqrt{\eta_1^2 L + 2\eta_2^2 l + 2m_{\Phi}^2} . \quad (9.2.10)$$

(9.2.5) ფორმულის თანახმად, კარდნილობის განსაზღვრის შეცდომის საანგარიშო სიდიდე

$$m_{h_{\text{ანგ.}}} = 0,072h , \quad (9.2.11)$$

სადაც  $h - \text{ეკვ}_1 \text{ და } \text{ეკვ}_2$  შორის კარდნის სიდიდეა.

(9.2.10) ფორმულით გამოთვლილი შეცდომის რეალური სიდიდე არ უნდა აღარბეჭდეს (9.2.11) ფორმულით მიღებულ საანგარიშო სიდიდეს

$$m_h \leq m_{h_{\text{ანგ.}}}$$

თუ  $m_h > m_{h_{\text{ანგ.}}}$ , მაშინ მუშა სვლის კლასი უნდა გაიზარდოს

(III კლასამდე) და ღონის ფიქსაციის შეცდომა შემცირდეს მინიმუმამდე (5 მმ). მაგალითად, წერტილებს შორის 2 კმ მანძილისა და მდინარის 0,0001 ქანობის დროს (ვარდნა შეადგენს 200 მმ), შეცდომის დასაშვები სიდიდე იქნება  $m_{h_{\text{ანგ.}}} = 0,072 \cdot 200 = 14,4$  მმ. თუ  $L = 5$  კმ,  $l = 3$  კმ და  $m_{\Phi} = 10$  მმ, მაშინ (9.2.10) ფორმულის თანახმად  $m_h = 24,6$  მმ ( $\eta_1 = 2$  მმ და  $\eta_2 = 8$  მმ), რაც მეტია დასაშვებზე (14,4 მმ). გავზარდოთ მუშა ნიველობის კლასი IV-დან III-მდე და უზრუნველყოთ  $m_{\Phi} = 5$  მმ, მივიღებთ  $m_h = 13,7$  მმ. მიღებული შეცდომა ნაკლებია დასაშვებზე და აკმაყოფილებს (9.2.11) მოთხოვნას.

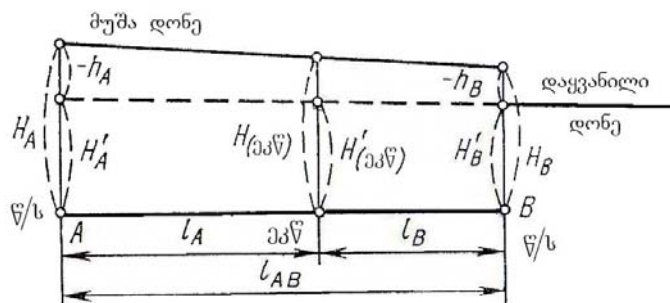
ერთდღიანი კავშირის წერტილების (ეკვ) პალოების თავების ნიველობასთან ერთად ასრულებენ წყლის სიღრმეების გაზომვებს ფარვატერში, ნაპირების სიმაღლეთა განსაზღვრას და მდინარის გარემოს აგეგმვას.

**ჩამოჭრილ დონეზე დაყვანა.** მდინარის გრძივი პროფილის საველე ჟურნალებში აჩვენებენ წყლის კიდეზე პალოების დაყენების და მათი ნიველობის დროს. წყალსაზომ საგუშაგოებზე (წს) სისტემატურად აკვირდებიან წყლის დონეს. ამ მონაცემებს იყენებენ წყლის ზედაპირის ნიშნულების ერთდროულ (ჩამოჭრილ) დონეზე დასაყვანად.

დონეთა ისე განლაგებისას, როგორც ნახ.9.2.2-ზეა, რომელიმე ეკწ-ს დაყვანილი ნიშნული შეიძლება ვიპოვოთ (ინტერპოლაციით) შემდეგი ფორმულით

$$H'_{\text{ეკწ}} = H_{\text{ეკწ}} + (-h_B) + \frac{[(-h_A) - (-h_B)]L_B}{L_{AB}}, \quad (9.2.12)$$

სადაც  $h_A$  და  $h_B$  არის  $A$  და  $B$  წყალსაზომ საგუშაგოებზე დონეების სიმაღლეთა სხვაობა ერთი მხრივ, დონეების დაყვანის მომენტისა და მეორე მხრივ, ნიველობის მომენტის დროს;  $H_{\text{ეკწ}}$  – ერთდღიანი კავშირის წერტილის საბუშაო ნიშნული.



ნახ. 9.2.2

**მდინარის გრძივი პროფილის შედგენა.** მდინარის გრძივი პროფილს ადგენენ საველე განაზომთა მონაცემებით და კამერალური დამუშავების შედეგებით.

გრძივი პროფილის მასშტაბი დამოკიდებულია მის დანიშნულებაზე, მდინარის სიგრძეზე, ქანობის სიდიდეზე. ჩვეულებრივ, კორიზონტალურ მასშტაბს იღებენ **1:25000 – 1:100000**, ვერტიკალურს კი – **1:100**.

გრძივ პროფილზე აღინიშნება მდინარის დონეთა დამახასიათებელი ნიშნულები, წყალსაზომი საგუშაგოების ნულოვანი ნიშნულები, მდინარის ფსკერის (ფარვატერზე) და ნაპირების ნიშნულები, წყლის დონეთა ვარდნა 1 კმ-ზე (ქანობი), მდინარის ისტორიული უმაღლესი დონე და სხვ.

წყალსაცავის შექმნისას დასატბორი ადგილების შესახებ ცნობების მისაღებად პროფილზე დააქვთ ყველაზე დაბალი დასახლებული პუნქტების და შენობა-ნაგებობების სიმაღლეები.

### 9.3. ტოპოგრაფიულ-გეოდეზიური სამუშაოები წყალსაცავის შექმნისას

დონისძიებათა რიცხვს, რომელნიც უზრუნველყოფენ მდინარის წყლის ჩამონადენის რეგულირებას, მიეკუთვნება წყალსაცავის შექმნა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს დავაგროვოთ წყალი მდინარის ადიდების (წყალმოვარდნის) პერიოდში.

წყალსაცავების ძირითადი სახეა კაშხლებით შექმნილი ხელოვნური წყალსატევები, რომლებიც მნიშვნელოვანი მოცულობით ხასიათდებიან.

ყველაზე დაბალ დონეს, რომლის ქვევით წყალსაცავის წყალი არ მონაწილეობს ტურბინების მუშაობაში, მკვდარი მოცულობის ჰორიზონტს უწოდებენ, ხოლო წყლის მოცულობას (სივრცე, რომელიც ჩამონატანებით (შლამით) ივსება დროთა განმავლობაში) – მკვდარ მოცულობას. შესაბამისად, წყლის იმ დონეს, რომლის დროსაც წყალსაცავში განლაგებულია წყლის გაანგარიშებული სასარგებლო მოცულობა, უწოდებენ ნორმალური შეტბორვის

დონეს ანუ სამუშაო დონეს. უმაღლეს დონეს, რომელზეც შეიძლება ავიდეს წყალი წყალსაცავში წყალმოვარდნის შედეგად – უწოდებენ კატასტროფულ დონეს.

მდინარის ნაწილი, რომელიც უშუალოდ, კაშხლის ზემოთ არის განლაგებული იწოდება ზედა ბიეფად, ხოლო კაშხლის ქვემოთ – ქვედა ბიეფად.

წყალსაცავის შექმნის მიზანი, ტურბინებზე წყლის მიწოდების გარდა, შეიძლება იყოს: მიწების მორწყვა; გემთმიმოსვლის ორგანიზება; სამრეწველო საწარმოთა და დასახლებული პუნქტების წყალმომარაგება; ტურისტული და დასასვენებელი კომპლექსის შექმნა და სხვ. ყველა ეს ამოცანები მსხვილი წყალსაცავებისთვის კომპლექსურად წყდება.

დიდი წყალსაცავების შექმნისას, დადებით ეფექტთან ერთად, რომელიც ძირითადად, ეკონომიკურ ეფექტურობაში გამოისახება, ადგილი აქვს უარყოფით ფაქტორებსაც, კერძოდ დასახლებული პუნქტების, სამრეწველო ნაგებობების, ისტორიული ძეგლების და მიწის სავარგულების დატბორვას, რაიონის კლიმატის და სანიტარულ-ჰიგიენური პირობების გაუარესებას და სხვ. ზოგიერთ კონკრეტულ შემთხვევაში, ტერიტორიის დატბორვა და ჩაძირვა იმდენად უარყოფითი ფაქტორი ხდება, რომ მას შეუძლია გადაწონოს დადებითი ეფექტი და საერთოდ, გადაწყვიტოს წყალსაცავის შექმნის მიზანშეწონილობის საკითხი.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, კაშხლის აგებისას წყლის დონე აიწევს ნორმალური შეტბორვის დონემდე. შედეგად შეიქმნება წყალსაცავი, რომლის სიგრძე იანგარიშება ფორმულით

$$L = K \frac{H}{I}, \quad (9.3.1)$$

სადაც  $H$  არის წყლის შეტბორვის სიმაღლე;  $I$  – წყლის ღინების საშუალო გრძივი ქანობი;  $K$  – კოეფიციენტი, რომელიც საკეტებიანი კაშხლისთვის აიღება –  $1,5 + 2,2$ . თუ მაგალითად,  $H = 28$  მ,  $K = 1,5$ ,  $I = 0,00015$ , მაშინ  $L = 260$  კმ.

წყალსაცავის დასაწყისში წყლის ნაკადს მეტი სიჩქარე აქვს, რომელიც კაშხალთან მიახლოებისას თანდათან მცირდება. ამის გამო, ნაკადის ზედაპირს გრძივ პროფილში ჩაზნექილი ფორმა აქვს, რომელსაც შეტბორვის მრუდს უწოდებენ. ვაკე ადგილებში, დიდი სიგრძის წყალსაცავებში, სიმაღლეთა სხვაობა ზოგჯერ **6 – 8** მ აღწევს.

წყალსაცავების დაპროექტებისას შემდეგი ძირითადი ამოცანები წყდება:

- 1) წყალსაცავის კონტურის დადგენა მოცემული ნორმალური შეტბორვის ღონის ღროს და ამ კონტურის ადგილზე გადატანა;
- 2) წყალსაცავის დატბორვის ზედაპირის და მოცულობის განსაზღვრა;
- 3) დასატბორი დასახლებული პუნქტების, გზების, ისტორიული ძეგლების და სხვა ობიექტების დადგენა. დატბორვით გამოწვეული ზარალის ანგარიში. ახალი დასახლებული პუნქტების პროექტების დამუშავება და ა.შ.;
- 4) ქალაქებისა და დასახლებული პუნქტების დატბორვისგან დამცავი საინჟინრო პროექტების დამუშავება, აგრეთვე ნაპირგასამაგრებელი სამუშაოები;
- 5) ტყის ფართობების ანგარიში, სათევზე მეურნეობის ორგანიზების პროექტის დამუშავება;
- 6) წყალსაცავში გემთმომოსვლის გზების ტრასირება, ნავსადგურების, მისადგომების და სხვ. ადგილების შერჩევა.

წყალსაცავების დაპროექტებისთვის იყენებენ სხვადასხვა მასშტაბის ტოპოგრაფიულ გეგმებს და რუკებს. წინასწარი გაანგარიშება შეიძლება ჩატარდეს **1:100000 – 1:50000** მასშტაბის რუკებზე. დიდი წყალსაცავების დატბორვის ფართობებისა და მოცულობების საანგარიშოდ სარგებლობენ **1:25000 – 1:100000** მასშტაბის რუკებით, ხოლო ტექნიკური პროექტების დამუშავებისთვის **1:25000** მასშტაბის რუკით. გარდა

ამისა, წყალსაცავების შექმნისას ზოგიერთი ამოცანის გადასაწყვეტად საჭიროა **1:1000, 1:5000** და **1:2000** მასშტაბის ტოპოგრაფიული გეგმებიც (ტექნიკური პროექტების და მუშა ნახაზებისთვის).

წყალსაცავის ცალკეულ უბნებს დასახლებული პუნქტების გადასატანად აგეგმევენ **1:1000-1:2000** მასშტაბით. აგეგმვა წარმოებს კომბინირებული ან სტერეოფოტოგრამმეტრიული მეთოდით. გეგმურ საფუძვლად იყენებენ ტრიანგულაციის ან პოლიგონომეტრიის პუნქტებს. სასიმალო საფუძველი იქმნება III ან IV კლასის სანიველო პოლიგონების სახით.

გეგმური და სასიმალო საფუძვლის პროექტირებისას მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული ის, რომ ისინი გვემსახურება არა მარტო სააგეგმო საფუძვლად, არამედ წყალსაცავის კონტურის ნატურაში გადასატანადაც. წყალსაცავის ფართობს დატბორვის კონტურის ფარგლებში, განსაზღვრავენ ტოპოგრაფიულ რუკებზე პლანიმეტრის დახმარებით. ფართობის პლანიმეტრით განსაზღვრის სიზუსტე საშუალოდ შეადგენს **~1%**.

წყლის საერთო მოცულობას წყალსაცავში პოულობენ ორ მეზობელ ჰორიზონტალს შორის ელემენტარული **V** მოცულობების შეჯამებით. მოცულობის განსაზღვრას იწყებენ წყალსაცავის ყველაზე დაბალი სიმალიდან და ამთავრებენ უმაღლესი შეტბორვის ჰორიზონტალით.

$$V_0 = \sum_{H_{min}}^{H_{max}} v_i, \quad (9.3.2)$$

სადაც **V<sub>0</sub>** არის წყლის საერთო მოცულობა, მ<sup>3</sup>; **v<sub>i</sub>** – ორ მეზობელ ჰორიზონტალს შორის ელემენტარული მოცულობა, მ<sup>3</sup>; **H<sub>min</sub>** – წყალსაცავში წყლის მინიმალური დონე; **H<sub>max</sub>** – ნორმალური შეტბორვის დონე.

გამარტივებული ფორმულით ელემენტარული მოცულობა ტოლია

$$v_i = \frac{P_i + P_{i+1}}{2} h, \quad (9.3.3)$$

სადაც  $P_i$  და  $P_{i+1}$  არის პლანიმეტრით გაზომილი ფართობები ორი მეზობელი ჰორიზონტალით შემოსაზღვრული;  $h$  – რელიეფის კვეთის სიმაღლე.

თუ ორ ჰორიზონტალს შორის მოცულობას განვიზილავთ, როგორც წაკვეთილი კონუსის მოცულობას, მაშინ გვექნება უფრო ზუსტი ფორმულა

$$v'_i = \frac{P_i + P_{i+1} + \sqrt{P_i P_{i+1}}}{3} h. \quad (9.3.4)$$

(9.3.3) და (9.3.4) ფორმულებით გამოთვლილ მოცულობებს შორის სხვაობა შეადგენს

$$\Delta v = v_i - v'_i = \frac{(\sqrt{P_i} - \sqrt{P_{i+1}})^2}{6} h \quad (9.3.5)$$

(9.3.5) ფორმულით მიღებული სხვაობა ყოველთვის დადებითია, ამიტომ (9.3.3) ფორმულა მოცულობას გვაძლევს მეტობით (9.3.4) ფორმულასთან შედარებით.

ფარდობითი სიდიდე  $\Delta v/v$  დამოკიდებულია  $P_i/P_{i+1}$  ფარდობაზე. მაგალითად, თუ  $P_i/P_{i+1} = 0,8$ , მაშინ  $\Delta v/v = 0,2\%$ , ხოლო როცა  $P_i/P_{i+1} = 0,5$ ,  $\Delta v/v$  იზრდება  $2\%$ -მდე. თუ  $P_i$  და  $P_{i+1}$  ფართობები დაახლოებით ტოლია, მაშინ ორივე ფორმულა პრაქტიკულად ერთნაირ შედეგს გვაძლევს.

როცა რელიეფს აქვს მცირე დახრის კუთხე და დიდი კვეთის სიმაღლე, ორ მეზობელ ჰორიზონტალს შორის ფართობები დიდად განსხვავებული იქნება და წარმოიშობა უფრო დაზუსტებული ფორმულებით მოცულობის განსაზღვრის აუცილებლობა. ამ მიზნით ამყარებენ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებას დატბორვის ჰორიზონტალზე ფართობსა და სიმაღლეს შორის  $P = f(H)$ . ეს დამოკიდებულება შეიძლება იყოს წრფივი ან არაწრფივი. ამ უკანასკნელის დროს ირჩევენ პარაბოლურ დამოკიდებულებას ან



მაჩვენებლიანი ფუნქციის ფორმას. დამოკიდებულების პარამეტრები განისაზღვრებიან ემპირიული გზით უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებით.

ელემენტარული მოცულობა შეიძლება გამოვსახოთ ფორმულით

$$V = \int_{H_1}^{H_2} P dH = \int_{H_1}^{H_2} f(H) dH , \quad (9.3.6)$$

ხოლო სრული მოცულობა იქნება

$$V_0 = \int_{H_{\min}}^{H_{\max}} f(H) dH . \quad (9.3.7)$$

თუ  $f(H)$  ფუნქციისთვის შევარჩევთ მეორე რიგის პარაბოლურ დამოკიდებულებას

$$P = f(H) = a + bH + cH^2 , \quad (9.3.8)$$

მოცულობა ტოლი იქნება

$$V_0 = \int_{H_{\min}}^{H_{\max}} (a + bH + cH^2) dH , \quad (9.3.9)$$

ან

$$V_0 = aH_n + \frac{bH_n^2}{2} + \frac{cH_n^3}{3} , \quad (9.3.10)$$

სადაც  $H_n = H_{\max} - H_{\min}$ .

ტოპოგრაფიული რუკების მიხედვით წყალსაცავის მოცულობა იანგარიშება **3 – 5%** სიზუსტით, ხოლო დაზუსტებული ხერხით – **1,5 – 2%** სიზუსტით.

**წყალსაცავის კონტურის გადატანა ადგილზე.**  
ჰიდროტექნიკური მიმოკვლევის დროს მომავალი წყალსაცავის ტერიტორიაზე ნატურაში ამაგრებენ დატბორვის ჰორიზონტალს, რომელიც სასოფლო-სამეურნეო და სატყეო სავარგულებიდან მიწების ამოღების იურიდიულ საზღვარს წარმოადგენს.

წყალსაცავის კონტურის ადგილზე გადატანაში იგულისხმება ნორმალური შეტბორვის დონის (ნმდ) წერტილების ნატურაში გადატანა. საშუალო სრულდება ტექნიკური ნიველობით. სანიველო სვლა იწყება წყალსაცავის კონტურთან უახლოესი რეპერიდან და გრძელდება დატბორვის ჰორიზონტალამდე. სანიველო სვლის დროს გზადაგზა გამოთვლიან დამაკავშირებელი წერტილების სიმაღლეებს. როცა ნიშნული ახლოს იქნება დატბორვის ჰორიზონტალის სიმაღლესთან  $(\pm 10)$ , განსაზღვრავენ ინსტრუმენტის ჰორიზონტს  $(H_{n.2})$ . გამოაკლებენ შემდეგ ამ სიდიდეს საპროექტო სიმაღლეს  $(H_{პ.2})$  და პოულობენ ლარტყაზე  $b$  ანათვლის სიდიდეს, რომლის დროსაც ლარტყის ქუსლი იმყოფება დატბორვის ჰორიზონტალზე –  $b = H_{n.2} - H_{პ.2}$ . ლარტყას გადაადგილებენ ფერდობზე  $b$  ანათვლის მიღებამდე (3 – 5 სმ სიზუსტით). ამავე სადგურიდან დანიშნავენ ადგილზე კიდევ რამდენიმე წერტილს და დააფიქსირებენ მათ პალოებით. შემდეგ ჩაამაგრებენ დამაკავშირებელ წერტილს, რომლის სიმაღლე ახლოსაა საპროექტო სიმაღლესთან და ა.შ. კონტურის ადგილზე სრულად გადატანამდე.

ტექნიკური ნიველობის სვლებს ყოველ 3 – 5 კმ-ზე აკავშირებენ სასიმაღლო საფუძვლის რეპერებთან. ყოველ 200 – 300 მ-ში კონტურის ხაზს გაასწორებენ. დამაგრებულ წერტილებზე გაყავთ თეოდოლიტური სვლა და განსაზღვრავენ მათ კოორდინატებს. მთიან რაიონებში დატბორვის ჰორიზონტალის გადატანას ასრულებენ ტაქეომეტრიული ხერხით. ძლიერ ტყიან და მიუვალ ადგილებში კი ამ მიზნით იყენებენ ბარომეტრულ ნიველობას.

დასახლებულ ადგილებში დატბორვის ჰორიზონტალის ადგილზე გადატანას ასრულებენ 0,1 მ სიზუსტით.

უდაბნოში, ტუნდრასა და ჭაობებში დატბორვის ჰორიზონტალი ადგილზე საერთოდ არ გადააქვთ.

#### 9.4. ჰიდრომელიორაციული მიმოკვლევები

მელიორაციაში იგულისხმება ორგანიზაციულ-სამეურნეო და ტექნიკურ ღონისძიებათა სისტემა, რომელიც მიმართულია ნიადაგის ჰიდროგეოლოგიური და კლიმატური პირობების გაუმჯობესებისკენ.

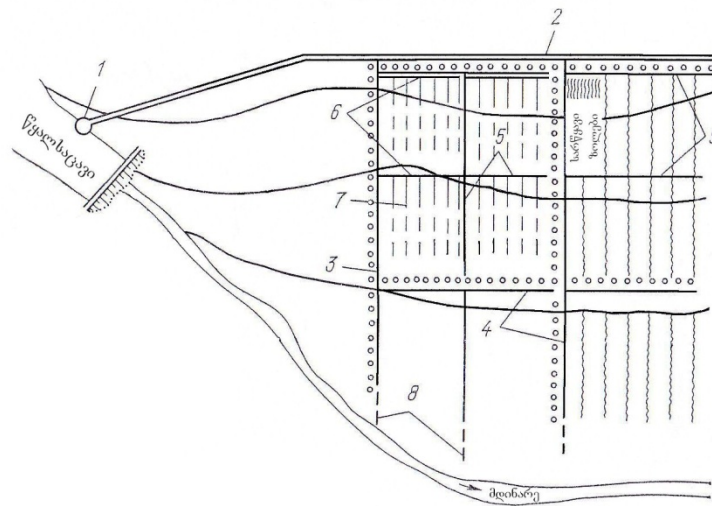
ანსხვავებენ ჰიდრომელიორაციას, დაკავშირებულს მიწების მორწყვასთან (ირიგაცია) ან მათ ამოშრობასთან და აგრომელიორაციას, დაკავშირებულს ნიადაგის შრის წყალშელწევადობის და ტენშემცველობის გაზრდასთან და ზედაპირული წყლების ჩადინების დაჩქარებასთან.

მორწყვას აპროექტებენ არხებისა და თხრილების ღია ქსელების სახით ან მილსადენებით და დაწვიმებით – დახურული სისტემის სახით.

ნახ.9.4.1-ზე ნაჩვენებია ღია სარწყავი ქსელი. მდინარეზე ან წყალსაცავზე აგებენ წყალასაღებ ნაგებობას 1, რომელიც წყალს აწვდის მაგისტრალურ არხში 2. მაგისტრალური არხიდან წყალი მიემართება თვითდინებით სამეურნეობათშორისო 3 და შიგასამეურნეო 4 გამანაწილებელ არხებში, რომლებიც მოსარწყავ ფართობს ყოფს ცალკეულ უბნებად. გამანაწილებლებიდან წყალი ხვდება მარეგულირებელ ქსელში: დროებით მოსარწყველების სისტემაში 5, აგრეთვე გამომყვან 6 და მომრწყველ 7 ღარებში. წყლის ნარჩენების არინება ხდება წყალშემკრები არხებით 8 მდინარის მახლობელ უბნებში. სარწყავები 9 განლაგებულია საზღვრების პარალელურად.

მაგისტრალურ სარწყავ არხს აპროექტებენ მინიმალური ქანობით – **0,003 – 0,005** და რელიეფის მაღალ ადგილზე, რათა უზრუნველყოს მაქსიმალური ტერიტორიის მორწყვა. მოსარწყავი

ტერიტორიის შიგნით აწარმოებენ ვერტიკალურ დაგეგმარებას  
**3-5** სმ სიზუსტით.



ნახ. 9.4.1

დახურული სარწყავი სისტემის დროს წყალშემკრებიდან წყალი მიეწოდება წნევით მიწაში განლაგებულ მილსადენებში. გამანაწილებელი ქსელი შედგება მილსადენებისგან, რომლებიდანაც წყალი მიეწოდება კვლებში ან ჰიდრანტებში – დასაწვიმებელ აპარატებში მოსახვედრად. ამ შემთხვევაში მოსარწყავ უბნებს აპროექტებენ დასაწვიმებელი აპარატის მოქმედების ზონის მიხედვით.

წყალგამტარი ქსელის მილსადენებს გრძივი ქანობი უნდა ქონდეს მინიმუმ 0,001 ზამთრის პერიოდში წყლის გამოსაშვებად.

დაჭაობებული მიწების გაუწყლოვნება (გამოშრობა) ხორციელდება ღია არხებით ან დახურული დრენაჟით. ღია არხებით წყალი ხვდება კოლექტორებში (შემკრებ არხებში), რომლებიდანაც მიედინება მაგისტრალურ არხში. ამ უკანასკნელიდან კი წყალი ჩადის მდინარეში.

ღია წესით ამოშრობა მექანიზებული გზით მიწების დამუშავებისას ხელშეშლელია, ამიტომ მას, ძირითადად, იყენებენ არა სასოფლო-სამეურნეო მიწებზე.

დახურული ამოშრობის – დრენაჟის დროს მარეგულირებელი ქსელი აიგება დრენ-ამომშრობის სახით, რომელთა საშუალებით წყალი ხვდება კოლექტორებში, მათგან კი იგი მიედინება მაგისტრალურ არხში. მაგისტრალური არხიდან კი წყალი ხვდება მდინარეში. ამოსაშრობი ტერიტორიის გარეშე წყლებისგან დასაცავად აგებენ ჯებირებს.

მაგისტრალური ამომშრობი არხის ტრასას აპროექტებენ ამოსაშრობი ტერიტორიის ყველაზე დაბალი სიმაღლეების მიხედვით და მინიმალური ქანობით – **0,0005 – 0,001**. კოლექტორების სიგრძეს იღებენ **600 – 1000 მ**, დრენებისას – **150 – 300 მ** – 0,002 ქანობით. დრენაჟის დროს იყენებენ **40 – 300 მმ** დიამეტრის მილებს თუნისას – **333 მმ** სიგრძით (3 ცალი 1მ-ზე). მიწაში ჩაწყობისას მათ შორის ტოვებენ **1 – 2 მმ** შუალედს წყლის შესასვლელად.

მელიორაციის ტოპოგრაფიული საფუძველი და აგეგმვა. სარწყავ სისტემაში მოსარწყავი კვლების ***l*** სიგრძეთა და მათი ოპტიმალური საპროექტო ***l*** ქანობების საანგარიშოდ იყენებენ ფორმულებს

$$l = Rvt^{\alpha}/K$$

და

$$t = \frac{l^2 K^2}{52 \cdot 10^8 R^4 t^{\alpha}}$$

სადაც ***R*** არის წყლის ნაკადის ჰიდრაულიკური რადიუსი (კვალისათვის  **$R \approx 0,75h$** , სადაც ***h*** – სიღრმეა, ტოლი **0,2 – 0,3 მ**); ***v*** – კვალში წყლის დინების გაანგარიშებული სიჩქარე ( **$\sim 0,2$  მ/სეკ**); ***t*** – მორწყვის ხანგრძლივობის დრო;  **$\alpha$**  – ხარისხის მაჩვენებელი, რომელიც დამოკიდებულია ნიადაგის

თვისებებსა და მის ტენიანობაზე ( $\alpha \approx 0,5$ );  $K$  – წყლის ნიადაგში გაჟონვის სიჩქარე ( $K \approx 0,1$ ).

ამ ფორმულების შესაბამისად ნიადაგისა და ტოპოგრაფიული პირობების მიხედვით მოსარწყავი კვლების სიგრძეს იღებენ **60 – 150** მ ფარგლებში, ხოლო საპროექტო ქანობებს საშუალოდ 0,005 (მინიმალურია 0,001 მაქსიმალური 0,02).

ჰიდრაულიკური ანგარიშისთვის, ტოპოგრაფიული გეგმების საფუძველზე მოითხოვება, რომ სარწყავი არხებისა და კვლების სიგრძე ისაზღვრებოდეს **2 – 3** მ სკშ, ხოლო ადგილის ქანობისა –  $m_i/l = 1/5 - 1/6$  ფარდობითი შეცდომით.  $l = 0,005$  საშუალო ქანობისთვის  $m_i = 0,001$ . ამ დროს გეგმის ჰორიზონტალებით ნიშნულის განსაზღვრის ცდომილება იქნება  $m_H = m_i l / \sqrt{2}$ . თუ  $m_i = 0,001$ ,  $l = 100$  მ, მაშინ  $m_H = 7$  სმ.

სარწყავი კვლების სიგრძის განსაზღვრის მოთხოვნილი სიზუსტის ( $m_i = 2 - 3$  მ) უზრუნველსაყოფად, აუცილებელია გვექონდეს ტოპოგეგმის მასშტაბი –  $1/M = m_z/m_i$ , სადაც  $m_z$  – კონტურების და საგნების გეგმაზე მდებარეობის განსაზღვრის ცდომილებაა გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტების მიმართ. თუ ავიღებთ  $m_z = 0,5$  მმ,  $m_i = 2,5$  მ, მაშინ მასშტაბი იქნება  $1/M = 1:5000$ . თვალსაჩინოებისთვის სასურველია გვექონდეს **1:2000** მასშტაბის გეგმა.

ამრიგად, მორწყვის პროექტების მუშა ნახაზების დასამუშავებლად აუცილებელია გვექონდეს ადგილის გეგმა **1:2000 – 1:5000** მასშტაბით, რელიეფის კვეთით  $h = 0,5$  მ. ჰიდრომელიორაციული მშენებლობის პრაქტიკაში დაპროექტებისთვის იყენებენ **1:1000** და **1:5000** მასშტაბის ტოპოგეგმებს რელიეფის კვეთით  $h = 1$  მ.

დაახლოებით იგივე მოთხოვნებია ტოპოგრაფიული საფუძვლისადმი ამოწრობის სისტემის დაპროექტებისას.

სამელიორაციო სისტემების მუშა დაპროექტებისთვის ოპტიმალურ ტოპოგრაფიულ საფუძვლად გვევლინება **1: 2000** მასშტაბის გეგმა, რელიეფის კვეთით 0,5 მ. წყალშემკრების, ჯებირების და სხვა მცირე ნაგებობათა დაპროექტებისთვის რელიეფს აგებმავენ **1: 500 – 1: 1000** მასშტაბით.

სამელიორაციო სისტემა, ჩვეულებრივ იგება დიდ ტერიტორიაზე, რომელიც მდინარის გასწვრივ არის გაჭიმული. პროექტის ნატურაში გადასატანად გეოდეზიურ საფუძვლად იყენებენ ტრიანგულაციას ან ხაზოვან-კუთხურ ქსელს. სასიმალო საფუძვლად იყენებენ III კლასის ნიველობას, რომელიც მაგისტრალური არხის გასწვრივ არის გაჭიმული და გახშირებულია IV კლასის სანიველო პოლიგონებით. საფუძვლის პუნქტები უნდა განლაგებულ იქნას მიწის სამუშაოების გავლენის ზონის გარეთ, რათა გამოყენებული იქნას არა მარტო ტოპოგეგმვის დროს, არამედ ტრასირებითი და დაკვალვითი სამუშაოების დროსაც.

მოთხოვნის თანახმად, სამელიორაციო სამუშაოებისთვის გეგმური საფუძვლის პუნქტების მდებარეობაში შეცდომა გეოდეზური გამოსავალი საფუძვლის პუნქტების მიმართ არ უნდა აღემატებოდეს **0,4** მმ, ანუ **1: 2000** მასშტაბით – **0,8** მ, ხოლო სასიმალო მდებარეობაში – **1/10h**, რაც **h = 0,5** მ დროს ტოლია **5** სმ. ამ მოთხოვნებიდან გამომდინარე ანგარიშობენ გეგმური და სასიმალო ქსელების სიზუსტეს.

სამელიორაციო სისტემებისთვის ტერიტორიის აგებმა სრულდება სტერეოტოპოგრაფიული ან აეროკომბინირებული მეთოდებით.

**მელიორაციის დაპროექტების ავტომატიზებული სისტემა.** მორწყვის დაპროექტების ავტომატიზაციისთვის ტოპოგრაფიული ინფორმაცია აუცილებელია გვექონდეს რელიეფის ციფრული მოდელის სახით, რომელიც წარმოადგენს სარწყავი სისტემის გასწვრივ ორიენტირებულ რეგულარულ სქემას, რომელშიც

წერტილები მოცემულია  $x$  და  $y$  ანალიზური კოორდინატებით და  $H$  სიმაღლით.

სტერეოხელსაწყოზე ავტომატური მარეგისტრირებელი მოწყობილობით იყენებენ მიმოკვლევის მოდელის აგების შემდეგ მეთოდუკას – თითოეულ სტერეოწყვილში კომპიუტერში ჩაიწერენ ზუსტი თანმიმდევრობით  $x, y, H$  კოორდინატებს რელიეფის ყველა დამახასიათებელი წერტილებისთვის  $20 \times 20$  მ ბადის მიხედვით. ბაზისის ბოლოების  $x, y$  კოორდინატებით გამოთვლიან ბადის წვეროების კოორდინატებს და წრფივი ინტერპოლაციით ამ წვეროების  $H$  ნიშნულებს. ამ მეთოდით ვაკე ადგილებში  $1^0$  დახრისას წერტილის ნიშნულში საშუალო კვადრატული შემთხვევითი შეცდომა  $8 - 10$  სმ შეადგენს, სისტემატური კი –  $2 - 3$  სმ.

## 9.5. მაგისტრალური არხების მიმოკვლევა

არხების დაპროექტების ტოპოგრაფიული საფუძველი. დანიშნულების მიხედვით არხები არის გემთსავალი, მელიორაციული (ამომშრობი, მომრწყავი), დერივაციული (ჰეს-ის ტურბინებთან წყალმიყვანი), წყალსადენის, ხე-ტყის დასაცურებელი და კომპლექსური.



არხში წყალი ხვდება თვითდინებით ან სატუმბი სადგურებიდან. მათ ქანობი მცირე აქვთ, რათა წყლის ნაკადმა არ წარეცხოს ფსკერი და გვერდები.

მაგისტრალური არხის დაპროექტება იწყება ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთებით და სრულდება ორ სტადიად – ტექნიკური პროექტი და მუშა ნახაზები.

ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთების დროს შეირჩევა არხის ტრასის საერთო მიმართულება და მისი ძირითადი პარამეტრები: განივკვეთი, წყლის ხარჯი, ქანობი, დინების სიჩქარე, წყლით შევსების სიღრმე და სხვ. გარდა ამისა, ანგარიშობენ დაახლოებით სამშენებლო სამუშაოების მოცულობას და არხის მთლიან ღირებულებას. ამ ამოცანების გადასაწყვეტად აუცილებელია გვექონდეს შემდეგი ტოპო-გეოდეზიური მასალები:

- 1) 1:100000 მასშტაბის ტოპოგრაფიული რუკა არხის ტრასის მთელი რაიონისათვის;
- 2) 1:25000 მასშტაბის ტოპოგრაფიული რუკა არხის ტრასის გავლის რაიონში 2-3 კმ სიგანის ზოლისთვის;
- 3) იმ მდინარეების გრძივი პროფილი, რომელთა წყლის გამოყენებაა გათვალისწინებული არხებში.

მაგისტრალური არხის ტექნიკური პროექტის დასამუშავებლად აუცილებელია გვექონდეს შემდეგი ტოპოგრაფიული გეგმები:

- 1) **1:10000** ან **1:5000** მასშტაბის ტოპოგეგმები, რელიეფის კვეთით **1 – 2** მ;
- 2) **1:10000** მასშტაბის ტოპოგეგმა, რელიეფის კვეთით 1 მ (წყალსაცავის ტერიტორიის);
- 3) **1:2000** მასშტაბის ტოპოგეგმა, რელიეფის კვეთით **0,5 – 1** მ (წყალგამშვები ნაგებობის უბნის);
- 4) **1:5000** ან **1:2000** მასშტაბის ტოპოგეგმები, რელიეფის კვეთით 1მ (სამშენებლო მასალების კარიერების);
- 5) დაპროექტებული არხის გრძივი და განივი პროფილები;

6) მისასვლელი გზების, ელექტრო-გადამცემი ხაზების, წყალსადენების და სხვ. მიმოკვლევის ტექნიკური მასალები. არხის მუშა ნახაზების სტადიაზე მიმოკვლევა მოიცავს შემდეგ ტოპო-გეოდეზიურ სამუშაოებს:

- 1) მაგისტრალური არხის გეგმური და სასიმალო საფუძვლის აგება;
- 2) არხის შერჩეული ვარიანტის საველე ტრასირება. განივი პროფილების აგებვა. ტრასის და ნაგებობების ძირითადი წერტილების დამაგრება;
- 3) რთული რელიეფის მქონე ტრასის უბნების ტოპოგრაფიული აგებვა **1:1000 – 1:2000** მასშტაბით, რელიეფის კვეთით **0,5 – 1** მ;
- 4) მდინარეზე მოწყობილი წყალსაცავის საპროექტო კონტურის გამოტანა ნატურაში;
- 5) არხთან მისასვლელი გზების ტრასების და საინჟინრო ქსელების საბოლოო მიმოკვლევა;
- 6) საინჟინრო-გეოლოგიური ობიექტების გეოდეზიური მიბმა.

**არხის ტრასის გეოდეზიური საფუძველი** იქმნება აგებმითი და დაკვალვითი სამუშაოებისთვის.

გეგმური საფუძველი ძირითადად იქმნება შუქმანძილმზომური პოლიგონომეტრიის მეთოდით. პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან ტრასის მოხვევის საპროექტო კუთხეები ნატურაში გადააქვთ საპროექტო პოლიგონების აგებით, თეოდოლიტური სვლის სიზუსტით.

ინსტრუქციის თანახმად, საპროექტო კოორდინატების ადგილზე გადატანის სკშ არ უნდა აჭარბებდეს **1:2000** მასშტაბით **0,4** მ. თუ შეცდომის ამ სიდიდეს მივიღებთ დასაშვებად თეოდოლიტური სვლებისთვის, პოლიგონომეტრიის, როგორც გამოსავალი საფუძვლის სიზუსტე 2-ჯერ მეტი უნდა ავიდოთ, ე.ი. გაწონასწორებულ პოლიგონომეტრიულ სვლებში შეცდომებმა არ უნდა გადააჭარბოს **0,2** მ.

მაგალითად, თუ სვლის სიგრძე  $L = 30$  კმ (IV კლ. პოლიგონომეტრია), გვერდის სიგრძე  $l = 2$  კმ (ე.ი.  $n = 15$ ),  $m_g = 2''$ ,  $m_t = 2$  სმ, გაჭიმული გაწონასწორებული სვლის შუალედი წერტილისთვის გვექნება

$$M_{\frac{2}{15}}^2 = \frac{m_t^2 n}{4} + \left( \frac{m_g}{\rho} L \right)^2 \frac{n+3}{48} = \frac{2^2 \cdot 15}{4} + \left( \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^8} \right)^2 \frac{15+3}{48} = 18,8 \text{ სმ}$$

რაც შეესაბამება ზემოთ მოტანილ მოთხოვნას (0,2 მ).

საპროექტო პოლიგონებში კიდული თეოდოლიტური სვლის სიგრძე  $L = m T_{\text{სვ}}$ , სადაც  $m$  არის წერტილის მდებარეობის დასაშვები სკმ,  $T_{\text{სვ}}$  – სვლის საშუალო ფარდობითი შეცდომის მნიშვნელი. თუ  $m = 0,4$  მ,  $1/T_{\text{სვ}} = 1/5000$ , მაშინ  $L = 0,4 \cdot 5000 = 2$  კმ.

რაბების და სხვა რთული ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობის გეოდეზიური უზრუნველყოფისთვის იქმნება ლოკალური ხაზოვან-კუთხური ქსელები გვერდების სიგრძით 150-200 მ და პუნქტების ურთიერთმდებარეობის 2-3 მმ შეცდომით.

სასიმაღლო საფუძველი თავისი სიზუსტითა და სიზშირით იქმნება ტოპოგრაფიული აგეგმვის, არხის პროექტის ადგილზე გადატანის და სამშენებლო სამუშაოების მომსახურებისთვის.

ნიველობის კლასის შერჩევა დამოკიდებულია გამოსავალ რეპერებს შორის მანძილზე და არხის ძირის დაპროექტებულ ქანობზე. რაც მეტია არხის ქანობი, მით ნაკლები სიზუსტის სასიმაღლო საფუძველია საჭირო. დიდი ქანობი არხში იწვევს წყლის ნაკადის სიჩქარის გაზრდას, რაც ხელს უშლის ფსკერის დაშლამვას. მაგრამ ამასთან ერთად დიდი სიჩქარისას ირეცხება ფსკერი და გვერდები. ოპტიმალური სიჩქარე ამ ორ პროცესს შორის იმყოფება.

ინსტრუქციის მიხედვით, დასაპროექტებელი არხის გასწვრივ გაყავთ III კლასის ნიველობის ძირითადი სვლა, რომელსაც აბამენ

I-II კლასის სახელმწიფო ქსელის პუნქტებზე. ეყრდნობიან III კლასის სვლას და ანვითარებენ IV კლასის სანიველო პოლიგონებს ან სვლებს, რომელთა სიგრძემ არ უნდა გადააჭარბოს 25 კმ. ტრასაზე ყოველ 2-3 კმ-ზე აყენებენ რეპერებს.

**არხის ღერძის დაკვალვა.** არხის ძირითადი წერტილები – მოხვევის კუთხეების წვეროები, გადაკვეთების და გადასასვლელების წერტილები, რაბების ღერძები და სხვ. მოცემულია საპროექტო კოორდინატებით და ადგილზე გადაიტანებიან გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებიდან არა უმცირეს 1/5000 ფარდობითი საშუალო კვადრატული შეცდომით. მშენებლობის პროცესში ღერძის წერტილების დაკარგვისას, მათი აღდგენა ხდება გრძივი ღერძის მყარად დამაგრებული წერტილებიდან.

არხის ფსკერზე სასიმალო წერტილებს აყენებენ ნიველირით 1 სმ საშუალო კვადრატული შეცდომით. განივი პროფილების დაკვალვა იგივე წესით წარმოებს, რაც საგზაო ტრასაზე.

## 9.6. გეოდეზიური სამუშაოები ჰიდროკვანძის მშენებლობის დროს.

**ჰიდროკვანძი და მისი დაკვალვითი სამუშაოების თავისებურებანი.** ჰიდროკვანძის ყველაზე რთული ნაგებობა ჰიდროელექტროსადგურია. ტურბინების და გენერატორების

განლაგების მიხედვით ანსხვავებენ კაშხლის ტანში განლაგებულ და დერივაციულ ჰიდროელექტროსადგურებს (ჰეს).

კაშხლის ტანში განლაგებული ჰეს-ების ორი სქემა არსებობს:

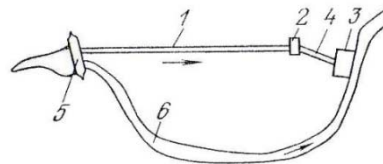
- 1) ჰესის შენობა წარმოადგენს უშუალოდ კაშხლის გაგრძელებას და მონაწილეობს დაწნევის შექმნაში;
- 2) ჰესის შენობა განლაგებულია კაშხლის ქვემოთ ქვედა ბიეფში და დაწნევის შექმნაში არ მონაწილეობს. ასეთი ჰესებისთვის წყლის მიწოდება ხორციელდება მილსადენებით.

პირველი სქემის ჰიდროკვანძებს ხშირად იყენებენ ვაკის მდინარეებზე.

დერივაციული ტიპის ჰეს-ებში დაწნევა იქმნება დერივაციული არხით ან გვირაბით. მდინარის ერთ ნაპირზე გაყავთ არხი, მილსადენი ან გარკვეული ქანობის მქონე გვირაბი (მდინარის ქანოზე ნაკლები) და მათი დახმარებით მიყავთ წყალი ჰესთან. დერივაციული არხით ტურბინებზე წყლის მიწოდების სქემა წარმოდგენილია ნახ.9.6.1-ზე, რომელზეც მოცემულია დერივაციული არხი 1, სადაწნეო აუზი 2, ჰესის შენობა 3, ტურბინის წყალსატარები 4, კაშხალი და წყალმიმღები 5, მდინარე 6.

ჰიდროკვანძის, ისევე, როგორც ნებისმიერი საინჟინრო ნაგებობის აგებისას აღსანიშნავია სამი პერიოდი: საპროექტო-მიმოკვლევითი, სამშენებლო-სამონტაჟო და საექსპლოატაციო.

საპროექტო-მიმოკვლევით პერიოდში შემდეგი საინჟინრო-გეოდეზიურ სამუშაოთა კომპლექსი სრულ ნახ. 9.6.1 რი და სასიმაღლო გეოდეზიური საფუძვლის შექმნა; სხვადასხვა მასშტაბის ტოპოგრაფიული გეგმების შედგენა; მდინარეთა გრძივი და განივი პროფილის შედგენა; მისასვლელი გზების,



საინჟინრო ქსელების, კაშხლების, ჯებირების, რაბების ღერძების ტრასირება; ჰიდროლოგიური, ჰიდროგეოლოგიური და გეოლოგიური სამუშაოების გეოდეზიური უზრუნველყოფა და ა.შ.

სამშენებლო-სამონტაჟო პერიოდში გეოდეზიური სამუშაოების მოცულობა რამდენადმე მცირდება, სამაგიეროდ იზრდება მათი შესრულების სიზუსტეები. ამ პერიოდის გეოდეზიური სამუშაოების თავისებურებანი მდგომარეობს საპროექტო გეომეტრიული პარამეტრების ზუსტად დაცვასა და მათ კონტროლში, რაც სათანადო სიზუსტის გეგმურ და სასიმაღლო გეოდეზიური საფუძვლის შექმნას მოითხოვს.

ექსპლუატაციის პერიოდში ძირითადი ამოცანა ჰიდროკვანძის ნაგებობათა დეფორმაციებზე გეოდეზიური დაკვირვებებია, რომელიც გულისხმობს ვერტიკალური დაწეების, ჰორიზონტალური ძვრების და ვერტიკალიდან გადახრების განსაზღვრას. ეს მონაცემები გამოიყენება ნაგებობის მდგრადობაზე მსჯელობისა და საჭიროების შემთხვევაში ექსპლუატაციის რეჟიმში კორექტივების შესატანად მიღებულ ღონისძიებათა ეფექტურობისთვის.

ჰიდროკვანძების ნაგებობათა ოპტიმალური განლაგებისთვის იყენებენ 1:2000-1:5000 მასშტაბის გეგმებს, რელიეფის კვეთით **0,5 – 1** მ და მდინარის გრძივ პროფილს.

მუშა ნახაზების შესადგენად რელიეფს აგეგმავენ **1: 500 – 1: 1000** მასშტაბით, რელიეფის კვეთით **0,5 – 1** მ.

ჰიდროკვანძის ყველა ნაგებობა გაერთიანებულია გეომეტრიული კავშირებით, რომელიც მკაცრად უნდა იქნას დაცული პროექტის ადგილზე გადატანისას. ნაგებობები განლაგებულია ჰიდროკვანძის მთავარი დამკვალავი ღერძის გარშემო, რომელიც მოიცემა კოორდინატებით და აზიმიუტით. თუ ღერძი მრუდხაზოვანია (მაგ. თალური კაშხლის), საჭიროა აგრეთვე მოხვევის წვეროების კოორდინატები. მთავარ ღერძთანაა მიბმული აგრეგატების, რაბების და სხვ. ღერძები.

მთავარი ღერძი ადგილზე გადაიტანება გეგმური საფუძვლის პუნქტებიდან, დანარჩენი ღერძები კი - მაღალი სიზუსტის დამკვალავი ქსელიდან.

ჰიდროკვანძის მშენებლობას გააჩნია თავისებურებანი, რომლებიც მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული გეოდეზიური სამუშაოების შესრულებისას. კაშხლისა და ტურბოაგრეგატების საძირკვლები რთულ ჰიდროგეოლოგიურ პირობებში ამოყავთ.

ჰიდროკვანძი რამდენიმე რიგად შენდება, რომელთათვისაც უნდა შეიქმნას თავისი ლოკალური მაღალი სიზუსტის ქსელები. ამ ქსელებს ორიენტირება და კოორდინატთა სისტემა ერთიდაიგივე უნდა ქონდეთ. საერთოდ, ჰიდროკვანძის მშენებლობისთვის აუცილებელია ზუსტი გეგმური და სასიმაღლო გეოდეზიური საფუძველი, შეთანხმებული ნაგებობის გენგეგმასთან.

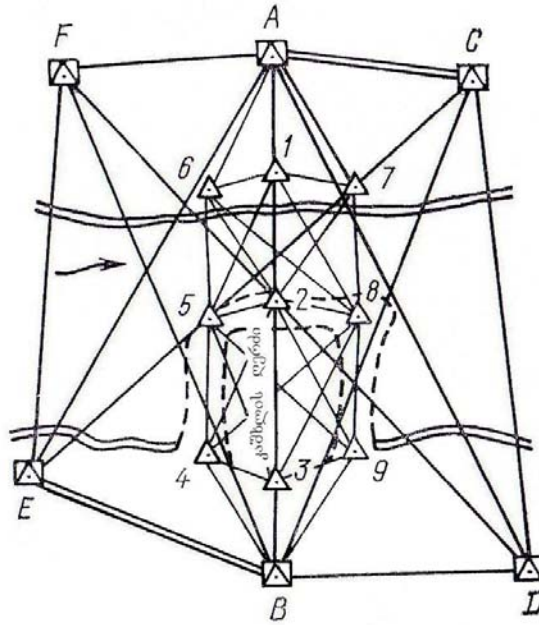
**ჰიდროკვანძის მშენებლობის გეოდეზიური საფუძველი.** სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების გეოდეზიური უზრუნველყოფის მიზნით ჰიდროკვანძის ტერიტორიაზე იქმნება ძირითადი დამკვალავი ქსელი. ამ ქსელის ერთერთი გვერდი, როგორც წესი, ემთხვევა ჰიდროკვანძის ძირითად ღერძს.

