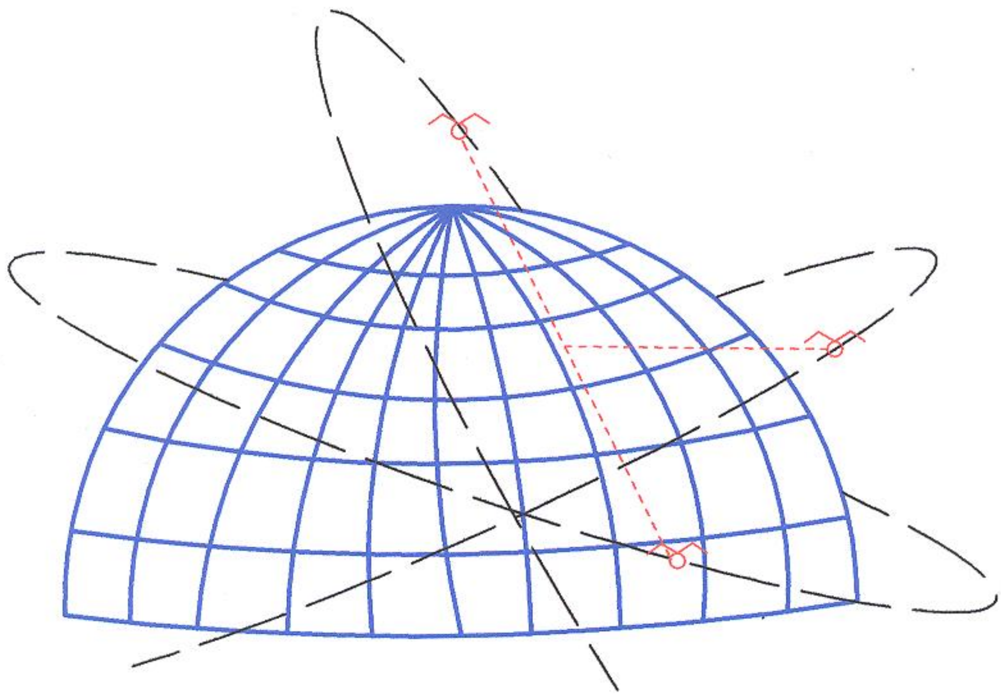
მერაბ თევზაძე, სერგო ცუცქირიძე

გეოდეზია ტოპოგრაფიის საფუძვლებით



თბილისი 2008

სახელმძღვანელოში ("გეოდეზია ტოპოგრაფიის საფუძვლებით") გადმოცემულია გეოდეზიის ზოგადი საკითხები. აღწერილია სამყაროს (კოსმოსის) ფიზიკური და გეომეტრიული ელემენტები. მოცემულია გეოდეზიური სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა. განხილულია წერტილთა მდებარეობის განსაზღვრის საკითხები, კოორდინატები საინჟინრო გეოდეზიაში. მოცემულია პირობითი აღნიშვნები, თარაზოს თეორია, სამიზნებელი ხელსაწყოები. გადმოცემულია ხაზების გაზომვები და დასარვა.

მოყვანილია ზოგიერთი ცნობები განაზომთა შეცდომების თეორიიდან. ნაშრომში განხილულია კუთხზომითი აგეგმვები, ნიველობის ძირითადი სახეობები და ფართობების გამოთვლის სხვადასხვა ხერხი.

სახელმძღვანელო ძირითადათ განკუთვნილია უმაღლესი პროფესიული განათლების სტუდენტებისათვის. იგი ასევე გამოადგებათ ყველა იმ პირებს, რომლებსაც აინტერესებთ აღნიშნული საგნის შესწავლა.

რედაქტორი ასოცირებული პროფესორი მურმან მესხი.

წინასიტყვაობა

წინამდებარე სახელმძღვანელოს გამოცემა განაპირობა ბოლონიის საგანმანათლებლო სისტემაზე გადასვლამ, სადაც გათვალისწინებულია სამსაფეხურიანი უმაღლესი განათლება, სახელმძღვანელო ძირითადად განკუთვნილია უმაღლესი პროფესიული განათლების სპეციალობის მოსწავლე-ახალგაზრდობისათვის. იგი სრულად შეესაბამება ამ საგანში არსებულ კურუკულუმებსა და სილაბუსებს, რომლებიც აღიარებულია სტუ-ს საინჟინრო გეოდეზიის დეპარტამენტის მიერ.

როგორც ნაშრომის დასახელებიდან ("გეოდეზია ტოპოგრაფიის საფუძვლებით") და ანოტაციიდან ჩანს, აქ განხილულია ტოპოგრაფიისა და გეოდეზიის კურსის ზოგადი ნაწილი. მასში მოცემულია ყველა ის საკითხები, რომელთა ცოდნაც აუცილებელია ზემოთ აღნიშნული სტუდენტებისათვის.

ასეთი სახით სახელმძღვანელოს შექმნა ავტორების პირველი ცდაა და ამიტომაც, რა თქმა უნდა იგი უნაკლო არ იქნება. ისინი მადლიერებით მიიღებენ ყველა საქმიან შენიშვნას. აქვე გვინდა დიდი მადლობა მოვახსენოთ წიგნის რედაქტორს ბატონ მურმან მესხს, რეცენზენტს ბატონ ჯანო კეკელიას.

ავტორი ასევე მადლობას უხდის ქალბატონ ნათია გოგნაძესა და დავით პაპავას წიგნის გაფორმებისას გაწეული დახმარებისათვის, ბატონ ირაკლი მამაცაშვილს სასარგებლო შენიშვნებისათვის.

ს ა რ ჩ ე ვ ი

I თავი

სამყაროს (კოსმოსის) ფიზიკური და გეომეტრიული ელემენტები

1.1. სამყაროს (კოსმოსის) ფიზიკური ელემენტები

კოსმოსი ანუ სამყარო ეწოდება უსაზღვრო სივრცესა და დროში მეტაგალაქტიკების გაერთიანებათა უსასრულო სიმრავლეს. ყოველი მეტაგალაქტიკა გალაქტიკების ერთობლიობაა. საერთოდ გალაქტიკა კი ვარსკვლავთა სისტემების (ოჯახების) სიმრავლეს წარმოადგენს.

ეს გაერთიანებები ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის (გრავიტაციის) კანონს შეესაბამება და ნებისმიერი ნივთიერების შემცველი მატერიის ობიექტურობის, აქტიურობის, კანონზომიერების, მუდმივობისა და შეცნობადობის უზოგადესი თვისებების გამო ერთიანი, მარადიული, უსასრულო, მრავალფეროვანი მატერიალური სამყაროს სახით უნდა წარმოვიდგინოთ.

მატერიალური სამყარო ფარდობითი ჭეშმარიტების უწყვეტლივ გამოვლინების გზით, აბსოლუტური ჭეშმარიტებისადმი უსასრულოდ მიახლოების ობიექტია. ამავე დროს იგი მატერიის აგებულებისა და მოძრაობის გიგანტურ ლაბორატორიას წარმოადგენს, სადაც ადგილი აქვთ: უდიდეს წნევებს, კოლოსალურ ტემპერატურებს, უძლიერეს მაგნიტურ ველებს, აბსოლუტურ ვაკუუმს, პროცესებს და ელემენტარულ ნაწილაკებს, რომლებიც თანხლებულნი არიან უდიდესი და ზეუდიდესი ენერგიის გამოყოფით.

ადგილობრივი სახელწოდების მეტაგალაქტიკაში შემავალი საშუალო ოდენობის გალაქტიკას, რომელსაც ირმის ნახტომის ან რძის• გზის სისტემის სახელწოდება აქვს და რომელშიც სხვა ვარსკვლავთ სისტემებთან ერთად მზის ოჯახიც შედის, სამყაროში მეტად მცირე სივრცე უჭირავს, მიუხედავად იმისა, რომ მასში ას მილიარდამდე ურთიერთ რამოდენიმე სინათლის წლით** დაშორებული ვარსკვლავები სრულიად ნორმალურად მოძრაობენ.

