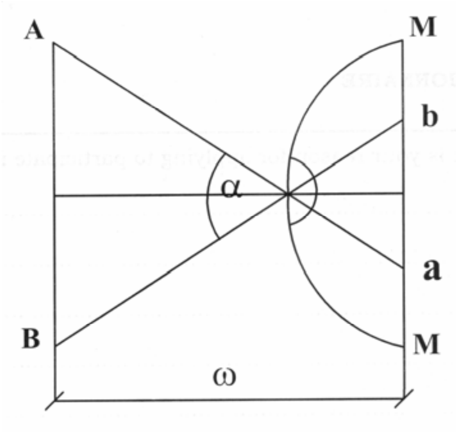
IX თავი
სამიზნებელი ხელსაწყოები



ნახ. 109

ძირითადი სამიზნებელი ხელსაწყო არის ადამიანის თვალი. ჩვენ გვაინტერესებს ადამიანის თვალის ბროლი, სადაც სხივები გადაიკვეთებიან და ბადურა, სადაც გამოსახულება მიიღება.

დავუშვათ, რომ საჭიროა AB საგნის დამზერა, სადაც:

α-საუკეთესო ხედვის კუთხეა;

ω-საუკეთესო ხედვის მანძილი. იგი სხვადასხვაა და ტოლია –

ჩვეულებრივი თვალისათვის=25 სმ.;

ბეცი თვალისათვის =10 სმ;

ყუში თვალისათვის =50 სმ.

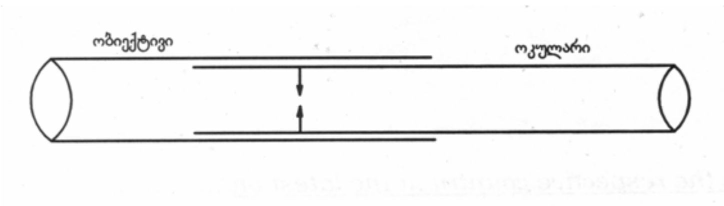
საგნის კარგად გარჩევის მიზნით უსასრულოდ მისი მიახლოება შეუძლებელია. როგორც ნახაზიდან ჩანს, თვალის გუგაში (*MM*) მივიღებთ *AB*-ს შებრუნებულ *ba* გამოსახულებას, რომელსაც ვმზერთ საუკეთესო მხედველობის ω მანძილზე.

კუთხეს, რომელსაც ქმნის თვალის ოპტიკურ ცენტრთან სამზერი საგნის კიდური წერტილებიდან წამოსული სხივები, მხედველობის კუთხე ეწოდება (α).

გეოდეზიაში ჩვენ საქმე გვაქვს შორეულ საგნებთან. საგანი რაც უფრო შორსაა, მით უფრო მცირე გვეჩვენება. საგანთა გარკვევით აღქმა კი აუცილებელია. საგნები, რომ გარკვევით აღვიქვათ, საჭიროა მხედველობის კუთხის გადიდება ე.ი. თვალის შეიარაღება. იარაღში გამოიყენება ლინზები.

9.1. ჭოგრი

ჭოგრი შედგება ობიექტივის და ოკულარის მუხლისაგან.



განვიხილოთ, ჩვენს მიერ შესწავლილი, ლინზების თვისებები როგორ გამოიყენება ჭოგრში, რომელიც შორეულ საგნებს აახლოებს და ადიდებს. ე.ი. ვიღებთ შებრუნებულ წარმოსახვით და გადიდებულ გამოსახულებას.

ჭოგრის ობიექტივში გამოიყენება I შემთხვევა,

ოკულარში კი II შემთხვევა;

ე.ი. ობიექტივიდან მიღებულ ba გამოსახულებას (შემცირებულს, შებრუნებულს, ნამდვილს, ერთმაგ საფოკუსო მანძილს გარეთ) დავუხვედროთ მეორე ლინზა, რომელიც მოგვცემს გამოსახულებას იმავე მხარეს-გადიდებულს და პირდაპირს.

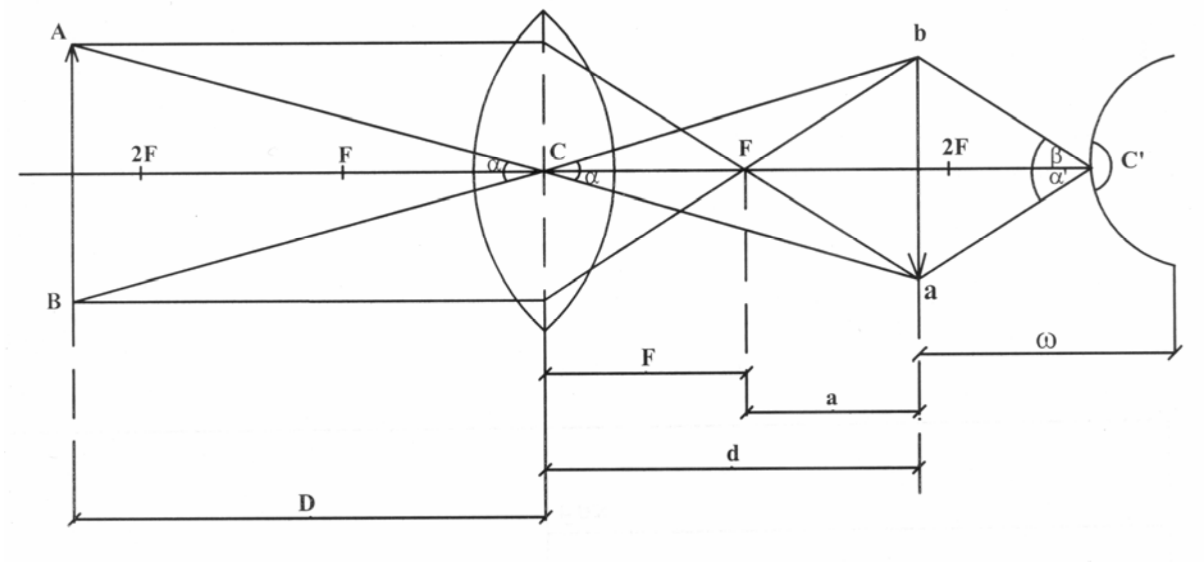
კეპლერის ჭოგრი აახლოებს და ადიდებს, მიკროსკოპი კი მხოლოდ ადიდებს.

ჭოგრი ხასიათდება 3 თვისებით:

1. გამადიდებლობით,
2. მხედველობის არეთი,
3. ნათელობით.

ა) ჭოგრის გამადიდებლობა

ჭოგრის გამადიდებლობა არის იმ კუთხის ფარდობა, რომლის ფარგლებშიც დაიმზირება საგანი შეიარაღებული თვალით, კუთხესთან, რომლის ფარგლებშიც დაიმზირება საგანი შეუიარაღებელი თვალით, ე.ი. როცა გვაქვს ჭოგრი და საგანს ვმზერთ რაღაც β კუთხით, ხოლო უჭოგროთ α კუთხით. გამადიდებლობა $G=\dfrac{\beta}{\alpha}$, საერთოდ ჭოგრის გამადიდებლობა რომ გამოვიყვანოთ, უნდა განვსაზღვროთ ობიექტივისა და ოკულარის გამადიდებლობა ცალ-ცალკე და შემდეგ მათი შეთავსებით მივიღოთ, ჭოგრის საერთო გამადიდებლობა.



ნახ. 110

AB საგანი ობიექტივით დაიმზირება α კუთხით. მიღებულ *ba* გამოსახულებას დავუხვედროთ თვალი საუკეთესო ხედვის ω მანძილზე, რომელიც იმავე გამოსახულებას დამზერს α' კუთხით.

F – იყოს მთავარი საფოკუსო მანძილი,

d – საფოკუსო მანძილი ლინზიდან გამოსახულებამდე.

ლინზის მთავარი ფოკუსი არის ის წერტილი, სადაც მიიღება გამოსახულება, როდესაც საგანი უსასრულობაშია.

ობიექტივის ლინზის გამადიდებლობის $\left(g_1=\frac{\alpha'}{\alpha}\right)$ ფორმულა გავამრავლოთ d-ზე და განვსაზღვროთ (d-F).

$d-F=\frac{d}{D}\cdot F$; აქედან $\frac{d}{D}$ უნდა შევცვალოთ, ამიტომ $\left(g_1=\frac{\alpha'}{\alpha}\right)$ გავამრავლოთ D-ზე

$$\frac{d}{D}=\frac{F}{D-F}, \qquad (9.1.1)$$

$$d-F=\frac{d}{D}\cdot F=\frac{F^2}{D-F}. \qquad (9.1.2)$$

F – არის მთავარი საფოკუსო მანძილი. იგი შეიძლება იყოს *max* 8-10სმ. D – არის მანძილი ჭოგრიდან საგნამდე და როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ ≈ 200მ. d – მანძილი გამოსახულებიდან ლინზამდე და იგი $\approx F$ (რადგან საგანი შორსაა).

ახლა განვსაზღვროთ ab; ნახაზზე Δabc და $\Delta abc'$ დან

$$ab=2Ftg\frac{\alpha}{2}=2\omega tg\frac{\alpha'}{2}. \qquad (9.1.3)$$

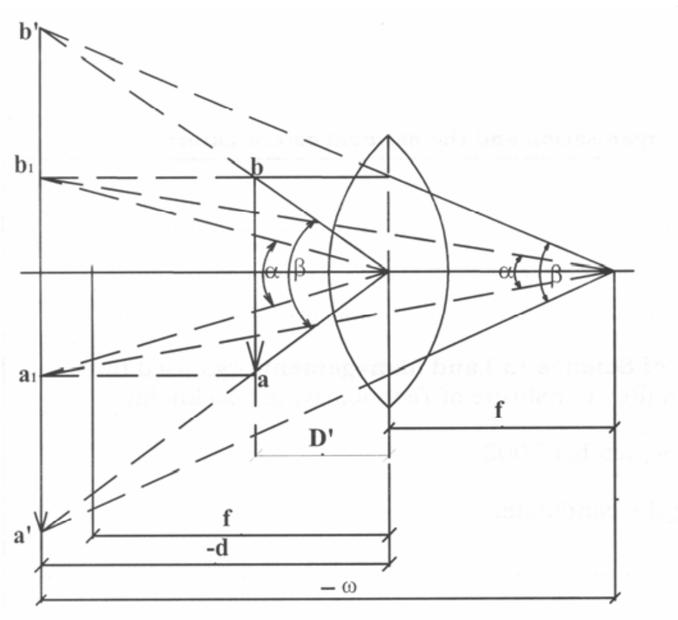
არსებული სიდიდეები მცირეა და გამოვსახოთ რადიანებში.

$$F\alpha = \omega\alpha' \text{, აქედან} \tag{9.1.4}$$

$$\frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{F}{\omega} = g\ . \tag{9.1.5}$$

ესაა ობიექტივის ლინზის გამადიდებლობა და იგი უდრის მთავარი საფოკუსო მანძილისა და საუკეთესო ხედვის მანძილის ფარდობას.

ბ) განვსაზღვროთ გამადიდებლობა ოკულარისათვის



ნახ. 111

ვთქვათ, საგანი არის ფოკუსსა და ლინზას შორის. რომ არ გვქონდეს ლინზა, საგანს დავმზერდით α კუთხით, მაგრამ, რადგან ლინზა გვაქვს, ვმზერთ β კუთხით. ე.ი. ოკულარის გამადიდებლობა $g_2 = \dfrac{\beta}{\alpha}$. უნდა განვსაზღვროთ D'. (5)-დან

$$-d - f = -\omega = \frac{f^2}{D'-f} \quad \text{აქედან}$$

$$D' = f\left(1 - \frac{f}{\omega}\right) \tag{9.1.6}$$

$f_{\max} = 7$ მმ. $\omega = 500$ მმ (ყუში თვალისათვის) ე.ი. $\dfrac{f}{\omega}$ შეგვიძლია ვუგულვებელვყოთ, ე.ი. $D' \approx f$. D' - ვაყენებთ საფოკუსო მანძილზე (მაშასადამე გამოსახულება მიიღება მთავარ ფოკუსში). ახლა გავიგოთ ab. ნახაზიდან

$$ab = 2ftg\,{}^{\beta}\!/_{2} = 2\omega tg\,\frac{\alpha'}{2}\,; \tag{9.1.7}$$

$$f\beta = \omega\alpha', \qquad \frac{\beta}{\alpha'} = \frac{\omega}{f} = g_2, \qquad \text{ე.ი.} \qquad g_2 = \frac{\omega}{f}. \tag{9.1.8}$$

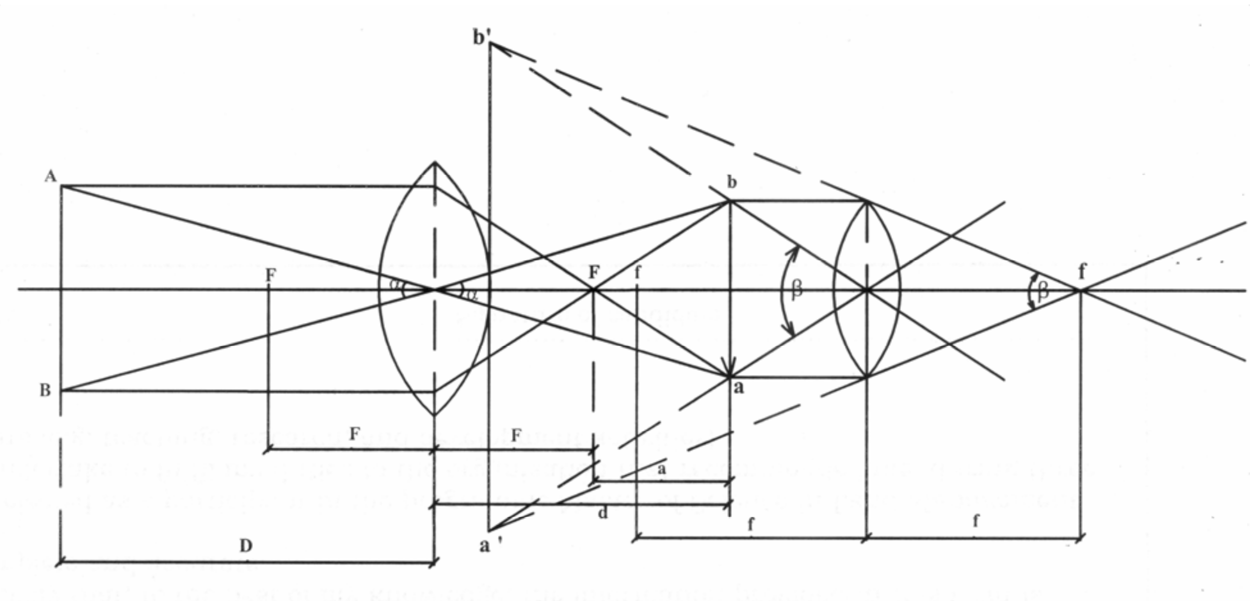
(8) არის მუშა ფორმულა ოკულარის გამადიდებლობის გამოსასახავად.

ახლა განვსაზღვროთ, როგორ მიიღება სხივები ჭოგრში (ობიექტივში და ოკულარში ერთად).

საგანი AB გაივლის ობიექტივის ლინზაში. გამოსახულება ba მიიღება შორეული საგნის შებრუნებული და შემცირებული. ახლა დავუხვედროთ მეორე (ოკულარის) ლინზა ისე, რომ ba იყოს ოკულარის ლინზისა და მის მთავარ საფოკუსო მანძილს შორის. ჭოგრის საერთო გამადიდებლობა

$$G = g_1 \cdot g_2 = \frac{F}{\omega} \cdot \frac{\omega}{f} = \frac{F}{f}, \qquad (9.1.9)$$

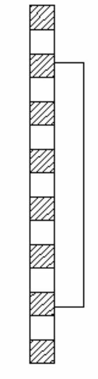
ე.ი. გამადიდებლობა უდრის ობიექტივის ლინზისა და ოკულარის ლინზის საფოკუსო მანძილების ფარდობას.



ნახ. 112

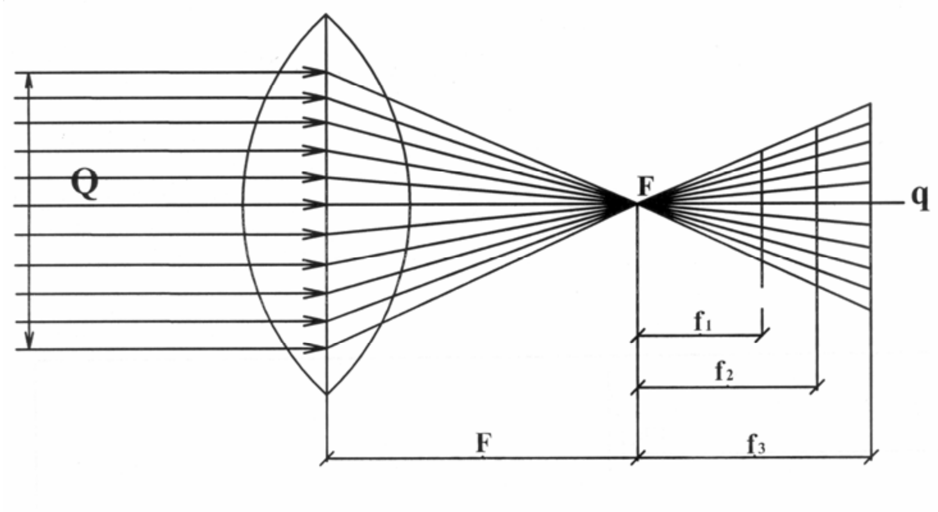
$$ab = aFtg\tfrac{\beta}{2}, \qquad F\alpha = f\beta, \qquad \frac{\beta}{\alpha} = \frac{F}{f} = G. \qquad (9.1.10)$$

გამადიდებლობას პრაქტიკულად განსაზღვრავენ სხვადასხვა ხერხით. განვიხილოთ გალილეის მეთოდი:



ჭოგრიდან 20-25მ-ის მანძილზე აყენებენ ლარტყას და მზერენ ცალი თვალით ჭოგრში, მეორეთი უჭოგროდ. თვალები ისე უნდა იყოს დაყენებული, რომ ორივე სურათი ერთმანეთს ჰფარავდეს. დათვლიან იმ დანაყოფების რიცხვს უჭოგროდ, რომელიც შეესაბამება ჭოგრში ლარტყის 1 დანაყოფს. იგი ჩვენს შემთხვევაში =12 ე.ი. $G = 12$, ან ობიექტივის ლინზის თავისუფალ განხმულობას (ხვრეტს) გაზომავენ მმ-ში, ვთქვათ 30 მმ. მაშინ თვლიან, რომ გამადიდებლობა $G = 30$.

ახლა განვსაზღვროთ როდისაა გამადიდებლობა მაქსიმალური და მინიმალური.



ნახ. 113

ვთქვათ გვინდა ჭოგრს ჰქონდეს მაქსიმალური გამადიდებლობა, უსასრულობიდან წამოსული სხივები იკვეთება მთავარ საფოკუსო მანძილზე. იგი (F) ობიექტივისათვის მუდმივი სიდიდეა.

ოკულარი დავუხვედროთ f_1, f_2, f_3 მანძილებზე. ლინზის ზღვრული სიდიდე იქნება q (თვალის გუგის დიამეტრი), იგი თვალზე დიდი არ შეიძლება იყოს.

ექსპერიმენტალურად დადგენილია, რომ f : 7.5 მმ-ზე ნაკლები არ შეიძლება იყოს, ე.ი. მაქსიმალური გამადიდებლობა იქნება, როდესაც f მინიმალურია.

$$G_{\max} = \frac{F}{f_1} = \frac{F}{7.5}, \tag{9.1.11}$$

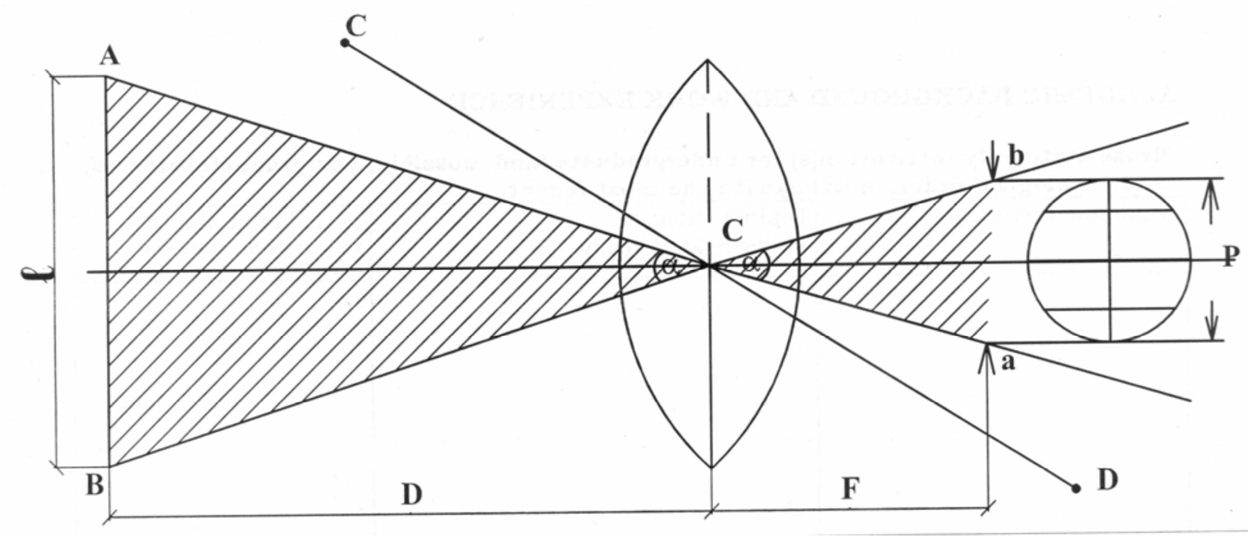
$$G_{\min} = \frac{F}{f_3} = \frac{F}{\frac{q}{Q} \cdot F} = \frac{Q}{q}. \tag{9.1.12}$$

Q – თავისუფალი განხმულება ობიექტივის ლინზისათვის,

q – თავისუფალი განხმულება თვალისათვის.

9.2. მხედველობის არე

ჭოგრის მხედველობის არე ეწოდება სივრცის იმ ნაწილს, რომელსაც მოიცავს თვალი ჭოგრით საგანზე მზერის დროს მის უძრავ მდგომარეობაში.



ნახ. 114

მხედველობის არის საზომი არის α კუთხე, რომლის წვერო ობიექტივის ლინზის ოპტიკურ ცენტრშია და გვერდები ეყრდნობა ძაფთა ბადის განხმულობას.

მაგ. თუ მოცემულ საგანს ვმზერთ ობიექტივის ლინზით მივიღებთ შებრუნებულ, შემცირებულ გამოსახულებას. მხედველობის არე

$$\alpha' = \frac{P}{F} \cdot \rho = \frac{0.6f}{F} \cdot 3438' = \frac{2063'}{G} \approx \frac{2000'}{G}$$

P-ს იღებენ 0.6-ს f-ისას (ოკულარის ლინზის მთავარი საფოკუსო მანძილისა). პრაქტიკულად მხედველობის არე ასე განისაზღვრება

$$\alpha' = \frac{\lambda}{D} \cdot \rho . \qquad (9.2.1)$$

CD – მხედველობის არეში ვერ მოხვდება.

9.3. გამადიდებლობა

მიღებული ოდენობები საშუალებას გვაძლევს გამოვითვალოთ ჭოგრის გამადიდებლობა, მხედველობის არე და ნათელობა, როცა მას დაყენებული აქვს ჰიუგენსის ოკულარი, ობიექტივში არაფერი შეცვლილა, მაშასადამე მიღებული ფორმულების გამოყენებით გვექნება:

$$G_{ჰ} = \frac{F_{ჰ}}{f_{ქ}} = \frac{\frac{2}{3} F_{ქეპ}}{f_{ქ}} = \frac{2}{3} G_{ქ} \text{ ე.ი. შემცირდება.} \qquad (9.3.1)$$

მხედველობის არე $\alpha_h = \dfrac{2000©}{G_h} = \dfrac{2000}{\dfrac{2}{3}G_k} = \dfrac{3}{2}\alpha_k$ – გადიდდა. (9.3.2)

ფარდობითი ნათელობა $h_{\text{ჰ}} = 0.85\dfrac{Q^2}{q^2 G_{\text{ჰ}}^2} = 0.85\dfrac{Q^2}{q^2 \dfrac{4}{9} G_{\text{კ}}^2} = \dfrac{9}{4}h_{\text{კ}}$ (9.3.3)

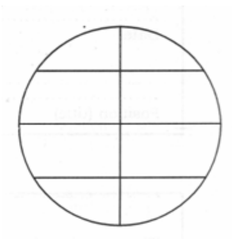
განვიხილეთ სხივების სვლა ჰიუგენსის ოკულარში და მივიღეთ გადიდებული გამოსახულება.

ა) ჭოგრის სამზერად დაყენება

ეს პროცესი შედგება 2 მოქმედებისაგან:

1. ჭოგრის თვალზე დაყენება;
2. ჭოგრის საგანზე დაყენება.

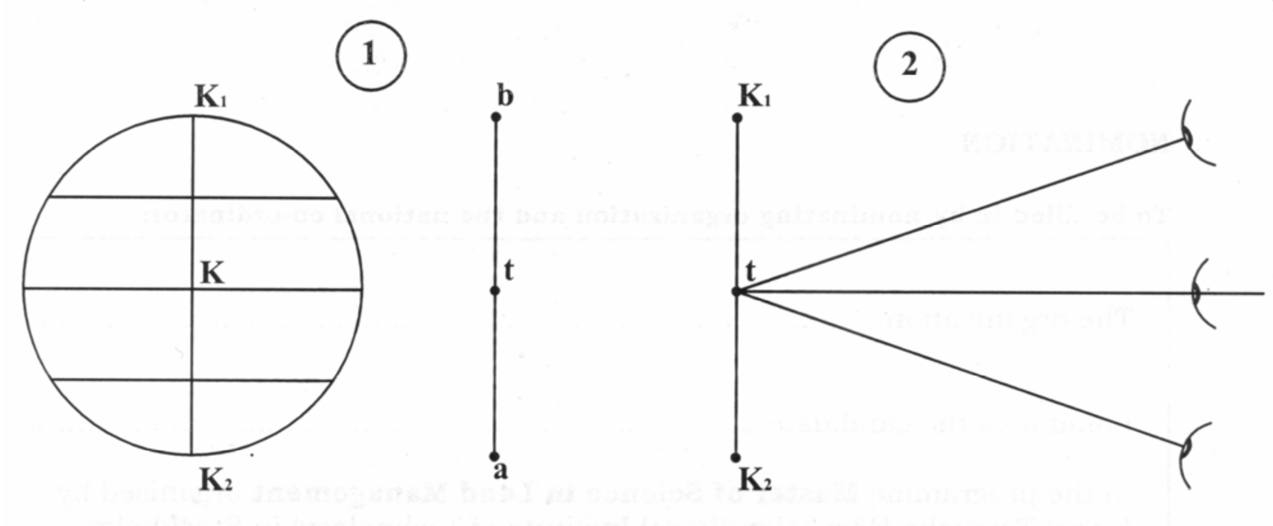
1. საერთოდ მთავარია, რომ ყოველთვის ნათლად ვხედავდეთ ძაფთა ბადის სამანძილო ძაფებს. იგი მოთავსებულია k_1k_2-ანუ ჰიუგენსის ოკულარის მინების შუაში.



ძაფები რომ ნათლად დავინახოთ, უნდა ვამოძრაოთ ოკულარის მუხლი, სანამ ნათლად არ გამოჩნდება ძაფები.

2-რე მოქმედების დროს ხდება ჭოგრის საგანზე დაყენება. აქ შეიძლება შეგვხვდეს შემდეგი შემთხვევები:

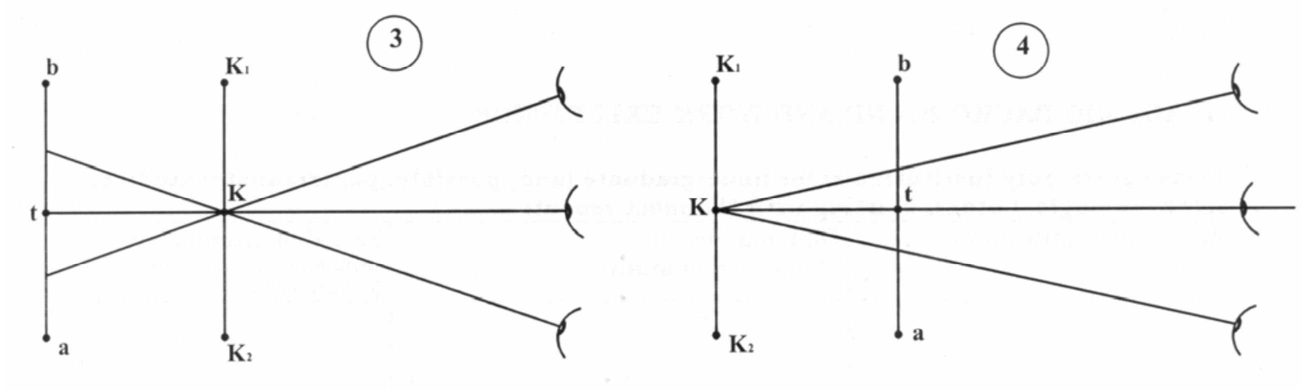
I – ნორმალურ მდგომარეობაში



ნახ. 115

ძაფთა ბადის სიბრტყე ემთხვევა გამოსახულების სიბრტყეს. ე.ი. საიდანაც არ უნდა შევხედოთ k-ს იგი ყოველთვის დაფარავს (2) შემთხვევას.

II-როდესაც ძაფთა ბადის სიბრტყე არ ემთხვევა გამოსახულების სიბრტყეს და ადგილი აქვს პარალაქსს (3 და 4).



ნახ. 116

ასეთ შემთხვევაში t კრამალიერის საშუალებით უნდა ვამოძრაოთ ისე, რომ ძაფთა ბადის სიბრტყე დავამთხვიოთ გამოსახულებას, ე.ი. პარალაქსს არ ჰქონდეს ადგილი.

ბ) ჭოგრის ოპტიკური ძალა

$$T = \frac{\varepsilon''}{G} \tag{9.3.4}$$

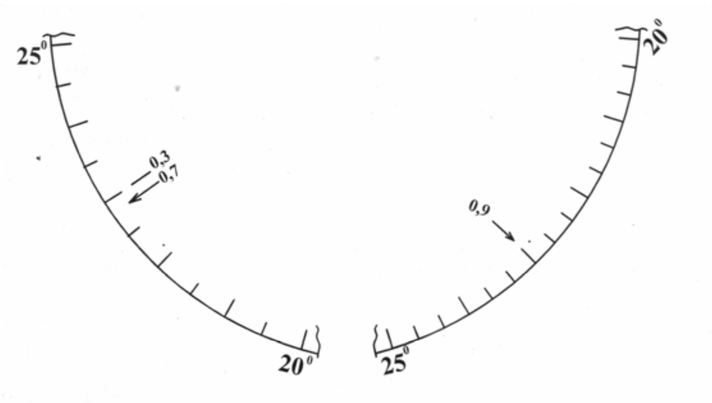
ε-არის კრიტიკული კუთხე $\approx 60''$. $60''$-არის კუთხე, რომლითაც დაიმზირება წერტილი ($\omega = 25$ სმ) საუკეთესო მხედველობის მანძილზე.

X თავი

დანაყოფების ამთვლელი ხელსაწყოები

10.1 ანათვლების აღების მეთოდი

გეოდეზიური სამუშაოების შესრულების დროს საჭიროა კუთხეების გაზომვა. კუთხეები რომ გავზომოთ, უნდა ვიცოდეთ ანათვლის აღება. განვიხილოთ როგორ ხდება ანათვლის აღება.



ნახ. 117

ვთქვათ, გვაქვს რკალი. ერთი დანაყოფის შესაბამისი ცენტრალური კუთხე, ავღნიშნოთ λ-ით, მაშინ

1 – რკალისათვის $\lambda = 30'$

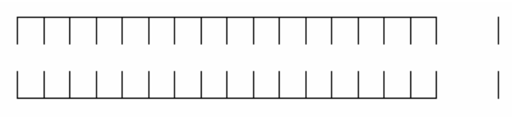
2 – რკალისათვის $\lambda = 20'$

თუ ისარი გაჩერდა ზუსტად დანაყოფზე, როგორც ეს 1-რკალზეა ნაჩვენები, მაშინ ანათვალი $\beta = 22^o30'$, მაგრამ ვთქვათ ისარმა გადაინაცვლა კიდევ დანაყოფის 0.7-ით ე.ი. ანათვალი იქნება

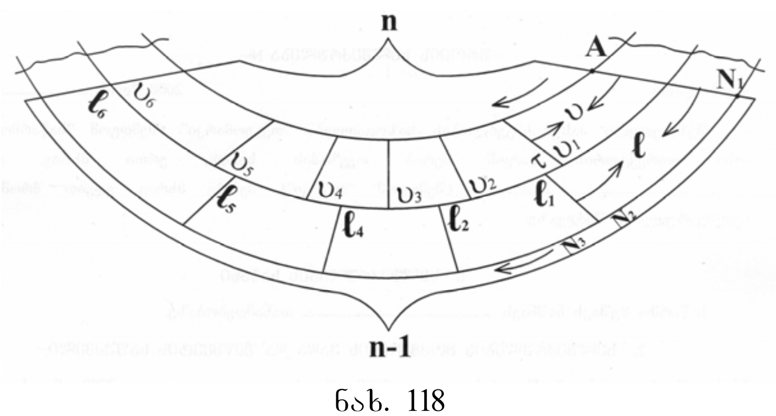
$$\beta = 22^o30' + 21' \pm 3' = 22^o51' \pm 3'$$

ასევე 2-რე რკალისათვის, ვთქვათ ისარი გადასცდა დანაყოფის 0.9-ით, მაშინ ანათვალი $\beta = 22^o40' + 18' \pm 2' = 22^o58' \pm 2'$.

ორივე შემთხვევაში ანათვლები მიახლოებითია, ე.ი. ანათვლებს ზუსტად ვერ



ვიღებთ, ამიტომ ჰოლანდიელმა მეცნიერმა ვერნიერმა და პორტუგალიელმა ნონიუსმა გამოიყენეს ხელსაწყო, რომელსაც ეწოდება ვერნიერი.



ნახ. 118

ადამიანის თვალს ზედმიწევნით შეუძლია გაარჩიოს მიჯრით დაყენებული შკალების დაპირისპირებული შტრიხების თანხვედრა. ამ თანხვედრას 10-ჯერ უფრო

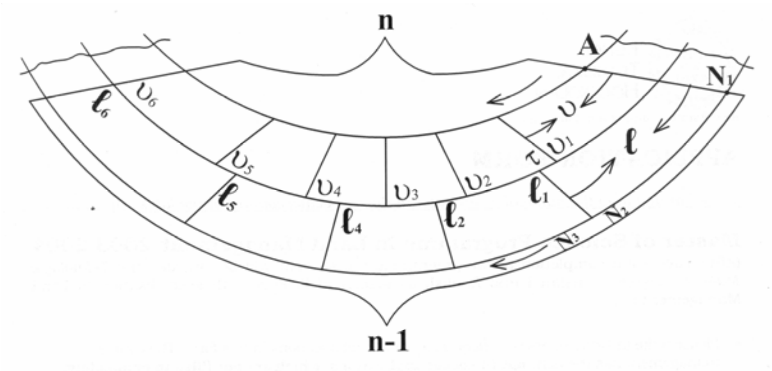
ზუსტად არჩევს, ვიდრე გრაფიკული სიზუსტეა. ვერნიერში სწორედ თვალის ეს თვისებაა გამოყენებული.

ავიღოს რკალი *AB* და დავყოთ იგი *n* ნაწილად, იმავე რკალის შესაბამისი სიგრძე წრედზე კი n-1 ნაწილად.

I-დან $AB = \upsilon \cdot n = \lambda(n-1)$

ჩვენი მიზანია განვსაზღვროთ დანაყოფებს შორის სხვაობა.

$$\tau = \lambda - \upsilon = +\frac{\lambda}{n} \qquad (10.1.1)$$



ნახ. 119

II-რე შემთხვევისათვის, *AB*-რკალის სიგრძე ვერნი-ერზე ისევ n ნაწილად დავყოთ, ხოლო შესაბა-მისი რკალის სიგრძე წრედზე n+1 ნაწილად.

მაშასადამე II-დან

$AB = \upsilon \cdot n = \lambda(n+1)$, აქედან

$$\tau = \lambda - \upsilon = -\frac{\lambda}{n}$$

I-შემთხვევაში გვაქვს დადებითი ვერნიერი,

II-შემთხვევაში გვაქვს უარყოფითი ვერნიერი.

რადგან სიზუსტე I – შემთხვევისათვის დადებითია, ამ ვერნიერს ეწოდება დადებითი ვერნიერი, აგრეთვე უწოდებენ პირდაპირს, იმიტომ რომ ანათვლები, როგორც ვერნიერზე, ასევე ლიმბზე იზრდება ერთი მიმართულებით.

II-რე ნახაზზე, გვაქვს უარყოფითი ვერნიერი, იმიტომ, რომ τ მივიღეთ (–) ნიშნით. შებრუნებული იმიტომ, რომ წარწერები ლიმბზე და ვერნიერზე იზრდება ურთიერთ საწინააღმდეგო მიმართულებით.

საერთოდ ინსტრუმენტებში გვხვდება I-ლი სახის ვერნიერი. II-რე სახის ვერნიერები შეიძლება შეგვხვდეს სახაზავებზე.

XI თავი
გაზომვები და ხაზების დასარვა
11.1. პირდაპირი გაზომვები

რიცხვი არის მატერიალური სამყაროს რაოდენობრივი გამოსახულება. იგი მიიღება გაზომვების ან გამოთვლების შედეგად.

ცნობილია, რომ გეოდეზიური სამუშაოების შესრულების დროს მანძილებს ზომავენ პირდაპირი (მექანიკური) ან არაპირდაპირი (ანალიზური და ინსტრუმენტული) ხერხით.

პრაქტიკის მოთხოვნის შესაბამისად, ზემოხსენებული გაზომვები სრულდება: უმარტივესი ინსტრუმენტებითა და ხერხით; საშუალო სიზუსტის პირდაპირი ხერხით; მაღალი სიზუსტის პირდაპირი ხერხით; გეომეტრიული და ფიზიკური მანძილმზომების საშუალებით.

უმარტივესი ხერხით მანძილების გასაზომად იყენებენ: დროის აღრიცხვას; თვალზომვას; ადამიანის ბიჯს; საზომ ბორბალს; სამიწათმზომელო ფარგალს და სხვა.

საშუალო სიზუსტის პირდაპირი ხერხით მანძილების გასაზომი იარაღებია საზომი კვერთხები, საზომი ბაფთა და რულეტი.

მაღალი სიზუსტით პირდაპირი ხერხით მანძილებს ზომავენ ინვარული (იდერინ გილიომის) მავთულებით და აღწევენ $1{\cdot}10^{-6}$ და მეტ სიზუსტეს. ამ ხერხით მანძილების გაზომვას სჭირდება დიდი დრო და, აგრეთვე, გაუვალ ადგილებში მისი გამოყენება შეუძლებელია.

გეომეტრიული და ფიზიკური მანძილმზომებით მანძილების გაზომვები სრულდება ნებისმიერი სახის რელიეფის პირობებში. გეომეტრიულ მანძილმზომებს წარმოადგენს ძაფებიანი და ოპტიკური მანძილმზომები (პარალაქსური მანძილმზომებითურთ), რომელთა თეორია და პრაქტიკა დაფუძნებულია გეომეტრიული ოპტიკის კანონებზე. ეს მეთოდი მექანიკური ხერხით მანძილების გაზომვაზე სწრაფია, მხოლოდ გამოიყენება შედარებით მოკლე (ერთ კილომეტრამდე) მანძილების გასაზომად და აგრეთვე ხასიათდება მცირე $2{\cdot}10^{-4}$ სიზუსტით.

ფიზიკურ მანძილსაზომებში იყენებენ სინათლის ინტერფერენციას, ბგერითი რხევების გავრცელების ტალღებს და ელექტრომაგნიტურ ენერგიას, ე. წ. სიგნალების სახით. ბგერით მანძილსაზომს მცირე სიზუსტის გამო გეოდეზიაში არ იყენებენ. რაც შეეხება სინათლის ინტერფერენციას, ანუ სინათლის

განათებულობის გაძლიერების და შესუსტების მოვლენას, გეოდეზიაში შეზღუდულად გამოიყენება. აქ სინათლის მიღებული გამოსხივების ტალღების სიგრძეებში იზომება მცირე ზომის ეტალონი, რომელსაც ე. წ. ოპტიკური გადამრავლების გზით თანამიმდევრობით ადარებენ გრძელ მანძილებს. სინათლის ინტერფერენციის მეთოდით გეოდეზიაში ხდება ინვარული მავთულების კომპარირება და საკონტროლო ბაზისების გაზომვა. მისი სიზუსტე აღწევს $1{\cdot}10^{-7}$, მაგრამ ამ მეთოდით ჯერჯერობით ვერ ხერხდება 900 მეტრზე მეტი მანძილების გაზომვა, აგრეთვე გაზომვაზე იხარჯება დიდი დრო; ფიზიკურ მანძილსაზომებში, იყენებენ რა ელექტრომაგნიტურ ენერგიას, აწარმოებენ იმ დროის გაზომვას, რაც სჭირდება ამ ენერგიას (სიგნალს) გაიაროს გაორკეცებული გასაზომი მანძილი; ამავე დროს, თუ ამ ენერგიის სიჩქარე ცნობილი იქნა, გასაზომი მანძილები მარტივი დამოკიდებულებებით ისაზღვრება.

ფიზიკური მანძილსაზომები ამჟამად წარმოიდგინება: ელექტროოპტიკური ანუ სინათლის მანძილსაზომების, გეოდეზიური რადიომანძილსაზომებისა და რადიოგეოდეზიური სისტემების სახით.

ელექტროოპტიკურ, ანუ სინათლის, მანძილსაზომებში ელექტრომაგნიტურ ენერგიას (სიგნალს) წარმოადგენს ელექტროოპტიკური ტალღების ნაკადი, რომელსაც იღებენ მოძრავი ელექტროსადგურებისაგან.

გეოდეზიური რადიომანძილსაზომების ელექტრომაგნიტურ ენერგიას (სიგნალს) წარმოადგენს რადიოტალღები, რომელთაც იღებენ აკუმულატორების საშუალებით.

რადიოგეოდეზიური სისტემები იქმნება ზემოხსენებული ფიზიკური მანძილსაზომების საფუძველზე. ამისათვის რამდენიმე პუნქტზე აწყობენ სიგნალების გადამცემ და მიმღებ დანადგარებს, რაც საშუალებას იძლევა თანადროულად განისაზღვროს აღნიშნულ პუნქტებს შორის მანძილები; აგრეთვე იგი გამოიყენება აეროფოტოთვითმფრინავისა და დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის მდებარეობის დასადგენად და სხვა.