დამკვალავი ქსელი აიგება ტრიანგულაციის, პოლიგონომეტრიის ან ხაზოვან-კუთხური ქსელის სახით. გვერდების სიგრძე **0,5 – 1,5** კმ, კუთხის გაზომვის სკშ **1,0 – 1,5"**, ყველაზე საპასუხისმგებლო გვერდის ფარდობითი სკშ **1/200000 – 1/150000**. ქსელის პუნქტების ურთიერთმდებარეობის შეცდომა საშუალოდ **5 – 10** მმ არ აჭარბებს.

ქსელი აიგება, როგორც ლოკალური და გამოითვლება სამშენებლო კოორდინატთა სისტემაში. პუნქტებს ამაგრებენ 1,2 მ სიმაღლეზე იძულებითი დაცენტრვის მოწყობილობით.

ჰიდროკვანძის დამკვალავი ტრიანგულაციის ერთერთი სქემა წარმოდგენილია ნახ.9.6.2-ზე, რომელზეც **A, B, C, ..., F** ძირითადი

ქსელის პუნქტებია, ხოლო **1,2,3,...,9** მეორე თანრიგის დეტალური ქსელის პუნქტები.



ნახ. 9.6.2

დამკველავი ჰიდროტექნიკური ტრიანგულაციის ქსელის პროექტის შესაფასებლად იყენებენ მათემატიკური მოდელირების მეთოდს. ამ მეთოდის დროს ქსელის პროექტიდან აღებული პუნქტების გრაფიკული კოორდინატებით, შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანების გადაწყვეტით, პოულობენ გვერდების სიგრძეებს (**0,1** მმ სიზუსტით) და მათ შორის კუთხეებს (**0,1''** სიზუსტით), რომლებიც ჭეშმარიტ სიდიდეებად მიიღებიან. ასრულებენ გაზომვის პროცესის იმიტაციას და კუთხეებისა და ბაზისის სიდიდეებში შეაქვთ შეცდომათა სიდიდეები, რომლებიც განისაზღვრება კომპიუტერზე დაახლოებით ნორმალური განაწილების მქონე შემთხვევითი რიცხვებით. აძლევენ ამ რიცხვებს დასაშვებ ზღვრებს, მაგ. კუთხეებისთვის **1''** სკპ **0**-დან  **$\pm 2,5''$** -მდე ( **$P = 0,99$**  ალბათობით) ყოველ **0,1''** ინტერვალით.



ხელოვნურად მიღებული შეუკვრელობებით შეადგენენ პირობით განტოლებებს და ამოხსნიან უმცირეს კვადრატთა მეთოდით, რის შედეგად პოულობენ ერთეული წონის შეფასებას და ქსელის საჭირო ელემენტების ფუნქციების შებრუნებულ წონებს. მეტი დამაჯერებლობისთვის ამოცანის ამოხსნას იმეორებენ რამდენჯერმე ახალი შემთხვევითი სიდიდეებისთვის. თუ ელემენტის შეფასება აჭარბებს დასაშვებს, პროექტში შეაქვთ შესწორებები, რითაც გააუმჯობესებენ ქსელის ფორმას ან შეამცირებენ ერთეული წონის შეცდომას.

დეტალური დაკვალვისთვის ძირითადი ქსელი გახშირდება მეორე თანრიგის პუნქტების ქსელით, როგორც ეს ნახ.9.6.2-ზეა ნაჩვენები. დეტალური დამკვალავი ქსელის პუნქტები პერიოდულად კონტროლდება ძირითადი ქსელის პუნქტებიდან.

მშენებლობის პერიოდში წყლის გადასაშვებად ჰიდროტექნიკური შემოვლითი გვირაბის აგებისას ქმნიან ლოკალურ ხაზოვან-კუთხურ ქსელს, რომელმაც უნდა დააკმაყოფილოს გვირაბის შემხვედრი სანგრევებით გაყვანისათვის საჭირო სიზუსტე (ღერძების აცდენაში დასაშვები 100 მმ სკმ).

რაც შეეხება ჰიდროკვანძების გეოდეზიური მომსახურებისთვის საჭირო სასიმაღლო ქსელებს, ისინი აიგებიან ძირითადად:

- 1) სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების სასიმაღლო უზრუნველყოფისათვის;
- 2) ჰიდროკვანძის ტერიტორიაზე განლაგებულ ნაგებობათა ძვრებზე დაკვირვებებისთვის.

სასიმაღლო ქსელის რეპერები თანაბრად განლაგდება მთელ ფართობზე გრუნტის ან კლდის რეპერების სახით. სასიმაღლო ქსელმა უნდა უზრუნველყოს ბეტონის ნაგებობის დაკვალვა არა უმეტეს 10 მმ სკმ სვლების განვითარდება III და IV კლასის სანიველო პოლიგონებისა და ცალკეული სვლების სახით, პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით ნიველობისთვის.

მაღალი დაწნევის ბეტონის კაშხლის აგებისას, მთიან ადგილებში ანვითარებენ II კლასის ნიველობის სვლებს სხვადასხვა ნაპირზე მდებარე წერტილების ურთიერთსასიმალო მდებარეობის არა უმეტეს 10 მმ შეცდომის უზრუნველსაყოფად.

სასიმალო ქსელის პროექტის შეფასებას ახდენენ ფორმულით

$$m_{\Sigma} = \mu_n \sqrt{2n_{\Sigma}} , \quad (9.6.1)$$

სადაც  $m_{\Sigma}$  არის დაწეების განსაზღვრის წინასწარ მოცემული სკმ სიდიდე;  $\mu_n$  – ერთეული წონის შეცდომა;  $n_{\Sigma}$  – ქსელის ყველაზე სუსტ წერტილამდე ექვივალენტური სადგურების რიცხვი.

ბეტონის ნაგებობისთვის მივიღოთ  $m_{\Sigma} = 1$  მმ. სანიველო ქსელის აგების ორსაფეხურიანი სქემის დროს იმისთვის, რომ დავიცვათ ასეთი სიზუსტე, აუცილებელია თითოეული საფეხურისთვის გვქონდეს (სიზუსტის უზრუნველყოფის კოეფიციენტის  $K = 2$  დროს):

ა) პირველ საფეხურზე (ძირითადი ქსელი)

$$m_{\Sigma I} = \frac{m_{\Sigma}}{\sqrt{K^2 + 1}} = \frac{1}{\sqrt{5}} = 0,45 \text{ მმ};$$

ბ) მეორე საფეხურზე (სამუშაო ქსელი)

$$m_{\Sigma II} = \frac{K m_{\Sigma}}{\sqrt{K^2 + 1}} = \frac{2}{\sqrt{5}} = 0,9 \text{ მმ}.$$

გამოვთვლით ქსელის სქემის მიხედვით ექვივალენტურ სადგურების რიცხვს ნიველობის მხრის სიგრძის მიღებული სიდიდის დროს (მაგ. 20 მ) და (9.6.1) ფორმულით ვიანგარიშებთ აღმატების ერთეული წონის შეცდომას პირველ და მეორე საფეხურის ქსელებში

$$\mu_{nI} = \frac{m_{\Sigma I}}{\sqrt{2n_{\Sigma I}}} \quad \text{და} \quad \mu_{nII} = \frac{m_{\Sigma II}}{\sqrt{2n_{\Sigma II}}} . \quad (9.6.2)$$

დავუშვათ, მაგალითად, რომ პირველი საფეხურის ქსელში რეპერამდე, რომელიც გამოსავალ რეპერებს შორის სვლის შუაში მდებარეობს, სადგურების რიცხვი ტოლია  $n_{\text{მტ}} = 12$ , მაშინ (9.6.2) ფორმულით მივიღებთ  $\mu_{\text{მტ}} = \frac{0.45}{\sqrt{2 \cdot 12}} = 0.09$  მმ, რისი უზრუნველყოფაც შესაძლებელია მოკლე სხივით მაღალი სიზუსტის ნიველობის მეთოდით.

$\mu_{\text{მტ}}$  შეცდომა რომ ყოფილიყო ისეთი მცირე, რომლის შესრულებაც ტექნიკურად შეუძლებელი იქნებოდა, მაშინ სანიველო ქსელი უნდა გამაგრდეს დამატებითი გრძივი სვლით, რითაც შემცირდება  $n_{\text{მტ}}$  ექვივალენტური სადგურების რიცხვი.

**დეტალური დაკვალვითი სამუშაოები.** ჰიდროკვანძების მშენებლობისას ჯერ დაიკვალება ძირითადი ღერძები, რომლებიც გადააქვთ კაშხლის ქვაბულის ფსკერზე ამოყვანილ ზღუდრებზე. ამ ღერძებიდან დაკვალავენ და ნიშნებით დაამაგრებენ ქვაბულის ფსკერის გრძივ და განივ ღერძებს, შემდგომ კი ნაგებობის ყველა დეტალს.

ჰიდრონაგებობის ბეტონის მასივი კონსტრუქციულად ამოჰყავთ ტემპერატურული ნაკერებით, სექციებად. თითოეულ სექციას თავის მხრივ ჰყოფენ სამშენებლო ფილებად. ფილებზე 3 მ სიმაღლის იარუსებად აგებენ ყალიბს, რომლებშიც ასხამენ ბეტონს.

სექციების საზღვრებს დაკვალავენ გასწვრივობაში გადაკვეთებით ღერძების დამაგრების ნიშნებიდან **5 – 10** მმ სიზუსტით. კონტროლის მიზნით ზომავენ სექციის კუთხეების წვეროებს შორის მანძილს. ფილების დაკვალვას ასრულებენ მართკუთხა კოორდინატების ხერხით. დაბეტონების წინ ასრულებენ ყალიბის აგეგმვას. ფილების მწკრივის დაბეტონება სრულდება თითოს გამოტოვებით სავარცხლისებურად. შუალედ ფილებს აბეტონებენ ყალიბების მოხსნის შემდეგ. შემდგომი იარუსის ყალიბი დაიკვალება ანალოგიურად, ამასთან ქვედა

იარუსების ნიშნები დაპროექტებულ უნდა იქნას მაღლა ვერტიკალზე.

პირველი იარუსის ბეტონში ამაგრებენ ჰიდროკვანძის მთავარ ღერძს გეოდეზიური ნიშნებით. აქვე ამაგრებენ სადეფორმაციო მარკებსაც მშენებლობის პერიოდში დაწევებზე დაკვირვებებისთვის.

რაბების მშენებლობისას ადგილზე დაკვალავენ კამერის ღერძს და რაბის ზედა და ქვედა თავების ელემენტების ღერძებს.

რაბის აგებისთვის ანვითარებენ საყრდენ ქსელს მიკროტრიანგულაციის ან პოლიგონომეტრიის სახით, რომელთა პუნქტებიდან ადგილზე გადააქვთ რაბის გრძივი და განივი ღერძები, ამასთან საპროექტო მანძილები უნდა გადატანილ იქნას 1/10000 ფარდობითი სიზუსტით.

**დაკვალვითი სამუშაოების თავისებურებანი თაღოვანი კაშხლების მშენებლობისას.** თაღოვან კაშხალში მთავარ ღერძად მიღებულია სიმეტრიის ღერძი. დამკვალავი ღერძი წრიულ მრუდს წარმოადგენს, რომელიც დაახლოებით თაღის შუაში გადის. კაშხლის ფილების დაკვალვისთვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას მიმართულებები, რომელნიც მთავარი ღერძის მრუდის ცენტრიდან დაინიშნება. რთული ფორმის კაშხლების დროს ყველაზე რაციონალური შეიძლება იყოს დაკვალვა საპროექტო კოორდინატებით.

მაღალი დაწნევის კაშხლების აგებისას დამკვალავი საფუძველი სამ საფეხურად იქმნება: ძირითადი (კარკასული) ტრიანგულაცია, დამკვალავი ტრიანგულაცია მშენებარე ნაგებობათა ახლოს და საგვირაბო პოლიგონომეტრია.

მშენებლობის დაწყების წინ იქმნება მაღალი სიზუსტის ტრიანგულაციის ძირითადი დამკვალავი ქსელი მინიმალური რაოდენობის პუნქტებითა და ბაზისებით, რომლებიც განლაგებული იქნებიან მაღალ ადგილებში და ხეობის ორთავე მხარეს ნაპირებისგან მოშორებით. ყველაზე მდგრადი იქნება ხეობისგან დაშორებული პუნქტები. სეისმურ რაიონებში ბაზისის გვერდებზე

განისაზღვრება ასტრონომიული აზიმუტები ( $2^{\text{II}}$  სიზუსტით).  
ქსელი ლოკალურია,  $\alpha$  ღერძად იღებენ კაშხლის მთავარ ღერძს.

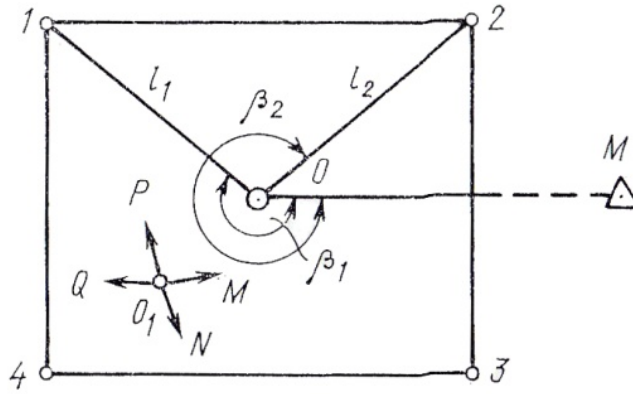
მეორე საფეხურის დამკვალავი ტრიანგულაციის პუნქტები ეყრდნობა ძირითადი ქსელის პუნქტებზე და განლაგდება მშენებარე ობიექტების ახლოს ქვედა და ზედა ბიეფში. ხეობის ფერდობების სხვადასხვა სიმაღლეზე. ასეთი მრავალმხრივი ტრიანგულაციის გვერდებს შეიძლება ქონდეს  $30^{\circ}$ -მდე დახრა. აუცილებლობის შემთხვევაში დამკვალავი ქსელი გახშირდება ცალკეული პუნქტების ჩასმით.

რადგან მეორე საფეხურის პუნქტები ახლოსაა სამშენებლო ობიექტებთან, სადაც აფეთქებითი სამუშაოები მიმდინარეობს, ამიტომ ისინი განიცდიან ძვრებს, რის გამოც ყოველწლიურად უნდა ჩატარდეს საკონტროლო გაზომვები და გაწონასწორებითი სამუშაოები.

მესამე საფეხურის ქსელი - საგვირაბო პოლიგონომეტრია, საყრდენი საფუძველია ჰიდროტექნიკური და სატრანსპორტო გვირაბების მშენებლობისთვის.

კაშხლის ქვაბულის დამუშავება ხეობის ფერდობებზე ზემოდან ქვემოთ წარმოებს. კაშხლის კონტური ადგილზე გადაიტანება დამკვალავი საფუძვლის პუნქტებიდან პოლარული ხერხით.

თალური კაშხლის დეტალური დაკვალებისთვის თითოეული ბლოკის დაახლოებით ცენტრში დანიშნავენ 0 წერტილს  $x_0$  და  $y_0$  გრაფიკული კოორდინატებით, რომლიდანაც ბლოკის წვეროების საანგარიშო კოორდინატების მიხედვით, შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანების გადაწყვეტით, პოულობენ ამ წვეროების პოლარულ კოორდინატებს (0 ცენტრიდან), აგრეთვე მიმართულებებს (აზიმუტებს) დამკვალავი ქსელის 4-5 პუნქტზე (ნახ.9.6.3)



ნახ. 9.6.3

ადგილზე თეოდოლიტს აყენებენ რომელიმე  $O_1$  წერტილზე და შებრუნებული გადაკვეთით რამდენიმე პუნქტზე ( $P, Q, M, N$  ნახ-ზე) განსაზღვრავენ მის  $x_{O_1}$  და  $y_{O_1}$  კოორდინატებს, აგრეთვე რედუქციის პოლარულ ან მართკუთხა ელემენტებს, რომელთა მიხედვით ბლოკზე პოულობენ  $O$  წერტილის მდებარეობას. კონტროლისთვის ამოწმებენ  $O$  წერტილიდან დამკვალავი ქსელის პუნქტებზე მიმართულებებს, რის შემდეგ დაკვალავენ და დაამაგრებენ ადგილზე ბლოკის წვეროებს. ასეთნაირად განისაზღვრება ბლოკების მდებარეობა ყველა სექციებსა და იარუსებზე 10 მმ სკშ.

$O$  წერტილის ბლოკზე მდებარეობა შეიძლება აგრეთვე განისაზღვროს დამკვალავი ქსელის ორი პუნქტიდან პირდაპირი გადაკვეთით.

**ჰიდროაგრეგატების მონტაჟის გეოდეზიური უზრუნველყოფა.** ჰიდროაგრეგატების მონტაჟს გრძივი და განივი სამონტაჟო ღერძების მიხედვით ასრულებენ, რომლებიც ან ემთხვევა სამშენებლო ღერძებს, ან მათი პარალელურია.

ჰიდროელექტროსადგურის ტურბინების მონტაჟისას განსაზღვრავენ საძირკვლის რგოლის, ტურბინის სტატორის და როტორის ლილვის, აგრეთვე გენერატორის ზედა და ქვედა

ჯვარედის სიმაღლეებს. ჰიდროაგრეგატის მონტაჟი სრულდება ორ სტადიად: წინასწარი და საბოლოო. წინასწარი მონტაჟისას კონსტრუქცია სიმაღლეში დაიდგმება ნიველირით 2მმ სიზუსტით. საბოლოო დაყენება სრულდება მაღალი სიზუსტის ხელსაწყოებით.

მონტაჟის დროს სტატორის ჰორიზონტალური სიბრტყიდან და მისი ლილვის ვერტიკალური სიბრტყიდან გადახრა არ უნდა აღემატებოდეს ზღვრულად დასაშვებ სიდიდეს – 0,02 მმ ლილვის 1 მ სიგრძეზე.

სტატორის რგოლის დაყენებისთვის გეგმური საფუძველი - აგრეგატის ღერძებია, დაკვალული ადგილზე 1 მმ ცდომილებით.

ჰიდროაგრეგატის მონტაჟის წინ მოწმდება გრძივი და განივი ღერძების ურთიერთმართობულობა. მონტაჟისას კარგ შედეგს იძლევა მიკრონიველობის გამოყენება. სტატორის დაყენების შემდეგ ატარებენ მის შესრულებით აგეგმვას. სამონტაჟო ღერძების მიმართ სტატორის გეგმური მდებარეობის შეცდომა არ უნდა აღემატებოდეს 1 მმ, ხოლო სასიმაღლო – 0,2მმ. მეტალის კონსტრუქციების შემოწმება ვერტიკალზე წარმოებს გვერდითი ნიველობის მეთოდით.

ჰიდროკვანძის ნაგებობის შესრულებითი აგეგმვა, გეგმაში სრულდება დამკვალავი ქსელის პუნქტებიდან და ძირითადი ღერძების დამაგრებული წერტილებიდან, ხოლო სიმაღლეში - რეპერების ქსელიდან.

## **9.7. ჰიდროტექნიკური ნაგებობის დეფორმაციაზე გეოდეზიური დაკვირვებები**

ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი საკუთარი წონის, წყალსაცავის წყლის მასის, ტემპერატურის ცვალებადობის და სხვა ფაქტორებისგან წარმოქმნილი ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ძალების მოქმედებათა გამო დროთა განმავლობაში განიცდიან

დეფორმაციას: საძირკვლისა და კაშხლის დაწევას, ჰორიზონტალურ ძვრას და გადახრას.

მსხვილ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობისა და ექსპლუატაციის დროს დაწევებსა და ძვრებზე დაკვირვებისათვის, ტექნიკური წესების თანახმად, უნდა შეიქმნას სპეციალური გეოდეზიური სამსახური. დაკვირვებებისთვის დაქვემდებარებულ ნაგებობათა ჩამონათვალი და დაკვირვებების ხასიათი განისაზღვრება საპროექტო ორგანიზაციის მიერ, აღნიშნულ სამსახურთან ერთად.

**დაწევებზე გეოდეზიური დაკვირვებები.** დაწევებზე (ჯდომებზე) დაკვირვებებს ატარებენ წინასწარ შედგენილი პროგრამით შემდეგი მიმდევრობით:

- გამოსავალი სასიმაღლო საფუძვლის შექმნა ჯგუფური რეპერების სახით ქვედა და ზედა ბიეფში, ობიექტისგან დაშორებით (1 - 2 კმ);
- გამოსავალი რეპერების სასიმაღლო და გეგმური მიბმა სახელმწიფო პუნქტებზე;
- მისასვლელ გზებზე და თვით ნაგებობაზე მუდმივი და დროებითი მარკების დაყენება მშენებლობის პერიოდში;
- ინსტრუმენტული დაკვირვებები დაწევებზე, როგორც მშენებლობის, ისე ექსპლუატაციის პერიოდში;
- გაზომვების შედეგების დამუშავება – სვლების გაწონასწორება, სადეფორმაციო მარკების ნიშნულების გამოთვლა თითოეულ ციკლში, მარკების დაწევების უწყისის და გრაფიკის შედგენა.

პრაქტიკაში გამოსავალი რეპერების, ძირითადად, სამი ტიპია გავრცელებული: სიღრმითი, ფუნდამენტური და გრუნტის.

სიღრმით რეპერებს განლაგებენ დიდ სიღრმეზე ძირეულ ქანებში, ნაგებობისგან მოშორებით. ამ ტიპის რეპერების რამდენიმე სახის კონსტრუქცია არსებობს, თუმცა ყველასთვის საერთოა ლარტყის დასაყენებლად თავის სათანადოთ დამუშავება და



სასიმაღლო მდებარეობის უცვლელობის უზრუნველსაყოფად დამცავი მოწყობილობა.

ფუნდამენტურ რეპერებს განლაგებენ ნაგებობის ქვაბულში ან კლდოვან ქანებში გაყვანილ შტოლნაში. გარემო პირობების გავლენის შესამცირებლად რეპერებს უკეთებენ ჰიდროიზოლაციას. ფუნდამენტურ რეპერებს მიაკუთვნებენ კლდეში ზედაპირულად დამაგრებულ რეპერსაც.

გრუნტის რეპერებს ჩაამაგრებენ ნაგებობასთან ახლოს – ზედა და ქვედა ბიეფში, წყალსაცავის ფერდობებზე და სხვ. ინსტრუქციის თანახმად.

სადეფორმაციო (ჯდომითი) მარკები კონსტრუქციულად სხვადასხვა ტიპისაა და ამაგრებენ მათ მისასვლელ გზებზე, გვირაბის (პატერნის) კედელში ან ჭერში, კაშხლის თხემზე და სხვ.

გამოსავალი და სამუშაო რეპერების და მარკების განლაგების სქემა დამოკიდებულია ჰიდროკვანძის ნაგებობის კონსტრუქციულ განლაგებაზე, სამშენებლო მოედნის საინჟინრო-გეოლოგიურ და ტოპოგრაფიულ დახასიათებაზე, სამშენებლო წარმოების ტექნოლოგიასა და ორგანიზაციაზე. ამიტომ თითოეული ჰიდროკვანძისთვის რეპერების და მარკების განლაგების შესაბამისი სქემა უნდა შემუშავდეს.

დიდი ჰიდროაგრეგატებისა და ჰიდროკვანძის სხვა მნიშვნელოვანი ელემენტების დაწევებზე დაკვირვებებისთვის დამატებით აყენებენ სადეფორმაციო მარკებს. მაგ., ჰიდროაგრეგატებზე თითოეული სტატორის რგოლზე აყენებენ 4 მარკას, რომლებზეც პერიოდული დაკვირვებების მიხედვით მსჯელობენ რგოლის დაწევისა და გადახრისაზე. ამ დროს სასურველია, სადეფორმაციო მარკები დამაგრებულ იქნან ინსტრუმენტის ჰორიზონტის დონეზე, რაც საშუალებას მოგვცემს ვისარგებლოთ გადასატანი სკალებიანი მარკებით.

ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა დაწვევებზე დაკვირვებების ციკლების რაოდენობა სამშენებლო პერიოდში განისაზღვრება საძირკველზე მოსული დატვირთვის ზრდის მიხედვით, ხოლო ექსპლუატაციის პერიოდში – ძირითადად წყალსაცავში წყლის დონის ცვალებადობით. თუმცა დაკვირვებათა პერიოდულობაზე არა ნაკლებ გავლენას ახდენს დროში განვითარებული დაწვევების სიჩქარე.

დიდი ჰიდროკვანძების მშენებლობის პრაქტიკიდან შემჩნეულია, რომ შედარებით არა მდგრად ფუძეზე აგებისას, ნაგებობათა დაწვევების სიჩქარე მშენებლობის პერიოდში მნიშვნელოვნად აჭარბებს იგივეს ექსპლუატაციის პერიოდში.

მსხვილ ჰიდრონაგებობებზე დაკვირვებები (მაგ., ენგურჰესის კაშხალი) გრძელდება მუდმივად, წელიწადში ორჯერ (წყალსაცავის დაცლისა და შევსების პერიოდებში).

დაწვევებზე გეოდეზიური დაკვირვებების კამერალური დამუშავება მდგომარეობს სავსე ჟურნალების კონტროლში, სანიველო სვლების სქემისა და აღმატებების უწყისის შედგენაში, განაზოთა შედეგების გაწონასწორებასა და ქსელის სიზუსტის შეფასებაში - ყოველი ცალკეული ციკლისთვის.

**ძვრებზე გეოდეზიური დაკვირვებები.** ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ჰორიზონტალური ძვრები ძირითადად დამოკიდებულია ჰორიზონტალური დატვირთვების სიდიდეზე, საძირკვლის ფართობზე და ფუძის გრუნტში განლაგებული ქანების ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე.

ძვრებზე დაკვირვებები ტარდება სხვადასხვა მეთოდებით, მაგრამ სრული ინფორმაცია შეიძლება მივიღოთ გეოდეზიური დაკვირვებებით. გეოდეზიური მეთოდებიდან იყენებენ: გასწვრივობით დაკვირვებებს, ცალკეული მიმართულებების, გეოდეზიური გადაკვეთების, ტრიანგულაციის, პოლიგონომეტრიის, პირდაპირი და შებრუნებული შვეულების და კომბინირებულ ხერხებს.

გეოდეზიური დაკვირვებებით მიღებული შედეგები საშუალებას გვაძლევს შევადაროთ ისინი ძვრების პროგნოზირებულ სიდიდეებს და ამით ვიმსჯელოთ მოცემული ნაგებობის სიმტკიცესა და მდგრადობაზე.

ნაგებობის ძვრებზე დაკვირვებებისას შეიძლება გამოვლენილ იქნას აბსოლუტური (არა ფილოსოფიური გაგებით) და ფარდობითი ძვრები. აბსოლუტური ძვრები მიიღებიან უძრავი (მყარი) გეოდეზიური ნიშნების მიმართ, ხოლო ფარდობითი - ნაგებობის სხვა ნაწილების მიმართ. მაგალითად, კაშხლის ერთი სექციის ძვრა მეორესთან შედარებით. ძვრების ორთავე სიდიდე მნიშვნელოვანია, მაგრამ ფარდობითი ძვრების შედეგებს დიდი პრაქტიკული ღირებულება აქვს, რადგანაც საშუალებას გვაძლევს უფრო სწორად დავაპროექტოდ სექციის ნაკერებს შორის შემამჭიდროველი მოწყობილობა.

ძვრების გეოდეზიური გაზომვის სიზუსტის გაანგარიშებისას ხელმძღვანელობენ ნაგებობის ფუძის საინჟინრო-გეოლოგიური დახასიათებით, ნაგებობის დანიშნულებითა და კონსტრუქციით. პრაქტიკაში თვლიან, რომ ძვრის გაზომვის შეცდომა დაახლოებით 10-ჯერ მცირე უნდა იყოს, ვიდრე დასაშვები დეფორმაციაა.

დაწევებისა და ძვრების გაზომვების მეთოდებისა და ხერხების სპეციფიკა, გამოყენებული ნიშნების სახეები, დაკვირვებების მეთოდიკა, საბოლოო შედეგების გაფორმება და სხვა მნიშვნელოვანი საკითხები განხილულია გამოყენებითი გეოდეზიის პირველ ნაწილში.

## თავი 10. გეოდეზიური სამუშაოები

### გვირაბის მშენებლობის ღრის

#### 10.1. გვირაბის დაპროექტებისა და გაყვანის ხერხები

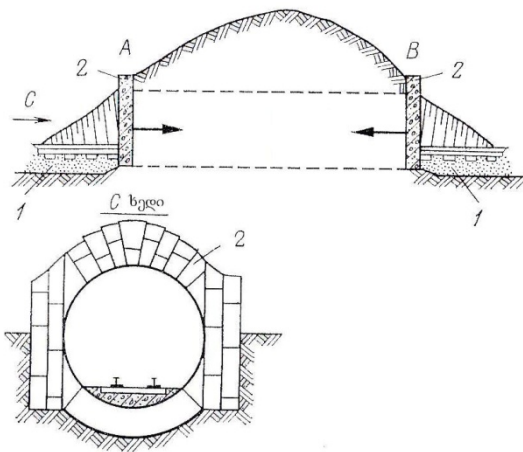
**საერთო ცნობები გვირაბების შესახებ.** გვირაბი ეწოდება ჰორიზონტალურ ან დახრილ მიწისქვეშა ხელოვნურ ნაგებობას, რომელიც გაყავთ სატრანსპორტოდ, წყლის გასაშვებად, საკომუნიკაციოდ ან სხვა მიზნით.

დანიშნულების მიხედვით გვირაბები იყოფიან:

- სატრანსპორტო გვირაბები (ავტოსაგზაო, სარკინიგზო, მეტროპოლიტენის, სანაოსნო, საქვეითო);
- ჰიდროტექნიკური გვირაბები (დერივაციული, წყალმომარაგების, სამელიორაციო);
- კომუნალური გვირაბები (წყალგამტარი, საკანალიზაციო, საკოლექტორო);
- სამთოსამრეწველო გვირაბები (საწარმოო დანიშნულების, სასარგებლო წიაღისეულის მომპოვებელი);
- სპეციალური გვირაბები (ფიზიკურ-ტექნიკური, სამოქალაქო თავდაცვის და სხვ.).

სივრცეში განლაგების მიხედვით გვირაბები იყოფიან: ჰორიზონტალური, დახრილი და ვერტიკალური.

**გვირაბების გაყვანა.** გვირაბები გაყავთ როგორც ღია, ისე დახურული წესით. მცირე სიღრმეზე გვირაბები, როგორც წესი, გაყავთ ღიად. ამასთან, დაუსახლებელ ტერიტორიაზე გვირაბები გაყავთ დახრილი ფერდებით, ხოლო დასახლებულ ადგილებში – ვერტიკალური გვერდებით ხის ან ლითონის ბოძებზე. დიდ სიღრმეზე გვირაბი გაყავთ ან პორტალებით (ნახ.10.1.1) ან ვერტიკალური ჭაურითა და სპეციალური კამერებით (ნახ. 10.1.2).



ნახ. 10.1.1

ნახ. 10.1.1-ზე ნაჩვენებია პორტალებამდე მიყვანილი გზის ვაკისი (1) და გვირაბის დამცავი კედლები (2), იგივე პორტალები.

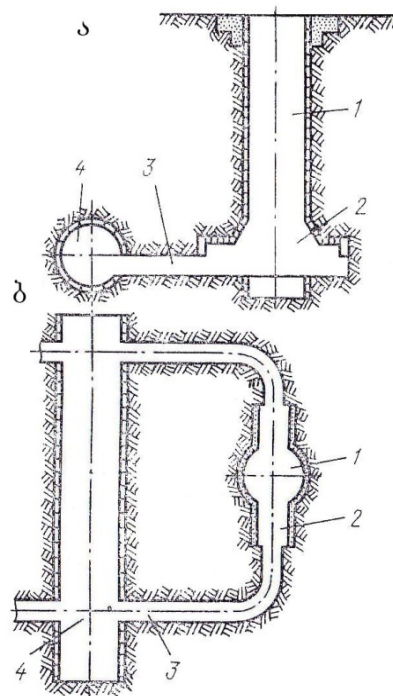
მეტროპოლიტენის გვირაბი (ან დიდი სიგრძის სატრანსპორტო გვირაბი) ჩვეულებრივ გაჰყავთ ვერტიკალური ჭაურებით, რომლებიც გვირაბის ტრასიდან **20 – 50** მ-ით არიან გადაადგილებული. ჭაურის საჭირო პორიზონტზე მიყვანისას აგებენ ჭაურის ეზოს და ტრასამდე მისასვლელ გამონამუშევრებს (ნახ.10.1.2). თუ გვირაბი გაყავთ ფარებით, მაშინ მათი მონტაჟისთვის აგებენ სპეციალურ კამერებს. ერთი და იგივე გვირაბი შეიძლება გაყვანილ იქნას პორტალებიდან და ჭაურებიდან ერთდროულად. ნახ.10.1.2-ზე ნაჩვენებია ჭაური (1), ჭაურის ეზო (2), გვირაბის ტრასაზე მისასვლელი გამონამუშევრები (3) და ძირითადი გვირაბი (4). ნახ.10.1.2<sup>ა</sup> წარმოადგენს ჭრილს, ხოლო ნახ.10.1.2<sup>ბ</sup> გეგმას.

გვირაბს გაყვანისას ან შემდეგ, გაამაგრებენ ხის, ლითონის ან რკინაბეტონის სამაგრით, რომელსაც გვირაბის მოკეთებას უწოდებენ. მეტროპოლიტენისა და ჰიდროტექნიკურ გვირაბებს მოაკეთებენ ე.წ. ტიუბინგებით ან ბლოკებით, რომელიც წრიული ფორმისაა და შედგება 0,75-1,0 მ სიგრძის ელემენტებისგან. ასეთ გვირაბებს მოაკეთებენ აგრეთვე მონოლითური ბეტონითაც.

თუ გვირახი გაყვანილია მაგარ კლდოვან ქანებში და სამთო წნევა არ არის, მას ტოვებენ მოკეთების გარეშე ბუნებრივი სიმაგრის ხარჯზე. გვირახის მოკეთების სისქის ანგარიშისას მხედველობაში ღებულობენ გვირახის განივკვეთს, ჰიდროლოგიურ პირობებს და სამთო წნევის სიდიდეს.

ჰიდროტექნიკურ გვირახებში იყენებენ მოკეთებას გაზრდილი წყალმდეგობითა და წყალგაუმტარობით.

გვირახების გაყვანა უპირატესად გვირახგამყვანი ფარებით წარმოებს. მექანიზებული ფარი წარმოადგენს მძლავრი ჰიდრავლიკური დომკრატებით გადასადგილებელ კომპლექსს, რომლის მეშვეობით მონგრეული სამთო მასა გამოიტანება სანგრევიდან და გვირახი მოკეთდება სამაგრით.



**გვირახის განივკვეთის გაბარიტი და ფორმა.**

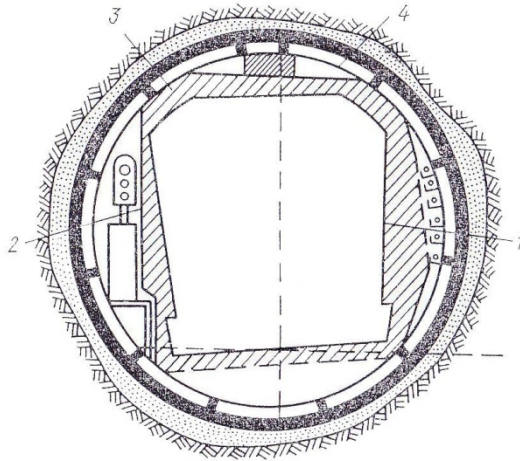
ნახ. 10.1.2

უწოდებენ რომელიმე ნაგებობის ზღვრულ გეომეტრიულ მოხაზულობას. გვირახის განივკვეთის ზომები (სიგანე, სიმაღლე) განისაზღვრება მოთხოვნილი გაბარიტული გამტარუნარიანობით.

სატრანსპორტო გვირახის აგებისას დადგენილია სამი სახის გაბარიტი: მოძრავი შედგენილობის, ნაგებობათა მიახლოების და მოწყობილობათა მიახლოების (ნახ. 10.1.3).

**მოძრავი შედგენილობის გაბარიტი** (1) განისაზღვრება იმ კონტურით, რომლის შიგნით უნდა მოთავსდეს მოძრავი შედგენილობა ყველა გამოშვებული და კიდული ნაწილებით. ამასთან, ვაგონების მდებარეობა განიხილება შედგენილობის

მოძრაობისას და რესორებზე მისი რხევისას, აგრეთვე სხვადასხვა მიზეზებით ვაგონების დახრისას.



ნახ. 10.1.3

**ნაგებობის მიახლოების გაბარიტი (4)** განისაზღვრება გვირაბის მოკეთების შემოხაზულობის კონტურით. ეს კონტური უნდა წამოვიდგინოთ მდოვრე მრუდის სახით, რომელიც შემოვლებულია ყველაზე დამახასიათებელ გამოშვებულ ნაწილებზე.

**მოწყობილობის მიახლოების გაბარიტი (2)** განისაზღვრება კონტურით, რომელიც აერთებს გვირაბში დასამონტაჟებელი და დასაყენებელი სხვადასხვა მოწყობილობის ყველაზე მეტად გამოშვებულ ნაწილებს (კაბელები, შუქნიშნები, სარელეო კარადები, დროსელის ყუთები და სხვ.).

სივრცეს მოძრავი შედგენილობის გაბარიტსა და მოწყობილობის მიახლოების გაბარიტს შორის (3) უწოდებენ **გაბარიტის მარაგს** და დგინდება დამპროექტებელთა მიერ. გაბარიტის მარაგი გეოდეზიური სამუშაოების მოთხოვნილი სიზუსტის ანგარიშისთვის გამოსავალი სიდიდეა.

რკინიგზის გვირაბებს აგებენ ერთლიანდაგიანი ან ორლიანდაგიანი მოძრაობისთვის. მეტროპოლიტენის გვირაბები გაბარიტების მეტი მრავალფეროვნებით გამოირჩევა.

გადასარბენებზე მათ ნაკლები გაბარიტები აქვთ, ვიდრე სადგურებზე.

ჰიდროტექნიკური გვირაბის გაბარიტი განისაზღვრება წყლის იმ ხარჯით, რომელიც უნდა გაატაროს გვირაბმა პროექტის მიხედვით.

გვირაბის განივკვეთის ფორმა დამოკიდებულია მის ზომაზე, დანიშნულებაზე, გაყვანის ხერხზე, აგრეთვე სამთო წნევის სიდიდესა, ინტენსიურობასა და მიმართულებაზე.

მეტროპოლიტენის გვირაბებს დიდ სიღრმეზე აგებენ ერთლიანდაგიანს წრიული კვეთით, ხოლო მცირე სიღრმეზე – ერთ, ან ორლიანდაგიანს მართკუთხა კვეთით. დიდი სიდიდის ვერტიკალური სამთო წნევის დროს გვირაბს აძლევენ ნალისებურ ფორმას, სადაც გვირაბის სიმაღლე მეტია სიგანეზე.

**გვირაბის ტრასის დაპროექტების ხერხები.** გვირაბის ტრასირებისას იყენებენ სახელმწიფო ტოპოგრაფიულ რუკებს, თუმცა დეტალური დაპროექტებისთვის დამატებით ასრულებენ საინჟინრო-ტოპოგრაფიულ აგეგმვას და ადგენენ მიმოკვლევით მსხვილმასშტაბიან გეგმას. გვირაბის ტრასის დაპროექტება სრულდება გეომეტრიული ან ანალიზური ხერხით.

**გეომეტრიული ხერხი** უპირატესად გამოიყენება სატრანსპორტო და ჰიდროტექნიკური გვირაბების ტრასების დაპროექტებისას მარტივ ტოპოგრაფიულ პირობებში. გვირაბის ღერძი ამ ხერხის დროს ტრასირდება უშუალოდ ნატურაში. ამიტომ დაპროექტების სიზუსტეზე ძირითადად გავლენას ახდენს გეოდეზიური განაზომების შეცდომები. ეს ხერხი ქალაქის პირობებში მეტროპოლიტენის დაპროექტებისას გამოუსადეგარია.

**ანალიზური ხერხი** გამოიყენება მეტროპოლიტენის ტრასის დაპროექტებისას, აგრეთვე რთულ ტოპოგრაფიულ პირობებში გასაყვანი გვირაბების ტრასირების დროს. ამ ხერხის არსი შემდეგია: ტექნიკურ-ეკონომიკური და ჰიდროლოგიური მიმოკვლევის მონაცემებით დასაპროექტებელი გვირაბის ტრასა



ჯერ დააქეთ ქალაქის **1:2000** მასშტაბის (ან უფრო წვრილი მასშტაბის) გეგმაზე და გრაფიკულად განსაზღვრავენ ტრასის საწყისი, ბოლო და მოხვევის წვეროების კოორდინატებს. შემდეგ შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანების გადაწყვეტით პოულობენ ტრასის გვერდების ღირეცეიულ კუთხეებს (სეკუნდის მეათედი სიზუსტით) და მათ სიგრძეებს (მმ-ის სიზუსტით).

კოორდინატების გრაფიკული განსაზღვრის შეცდომებმა დაპროექტებული ტრასა შეიძლება გადაადგილოს მცირე მანძილით ნატურაში არსებულ სიტუაციასთან შედარებით. მაგრამ, ამასთან ერთად, ტრასის ყველა მოხვევის წვერო ერთმანეთთან ზუსტად მათემატიკურად იქნება შეთანხმებული.

გამოთვლილი ღირეცეიული კუთხეებით მიღებული მოხვევის კუთხეებით და დაპროექტებული რადიუსის სიდიდეებით მმ-მდე დამრგვალებით განსაზღვრავენ წრიული მრუდების ელემენტებს.

მოხვევის კუთხეების, გვერდების სიგრძეების და წრიული მრუდების ანალიზურად მიღებული სიდიდეები მიიღება შემდგომი დეტალური დაპროექტებისთვის და გვირაბის ღერძის ნატურაში გადასატანად გამოსავლად.

ამგვარად, ანალიზური ხერხის დროს საპროექტო ანგარიშის სიზუსტეზე გავლენას ახდენს მხოლოდ დამრგვალების შეცდომები. ამ ხერხს იყენებენ აგრეთვე სამთო გვირაბის გაყვანისა და წყალქვეშა გვირაბის ტრასის დაპროექტებისას.

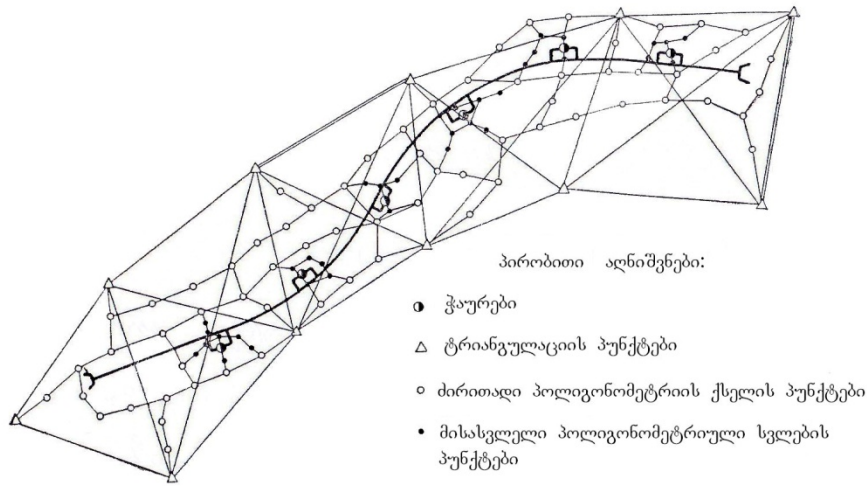
## 10.2. გვირაბის გაყვანის გეოდეზიური საფუძველი

**გეგმური გეოდეზიური საფუძველი.** ძირითად გეგმურ გეოდეზიურ საფუძველს გვირაბის ტრასის პროექტის ნატურაში გადატანისას წარმოადგენს საგვირაბო ტრიანგულაცია, ტრილატერაცია ან ხაზოვან-კუთხური ქსელები. გეგმური საფუძვლის პუნქტების გასახშირებლად აგებენ ძირითად პოლიგონომეტრიულ ქსელს, ან გაყავთ პოლიგონომეტრიული სვლა.

თუ ადგილობრივი პირობები საშუალებას გვაძლევს განვაღოთ ქსელის პუნქტები ჭაურის უშუალო სიახლოვეს, მაშინ ტრასის გასწვრივ ძირითადი პოლიგონომეტრიული ქსელის საჭიროება არ არის. ამ შემთხვევაში ძირითად პოლიგონომეტრიულ ქსელს განავითარებენ მხოლოდ საშახტო მოედნის რაიონში, ჭაურის განლაგების ახლოს.

ძირითადი პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან ჭაურის პირას კოორდინატების გადასაცემად გაყავთ მისასვლელი პოლიგონომეტრიის ქსელი ცალკეული სვლების, სვლათა სისტემის ან ჩაკეტილი პოლიგონების სახით, რომელთა პუნქტები ძირითადი პოლიგონომეტრიის ქსელის პუნქტებს ეყრდნობა.

გეგმური გეოდეზიური საფუძვლის საერთო სქემა, მეტროპოლიტენის გვირაბის მომსახურებისთვის, წარმოდგენილია ნახ.10.2.1-ზე, რომელზეც ნაჩვენებია ჭაურები გვირაბის ტრასის გასწვრივ, საგვირაბო ტრიანგულაციის პუნქტები (სამკუთხედების სახით), ძირითადი პოლიგონომეტრიის პუნქტები (წრეების სახით), მისასვლელი პოლიგონომეტრიის პუნქტები (წერტილების სახით) და გვირაბის პორტალები.



ნახ. 10.2.1

მისასვლელი პოლიგონომეტრიის ქსელის პუნქტებიდან კოორდინატებს გადასცემენ მიწისქვეშა გამონამუშევრებში ჭაურების საშუალებით. ამ ქსელის გვერდების ღირებულებები კუთხეების არასაკმარისი სიზუსტის გამო, მათი გამოყენება მიწისქვეშა გეოდეზიური საფუძვლის ორიენტირებისთვის მიზანშეწონილი არ არის. ამიტომ ამ მიზნით იყენებენ საგვირაბო ტრიანგულაციის, ან უკიდურეს შემთხვევაში, ძირითადი პოლიგონომეტრიის გვერდების ღირებულებას.

ღირებულებები კუთხისა და კოორდინატების ზედაპირიდან მიწისქვეშა, ჭაურის საშუალებით გადაცემის პროცესს, **მიწისქვეშა გეოდეზიური საფუძვლის ორიენტირება** ეწოდება.

ჭაურიდან მიწისქვეშა სანგრევის გადაადგილებასთან ერთად, გვირაბის ტრასაზე გაყავთ მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის სვლები – დასაწყისში მოკლე გვერდებით, ე.წ. მუშა პოლიგონომეტრიის სვლების სახით, ხოლო შემდეგ – მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლები 50-100მ სიგრძის გვერდებით.

დიდი სიგრძის გვირაბის გაყვანისას და ჭაურებს შორის დიდი დაშორებისას, ღირებულებები კუთხის გადაცემის სიზუსტის

გაზრდისთვის ჭაურებიდან სანგრევებისკენ გაყავთ ძირითადი პოლიგონომეტრიის გარდა მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის მთავარი სვლები, რომლის პუნქტებს ყოველი 2-3 გვერდის შემდეგ ამოხვევენ ძირითადი მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის პუნქტებს.

**სასიმაღლო გეოდეზიური საფუძველი.** გვირაბის ტრასის პროფილის პროექტის ადგილზე გადასატანად იქმნება სასიმაღლო გეოდეზიური საფუძველი სანიველო ქსელების სახით, რომელთა კლასი შეირჩევა გვირაბის სიგრძისა და შემხვედრი მიწისქვეშა გამონამუშევრების სიგრძეების მიხედვით. გვირაბის აგების მოთხოვნილი სიზუსტე სიმაღლეში, უმრავლეს შემთხვევაში, თვით გრძელი გვირაბების დროსაც კი (5 კმ-მდე) შეიძლება უზრუნველყოფილ იქნას ზედაპირზე IV კლასის სანიველო ქსელის აგებით. მაგრამ, რადგანაც საიმედო სასიმაღლო პუნქტები საჭიროა არა მარტო გვირაბის პროფილის ადგილზე გადასატანად, არამედ შემდგომში მის დეფორმაციაზე დაკვირვებისთვის, ამიტომ გვირაბების მშენებლობისას, ზედაპირზე ანვითარებენ III კლასის ნიველობის ქსელს.

ქალაქის ტერიტორიაზე მეტროპოლიტენის გვირაბის აგებისას, სანიველო ქსელები ეყრდნობა II კლასის სანიველო მარკებს.

დაუსახლებელ ტერიტორიაზე რკინიგზის, ჰიდროტექნიკური და სხვა სახის გვირაბების გაყვანისას III კლასის სანიველო სვლები წარმოადგენენ პირველად სასიმაღლო გეოდეზიურ საფუძველს.

გვირაბის გაყვანის გეოდეზიური უზრუნველყოფისათვის განვითარებული III კლასის სანიველო ქსელები შეკრული პოლიგონების გაჭიმულ სისტემას წარმოადგენს, რომელიც ფარავს გვირაბის ტრასის მთელ ზოლს. III კლასის რეპერებიდან ნიშნული გადაეცემა შახტის ჭაურს, ხოლო ჭაურიდან – მიწისქვეშა გამონამუშევარს.

ორ ჭაურთან ან ორივე პორტალთან ჩამაგრებული რეპერები, რომლებიდანაც საპროექტო სიმაღლეები გადაეცემა მიწისქვეშა

გამონამუშევრებში, ზედაპირზე ერთმანეთთან უნდა შეკავშირებული იქნენ ორმაგი დამოუკიდებელი სანიველო სვლებით.