მაგალითად, რომ გავაკეთოთ გლობუსი, რომელზედაც დაგეგმილებული ვარსკვლავები წარმოვიდგინოთ წვიმის წვეთების სახით, ამ გლობუსზე წვეთებს შორის მანძილი 65 კმ იქნება.

მზის სისტემაში შემავალი ობიექტები, როგორიცაა პლანეტები: მერკური, ვენერა, დედამიწა, მარსი, იუპიტერი, სატურნი, ურანი, ნეპტუნი, პლუტონი თავისი 32

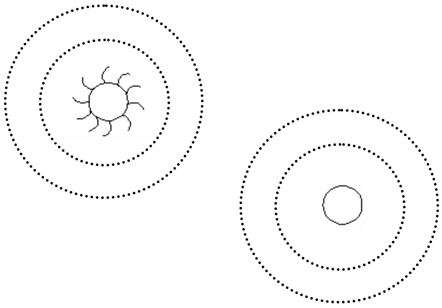
• გალაქტიკა რძის გზის ბერძნული სახელწოდებაა (ვარსკვლავებიან ცაზე, კიდიდან კიდემდე გარკვევით გამოყოფილი რძისფერი ნათელი ფართო ზოლი)

** სინათლის წელი $=60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 298800 = 9500000000000 = 9{,}5 \cdot 10^{12} = 9500$ მილიარდი კმ/წელიწადში

თანამგზავრით (ერთ-ერთი თანამგზავრია მთვარე), უამრავი მცირე პლანეტებით, კომეტები, მეტეორები სრულიად ნორმალურად მოძრაობენ მისი ცენტრალური ერთი ვარსკვლავის – მზის უდიდესი გრავიტაციული მიზიდულობის ძალის გავლენით.

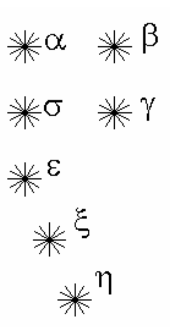
ა) მზის სისტემასა და მეტაგალაქტიკებს შორის განსხვავება

არსებობს ორი ძირითადი განსხვავება:



I – მზის სისტემას ცენტრალური სხეული გააჩნია (ეს არის ერთ-ერთი ვარსკვლავი – მზე). გალაქტიკებს და მეტაგალაქტიკებს ცენტრალური სხეული არ გააჩნიათ – მათი ცენტრია ვარსკვლავთ სიმრავლის საერთო მასათა ცენტრი.

II – განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ ჭოგრით მზერის დროს მზის სისტემის ობიექტების დისკოები გადიდებულნი ჩანან,



მაშინ როდესაც გალაქტიკის ვარსკვლავები დამზერის დროს არ დიდდებიან, იმატებს მათი მხოლოდ სიკაშკაშე, ბრწყინვალება.

ვარსკვლავთ სამყაროს შესწავლის მიზნით ვარსკვლავებს ყოფენ დიდ ჯგუფებად, რომელთაც თანავარსკვლავედები ეწოდება. ამ თანავარსკვლავედებს არქმევდნენ ცხოველების, გმირი ადამიანების სახელებს. მაგალითად: დიდი დათვი, მცირე დათვი, დიდი ძაღლი და სხვა.

თვით თანავარსკვლავედში შემავალ ვარსკვლავებს მათი სიკაშკაშის მიხედვით არქმევენ ბერძნული ალფაბეტის საწყის ასოებს.

1.2. სამყაროს გეომეტრიული ელემენტები

სამყაროს გეომეტრიული ელემენტების ცოდნა საჭიროა იმისათვის, რომ შევძლოთ: 1) ადგილის ნებისმიერი წერტილის მდებარეობის (კოორდინატების) განსაზღვრა, 2) კოსმოსური ელემენტების სივრცობრივი განლაგების განსაზღვრა, 3) მზისადმი დედამიწის ქცევების განსაზღვრა (დედამიწა განიცდის ოთხი სახის მოძრაობას).

ა) ცა. ცის გუმბათი. ნორმალური ხილული ჰორიზონტი. ჭეშმარიტი ჰორიზონტის სიბრტყე. ცის სფერო

ცა. გეომეტრიული წარმოდგენით ადამიანი ცას უწოდებს დედამიწის ატმოსფეროს შემცველ ნახევრად გამჭვირვალე ფარდას, რომელიც გარს აკრავს დედამიწას და რომლის მიღმა (იქით) უჰაერო და უსაზღვრო სივრცეში მოთავსებულია კოსმიური ობიექტები (მნათობები). დღისით ის ფერი, რომელიც ცას აქვს შედეგია იმისა, რომ ატმოსფეროში არსებული გაზების მოლეკულები: ორთქლი, მტვერი და სხვა მზის სხივებს შლიან, მნათობების უხილაობა კი შედეგია ამ მოვლენის გამო ატმოსფეროს ძლიერი განათების.

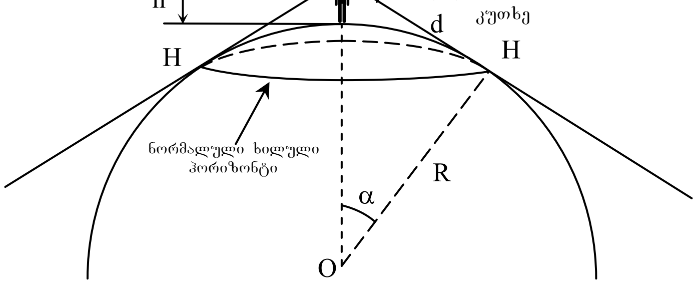
ცის გუმბათი. ზღვაში ან ტრიალ მინდორზე რომ დავდგეთ ვნახავთ, რომ ჩვენ თავზე გვეფარება ცის გარკვეული ნაწილი, რომლის ცენტრში ჩვენ ვდგევართ. ცის ამ ნაწილს ეწოდება ცის გუმბათი.

ნორმალური ხილული ჰორიზონტი. იმ მოჩვენებით წრეებს, რომელიც შეესაბამება ცის გუმბათისა და დედამიწის შეერთებას ეწოდება ნორმალური ხილული ჰორიზონტი. (ნახ. 1)

HH არის ნორმალური ხილული (მოჩვენებითი) ჰორიზონტი, რომლის რადიუსია $CH=d$.

C წერტილში გატარებულ ***H'H'*** თარაზულ სიბრტყეს ეწოდება ჭეშმარიტი ანუ მათემატიკური ჰორიზონტის სიბრტყე. ხოლო თვით ***H'H'*** ხაზს ეწოდება ადგილის ჭეშმარიტი ჰორიზონტი. ხილულ ჰორიზონტსა და ადგილის ჰორიზონტს შორის შედგენილ α კუთხეს ეწოდება დადაბლების კუთხე.

ცნობილი α კუთხით და *h*-ით შეგვიძლია გამოვთვალოთ დედამიწის R რადიუსის მიახლოებითი ოდენობა ფორმულით:



ნახ. 1

$$(R+h)\cos\alpha = R \qquad (1.2.1)$$

$$R\cos\alpha + h\cos\alpha = R$$

$$R(1-\cos\alpha) = h\cos\alpha$$

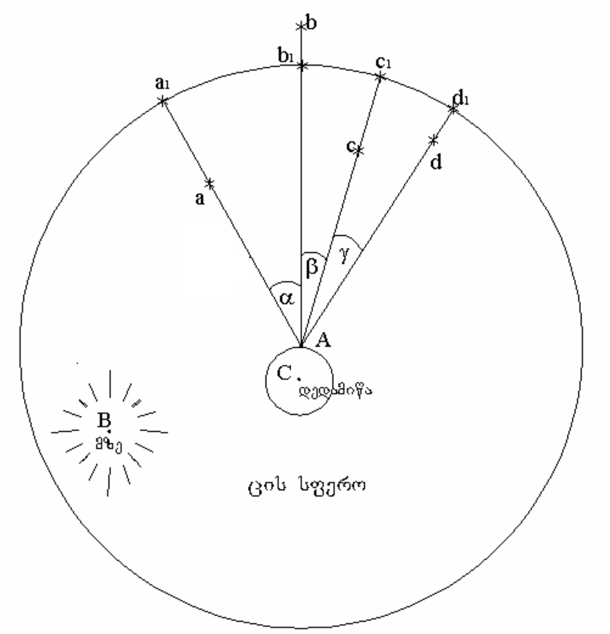
$$R = \frac{h\cos\alpha}{1-\cos\alpha} \qquad (1.2.2)$$