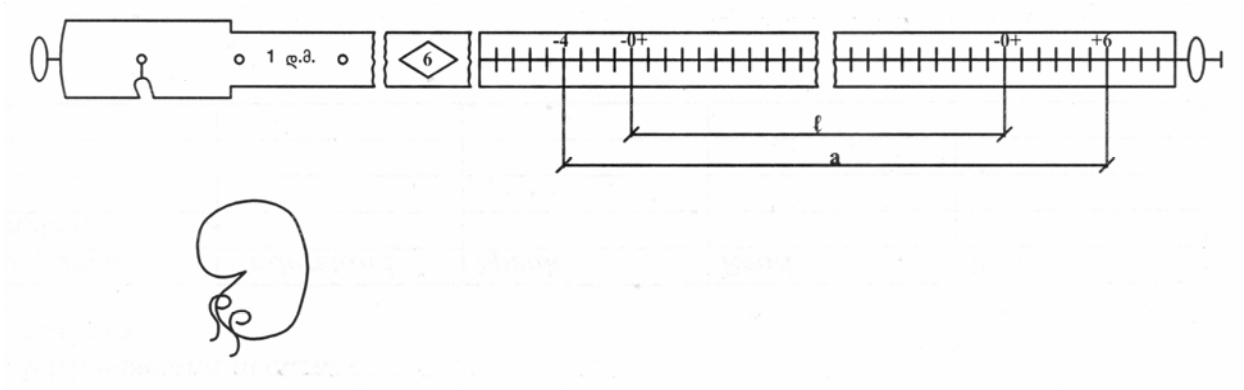
ფიზიკური მანძილსაზომების თეორია და პრაქტიკა ემყარება ფიზიკური ოპტიკის, ელექტროტექნიკის, ელექტრონიკისა და რადიოტექნიკის ძირითადი ცნებების სრულყოფილად გამოყენებას, ამ შრომაში მათ არ განვიხილავთ.

აღნიშნული საკითხები ავტორის მიერ განხილულია ცალკე სახელმძღვანელოში - „ფიზიკური მანძილსაზომები“ – 1996 წელი და დამხმარე სახელმძღვანელოში–„თანამედროვე გეოდეზიური ხელსაწყოები“ – 2004 წელი.

ჩვენ ძირითადად აქ განვიხილავთ პირდაპირი (მექანიკური) და არაპირდაპირი (ანალიზური და ინსტრუმენტალური) ხერხის გაზომვებს.

საზომი არის ის, რითაც ვზომავთ. ხაზების გასაზომად სარგებლობენ ფოლადის ბაფთით და ჩხირებით. ფოლადის ბაფთა არის 20-24-48 მეტრიანი.

გეოდეზიურ სამუშაოებში ყველაზე შრომატევადი და საპასუხისმგებლოა ხაზების გაზომვა.



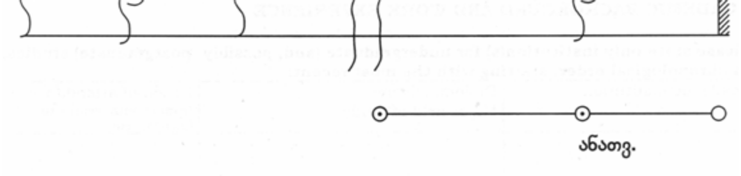
ნახ. 120

ჩხირები უნდა იყოს მიდუღებული და არა -ასე. ვსარგებლობთ 20 მეტრიანი ბაფთით, მაგრამ სინამდვილეში ბაფთა არ არის 20მ. იგი ან მეტია ან ნაკლები. საჭიროა მისი ნამდვილი სიგრძის დადგენა – ანუ კომპარირება. კომპარირებას აწარმოებენ: 1) სტაციონალური, 2) საველე კომპარატორით. კომპარატორის სიგრძეს იღებენ 21 ან 22 მეტრს, მეტს ვიდრე ბაფთაა. λ-კომპარატორის სიგრძე წინასწარ დადგენილია. (მას ამოწმებენ ნორმალური ბაფთით)

$$a=\lambda + (მ_ჯ-მ_ც) = 20000+\left[(+6)-(-4)\right]=20,010 \text{ მ},$$

გაზომილი ბაფთა გამოვიდა 10მმ-ით გრძელი. ვთქვათ, ეს გამოცდა ვაწარმოვეთ $t=15^o$ –ზე. შემდეგი გაზომვების დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ მიღებული განსხვავება და გარკვეული ტემპერატურული კოეფიციენტი.

ვთქვათ, ასეთი ბაფთით გავზომეთ n – ჯერ, ე.ი. გაზომილ ხაზს უნდა დავამატოთ (n × 10)მმ. ხოლო, როცა მოკლეა უნდა გამოვაკლოთ.



ნახ. 121

განვიხილოთ მაგალითი: ვთქვათ, გვინდა გავზომოთ ხაზი, გვყავს წინა მუშა, უკანა მუშა და სამუშაოთა მწარმოებელი. წინა მუშას აქვს 10 ჩხირი, ხოლო

უკანას 1 - ჩხირი. წინა მუშას უკანა მუშა აყენებს თავისთავსა და სარის გასწვრივობაში.

წინა ასობს, უკანა აგროვებს. უკანასკნელ ჩხირს რომ ჩაასობს წინა მუშა, უკანას ექნება 10 ჩხირი, მაშინ სამუშაოთა მწარმოებლის კონტროლის ქვეშ უკანა მუშა გადასცემს წინა მუშას 10 ჩხირს, რაც =200მ.

ვთქვათ, უკანასკნელ ადგილზე ვართ და აწერია 3. აუცილებლად ბაფთა უნდა გადავაბრუნოთ და წარწერა 3 უნდა გავაკონტროლოთ. 3-ის საპირისპიროდ წარწერა უნდა იყოს 17; 6-14; 8-12 და ა.შ.

ვთქვათ, გვაქვს გაზომილი:

ბაფთა 20 გადატანა, 8-ჩხირი, 6მ. 4დმ. 8სმ.

400 + 160.00 + 6 + 0.40 + 0.08 = 566.48მ

ხაზის ბოლოს წინა მუშა მიადებს 0-ს და ათვლას აწარმოებს საწინააღმდეგო მიმართულებით, თუ ხაზის გაგრძელება არ შეიძლება.

გაზომილი ხაზის სიგრძე L= 566.48 გამოვიდა, მაგრამ ეს სიგრძე სწორი არაა, რადგან სინამდვილეში ბაფთა გრძელი იყო ე.ი. ნამდვილი სიგრძე

$$L_0 = \frac{L}{20} \cdot \delta + \varepsilon_1 + L\ ; \tag{11.1.1}$$

$$\left(\frac{566.48}{20} + \delta\right) + L = L_0\,,$$

ახლა ტემპერატურისათვის $\alpha = (\boldsymbol{t} - \boldsymbol{t}_{\text{o}})\boldsymbol{L}_{\text{o}}$

ზოგადად $$\boldsymbol{L}_{\text{o}} = \boldsymbol{L} + \Delta\boldsymbol{L} \pm \varepsilon_1 \tag{11.1.2}$$

სადაც $$\varepsilon_1 = \alpha(\boldsymbol{t} - \boldsymbol{t}_{\text{o}})\boldsymbol{L} \tag{11.1.3}$$

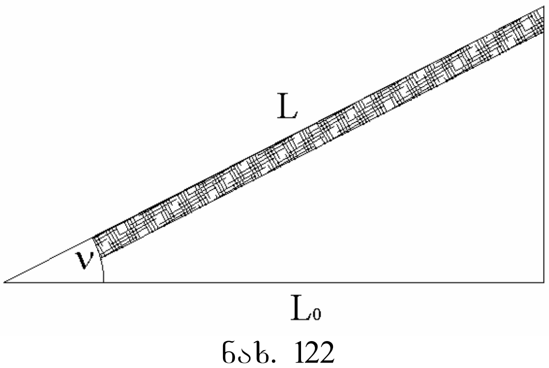
$\boldsymbol{t}_{\text{o}}$ - ბაფთის კომპარირების დროს ტემპერატურა

$\boldsymbol{t}$ - მუშაობის დროს ტემპერატურა

ε_1 - შესწორება ტემპერატურისათვის

L – ხაზის სიგრძე

λ- ბაფთის სიგრძე



ნახ. 122

კიდევ შეიტანება შესწორება ადგილის დახრისათვის

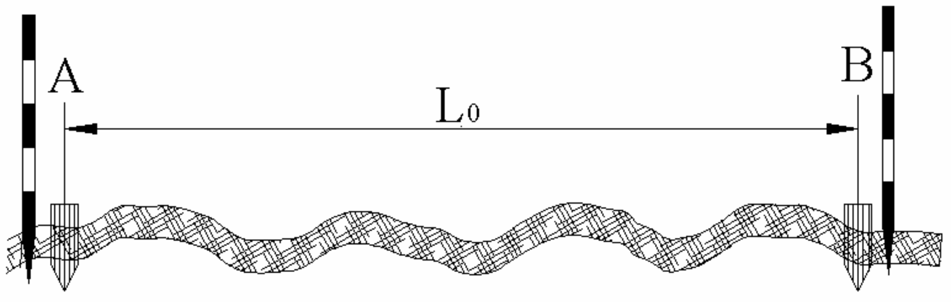
$$\text{L}_{\text{o}} = \text{L} \cdot \cos\nu \tag{11.1.4}$$

$$\varepsilon_\nu = L - L_{\text{o}} = 2L_{\text{o}} \sin^2\frac{\nu}{2} \tag{11.1.5}$$

ესაა შესწორების ზუსტი ფორმულა, სადაც მხედველობაში მიღებულია ადგილის დახრა, მაგრამ თუ $\nu < 2^{\circ}$-ზე, მაშინ დახრა მხედველობაში არ მიიღება.

11.2. ხაზების დასარვა

AB ხაზის ნებისმიერ ორ წერტილზე გატარებულ ვერტიკალურ სიბრტყეს *AB* ხაზის გასწვრივობა ეწოდება (ნახ. 123). ამ ხაზის L_0 ორთოგონალური პროექციის გაზომვისას საზომი ხელსაწყო მუდამ მის გასწვრივ უნდა იყოს დაჭიმული. ამ მიზნისათვის აუცილებელია პალოებით დამაგრებული *A* და *B* წერტილების მახლობლობაში დასმული სარები იყოს მათ გასწვრივ. რელიეფის თავისებურობისა ან დიდი სიგრძის გამო ხშირად საჭირო ხდება ხაზის გასწვრივობის დადგენა (დასარვა) ანუ დამატებითი სარების დასმა *AB* ხაზის



ნახ. 123

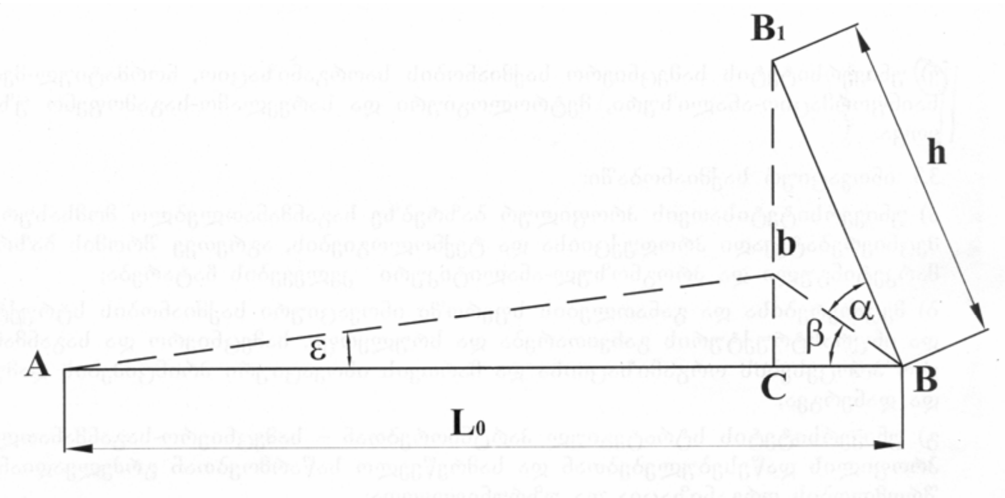
გასწვრივობაში. როცა ხაზის სიგრძე აღემატება 150 მეტრს, ვაკე ადგილებში სარების დასმას აწარმოებენ ყოველ 60-90 წყვილ ნაბიჯზე, ბორცვნარ ადგილებში – ყოველ 15–30 წყვილ ნაბიჯზე და მთაგორიან ადგილებში კი უფრო მოკლე მანძილებზე. იმ შემთხვევაში, როდესაც ხაზის დასარვის თანდათანობითი მიახლოების ხერხს ვიყენებთ ან, როცა ხაზის *A* და *B* წერტილი კუთხის წვეროს წარმოადგენს და ადგილი მნიშვნელოვნად უსწორმასწოროა, მაშინ გარდა გასწვრივობისა, აუცილებელია ამ წერტილებში სარები ზუსტად შვეულად იქნეს დაყენებული. განვიხილოთ ორივე შემთხვევა.

B წერტილში დასმული სარი (ნახ. 124) α კუთხით მისი დახრის გამო *AB* ხაზის გასწვრივ არ იმყოფება. რელიეფის თავისებურების გამო თუ დასარვისა და ხაზის გაზომვისას გამოვიყენებთ ამ სარის ბოლო B_1 წერტილს, ხაზის გასწვრივობიდან გადავიხრებით ε კუთხით. გასწვრივობის ამ შეცდომის ოდენობა მისი სიმცირის გამო გამოითვლება ფორმულით:

$$\varepsilon' = \frac{\boldsymbol{bc}}{\boldsymbol{Ab}} \cdot \rho' = \frac{\boldsymbol{bB} \cdot \sin\beta}{\boldsymbol{Ab}} \cdot \rho' \approx \rho' \cdot \frac{\boldsymbol{h} \cdot \cos\alpha \sin\beta}{\boldsymbol{L}_0}, \quad (11.2.1)$$

სადაც $\rho = 3438'$ არის რადიანი.

როგორც ვხედავთ, სარის $\beta = 0^{\circ}$ და $\beta = 180^{\circ}$ დახრის შემთხვევაში გასწვრივობის შეცდომას ადგილი არ ექნება. მაშასადამე, ხაზების დასარვისა და გაზომვის დროს უნდა ვეცადოთ, რომ ყველა სარი *AB* ხაზის გასწვრივობაში იყოს დაყენებული. ვთქვათ, $\boldsymbol{L}_0 = 344$ მ; $\boldsymbol{h} = 2$ მ; $\beta = 90^{\circ}$; $\alpha = 87^{\circ}$, მაშინ (1) ფორმულით *AB*



ნახ. 124

ხაზის მიმართულების შეცდომა $\varepsilon' \approx 1'$. იმ შემთხვევაში, როცა ადგილზე დანიშნული წერტილი კუთხის წვეროს წარმოადგენს და მასზე დაყენებული სარის ძირში დამიზნება ვერ ხერხდება, მაშინ აუცილებელია სარი დაყენებული იყოს გასწვრივობასთან ერთად შვეულად. აგრეთვე თანდათანობითი მიახლოებისათვის გამოყენებული სარები, სანამ მათ ხაზის გასწვრივობაში დავამაგრებთ, ყოველთვის შვეულად უნდა დავაყენოთ, რადგანაც ისინი (ან მათგან) სხვადასხვა წერტილებიდან (წერტილები) დაიმზირებიან. სარების, როგორც ხაზის გასწვრივობაში, ისე შვეულად დასაყენებლად, გამოიყენება შვეული.

საჭიროებისამებრ *AB* ხაზის გასწვრივობაში სარის დასმა ხდება *AB* მიმართებით შვეულით, ხოლო სარის შვეულად დასაყენებლად იგი დამატებით უნდა გასწორდეს *AB* მიმართულების მართობულად შვეულით. ტლანქად სარის შვეულად დაყენება შეიძლება შვეულის გარეშე იმავე წერტილებიდან სარის ძირიდან თავისაკენ თვალით გადახრის შეფასებით.

11.3. ხაზების დასარვის შემთხვევები

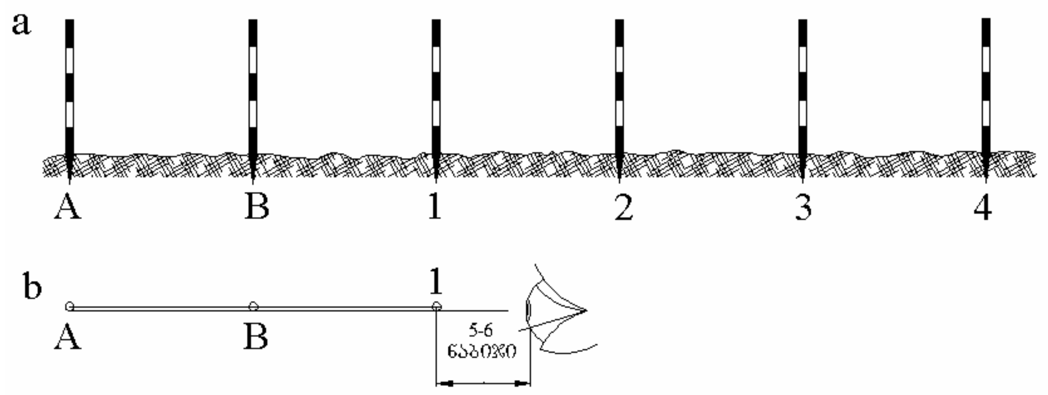
პრაქტიკაში გვხვდება დასარვის ორი ძირითადი შემთხვევა: პირველი, როცა საჭიროა დასმული ორი სარის მიხედვით ხაზის გაგრძელება, და მეორე, ორ დასმულ სარს შორის ხაზის დასარვა. ტექსტში მოცემული წერტილები აღნიშნულია *A* და *B* ასოებით, ხოლო დამატებითი სარები არაბული ციფრებით და მათი დაყენების თანამიმდევრობა – ინდექსებიანი იმავე ციფრებით.

დასმული ორი სარის მიხედვით ხაზის გაგრძელება

აქ განიხილება როგორც ვაკე, ისე უსწორმასწორო და დაბრკოლების მქონე ადგილების დასარვები.

ა) ვაკე ადგილზე დასმული ორი სარის მიხედვით ხაზის გაგრძელება

ამ შემთხვევაში დასარვას აწარმოებს ერთი კაცი (დამსარველი). იგი შორდება *B* სარს დაახლოებით 60–70 წყვილი ნაბიჯით (95–100 მეტრი) (ნახ. 125^a) და თავის გვერდზე გადაწევით გადახედავს *B* სარს ისე, რომ იგი ფარავდეს *A* სარს

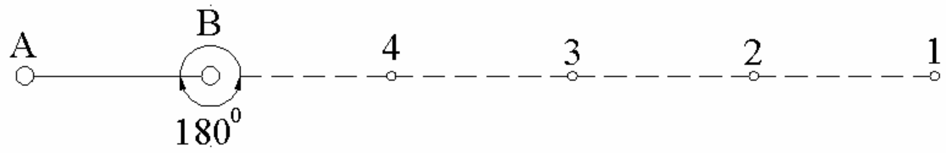


ნახ. 125

მთელ მის სიმაღლეზე. ამით დამსარველი ადგენს *AB* გასწვრივობას, რომლის შესაბამის სიბრტყეში იგი ადგილზე აყენებს 1-ლ სარს, რწმუნდება იმაში, 1-ლი სარი ფარავს თუ არა *A* და *B* სარს, აგრეთვე იგი დაყენებულია თუ არა შვეულად (ნახ.125^b). თუ სამივე სარის გვერდები მოქცეულ იქნა ერთ შვეულ სიბრტყეში, მიზანი მიღწეულია და თუ ეს პირობა არ აღმოჩნდა შესრულებული, 1-ლი სარის მდებარეობა უნდა შესწორდეს. იმავე წესით უნდა იქნეს დასმული 2, 3, 4, . . . სარები. ასეთი მეთოდით ხაზის გაგრძელებას ეწოდება დასარვა თავისაკენ.

ცხადია, ბინოკლის გამოყენებით დასმული სარები უფრო ზუსტად იქნება დაყენებული *AB*-ს გასწვრივ.

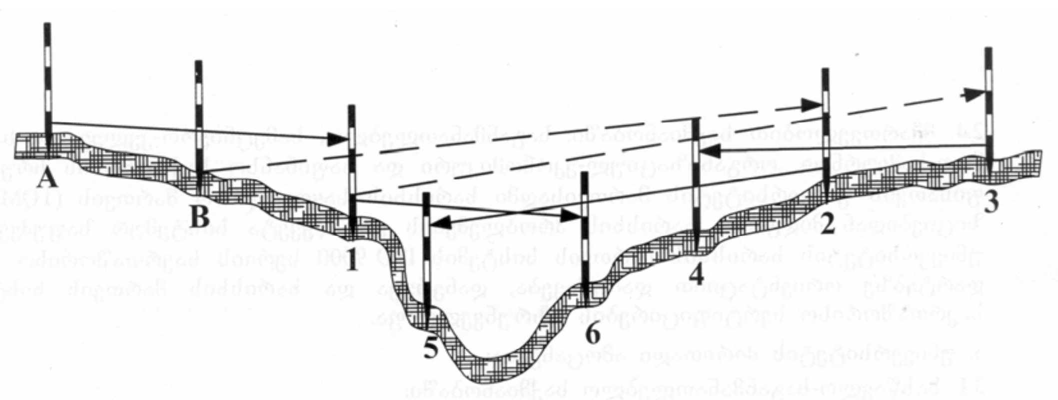
იგივე ამოცანა ამოიხსნება უფრო ზუსტად, სწრაფად თეოდოლიტის გამოყენებით, მხოლოდ აქ საჭირო იქნება დამხმარე მუშა. ამისათვის თეოდოლიტს ვცენტრავთ *B* წერტილში (ნახ. 126), მომწესობაში მოგვყავს და ჭოგრს ვუმიზნებთ *A*



ნახ. 126

სარს ძირში. წრედ-ალიდადას შემოვაბრუნებთ 180°-ით ან ჭოგრს გადავიტანთ ზენიტზე და დამხმარე მუშას (თანაშემწეს) ვასობინებთ 1, 2, 3, მე-4 სარებს ყოველ 60–70 წყვილ ნაბიჯზე დაშორებით. გასწვრივობაში სარების დასმას ვამოწმებთ ძაფთა ბადის შვეული ძაფის საშუალებით, რისთვისაც ჭოგრს ვამოძრავებთ მისი ბრუნვის ღერძის მიკრომეტრული ხრახნის საშუალებით ვერტიკალურ სიბრტყეში სარის ძირიდან ბოლომდე. თუ საჭიროა 1, 2, 3, მე-4... სარების ნაცვლად შტატივების დადგმა (მაგალითად, ბაზისის გაზომვის დროს), მაშინ ჭოგრს ვუმიზნებთ შტატივების თავის ცენტრებს. როგორც ვხედავთ, აქაც დასარვა წარმოებს თავისაკენ.

ბ) ხეობების ერთ მხარეზე დასმული ორი სარის მიხედვით ხაზის გაგრძელება მის მეორე მხარეზე



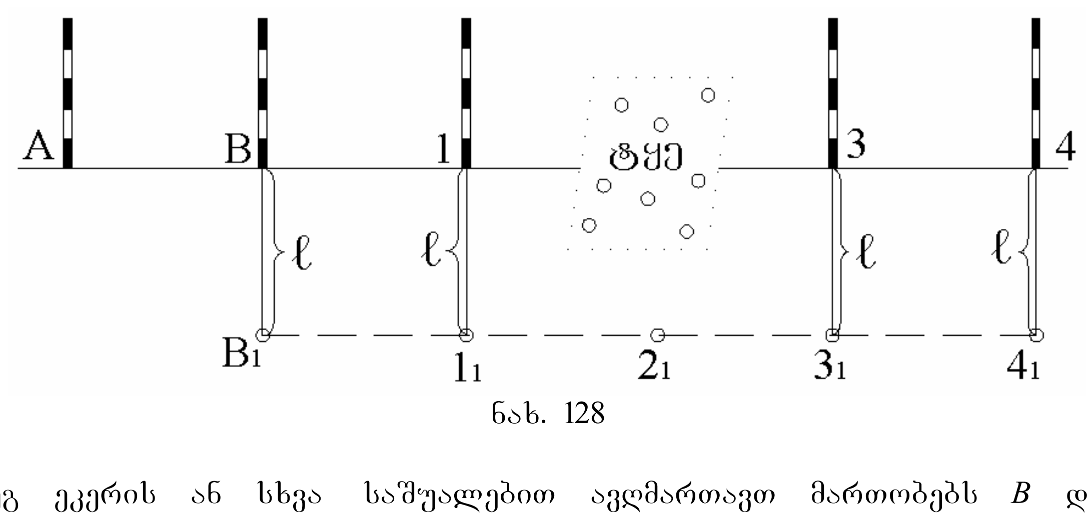
ნახ. 127

ამ შემთხვევაში სამუშაოს ასრულებს ერთი დამსარველი, რისთვისაც იგი ხან ერთ ფერდობზეა და ხან მეორეზე. მაგალითად (ნახ. 127), 1-ლ სარს ასობს *AB* გასწვრივ; მე-2 სარს 1-ლ და *B* სარის გასწვრივ; მე-3 სარს მე-2 და 1-ლის გასწვრივ; მე-4 სარს მე-2 და 3-ის გაწვრივ; მე-5-ს მე-4 და 2-ის გასწვრივ და მე-6 სარს მე-5 და 1-ლი სარის გასწვრივ. საერთოდ, ამგვარ შემთხვევაში, სიზუსტის გადიდების მიზნით ყოველთვის სხივი უნდა გადიოდეს გამოყენებული სარებიდან რაც შეიძლება ერთი სარის თავსა და მეორის ძირში. მაგალითად, მე-6 სარის დასმისთვის სხივი გადის მე-5 სარის თავზე და 1-ლი სარის ძირში.

ცხადია, თეოდოლიტით განხილადი ამოცანა უფრო ადვილად და ზუსტად ამოიხსნებოდა თანაშემწესთან ერთად. ამისათვის საკმარისი იყო *B* წერტილში თეოდოლიტის დაყენება და ცნობილი წესით თავისაკენ სარების დასმა (3, 2, 4, 6, 5, 1).

ბ) ხაზის გაგრძელება მცირე დაბრკოლების გადალახვით

განხილად შემთხვევაში, სანამ შესაძლებლობა არის, ვაწარმოებთ დასარვას თავისკენ (ნახ. 128). ვთქვათ, *B* და *A* გასწვრივ დასმულ იქნა 1-ლი სარი,



ნახ. 128

შემდეგ ეკერის ან სხვა საშუალებით ავღმართავთ მართობებს *B* და 1-ლ წერტილებში, გადავზომავთ ორივე მართობზე λ მანძილს, რომელიც სცილდება დაბრკოლებას და ვსვამთ ადგილზე B_1 და 1_1 სარს; შემდეგ მათი საშუალებით დაისმება მე-2_1 მე-3_1 და მე-4_1 სარები. უკანასკნელი ორი სარიდან ავმართავთ ისევ

მართობებს და გადავზომავთ ისევ λ სიგრძეებს, ცხადია, დასმული მე-3 და მე-4 სარები იქნება *A, B* და 1-ლი სარის გასწვრივობაში.

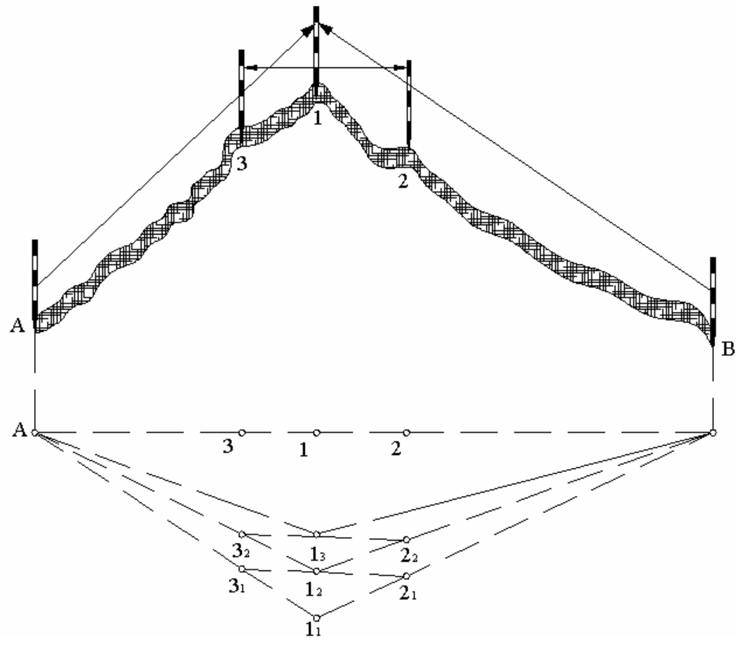
11.4. ორ დასმულ სარს შორის ხაზის დასარვა

აქაც განიხილება როგორც ვაკე და უსწორმასწორო, ისე გარკვეული დაბრკოლების მქონე ადგილების დასარვა.

ა) ორ ურთიერთ უხილავ წერტილს შორის მაღლობის დასარვა

განხილადი ამოცანა სრულდება ორი ან ერთი დამხმარის გამოყენებით.

პირველ შემთხვევაში (ნახ. 129) დამსარველი დგება მწვერვალზე, დაახლოებით *AB* გასწვრივობის ახლოს ისე, რომ იგი ხედავდეს ორივე წერტილს

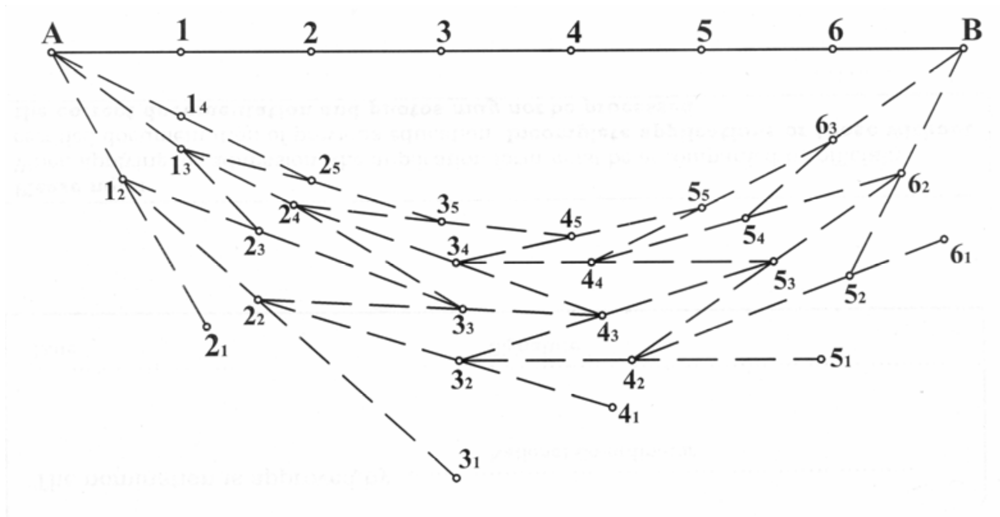


ნახ. 129

და ასობს სარს 1_1 წერტილში; გზავნის მწვერვალის ახლოს დამხმარეებს 1_1B და 1_1A მიმართებით და ასმევინებს სარებს 2_1 და 3_1 წერტილებში ისე, რომ ისინი ერთმანეთს ხედავდნენ. დამხმარეები გადაადგილებენ დამსარველს სარით მათ გასწვრივობაში და ასმევინებენ სარს 1_2 წერტილში. შემდეგ დამსარველი გადაადგილებს თავიანთი სარებით ორივე დამხმარეს 1_2B და 1_2A მიმართებით,

რომლებსაც აყენებინებს სარებს 2_2 და 3_2 წერტილში და ასე შემდეგ. დამხმარეები ყოველთვის ურთიერთს უნდა ხედავდნენ, ისევე, როგორც წინა შემთხვევაში. პირველი მოქმედებები სრულდება სწრაფად და ტლანქად, ხოლო *AB* ხაზისადმი მიახლოებისას სჯობს, თუ შესაძლებელია დამსარველმა სარის ნაცვლად გამოიყენოს თეოდოლიტი. აღწერილი წესით გაგრძელდება სამუშაო. დასარვა დამთავრებულად ითვლება, როცა 1-დან მე-2 ფარავს *B*-ს და მე-3 კი *A*-ს; აგრეთვე, 2-დან 1-ლი ფარავს მე-3, ხოლო 3-დან 1-ლი მე-2-ს. მწვერვალზე სამი სარის დასმისა და შემოწმების შემდეგ ამოიღება მიწიდან აღნიშნული სარები და 1-ლ წერტილში თეოდოლიტით (ან თვალზომით) დამსარველი დამხმარეების გამოყენებით აწარმოებს ფერდობების დასარვას თავისაკენ როგორც *A*, ისე *B* წერტილიდან.

მეორე შემთხვევას აქვს ადგილი, როცა ერთი დამხმარე გვყავს და თეოდოლიტი არა გვაქვს, ამავე დროს განსაკუთრებული პირობების გამო საჭიროა ერთბაშად *AB*-ს გასწვრივ ოთხი, ხუთი, ექვსი და მეტი სარის დასმა. ვთქვათ, *AB*-ს გასწვრივ საჭიროა ერთბაშად ექვსი სარის დასმა (ნახ. 130).



ნახ. 130

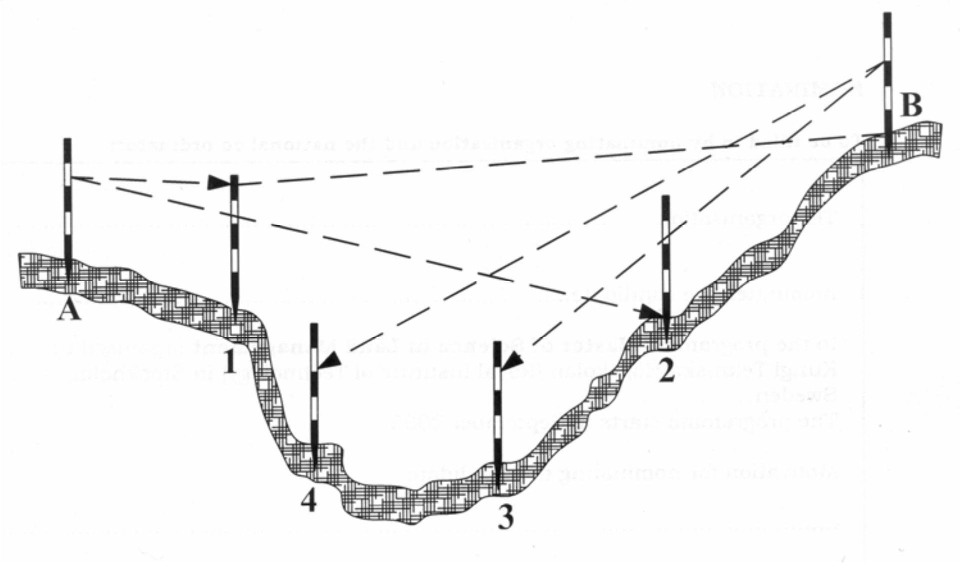
ექვსივე სარი უნდა იყოს დასმული დაახლოებით *AB*-ს გასწვრივ ისე, რომ, გარდა პირველისა და უკანასკნელი (მეექვსე) სარისა, დანარჩენი ყოველი სარის დგომის წერტილიდან მოჩანდეს ორივე მხარეზე ორ-ორი, ხოლო პირველივე და უკანასკნელი (მეექვსე) სარიდან აუცილებელია ერთ მხარეზე მოჩანდეს უახლოესი მოცემული და მეორე მხარეზე დასმული ორი სარი. ასე, მაგალითად, 1_1 წერტილში დასმული პირველი სარიდან: ერთ მხარეზე უნდა ჩანდეს *A* სარი და მეორე მხარეზე 2_1 და მე-3_1 სარი , მე-2_1 წერტილში დასმული მე-2 სარიდან ერთ მხარეზე 1_1 და *A*, ხოლო მეორეზე 3_1 და მე-4 სარი და ასე შემდეგ 6 სარამდე., რომლიდანაც ჩანს: ერთ მხარეზე *B*, მეორეზე 5_1 და მე-4_1 სარები.

დასარვის ზოგადი წესი მდგომარეობს ყოველი შუალედი სარის გადაადგილებაში მისი მოსაზღვრე სარების გასწვრივ: ასე, მაგალითად, დამსარველი დგას რა მე-2_1 წერტილში დასმულ სართან, 1_1 წერტილში დასმულ სარს გადაატანინებს დამხმარეს 2_1A გასწვრივ 1_2 წერტილში; მერე თვით გადადის მე-3_1 წერტილში და დამხმარეს მე-2_1 წერტილიდან გადაატანინებს სარს 3_1 1_2 გასწვრივ 2_2 წერტილში; ანალოგიურად გადაიტანება სარი მე-3_1 წერტილიდან 4_1 2_2-ის გასწვრივობის 3_2 წერტილში; მე-4_1 წერტილიდან 5_1 3_2 გასწვრივობის 4_2 წერტილში; მე-5_1 წერტილიდან 6_1 4_2 გასწვრივობის 5_2 წერტილში, მე-6_1 წერტილიდან $B5_2$ გასწვრივობის 6_2 წერტილში, რითაც ადგილზე იქმნება თოკის $A1_22_23_24_25_26_2B$ მრავალკუთხედი. თუ დავუკვირდებით, ვნახავთ დამსარველი ყოველთვის დგება შუალედი გასწვრივობის საწყის წერტილში. საჭიროა აღნიშნული თოკის მრავალგვერდი გადავაქციოთ წრფედ. ამისათვის დამსარველი გადადის მე-6_2 წერტილში და დამხმარეს გადაატანინებს მე-5_2 წერტილიდან სარს 6_2 4_2 გასწვრივობის მე-5_3წერტილში; ანალოგიურად ხდება სარების გადაადგილება: მე-4_2 წერტილიდან 5_3 3_2 გასწვრივობის მე-4_3წერტილში; მე-3_2 წერტილიდან 4_3 2_2 გასწვრივობის 3_3 წერტილში; მე-2_2 წერტილიდან 3_2 1_2 გასწვრივობის მე-2_3 წერტილში. შემდეგ 1_2 წერტილიდან 2_3A გასწვრივობის 1_3 წერტილში; მე-2_3 წერტილიდან 3_3 1_3 გასწვრივობის მე-2_4 წერტილში; მე-3 წერტილიდან 4_3 2_4 გასწვრივობის მე-3_4 წერტილში. ანალოგიური გზით დაისმება სარები მე-4_4, 5_4, მე-6_3, . . . ,წერტილებში. როგორც ვხედავთ, თოკის მრავალგვერდი თანდათან უახლოვდება *AB* ხაზს და ყველა სარი იქნება *AB*-ს გასწვრივ, თუ ნებისმიერი შუალედი სარიდან მზერით მის გვერდზე დასმული სარი დაფარავს ამ უკანასკნელის შემდგომ სარს.

სიზუსტის გაზრდისა და მუშაობის ნაყოფიერად შესრულების მიზნით საჭიროა გამოვიყენოთ სარების რაც შეიძლება მცირე რაოდენობა.

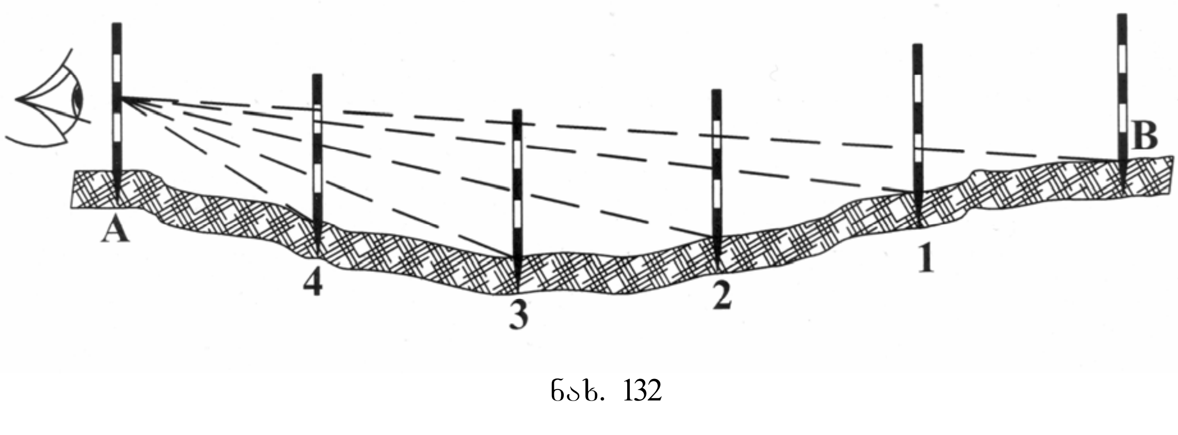
ბ) ხეობის ორივე მხარეზე დასმულ სარებს შორის ხაზის დასარვა

ამ შემთხვევაში საჭიროა ერთი დამხმარე. დამსარველს უხდება ხეობის ორივე მხარეს თანამიმდევრობით დგომა. იგი *A* წერტილში დგომით დამხმარეს დაასობინებს 1-ლ და მე-2 სარებს, ხოლო *B* წერტილში დგომით კი მე-3 და მე-4



ნახ. 131

სარებს (ნახ. 131). ცხადია, ამგვარი ან ანალოგიური ამოცანების ამოხსნისათვის საუკეთესო საშუალებაა თეოდოლიტის გამოყენება. საერთოდ საჭიროა დამატებითი წერტილის ისე შერჩევა, რომ ამ წერტილზე გამავალი სხივი გადიოდეს გამოყენებული სარებიდან ერთის ძირში და მეორეს ბოლოში. თუ რელიეფი შედარებით მშვიდია, დასარვა სრულდება თავისაკენ (ნახ. 132).



ნახ. 132

XII თავი
ზოგიერთი ცნობები განაზომთა შეცდომების თეორიიდან

ცნობილმა მეცნიერმა, აკადემიკოსმა ა. ალექსანდროვმა შესანიშნავად დაახასიათა გაზომვები და მათი შეცდომების მათემატიკური დამუშავების პრობლემა: „თანამედროვე მეცნიერებაში ყოველი ახალი მიმართულება უფრო ხშირად წარმოიშობა გაზომვების ორგანიზაციის ახალ მეთოდთან (ტიპთან) კავშირში: ან უფრო მაღალი მგრძნობიარობით ან სხვადასხვა მოვლენებზე ერთდროული დაკვირვებით, თანხვდენილნი ან აცდენილნი დროში, ან ერთი და იმავე მოვლენაზე დაკვირვებით სივრცის სხვადასხვა წერტილიდან.

ახალი აღმოჩენების უმრავლესობა დაკავშირებულია სწორედ იმასთან, რომ ახლებურად იქნა ჩამოყალიბებული დაკვირვების მეთოდიკა, ასევე ახლებურადაა ორგანიზებული თვით გაზომვების სისტემები, მათი შედეგების დამუშავება...“

საზომი ტექნიკის სხვა სახეებთან შედარებით ელექტრული გაზომვები, როგორც წესი, გამოირჩევა დიდი სიზუსტით, სიმარტივითა და საიმედოობით. ამის გამო ამჟამად ელექტროსაზომი ხელსაწყოების მექანიზმები იხმარება აგრეთვე ბევრი არაელექტრული სიდიდის გასაზომად და სულ უფრო და უფრო მეტად გამოიყენება სხვადასხვა საწარმოო პროცესის კონტროლისა და ავტომატიზაციისათვის.

უნდა განვასხვავოთ ცნებები „ხელსაწყოს ცდომილება*“ და „გაზომვის ცდომილება“. ეს აიხსნება იმით, რომ გაზომვის შედეგის სიზუსტეზე მოქმედებს არა მარტო საზომი ხელსაწყოების ცდომილებები, არამედ გაზომვის პროცესში დამატებითი მოწყობილობებისა და აპარატების გამოყენებით გამოწვეული ცდომილებებიც. ამ მოწყობილობებს მიეკუთვნება ხელსაწყოს გაზომვის ზღვრის გაზრდის საშუალებები – შუნტები და დამატებითი წინაღობები, აგრეთვე საზომი ტრანსფორმატორები. თუ ცალკეული ცდომილებები ერთი და იმავე ნიშნისაა, გაზომვის სიზუსტე შემცირდება. ხოლო, თუ ცდომილებების ნიშანი სხვადასხვაა, ისინი ერთგვარად დააკომპენსირებენ ერთმანეთს.