პორტალებიდან გვირაბების გაყვანისას III კლასის სვლა პირდაპირ გაგრძელდება IV კლასის სანიველო სვლით უშუალოდ გამონამუშევარში.

მიწისქვეშა გამონამუშევარში გადაცემულ ნიშნულს ამაგრებენ ადგილზე რეპერით. სანგრევის წინსვლასთან ერთად ამაგრებენ ახალ რეპერებს, რომელთა ნიშნულები ისაზღვრება IV კლასის ნიველობით, ხოლო სანგრევის ჭაურიდან **1** კმ-ზე მეტი დაშორებისას, ან სხვა აუცილებლობით გამოწვეულ შემთხვევებში – ასრულებენ III კლასის ნიველობას.

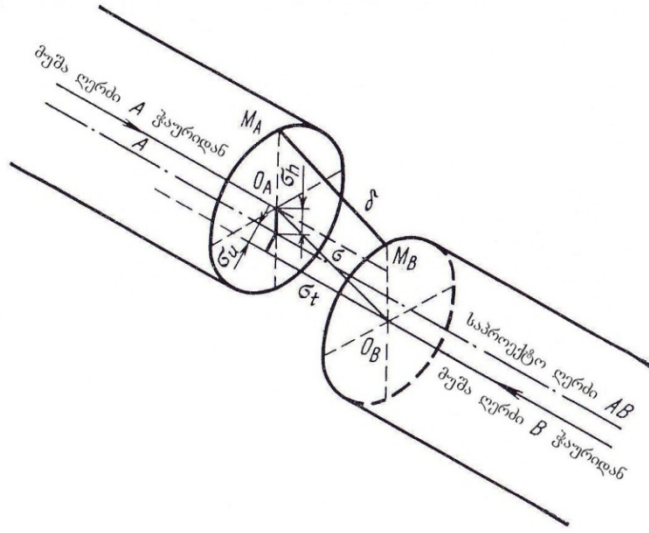
### 10.3. დაშვებების ანგარიში გვირაბის შემხვედრი სანგრევებით გაყვანისას

**გამკვეთი გვირაბების შეხვედრის სიზუსტისადმი მოთხოვნები.** ძირითადი გეოდეზიური ამოცანა გვირაბის შემხვედრი სანგრევებით გაყვანისას – ეს არის გამკვეთი მიწისქვეშა გამონამუშევრების ზუსტად შეხვედრის უზრუნველყოფა.

თუ გვირაბი გაიყვანება **A** და **B** ჭაურებიდან ურთიერთშემხვედრი სანგრევებით (ნახ.10.3.1), მაშინ დაკვალვებისა და სხვა გეოდეზიური სამუშაოების შეცდომების გავლენით გვირაბების მოკეთებების შეხვედრისას ადგილი ექნება აცდენას (ერთიდაიგივე ელემენტების არდამთხვევას).

თუ პროექტის **M** წერტილი **A** და **B** ჭაურებიდან გაყვანისას აღმოჩნდება **M<sub>A</sub>** და **M<sub>B</sub>** წერტილებში, მაშინ **M<sub>A</sub>M<sub>B</sub>** ხაზი იქნება გვირაბების **M** წერტილში აცდენის **δ** სიდიდე. ანალოგიურად,

პროექტის  $\sigma$  წერტილში აცდენა იქნება  $O_A O_B - \sigma$  სიდიდე, რომელიც მუშა ღერძების აცდენის სიდიდეა.



656. 10.3.1

გვირახის მოკეთებაში აცდენის  სიდიდე განპირობებულია გეოდეზიური სამუშაოების შეცდომის გამო გვირახის გადახრით საპროექტო დამკვალავი ღერძიდან, აგრეთვე გვირახის დეფორმაციის გამო მშენებლობის პერიოდში, მაშინ, როცა  აცდენის სიდიდე ძირითადად, განპირობებულია მხოლოდ ზედაპირული და მიწისქვეშა გეოდეზიური საფუძვლის შეცდომებით. ამის გამო, ზოგად შემთხვევაში  სიდიდე მეტია  სიდიდეზე.

დასაშვები სიდიდის ზომა განისაზღვრება გაბარიტული მარაგით, რომელიც პროექტითაა გათვალისწინებული. თუ ფაქტიური აცდენის სიდიდე მეტია დასაშვებზე, მაშინ საჭირო გახდება გვირაბის გამაგრების გადაკეთება, რაც დიდ ხარჯებთანაა დაკავშირებული.

გვირახების ღერძებში აცდენის  $\sigma$  სიდიდე შეიძლება დაშლილ იქნას სამ შემადგენელ შეცდომად: განივ შეცდომად  $\sigma_x$ , გრძივ

შეცდომად  $\sigma_{\epsilon}$  და სასიმალო შეცდომად  $\sigma_{\eta}$ . როგორც ნახაზიდანაც ჩანს

$$\sigma^2 = \sigma_{\mu}^2 + \sigma_{\epsilon}^2 + \sigma_{\eta}^2. \quad (10.3.1)$$

სწორხაზოვანი გვირაბის გაყვანისას გრძივი  $\sigma_{\epsilon}$  შეცდომა არ არის არსებითი განივ  $\sigma_{\mu}$  შეცდომასთან შედარებით, ამიტომ მას უგულებელყოფენ. რაც შეეხება მრუდხაზოვანი გვირაბების გაყვანას შემხვედრი სანგრევებით, ამ დროს მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული როგორც განივი, ისე გრძივი შეცდომები. არსებული ტექნიკური შესაძლებლობებით გვირაბების ღერძების შეხვედრა ვერტიკალურ სიბრტყეში უფრო იოლია, ვიდრე ჰორიზონტალურში.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შემხვედრი გვირაბების გაყვანის უზრუნველსაყოფად გეოდეზიური საფუძვლის შექმნისას, მხედველობაში იღებენ ამ სამუშაოების განსაკუთრებულ პასუხისმგებლობას და ყველა სტადიაზე ასრულებენ მრავალგზის გაზომვებს, რომელთაგან საბოლოო შედეგად იღებენ საშუალო მნიშვნელობას.

შემხვედრი სანგრევების დროს, სანგრევების გადაადგილებასთან ერთად გაჰყავთ კიდული მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის სვლები. გვირაბების შეხვედრის შემდეგ პოლიგონომეტრიის ბოლო პუნქტებს ორივე შემხვედრი სვლისთვის ირჩევენ და ამაგრებენ ერთ საერთო პუნქტად. ამ პუნქტის კოორდინატები ორი დამოუკიდებელი სვლის გამო განსხვავებული იქნება. შემდგომისთვის ამ პუნქტის კოორდინატებს იღებენ ორივეს საშუალო არითმეტიკულს. ასეთ ვითარებაში, ბოლო პუნქტის ფაქტიური გადახრა თითოეული სვლის მიხედვით მცირდება დაახლოებით 2-ჯერ და ამიტომ გვირაბების ღერძების აცდენის შეცდომა შეიძლება დაუშვავთ გვირაბის მოკეთების დასაშვებ  $\pm$  შეცდომაზე 2-ჯერ მეტი.

გამოეთვალთ საშუალო კვადრატული შეცდომის ის სიდიდე, რომელიც შეიძლება დაუშვავთ სამუშაო ღერძების მდებარეობაში,

თუ გვირახის ტიუბინგებით მოკეთებისას პროექტით მოცემული დასაშვები გადახრა **100** მმ ტოლია. ტიუბინგებით გვირახის გამაგრებისას (მოკეთებისას) წერტილების საპროექტო მდებარეობიდან გადახრაზე გავლენას ახდენენ:

- 1) გეგმური გეოდეზიური საფუძვლის შეცდომები,  $\delta_1$ ;
- 2) სასიმაღლო გეოდეზიური საფუძვლის შეცდომები,  $\delta_2$ ;
- 3) გვირახის სამაგრი რგოლების ჩაწყობისას მათი გადახრა დამკველავი ღერძიდან (ექსცენტრისიტეტი),  $\delta_3$ ;
- 4) გვირახის სამაგრი რგოლების ფორმის გადახრა საპროექტოდან (ელიფსურობა),  $\delta_4$ ;
- 5) გვირახის სამაგრი რგოლების დეფორმაცია სამთო წნევის გავლენით,  $\delta_5$ .

შეიძლება მივიღოთ, რომ სასიმაღლო საფუძვლის შეცდომების გავლენა გვირახების შეხვედრის საერთო სიზუსტეზე იქნება 2-ჯერ ნაკლები, ვიდრე გეგმურისა, ე.ი.  $\delta_2 = 0,5\delta_1$ . ასევე მივიღოთ, რომ  $\delta_3 = \delta_4 = \delta_5 = 50$  მმ. გვირახის მოკეთების საპროექტო მდებარეობიდან გადახრის საერთო სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით

$$\delta = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2}. \quad (10.3.2)$$

თუ (10.3.2) ფორმულაში შევიტანთ  $\delta$ -ს დასაშვებ სიდიდეს და ცალკეული შემადგენლების სიდიდეებს, მივიღებთ

$$100^2 = \delta_1^2 + 0,25\delta_1^2 + 50^2 + 50^2 + 50^2,$$

საიდანაც

$$\delta_1^2 = 2500/1,25 = 2000$$

და

$$\delta_1 = 45 \text{ მმ}, \quad \delta_2 = 22,5 \text{ მმ}.$$

ამრიგად, გვირახის სანგრეგების შეხვედრის ნორმირებული სიზუსტის უზრუნველსაყოფად, გეგმური გეოდეზიური საფუძვლის



სკმ ზედაპირზე და მიწისქვეშ არ უნდა გადააჭარბოს **45** მმ, ხოლო სასიმაღლო საფუძვლისამ – **22,5** მმ.

**$m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$**  და  **$m_4$**  სიდიდეები შეიძლება აგველო სხვა მნიშვნელობის. მათი სიდიდეები მოცემულია ნორმატულ დოკუმენტებში და გასაყვანი გვირაბის პროექტში.

**ჭაურებს შორის შემხვედრი გვირაბების შეხვედრისას შეცდომათა ანალიზი.** გამოვთვალოთ თითოეული სახის გეოდეზიური სამუშაოს შეცდომის დასაშვები გავლენა შემხვედრი სანგრევების ღერძების შეხვედრის სიზუსტეზე. როგორც ზედაპირული, ისე მიწისქვეშა მისასვლელი პოლიგონომეტრიის სვლებში განაზომთა შეცდომების გავლენა გვირაბების ღერძების შეხვედრის სიზუსტეზე არაა დამოკიდებული ორ მეზობელ ჭაურს შორის მანძილზე და შეცდომის გავლენის სიდიდე მნიშვნელოვნად მცირეა, ვიდრე ორიენტირებისა და მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის სვლებში განაზომთა შეცდომების გავლენაა. სამუშაოთა სათანადო ორგანიზაციის დროს იგი შეიძლება დაყვანილ იქნას მინიმუმამდე.

გეოდეზიური სამუშაოების ცალკეულ სტადიაზე განაზომთა აუცილებელი სიზუსტის მიახლოებითი ანგარიშისთვის მივიღოთ, რომ გვირაბის შემხვედრი სანგრევების ღერძების გეგმური შეხვედრის სიზუსტეზე გავლენას ახდენს შემდეგი დამოუკიდებელი საშუალო კვადრატული შეცდომები:

- 1) ზედაპირზე გეოდეზიური საფუძვლის აგება,  **$m_1$** ;
- 2) მიწისქვეშა საფუძვლის ორიენტირება  **$A$**  ჭაურიდან,  **$m_2$** ;
- 3) მიწისქვეშა საფუძვლის ორიენტირება მეზობელი  **$E$**  ჭაურიდან,  **$m_3$** ;
- 4) მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის სვლის გაყვანა  **$A$**  ჭაურიდან გვირაბების შეხვედრის ადგილამდე,  **$m_4$** ;
- 5) მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის სვლის გაყვანა  **$E$**  ჭაურიდან გვირაბების შეხვედრის ადგილამდე,  **$m_5$** .

ამგვარად, შემხვედრი სანგრევების გეგმური შეხვედრის სკმ ჭაურებიდან გვირაბების გაყვანის შემთხვევაში, იქნება

$$m = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2} . \quad (10.3.3)$$

როგორც 1-1,5 კმ სიგრძის გვირაბის გაყვანის პრაქტიკა აჩვენებს, ზემოთ ჩამოთვლილი შეცდომები დაახლოებით თანაბარი გავლენისაა. ე.ი. შეიძლება მივიღოთ –

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = \mu_2, \text{ მაშინ } (10.3.3) \text{ ფორმულიდან}$$

მივიღებთ  $m = \mu_2 \sqrt{5}$ , სადაც  $\mu_2$  – ჭაურებიდან გაყვანისას ერთეული შეცდომის სიდიდეა, რომელიც ტოლი იქნება

$$\mu_2 = \frac{m}{\sqrt{5}} = 0,45m \quad (10.3.4)$$

წინა ანალიზისას გეოდეზიური საფუძვლის გეგმურმა შეცდომებმა შეადგინა  $\sigma_1 = 45$  მმ, ამიტომ  $m = \sigma_1 = 45$  მმ, საიდანაც ერთი წყაროს შეცდომა ტოლი იქნება

$$\mu_2 = \frac{45}{\sqrt{5}} = 20 \text{ მმ} .$$

ერთი წყაროს შეცდომის სიდიდე ჭაურებით გვირაბის გაყვანისას –  $\mu_2$  შეიძლება გამოვიყენოთ გეოდეზიური სამუშაოების სხვადასხვა სტადიაზე გაზომვების აუცილებელი სიზუსტის გასაანგარიშებლად, კერძოდ ტრიანგულაციაში ან ხაზოვან-კუთხურ ქსელებში კუთხეებისა და მანძილების გაზომვისას, ძირითადი პოლიგონომეტრიის ქსელში კუთხეებისა და მანძილების გაზომვისას, ორიენტირების მოთხოვნილი სიზუსტის ანგარიშისას და ა.შ.

1,5 კმ-ზე მეტი სიგრძის გვირაბისთვის შეცდომათა ცალკეული სახეობებისთვის თანაბარი გავლენის პრინციპი მიუღებელია. ამ შემთხვევაში ამოცანა იხსნება თანდათანობითი მიახლოებით.

დავუშვათ, რომ თანაბარი გავლენის პრინციპით ანგარიშისას მიწისქვეშა გეოდეზიური საფუძვლის ორიენტირებისთვის საჭიროა

მაღალი სიზუსტე, ხოლო ტრიანგულაციისთვის მოთხოვნილი სიზუსტე შედარებით მცირეა. ამ შემთხვევაში (10.3.3) ფორმულაში  $m_i (i = 1, 2, \dots, 5)$  სიდიდეებს უნდა მივაკუთვნოთ წონითი კოეფიციენტები. განხილული შემთხვევისთვის  $m_1$  კოეფიციენტი ერთზე ნაკლები უნდა იყოს, ხოლო  $m_2$  და  $m_3$  – ერთზე მეტი. მაგალითისთვის მივიღოთ შეცდომების თანაფარდობა:

$$m_1 = 0,7\mu_2; m_2 = 2,5\mu_2; m_3 = 2,5\mu_2; m_4 = \mu_2; m_5 = \mu_2;$$

მაშინ გვექნება

$$m = \sqrt{(0,7\mu_2)^2 + (2,5\mu_2)^2 + (2,5\mu_2)^2 + \mu_2^2 + \mu_2^2} = \mu_2\sqrt{15},$$

საიდანაც  $\mu_2 = m/\sqrt{15} = 0,26m$ . თუ შევიტანთ  $m = 45$  მმ, მივიღებთ  $\mu_2 \approx 12$  მმ.

ამრიგად, თითოეული შეცდომის წყაროს გავლენის სიდიდე იქნება:

$$m_1 \approx 8 \text{ მმ}, m_2 = m_3 \approx 30 \text{ მმ}; m_4 = m_5 \approx 12 \text{ მმ}.$$

თუ წინასწარი ანგარიშისას აღმოჩნდა, რომ გეოდეზიური საფუძვლის რომელიმე სახეობა მაღალი სიზუსტის გამო ძნელია შესასრულებლად, მაშინ ცვლიან  $\mu_2$ -თან მიღებული კოეფიციენტების სიდიდეებს თანდათანობით საჭირო სიზუსტემდე მიახლოებით.

**პორტალებს შორის შემხვედრი გვირაბების შეხვედრისას შეცდომათა ანალიზი.** ზემოთ მოტანილი მოსაზრებები შეეხებოდა მეტროპოლიტენის გვირაბებს, რომლებიც ძირითადად კერტიკალური ჭაურებიდან გაიყვანება.

თუ განვიხილავთ სამთო გვირაბებს, რომლებიც პორტალებიდან გაიყვანება, მაშინ ორიენტირების შეცდომები აღარ გვექნება და გვირაბების მუშა ღერძების შეხვედრის სიზუსტეზე მხოლოდ სამი შეცდომა მოახდენს გავლენას: გეოდეზიური საფუძვლისა ზედაპირზე და პორტალებიდან გაყვანილი მიწისქვეშა

პოლიგონომეტრიული სვლებისა შეხვედრის ადგილამდე. თითოეული შეცდომის გავლენის დასაშვები სიდიდე იანგარიშება

$$\mu_3 = \frac{m}{\sqrt{3}} = 0,58m \quad (10.3.5)$$

როცა  $m = 45$  მმ, მაშინ  $\mu_3 = 0,58 \cdot 45 \approx 26$  მმ, ე.ი. სამი შეცდომიდან თითოეულის გავლენამ არ უნდა გადააჭარბოს 26 მმ.

**ძირითადი საანგარიშო ფორმულები.** როგორც აღვნიშნეთ, სწორხაზოვანი გვირაბის გაყვანისას შეცდომების გრძივი მდგენელი არაა არსებითი მნიშვნელობის, ამიტომ შემხვედრი სანგრევების სიზუსტის ანგარიშისას განივი შეცდომა შეიძლება გავუტოლოთ გვერდური შეხვედრის დასაშვებ გადახრას.

მრუდხაზოვანი გვირაბების სიზუსტის ანგარიშისას (ჭაურებიდან გაყვანისას) გვექნება

$$\mu_2 = \sqrt{\mu_{2u}^2 + \mu_{2r}^2}, \quad (10.3.6)$$

სადაც  $\mu_{2u}$  და  $\mu_{2r}$  – შესაბამისად განივი და გრძივი მდგენელებია. თანაბარი გავლენის პრინციპის გამოყენებით, გვექნება  $\mu_{2u} = \mu_{2r} = \mu_2/\sqrt{2}$ . ანალოგიურად, პორტალებიდან გაყვანისას გვექნება  $\mu_{3u} = \mu_{3r} = \mu_3/\sqrt{2}$ .

მივიღოთ პირველი შემთხვევისთვის (10.3.4) ფორმულის მიხედვით  $\mu_2 = m/\sqrt{5}$ , ხოლო მეორე შემთხვევისთვის (10.3.5) ფორმულის მიხედვით  $\mu_3 = m/\sqrt{3}$ , რის შედეგად მივიღებთ ძირითად საანგარიშო ფორმულებს

1) სწორხაზოვანი გვირაბებისთვის:

ა) ჭაურებიდან გაყვანის დროს

$$\mu_2 = m/\sqrt{5},$$

როცა  $m = 45$  მმ,  $\mu_2 = 20$  მმ;

ბ) პორტალებიდან გაყვანის დროს

$$\mu_3 = m/\sqrt{3},$$

როცა  $m = 45$  მმ,  $\mu_2 = 26$  მმ.

2) მრუდხაზოვანი გვირაბებისთვის:

ა) ჭაურებიდან გაყვანის დროს

$$\mu_{2u} = \mu_{2t} = \mu_2 / \sqrt{2} = m / \sqrt{5} \cdot \sqrt{2} = m / \sqrt{10} ,$$

როცა  $m = 45$  მმ,  $\mu_{2u} = \mu_{2t} = \frac{45}{\sqrt{10}} = 14,2$  მმ;

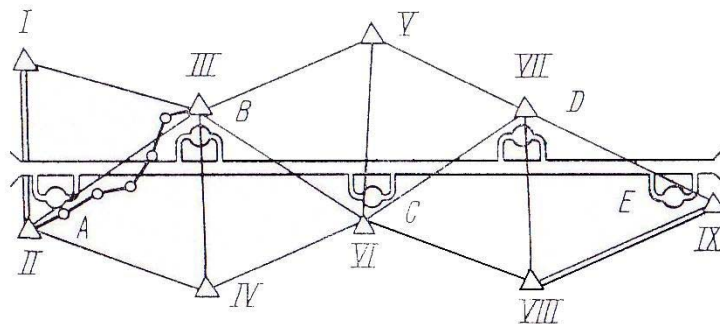
ბ) პორტალებიდან გაყვანის დროს

$$\mu_{3u} = \mu_{3t} = \mu_3 / \sqrt{2} = m / \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} = m / \sqrt{6} ,$$

როცა  $m = 45$  მმ,  $\mu_{3u} = \mu_{3t} = \frac{45}{\sqrt{6}} = 18,3$  მმ.

#### 10.4. გვირაბის გეოდეზიური საფუძვლის სხვადასხვა საფეხურებში განაზომთა სიზუსტის ანგარიში

საგვირაბო ტრიანგულაციის სიზუსტე. დაუშვათ, სწორხაზოვანი გვირაბი უნდა გაყვანილ იქნას **A, B, C, D, E** ჭაურებიდან (ნახ.10.4.1) და გეგმური საფუძველი ზედაპირზე იქმნება ტრიანგულაციის მეთოდით ძირითადი პოლიგონომეტრიის ქსელით გაზომვების გარეშე.



ნახ. 10.4.1

გამოვთვალოთ, რა სიდიდის განივი სკმ შეიძლება დაუშვათ II და IX პუნქტების ურთიერთმდებარეობის განსაზღვრაში –

$m_{H-H} = m_u$ , თუ პუნქტები გვირახის თავსა და ბოლოშია განლაგებული. თუ ორ მეზობელ ჭაურს შორის გვირახების შეხვედრის სიზუსტეზე საგვირაბო ტრიანგულაციის გავლენას მივიღებთ  $m_1$  ტოლად, მაშინ ტრიანგულაციის მთელი მწკრივისთვის შეიძლება დავწეროთ

$$m_{T_u} = m_1 \sqrt{n} , \quad (10.4.1)$$

სადაც  $n$  — გვირახის მთელ სიგრძეზე მეზობელ ჭაურებს შორის შემხვედრი სანგრეგების რაოდენობაა. თუ გვირახის საერთო სიგრძეს აღვნიშნავთ  $L$ -ით, ხოლო ჭაურებს შორის საშუალო მანძილს  $l$ -ით, მაშინ

$$n = \frac{L}{l} \quad (10.4.2)$$

(10.4.2)-ის ჩასმით (10.4.1)-ში, მივიღებთ

$$m_{T_u} = m_1 \sqrt{\frac{L}{l}} , \quad (10.4.3)$$

$m_{T_u}$  სიდიდე განისაზღვრება ტრიანგულაციის მწკრივის ბოლო პუნქტის განივი გადაადგილებით საწყის პუნქტთან მიმართებაში. ამგვარად, შეიძლება დავწეროთ

$$m_{T_u} = m_u = m_{H-H} .$$

რადგანაც, ჭაურებიდან გაყვანისას სწორხაზოვანი გვირახისთვის,

$$m_1 = m_2 = \frac{m}{\sqrt{5}} ,$$

ამიტომ

$$m_u = \frac{m}{\sqrt{5}} \sqrt{\frac{L}{l}} . \quad (10.4.4)$$

თუ მივიღებთ, რომ  $m = 45$  მმ,  $L = 4$  კმ,  $l = 1$  კმ, მაშინ გასაყვანი გვირახის თავსა და ბოლოში მდებარე ტრიანგულაციის პუნქტების ურთიერთმდებარეობის განსაზღვრის დასაშვები საშუალო კვადრატული განივი შეცდომა ტოლი იქნება

$m_x = (45/\sqrt{5}) \cdot \sqrt{4} = 40$  მმ. თუ ასეთივე სიგრძის სამთო გვირაბი გაიყვანება პორტალებიდან შუალედური ჭაურების გარეშე, მაშინ პორტალებთან მდებარე პუნქტების ურთიერთმდებარეობის განსაზღვრის დასაშვები შეცდომა ტოლი იქნება  $m_x = m/\sqrt{3} = 45/\sqrt{3} = 26$  მმ.

მრუდხაზოვანი გვირაბებისთვის ჭაურებიდან გაყვანისას გვექნება  $m_c = m_x = \frac{m\sqrt{L/l}}{\sqrt{K+2}} = \frac{45 \cdot 2}{\sqrt{11}} = 28,4$  მმ, ხოლო

პორტალებიდან გაყვანისას —  $m_c = m_x = m/\sqrt{6} = 45/\sqrt{6} = 18,3$  მმ.

ტრიანგულაციის ქსელში კუთხეების გაზომვის მოთხოვნილი სიზუსტის ანგარიშისთვის ვისარგებლოთ ფორმულით, რომელიც ტოლგვერდა სამკუთხედებისგან შემდგარი ტრიანგულაციის მწკრივის ბოლო პუნქტის განივი ძვრის სიდიდეს განსაზღვრავს

$$m_q = L \sqrt{\frac{m_x^2}{\rho^2} + \frac{2}{15} \cdot \frac{m_g^2}{\rho^2} \cdot \frac{K^2 + K + 3}{K}}, \quad (10.4.5)$$

სადაც  $L$  არის მწკრივის სრული დიაგონალის სიგრძე;  $m_g$  — გაზომილი კუთხის სკმ;  $m_x$  — დირექციული კუთხის შეცდომა;  $K$  — მწკრივის სრულ დიაგონალში შუალედი გვერდების რიცხვი.

გამოსავალი დირექციული კუთხის  $m_x$  შეცდომა საგვირაბო ტრიანგულაციაში არ ახდენს გავლენას გვირაბების შეხვედრის შეცდომაზე, ამიტომ შეიძლება მივიღოთ  $m_x = 0$ , მაშინ გვექნება

$$m_q = L \frac{m_g}{\rho} \sqrt{\frac{2}{15} \cdot \frac{K^2 + K + 3}{K}}, \quad (10.4.6)$$

თუ 10.4.1 ნახაზზე ტრიანგულაციის მწკრივის დასაწყისს ჩაეთვლით II პუნქტში, ხოლო ბოლოს IX პუნქტში, მაშინ  $K = 4$ .

მივიღოთ ტრიანგულაციის მწკრივის სიგრძე გვირაბის  $L$  სიგრძის ტოლად, ხოლო  $m_x$  განივი შეცდომა II და IX

პუნქტების ურთიერთმდებარეობაში –  $m_T$  ტოლად. (10.4.4) და (10.4.6) ფორმულებში მარჯვენა მხარეების გატოლებით, მივიღებთ

$$\frac{m}{\sqrt{5}} \sqrt{\frac{L}{l}} = L \frac{m_g}{\rho} \sqrt{\frac{2}{15} \cdot \frac{K^2 + K + 3}{K}}, \quad (10.4.7)$$

საიდანაც

$$m_g'' = \frac{m \sqrt{\frac{L}{l}} \rho''}{\sqrt{5} \sqrt{\frac{2}{15} \cdot \frac{K^2 + K + 3}{K}} \cdot L} \quad (10.4.8)$$

თუ მივიღებთ, რომ  $m = 45$  მმ,  $L = 4$  კმ,  $l = 1$  კმ,  $K = 4$ , გვექნება  $m_g = 2,3''$ .

ამრიგად, საგვირაბო ტრიანგულაციის მოცემულ ქსელში კუთხის გაზომვის სკშ უნდა შეადგინოს დაახლოებით  $2''$  (აიღება ნაკლებობით).

თუ გეოდეზიურ საფუძველად გვექნება ხაზოვან-კუთხური ქსელი, მოთხოვნილი სიზუსტის ანგარიშის პრინციპი ზემოაღწერილის მსგავსი იქნება.

**ძირითადი პოლიგონომეტრიის სიზუსტე.** ტრიანგულაციის აგებით შექმნილი გეოდეზიური საფუძველი ზედაპირზე, ჩვეულებრივ, ხშირდება ძირითადი პოლიგონომეტრიის ქსელით. მივიღოთ გვირაბის საერთო სიგრძე  $L = 4$  კმ, ხოლო მეზობელ ჭაურებს შორის უბნის სიგრძე  $l = 1$  კმ. ამ შემთხვევაში, შემხვედრი გვირაბების შეხვედრის სიზუსტეზე გავლენას ახდენენ შეცდომები არა მარტო ტრიანგულაციის ქსელის განაზომებში –  $m_T$ , არამედ შეცდომები ძირითადი პოლიგონომეტრიის სვლებშიც –  $m_P$ . თუ ზედაპირზე საფუძველის აგების შეცდომების საერთო გავლენას გვირაბების შეხვედრის სიზუსტეზე გამოვსახავთ ფორმულით –  $m_1 = \sqrt{m_T^2 + m_P^2}$ , მაშინ გამოვალთ რა თანაბარი გავლენის პრინციპიდან, თითოეულ წყაროზე მოვა  $m_1/\sqrt{2}$  სიდიდე.



სწორხაზოვანი გვირაბისთვის განივი ძერა  $m_{T_u} = m_{p_u} = m_1/\sqrt{2}$ .  
 თითოეული შეცდომის წყაროსთვის გვაქვს  $m_1 = m/\sqrt{5}$ , ამიტომ  
 $m_{T_u} = m_{p_u} = m_1/\sqrt{10}$ . ტრიანგულაციის ქსელისთვის ამ დროს  
 (10.4.8) ფორმულის მიხედვით, მივიღებთ  $m_B'' = 2,3/\sqrt{2} = 1,6''$ .

ახლა გამოვთვალოთ ძირითადი პოლიგონომეტრიის ქსელში  
 კუთხეების გაზომვის აუცილებელი სიზუსტე. დავუშვათ, რომ  
 მიწისქვეშა საფუძვლის ორიენტირება **A** და **B** ჭაურებიდან  
 (ნახ.10.4.1) წარმოებს ძირითადი პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან,  
 რომელიც ტრიანგულაციის II და III პუნქტებს შორისაა  
 გაყვანილი. **A** და **B** ჭაურებს შორის გვირაბის უბანზე  
 გაწონასწორებული სვლის განიმა შეცდომამ სვლის შუა  
 წერტილში არ უნდა გადააჭარბოს სიდიდეს –  
 $m_{p_u} = m/\sqrt{5} \cdot \sqrt{2} = m/\sqrt{10}$ .

როგორც ცნობილია, გაჭიმული პოლიგონომეტრიული სვლის  
 ბოლო პუნქტის განივი ძერა განისაზღვრება ფორმულით

$$m_u = \frac{m_B}{\rho} [l] \sqrt{\frac{n+3}{12}}, \quad (10.4.9)$$

სადაც **[l]** არის პოლიგონომეტრიული სვლის სიგრძე, **n** –  
 სვლის გვერდების რაოდენობა.

რადგანაც გაჭიმული სვლის შუა წერტილის ძერა  
 (გაწონასწორებული ორ პუნქტს შორის) 2-ჯერ ნაკლებია  
 გაწონასწორებამდე სვლის ბოლო წერტილის მოსალოდნელ  
 ძერაზე, ამიტომ სვლის ბოლო წერტილის განივი ძერა  
 გაწონასწორებამდე შეიძლება დავუშვათ შემდეგი სიდიდის ტოლი

$$\frac{m_B}{\rho} [l] \sqrt{\frac{n+3}{12}} = 2m_{p_u} = \frac{2m}{\sqrt{10}}, \quad (10.4.10)$$

საიდანაც

$$m_g'' = \frac{2m\rho''}{[L]\sqrt{10}\sqrt{\frac{n+3}{12}}} . \quad (10.4.11)$$

თუ მაგალითად, მივიღებთ, რომ  $m = 45$  მმ,  $[L] = 2$  კმ,  $n = 8$ , მაშინ  $m_g = 3''$ .

ამრიგად, ძირითად პოლიგონომეტრიაში კუთხეების გაზომვის სკმ არ უნდა გადააჭარბოს  $3''$ -ს.

თუ სწორხაზოვანი სვლისას გვირაბში ხაზოვანი გაზომვების შეცდომებს შემხვედრი გვირაბების შეხვედრისას არსებითი მნიშვნელობა არ ქონდა, მრუდხაზოვანი ფორმის გვირაბში მათ იგივე მნიშვნელობა აქვს, რაც კუთხურ შეცდომებს. ამიტომ ანგარიშობენ ხაზოვანი გაზომვების შეცდომებსაც

$$m_z = m_t \sqrt{n} , \quad (10.4.12)$$

სადაც  $m_t$  არის პოლიგონომეტრიის გვერდის სიგრძის გაზომვის შეცდომა,  $n$  — გვერდების რაოდენობა სვლაში.

მიწისქვეშა საფუძვლის ორიენტირების სიზუსტე. მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლის პირველი გვერდის ორიენტირების შეცდომის გავლენა სვლის ბოლოს განივ ძვრაზე შეიძლება გამოთვლილ იქნას ფორმულით

$$m_2 = \frac{m_0''}{\rho''} l_1 , \quad (10.4.13)$$

სადაც  $m_0$  არის პირველი გვერდის ორიენტირების შეცდომა,  $l_1$  — პოლიგონომეტრიის სვლის სიგრძე ჭაურიდან სანგრევეების შეხვედრის ადგილამდე.

სწორხაზოვანი გვირაბის განივმა ძვრამ ჭაურებიდან გაყვანისას არ უნდა გადააჭარბოს  $m/\sqrt{5}$ , ამიტომ შეიძლება დავწეროთ  $m/\sqrt{5} = m_0/\rho \cdot l_1$ , საიდანაც

$$m_0'' = \frac{m\rho''}{\sqrt{5} l_1} . \quad (10.4.14)$$

თუ  $m = 45$  მმ და  $l_1 = 0,5$  კმ, გვექნება  $m_0 = 8,3''$ , ე.ი. ორიენტირების შეცდომამ არ უნდა გადააჭარბოს  $8''$ .

**მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის სიზუსტე.** გაუწონასწორებელი მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლის განივი ძვრა განისაზღვრება ფორმულით

$$m_u = \frac{m_g}{\rho} l_1 \sqrt{\frac{n+1,5}{3}}. \quad (10.4.15)$$

განივი ძვრის სიდიდემ სწორხაზოვან გვირაბში არ უნდა გადააჭარბოს  $m/\sqrt{5}$ . აქედან გამომდინარე გვექნება

$$\frac{m}{\sqrt{5}} = \frac{m_g}{\rho} l_1 \sqrt{\frac{n+1,5}{3}}. \quad (10.4.16)$$

საიდანაც

$$m_g'' = \frac{m \rho''}{\sqrt{5} \sqrt{\frac{n+1,5}{3}} l_1}. \quad (10.4.17)$$

თუ დავუშვებთ, რომ  $l_1 = 500$  მ,  $n = 5$ ,  $m = 45$  მმ, მაშინ  $m_g = 5,6''$ . მრუდხაზოვანი გვირაბის შემთხვევაში –  $m_g = 5,6\sqrt{2} = 4''$ , ე.ი. მრუდხაზოვანი გვირაბის გაყვანისას, კუთხეების გაზომვის მოთხოვნილი სიზუსტე მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიაში იზრდება.

**სასიმაღლო საფუძვლის სიზუსტე.** ორ მეზობელ ჭაურს შორის გვირაბების სიმაღლეში შეხვედრის სიზუსტეზე გავლენას ახდენენ შემდეგი დამოუკიდებელი შეცდომების წყაროები:

- 1) ჭაურების პირთან განლაგებული ორი რეპერის დამაკავშირებელი სანიველო სვლის შეცდომა,  $m_{h_2}$ ;
- 2) ნიშნულის გადაცემის შეცდომა ზედაპირიდან მიწისქვეშა  $A$  ჭაურში,  $m_{h_2}$ ;
- 3) იგივე შეცდომა  $B$  ჭაურში,  $m_{h_2}$ ;

4) სანიველო სვლის შეცდომა მიწისქვეშ  $A$  ჭაურიდან გვირაბების შეხვედრამდე,  $m_{n_4}$ ;

5) იგივე შეცდომა  $B$  ჭაურიდან გვირაბების შეხვედრამდე,  $m_{n_5}$ .

ყველა წყაროს საერთო გავლენა ტოლი იქნება

$$m_n = \sqrt{m_{n_2}^2 + m_{n_3}^2 + m_{n_4}^2 + m_{n_5}^2} . \quad (10.4.18)$$

$m_{n_2}$  და  $m_{n_3}$  სიდიდეები დაახლოებით მუდმივებია და არ აღემატებიან  $5$  მმ. სანიველო სვლის აგების სიზუსტე შემთხვევითი შეცდომების გავლენისას განისაზღვრება ფორმულით

$$m_n = \eta \sqrt{L} , \quad (10.4.19)$$

სადაც  $\eta$  არის  $1$  კმ სანიველო სვლაზე შემთხვევითი შეცდომების გავლენის სიდიდე, მმ;  $L$  – სანიველო სვლის სიგრძე, კმ.

თუ ორ ჭაურს შორის მანძილს აღვნიშნავთ  $l$ -ით, შეიძლება დავწეროთ  $m_{n_2} = \eta \sqrt{l}$ . გვირაბების შეხვედრა თუ ჭაურებს შორის შუაშია გათვალისწინებული და ზედაპირზე და მიწისქვეშ ნიველობის სიზუსტეებს ტოლად მივიღებთ, მაშინ  $m_{n_4} = m_{n_5} = \eta \sqrt{l/2}$ . მიღებულ სიდიდეებს თუ (10.4.18) ფორმულაში შევიტანთ, მივიღებთ

$$m_n^2 = 2\eta^2 l + 50 ,$$

სადაც  $m_n$  და  $\eta$  გამოსახულია მმ-ობით, ხოლო  $l$  – კმ-ობით.

$m_n$  სიდიდე ადრე მიღებული აღნიშვნებით წარმოადგენს  $\delta_2$  სიდიდეს. თუ  $\delta_2 = 25$  მმ ( $22,5$  მმ დავამრგვალოთ), მაშინ გვექნება  $25^2 = 2\eta^2 l + 50$ , საიდანაც

$$\eta = 17/\sqrt{l}$$

თუ ჭაურებს შორის მანძილს ავიღებთ  $l = 1$  კმ, მაშინ  $\eta = 17$  მმ.

ამრიგად, 1 კმ გვირაბის შემხვედრი სანგრევების სასიმალო უზრუნველსაყოფად, ზედაპირზე და მიწისქვეშ სრულებით საკმარისია IV კლასის სანიველო სვლები. მაგრამ გვირაბის დეფორმაციასა და ზედაპირზე მუდღის გაჩენისას დაკვირვებებისთვის სასიმალო საფუძვლად იღებენ III კლასის ქსელებს, ხოლო გრძელი სამთო გვირაბებისთვის – II კლასის ქსელებს.

### 10.5. გვირაბის გეოდეზიური საფუძვლის აგების თავისებურებანი ზედაპირზე.

**საგვირაბო ტრიანგულაცია.** როგორც ქალაქგარეთ სატრანსპორტო ან სხვა დანიშნულების გვირაბების მშენებლობისას, ისე ქალაქის ტერიტორიაზე მეტროპოლიტენის გვირაბის მშენებლობისას გეოდეზიურ გეგმურ საფუძვლად ყველაზე ხშირად ტრიანგულაციის ქსელს იყენებენ. ქსელი ეყრდნობა დამოუკიდებელ ბაზისებს. გამოსავალი კოორდინატების მისაღებად ერთერთ პუნქტს დაუკავშირებენ სახელმწიფო ქსელის პუნქტებს.

საგვირაბო ტრიანგულაციას აგებენ სამკუთხედების ქსელის სახით, რომელთა ფორმა ახლოს უნდა იყოს ტოლგვერდა სამკუთხედთან. დამაკავშირებელი კუთხეები 40°-ზე ნაკლები არ

დაიშვება. ზოგჯერ კოორდინატებისა და დირექციული კუთხეების განსაზღვრის საიმედოობის გაზრდის მიზნით, საგვირაბო ტრიანგულაციას აგებენ გეოდეზიური ოთხკუთხედების ან ცენტრალური სისტემების სახით. ამასთან, თითოეული ქსელი უნდა უზრუნველყოფილი იქნას არა ნაკლებ ორი ბაზისით. მოთხოვნები საგვირაბო ტრიანგულაციისადმი მოცემულია 10.5.1 ცხრილში. საგვირაბო გეგმური საფუძვლის აგებისას მნიშვნელოვან თავისებურებას წარმოადგენს პუნქტების ისეთი განლაგება, რომ შესაძლებელი იყოს დირექციული კუთხის გადაცემა მეზობელი ჭაურების დახმარებით ქსელის ერთი და იმავე გვერდიდან. ეს გამორიცხავს გვერდის დირექციული კუთხის შეცდომის გავლენას გვირაბების სანგრეპების შეხვედრაზე.

| საგვირაბო ტრიანგულაცია                   |                                     |                                           |                                                                          |                                       |                                             |                                                       | ცხრილი 10.5.1                                               |                                                             |
|------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| გვირაბის<br>საერთო<br>სიგრძე<br>$L$ , კმ | საგვირაბო<br>ტრიანგულაციის<br>კლასი | ტრიანგულაციის<br>გვერდის<br>სიგრძე,<br>კმ | გაზომილი<br>კუთხის<br>სკმ<br>გამოთვლილი<br>სამკუთხედების<br>შეუკვრელობით | დასაშვები<br>შეუკვრელ.<br>სამკუთხედში | ბაზისის<br>გაზომვის<br>ფარდობითი<br>შეცდომა | გამოსასვლ.<br>გვერდის<br>საშ.<br>ფარდობითი<br>შეცდომა | ყველაზე<br>სუსტი<br>გვერდის<br>საშ.<br>ფარდობითი<br>შეცდომა | ყველაზე<br>სუსტი<br>გვერდის<br>დირექტ.<br>კუთხის<br>შეცდომა |
| >8                                       | 1                                   | 4-10                                      | 0,7 <sup>#</sup>                                                         | 3 <sup>''</sup>                       | 1:800000                                    | 1:400000                                              | 1:200000                                                    | 1,5 <sup>#</sup>                                            |
| 5-8                                      | 2                                   | 2-7                                       | 1,0                                                                      | 4                                     | 1:500000                                    | 1:300000                                              | 1:150000                                                    | 2,0                                                         |
| 2-5                                      | 3                                   | 1,5-5                                     | 1,5                                                                      | 6                                     | 1:400000                                    | 1:200000                                              | 1:120000                                                    | 3,0                                                         |
| 1-2                                      | 4                                   | 1-3                                       | 2,0                                                                      | 8                                     | 1:300000                                    | 1:150000                                              | 1:70000                                                     | 4,0                                                         |

მეტროპოლიტენის მშენებლობისას, საგვირაბო ტრიანგულაციის ქსელი უნდა დაკავშირებულ იქნას საქალაქო ტრიანგულაციის პუნქტებთან. ამ დროს არსებითი მნიშვნელობა აქვს ამ პუნქტების შერჩევას. საგვირაბო ტრიანგულაციაში უნდა ჩართულ იქნას ისეთი პუნქტები, რომელთა გაწონასწორება არ მომხდარა სხვადასხვა სისტემაში.

შუქმანძილშომებისა და თანამედროვე საინსტრუმენტო ბაზის განვითარება საშუალებას იძლევა გვირაბების მშენებლობის გეგმურ გეოდეზიურ საფუძვლად გამოვიყენოთ ხაზოვან-კუთხური ქსელები, რომლებიც კოორდინატების განსაზღვრის მაღალ საიმედოობასა და სიზუსტეს უზრუნველყოფენ.

საგვირაბო ქსელების გაწონასწორებისას არსებით მნიშვნელობას იძენს განაზომთა ერთიან ღონეზე დაყვანის ზედაპირის შერჩევა. გეოდეზიური საფუძველი, რომელმაც შემხვედრი სანგრეგების ზუსტად შეხვედრა უნდა უზრუნველყოს, იქნება ზედაპირზე, ხოლო გვირაბის დამკვალავი მუშა საფუძველი – მიწისქვეშ. ამის გამო გეოდეზიური გაზომვები ზედაპირზე და მიწისქვეშ სხვადასხვა აბსოლუტურ სიმაღლეებზე სრულდება. ამიტომ მიზანშეწონილი იქნება, რომ ზედაპირზე ჩატარებული გაზომვები დავიყვანოთ პორტალების საშუალო ნიშნულის ღონეზე. მეტროპოლიტენის გვირაბის შემთხვევაში, განაზომები დაყავთ გვირაბის ტრასის გასწვრივ დედამიწის ზედაპირის საშუალო ნიშნულის ღონეზე.

ღერძულ მერიდიანს გვირაბის მშენებლობის უბანზე ირჩევენ ისე, რომ მანძილების რედუცირებისთვის და დაყვანის ზედაპირზე გადასვლისთვის ჯამურმა შესწორებამ არ გადააჭარბოს **1:100000** ფარდობით შეცდომას.

საგვირაბო ქსელების გაწონასწორების პროცესმა საშუალება უნდა მოგვცეს მივიღოთ ჭაურებთან და პორტალებთან განლაგებული პუნქტების კოორდინატების განსაზღვრის სკმ, აგრეთვე იმ გვერდების დირექციული კუთხეების განსაზღვრის



შეცდომები, რომლებიდანაც ჩატარდება მიწისქვეშა გეოდეზიური საფუძვლის ორიენტირება.

ისეთ ადგილებში, სადაც საგვირაბო ტრიანგულაციის აგება დაკავშირებულია ორგანიზაციულ-ტექნიკურ სიძნელეებთან, ნებადართულია იგი შეცვლილ იქნას სათანადო კლასის შუქმანძილმზომური პოლიგონომეტრით, რომლის ტექნიკური დახასიათება მოცემულია 10.5.2 ცხრილში.

**ძირითადი პოლიგონომეტრია.** ძირითადი პოლიგონომეტრიის მთავარი დანიშნულება კოორდინატების გადაცემაა ტრიანგულაციის პუნქტებიდან საშახტო და სამშენებლო მოედნების რაიონში, რომლებიც გვირაბის ტრასის გასწვრივ იქნებიან განლაგებული.

ძირითადი პოლიგონომეტრიის სვლები შემდეგი ტექნიკური მონაცემებით ხასიათდება:

- ტრიანგულაციის პუნქტებს შორის სვლის მაქსიმალური სიგრძე – **3** კმ;
- საკვანძო პუნქტებს შორის სვლის მაქსიმალური სიგრძე – **1** კმ;
- გვერდის საშუალო სიგრძე – **250** მ (მაქსიმალური – **500** მ, მინიმალური – **150** მ);
- კუთხის გაზომვის სკშ არა უმეტეს – **3''**;
- მეტროპოლიტენის გვირაბში გაყვანილი **0,5** კმ-ზე მეტი სვლის ფარდობითი შეუკვრელობა, არა უმეტეს **1: 30000**;
- იგივე **0,5** კმ-ზე ნაკლები სიგრძის სვლისათვის – **1: 20000**;
- გადასარბენი გვირაბების აგებისას (დიამეტრი სინათლეში **D = 5,1** მ) ძირითადი პოლიგონომეტრიის სვლების ფარდობითი შეუკვრელობა – **1: 35000**.

თუ ძირითადი პოლიგონომეტრიის სვლაში 8 გვერდზე მეტია, რეკომენდებულია გამოსავალი დირექციული კუთხის გადაცემა სვლის შუაში.

შუქმანძილზომური პოლიგონომეტრია

ცხრილი 10.5.2

| გვირაბის<br>სიგრძე<br>$L_p$<br>კმ | საგვირაბ.<br>პოლიგონ-<br>ომეტრიის<br>კლასი | გვერდის<br>სიგრძე,<br>კმ | კუთხის გაზომვის<br>სკმ |                              | გვერდის გაზომვის საშ.<br>ფარდ. შეცდომა |                      | დასაშვები ფარდობ. შეუკვრელობა |                          |                          |
|-----------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                                   |                                            |                          | სადგურზე<br>შეფასებით  | ფიგურის<br>შეუკვრე-<br>ლობით | მრუდხაზ.<br>გვირაბში                   | სწორხაზ.<br>გვირაბში | მრუდხაზ.<br>გვირაბში          | სწორხაზ. გვირაბში        |                          |
|                                   |                                            |                          |                        |                              |                                        |                      |                               | განივი ძვრის<br>მიხედვით | გრძივი ძვრის<br>მიხედვით |
| >8                                | 1                                          | 3-10                     | 0,4                    | 0,7                          | 1:300000                               | 1:150000             | 1:200000                      | 1:200000                 | 1:100000                 |
| 5-8                               | 2                                          | 2-7                      | 0,7                    | 1,0                          | 1:200000                               | 1:100000             | 1:150000                      | 1:150000                 | 1:70000                  |
| 2-5                               | 3                                          | 1,5-5                    | 1,0                    | 1,5                          | 1:150000                               | 1:70000              | 1:120000                      | 1:120000                 | 1:60000                  |
| 1-2                               | 4                                          | 1-3                      | 1,5                    | 2,0                          | 1:100000                               | 1:50000              | 1:70000                       | 1:70000                  | 1:40000                  |



ძირითადი პოლიგონომეტრიის პუნქტებს ამაგრებენ გრუნტის ან კედლის პოლიგონომეტრიული ნიშნებით ისევე, როგორც საქალაქო პოლიგონომეტრიაში.

კუთხეებს ზომავენ ოპტიკური მაცენტრებლით უზრუნველყოფილი მაღალი სიზუსტის კუთხმზომი ინსტრუმენტით რამდენიმე ილეთით. დასამზერ ნიშნებად იყენებენ ოპტიკური მაცენტრებლით დაყენებულ ნიშნებს.

ორ გამოსავალ ღირეპციულ კუთხეს შორის აგებულ პოლიგონომეტრიულ სვლაში ან ჩაკეტილ პოლიგონში დასაშვებ კუთხურ შეუკვრელობას ანგარიშობენ ფორმულით

$$f_{\text{გ.პ.}} = 6'' \sqrt{n} ,$$

სადაც  $n$  არის გაზომილი კუთხეების რაოდენობა.