ამ ფორმულით გამოთვლილი დედამიწის რადიუსი $R \approx 6400$ კმ ნორმალური ხილული ჰორიზონტის d რადიუსი კი გამოითვლება პითაგორის თეორემით:

$$d = +\sqrt{(R+h)^2 - R^2} = \sqrt{2Rh + h^2} = +\sqrt{2Rh} = +113\sqrt{h}$$

h სიმაღლე გამოისახება კილომეტრებში. არანორმალურ ხილულ ჰორიზონტს მივიღებთ მთებს შორის დგომისას. ამის შედეგად ნორმალური ხილული ჰორიზონტის HH ხაზი გაივლის ჭეშმარიტი ჰორიზონტის, როგორც ქვემოთ, ისე ზემოთ.

ცის სფერო. ვინაიდან ვარსკვლავები უაღრესად შორს არიან, ადამიანის თვალს ეჩვენება, რომ ისინი ცაზე არიან მიჭედილი, მისგან ერთი და იგივე მანძილზე. ამ მოჩვენებით სფეროს, ცის სფერო ეწოდება. ცის სფერო საჭიროა ვარსკვლავებს შორის ურთიერთ მდებარეობის გასარკვევად.



ნახ. 2

იმ შემთვევაში, როდესაც ცის სფეროს ცენტრად მივიჩნევთ დედამიწაზე ჩვენი დგომის A წერტილს, მას ეწოდება ტოპოცენტრული ცის სფერო. (ნახ. 2)

იმ შემთხვევაში, როდესაც ცის სფეროს ცენტრად მივიჩნევთ დედამიწის C ცენტრს, მას გეოცენტრული ცის სფერო ჰქვია. ხოლო როდესაც ცის სფეროს ცენტრად მივიჩნევთ მზის B ცენტრს, ცის სფეროს ეწოდება ჰელიოცენტრული ცის სფერო.

ბ) ჰელიოცენტრული და გეოცენტრული მოძღვრების არსი

საგანგებო დაკვირვების გარეშე შეუძლებელია დედამიწის მოძრაობის დადგენა, ამიტომ ადამიანს ეგონა, რომ უძრავი დედამიწის გარშემო მოძრაობენ ამჟამად ცნობილი, მზის სისტემაში შემავალი ობიექტები (პლანეტები).

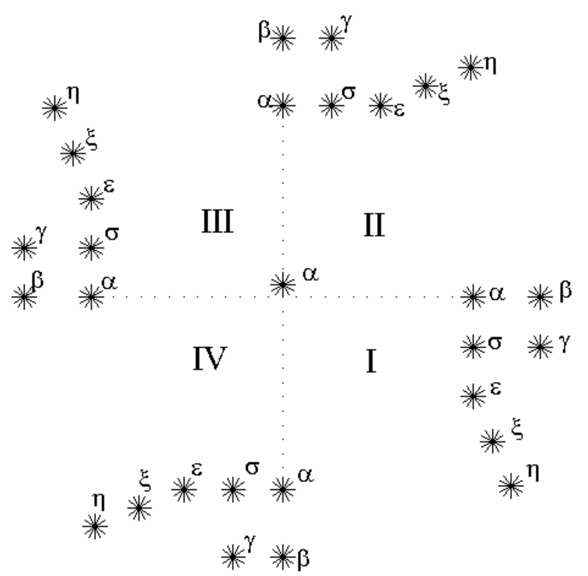
ჩვენს წელთაღრიცხვამდე II საუკუნეში ალექსანდრიელმა მეცნიერმა პტოლომემ ზემოთხსენებული მიდგომით ჩამოაყალიბა ე. წ. გეოცენტრული სისტემა.

XVI საუკუნეში <u>კოპერნიკმა</u> უარყო გეოცენტრული სისტემა და დაამტკიცა პირიქით მოვლენა, ე.ი. დედამიწა კი არაა სიმრავლის ცენტრი, არამედ მზე, რომლის გარშემო სრულიად ნორმალურად, ელიფსური გზით, მოძრაობენ მზის სისტემის ობიექტები, რასაც <u>ჰელიოცენტრული სისტემა ეწოდება.</u>

ბ) სამყაროში ორიენტირება. სამყაროს პოლუსები და ღერძები. საშუადღეო ხაზი. ზენიტი და ნადირი

იმისათვის, რომ დედამიწაზე და სამყაროში გავარკვიოთ წერტილის მდებარეობა, საჭიროა ორიენტირების გამოყენება.

ორიენტირებისათვის იყენებენ ორ ხერხს: ღამით პოლარულ ვარსკვლავს და დღისით მზეს. ამისათვის საჭიროა გვახსოვდეს მზის ამოსვლის მხარე (აღმოსავლეთი) ღამით. დავდგებით სახით ამ მხარისაკენ, შევბრუნდებით მარცხნივ და დავინახავთ დიდი დათვის თანავარსკვლავედის I მდებარეობას $\alpha,\beta,\gamma,\sigma,\varepsilon,\xi,\eta$ ვარსკვლავებს.



ნახ. 3

$\beta\alpha$ მიმართულებით თვალით გადავზომავთ 5 ასეთ მანძილს, სადაც შევამჩნევთ პატარა დათვის α ვარსკვლავს, ეს ვარსკვლავი ზუსტად სამყაროს

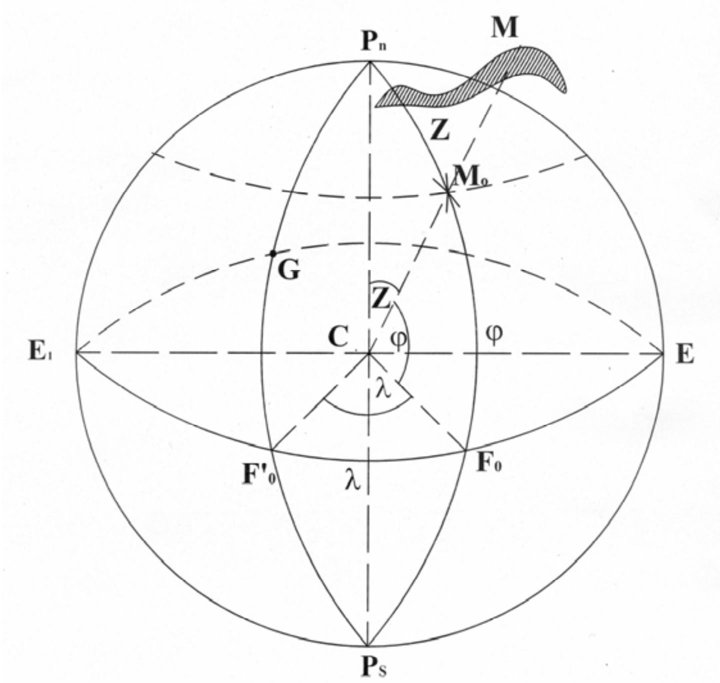
ჩრდილო პოლუსზე არ მდებარეობს. მისგან მოშორებულია 63'-ით. ამ ვარსკვლავს უწოდეს პოლარული ვარსკვლავი.

6 საათის შემდეგ დიდი დათვის თანავარსკვლავედი მიიღებს II მდგომარეობას. კიდევ 6 საათის შემდეგ III მდგომარეობს და ა. შ. სახით α ვარსკვლავისაკენ იქნება ჩრდილოეთი, ჩვენს უკან იქნება სამხრეთი, მარჯვნივ აღმოსავლეთი და მარცხნივ დასავლეთი.