---

* ხშირად „ცდომილების“ ნაცვლად ხმარობენ „შეცდომას“, რასაც არსებითად ერთნაირი შინაარსი აქვს.

12.1 გაზომვების სახეები

ობიექტის სახეობისა და ხასიათის მიხედვით გეოდეზია – მარკშეიდერიაში, მიმართავენ ხაზოვან და კუთხურ, აგრეთვე ჰაერის ტემპერატურის და წნევის გაზომვებს.

გაზომვებს ყოფენ:

1. იმის მიხედვით თუ როგორ არის მიღებული გასაზომი ობიექტის სიდიდე – პირდაპირი (უშუალო) და არაპირდაპირი (არაუშუალო, მეშვეობით);
2. ობიექტის გაზომვათა რაოდენობის მიხედვით – აუცილებელი და ჭარბი;
3. თვისებების მიხედვით – ერთგვაროვანი და არაერთგვაროვანი;
4. პირობების მუდმივობის მიხედვით, რომელზეც დამოკიდებულია განაზომთა სიზუსტე – ტოლზუსტი და არატოლზუსტი;
5. ობიექტის ელემენტთა განაზომების ურთიერთდამოკიდებულების მიხედვით – დამოუკიდებელი და დამოკიდებული, პირობითი და უპირობო.

12.2 გაზომვების შეცდომები და შესწორებანი

გაზომვების დროს მხედველობაში უნდა გვქონდეს ორი გარემოება;

1) საზომი ხელსაწყოს გაზომვის პროცესში უცვლელობა. იმისათვის, რომ საზომის მცირედი ცვალებადობა მხედველობაში იქნეს მიღებული, საჭირო ხდება გაზომვის დაწყებამდე და მის შემდეგ შემოწმდეს საზომის სიგრძე, აგრეთვე გაზომვის პროცესში გარემოს ცვალებადობა აღირიცხოს (ტემპერატურა და სხვ.) და განაზომში შეტანილ იქნეს სათანადო შესწორება.

2) გასაზომი ობიექტის ოდენობა არ უნდა იცვლებოდეს გაზომვის პროცესში. ბუნებაში აბსოლუტურად უცვლელი ობიექტები არ არსებობს, მაგრამ შეიძლება მოიძებნოს დროის ისეთი შუალედი, როცა გასაზომი სიდიდე გაზომვის სიზუსტის ფარგლებში მივიჩნიოთ უცვლელად. უმაღლესი სიზუსტით განსაზღვრულ რაიმე სიდიდეს, რომლის მნიშვნელობა დროის გარკვეულ მანძილზე უცვლელი რჩება, ეწოდება ნამდვილი, ანუ ჭეშმარიტი მნიშვნელობა გასაზომი სიდიდისა. მაგალითად, ინვარის მავთულით განსაზღვრული ხაზის სიგრძე ჭეშმარიტია დროის გარკვეულ პერიოდში, იმავე ხაზის ფოლადის ბაფთით გაზომვის შედეგთან შედარებით.

თუ რაიმე სიდიდის ჭეშმარიტ მნიშვნელობას აღვნიშნავთ X-ით და იმავე სიდიდის გაზომვის შედეგად მიღებულ მნიშვნელობას 1_i-ით, ხოლო ჭეშმარიტ შეცდომას δ_i-ით, მაშინ ჭეშმარიტი შეცდომა განისაზღვრება გამოსახულებით

$$\delta_i = 1_i - X \tag{12.2.1}$$

და ჭეშმარიტი შესწორების ოდენობა, რომელსაც ε_i-ით აღვნიშნავთ, განტოლებით

$$\varepsilon_i = X - 1_i. \quad (1_i = 1,\ 2,\ 3...) \tag{12.2.2}$$

შეცდომის ოდენობის დასადგენად გაზომვით მიღებულ ოდენობას ვაკლებთ იმავე სიდიდის იმ მნიშვნელობას, რომელიც თეორიული გამოთვლით ან უზუსტესი გაზომვის მეთოდებით გვაქვს მიღებული, მაგალითად, თუ შვიდკუთხა მრავალკუთხედის კუთხეთა ჯამი გაზომვის შედეგად შეადგენს 900º2'-ს. შეცდომა ანუ შეუკვრელობა იქნება +2', ხოლო შესწორება – 2'. ბაფთის სიგრძე მიღებული გვაქვს 20 მეტრის ტოლად, სინამდვილეში შემოწმებით მივიღეთ, რომ იგი 20,008 მეტრის სიგრძისაა. ამ შემთხვევაში ბაფთის ნომინალური სიგრძის შეცდომა იქნება +8 მმ. ხაზის გაზომვისას ასეთი ბაფთით ყოველ გაზომვაში შეცდომა – 8 მილიმეტრია, ხოლო შესწორება იქნება + 8 მილიმეტრი. შეცდომისა და შესწორების ამგვარად განსაზღვრა ლოგიკურად სავსებით გამართლებულია ცხოვრებაში მიღებული წესის მხრივაც. მაგალითად, ამბობენ – შეცდომა მოვიცილოთ, უკუვაგდოთ და შესწორება მივიღოთ. მაშასადამე, შეცდომით მიღებული შედეგის შესასწორებლად, საჭიროა განაზომს შეცდომის სიდიდე ალგებრულად გამოვაკლოთ ან შესწორება დავუმატოთ. მართლაც, (1) ფორმულიდან მივიღებთ,

$$X = 1_i - \delta_i, \tag{12.2.3}$$

ხოლო (2) ფორმულიდან გვექნება

$$X = 1_i + \varepsilon_i. \tag{12.2.4}$$

როგორც ვხედავთ, სიდიდის ჭეშმარიტი ოდენობის მათემატიკურად მიღება, განაზომისაგან შეცდომის გამოკლებით ან შესწორების მიმატებით ხდება.

შეცდომის ან შესწორების ნიშნის არასწორად განსაზღვრა გამოიწვევს შედეგში შეცდომის გაორკეცებას, ამიტომ ზემოთ მიღებული წესი მუდამ უნდა გვახსოვდეს.

შეცდომასა და შესწორებას შორის განსხვავება მხოლოდ ნიშნების სხვადასხვაობაში არ მდგომარეობს, მათ შორის განსხვავება უნდა გვქონდეს წარმოდგენილი სხვაგვარადაც, მაგალითად,

1. ბაფთის დამზადების შეცდომასა და შესწორებას შორის ნიშნებშია განსხვავება და მათი აბსოლუტური სიდიდეები ტოლია. ე.ი.

$$|\delta| = |\varepsilon| .$$

2. გეოდეზიაში შეცდომის ოდენობას ადგენენ (1) ფორმულით. მაგალითად, პირობით განაზომებში შეცდომა ტოლია უშუალოდ შესრულებულ განაზომთა და თეორიულ გამონათვალთა შორის სხვაობისა, შესწორებები კი გაწონასწორების შედეგად მიღებული ოდენობებია: მხოლოდ ობიექტის ელემენტთა შესწორებების აბსოლუტურ ოდენობათა ჯამი ტოლია ობიექტის პირობითი განაზომის შეცდომის აბსოლუტური ოდენობისა.

მაგალითად, ბრტყელი სამკუთხედის კუთხეთა ჯამის შეცდომა (W) გამოითვლება გამოსახულებით

$$W = (\alpha + \beta + \gamma) - 180^{\circ}, \tag{12.2.5}$$

კუთხეების შესწორებათა ჯამი კი ფორმულით

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 180^{\circ} - (\alpha + \beta + \gamma), \tag{12.2.6}$$

ე.ი.

$$|W| = |\varepsilon_1| + |\varepsilon_2| + |\varepsilon_3| . \tag{12.2.7}$$

ამრიგად, შეცდომის აბსოლუტური მნიშვნელობა ტოლია შესწორებათა აბსოლუტური მნიშვნელობების ჯამისა, ანუ შესწორებათა ჯამი უდრის შეცდომას შებრუნებული ნიშნით.

3. შესწორება არაა შედეგი შეცდომის. მაგალითად,

ბაფთის სიგრძის შესწორება ტემპერატურის ცვალებადობის გამო

$$\varepsilon_t = \alpha (t - t_0) \iota , \tag{12.2.8}$$

სადაც α არის ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტი;

t - ტემპერატურა ხაზის გაზომვის დროს;

t_0 - ტემპერატურა ბაფთის კომპარირების დროს ;

ι - კომპარირებით განსაზღვრული ბაფთის სიგრძე.

გაზომილი ხაზის თარაზულობაზე დაყვანა, ანუ შესწორება ხაზის დახრის გამო განისაზღვრება ფორმულით

$$\varepsilon_\nu = 2L \sin^2 \frac{\nu}{2} , \tag{12.2.9}$$

სადაც L არის დახრილი ხაზის სიგრძე;

ν - ხაზის დახრის კუთხე.

ამ მაგალითებიდან ჩანს, რომ შესწორებასა და შეცდომას შორის განსხვავება არსებითია.

12.3 განაზომთა რიგების სახეები

განაზომთა რიგებში განსხვავებული ციფრები ორი სახისაა და პრაქტიკაში შესაბამისად განაზომთა რიგებიც ორნაირი სახის გვხვდება.

განაზომთა პირველი რიგი იქნება იმ შემთხვევაში, როცა განაზომი ობიექტის მრავალჯერ გაზომვის შედეგები იცვლება რაიმე გარკვეული წესის მიხედვით.

მეორე სახის რიგი არ ხასიათდება წევრთა რაოდენობის კანონზომიერი ცვალებადობით.

12.4 განაზომთა შეცდომების სახეები

განაზომთა რომელიმე რიგის მიღება დამოკიდებულია იმ კომპონენტებზე, რომლებიც მონაწილეობს გაზომვებში (გასაზომი ობიექტი, ხელსაწყო, მზომი ან გამომთვლელი და გარემო პირობები).

განაზომთა შეცდომებს ყოფენ:

წარმომშობი წყაროების მიხედვით – ხელსაწყოს, პირადი, გარემო პირობებით და ობიექტით გამოწვეული; ხასიათის, ანუ თვისებათა მიხედვით – ტლანქი, სისტემატური, მუდმივი და შემთხვევითი.

ამა თუ იმ ბუნების, ანუ თვისების შეცდომის წარმომშობი მიზეზი შეიძლება იყოს გაზომვის ცალკეული ფაქტორი ან ყველა ფაქტორი ერთად. ამიტომაც საინჟინრო – გეოდეზიური და მარკშეიდერული გაზომვების თანმხლები უცილობელი შეცდომების ანალიზი და მათი საბოლოო შედეგებზე შემოქმედება შეისწავლება სპეციალურ დისციპლინაში, რომელსაც - გეოდეზიურ - მარკშეიდერული განაზომების მათემატიკური დამუშავების თეორია“ ეწოდება (ნ. თევზაძე).

ცნობილია, რომ ყოველი განაზომის ტლანქი, სისტემატური და მუდმივი შეცდომებისაგან განთავისუფლება შეიძლება. რაც შეეხება, შემთხვევით შეცდომებს, მათი მოსპობა ჩვენ არ შეგვიძლია, ამ შეცდომებს ემატება ნარჩენი სისტემატური და მუდმივი შეცდომები. მათი ერთობლიობა, რომელსაც „უცილობელი“ შეცდომა ეწოდება, გვაძლევს მეორე სახის რიგს.

12.5 შემთხვევით შეცდომათა თვისებები

მანძილის მრავალჯერ გაზომვის ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ შემთხვევითი შეცდომები გარკვეულ პირობებში ტოლზუსტი გაზომვების რიგებში წარმოიშობა ნორმალური სტატისტიკური განაწილების კანონით. ეს კანონზომიერება ერთნაირია ნებისმიერი სახის გაზომვისათვის. ასეთ შეცდომათა კანონზომიერება მით უფრო მკვეთრია, რაც უფრო მეტია რიგის წევრთა რიცხვი. ეს არის სტატისტიკური კანონზომიერების ზოგადი თვისება და მას დიდ რიცხვთა კანონს უწოდებენ.

მანძილის მრავალჯერ ტოლზუსტი გაზომვის შედეგად მიღებული განაზომთა მეორე სახის რიგის საფუძველზე დგება შეცდომათა რიგი, რომელიც იქნება მეორე სახის და მას ეწოდება შემთხვევითი ხასიათის უცილებელ შეცდომათა რიგი. იგი ხასიათდება შემდეგი თვისებებით:

1. შეცდომების აბსოლუტური ოდენობა არ აღემატება გარკვეულ ზღვარს;
2. რაც უფრო დიდია შეცდომების აბსოლუტური მნიშვნელობა, მით უფრო იშვიათად გვხვდება რიგში;
3. აბსოლუტურად ტოლი დადებითი და უარყოფითი შეცდომები დაახლოებით ერთგვარი რაოდენობით გვევლინება რიგში;
4. შეცდომათა საშუალო არითმეტიკული მცირე სასრული ოდენობისაა და გაზომვათა რიცხვის უსასრულო გადიდების შემთხვევაში მისი ზღვარი ნულის ტოლია.

12.6. გაზომვის ერთეულები

გაზომვის დროს განსასაზღვრავ სიდიდეს ადარებენ ზომის ერთეულს. ადრე ერთეულის შერჩევის საკითხი წყდებოდა ნებისმიერად. პირველი ერთეულები უკავშირდებოდა ადამიანის სხეულის ზომებს: ფუტი (ტერფის სიგრძე), საჟენი (მანძილი გაშლილი ხელების ბოლოებს შორის), დიუმი (ცერა თითის სიგანე) და ა.შ. მრავალი ამ ერთეულთაგანი დღემდე შენარჩუნებულია, რაც ქმნის აშკარა უხერხულობას სიგრძეების საერთაშორისო სავაჭრო ურთიერთობებში, სამეცნიერო-კვლევით და საპროექტო სამუშაოებში. ამიტომ მეცნიერებმა გადაწყვიტეს დაედგინათ ყველა ქვეყანაში გამოსაყენებელი ზოგადი ერთეულები.

რადგან პრაქტიკაში საქმე გვაქვს გასაზომი სიდიდის სხვადასხვა მნიშვნელობასთან, ამიტომ მიზანშეწონილია გვქონდეს შესაბამისად სხვადასხვა ზომის ერთეულები, მაგრამ დაცული უნდა იქნეს პირობა, რომ ერთი ერთეულიდან მეორეზე გადასვლა ხდებოდეს შეძლებისდაგვარად სწრაფად. ფრანგი მეცნიერებისაგან (ბორდა, კონდორსე, ლაპლასი, მონჟი) შემდგარმა კომისიამ, რომელიც 1790 წელს შეიქმნა, ნაციონალური კრების დადგენილების საფუძველზე, სიგრძის ერთეულად მიიღო დედამიწის მეოთხედის ერთი მეათმილიონედი ნაწილი და 1791 წელს საფრანგეთში ამ ერთეულად შემოღებული იქნა მეტრი. მეტრის პროტოტიპს წარმოადგენდა პლატინის და ირიდიუმის შენადნობისაგან სპეციალურად დამზადებული კვერთხი (სახაზავი). ეს შენადნობი იმიტომ იქნა არჩეული, რომ მას აქვს სითბური გაფართოების მეტად მცირე კოეფიციენტი და კოროზიის მიმართ მდგრადია. ბევრმა ქვეყანამ გადაიღო ამ კვერთხიდან ასლი საკუთარი ზომითი შედარებისათვის.

მე-19 საუკუნის მეორე ნახევრიდან მეტრული სისტემა ფართოდ გავრცელდა და დაკანონდა თითქმის ყველა ქვეყანაში. ზომათა მეტრული, ანუ როგორც მას ხშირად უწოდებენ, ათობითი სისტემის გამორჩეულ თვისებას წარმოადგენს ის, რომ მასში ერთი და იმავე სიდიდის სხვადასხვა ერთეული ერთმანეთთან დაკავშირებულია ათის მთელი დადებითი ან უარყოფითი ხარისხებით.

შემდგომ ასტრონომიულ-გეოდეზიურ გაზომვათა სიზუსტის გაზრდის შედეგად აღმოჩნდა, რომ სიგრძის არჩეულ ერთეულსა და მისთვის დამზადებულ პროტოტიპს შორის არსებობს საკმაო განსხვავება, მაგრამ გადაწყდა, რომ დაეფიქსირებინათ ეს პროტოტიპი, როგორც სიგრძის ერთეულის ძირითადი ეტალონი, რადგანაც არ იყო გარანტია იმისა, რომ ახალი დაზუსტება არ გამოიწვევდა მის ხელახალ შეცვლას. პროტოტიპის მიხედვით მეტრის განსაზღვრასთან დაკავშირებით დაიკარგა მეტრული სისტემის ერთ-ერთი უპირატესობა – მისი დაცულობა და ზუსტი აღწარმოების შესაძლებლობა. შემდგომში შესაძლებელი გახდა მეტრის სიგრძის დაკავშირება განსაზღვრული სპექტრული ხაზის ტალღის სიგრძესთან. ამ ხაზის სახით მიღებულ იქნა კრიპტონის ნარინჯისფერი ხაზი. მეტრის თანამედროვე განსაზღვრა შემოტანილია 1960 წელს, რომლის თანახმად მეტრი შეიცავს ვაკუუმში კრიპტონის სპექტრული ხაზის ტალღის სიგრძის 1650763,73-ს, მასობრივი რიცხვით $86\begin{pmatrix}86\\36\end{pmatrix}$ კგ. ათობით სისტემაში არსებობს სიგრძის შემდეგი ერთეულები: კილომეტრი (1კმ)=10^3 მ; მეტრი

(1მ)=10დმ=10^2 სმ; დეციმეტრი (1დმ)=10სმ; სანტიმეტრი (1სმ)=10მმ; მილიმეტრი (1მმ)=10^3მკმ; მიკრომეტრი (1მკმ)=10^3ნმ; ნანომეტრი (1ნმ)= $10A^o$; ანგსტრემი ($1A^o$)=10^{-10}მ.

ერთეულთა საერთაშორისო სისტემის (სასტ 9867-61) შემოღებამდე, რომელიც აღინიშნებოდა აბრევიატურით $CИ$, მიკრომეტრი იწოდებოდა მიკრონად და აღინიშნებოდა მკ. ზოგჯერ, სხვა ერთეულთა რუსული აღნიშვნების დროს, მიკრონი აღინიშნებოდა ბერძნული ასოთი μ (მიუ), რომელიც შედის საერთაშორისო აღნიშვნათა ერთობლიობაში, მიუხედავად იმისა, რომ სახელწოდება „მიკრონი“ და „მკ“ გაუქმებულია, იგი არც თუ იშვიათად გვხვდება ლიტერატურაში. ნანომეტრი ადრე იწოდებოდა მილიმიკრონად და აღინიშნებოდა მმკ.

ფართობის ერთეულად მიიღება იმ კვადრატის ფართობი, რომლის გვერდი სიგრძის ერთეულის ტოლია: 1კ$მ^2$=$10^6$$მ^2$; 1$მ^2$=$10^4$სმ^2; 1დ$მ^2$=$10^{-2}$$მ^2$=100სმ^2; 1სმ^2=100მმ^2; 1მმ^2=$10^{-6}$$მ^2$. მიწის ზომის ერთეულად მიღებულია ჰექტარი: 1ჰა=10^{-2}კ$მ^2$=10არ=$10^4$$მ^2$.

მოცულობის ერთეულად მიიღება კუბის მოცულობა იმ წიბოთი, რომელიც სიგრძის ერთეულის ტოლია: 1$მ^3$=10^3დ$მ^3$=10^6 სმ^3, 1დ$მ^3$=10^3სმ^3, 1სმ^3=10^3მმ^3.

კუთხურ ზომად გამოიყენება გრადუსები, მინუტები და სეკუნდები. კუთხური გრადუსი არის წრეწირის ცენტრალური კუთხე, რომლის რკალი შეადგენს ერთ რკალურ გრადუსს, ანუ წრეწირის 1/360 ნაწილს. გრადუსი – $1^o=60'$; მინუტი $1'=60''$. მართ კუთხეს ზოგჯერ ყოფენ 100 ნაწილად. მართი კუთხის მეასედ ნაწილს უწოდებენ გონს (ადრე გრადს); გონი – $1^ღ=100^ს$; მეათედი მინუტი – $1^ს=100^{სს}$; მეათედი სეკუნდი – $1^{სს}=10^{-4}$ გონი. დასახელებულ კუთხურ ზომებს შორის არსებობს შემდეგი თანაფარდობა:

$$1^o=1,111...^ღ; \qquad 1^ღ=0,9^o;$$

$$1'=1,851...^ს; \qquad 1^ს=0,54';$$

$$1''=3,08641075^{სს}; \qquad 1^{სს}=0,324''.$$

ერთი კუთხური ზომის მეორეში გადაყვანის გასაადვილებლად ადგენენ ცხრილს.

რკალურ ზომაში წრეწირის ცენტრალური კუთხე განისაზღვრება როგორც რკალის სიგრძის ფარდობა რადიუსთან – $\varphi=\frac{1}{r}$, სადაც 1 რკალის სიგრძეა, ხოლო r - რადიუსი.

რკალური ზომის ერთეულის მნიშვნელობას შეესაბამება ρ კუთხე, რომლისთვისაც რკალის სიგრძე რადიუსის ტოლია. რკალური ზომის ამ ერთეულს უწოდებენ რადიანს. ρ კუთხე შეიძლება მოცემულ იქნას ორ კუთხურ ზომაში: $\rho^{\circ} = 360^{\circ}/2\pi \approx 57^{\circ},3$; $\rho^{\text{დ}} = 200^{\text{დ}/\pi} = 63,6^{\text{დ}}$; $\rho' = 3438'$; $\rho^{\text{ს}} = 6366^{\text{ს}}$; $\rho'' = 206265$; $\rho^{\text{სს}} = 636620^{\text{სს}}$.

СИ – ძირითად ერთეულებს მიეკუთვნება აგრეთვე დროისა და მასის ერთეულები, დროის ერთეულად მიღებულია წამი (წმ). დროის ერთეულთა სისტემაში შედის: წუთი – 1წთ=60წმ; საათი – 1სთ=60წთ=3600წმ.

მასის ერთეულად მიღებულია კილოგრამი (კგ) – ეს არის პლატინისა და ირიდიუმის შენადნობისაგან დამზადებული ეტალონის მასა. კილოგრამის საერთაშორისო ეტალონი ინახება ქ. სევრში (საფრანგეთი). მასის ეტალონის მიხედვით დამზადებულია ასლები და გადაცემულია სხვადასხვა ქვეყანაში. ათობით სისტემაში: ტონა – 1ტ=10^3კგ; გრამი – 1გ=10^{-3}კგ; მილიგრამი – 1მგ=10^{-3}გ.

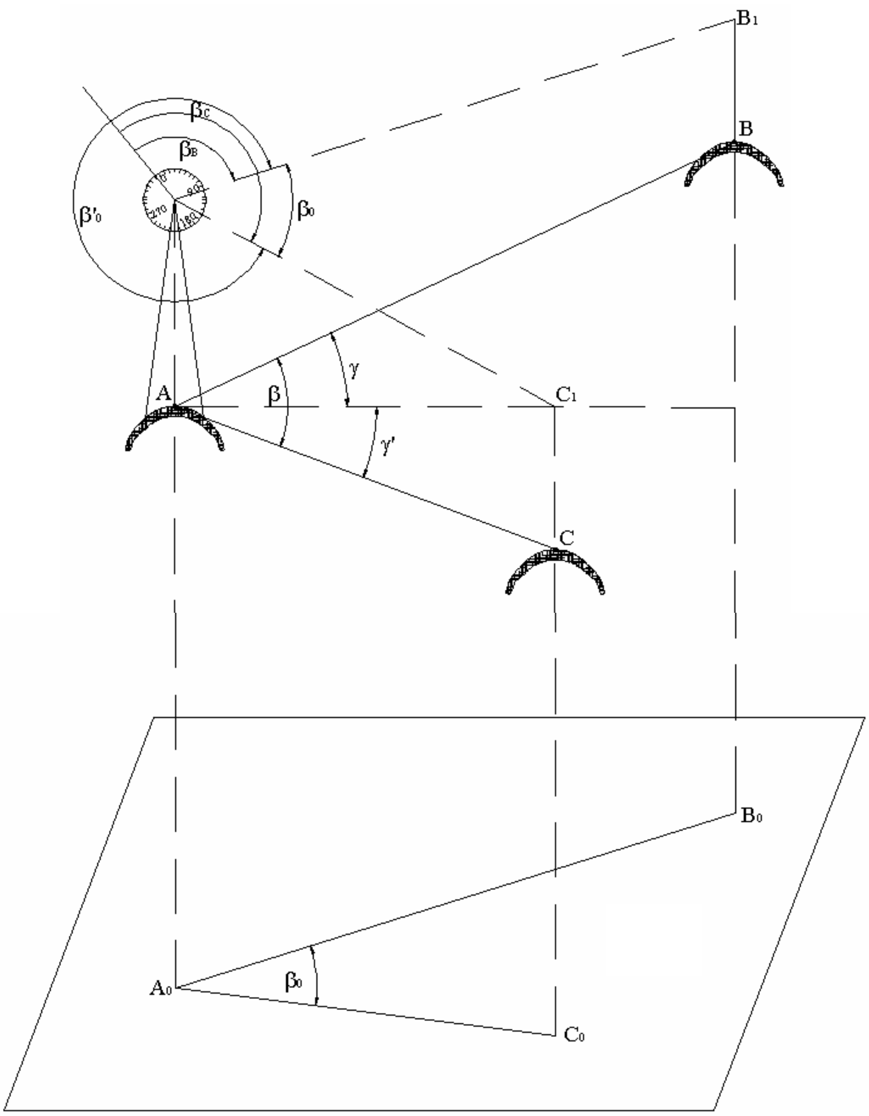
ლიტრი (ლ), რომელიც ხშირად იწოდება „ტევადობის ერთეულად“, ადრე განისაზღვრებოდა როგორც მოცულობა, რომელსაც იკავებს 1კგ წყალი $4^{\circ}C$-ის დროს. ეს მოცულობა შეადგენს 1, 000028 დმ^3. 1964 წელს ლიტრი გატოლებულ იქნა ერთ კუბურ დეციმეტრთან: 1ლ=1დმ^3. მიწის მასის მოცულობის განსაზღვრისას იყენებენ ძირითად ერთეულს 1მ^3-ს.

ზემოთ ჩამოთვლილ ერთეულთა საფუძველზე შექმნილია ძალისა და რხევათა სიხშირის წარმოებული ერთეულები. ძალის ერთეულად მიღებულია ნიუტონი. ერთი ნიუტონი (1ნ) არის ძალა, რომელიც 1კგ მასის მქონე სხეულს ანიჭებს 1მ/წმ აჩქარებას ძალის მოქმედების მიმართულებით. ათობით სისტემაში არსებობს კილონიუტონი – 1კნ=10^3ნ. ადრე ძალის ერთეულად ზოგჯერ იყენებდნენ კილოგრამს (1კგ); 1კგ ძალა ქ. სევრის განედზე დაახლოებით შეესაბამება 9,81ნ.

f რხევების სიხშირის ერთეულად მიიღება ჰერცი (1ჰც) – ეს არის სიხშირე, რომლის დროსაც წამში სრულდება პერიოდული სისტემის ერთი ციკლი. ათობით სისტემაში: კილოჰერცი – 1კჰც=10^3ჰც; მეგაჰერცი – 1მგჰც=10^6ჰც=10^3კჰც.

XIII თავი
კუთხზომითი აგეგმვა

ვთქვათ, მოცემულია სივრცეში A, B და C წერტილები და საჭიროა β-კუთხის ორთოგონალური პროექციის გაზომვა.



ნახ. 133

არსებული შემთხვევისათვის იგულისხმება მცირე სივრცე და უფლება გვაქვს დავაგეგმილოთ დონებრივ ზედაპირზე. მივიღებთ A_0, B_0, C_0 ორთოგონალურ პროექციებს. მიღებული β_0 კუთხე არის ორწახნაგა კუთხის პროექცია, რომელიც იზომება შესაბამისი ხაზოვანი კუთხით. AB და AC ხაზების ორთოგონალური პროექციები იქნება A_0B_0 და A_0C_0.

თუ BAC კუთხეს დავაგეგმილებთ თარაზულ სიბრტყეზე, მივიღებთ თარაზულ კუთხეს, ხოლო თუ დავაგეგმილებთ ვერტიკალურ სიბრტყეზე მივიღებთ დახრის

კუთხეს, იმ შემთხვევაში, როდესაც სივრცეში ერთ-ერთი გვერდი თარაზულადაა, ვერტიკალური კუთხის კერძო შემთხვევაა დახრის კუთხე.

A_0A გავაგრძელოთ, დავაყენოთ შვეული, თარაზული წრედით, რომელიც დაყოფილია გრადუსებად. B და C წერტილში დავაყენოთ სარები და დავმზიროთ AB და AC მიმართულებებს შორის კუთხე.

$$\beta_0 = \beta_C - \beta_B , \tag{13.1}$$

მარჯვენა მიმართულების ანათვალს აკლდება მარცხენა მიმართულების ანათვალი. ვთქვათ, გვინდა გავიგოთ არა β_0, არამედ β_0' (იხ. ნახ. 208). თუ β_B მცირეა β_C-ზე, მაშინ ვამატებთ 360° და გვექნება

$$\beta_0' = (\beta_B + 360^\circ) - \beta_C . \tag{13.2}$$

კუთხეს ვზომავთ შემდეგი წესით: სახით ვდგებით კუთხისაკენ, კუთხის წვეროზე ვაყენებთ კუთხმზომ იარაღს, რომლის ლიმბი თარაზულადაა და ვიღებთ ანათვალს ორივე მიმართულებაზე, მარჯვენას ვაკლებთ მარცხენას, თუ მარჯვენა ნაკლებია მარცხენაზე ვამატებთ 360°-ს.

დახრის კუთხეს ვზომავთ ანალოგიურად, ამისათვის საჭიროა გვქონდეს შვეული წრედი და თარაზული წრედი. თუ A წერტილიდან გადავზომავთ B-ს პროექციის პარალელურს, მივიღებთ დახრის კუთხეს ν-ს, B წერტილისათვის აღმავლობით, რადგან B – A-თან შედარებით მაღლაა, ხოლო C წერტილისათვის $-\nu'$-დაღმავლობით. კუთხეებს ვზომავთ კუთხმზომი იარაღით – თეოდოლიტით.

თეოდოლიტი იდგმება სამფეხზე, (შტატივზე) და მაგრდება ხერხემალა ხრახნით. მას აქვს 3 შტო, რომელშიც გაყრილია ამწევი ან დამყენებელი ხრახნები.

საერთოდ ინსტრუმენტს აქვს 5 სახის ხრახნი:

1. ხერხემალა ხრახნი, რომლითაც მაგრდება თეოდოლიტი სამფეხზე;
2. ამწევი ანუ დამყენებელი (3) ხრახნები;
3. დამტკეცნი ანუ დამმაგრებელი (ლიმბზე, წრედ-ალიდადაზე);
4. მიკრომეტრული;
5. შემასწორებელი (მაგ. თარაზოსი, ძაფთა ბადის).

ინსტრუმენტს აქვს ლიმბი დაყოფილი 360°-ად (თვით გრადუსი დაყოფილია მინუტებად), ლიმბს აქვს თავის დამტკეცი და მიკრომეტრული ხრახნები. ლიმბის ზემოთ არის წრედალიდადა, რომელსაც აქვს თავისი დამტკეცი და მიკრომეტრული ხრახნი. წრედალიდადაზე დამაგრებულია (ამთვლელი მექანიზმები) ვერნიერები და ცილინდრული თარაზო (ერთი ან ორი) თავისი შემასწორებელი ხრახნებით. წრედალიდადაზე არის აგრეთვე ორი დგარი, რომლის

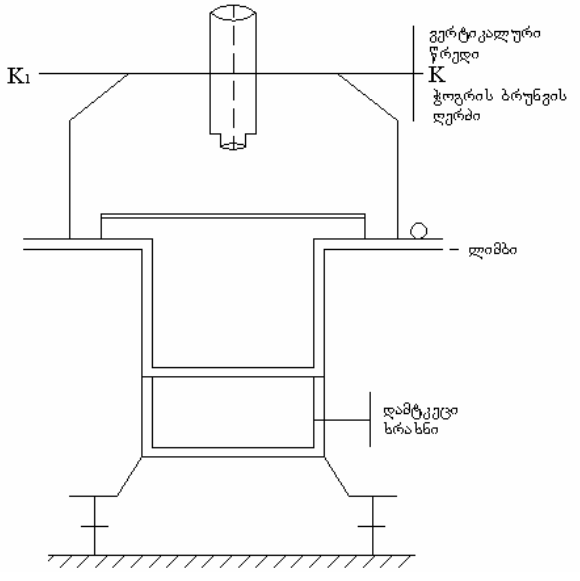
ბუდეებში ჩამაგრებულია ჭოგრი. ერთ-ერთ დგარზე არის შვეული წრედი. შვეულ წრედზეც არის ამთვლელი მექანიზმი – ვერნიერი (შიმშა-ალიდადა) და თარაზო, მეორე დგარზე არის ბუსოლი.

მუშაობის პროცესში ინსტრუმენტის ნაწილების ჰორიზონტალურად (ან შვეულად) დასაყენებლად იარაღი აღჭურვილია სამი ან ოთხი ცილინდრული თარაზოთი. ორი თარაზო არის ჰორიზონტულ წრედთან (წრედალიდადაზე) და დამაგრებულია ურთიერთ მართობულად. ერთი თარაზო შიმშა ალიდადაზეა დაყენებული. მეოთხე თარაზო შეიძლება დამაგრებული იყოს ჭოგრზე.

ინსტრუმენტის ნაწილების მცირე გადანაცვლებისათვის ინსტრუმენტი აღჭურვილია ოთხი მიკრომეტრული ხრახნით. ერთი მიკრომეტრული ხრახნი მოწყობილია ჰორიზონტულ წრედთან, მეორე წრედალიდადასთან, მესამე ჭოგრთან, მეოთხე შიმშა ალიდადასთან. თეოდოლიტში ვარჩევთ ორ ღერძს: მთავარ ღერძს და ჭოგრის ბრუნვის ღერძს.

1. <u>მთავარი ღერძის ქვეშ იგულისხმება წარმოსახვითი სწორი, რომელიც გადის ჭოგრის მზერის ღერძისა და ბრუნვის ღერძის გადაკვეთაზე, წრედალიდადის და ლიმბის ცენტრზე და ხერხემალა ხრახნზე (მას უწოდებენ შვეულ ღერძს, რაც სწორი არ არის), იგი შვეული მაშინ იქნება, როდესაც ლიმბს მოვიყვანთ თარაზულ მდგომარეობაში.</u>

2. ჭოგრის ბრუნვის ღერძს უწოდებენ თარაზულ ღერძს, (რაც სწორი არ არის), იგი თარაზული მაშინაა, როდესაც ლიმბი თარაზულადაა და დგარები ტოლია.



ნახ. 134

ძირითადად არსებობს ორი სახის თეოდოლიტი:

1) განმეორებითი; 2) არა განმეორებითი.

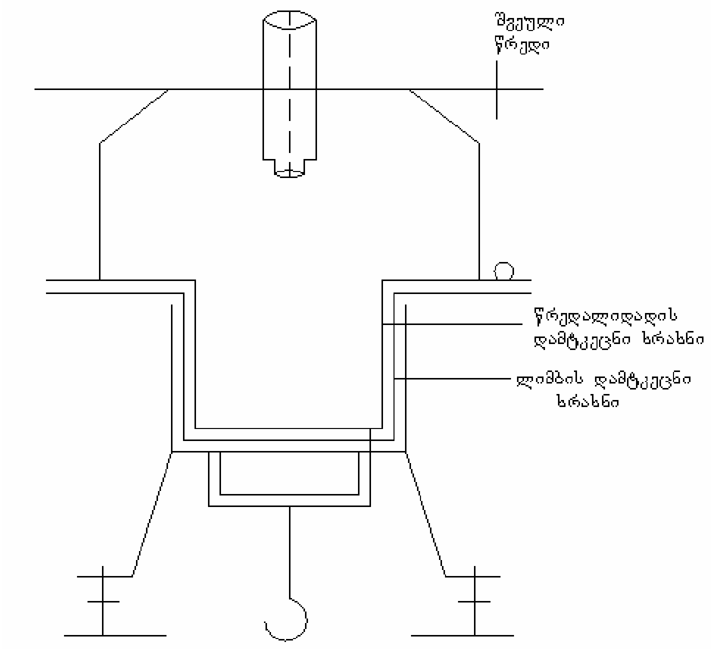
არაგანმეორებით თეოდოლიტში ლიმბი არ ბრუნავს, ხშულადაა წრედალიდადასთან ერთად.

არა განმეორებითი თეოდოლიტები 2 სახისაა.

1. ლიმბი არ მოძრაობს და წრედალიდადა მოძრაობს ან

2. როცა, ლიმბს დაამაგრებენ, წრე-

დალიდადა მოძრაობს ან წრედალიდადა და ლიმბი დამოუკიდებლად მოძრაობენ. წრედალიდადა ლიმბს არ დაეტკეცნება.



ნახ. 135

განმეორებით თეოდოლიტში ბრუნავს, როგორც ლიმბი, ისე წრედალიდადა. ამავე დროს წრე-დალიდადა მოძრაობს ლიმბთან ერთად.

ვთქვათ, განმეორებით თეოდოლიტში დაკეტილია ლიმ-ბი და აშვებულია წრედა-ლიდადა, იგი მოძრაობს. თუ დავამაგრებთ წრედალიდადას და ავუშვებთ ლიმბს, იგი მიემაგრება ლიმბს და იმოძ-რავებს ლიმბთან ერთად.

13.1. ხელსაწყოების შემოწმებები

შემოწმებები არის საფაბრიკო-საქარხნო და საველე.

თარაზო გამოიყენება ხაზების და სიბრტყეების თარაზულ მდგომარეობაში მოსაყვანად. მთავარი ანუ იდეალური ღერძი, რომლის გარშემო ბრუნავს იარაღი, ქარხანაში წინასწარ დაყენებულია ლიმბის მართობულად ე.ი. როდესაც ლიმბის სიბრტყეს მოვიყვანთ თარაზულ მდგომარეობაში, მაშინ მთავარი ღერძი დადგება შვეულად, რადგან იგი ⊥-ია ლიმბის სიბრტყის. საჭიროა ლიმბის სიბრტყე დავაყენოთ თარაზულად.

I – შემოწმება

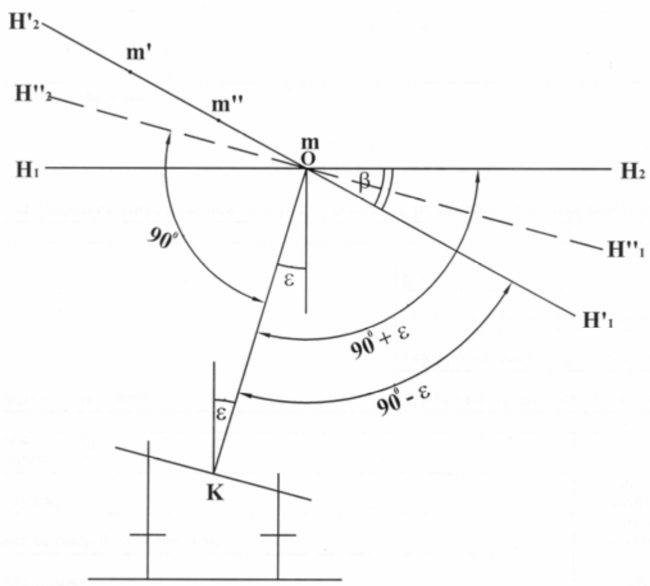
წრედალიდადაზე დამაგრებული თარაზოს ღერძი მართობი უნდა იყოს ინსტრუმენტის მთავარი ღერძის.

ამისათვის ასე ვიქცევით: იარაღს ვდგამთ შტატივზე. წრედ ალიდადაზე მოთავსებულ თარაზოს ვაყენებთ ორი დამყენებელი ხრახნის გასწვრივ და ხრახნების ურთიერთ საწინააღმდეგო მოძრაობით ბუშტულა მოგვყავს შუაში. ავუშვებთ წრედალიდადის დამტკეცნ ხრახნს და შემოვაბრუნებთ 180°-ით, თუ ბუშტულა შუაში დარჩა (ე.ი. ბუშტულის ცენტრი m დაემთხვა O წერტილს-

ნულპუნქტს) პირობა შესრულებულია, თუ არა გადახრის ნახევარს შევასწორებთ შემასწორებელი ხრახნით, მეორე ნახევარს კი უკან გადმოვაადგილებთ ამწევი ხრახნებით, ე.ი. თარაზოს 0-ლ პუნქტს დავამთხვევთ ბუშტულის შუაგულს m-ს. ისევ შემოვაბრუნებთ 180^o-ით, თუ ბუშტულა შუაში დარჩა, პირობა შესრულებულია, თუ კიდევ გადაიხარა, ნახევარს შევასწორებთ შემასწორებელი ხრახნით, მეორე ნახევარს კი გადავაადგილებთ ამწევი ხრახნებით და ა.შ. სანამ ბუშტულა შუაში არ დარჩება ყოველი შემობრუნების დროს.

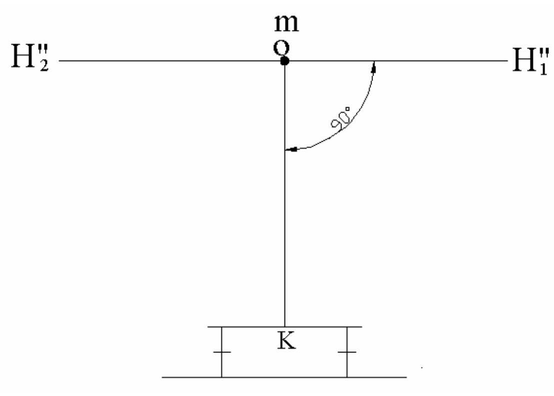
I – შემოწმების გეომეტრიული ინტერპრეტაცია

იმის გამო, რომ OK – მთავარი ღერძი არაა მართობი H_1H_2 თარაზოს ღერძისა და მათ შორის შეიქმნება ε-კუთხე, იძულებული ვართ ხრახნით მარცხენა მხარე ავწიოთ, ხოლო მარჯვენა მხარე დავწიოთ ε კუთხით, რომ ბუშტულის შუაგული დავამთხვი-ოთ 0-ს (ნულპუნქტს). ახლა ავიღოთ და წრედი შემოვაბ-რუნოთ 180^o-ით, ე.ი. ისე, რომ H_1H_2-ემ მიიღოს $H_1'H_2'$ მდება-რეობა. მათ შორის შეიქმნება β კუთხე.