სწორხაზოვანი ან 1000 მ-ზე მეტი რადიუსის მქონე მრუდხაზოვანი გვირაბებისთვის პოლიგონომეტრიის სვლებში გვერდების სიგრძის გასაზომად იყენებენ ზუსტ შექმანილმზომებს.

ძირითადი პოლიგონომეტრიის განაზომთა გაწონასწორებისას სიზუსტის შეფასება უნდა გათვალისწინებულ იქნას იმ სიდიდით, რომელიც აუცილებელია გვირაბების შეხვედრის სიზუსტეზე პოლიგონომეტრიის პუნქტების კოორდინატების შეცდომების გავლენის საანგარიშოდ.

ზოგჯერ გვირაბის გაყვანით გამოწვეული ზედაპირის დეფორმაციის გამო, პოლიგონომეტრიული პუნქტების კოორდინატების და გვერდების ღირეპციული კუთხეების, მიწისქვეშა საფუძვლის ორიენტირებისთვის გამოყენება შეუძლებელი ხდება. ამ დროს ატარებენ ხელმეორედ გაზომვებს. თუ ორი ბოლო გაზომვის შედეგებში დასაშვები განსხვავებაა, იღებენ როგორც კოორდინატების, ისე ღირეპციული კუთხეების საშუალო სიდიდეებს.

**მისასვლელი პოლიგონომეტრია.** მიწისქვეშა საფუძვლის ორიენტირებისთვის კოორდინატების გადასაცემად ზედაპირიდან მიწისქვეშ, აუცილებელია ჭაურებთან ახლოს გვექონდეს

გეოდეზიური პუნქტები. ჩვეულებრივ, ჭაურის სამშენებლო მოედანზე პოლიგონომეტრიული სვლისთვის არახელსაყრელი პირობებია. ასეთი სვლების ჩართვა ძირითადი პოლიგონომეტრიის ქსელში ამცირებს პუნქტების კოორდინატების სიზუსტეს. ამიტომ ჭაურის სამშენებლო მოედანზე გაჰყავთ განსაკუთრებული სვლები, ე.წ. მისასვლელი პოლიგონომეტრიის სახით, რომელიც ძირითადი პოლიგონომეტრიის პუნქტებს ეყრდნობა.

მისასვლელი პოლიგონომეტრია განვითარების სქემის მიხედვით, ჩაკეტილი პოლიგონების ან ცალკეული სვლების სისტემას წარმოადგენს საკვანძო პუნქტებით. ცალკეული სვლების სიგრძე ან პოლიგონების პერიმეტრი **300** მ არ უნდა აღემატებოდეს. პრაქტიკულად, მისასვლელი პოლიგონომეტრიის გვერდების სიგრძეებს **30** მ-ზე ნაკლებსაც უშვებენ მოედნის სიმცირის გამო.

კუთხეებისა და გვერდების გაზომვის სიზუსტე მისასვლელ პოლიგონომეტრიაში იმ გარაუდით იანგარიშება, რომ სვლის ფარდობითმა შეცდომამ **1:20000** არ გადააჭარბოს. შეკრულ პოლიგონში ან სვლაში დასაშვები კუთხური შეუკვრელობა გამოსავალ დირექციულ კუთხეებს შორის იანგარიშება ფორმულით

$$f_{\theta_{\text{კუთხ.}}} = 8'' \sqrt{n} ,$$

სადაც **n** არის პოლიგონში ან სვლაში გაზომილი კუთხეების რაოდენობა.

გვერდების სიგრძეებს ზომავენ 1-ლი თანრიგის საქალაქო პოლიგონომეტრიის გვერდების სიზუსტისადმი მოთხოვნების შესაბამისად. რადგანაც მისასვლელი პოლიგონომეტრიის პუნქტები განლაგებულია ჭაურის გაყვანისგან გამოწვეული დეფორმაციის ზონაში, ამიტომ მიწისქვეშა გეოდეზიური საფუძვლის ყოველი ორიენტირების წინ იმეორებენ მისასვლელი პოლიგონომეტრიის ქსელში გაზომვებს და განაზომთა გაწონასწორების პროცესს.

**სასიმაღლო საფუძველი.** შემხვედრი სანგრეკების სასიმაღლო უზრუნველყოფისთვის, გასაყვანი გვირაბის პორტალებს აკავშირებენ ერთმანეთთან სანიველო სვლებით. გვირაბის **2** კმ-ზე

მეტი სიგრძისას, მთიან რაიონებში კი – 1 კმ-ზე მეტი სიგრძისას, ინსტრუქციის თანახმად, ასრულებენ II კლასის ნიველობას, ხოლო 2 კმ-ზე ნაკლები სიგრძისას – III კლასის ნიველობას. რთულ ტოპოგრაფიულ პირობებში III კლასის ნიველობა მიღებულია შესრულდეს II კლასის ნიველობისთვის საჭირო ინსტრუმენტებითა და მეთოდით, მაგრამ ამასთან ერთად, მხედველობაში იღებენ III კლასისას მიღებულ დაშვებებს. მხედველობაში იღებენ ამ საშუალების დიდ მნიშვნელობას და ნიველობას ასრულებენ ორი დამოუკიდებელი სვლით ან ჩაკეტილი პოლიგონების ქსელით. სანიველო სვლები მიეხმება სასიმალო საფუძვლის სახელმწიფო პუნქტებზე.

მეტროპოლიტენისა და სხვა მნიშვნელოვანი გვირაბის გაყვანისას სასიმალო გეოდეზიური საფუძველი, შემხვედრი გვირაბების სასიმალო უზრუნველყოფის გარდა, აუცილებელია გვირაბის დეფორმაციაზე დაკვირვებისთვის. ამიტომ III კლასის სანიველო ქსელი აიგება ჩაკეტილი პოლიგონების სისტემის სახით, რომელიც საქალაქო ნიველობის II კლასის პუნქტებს ეყრდნობა. საკვანძო პუნქტებს შორის სვლის სიგრძე არ არის რეკომენდებული 1 კმ-ზე მეტი.

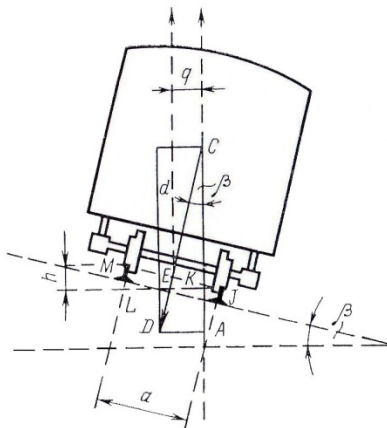
დასახლებულ ტერიტორიაზე III კლასის პუნქტები ჩამაგრდება კედლის რეპერებით, დაუსახლებელზე კი – გრუნტის რეპერებით.

გვირაბის გაყვანით გამოწვეული ზედაპირის ან შენობების დაწვევების გამო, ჩამაგრებული რეპერების და მარკების ნიველობას საჭიროებისამებრ იმეორებენ და შეაქვთ კატალოგში.

## 10.6. გვირაბის ტრასის ძირითადი ელემენტები

გვირაბის ტრასა გეგმაში შედგება სწორხაზოვანი მონაკვეთებისა და წრიული მრუდებისგან. სწორი მონაკვეთიდან მრუდზე მდოვრე გადასვლისათვის მათ შორის უნდა მოთავსდეს ცვლადი რადიუსის მქონე გადასასვლელი მრუდი. პროფილში ტრასა შედგება ჰორიზონტალური და დახრილი სწორი მონაკვეთებისგან, რომლებიც ვერტიკალური წრიული მრუდებით არიან შეუღლებული.

როგორც ცნობილია, გადასასვლელი მრუდების ჩაწერის გამო წრიული მრუდი გადაადგილდება ცენტრისკენ  $P$  მანძილზე, რის შედეგად გადაადგილებული წრიული მრუდის რადიუსი ტოლი გახდება  $R - P$ . ამის გარდა, მოხვევის ადგილებში გარე რელსის  $h$  სიმაღლეზე აწევის გამო ვაგონი იხრება და მისი ცენტრი გადაადგილდება მრუდის ცენტრისკენ  $q$  მანძილზე (ნახ.10.6.1). შედეგად, გვირაბის ღერძი გზის ღერძთან შედარებით გადაადგილდება მრუდის ცენტრისკენ იგივე  $q$  მანძილით.



ნახ. 10.6.1

მსგავსი  $CEK$  და  $ILM$  სამკუთხედებიდან შეიძლება დავწეროთ  $LM/EK = IM/CE$ . ნახაზზე მიღებული აღნიშვნების მიხედვით დავწეროთ  $h/q = a/d$ , საიდანაც

$$q = h \frac{d}{a}, \quad (10.6.1)$$

სადაც  $h$  არის გარე რელსის აწევის სიმაღლე,  $d$  – ვაგონის ცენტრის სიმაღლე რელსის თავიდან,  $a$  – რელსების ღერძებს შორის მანძილი.

ამრიგად, გვირაბის მრუდზე დაკვალვისას საქმე გვაქვს სამ ღერძთან:

- 1) დამკვალავი ღერძი  $R$  საპროექტო რადიუსით;
- 2) გზის ღერძი  $R - P$  რადიუსით;
- 3) გვირაბის ღერძი  $R - (P + q)$  რადიუსით.

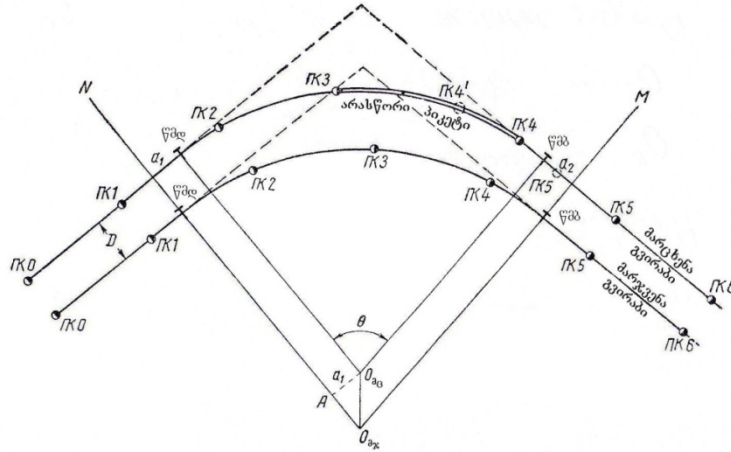
გზის ღერძი წრიული მრუდის უბანზე, დამკვალავი ღერძიდან მრუდის ცენტრისკენ  $P$  სიდიდითაა შეწეული, ხოლო გვირაბის ღერძი იმავე დამკვალავი ღერძიდან ასევე მრუდის ცენტრისკენ შეწეულია  $(P + q)$  მანძილზე.

მეტროპოლიტენის გვირაბებს უპირატესად ერთლიანდაგიანს აგებენ. ორმხრივი მოძრაობისთვის აგებენ ორ პარალელურ გვირაბს ღერძებს შორის  $D = 25,4$  მ მანძილით. თუ მეტროპოლიტენის გვირაბების ტრასაზე დავდგებით სახით პიკეტების ზრდის მიმართულებით, მაშინ ჩვენგან მარჯვნივ განლაგებული გვირაბი იწოდება მარჯვენა გვირაბად, ხოლო მარცხნივ განლაგებული – მარცხენა გვირაბად.

დაპროექტებისა და გაანგარიშებისას პიკეტებით სარგებლობის მოხერხებულობისათვის ერთი და იმავე დასახელების პიკეტებს მარჯვენა და მარცხენა გვირაბებში ისე განლაგებენ, რომ მათი შემაერთებელი ხაზი მართობული იყოს ტრასის ღერძისადმი. მრუდხაზოვან უბნებზე წრიული მრუდის სიგრძესა და რადიუსს ერთნაირს იღებენ ორივე გვირაბისათვის.



(10.6.2) ნახაზზე წარმოდგენილია მარცხენა და მარჯვენა მრუდხაზოვან გვირაბებში სწორი და არასწორი პიკეტების განლაგების სქემა. როგორც ნახაზიდან ჩანს, მარჯვენა (შიგა) გვირაბში  $O_{\text{მ}}M$  და  $O_{\text{მ}}N$  რადიუსებს შორის პიკეტების ნაკლები რაოდენობა მოთავსდება, ვიდრე მარცხენა (გარე) გვირაბში, რის გამოც მრუდის გარეთ სწორ უბანზე ერთი დასახელების პიკეტები მარჯვენა და მარცხენა გვირაბებში არ განლაგდებიან მართობზე გზის ღერძისადმი. ეს გარემოება იწვევს უხერხულობას გვირაბების მშენებლობისა და ექსპლუატაციის დროს, რის აღმოსაფხვრელადაც მიმართავენ არასწორ პიკეტებს, რომელთა სიგრძე 100 მ-ზე მეტია ან ნაკლები.



ნახ. 10.6.2

რადგანაც წრიული მრუდების სიგრძეები ორივე გვირაბში ტოლია, ამიტომ არასწორი პიკეტის სიგრძის გადახრა 100მ-დან განისაზღვრება შემდეგი სიდიდით  $a = a_1 + a_2$ , სადაც  $a_1 = a_2$ . გზების ღერძებს შორის მანძილი აღვნიშნოთ  $D$ -ით.  $O_{\text{მ}}$  წერტილიდან დავუშვათ მართობი  $O_{\text{მ}}N$  ხაზზე, მაშინ  $O_{\text{მ}}A = D$  (რადიუსების ტოლობის გამო).  $AO_{\text{მ}}O_{\text{მ}}$  სამკუთხედიდან

$$a_1 = D \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} ,$$

ამიტომ გვექნება

$$a = a_1 + a_2 = 2Dt g \frac{\theta}{2} . \quad (10.6.2)$$

$a$  სიდიდე შეაქვთ ან მარცხენა გვირაბის ბოლო პიკეტში, ან ორივე გვირაბის ბოლო პიკეტებში, მაგრამ სხვადასხვა ნიშნით.

მონაცემებს, რომლებიც დაპროექტებული გვირაბის ტრასას განსაზღვრავს გეგმაში, აჩვენებენ საპროექტო ნახაზზე და უწოდებენ **ტრასის გეომეტრიულ სქემას**. მას ადგენენ **1:1000** მასშტაბით.

მონაცემებს, რომლებიც დაპროექტებული გვირაბის ტრასას განსაზღვრავს პროფილში, აჩვენებენ საპროექტო ნახაზზე **1:2000** მასშტაბით და უწოდებენ დასაგებ (გზის) სქემას.

მითითებული ძირითადი დამკველავი ნახაზების გარდა ადგენენ ტრასის გეოლოგიურ პროფილს (ჭრილს) პორიზონტალური **1:2000** მასშტაბით და ვერტიკალური **1:200** მასშტაბით.

ჭაურის ეზოში ძირითადი გეოდეზიური მონაცემები მოიცემა სამასტო მოედნის გეგმაზე **1:200** მასშტაბით.

## 10.7. გვირაბის ტრასის პიკეტების კოორდინატების გაანგარიშება

გვირაბის პროექტის ნატურაში გადასატანად საჭიროა ვიცოდეთ ტრასის პიკეტებისა და მრუდის მთავარი წერტილების კოორდინატები. სწორ უბნებზე პიკეტებს შორის კოორდინატთა ნაზრდებს ანგარიშობენ ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_i &= d \cos \alpha_i ; \\ \Delta y_i &= d \sin \alpha_i , \end{aligned} \right\} \quad (10.7.1)$$

სადაც  $d$  არის პიკეტებს შორის მანძილი, ჩვეულებრივ  **$d = 100$  მ**;  $\alpha_i$  – გვირაბის სწორხაზოვანი მონაკვეთის ღირექციული კუთხე, განსაზღვრული ტრასის მოხვევის კუთხეებით

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + \theta_{\alpha_i} = \alpha_i - \theta_{\alpha_i} , \quad (10.7.2)$$

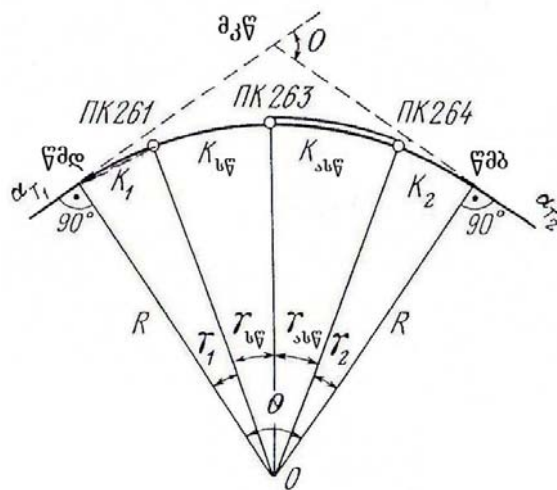
სადაც  $\theta_{\alpha_i}$  და  $\theta_{\alpha_{i+1}}$  – შესაბამისად, მარჯვენა და მარცხენა მოხვევის კუთხეებია.

გვირგვინის წრიულ მრუდზე განლაგებული პიკეტების კოორდინატები შეიძლება გამოვთვალოთ ორი გზით: წრიული მრუდის ცენტრის კოორდინატებიდან (რომელიც თავის მხრივ, გამოითვლება წრიული მრუდის დასაწყისის კოორდინატებიდან რადიუსის მეშვეობით) ან მომჭიმავი ქორდებითა და მათ შორის მდებარე კუთხეების მეშვეობით.

წრიული მრუდის ცენტრალური კუთხეები იანგარიშება ფორმულებით (ნახ.10.7.1):

$$\varphi_1 = \frac{K_1}{R} \rho; \quad \varphi_{\alpha} = \frac{K_{\alpha}}{R} \rho; \quad \varphi_{\beta} = \frac{K_{\beta}}{R} \rho; \quad \varphi_2 = \frac{K_2}{R} \rho , \quad (10.7.3)$$

სადაც  $\varphi_1$  არის ცენტრალური კუთხე წრიული მრუდის დასაწყისსა (წმდ) და მრუდზე მდებარე პირველ პიკეტზე (IK261) გავლებულ რადიუსებს შორის;  $\varphi_2$  – ცენტრალური კუთხე იმ რადიუსებს შორის, რომლებიც გავლებულია მრუდზე მდებარე უკანასკნელ პიკეტსა (IK 264) და წრიული მრუდის ბოლო (წმბ) წერტილზე;  $\varphi_{\alpha}$  – ცენტრალური კუთხე, რომელიც შეესაბამება ნორმალურ პიკეტს;  $\varphi_{\beta}$  – ცენტრალური კუთხე, რომელიც არასწორ პიკეტს შეესაბამება;  $K_1, K_2, K_{\alpha}$  და  $K_{\beta}$  – წრიული მრუდის რკალების სიგრძეებია, სათანადო ცენტრალური კუთხეების შესაბამისი.



ნახ. 10.7.1

როგორც ნახაზიდან ჩანს, გამოთვლილი ცენტრალური კუთხეების გაკონტროლება შეიძლება დამოკიდებულებით

$$\alpha_1 + n\alpha_{\text{სფ}} + \alpha_{\text{ასფ}} + \alpha_2 = \theta, \quad (10.7.4)$$

სადაც  $n$  არის მრუდზე ნორმალური პიკეტების რაოდენობა,  $\theta$  – ტრასის მოხვევის კუთხე.

ანალოგიურ საკონტროლო დამოკიდებულებას აქვს ადგილი ცენტრალური კუთხეების მომჭიმავ რკალის სიგრძეებს შორის

$$K_1 + nK_{\text{სფ}} + K_{\text{ასფ}} + K_2 = K, \quad (10.7.5)$$

სადაც  $K$  – წრიული მრუდის საერთო სიგრძეა.

ნახ. 10.7.1-ზე ტრასის მოხვევის კუთხის წვერო აღნიშნულია (მკწ)-თი.

მრუდის ცენტრის კოორდინატები წრიული მრუდის დასაწყისიდან იანგარიშება ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= x_{\text{წყმკ}} + R \cos(\alpha_{T_1} + 90^\circ), \\ y_0 &= y_{\text{წყმკ}} + R \sin(\alpha_{T_1} + 90^\circ). \end{aligned} \right\} \quad (10.7.6)$$

სადაც  $\alpha_{T_1}$  – პირველი ტანგენსის ხაზის დირექციული კუთხეა. მრუდის ცენტრის კოორდინატებს აკონტროლებენ

წრიული მრუდის ბოლო (წმბ) წერტილის კოორდინატებიდან განსაზღვრით.

ცენტრიდან მრუდზე მდებარე პიკეტებზე მიმართულებების ღირეპციულ კუთხეებს განსაზღვრავენ (0-წმდ) ხაზის ცნობილი ღირეპციული კუთხიდან –  $(\alpha_{T_1} + 270^\circ)$  შესაბამისი ცენტრალური კუთხის  $(\gamma_i)$  დამატებით. ამ ღირეპციული კუთხითა და მრუდის რადიუსით პოულობენ კოორდინატთა ნაზრდებს მრუდის ცენტრის მიმართ:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_i &= R \cos(\alpha_{T_1} + 270^\circ + \gamma_i) ; \\ \Delta y_i &= R \sin(\alpha_{T_1} + 270^\circ + \gamma_i) . \end{aligned} \right\} \quad (10.7.7)$$

რაც შეეხება კოორდინატების გამოთვლას მომჭიმავე ქორდებითა და მათი მობრუნების კუთხეებით, საჭიროა ვიცოდეთ ამ ქორდების სიგრძეები და ღირეპციული კუთხეები.

ქორდების ღირეპციულ კუთხეებს განსაზღვრავენ ტანგენსების ხაზების გამოსავალი ღირეპციული კუთხეებიდან  $(\alpha_{T_1}$  და  $\alpha_{T_2})$  ქორდების მობრუნების კუთხეების მნიშვნელობების მიხედვით, რომლებიც, თავის მხრივ, გამოითვლება ტოლფერდა სამკუთხედებიდან (იქმნება რადიუსებითა და მომჭიმავე ქორდებით). მაგალითად, ნახ.10.7.1-დან გვაქვს:

წმდ წერტილთან სვლის მობრუნების კუთხე ტოლია  $180^\circ - \gamma_1/2$ ;

ჩჩ 261 წერტილთან სვლის მობრუნების კუთხე ტოლია  $180^\circ - \gamma_1/2 - \gamma_{1\check{F}}/2$ ;

ჩჩ 263 წერტილთან სვლის მობრუნების კუთხე ტოლია  $180^\circ - \gamma_{1\check{F}}/2 - \gamma_{2\check{F}}/2$ ;

ჩჩ 264 წერტილთან სვლის მობრუნების კუთხე ტოლია  $180^\circ - \gamma_{2\check{F}}/2 - \gamma_2/2$ ;

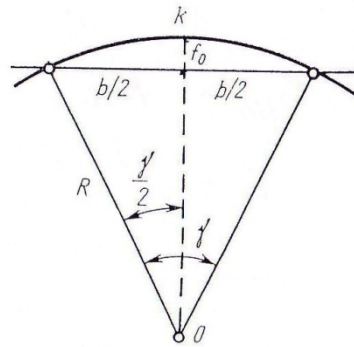
წმბ წერტილთან სვლის მობრუნების კუთხე ტოლია  $180^\circ - \gamma_2/2$ .

ქორდების სიგრძეების განსაზღვრისთვის შეიძლება გამოვიყენოთ რკალის სიგრძეები. როგორც (10.7.2) ნახაზიდან გვაქვს, ქორდის სიგრძე ტოლია

$$b = 2R \sin \gamma/2 . \quad (10.7.8)$$

რადგან, მრუდის სიგრძე  $K = \gamma R/\rho$ , ამიტომ სხვაობა

$$K - b = \gamma R/\rho - 2R \sin \gamma/2 . \quad (10.7.9)$$



ნახ. 10.7.2

(10.7.9) ფორმულაში სინუსის მწკრივად დაშლისა და  $\gamma$  კუთხის სიმცირის გამო ( $\gamma \leq 3^\circ$ ), მეორე წევრით დაკმაყოფილებით, გვექნება

$$K - b = \gamma R/\rho - \gamma R/\rho + \gamma^3 R/24\rho^3 .$$

თუ  $\gamma$  ცენტრალურ კუთხეს შევცვლით მისი მნიშვნელობით  $\gamma = K\rho/R$ , მივიღებთ

$$K - b = \frac{K^3}{24R^2} . \quad (10.7.10)$$

გადასასვლელი მრუდების საწყისი და ბოლო წერტილების კოორდინატების გამოსათვლელად სარგებლობენ ტრასის სწორი უბნების დირექციული კუთხეებით და  $t_1$  და  $t_2$  მონაკვეთების სიგრძეებით (ნახ.10.7.3), რომელთა სიდიდეები გამოითვლება ფორმულებით:

$$t_1 = \frac{l}{2} \left( 1 + \frac{l^2}{30R^2} \right); \quad t_2 = \frac{l}{2} \left( 1 - \frac{l^2}{12R^2} \right), \quad (10.7.11)$$

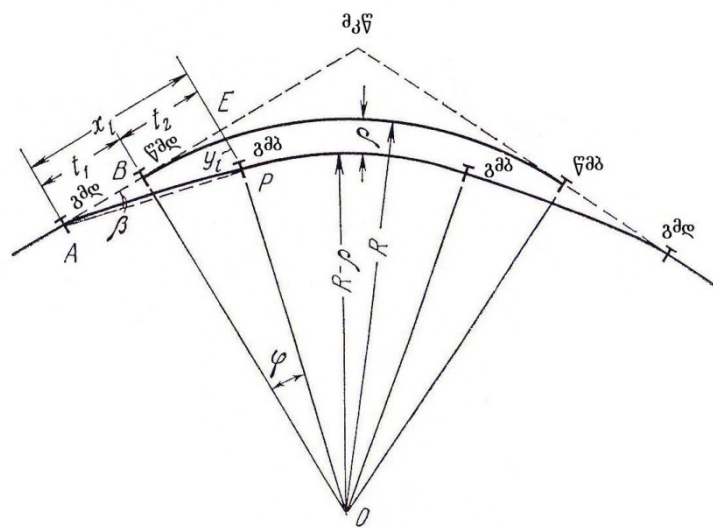
სადაც  $l$  არის გადასასვლელი მრუდის სიგრძე,  $R$  – წრიული მრუდის რადიუსი. გამოსავალ კოორდინატებად ღებულობენ წრიული მრუდის დასაწყისის და ბოლოს კოორდინატებს.

გზის ღერძის დაშორებას დამკველავი ღერძიდან ანგარიშობენ ფორმულით

$$P = \frac{l^2}{24R} \left( 1 + \frac{13l^4}{112R^3} \right). \quad (10.7.12)$$

გვირაბის ღერძის  $q$  დაშორებას გზის ღერძიდან ანგარიშობენ (10.6.1) ფორმულით.

ნახ. 10.7.3-ზე წარწერები აღნიშნავენ წმდ – წრიული მრუდის დასაწყისი; წმბ – წრიული მრუდის ბოლო; გმდ – გადასასვლელი მრუდის დასაწყისი; გმბ – გადასასვლელი მრუდის ბოლო, მკწ – მოხვევის კუთხის წვერო.



ნახ. 10.7.3

გადასასვლელი მრუდების ბოლოების კოორდინატებს გზის ღერძზე ანგარიშობენ ორი დამოუკიდებელი ხერხით: კოორდინატების ნაზრდების გამოთვლის გზით  $\varphi$  ( $\varphi = l/2R \cdot \rho$ ) კუთხის სიდიდითა და  $R_p$  ( $R_p = R - P$ ) რადიუსის სიგრძით,

აგრეთვე  $x_i$  და  $y_i$  სიდიდეების დახმარებით, რომლებიც გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$x_i = l \left( 1 - \frac{l^2}{40R^2} \right); \quad y_i = \frac{l^2}{6R} \left( 1 - \frac{l^2}{56R^2} \right). \quad (10.7.13)$$

პირველ შემთხვევაში, გამოსავალი მონაცემებია წრიული მრუდის დასაწყისზე გამავალი რადიუსის დირექციული კუთხე და წრიული მრუდის ცენტრის კოორდინატები.

მეორე შემთხვევაში, საწყისი მონაცემებია ტრასის სწორი უბნის დირექციული კუთხე და გადასასვლელი მრუდის საწყისის კოორდინატები.

წრიული მრუდის  $K$  სიგრძე დამკვალავ ღერძზე და გვირახის ღერძზე  $K_{\text{გ}}$  სხვადასხვა იქნება და იგი გამოითვლება ფორმულით

$$K_{\text{გ}} = \frac{\theta_{\text{გ}} R_{\text{გ}}}{\rho^H}, \quad (10.7.14)$$

სადაც  $\theta_{\text{გ}} = \theta - 2\varphi$ ,  $R_{\text{გ}} = R - (p + q)$ .

$\theta_{\text{გ}}$  კუთხე შეიძლება მივიღოთ, როგორც გადასასვლელი მრუდის ბოლოებზე გავლებული რადიუსების დირექციული კუთხეების სხვაობა.

## 10.8. მრუდხაზოვანი გვირაბის ტრასის გადატანა ნატურაში

ტრასის გადატანა ქორდებით. მრუდხაზოვანი გვირაბის ღერძის ან გზის ღერძის ნატურაში ზუსტად მათემატიკური სიზუსტით გადატანა საკმაოდ რთული ამოცანაა. პრაქტიკულად მრუდ უბანზე ტრასის ღერძის გადატანა ხორციელდება ტეხილი კონტურით, რომელიც სწორი მონაკვეთებისა და მოხვევის კუთხეებისგან შედგება. სწორ ხაზებად ირჩევენ ან ქორდებს, ან



მკვეთებს. ერთი მხრივ, რაც მეტია ქორდის სიგრძე, მით ნაკლები რაოდენობა მოთავსდება მრუდში, ე.ი. ქორდის სიგრძის გაზრდა ამცირებს დაკვალვით სამუშაოებს. მეორე მხრივ, რაც უფრო გრძელი იქნება ქორდა, მით მეტი იქნება ჩალუნვის ისრის სიდიდე და შესაბამისად, მით მეტი წერტილები (განსაკუთრებით შუაში) დაშორდება წრიულ მრუდს. ამრიგად, ქორდის სიგრძე მრუდის ნატურაში დაკვალვისას უნდა იყოს ოპტიმალური.

ქორდის სიგრძის შერჩევისას საფუძვლად იღებენ მრუდის წერტილების მაქსიმალურ დაშორებას ქორდიდან, ანუ ქორდის შუაში ჩალუნვის ისრის სიდიდეს.

გამოვიყვანოთ დამოკიდებულება ქორდის  $b$  სიგრძესა და ქორდის შუაში ჩალუნვის  $f_0$  ისარს შორის (ნახ. 10.7.2)

$$f_0 = R \left( 1 - \cos \frac{\gamma}{2} \right). \quad (10.8.1)$$

თუ  $\cos \gamma/2$  დავშლით მწკრივად და შემოვიფარგლებით დაშლის მეორე წევრით, გვექნება

$$f_0 = \frac{R\gamma^2}{8\rho^2}. \quad (10.8.2)$$

იგივე ნახაზიდან, ცენტრალური კუთხისთვის გვაქვს დამოკიდებულება

$$\gamma'' = \frac{K}{R} \rho'', \quad (10.8.3)$$

(10.8.3)-ის ჩასმით (10.8.2)-ში, მივიღებთ

$$f_0 = \frac{K^2}{8R}, \quad (10.8.4)$$

მიახლოებითი ანგარიშისათვის დებულობენ

$$f_0 \approx \frac{b^2}{8R}. \quad (10.8.5)$$

აქედან გამოითვლება ისეთი ქორდის სიგრძე, რომლის დროსაც ჩალუნვის ისარი არ აღემატება  $f_{max}$

$$b_{gr} \approx \sqrt{8Rf_{max}}, \quad (10.8.6)$$

სადაც  $b_{gr}$  – საპროექტო ქორდის სიგრძეა.

წრიული მრუდის ქორდებით გადატანისას ნატურაში საჭიროა გამოთვლილ იქნას ქორდის ბოლოების კოორდინატები. ეს კი შესაძლებელია ორი ხერხით:

1) მრუდი გადააქვთ ნატურაში ტოლი ქორდებით (ყველა ქორდა ტოლი უნდა იყოს მმ-ის სიზუსტით);

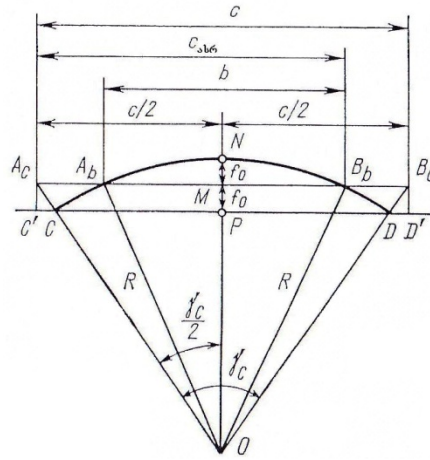
2) ქორდის სიგრძეს წინასწარ აიღებენ მეტრების მთელი რიცხვით, მაშინ მრუდის ბოლოში ქორდის სიგრძე განსხვავებული სიდიდის იქნება.

პირველი ხერხის დროს, ქორდის დაახლოებით სიგრძის გამოსათვლელად სარგებლობენ (10.8.6) ფორმულით, რის შემდეგაც გამოთვლიან წრიულ მრუდში მოთავსებულ ქორდების რიცხვს –  $n' = K/b_{gr}$ , სადაც  $K$  – წრიული მრუდის სიგრძეა. შემდეგ  $n'$  დამრგვალებენ მთელ  $n$  რიცხვამდე. იმისათვის, რომ ჩაღუნვის ისრის მაქსიმალური სიდიდე არ აღემატებოდეს ანგარიშით მიღებულ სიდიდეს,  $n'$ -ს ამრგვალებენ უახლოეს დიდ მთელ რიცხვამდე. ამის შემდეგ ანგარიშობენ მრუდის სიგრძეს, რომელიც შეესაბამება მიღებულ ქორდის სიგრძეს  $K' = K/n$ .

ქორდის ბოლოების კოორდინატების გამოსათვლელად, (10.7.10) ფორმულით გამოთვლილი შესწორებების (მრუდის და ქორდის სიგრძეებს შორის) შეტანით, მრუდის სიგრძიდან გადადიან ქორდის სიგრძეზე და ცნობილი ფორმულებით გამოთვლიან  $\gamma$  ცენტრალურ კუთხეებს.

ქორდის ბოლოების კოორდინატებს გამოთვლიან ქორდების სიგრძითა და მოხვევის კუთხეებით. მოხვევის კუთხეები კი რადიუსსა და პირველ ქორდას შორის, აგრეთვე უკანასკნელ ქორდასა და რადიუსს შორის ტოლია  $90^\circ - \gamma/2$ , ხოლო დანარჩენ ქორდებს შორის მოხვევის კუთხეები –  $180^\circ - \gamma$  ტოლია.

მკვეთის სიგრძე მიიღება ისეთი, რომ მისი ბოლოების დაშორება წრიული მრუდიდან არ აღემატებოდეს წრიული მრუდის დაშორებას მკვეთის შუა წერტილიდან (ნახ.10.8.1)



აღვნიშნოთ მკვეთი  $A_c B_c - c$ -თი, ხოლო მისი შესაბამისი ქორდული ნაწილი  $A_b B_b - b$ -თი. თუ დავსვამთ, პირობას რომ  $NM = A_c C' = B_c D' = f_0$ , მაშინ  $NP = 2f_0$ . მივიღოთ  $CD$  ძრუდის სიგრძე  $C$  მკვეთის ( $A_c B_c$ ) ტოლი და თუ მხედველობაში მივიღებთ (10.8.5) ფორმულას, შეგვიძლია დავწეროთ  $2f_0 = C^2/8R$ , საიდანაც

$A_b B_b = b$  ქორდისათვის კი შეგვიძლია დავწეროთ

თუ ბოლო ორი ტოლობის მარჯვენა მხარეებს გაუტოლებთ, მივიღებთ

$$C = b\sqrt{2}, \quad (10.8.9)$$

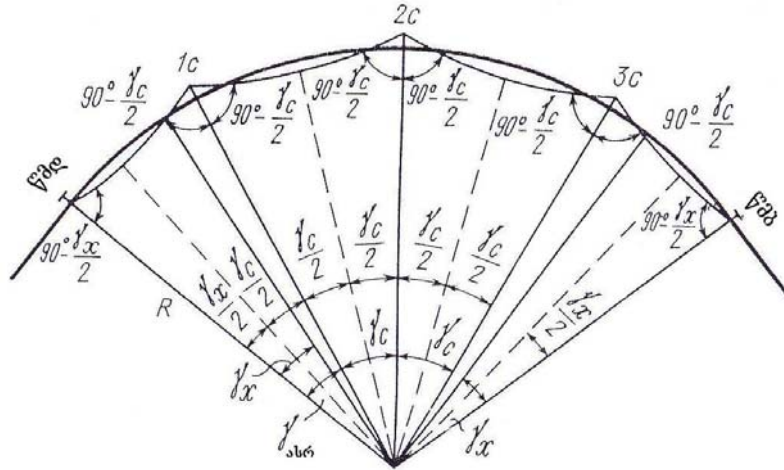
ე.ი. მკვეთის სიგრძე  $\sqrt{2}$ -ჯერ მეტია ქორდის სიგრძეზე.  
შესაბამისად გვაქვს

$$C = 1,4b, \quad b = 0,7C. \quad (10.8.10)$$

ამრიგად, მკვეთის მრუდს გარეთა ბოლოების ჯამი იქნება

$$A_n A_n + B_n B_n = 0,3C \quad \text{და} \quad A_n A_n = B_n B_n = 0,15C.$$

წრიული მრუდის ნატურაში გადატანის სქემა მკვეთების მიხედვით მოტანილია (10.8.2) ნახაზზე, რომელზეც მეტი თვალსაჩინოებისათვის მკვეთები წმდ –  $1C$ ,  $1C - 2C$ ,  $2C - 3C$ , ...,  $nC$  – წმბ ნაჩვენებია არა სწორი ხაზების, არამედ ჩაზნეპილი მრუდების სახით.



ნახ. 10.8.2

წრიული მრუდის საწყის (წმდ) და ბოლო (წმბ) წერტილებში გვაქვს არასრული მკვეთები, რომლებიც შედგება ქორდებისა და ერთი გარე მონაკვეთისგან. არასრული მკვეთის სიგრძე ტოლი იქნება

$$C_{\text{არს}} = 0,7C + 0,15C = 0,85C. \quad (10.8.11)$$

ყველა დასაკვალავი ხაზების სრული სიგრძე, როგორც ჯამი სრული და არასრული მკვეთებისა, იქნება

$$S = C \cdot n + 2C_{\text{არს}} = C \cdot n + 1,7C = C(n + 1,7),$$

საიდანაც

$$n = \frac{S}{C} - 1,7, \quad (10.8.12)$$

სადაც  $n$  – სრული მკვეთების რაოდენობაა.

თუ ყველა მკვეთების რიცხვს აღვნიშნავთ  $m$ -ით (სრული და არასრული), მაშინ

$$S = mC - 0,3C = C(m - 0,3),$$

საიდანაც

$$m = \frac{S}{C} + 0,3 \quad (10.8.13)$$

იმისათვის, რომ მკვეთების ბოლოების კოორდინატები გამოვთვალოთ, აუცილებელია სრული და არასრული მკვეთის შესაბამისი რკალის სიგრძიდან გადავიდეთ მკვეთის სიგრძეზე. (10.8.2) ნახაზიდან ნახევარმკვეთის სიგრძე

$$C/2 = (R - f_0) \operatorname{tg} \gamma_c / 2, \text{ საიდანაც}$$

$$C = 2(R - f_0) \operatorname{tg} \frac{\gamma_c}{2}. \quad (10.8.14)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ (10.8.7) ფორმულას  $(f_0 = C^2/16R)$ ,  $\operatorname{tg} \gamma_c / 2$  დავშლით მწკრივად, შემოვიფარგლებით დაშლის მესამე წევრით და  $\gamma_c$ -ს შევცვლით მისი ტოლი გამოსახულებით –  $\gamma_c = K_c/R \cdot \rho$ , მივიღებთ

$$C = K_c + \frac{K_c^3}{48R^2} \quad (10.8.15)$$

შესწორება რკალის სიგრძიდან მკვეთზე გადასვლისათვის ტოლი იქნება

$$K_c - C = -\frac{K_c^3}{48R^2} \quad (10.8.16)$$

არასრული მკვეთი ( $C_{\text{არ}}$ ) ტოლია ნახევარი ქორდისა და ნახევარი სრული მკვეთის ჯამის. შესწორება არასრული მკვეთის სიგრძიდან მის შესაბამის რკალის სიგრძეზე გადასვლისათვის ტოლი იქნება

$$K_{C_{\text{მა}}} - C_{\text{მა}} = \frac{K_b^3}{2 \cdot 24R^2} - \frac{K_C^3}{2 \cdot 48R^2}$$

თუ  $K_b$ -ს შევცვლით მისი ტოლი  $0,7K_C$ -თი ((10.8.10) ფორმულის გამოყენებით), მაშინ გვექნება

$$K_{C_{\text{მა}}} - C_{\text{მა}} = -\frac{K_C^3}{228R^2} \quad (10.8.17)$$

წრიული მრუდის ნატურაში გადასატანად მკვეთების დახმარებით, გამოთვლები შემდეგი თანმიმდევრობით სრულდება:

1) ანგარიშობენ მკვეთის მიახლოებით საპროექტო სიგრძეს (10.8.7) ფორმულით

$$C_{\text{პრო}} = 4\sqrt{f_0 R} ;$$

2) განსაზღვრავენ ყველა (სრული და არასრული) მკვეთების მიახლოებით რაოდენობას (10.8.13) ფორმულით

$$m' = \frac{K}{C_{\text{პრო}}} + 0,3 ;$$

3) დაადგენენ მკვეთების მთელ რიცხვს  $m'$ -ის დამრგვალებით უახლოეს დიდ რიცხვამდე;

4) განსაზღვრავენ რკალის  $K_C$  სიგრძეს, რომელიც სრულ მკვეთს შეესაბამება

$$K_C = \frac{K}{m - 0,3} ;$$

5) განსაზღვრავენ რკალების სიგრძეებს, რომლებიც შეესაბამება ქორდისა და არასრული მკვეთის სიგრძეებს

$$K_b = 0,7K_C, \quad K_{C_{\text{მა}}} = 0,85K_C .$$

გამოთვლილ სიდიდეებს აკონტროლებენ ფორმულით

$$n \cdot K_C + 2K_{C_{\text{მა}}} = K ;$$

6) გამოთვლიან სრული და არასრული მკვეთის და ქორდის შესაბამის ცენტრალურ კუთხეებს

$$\gamma_C = \frac{K_C}{R} \rho, \quad \gamma_{C_{\text{მა}}} = \frac{K_{C_{\text{მა}}}}{R} \rho = 0,85\gamma_C, \quad \gamma_b = \frac{K_b}{R} \rho \\ = 0,7\gamma_C,$$

გამოთვლილ სიდიდეებს აკონტროლებენ ფორმულით

$$\pi \cdot r_c + 2\gamma_{\text{c.c.}} = \theta,$$

სადაც  $\theta$  – მოხვევის კუთხეა.

**გადასასვლელი მრუდების ნატურაში გადატანას** ასრულებენ ყოველ 2მ-ზე დაშორებული წერტილებისთვის ორი ხერხით:

- 1) ტანგენსის ხაზიდან მართკუთხა კოორდინატების ხერხით (ნახ. 10.7.3) შემდეგი ფორმულების გამოყენებით

$$x_g = S \left( 1 - \frac{S^4}{40C^4} \right), \quad y_g = \frac{S^3}{6C} \left( 1 - \frac{S^4}{56C^4} \right), \quad (10.8.18)$$

სადაც  $x_g$  და  $y_g$  – გადასასვლელი მრუდის მიმდინარე კოორდინატებია,  $S$  – მანძილია გადასასვლელი მრუდის მიმდინარე წერტილამდე,  $C$  – გადასასვლელი მრუდის პარამეტრია ( $C = lR$ , სადაც  $l$  – გადასასვლელი მრუდის სრული სიგრძეა,  $R$  – მრუდის რადიუსი);

- 2) გადასასვლელი მრუდის მომჭიმავი ქორდიდან ჩაღუნვის ისრების გამოყენებით შემდეგი ფორმულით

$$f_g = \frac{S^3}{6C} \left( \frac{l^2}{S^2} - 1 \right), \quad (10.8.19)$$

სადაც  $l$  – გადასასვლელი მრუდის სიგრძეა, დანარჩენი აღნიშვნები იგივეა, რაც წინა შემთხვევაში.

**ვერტიკალური მრუდების გადატანა ნატურაში.** ტრასის პროფილის საპროექტო ნახაზს, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, უწოდებენ გზის დასაგებ სქემას და შედგება **1:2000** მასშტაბით. ჩვეულებრივ, ამ სქემებს მარჯვენა და მარცხენა გზებისთვის ერთ ნახაზზე ათავსებენ. ციფრულ მონაცემებს, პიკეტების ხაზს ზემოთ დაწერილს, აკუთვნებენ მარცხენა გზას, ხოლო ქვემოთ დაწერილს – მარჯვენა გზას. ტრასის პირდაპირ უბანზე დაწერილ ნიშნულებს აკუთვნებენ რელსის თავს, ხოლო მრუდ უბანზე დაწერილს – შიგა და გარე შემადგენელი რელსის საშუალო სიმაღლეს. სქემაზე დაწერილია პროფილისა და გეგმის ყველა

დამახასიათებელი წერტილის საპიკეტაჟო მნიშვნელობები, აგრეთვე ტრასის ყველა ძირითადი ელემენტების მნიშვნელობები.

ანგარიშის დროს გამოთვლიან გეგმაში და პროფილზე ყველა დამახასიათებელი წერტილის და პიკეტების ნიშნულებს. გამოსავალ მონაცემებად ღებულობენ განაპირა პიკეტების საპროექტო ნიშნულებს. პიკეტებისა და ყველა დამახასიათებელი წერტილის ნიშნულებით გამოთვლიან რელსის თავის სიმაღლეებს ტრასის სწორ უბნებზე ყოველ 10 მ, ხოლო ვერტიკალური, წრიული და გადასასვლელი მრუდების ფარგლებში ყოველ 2 მ-ში.

ვერტიკალური მრუდის საზღვრებში გამოთვლიან  $\Delta H$  შესწორებებს ტანგენსის ხაზზე მდებარე წერტილებიდან ვერტიკალურ მრუდზე გადასვლისას ფორმულით

$$\Delta H = \frac{K_3^2}{2R_3}, \quad (10.8.20)$$

სადაც  $K_3$  – ვერტიკალური მრუდის სიგრძეა,  $R_3$  – მისი რადიუსი.

რადგან, ვერტიკალური მრუდი დიდ რადიუსით უნდა დაპროექტდეს, ამიტომ შესამჩნევი დამახინჯების გარეშე  $K_3$  შეიძლება შეიცვალოს  $x$  აბსცისით ტანგენსის ხაზზე

$$\Delta H = \frac{x^2}{2R_3}, \quad (10.8.21)$$

$\Delta H$  შესწორების ნიშანი დამოკიდებულია ცენტრალური ვერტიკალური კუთხის ნიშანზე, რომელიც თავის მხრივ, შესაუღლებელი სწორი მონაკვეთების ქანობებზეა დამოკიდებული. აღმართის ქანობი მიჩნეულია დადებითად, ხოლო დაღმართისა – უარყოფითად. ცენტრალური ვერტიკალური კუთხე კი შესაუღლებელი სწორების ქანობების სხვაობის ტოლია.



## 10.9. მიწისქვეშა გეოდეზიური საფუძვლის

### ორიენტირების არსი და ხერხები

დირექციული კუთხისა და კოორდინატების ზედაპირიდან მიწისქვეშა გამონაბუშვებებში გადაცემის პროცესს ორიენტირება ეწოდება.

გვირაბის გაყვანისას ვერტიკალური ჭაურებით, კოორდინატებს ძირითადი ან მისასვლელი პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან გადასცემენ, ხოლო დირექციულ კუთხეს – საგვირაბო ტრიანგულაციის გვერდებიდან.

პორტალებიდან კოორდინატებისა და დირექციული კუთხის გადაცემა ხორციელდება კუთხეებისა და გვერდების უშუალოდ გაზომვების გზით ზედაპირულ და მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის ქსელებში, რომლებიც ერთმანეთის გაგრძელებას წარმოადგენენ.

მიწისქვეშა გეოდეზიური საფუძვლის ორიენტირების ძირითადი ხერხები და მათი სიზუსტეები მოცემულია ქვემოთ (10.9.1) ცხრილში.

ცხრილი 10.9.1

| №<br>რიგზე | ორიენტირების ხერხი                           | ერთი<br>ორიენტირების<br>სკმ |
|------------|----------------------------------------------|-----------------------------|
| 1.         | მაგნიტური                                    | 1'                          |
| 2.         | ორი შვეულის გასწორის                         | 30"                         |
| 3.         | ორი შვეულის გასწორის გაუმჯობესებული<br>ხერხი | 12 – 15"                    |
| 4.         | შვეულზე შკალური მომხრობის                    | 25"                         |
| 5.         | ოპტიკური სოლის                               | 12"                         |
| 6.         | შემაერთებელი სამკუთხედების                   | 10 – 12"                    |
| 7.         | ორი შახტის (ჭაბურღილების)                    | 8 – 10"                     |
| 8.         | სინათლის ნაკადის პოლარიზაციის:               |                             |

|     |                                    |          |
|-----|------------------------------------|----------|
|     | ვიზუალური რეგისტრაციის დროს        | 1'       |
|     | ელექტრული რეგისტრაციის დროს        | 5''      |
| 9.  | ავტოკოლიმაციური                    | 6 – 8''  |
| 10. | გიროსკოპული (ზუსტი გიროთეოდოლიტით) | 5 – 10'' |

ცხრილში მოტანილი ორიენტირების ხერხებიდან ყველაზე ხშირად იყენებენ ორი შვეულის გასწორის, შემაერთებული სამკუთხედების, ორი შახტის და გიროსკოპული ორიენტირების ხერხებს (ცხრილში რიგით 2, 6, 7 და 10). მათ შესახებ ვრცლად გვექნება საუბარი, რაც შეეხება დანარჩენ ხერხებს, მათ ქვემოთ მოკლედ მიმოვიხილავთ.