დღისით ორიენტირებისათვის დეკრეტული დროით 13 საათზე დავდგებით სახით მზისაკენ ამ დროს მზეს უჭირავს უმაღლესი ადგილი სამყაროში, ჩვენს წინ იქნება სამხრეთი, უკან იქნება ჩრდილოეთი, მარცხნივ აღმოსავლეთი და მარჯვნივ დასავლეთი.

1.3. კოორდინატები

კოორდინატებს უწოდებენ სახელდებულ ფარდობით რიცხვებს, რომელთა საშუალებით ისაზღვრება წერტილთა მდებარეობები. რომ ვიცოდეთ დედამიწის, რომელიმე წერტილის მდებარეობა საჭიროა ვიცოდეთ ამ წერტილის ციური კოორდინატები.



ნახ. 4

გეოგრაფიული კოორდინატები.

ვთქვათ, გვინდა ვიცოდეთ M წერტილის კოორდინატები. დავუშვათ შვეული, რომელიც დედამიწის ცენტრში არ გაივლის მისი სიმკვრივის სხვადასხვაობის გამო, მაგრამ მცირე შეცდომით ჩვენ დავუშვათ, რომ ის გადის ცენტრში. გავატაროთ M_0 წერტილის მერიდიანის სიბრტყე, რომელიც ეკვატორის სიბრტყეს გაკვეთს, მივიღებთ φ ბრტყელ კუთხეს, რომელსაც M_0 წერტილის განედი ეწოდება. ე.ი. მას ქმნის M_0-წერტილის შვეული ეკვატორის

სიბრტყესთან. იგი იცვლება $0^{o}-90^{o}$-მდე ჩრდილოეთით + ნიშნით, სამხრეთით – ნიშნით და იზომება შესაბამისი F_0M_0 რკალით.

φ შეიძლება შეიცვალოს z-ით. ამ კუთხეს ეწოდება M_0-წერტილის ზენიტური კუთხე ანუ პოლუსის ზენიტური მანძილი. იგი აითვლება რკალით 0^{o}-დან 180^{o}-მდე + ნიშნით ე.ი.

$$\varphi + z = 90^{o} \tag{1.3.1}$$

φ-გვაძლევს საშუალებას გავიგოთ M_0-წერტილის პარალელი. ჩვენ კი გვსურს M_0 წერტილის მდებარეობის განსაზღვრა, ე.ი. საჭიროა მეორე კოორდინატი. საერთაშორისო შეთანხმებით II კოორდინატის განსაზღვრისათვის საწყისად მიიღეს – $\boldsymbol{F'}_0$-ი (წერტილი მიღებული გრინვიჩის მერიდიანისა და ეკვატორის გადაკვეთით). ორწახნაგოვან λ კუთხეს, რომელსაც ქმნის მოცემული წერტილის მერიდიანის სიბრტყე გრინვიჩის მერიდიანის სიბრტყესთან, ეწოდება გრძედი და იზომება 0^{o}-დან აღმოსავლეთით 180^{o}-მდე და არის დადებითი, 0^{o}-დან დასავლეთისაკენ 180^{o}-მდე არის უარყოფითი. III კოორდინატი $M_0M = H = G^{\gamma} + H^{\gamma}$ ეს არის გეოდეზიური სიმაღლე, რომელიც არის ანომალიისა და ნორმალური სიმაღლის ჯამი.

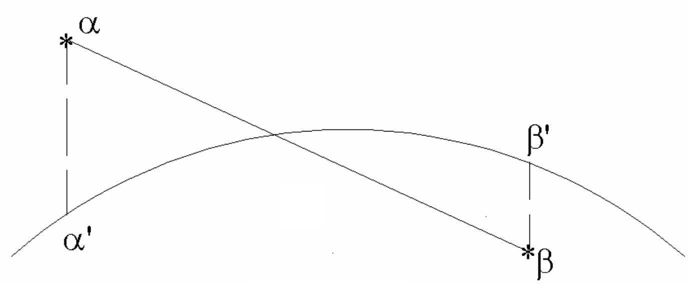
მაშასადამე, <u>განედი ეწოდება ბრტყელ კუთხეს, რომელსაც მოცემული შვეული ქმნის ეკვატორის სიბრტყესთან. ხოლო გრძედი ეწოდება ორწახნაგოვან კუთხეს, რომელსაც მოცემული წერტილის მერიდიანის სიბრტყე ქმნის გრინვიჩის G მერიდიანის სიბრტყესთან.</u> იგი იზომება ორწახნაგოვანი კუთხის შესაბამისი $\boldsymbol{F_0F'}_0$ რკალით. <u>ორივე კოორდინატს ეწოდება გეოგრაფიული კოორდინატები.</u>

<u>გეოგრაფიული გრძედი და განედი φ და λ განისაზღვრება ასტრონომიულად, ხოლო გეოდეზიური გრძედი *(B)* და განედი *(L)* კი გამოითვლება.</u>

გეოგრაფიული კოორდინატებით განისაზღვრება ადგილზე წერტილების მდებარეობა. ამ კოორდინატების განსაზღვრისათვის საჭიროა ციური კოორდინატების განსაზღვრა.

გეოცენტრული ცის სფერო

ციური კოორდინატები საჭიროა დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე კოორდინატებისა და მიმართულებების ანუ აზიმუტების განსაზღვრისათვის. ამისათვის ვსარგებლობთ გეოცენტრული ცის სფეროთი. ცის სფეროზე ჩვენ ვარკვევთ რკალურ მანძილებს. მაგალითად არა $\alpha\beta$-სწორს, არამედ მათ გეგმილებს შორის რკალს $\alpha'\beta'$ კუთხურ განზომილებებში . (ნახ. 5)



ნახ. 5

ციური კოორდინატებია:

1) ჰორიზონტული
2) ეკვატორული I – სახის
3) ეკვატორული II – სახის
4) ეკლიპტიკური

ამ კოორდინატების სახელწოდება შეესაბამება გამოსავალი სიბრტყეების ან ხაზების სახელწოდებას.

II თავი

დედამიწის ფიზიკური ელემენტები

მზიდან მესამე პლანეტა დედამიწა წარმოადგენს, ბუნებრივი, სოციალური და ეკონომიკური ელემენტების ერთობლიობას.

დედამიწის ბუნებრივი ელემენტებია რაც არსებობს ადამიანის ნების გარეშე, შეიძლება მათზე დაკვირვებების, გაზომვების წარმოება და ზემოქმედება კაცობრიობის საჭიროებისათვის.

დედამიწის ბუნებრივ ელემენტებს წარმოიდგენენ გეოსფეროების სახით როგორიცაა: 1) დედამიწის ატმოსფერო

2) ჰიდროსფერო

3) მყარი ტანი

2.1. ა) დედამიწის ატმოსფერო

დედამიწის ატმოსფერო წარმოადგენს მთლიან გარსს, რომელიც შექმნილია გაზების მექანიკური გაერთიანების შედეგად, მას ხშირად ჰაერს უწოდებენ (გავიხსენოთ ცის განმარტება). იმის გამო, რომ ჰაერი (დედამიწის ატმოსფერო) შეჭრილია ნიადაგში, წყალში, იგი დედამიწასთან ერთად მოძრაობს, ამიტომ ვუწოდეთ მას დედამიწის ატმოსფერო (ე.ი. დედამიწას თან ახლავს ატმოსფერო). ატმოსფეროს ზემო საზღვარი დადგენილი არაა ზუსტად: ძველი მონაცემებით იგი ≈ 1300 კმ-ია. მაგ. ზღვის დონეზე ატმოსფეროს სიმკვრივეა 1300 გრ/მ^3, 10 კმ-ზე ზევით იგი 400 გრ/მ^3, კიდევ ზევით 80 კმ-ზე – 90 გრ/მ^3.

თანამედროვე ცნობებით, დედამიწის ატმოსფეროს სისქე 1300 კმ-ზე მეტია.