ნახ. 136

β -კუთხის შესაბამისად m გადაადგილდება m'-ში, ე.ი. გადაად-გილებას შეესაბამება β კუთხე ან 2ε. I-ელ მიმარ-თულებასა და ახალ მიმართულებებს შორის კუთხე ნახაზიდან იქნება:



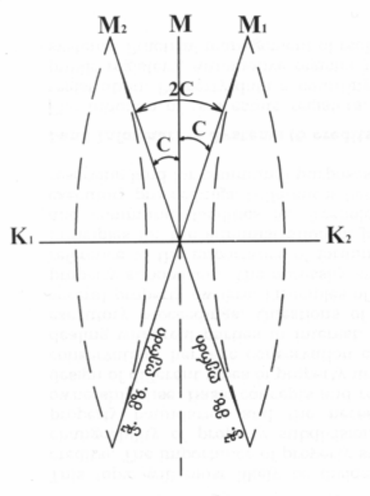
ნახ. 137

$$\beta = (90^o + \varepsilon) - (90^o - \varepsilon) = 2\varepsilon; \qquad (13.1.1)$$

$\beta = 2\varepsilon$ აქედან $\varepsilon = \dfrac{\beta}{2}$; ე.ი. mm' გადაადგილების ნახევარს შევასწო-რებთ თარაზოს შემასწორებელი ხრახნით (ბუშ-ტულის ცენტრი m'-დან გადავა m''-ში. აქ ვსპობთ ერთ ε-ს (0 წერტილთან), მეორე ε-კუთხეს (K წერტილთან) ვსპობთ მარცხენა ხრახნის დაწევით. ამის შემდეგ თარაზოს ღერძი $H_2''H_1''\perp$ გახდება OK (იარაღის მთავარი ღერძისა) და ნახაზი

(211) მიიღებს (212) ნახაზის სახეს. ე.ი. (თარაზოს H_1H_2 ღერძი მართობი გახდება OK-იარაღის მთავარი ღერძის). თარაზოს ღერძი $\perp$-ია იარაღის ღერძისა, მაგრამ სიბრტყის თარაზულ მდგომარეობაში მოსაყვანად საჭიროა ორი გადამკვეთი ხაზი იყოს თარაზულად. ამისათვის წრედს შემოვაბრუნებთ 90°-ით, თუ ბუშტულა გადაადგილდა, მას შევასწორებთ მესამე დამყენებული ხრახნით. უკვე სხვა ხრახნებს ხელს არ ვახლებთ.

ინსტრუმენტის ქვემო ნაწილი – ლიმბი და წრედალიდადა თარაზულადაა, მაგრამ წერტილებზე ვაკვირდებით ჭოგრით. ანათვლები რომ სწორი იყოს, საჭიროა ინსტრუმენტის ზემო და ქვემო ნაწილი გეომეტრიულად სწორად იყოს დაკავშირებული. ამისათვის ინსტრუმენტს აქვს <u>II – შემოწმება.</u>



ნახ. 138

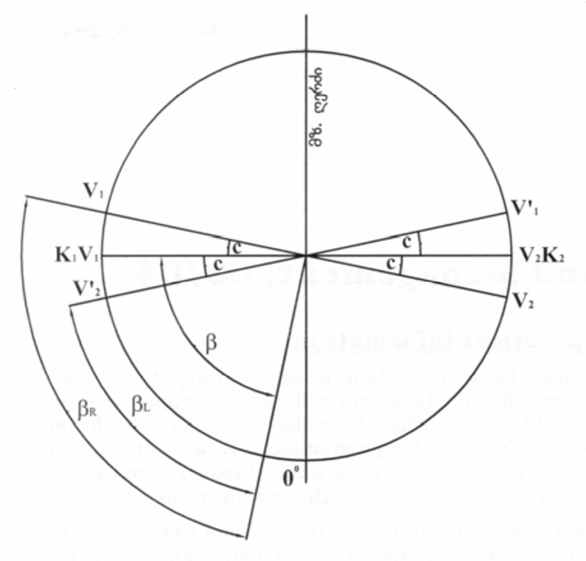
<u>ჭოგრის მზერის ღერძი მართობი უნდა იყოს მისი (ჭოგრის) ბრუნვის ღერძისა.</u> (ნახ. 138)

ჭოგრის მზერის ღერძი არის ძაფთა ბადის გადაკვეთის და ლინზების ოპტიკური ცენტრების შემაერთებელი ხაზი, ამიტომ ასე ვიქცევით:

I-ლი შემოწმების შემდეგ 2-3 კმ-ზე ვუმიზნებთ რაიმე წერტილს და როდესაც ვერტიკალური წრედი მარჯვნივაა ავიღებთ β_R ანათვალს (საშუალო ორივე ვერნიერით) ლიმბზე. შემოვაბრუნებთ 180°-ით, დავუმიზნებთ იმავე წერტილს. თუ საშუალო ანათვალი, როდესაც წრედი მარცხნივაა, β_L განსხვავდება β_R-საგან, მაშინ $180^{\circ} \pm 2\tau$ (τ-ვერნიერის სიზუსტეა) მართობულობა დაცულია. თუ განსხვავება მეტია, ავიღებთ ანათვლის საშუალო არითმეტიკულს და წრედალიდადას ვერნიერის (მიკრომეტრული ხრახნით) დავაყენებთ საშუალო არითმეტიკულზე. ამის შემდეგ დავმზერთ ისევ იმავე წერტილს. ძაფთა ბადის შემასწორებელი ხრახნებით გადავწევთ და ვამთხვევთ ძაფთა ბადის გადაკვეთის სამიზნებელ წერტილს. შემდეგ ისევ დავმზერთ არსებულ წერტილს და გავიმეორებთ იგივეს. თუ კიდევ აღმოჩნდა β_R და β_L შორის სხვაობა ორმაგ სიზუსტეზე მეტი, ისევ გადავაადგილებთ ძაფთა ბადეს. ამ მოქმედებას გავიმეორებთ მანამ, სანამ კოლიმაციურ ცდომილებას არ დავიყვანთ მინიმუმამდე.

<u>კოლიმაციური შეცდომა არის ის კუთხე, რომელსაც ჭოგრის მზერის ღერძი ქმნის მისი ბრუნვის ღერძის მართობთან.</u> (ნახ. 139)

ვთქვათ, K_1K_2-ს ემთხვევა v_1v_2 ვერნიერების 0-ოვანი დიამეტრი და იგივე K_1K_2 მართობია ჭოგრის მზერის ღერძისა, მაშასადამე მდგომარეობა იდეალურია, რაც არ ხდება. ახლა დავუშვათ, რომ ეს პირობა დარღვეულია – K_1K_2-მა მიიღო ახალი მდებარეობა, ისე რომ მათ შორის (K_1K_2-ის მართობსა და მზერის ღერძს შორის) შეიქმნა C კუთხე. ე.ი. K_1K_2 არ არის მართობი მზერის ღერძის. როდესაც წრედი მარჯვნივაა მივიღეთ ანათვალი β_R (საშუალო ორივე ვერნიერიდან), ნახაზიდან



ნახ. 139

$$\beta = \beta_R - C. \qquad (13.1.2)$$

ახლა გადავიტანოთ ჭოგრი ზენიტზე და დავმზიროთ ისევ იმ წერტილს. ავიღოთ (ისევ საშუალო ანათვალი ორივე ვერნიერზე, როდესაც წრედი მარცხნივაა) β_L. მივიღებთ K_1K_2-ს ახალ მდებარეობას, რომელიც გადაიხრება ჭოგრის ბრუნვის ღერძის იდეალური მდებარეობიდან იმავე C კუთხით, მაშინ ნახაზიდან

$$\beta = \beta_L + C. \qquad (13.1.3)$$

(2) და (3) შევკრიბოთ და განვსაზღვროთ β; $\beta = \dfrac{\beta_R + \beta_L}{2}$; ახლა იგივე ტოლობები გადავწყვიტოთ C-ს მიმართ:

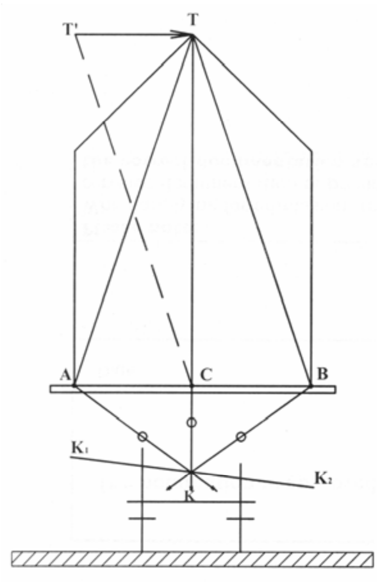
$$C = \frac{\beta_R - \beta_L}{2}, \qquad (13.1.4)$$

მაშასადამე, შეგვიძლია განვსაზღვროთ C და β (ნამდვილი კუთხე). ერთი და იგივე გვერდს ვუმიზნებთ 2-ჯერ. ისმება კითხვა: შეიძლება თუ არა C გამოვთვალოთ მიღებული ფორმულით და შემდეგ ყველგან შევიტანოთ ანათვალში შესწორების სახით? არ შეიძლება, რადგან წერტილები სხვადასხვა სიმაღლეზეა, კოლიმაციური შეცდომის გავლენაც სხვადასხვა იქნება (ყველა წერტილი, რომ ერთ დონეზე ყოფილიყო, გავლენაც ერთი და იგივე იქნებოდა). ამიტომ მიმართულების განსაზღვრისას კოლიმაციური ცდომილების განსაზღვრა და შემდეგ შესწორების სახით მისი შეტანა არ შეიძლება. აუცილებლად საჭიროა ყოველი დამზერის დროს ანათვლის აღება ვერტიკალური წრედის ორ

მდგომარეობაში β_R და β_L. მათი საშუალო არითმეტიკული მთლიანად გამორიცხავს მინიმუმამდე დაყვანილ კოლიმაციურ ცდომილებას. თანამედროვე ინსტრუმენტებში ძაფთა ბადის გადასაწევი ხრახნები ნაკლებადაა ხელ შესახები. ამას უზრუნველყოფს ქარხანა.

III – შემოწმება

ჭოგრის ბრუნვის ღერძი მართობული უნდა იყოს იარაღის მთავარი ღერძისა. ე.ი. დგამები უნდა იყვნენ ურთიერთშორის ტოლი და პარალელურები. (ნახ. 140)



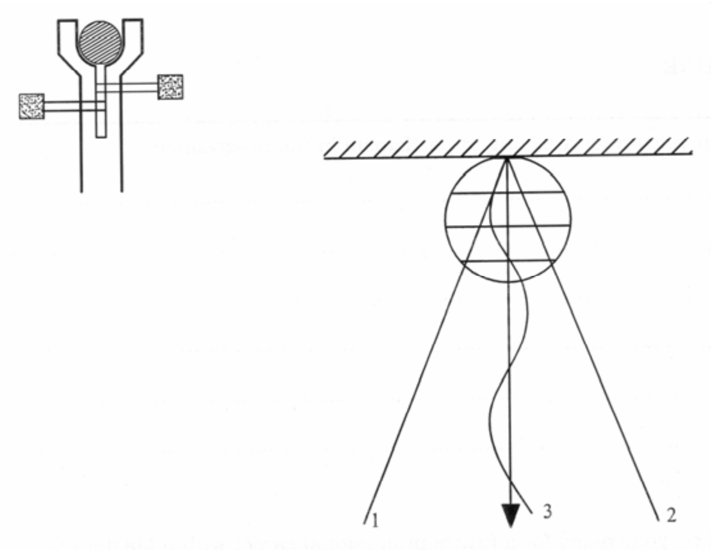
ნახ. 140

გავალთ შენობიდან ≈ შენობის სიმაღლის ტოლ მანძილზე (ვთქვათ 30მ-ზე) და დავუმიზნებთ მაღალ წერტილს. შემდეგ ნელნელა დავუშვებთ ჭოგრს ჩვენს სიმაღლეზე (ისე, რომ შევძლოთ დამზერა) ზუსტად. ზემო წერტილს დავანიშნინებთ ძაფთა ბადის გადაკვეთის წერტილზე. შემდეგ ჭოგრს გადავიტანთ ზენიტზე, შემოვაბრუნებთ 180°-ით და ისევ გავიმეორებთ ზემოდ აღწერილ მოქმედებას. თუ ძაფთა ბადის გადაკვეთა დაემთხვა ჩვენს დანიშნულ წერტილს, დგამები თანაბარი ყოფილა, მაგრამ თუ არ დაემთხვა, შეცდომას მაინც ვსპობთ ორჯერ დამიზნების შემდეგ.

ვთქვათ, დავუმიზნეთ T-წერტილს. დავუშვით ჭოგრი და აღვნიშნეთ A-წერტილი, შემდეგ შემოვაბრუნეთ წრედი 180°-ით, ჭოგრი გადავიტანეთ ზენიტზე და ისევ გავიმეორეთ, ახლა გამოსახულებას A-ს ნაცვლად მივიღებთ B-ში, მაშინ AB ხაზს გავყოფთ შუაზე და დავნიშნავთ C წერტილს. ჩვენ კი ჭოგრს გადავაადგილებთ წრედალიდადას მიკრომეტრული ხრახნით C-საკენ. ახლა ისევ დავმზერთ T-ს, მაგრამ იგი გამოჩნდება არა T-წერტილში, არამედ T'-ში, ე.ი. დგამები ტოლი არაა, რომ გავათანაბროთ საჭიროა ერთი რომელიმე დგამის სიმაღლის შეცვლა მანამ, სანამ ძაფთა ბადის ცენტრი არ დაემთხვევა T-წერტილს. ეს მოქმედება სრულდება დგამის შემასწორებელი ხრახნებით.

იგივე შემოწმება მშვიდი ამინდის პირობებში შეიძლება გავაკეთოთ შვეულის გამოყენებით (ნახ. 141).

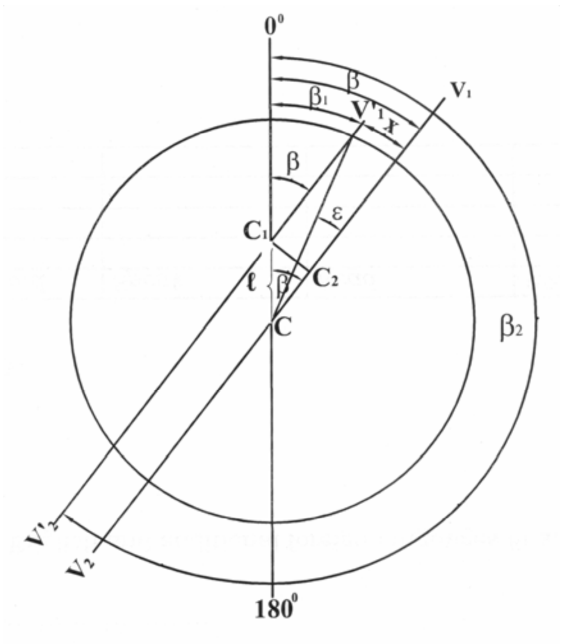
დავკიდებთ შვეულს და დავმზერთ, თუ შვეული გაყვა ძაფთა ბადის შვეულ ძაფს, პირობა შესრულებულია, თუ გადაიხარა მარცხნივ (მიიღო 1-ლი მდებარეობა), მარცხენა დგამი ყოფილა მოკლე, თუ გადაიხარა მარჯვნივ (მიიღო 2-რე მდებარეობა), მარჯვენა დგამი ყოფილა მოკლე, თუ მიიღო 3-მე მდგომარეობა, მაშინ 1-ლი შემოწმება არ არის სწორი.



ნახ. 141

წრედალიდადას ექსცენტრისიტეტი (ნახ. 142)

ავიღოთ C ცენტრი და ნულოვანი დიამეტრი $0^{\circ}-180^{\circ}$. ვთქვათ ლიმბისა და წრედალიდადას ცენტრები ემთხვევა ერთმანეთს. შემოვაბრუნოთ წრედალიდადა, ავიღოთ ანათვალი β, რომლის შესაბამისი ცენტრალური კუთხეა β. იგი იზომება შესაბამისი რკალით. ახლა დავუშვათ, რომ ქარხანა შეცდა და წრედალიდადას ცენტრი არ ემთხვევა ლიმბის ცენტრს. მისი ცენტრი C-ს ნაცვლად C_1-შია, მაშასადამე ალიდადა შემობრუნდება C_1-ის გარშემო. იგივე კუთხური გადახრისათვის β-ს ნაცვლად ანათვალი იქნება β_1. განსხვავება $\beta-\beta_1=X$ (ხაზოვანი განსხვავება). X-ის შესაბამისი კუთხური განსხვავება იქნება ε. C_1C-ს ეწოდება ექსცენტრისიტეტი. C_1-დან დავუშვათ მართობი v_1v_2 დიამეტრზე, მივიღებთ C_2-წერტილს.



ნახ. 142

$$X=C_1C_2=r\cdot\sin\varepsilon=\lambda\cdot\sin\beta, \qquad (13.1.5)$$

სადაც ε არის (X-ხაზოვანი შეცდომის შესაბამი კუთხური შეცდომა) მცირე კუთხე და შეგვიძლია შევცვალოთ შესაბამისი რადიანული ზომით:

$$r\frac{\varepsilon''}{\rho''}=\lambda\cdot\sin\beta\,,\qquad \text{მაშასადამე}$$

$$\varepsilon''=\frac{\lambda}{r}\cdot\rho''\cdot\sin\beta\,,\qquad (13.1.6)$$

$\frac{\lambda}{r}$ ეწოდება ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი (მუდმივი სიდიდეა). ρ არის რადიანი $=57^{\circ},3=3438'=206265''=\frac{1}{\sin 1''}$ (მუდმივია) ე.ი. ε''-ის ცვალებადობა დამოკიდებულია β-ზე, ნახაზიდან $\beta=\beta_1+X$,

$$\beta=\beta_2-X-180^{\circ}.$$

ეს ორი განტოლება გადავწყვიტოთ β-ს მიმართ, $\beta=\frac{\beta_1+(\beta_2-180^{\circ})}{2}$.

X-ცვალებადი სიდიდეა, იგი სხვადასხვა მდებარეობის დროს იცვლება max-დან min-მდე 0-მდე. (მაგ. როდესაც $\beta=0^{\circ}$ან 180°, მაშინ $X=0$ (ანუ min) და როდესაც $\beta=90^{\circ}$ან $\beta=270^{\circ}$, ამ დროს $X=\lambda$ ანუ max-ს), ამიტომ ორჯერ ანათვლის აღებას აზრი აქვს. ე.ი. ექსცენტრისიტეტის მოსასპობად ვსარგებლობთ ორივე ვერნიერით. I-ვერნიერით ვიღებთ გრადუსებს და მინუტებს, II-ვერნიერით მხოლოდ მინუტებს.

13.2. შვეული წრედის ნულ ადგილი

<u>დახრის კუთხე ეწოდება მოცემულ მიმართულებასა და თარაზულ მიმართულებას შორის შექმნილ შვეულ კუთხეს.</u>

ჩვენ ვიცით, რომ იარაღში გვაქვს შვეული წრედი, რომელიც დახრის კუთხის განსაზღვრისათვის გამოიყენება. დახრის კუთხე კი გვჭირდება წერტილებს შორის აღმატების განსაზღვრისათვის. შვეული წრედი მიმაგრებულია დგარზე უძრავად. ჩვენ ვმზერთ ჭოგრით. თუ შვეულ წრედსა და ჭოგრის მზერის ღერძს შორის არ იქნა სწორი გეომეტრიული დამოკიდებულება, ანათვალი არ იქნება სწორი.

დახრის კუთხე, რომ განისაზღვროს, საჭიროა თარაზული მიმართულება. თარაზულ მიმართულებას გვაძლევს თარაზო.

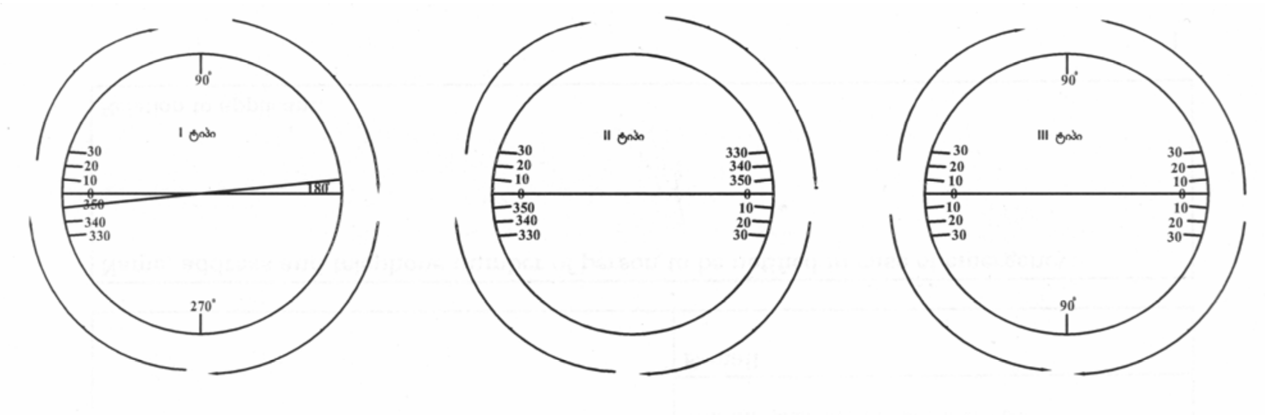
იარაღს აქვს ჭოგრი – მზერის ღერძით, შვეული წრედი ნულოვანი დიამეტრით, თარაზო – თავისი ღერძით და ვერნიერები – ვერნიერების 0-ების შემაერთებელი ხაზით. მაშასადამე, ძირითადად საქმე გვაქვს 4 ღერძთან.

1. ჭოგრის მზერის ღერძი და შვეული წრედის 0-ვანი დიამეტრი უნდა იყვნენ პარალელურები
2. შვეულ წრედზე თარაზოს ღერძი და ვერნიერების დიამეტრი უნდა იყოს პარალელური. ე.ი. თუ წყვილ-წყვილად ეს ღერძები პარალელურები არიან, ანათვალი იქნება 0. თუ რომელიმე პირობა დარღვეულია, შვეულ წრედზე ადგილი ექნება ნულ ადგილს, რაც უარყოფითი მოვლენაა ინსტრუმენტში.

შვეული წრედის ნულ ადგილი არის ანათვალი შვეულ წრედზე მაშინ, როდესაც ჭოგრის მზერის ღერძი და შიმშა ალიდადაზე დამაგრებული თარაზოს ღერძი არიან თარაზულად.

ნორმალურ ინსტრუმენტში იგი უნდა იყოს 0-ის ტოლი. თუ ის 0-ს არ უდრის ამის მიზეზი იქნება, ერთის მხრივ ჭოგრის მზერის ღერძისა და შვეული წრედის 0-ოვანი დიამეტრის არაპარალელურობა.

განვიხილოთ არსებული შვეული წრედების ძირითადი ტიპები



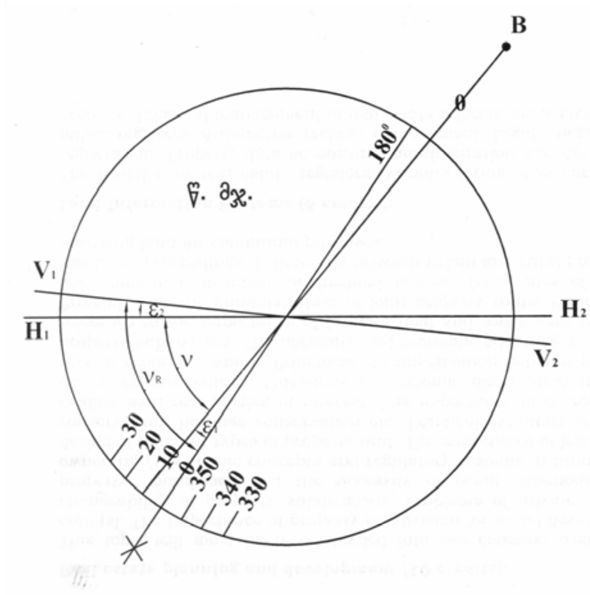
ნახ. 143

I-არის ლიმბის ტიპის. საწყისი არის ერთ ადგილზე და ბოლო დანაყოფები იზრდება 360°-მდე.

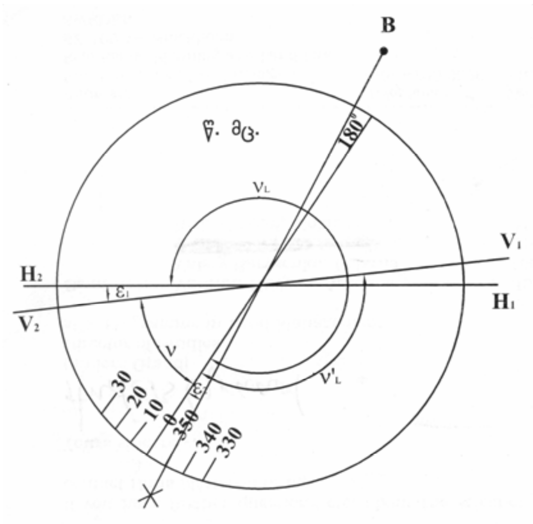
II-ში გამოყენებულია ორივე ბოლო. იწყება ბოლოდან, გრძელდება 360°-მდე. დავუშვათ, რომ ჭოგრის მზერის ღერძი თარაზულადაა და პარალელურია თარაზოს H_1H_2-ღერძისა. ამ შემთხვევაში თუ $\upsilon_1\upsilon_2$-ვერნიერების 0-ოვანი დიამეტრი ემთხვევა ამ ღერძებს, მაშინ ანათვალი იქნება 0-ლი. ახლა დავუშვათ რომ H_1H_2 არ ემთხვევა $\upsilon_1\upsilon_2$-ს. გვაქვს შვეული წრედი მარჯვნივ და ვმზერთ რაღაც B წერტილს. მზერის ღერძსა და ნულოვან დიამეტრს შორის შეიქმნება რაღაც ε_1 კუთხე. მეორე მხრივ $\upsilon_1\upsilon_2$ და H_1H_2-ს შორის ε_2-კუთხე, ნამდვილი დახრის კუთხეა-ν, რომელშიც შეიტანება შეცდომა ε_1 და ε_2.

$\varepsilon_1 + \varepsilon_2$-აღვნიშნოთ – N და ვუწოდოთ ნულ ადგილი (შეცდომა) ე.ი. შეცდომით აღებულია კუთხე ν_R.

$$\nu = \nu_R - (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = \nu_R - N . \quad (13.2.1)$$



ნახ. 144



ნახ. 145

ახლა გადავიტანოთ ჭოგრი ზენიტზე და დავაყენოთ წრედი მარცხნივ. ჩვენ გვაინტერესებს ისევ ν კუთხე (ნახ. 146)

$$\nu = 360^\circ - \nu_L + N = N - \nu_L . \quad (13.2.2)$$

$$\nu = \frac{\nu_R - \nu_L}{2} . \quad (13.2.3)$$

$$N = \frac{\nu_R + \nu_L}{2} . \quad (13.2.4)$$

მოვიყვანოთ მაგალითი

$\nu_R = 9^\circ 40'$;

$\nu_L = 350^\circ 10'$,

მარჯვენა ანათვალს მექანიკურად ვუმატებთ 360°, მაშინ

$$N = \frac{(9^\circ 40' + 360^\circ) + 350^\circ 10'}{2} = 359^\circ 55' .$$

კონტროლის მიზნით გამოვიყენოთ (13.2.2) ფორმულა

$$\nu = 359^\circ 55' - 350^\circ 10' = +9^\circ 45' ,$$

განსხვავება მივიღეთ (+) ნიშნით ე.ი. ყოფილა აღმართი.

გამოვიყენოთ (13.2.1)-ი ფორმულა

$\nu = 369^\circ 40' - 359^\circ 55' = +9^\circ 45'$.

გამოვიყენოთ (13.2.3)-მე ფორმულა $\nu = \frac{369^\circ 40' - 350^\circ 10'}{2} = +9^\circ 45'$

ეს ნ. ა. დიდია ჩვენი ანათვალი $\nu_R = 9^\circ 40'$

ნ. ა. $= 5'$ და ν კუთხე $9^\circ 40'$ ნაცვლად გამოვიდა $9^\circ 45'$.

ნულადგილის მინიმუმამდე დაყვანა ხდება ორი ხერხით.

1. ვთქვათ, გვაქვს $9^o45'$, რომელიც მივიღეთ გამოყვანით, ანათვალი $\nu_R = 9^o40'$, ვერტიკალური წრედის მიკრომეტრული ხრახნით შვეული წრედის ვერნიერების ნულოვანი დიამეტრი დავაყენოთ 9^o45-ზე, ახლა თარაზოს ბუშტულა გადაიხრება, თარაზოს შემასწორებელი ხრახნებით თარაზოს ბუშტულის გადახრას შევასწორებთ.

2 ხერხი. ბუშტულას მოვიყვანთ შუაში, შემდეგ ჭოგრს დაახლოებით დავაყენებთ თარაზულად და ანათვალს დავაყენებთ $359^o55'$ (ე.ი. იმ ანათვალზე, რომელიც მივიღეთ გამოთვლით), ამის შემდეგ ვერტიკალური წრედის მიკრომეტრული ხრახნით ანათვალს გადავაადგილებთ 0-მდე, მაშინ ვერტიკალური წრედის თარაზოს ბუშტულა გადაიხრება. ახლა ბუშტულას მოვიყვანთ შუაში თარაზოს შემასწორებელი ხრახნებით.

კოლიმაციური შეცდომა მუდმივია, გავლენა ცვალებადი, ასევეა ექსცენტრისიტეტი. მაგრამ აქ ნ. ა. შეიძლება ერთხელ განისაზღვროს და შემდეგ შევიტანოთ შესწორების სახით.

თუ დავაკვირდებით ნახაზს, როდესაც შვეული წრედი მარჯვნივ გვაქვს, ანათვალს ვიღებდით ჯერ I-ლი, შემდეგ II-რე ვერნიერით. ახლა ვთქვათ გვაქვს წრედი მარცხნივ და ანათვალს ვიღებთ ჯერ II-ე, ხოლო შემდეგ I-ლი ვერნიერით, მაშინ (13.2.1) ფორმულა ძალაში რჩება, (13.2.2)-ის ნაცვლად გვექნება (13.2.2').

$$\nu = 180^o - \nu_L + N; \qquad (13.2.2')$$

$$\nu = \nu_R - \nu'_L + N; \qquad (13.2.3')$$

$$N = \nu_R + \nu'_L \pm 180^o. \qquad (13.2.4')$$

ე.ი. I-ლი ტიპის წრედისათვის (პირველ შემთხვევაში), ფორმულაში ემატება 360^o, როდესაც ვსარგებლობთ I-ლის შემდეგ II ვერნიერით და გვაქვს შვეული წრედი მარჯვნივ, ხოლო როდესაც შვეული წრედი მარცხნივაა, ანათვალს პირველად ავიღებთ II-ვერნიერით, შემდეგ I-ით და ფორმულაში ვამატებთ 180^o-ს.

I-ლი ტიპის დროს ვსარგებლობთ პირველი 4-ფორმულით, ხოლო II-რე ტიპისათვის 1-ლი ძალაში რჩება და გამოიყენება აგრეთვე 2' 3' 4'.

III-ტიპისათვის (1)-ლი ისევ ძალაში რჩება, დანარჩენი ფორმულები კი მიიღებს ასეთ სახეს:

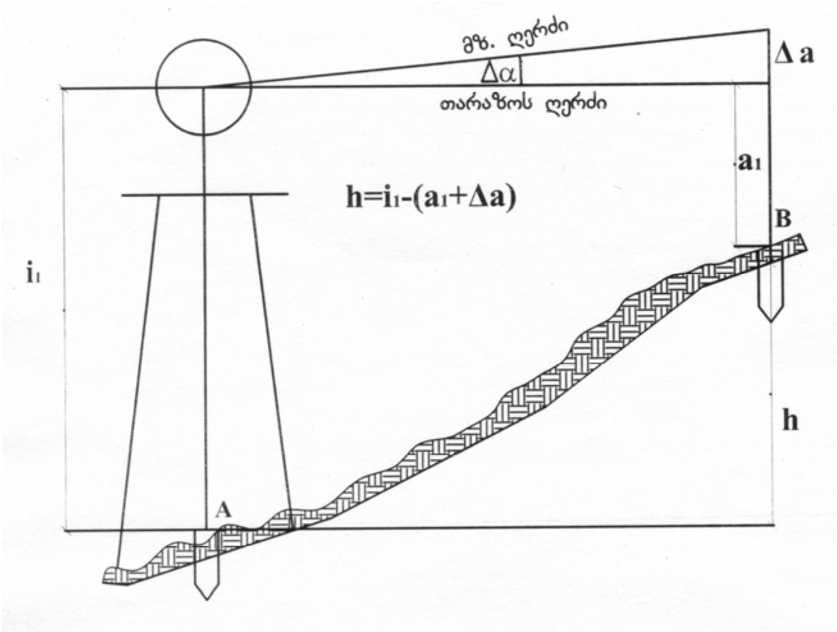
$$\nu = \nu_L + N; \qquad (13.2.2'')$$

$$\nu = \frac{\nu_R + \nu_L}{2}; \qquad (13.2.3'')$$

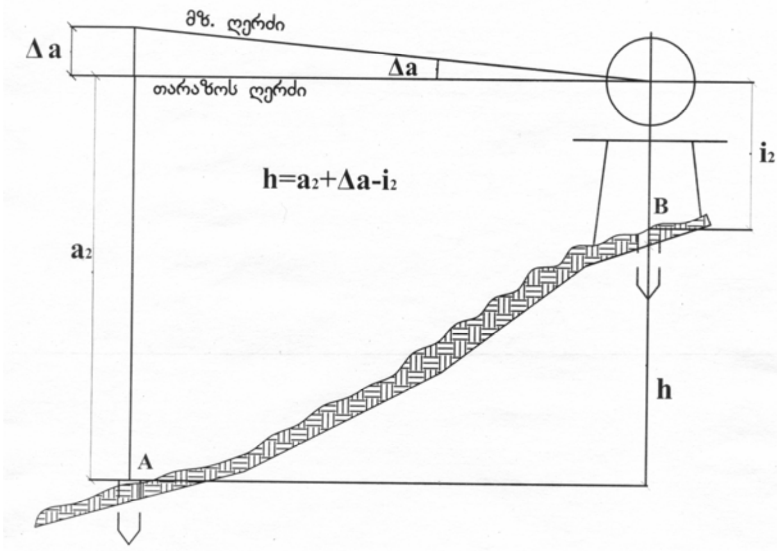
$$N = \frac{\nu_R - \nu_L}{2}, \qquad (13.2.4'')$$

მაგრამ ნიშანი ჩვენ უნდა დავიმახსოვროთ. ველზე ნიშნის დასმა, თუ როგორია აღმართი, თუ დაღმართი, ხანდახან ძნელდება, ამიტომ ამ წრედებში თვითონ ფორმულა გვაძლევს ნიშანს.

თუ ყოველთვის ანათ-ვალს ვიღებთ იმ ვერნიერით, რომელიც ჩვენსკენაა, მაშინ ვსარგებლობთ I-ლი ფორმულით. II ტიპის წრედს შეესაბამება პირველი 4 ფორმულა, მხოლოდ მცირეს ვამატებთ 360°-ს.



ნახ. 146



ნახ. 147

შვეული წრედის ნულადგილი როცა ჭოგრზე დამაგრებულია თარაზო

ამ შემთხვევაში I-ელ რიგში უნდა დავრწმუნდეთ, თარაზოს ღერძი არის თუ არა პარალელური ჭოგრის მზერის ღერძისა და შემდეგ მოვსპოთ ნულ ადგილი, თუ იგი არსებობს. ამისათვის შევარჩევთ დახრილ ადგილს და ვასრულებთ ორმაგ ნიველობას. A და B წერტილებს შორის სიმაღლეთა სხვაობა ვთქვათ არის h. A წერტილში დავცენტრეთ თეოდოლიტი, B წერტილში კი დავაყენეთ ლარტყა. ღერძები რომ ერთმანეთს ემთხვეოდნენ, ანათვალი იქნებოდა სწორი, მაგრამ რადგან ღერძები არ ემთხვევიან, არსებულ a_1 ანათვალში ადგილი ექნება Δa ცდომილებას გამოწვეულს

თარაზოს ღერძისა და მზერის ღერძის არა პარალელობით. ჩვენ გვაინტერესებს არსებობს Δa თუ არა. ნახაზიდან:

$$h = i_1 - (a_1 + \Delta a)\,. \tag{13.2.5}$$

ახლა შევაბრუნოთ, ინსტრუმენტი დავაყენოთ B – წერტილში, A – წერტილში კი ლარტყა. ამ შემთხვევისათვის სიმაღლეთა სხვაობა

$$h = (a_2 + \Delta a) - i_2\,. \tag{13.2.6}$$

გადავწყვიტოთ ორივე განტოლება Δa-ს მიმართ

$$\Delta a = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}\,, \tag{13.2.7}$$

ე.ი. ცდომილება არ არის 0-ის ტოლი. ანათვალ a_2-ს დავამატებთ Δa-ს, ან ჭოგრს გადავაადგილებთ Δa-ს მიმართ, თარაზოს ბუშტულა გადაიწევს. თარაზოს შევასწორებთ შემასწორებელი ხრახნით. ავიღოთ სხვაობა $a_2 - \Delta a$ და ამ ანათვალს ლარტყაზე დავუმიზნოთ ჭოგრის მზერის ღერძი. მასზე მოწყობილი თარაზოს ბუშტულა ამ დროს გადაიხრება. ეს გადახრა შევასწოროთ თარაზოს შემასწორებელი ხრახნებით. ამ მოქმედებით თარაზოს ღერძი ჭოგრის მზერის ღერძის პარალელური გახდა და ორივე თარაზულია. შემდეგ დავიწყოთ ნულ ადგილის შესწორება. შიმშა ალიდადას მიკრომეტრული ხრახნის საშუალებით დავაყენოთ შვეულ წრედზე ანათვალი ნულზე. თუ შიმშა ალიდადაზე მდებარე თარაზოს ბუშტულა ისევ გადაიხარა, მოვიყვანოთ იგი ნულ პუნქტში, ამ თარაზოს შემასწორებელი ხრახნებით.

13.3. ინსტრუმენტის დაცენტვრისა და რედუქციის შეცდომა

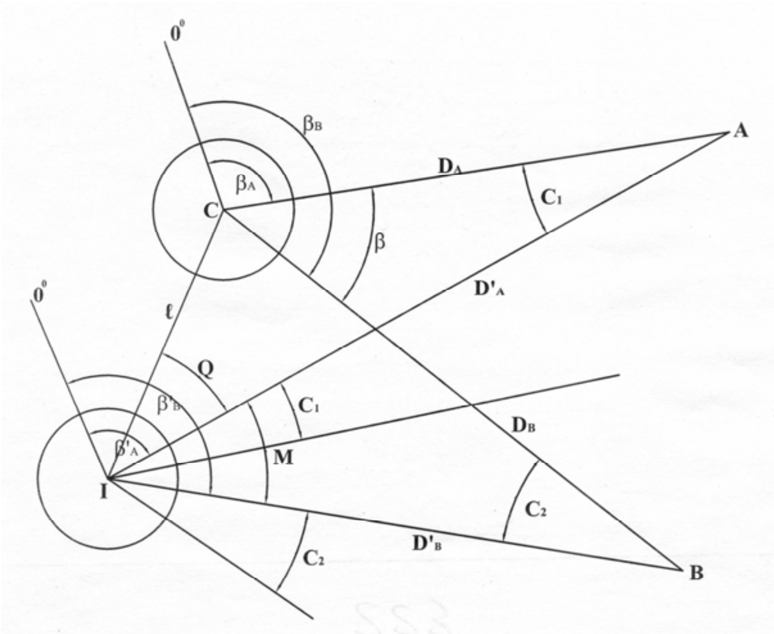
1. დაცენტვრის შეცდომა. კუთხე, რომ გავზომოთ, ინსტრუმენტი უნდა დავაყენოთ კუთხის წვეროში. ვთქვათ, ლიმბის ცენტრი ზუსტად დაემთხვა C-წერტილს. ჩვენი მიზანია β კუთხის გაზომვა. თუ გვაქვს ლიმბი 0-ოვანი დიამეტრით, ავუშვებთ წრედ ალიდადას და დავუმიზნებთ A – წერტილს, მივიღებთ β_A-პოლარულ კუთხეს, ასევე ავითვლით β_B-ს. მიღებული ანათვლებით განვსაზღვრავთ β. $<\beta = \beta_B - \beta_A$, თუ მარჯვენა ანათვალი მცირე იქნება მარცხენაზე, ვამატებთ 360°-ს. მიღებული კუთხის მნიშვნელობა სწორი იქნება, თუ ინსტრუმენტი ზუსტად C წერტილში დავცენტრეთ, მაგრამ დავუშვათ რომ სხვაგან დავცენტრეთ

ნებით თუ უნებლიეთ, ვთქვათ I-წერტილში. მაშასადამე, წრედი გადმოინაცვლებს, ორიენტაცია იგივე ავიღოთ (ნახ. 148).

მანძილს CI-აღნიშნავენ λ-ით და უწოდებენ დაცენტვრის ხაზოვან ელემენტს ე.ი. $CA = D_A$-ს ნაცვლად გვექნება $IA = D'_A$.

Q-კუთხე არის დაცენტვრის კუთხური ელემენტი. $CB = D_B$ ნაცვლად გვექ-ნება $IB = D'_B$.

C_1 არის დაცენტვრის კუთხური შეცდომა, როცა ვმზერთ A-ს, C_2 არის დაცენტვრის კუთხური შეც-დომა, როცა ვმზერთ B. ჩვენ გვჭირდება β_A ნახაზიდან



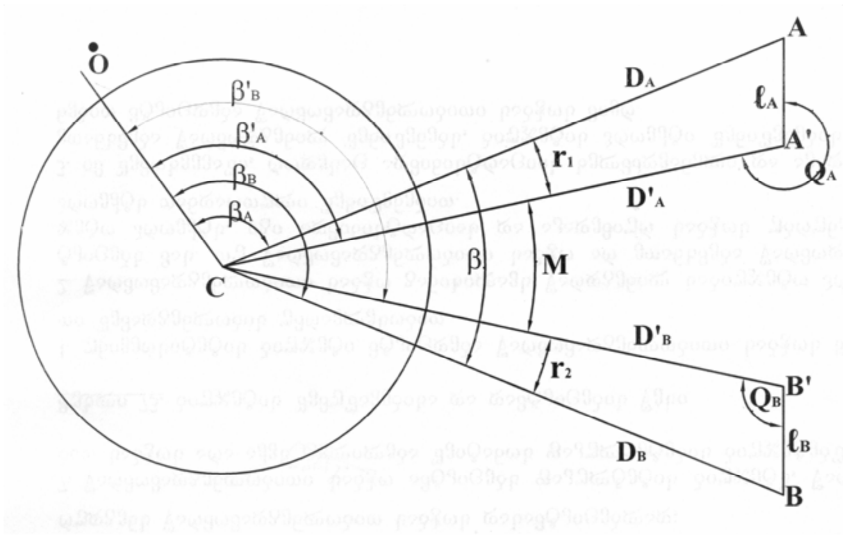
ნახ. 148

$$\beta_A = \beta'_A + C_1, \qquad (*)$$
$$\beta_B = \beta'_B + C_2.$$

ნაცვლად β კუთხისა, ვსაზღვრავთ M კუთხეს, ე.ი. უნდა შევიტანოთ შეცდომა C_1 და C_2. (*)-დან განვსაზღვროთ β

$$\beta = \beta'_B - B'_A + (C_2 - C_1) = M + C, \qquad (13.3.1)$$

სადაც $C_2 - C_1 = C$ (აღვნიშნეთ), ახლა განვსაზღვროთ ცალ-ცალკე C_1 და C_2. ნახაზზე სინუსების თეორემის საფუძველზე, ΔCIA-დან $C_1 = \frac{\lambda}{D_A} \cdot \rho'' \cdot \sin Q$ ასევე $C_2 = \frac{\lambda}{D_B} \cdot \rho'' \cdot \sin(Q + M)$. სადაც, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, λ-დაცენტვრის ხაზოვანი ელემენტია, ρ-რადიანი$= 206265''$. ფორმულაში ცვალებადი სიდიდეა D_A-მანძილი. იგი უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაშია გაზომვის სიზუსტესთან. ე.ი. გაზომვის დროს ველზე ხაზები უნდა შევარჩიოთ რაც შეიძლება გრძელი, მაშინ დაცენტვრის შეცდომა ის გავლენა იქნება მცირე.