**მაგნიტური ორიენტირების** დროს ჩვეულებრივ იყენებენ თეოდოლიტს სარკიანი ბუსოლით. ზედაპირზე, პოლიგონომეტრიის ერთერთ გვერდზე განსაზღვრავენ მაგნიტური ისრის მიხრილობას, შემდეგ ხელსაწყოს ჩაიტანენ მიწისქვეშ და განსაზღვრავენ მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის გვერდის ღირექციულ კუთხეს ზედაპირზე ნაპოვნი მაგნიტური ისრის მიხრილობის სიდიდის გათვალისწინებით. ამ ხერხის არსებითი ნაკლია დაკვირვების ისეთი ადგილის შერჩევა, რომელიც თავისუფალი იქნებოდა გეომაგნიტური ველის გავლენისგან და ამით გამოწვეული მცირე სიზუსტე.

**შვეულებზე სკალური მიმხრობის ხერხის** დროს იყენებენ სკალებს, რომლებიც დამაგრებულია შვეულების უკან და რომელთა საშუალებით ზომავენ მანძილს შვეულებიდან თეოდოლიტით მოცემულ გასწორამდე. გადახრის ამ სიდიდებით გამოთვლიან შვეულებით მოცემული სიბრტყის და შახტაში თეოდოლიტის სამიზნე ღერძის ღირექციულ კუთხეებს.

**ოპტიკური სოლის ხერხის** დროს იყენებენ სპეციალურ ხელსაწყოს, რომელიც შეიცავს გარსაცმს ოპტიკური ბიპრიზმით და კოლიმატორს. ხელსაწყოს აყენებენ ზედაპირზე და გარსაცმით აკვირდებიან ქვემოთ მავთულზე ჩამოკიდებულ ლარტყას, რომელიც

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის გვერდის გასწვრივობაშია. ვერტიკალური ღერძის გარშემო ჭოგრის ბრუნვით აღწევენ ლარტყის ბოლოებში შტრიხების შეთავსებას, რითაც კოლიმატორის ღერძს აყენებენ მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის განსასაზღვრელი გვერდის პარალელურად, ხოლო შემდეგ ზედაპირზე განსაზღვრავენ კოლიმატორის ღერძის ღირექცულ კუთხეს. ამ ხერხის სიზუსტეზე არსებით გავლენას ახდენს ჭაურში რეფრაქცია. გარკვეული სირთულეები ახლავს აგრეთვე ლარტყის ხილვადობის უზრუნველყოფასაც.

**სინათლის ნაკადის პოლარიზაციის ხერხისას** მოითხოვება სპეციალური მოწყობილობის გამოყენება. ჭაურში აყენებენ პოლარიზატორს, რომელზეც ფიქსირდება სინათლის ტალღების პოლარიზაციის სიბრტყის მიმართულება. ზედაპირზეც აყენებენ მეორე პოლარიზატორს, რომელზეც აგრეთვე ფიქსირდება ანალოგიური მიმართულება. აბრუნებენ პოლარიზატორს ვერტიკალური ღერძის გარშემო და აღწევენ ქვედა პოლარიზატორში განათებულობის მინიმუმს, რაც ისეთ მდგომარეობას შეესაბამება, როცა სინათლის ტალღების რხევათა მიმართულება ზედა და ქვედა პოლარიზატორში ურთიერთ მართობულია.

განსაზღვრავენ გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებიდან ზედაპირზე პოლარიზაციის სიბრტყის მიმართულების ღირექცულ კუთხეს და პოულობენ მიწისქვეშა პოლარიზაციის სიბრტყის ღირექცულ კუთხესაც.

**ავტოკოლიმაციური ხერხისას** შახტში მიმართულება გადაეცემა ორი ავტოკოლიმაციური თეოდოლიტის მეშვეობით (რომელთაგან ერთი ზედაპირზეა დაყენებული, მეორე კი — მიწისქვეშ) და სარკიანი ამრეკლების დახმარებით, რომლებიც ჭაურის ტანშია ჩამაგრებული.

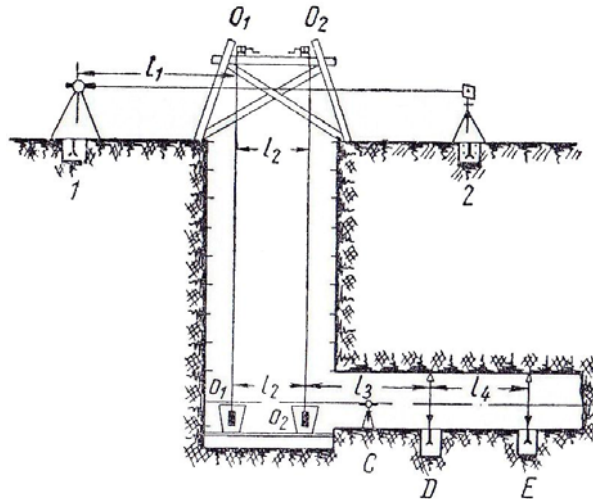
ორიენტირების ისეთი ხერხების დროს, სადაც შვეულებს იყენებენ, კოორდინატების გადაცემა მიმართულების გადაცემასთან

ერთდროულად ხდება. ხოლო ისეთი ხერხების დროს, რომლებიც არ თხოულობს შვეულების ჭაურში ჩაშვებას (მაგ. ავტოკოლიმაციური, გიროსკოპული და სხვ.), კოორდინატების გადასაცემად ერთ შვეულს ჩაუშვებენ.

ზოგჯერ შვეულების მაგივრად იყენებენ ოპტიკურ ზენიტ-ხელსაწყოებს **PZL** ან **ПОБН** ტიპისას ან ვერტიკალური პროექტირების ლაზერულ ხელსაწყოებს.

## 10.10. ორი შვეულის გასწორის ხერხით ორიენტირება

ორის შვეულის გასწორის ხერხით მიწისქვეშა საფუძვლის ორიენტირებისას გამოსავალი მიმართულება 1-2 ღერძია (ნახ.10.10.1), რომელიც გამოაქვთ ნატურაში მისასვლელი პოლიგონომეტრიის უახლოესი პუნქტებიდან პოლარული კოორდინატების ხერხით, სადაკვალვო ელემენტების მიხედვით.



ნახ. 10.10.1

ზედაპირზე 1 პუნქტზე დაცენტრავენ თეოდოლიტს და უმიზნებენ მე-2 პუნქტში დაყენებულ მარკას. 1-2 სამიზნე სხივის ზუსტად გასწვრივობაში ჩაკიდებენ ჭაურში  $O_1$  და  $O_2$  შვეულებს.

მიწისქვეშ, ჭაურის ეზოში ჩამოკიდებული შვეულების გასწვრივობის გაგრძელებაზე  $C$  წერტილში დააყენებენ მეორე თეოდოლიტს, რის შემდეგ ჭოგრის ზენიტზე გადაყვანით გამონამუშევრის ჭერში ჩაამაგრებენ ორ ნიშანს ისე, რომ მათზე ჩამოკიდებული შვეულები განლაგდნენ ჭოგრის მზერის ღერძზე. ჭერში ჩამოკიდებული შვეულების ქვეშ გამონამუშევრის იატაკზე ჩააბეჭდებენ  $D$  და  $E$  პუნქტებს ლითონის ღეროების სახით. ამრიგად, მიწისქვეშ დაყენებული თეოდოლიტის მზერის სხივის გასწვრივობაში მოხვდნენ როგორც ზედაპირიდან ჩაშვებული  $O_1$  და  $O_2$  შვეულები, ისე მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის საწყისი  $CDE$  გვერდი.

როგორც (10.10.1) ნახაზის გეომეტრიული სქემიდან ჩანს, ორი შვეულის გასწვრივით ორიენტირებისას  $DE$  ხაზის ღირექციული კუთხე სიზუსტის ფარგლებში 1-2 ზედაპირული ხაზის ღირექციული კუთხის ტოლი იქნება.  $D$  და  $E$  პუნქტების კოორდინატების განსაზღვრისათვის ზედაპირზე იზომება  $L_1$  მანძილი 1 პუნქტიდან  $O_1$  შვეულამდე და შვეულებს შორის  $L_2$  მანძილი, ხოლო მიწისქვეშ – იგივე  $L_2$  მანძილი საკონტროლოდ და  $L_3$  და  $L_4$  მანძილები.

გეომეტრიულად აღწერილი ხერხი მეტად მარტივი და თვალსაჩინოა და არ თხოულობს ორიენტირების შედეგების მათემატიკურ დამუშავებას, თუმცა მისი სიზუსტე მცირეა ( $30''$ ), რაც მისი მნიშვნელოვანი ნაკლია. შეცდომის ძირითადი წყაროა შვეულების რხევა. შვეულებად იყენებენ ჭაურის სიგრძისა და ჩამოსაკიდებელი ტვირთის მასის მიხედვით გაანგარიშებული დიამეტრის მქონე, ფოლადის მავთულს, რომლის ბოლო ტვირთიანად ბლანტ სითხეშია ჩაშვებული (რხევის

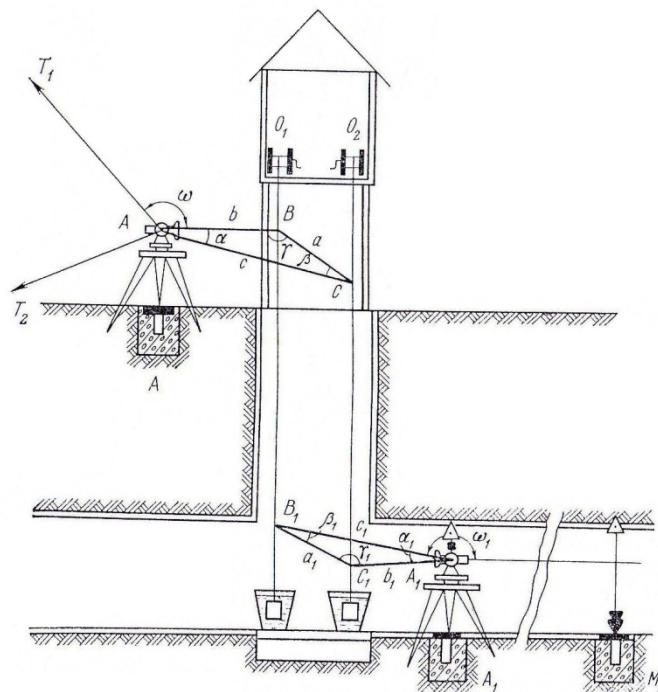
შესამცირებლად).  $O_1$  და  $O_2$  შვეულებს ჩაშვების შემდეგ ამოწმებენ ე.წ. „ფოსტით“ (ლითონის რგოლებით), რომ არ ეხებოდნენ ჭაურის კედლებს.

**ორი შვეულის გასწორის გაუმჯობესებული ხერხი** მდგომარეობს მასში, რომ ჭაურში ჩაშვებული შვეულების გვერდით ამაგრებენ სპეციალურ სკალებს, რომლებზეც ხდება ანათვლების აღება შვეულების რხევის მიხედვით. რამდენიმე ანათვიდან იღებენ საშუალოს და სკალის საშუალო სიდიდეზე უმიზნებენ თეოდოლიტს, რომელიც რამდენადმე აუმჯობესებს შვეულებზე დამზერის სიზუსტეს. ამ ხერხს იყენებენ მაშინ, როცა ჭაურში ჰაერის მოძრაობა და შესაბამისად, შვეულების რხევაც დიდია.

## 10.11. შემაერთებელი სამკუთხედებით ორიენტირება

**ორიენტირების გეომეტრიული სქემა.** მიწისქვეშა გეოდეზიური საფუძვლის ორიენტირების გეომეტრიული ხერხებიდან ერთერთი ყველაზე ზუსტი და ხშირად გამოყენებული, მიუხედავად მისი შრომატევადობისა, შემაერთებელი სამკუთხედებით ორიენტირებაა.

ამ ხერხის გეომეტრიული სქემა წარმოდგენილია (10.11.1) ნახაზზე



ნახ. 10.11.1

ჭაურში ჩაუშვებენ ორ  $\theta_1$  და  $\theta_2$  შვეულს. ზედაპირზე,  $A$  წერტილში გაზომავენ შვეულებზე მიმართულებებს შორის  $\alpha$  კუთხეს და საგვირაბო ტრიანგულაციის რომელიმე  $T_1$  პუნქტზე მიმხრობის  $\omega$  კუთხეს. გარდა ამისა, ზომავენ მანძილებს – შვეულებს შორის  $a$  და ინსტრუმენტიდან შვეულებამდე  $b$  და  $c$ .

ამრიგად, ზედაპირზე მიიღება  $ABC$  სამკუთხედი, რომელშიც გაზომილია სამივე გვერდი და ერთი კუთხე. დანარჩენი ორი კუთხე შეიძლება გამოთვლილ იქნას. მიღებულ სამკუთხედს შემაერთებელ სამკუთხედს უწოდებენ. ვიცით  $AT_1$  მიმართულების დირექციული კუთხე და  $\omega$  მიმხრობის კუთხე. გაზომილი  $\alpha$  და გამოთვლილი  $\beta$  (ან  $\gamma$ ) კუთხეებით მივიღებთ შვეულების შორის შემაერთებელი ხაზის  $(BC)$  დირექციულ კუთხეს.

მიწისქვეშ გაყვანილ გამონამუშევარში ჭაურის მახლობლად ჩააბეტონებენ  $A_1$  წერტილს და გაზომავენ  $\alpha_1$  და  $\omega_1$  კუთხეებს, აგრეთვე  $a_1, b_1$  და  $c_1$  მიწისქვეშა შემაერთებელი სამკუთხედის გვერდების სიგრძეებს. თუ  $B_1C_1$  შვეულების შემაერთებელი გვერდის ღირეკციულ კუთხეს მივიღებთ  $BC$  გვერდის ღირეკციული კუთხის ტოლად, მიწისქვეშა შემაერთებელი სამკუთხედის კუთხეებითა და მიმხრობის  $\omega_1$  კუთხით შეგვიძლია გამოვთვალოთ  $A_1M_1$  მიმართულების ღირეკციული კუთხე.

თუ ზედაპირზე  $A$  წერტილს ჩავრთავთ მისასვლელი პოლიგონომეტრიის სვლაში, გამოვთვლით მის კოორდინატებს სვლის გაწონასწორების შემდეგ. მიმხრობის კუთხითა და შემაერთებელ სამკუთხედში ჩატარებული გაზომვებით  $A$  პუნქტიდან კოორდინატები გადაეცემა  $O_1$  და  $O_2$  შვეულებს. შვეულების კოორდინატები იგივე მიიღება მიწისქვეშაც. მათზე მიმხრობითა და მიწისქვეშა შემაერთებელ სამკუთხედში ჩატარებული გაზომვებით კოორდინატები გადაეცემა  $A_1$  წერტილს.

**შემაერთებელი სამკუთხედის ოპტიმალური ფორმა.** ორიენტირების სიზუსტე შემაერთებელი სამკუთხედის ფორმაზე დიდადაა დამოკიდებული.  $\beta$  კუთხე განისაზღვრება ფორმულით

$$\sin \beta = \sin \alpha \frac{b}{a}. \quad (10.11.1)$$

(10.11.1) ფორმულას თუ გადავადიფერენციალებთ  $a, b$  და  $\alpha$  გაზომილი სიდიდეებით, მივიღებთ

$$d\beta = \frac{\sin \alpha}{a \cos \beta} \rho'' db - \frac{b \sin \alpha}{a^2 \cos \beta} \rho'' da + \frac{b \cos \alpha}{a \cos \beta} d\alpha.$$

რადგანაც  $\sin \alpha = \sin \beta \cdot a/b$  ((10.11.1) ფორმულიდან), ამიტომ

$$d\beta = \operatorname{tg} \beta \rho'' \frac{db}{b} - \operatorname{tg} \beta \rho'' \frac{da}{a} + \frac{b \cos \alpha}{a \cos \beta} d\alpha, \quad (10.11.2)$$

ან საშუალო კვადრატულ შეცდომებში



$$m_{\beta}^2 = \operatorname{tg}^2 \beta \rho^{1/2} \left( \frac{m_b}{h} \right)^2 + \operatorname{tg}^2 \beta \rho^{1/2} \left( \frac{m_a}{a} \right)^2 + \left( \frac{b}{a} \right)^2 \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta} m_{\pi}^2 . \quad (10.11.3)$$

$a, b$  და  $c$  გვერდების სიგრძეები არ აღემატება **20** მ და შეიძლება გაზომილ იქნან ხელსაწყოთა ერთი დადებით. მათი გაზომვის სიზუსტე შეიძლება ჩავთვალოთ ტოლად  $m_a = m_b = m_{\pi}$  და ამიტომ (10.11.3) ფორმულა მიიღებს სახეს

$$m_{\beta}^2 = \operatorname{tg}^2 \beta \left( \frac{1}{b^2} + \frac{1}{a^2} \right) \cdot \rho^2 m_{\pi}^2 + \frac{b^2 \cos^2 \alpha}{a^2 \cos^2 \beta} m_{\pi}^2 . \quad (10.11.4)$$

ბოლო ფორმულის პირველი წევრი გამოსახავს შემაერთებელ სამკუთხედში მანძილების გაზომვის შეცდომის გავლენას  $\beta$  კუთხის განსაზღვრის სიზუსტეზე. აღვნიშნოთ იგი  $m_{\beta_1}$ -ით, ე.ი. გვაქვს

$$m_{\beta_1}^2 = \operatorname{tg}^2 \beta \left( \frac{1}{b^2} + \frac{1}{a^2} \right) \rho^2 m_{\pi}^2 ,$$

ან პირველ ხარისხში

$$m_{\beta_1} = \operatorname{tg} \beta \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{a^2 b^2}} \rho m_{\pi} . \quad (10.11.5)$$

(10.11.5) ფორმულა გვიჩვენებს, რომ რაც უფრო ნაკლებია  $\beta$  კუთხე, მით ნაკლები გავლება ექნება მისი განსაზღვრის სიზუსტეზე მანძილების გაზომვის შეცდომებს.  $\beta$  კუთხის სიმცირე იწვევს  $\alpha$  კუთხის სიმცირესაც, ე.ი. შემაერთებელ სამკუთხედს ექნება წაგრძელებული ფორმა. მცირე კუთხეების დროს, მათი სინუსების ფარდობა შეიძლება შევცვალოთ ტანგენსების ფარდობით. ამრიგად, შეიძლება მივიღოთ, რომ  $a/b = \operatorname{tg} \alpha / \operatorname{tg} \beta$ , საიდანაც

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{b}{a} \operatorname{tg} \alpha .$$

თუ  $\text{tg}\beta$  მნიშვნელობას შევითანთ (10.11.5) ფორმულაში, მივიღებთ

$$m_{\beta_1} = \frac{b}{a} \text{tg} \propto \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{a^2 b^2}} \rho m_1 . \quad (10.11.6)$$

(10.11.6) ფორმულა შეიძლება წარმოვადგინოთ ასეც

$$m_{\beta_1} = \text{tg} \propto \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{a^4}} \rho m_1 ,$$

ან ასეთი სახით

$$m_{\beta_1} = \frac{\text{tg} \propto}{a} \rho \sqrt{1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2} m_1 .$$

შემაერთებელი სამკუთხედის  $\alpha$  კუთხის გაზომვის შეცდომის გავლენა  $\beta$  კუთხის განსაზღვრის სიზუსტეზე განისაზღვრება (10.11.4) ფორმულის მეორე წევრით. აღვნიშნოთ იგი  $m_{\beta_x}$ -თი და გვექნება

$$m_{\beta_x}^2 = \frac{b^2 \cos^2 \propto}{a^2 \cos^2 \beta} m_x^2 .$$

$\propto$  და  $\beta$  კუთხეების სიმცირის გამო შეიძლება მივიღოთ  $\cos \propto \approx 1$  და  $\cos \beta \approx 1$ , მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ

$$m_{\beta_x} = m_x \cdot \frac{b}{a} . \quad (10.11.7)$$

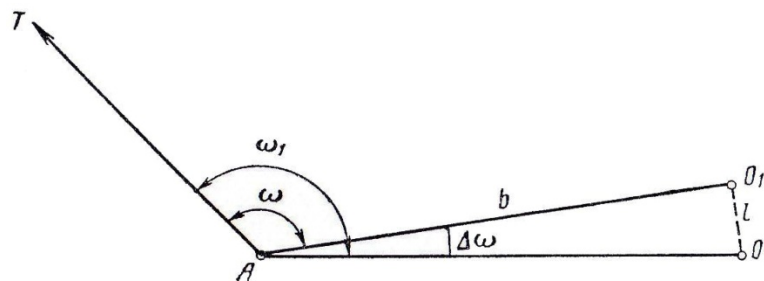
(10.11.6) და (10.11.7) ფორმულების ანალიზიდან გამოდის, რომ  $\propto$  კუთხე უნდა იყოს რაც შეიძლება მცირე. შვეულებს შორის  $a$  მანძილი სასურველია იყოს, რაც შეიძლება დიდი, ამასთან  $b/a$  ფარდობა უნდა იყოს მცირე. ამრიგად,  $A$  და  $A_1$  პუნქტები უნდა განლაგებულ იქნან ჭაურებთან ახლოს.  $\propto$  და  $\propto_1$  კუთხეები არ უნდა აღემატებოდნენ  $2 - 3^\circ$ , ხოლო  $b/a$  და  $b_1/a_1$  ფარდობები არ უნდა აღემატებოდნენ 1,5.

**ორიენტირების პროცესი.** ორიენტირების ჩატარების დროს ჭაურში ყველა სხვა სამუშაო ჩერდება. გაზომვები უნდა შესრულდეს საიმედო კონტროლით. ორიენტირების პროცესის დაწყების წინ იმეორებენ გაზომვებს მისასვლელ პოლიგონომეტრიაში იმისათვის, რომ **4** წერტილის კოორდინატები თავისუფალი იყოს ჭაურში მიმდინარე სამუშაოებისგან გამოწვეული დეფორმაციის პროცესის გავლენისგან. ასევე განმეორებით განსაზღვრავენ გამოსავალი გვერდის ღირებულებას კუთხეს. შვეულების ჩამოსაკიდ ადგილებს დანიშნავენ იმ ვარაუდით, რომ შემაერთებული სამკუთხედის ფორმა იყოს ხელსაყრელი. შვეულების ჩამოკიდების და შემოწმების შემდეგ, ზედაპირზე და მიწისქვეშ ერთდროულად ზომავენ მანძილებს შვეულებს შორის. გაზომვებს ასრულებენ ერთ დონეზე, რისთვისაც შვეულებზე წერტილებს მონიშნავენ ნიველირით. გაზომვას ასრულებენ 3-ჯერ. განაზომთა შორის განსხვავებამ არ უნდა გადააჭარბოს **2** მმ-ს.

ორიენტირების სიზუსტის გაზრდის მიზნით გაზომვების ყოველ ილეთს ზედაპირზე და მიწისქვეშ იმეორებენ შვეულების ჩამოკიდების სამი მდგომარეობისას, რისთვისაც ჩამობმის წერტილების გადასადგილებლად იყენებენ სპეციალურ ფირფიტებს, რომელთაც აქვთ მოწყობილობა შვეულის ჩამაგრების ადგილი გადასწიოს მზერის სხივის მართობულად ზუსტად **15** მმ-ზე.

თუ **ω** მიმხრობის კუთხე შვეულის ჩაბმის ადგილის გადაადგილების შემდეგ იქნება **ω<sub>1</sub>** (ნახ.10.11.2), მაშინ **Δω** სხვაობა შეიძლება გაკონტროლებულ იქნას შვეულის გადაადგილების **l** მანძილით

$$\Delta\omega'' = \frac{l}{b}\rho'' . \quad (10.11.8)$$



ნახ. 10.11.2

გაზომილი კუთხეების სხვაობათა დამთხვევა დასაშვებ ზღვრებში არა მარტო კუთხეების გაზომვის კარგ კონტროლს წარმოადგენს, არამედ შვეულების პროექტირების სისწორის კონტროლსაც. ფირფიტების დახმარებით შვეულების გადაადგილების გაზომვა სრულდება 0,1მმ საშუალო შეცდომით. ინსტრუმენტიდან შვეულამდე 5მ მანძილის დროს ეს შეცდომა კუთხეში გამოიწვევს  $\Delta\omega'' = \frac{0,1}{5000} \cdot \rho'' = 4''$  შეცდომას.

მომხრობის კუთხეების გარდა შეიძლება გაკონტროლებულ იქნას ზედაპირზე და მიწისქვეშ გაზომილი  $\alpha$  და  $\alpha_1$  კუთხეებიც, რომელთა საკონტროლო ფორმულები იქნება (ნახ.10.11.1):

$$\Delta\alpha'' = \frac{l}{c} \rho'' - \frac{l}{b} \rho''; \quad \Delta\alpha_1'' = \frac{l}{c_1} \rho'' - \frac{l}{b_1} \rho'' \quad (10.11.9)$$

$\Delta\alpha$  და  $\Delta\alpha_1$  გამოთვლილ სიდიდეებს ადარებენ ფაქტიურად გაზომილი კუთხეების სხვაობას. განსხვავება დასაშვებია ზედაპირზე არა უმეტეს  $12''$  ინსტრუმენტიდან შვეულამდე 4-6 მ მანძილის დროს და  $8'' - 6$  მ-ზე მეტი მანძილის დროს. მიწისქვეშ, შესაბამისად დაშვებები ტოლია  $15''$  და  $10''$ .

შემაერთებელი სამკუთხედების გაზომილი გვერდების სიგრძეების საკონტროლოდ  $c$  გვერდის გაზომვის დროს მმ-იანი სახაზავით გაზომავენ  $h$  მართობის სიდიდეს (შვეულიდან  $c$  გვერდზე).  $c$  გვერდის სიგრძე შეიძლება მივიღოთ, როგორც ჯამი

მასზე  $a$  და  $b$  გვერდების პროექციებისა, რომელთა სიდიდეებია  $a' = a - h^2/2a$  და  $b' = b - h^2/2b$  და შესაბამისად, ჯამი იქნება

$$c = a' + b' = a + b - \left( \frac{h^2}{2a} + \frac{h^2}{2b} \right). \quad (10.11.10)$$

(10.11.10) ფორმულით გამოთვლილი  $c$  სიდიდის შედარებით გაზომილ  $c$  გვერდთან, მივიღებთ ხაზოვანი გაზომვების საიმედო კონტროლს.

მიწისქვეშა გამონაბუშევრებში პოლიგონომეტრიის პირველი გვერდის სიგრძე მოკლეა, ამიტომ  $A_1$  წერტილში (ნახ.10.11.1) ინსტრუმენტის დაცენტრვის შეცდომა არსებით მნიშვნელობას იძენს. ასე, მაგალითად, თუ ავიღებთ დაცენტრვის შეცდომას  $1$  მმ, პოლიგონომეტრიის გვერდის  $25$  მ სიგრძის დროს, მისმა გავლენამ კუთხურ გაზომვებზე შეიძლება  $8''$  მიაღწიოს. ამ გავლენის შემცირების მიზნით ზოგჯერ მიმართავენ შვეულებზე მიწისქვეშა მომხრობის ირიბ ხერხს, რომელიც თავისუფალია ამ შეცდომის გავლენისგან.

**შემაერთებელი სამკუთხედის გაწონასწორება.** შემაერთებელ სამკუთხედში იზომება სამი გვერდი და ერთი კუთხე, ამიტომ გვაქვს ერთი ჭარბი განაზომი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს გავაწონასწოროთ გაზომვების შედეგები.

პირობით განტოლებას შემდეგი სახე აქვს

$$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ,$$

საიდანაც მივიღებთ

$$(\alpha) + (\beta) + (\gamma) + f = 0,$$

სადაც  $(\alpha)$ ,  $(\beta)$  და  $(\gamma)$  – შესაბამისი კუთხეების შესწორებებია, ხოლო  $f = \alpha + \beta + \gamma - 180^\circ$  – შეუკვრელობაა.

რადგანაც გვერდების გაზომვები ტოლზუსტია, ამიტომ გაწონასწორების შედეგად გაზომილ გვერდებში ვღებულობთ ტოლ შესწორებებს.

შემაერთებელ სამკუთხედში გაზომილი სიდიდეების გაწონასწორება ხდება მხოლოდ გაზომილ მანძილებში შესწორებების შეტანით, ხოლო  $\alpha$  გაზომილი კუთხე არ შესწორდება. ამის გამო გაწონასწორებას ახდენენ გამარტივებული ხერხით – შემდეგი პროგრამის მიხედვით.

გაზომილი გვერდებით და  $\alpha$  კუთხით გამოთვლიან  $\beta$  კუთხეს, ხოლო შემდეგ  $\epsilon$  გვერდის სიგრძეს ფორმულით

$$c_{\beta\alpha} = b \cos \alpha + a \cos \beta. \quad (10.11.11)$$

$c_{\beta\alpha}$  გამოთვლილ სიდიდეს ადარებენ გაზომილს და იგებენ შეუკვრელობის სიდიდეს

$$f_1 = c_{\beta\alpha} - c_{\beta\alpha}, \quad (10.11.12)$$

შეუკვრელობით კი გამოვითვლით გაზომილ გვერდებში შესწორებებს:

$$(a) = -\frac{f_1}{3}; \quad (b) = -\frac{f_1}{3}; \quad (c) = +\frac{f_1}{3}. \quad (10.11.13)$$

შემაერთებელი სამკუთხედებით ორიენტირების სიზუსტე. შემაერთებელი სამკუთხედებით ორიენტირების სიზუსტე შეიძლება გამოვსახოთ ფორმულით

$$m_0^2 = m_{\alpha_{\beta\alpha}}^2 + m_{\alpha_{\beta}}^2 + m_{\beta_{\alpha}}^2 + m_{\beta_{\alpha\alpha}}^2, \quad (10.11.14)$$

სადაც  $m_{\alpha_{\beta\alpha}}$  არის გამოსავალი დირექციული კუთხის შეცდომა;  $m_{\alpha_{\beta}}$  – ორიენტირების შეცდომა, გამოწვეული გვერდების გაზომვით;  $m_{\beta_{\alpha}}$  – ორიენტირების შეცდომა, გამოწვეული კუთხეების გაზომვით;  $m_{\beta_{\alpha\alpha}}$  – ორიენტირების შეცდომა, გამოწვეული შვეულების მიწისქვეშ დაპროექციებით.

$m_{\alpha_{\beta\alpha}}$  განისაზღვრება საგვირაბო ტრიანგულაციის შეფასებიდან იმ გვერდისთვის, რომლიდანაც დირექციული კუთხე გადაეცემა მიწისქვეშ. ეს შეცდომა არ აღემატება  $3''$ .

ზაზოვანი გაზომვებით გამოწვეული შეცდომების გავლენა ორიენტირების საერთო ცდომილებაში გამისაზღვრება (10.11.6) ფორმულის გამოყენებით ზედაპირზე და მიწისქვეშ.

კუთხური გაზომვებით გამოწვეული შეცდომების გავლენა ორიენტირების შეცდომაზე შეიძლება განვსაზღვროთ ზედაპირზე და მიწისქვეშ (10.11.7) ფორმულის გამოყენებით.

შვეულების პროექტირების  $m_{\alpha_{\text{კ.ე.}}}$  შეცდომა  $\sim 80$  მ სიღრმეზე ცდების მონაცემებით მიიღება  $\sim 8^{\text{მმ}}$ .

რადგანაც ორიენტირების პროცესი შვეულების სამი მდებარეობით სრულდება, ამიტომ ორიენტირების მიღებული საერთო შეცდომის სიდიდე შემცირდება  $\sqrt{3}$ -ჯერ. ამასთან გამოსავალი დირექციული კუთხის შეცდომის და დაპროექციების შეცდომის სისტემატური წილის გავლენა არ მცირდება. ამიტომ შვეულების სამი მდგომარეობის დროს ორიენტირების მოსალოდნელი ცდომილების გამოსათვლელი ფორმულა მიიღებს სახეს

$$M_2 = \sqrt{m_{\alpha_{\text{კ.ე.}}}^2 + \frac{m_{\alpha_1}^2 + m_{\alpha_2}^2 + m_{\alpha_{\text{კ.ე.}}}^2}{3} + m_{\alpha_{\text{კ.ე.}}}^2}. \quad (10.11.15)$$

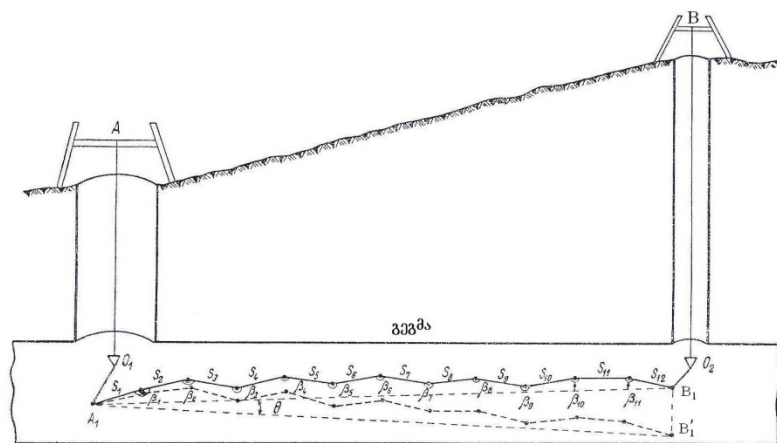
სადაც  $m_{\alpha_{\text{კ.ე.}}}$  არის შვეულების დაპროექციებით გამოწვეულ შეცდომაში შემთხვევითი შეცდომების წილი, ხოლო  $m_{\alpha_{\text{კ.ე.}}}$  – იგივე შეცდომაში სისტემატური შეცდომების წილი.

თუ (10.11.15) ფორმულით მიღებული შედეგი სიზუსტის თვალსაზრისით არ გვაკმაყოფილებს, მაშინ უნდა ჩატარდეს კიდევ ერთი ილეთი, რაც ორიენტირების შეცდომას შეამცირებს  $\sqrt{2}$ -ჯერ. ილეთში ამ შემთხვევაში იგულისხმება შვეულების 3-ჯერ შეცვლილი მდებარეობა.

## 10.12. ორი შახტით ორიენტირება

**პირველი შემთხვევა.** ქვემოთ აღწერილი შემთხვევა გვაქვს მაშინ, როცა შახტში ან ჭაბურღილში ჩაშვებულია თითო შვეული. ამ შემთხვევაში კოორდინატები გადაეცემა შვეულებით, ხოლო დირექციული კუთხე მიწისქვეშ განისაზღვრება პირობითი დირექციული კუთხის გამოყენებით. ორიენტირების სქემა წარმოდგენილია ნახაზზე (10.12.1).

დავუშვათ, რომ  $A$  ჭაურიდან (ან ჭაბურღილიდან)  $E$  ჭაბურღილამდე მიწისქვეშ გაყვანილია  $A_1B_1$  პოლიგონომეტრიული სვლა, რომელშიც გაზომილია  $S_i$  გვერდების სიგრძეები და  $\beta_i$  კუთხეები (ნახ.10.12.1). ჭაბურღილებში ჩაშვებულია  $O_1$  და  $O_2$  შვეულები. ამ შვეულების კოორდინატები ზედაპირზე განსაზღვრულია ძირითადი პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან, ხოლო მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის საწყისი და ბოლო ( $A_1$  და  $B_1$ ) პუნქტები დაკავშირებულია შვეულებთან. ამგვარად, მიღებულია ამ პუნქტების გამოსავალი კოორდინატები მიწისქვეშ.



ნახ. 10.12.1

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლის ორიენტირებისათვის მივიღოთ სვლის პირველი გვერდისთვის პირობითი დირექციული კუთხე და მისი მეშვეობით გამოვთვალოთ სვლის უკანასკნელი  $B_1'$



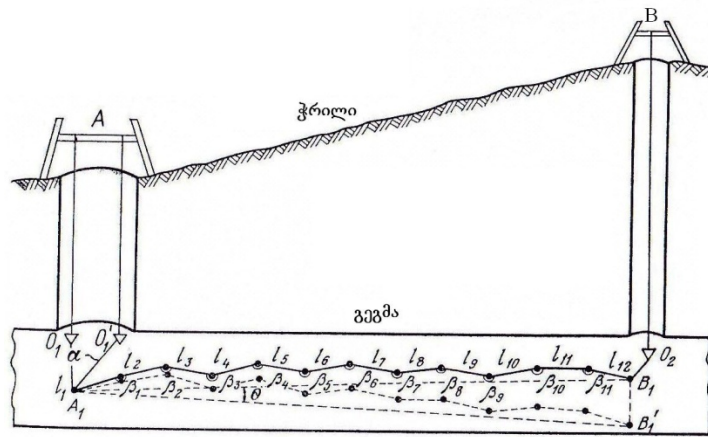
პუნქტის კოორდინატები. ნათელია, რომ ნახაზზე წარმოდგენილი  $\theta$  კუთხე, რომელიც გამოითვლება  $A_1$  და  $B_1$ , აგრეთვე  $B_1'$  წერტილების კოორდინატებით სვლების  $(A_1 B_1$  და  $A_1 B_1')$  დიაგონალებს შორის შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანებით, იქნება ის კუთხე, რომლითაც შეგვეძლება გადასვლა პოლიგონომეტრიული სვლის პირობითი ორიენტირებიდან ჭეშმარიტ ორიენტირებაზე. ეს კუთხე ტოლია  $\theta = \alpha_{A_1 B_1} - \alpha_{A_1 B_1'}$ .

პოლიგონომეტრიული სვლების ორიენტირების ზემოთ აღწერილი ხერხის დროს, მიწისქვეშა სვლების გვერდების და კუთხეების განაზომთა შეცდომები, რომლებიც მოქმედებენ ბოლო პუნქტის ძვრაზე სვლის დიაგონალის მართობულად, მთლიანად შედის  $\theta$  კუთხის განსაზღვრაში, რითაც ამცირებს პოლიგონომეტრიული სვლის გვერდების ღირეცეციული კუთხეების მიღების სიზუსტეს.

ამ ხერხის უპირატესობა მდგომარეობს მასში, რომ იგი საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ პოლიგონომეტრიის მთელი სვლის ღირეცეციული კუთხე საკმაოდ მაღალი სიზუსტით ( $8 - 10''$ ), მაშინ, როცა სხვა ხერხები მხოლოდ სვლის პირველი გვერდის ღირეცეციულ კუთხეს გვაძლევენ. მაგრამ მისი ნაკლია – შეზღუდულ პირობებში გამოყენება. იგი გამოიყენება მხოლოდ ჭაბურღილების არსებობისა და გვირაბის ტრასის სწორხაზოვნობის ან დიდი მოხვევის რადიუსის დროს.

**მეორე შემთხვევა**ს იყენებენ მაშინ, როცა ერთერთი ჭაური ვიწრო ჭაბურღილის სახითაა გაყვანილი, სადაც მხოლოდ ერთი შვეულის ჩაშვებაა შესაძლებელი, მეორე კი წარმოდგენილია დიდი დიამეტრის ჭაურით, სადაც ორი შვეულია ჩაშვებული. ამგვარად, წარმოიქმნება მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლის გაყვანის ამოცანა **A** ჭაურიდან (ნახ.10.12.2), სადაც განსაზღვრულია  $A_1 O_1$  გვერდის ღირეცეციული კუთხე და  $A_1$  პუნქტის კოორდინატები, **E**

ჭაბურღილამდე, სადაც შვეულის დახმარებით გადაცემულია მხოლოდ  $B_1$  პუნქტის კოორდინატები.



ნახ. 10.12.2

$A$  ჭაურიდან გვირაბის სანგრევის გადაადგილებასთან ერთად  $A_1O_1$  საწყისი გვერდიდან გაყავთ მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლა  $A_1B_1$ , რომელშიც იზომება  $l_i$  გვერდები და  $\beta_i$  კუთხეები. სვლის ბოლო პუნქტს დააკავშირებენ  $B_1$  პუნქტთან ცნობილი კოორდინატებით.

თუ  $B$  ჭაბურღილში ჩაშვებული შვეულის კოორდინატებს ზედაპირზე, რომლებიც მიიღება ძირითადი პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან, აღვნიშნავთ  $x_B$  და  $y_B$ , ხოლო იგივე შვეულის კოორდინატებს მიწისქვეშა, რომლებიც მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის სვლიდან მიიღება –  $x_{B_1}$  და  $y_{B_1}$ , მაშინ კოორდინატთა ღერძების მიმართ შეუკვრელობები ტოლი იქნება

$$\left. \begin{aligned} f_x &= x_B - x_{B_1} \\ f_y &= y_B - y_{B_1} \end{aligned} \right\} \quad (10.12.1)$$

ამ შეუკვრელობებით შეიძლება გამოვთვალოთ  $t$  გრძივი და  $u$  განივი შეუკვრელობები. გაჭიმული პოლიგონომეტრიული სვლისთვის სათანადო ფორმულებს შემდეგი სახე ექნება:

$$t = \frac{f_y[\Delta y] - f_x[\Delta x]}{L}, \quad u = \frac{f_y[\Delta x] - f_x[\Delta y]}{L}, \quad (10.12.2)$$

სადაც  $L$  არის გაჭიმული პოლიგონომეტრიული სვლის სიგრძე;  $[\Delta x]$  და  $[\Delta y]$  – აბსცისების და ორდინატების ნაზრდების ჯამი მთელი სვლისთვის.

მიღებული  $t$  და  $u$  სიდიდეების კონტროლი შეიძლება ფორმულით

$$f_x^2 + f_y^2 = f_i^2 = t^2 + u^2 \quad (10.12.3)$$

განივი  $u$  შეუკერელობა მიწისქვეშა გეოდეზიური საფუძვლის ორი შახტით ორიენტირებისათვის გამოსავალ სიდიდეთ ითვლება. მისი წარმოშობის მიზეზებია: ზედაპირზე გეოდეზიური საფუძვლის შეცდომები; მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიაში კუთხური გაზომვების შეცდომები და  $A_1O_1$  (ნახ.10.12.2) გამოსავალი ხაზის ორიენტირების შეცდომა. თუ ჩამოთვლილ შეცდომებს აღვნიშნავთ, შესაბამისად  $m_{u_1}$ ,  $m_{u_2}$  და  $m_{u_3}$ -ით, მაშინ სვლის განივი შეცდომის მოსალოდნელი სიდიდის ანგარიშისთვის შეიძლება ვისარგებლოთ ფორმულით

$$m_u = \sqrt{m_{u_1}^2 + m_{u_2}^2 + m_{u_3}^2} \quad (10.12.4)$$

ძირითადი პოლიგონომეტრიული სვლა ზედაპირზე უზრუნველყოფს  $1:30000$  ფარდობით ცდომილებას. გვირაბის ტრასის ღერძისადმი განივი მიმართულებით ეს შეცდომა შემცირდება  $\sqrt{2}$ -ჯერ. ამგვარად, გვაქვს  $m_{u_1} = \frac{L}{30000\sqrt{2}} = \frac{L}{42300}$ , სადაც  $L$  – ჭაურსა და ჭაბურღილს შორის მანძილია. შეცდომების საერთო ანგარიშში  $m_{u_1}$  შეცდომას მისი სიმცირის გამო უგულებელყოფენ.

გაჭიმულ მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიულ სვლაში

$$m_{u_2} = \frac{m_g}{\rho} L_1 \sqrt{\frac{n+1,5}{3}}, \quad (10.12.5)$$

სადაც  $m_g$  არის მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლის კუთხის გაზომვის სკმ;  $L_1$  – მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლის სიგრძე ( $L_1 \approx L$ );  $n$  – სვლაში გვერდების რაოდენობა.

გამოსავალი გვერდის დირექციული კუთხის შეცდომის გავლენა განივ ძვრაზე განისაზღვრება ფორმულით

$$m_{\alpha_g} = \frac{m_g''}{\rho''} \cdot L, \quad (10.12.6)$$

სადაც  $m_g$  – მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლის გამოსავალი გვერდის დირექციული კუთხის შეცდომაა, შემაერთებული სამკუთხედების ხერხით ორიენტირებისას.

ამრიგად, მეორე შემთხვევისას ორი შახტით ორიენტირების ხერხის სიზუსტეზე გავლენას ახდენენ გეოდეზიური საფუძვლის აგების შეცდომები ზედაპირზე, ჭაურთან და ჭაბურღილთან მისასვლელი პოლიგონომეტრიის სვლებში გვერდების გაზომვის შეცდომები და მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიაში კუთხური გაზომვების შეცდომები. ყველა ამ შეცდომათა შედეგად ჯამური სკმ ორი შახტით ორიენტირებისას 2 კმ სვლის დროს შეადგენს  $8 - 10''$ , რითაც იგი ერთერთ მისაღებ ხერხად ითვლება სხვა დანარჩენებს შორის.

### 10.13. გიროთეოდოლიტით ორიენტირება

გიროსკოპული ორიენტირება ავტონომიური ორიენტირების ერთერთ პროგრესულ ხერხს წარმოადგენს. იგი საშუალებას გვაძლევს ნებისმიერ დროს, ნებისმიერ სიღრმეზე და ჭაურიდან ნებისმიერ მანძილზე განვსაზღვროთ მიმართულების დირექციული კუთხე ან აზიმუტი მიწისქვეშა გამონამუშევარში და არ თხოულობს სამუშაოების შეჩერებას ორიენტირების პროცესის

მიმდინარეობისას. ღირეპქციული კუთხის განსაზღვრის სკმ მერყეობს **5 – 10"** ფარგლებში.

გიროსკოპი წარმოადგენს მოწყობილობას, რომელიც შედგება სწრაფად მბრუნავი დინამიურად სიმეტრიული როტორისა და საყრდენების სისტემისგან, რომელიც უზრუნველყოფს როტორის მოძრაობას (**~25000** ბრ/წ) იმ უძრავი წერტილის გარშემო, რომელიც მის მთავარ ღერძზე მდებარეობს. ასეთ გიროსკოპს სამ ხარისხიანს უწოდებენ. თუ მისი სიმძიმის ცენტრი შეთავსებულია ჩამოკიდების წერტილთან – გიროსკოპს თავისუფალს უწოდებენ. გიროთეოდოლიტები მომარაგებულია მიყოლის (თვალთვალის) სისტემებით, რომელთა დანიშნულებაა შეათანხმოს კუთხმზომი ნაწილის მოძრაობები მგრძნობიარე ელემენტის მოძრაობასთან.

მიწისქვეშა გამონამუშევრების უშუალოდ ორიენტირების წინ და შემდეგ განსაზღვრავენ ცნობილი ღირეპქციული კუთხის მქონე გვერდზე (ტრანგულაციის ან ძირითადი პოლიგონომეტრიის) გიროთეოდოლიტის მუდმივ შესწორებას. ორიენტირების შედეგების დამუშავებისას მხედველობაში იღებენ შესწორების საშუალო სიდიდეს.

გიროთეოდოლიტის მუდმივი შესწორება  $\Delta$  გამოითვლება ფორმულით

$$\Delta = \alpha_{\text{გაგ}} - \alpha_{\text{გაგ,გირ}} + \gamma_{\text{გაგ}} - \delta_{\text{გგ}}, \quad (10.13.1)$$

სადაც  $\alpha_{\text{გაგ}}$  არის ღირეპქციული კუთხე იმ გამოსავალი მიმართულებისა, რომელზეც ისაზღვრება გიროთეოდოლიტის მუდმივი შესწორება;

$\alpha_{\text{გაგ,გირ}}$  – გამოსავალი მიმართულების ღირეპქციული კუთხე, განსაზღვრული გიროთეოდოლიტით;

$\gamma_{\text{გაგ}}$  – პერიდიანების შეახლოების კუთხე გამოსავალი მიმართულებისათვის;

$\delta_{\text{გგ}}$  – გამოსავალ მიმართულებაში შესწორებაა შვეული ხაზის გადახრისათვის.

მერიდიანების შეახლოება შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით

$$r = \lambda \sin \varphi, \quad (10.13.2)$$

სადაც  $\lambda$  არის გრძედების სხვაობა დგომის წერტილსა და ღერძულ მერიდიანს შორის;  $\varphi$  – დგომის წერტილის განედი.

შვეული ხაზების გადახრისათვის შესწორება შეაქვთ მიმართულებაში, თუ მისი გადახრის კუთხე აღემატება  $8''$ , ხოლო შესწორების სიდიდე აღემატება  $4''$ . მისი სიდიდე გამოითვლება ფორმულით

$$\delta = \frac{(\eta \cos \alpha - \xi \sin \alpha)}{\operatorname{tg} z}, \quad (10.13.3)$$

სადაც  $\xi, \eta$  – შვეულის გადახრის შემადგენლებია მერიდიანისა და პირველი ვერტიკალის სიბრტყეებში;  $z$  – დასაკვირვებელი მიმართულების ზენიტური მანძილია.

თუ მიმართულების საწყისი და ბოლო პუნქტების  $\eta$  სიდიდე აღემატება  $2''$ , მაშინ მიმართულებაში შეაქვთ შესწორება ასტრონომიული და გეოდეზიური მერიდიანების სიბრტყეთა დაუძმხვევლობისათვის, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$\delta_1 = \eta \operatorname{tg} \varphi. \quad (10.13.4)$$

შვეული ხაზების გადახრისათვის საერთო შესწორება ტოლი იქნება

$$\delta_{\Sigma} = \delta + \delta_1 \quad (10.13.5)$$

მუდმივი შესწორების თითოეული განსაზღვრა სრულდება გიროთეოდოლიტის ორი გაშვებით. ამ გაშვებებს შორის გიროთეოდოლიტი უნდა გამოირთოს მის სრულ გაცივებამდე.

მუდმივი შესწორების განსაზღვრისათვის გამოყენებული გვერდის სიგრძე  $100$  მ-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს, ხოლო იმ გვერდის სიგრძე, რომლის დირექციული კუთხეც ისაზღვრება,  $30$  მ-ზე მეტი უნდა იყოს.

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის გვერდის ღირებულებას კუთხეს განსაზღვრავენ ორჯერ – პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით, გიროთეოდოლიტის ადგილების შეცვლით.