ადამიანს ეჩვენება, რომ თითქოს ატმოსფეროს წონა არა აქვს, სინამდვილეში დედამიწის ატმოსფერო იწონის $5 \cdot 10^{15}$ ტ=5000000 მილიარდ ტონას. ატმოსფეროს მთლიანი გარსი, რომ ფოლადის სიმკვრივემდე შევკუმშოთ დედამიწას შემოერტყმებოდა 12.5 მ სისქის ჯავშანი (ყოველ ჩვენგანს ≈ 1.0 ტ ჰაერი აწვება).

ატმოსფერო არის ადამიანის არსებობის ერთერთი ძირითადი საშუალება. მისი შემადგენელი ჟანგბადი, აზოტი, ნახშირბადი და სხვა ბრუნავს ორგანული ბუნებიდან არაორგანულ ბუნებაში.

ჰაერი ადამიანს იცავს მზის მავნე გავლენისაგან (მაგ. მავნე გავლენაა ულტრაიისფერი გამოსხივება), ამავე დროს წვას ხელს უწყობს.

ატმოსფეროს ყოფენ შრეების მიხედვით, რომელსაც საფუძვლად უდებენ კრიტერიუმებს შემადგენლობის ან ტემპერატურის მიხედვით. მაგალითად, შემადგენლობის მიხედვით:

ოზონოსფერო, იონოსფერო

ან კიდევ ტემპერატურის მიხედვით:

1. ტროპოსფერო – ტროპოპაუზით
2. სტრატოსფერო – სტრატოპაუზით
3. მეზოსფერო – მეზოპაუზით
4. თერმოსფერო – თერმოპაუზით
5. ეგზოსფერო – ეგზოპაუზით

საერთოდ პაუზის სისქე (ჭერი) არის 200 მ-დან 2 კმ-მდე.

ტროპოსფერო სხვადასხვა სისქისაა დედამიწის სარტყელების შესაბამისად, მაგალითად, ეკვატორის სარტყელთან მისი სისქეა 16-18 კმ. საშუალო (ჩვენი) სარტყელის შესაბამისად 12-16 კმ. და პოლუსების შესაბამისად 8-12 კმ. ჩვენი მთები მოთავსებულია ტროპოსფეროში. ტროპოსფერო იჭერს მზის გამოსხივების 15%. აქ არის მთელი ატმოსფეროს 75%. თვით დედამიწა იჭერს მზის გამოსხივების 50%-მდე. მაშასადამე: პირველ რიგში მზისგან დედამიწა თბება და შემდეგ დედამიწიდან თბება ტროპოსფერო (ინვერსიის უწესრიგობის შედეგად ხანდახან დედამიწა ცივია, ჰაერი თბილია).

ტროპოპაუზიდან – ზემოთ 60 კმ-მდე არის სტრატოსფერო. აქ ტემპერატურა (35 კმ-მდე) კიდევ იკლებს და მინუს 60°-მდე დადის. 35 კმ-დან ზემოთ 60 კმ-მდე ტემპერატურა +20°-მდე გაიზრდება, რადგან ამ ნაწილში ბევრი ოზონია (ოზონი ბევრ სითბურ ენერგიას შთანთქავს).

სტრატოპაუზიდან ვერტიკალურად ზევით 80 კმ-მდე შრეს ეწოდება მეზოსფერო. აქ ოზონი თითქმის არაა და -80°, -90°-მდე დადის ტემპერატურა.

მეზოპაუზიდან 800 კმ-მდე შრეს ეწოდება თერმოსფერო. აქ ტემპერატურა აღწევს +500°.

თერმოპაუზიდან 1300-1500 კმ-მდე შრეს ეწოდება ეგზოსფერო, სადაც ტემპერატურა აღწევს +1500°-მდე. 1500°-ზე თერმული ენერგია ნაკლებია, ვიდრე ჩვენთან, რადგან იქ ჰაერი გაიშვიათებულია (მოლეკულებმა უნდა გაიარონ 20-30 კმ, რომ ერთმანეთს დაეჯახოს).

საერთოდ, ატმოსფერო ასტრონომიული დაკვირვებებისათვის მეტად ხელშემშლელია, ამიტომაა, რომ თანამედროვე მეცნიერება იბრძვის მთვარის დაპყრობისათვის, რომ მასზე იქნეს გაშენებული ხელოვნური, კოსმიური ობიექტები.

ბ) ჰიდროსფერო

იგი წარმოადგენს დედამიწის წყვეტილ გარსს, რომელიც შედგება მსოფლიო ოკეანეებისაგან (თავისი ზღვებით), ტბებით და მდინარეებით.

მსოფლიო ოკეანეებს უჭირავს მთელი ტერიტორიის 70.2%, ხმელეთს კი 29.8%.

მსოფლიო ოკეანეებს წარმოადგენენ: ნაპირიდან 200 მ-მდე ოკეანური ნარიყები, შელფი 200 მ-დან $\approx 2000 - 2400$ მ-მდე ოკეანური ფერდობების, 6000მ მდე ოკეანური სადინარისა (კალაპოტისა) და 11 კმ-მდე ოკეანური ღრმულების სახით.

გ) დედამიწის მყარი ტანი

წარმოგვიდგება გეოსფეროების სახით, როგორიცაა:

1. ქერქი – ლითოსფერო 7-დან 70 კმ-მდე
2. ზემო მანტია – 800 კმ-მდე (ე.ი. მისი სისქეა 730 კმ)
3. მანტია ანუ საშუალო შრე 800 კმ-დან 3500 კმ-მდე
4. გული – 3500 კმ-დან 6400 კმ-მდე

ფაუნისა და ფლორის ანუ სიცოცხლის არსებობის თვალსაზრისით ტროპოსფეროს, ჰიდროსფეროს და მყარი ტანის 3-4 კმ-ს ერთად უწოდებენ ბიოსფეროს (ე.ი. შედის სამივე), რაც ნიშნავს იმას, რომ იქ არსებობს სიცოცხლე.

დ) დედამიწის სოციალური ელემენტი

კაცობრიობა – განლაგებული დედამიწაზე სხვადასხვა ეროვნებების, მოსახლეობის სახით.

ე) დედამიწის ეკონომიკური ელემენტი

ყოველივე, რაც შექმნილია კაცობრიობის მიერ. მაგალითად, მრეწველობის, სოფლის მეურნეობის, კავშირგაბმულობის, ჯანმრთელობის და სხვა ობიექტები დედამიწის ეკონომიკურ ელემენტებს წარმოადგენენ.

დედამიწის ზემოხსენებულ ბუნებრივ, სოციალურ და ეკონომიკურ ელემენტებს უწოდებენ დედამიწის ფიზიკურ ელემენტებს. მოკლედ დედამიწის ელემენტებს.

წარმოების შესწავლისა და ანალიზის თვალსაზრისით დედამიწის ელემენტებს კიდევ უწოდებენ ქვეყნის საწარმოო ძალებს.

ქვეყნის საწარმოო ძალები ანუ ცოცხალი სამუშაო ძალა და საწარმოო საშუალებები.

ცოცხალი სამუშაო ძალა – დედამიწის სოციალური ელემენტია.

საწარმოო საშუალებებია: ტექნიკა, შენობები (დედამიწის ეკონომიკური ელემენტები) და ბუნებრივი სიმდიდრეები.

ვ) დედამიწის ფიზიკური ზედაპირი

ხილული ზედაპირი. დედამიწის ნამდვილი სახე. წიაღი. ადგილი. წვლილადები.

დედამიწის ფიზიკური ზედაპირი ეწოდება მისი ლითოსფეროს ზედაპირს მთლიანად, რომელიც აერთიანებს ხილულ და უხილავ ნაწილს. ხილული ნაწილია ხმელეთის ზედაპირი, რომელსაც საზღვრავს ატმოსფერო და უხილავი ნაწილია ოკეანეთა ფსკერი.

დედამიწის ხილული ზედაპირი წარმოადგენს ხმელეთისა და ოკეანეთა ზედაპირების ერთობლიობას.

დედამიწის ნამდვილი სახე არის ხილული ზედაპირი მთლიანად.

წიაღს ვუწოდებთ მყარი ტანის შიგა უხილავ ნაწილს, რომელიც არ სჩანს.