ნახ. 149

2. <u>რედუქციის შეცდომა.</u> დავუშვათ, რომ ინსტრუმენტი ზუსტად დავცენტრეთ და $<\beta = \beta_B - \beta_A$, მაგრამ ზუსტად ვერ დავმზირეთ. ადგილი აქვს წინააღმდეგობას. დავმზირეთ A წერტილი და გამოსახულება მივიღეთ A'-ში– $\boldsymbol{D'_A}$; <r-ეწოდება რედუქციის კუთხური შეცდომა, როდესაც ვმზერთ A წერტილს. λ_A-ეწოდება რედუქციის შეცდომა, როდესაც ვმზერთ A წერტილს. ასევე რედუქციის გამო, B-ე დავმზირეთ $\boldsymbol{B}'$-ში და ანალოგიურად მივიღეთ D'_B, λ_B და r_2. ე.ი. ჩვენ β-ს ნაცვლად განვსაზღვრეთ M.

A – წერტილისათვის $\beta_A = \beta'_A - r_1$,

B – წერტილისათვის $\beta_B = \beta'_B + r_2$,

ორივედან

$$\beta = \beta'_B - \beta'_A + (r_2 - r_1) = M + r\,. \qquad (13.3.2)$$

$\Delta CAA'$-დან $r''_1 = \dfrac{\lambda_A}{D_A} \cdot \rho \cdot \sin Q_A$; $\Delta CBB'$-დან $r''_1 = \dfrac{\lambda_B}{D_B} \cdot \rho \cdot \sin Q_B$.

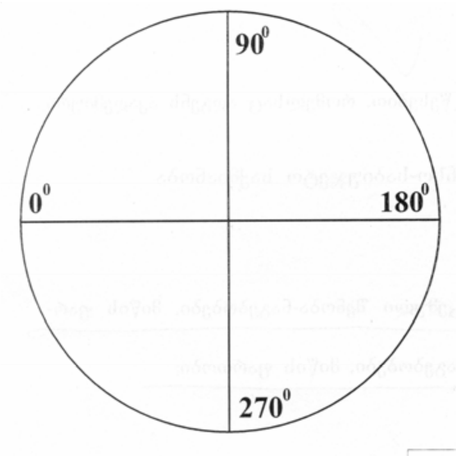
აქაც, ისე, როგორც დაცენტვრის დროს მნიშვნელში მანძილებია, ე.ი. რედუქციის გავლენა რომ ნაკლები იყოს, საჭიროა გვერდები იყოს გრძელი.

13.4. კუთხეების გაზომვა

მაგნიტური აზიმუტის განსაზღვრის შემდეგ, ბუსოლს ვხსნით და ვიწყებთ კუთხეების გაზომვას. იმის გამო, რომ კუთხეების გაზომვა თანხვდენილია შემთხვევითი და სისტემატური ცდომილებებით (მაგ. ვთქვათ რომელიმე 359 ანათვალი არ არის სწორად დაკვესილი, მაშინ დანარჩენი ანათვლები თანხვდენილი

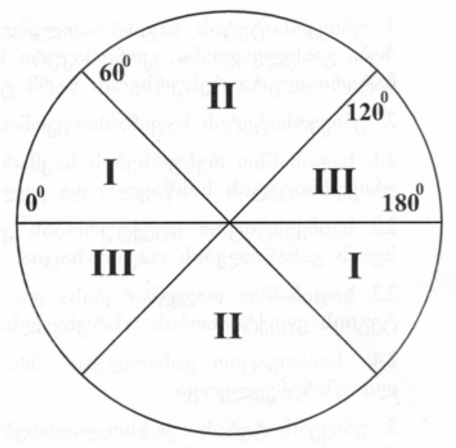
იქნება სისტემატური ცდომილებით, ან ვთქვათ, რომელიმე კვესური მსხვილადაა დაკვესილი, ან არ გადის ზუსტად ცენტრში, ადგილი ექნება მცდარ ანათვლებს). არსებობს კუთხეების გაზომვის სხვადასხვა ხერხები: განმეორებითი, ილეთების, წრიული ილეთების, ალაჯალოვის, შრეიბერის და სხვა მრავალი. (შევისწავლოთ ილეთების, წრიული ილეთების და განმეორებითი ხერხები).

ა) ილეთების ხერხები



ნახ. 150

ილეთების ხერხით კუთხეების გაზომვის დროს ერთი და იგივე მიმართულებას ვუმიზნებთ ჭოგრს რამოდენიმეჯერ, ლიმბის სხვადასხვა ნაწილების გამოყენებით და ყოველი დამიზნებისას ლიმბზე ვიღებთ ანათვლებს. ვსაზღვრავთ ყოველი მიმართულების უალბათეს მნიშვნელობას (საშუალო არითმეტიკულს) და ბოლოს განისაზღვრება კუთხე. ილეთების ხერხით კუთხის გასაზომად გამოიყენება ფორმულა – $\frac{180^\circ}{n}(i-1)$, სადაც n–ილეთების რიცხვია, i–ილეთების თანმიმდევრობა. ვთქვათ n=2 ნიშნავს, გამოვიყენებთ წრედის ორ ნაწილს, $i = 1$ ე.ი. პირველი ილეთი $\frac{180^\circ}{2}(1-1) = 0^\circ$, როცა $\boldsymbol{i} = 2$ ე.ი. მეორე ილეთი $\frac{180^\circ}{2}(2-1) = 90^\circ$;



ნახ. 151

ახლა ვთქვათ, კუთხეს ვზომავთ 3 ილეთით

I-ილეთი

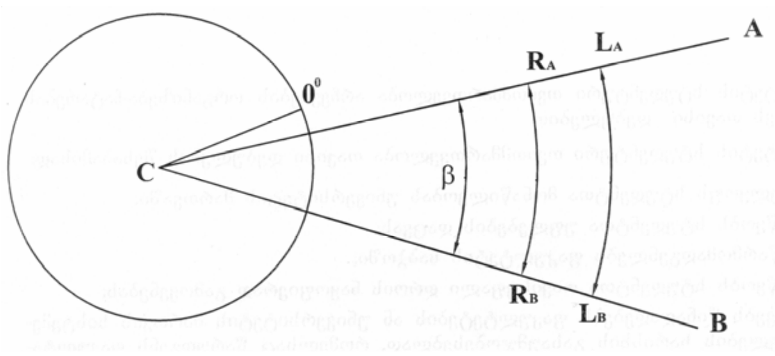
$$\frac{180^\circ}{3}(1-1) = 0^\circ \qquad 0^\circ - 60^\circ$$

$$\frac{180^\circ}{3}(2-1) = 60^\circ \qquad 60^\circ - 120^\circ$$

$$\frac{180^\circ}{3}(3-1) = 120^\circ \qquad 120^\circ - 180^\circ$$

მაშასადამე, ლიმბი დაიყოფა შემდეგნაირად:

ვთქვათ, უნდა გავზომოთ $ACB = \beta$ კუთხე, თუ განმეორებითი თეოდოლიტი გვაქვს შევათავსებთ 0-ს 0-თან (თუ არაა განმეორებითი თეოდოლიტი, მაშინ $0^o - 0^o$ არ შეთავსდება). სინამდვილეში 0^o-კი არ ვათავსებთ, გადავაცილებთ რაღაც $5'$-ზე (ნახ. 152) ანათვლების უკეთ აღების მიზნით. (ვუმზერთ სარის ძირში, ზემოთ არა, იგი შეიძლება გადახრილი იყოს). გვაქვს წრედი მარჯვნივ, R_A-ანათვალი გვექნება A-წერტილზე დამიზნებისას. ლიმბი დამაგრებულია, ავუშვებთ ალიდადას და დავმზერთ B წერტილს, ავიღებთ ანათვალს R_B-ზე (შესრულდა I-ილეთი).



ნახ. 152

გადავიტანთ ჭოგრს ზენიტზე და დავმზერთ ისევ A-ს (ამ შემთხვევაში წრედი მარცხნივაა). ლიმბი დამაგრებულია, წრედალიდადა მოძრაობს. ანალოგიურად გვექნება L_A და L_B ანათვლები. მიმართულება A წერტილზე იმზირება ორჯერ და აიღება საშუალო ანათვალი

$$\beta_A = \frac{R_A + L_A}{2}; \tag{13.4.1}$$

ანალოგიურად $$\beta_B = \frac{R_B + L_B}{2}; \tag{13.4.2}$$

კუთხე $$\beta = \beta_B - \beta_A = \frac{[R_B + L_B] - [R_A + L_A]}{2}, \tag{13.4.3}$$

მაშასადამე, ერთი β კუთხის გასაზომად ყოველ მიმართულებას დავმზირეთ ორ-ორჯერ. ავიღეთ ანათვალი 4-ჯერ. ე.ი. ერთი ილეთით გაზომვისას ერთ მიმართულებაზე ვიღებთ ორი ანათვლის საშუალო არითმეტიკულს და მეორე მიმართულებაზედაც საშუალო არითმეტიკულს.

ორი ილეთით გაზომვა ნიშნავს გამოვიყენოთ წრედის 2-ნაწილი $0^o - 90^o$-მდე და ამ ნაწილის სიმეტრიული $180^o - 270^o$-მდე. და გაზომვის დროს იგივე მოქმედებებს გავიმეორებთ.

სამი ილეთის შემთხვევაში 90^o-ის ნაცვლად გვექნება $60^o - 120^o - 180^o$ მაშასადამე, n-ილეთის შემთხვევაში ფორმულა მიიღებს სახეს.

$$\beta_n = \beta_{Bn} - \beta_{An} = \frac{[R_B + L_B]_1^n - [R_A + L_A]_1^n}{2 \cdot n}, \tag{13.4.4}$$

სადაც n-ილეთების რაოდენობაა,

R_A და R_B –ანათვლები ლიმბზე, როდესაც შვეული წრედი მარჯვნივაა;

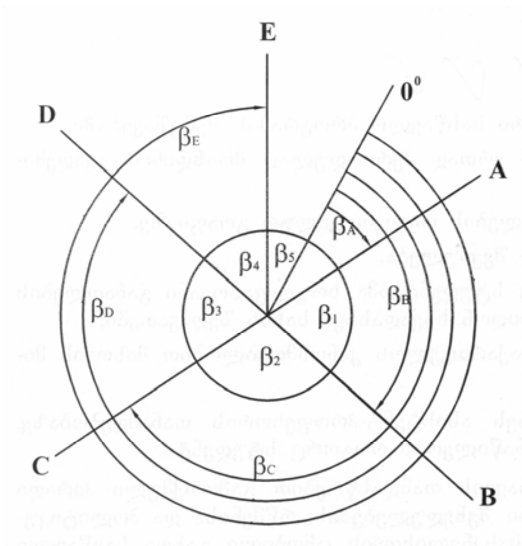
L_A და L_B – ანათვლები ლიმბზე, როდესაც შვეული წრედი მარცხნივაა.

β – კუთხის n-ილეთით განსაზღვრისათვის ლიმბზე ანათვლებს ვიღებთ 4n-ჯერ, ასევე A და B საგნებს ჭოგრით ვუმიზნებთ 4n-ჯერ.

ბ) წრიული ილეთების ხერხი

ეს ხერხი გამოიყენება, როდესაც საქმე გვაქვს რამდენიმე მიმართულებასთან, ჩვენი მიზანია განისაზღვროს 5 კუთხე $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ ნახაზიდან

$\beta_1 = \beta_B - \beta_A$,



ნახ. 153

$\beta_2 = \beta_C - \beta_B$,

$\beta_3 = \beta_D - \beta_C$,

$\beta_4 = \beta_E - \beta_D$,

$\beta_5 = (\beta_A + 360^{\circ}) - \beta_E$.

განსხვავება ილეთებსა და წრიულ ილეთებს შორის არის ის, რომ წრიულ ილეთებში ერთდროულად იზომება რამდენიმე კუთხე და პირველი ანათვალი იღება ორჯერ კონტროლის მიზნით.

მუშაობის თანმიმდევრობაში ფორმულა რჩება (ილეთისათვის), მაგრამ წრიულ ილეთებში დაცული უნდა იქნას თანმიმდევრობა: ვთქვათ დავუმიზნეთ A წერტილს, ავიღეთ ანათვალი R_A, შემდეგ R_B, R_C და ა.შ. ისევ R'_A-ს კონტროლის მიზნით საათის ისრის მიმართულებით. თუ იარაღი მდგრადია, R_A უნდა დაემთხვას R'_A-ს. ვთქვათ არ დაემთხვა, მაშინ მათ შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს ინსტრუმენტის სიზუსტეს, ე.ი. $R_A - R'_A \le \tau$, სადაც τ-ინსტრუმენტის სიზუსტე. ალიდადის მარჯვნივ ბრუნვით და ყველა მიმართულებაზე ანათვლების აღებით მთავრდება ნახევარი წრიული ილეთი. შემდეგ გადავიტანთ ჭოგრს ზენიტზე და ალიდადას ბრუნვით ვუმზერთ საწყის A-პუნქტს. ვიღებთ ანათვალს, შემდეგ ალიდადას მარცხნივ ბრუნვით შებრუნებული თანმიმდევრობით დამზერენ პუნქტებს. ანალოგიურად გვექნება ანათვლები L_A, L_F,

L_C, L_D, L_B და L'_A, აქაც $L_A - L'_A \le \tau$ (მოწოდებულია გაუსის მიერ). ამით დამთავრდა ერთი წრიული ილეთი.

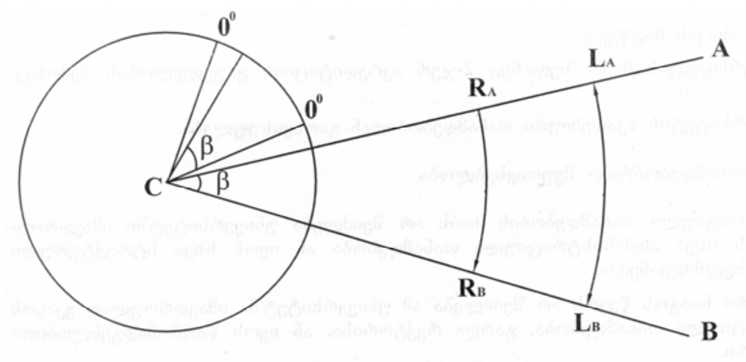
მაშასადამე წრიულ და ჩვეულებრივ ილეთებს შორის ის განსხვავებაა, რომ ყოველ ნახევარ ილეთში საწყის წერტილს ვუმზერთ ორჯერ, ვამოწმებთ ინსტრუმენტის მდგრადობას.

ბ) განმეორებითი ხერხი

განმეორებითი ხერხით კუთხის გაზომვისათვის აუცილებელია განმეორებითი თეოდოლიტი. ამ ხერხის არსი შემდეგში მდგომარეობს:

ერთი და იგივე მიმართულებას ვუმიზნებთ ჭოგრს რამოდენიმეჯერ, რისთვისაც ვიყენებთ წრედის სხვადასხვა ნაწილებს, ხოლო ანათვლებს ლიმბზე ვიღებთ ოთხჯერ (გეოდეზისტები) ან ორჯერ (მარკშეიდერები). ამ ხერხით ისევე, როგორც ილეთების (წრიული არა) ხერხით, იზომება მხოლოდ ერთი კუთხე, ორ მიმართულებას შორის. პრაქტიკულად, ყოველ წყვილ დამიზნებისას ვზომავთ კუთხეებს და ვიღებთ მათ საშუალო არითმეტიკულს.

განვიხილოთ მაგალითი: ვთქვათ უნდა გავზომოთ β კუთხე (იხ. ნახ. 154) შევუთავსებთ ლიმბის 0^o–ს ალიდადის 0^o-ს, უფრო სწორად ცოტათი გადავაცდენთ 5' ან 10', დავუმიზნებთ A წერტილს თეოდოლიტის შვეული წრედის მარჯვნივ მდგომარეობაში. I დამიზნება მოგვცემს R_A (1) ანათვალს, ლიმბი დამაგრებულია. ავუშვებთ წრედალიდადას და მივმართავთ B-საკენ, მივიღებთ



ნახ. 154

R_B (2) ანათვალს (აქ აუცილებელია განმეორებითი თეოდოლიტი, რომ წრედალიდადა მიემაგროს ლიმბს). ახლა დავამაგრებთ წრედალიდადას ლიმბს და ავუშვებთ ლიმბს. მივმართავთ A-საკენ, თან ჭოგრს გადავიტანთ ზენიტზე. მაშასადამე (1) და (2) ანათვლების შესაბამისი სექტორი $<\beta_R$ გადაინაცვლებს (ნახაზზე ზემოთ) $\beta_R = R_B - R_A$; $\beta_L = L_B - L_A$; დავმზერთ ისევ A წერტილს, ანუ ავიღებთ ანათვალს (3) L_A ანალოგიურად. წრედალიდადის მოძრაობით ავიღებთ ანათვალს L_B (4). L_A და L_B-საშუალებით მივიღეთ β_L მნიშვნელობას. მაშასადამე β

კუთხე გავზომეთ 2-ჯერ, ან ანათვალი ავიღებთ 4-ჯერ, ე.ი. ერთი და იგივე კუთხე გაიზომა 2-ჯერ და ავიღეთ საშუალო არითმეტიკული.

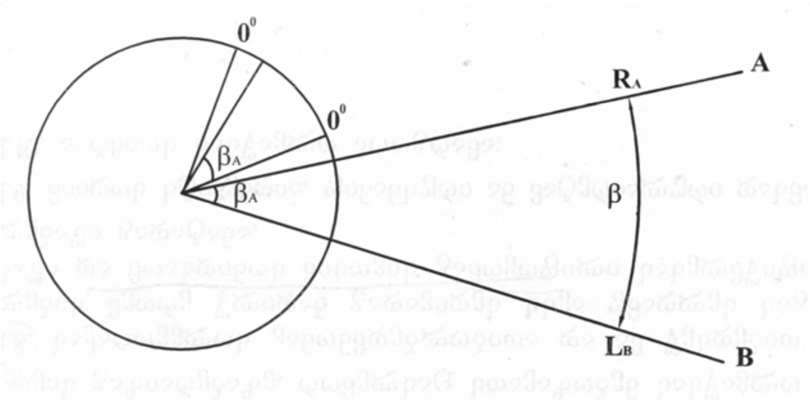
$$\beta = \frac{\beta_R + \beta_L}{2 \cdot n} = \frac{(R_B - R_A) + (L_B - L_A)}{2 \cdot n}, \qquad (13.4.5)$$

თუ დავაკვირდებით ფორმულას ილეთებისათვის და განმეორებისათვის, ნათლად დავინახავთ, რომ მათ შორის არავითარი განსხვავება არ არის.

ერთი განმეორება და ერთი ილეთი ერთი და იგივეა. n განმეორებით გაზომვის დროს დაკვირვებას იმეორებენ n-ჯერ, ყოველთვის ლიმბის მოძრაობით მარცხენა საგანზე და ალიდადის მოძრაობით მარჯვენა საგანზე (დამიზნებით). ალიდადა და ლიმბი ბრუნავს ერთი მიმართულებით უკანასკნელად კუთხის n-ჯერ გაზომვის შემდეგ, როცა ალიდადა დაყენებულია მარჯვენა B-საგანზე აიღება ანათვალი. მაშასადამე გასაზომი კუთხის ლიმბზე n-ჯერ გაზომვისას ანათვალი აიღება მხოლოდ დასაწყისში და ბოლოში.

ანათვლების მცირე რაოდენობის საჭიროება წარმოშვა ანათვლის შეცდომით აღებამ. ე.ი. რაც მეტჯერ ვიღებთ ანათვალს, მით მეტ შეცდომებს ვუშვებთ.

ახლა ვნახოთ, როგორ იზომება კუთხე მიწის ქვეშ. მარკშეიდერები მუშაობენ მიწის ქვეშ ძნელ პირობებში. მათი სიზუსტე დედამიწის ზედაპირზე გეოდეზიური სამუშაოების სიზუსტეს ემყარება. ამიტომ მიწის ქვეშ მზერენ ორჯერ. აქაც საჭიროა განმეორებითი თეოდოლიტი. ვათავსებთ 0-ს 0-თან. დავმზერთ A-ს და ავიღებთ ანათვალს R_A–ს, ვთქვათ 15'-ია. დავამაგრებთ ლიმბს, ავუშვებთ წრედალიდადას და დავმზერთ B-ს, ანათვალს არ ვიღებთ. დავამაგრებთ წრედალიდადას, ავუშვებთ ლიმბს, ჭოგრს გადავიტანთ ზენიტზე და დავმზერთ ისევ A-ს. აქაც სექტორი გადაინაცვლებს და ანათვლებს ავიღებთ ბოლოს



ნახ. 155

$$\beta = \frac{L_B - R_A}{2}, \qquad (13.4.6)$$

ეს არის ერთი სრული განმეორება. რამდენი განმეორებაც არ უნდა იყოს, ანათვალს ვიღებთ ორჯერ. ორი ილეთით გაზომვის დროს ვმზერთ 8-ჯერ. ანათვალს

ვიღებთ 2-ჯერ. R_A და R_B სხვაობას ვყოფთ 2n-ზე. ყოველთვის ლიმბი მოძრაობს მარცხნივ, წრედალიდადა მარჯვნივ, n-განმეორებათა რიცხვია.

განვიხილოთ კუთხეების ჩაწერის როგორი ფორმა არსებობს (ვთქვათ წრიული ილეთების შემთხვევისათვის):

1-2-3 გრაფა რომ შეივსება, გადავიტანთ ჭოგრს ზენიტზე და ისევ ავიღებთ ანათვალს შევავსებთ 4 გრაფას. განსხვავება გრადუსებში უნდა იყოს 180°, ამის შემდეგ გამოითვლება დანარჩენი გრაფები.

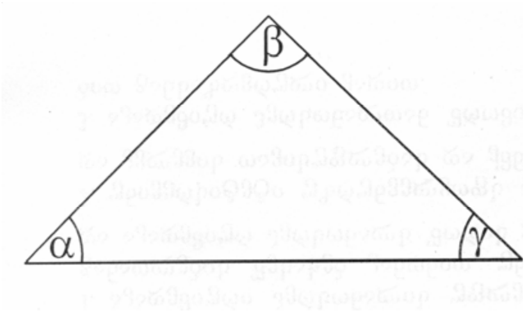
მაგ. 3 და 4 სვეტის საშუალო ანათვალი ჩაიწერება 5-ში.

სადგური № – №	წერტილი №	ანათვალი წრედზე		საშ. $\frac{R}{L}$	$2C = R - L$	$\frac{R + L}{2}$	მიმ.
		$\downarrow R$	$\uparrow L$				
1	2	3	4	5	6	7	8
0	A	$0^{\circ\,16'}_{\;\;18'}$	16' 18'	$0^{\circ\,17'}_{\;\;19'}$	− 2		
	B	$42^{\circ\,20'}_{\;\;22'}$	20' 22'	$42^{\circ\,24'}_{\;\;21'}$	− 2		
	C	$76^{\circ\,24'}_{\;\;26'}$	28' 26'	$76^{\circ\,25'}_{\;\;27'}$	− 2		
	D	$182^{\circ\,28'}_{\;\;30'}$	32' 36'	$180^{\circ\,29'}_{\;\;31'}$	− 2		
	E	$275^{\circ\,32'}_{\;\;34'}$		$275^{\circ\,33'}_{\;\;35'}$	− 2		
	A	$0^{\circ\,17'}_{\;\;19'}$		$0^{\circ\,18'}_{\;\;19'}$	− 1		

6-სვეტში ჩაიწერება ორმაგი კოლიმაციური შეცდომა, რომელიც დაიყვანება მინიმუმამდე ძაფთა ბადის გადაწევით.

13.5. გაზომილი კუთხეების გაწონასწორება

რაც უფრო მეტჯერ იქნება გაზომილი კუთხე, მით უფრო ზუსტი იქნება საშუალო არითმეტიკული, მაგრამ კუთხეების აბსოლუტური მნიშვნელობა მაინც არ გვექნება. ამიტომ საჭიროა კუთხეთა უალბათესი სიდიდის დადგენა ე.ი. ცდომილების გაწონასწორება.



ნახ. 156

ვთქვათ, მოცემულია ელემენტარული ფიგურა Δ. $\Delta-$ში α, β, γ-კუთხეები. α-ს, β-ს და γ-ს მიღებისათვის გაზომილი გვაქვს დამოუკიდებლად კუთხეები და ცალკეული გაზომვებით მივიღეთ კუთხეები α, β, γ.

α-თვის . . . . $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \ldots\ldots\ldots \alpha_n$,

ასევე β-თვის . . . . $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \ldots\ldots\ldots \beta_n$,

γ-თვის . . . . $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \ldots\ldots\ldots \gamma_n$.

ცხადია სამკუთხედის ყოველი კუთხის უალბათესი სიდიდეები განისაზღვრება

$$\alpha = \frac{[\alpha]}{n}; \qquad \beta = \frac{[\beta]}{n}; \qquad \gamma = \frac{[\gamma]}{n}, \tag{13.5.1}$$

ე.ი. α, β, γ - უალბათესი სიდიდეებია. მიუხედავად ამდენი გაზომვების წარმოებისა, მაინც $\alpha + \beta + \gamma \neq 180^o$ ე.ი. თეორიულს არ უდრის, მაშასადამე

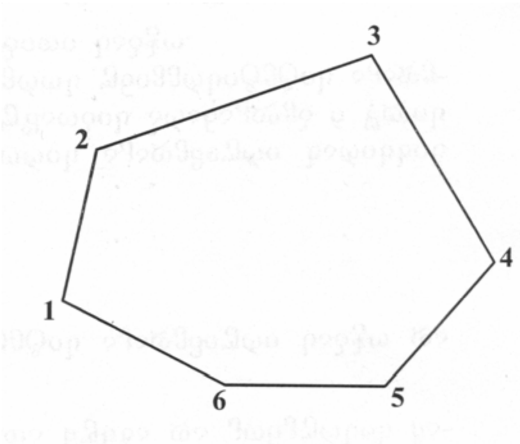
$$\alpha + \beta + \gamma - 180^o = W, \tag{13.5.2}$$

ადგილი აქვს შეუკვრელობას - W, რომელიც არის შედეგი ამ სამი კუთხის გაზომვით მიღებული, მაგრამ, კერძოდ, რომელი კუთხის გაზომვაში დავუშვით შეცდომა, არ ვიცით. იმის გამო, რომ გაზომვა ხდება ერთი ინსტრუმენტით, ერთი ადამიანის მიერ, ერთი და იგივე პირობებში, გაზომვა არის ტოლზუსტი. W-ს კი გააწონასწორებენ ასე: $(\alpha + \varepsilon_1) + (\beta + \varepsilon_2) + (\gamma + \varepsilon_3) - 180^o = 0$ ე.ი. შესწორების შეტანის შემდეგ უნდა გაუტოლდეს თეორიულს ან შესწორებულისა და თეორიულის სხვაობა უნდა გახდეს 0-ის ტოლი. შეცდომა უდრის, შესწორებებს შებრუნებული ნიშნით, მაგრამ მათ ერთმანეთთან ზოგჯერ კავშირი არა აქვთ.

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = W \text{ ან } \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - W = 0; \text{ სადაც } W = \alpha + \beta + \gamma - 180^o \tag{13.5.3}$$

ეს არის საერთოდ ფიგურის პირობა, მოცემული შემთხვევისათვის კი სამკუთხედის პირობა ან შესწორების პირობა. ეს მეთოდი მოწოდებულია გაუსის მიერ.

სამკუთხედში ან მრავალკუთხედში შიგა კუთხეების ჯამი უნდა გაუტოლდეს თეორიულს



ნახ. 157

$$2d(n-2)\,. \tag{13.5.4}$$

ანალოგიურად პოლიგონის პირობა იქნება

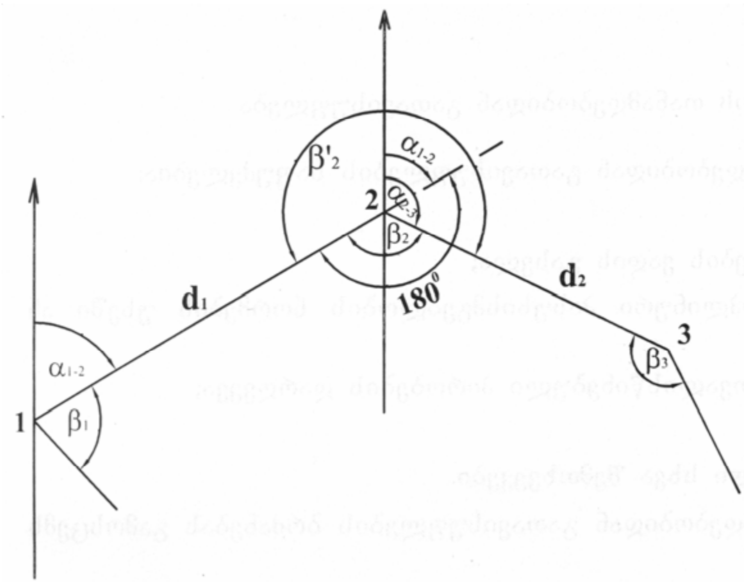
$$\varepsilon_1+\varepsilon_2+...+\varepsilon_6-2d(n-2)+W=0\,, \tag{13.5.5}$$

$$W=\beta_1+\beta_2+...+\beta_6-2d(n-2)\,. \tag{13.5.6}$$

ესაა შეკრული პოლიგონის პირობა.

13.6. დირექციული კუთხეების გამოთვლა

ჩვენ განვიხილეთ საწყისი მიმართულების აზიმუტის განსაზღვრა, რის შემდეგ ინსტრუმენტს ვხსნით ყიბლანს, ხოლო შემდეგ ცნობილი დირექციული კუთხითა და გაწონასწორებული კუთხეებით ვსაზღვრავთ დანარჩენი გვერდების დირექციულ კუთხეებს.



ნახ. 158

ვთქვათ, მოცემულია α_{1-2}, ვიცით $\alpha=A_{გ}+\delta^{o}$; α- დირექციული კუთხეა, $A_{გ}$- გეოგრაფიული აზიმუტი, δ^{o}- მიხრილობა. ჩვენი მიზანია განვსაზღვროთ α_{2-3} დირექციული კუთხე ნახაზიდან

$$\alpha_{2-3}=\alpha_{1-2}+180^{o}-\beta_2\,.$$

ყოველი გვერდის დირექციული კუთხე უდრის, წინა გვერდის დირექციულ კუთხეს (+) 180^o-ი და (–) ამ გვერდებს შორის მარჯვენა კუთხე. ახლა ვთქვათ გვაქვს არა β_2 არამედ β'_2-მარცხენა კუთხე, ნახაზიდან

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^o - (360^o - \beta_2) = \alpha_{1-2} - 180^o + \beta_2 .$$

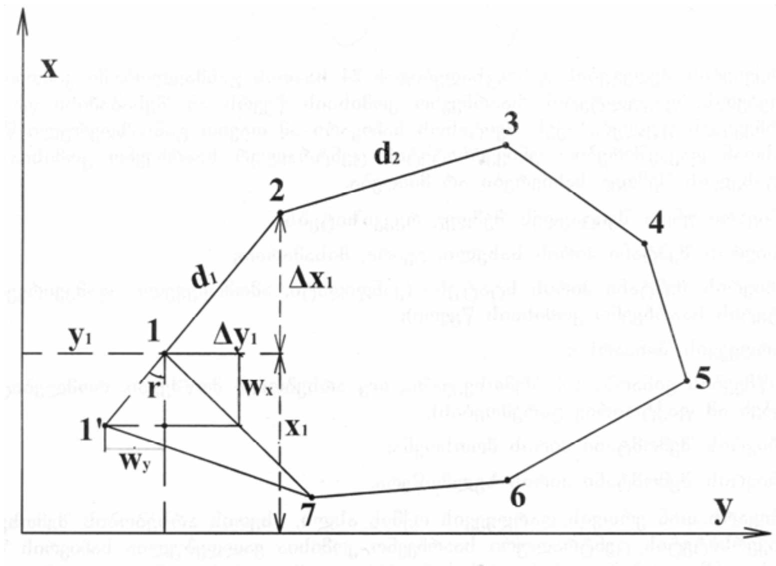
ყოველი გვერდის დირექციული კუთხე უდრის, წინა გვერდის დირექციულ კუთხეს (-) 180^o-ი და (+) ამ გვერდებს შორის სვლის მარცხენა კუთხე. თუ საკლებს მაკლები არ აკლდება, ვამატებთ 180^o. ახლა გამოვიყვანოთ წესი ზოგადად.

ყოველი გვერდის დირექციული კუთხე უდრის, წინა გვერდის დირექციულ კუთხეს (+) ან (–) 180^o და მინუს მარჯვენა კუთხე ამ გვერდებს შორის ან პლიუს მარცხენა კუთხე (ეს დამოკიდებულია საით გვექნება სვლა). კონტროლი არის გამოთვლა იმავე გვერდის დირექციული კუთხისა, რომელი გვერდიდანაც დავიწყეთ.

13.7. პირდაპირი და შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანა

გეოდეზიური ამოცანები ორგვარია: 1) პირდაპირი და 2) შებრუნებული

პირდაპირი ეწოდება ამოცანას, როდესაც მოცემულია ერთი საწყისი წერტილის კოორდინატები, მანძილი მეორე წერტილამდე და მიმართულება ანუ დირექციული კუთხე და უნდა განისაზღვროს მეორე წერტილის კოორდინატები. (მოც. საწყისი წერტილის კოორდინატები არ უნდა იყოს ზოლდნერის ან გაუსის). მოცემული პოლარული კოორდინატებით ვეძებთ მართკუთხა კოორდინატებს. შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანა მდგომარეობს შემდეგში: მოცემული ორი წერტილის კოორდინატებით უნდა განისაზღვროს მიმართულება ანუ დირექციული კუთხე და მანძილი მოცემულ ორ წერტილს შორის. ე.ი. მოცემული მართკუთხა კოორდინატებით ვეძებთ პოლარულ კოორდინატებს (მოცემულ 2 წერტილის კოორდინატებს მნიშვნელობა არა აქვს რაზე იქნება, სიბრტყეზე, სფეროიდზე თუ სფეროზე). თვით კოორდინატების განსაზღვრა სფეროზე და სფეროიდზე, მით უმეტეს, თუ საქმე გვაქვს გეოგრაფიულ კოორდინატებთან (რასაც საერთაშორისო მნიშვნელობა აქვს) ძალიან ძნელია.



ნახ. 159

პირდაპირი და შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანების გადაწყვეტა ხდება სფეროიდის ზედაპირზედაც, რაც უფრო რთულია. განვიხილოთ პირდაპირი და შებრუნებული ამოცანა სიბრტყეზე, რაც გაცილებით მარტივია.

ვთქვათ მოცემულია 1, 2, 3, . . . წერტილები.

1. წერტილის კოორდინატები x, y; დირექციული კუთხე α_{12} და მანძილი d; საჭიროა განისაზრვროს $x_2, y_2; x_3, y_3, \ldots$ ნახაზიდან $x_2 = x_1 + \Delta x_1$,

$$x_3 = x_2 + \Delta x_2 = x_1 + \Delta x_1 + \Delta x_2,$$

რომ დავბრუნდეთ ისევ 1 წერტილში

$$x_n = x_1 + \Delta x_1 + \Delta x_2 + \cdots + \Delta x_n$$

$$\sum_{i=1}^{n} \Delta x_i \neq 0 \text{ და უდრის } W_x,$$

ე.ი. როდესაც მივედით ისევ 1 წერტილში $\sum_{i=1}^{n} \Delta x$ უნდა იყოს 0, მაგრამ გვაქვს რაღაც ცდომილება W_x და $\neq 0$-ს. მართალია კუთხეები გავაწონასწორეთ, მაგრამ გვერდების სიგრძეები არ გაგვიწონასწორებია. ანალოგიურად y-თვის გვექნება.

$$y_2 = y_1 + \Delta y_1$$

$$y_3 = y_2 + \Delta y_2 = y_1 + \Delta y_1 + \Delta y_2,$$

. . . .

$$y_n = y_1 + \Delta y_1 + \Delta y_2 + \cdots + \Delta y_n$$

$$\sum_{i=1}^{n} \Delta y_i \neq 0 \text{ და } W_y.$$

ხაზოვანი შეცდომა $W = x$ და y ღერძების გასწვრივ შეცდომათა გეომეტრიულ ჯამს, ე.ი. ნახაზიდან

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}\ .$$

შეუკვრელობა უნდა ვეძებოთ იმ გვერდში, რომელიც პარალელური იქნება არსებული გვერდისა. ე.ი. გამოთვლის დროს რომელი გვერდის r (რუმბიც) მიუახლოვდება აღებული გვერდის რუმბს იმ გვერდზე მოვახდენთ ხელმეორედ (გაზომვას) დაკვირვებას.

განაზომთა შეცდომების თეორია გვიკარნახებს, რომ თუ პირობა $\dfrac{W}{\sum d} \le \dfrac{1}{2000}$ (გრძივი შეცდომა) დაცულია, მაშინ ყველაფერი სწორადაა თუ $\dfrac{W}{\sum d} > \dfrac{1}{2000}$, მაშინ ნახაზიდან განვსაზღვრავთ r (რუმბს). ნახაზზე პატარა სამკუთხედიდან $tgr = \dfrac{W_y}{W_x}$;

ამის შემდეგ ვეძებთ, რომელი განაზომია საეჭვო ე.ი. მივიღეთ საეჭვო გვერდის რუმბი. იგი ჩვენს შემთხვევაში (იხ. ნახ.235) არის 4-5. ე.ი. ამ ხაზს გავზომავთ ხელმეორედ. ახლა ვთქვათ, გვაქვს რაღაც ცდომილება თითოეულ მეტრზე x ღერძის გასწვრივ ერთი გვერდისათვის, შეცდომა თითოეული მეტრისათვის ამავე ღერძისათვის უნდა გავამრავლოთ გვერდის სიგრძეზე და შევიტანოთ შებრუნებული ნიშნით. ე.ი.

$$\frac{W_x}{\sum d} = a\,, \qquad\qquad \frac{W_y}{\sum d} = -b\,.$$

$$\Delta x_1 + (-ad_1) = \Delta x'_1 \qquad\qquad \Delta y_1 + (+bd_1) = \Delta y'_1$$

$$-ad_1 \cdots -\Delta x'_1 \qquad\qquad +bd_1 \cdots +\Delta y'_1$$

$$\Delta x_2 + (-ad_2) = \Delta x'_2 \qquad\qquad \Delta y_2 + (+bd_2) = \Delta y'_2$$

$$-ad_2 \cdots -\Delta x'_2 \qquad\qquad +bd_2 \cdots +\Delta y'_2$$

შესწორების შემდეგ განსაზღვრულ კოორდინატებს დავიტანთ ქაღალდზე. ნახაზიდან

$$\Delta x = d\cos\alpha\,, \qquad\qquad \Delta y = d\sin\alpha\,,$$

ან $$\lambda g\Delta x = \lambda gd + \lambda g\cos\alpha\,. \qquad\qquad \lambda g\Delta y = \lambda gd + \lambda g\sin\alpha\,.$$

შებრუნებული გეოდეზიური ამოცანა კი ასე გადაწყდება

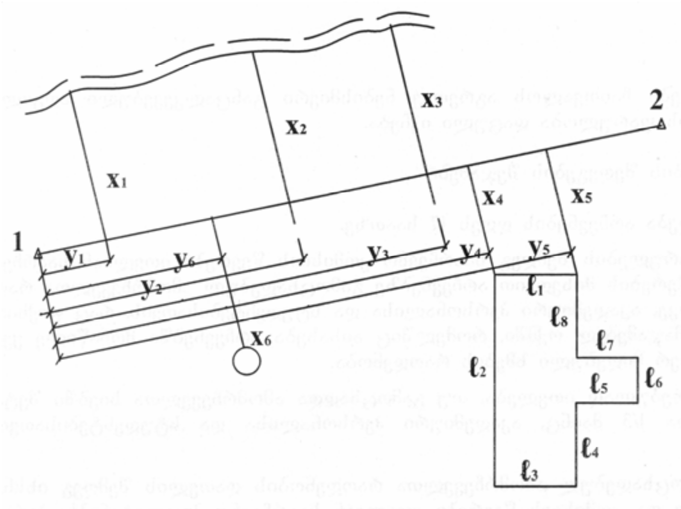
მოც. 1 (x_1, y_1); 2 (x_2, y_2);

$$tg\alpha = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \qquad\qquad d = \frac{\Delta x}{\cos\alpha} = \frac{\Delta y}{\sin\alpha} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

13.8. წვლილადების გადატანა

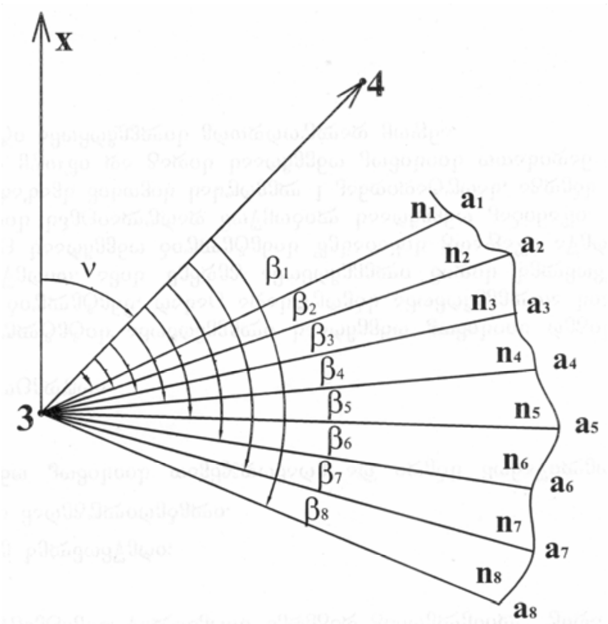
წვლილადების დატანის მრავალი ხერხი არსებობს: 1) მართობების, 2) პოლარული ხერხი, 3) გადაკვეთის (ხაზოვან–კუთხური), 4) გასწვრივობის ხერხი, 5) ფარგის სიგრძივი სვლის ხერხი.

წვლილადების აგეგმვა გულისხმობს, ჩვენს მიერ გამოთვლილი დავუკავშიროთ გარემოს წვლილადებს.



ნახ. 160

ა) მართობების ხერხი. ვთქვათ, პოლიგონის 1-2 გვერდთან მიიკლაკნება მდინარე, მეორე მხარეს არის სახლი, ჭა. ნახაზზე დავუშვებთ მართობებს მდინარის დამახასიათებელი წერტილებიდან. დავაწერთ x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3. აქ მასშტაბი არ გამოიყენება. აბრისი კეთდება უმასშტაბოდ, სახელდახელოდ მდინარიდან ხაზზე ვუშვებთ მართობებს, სახლზე კი თვით ხაზიდან ეკერის საშუალებით აღვმართავთ მართობებს იმ გვერდზე, რომელიც ხაზიდან კარგად ჩანს. აქ ასეთი 2 წერტილია. ამ წერტილებით იქნება მიმაგრებული პოლიგონის გვერდზე (1-2), მანძილი სახლის კუთხეებს შორის უნდა გაიზომოს $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \cdots \lambda_8$.

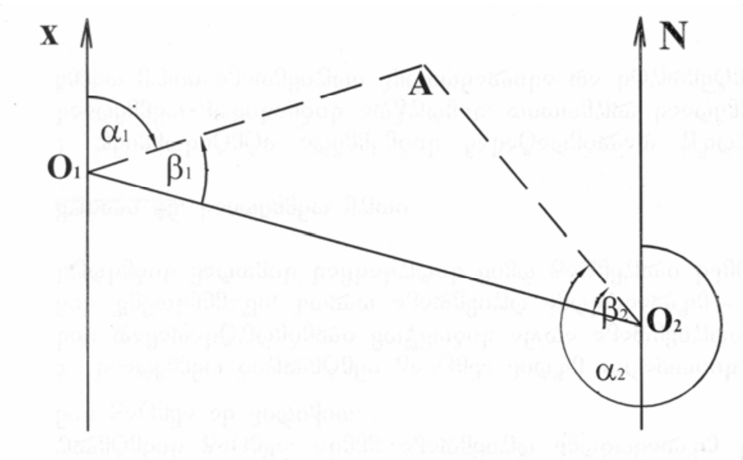


ნახ. 161

ბ) პოლარული ხერხი. იარაღით ვდგებით 3 წერტილში და ვმზერთ ტოპოგარემოს დამახასიათებელ წერტილებს. აქ I-ად იზომება 4-ე წერტილი, შემდეგ დაიტკეცნება ლიმბი, აიშვება ალიდადა და აიღება სამი მაჩვენებელი. მიმართულება-β ანათვალი ლარტყაზე - n და დახრის

კუთხე v. საწყისად მიიღებენ 3-4-ს და მიმართავენ ნულოვან ანათვალს 4-კენ. აუშვებენ წრედალიდადას და დამზერენ შემდეგ დამახასიათებელ წერტილს (მუშა ყოველთვის დგება გარდატეხის წერტილებზე).