ინსტრუქციით რეკომენდებულია სადგურზე ერთი ილეთის შესრულება შემდეგი თანმიმდევრობით:

- 1) დამზერა ღირებულებული კუთხის განსაზღვრელი ხაზის ბოლო პუნქტში „წრედი მარჯვნივ“ და „წრედი მარცხნივ“ მდგომარეობებში, გიროთეოდოლიტის ლიბზე ანათვლების ადგილი;
- 2) გრეხითი ჩამოკიდების ნულპუნქტის განსაზღვრა;
- 3) მომუშავე გირომეტრის მგრძნობიარე ელემენტის იძულებით რხევაზე დაკვირვება და დინამიური წონასწორობის მდგომარეობის გამოთვლა;
- 4) გრეხითი ჩამოკიდების ნულპუნქტის განსაზღვრა;
- 5) „წრედი მარჯვნივ“ და „წრედი მარცხნივ“ მდგომარეობისას დამზერა და ანათვლების ადგილი ღირებულებული კუთხის განსაზღვრელი ხაზის ბოლოში.

ორიენტირების დროს უნდა მიღებულ იქნას ყველა ღონისძიება, რათა უზრუნველყოთ გიროთეოდოლიტის მყარი მდგომარეობა ილეთის მიმდინარეობის დროს.

გიროთეოდოლიტით განსაზღვრელი ღირებულებული კუთხე გამოითვლება ფორმულით

$$\alpha = \alpha_{\text{გირ.}} + \Delta - \gamma + \delta_{\text{წკ}}, \quad (10.13.6)$$

სადაც  $\alpha_{\text{გირ.}}$  არის მიმართულების გიროსკოპული აზიმუტი;

$\Delta$  – გიროთეოდოლიტის მუდმივი შესწორება;

$\gamma$  – პერიდიანების შეახლოება;

$\delta_{\text{წკ}}$  – შვეული ხაზის გადახრისთვის შესწორება.

გიროსკოპული აზიმუტი განისაზღვრება ფორმულით

$$\alpha_{\text{გირ.}} = M - N_{\text{გ}}, \quad (10.13.7)$$

სადაც  $M$  არის გიროთეოდოლიტის ლიმბზე ანათვალი ხაზის ბოლოში;

$N_0$  – ლიმბზე ანათვალი, რომელიც შეესაბამება წონასწორობის მდგომარეობას და გამოითვლება ფორმულით

$$N_0 = N_{\text{სა}} + \delta_N, \quad (10.13.0)$$

სადაც  $N_{\text{სა}}$  არის მგრძნობიარე ელემენტის დინამიური წონასწორობის საშუალო მდგომარეობის შესაბამისი ანათვალი ლიმბზე, რომელიც გამოთვლილია რევერსიის ოთხი წერტილით;

$\delta_N$  – გრეხითი ნულადგილისთვის შესწორება –  $\delta_N = CP_0$ , სადაც

$C$  – მომუშავე გირომოტორის გრეხითი მახასიათებელი კოეფიციენტი;

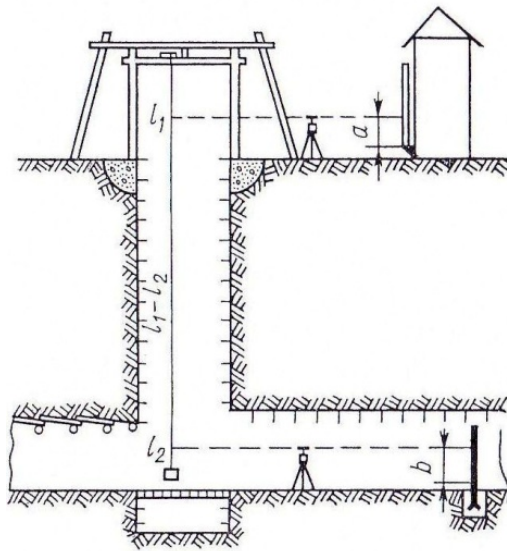
$P_0$  – ნულპუნქტის მდებარეობა, რომელიც განსაზღვრულია რევერსიის წერტილებში ავტოკოლიმატორის სკალაზე ანათვლებით.

## 10.14. ნიშნულის გადაცემა ზედაპირიდან მიწისქვეშ

გვირახის მშენებლობისას ნიშნულებს ზედაპირიდან მიწისქვეშ გადასცემენ პორტალებიდან ან შახტის ჭაურიდან. გამოსავალია ზედაპირზე, ჭაურთან ახლოს ჩაბეტონებული III კლასის რეპერი ან კედლის მარკა. რადგან ჭაურის ახლოს მოედანი დაწვევას განიცდის, ამიტომ ნიშნულის გადაცემის წინ ასრულებენ გამოსავალი რეპერის საკონტროლო ნიველობას.

ნიშნულის გადასაცემად ჭაურში ჩაკიდებენ კომპარირებულ რულეტს (ხვეულას) ნულოვანი შტრიხით ქვემოთ. მასზე მოაბამენ 10 კგ ტვირთს. ამავე წონაზეა კომპარირებული რულეტიც. ზედაპირზე და მიწისქვეშ დააყენებენ ნიველირებს, როგორც ეს ნახ.(10.14.1)-ზეა ნაჩვენები.





ნახ. 10.14.1

ზედაპირზე ნიველირით აიღებენ ანათვლებს რულებზე ( $l_1$ ) და ლარტყაზე ( $a$ ), რომელიც გამოსავალ კედლის მარკაზეა დადგმული. მიწისქვეშ, ასევე ნიველირით აიღებენ ანათვლებს რულებზე ( $l_2$ ) და ნიშნულის გადასაცემ რეპერზე დადგმულ ლარტყაზე ( $b$ ).

**150** მ-ზე მეტი სიღრმის დროს ნიშნულის გადაცემისას იყენებენ სიღრმის გამზომ ხელსაწყოს, რომელიც საზომი დისკოსა და მავთულისაგან შედგება. მავთულზე ამაგრებენ ორ სკალას (ზედაპირზე და მიწისქვეშ) ინსტრუმენტის დონეზე და მათ შორის მანძილს ზომავენ საზომი დისკოთი.

ნიშნულის გადაცემის პროცესში ერთდროულად იღებენ ანათვლებს რულებზე ზევით და ქვევით, შემდეგ კი აიღებენ ანათვლებს ლარტყებზე. მიწისქვეშა რეპერის ნიშნული გამოითვლება ფორმულით

$$H_2 = H_1 + a - [(l_1 - l_2) + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3] - b, \quad (10.14.1)$$

სადაც  $H_1$  არის გამოსავალი რეპერის ან მარკის ნიშნული ზედაპირზე;  $a$  – ანათვალ ლარტყაზე ზედაპირზე;  $b$  – ანათვალ

ლარტყაზე მიწისქვეშ;  $l_1$  – ანათვალ რულეტზე ზედაპირზე;  $l_2$  – ანათვალ რულეტზე მიწისქვეშ;  $\Delta_t$  – რულეტის სიგრძეში შესწორება ტემპერატურის ცვლილების გამო;  $\Delta_E$  – რულეტის სიგრძეში შესწორება კომპარირების შედეგად;  $\Delta_l$  – რულეტის სიგრძეში შესწორება დაჭიმულობის გამო.

ტემპერატურის ცვლილებით გამოწვეული შესწორება ტოლია

$$\Delta_t = \alpha (l_1 - l_2) (t_{\text{ს.გ.}} - t_0),$$

სადაც  $t_0$  არის რულეტის დამზადებისას ტემპერატურა;  $\alpha$  – რულეტის მასალის (ფოლადის) ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტი და ტოლია  $\alpha = 0,000011$ ;  $t_{\text{ს.გ.}}$  – საშუალო ტემპერატურა, რომლის მისაღებად ტემპერატურას ზომავენ ზედაპირზე, მიწისქვეშ გამონამუშევრის დონეზე და ჭაურის ტანში ყოველ 5 მ-ში.

შესწორება რულეტის საკუთარი წონით გამოწვეული დაჭიმულობისთვის გამოითვლება ფორმულით

$$\Delta_l = \frac{Pl}{2EF},$$

სადაც  $P$  არის რულეტის საკუთარი მასა, კგ;  $l$  – რულეტის სიგრძე, მ;  $E$  – დრეკადობის მოდული, კგ/სმ<sup>2</sup>;  $F$  – რულეტის განივკვეთის ფართობი, სმ<sup>2</sup>.

მიწისქვეშ რეპერის ნიშნულს განსაზღვრავენ ინსტრუმენტის რამდენიმე პორიზონტით და მათ შორის განსხვავებამ არ უნდა გადააჭარბოს 4 მმ.

გვირაბის სანგრევის გადაადგილებასთან ერთად ნიშნულებს გადასცემენ სანიველო სვლებით პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით. სამუშაო რეპერებად იყენებენ მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის პუნქტების ნიშნებს. ჭერში ჩამაგრებული ნიშნის სიმაღლეს ანგარიშობენ ფორმულით –  $H_z = H_n + a + b$ , სადაც  $H_n$  არის გვირაბის იატაკში ჩამაგრებული რეპერის

ნიშნული;  $a$  – ამ რეპერზე დაყენებულ ლარტყაზე ანათვალი;  $b$  – ჭერში ნიშანზე მიღებულ ლარტყაზე ანათვალი (ნულით ზევით).

მიწისქვეშა ნიველობის შეკრულ სვლებში დასაშვები შეუკვრელობა ტოლია  $f_n = 2\sqrt{n}$  მმ, სადაც  $n$  – პოლიგონში სადგურების რიცხვია.

დასაშვები შეუკვრელობა სანიველო სვლებში იმ რეპერებს შორის, რომლებზეც ზედაპირიდანაა გადაცემული ნიშნულები, იანგარიშება ფორმულით

$$f_{n_2} = \sqrt{(\Delta h_2 \sqrt{L})^2 + (\Delta h_1 \sqrt{L_1})^2 + (\Delta h_2 \sqrt{2})^2}, \quad (10.14.2)$$

სადაც  $\Delta h_2$ ,  $\Delta h_1$  არის 1 კმ-ზე ნიველობის შემთხვევითი შეცდომები შესაბამისად, ზედაპირზე და მიწისქვეშ;  $\Delta h_2$  – ნიშნულის გადაცემის შეცდომა ერთი ჭაურისთვის;  $L$ ,  $L_1$  – სანიველო სვლების სიგრძეები ზედაპირზე და მიწისქვეშ, კმ-ში. ჩვეულებრივ, მიიღება  $\Delta h_2 = \Delta h_1 = 7$  მმ,  $\Delta h_2 = 4$  მმ და (10.14.2) ფორმულა მიიღებს სახეს

$$f_{n_2} = \sqrt{49L + 49L_1 + 32}, \text{ მმ}$$

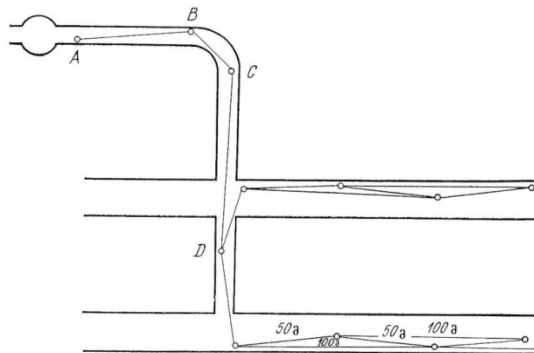
ჭაურიდან ნიშნულის ყოველი გადაცემის შემდეგ ასრულებენ ჭაურიდან გვირაბის სანგრევამდე განმეორებით საკონტროლო ნიველობას. რეპერების დაჯდომის აღმოჩენისას, ნიველობას ასრულებენ პერიოდულად დაჯდომის სიდიდისა და ინტენსივობის გამოსავლენად. განმეორებითი ნიველობის პერიოდულობას ადგენენ გამოვლენილი დაჯდომების სიდიდისა და სიჩქარის მიხედვით.

## 10.15. მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლები

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის ქსელი ნიველობასთან ერთად წარმოადგენს საფუძველს გვირაბების ღერძებისა და კონტურების ნატურაში გადატანისა და შემხვედრი სანგრეგების ზუსტი შეხვედრის უზრუნველსაყოფად, აგრეთვე გვირაბის ექსპლუატაციაში ჩაბარებისთვის საჭირო შესრულებითი ნახაზების შესადგენად.

პოლიგონომეტრიის ქსელის განვითარება ხორციელდება ვერტიკალური ჭაურიდან ორიენტირებული საწყისი გვერდიდან, ან უშუალოდ ზედაპირული გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტებთან დაკავშირებით დახრილი გამონამუშევრის, შტოლნის ან პორტალის საშუალებით. იგი ვითარდება სანგრეგების გადაადგილებასთან ერთად.

გვირაბის ტრასის კონფიგურაციის, სიგრძისა და მიწისქვეშა პირობების მიხედვით პოლიგონომეტრიის გვერდის სიგრძეს იღებენ: საშუაო სვლებისთვის – **25 + 50** მ, ძირითადი პოლიგონომეტრიის სვლებისთვის – **50 + 100** მ. სანგრეგის ჭაურიდან დაშორებისას, ძირითადი მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის პუნქტებზე გაყავთ მთავარი სვლები. ზომავენ კუთხეებს დიაგონალებს შორის, რომლებიც ძირითადი პოლიგონომეტრიის დაშორებულ პუნქტებს აკავშირებს (ნახ.10.15.1)



ძირითად პოლიგონომეტრიულ სვლებს ქმნიან წაგრძელებული სამკუთხედების რიგის სახით. მუშა პოლიგონომეტრიული სვლის პუნქტებს ჩართავენ ძირითადი პოლიგონომეტრიული სვლის სქემაში. პუნქტებს გვირაბში ამაგრებენ ბეტონში მეტალის ღეროებით იატაკზე, ჭერში ან გვერდებში. ნიშნის ცენტრს აფიქსირებენ **1 – 2** მმ დიამეტრის ნახვრეტით, რომელსაც სპილენძით მოქლონავენ.

მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიულ სვლაში გვერდის სიგრძეს ზომავენ ფოლადის კომპარირებული რულეტით ან მავთულით პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით, კიდულად ან თანამედროვე ზუსტი მანძილზომებით, რომელთა გამოყენებაც ნებადართულია მიწისქვეშ.

მუშა პოლიგონომეტრიულ სვლაში კუთხე იზომება **3 – 5<sup>II</sup>** სკშ. მისასვლელი და ძირითადი პოლიგონომეტრიის სვლაში – **1 – 2<sup>II</sup>** სკშ თუ გვერდების სიგრძე მეტია **100** მ-ზე, მაშინ კუთხეები იზომება **1<sup>II</sup>**-ზე ნაკლები სკშ. მთავარი სვლები გაყავთ შემხვედრი სანგრევების შეხვედრის უზრუნველსაყოფად, ამიტომ კუთხეები ამ დროს გაცილებით მეტი სიზუსტით უნდა გაიზომოს.

მოკლე გვერდების დროს კუთხეების გასაზომად იყენებენ ირიბ ხერხს, რომელსაც ფართო გამოყენება აქვს გვირაბების გადაკვეთის ადგილებში, შტოლნიდან გვირაბში მიმართულების გადაცემისას, ორი პარალელური გვირაბის განივ გამკვეთებში პოლიგონომეტრიული სვლების დასაკავშირებლად და სხვ. ყველა ამ შემთხვევაში გაჭიმულ სამკუთხედებში ზომავენ ბლავ კუთხეს და ამ კუთხის წვეროში შემავალი გვერდების სიგრძეებს, ხოლო მახვილი კუთხეები გამოითვლება ორი გვერდითა და ერთი კუთხით.

შემხვედრი სანგრევების საჭირო სიზუსტით შეხვედრის უზრუნველსაყოფად მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის სვლებში კუთხურ გაზომვებს ასრულებენ არა ნაკლებ ორჯერ სხვადასხვა

დროს. სამკუთხედებში კუთხური შეუკვრელობები ძირითადი პოლიგონომეტრიის 50მ და 100მ გვერდების სიგრძეების დროს არ დაიშვება:  $6''$ -ზე მეტი – კუთხეების ერთჯერადი გაზომვის დროს და  $6''$ -ზე მეტი სხვადასხვა დროს რამდენჯერმე გაზომვის დროს. შეკრულ პოლიგონში დასაშვებ შეუკვრელობას ანგარიშობენ ფორმულით –  $f_{\beta}'' = 6''\sqrt{n}$ . ფარდობითი ხაზოვანი შეუკვრელობა კი დაიშვება არა უმეტეს 1:25000. 250 მ-ზე მცირე პერიმეტრის დროს, აბსოლუტური შეუკვრელობა არ უნდა იყოს 10 მმ-ზე მეტი.

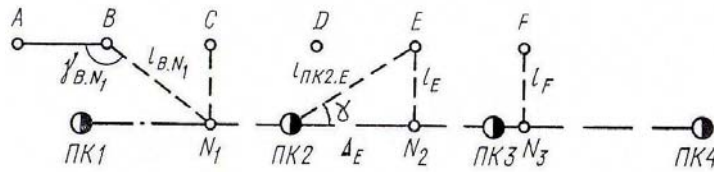
კოორდინატების გამოთვლის წინ კუთხურ შეუკვრელობას ანაწილებენ თანაბრად სამკუთხედში, ხოლო ხაზოვან გაზომვებს აწონასწორებენ ისევე, როგორც შემაერთებული საკუთხედების ხერხით ორიენტირებისას.

## 10.16. გვირაბის ღერძის დაკვალვის ხერხები

გვირაბის დაპროექტებული ტრასისა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ღერძების მდებარეობა საპროექტო ნახაზებზე მოცემულია ტრასის დამახასიათებელი წერტილების კოორდინატებით და ცალკეულ ნაგებობათა ზომებით იმ სიზუსტით, რომელიც მათ ნატურაში გადატანას უზრუნველყოფს.

გვირაბის ღერძს კვალავენ მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან. მაგალითად, ღერძზე მდებარე  $N_1$  წერტილის დასაკვალავად პოლიგონომეტრიის  $A, B, C, D, E, F$  პუნქტებიდან (ნახ. 10.16.1) შერჩეული ერთერთი უახლოესი პუნქტიდან (მაგ.  $B$ ) შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანებით გამოთვლიან დამკვალავ ელემენტებს –  $L_{BN_1}$  და  $\gamma_{BN_1}$  და ამ პოლარული კოორდინატებით ნატურაში გადააქვთ  $N_1$  წერტილი. ღერძზე მდებარე  $N_2$  და  $N_3$  წერტილები ნატურაში გადააქვთ  $E$  და  $F$  პოლიგონომეტრიის

პუნქტებიდან პერპენდიკულარების სიგრძეების გადაზომვით გვირახის ტრასის სწორ უბანზე.  $L_E$  პერპენდიკულარის სიგრძეს ანგარიშობენ  $K2EN_2$  სამკუთხედიდან.  $K2$  და  $E$  პუნქტის საპროექტო კოორდინატებით გამოთვლიან  $K2E$  მიმართულების დირექციულ კუთხეს და ამ პუნქტებს შორის მანძილს. შემდეგ გამოთვლიან  $\gamma$  კუთხეს  $K2N_2$  და  $K2E$  მიმართულებებს



ნახ. 10.16.1

შორის, როგორც ტრასის დირექციული კუთხისა და  $K2E$  ხაზის დირექციულ კუთხეებს შორის სხვაობას

$$\gamma_{N_2K2E} = \alpha_{\text{ტრ}} - \alpha_{K2E} \quad (10.16.1)$$

პერპენდიკულარის სიდიდე ტოლი იქნება

$$L_E = L_{K2E} \cdot \sin \gamma_{N_2K2E} \quad (10.16.2)$$

$N_2$  წერტილის საპიკეტაჟო მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის გამოთვლიან  $\Delta_E$  სიდიდეს, რომელიც იმავე სამკუთხედიდან ტოლია

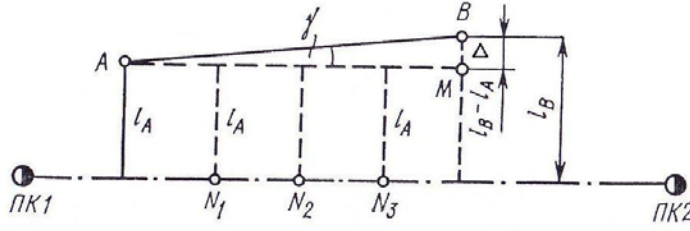
$$\Delta_E = L_{K2E} \cdot \cos \gamma_{N_2K2E} \quad (10.16.3)$$

$N_2$ -ის საპიკეტაჟო მნიშვნელობა იქნება

$$KN_2 = K2 + \Delta_E$$

ტრასის სწორ უბანზე ღერძის პუნქტების გამოტანა შესაძლებელია ტრასის პარალელური ხაზიდან, რომელიც პოლიგონომეტრიის პუნქტზე გადის. ამისათვის გამოთვლიან პოლიგონომეტრიის ორი მოსაზღვრე წერტილის დაშორებებს გვირახის ტრასიდან ზემოთ მოტანილი ფორმულებით.  $E$  პოლიგონომეტრიის პუნქტიდან (ნახ.10.16.2) გადაზომავენ  $L_E - L_A$  სხვაობას და მიიღებენ  $M$  წერტილს.  $AM$  ხაზი გვირახის ღერძის პარალელური იქნება.

გადავზომავთ  $AM$  ხაზიდან  $l_A$  სიდიდეს და მივიღებთ გვირაბის ღერძზე წერტილებს  $N_1, N_2, N_3$  და ა.შ.



6sb. 10.16.2

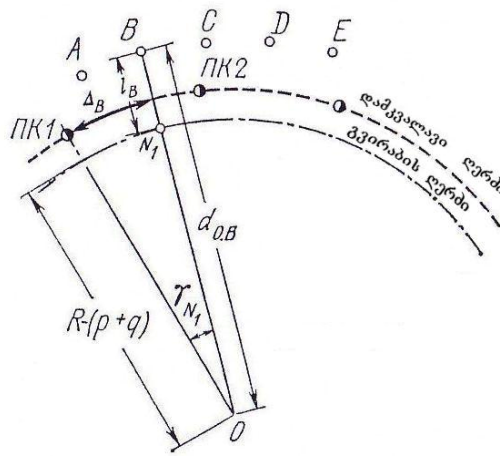
**AM** მიმართულება შეიძლება მივიღოთ **AB** მიმართულებიდან თეოდოლიტით **V** კუთხის გადაზომვით, რომელიც **AE** პოლიგონომეტრიის გვერდისა და გვირაბის ღერძის დირექციული კუთხეების სხვაობის ტოლია.

როცა წერტილი (მაგ.  $N_1$  ნახ.10.16.3-ზე) მდებარეობს მრუდხაზოვანი გვირაბის წრიულ მრუდზე,  $L_E$  მანძილის მისაღებად, ჯერ შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანის გამოყენებით გამოთვლიან  $d_{GE}$  მანძილს პოლიგონომეტრიის პუნქტისა ( $E$  პუნქტი) და წრული მრუდის ცენტრის (0 წერტილი) კოორდინატებით. ამის შემდეგ გამოითვლება  $L_E$

$$l_B = d_{OB} - [R - (P + q)] \quad (10.16.4)$$

$P$  – სიდიდეს ანგარიშობენ (10.7.12) ფორმულით, ხოლო  $q$  – (10.6.1) ფორმულით.





ნახ. 10.16.3

$N_1$  წერტილის პიკეტაჟის დასადგენად, გამოთვლიან  $\gamma_{N_1}$  ცენტრალურ კუთხეს, როგორც სხვაობას  $ON_1$  და  $OK_1$  რადიუსების დირექციულ კუთხეებს შორის. შემდეგ გამოთვლიან რკალის სიგრძეს ტრასის დამკვალავი ღერძის გასწვრივ

$$\Delta_E = \gamma_{N_1} R / \rho$$

სადაც  $R$  – დამკვალავი ღერძის რადიუსია.

$N_1$  წერტილის პიკეტაჟი იქნება

$$KN_1 = K1 + \Delta_E$$

გადასასვლელი მრუდების უბანზე აღწერილი ხერხით დაკვალავენ ტანგენსების ხაზებს, რომლებიც გადასასვლელი მრუდების დასაწყისზე გადიან. ტანგენსების ხაზიდან გადასასვლელი მრუდის წერტილებს დაკვალავენ იმ ხერხით, რომლებიც 10.8. პარაგრაფში იყო გადმოცემული. ნატურაში გადატანილ ტრასის წერტილებს დასაწყისში ამაგრებენ ჭერში, შემდეგ კი აფიქსირებენ იატაკზე შვეულებით.

მეტროპოლიტენის გვირაბების ღია წესით გაყვანისას ტრასა ზედაპირზე გადააქვთ მთელ სიგრძეზე, ხოლო მიწისქვეშა გაყვანისას – მხოლოდ ვესტიბიულების განლაგების ადგილებში.

## 10.17. გეოდეზიური სამუშაოები ვერტიკალური ჭაურის გაყვანისას

ვერტიკალურ გამონამუშევარს, რომელსაც გამოსასვლელი ზედაპირზე აქვს და დანიშნულია მიწისქვეშა სამუშაოების მომსახურებისათვის, ჭაურს უწოდებენ.

ჭაურის ცენტრი ნატურაში გადააქვთ ან სიტუაციის წერტილებზე მიბმის მონაცემებით ან საპროექტო კოორდინატებით, ახლოს განლაგებული საფუძვლის პუნქტებიდან.

ჭაურის გაყვანისას ძირითადად იყენებენ ზევიდან სამაგრის დაშვების, ან ქვევიდან რგოლების მიღმის (მიყვანის) მეთოდებს. პირველს იყენებენ სუსტი ქანების დროს, მეორეს – მაგარ ქანებში.

სამაგრის ზევიდან დაშვებისას თვალი უნდა ვადევნოთ რომ არ მოხდეს მისი ჰორიზონტალური სიბრტყიდან გადახრა და, როგორც შედეგი, ჭაურის გამრუდება, ე.ი. ჭაურის ცენტრი არ გადავიდეს საპროექტო ვერტიკალური მდებარეობიდან. ჭაურის გადახრას განსაზღვრავენ სამაგრის ზედაპირის რამდენიმე წერტილში ნიველობით ან ზედაპირზე ცენტრში ჩამოკიდებული შვეულის გადახრით სამაგრის შიგა ზედაპირიდან. ჩასაშვები სამაგრის გადახრა ვერტიკალიდან იწვევს ქვედა სამაგრის რგოლის ცენტრის ძვრას ზედასთან შედარებით  $\delta = \Delta h \cdot H/d$ , სადაც  $\Delta h$  არის სამაგრი რგოლის ზედა სიბრტყის გადახრის სიდიდე უდიდესი დახრის მიმართულებით;  $d$  – სამაგრი რგოლის დიამეტრი;  $H$  – ჩასაშვები სამაგრის სიგრძე (გაყვანის სიღრმე). ქვედა რგოლის ცენტრის ძვრის სიდიდე დასაშვებია  $0,01H$ .

როცა ადგილი აქვს ჭაურის გადახრას საპროექტო მდებარეობიდან, სამაგრის სიბრტყე ჰორიზონტთან ადგენს კუთხეს. ამ შემთხვევაში სამაგრის ქვევიდან მიღმისას, ჭაური უფრო მეტად გადაიხრება საპროექტო მდებარეობიდან. გადახრის გასასწორებლად იყენებენ სპეციალურ შუასაღებებს (საფენებს).

ქვევიდან სამაგრი რგოლების მიდგმის მეთოდით ჭაურის გაყვანისას რგოლის ცენტრზე დაკვირვებას ახდენენ კაუჭებზე ჩამოკიდებული შვეულებით და საზღვრავენ რგოლის ელიფსურობას. ჭაურის საპროექტო სიღრმემდე გაყვანის შემდეგ ასრულებენ საბოლოო აგებმას შესრულებითი ნახაზის შესადგენად და ჭაურის ღერძისა და ფაქტიური ზომების განსაზღვრავად.

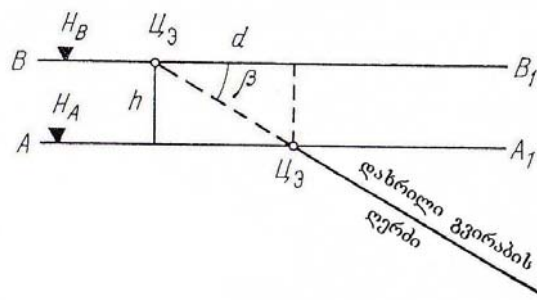
## 10.18. გეოდეზიური სამუშაოები დახრილი გვირაბის გაყვანისას

დახრილი გვირაბი გაყვანის პროცესში სხვადასხვა თვისებების მქონე ქანებს გადაკვეთს, მათ შორის წყალშემცველ ქანებსაც. წყალმოღვის შესამცირებლად ამ დროს გაყინვის მეთოდს იყენებენ. ამ მიზნით გასაყვანი გვირაბის ირგვლივ წრეზე, თანაბარ მანძილზე დაშორებით, ბურღავენ გვირაბის ღერძის პარალელურად დახრილ ჭაბურღილებს. მათში ამონტაჟებენ გრუნტის გამყინავი ხსნარის საცირკულაციო მილებს, რომელთა გარშემო იყინება გრუნტი **1 – 1,5** მ დიამეტრის ცილინდრების სახით.

თუ გვირაბს განივკვეთში აქვს წრიული ფორმა, მაშინ მისი ჰორიზონტალური სიბრტყით გაკვეთით მივიღებთ ელიფსს, რომლის ცენტრი ემთხვევა გვირაბის ცენტრს, აქედან გამომდინარე, დახრილი ჭაბურღილები ზედაპირზე უნდა დაიკვალოს ელიფსზე.

დახრილი გვირაბის ღერძის დირექციული კუთხე და ელიფსის ცენტრის კოორდინატები, დაყვანილნი განსაზღვრულ დონებრივ ზედაპირზე, მოცემული არიან საპროექტო ნახაზზე. ნატურაში ელიფსის ცენტრს კვალავენ მისასვლელი პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან. ელიფსის ცენტრის რეალური სიმაღლის საპროექტოდან მნიშვნელოვანი გადახრის დროს საპროექტო

კოორდინატებში შეაქვთ შესწორებები ღედამიწის ზედაპირისა და დაყვანის ზედაპირის ნიშნულებს შორის განსხვავებისთვის. ამ შესწორებების გამოთვლა შესაძლებელია ნახ. 10.18.1-ზე მოტანილი სქემიდან.



ნახ. 10.18.1

თუ ელიფსის ცენტრის კოორდინატები დაყვანილია  $AA_1$  სიბრტყეზე  $H_A$  სიმაღლით, ხოლო დაკვაღვა სრულდება  $BB_1$  სიბრტყეზე  $H_B$  სიმაღლით, მაშინ ელიფსის  $U_3$  ცენტრი ნატურაში უნდა გადაადგილდეს  $d = h \operatorname{ctg} \beta$  სიდიდეზე, სადაც  $\beta$  – გვირაბის ღერძის დახრის კუთხეა ჰორიზონტთან, ხოლო  $h = H_B - H_A$ .

ელიფსის ცენტრის გადაადგილების მიმართულება  $d$  მანძილზე შეესაბამება დახრილი გვირაბის ღერძის მიმართულებას, რომლის ღირეექციული კუთხე აღვნიშნოთ  $\alpha$ -თი, მაშინ საპროექტო კოორდინატებში შესწორებები განისაზღვრებიან ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= h \operatorname{ctg} \beta \cos \alpha; \\ \Delta y &= h \operatorname{ctg} \beta \sin \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (10.18.1)$$

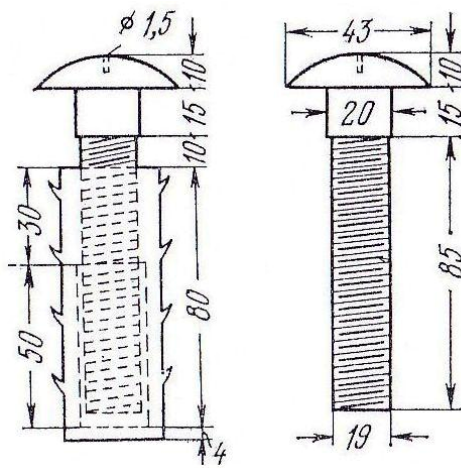
დახრილი გვირაბის ღერძის მიმართულება ნატურაში გადააქვთ მისი საპროექტო ღირეექციული კუთხით და ამაგრებენ ბეტონის მონოლითებით ან ნიშნებით არსებული ფუნდამენტური ნაგებობის კედელზე. დახრილ გამყინავ ჭაბურღილებს ნატურაში დაკვაღვენ ელიფსის ცენტრიდან პოლარული ან მართკუთხა კოორდინატების ხერხით.

მართკუთხა კოორდინატების ხერხით დაკვალვისას  $x$  ღერძის მართობულად ელიფსის ცენტრიდან ერთერთ მხარეს აგებენ ზის ფარგსაკვალავს, რომელზეც გადაიზომება  $x$  და  $y$  მანძილები. პოლარული კოორდინატების ხერხით დაკვალვისას ელიფსის ცენტრში აყენებენ თეოდოლიტს და გადაზომავენ ცენტრალური  $r$  კუთხეების მიმართულებებზე ელიფსის კონტურებამდე მანძილებს.

#### **10.19. გეოდეზიური სამუშაოები გვირაბში რკინიგზის დაგებისას**

გვირაბში რკინიგზის ლიანდაგი დაიგება ტრასის გეომეტრიული სქემისა და გზის დამტკიცებული დასაგები გეგმისა და პროფილის მიხედვით და თუ ასეთი არ არსებობს, მაშინ რკინიგზის ლიანდაგის სამუშაო პროფილის მიხედვით. ამ ძირითად დოკუმენტს საპროექტო ორგანიზაცია ადგენს.

გვირაბში რკინიგზის დაგების წინ ჩააბეტონებენ საგზაო რეპერებს, რომელთა სახე წარმოდგენილია ნახ. 10.19.1-ზე. ტრასის სწორ უბანზე საგზაო რეპერებს აყენებენ მატარებლის სვლის მარჯვენა მხრიდან ყოველ 20 მ-ზე, მრუდხაზოვან უბანზე – მრუდის გარე ანუ შემადგენელი რელსის მხრიდან ყოველ 5 მ-ზე. საგზაო რეპერებს აყენებენ აგრეთვე ტრასის გეგმისა და პროფილის ყველა დამახასიათებელ წერტილზე.



ნახ. 10.19.1

ლიანდაგის დასაგებ გეგმასა და პროფილზე აჩვენებენ: გზის ქანობის სიდიდესა და მის სიგრძეს; გზის სწორ უბანზე რელსის თავის ღონის შესაბამისი რეპერების ნიშნულებს; გზის მრუდხაზოვან უბანზე გარე შემადლებული რელსის თავის ღონის შესაბამის რეპერების ნიშნულებს; ლიანდაგის ხაზების პირობით პროფილს; წრიული და გადასასვლელი მრუდებისა და სწორი მონაკვეთების სიგრძეებს; საგზაო რეპერებისა და რელსების შეპირაპირების ადგილების პიკეტაჟს; გზის ღერძის გეომეტრიულ ელემენტებს.

საგზაო რეპერების დაყენების ადგილების დასაკვალავად გამოსავალი მონაცემებია რეპერების პიკეტაჟი და ნიშნულები.

საგზაო რეპერების დაყენებისა და მათი გზის ღერძიდან დაშორების განსაზღვრისათვის გეოდეზიური საფუძველი პოლიგონომეტრიის ნიშნებია.

საგზაო რეპერებს აყენებენ ისე, რომ მისი სფერული თავის ამოზნექილ ნაწილს ჰქონდეს ამ რეპერთან უახლოესი რელსის თავის ნიშნული. ჯერ დაკვალავენ საგზაო რეპერების დაყენების ადგილებს, ხოლო შემდეგ ჩააბეტონებენ. დაკვალვა ხდება პიკეტაჟის მიხედვით. რადგანაც საგზაო რეპერების პიკეტაჟს საპროექტო ნახაზებზე აჩვენებენ მრუდის დამკვალავი ღერძის

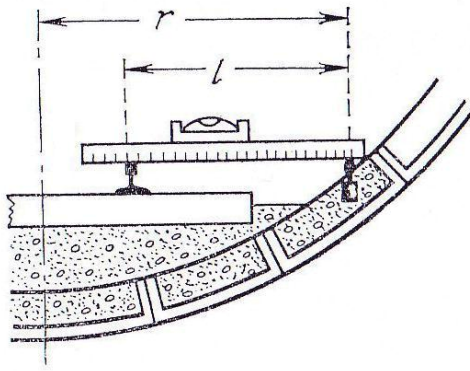
მიხედვით, ხოლო მათი დაყენების ადგილების დაკვაღვა ხდება გვირაბის გარე გვერდის (ლერძის მიმართ) მიხედვით, ამიტომ გვირაბის მრუდსაზოგან უბანზე საგზაო პიკეტების საპროექტო მნიშვნელობათა სხვაობაში შეაქვთ შესწორებები, რომელთა სიდიდე გამოითვლება ფორმულით

$$\Delta_r = \frac{Sr}{R}, \quad (10.19.1)$$

სადაც  $S$  არის მეზობელ საგზაო რეპერებს შორის მანძილი დამკვალავი ღერძის გასწვრივ;  $r$  – გზის ღერძიდან საგზაო რეპერამდე მანძილი;  $R$  – დამკვალავი მრუდის რადიუსი.

საგზაო რეპერების ფაქტიური საპიკეტაჟო მნიშვნელობის გადახრა საპროექტოდან დასაშვებია 3 სმ. ფაქტიური პიკეტაჟისა და გზის ქანობის მიხედვით გამოთვლიან საგზაო რეპერების საპროექტო ნიშნულებს. რადგან საგზაო რეპერი ჭანჭიკის ფორმისაა, მისი ბეტონში ჩახრახნის ან ამოხრახნის გზით, ჭანჭიკის თავს ნიველირით დააყენებენ საპროექტო მდებარეობაში.

ლიანდაგის რელსების ადგილზე დაყენებისას აუცილებელია ვიცოდეთ გეგმური მანძილი რეპერიდან გზის ღერძამდე ( $r$ ). გადასასვლელი მრუდის უბნებში მათ საზღვრავენ ტანგენსების პარალელური ხაზიდან, წრიული მრუდის უბანზე – ლარტყითა და თეოდოლიტით, რომლის მზერის სხივი მიმართულია ქორდის პარალელურად. ჩაბეტონებულ საგზაო რეპერებზე შეადგენენ უწყისს, რომელშიც აჩვენებენ: რეპერის პიკეტაჟს, მისი თავის ნიშნულს,  $r$  მანძილს რეპერიდან გზის ღერძამდე და  $L$  მანძილს რეპერიდან უახლოესი რელსის შიგა წახნაგამდე (ნახ.10.19.2). რელსების შიგა წახნაგებს შორის მანძილი სწორ უბანზე მიღებულია 1524 მმ ტოლი. მრუდ უბნებზე ეს მანძილი იზრდება გაბარიტული მარაგით, რომლის სიდიდე მრუდის რადიუსზე დამოკიდებული. ამ უწყისის მიხედვით აგებენ რელსებს საგზაო რეპერებიდან და ამისათვის სარგებლობენ ლარტყითა და დასაყენებელი თარაზოთი.



ნახ. 10.19.2

რელსების დაგების სისწორის შემოწმების შემდეგ აბეტონებენ შპალებს, რომლის დროსაც სისტემატურად მოწმდება რელსის თავის სასიმალო მდებარეობა ნიველირით, ხოლო სწორხაზოვნობა – თეოდოლიტით.

წრიულ უბანზე დაგებული რელსების სისწორეს ამოწმებენ რელსების ღუნვის ისრების გაზომვით 10 ან 20 მ-იანი ქორდების შუაში.

საბოლოოდ შეზუსტებული გზისთვის დაწესებულია შემდეგი დაშვებები:

- 1) რელსების მდებარეობის გადახრა საპროექტოდან გეგმასა და პროფილში – 3 მმ.
- 2) გზის გაფართოებამ საპროექტოსთან შედარებით არ უნდა გადააჭარბოს +4 მმ, ხოლო შევიწროებამ – 2 მმ;
- 3) ჩაღუნვის ისრის გაზომილი სიდიდე არ უნდა განსხვავდებოდეს საპროექტოსგან 20 მ-იანი ქორდისთვის – 3 მმ-ზე მეტად, ხოლო 10 მ-იანი ქორდისთვის – 2 მმ-ზე მეტად. ამასთან, მეზობელი ჩაღუნვის ისრებისთვის ამ გადახრებს არ უნდა ქონდეს სხვადასხვა ნიშანი.

## 10.20. გეოდეზიური სამუშაოები მეტროპოლოტენის



## სადგურის მშენებლობისას

მეტროპოლიტენის სადგური მიწისქვეშა საინჟინრო ნაგებობათა კომპლექსს წარმოადგენს, მასში შემავალი, ძირითადად, სამი პარალელური დახშული გვირაბით, რომლებიც ერთმანეთთან გასასვლელებით არიან დაკავშირებული.

მეტროპოლიტენის სადგური, როგორც წესი, გვირაბის ტრასის სწორ უბანზე შენდება ღია ან დახურული წესით. გეოდეზიური სამუშაოები ამ დროს მსგავსია გადასარბენი გვირაბის მშენებლობისას ჩასატარებელი სამუშაოებისა. მაგრამ არის განსხვავებაც, კერძოდ, სხვადასხვა გაბარიტის გვირაბების შერწყმის ადგილზე გვერდითი ტიუბინგებიანი სამაგრის დემონტაჟის შემდეგ წარმოიშობა სამაგრი რგოლების უფრო ზუსტად დაყენების და სამაგრის გრეხაზე დაკვირვების აუცილებლობა.

პილონური ტიპის სადგურებში ორი გვერდითი გვირაბი დანიშნულია მატარებლების მოძრაობისთვის და მგზავრთა მოსაცდელი პლატფორმების განლაგებისათვის. შუა გვირაბი მგზავრთა გამანაწილებელი დარბაზია.

სვეტებიან სადგურებში ორი სამგზავრო გვერდითი დაუხშველი გვირაბი და თალიანი საშუალო გვირაბი, რომელიც სვეტებს ეყრდნობა, ქმნიან მგზავრთა ერთიან დარბაზს.

სადგურის მშენებლობისას ასაწყობი ტიუბინგებით ან ბლოკური სამაგრით, სამუშაო იწყება მომავალი გვირაბის გრძივი ღერძის დაკვალვით. ერთდროულად, გვირაბის ჰორიზონტალური დიამეტრის ღონეზე დაკვალავენ დამაგრებული გრძივი ღერძის მიმართ ნორმალს. ამის შემდეგ დაკვალავენ და დაამაგრებენ გვირაბის ცენტრებს სადგურის თავსა და ბოლოში.

გვირაბში სამაგრი რგოლების დაყენებისას ყოველდღიურად საზღვრავენ მის მდებარეობას გეგმასა და პროფილში. ამისათვის,

ზომავენ ჰორიზონტალურ, ვერტიკალურ და დიაგონალურ ( $45^0$ -იან) დიამეტრებს ელიფსურობის განსაზღვრისათვის.

სადგურის გვირაბებში პირველი სამაგრი რგოლების დაყენება სრულდება არა უმეტეს 10 მმ შეცდომისა გრძივი მიმართულებით, ხოლო რგოლის გრესამ არ უნდა გადააჭარბოს 15 მმ. მშენებლობის პერიოდში ყოველი 8-10 რგოლის ჩადგმის შემდეგ განსაზღვრავენ მათ პიკეტაჟს, ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ წინსწრებას, გრესას. გრესის სიდიდის გასაგებად, პერიოდულად ანიველებენ ტიუბინგებს შორის ნაწიბურებს.

სადგურის გვირაბების პირველ სამაგრი რგოლებს აყენებენ შემდეგი დაშვებების დაცვით:

- 1) სამაგრი რგოლის ჰორიზონტალურმა და ვერტიკალურმა წინსწრებამ არ უნდა გადააჭარბოს  $\pm 5$  მმ-ს;
- 2) სამაგრი რგოლის ფაქტიური ცენტრის გადახრამ საპროექტო მდებარეობიდან გეგმასა და პროფილში არ უნდა გადააჭარბოს  $\pm 15$  მმ-ს;
- 3) სამაგრი რგოლების გრესამ არ უნდა გადააჭარბოს  $\pm 15$  მმ-ს;
- 4) რგოლების ელიფსურობამ ოთხი დიამეტრის (ჰორიზონტალური, ვერტიკალური და ორი  $45^0$ -იანი კუთხით) მიხედვით არ უნდა გადააჭარბოს  $\pm 25$  მმ-ს;
- 5) სამაგრი რგოლების ფაქტიურმა პიკეტაჟმა საპროექტოსთან შედარებით არ უნდა გადააჭარბოს  $\pm 10$  მმ-ს.

სადგურის ყველა გვირაბის ღერძების ურთიერთმდებარეობის მოთხოვნილ სიზუსტეთა უზრუნველსაყოფად უკვე არსებულ გვირაბებში უნდა გაყვანილ იქნას პოლიგონომეტრიული და სანიველო სვლები.

გვირაბებში სამაგრი რგოლების წინსწრების გასწორებისათვის იყენებენ სპეციალურ არასტანდარტულ რგოლებს და სოლისებრ საფენებს. მკაცრად, პროექტის მიხედვით, იცავენ შუა გვირაბის

რგოლების პიკეტაჟს, რომელიც საესკალატორო გვირაბის მარაოსებრ ნაწილს უნდა შეუუღლდეს.

განსაკუთრებული მონდომებით და სიზუსტით უნდა შესრულდეს გეოდეზიური სამონტაჟო სამუშაოები სვეტებიანი სადგურების აგებისას. ამ დროს ჯერ გაყავთ გვერდითი სატრანსპორტო გვირაბები, ხოლო შემდეგ შუა გვირაბი. სვეტების დაყენებისას უნდა გაკონტროლდეს სვეტების ღერძების ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში მდებარეობა, როგორც გრძივი, ისე განივი მიმართულებით.

სადგურის გვირაბებში, მოკეთებითი სამუშაოების დაწყებამდე საბოლოოდ დააკავშირებენ პოლიგონომეტრიის მთელ ქსელს, რომელიც განლაგებულია გვერდით გვირაბებში. პოლიგონომეტრიის ნიშნებს ჯერ დაამაგრებენ რელსების ღონეზე კედელში, ხოლო შემდეგ ისინი გადააქვთ და ჩაამაგრებენ ისეთ ადგილებში, სადაც არ განადგურდებიან და მოემსახურებიან ექსპლუატაციის პერიოდშიც.

გრძივ ღერძებს ამაგრებენ გვირაბის თაღში. სადგურის გვირაბებში, რომლებიც მარმარილოთი, ან გრანიტის ფილებით უნდა მოკეთდეს, ნიშნებს ჩაამაგრებენ მეტალის მანჭვალებით.

**ღრმა განლაგების მეტროპოლიტენის სადგურები** ზედაპირულ ვესტიბიულებს უერთდებიან ესკალატორებიანი დახრილი გვირაბებით. გვირაბის გაყვანის შემდეგ ამონტაჟებენ საძირკველს ესკალატორისათვის. მონტაჟისას გეგმასა და პროფილში საპროექტოდან გადახრა დასაშვებია – **20** მმ. საძირკველს ამონტაჟებენ სამუშაო ჰორიზონტიდან, რომელიც გამოაქვთ თეოდოლიტის დახრილი სხივით. ესკალატორის ღერძს ამაგრებენ მავთულით ორ ჰორიზონტალურ მეტალის კოჭზე, რომლებიც დახრილი გვირაბის თავსა და ბოლოშია დამაგრებული. ესკალატორის ფერმების ქვეშ განივ შველერებს აყენებენ არა უმეტეს **5** მმ ზღვრული შეცდომით სიმაღლეში, ხოლო

მიმმართველების რეზორდებს – არა უმეტეს 1 მმ შეცდომით, ღერძად დამაგრებული მავთულის მიმართ.

**მეტროპოლიტენის სადგურის ღია წესით მშენებლობისას** ამოღებული ქვაბულის მაზლობლად (დეფორმაციის ზონის გარეთ) გაყავთ ძირითადი პოლიგონომეტრიული სვლა და გადასცემენ ნიშნულებს ქვაბულში რეპერებს. პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან დაკვალავენ გვირაბების ძირითად ღერძებს. ამ ღერძებიდან და რეპერებიდან შემდგომში ამონტაჟებენ რკინაბეტონის ასაკრებ კონსტრუქციებს (კედლის სამაგრი ბლოკები, სვეტები, საძირკველი). კონსტრუქციების დაყენებისას იყენებენ გასწორითი გაზომვებისა და გვერდითი ნიველობის ხერხებს.

კონსტრუქციების ვერტიკალურობა კონტროლდება მძიმე შვეულებით ან თეოდოლიტით. ფართოდ იყენებენ აგრეთვე შვეულიან და თარაზოიან თარგებს.

სადგურის გვირაბების მშენებლობის დამთავრების შემდეგ სადგურის შიგნით ამონტაჟებენ სამშენებლო კონსტრუქციებს, მოწყობილობებს და მგზავრთა მოსაცდელ პლატფორმებს (ბაქნებს).

პლატფორმის ფარგლებში იატაკსა და მთლიანად ცენტრალურ დარბაზს მოაკეთებენ ნიველირის გამოყენებით, გამოსავალი რეპერების მიმართ არა უმეტეს 3 მმ ზღვრული შეცდომით. სასამსახურო სათავსის და გვირაბის მოკეთების სამუშაოების უზრუნველსაყოფად სადგურის გრძივი და განივი ღერძები გამოაქვთ ნატურაში პოლიგონომეტრიის პუნქტებიდან და ჩაამაგრებენ.

სადგურის მშენებლობის დამთავრების შემდეგ ადგენენ შესრულებით ნახაზებს: გრძივ ჭრილებსა და გვერდებს **1:100 – 1:200** მასშტაბით, განივ ჭრილებს – **1:100 – 1:50** მასშტაბით.