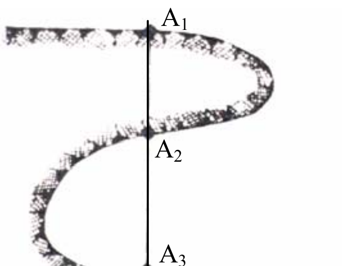
ადგილს ვუწოდებთ შესასწავლად გამიზნულ სივრცის ნაწილს, რომელიც მოიცავს დედამიწის ელემენტებს.

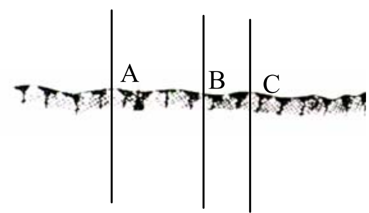
წვლილადები ეწოდება, ადგილის ცნების შესაბამისად (იმ საგნებს) დედამიწის იმ ელემენტებს, რომლის შესწავლა და აგეგმვაა შესაძლებელი.

ზ) დედამიწის ტოპოგრაფიული ელემენტები

ადგილის უკეთ შესწავლის მიზნით, წვლილადების ცნების შესაბამისად, დედამიწის ელემენტებს ანუ ქვეყნის საწარმოო ძალებს გეოდეზიაში ვუწოდებთ დედამიწის ტოპოგრაფიულ ელემენტებს, რომლებსაც წარმოიდგენენ:

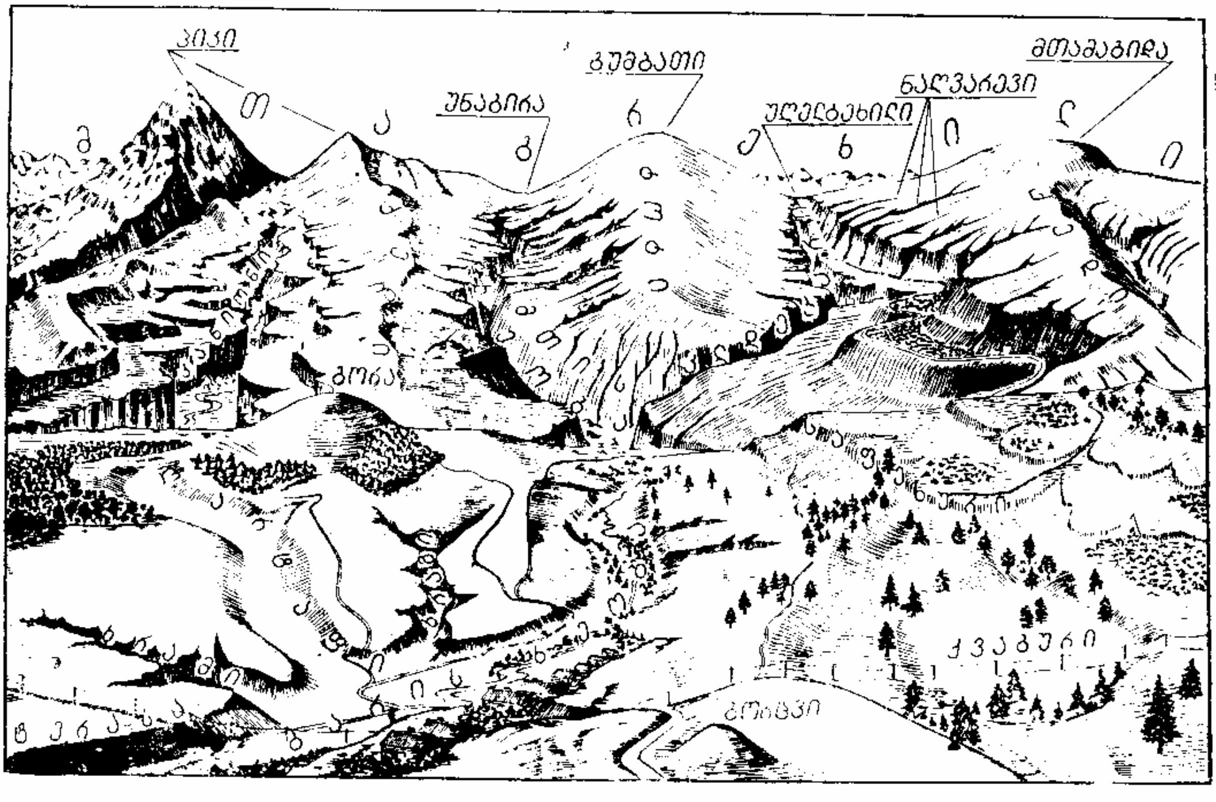
1. ტოპოგრაფიული ზედაპირის (ბუნებრივი ელემენტი)
2. სამთო ქანები, გრუნტები და ნიადაგების (ბუნებრივი ელემენტი)
3. ჰიდროგრაფიის (ბუნებრივი, ხელოვნური ელემენტი)
4. მცენარეულობა (ბუნებრივი, ხელოვნური, ეკონ. ელემენტები)
5. გზები (ხელოვნური ანუ ეკონომიკური ელემენტები)
6. მოსახლეობის სახით.





ტოპოგრაფიული ზედაპირი. ტოპოგრაფიული ზედაპირი ეწოდება დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის ნაწილს, რომელსაც შვეული ხაზები მხოლოდ ერთ წერტილში კვეთენ. ტოპოგრაფიული ზედაპირის ფუნქცია $Z = f(x, y)$ ხასიათდება ცალსახობით, სასრულობით, უწყვეტობითა და მდოვრულობით. (ნახ. 6)

დედამიწის ფიზიკური ზედაპირის ცალკეულ უსწორმასწორობებს, რომელთაც აქვთ გარკვეული გარეგანი სახე, უწოდებენ **რელიეფის ანუ ტოპოგრაფიული ზედაპირის ფორმებს.** რელიეფის ძირითადი ფორმებია (ნახ. 7):



ნახ. 7

გორა – ტოპოგრაფიული ზედაპირის ამობურცულ-ამაღლებული ადგილი. მისი ელემენტებია: ძირი, გვერდები, წვერო. გორა, რომლის წვეროც წვეტანაა

ეწოდება წვეტიანი გორა. იმ გორას, რომელიც ზვინს წააგავს უწოდებენ მრგვალთავიან გორას. წაჭრილთავიან გორას ეწოდება ზეგანი. მცირე გორას ეწოდება ბორცვი, კიდევ უფრო მცირე ხელოვნურ გორას ყორღანი.

გორას შებრუნებული არის **ტაფობი**, დედამიწის ჩაღრმავებული ადგილი. მისი ელემენტებია: ფსკერი, გვერდები და პირი. მცირე ტაფობს ეწოდება ორმო.

მთის ფერდობზე ამაღლებულ წაგრძელებულ ადგილს ეწოდება **ქედი**. მისი ელემენტებია: წყალგამყოფი ხაზი ანუ დადებითი ინვარიანტული ხაზი და ფერდობები.

დადებით ინვარიანტულ ხაზზე რომ დავდგეთ, ჩვენგან ერთი მიმართულებით მაღლდება, სამი მიმართულებით დაბლდება.

ღელე არის (ქედის შებრუნებული ადგილი) მთის ფერდობის ჩაღრმავებული წაგრძელებული ადგილი. მისი ელემენტებია: წყალმაერთი ანუ უარყოფითი ინვარიანტული ხაზი და ფერდები. უარყოფითი ინვარიანტული ხაზი შებრუნებულია დადებითი ინვარიანტული ხაზისა. იგი ერთი მიმართულებით დაბლდება, სამი მიმართულებით კი მაღლდება.

მცირე ფერდებჩამოგლეჯილ ღელეს – **ხრამს, ხევს, ღრანტეს** უწოდებენ.

მთებს შორის მოთავსებულ დიდ სივრცეს, სადაც მოთავსებულია მოსახლეობა, მიედინება მდინარე, არის ნათესები ეწოდება **ხეობა**.

ხეობის იმ ადგილს, სადაც მთები თითქოს შეირწყა (ერთდება) ეწოდება **კლდე-კარი** – გასასვლელი.