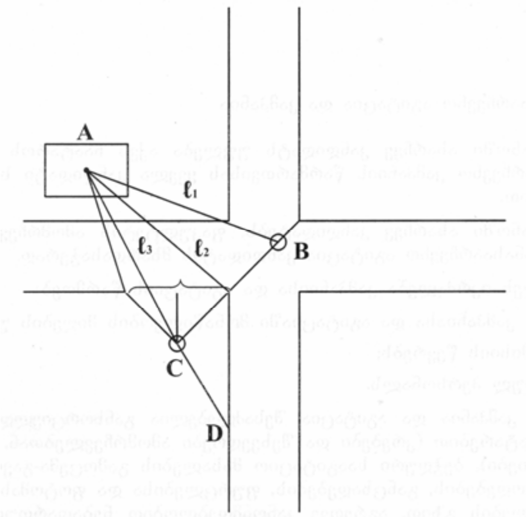
ბ) გადაკვეთის ხერხი. 1) კუთხური. მოც. β_1 და β_2 (ბიპოლარული კოორდინატები). A წერტილი განისაზღვრება β_1 და β_2; $A(\beta_1,\beta_2)$ ან დირექციული კუთხე $A(\alpha_1,\alpha_2)$ (ნახ. 162).



ნახ. 162

2) ხაზოვანი. ვთქვათ აგეგმვას ვაწარმოებთ ქალაქში. მოცემულია კვადრატი და გვაინტერესებს B ჭა რა მანძილითაა დაშორებული ან სად მდებარეობს. ამისათვის ვზომავთ A შენობიდან $\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3$ მანძილებს. არსებული სამი სიგრძით შეიძლება გადავიტანოთ წერტილი გეგმაზე, მაგრამ კონტროლის მიზნით კიდევ გავზომავთ II-რე A_1 წერტილიდანაც $\lambda'_1,\lambda'_2,\lambda'_3$ და გავაკონტროლებთ B-ს გადატანის სისწორეს.

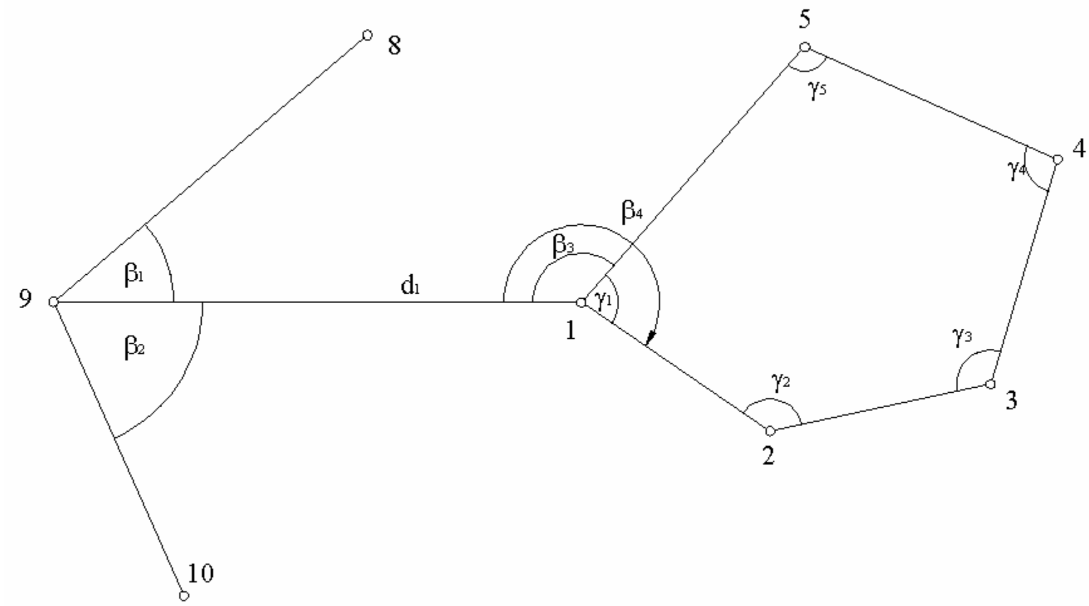
3) გასწვრივობის ხერხი (ნახ. იგივე). ვთქვათ, გვინდა C-ჭა დავიტანოთ გასწვრივობის ხერხით, ამისათვის ვზომავთ მანძილს A"-სა და C-ს შორის. შემდეგ A-სა და C-ს გასწვრივობაში C-დან მანძილს D-მდე. გაზომილი მანძილებით თავისუფლად დავიტანთ გეგმაზე A და D-ს ცნობილ წერტილებს შორის C-წერტილს.



ნახ. 163

4) ფარგის სიგრძის სვლის ხერხი. აქ აწარმოებენ სარიდან სარამდე სვლას ანუ ფარგის გასწვრივ სვლას. აქ ფარგით ვიღებთ რაღაც ცნობილ ადგილს (ვთქვათ გზას) 9-8 და 9-10. იზომება β_1 და β_2 კუთხეები და მანძილი 1 წერტილამდე d_1. შემდეგ 1-ში მარჯვენა ან მარცხენა კუთხე (უმჯობესია ორივე) კონტროლის მიზნით ასევე 2 წერტილში და ასე შემდეგ (ნახ. 164).

აღნიშნული ხერხი მოცემული მასშტაბისათვის უნდა იქნას შერჩეული ადგილმდებარეობის მიხედვით. ეს ჩვენზეა დამოკიდებული.



ნახ. 164

XIV თავი

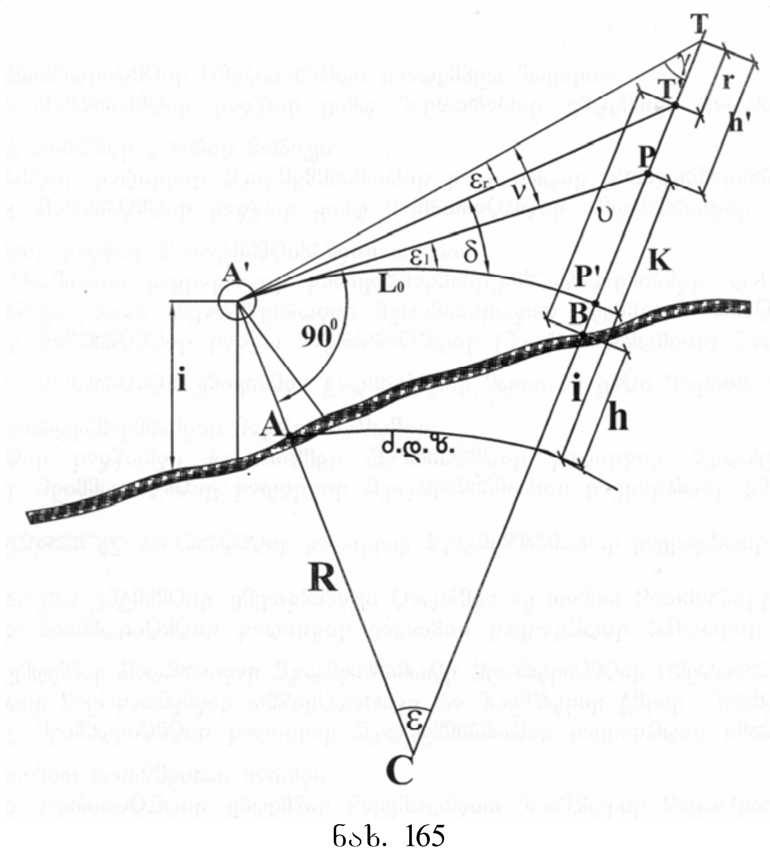
ნიველობა

ნიველობა არის მოქმედებათა ერთობლიობა, რომლის საშუალებითაც განისაზღვრება წერტილებს შორის სიმაღლეთა სხვაობა (აღმატება).

ჩვენ განვიხილავთ მხოლოდ სამი სახის ნიველობას: ტრიგონომეტრიულს, გეომეტრიულსა და ბარომეტრულს.

14.1. ტრიგონომეტრიული ნიველობა

ტრიგონომეტრიული ნიველობა სრულდება დახრილი სხივით, თეოდოლიტის ან ტაქეომეტრის საშუალებით.



ნახ. 165

ვთქვათ საჭიროა A და B წერტილებს შორის სიმაღლეთა სხვაობის განსაზღვრა. წარმოვიდგინოთ, რომ A – წერტილი არის ძირითად დონებრივ ზედაპირზე.

A-წერტილში დავცენტრავთ თეოდოლიტს.

B-წერტილში კი შვეულად ვაყენებთ ლარტყას. დავუშვათ, რომ იარაღმა მოგვცა ძირითადი დონებრივი ზედაპირის პარალელური სხივი A'P'. დავუმიზნოთ ლარტყას T' წერტილში, ლარტყის სიმაღლე არის υ.

$$\upsilon = BT', \text{ ხოლო}$$

ინსტრუმენტის სიმაღლე უდრის i-ს, მაშინ

$$h = i + P'T' - \upsilon,$$

მაგრამ, რადგან ინსტრუმენტი ვერ გვაძლევს მრუდ ხაზს (ძირითადი დონებრივი ზედაპირის პარალელურს), არამედ გვაძლევს რაღაც $A'P$-ხაზს და კუთხურ შეცდომას ε_1-ს, $P'P = K$, დედამიწის სიმრუდის გამო, შეცდომას. ამავე დროს რეფრაქციის გამო სხივს T'-ის მაგივრად T-ში მივიღებთ, $T'T = r$ არის რეფრაქციის გავლენა. $< \varepsilon_r$-რეფრაქციის კუთხური შეცდომაა, მაშასადამე h-ის ნამდვილი მნიშვნელობა გვექნება:

$$h = i + K + h' - r - \upsilon, \tag{14.1.1}$$

გამოვთვალოთ K-ს მნიშვნელობა. ამისათვის შევთანხმდეთ, რომ $R = 6400$ კმ; $i = 1.5$ მ. შეგვიძლია ინსტრუმენტის სიმაღლე ვუგულვებელვყოთ და $h + i$ ჩავთვალოთ R-ად.

ნახაზიდან

$$K = CP - R = \left(R^2 + L_0^2\right)^{\frac{1}{2}} - R = R\left(1 + \frac{L_0^2}{R^2}\right)^{\frac{1}{2}} - R = R\left(1 + \frac{L_0^2}{2R^2} + \cdots\right) - R = \frac{L_0^2}{2R};$$

ე.ი. დედამიწის სიმრუდის გამო შეცდომა K უდრის იარაღიდან ლარტყამდე მანძილის კვადრატს, გაყოფილს გაორკეცებულ რადიუსზე.

ახლა განვსაზღვროთ r – რეფრაქციის გავლენა. ექსპერიმენტალურად დადგენილია, რომ რეფრაქციის სიმრუდის რადიუსი $R_r = 6R$ (ე.ი. უდრის გაექვსკეცებულ რადიუსს), მაშასადამე

$$r = \frac{L_0^2}{2R_r} = \frac{L_0^2}{12R}.$$

დედამიწის სიმრუდისა და რეფრაქციის ერთობლივი გავლენა ავღნიშნოთ $\boldsymbol{f}$-ით.

$$\boldsymbol{f} = \boldsymbol{K} - \boldsymbol{r}, \text{ მაშინ } \boldsymbol{f} = \frac{\boldsymbol{L}_0^2}{2\boldsymbol{R}} - \frac{\boldsymbol{L}_0^2}{12\boldsymbol{R}} = 0.42\frac{\boldsymbol{L}_0^2}{\boldsymbol{R}};$$

თუ მანძილი $L_0^2 = 200$ მეტრამდეა, მაშინ $\boldsymbol{f}$-ის გავლენა მხედველობაში არ არის მისაღები.

ახლა განვსაზღვროთ h'. შევიტანოთ აღნიშვნა $< A'TC = \gamma$, მაშინ ნახაზიდან

$$\gamma = 180^\circ - (90^\circ + \nu) - \varepsilon = 90^\circ - (\nu + \varepsilon),$$

$$h' = L_0 \frac{\sin\nu}{\sin\gamma} = \frac{L_0 \sin\nu}{\sin[90^\circ - (\nu + \varepsilon)]} = \frac{L_0 \sin\nu}{\cos(\nu + \varepsilon)} = L_0 \frac{\sin\nu}{\cos\nu \cdot \cos\varepsilon - \sin\nu \cdot \sin\varepsilon} =$$
$$= L_0 \mathrm{tg}\nu \frac{1}{\cos\varepsilon(1 - \mathrm{tg}\nu \cdot \mathrm{tg}\varepsilon)} \approx L_0 \mathrm{tg}\nu$$

ე.ი. $h' \approx L_0 \mathrm{tg}\nu$; გავყოთ $\cos\nu \cdot \cos\varepsilon$ რადგან $L_0 = 200$ მ; ε-მცირე კუთხეა, $\cos\varepsilon = 1$; $\mathrm{tg}\varepsilon = 0$. თუ შევიტანთ გამოთვლილ მნიშვნელობებს (14.1.1) ფორმულაში გვექნება

$$\boldsymbol{h = L_0 tg\nu + i - \upsilon + f}, \tag{14.1.2}$$

(14.1.2) არის ტრიგონომეტრიული ნიველობის ფორმულა, რომელსაც ასევე გეოდეზიური ნიველობის ფორმულასაც უწოდებენ. იმ შემთხვევაში, როდესაც L_0 გაზომილია ბაფთით, ან გამოთვლილია ტრიგონომეტრიული ფორმულებით, გვაქვს ტრიგონომეტრიული ნიველობა, ხოლო, თუ მანძილებს მანძილმზომის საშუალებით ვზომავთ, მაშინ გვექნება ტაქეომეტრიული ნიველობის ფორმულა, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$L_0 = Kn_1 \cos^2\nu + C \cdot \cos\nu \approx (Kn_1 + C)\cos^2\nu,$$

სადაც L_0-არის დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის *A* და *B* წერტილებს შორის თარაზული მანძილი. $K = Ct$; $C = \frac{F_1}{P}$. K არის მანძილმზომის კოეფიციენტი; F_1-ობიექტივის მთავარი საფოკუსო მანძილი; P – სამანძილო ძაფებს შორის მანძილი; t-დანაყოფის ფასი; n_1-დანაყოფის რაოდენობა ლარტყაზე; ν-კუთხე, რომელსაც ადგენს დახრილი ხაზი მის პროექციასთან (მეორე ν ლარტყის არა მართობულობით შექმნილი კუთხე), ხოლო $c = F_1 + \delta$ არის ობიექტივის მთავარი საფოკუსო მანძილისა და ობიექტივის ლინზის ცენტრიდან ჭოგრის ბრუნვის ღერძამდე მანძილების ჯამი.

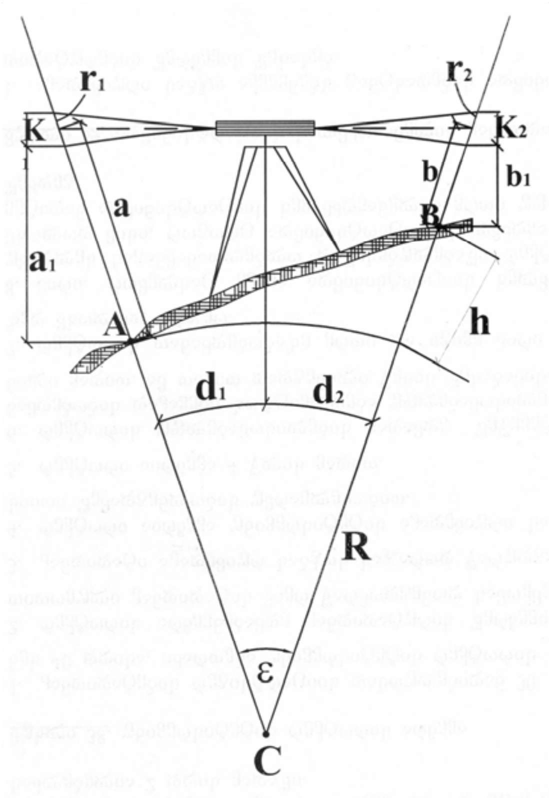
14.2. გეომეტრიული ნიველობა

გეომეტრიული ნიველობა ეწოდება ნიველობას თარაზული სხივის საშუალებით.

ვთქვათ, გვსურს A და B წერტილებს შორის სიმაღლეთა სხვაობის გაგება. იარაღით ვდგებით A და B წერტილებს შორის, ხოლო A და B წერტილებში კი

შვეულად ვაყენებთ ლარტყებს. ჩვენ, რომ საშუალება გვქონდეს დონებრივი ზედაპირის პარალელური სხივის მიღების, მაშინ აღმატება h გამოითვლებოდა ფორმულით

$$h = a_1 - b_1 \qquad (14.2.1)$$



ნახ. 166

(სადაც a_1 - არის დანამზერი უკანა ლარტყაზე, b_1 - არის დანამზერი წინა ლარტყაზე).

მაგრამ, იარაღი ძირითადი დონებრივი ზედაპირის პარალელურ ხაზს ვერ გვაძლევს, არამედ გვაძლევს თარაზულ სხივს. ე.ი. დედამიწის სიმრუდისაგან გამოწვეული შეცდომები გვექნება K_1 და K_2, მაგრამ აგრეთვე ვიცით, რომ თარაზული სხივი გაივლის რა ატმოსფეროს სხვადასხვა სიმკვრივის ფენებში, რეფრაქციის გამო გადატყდება და საბოლოოდ სხივი მიიღებს მიმართულებას, რომელიც ნახაზზე მთლიანი ხაზით არის აღნიშნული. რეფრაქციის გავლენა იქნება r_1 და r_2. ახლა განვსაზღვროთ a_1 და b_1.

$$\boldsymbol{a}_1 = \boldsymbol{a} - (\boldsymbol{k}_1 - \boldsymbol{r}_1) = \boldsymbol{a} - \boldsymbol{f}_1 \text{ ავღნიშნოთ } (k_1 - r_1) - f_1\text{-ით,}$$

$$\boldsymbol{b}_1 = \boldsymbol{b} - (\boldsymbol{k}_2 - \boldsymbol{r}_2) = \boldsymbol{b} - \boldsymbol{f}_2 \text{ ავღნიშნოთ } (\boldsymbol{k}_2 - \boldsymbol{r}_2) - \boldsymbol{f}_2\text{-ით.}$$

შევიტანოთ (1) გამოსახულებაში a_1 და b_1-ის მნიშვნელობები. გვექნება

$$\boldsymbol{h} = (\boldsymbol{a} - \boldsymbol{f}_1) - (\boldsymbol{b} - \boldsymbol{f}_2) = \boldsymbol{a} - \boldsymbol{b} + (\boldsymbol{f}_2 - \boldsymbol{f}_1) \qquad (14.2.2)$$

დადგენილია, რომ $\boldsymbol{f}_1 = 0.42\dfrac{\boldsymbol{d}_1}{\boldsymbol{R}}$; $\boldsymbol{f}_2 = 0.42\dfrac{\boldsymbol{d}_2}{\boldsymbol{R}}$,

სადაც d_1-არის A წერტილიდან იარაღის ცენტრამდე მანძილი; d_2-არის B წერტილიდან იარაღის ცენტრამდე მანძილი; R-არის დედამიწის რადიუსი. იმ შემთხვევაში, როცა $d_1 = d_2$, მაშინ $\boldsymbol{f}_1 = \boldsymbol{f}_2$ და $r_1 \approx r_2$ (დაახლოებით ტოლია იმიტომ, რომ მანძილები სხავადასხვაა).

$$h = a - b, \qquad (14.2.3)$$

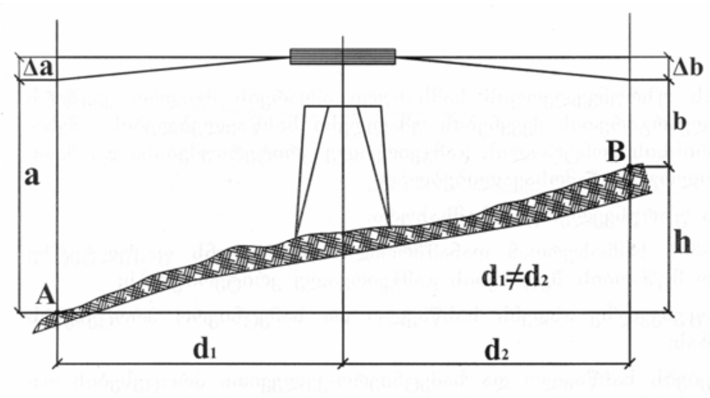
მაშასადამე, როდესაც იარაღით მანძილის შუაში ვდგებით, რეფრაქციისა და სიმრუდის გავლენა ისპობა. იმ შემთხვევაში, როცა $d_1 = 0$ მაშინ

$$\boldsymbol{h} = \boldsymbol{i} - (\boldsymbol{b} - \boldsymbol{f}), \qquad (14.2.4)$$

(i – არის იარაღის სიმაღლე). როგორც ვხედავთ, უფრო მოსახერხებელია ნიველობა შუიდან (გარდა ამისა შუიდან წარმოებული ნიველობის დროს ისპობა ინსტრუმენტალური შეცდომები).

ვთქვათ ვაწარმოებთ A და B წერტილებს შორის ნიველობას. ვდგავართ ამ წერტილებს შორის არა ტოლ მანძილზე, ე.ი. არა ზუსტად შუაში. იარაღი ნაცვლად თარაზული სხივისა გვაძლევს დახრილ სხივს, ამიტომ სიმაღლეთა სხვაობა ტოლი იქნება

$$h = (a + \Delta a) - (b + \Delta b), \qquad (14.2.5)$$



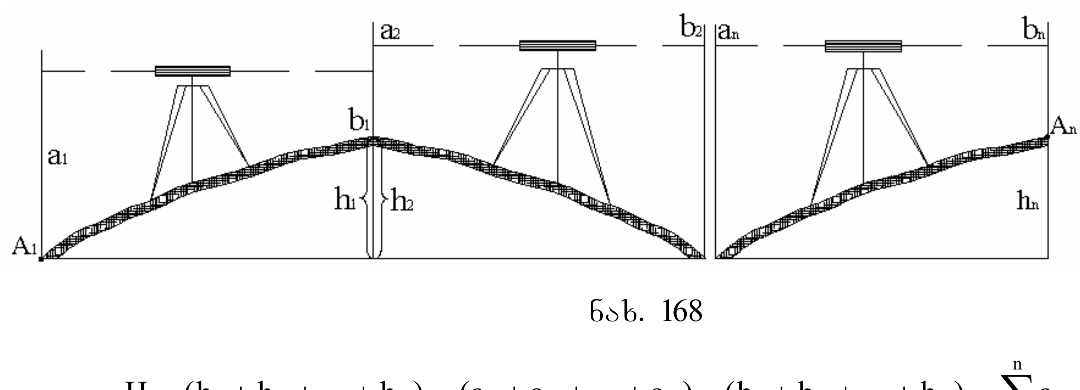
ნახ. 167

(სადაც a და b ანათვლებია ლარტყაზე), როცა $d_1 = d_2$, მაშინ $\Delta a = \Delta b$ და $h = a - b$ ე.ი. ისპობა ინსტრუმენტალური შეცდომების გავლენა.

<u>რთული ნიველობა (გეომეტრიული)</u>

რთული ნიველობა არის მარტივი ნიველობების ჯამი. მისი არსებობის მიზეზია: 1) წერტილებს შორის დიდი მანძილი, 2) დაბრკოლება წერტილებს შორის, 3) სიმაღლეთა დიდი სხვაობა წერტილებს შორის.

ვთქვათ, საჭიროა ვაწარმოოთ A_1 და A_n წერტილებს შორის სიმაღლეთა სხვაობების განსაზღვრა.



$h_1 = a_1 - b_1;$
$h_2 = a_2 - b_2;$
$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$
$h_n = a_n - b_n.$

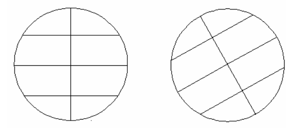
ნახ. 168

$$H = (h_1 + h_2 + \cdots + h_n) = (a_1 + a_2 + \cdots + a_n) - (b_1 + b_2 + \cdots + b_n) = \sum_{i=1}^{n} a_i - \sum_{i=1}^{n} b_i$$

14.3. ნიველირები

ნიველირები ძირითადად ორი ტიპის გვხვდება: 1) ხშული და 2) გადასადებ ჭოგრიანი.

1) ხშულ ნიველირებში თვით ჭოგრზეა მიმაგრებული კონტაქტური თარაზოები და მისი ბოლოები, როდესაც თარაზოს ღერძი არ არის თარაზულად მოყვანილი, გამოჩნდება ასე , თარაზულ მდგომარეობაში კი . 2) გადასადებ ჭოგრიან ნიველირებში თარაზოები გვხვდება ა) შიმშაზე მიმაგრებული; ბ) ჭოგრზე მიმაგრებული და ჭოგრზე დასადგმელი.



ნახ. 169

ა) შემოწმებები

ორივე ტიპის ნიველირებს აქვთ სამი საერთო შემოწმება.

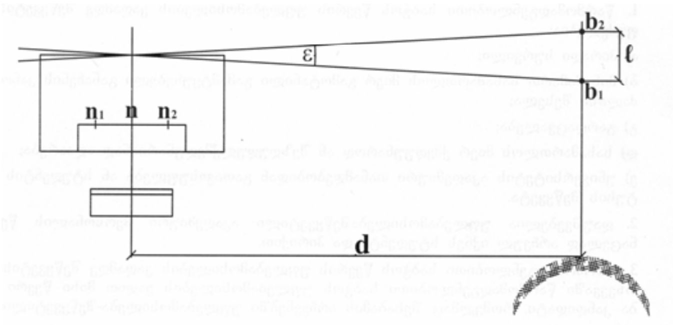
<u>I-ლი შემოწმება. ძაფთა ბადეზე შვეული ძაფი უნდა იყოს მკაცრად შვეულად, რომ თარაზული ძაფი იყოს თარაზულად</u>. თარაზო მოყავთ შუაში. ნიველირიდან 30-50მ-ის დაშორებით კედელზე დანიშნავენ წერტილს, რომელიც შუა ძაფით იფარება (აიღებენ ანათვალს ლარტყაზე), შემდეგ მიკრომეტრული ხრახნით ნელა ამოძრავებენ ნიველირს ვერტიკალური ღერძის გარშემო. შუა ძაფი უნდა გაყვეს ამ წერტილს (ან არ იცვლებოდეს ანათვალი ლარტყაზე), თუ ეს არ სრულდება, მაშინ შეასწორებენ ძაფთა ბადის შემასწორებელი ხრახნით. ეს შესწორება ხრახნების საშუალებით სრულდება, მაგრამ რთული შესწორებაა და ახალი სისტემის იარაღებში ამას ქარხანა უზრუნველყოფს.

<u>II – შემოწმება. ჭოგრის ოპტიკური ძალა და თარაზოს მგრძნობიარობა ურთიერთ შესაბამისი უნდა იყოს</u>. ვიცით, რომ ჭოგრის ოპტიკური ძალა $T=\frac{60''}{G}$ (G-გამადიდებლობაა, $60''$-მზერის კრიტიკული კუთხე). ცნობილია, რომ ბუშტულის ნულ პუნქტზე დაყენების ზღვრული სიზუსტე$=0.15\tau$ (სადაც τ-თარაზოს დანაყოფის ფასია), ე.ი. $\frac{60''}{G}=0.15\tau$; $G\tau=400$. გამარტივებული სახე ამ შემოწმებისა მდგომარეობს შემდეგში: აყენებენ ლარტყას ნიველირიდან 50-70მ-ის დაშორებით. მოყავთ თარაზო შუაგულში და იღებენ ანათვალს ლარტყაზე. შემდეგ ხრახნით ბუშტულას გადააადგილებენ შუიდან და შემდეგ ისევ იმავე ხრახნით მოყავთ შუაში. იღებენ ანათვალს. თუ ანათვალი იგივე იქნება, მაშინ თარაზოს მგრძნობიარობა შეესაბამება ჭოგრის გამადიდებლობას ან მეტია მასზე. თარაზოს ზედმეტ სიზუსტეს ამჟღავნებენ შემდეგნაირად: თარაზო მოყავთ შუაში, იღებენ

ანათვალს a_1-ს, შემდეგ დამყენებელი ან შემასწორებელი ხრახნით ცვლიან ანათვალს და კვლავ აბრუნებენ a_1 ანათვალზე. თუ ბუშტულა კვლავ შუაში არ დადგა, მაშასადამე, იგი ზედმეტი სიზუსტის ყოფილა. ზედმეტი სიზუსტის თარაზო კი საგრძნობლად ანელებს მუშაობის ტემპს.

ბ) თარაზოს საფასურის განსაზღვრა ლარტყის საშუალებით

ვაკე ადგილზე ნიველირიდან ≈ 50 მ-ის დაშორებით კარგად განათებულ ადგილზე აყენებენ ლარტყას (ნიველირის ერთი შემასწორებელი ხრახნი ლარტყის მიმართულებით უნდა იყოს), d მანძილს ნიველირიდან ლარტყამდე ზომავენ ხვეულათი ან ბაფთით.

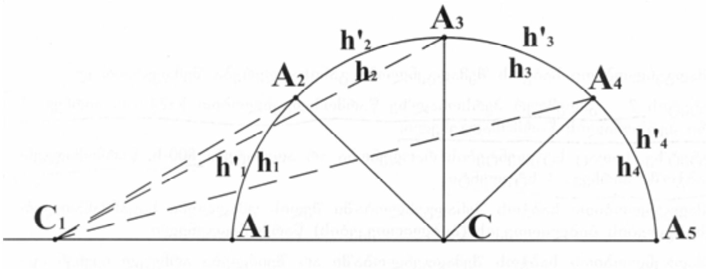


ნახ. 170

ჭოგრს უმიზნებენ ლარტყას, ამწევი ხრახნით თარაზოს ბუშტულას გადაწევენ შუიდან, მხოლოდ ისე, რომ ორივე ბოლოს ანათვლის აღება შეიძლებოდეს. იღებენ ანათვალს ლარტყაზე b_1 და ბუშტულის ბოლოებზე a_1 და a_2, შემდეგ ბუშტულას გადაადგილებენ მეორე მხარეს და კვლავ იღებენ ანათვლებს ლარტყაზე b_2 და ბუშტულის ბოლოებზე a_3 და a_4 გამოითვლიან $\lambda = b_2 - b_1$. ბუშტულის ბოლოებით აღებული ანათვლების სიზუსტის კონტროლისათვის გამოთვლიან ბუშტულის სიგრძეს $a_2 - a_1$ და $a_4 - a_3$, მათ შორის დასაშვებია განსხვავება 0.2 – 0.3 დანაყოფი. შემდეგ გამოითვლება ბუშტულის მდებარეობა ორივე გადახრისათვის $n_1 = \dfrac{a_1 + a_2}{2}$ და $n_2 = \dfrac{a_3 + a_4}{2}$ და ბუშტულის გადახრას n-ს, $n = n_2 - n_1$.

ნახაზიდან ნათლად ჩანს, რომ ჭოგრის მზერის ღერძის შეტრიალებას ε მცირე კუთხეზე, შეესაბამება თარაზოს ბუშტულის n დანაყოფზე გადაადგილება. ამიტომ ერთი დანაყოფის საფასური $\tau = \dfrac{\varepsilon}{n}$, ε მცირე კუთხე შეიძლება ჩაითვალოს ცენტრალურ კუთხედ, რომელიც d რადიუსის მქონე $\lambda(\lambda = b_2 - b_1)$ რკალს ჭიმავს, ამიტომ $\varepsilon = \dfrac{\lambda}{d}\rho''$ და τ-კი გვექნება $\tau = \dfrac{\lambda}{d \cdot n}\rho''$. ხშირად თარაზოს საფასურს საზღვრავენ ხელსაწყოთი – ეგზამენატორით.

III – შემოწმება. ჭოგრის ფოკუსირების დროს მზერის ღერძი არ უნდა ტყდებოდეს. ვაკე ადგილზე შეირჩევენ C წერტილს და ამ წერტილიდან ≈50მ-ის რადიუსით დანიშნავენ A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 წერტილებს. C წერტილში აყენებენ ნიველირს და იღებენ ანათვლებს ლარტყაზე A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 წერტილებში. ვინაიდან ეს წერტილები C წერტილიდან ტოლი მანძილებით არიან დაშორებული (r=50მ), ამიტომ ჭოგრის ფოკუსირება მხოლოდ ერთხელ A_1 წერტილზე გვჭირდება. გამოვითვლით სიმაღლეთა სხვაობებს (აღმატებებს), ამ წერტილებს შორის h_1, h_2, . . . h_4-ს, შემდეგ გადაგვაქვს იარაღი C_1 წერტილში. C_1 მდებარეობს AC მიმართულების გაგრძელებაზე≈10მ-ის დაშორებით. C_1 წერტილიდან დანიშნულ (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) წერტილებზე ანათვლების ასაღებად საჭირო ხდება ყველა დანამზერზე ფოკუსირება, ვინაიდან მანძილები C_1 წერტილიდან დანიშნულ წერტილებამდე სხვადასხვაა. ვიღებთ ანათვლებს და ვსაზღვრავთ სიმაღლეთა სხვაობებს $h'_1, h'_2, \ldots h'_4$. ცხადია სიმაღლეთა სხვაობები განსაზღვრული C-წერტილიდან, ტოლი უნდა იყოს სიმაღლეთა სხვაობებისა C_1-წერტილიდან (ან განსხვავდებოდეს 2τ-თი, სადაც τ-ლარტყაზე ანათვლის აღების სიზუსტეა). ე.ი. $h_1 - h'_1 \le 2\tau$; $h_2 - h'_2 \le 2\tau$; $h_3 - h'_3 \le 2\tau$; $h_4 - h'_4 \le 2\tau$; თუ ეს პირობა დაცულია, მაშინ ცხადია, რომ ნიველირის მზერის ღერძი არ ტყდება ფოკუსირების დროს. თუ ეს პირობა არ არის დაცული, მაშინ ასეთი ნიველირით სარგებლობა მხოლოდ იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, თუ შევასრულებთ ნიველობას შუაში დგომით. გადასადებ ჭოგრიან ნიველირებისათვის ეს შემოწმება სრულდება ორმაგი ნიველობით. ეს იგივეა რაც ხშული ნიველირების მეორე შემოწმება (იხ. ქვემოთ).



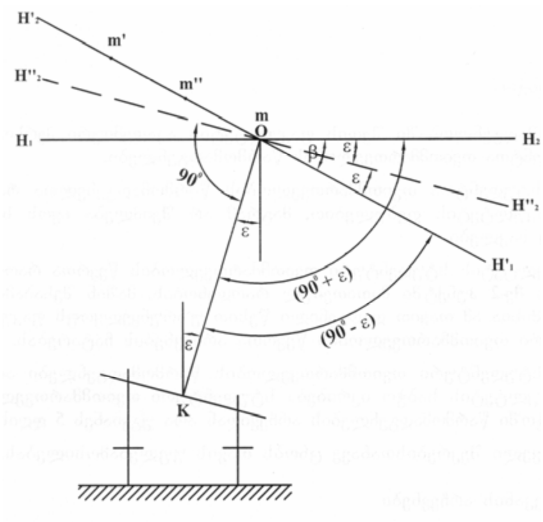
ნახ. 171

ბ) ხშული ნიველირების შემოწმება

I – შემოწმება. თარაზოს ღერძი მართობი უნდა იყოს იარაღის ბრუნვის ღერძისა.

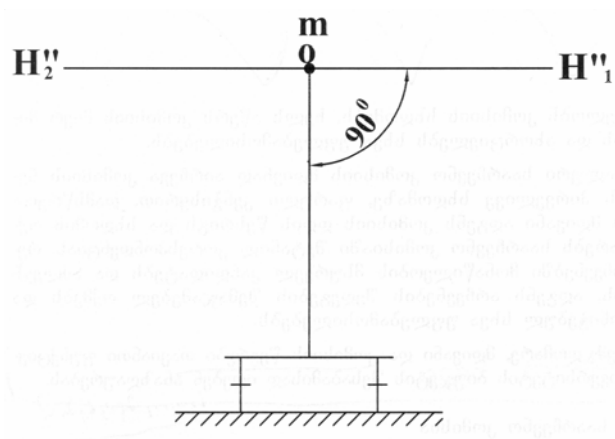
თარაზოს ათავსებენ ორი დამყენებელი ხრახნის გასწვრივ და ორივე ხრახნის ურთიერთ საწინააღმდეგო ბრუნვით ბუშტულა მოყავთ შუაში (H_1H_2), შემდეგ ჭოგრს შემოაბრუნებენ 180°-ით (თვალით) ($H'_2 H'_1$). თუ ბუშტულა გადაიხარა, მაშინ გადახრის ნახევარს შეასწორებენ თარაზოს შემასწორებელი

ხრახნით, შემდეგ ბუშტულა შუაში მოჰყავთ დამყენებელი ხრახნებით. ზემოთ აღწერილ ოპერაციას იმეორებენ მანამ, სანამ ყოველი 180°-ით შემობრუნების დროს ბუშტულა არ გაჩერდება შუაში (გადახრა დასაშვებია ერთი დანაყოფის 0.2-0.3) ($H''_2 H''_1$). შემდეგ შემოატრიალებენ ჭოგრს 90°-ით და მესამე დამყენებელი ხრახნით თარაზოს ბუშტულა მოყავთ შუაში. ახლა სიბრტყეზე მდებარე ორი ხაზი თარაზულადაა, ე.ი. სიბრტყე თარაზულადაა. ამის შემდეგ ბრუნვის ღერძი საკმაოდ კარგად არის შვეულად მოყვანილი. მაგრამ თარაზოს შემოწმებას ახდენენ



$$\beta = (90^o + \varepsilon) - (90^o - \varepsilon) = 2\varepsilon$$

ნახ. 172



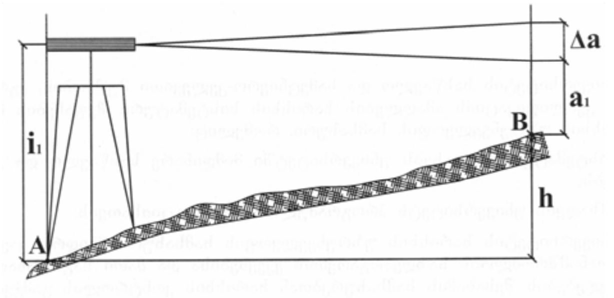
$$\varepsilon = \frac{\beta}{2}$$

ნახ. 173

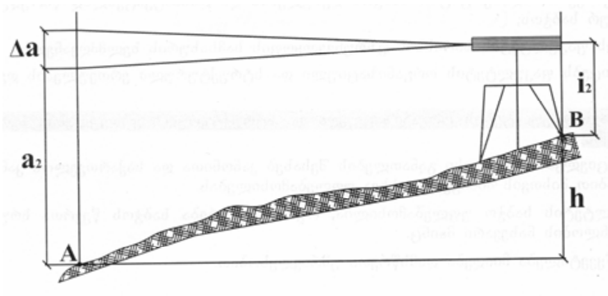
ხელახლა და საბოლოოდ ბრუნვის ღერძი მოყავთ შვეულ მდგომარეობაში.

II – შემოწმება. ჭოგრის მზერის ღერძი პარალელური უნდა იყოს თარაზოს ღერძისა. აღნიშნული შემოწმება სრულდება ორმაგი ნიველობით, ამასთან შეიძლება გამოვიყენოთ ერთ-ერთი მეთოდი არსებული ორი მეთოდიდან.

I-ლი მეთოდი. ნიველირს დგამენ ჯერ A წერტილში ისე, რომ ოკულარი და A წერტილში ჩამაგრებული პალო ერთ ვერტიკალურ სიბრტყეში იყოს. მოყავთ იარაღი მომწესობაში, საზღვრავენ იარაღის სიმაღლეს პალოდან ოკულარის ცენტრამდე i_1-ს. B წერტილში პალოზე ადგამენ ლარტყას და იღებენ ანათვალს a_1-ს. შემდეგ გადააქვთ იარაღი B წერტილში და ლარტყა A წერტილში. ანალოგიურად განისაზღვრება იარაღის სიმაღლე i_2 და ანათვალი ლარტყაზე a_2.



ნახ. 174



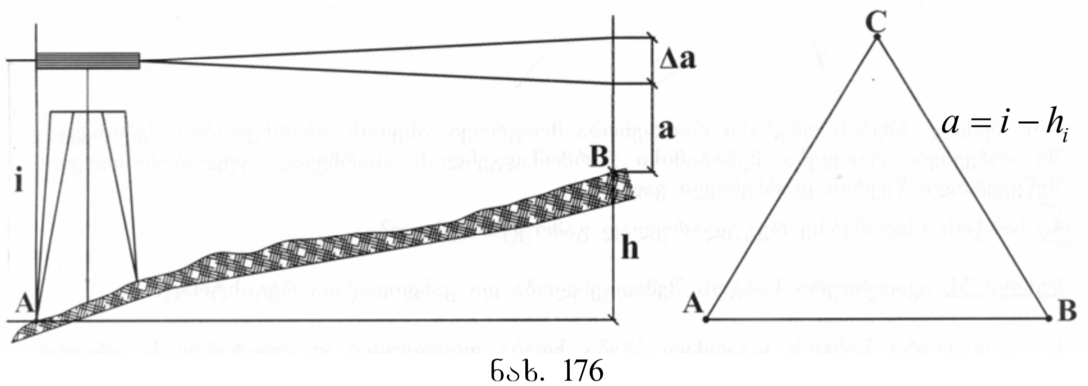
ნახ. 175

$$h = i_1 - (a_1 + \Delta a) \qquad\qquad h = (a_2 + \Delta a) - i_2$$

გამოთვლიან $\Delta a = \dfrac{i_1 + i_2}{2} - \dfrac{a_1 + a_2}{2}$,

თუ $\Delta a \le \pm 2$ მმ, მაშინ პირობა დაცულია, თუ განსხვავებულია, მაშინ უნდა შესწორდეს ძაფთა ბადე.

II მეთოდი. მოედანზე პალოებით დანიშნავენ ტოლგვერდა სამკუთხედს $\approx 40-50$ მეტრიანი გვერდებით. შუიდან ნიველობით C წერტილში დგომით განისაზღვრება A და B წერტილებს შორის სიმაღლეთა სხვაობა h. მოქმედება უნდა შესრულდეს ზუსტად, არა ნაკლებ 2-ჯერ, განაზომის შეცდომით არა უმეტეს ±2 მმ-ისა. ამის შემდეგ ნიველირი გადააქვთ A წერტილში (ან B-ში). საზღვრავენ

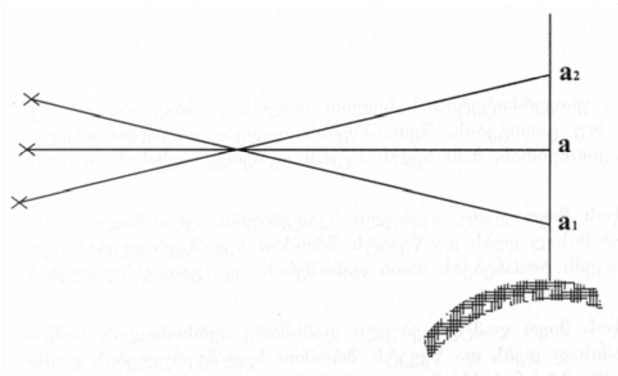


ნახ. 176

ნიველირის სიმაღლეს პალოდან ოკულარის ცენტრამდე. წინათ შესრულებული ნიველობის შედეგით ცნობილია აღმატება h. ადვილი გამოსათვლელია, რომ ანათვალი ლარტყაზე უნდა იყოს $a = i - h$, ამის შემდეგ იღებენ ანათვალს ლარტყაზე a_1-ს B წერტილში. თუ სხვაობა $a_1 - a \le 2$ მმ, მაშინ პირობა დაცული იქნება, თუ არა და მაშინ შესწორდება ძაფთა ბადე ვერტიკალური შემასწორებელი ხრახნებით.