## 10.21. გვირაბის დეფორმაციაზე გეოდეზიური დაკვირვება

გვირაბებისა და სხვა მიწისქვეშა ნაგებობათა მშენებლობა იწვევს დედამიწის ზედაპირის დაჯდომას. მიღებულია, რომ დაჯდომა ვრცელდება გვირაბის განლაგების სიღრმის ერთნახევარ მანძილზე. არახელსაყრელი გეოლოგიური პირობების დროს დაჯდომები შეიძლება აღწევდეს რამდენიმე დეციმეტრს.

გვირაბების გაყვანის სამუშაოების დაწყებამდე **1: 500 – 1: 2000** მასშტაბის არსებულ გეგმებზე მონიშნავენ ტერიტორიას, რომელიც შესაძლოა მოიცვას დეფორმაციამ და შეადგენენ რეპერების განლაგების სქემას. ამ რეპერებს სადეფორმაციო რეპერები ეწოდებათ. მათი დანიშნულებაა ზედაპირის დაწვევების რეგისტრირება. დეფორმაციის ხასიათის უკეთ გამოვლენის მიზნით მათ განლაგებენ გვირაბის გრძივი ღერძის მართობულ განივებზე. განივების ადგილების შერჩევა დამოკიდებულია გვირაბის განლაგებასა და ზედაპირის სიტუაციაზე.

მეტროპოლიტენის სადგურის უბანზე სადეფორმაციო რეპერების რიგს განლაგებენ შუაში და ბოლოებში.

ვერტიკალური დაწვევების სიდიდეთა გამოსავლენად აუცილებელია სისტემატურად დავაკვირდეთ გვირაბის ტრასის ახლოს განლაგებულ ზედაპირულ ნაგებობებს. ამ მიზნით შესაძლო დეფორმაციების ზონაში განლაგებული შენობების კედლებში ჩაამაგრებენ რკინიგზის ტაბიკურის ფორმის მქონე მარკებს. მათ ჩაამაგრებენ შენობის ყველა კუთხეში ერთმანეთისგან **20 – 25** მ მანძილზე. მარმარილოთი და გრანიტით მოკეთებულ კედლებზე მარკებად შეიძლება გამოვიყენოთ კედლებზე მონიშნული წერტილები, რომლებზეც ლარტყის დაყენება იქნება შესაძლებელი.

დამაგრებული მარკების ნიშნულებს განსაზღვრავენ III კლასის ნიველობით, რომლის სვლები ეყრდნობა ზედაპირულ სასიმაღლო

გეოდეზიურ საფუძველს. ნიველობისას რეკომენდებულია მზერის სხივის სიგრძე არა უმეტეს **50** მ.

დეფორმაციებზე დაკვირვებების ინსტრუქციით დადგენილია შემდეგი დაშვებები:

- 1) სვლის მაქსიმალური სიგრძე საკვანძო პუნქტებს შორის – 400 მ;
- 2) კიდულ სვლაში სადგურების მაქსიმალური რაოდენობა – 3;
- 3) აღმატებებში განსხვავება, განსაზღვრული ლარტყის ორი მხრით, საწყის და განმეორებით ნიველობათა ციკლებში არ უნდა აღემატებოდეს 3 მმ-ს.

ჩაკეტილ სვლებში და პოლიგონებში დასაშვები შეუკვრელობა იანგარიშება ფორმულით

$$f_n = 2,5\sqrt{n} , \quad (10.21.1)$$

სადაც  $n$  – სადგურების რაოდენობაა.

განმეორებითი ნიველობები გრძელდება დაჯდომების სრულ ჩაქრობამდე და ყოველ შემთხვევაში, არა ნაკლებ 3 თვისა გვირაბის გაყვანის სამუშაოების დამთავრების შემდეგ. განმეორებით ციკლებს შორის დროის შუალედს (პერიოდულობას) ადგენენ დაჯდომის სიჩქარის გათვალისწინებით, მაგრამ ყოველ შემთხვევაში არა უმეტეს **1,5** თვისა. რაიონში, სადაც ინტენსიურ ჯდომებს აქვს ადგილი, რეპერებს აკვირდებიან ყოველ **10** დღეში, ხოლო განსაკუთრებულ შემთხვევაში – შესაძლებელია ყოველდღიურადაც.

დაკვირვებების შედეგებით ადგენენ დაჯდომების უწყისს და გრაფიკებს **1:500** მასშტაბით. ეს გრაფიკები დაჯდომის ზონის გავრცელებასა და ზომებს ახასიათებენ. მიწისქვეშა გამონამუშევრებში, განსაკუთრებით არახელსაყრელი გეოლოგიური პირობების მქონე ადგილებში, მნიშვნელოვანი სამთო წნევები ვითარდება, რომლის გამოც შესაძლებელია გვირაბის სამაგრისა და მოკეთების დეფორმაციები. მათი გამოვლენის მიზნით, გვირაბის

თაღში, გვერდებში და იატაკზე სპეციალურ მარკებს ჩამაგრებენ, რომლებზეც ასრულებენ პერიოდულ ნიველობას. პერიოდულობა დამოკიდებულია სამთო წნევის სიდიდესა და გამოვლენილი დეფორმაციის ინტენსიობაზე.

წრიული ფორმის გადასარბენ გვირაბებში ზომავენ სამაგრი რგოლების ჰორიზონტალურ, ვერტიკალურ და ირიბ დიამეტრებს, ხოლო მართკუთხა ფორმის გვირაბებში – ვერტიკალურ კედლებს შორის მანძილებს სხვადასხვა დონეებზე ჩამაგრებულ სპეციალურ ნიშნებს შორის.

მიწისქვეშა გამონამუშევრების დეფორმაციებზე დაკვირვებისათვის გამოსავალია მიწისქვეშა სასიმალო გეოდეზიური საფუძვლის პუნქტები.

გვერდითი წნევების განვითარების დროს გვირაბის ჰორიზონტალურ დიამეტრებს ზომავენ ყოველი **5 – 10** სამაგრი რგოლის შემდეგ **10 – 20** დღის პერიოდულობით.

თუ გვირაბი არამდგრად, დაცურებასაშიშ ქანებშია განლაგებული, მოკეთების განივ ძვრებზე დაკვირვებისათვის გასწორითი დაკვირვების მეთოდს იყენებენ. ამ მიზნით გვირაბის თაღში ყოველ **5 – 10** მ-ში გასწვრივობაში ჩამაგრებენ ნიშნებს, რომლებზეც ჩამოკიდებენ შვეულებს. გასწვრივობას გააგრძელებენ გვირაბის მდგრად ნაწილშიც და დაამაგრებენ დასაკვირვებელი ნიშნებით. თეოდოლიტით პერიოდულად ზომავენ წერტილების გადახრას გასწვრივობიდან მცირე კუთხეების მეთოდით და ადგენენ შვეულების გადახრის სიდიდეებს.

მიწისქვეშა გამონამუშევრებში განმეორებითი ნიველობა და მისი შედეგების გრაფიკული გაფორმება სრულდება ისევე, როგორც ზედაპირის დეფორმაციაზე დაკვირვებისას.

## **თავი 11. გეოდეზიური სამუშაოები პრეციზიული ნაგებობების მშენებლობისას**

### **11.1. ცნობები პრეციზიულ ნაგებობებზე და მათი მშენებლობის სიზუსტისადმი მოთხოვნები**

პრეციზიული ეწოდება ისეთ ნაგებობას, რომლის ნორმალური ფუნქციონირება დამოკიდებულია სამშენებლო კონსტრუქციებისა და ტექნოლოგიურ მოწყობილობათა დამზადებისა და მონტაჟის გაზრდილ სიზუსტესა და მაღალ სტაბილურობაზე. ეს ნაგებობები შედგება ორი არსებითად განსხვავებული, მაგრამ ერთიანად მომუშავე ნაწილისგან: საინჟინრო-სამშენებლო კონსტრუქციისა და თვით პრეციზიული ტექნოლოგიური მოწყობილობის კომპლექსისგან. ასეთ ნაგებობებს მიეკუთვნება დამუხტული ნაწილაკების წრფივი და წრიული მაჩქარებლები, რადიოტექნიკური



მოწყობილობანი, რადიოტელესკოპები, სამრეწველო კონვერული ხაზები და სხვა.

უკანასკნელ წლებში, მაღალი ენერგიების ფიზიკის განვითარებაში ნათლად გამოიკვეთა მისწრაფება ენერგიების მაქსიმალური ზრდისკენ და დამუხტული ნაწილაკების ნაკადის ინტენსიურობის გაზრდისკენ. ეს კი არა მარტო ართულებს კონსტრუქციულად და ზრდის მაჩქარებლების ზომებს, არამედ ახალ მოთხოვნებსაც უყენებს სხვადასხვა საინჟინრო მეცნიერებას, მათ შორის გამოყენებით გეოდეზიასაც.

ობიექტის სახეობისა და დანიშნულების მიხედვით მაღალი მოთხოვნები წაყენება ტექნოლოგიურ მოწყობილობათა სიმაღლესა და გეგმაში დაყენების სიზუსტეს. ამასთან, მნიშვნელოვანია უზრუნველყოთ ობიექტის ცალკეული ბლოკებისა თუ ელემენტების ურთიერთ მდებარეობის სიზუსტე.

**დამუხტული ნაწილაკების მაჩქარებლები.** მაჩქარებლები დიდი კინეტიკური ენერგიის მქონე დამუხტული ნაწილაკების მისაღები და ამაჩქარებელი მოწყობილობანია. დამუხტული ნაწილაკების ტრაექტორიის ფორმის მიხედვით მაჩქარებლები იყოფიან წრფივ და წრიულ (ციკლურ) მაჩქარებლებად. წრფივში ტრაექტორია ახლოსაა სწორ ხაზთან, წრიულში კი – გაშლად სპირალთან (ციკლოტრონები, სინქროციკლოტრონები) ან ჩაკეტილ წრიულ მრუდთან (წრიული მაჩქარებლები). აჩქარებადი ნაწილაკების წარმოშობის მიხედვით მაჩქარებლები იყოფიან ელექტრონულ, პროტონულ და მრავალმუხტიან იონურ მაჩქარებლებად.

იდეალურ მაგნიტურ ველში ნაწილაკების რხევას, რომელიც არავითარ შეშფოთებას არ განიცდის მაგნიტური ველის მუდმივი ვარდნის დროს, **თავისუფალი ანუ ბეტატრონული რხევა** ეწოდება.

ყველა თანამედროვე წრიული მაჩქარებლისათვის საერთოს წარმოადგენს ის, რომ მათ აქვთ **ინჟექტორი** – წრფივი მაჩქარებლის სახით, რომლის ძირითადი დანიშნულებაა ნაწილაკების მიწოდება წრიული ელექტრომაგნიტის კამერაში,

სადაც ისინი იძენენ საპროექტო ენერგიას და **ექსპერიმენტული დარბაზი** – ნაწილაკების ნაკადის ტრანსპორტირების არხებით.

მოწყობილობას, რომელიც დროში ცვალებად მაგნიტურ ველს და მუდმივი სიხშირის აჩქარებადი ძაბვის მქონე ელექტრონებს აჩქარებს, ეწოდება სინქროტრონი, ხოლო მოწყობილობას (პროტონის მაჩქარებელი), რომელსაც ერთდროულად ეცვლება მაგნიტური ველის სიდიდე და აჩქარებადი ძაბვის სიხშირე, ეწოდება პროტონული სინქროტრონი ანუ სინქროფაზოტრონი.

სინქროტრონის ელექტრომაგნიტის თითოეული სექცია (ბლოკი) შედგება ცალკეული პაკეტებისაგან. ისინი მონტაჟდებიან და ფიქსირდებიან საერთო ფილაზე, რომელიც საძირკველს ეყრდნობა და საშუალებას იძლევა შეიცვალოს ბლოკების მდებარეობა, როგორც ვერტიკალურ, ისე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში. ბლოკების პოლუსებს შორის მონტაჟდება ტორის მაგვარი ვაკუუმიანი კამერა, რომელშიც ნაწილაკების მოძრაობა ხდება. ასეთი ბლოკები მაჩქარებლებში მრავალია.

აჩქარებული ნაწილაკების ენერგია პირდაპირ პროპორციულია ორბიტის რადიუსისა, ამიტომ დამუხტული ნაწილაკების ენერგიის ზრდა ძირითადად, მაჩქარებლის რადიუსის გაზრდის ხარჯზე ხდება.

განგარიშებულ ორბიტებზე დამუხტული ნაწილაკების შესაკავებლად თანამედროვე მაჩქარებლებში იყენებენ სუსტი (რბილი) და ძლიერი (ხისტი) დაფოკუსების პრინციპს.

**სუსტი დაფოკუსების** მაჩქარებლებში ნაწილაკების ენერგიის გაზრდით სწრაფად მცირდება მაფოკუსებელი ძალები და იზრდება ბეტატრონული რხევის ამპლიტუდები რადიუსის **(R)** პროპორციულად, რის გამოც, აჩქარების პროცესში ნაწილაკების კარგვას რომ არ ქონდეს ადგილი, აუცილებელია გაიზარდოს მაჩქარებლის ვაკუუმური კამერის ზომები. ამასთან, ელექტრომაგნიტის მასა იზრდება რადიუსის კუბის პროპორციულად. საბოლოო ჯამში, მსგავსი ტიპის ზრდადი

ენერგიების მაჩქარებლების აგება მიუღებელი ხდება, როგორც ეკონომიურად, ისე პრაქტიკულად.

**ძლიერი დაფოკუსების** მაჩქარებლებში თავისუფალი და იძულებითი რხევების ამპლიტუდათა ჯამი ენერგიების ფართო საზღვრებში პრაქტიკულად არ იცვლება. მაგნიტის თითოეული ბლოკი ძლიერად აფოკუსებს ნაწილაკებს მხოლოდ ერთ სიბრტყეში. ამასთან, თუ ერთი ბლოკი ნაწილაკებს აფოკუსებს ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, შემდეგი ბლოკი – ვერტიკალურ სიბრტყეში. ასეთ მაჩქარებლებში ნაწილაკების ნაკადის განივი ზომა აჩქარების ბოლოში მხოლოდ რამდენიმე მილიმეტრს შეადგენს. ხისტი დაფოკუსების პრინციპის რეალიზაცია საშუალებას იძლევა მკვეთრად შემცირდეს მაგნიტის მასა. ასე, მაგალითად, ხისტი დაფოკუსების სერპუხოვის (რუსეთი) მაჩქარებელს 70 გიგაელექტრონვოლტის (გევ) ენერგიით, აქვს 20000 ტ მასის მაგნიტი, მაშინ, როცა სუსტი დაფოკუსების დუბნის (რუსეთი) მაჩქარებელს 10 გევ ენერგიით, აქვს 36000 ტ მასის მაგნიტი. თუმცა მაგნიტის მასის შემცირებით მცირდება ვაკუუმური კამერის ზომები, რაც ბლოკების აწყობის სიზუსტისადმი და საძირკვლის მდგრადობისადმი გაზრდილ მოთხოვნებს იწვევს.

მაგნიტების გადაადგილებას შეუძლია გამოიწვიოს ნაწილაკების ნაკადის გადახრა წონასწორობის ტრაექტორიიდან და ზოგჯერ მისი დაკარგვაც.

ნაკადის დაკარგვის შემდეგ კი ძალზე ძნელია მოვლენის მიზეზის დადგენა და პირვანდელი მდგომარეობის აღდგენა. დიდი ზომის კამერის დროს (სუსტი დაფოკუსებისას) მსგავსი საშიშროება არ არის.

მაჩქარებელი შედგება ინჟექტორისგან, წრიული ელექტრომაგნიტისა და ნაწილაკების გამომყვანი ნაკადისგან.

ტექნოლოგიური მოწყობილობის საძირკველი არ არის დაკავშირებული ნაგებობის საძირკველთან და განლაგებულია

კლდოვან ქანებში. საძირკვლის საფუძველზე განლაგებულია ფოლადის კოჭები, რომელსაც ეყრდნობა ინჟექტორის ტექნოლოგიური მოწყობილობა. ინჟექტორი მართულია წრიულ დარბაზთან, რომელშიც ელექტრომაგნიტია განთავსებული. წრიული ორბიტის სიგრძე სხვადასხვაა და იზომება კმ-ობით, მაგალითად, სერპუხოვის მაჩქარებლის ორბიტის სიგრძეა ~1500 მ. დარბაზის ზომებია: სიგრძე 156 მ, სიგანე 90 მ, სიმაღლე 21 მ.

განვიხილოთ მაჩქარებლის მოწყობილობათა მონტაჟის სიზუსტისადმი მოთხოვნები.

**პროტონულ წრფივ მაჩქარებელში** დამუხტული ნაწილაკები აჩქარებიან და ფოკუსირდებიან სპეციალურ მოწყობილობებში, რომელთაც ღრეიფის მილაკებს უწოდებენ. ისინი განლაგებულია ვაკუუმურ რეზონატორებში. მილაკებიც და რეზონატორებიც გერმეტულადაა დახურული ფორვაკუუმური გარსაცმით. ღრეიფის მილაკები საყრდენი შტანგებით მაგრდება მეტალის კოჭებზე, რომლებიც რკინაბეტონის საძირკველზეა დაყენებული. გარსაცმი და რეზონატორები ეყრდნობიან იმავე საძირკველს. ყველა ელემენტს აქვს მაიუსტირებელი მოწყობილობა მათ საპროექტო მდგომარეობაში დასაყენებლად, შემდეგი დასაშვები გადახრებით გეგმასა და სიმაღლეში – ფორვაკუუმური გარსაცმისა – 2 მმ; ვაკუუმური რეზონატორისა – 1,5 მმ და ღრეიფის მილაკებისა – 0,05 მმ.

**ელექტრონულ წრფივ მაჩქარებელში** დამუხტული ნაწილაკები აჩქარებიან სპეციალურ სექციებში, რომლებიც მეტალის ჩარჩოებზეა დაყენებული. ჩარჩოები დამაგრებულია სპეციალურ ქვესადგამებზე ან კროშტეინებზე.

ქვესადგამები მაგრდება ბეტონის არმირებულ ფილაზე საპროექტო მდებარეობიდან დასაშვები განივი და სასიმაღლო გადახრებით – 0,2 – 0,3 მმ. ასეთი მაჩქარებლის ტიპს

განეკუთვნება ხარკოვის (უკრაინა) **250** მ სივრცის მაჩქარებელი **2** გეგ ენერგიაზე.

ძირითადი ტექნოლოგიური მოწყობილობის გადახრა საპროექტო მდებარეობიდან წარმოადგენს იმ შემთხვევების მიზეზს, რომელიც ამახინჯებს მოძრავი ნაწილაკის ტრაქტორიას ან მიყვევართ ბეტატრონული რხევების ამპლიტუდის რეზონანსულ გაქანებამდე.

მაჩქარებლის ნორმალური მუშაობისათვის მოითხოვება დადგენილი პარამეტრების გადახრათა შეზღუდვა ისეთ სიდიდეებამდე, რომელთა დროს დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობა წარმოებს სივრცის დასაშვები არეს შიგნით აჩქარების მთელი ციკლის განმავლობაში.

ქვემოთ, ცხრილში მოცემულია ტექნოლოგიური მოწყობილობის საპროექტო მდებარეობაში დაყენების სიზუსტისადმი მოთხოვნები მსოფლიოში ცნობილ ყველაზე დიდი წრიული მაჩქარებლებისათვის.

ცხრილი 11.1.1-დან ჩანს, რომ დასაშვები გადახრები შეადგენენ **0,1 – 0,2** მმ-ს და მხოლოდ აზიმუტის მიხედვით გადახრა (გრძივი ძვრა) დაიშვება **2 – 3** მმ.

ცხრილი 11.1.1.

| მაჩქარებელი                                                 | ურთიერთმდებარეობისადმი<br>მოთხოვნები, მმ |           |                      | მაჩქარებლის<br>რადიუსი, მ |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------|----------------------|---------------------------|
|                                                             | რადიუსის<br>გასწვრივ                     | სიმაღლეში | აზიმუტის<br>მიხედვით |                           |
| სერპუხოვის (რუსეთი)                                         | 0,20                                     | 0,20      | 3,0                  | 236                       |
| ბრუკხეივენის<br>ნაციონალური<br>ლაბორატორია (აშშ)            | 0,10                                     | 0,10      | -                    | 128                       |
| ევროპის კვლევითი<br>ცენტრი <b>CERN</b> 28გეგ<br>(შვეიცარია) | 0,15                                     | 0,20      | 2,0                  | 100                       |

|                                                |      |      |     |      |
|------------------------------------------------|------|------|-----|------|
| პროტონული<br>სინქროტრონი 400გეე<br>(შვეიცარია) | 0,10 | 0,10 | 3,0 | 1100 |
| ჰამბურგის (გერმანია)                           | 0,10 | 0,10 | -   | 50   |
| ერვენის (სომხეთი)                              | 0,20 | 0,20 | 0,5 | 34   |

რადგანაც უფრო დიდი ზომის მაჩქარებლებისათვის გადაზრების აბსოლუტური სიდიდეები დარჩება მომავალში იგივე, ამიტომ მნიშვნელოვნად გაიზრდება მოთხოვნები გეოდეზიური სამუშაოების ფარდობითი სიზუსტისადმი.

**რადიოანტენური სისტემები.** კოსმოსური ობიექტებიდან რადიოგამოსხივების მისაღებ და მარეგისტრირებელ მოწყობილობას - რადიოტელესკოპი ეწოდება. მისი დახმარებით იკვლევენ რადიოგამოსხივების ინტენსიურობას, სპექტრს, სიმკვრივეს, პოლარიზაციას და განსაზღვრავენ ციური სფეროდან რადიოგამოსხივების წყაროს კოორდინატებს. რადიოტელესკოპი შედგება მიმართული ანტენისა და რადიომეტრისგან (იკვლევს ასტრონომიული ობიექტების რადიოდიამეტრის გამოსხივებას). თუ რადიოტელესკოპს ერთიან სისტემად მომუშავე ორი ან მეტი ანტენა აქვს, ეწოდება რადიოინტერფერომეტრი.

რადიოტელესკოპს უნდა ახასიათებდეს მაღალი მგრძნობიარობა და გარჩევის უნარი. მგრძნობიარობა იზრდება ანტენის ზედაპირის გადიდებით და მცირეხმაურიანი მიმღების გამოყენებით. გარჩევის უნარის ზრდა დაკავშირებულია ანტენის ზომის გაზრდასთან. მაქსიმალური ეფექტი რადიოინტერფერომეტრის გამოყენებით მიიღწევა.

პირველი რეფლექტორიანი რადიოტელესკოპი **9,5 მ** დიამეტრით ააგო გ. რეზერმა 1937წ. (აშშ) XX საუკ. 40-იანი წლებიდან იწყება მისი სწრაფი განვითარება. გიგანტური **(D = 300 მ)** უძრავი სფერული ანტენა აგებულია პუერტო-რიკოში ჩამქრალი ვულკანის კრატერში.

ამჟამად რადიოტელესკოპებს აგებენ ანტენის დიდი ფართობით, რაც უზრუნველყოფს სუსტი რადიოგამოსხივების მიღებისათვის საჭირო მაღალ მგრძნობიარობას. ეს კი საშუალებას იძლევა ზუსტად განისაზღვროს გამოსხივების წყაროს კოორდინატები, მისი ზომები და სიკაშკაშის განაწილება. რაც მეტია რადიოტელესკოპის დიაპაზონი, მით მეტი ამოცანის გადაწყვეტა შესაძლებელი მისი დახმარებით.

ყველაზე ხელსაყრელი რადიოასტრონომიული და რადიოლოკაციური დაკვირვებებისათვის – მოკლე დეციმეტრული და სანტიმეტრული ტალღების დიაპაზონია, როცა მაღალი მგრძნობიარობის მიმღებები, გალაქტიკების რადიოგამოსხივების ფონის დაბალი დონე და ტროპოსფეროში მცირე შთანთქმა განსაკუთრებით ხელსაყრელ პირობებს ქმნიან სუსტი გამოსხივების წყაროებზე დაკვირვებებისათვის. მითითებულ მოთხოვნებს რეფლექტორის ტიპის რადიოტელესკოპები აკმაყოფილებენ.

რეფლექტორის ფართობის გაზრდა იზღუდება ანტენის ზედაპირის მონტაჟის მაქსიმალური შესაძლებელი სიზუსტით.

რეფლექტორის ზედაპირის ფორმის გადახრა გაანგარიშებული საპროექტო ფორმისგან იწვევს ტალღების გაფანტვას და კარგვას, რის გამოც მცირდება რეფლექტორის ფართობის გამოყენების კოეფიციენტი და ფართოვდება მისი რაიმე ობიექტისადმი მიმართულობის დიაგრამა. რეფლექტორის ფართობის ეფექტურობის დანაკარგები პროპორციულია მისი ზედაპირის მონტაჟის  $\sigma$  შემთხვევითი შეცდომის სიდიდის და მიღებულ  $\lambda$  ტალღის სიგრძის ფარდობის კვადრატისა, ე.ი.  $(\sigma/\lambda)^2$ .

სიმეტრიული პარაბოლური რეფლექტორის ამრეკლავი ზედაპირის ფარდობითი სიზუსტე, ე.ი.  $\sigma$  ფარდობა  $D$  დიამეტრთან ანუ  $\sigma/D$  ამ ტიპის რადიოტელესკოპებისათვის უახლოვდება  $10^{-4} + 10^{-5}$  სიდიდეს. ეს სიზუსტე იზღუდება არა მარტო კონსტრუქციის დამზადებისა და მონტაჟის შეცდომებით, არამედ მასის, ქარის დატვირთვის, არათანაბარი გათბობის და სხვა

ფაქტორებისგან გამოწვეული დეფორმაციებითაც. ბრუნვის პარაბოლოიდის ფორმის უდიდესი რეფლექტორიანი რადიოტელესკოპის დიამეტრი  $D = 180$  მ (აშშ). მისი ფართობი  $25000$  მ<sup>2</sup> ტოლია და ახლოს არის ამ ტიპის რადიოტელესკოპების ზღვრულ სიდიდესთან.

შემდგომი არსებითი პროგრესი რადიოტელესკოპების ფართობის და მათი გარჩევის უნარის ეფექტური გაზრდის მიმართულებით დაკავშირებულია ე.წ. ცვლადი პროფილის ანტენების გამოყენებასთან, რომლის პირველი ავტორები არიან რუსი მეცნიერები – ს. ხაიკინი და ნ. კაიდანოვი. ამ სახის ანტენებში ამრეკლი ზედაპირი იქმნება ცალკეული, ერთმანეთთან მექანიკურად დაკავშირებული, მაგრამ ერთიან სისტემად მომუშავე, ელემენტებისგან. ამ შემთხვევაში ამრეკლი ზედაპირის გაზრდით ცალკეული ელემენტების ხარჯზე, იზრდება არა ცალკეული ელემენტის ფარდობითი სიზუსტისადმი მოთხოვნები, არამედ მხოლოდ მათი ურთიერთდებარეობის სიზუსტისადმი. ეს ამოცანა კი იხსნება გეოდეზიური მეთოდებით.

ამ პრინციპზეა აგებული პულკოვოს ობსერვატორიის რადიოტელესკოპი, რომლის ამრეკლი ზედაპირი შედგება 90 ერთნაირი ზომის  $(3 \times 1,5$  მ) თუჯის ჩამოსხმული ჩარჩოსგან, რომლებზეც ხრახნებით დამაგრებულია თხელი ალუმინის ფურცლები. თითოეული ელემენტი დაყენებულია სპეციალურ მექანიზმზე, რომელიც უზრუნველყოფს მის წინსვლით გადაადგილებას და ორი ღერძის გარშემო ბრუნვას.

ცვლადპროფილიანი ანტენის პრინციპმა შემდგომი განვითარება საქართველოშიც ჰპოვა. საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ცვლადი პროფილის მქონე ანტენის შექმნაზე მომუშავე მეცნიერთა ჯგუფმა ჯ. მეძმარიაშვილის ხელმძღვანელობით ააგო და კოსმოსში გაუშვა, პირველად საქართველოს ისტორიაში, ასეთი ტიპის ანტენა, რისთვისაც ტექნიკური უნივერსიტეტის მეცნიერთა კოლექტივს და მათ შორის ანტენის ფუნქციონირების გეოდეზიური



უზრუნველყოფის ჯგუფის ხელმძღვანელს მ. თევზაძეს (წინამდებარე სახელმძღვანელოს ერთერთ ავტორს) მიენიჭათ სახელმწიფო პრემიის ლაურეატობა.

რეფლექტორის ტიპის რადიოტელესკოპის წრიული ამრეკლის თითოეული ელემენტის გადახრამ გაანგარიშებულიდან არ უნდა გადააჭარბოს **0,1** მმ.

რადიოტელესკოპის ამრეკლი ზედაპირის იუსტირებისათვის იყენებენ სიმიან-ოპტიკურ და ოპტიკურ მეთოდებს და მაღალი სიზუსტის ნიველობას გაზომვის სიზუსტით **0,05 – 0,1** მმ.

ბრუნვის ღერძების მიმართულებას ამოწმებენ ავტოკოლიმაციური მეთოდით.

\

## **11.2. სამთო ქანების მიკროძვრებზე დაკვირვება პრეციზიულ ნაგებობათა მშენებლობის ადგილის შერჩევისას**

**მიკროძვრების ძირითადი სახეები.** პრეციზიულ ნაგებობათა ექსპლუატაცია საპროექტო რეჟიმში შესაძლებელია მხოლოდ ძირითადი მზიდი სამშენებლო კონსტრუქციების და ტექნოლოგიური მოწყობილობების გეომეტრიული პარამეტრების უზრუნველყოფის სისტემის მკაცრი დაცვით. ამიტომ პრეციზიული ნაგებობისათვის საძირკვლის ადგილის შერჩევისას განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევენ მისი შესაძლო დეფორმაციის გამოვლენას სამშენებლო მოედნის ინსტრუმენტალური გამოკვლევის გზით.

სამთო ქანების მიკროძვრების სიდიდეებისა და კანონზომიერებათა ცოდნა საშუალებას გვაძლევს არსებითად დავაზუსტოდ საინჟინრო-გეოლოგიური დასკვნა პრეციზიული

ნაგებობის მშენებლობისათვის მოცემული ადგილის გამოსადგობის შესახებ, სწორად შევარჩიოთ საძირკვლის კონსტრუქცია და განვსაზღვროთ მისი განლაგების სიღრმე.

მდგრად სამთო ქანებზე აგებული ნაგებობის დეფორმაცია, როგორც წესი, მცირეა და არ არღვევს სამშენებლო კონსტრუქციის მთლიანობას, მაგრამ შეიძლება გახდეს ტექნოლოგიური მოწყობილობის ნორმალური მუშაობის დარღვევის მიზეზი. ამიტომ დედამიწის ზედაპირის ცალკეული წერტილების გეგმურ-სასიმალო მიკროძვრებისა და სამშენებლო მოედნების ჰიდროგეოლოგიური პირობების შესწავლა აუცილებელია ჩატარდეს, როგორც ნაგებობის აშენებამდე, ისე მისი მშენებლობისა და ექსპლუატაციის პერიოდშიც.

დედამიწის ზედაპირის ძვრები დამოკიდებულია როგორც უშუალოდ ზედაპირის ქვედა შრეში, ისე უფრო ღრმად განლაგებულ ქანებში მიმდინარე სხვადასხვა პროცესებზე. ამ პროცესების ხელშემწყობი ენერგიის წარმომავლობის მიხედვით, მათ ჰყოფენ ენდოგენურ (შინაგან) და ეგზოგენურ (გარეგან) პროცესებად. პრეციზიული ნაგებობისათვის უფრო კრიტიკულად ითვლება ძვრები, წარმოშობილი ეგზოგენური პროცესებით. ეს ძვრები შეიძლება დაიყოს ორ ღიდ ჯგუფად:

- 1) დედამიწის ზედაპირის მოძრაობა, გამოწვეული ბუნებრივი ფაქტორებით;
- 2) დედამიწის ზედაპირის მოძრაობა, გამოწვეული ტექნოგენური ფაქტორებით, ანუ ადამიანის საინჟინრო მოღვაწეობასთან დაკავშირებული ფაქტორებით.

**ბუნებრივი ფაქტორებია:**

- ჰიდროთერმული მიკრომოძრაობები, გამოწვეული ქანების ფიზიკური მდგომარეობით, მიწისქვეშა წყლების მოძრაობით და სამთო ქანების ტემპერატურისა და ტენიანობის ცვლილებებით;

- ატმოსფერული წნევის მერყეობასთან და შორეულ მიწისძვრებთან დაკავშირებული დედამიწის ზედაპირის მიკროდაზრები და მიკროსეისმური რხევები;
- მთვარე-მზისმიერი მოქცევებით განპირობებული დედამიწის ზედაპირის რხევები;
- ოკეანეებისა და ზღვების მოქცევასთან დაკავშირებული მიკრომოძრაობები და სხვა.

#### **ტექნოლოგიური ფაქტორები:**

- დედამიწის ზედაპირის დაწვეები, დაკავშირებული მიწისქვეშა გამონამუშევრების გაყვანასთან;
- დედამიწის ზედაპირის დაწვეები, დაკავშირებული სასარგებლო წიაღისეულის ამოღებასთან;
- სამთო ქანების ძვრები, გამოწვეული აფეთქების ძალით, მანქანების მუშაობით, მატარებლების მოძრაობით და სხვა;
- სამთო ქანების ძვრები, დაკავშირებული სამშენებლო ქვაბულის ამოღების გამო ბუნებრივი წნევის ცვალებადობასთან;
- დედამიწის ზედაპირის ძვრები, დაკავშირებული სამთო ქანების ჰიდროთერმული რეჟიმის ხელოვნურ ცვალებადობასთან და ა.შ.

სამთო ქანების მიკროძვრების შესწავლა ეყრდნობა უმთავრესად გამოსაკვლევი წერტილების მდებარეობათა ცვლილების პერიოდულ რეგისტრაციას. შედეგების სიმცირის გამო (რამდენიმე მმ) მიკროძვრების რაოდენობრივი მახასიათებლების უშუალო განსაზღვრა შესაძლებელია მხოლოდ გაზომვის სპეციალური ინსტრუმენტული მეთოდების გამოყენებით.

დეფორმაციები, ნაგებობის საძირკველზე ზემოქმედების მიხედვით, შეიძლება დაყვით ორ სახედ. დეფორმაციების პირველი სახე იწვევს მთელი საძირკვლის ერთიან გადაადგილებას, ხოლო მეორე სახე – საძირკვლის ლოკალურ ძვრას. პირველს ეწოდება საერთო დეფორმაცია, რომლის დროსაც წერტილები ურთიერთ არ

გადაადგილდებიან. მეორეს კი კერძო დეფორმაცია. სრული დეფორმაცია შედგება საერთო და კერძო დეფორმაციებისგან. საერთოსგან კერძოს გამოყოფას არსებითი მნიშვნელობა აქვს საძირკვლის ხარისხის შესახებ დასკვნისთვის, რადგანაც საერთო დეფორმაციის დიდი სიდიდის დროსაც კი მას შეიძლება არ ქონდეს გადამწყვეტი მნიშვნელობა. პრეციზიული ნაგებობისათვის კრიტიკულად ითვლება კერძო (ლოკალური) დეფორმაციები.

აქედან გამომდინარე, აუცილებელი ხდება ქანების მიკროძვრების შესწავლის ისეთი ორგანიზება, რომ შესაძლებელი იყოს კრიტიკული დეფორმაციების გამოვლენა ნაგებობის გეომეტრიის მიხედვით. ასე, მაგალითად, წრფივი ნაგებობისათვის (წრფივი მაჩქარებელი, ინჟექტორი, ინტერფერომეტრი და ა.შ.) ცალკეული წერტილების ძვრების მიხედვით უნდა განისაზღვროს კერძო და საერთო დეფორმაციები. წრიული ნაგებობისათვის (წრიული მაჩქარებელი, რადიოტელესკოპი და სხვ.) ვერტიკალური ძვრების ანალიზით უნდა მოინახოს პირობითი სიბრტყე, ხოლო ჰორიზონტალური ძვრებით – პირობითი წრეხაზები. პირველ შემთხვევაში (წრფივი ნაგებობები) დეფორმაციული მახასიათებლების გამოთვლისა და სიზუსტის შესაფასებლად იყენებენ გამფორმებელ წრფეს, ხოლო მეორე შემთხვევაში (წრიული ნაგებობები) – გამფორმებელ სიბრტყეს.

**დაკვირვებების მოწყობა.** სამთო ქანების მიკროძვრების გაზომვა დაიყვანება წერტილების ურთიერთმდებარეობის დროში ცვლილებებზე დაკვირვებებამდე. საყრდენი ნიშნების ღრმად განლაგებით, ტემპერატურისა და ტენიანობის მერყეობის საზღვრის ქვემოთ, შეიძლება მივიღოთ ჰიდროთერმული მოძრაობები სუფთა სახით. დედამიწის ზედაპირის წერტილის მოძრაობა, საერთო შემთხვევაში, სივრცულია, სამგანზომილებიანი. ასეთი მოძრაობის უშუალოდ შესწავლის სირთულე გვაიძულებს დავშალოთ იგი შემადგენელ ნაწილებად, რომელიც უშუალოდ გაზომვის პროცესში ხდება. როდესაც გვეცოდინება, ძვრის ვექტორის შემადგენელი

ნაწილები კოორდინატთა ღერძების გასწვრივ, შევძლებთ მისი სრული სიდიდის აღდგენას. სამთო ქანების მიკროძვრებზე დაკვირვებებს ჰყოფენ წერტილოვან (დაკვირვება ტარდება ერთ პუნქტზე), გასწვრივ-ხაზოვან (დაკვირვებები ტარდება ერთ ხაზზე განლაგებულ პუნქტებზე) და ფართობით (დაკვირვებები ტარდება მოედანზე განლაგებულ წერტილებზე) დაკვირვებებად.

ვერტიკალურ დაწევებზე დაკვირვებების მეთოდია ნიველობა, ხოლო ჰორიზონტალურ ძვრებზე – ხაზოვანი, კუთხური და გასწორითი გაზომვები. ხშირად დაკვირვებების გეოდეზიურ მეთოდებს შეაგებენ გეოფიზიკური გაზომვებით.

მიწისქვეშა წყლების დონესა და სამთო ქანების თერმულ რეჟიმზე დაკვირვებები უნდა ტარდებოდეს როგორც დაპროექტების პერიოდში, ისე მშენებლობისა და ექსპლუატაციის საწყის პერიოდში (1-2 წელი). მშენებლობის წინა პერიოდში ეს დაკვირვებები უნდა ჩატარდეს არა უიშვიათეს ერთხელ კვირაში. მშენებლობის პერიოდში დაკვირვებების ჩატარება რეკომენდებულია თვეში ერთხელ, ხოლო ექსპლუატაციის პერიოდში - ორჯერ თვეში.

ყველა პერიოდისათვის დაკვირვებების სიხშირე უნდა გაიზარდოს შემოდგომაზე, როცა ინტენსიური ატმოსფერული ნალექებია და გაზაფხულზე, რომელიც ხასიათდება მიწისქვეშა წყლების დონის მომატებით წყალდიდობების, თოვლის დნობის და წვიმების შედეგად. დაკვირვებების სიხშირე დამოკიდებულია მოცემული რაიონის და წლის კლიმატურ პირობებზე.

**სამთო ქანების მიკროძვრებზე დაკვირვებებისათვის ქსელის შექმნა.** მიკროძვრებზე დაკვირვებებისას ერთერთი მნიშვნელოვანი საკითხი პუნქტების (ნიშნების) სწორი განლაგებაა. მასზე და ნიშნების რაოდენობაზე დიდად არის დამოკიდებული მიკროძვრების გამოვლენის ხარისხი, სისრულე და მკაფიოობა.

დედამიწის ზედაპირის დეფორმაციები მისი ფიზიკური თვისებაა, რომელიც იცვლება როგორც დროში, ისე სივრცეში. ამიტომ დასაკვირვებელი ქსელი უნდა იყოს ხშირი, რომ

გამოავლინოს ეს ცვლილებები და მოგვცეს საშუალება განვსაზღვროთ მათი გამომწვევი ძირითადი მიზეზები.

ერთგვაროვან უბნებზე, სადაც თანაბარი და შედარებით მცირე დეფორმაციებია მოსალოდნელი, უმჯობესია შეიქმნას ქსელი, რომელიც ცალკეული, ერთმანეთთან დაკავშირებული პოლიგონებისგან შედგება. ამასთან ეს პოლიგონები მიზანშეწონილია შეიქმნას წესიერი ექვსკუთხედების სახით. ასეთი ქსელი ეკონომიურია და მცირე ზომების გამო საშუალებას იძლევა მაღალი სიზუსტის განაზომები მივიღოთ.

არაერთგვაროვან უბნებზე, სადაც ქანების დეფორმაციული თვისებები სხვადასხვაა, დასაკვირვებელი ქსელის უკეთეს ვარიანტს წარმოადგენს ქსელი, რომელიც შედგება ნაგებობის ტექნოლოგიურ ღერძებთან რაც შეიძლება ახლოს განლაგებული, თანაბრად დაშორებული ნიშნებისაგან.

დიდ ტერიტორიაზე რთული საინჟინრო-ტექნოლოგიური მდგომარეობისას, დასაკვირვებელი ქსელი უნდა შედგეს, როგორც ცალკეული პოლიგონების, ისე ნაგებობის ღერძზე განლაგებული დასაკვირვებელი პუნქტებისგან.

ნაგებობის ექსპლუატაციის დროს ქანების მიკროძვრებზე დასაკვირვებელ ქსელად შეიძლება გამოდგეს ტექნოლოგიური მოწყობილობის მონტაჟისათვის აგებული საყრდენი გეოდეზიური ქსელი, აგრეთვე საძირკვლისა და ძირითადი მზიდი კონსტრუქციების დეფორმაციებზე დასაკვირვებელი ქსელი.

**ნიშნები მიკროძვრებზე დაკვირვებისათვის.** სამთო ქანების მიკროძვრებზე დაკვირვებისათვის იყენებენ სიღრმითი გეოდეზიური ნიშნების სხვადასხვა სახეებს: გეგმურ, სასიმაღლო და გეგმურ-სასიმაღლო ნიშნებს.

გეგმურ ნიშნებად იყენებენ შებრუნებულ შვეულებს და კონსოლურ კონსტრუქციებს, სასიმაღლოდ — სიმებიან და ბიმეტალურ რეპერებს. ხშირად ნიშნები შეთავსებულია — გეგმურ-

სასიმაღლო კონსოლური ტიპისა და ინვარის ღეროიანი ხიმინჯის სახით.

სამთო ქანების სხვადასხვა სიმაღლეზე განლაგებული შრეების ურთიერთ გეგმურ-სასიმაღლო გადაადგილებების განსაზღვრის მიზნით იყენებენ ე.წ. ჯგუფურ რეპერს. იგი შედგება რამდენიმე გეგმურ-სასიმაღლო ბიმეტალური ნიშნისგან, რომელთაგან ერთი – ძირითადი, ჩამაგრდება ყველაზე სტაბილურ ქანში, დანარჩენები — დამხმარეები, უფრო ზევით განლაგებულ გამოსაკვლევ შრეებში. ძირითადი ნიშანი სპეციალური გამზომი მოწყობილობებით უკავშირდება დამხმარეებს, რაც საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ მათი გადაადგილება ძირითადი ნიშნის მიმართ. სპეციალურ გამზომად გამოყენებულია საათის ტიპის ინდიკატორები.

ამ ტიპის მოწყობილობის გამოცდამ აჩვენა, რომ დამხმარე ნიშნის ძირითადის მიმართ გადაადგილების გაზომვის სკმ ტოლია **0,04 – 0,05** მმ.

სამთო ქანების სხვადასხვა შრეების ურთიერთ სასიმაღლო გადაადგილებათა განსაზღვრისათვის შეიძლება მრავალსიმიანი რეპერის გამოყენება. იგი ჯგუფური რეპერისგან განსხვავებით განლაგებულია ერთ ჭაბურღილში, რაც ამარტივებს დაკვირვების პროცესს და ზრდის გაზომვების სიზუსტეს. იგი შედგება რამდენიმე ინვარის ან სუპერინვარის სიმისგან, რომლებიც დამცავ მილებშია მოთავსებული. სიმები ჭაბურღილში დამაგრებულია ღუზებით, რომლებიც სხვადასხვა სიღრმეზეა განლაგებული. სიმები დაჭიმულია სპეციალური მოწყობილობით, რომელზეც ტვირთია ჩამოკიდებული. სიმების ზედა ნაწილში, ერთნაირ სიმაღლეზე მაგრდება სკალები, რომლებზეც მიკროსკოპით აიღება ანათვლები. ეს ანათვლები საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ძირითადის მიმართ შუალედი ღუზების ვერტიკალური ძვრები.

ცალკეული შრეების ვერტიკალური გადაადგილება მრავალსიმიან რეპერში განისაზღვრება ან ყველაზე ღრმა შრის

მიმართ, ან გამოსავლად მიღებული სიღრმითი რეპერების მიმართ. პრაქტიკამ აჩვენა, რომ ასეთი რეპერის გამოყენებით შეიძლება ქანთა შრეების ურთიერთდგრების გაზომვა **0,03 – 0,05** მმ სკმ-ით.

**ქანების მიკრომოძრაობებზე დაკვირვების მეთოდები.** ნიშნების დაყენების შემდეგ იწყებენ გაზომვების რეგულარული ციკლების ჩატარებას. ციკლების სიხშირეს ადგენენ გაზომვების მოთხოვნილი სიზუსტისა და ქანების მოძრაობის სიჩქარის მიხედვით. დაკვირვებები უნდა ჩატარდეს შემჭიდროვებულ დროში, ისე, რომ დაკვირვების შედეგების დამუშავებისას შეგვეძლოს მათი ერთდროულ დაკვირვებად ჩათვლა.

ვერტიკალურ მიკროგადაადგილებებზე დაკვირვებისათვის იყენებენ გეომეტრიული, ჰიდროსტატიკური და მიკრონიველობის მეთოდებს.

ნიველობას ასრულებენ ხელსაყრელ გარემო პირობებში და ყველა ციკლში გაზომვების ერთიდაიგივე სქემის და პროგრამის ზუსტი დაცვით, ერთიდაიგივე ინსტრუმენტით.

ჰორიზონტალური მიკროძვრების გაზომვის ძირითადი მეთოდებია ხაზოვანი და გასწორითი გაზომვები.

დაკვირვების შედეგების დამუშავება გულისხმობს შემდეგ ეტაპებს:

- დაკვირვების შედეგების დაყვანა განსაზღვრულ თარიღზე;
- განაზომთა შედეგების გაწონასწორება და სიზუსტის შეფასება;
- ძირითადი დეფორმაციული მაჩვენებლების გამოთვლა;
- დეფორმაციული მაჩვენებლების სტატისტიკური გამოკვლევა;
- კორელაციური კავშირის დამყარება დეფორმაციულ მაჩვენებლებსა და მათ შესაძლო მიზეზებს შორის;
- დასკვნები დაკვირვების მასალების დამუშავების შედეგების მიხედვით.



სამთო ქანების მიკრომოძრაობებზე დაკვირვებისას სასიმალო და გეგური ქსელების გაწონასწორების თავისებურებას შეადგენს ქსელების გეომეტრიული ფორმის მუდმივობა დაკვირვების მთელი პერიოდის განმავლობაში. ეს საშუალებას იძლევა გამოყვანილ იქნას გაზომილ ელემენტებში შესწორებების გამოსათვლელი მუშა ფორმულები პირობითი განტოლებების თავისუფალი წევრების მიხედვით, რაც მნიშვნელოვნად ამარტივებს გამოთვლით სამუშაოებს.

### 11.3. პრეციზიულ ნაგებობათა გეოდეზიური საფუძველი

საყრდენი გეოდეზიური ქსელების აგების ძირითადი პრინციპები. პრეციზიულ ნაგებობათა გეოდეზიური მომსახურებისთვის საჭირო, როგორც გეგური, ისე სასიმალო ქსელების აგების ძირითადი პრინციპი მდგომარეობს კონსტრუქციებისა და მოწყობილობათა ცალკეული ელემენტებისა და ბლოკების საპროექტო მდებარეობაში დაყენების მოცემული სიზუსტის უზრუნველყოფაში, დასამონტაჟებელი ერთიანი მოწყობილობის მუშაობის რეჟიმის გათვალისწინებით.

პრეციზიული ნაგებობების ღერძების გამოტანასთან და ადგილზე დაკვალვებთან დაკავშირებული საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოები სრულდება, ძირითადად, იგივე მეთოდებით და

საშუალებებით, რაც სხვა ნაგებობებისა. სამუშაოები მოიცავს შემდეგ ეტაპებს:

- გეოდეზიური სამუშაოების წარმოების პროექტის შედგენა;
- საყრდენი გეოდეზიური ქსელის შექმნა;
- დამკველავი ქსელის შექმნა;
- ღერძების და წერტილების გამოტანასთან დაკავშირებული დაკვალვითი სამუშაოები;
- საკონტროლო გეოდეზიური გაზომვები;
- სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების შესრულებითი აგეგმვა;
- შენობა-ნაგებობათა და მათი საძირკვლების დეფორმაციებზე დაკვირვებები.

უნიკალურ პრეციზიულ ნაგებობათა მშენებლობისა და მონტაჟისთვის საჭირო საყრდენი გეოდეზიური ქსელის აგების დამახასიათებელი თავისებურება მდგომარეობს მასში, რომ საყრდენი ქსელის პუნქტის მდებარეობის განსაზღვრის ცდომილება ქსელის ყველაზე სუსტ ადგილზე, ყოველთვის არ წარმოადგენს ხაზოვანი და კუთხური გაზომვების სიზუსტეების გასაანგარიშებლად გადამწყვეტ ფაქტორს.

წრიულ მაჩქარებლებში მაგნიტების რადიალური მიმართულებით დაყენების სიზუსტე გადამწყვეტი ფაქტორია, რომელიც უზრუნველყოფს მუშაობის ნორმალურ რეჟიმს, მაშინ როცა ბლოკების საპროექტო მდებარეობიდან გადახრას რადიუსის მართობი მიმართულებიდან ნაკლები მნიშვნელობა აქვს.