მთის ფერდობებზე წავაკებულ ადგილს ეწოდება **საფეხურა (ტერასი)**.

მთის ფერდობზე იმ მოედანს, სადაც ერთდება ორი ქედი და იწყება ორი ღელე ეწოდება **უნაგირა** (ე.ი. წყვილი ინვარიანტული ხაზები ერთდება).

მთების ხაზოვან ერთობლიობას უწოდებენ **მთაგრეხილს**, მის უმაღლეს შემაერთებელ ხაზს ეწოდება **ხერხემალი**.

იქ სადაც ხერხემალი ჩაზნექილია ეწოდება **უღელტეხილი (გადა-სასვლელი)**.

მთების წყალგამყოფ ხაზებს შორის მოთავსებულ სივრცეს, რომლის ნალექებითაც მარაგდება ძირითადი მდინარეები ეწოდება **აუზი**.

III თავი

დედამიწის ნამდვილი სახისა და ოდენობის შესწავლის

(მცდელობა) ცდა.

3.1. გეოდეზიის საგანი

პრაქტიკის მოთხოვნის შესაბამისად თავისი არსებობის პერიოდში კაცობრიობამ შეჰქმნა სხვადასხვა სამეცნიერო დარგები. ხელოვნების დარგების შექმნაც ადამიანის სულიერი, ბუნებრივი მოთხოვნილების შედეგია.

ამავე დროს, საჭირო შეიქმნა ქვეყნიერებაზე ზოგადი წარმოდგენის (მსოფლმხედველობის) შექმნა, რომელიც მეთოდოლოგიურ საფუძვლად დაედებოდა მეცნიერებისა და ხელოვნების სხვადასხვა დარგებს, ასეთ მეცნიერებას ეწოდება ფილოსოფია.

მაშასადამე, მეცნიერება, ერთის, მხრივ შეისწავლის სამყაროს, როგორც ერთ მთლიანს, ფილოსოფიის (მეცნიერება ბუნების, საზოგადოების და აზროვნების განვითარების უზოგადესი კანონების შესახებ) სახით, მეორეს მხრივ, სხვადასხვა თვალსაზრისით, სამეცნიერო დარგების საშუალებით, როგორიცაა: ტექნიკური, საბუნებისმეტყველო, ჰუმანიტარული და სხვა.

გეოდეზია არის საბუნებისმეტყველო და საინჟინრო სამეცნიერო დარგი, სადაც დედამიწის ბუნებრივი ელემენტების მრავალნაირი გაზომვების, განაზომთა მათემატიკური დამუშავების და გამონათვალთა გრაფიკულად გამოხაზვის საშუალებით (რუკები, გეგმები, პროფილები) შეისწავლება:

დედამიწის ნამდვილი სახე (ფორმა) და ოდენობა (ზომები), დროთა ვითარებაში მათ სახეცვალებადობასთან დაკავშირებით; მისი ბუნებრივი, სოციალური, ეკონომიკური და ტოპოგრაფიული ელემენტების სივრცობრივი განლაგებები და ზომები; გეომეტრიულად სწორად აგების თვალსაზრისით, სწყვეტს სახალხო მეურნეობისა და სამხედრო სტრატეგიის ისეთ ამოცანებს, რომლებიც დაკავშირებულნი არიან საინჟინრო ნაგებობათა და სასოფლო სამეურნეო დანიშნულების ობიექტთა კვლევა-ძიება-ტრასირებასთან, პროექტირებასთან, მშენებლობასთან, ექსპლოატაციასთან და სამხედრო საქმესთან. (ასეთია გეოდეზიის თანამედროვე განმარტება).

რატომ არის გეოდეზია საბუნებისმეტყველო დარგი? იმდენად, რამდენადაც გეოდეზიაში შეისწავლება დედამიწის ნამდვილი სახე და მისი ოდენობა, ამდენად ის საბუნებისმეტყველო დარგია.

როგორც საინჟინრო სამეცნიერო დარგში, გეოდეზიაში ძირითადად წყდება 5 ამოცანა:

1. ტოპოგრაფულ ელემენტებზე დაკვირვებები და გაზომვები.

2. განაზომთა მათემატიკური დამუშავება და მათი გრაფიკულად გამოხაზვა რუკების, გეგმების, პროფილების სახით, რასაც მოკლედ ეწოდება განაზომთა კამერალური დამუშავება.
3. არსებული რუკებისა და გეგმების გამოყენება სხვადასხვა საინჟინრო ამოცანების გადასაწყვეტად.
4. პროექტის მონაცემთა გეგმებიდან ადგილზე გადატანა (დაკვალვა); შენების პროცესში ზედამხედველობა და უშუალო მონაწილეობის მიღება ყველა კონსტრუქტული ელემენტების გეომეტრულად სწორად შენების თვალსაზრისით და შესრულებითი ნახაზების სწორად შედგენა.
5. ნაგებობათა ექსპლოატაციის პროცესში გეგმების კორექტირება, ნაგებობების დეფორმაციებზე და დაცურებებზე დაკვირვებების წარმოება და სხვა.

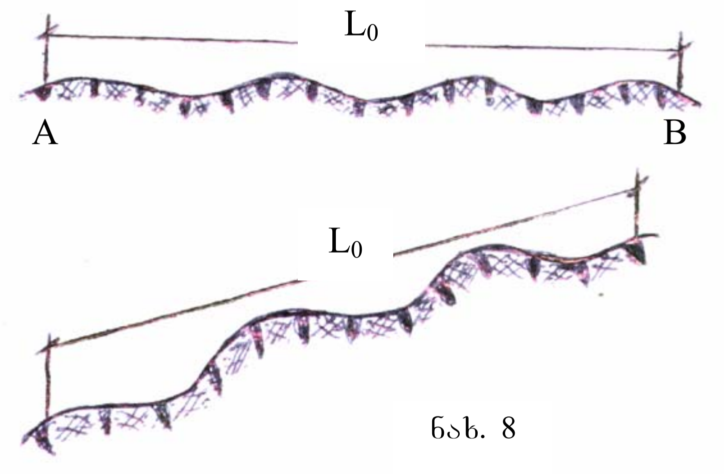
რაც შეეხება სამხედრო საქმეს, ამბობენ რუკა არმიის თვალიაო.

გეოდეზიის საგნის ზემოთ განსაზღვრების შესაბამისად არსებობს ციკლი გეოდეზიური სამეცნიერო დარგებისა, როგორიცაა: უმაღლესი გეოდეზია, კარტოგრაფია, გეოდეზიური ასტრონომია, გეოდეზიური გრავიმეტრია, აეროგეოდეზია, ტოპოგრაფია, საინჟინრო გეოდეზია, სამარკშეიდერო საქმე, სამთო გეომეტრია, ტოპოგრაფიული და სამარკშეიდერო ხაზვა კალიგრაფიითურთ, ინსტრუმენტთმცოდნეობა, განაზომთა მათემატიკური დამუშავება, რომელშიც შედის განაზომთა შეცდომების თეორია, გამოთვლების ტექნიკა, უმცირეს კვადრატთა მეთოდი, განაზომთა ალბათობის თეორია და მათემატიკური სტატისტიკა.

3.2. დედამიწის ნამდვილი სახისა და ოდენობის დადგენის პრობლემის არსი

როგორც ცნობილია, დედამიწის ნამდვილი სახეა მისი ხილული ზედაპირი მთლიანად. ეს ზედაპირი ურთულესია, მისი ელემენტების მათემატიკური ფორმულებით გამოთვლა შეუძლებელია, რის გამოც მივმართავთ გენერალიზაციას (განზოგადოებას). მაგალითად ჩვენ ვზომავთ *AB* უმოკლესს მანძილს და არა ნამდვილ მანძილს (ნახ. 8).