დ) გადასადებ ჭოგრიანი ნიველირების შემოწმება

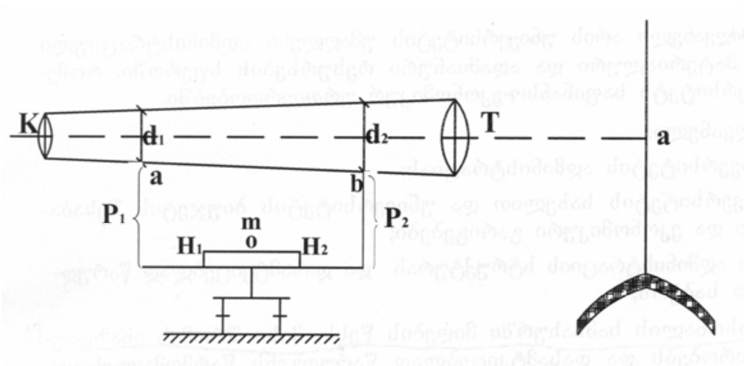
<u>I – შემოწმება: ჭოგრის მზერის ღერძი უნდა ემთხვეოდეს გეომეტრიულ (და ოპტიკურ) ღერძს.</u>



ნახ. 177

აღნიშნული შემოწმების შესასრულებლად დგამენ ნიველირს, მოყავთ მისი ღერძი შვეულ მდგომარეობაში და იარაღიდან $\approx 50-70$ მ-ის დაშორებით ათავსებენ ლარტყას და იღებენ ანათვალს a_1-ს. შემდეგ გადაატრიალებენ ჭოგრს თავის ბუდეში 180^o-ით და კვლავ იღებენ ანათვალს a_2-ს. თუ ანათვალი იგივეა, მაშინ პირობა შესრულებულია, თუ გადაადგილდა, მაშინ პირობა დარღვეულია და ასწორებენ შემდეგნაირად: გამოთვლიან $a=\frac{a_1+a_2}{2}$ მნიშვნელობას და ძაფთა ბადის შემასწორებელი ხრახნებით შეასწორებენ. ძაფთა ბადის ჰორიზონტალური ძაფი არ გვიჩვენებს a-ს ტოლ ანათვალს.

<u>II – შემოწმება: აუცილებელია, რომ ჭოგრის სალტეების მსახველი (ab) პარალელური იყოს თარაზოს ღერძის (H_1H_2), სასურველია ასეთივე დამოკიდებულება იყოს თარაზოს ღერძისა (H_1H_2) და ჭოგრის მზერის ღერძს შორის.</u>



ნახ. 178

აქ შეიძლება შეგვხვდეს სამი შემთხვევა

1) $d_1=d_2$ და $P_1=P_2$
2) $d_1=d_2$ და $P_1 \neq P_2$
3) $d_1 \neq d_2$ და $P_1 \neq P_2$

პირველ შემთხვევაში თარაზოს ღერძი ჭოგრის სალტეებში გადადების შემდეგ ჰორიზონტალურად დარჩება. აქ H_1H_2 ab და H_1H_2 KT, ე.ი. მოთხოვნილი პირობა შესრულებულია. მეორე შემთხვევაში, ჭოგრის გადადების შემდეგ თარაზოს ბუშტულა გადაიხრება, რადგანაც თარაზოს ღერძსა და სალტეების მსახველს შორის არსებობს კუთხე. რა თქმა უნდა, თარაზოს შუაში მოსაყვანად საჭიროა ბუშტულა გადავაადგილოთ ვერტიკალური შემასწორებელი ხრახნებით, გადახრის

ნახევრით. შემოწმება სრულდება რამდენჯერმე. რის შედეგადაც ვაღწევთ, რომ $P_1=P_2$ და ამასთან H_1H_2 ab KT პირობასაც. მესამე შემთხვევაში, როცა დიამეტრები არ არის ტოლი, აღნიშნული შემოწმებით ვაღწევთ H_1H_2 ab, მაგრამ თარაზოს ღერძი H_1H_2 და გეომეტრიული ღერძი KT პარალელურები არ იქნებიან. გარდა ამისა, ამ შემოწმების განხილვის დროს ჩვენ დავუშვით, რომ თარაზოს ღერძი და გეომეტრიული ღერძი ერთ სიბრტყეში მდებარეობენ, მაგრამ, შეიძლება, რომ ეს ასე არ იყოს. შემოწმების შესასრულებლად თარაზოს ბუშტულა მოყავთ ნულ პუნქტში, შემდეგ არხევენ თარაზოს, ნელ-ნელა ატრიალებენ ჭოგრს სალტეებში. თუ ბუშტულა საგრძნობლად გადაიხარა შუიდან, მაშინ მას ასწორებენ თარაზოს გვერდითი შემასწორებელი ხრახნებით. შემდეგ აღნიშნულ შემოწმებას იმეორებენ. ამასთან ერთად, თარაზოს რხევის შემდეგ ჭოგრის ბრუნვის დროს სალტეებში შეიძლება შევნიშნოთ ბუშტულის სამი მდებარეობა. 1) ბუშტულა ადგილზე (ნულ პუნქტზე) რჩება. 2) თარაზოს ბუშტულა ნულპუნქტიდან სულ ერთ მხარეს იხრება. 3) ბუშტულა ხან ერთ მხარესაა, ხან მეორე.

პირველ შემთხვევაში თარაზოს ღერძი პარალელურია გეომეტრიული ღერძის, მეორე შემთხვევაში თარაზოს ღერძი და გეომეტრიული ღერძი ერთ სიბრტყეში მდებარეობენ, მაგრამ პარალელურები არ არიან. მესამე შემთხვევაში ეს პირობა დაცული არ არის, მის მისაღწევად თარაზოს გვერდითი შემასწორებელი ხრახნებით უნდა იქნას მიღწეული ის, რომ ბუშტულა არ გადადიოდეს ნულ პუნქტის ერთი მხრიდან მეორე მხარეზე.

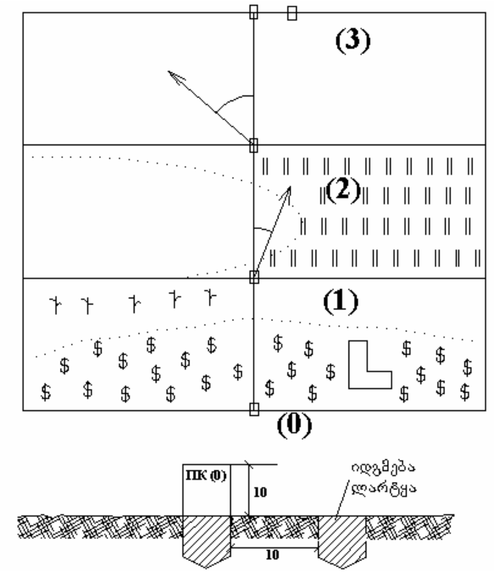
14.4. ნიველობის წარმოება

დანიშნულების მიხედვით ნიველობა არის: გასწვრივი, გასწვრივ-განივი და მოედნის.

ა) **გასწვრივ-განივი ნიველობა** სრულდება ზოლური რელიეფის ასახვა-შემეცნების მიზნით, სანამ გეომეტრიულ ნიველობას შევასრულებდეთ ამ ზოლზე, წინასწარი კვლევითი სამუშაოების საფუძველზე (ბარომეტრული ან ტაქეომეტრიული სამუშაოების გამოთვლების შემდეგ), შესწავლილია სანიველო ზოლი.

ამ მიზნით წარმოებული ნიველობა ორი ძირითადი ამოცანისაგან შედგება: 1) სანიველო ღერძის შემზადება და 2) თვით ნიველობის წარმოება.

სანიველო ღერძის შესამზადებლად, საჭიროა გვქონდეს კუთხზომითი იარაღი (თეოდოლიტი), მრუდეების დაკვალვის ცხრილი, საპიკეტაჟო ჟურნალი, 20-მეტრიანი ფოლადის ბაფთა, 6 ან 11 ფოლადის ჩხირი, ხვეულა, 3 – 4 სარი, პალოები, ფანქარი, ნაჯახი. საპიკეტაჟო ჟურნალი წარმოადგენს მილიმეტრებიან წიგნაკს, რომელიც ივსება შემდეგნაირად. უპირველესად ირჩევენ ტრასის მიმართულებას და ამაგრებენ ნიშნებით ტრასის საწყის და ბოლო წერტილებს, მოხვევის წერტილებს და ა.შ. შემდეგ აწარმოებენ ტრასის პიკეტაჟს, ე.ი. პიკეტების დანიშვნას. პიკეტი არის პალო, რომლითაც ტრასის წერტილები აღინიშნება. პიკეტებს ამაგრებენ ერთი მეორიდან 100 მეტრის დაშორებით (ქალაქისა და საწარმოო ტერიტორიაზე მისი დაშორება შეიძლება იყოს 40-50 მეტრი). მანძილებს პიკეტებს შორის ზომავენ ფოლადის ბაფთისა და ჩხირების დახმარებით. გარდა ამისა პიკეტებს შორის მანძილი დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენადაა საჭირო ტრასის რელიეფის შესწავლა. პიკეტების ნუმერაცია იწყება ტრასის საწყისი წერტილიდან. თვითეული საპიკეტო წერტილი აღინიშნება ორი პალოთი: “წერტილით და დარაჯით”, წერტილში მიწის პირამდე ჩაისმება პალო 10 სმ-ის სიღრმეზე და ნიველობის წარმოების დროს მასზე იდგმება ლარტყა. წერტილიდან 10 სმ-ის დაშორებით ჩაისობა მეორე პალო მიწიდან 10 სმ-ით ზევით ამოსული. ეს არის ე.წ. “დარაჯი”, რომელიც გამოიყენება წერტილის მოსაძებნად. მასზე ფანქრით იწერება პიკეტის ნომერი. შუალედი წერტილები, რომლებიც საჭიროა დამატებით რელიეფის დასახასიათებლად, აღინიშნება მხოლოდ “დარაჯით” და წაეწერება წინა პიკეტის ნომერს პლიუს დაშორება ამ პიკეტიდან შუალედ წერტილამდე. მაგ: (2)+40, ამიტომ ასეთ წერტილებს პლიუს წერტილები ეწოდება. განივ წერტილებსაც აღნიშნავენ მხოლოდ “დარაჯებით” და წაეწერება მათზე ნომერი და დაშორება ტრასიდან.

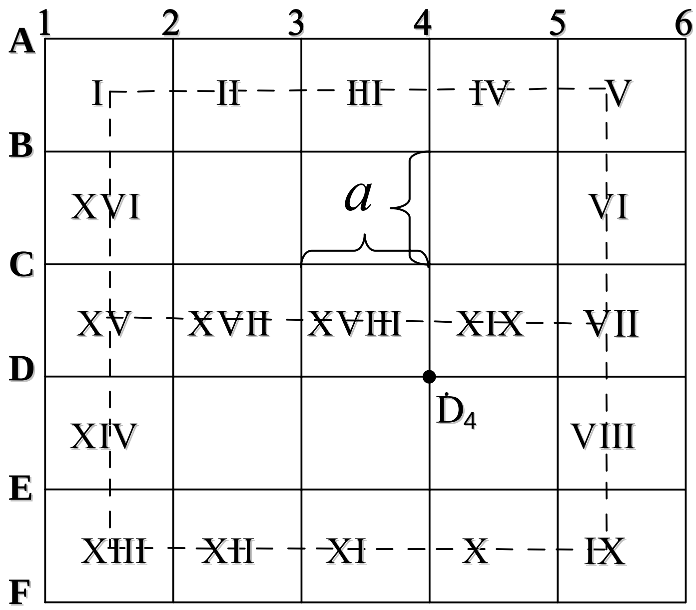


ნახ. 179

ბ) მოედნის (ზედაპირის) ნიველობა. სამშენებლო მოედნებზე, აეროდრომებზე, სტადიონებზე და ა.შ. ხშირად წარმოიქმნება მიწის სამუშაოების მოცულობის გამოთვლის საჭიროება ანდა ვერტიკალური დაგეგმარების (ნიველობის) შესრულება, რისთვისაც აუცილებელია მსხვილმასშტაბიანი (1 : 1000,

1 : 500, 1 : 200) ტოპო-გეგმების შედგენა კვადრატების მეთოდით, შექმნილ სასიმაღლო საფუძველზე დაყრდნობით.

ადგილზე ვაგებთ დასაკვალავ კვადრატებს, თუ კვეთის სიმაღლე $h = 0,25$ მ კვადრატის გვერდი $a = 10 - 40$ მ, როცა $h = 0,5$ მ, $a = 50 - 100$ მ და უფრო მეტს. კვადრატების ნუმერაცია მოცემულია 256 ნახაზზე:



ნახ. 180

ადგილზე ქსელის დაკვალვის შემდეგ ვატარებთ ნიველობას. ჟურნალის ნაცვლად ყველა მონაცემი გამოისახება ქაღალდზე, რომელზეც იწერება ყველა საჭირო ინფორმაცია. წინამდებარე ნახაზზე (180) ყოველი კვადრატის ცენტრში არსებული ციფრებით ნაჩვენებია ინსტრუმენტის დგომის წერტილები, რომლებიც რაც შეიძლება ახლოს უნდა იყოს კვადრატების დიაგონალების გადაკვეთის წერტილებთან. მოითხოვება, რომ ყოველ წერტილზე იყოს მინიმუმ ორი დანამზერი, ამიტომ (180) ნახაზზე 19 სადგურია და ამით დაკმაყოფილებულია მოთხოვნილი პირობა. კვადრატების ნიველობა დამოკიდებულია მისი გვერდების სიგრძეზე. თუ $a \geq 100$ მ, მაშინ ყოველი კვადრატის ნიველობა ტარდება დგომის ერთი წერტილიდან; თუ $a < 100$ მ, მაშინ ერთი სადგურიდან ნიველობას ვაწარმოებთ რამოდენიმე კვადრატზე. (180) ნახაზზე ვიხილავთ შემთხვევას, როცა $a \geq 100$. ნიველირის გადაადგილების სქემა ნაჩვენებია პუნქტირით.

ნიველობის ჩატარება კიდევ შეიძლება პარალელური ხაზებითაც. საჭიროა შეიქმნას გახსნილი ან შეკრული სვლა, რათა ვუზრუნველვყოთ დაკვირვებათა შედეგების კონტროლი.

კამერალური დამუშავება გამოიხატება შემდეგში:

1) გამოვითვლით მომიჯნავე კვადრატების ჰორიზონტების სიმაღლეთა სხვაობას (სადგურის): $\nabla H = b_{i+1} - b_i = H_{\text{ჰ}i+1} - H_{\text{ჰ}i}$,

   სადაც i არის კვადრატის (სადგურის) ნომერი;

   b_{i+1} - ანათვალი ლარტყაზე, რომელიც დგას მომდევნო კვადრატის წვეროზე;

   b_i - ანათვალი წინამდებარე სადგურზე;

2) ვასრულებთ სანიველო სვლის კონტროლს (თუ სვლა შეკრულია, მაშინ $\sum \nabla H = f_h$, უნდა დავიცვათ შემდეგი პირობა: $f_h = 2\text{სმ} \cdot \sqrt{n}$, სადაც n არის სადგურების რაოდენობა სვლაში; 2სმ=2m, როდესაც ანათვალი ლარტყაზე 1სმ-დეა);

3) ვაწარმოვებთ სანიველო სვლის გაწონასწორებას; ცდომილებას ვანაწილებთ შებრუნებული ნიშნით თითოეულ ∇H-ზე თანაბრად, გამოვითვლით $H_{\text{ჰ}}$;

4) გამოვითვლით კვადრატის წვეროების ნიშნულებს შემდეგი ფორმულით:

$$H_D = H_{\text{ჰ}} - d,$$

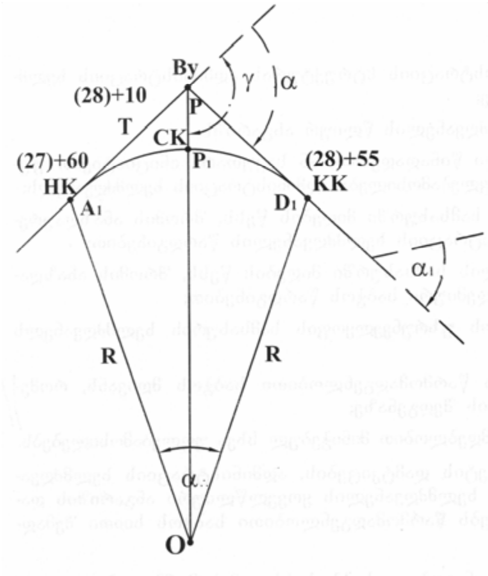
   სადაც d არის ანათვალი ლარტყაზე D წერტილში.

5) სამუშაო თავდება გეგმის შედგენითა და მისი გამოხაზვით.

სახაზავ ფორმატზე მოცემული მასშტაბით ვადგენთ კვადრატების სქემას. მიღებული კვადრატების წვეროების ნიშნულების გარდა, ფორმატზე უნდა დავიტანოთ ყველა საშუალედო წერტილები (რელიეფის მახასიათებელი წერტილები და კონტურები). ჟურნალიდან უნდა ამოვიწეროთ ყველა წერტილის ნიშნულები (1სმ-მდე). შემდეგ ვახდენთ ჰორიზონტალების (იზოჰიფსების) ინტერპოლირებას და რელიეფის გამოხაზვას (ქანობების და რელიეფის ყველა დამაკავშირებელი ხაზის ჩათვლით). გეგმა უნდა დაიხაზოს ტუშით პირობითი აღნიშვნების სრული შესაბამისობით.

14.5. მრუდეების დაკვალვა

ნაგებობათა ღერძები განლაგებულია არა მარტო სწორი ან ტეხილი ხაზების მიმართულებით, არამედ ზოგჯერ მრუდი ხაზის მიმართულებითაც (მაგ. სანაოსნო არხები, გზები, დიდი კაშხლები, სახლები). ასეთ შემთხვევაში ორი სწორხაზოვანი მიმართულების შეუღლება ხდება მეტწილად მრუდის საშუალებით (ნახ. 181).



ნახ. 181

მრუდის დაკვალვისათვის საჭიროა მოხვევის კუთხე α და მრუდის რადიუსი R, რაც საშუალებას გვაძლევს ვიპოვოთ ადგილზე მრუდის სამი მთავარი წერტილის მდებარეობა: A_1-მრუდის დასაწყისი, P_1-მრუდის შუა წერტილი და D_1-მრუდის ბოლო წერტილი. მთავარი წერტილების მდებარეობის ადგილზე გადასატანად α-მოხვევის კუთხისა და R რადიუსის სიდიდეების ცოდნის გარდა საჭიროა ვიცოდეთ: $A_1P = PD_1$ მხები ხაზის სიგრძე, რომელსაც შემოკლებით ეწოდება T (ტანგესი), A_1D_1-მრუდის სიგრძე, რომელიც აღინიშნება K-თი. PP_1-ს აღნიშნავენ $Б$-თი და ეწოდება ბისექტრისა (მანძილი კუთხის წვეროდან მრუდის შუა წერტილამდე). უნდა ვიცოდეთ აგრეთვე D მინაზომი, რომელიც წარმოადგენს ორი მხების და მრუდის სიგრძის სხვაობას. ე.ი. $D = 2T - K$. სიმრუდის რადიუსი წინასწარაა მოცემული, ხოლო α-ს განვსაზღვრავთ თეოდოლიტით. გამოვთვალოთ მრუდის დამახასიათებელი ელემენტები. ნახაზიდან

$$T = R \cdot tg\frac{\alpha}{2} \qquad (14.5.1);$$

$$Б = OP - R = R\left(Sec\frac{\alpha}{2} - 1\right) = \frac{2R\sin^2\frac{\alpha}{4}}{\cos\frac{\alpha}{2}} \approx \frac{T^2}{2R} \qquad (14.5.2);$$

მრუდის სიგრძე არის K; $\quad \frac{K}{2\pi R} = \frac{\alpha}{360^o}$; $\quad K = \frac{2\pi R\alpha}{360^o} = \frac{\pi R\alpha}{180^o} = \frac{R\alpha}{\rho}$ (14.5.3);

$$D = 2T - K; \qquad \gamma = 90^o + \frac{\alpha}{2};$$

პიკეტაჟის გამოთვლის შემოწმება

ვთქვათ გაზომვებით მივიღეთ $\boldsymbol{T}=50$მ $\boldsymbol{K}=95$მ $\boldsymbol{D}=5$მ

$$\begin{array}{ll} By=(28)+10 & \mathrm{By}=(28)+10 \\ -\ \underline{T=(0)+50} & +\ \underline{\mathrm{T}=(0)+50} \\ HK=(27)+60 & \quad =(28)+60 \\ +\ \underline{K=(0)+95} & -\ \underline{\mathrm{D}=(0)+05} \\ KK=(28)+55 & \mathrm{KK}=(28)+55 \end{array}$$

თუ რელიეფი რთულია, მაშინ საჭიროა უფრო დაწვრილებით დაკვალვის ჩატარება. მრუდის დეტალურად დაკვალვისათვის არსებობს სამი ხერხი:

1) მართობების ხერხი
2) კუთხეების ხერხი
3) წაგრძელებული ქორდების ხერხი

ა) მართობების ხერხი

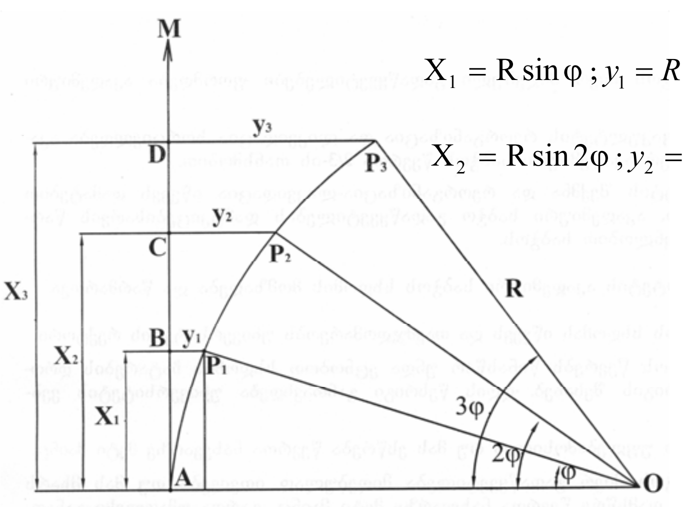
ვთქვათ მრუდზე, რომლის რადიუსია R, საჭიროა $P_1, P_2, P_3 \ldots$ წერტილების დანიშვნა ისე, რომ მათ შორის მრუდწირული მანძილი უდრიდეს K-ს (ნახ. 182). ამ მიზნით AM მხები მივიღოთ აბსცისის ღერძად, AO ორდინატის ღერძად. A წერტილი კი ღერძის დასაწყისად. მაშინ, $P_1, P_2, P_3 \ldots$ წერტილების მდებარეობა მრუდზე შეიძლება განისაზღვროს მართკუთხა კოორდინატებით (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), ამ მიზნით განვსაზღვროთ K-მრუდწირული მანძილის შესაბამისი φ კუთხის სიდიდე. გასაგებია, რომ

$$\frac{\varphi}{K}=\frac{360^\circ}{2\pi R} \quad \text{აქედან} \quad \varphi=\frac{K}{R}\cdot\frac{180^\circ}{\pi} \qquad (14.5.4)$$

(ნახ. 182)-დან გვექნება

$$X_1 = R\sin\varphi\,; y_1 = R - R\cos\varphi = R(1-\cos\varphi) = 2R\sin^2\frac{\varphi}{2} \qquad (14.5.5)$$

$$X_2 = R\sin 2\varphi\,; y_2 = R - R\cos 2\varphi = R(1-\cos 2\varphi) = 2R\sin^2\varphi \qquad (14.5.6)$$



ნახ. 182

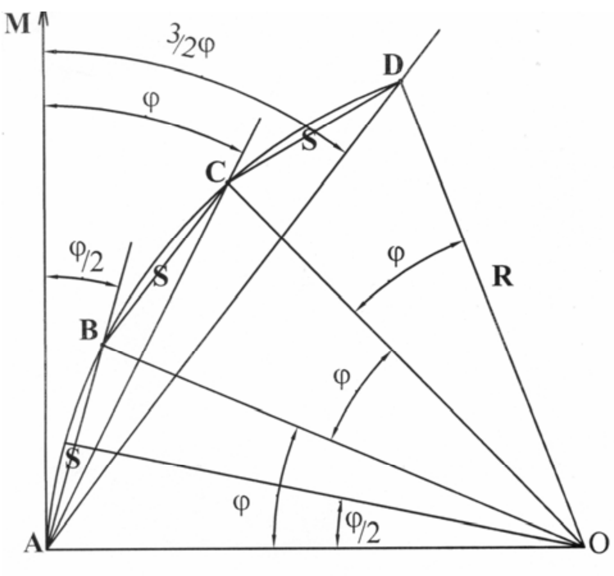
მცირე რადიუსის შემთხვევაში X-აბსცისების მნიშვნელობებს გადავზომავთ მხების მიმართულებით, ხოლო B, C და D წერტილებიდან აღმართული მარ-

თობების მიმართულებით y_1, y_2 და y_3 კოორდინატების გამოთვლილ მნიშვნელობებს. მრუდზე მიღებული წერტილები იქნება: P_1, P_2, P_3.

როცა რადიუსი R დიდია, მაშინ X აბსცისი შესაბამისი რკალისგან მცირედ განსხვავდება. ამიტომ, უფრო მოსახერხებელია პრაქტიკულად X ღერძის გასწვრივ გადავზომოთ არა აბსცისთა მნიშვნელობა, არამედ ე.წ. „მრუდი უაბსცისოდ“. K-X. ამისათვის X ღერძზე გადაიზომება K-რკალის სიგრძე და შემდეგ საწინააღმდეგო მიმართულებით (უკან) მოვზომავთ რკალის ბოლო წერტილიდან K-X სიგრძეს და მიღებულ წერტილში აბსცისათა ღერძის მართობ მიმართულებაზე ხვეულათი გადაზომავენ y სიგრძეს. მიღებული წერტილი იქნება მრუდზე.

მართობების ხერხით მრუდზე P_1, P_2, P_3... წერტილები მიიღება ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად. ამის გამო შეცდომების დაგროვება არ ხდება. ამ ხერხის ღირსებაც სწორედ ამაში გამოიხატება.

ბ) კუთხეების ხერხი



ნახ. 183

ეს მეთოდი გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როცა დაკვალვა მართკუთხა კოორდინატების წესით მოუხერხებელია. ამ მეთოდის არსი შემდეგში მდგომარეობს: ვთქვათ, გვინდა მრუდის დასაწყისიდან, რომლის რადიუსია R, აღვნიშნოთ მასზედ რამოდენიმე წერტილი A, B, C, D, რომლებიც დაშორებული არიან ერთმანეთისაგან S სიგრძის ქორდით (ნახ. 183). ამისათვის განსაზღვრავენ S ქორდის შესაბამის ცენტრალურ კუთხე φ-ს შემდეგნაირად:

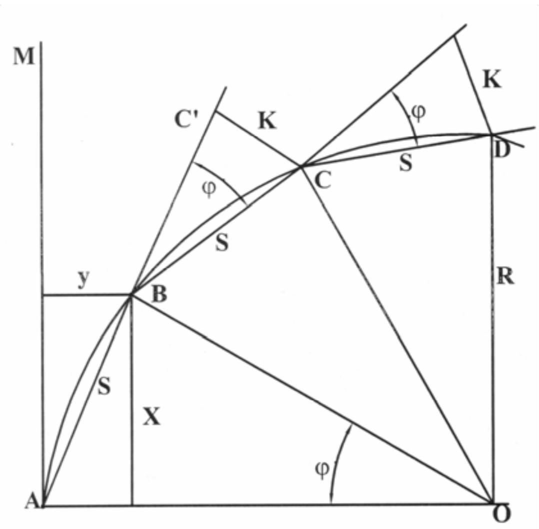
$$\frac{S}{2} = R \cdot \sin\frac{\varphi}{2} \qquad \text{აქედან} \qquad \sin\frac{\varphi}{2} = \frac{S}{2R} \qquad (14.5.7)$$

აქედან გამომდინარე ცენტრალური კუთხის ნახევარს ან კუთხეს, მხებსა და მკვეთს შორის განსაზღვრავენ (7) გამოსახულებით. თუ ცნობილია S (ქორდა) და R (რადიუსი), მრუდის საწყის A წერტილში დგამენ თეოდოლიტს. ინსტრუმენტს მოიყვანენ მომწესობაში. ლიმბის ნულს შეუთავსებენ წრედ-ალიდადის ნულს და

წრედ-ალიდადას დაამაგრებენ. აუშვებენ ლიმბს და ჭოგრს უმიზნებენ M წერტილს. ამ დროს დაამაგრებენ ლიმბს, აუშვებენ ალიდადას და AM მიმართულებიდან გადაზომავენ კუთხეს, რომელიც ტოლია $\frac{\varphi}{2}$-ის და ჭოგრში მზერის დროს ამ მიმართულებით გადაზომავენ ქორდას, რითაც მიიღებენ მრუდის B წერტილს. ახლა, თუ ანათვალს ლიმბზე გაადიდებენ $\frac{\varphi}{2}$-კუთხით, მიიღებენ ჭოგრის ახალ მდებარეობას, რომელიც მიმართული იქნება C წერტილისაკენ. რის შედეგადაც B წერტილიდან მოზომავენ ჭოგრის მზერის ღერძის მიმართულების გადაკვეთამდე S (ქორდის) სიგრძეს და მიიღებენ მრუდის C წეტრილს. ასე აგრძელებენ დაკვალვას საბოლოო შედეგის მიღებამდე. A, B, C, D წერტილებში ჩაასობენ პალოებს.

ამ ხერხის უარყოფითი მხარე ის არის, რომ შუალედი წერტილების რაოდენობის ზრდასთან ერთად, იზრდება მრუდზე წერტილების მდებარეობის განსაზღვრის შეცდომა.

ბ) წაგრძელებული ქორდების მეთოდი



ნახ. 184

ამ მეთოდით მრუდის დაკვალვის შემთხვევაში იქცევიან შემდეგნაირად: მრუდის დასაწყის A წერტილში (ნახ. 184) მხების მიმართულებას დანიშნავენ თეოდოლიტით ან გონიომეტრით. შემდეგ შეირჩევენ ქორდის სიგრძეს (10მ ან 20მ) და გამოთვლიან მრუდის B წერტილის (x და y) კოორდინატებს შემდეგი ფორმულებით

$$x = R\sin\varphi \tag{14.5.8}$$

$$y = 2R\sin^2\frac{\varphi}{2} \tag{14.5.9}$$

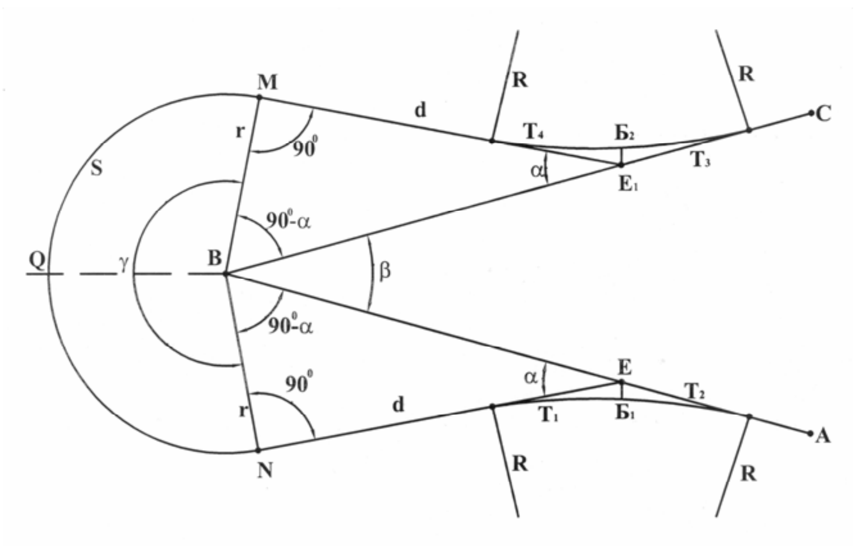
სადაც φ-არის S-ქორდის შესაბამისი ცენტრალური კუთხე. თუ R მოცემულია, φ-ადვილად განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით: $\sin\frac{\varphi}{2}=\frac{S}{2R}$, ამის შემდეგ

საჭიროა იანგარიშონ ე.წ. K შუალედი გადაადგილება. მისი სიდიდე განისაზღვრება ტოლფერდა C'BC და AOB სამკუთხედებიდან. ამ სამკუთხედებში $\angle C'BC = \angle AOB = \varphi$, ე.ი. ისინი მსგავსია.

აქედან გამომდინარე $\frac{K}{S} = \frac{S}{R}$, მაშინ $K = \frac{S^2}{R}$, B წერტილის y კოორდინატის სიდიდე (რომელსაც კიდურ გადაადგილებებს უწოდებენ), შეადგენს შუალედი გადაადგილების ნახევარს. ე.ი. $y = \frac{K}{2}$, თვით დაკვალვის თანმიმდევრობა ადგილზე სრულდება შემდეგნაირად: მრუდის A საწყისი წერტილიდან მხების მიმართულებაზე მოვზომავთ X-სიდიდეს და მის მართობულად კი გადავზომავთ y-ს. მივიღებთ მრუდის B წერტილს. თუ B წერტილიდან ქორდის მიმართულებას გავაგრძელებთ და მასზე მოვზომავთ S-ქორდის სიგრძეს, მივიღებთ C'-წერტილს. ახლა საჭიროა B-წერტილიდან (რომელსაც ცენტრად ვიღებთ) მოვხაზოთ S ქორდის ტოლი რადიუსით რკალი და C'-წერტილიდან ხვეულათი გადავზომოთ K-ს მნიშვნელობა. მათი ურთიერთ გადაკვეთით მივიღებთ მრუდის საძიებელ C წერტილს. ასე ვაგრძელებთ დაკვალვას დანარჩენი წერტილების მრუდზე მისაღებად.

ეს ხერხი სხვა ხერხებთან შედარებით ნაკლებ სიზუსტეს იძლევა, მაგრამ მიუხედავად ამისა, მისი მოხერხებულად გამოყენება შეიძლება შეზღუდულ ადგილებში (მაგ. გვირაბში ან მთაგორიან ვიწრო ადგილებში).

დ) სერპანტინი



ნახ. 185

ვთქვათ AC მიდამოში შეუძლებელია დაკვალვის წარმოება β კუთხის სიმცირის გამო და იძულებული ვართ წინააღმდეგობას შემოვუაროთ (მაგ. ხევის

ან დაბრკოლების გამო). ამას ქვია სერპანტინი, ე.ი. სერპანტინი არის სწორებისა და შებრუნებული მრუდეების ერთობლიობა.

ველზე ვზომავთ β-კუთხეს, ხოლო წინასწარ მოცემული იქნება r, d და R.

r – ძირითადი მრუდის რადიუსია,

R – შებრუნებული მრუდის რადიუსია,

d – ძირითად და შებრუნებულ მრუდებს შორის მოთავსებული სწორი უბანი.

ამ რადიუსებს გვაძლევენ რელიეფისა და სამუშაოს (გზა, არხი) მიხედვით, α-არის მოხვევის კუთხე. როგორც უკვე ვიცით

$$T = Rtg\frac{\alpha}{2}, \qquad K = \frac{\alpha}{\rho}\cdot R, \tag{14.5.10}$$

$$Б = R\left(Sec\frac{\alpha}{2} - 1\right), \qquad D = 2T - K, \tag{14.5.11}$$

$$\Delta NBE\text{-დან} \quad tg\alpha = \frac{r}{d+T}, \tag{14.5.12}$$

(14.5.10)-დან T-ს მნიშვნელობა შევიტანოთ (14.5.12)-ში, მივიღებთ

$$tg\alpha = \frac{r}{d + Rtg\frac{\alpha}{2}}. \tag{14.5.13}$$

(14.5.13) განტოლების ორივე მხარე გავამრავლოთ $\left(d + Rtg\frac{\alpha}{2}\right)$-ზე მივიღებთ:

$$tg\alpha\left(d + Rtg\frac{\alpha}{2}\right) = r \qquad dtg\alpha + Rtg\alpha tg\frac{\alpha}{2} = r, \tag{14.5.14}$$

$tg\alpha = \dfrac{2tg\frac{\alpha}{2}}{1 - tg^2\frac{\alpha}{2}}$. $tg\alpha$-ის ეს მნიშვნელობა შევიტანოთ (14.5.14) გამოსახულებაში,

მივიღებთ
$$\frac{2dtg\frac{\alpha}{2}}{1 - tg^2\frac{\alpha}{2}} + \frac{2Rtg^2\frac{\alpha}{2}}{1 - tg^2\frac{\alpha}{2}} = r.$$

ამ განტოლების ორივე მხარე გავამრავლოთ $\left(1 - tg^2\frac{\alpha}{2}\right)$-ზე, მივიღებთ:

$$2dtg\frac{\alpha}{2} + 2Rtg^2\frac{\alpha}{2} = r\left(1 - tg^2\frac{\alpha}{2}\right),$$

$$2dtg\frac{\alpha}{2} + 2Rtg^2\frac{\alpha}{2} = r - rtg^2\frac{\alpha}{2},$$

$$2dtg\frac{\alpha}{2}+2Rtg^2\frac{\alpha}{2}+rtg^2\frac{\alpha}{2}-r=0,$$

$$(2R+r)tg^2\frac{\alpha}{2}+2dtg\frac{\alpha}{2}-r=0.$$

ამოვხსნათ $\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}$-ის მიმართ

$$\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}=\frac{-\mathrm{d}\pm\sqrt{\mathrm{d}^2+(2\mathrm{R}+\mathrm{r})\mathrm{r}}}{2\mathrm{R}+\mathrm{r}},$$

აქედან გავიგებთ α-ს. $\mathrm{BE}=\frac{\mathrm{r}}{\sin\alpha}$;

β-კუთხე იზომება ადგილზე თეოდოლიტით. $\gamma=360^{\circ}-2(90^{\circ}-\alpha)-\beta=180^{\circ}+2\alpha-\beta$

თვით დაკვალვა სრულდება შემდეგნაირად: უპირველეს ყოვლისა, უნდა განისაზღვროს ადგილზე S მრუდის მდებარეობა. ძირითადი მრუდის N წერტილის მისაღებად თეოდოლიტით ვდგებით B წვეროზე, ჭოგრს მივმართავთ A წერტილისაკენ და ლიმბს დავამაგრებთ. შემდეგ მარტო ალიდადის ბრუნვით ჭოგრს შევატრიალებთ $(90^{\circ}-\alpha)$-თი (ვერნიერზე სათანადო ანათვლის აღებით). ამ შემთხვევაში ჭოგრის მზერის ღერძი იქნება მიმართული N წერტილისაკენ და თუ ამ მიმართულებით გადავზომავთ r-რადიუსის სიგრძეს, მივიღებთ თვით N წერტილს. ანალოგიურად, BC ხაზთან დაკავშირებით მივიღებთ ძირითადი მრუდის M წერტილს. თუ ჭოგრს მივცემთ β-კუთხის ბისექტრისის მიმართულებას და მას გადავიტანთ ზენიტზე, მაშინ ჭოგრი მიიღებს მიმართულებას Q წერტილისაკენ და თუ ამ მიმართულებით გადავზომავთ r-ის მნიშვნელობას, მივიღებთ Q წერტილს (ძირითადი მრუდის შუა წერტილს).

ამის შემდეგ B წვეროდან A და C მიმართულებით გადავზომავთ BE სიგრძეს. ადგილზე მივიღებთ E და E_1 წერტილებს (α კუთხის წვეროებს), შემდეგ E და E_1 წვეროებიდან ორივე მხარეზე გადავზომავთ ტანგენსებს და ადგილზე მივიღებთ შებრუნებული მრუდეების T_1T_2 და T_3T_4 წერტილებს.

აგრეთვე, E და E_1 წერტილებიდან ბისექტრისის მიმართულებით გადავზომავთ $Б$-მნიშვნელობას და მივიღებთ მრუდის შუა $Б_1$ და $Б_2$ წერტილებს. ამრიგად, ადგილზე მივიღებთ სერპანტინის მთავარ წერტილებს, ე.ი. მოვახდენთ მის დაკვალვას.

14.6. ბარომეტრული ნიველობა

როგორც ადრე აღვნიშნეთ, ნიველობა არის მოქმედებათა ერთობლიობა, რომლის საშუალებითაც განისაზღვრება წერტილთა შორის სიმაღლეთა სხვაობა.

ფიზიკური ხერხით შეგვიძლია ნებისმიერ წერტილზე წნევის განსაზღვრა. ვინაიდან, სხვადასხვა სიმაღლეზე წნევა სხვადასხვაა, ამიტომ წნევათა სხვაობებით შეგვიძლია სიმაღლეთა სხვაობების გამოთვლა.

ბარომეტრული ნიველობა არის ნიველობა ჰაერის წნევის განსაზღვრის საშუალებით. იმისათვის, რომ გამოვიყვანოთ ფორმულა სიმაღლეთა სხვაობის გამოსათვლელად, გავიხსენოთ სხვადასხვა კანონები ფიზიკიდან.

ვიცით, რომ ჰაერი წარმოადგენს სხვადასხვა აირების ერთობლიობას, ე.ი. აირები ქიმიურად განზავებულები არ არიან, მაგრამ ცალ-ცალკე თითეულს თავიანთი წნევები აქვთ (პარციალური წნევები), გარდა ამისა, გვხვდება შემთხვევები, როდესაც ტემპერატურა უცვლელია, მაგრამ წნევა იცვლება, აგრეთვე პირიქითაც. ჩვენ უნდა გავითვალისწინოთ ბუნების ყოველგვარი მოვლენები.

I-დალტონის კანონი. თუ გაზები ქიმიურად განზავებულები არ არიან, მაშინ საერთო წნევა უდრის პარციალურ წნევათა ჯამს ე.ი.

$$\boldsymbol{P} = \boldsymbol{P}_1 + \boldsymbol{P}_2 + \boldsymbol{P}_3 + \cdots + \boldsymbol{P}_{\boldsymbol{n}} \qquad (14.6.1)$$

II-ბოილ-მარიოტის კანონი. მუდმივი ტემპერატურის დროს სიმკვრივე პირდაპირ პროპორციულია წნევისა და უკუპროპორციულია მოცულობის (ეს ხდება იდეალურ გაზებში). ე.ი. ტემპერატურა იყო T_0, დარჩა T_0, წნევა იყო P_0, გახდა P, სიმკვრივე იყო Δ_0, გახდა Δ_i, მოცულობა იყო υ_0, გახდა υ_1. ბოილ-მარიოტის კანონის შესაბამისად შეგვიძლია დავწეროთ

T_0	P_0	Δ_0	υ_0
T_0	P	Δ i	υ_1

$$\frac{P_0}{P} = \frac{\Delta_0}{\Delta_i} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_0} \qquad (14.6.2)$$

ამ პროპორციიდან განვსაზღვრავთ υ_1.

$$\upsilon_1 = \frac{P_0}{P} \cdot \upsilon_0 \qquad (14.6.3)$$

მე-3 ფორმულა წარმოადგენს დალტონისა და ბოილ-მარიოტის გაერთიანებულ კანონს.