წრფივი მაჩქარებლების ნორმალურ მუშაობაზე, ძირითადად გავლენას ახდენს მაგნიტის განივი ძერა, მაშინ როცა გრძივ ძერას ნაკლები მნიშვნელობა აქვს.

აღნიშნული გარემოებანი მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული საყრდენი გეოდეზიური ქსელების დაპროექტებისას. ყოველივე ეს გეოდეზიური საყრდენი ქსელების პროექტების შეფასებისა და გაზომვების მოთხოვნილი სიზუსტეების

გაანგარიშებისადმი განსაკუთრებული პრინციპებისა და მიდგომების გამოყენების აუცილებლობას იწვევს.

ნაგებობის გეგმურ-სასიმაღლო გეოდეზიური საფუძველი, როგორც წესი, ორ მიზანს ემსახურება: ნაგებობის სამშენებლო და ტექნოლოგიური ელემენტების საპროექტო მდგომარეობაში დაყენებას და დამთავრებული ნაგებობის ექსპლუატაციის დროს დეფორმაციებზე დაკვირვებებს.

საყრდენი გეოდეზიური ქსელის გეომეტრიულ ფორმასა და მისი პუნქტების ჩამაგრების ხერხზეა დამოკიდებული გაზომვითი სამუშაოების მოცულობა და განმეორებითი გაზომვების პერიოდულობა. პუნქტების განლაგება შეპირობებულია ნაგებობის სამშენებლო და ტექნოლოგიური ელემენტების გაერთმთლიანებით.

საყრდენი გეოდეზიური ქსელის დაპროექტებისას უნდა გათვალისწინებული იქნას, რომ: პუნქტების ნიშნების კონსტრუქციამ, კოორდინატების განსაზღვრის სიზუსტემ და გაზომვების ოპერატიულობამ უზრუნველყოს მოცემულ ნაგებობაზე გეოდეზიური ამოცანების მთელი კომპლექსის გადაწყვეტა; საყრდენი ქსელის პუნქტები ინარჩუნებდნენ კოორდინატების მნიშვნელობებს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში; საყრდენი პუნქტების განლაგების ადგილები ხელსაყრელი იყოს გეოდეზიური გაზომვებისათვის და რაც შეიძლება ახლოს ნაგებობასთან; ქსელის აგება იყოს ეკონომიური; ქსელის სქემა შეირჩეს ისე, რომ განაზომთა მათემატიკურ დამუშავებაზე მინიმალური დრო დაიხარჯოს.

ზემოთ ჩამოთვლილ მოთხოვნათა შესრულება დამოკიდებულია ქსელის ფორმის, გაზომვების მეთოდის, ნიშნების კონსტრუქციის, მათი ჩამაგრების პირობების, საძირკვლის კონსტრუქციის, ნაგებობის გაბარიტების და მოწყობილობათა განლაგების შერჩევაზე.

მნიშვნელოვანია აგრეთვე კუთხური და ხაზოვანი გაზომვების სიზუსტეების თანაფარდობის უზრუნველყოფა. ტემპერატურისა და

გვერდითი რეფრაქციის ფაქტორების გამო, უნდა უარი ვთქვათ კუთხეების გაზომვაზე ოპტიკური კუთხმზომი ინსტრუმენტებით და გამოვიყენოთ ტრილატერაციის ქსელები, თუმცა მათაც გააჩნიათ უარყოფითი მხარეები:

- სუსტი ინფორმაცია შესრულებული სამუშაოს ხარისხზე. ასე, მაგალითად, სამკუთხედში გაზომილი სამი გვერდი უკონტროლოა, მაშინ როცა იგივე სამკუთხედში გაზომილი სამი კუთხე იძლევა ფიგურის პირობას. გეოდეზიურ ოთხკუთხედში, ტრიანგულაციის მეთოდის გამოყენებისას წარმოიშობა ოთხი პირობითი განტოლება, მაშინ როცა ტრილატერაციის გამოყენებისას მხოლოდ ერთი პირობა და ა.შ.
- მშენებლობის რაიონის მიკროკლიმატს, გვერდების შუქმანძილმზომით გაზომვისას, შეუძლია გამოიწვიოს მნიშვნელოვანი შეცდომები;
- გაზომილი გვერდებით გამოთვლილი კუთხეები სამკუთხედში არატოლზუსტია, რასაც შეუძლია დაამახინჯოს დაკვალვითი სამუშაოები.

ზემონათქვამის საფუძველზე, ზოგ შემთხვევაში უმჯობესია ხაზოვან-კუთხური მეთოდის გამოყენება საყრდენი გეოდეზიური ქსელების აგებისას, ხოლო სიზუსტის შეფასებისას – მათემატიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენება.

**გეგმურ-სასიმაღლო საყრდენი ქსელების აგების ძირითადი სქემები.** პრეციზიული ნაგებობების გეოდეზიური უზრუნველყოფის პრაქტიკაში, ძირითადად, შემდეგი ტიპის ქსელებს იყენებენ: გაჭიმული ფორმის, რადიალურ-წრიული და წრიული ფორმის გეოდეზიურ საყრდენ ქსელებს.

**გაჭიმული ფორმის ქსელები** იქმნება წრფივი ნაგებობებისათვის, მაგალითად, წრფივი მაჩქარებლები. ასეთი სახის ყველა ნაგებობაში ტექნოლოგიური მოწყობილობის განივად დაყენებისთვის საჭირო სიზუსტე (**0,02 – 0,5 მმ**) მნიშვნელოვნად

აღმატება გრძივი მიმართულებით დაყენების სიზუსტეს (0,5 – 10 მმ). ქსელის სქემას და ნიშნების კონსტრუქციას ირჩევენ გაზომვების სიზუსტითა და წრფივი ნაგებობის ზომებით.

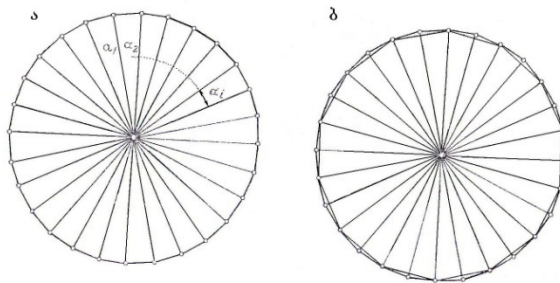
**რადიალურ-წრიული და წრიული ფორმის ქსელები.** ასეთი სახის გეოდეზიურ საყრდენ ქსელებს აგებენ წრიული ფორმის ნაგებობებისათვის (წრიული მაჩქარებლები, რადიოტელესკოპები). ქსელის გეომეტრიული ფორმა შეირჩევა, ძირითადად, ტექნოლოგიური მოწყობილობის ცალკეული ელემენტების ურთიერთმდებარეობის სიზუსტის მოთხოვნებით, შენობის ზომებით და მისი მდებარეობით (ზედაპირზე თუ მიწისქვეშ).

დამუხტული ნაწილაკების მაჩქარებლებისთვის მნიშვნელოვანია ტექნოლოგიური ელემენტების ურთიერთგანლაგების დაცვა რადიუსის გასწვრივ. რადიოტელესკოპებს და ცვლადი პროფილის ანტენებს ტექნოლოგიური ელემენტების აზიმუტური მდებარეობით დაყენებისადმი განსაკუთრებული მოთხოვნები წაეყენება.

რადიალურ-წრიული და წრიული ფორმის ქსელები, ძირითადად, შემდეგი სახისაა:

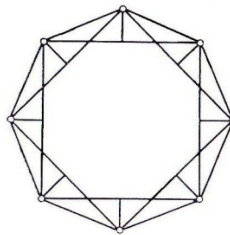
1) **ცენტრალური სისტემა**, რომელშიც საყრდენი გეოდეზიური ქსელის თითოეული პუნქტის მდებარეობა ცენტრიდან რადიალური გაზომვებით განისაზღვრება. ასეთი ქსელი არ ითხოვს მის შემდგომ გახშირებას და იყენებენ დიდი ზომის ნაგებობებში ზედაპირზე და მცირე ზომის ნაგებობებში – მიწისქვეშ (ნახ.11.3.1<sup>ა</sup>);

2) **ცენტრალური რადიალურ-წრიული სისტემა**, სადაც პუნქტების მდებარეობა განისაზღვრება ორ ეტაპად: ცენტრიდან წრეზე განლაგებულ პუნქტებამდე გაზომვებით და შემდგომი გახშირებით ქორდებით, დიაგონალებით ან პერიმეტრზე აგებული პოლიგონომეტრიული სვლებით (ნახ.11.3.1<sup>ბ</sup>);



ნახ. 11.3.1

3) **წრიული სისტემა** ნაგებობის პერიმეტრის გასწვრივ პოლიგონომეტრიული სვლების სახით (ნახ. 11.3.2).



ნახ. 11.3.2

ასეთი სახის ქსელების ანალიზმა აჩვენა, რომ დამატებით გაზომილი გვერდის ან დიაგონალის შეტანით განაზომებში და გაწონასწორებით, რადიალური გვერდების განსაზღვრის სიზუსტე არ იზრდება.

ცენტრალური რადიალურ-წრიული ფორმის ქსელები იქმნება, შედარებით მცირე ზომის წრიული მაჩქარებლებისა და ცვლადი პროფილის ანტენის ტიპის რადიოტელესკოპებისათვის, მაგალითად, ელექტრონული მაჩქარებელი ჰამბურგში (გერმანია), პროტონული მაჩქარებელი მოსკოვში (რუსეთი) და სხვ.

წრიული ფორმის ქსელები იქმნება დიდი ზომის წრიული მაჩქარებლებისათვის, რომლებიც მიწისქვეშაა განლაგებული, სადაც რადიალური გვირაბები არ გაყავთ დიდი ხარჯების გამო. ასეთი ტიპის ქსელებია აგებული ბრუკსეივენის (აშშ) ნაციონალური

ლაბორატორიის მაჩქარებლისთვის და სერპუხოვოს (რუსეთი) სინქროფაზოტრონისთვის.

ქსელების ანალიზი ადასტურებს, რომ რაც უფრო დიდია ნაგებობა, მით უფრო რთულია ქსელის ფორმა, სრულყოფილია გაზომვების მეთოდთა და ტექნიკა, მეტი დროა საჭირო გეოდეზიური გაზომვებისთვის და მით უფრო მყარად უნდა ჩამაგრდნენ გეოდეზიური ნიშნები. ამავე დროს ნიშნის კონსტრუქცია უნდა იყოს ეკონომიური, მარტივი დასამზადებლად და ჩასამაგრებლად და მოხერხებული ექსპლუატაციის დროს.

რადგანაც გვაქვს ცალ-ცალკე გეგმური, სასიმალო და გეგმურ-სასიმალო ქსელები, ამიტომ მათი შესაბამისი ნიშნები კონსტრუქციულად განსხვავდება ერთმანეთისგან.

დამკვეთი ქსელების დაპროექტებისას გეოდეზიური სამუშაოების სიზუსტეს ანგარიშობენ მოცემული სახის პრეციზიული ნაგებობისათვის სამშენებლო დაშვებების გათვალისწინებით. დამკვეთი ქსელი იქმნება მიკროტრიანგულაციის, მიკროტრილატერაციის, პოლიგონომეტრიის, გეოდეზიური გადაკვეთების, უდიაგონალეზო ოთხკუთხედების და ა.შ. მეთოდებით; სასიმალო ქსელი კი – გეომეტრიული ნიველობის მეთოდებით.

პრეციზიულ მშენებლობაში ხშირად დამკვეთი ქსელი იმეორებს ნაგებობის ფორმას, ზოგჯერ იყენებენ სამშენებლო ბადეს, ან მის კომბინაციას სხვა სახის ქსელებთან.

დამკვეთი ქსელს ისე აპროექტებენ, რომ მისი პუნქტები არ განადგურდეს მშენებლობის დროს. ქსელის პუნქტებს განლაგებენ დასაკვალავ წერტილებთან და ღერძებთან ახლოს, განსაკუთრებით იმ წერტილებთან ახლოს, რომელთა დაკვალვა გაზრდილ სიზუსტეს მოითხოვს.

ამა თუ იმ სახის სამშენებლო სამუშაოს დამთავრების შემდეგ ასრულებენ აგეგმვას (შესრულებითი), რომლის შედეგების

მიხედვით შედგება ტექნიკური შესრულებითი დოკუმენტაცია, სადაც ფიქსირებული იქნება პროექტიდან ყველა გადაზრა.

პრეციზიული ნაგებობების მშენებლობისას, სამშენებლო კონსტრუქციებისა და ტექნოლოგიური მოწყობილობების საძირკვლების დაწვევებსა და ძვრებზე გეოდეზიური დაკვირვებები ტარდება სავალდებულო წესით.

მოწყობილობათა მონტაჟისათვის საჭირო გეოდეზიური ქსელების პროექტების შედგენისას, აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნას მონტაჟისა და შემდგომი ექსპლუატაციის ტექნიკური მოთხოვნები. მონტაჟის მაღალ სიზუსტეს და ოპერატიულობას აღწევენ, როცა გეგმურ-სასიმალო საყრდენ ქსელს უთავსებენ დამკველს ქსელს.

ექსპლუატაციის პერიოდში ტექნოლოგიური მოწყობილობის მდებარეობის კონტროლი მიზანშეწონილია ჩატარდეს ოპტიკურ-ელექტრონული მეთოდების გამოყენებით, რომელიც შრომატევადი გეოდეზიური სამუშაოების ავტომატიზაციის საშუალებას იძლევა.

#### **11.4. მაღალი სიზუსტის საინჟინრო-გეოდეზიური გაზომვების მეთოდები და ხელსაწყოები**

საინჟინრო გეოდეზიის ამოცანები პრეციზიული ნაგებობების მოწყობილობათა მონტაჟისას იმდენად სხვადასხვაგვარია, რომ ყველა შემთხვევისათვის საერთო პრინციპების და მეთოდების დამუშავება ჯერჯერობით მიუღწეველია. სხვადასხვა ობიექტების ელემენტების მონტაჟისას გამოიყენება საშუალებებისა და მეთოდების მთელი ის არსენალი, რომელიც ცნობილია საინჟინრო გეოდეზიაში, მეტროლოგიასა და მანქანათმშენებლობაში.



პრეციზიულ ნაგებობათა მოწყობილობების მაღალი სიზუსტით დაყენებისათვის გეოდეზიური სამუშაოების პროექტის (მეთოდიკის) დამუშავებისას გადასაწყვეტი ამოცანები შემდეგ ეტაპებს მოიცავს:

- მოწყობილობების საპროექტო მდებარეობაში დაყენების ამოცანის გადაწყვეტის საერთო სქემის დამუშავება;
- სამონტაჟო ღერძებისა და სპეციალური საყრდენი გეოდეზიური ქსელის პუნქტების და მოწყობილობებზე ნიშნების დამაგრება;
- საყრდენი გეგმური და სასიმალო გეოდეზიური ქსელების აგების სქემებისა და მეთოდების დამუშავება;
- გაზომვების ტექნიკური საშუალებების საკითხის დამუშავება მოწყობილობების მაღალი სიზუსტით დაყენებისთვის.

მოწყობილობათა მონტაჟის ამა თუ იმ სქემის შერჩევა დამოკიდებულია ნაგებობისა და დასაყენებელი მოწყობილობების გაერთმთლიანებაზე, ერთიან ტექნოლოგიურ სამშენებლო-სამონტაჟო კომპლექსში შემავალ ცალკეულ მოწყობილობათა ურთიერთკავშირის ხასიათსა და სიზუსტეზე. შესაძლებელია შემდეგი სქემების გამოყენება:

1. მოწყობილობის მონტაჟი ხორციელდება ნატურაში დამაგრებული გამოსავალი ღერძიდან (სამონტაჟო ღერძი, ან საბაზო ხაზი). ამ ღერძის მიმართ არის მოცემული პროექტში ცალკეულ მოწყობილობათა მდებარეობის ხაზოვანი და კუთხური ზომები გეგმასა და სიმაღლეში.
2. მოწყობილობათა მონტაჟი ხორციელდება სპეციალური საყრდენი გეოდეზიური ქსელის პუნქტებიდან, რომელთა გვერდები ასრულებენ გამოსავალი ღერძების როლს. ქსელის პუნქტებს განალაგებენ ისეთ ადგილებში, რომ მათ უზრუნველყონ მოწყობილობათა დაკავალითი სამუშაოები მთელი მონტაჟის განმავლობაში და მათ მდებარეობაზე დაკვირვებები ექპლუატაციის პერიოდში.

3. მონტაჟის პროცესში მოწყობილობებს აყენებენ ერთიმეორეს მიყოლებით პროექტში მოცემული ურთიერთმდებარეობის მიხედვით. ამ დროს საჭირო გაზომვებს უმეტესად ასრულებენ მანქანათმშენებლობის გაზომვითი ტექნიკის გამოყენებით (საკონტროლო საზაზავები, შტანგენფარგლები, შიგსაზომები, სამონტაჟო თარაზოები, კათეტომეტრები და სხვ.). ზოგ შემთხვევაში, მონტაჟის კონკრეტული პირობებისათვის ამუშავებენ სპეციალურ თარგებს და საკონტროლო-გამზომ ხელსაწყოებს.

4. მოწყობილობათა მთელი კომპლექსის დაყენება ზორციელდება იმ მიმდევრობით, რომელიც განსაზღვრულია ზემოთ განხილული სქემების კომბინაციებით. მაგალითად, მოწყობილობათა ერთი ნაწილი მონტაჟდება სპეციალურად შექმნილი საყრდენი გეოდეზური ქსელის პუნქტებიდან. დანარჩენი მოწყობილობის მდებარეობას პოულობენ უკვე დაყენებულის მიმართ ან იმ წერტილებიდან, რომლებიც დაყენებული მოწყობილობის გამოსავალ ღერძს ამაგრებენ (1-ლი სქემა), ან მონაცემებით, რომლებიც მოწყობილობების ურთიერთმდებარეობის დამახასიათებელია (მე-3 სქემა).

მთავარი მოთხოვნებია საყრდენი პუნქტების სტაბილურობა და გაზომვითი ოპერაციების მოთხოვნილ მაღალ სიზუსტეთა უზრუნველყოფა. ამ მოთხოვნების შესრულება შესაძლებელია ნიშნის კონსტრუქციისა და ჩამაგრების პირობების სათანადო შერჩევით.

საყრდენი გეოდეზური ქსელების აგების თავისებურებას პრეციზიულ საინჟინრო ნაგებობათა გეოდეზური მომსახურებისას, პუნქტების დიდი სიხშირე წარმოადგენს, რის გამოც პუნქტებს შორის მანძილები მცირდება და იშვიათად აღემატება 25 მ. ამ შემთხვევაში, თანაბარი გარემო პირობების დროს, საზოგადო გაზომვების მაღალი სიზუსტის მიღწევა უფრო ადვილია, ვიდრე

კუთხური გაზომვებისა. ამის გამო გეგმური საყრდენი ქსელების აგების ყველაზე ზუსტ მეთოდად მიჩნეულია მიკროტრილატერაციის მეთოდი.

მაღალი სიზუსტის სასიმალო გეოდეზიურ ქსელად მიღებულია ნიველობის მეთოდი მოკლე სხივებით.

მოწყობილობების გეგმაში დაყენების ძირითადი მეთოდებია: პოლარული კოორდინატების, პირდაპირი კუთხური გადაკვეთების და გასწორითი მეთოდები. ამ ხერხებით დაკვალვისას მაღალი სიზუსტე მიიღწევა სპეციალური მაღალზუსტი გაზომვების საშუალებათა გამოყენებით.

**მაღალი სიზუსტის ხაზოვანი გაზომვები.** პრეციზიულ საინჟინრო ნაგებობათა მშენებლობისას ხაზების (საფუძვლის გვერდების) მაღალი სიზუსტით გაზომვის, ძირითადად, შემდეგი მეთოდებია გამოყენებული: საზომი კვერთხები; საზომი მავთული და ბაფთა; ოპტიკურ-ელექტრონული ხელსაწყოები.

საზომ კვერთხებს უმთავრესად იყენებენ საყრდენი ქსელის გვერდების **8 – 12** მ სიგრძის დროს. სასურველია, გასაზომ ხაზში კვერთხი 3-ჯერ მეტად არ თავსდებოდეს. კვერთხებს ამზადებენ მცირე ხაზოვანი გაფართოების მქონე მასალისგან, როგორებიცაა ინგარი, სიტალი და სხვ. მათი კომპარირება ხდება სპეციალურ გამზომ მანქანებზე ან ოპტიკურ-მექანიკურ კომპარატორზე. კვერთხის საშუალებით მანძილის გაზომვის სიზუსტე ტოლია **0,005 – 0,030** მმ.

უფრო გრძელ მანძილებს (**50** მ-მდე) ზომავენ ინგარის მავთულებითა და ბაფთებით. სასურველია, მავთულის სიგრძე გასაზომი მანძილის ტოლი იყოს. მათ აქვთ მინის სკალები, დანაყოფის **0,2** მმ საფასურით. ანათვლების ალებისათვის იყენებენ მიკროსკოპებს. გაზომვების დროს მავთულს ცალმხარეს დაჭიმავენ ტვირთით, მეორე მხარეს კი მყარად დაამაგრებენ, რაც უზრუნველყოფს სკალის სტაბილურ მდგომარეობას ნიშნების სამიზნეთა მიმართ.

ობიექტზე პერიოდული ხაზოვანი გაზომვების შესრულებისას აუცილებელია:

- ხაზოვანი გაზომვების ყოველ ციკლში გამოყენებულ იქნას ერთი და იგივე მოწყობილობა და ინსტრუმენტები და დაცულ იქნას მათი დაყენების სრული იდენტურობა;
- ყოველ ობიექტზე უნდა გამოყენებული იქნას ერთი ეტალონი, რომლითაც განხორციელდება საზომი ხელსაწყოების კომპარირება.

ამ პირობების შესრულებამ შეიძლება რამდენადმე შეცვალოს ქსელის მასშტაბი, მაგრამ საშუალებას იძლევა მივაღწიოთ ამ ქსელის პუნქტების მდებარეობის მაღალ ფარდობით სიზუსტეს, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელობანია დაკავალვითი სამუშაოებისათვის.

**50** მ-ზე მეტი სიგრძის ხაზების გაზომვისას ან დისტანციური გაზომვების ნებისმიერ სიგრძეზე შესრულებისას, მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნას მანძილების გაზომვის ოპტიკურ-ელექტრონული საშუალებანი.

შედარებით მოკლე მანძილების გაზომვის უმაღლესი სიზუსტე მიღებულია მანძილების გაზომვის ფაზური ან ინტერფერომეტრული მეთოდით. ამ დროს გაზომვების სიზუსტე უმთავრესად განისაზღვრება მოდულაციის სიხშირის სიდიდით.

მაღალი სიზუსტის საინჟინრო-გეოდეზიური გაზომვებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას ლაზერული მანძილმზომები – დიფერენციალური მაღალი სიზუსტის შუქმანძილმზომები, რომელთა დახმარებით შესაძლებელია თვალი ვადევნოთ მანძილების ცვლილებას, ანუ მოვახდინოთ წინასწარ უხეშად გაზომილი მანძილების დაზუსტება.

ასეთი დიფერენციალური შუქმანძილმზომით შესაძლებელია **0,5** მ-დან **3000** მ-მდე მანძილების დაზუსტება მიმდებ-გადამცემი ოპტიკის გარეშე.

ამ ტიპის ხელსაწყოებიდან აღსანიშნავია შუქმანდილზომი მეკომეტრი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს გავზომოთ  $20 + 100$  მ სიგრძის მანძილები  $0,1 - 0,2$  მმ სკმ, ხოლო  $100 + 3000$  მ სიგრძის მანძილები  $10^{-6}$  ფარდობითი შეცდომით. ერთი მანძილის გაზომვის დრო  $2 - 3$  წუთს შეადგენს.

**მაღალი სიზუსტის გასწორითი გაზომვები.** მაღალი სიზუსტის საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების შესრულებისას სამონტაჟო ღერძების გამოტანას ახორციელებენ გასწორითი გაზომვების დახმარებით. ამ მიზნით იყენებენ სიმიან, სიმიან-ოპტიკურ და ოპტიკურ მეთოდებს.

გასწორების ხაზიდან შუალედი წერტილების კუთხურ გადახრებს ზომავენ მაღალზუსტი თეოდოლიტებით. გაზომვის სიზუსტის გაზრდისათვის იყენებენ ოკულარის მიკრომეტრებს. ხოლო გასწორების ხაზიდან შუალედი წერტილების გადახრების ხაზოვანი სიდიდეების გასაზომად იყენებენ მოძრავ მარკას მიკრომეტრული გამზომით და სპეციალურ მაღალი სიზუსტის ოპტიკურ ხელსაწყოებს – მიკროტელესკოპებს, ალინიომეტრებს და სწორხაზოვნობის შემოწმების სხვა ხელსაწყოებს.

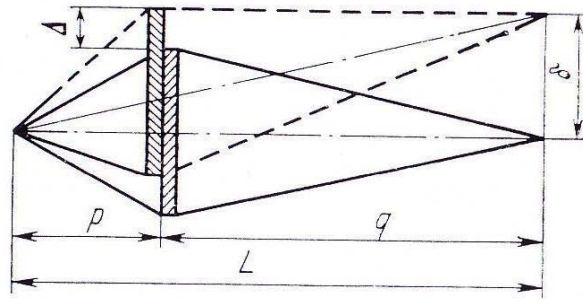
დამზერის სიზუსტის გაზრდისათვის, გასწორითი გაზომვების დროს იყენებენ მუავრის ეფექტის მოვლენასაც, რომელიც ორი ხაზოვანი რასტრის ერთი მეორეზე დადებით წარმოიქმნება. ერთი რასტრი წარმოადგენს სამიზნებელი მარკის მიზანს, ხოლო მეორე – ჭოგრის ძაფთა ბადის გამოსახულებას მარკის სიბრტყეში. ხაზოვანი რასტრი ესაა ერთნაირი სისქის ბნელი სწორხაზოვანი ზოლების რიგი, გამოყოფილი ასევე ერთნაირი სისქის ნათელი ზოლებით.

გასწორითი გაზომვების ოპტიკური ხერხის გამოყენებისას, გასწორიდან გადახრის სიდიდის გაზომვის სიზუსტის ძირითადი შემზღუდველი დამზერის შეცდომაა. ამიტომ იყენებენ მოკლე სამიზნე ხაზებს  $10 + 50$  მ ფარგლებში, რისთვისაც გასწორის მთლიან ხაზს ჰყოფენ ნაწილებად. წერტილებს შორის მანძილის

დამოკლებით, შუალედი პუნქტების ერთიერთმდებარეობის განსაზღვრის მაღალი სიზუსტე მიიღწევა, რაც მნიშვნელოვანი ფაქტორია სამშენებლო და ტექნოლოგიური ელემენტების საპროექტო მდებარეობაში დაყენების დროს.

როგორც გაანგარიშება აჩვენებს, მზერის სხივის ოპტიმალური სიგრძე, ძირითადად, დამოკიდებულია დამზერისა და დაცენტრვის შეცდომების ურთიერთფარდობაზე და ამავე დროს, მცირედაა დამოკიდებული გასწორის სიგრძეზე. დაცენტრვის შეცდომა, სპეციალური დამცენტრავი მოწყობილობების გამოყენებით შეიძლება შემცირდეს  $5 - 10$  მკმ-მდე. დამზერის შეცდომა კი მაღალი სიზუსტის ხელსაწყოების გამოყენებით ხელსაყრელ პირობებში  $0,4''$  შეადგენს.

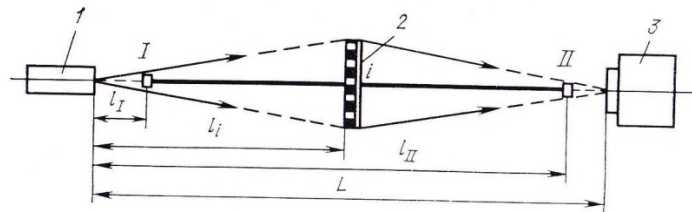
**ინტერფერენციული ხერხი.** მაღალი სიზუსტის გასწორითი გაზომვების ხერხებიდან ფართოდაა ცნობილი ლაზერული ინტერფერენციული გასწორფიქსატორი, რომელიც დაფუძნებულია კოგერენტული გამოსხივების წყაროს გამოსახულების ზონური ფირფიტებით ფორმირების თავისებურებების გამოყენებაზე. ზონური ფირფიტები გრძელფოკუსიან დიფრაქციულ ლინზებს წარმოადგენენ. მათი მეშვეობით სინათლის წერტილოვანი წყაროს გამოსახულება ფორმირდება ზუსტად სწორ ხაზზე, რომელიც წერტილოვან სინათლის წყაროს აერთებს ფირფიტის სიმეტრიის ღერძთან. ზონური ფირფიტის გადაადგილებისას გასწორის მართობულად  $\Delta$  სიდიდეზე (ნახ. 11.4.1) გამოსახულება გადაადგილდება იგივე მხარეს  $\delta = \Delta \cdot (p + q)/p$  სიდიდეზე.



ნახ. 11.4.1

გასწორითი გაზომვების შესრულებისთვის იყენებენ ზონურ ფირფიტებს გამჭვირვალე და გაუმჭვირვალე ზოლების ერთობლიობის სახით.

ხ. იამბაევის კონსტრუქციის ლაზერული ინტერფერენციული გასწორფიქსატორი შედგება სამი ძირითადი ელემენტისგან (ნახ. 11.4.2): ლაზერული გასწორმაჩვენებელი (1), ზონური მარკა (2) და ფოტოელექტრონული მარეგისტრირებელი მოწყობილობა (3). სწორი ხაზი მიიღება ლაზერული გასწორმაჩვენებლით და მარეგისტრირებელი მოწყობილობის ნულოვანი წერტილით.



ნახ. 11.4.2

ლაზერულ გასწორმაჩვენებელს I საწყისი პუნქტიდან  $l_I$  მანძილის დაშორებით დააყენებენ, ხოლო მარეგისტრირებელ მოწყობილობას II ბოლო პუნქტიდან  $(L - l_{II})$  მანძილზე. თითოეულ გამოსაკვლევ წერტილში და გასწორის I და II პუნქტებში თანამიმდევრულად აყენებენ ერთგანზომილებიან ან

ორგანზომილებიან ზონური ფირფიტების მარკებს. გასწორის თითოეული წერტილის გამოსახულების მდებარეობა ფიქსირდება მარეგისტრირებელი მოწყობილობით. ამ მონაცემებით განისაზღვრება ზონური მარკების ღერძების გადახრა I-II გასწორიდან.

აპარატურის მუშა მდგომარეობაში დაყენებისას უნდა ვეცადოთ, რომ  $L_i = L - L_{\text{II}}$ . ამ დროს მივალწევთ შუალედური წერტილების სიმეტრიულ განლაგებას გასწორის შუა წერტილის მიმართ და ერთიდაიგივე ზონური ფირფიტების გამოყენებას გასწორის ორ სიმეტრიულად განლაგებულ წერტილზე.

მარეგისტრირებელი მოწყობილობა შეიძლება იყოს ვიზუალური ან ფოტოელექტრონული. ეს უკანასკნელი ავტომატურად განსაზღვრავს სინათლის წყაროს გამოსახულების ცენტრის მდებარეობას. მათი გამოყენება საშუალებას იძლევა შეიქმნას სტაციონარული გასწვრივობები ინფორმაციის დისტანციური მიღებით.

ცდებით დადგენილია, რომ გასწორის  $300 + 800$  მ სიგრძისას შუალედი პუნქტების მდებარეობის განსაზღვრის სკშ ლაზერული ინტერფერომეტრული გასწორფიქსატორით  $0,15 - 0,20$  მმ შეადგენს.

**მაღალი სიზუსტის ნიველობა.** მაღალი სიზუსტის საინჟინრო-გეოდეზიური სამუშაოების შესრულებისას იყენებენ გეომეტრიულ ნიველობას მოკლე სხივით, ჰიდროსტატიკურ ნიველობას და მიკრონიველობას.

მოკლე სხივით გეომეტრიული ნიველობა სამშენებლო-სამონტაჟო და ექსპლუატაციის პირობებში ითვალისწინებს მოკლე სკალებიანი სახაზავების გამოყენებას, ხელსაწყოთა სიმაღლის მდოვრედ მარეგულირებელი მიკრომეტრული სანიველო ქვესადგამისა და მაღალი სიზუსტის ნიველირის გამოყენებას გაზომვების სპეციალური მეთოდით, რომელიც უზრუნველყოფს აღმატების გაზომვას  $0,1$  მმ სკშ-ით.



ნიველობას სადგურზე ასრულებენ ზუსტად შუიდან. მხრების უტოლობამ სადგურზე არ უნდა გადააჭარბოს ნიველირის ჭოგრის მიზანზე გაწყობის სიმკვეთრის ზომას, ე.ი. როცა უზრუნველყოფილია წინა და უკანა ლარტყების მკვეთრი გამოსახულება ფოკუსირების შეცვლის გარეშე, რაც  $N_z = 007$ -თვის შეადგენს 10 სმ.  $\frac{1}{2}$  კუთხე, ანუ კუთხე მზერის სხივსა და თარაზოს ღერძს შორის ნაკლები უნდა იყოს  $10''$ -ზე.

როდესაც შუიდან ნიველობა შეუძლებელია, მაშინ აღმატება უნდა გაიზომოს ჯერ ნიველირის დაყენებით წინა ლარტყის ახლოს, ხოლო შემდეგ უკანა ლარტყის ახლოს.

სამუშაოს სიზუსტისა და შრომის ნაყოფიერების გაზრდის მიზნით, აუცილებელია პრეციზიული ნიველირის ქვესადგამის გამოყენება, რომლითაც შესაძლებელია ნიველირის მიკრომეტრულად აწევ-დაწევა 100 მმ ფაგლებში მისი აზიმუტურად მობრუნების გარეშე.

სადგურზე დაკვირვებას ასრულებენ დროში ზუსტად სიმეტრიული პროგრამით, რომელიც ითვალისწინებს ლარტყებზე ანათვლების აღების შემდეგ თანამიმდევრობას: კენტ სადგურებზე – პირველი ჰორიზონტით უკან და წინ, მეორე ჰორიზონტით წინ და უკან; ლუწ სადგურებზე – პირველი ჰორიზონტით – წინ და უკან, მეორე ჰორიზონტით – უკან და წინ. ასეთი პროგრამა ეფექტურად ამცირებს სისტემატური შეცდომების გავლენას.

მოკლე მანძილებზე (2 მ-მდე) აღმატების განსაზღვრისათვის იყენებენ მიკრონიველირებს. ისინი ძირითადად სამშენებლო-სამონტაჟო და იუსტირებითი სამუშაოების შესრულებისას გამოიყენება. მათ იყენებენ აგრეთვე სამშენებლო და ტექნოლოგიური ელემენტების დახრების გასაზომად.

მონტაჟის დროს გეგმური კოორდინატების ერთი სამონტაჟო ჰორიზონტიდან მეორეზე გადასაცემად და სამშენებლო და ტექნოლოგიური კონსტრუქციების მდებარეობათა შემოწმებისთვის

სიმაღლეში იყენებენ მექანიკურ და ოპტიკურ მაცენტრებელ  
ხელსაწყოებს.

**ლიტერატურის სია**

1. Афанасьев В.А., Усов В. С. Оптические приборы и методы контроля прямолинейности в инженерной геодезии. М., Недра, 1973.
2. Булгаков Н.П., Рывина Е.М., Федотов Г.А. Прикладная геодезия. М.,Недра, 1990.
3. Визгин А. А., Ганьшин В. Н., Коугия В.А и др. Инженерная геодезия. М., изд. Высшая школа, 1985.
4. Геодезические работы при строительстве мостов. Под ред. В. А. Коугия. М., Недра, 1986.
5. Глотов Г. Ф. Курс инженерной геодезии. М., Недра, 1972.
6. Григоренко А.Г. Измерение смещений оползней. М., Недра, 1988.
7. Донских И.Е. Створный метод измерений смещений сооружений, М., Недра, 1974.
8. Зацаринный А. В. Автоматизация высокоточных инженерно – геодезических измерений. М., Недра, 1976.
9. ბ. თევზაძე საინჟინრო გეოდეზია. ტ. III. თბ. განათლება, 1983.
- 10.ბ. თევზაძე საინჟინრო გეოდეზია. ტ. IV. უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 1983.
- 11.ბ. თევზაძე საინჟინრო გეოდეზია. ტ. V. თბ. განათლება, 1985.
- 12.ბ. თევზაძე საინჟინრო გეოდეზია. ტ. IX. თბ. განათლება, 1980.
- 13.ბ. თევზაძე საინჟინრო გეოდეზია. ტ. X. თბ. განათლება, 1982.
14. Инструкция по инженерно – геодезическим изысканиям магистральных каналов. М., Гидропроект, 1970.

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. Коугия В.А., Грузинов В.В., Малковский О.Н. и др. Геодезические работы при строительстве мостов. М., Недра, 1986.
18. Кочетов Ф.Г. Автоматизированные системы для геодезических измерений. М., Недра, 1991.
19. Лебедев Н.Н. Курс инженерной геодезии. М., Недра, 1974.
20. Левчук Г.П., Курс инженерной геодезии. М., Недра, 1970.
21. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. М., Недра, 1981.
22. Левчук Г.П., Новак В.Е., Лебедев Н.Н. Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений. М., Недра, 1983.
23. Лысов Г. Ф. Геодезические работы на строительной площадке. М., Недра, 1988.
24. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве. (Под. ред. В.Д. Большакова) М., Недра, 1976.
25. Методы разбивки мостов (Под. ред. Г. С. Бронштейна). М., Транспорт, 1982.
26. Михелев Д.Ш., Рунов И.В., Голубцов А.И. Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений. М., Недра, 1977.

27. Николаев С. А. Статистические исследования осадок инженерных сооружений. М., Недра, 1983.
28. Парамонова Е.Г., Юнусов А.Г., Геодезические работы в мелиоративном строительстве. М., Недра, 1990.
29. Пискунов М.Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений. М., Недра, 1980.
30. Пискунов М.Е. Наблюдения за осадками и горизонтальными смещениями сооружений геодезическими методами. М., МИИГА и К., 1973.
31. Практикум по курсу прикладной геодезии. Авт.: Лебедев Н.Н., Новак В.Е., Левчук Г.П. и др. М., Недра, 1977.
32. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1975.
33. Руководство по наблюдениям за осадками и смещениями инженерных сооружений фотограмметрическими методами. М., Недра, 1979.
34. Руководство по производству геодезических разбивочных работ при строительстве мостов и труб. М., ЦНИИС, 1981.
35. Руководство по съемке и составлению планов подземных инженерных коммуникаций и сооружений. М., Стройиздат, 1979.
36. Справочник геодезиста в 2-х книгах. (под ред. В.Д. Большакова и Г.П. Левчука) М., Недра, 1985.
37. Справочник строителя. геодезические работы в строительстве. (под ред. В. И. Ганьшина), М., Стройиздат, 1984.
38. Справочник по инженерной геодезии (под ред. Н.Г. Видуева) Киев, 1979.

39. Строительные нормы и правила (СН и П): III-2-75. геодезические работы в строительстве. М., Стройиздат, 1976.
40. Сундаков Я. А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. М., Недра, 1980.
41. Сытник В. С., Ключин А. Б. Геодезический контроль точности возведения монолитных зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1981.
42. Техническая инструкция по производству геодезическо-маркшейдерских работ при строительстве метрополитенов и тоннелей. М., Минтрансстрой, 1970.
43. Федотов Г.А. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. М., Транспорт, 1986.
44. Ямбаев Х.К. Высокоточные створные измерения. М., Недра, 1978.

## სარჩევი

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| შესავალი -----                                                           | 3  |
| თავი 1. გეოდეზიური სამუშაოები საავტომობილო გზების მშენებლობის დროს ----- | 4  |
| 1.1. საავტომობილო გზების კლასიფიკაცია და ზოგადი ცნობები -----            | 4  |
| 1.2. საგზაო მიმოკვლევის ტექნოლოგიური სქემა -----                         | 6  |
| 1.3. გზის ზედაპირის ვაკისის დაკვალვა -----                               | 8  |
| 1.4. ვირაჟები საავტომობილო გზებზე -----                                  | 17 |
| 1.5. სერპანტინი საავტომობილო გზაზე და მისი დაკვალვა -----                | 20 |
| 1.6. საავტომობილო გზების გადაკვეთების დაკვალვა -----                     | 24 |
| თავი 2. გეოდეზიური სამუშაოები რკინიგზების მშენებლობის დროს -----         | 27 |
| 2.1. სარკინიგზო მიმოკვლევა -----                                         | 27 |
| 2.2. რკინიგზის ვაკისის დაკვალვა -----                                    | 30 |
| 2.3. რკინიგზების შეერთებების და პარკების დაკვალვა -----                  | 32 |
| 2.4. რკინიგზის აგეგმვის ხერხები -----                                    | 37 |
| თავი 3. გეოდეზიური სამუშაოები ხიდის მშენებლობის დროს --                  | 47 |
| 3.1. სახიდე ტერიტორიის მიმოკვლევა და აგეგმვა -----                       | 47 |
| 3.2. ხიდის სიგრძის განსაზღვრა -----                                      | 52 |
| 3.3. ხიდის სასიმაღლო საფუძველი -----                                     | 55 |
| 3.4. ხიდის გეგმური საფუძველი -----                                       | 62 |
| 3.5. ხიდის ბურჯების ცენტრების დაკვალვა -----                             | 71 |
| 3.6. ხიდის მალეების მონტაჟი -----                                        | 81 |
| თავი 4. გეოდეზიური სამუშაოები მაგისტრალური მილსადენის მშენებლობის დროს - | 86 |
| 4.1. მილსადენის ტრასის მიმოკვლევა -----                                  | 86 |
| 4.2. დაკვალვითი სამუშაოები მილსადენის მშენებლობის დროს-                  | 89 |

|                                                                                            |                                                                         |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>თავი 5. გეოდეზიური სამუშაოები ელექტრო-გადამცემი ხაზის მშენებლობის დროს -----</b>        |                                                                         | <b>91</b>  |
| 5.1.                                                                                       | ელექტრო-გადამცემი საჰაერო ხაზის ტრასის შერჩევა -----                    | 91         |
| 5.2.                                                                                       | საჰაერო ტრასის საპროექტო ტექნიკური მიმოკვლევა ----                      | 94         |
| <b>თავი 6. გეოდეზიური სამუშაოები აეროპორტის მშენებლობის დროს -----</b>                     |                                                                         | <b>99</b>  |
| 6.1.                                                                                       | აეროპორტის ტერიტორიის მიმოკვლევა -----                                  | 99         |
| 6.2.                                                                                       | აეროპორტის მშენებლობის გეოდეზიური საფუძველი -----                       | 102        |
| 6.3.                                                                                       | აეროპორტის ტერიტორიის აგებმა -----                                      | 104        |
| 6.4.                                                                                       | აეროპორტის მისასვლელების აგებმა -----                                   | 105        |
| 6.5.                                                                                       | ასაფრენი ზოლების ღერძების დაკვალვა -----                                | 108        |
| 6.6.                                                                                       | მიწის სამუშაოები აეროდრომის დაგეგმარებისას -----                        | 110        |
| 6.7.                                                                                       | ასაფრენი ზოლების დაბეტონება და მიწისქვეშა კომუნიკაციების დაკვალვა ----- | 112        |
| <b>თავი 7. გეოდეზიური სამუშაოები სამრეწველო ობიექტის მშენებლობისას -----</b>               |                                                                         | <b>114</b> |
| 7.1.                                                                                       | სამრეწველო მოედნის შერჩევა და აგებმა ----                               | 114        |
| 7.2.                                                                                       | სამრეწველო მოედნის გეოდეზიური საფუძველი -----                           | 115        |
| 7.3.                                                                                       | სამშენებლო ბადის სიზუსტის ანგარიში -----                                | 118        |
| 7.4.                                                                                       | სამრეწველო ნაგებობათა დაკვალვა -----                                    | 121        |
| 7.5.                                                                                       | სვეტების (კოლონების) დაყენება -----                                     | 122        |
| 7.6.                                                                                       | ამწისქვეშა გზების შემოწმება -----                                       | 124        |
| 7.7.                                                                                       | ტექნოლოგიურ მოწყობილობათა შემოწმება -----                               | 126        |
| <b>თავი 8. გეოდეზიური სამუშაოები ქალაქისა და დასახლებული პუნქტების მშენებლობისას -----</b> |                                                                         | <b>128</b> |
| 8.1.                                                                                       | ქალაქის დაგეგმარებისა და გაშენების პროექტების შედგენა -----             | 128        |
| 8.2.                                                                                       | ქალაქის დაგეგმარებისა და გაშენების პროექტის ნატურაში გადატანა -----     | 131        |
|                                                                                            |                                                                         |            |



|                                                                                        |                                                                                        |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.3.                                                                                   | ვერტიკალური დაგეგმარების პროექტის ნატურაში გადატანა -----                              | 135        |
| 8.4.                                                                                   | გეოდეზიური სამუშაოები მრავალსართულიანი ასაწყობი შენობის აგებისას -----                 | 137        |
| 8.5.                                                                                   | გეოდეზიური სამუშაოები კოშკური ტიპის მაღლივი ნაგებობების მშენებლობისას -----            | 144        |
| <b>თავი 9. გეოდეზიური სამუშაოები ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობის დროს -----</b> |                                                                                        | <b>147</b> |
| 9.1.                                                                                   | ზოგადი ცნობები ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე -----                                         | 147        |
| 9.2.                                                                                   | მდინარის გრძივი პროფილის შედგენა -----                                                 | 150        |
| 9.3.                                                                                   | ტოპოგრაფიულ-გეოდეზიური სამუშაოები წყალსაცავის შექმნისას -----                          | 159        |
| 9.4.                                                                                   | ჰიდრომელიორაციული მიმოკვლევები -----                                                   | 165        |
| 9.5.                                                                                   | მაგისტრალური არხების მიმოკვლევა -----                                                  | 171        |
| 9.6.                                                                                   | გეოდეზიური სამუშაოები ჰიდროკვანძის მშენებლობის დროს -----                              | 175        |
| 9.7.                                                                                   | ჰიდროტექნიკური ნაგებობის დეფორმაციაზე გეოდეზიური დაკვირვებები -----                    | 185        |
| <b>თავი 10. გეოდეზიური სამუშაოები გვირაბის მშენებლობის დროს -----</b>                  |                                                                                        | <b>190</b> |
| 10.1.                                                                                  | გვირაბის დაპროექტებისა და გაყვანის ხერხები -----                                       | 190        |
| 10.2.                                                                                  | გვირაბის გაყვანის გეოდეზიური საფუძველი -----                                           | 196        |
| 10.3.                                                                                  | დაშვებების ანგარიში გვირაბის შემხვედრი სანგრევებით გაყვანისას -----                    | 199        |
| 10.4.                                                                                  | გვირაბის გეოდეზიური საფუძვლის სხვადასხვა საფეხურებში განაზომთა სიზუსტის ანგარიში ----- | 207        |
| 10.5.                                                                                  | გვირაბის გეოდეზიური საფუძვლის აგების თავისებურებანი ზედაპირზე -----                    | 215        |
| 10.6.                                                                                  | გვირაბის ტრასის ძირითადი ელემენტები -----                                              | 223        |
| 10.7.                                                                                  | გვირაბის ტრასის პიკეტების კოორდინატების გაანგარიშება -----                             | 226        |

|                                                                                      |                                                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 10.8.                                                                                | მრუდხაზოვანი გვირაბის ტრასის გადატანა ნატურაში --                                                  | 232        |
| 10.9.                                                                                | მიწისქვეშა გეოდეზიური საფუძვლის ორიენტირების<br>არსი და ხერხები -----                              | 240        |
| 10.10.                                                                               | ორი შვეულის გასწორის ხერხით ორიენტირება -----                                                      | 243        |
| 10.11.                                                                               | შემაერთებელი სამკუთხედებით ორიენტირება -----                                                       | 245        |
| 10.12.                                                                               | ორი შახტით ორიენტირება -----                                                                       | 254        |
| 10.13.                                                                               | გირთეოდოლიტით ორიენტირება -----                                                                    | 259        |
| 10.14.                                                                               | ნიშნულის გადაცემა ზედაპირიდან მიწისქვეშ -----                                                      | 262        |
| 10.15.                                                                               | მიწისქვეშა პოლიგონომეტრიული სვლები -----                                                           | 266        |
| 10.16.                                                                               | გვირაბის ღერძის დაკვალვის ხერხები -----                                                            | 268        |
| 10.17.                                                                               | გეოდეზიური სამუშაოები ვერტიკალური ჭაურის<br>გაყვანისას -----                                       | 271        |
| 10.18.                                                                               | გეოდეზიური სამუშაოები დახრილი გვირაბის<br>გაყვანისას - -----                                       | 273        |
| 10.19.                                                                               | გეოდეზიური სამუშაოები გვირაბში რკინიგზის<br>დაგებისას -----                                        | 275        |
| 10.20.                                                                               | გეოდეზიური სამუშაოები მეტროპოლიტენის სადგურის<br>მშენებლობისას -----                               | 278        |
| 10.21.                                                                               | გვირაბის დეფორმაციაზე გეოდეზიური დაკვირვება -----                                                  | 282        |
| <b>თავი 11. გეოდეზიური სამუშაოები პრეციზიული ნაგებობების<br/>მშენებლობისას -----</b> |                                                                                                    | <b>286</b> |
| 11.1.                                                                                | ცნობები პრეციზიულ ნაგებობებზე და მათი მშენებლობის<br>სიზუსტისადმი მოთხოვნები-----                  | 286        |
| 11.2.                                                                                | სამთო ქანების მიკროძვრებზე დაკვირვება პრეციზიულ<br>ნაგებობათა მშენებლობის ადგილის შერჩევისას ----- | 295        |
| 11.3.                                                                                | პრეციზიულ ნაგებობათა გეოდეზიური საფუძველი -----                                                    | 303        |
| 11.4.                                                                                | მაღალი სიზუსტის საინჟინრო-გეოდეზიური გაზომვების<br>მეთოდები და ხელსაწყოები -----                   | 310        |
| <b>ლიტერატურა -----</b>                                                              |                                                                                                    | <b>320</b> |