III-გეი-ლუსაკის კანონი. მუდმივი წნევის დროს მოცულობა პირდაპირ პროპორციულია ტემპერატურისა.

P	T_0	υ_1
P	T	υ

კანონის თანახმად $\upsilon = \upsilon_1(1 + \varepsilon T)$, (14.6.4)

სადაც $\varepsilon = \frac{1}{273}$ არის გაზების გაფართოების კოეფიციენტი.

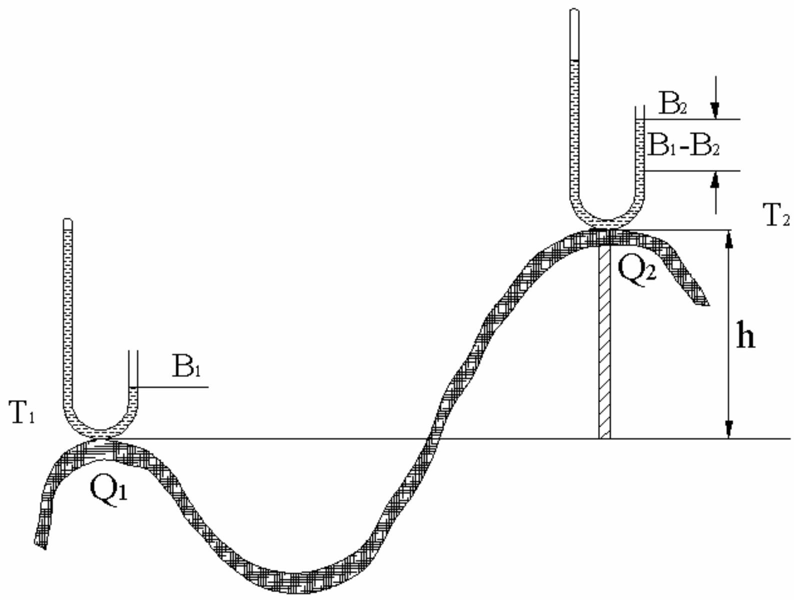
გავაერთიანოთ ეს კანონები. შევიტანოთ υ_1-ის მნიშვნელობა (14.6.3) ფორმულიდან

(14.6.4) ფორმულაში. გვექნება, $\upsilon = \frac{P_0}{P}\upsilon_0(1+\varepsilon T)$, ამ ტოლობის ორივე მხარე გავყოთ υ_0-ზე მივიღებთ $\frac{\upsilon}{\upsilon_0} = \frac{P_0}{P}(1+\varepsilon T)$ აქ (14.6.2) ფორმულიდან შევიტანოთ მოცულობების შეფარდების მნიშვნელობა, მივიღებთ:

$$\frac{\Delta_0}{\Delta} = \frac{P_0}{P}(1+\varepsilon T) \qquad \text{აქედან} \qquad \Delta = \frac{P}{P_0}\Delta_0\frac{1}{1+\varepsilon T} \tag{14.6.5}$$

(14.6.5) ფორმულა არის კლაპეირონ-მენდელეევის ფორმულა, რომელიც აერთიანებს სამივე კანონს, ე.ი. ამყარებს დამოკიდებულებას სიმკვრივესა, წნევასა და ტემპერატურას შორის.

განვიხილოთ 186-ე ნახაზი.



ნახ. 186

ჩვენს მიზანს შეადგენს h-ის განსაზღვრა. ფორმულის გამოსაყვანად უნდა გავაკეთოთ სამი დაშვება:

I-დაშვება. თითქოს Q_1 და Q_2 წერტილები ერთ ვერტიკალზე მდებარეობენ (ასეთი შემთხვევა ბუნებაში არის).

II-დაშვება. თითქოს ორივე წერტილზე ანათვლის აღება ერთსა და იმავე დროს ხდება (სინამდვილეში წინასწარ ხდება დროის დაწესება, ვთქვათ 12 საათზე ავიღოთ ანათვალი).

III-დაშვება. თითქოს წერტილებზე ანათვლების აღების დროს წნევა მუდმივია.

მუშაობის თანმიმდევრობა: Q_1 და Q_2 წერტილებში ვდგებით ბარომეტრებით და ვიღებთ ანათვლებს. ბარომეტრები სინდიყიანია და ანათვლები ზევიდან ქვევით იზრდება.

ცხადია, ანათვალი დაბალ Q_1 წერტილში უფრო დიდი იქნება, ვიდრე მაღალ Q_2 წერტილში. ანათვალთა შორის სხვაობა B_1–B_2 არის სინდიყის სვეტის სხვაობა, გამოწვეული წნევათა სხვადასხვაობით.

გავიხსენოთ ზიარჭურჭლების კანონიც. ვიცით, რომ ზიარჭურჭლებში სხვადასხვა სიმკვრივის მქონე გაზებისა თუ სითხეების წონასწორობის დროს მათი სიმაღლეები ისე შეეფარდებიან ერთმანეთს, როგორც მათი სიმკვრივეები.

$$\frac{h}{B_1 - B_2} = \frac{q}{\Delta}, \tag{14.6.6}$$

სადაც q-არის სინდიყის სიმკვრივე, Δ-კი ჰაერის სიმკვრივე.

(14.6.6) ფორმულიდან განვსაზღვროთ h. $h = \frac{q}{\Delta}(B_1 - B_2)$. თუ ამ ფორმულაში შევიტანოთ ცნობილ მნიშვნელობებს q–სინდიყის სიმკვრივე =13.6; Δ-ჰაერის სიმკვრივეს (14.6.5) ფორმულიდან, მივიღებთ

$$h = \frac{qP_0}{P\Delta_0}(1 + \varepsilon T)(B_1 - B_2), \tag{14.6.7}$$

აქ P_0– წნევაა ზღვის დონეზე (საწყისი წნევა) =760 მმ

Δ_0 – ჰაერის სიმკვრივეა ზღვის დონეზე

$q = 13.6$

$$\text{P-კი უდრის } P = \frac{B_1 + B_2}{2}. \tag{14.6.8}$$

ბარომეტრით მუშაობის დროს ვიღებთ ტემპერატურულ ანათვლებსაც T_1 და T_2-ს. საშუალო ტემპერატურა $T = \frac{T_1 + T_2}{2}$.

თუ (14.6.7) ფორმულაში შევიტანთ P-ს მნიშვნელობას, მე-(14.6.8) ფორმულიდან გვექნება

$$h = \frac{2qP_0}{\Delta_0}(1 + \varepsilon T)\frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2}. \tag{14.6.9}$$

გამოსახულებაში $\frac{2qP_0}{\Delta_0}$ ყველა სიდიდე ცნობილია, ამიტომ შეგვიძლია შემოვიტანოთ აღნიშვნა $\frac{2qP_0}{\Delta_0} = K$, მაშინ (14.6.9) ფორმულა გადაიწერება ასე:

$$h = K(1+\varepsilon T)\frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2} \quad (14.6.10)$$

ეს არის ფრანგი ფიზიკოსის ბაბინეს ფორმულა. (14.6.10) ფორმულაში შევიტანოთ აღნიშვნა $K(1+\varepsilon T)\frac{1}{B_1 + B_2} = \Delta H$ და ΔH ვუწოდოთ სიმაღლის ბარომეტრული საფეხური. ე.ი. ბარომეტრზე ანათვალი 1მმ-ით რომ შეიცვალოს, წერტილებს შორის სხვაობა უნდა იყოს რამდენიმე მეტრი. პრაქტიკულად იგი დაახლოებით 10-11 მეტრს უდრის. ე.ი. 1მმ-ით რომ შეიცვალოს ბარომეტრზე ანათვალი 10-11 მეტრით ზევით (ან ქვევით) უნდა ავიდეთ. (14.6.10) ფორმულა მიიღებს სახეს

$$h = \Delta H(B_1 - B_2) \quad (14.6.11)$$

არსებობს სხვადასხვა ცხრილი მათ გამოსათვლელად. ახლა (14.6.11) ფორმულას მივცეთ ლოგარითმული სახე. გავიხსენოთ მათემატიკიდან მწკრივების დაშლა.

$\lambda g\frac{1+x}{1-x} = M_{10}\cdot 2x \approx 2M_{10}x$ (დაწვრილებით ნ. თევზაძის „საინჟინრო გეოდეზიის“ მე-3 ტომში არის განხილული).

ვთქვათ $X = \frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2}$, მაშინ $\lambda g\frac{1+\frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2}}{1-\frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2}} = \lambda g\frac{B_1}{B_2} = 2M_{10}\cdot\frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2}$, აქედან

$\frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2} = \frac{1}{2M_{10}}\lambda g\frac{B_1}{B_2}$ ბაბინეს ფორმულაში (14.6.10)-ში შევიტანოთ ეს მნიშვნელობა, მივიღებთ:

$$h = \frac{K}{2M_{10}}(1+\varepsilon T)\lambda g\frac{B_1}{B_2}.$$

ამ გამოსახულებაში $\frac{K}{2M_{10}}$ - ცნობილი სიდიდეა, ამიტომ აღვნიშნოთ $\frac{K}{2M_{10}} = N$, მაშინ

$$h = N(1+\varepsilon T)\cdot\lambda g\frac{B_1}{B_2}, \quad (14.6.12)$$ ეს არის ლოგარითმული სახე.

ამ ფორმულას აძლევენ აგრეთვე ცხრილურ სახესაც. ამისათვის გადავწეროთ (14.6.12) ფორმულა ასე

$$h = N(1+\varepsilon T_0)\frac{1+\varepsilon T}{1+\varepsilon T_0}(-\lambda g760 + \lambda g B_1 + \lambda g760 - \lambda g B_2), \quad (14.6.13)$$

აქ T_0-საშ. ტემპერატურაა, ე.ი. ცნობილი სიდიდეა. (14.6.13) ფორმულიდან ამოვიღოთ წევრი $\frac{1+\varepsilon T}{1+\varepsilon T_0}$ და გარდავქმნათ ასე

$$\begin{aligned}\frac{1+\varepsilon T}{1+\varepsilon T_0} &= (1+\varepsilon T)\frac{1}{1+\varepsilon T_0} = (1+\varepsilon T)(1-\varepsilon T_0+\varepsilon^2T_0^2-\varepsilon^3T_0^3+\cdots) = \\ &= 1-\varepsilon T_0+\varepsilon^2T_0^2-\varepsilon^3T_0^3+\varepsilon T-\varepsilon^2TT_0+\varepsilon^3TT_0^2-\varepsilon^4TT_0^3 = \\ &= 1+(\varepsilon-\varepsilon^2T_0+\varepsilon^3T_0^2)(T-T_0) = 1+\gamma(T-T_0),\end{aligned}$$

სადაც $(\varepsilon-\varepsilon^2T_0+\varepsilon^3T_0)$ გამოსახულებაში ყველა სიდიდე ცნობილია, ამიტომ აღვნიშნოთ γ-თი. მიღებული მნიშვნელობა შევიტანოთ (14.6.13) ფორმულაში. მივიღებთ

$$h = N(1+\varepsilon T_0)(-\lambda g760+\lambda gB_1+\lambda g760-\lambda gB_2)[1+\gamma(T-T_0)].$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნები: $(\boldsymbol{H}_1) = \boldsymbol{N}(1+\varepsilon\boldsymbol{T}_0)\lambda\boldsymbol{g}\frac{760}{\boldsymbol{B}_1}$,

$$(H_2) = N(1+\varepsilon T_0)\lambda g\frac{760}{B_2}.$$

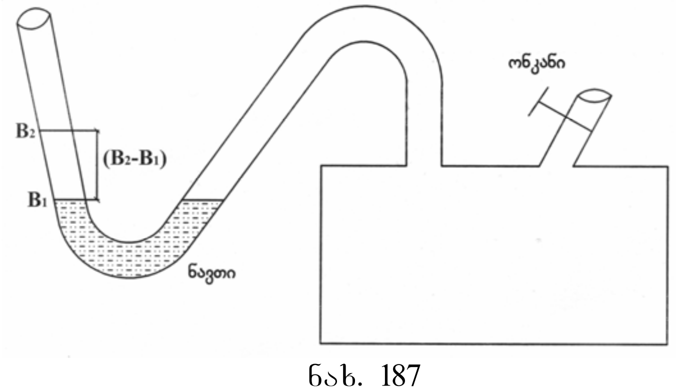
(H_1) არის I-წერტილის მიახლოებითი ალტიტუდი, ე.ი. მიახლოებითი სიმაღლე ზღვის დონიდან. (H_2)-კი II-წერტილისა. თუ შევიტანთ ამ აღნიშვნებს, გვექნება

$$\boldsymbol{h} = [(\boldsymbol{H}_2)-(\boldsymbol{H}_1)][1+\gamma(\boldsymbol{T}-\boldsymbol{T}_0)] = (\boldsymbol{H}_2)+(\boldsymbol{H}_2)\cdot\gamma(\boldsymbol{T}-\boldsymbol{T}_0)-(\boldsymbol{H}_1)-(\boldsymbol{H}_1)\cdot\gamma(\boldsymbol{T}-\boldsymbol{T}_0);$$

ე.ი. $$h = [(H_2)-(H_1)]+\gamma[(H_2)-(H_1)](T-T_0) \qquad (14.6.14)$$

<u>(14) ფორმულა არის მიახლოებითი ალტიტუდების საშუალებით წერტილთა შორის სიმაღლეთა სხვაობის გამოსათვლელი (აქ T_0-ნებისმიერი დათქმული რიცხვია. ვთქვათ 15° და მისგან გამოითვლება დანარჩენები).</u>

ა) დიფერენციალური ბარომეტრი



ნახ. 187

თავის დროზე მენდელეევმა მოგვაწოდა დიფერენციალური ბარომეტრი შემდეგი კონსტრუქციისა (ნახ. 187).

I წერტილში გავაღებთ ონკანს, ჰაერი მიაწვება მილში ნავთს და გაჩერდება რაღაც B_1

ანათვალზე. შემდეგ ვკეტავთ ონკანს. გადავიტანთ II წერტილში, ანათვალი უკვე იცვლება და ხდება B_2 (II წერტილში ონკანს არ ვაღებთ).

სხვაობა B_1-B_2 შეადგენს წნევათა სხვაობას. მენდელეევის ბარომეტრი იმდენჯერ ზუსტია სინდიყის ბარომეტრზე, რამდენჯერაც სინდიყის სიმკვრივე მეტია ნავთობის სიმკვრივეზე. ЦНИГАИК-ში გააკეთეს ბარომეტრი, რომელიც მოსახმარებლად მეტად კარგია, რადგან მოცულობით პატარაა.

ბ) ანეროიდი

რადგან სინდიყიანი ბარომეტრი ძნელი გამოსაყენებელია, ამიტომ საჭირო შეიქმნა უსინდიყო ბარომეტრის შექმნა – მას ანეროიდი უწოდეს.

ანეროიდში ჰაერი ამოტუმბულია, მაგრამ ვინაიდან აბსოლუტურ ამოტუმბვას ვერ ახერხებენ, რაღაც ნარჩენი ჰაერისა მაინც არის შიგ, ე.ი. არის მისი ტემპერატურაც, რასაც აჩვენებს შიგ ანეროიდში მოთავსებული თერმომეტრი. გარდა ამისა დრეკადობის კანონის თანახმად, ლითონს აქვს თვისება, რომელიც პროპორციულად არ გადაადგილებს ისარს, მაშინ როდესაც ანეროიდის შკალაზე დანაყოფები დანიშნულია ურთიერთ ტოლები. ე.ი. რომ მივიღოთ ანეროიდით სწორი ანათვალი წნევისა, ამისათვის ანეროიდზე ანათვალში უნდა შევიტანოთ აღნიშნული შესწორებები.

ვსარგებლობთ შემდეგი ემპირიული ფორმულით

$$\boldsymbol{B} = \boldsymbol{A} + \boldsymbol{bt} + \boldsymbol{C}(760 - \boldsymbol{A}) + \boldsymbol{a} \qquad (14.6.15)$$

ამ ფორმულაში A – ანეროიდზე აღებული ანათვალია;

bt – შესწორება შიგა ტემპერატურისათვის,

სადაც t – შიგა ტემპერატურაა;

b – ტემპერატურული კოეფიციენტი;

C – შესწორება სკალისათვის, სკალის კოეფიციენტი;

$\boldsymbol{a}$ – ანეროიდის მდგომარეობის შესწორება.

(14.6.15) ფორმულით ანეროიდზე აღებული ანათვალი გადაგვყავს ბარომეტრზე აღებულ ანათვალზე. აღნიშნული შესწორებებიდან ყველაზე დიდია $\boldsymbol{a}$ – შესწორება.

როდესაც, ერთდროულად ვიღებთ ანათვლებს ბარომეტრზე და ანეროიდზე, ანათვალში შეგვაქვს შესწორებები bt და C, გარდა ამისა ანათვლები მაინც

განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან და ეს განსხვავება არის სწორედ $\boldsymbol{a}$-ანეროიდის მდგომარეობის შესწორება.

ვთქვათ, არა გვაქვს პასპორტი ანეროიდისათვის და გვინდა განვსაზღვროთ ეს შესწორებები. ამისათვის ვიქცევით ასე. ოთახში (I-სართულზე) ვიღებთ ანათვალს ანეროიდზე, (ჰაერის ტემპერატურა ოთახში t_1-ია), გამოვითვლით

$$B_1 = A_1 + bt_1 + C(760 - A_1) + a\,,$$

შემდეგ გამოვდივართ გარეთ, გამოვიტანთ ანეროიდს, ვიღებთ ანათვალს (ჰაერის ტემპერატურა უკვე t_2-ია) გამოვითვლით.

$$B_2 = A_2 + bt_2 + C(760 - A_2) + a\,.$$

ახლა გამოვაკლოთ B_2-ს B_1-ი მივიღებთ

$$B_2 - B_1 = (A_2 - A_1) + b(t_2 - t_1) + C(A_1 - A_2) \qquad (14.6.16)$$

ამ გამოსახულებაში (A_1-A_2)-სხვაობა მხედველობაში არ არის მისაღები, რადგანაც სიმაღლეთა სხვაობა ოთახსა და ეზოს შორის დიდი არ გვექნება. ამიტომ (14.6.16) გამოსახულება გამარტივდება და მიიღებს ასეთ სახეს

$$b = \frac{(B_2 - B_1) - (A_2 - A_1)}{t_2 - t_1}$$ ე.ი. განვსაზღვრავთ b-ს.

ავიღოთ ანეროიდზე ანათვლები ისეთი პირობებისათვის, რომ არ გვქონდეს ტემპერატურული სხვაობა, არამედ გვქონდეს სიმაღლეთა სხვაობა. მაშინ ($t_2 - t_1$) – სხვაობას ვუგულვებელვყოფთ და იმავე (14.6.16) გამოსახულებიდან გვექნება

$$C = \frac{(B_2 - B_1) - (A_2 - A_1)}{A_1 - A_2}\,.$$

$\boldsymbol{a}$-ს განსაზღვრისათვის ვიყენებთ (14.6.15) ფორმულას, საიდანაც

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{B} - [\boldsymbol{A} + \boldsymbol{bt} + \boldsymbol{C}(760 - \boldsymbol{A})]\,.$$

მუშაობის წესი

ანეროიდით მუშაობის დროს უნდა გვახსოვდეს, რომ არ შეიძლება მცხუნვარე მზეში ანათვლის აღება, უნდა დავდგეთ ჩრდილში, ან ქოლგის ქვეშ, გავჩერდეთ დაახლოებით ნახევარი საათი და მხოლოდ ამის შემდეგ შეგვიძლია მუშაობის დაწყება.

ყოველ სადგურზე ვიღებთ 5 ცნობას: 1) დავიჭერთ შურდულა თერმომეტრს და დაახლოებით 2 წუთს ვატრიალებთ, ავიღებთ ანათვალს, გავაჩერებთ ცოტა ხანს და კიდევ ვატრიალებთ 1-წუთს, ისევ ვიღებთ ანათვალს. 2) ანეროიდს ზევიდან ვარტყამთ ხელს, რათა გამოვიდეს ინერციის მდგომარეობიდან, ავიღებთ

ანათვალს A-ს. 3) ავიღებთ ანეროიდის ტემპერატურას t-ს. 4) ავიღებთ ანათვალს საათზე. 5) გავზომავთ სიმაღლეს ანეროიდიდან მიწამდე. ამით მთავრდება სადგურზე მუშაობა.

რადგან ანეროიდისათვის ცნობილია b,C და a ვსაზღვრავთ A, ე.ი. შეგვიძლია გავიგოთ B (14.6.15) ფორმულიდან. აგრეთვე ვიცით T-ც, ამიტომ საბოლოოდ ვმუშაობთ (14.6.14) ფორმულით.

მუშაობის მეთოდი

გაზომვის წარმოება შეგვიძლია მოვახდინოთ ერთი ანეროიდითაც და ორითაც, უმჯობესია ორი ანეროიდით მუშაობა.

ერთი ანეროიდით მუშაობის დროს: პირველ წერტილზე ვიღებთ ანათვალს, შემდეგ მივდივართ და ყველა სადგურზე ვიღებთ ანათვალს. უკან დაბრუნებისასაც ყოველ სადგურზე ვიღებთ ანათვლებს, რა თქმა უნდა, საწყის I წერტილშიც ვიღებთ ანათვლებს. პირველი და ბოლო ანათვალი განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, რაც გამოწვეულია დროის სხვადასხვაობით. ამ განსხვავებას ანათვლებს შორის შემდეგ ვანაწილებთ ყოველი სადგურისათვის შებრუნებული ნიშნით.

როცა ვმუშაობთ ორი ანეროიდით: I სადგურზე ორივე ანეროიდით ერთდროულად ვიღებთ ანათვლებს, შემდეგ ერთი რჩება ამავე I სადგურზე, მეორე ტექნიკოსი კი მეორე ანეროიდით მიდის წინ. წინასწარ ვდებთ პირობას, რომ ვთქვათ ყოველ ნახევარ საათში ავიღოთ ანათვლები და ამიტომ ყოველ ნახევარ საათში ორივე ანეროიდზე აიღება ანათვლები.

ანათვალთა დამუშავების დროს ერთმანეთს ვადარებთ ერთსა და იმავე საათში მიღებულ ანათვლებს.

ორი ანეროიდით მუშაობით უფრო მეტი სიზუსტე მიიღწევა.

თანამედროვე ანეროიდებში მიიღება სხვაობა 1-დან 4-მეტრამდე. ე.ი. ანეროიდით წარმოებული მუშაობა საკმაოდ ტლანქია, მაგრამ ჩვენ ვიცით, რომ გეოდეზისტები ყოველთვის მუშაობენ აუცილებელი და საკმარისი სიზუსტით. რაიმე საინჟინრო სამუშაოების ჩასატარებლად, ვთქვათ გზის გაყვანის დროს, ნაგებობის აშენების დროს, ხიდების მშენებლობის დროს, საჭიროა ჩატარდეს პირველადი კვლევა-ძიებანი, რომელიც დიდ სიზუსტეს არ მოითხოვენ. სწორედ ასეთ სამუშაოთა ჩასატარებლად უფრო მეტი სიზუსტე, ვიდრე ანეროიდით მუშაობით მიიღწევა, საჭირო არ არის.

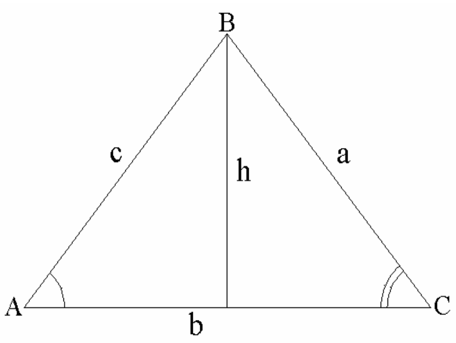
XV თავი

ფართობების გამოთვლა

საინჟინრო საქმეში ფართობების გამოთვლას მეტად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. არსებობს ფართობების გამოთვლის მრავალი მეთოდი, რომელთაგან ჩვენ მხოლოდ ზოგიერთს შევისწავლით:

1. გეომეტრიული ხერხი;
2. გრაფიკული ხერხი;
3. უჯრედიანი ქაღალდის ხერხი;
4. აწონვის ხერხი;
5. კოორდინატების (ანალიზური) ხერხი;
6. მექანიკური ხერხი (ამსლერ-კორადის პლანიმეტრით);

a) განვიხილოთ ფართობების გამოთვლა ანალიზური ხერხით, როდესაც საჭიროა ფართობის გამოთვლა სამკუთხედისათვის.



ნახ. 188

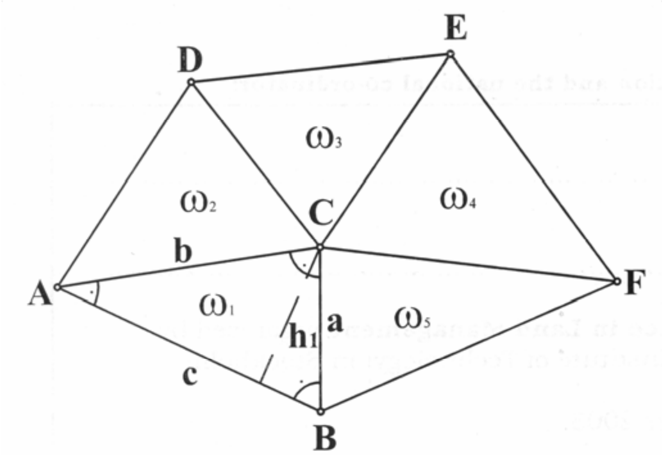
სამკუთხედის ფართობი ტოლია, თუ

$$F = \frac{bh}{2}$$ (ვიცით h და b);

$$F = \frac{bc}{2}\sin A$$ (ვიცით b,c და A)

$$F = \frac{b^2 \sin A \cdot \sin C}{2\sin B}$$ (ვიცით b,A და C, აქ B გამოთვლილია);

$$F = \sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)}$$ (ვიცით მარტო გვერდები, სადაც $P = \frac{a+b+c}{2}$).



ნახ. 189

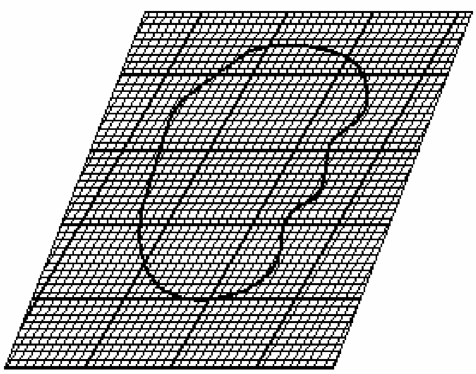
თუ გამოსათვლელი ფართობი შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ სამკუთხედებად (ან ცნობილ გეომეტრიულ ფიგურებად), გამოვითვლით ცალკეული სამკუთხედების ფართობებს და შემდეგ მათი ჯამი მოგვცემს საძიებელ ფართობს.

ფართობის გამოთვლაში ის შეცდომები შევა, რაც მისი

ელემენტების გაზომვის დროს შევიდნენ.

2. გრაფიკული ხერხით ფართობების გამოთვლის დროს გამოიყენება ადრე შედგენილი გეგმები. გეგმებიდან ამოიღებენ იმ ელემენტებს, რომლებიც საჭიროა ფართობების გამოსათვლელად. გრაფიკული ხერხი უფრო ტლანქია გეომეტრიულ ხერხთან შედარებით, რადგანაც მასში გარდა იმ შეცდომებისა, რომლებიც ანალიზური ხერხით ფართობების გამოთვლაში შედის, ემატება შეცდომები: ადგილზე გაზომილი მონაცემების ნახაზზე დატანისა, ნახაზის დეფორმაციისა და ნახაზიდან გრაფიკულად ელემენტების განსაზღვრისა.

3. უჯრედიანი ქაღალდის ხერხით ფართობების გამოთვლის დროს გამოიყენება გამჭვირვალე მილიმეტრებიანი ქაღალდი, რომელსაც ვაფარებთ გამოსათვლელი ფართობის ზედაპირის გეგმას.



ნახ. 190

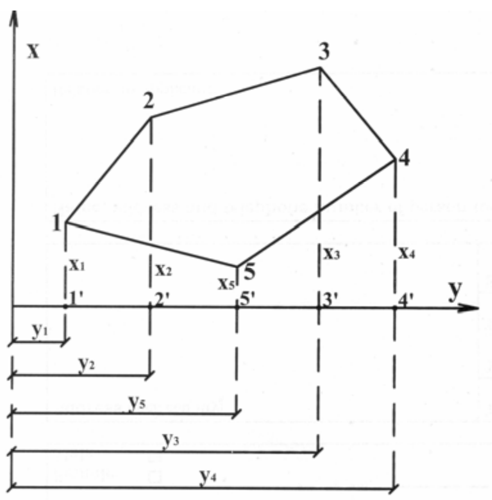
ვთქვათ, გეგმა შედგენილია $\frac{1}{5000}$ მასშტაბში ე.ი. ვიცით, რომ

1სმ^2 – 2500კვ.მ = $\frac{1}{4}$ ჰა.

1მმ^2 – 25მ^2

დავითვლით რამდენი უჯრედით დაიფარა, გამოსათვლელი ფართობი მთლიანი უჯრედებით და ნაწილობრივ დაფარულ უჯრედებს კი ვაფასებთ თვალით.

4. აწონვის ხერხით ფართობის გამოთვლა მდგომარეობს შემდეგში: ვიღებთ გამჭვირვალე ქაღალდს (ვასკოვკას), მოვჭრით განსაზღვრულ ფართს, ავწონით სააფთიაქო სასწორზე და ვთქვათ 100კვ.სმ გამოვიდა 100 გრამი ე.ი. 1სმ^2=1გრ. ახლა გადავიღებთ გეგმას ვასკოვკაზე, შემოვჭრით განსაზღვრულ ფართს, ავწონით და ვითვლით საჭირო ფართს.



ნახ. 191

მართალია ფართობების გამოთვლის ეს ხერხი მაღალი სიზუსტით არ ხასიათდება, მაგრამ გეოლოგებისა და მეტყევეებისათვის მისი სიზუსტე საკმარისია.

5. კოორდინატების ხერხი (ანალიზური).

ვთქვათ, გამოსათვლელია ხუთკუთხედის

$$F = \frac{x_1 + x_2}{2}(y_2 - y_1) + \frac{x_2 + x_3}{2}(y_3 - y_2) + \frac{x_3 + x_4}{2}(y_4 - y_3) -$$
$$- \frac{x_1 + x_5}{2}(y_5 - y_1) - \frac{x_5 + x_4}{2}(y_4 - y_5)$$

ფართობი. თუ ვიცით მისი ყველა წვეროს კოორდინატები, მისი ფართობი შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ, როგორც სამი ტრაპეციის ფართობის ჯამს გამოკლებული ორი ტრაპეციის ფართობი

$(\text{ფ}.1,2,2',1'+\text{ფ}.2,3,3',2'+\text{ფ}.3,4,4\,,3-\text{ფ}.1,5,5',1'-\text{ფ}.5,4,4',5')$

ეს გამოსახულება გავამარტივოთ შემდეგნაირად

$$2F = x_1y_2 + x_2y_3 + x_3y_4 + x_4y_5 + x_5y_1 - y_1x_2 - y_2x_3 - y_3x_4 - y_4x_5 - y_5x_1\,,$$

$$2F = x_1(y_2 - y_5) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) + x_4(y_5 - y_3) + x_5(y_1 - y_4)\,.$$

ეს გამოსახულება მოკლედ ასე ჩაიწერება

$$F = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} x_i(y_{i+1} - y_{i-1})\,,$$

ანდა თუ დავაპროექტებდით X ღერძზე, მაშინ მივიღებდით

$$F = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} y_i(x_{i+1} - x_{i-1})\,,$$

ანდა უფრო მარტივად დასამახსოვრებელი წესით ფართობი გამოითვლება, თუ ამოვწერთ x-ებისა და y-ების ყველა მნიშვნელობებს, ჩვენი აღებული მაგალითისათვის (ხუთკუთხედისათვის) გვექნება

$$\begin{matrix} x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_1 \\ y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_1 \end{matrix}$$

და ავიღებთ ნამრავლთა ჯამს მარცხნიდან მარჯვნივ მიმართულებებისათვის (\) და ვაკლებთ ნამრავლთა ჯამს მარჯვნიდან მარცხნივ მიმართულებებისათვის (/),

სამკუთხედისათვის

$$\begin{matrix} x_1, x_2, x_3, x_1 \\ y_1, y_2, y_3, y_1 \end{matrix}$$

7. ფართობების გამოთვლა მექანიკური ხერხით (პლანიმეტრის თეორია). მექანიკური ხერხით ფართობების გამოთვლისათვის ვსარგებლობთ ამსლერ-კორადის პლანიმეტრით.

პლანიმეტრი შესდგება ორი ბერკეტისაგან: საპოლუსო და შემომვლელისაგან. შემომვლელ ბერკეტზე ამთვლელი მექანიზმია. ამ ორ ბერკეტს აქვთ ერთი საერთო წერტილი–სახსარი.

პლანიმეტრი ქაღალდზე სამი წერტილით იდგმება. პლანიმეტრზე აიღება ანათვალი 4 ციფრისაგან, პირველი ციფრი აიღება ციფერბლატზე, შემდეგი ციფრი დოლზე, მესამე ციფრი ვერნიერზე. უკანასკნელი ციფრი არის შეთავსებული შტრიხი

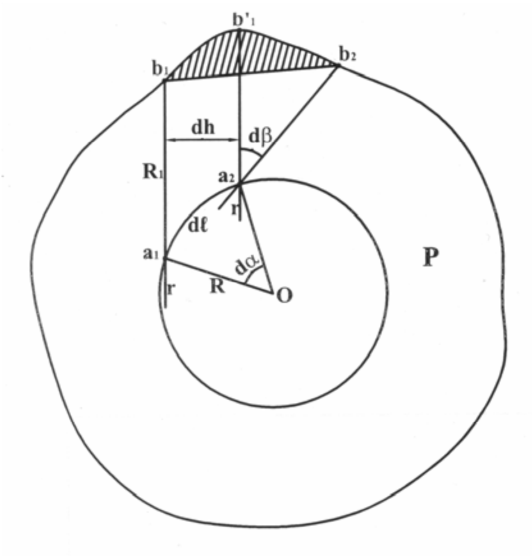
ვერნიერზე, დოლის სიგრძის მეათასედებში (დოლის სიგრძის $\frac{1}{1000}$ არის პლანიმეტრის სიზუსტე და აღინიშნება τ-თი).

შედეგი მიიღება შემდეგნაირად: აიღებენ საწყის წერტილში ანათვალს, შემოატრიალებენ წვეტანას, მივლენ ისევ საწყის წერტილში, აიღებენ ანათვალს. მეორე ანათვალი მინუს პირველი ანათვალი გვაძლევს საჭირო ციფრს n-ს.

საჭიროა P-ფართობის გამოთვლა (დაშტრიხული ფართის გარეშე), (ნახ. 267) ჯერ გამოვთვალოთ ელემენტარული ფართობი ფ. $oa_1b_1b_2a_2o$. ამ ფართობის გამოთვლის დროს დაუშვებენ შეცდომას (დაშტრიხულ ნაწილს), ე.ი. ფ. $oa_1b_1b_2a_2o \approx$ ფ.$oa_1b_1b'_1b_2a_2o = dP$-თი ავღნიშნოთ. ნახაზიდან

$$dP = ფ.a_1b_1b'_1a_2 + ფ.oa_1a_2 + ფ.a_2b'_1b_2 = R_1dh + \frac{1}{2}R^2d\alpha + \frac{1}{2}R_1^2 \cdot d\beta,$$

ამ ფორმულაში dh=რკალებით აღნიშნულ მანძილების ჯამს



ნახ. 192

$$dh = d\lambda + rd\beta,$$

$$\text{ე.ი. } dP = R_1d\lambda + \frac{1}{2}R^2d\alpha + \frac{1}{2}R_1^2d\beta + R_1rd\beta.$$

მთელი ფართი კი უდრის ელემენტარული ფართობების ჯამს – ინტეგრალს,

$$\int_0^P dP = R_1\int_0^L d\lambda + \frac{1}{2}R^2\int_0^{2\pi} d\alpha + \frac{1}{2}R_1^2\int_0^{2\pi} d\beta + R_1r\int_0^{2\pi} d\beta.$$

მაშასადამე მივიღებთ

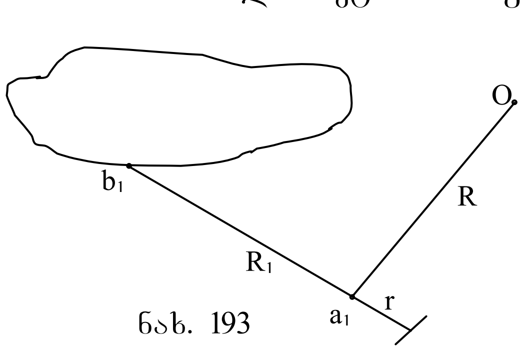
$$P = R_1L + \pi(R^2 + R_1^2 + 2R_1r),$$

$\pi(R^2 + R_1^2 + 2R_1r) = Q$-თი ავღნიშნოთ.

L-არის სიგრძე, რომელიც გაიარა დოლმა, გამოვსახოთ ის τ-ებში:

$L = \tau \cdot n$, ე.ი. $R_1L = R_1 \cdot \tau \cdot n$, $R_1 \cdot \tau = C$-თი ავღნიშნოთ, მაშინ $R_1L = Cn$ -

Cn-არის პლანიმეტრის საფასური, რომელიც შეესაბამება პლანიმეტრის დოლის სიგრძის 1-მეათასედ ფართობს. მაშასადამე



ნახ. 193

$P = Cn + Q$ (1) პლანიმეტრის ფორმულა

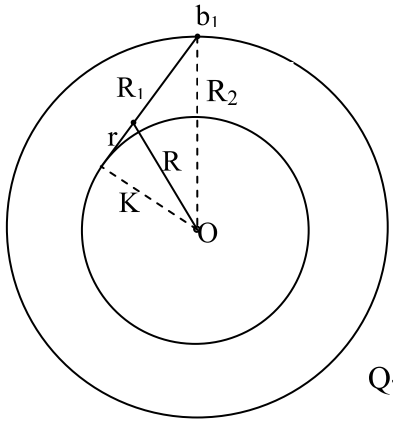
ახლა განვიხილოთ ის შემთხვევა, როდესაც გამოსათვლელი ფართობი ისე მცირეა, რომ პლანიმეტრი შიგ არ ჩაიდგმება,

მაშინ პლანიმეტრს ვათავსებთ ფართობის გარეთ.

აქ $P = Cn$

ფართობი უდრის ელემენტარულ ფართობთა ჯამს (არ გვექნება Q-დიდი წრის ფართი).

ახლა განვსაზღვროთ Q-ს გეომეტრიული მნიშვნელობა.



ნახაზიდან

$$R_2^2 = K^2 + (r + R_1)^2,$$

სადაც $K^2 = R^2 - r^2$,

შევიტანოთ K^2-ის მნიშვნელობა

$$R_2^2 = R^2 - r^2 + r^2 + R_1^2 + 2R_1 r = R^2 + R_1^2 + 2R_1 r,$$

ე.ი. მივიღეთ გამოსახულება რაც ადრე ავღნიშნეთ Q-თი ე.ი. $Q = \pi \cdot R_2^2$

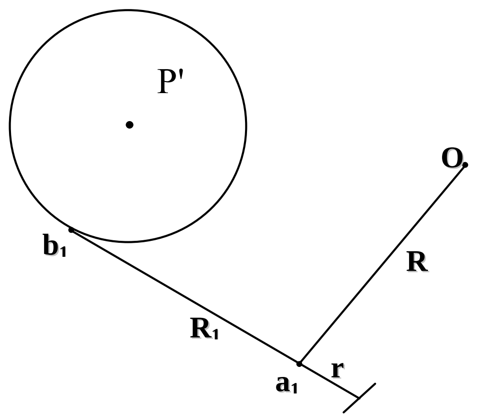
ნახ. 194

Q-ყოფილა დიდი წრის ფართობი, რომლის რადიუსი ყოფილა R_2-რე.

მაშასადამე, პლანიმეტრმა გამოსათვლელი ფართობი დაყო დიდი წრის ფართობებად და დანარჩენი ფართობები გარდაქმნა სწორკუთხედების ჯამად.

როდესაც პლანიმეტრი ფართობის გარეთ არის მოთავსებული, მაშინ ფართობი გადაიქცევა სწორკუთხედების ჯამად.

პლანიმეტრით რომ ვიმუშაოთ, საჭიროა C და Q ცოდნა.



ნახ. 195

C–ს გამოთვლა

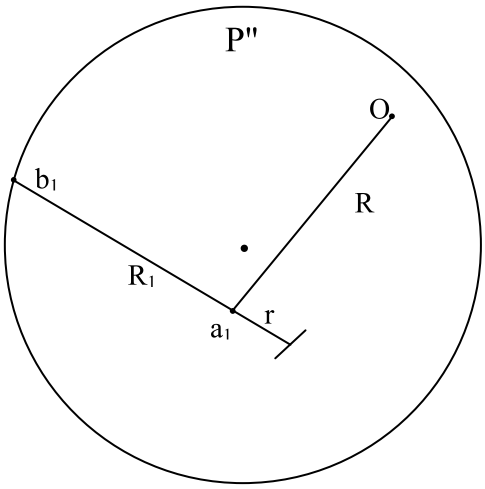
ცნობილი r-რადიუსით შემოვხაზოთ წრე (პატარა), ე.ი. ფართი იქნება $\pi r^2 = P'$ (ცნობილია). პლანიმეტრი მოთავსებულია ფართის გარეთ, ამ შემთხვევაში ფართობი გამოითვლება უკვე ცნობილი ფორმულით

$P' = C \cdot n$, საიდანაც უცნობი წევრი $C = \dfrac{P'}{n'}$.

Q-ს გამოთვლა

ავიღოთ დიდი წრე ცნობილი რადიუსით. მაშასადამე მისი ფართობი ცნობილი იქნება. ცნობილი ფორმულით ვწერთ

$P'' = Cn'' + Q$, აქედან $Q = P'' - Cn''$.



ნახ. 196

აღნიშნავენ $\frac{Q}{C} = q$-თი. იგი განყენებული რიცხვია და გვიჩვენებს, რამდენი საფასური მოთავსდება დიდ წრეში. ამ აღნიშვნის გამოყენებით $P = C(n + q)$, ესეც პლანიმეტრის ფორმულაა.

პლანიმეტრის შემოწმება

პლანიმეტრს აქვს 2-შემოწმება.

1) დოლი და ვერნიერი ერთმანეთისაგან არ უნდა იყვნენ არც ძალიან შორს და არც ძალიან ახლოს, მათ შორის პაპიროსის ქაღალდი უნდა გადიოდეს.

2) დოლის სიბრტყე მართობი უნდა იყოს შემომვლელი ბერკეტის ღერძისა.

შემოწმება ხდება შემდეგნაირად: როცა პოლუსი მარჯვნივაა, შემოვუვლით და ავიღებთ ანათვალს n_1, შემდეგ ბერკეტი მარცხნივაა, შემოვუვლით–ავიღებთ ანათვალს n_2, თუ პირობა დაცულია, უნდა მივიღოთ ერთი და იგივე ანათვალი, ანდა მცირე სხვაობის დროს ვიღებთ საშ. არითმეტიკულს ამ ორი ანათვლისას, წინააღმდეგ შემთხვევაში პლანიმეტრი მოითხოვს შესწორებას.