დედამიწის ნამდვილი სახის დამახასიათებელი წერტილების სამ-სამი



ნახ. 8

კოორდინატის განსაზღვრა მას-ზე გაზომვების საშუალებით შეიძლებოდა, მაგრამ ძალიან გართულდებოდა გამოთვლითი სამუშაოები, ამავე დროს სამუ-შაოები დამოკიდებულია თვით ზედაპირის ფორმების გამოყენე-ბასთან, რაც უცნობია. მაშასა-დამე უცნობის უცნობით განსაზ-ღვრის სურვილით მიზანს ვერ მივაღწევთ. აღნიშნულის გამო საჭირო გახდა:

1. დედამიწის ნამდვილი სახიდან გამოიყოს მისი უდიდესი ნაწილი, რომელსაც დედამიწის საერთო სახე ვუწოდოთ.

2. საერთო სახის ზედაპირი უნდა გამოყენებული იქნეს ფიზიკურ ზედაპირზე განაზომების რედუცირებისათვის (საგანგებოდ დაგეგმილებისათვის) და მათემატიკური დამუშავებისათვის, რაც მოგვცემს საშუალებას განვსაზღვროთ ყოველი წერტილისათვის ორ-ორი კოორდინატი (განედი და გრძედი)

3. ეს ზედაპირი უნდა გამოყენებული იქნას როგორც შესადარი (საწყისი, გამოსავალი) მესამე კოორდინატის განსაზღვრისათვის.

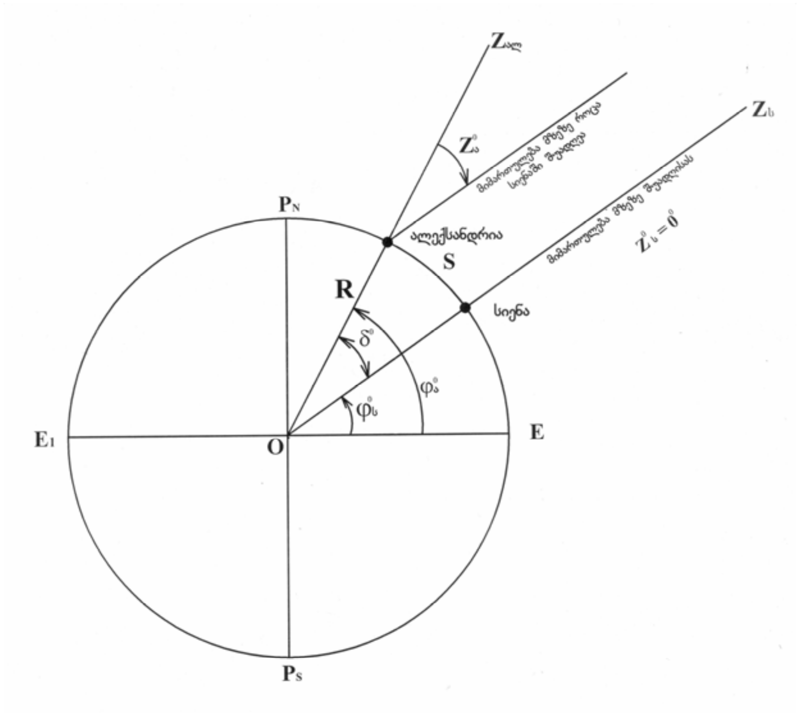
ა) დედამიწის საერთო სახე

ძველთაგან დედამიწის საერთო სახედ თვლიდნენ და თვლიან იმ იდეალურ ზედაპირს, რომელსაც მივიღებთ წყნარ მდგომარეობაში მყოფი (წარმოდგენით) ოკეანეების საშუალო დონის განგრძობით ხმელეთის ქვეშ ურთიერთ შერწყმამდე (შეერთებამდე) ისე, რომ ყოველ წერტილში შვეული ხაზები წარმოადგენდნენ ნორმალს (ე.ი. შვეული ხაზები იყოს მართობული დედამიწის ზედაპირის).

დედამიწის საერთო სახის, როგორც სფეროს I-მიახლოებით განსაზღვრისას პითაგორას სკოლა ჩვ. წ. აღ. VI საუკუნეში, არისტოტელე ჩვ. წ. აღ. IV საუკუნეში, არქიმედე ჩვ. წ. აღ. III საუკუნეში თვლიდნენ, რომ დედამიწის საერთო სახე სფერო იყო, რის დასადასტურებლად იყენებდნენ შემდეგ მოვლენებს:

1. მთვარის დაბნელების დროს დედამიწის ჩრდილი მთვარეზე წრეა.
2. ნორმალური ხილული ჰორიზონტი წრიულია
3. ამერიკის აღმოჩენა დედამიწის სფერულობის რწმენის შედეგია
4. ტრიალ მინდორზე სვლისას, ნაგებობებთან ან ტყესთან მიახლოვებისას ჯერ წვერი ჩნდება, დაშორებისას პირველად ძირი უჩინარდება.

ბ) დედამიწის, როგორც სფეროს, რადიუსის განსაზღვრის პირველი ცდა



ნახ. 9

ჩვ. წ. აღ. 230 წელს ალექსანდრიელმა მეცნიერმა ერატოსთენემ პირველმა გაზომა დედამიწის რადიუსი შემდეგი მიდგომით.

მან წარმოიდგინა, რომ სიენა (ასუანი) და ალექსანდრია (სადაც ცხოვრობდა) ერთ მერიდიანზეა. სინამდვილეში კი ისინი დაცილებულია 3^{o}.

$\varphi_{ს}$-ს სიენას ასტრონომიული განედი, ხოლო

$\varphi_{ა}$-ს ალექსანდრიას ასტრონომიული განედი ეწოდება (ნახ. 9)

მისი მიზანი იყო გაეზომა მანძილი S და δ^{o} კუთხე. მაშინ ადვილად განსაზღვრავდა რადიუსს.

მანძილი S განსაზღვრა აქლემების ქარავნების საშუალო სიჩქარითა და დროით. გამოვიდა ≈ 800 კმ. δ°-კუთხის გასაგებად ყოველწლიურად 22-ივნისს (ზაფხულის მზებუდობის დღეს) ღრმა ჭიდან მზე ჩანდა, ანუ მზე ზენიტში იყო ე.ი.

$$Z_{\text{სიენა}}=0.$$

მაშასადამე $h_{\text{ს}}=90^{\circ}$,

რადგან $Z_{\text{ს}}+h_{\text{ს}}=90^{\circ}$ (3.2.1)

იმავე დღეს ალექსანდრიაში დაკვირვების დროს ჩრდილი მზეზე მიმართულებიდან გადაიხარა სრული წრეხაზის $\frac{1}{50}$ ნაწილით, ე.ი. მისი ზენიტური მანძილი

$$Z_{\text{ალექ}} = 360^{\circ} : 50 = 7^{\circ}{,}2$$

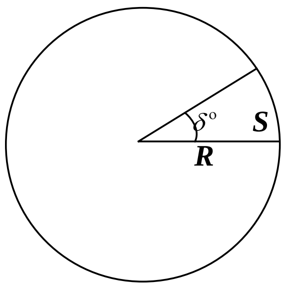
მაშინ $h_{\text{ალექ}} = 90^{\circ} - 7^{\circ}{,}2 = 82^{\circ}{,}8$

ე.ი. S რკალის შესაბამისი კუთხე δ კუთხე იქნება

$$\delta^{\circ} = \varphi^{\circ}_{\text{ალექ}} - \varphi^{\circ}_{\text{სიენა}} = \boldsymbol{Z}^{\circ}_{\text{ალექ}} - \boldsymbol{Z}^{\circ}_{\text{სიენა}} = 7^{\circ}{,}2 \qquad (3.2.2)$$

ანუ

$$\delta^{\circ} = \varphi^{\circ}_{\text{ალექ}} - \varphi^{\circ}_{\text{სიენა}} = \boldsymbol{h}^{\circ}_{\text{ალექ}} - \boldsymbol{h}^{\circ}_{\text{სიენა}} = 7^{\circ}{,}2 \qquad (3.2.3)$$



ნახ. 10

როგორც ვხედავთ S-ი განსაზღვრულია გეოდეზიურად, ხოლო Z_0-ასტრონომიულად. დავწერთ

$$\frac{S}{R} = \frac{\delta^{\circ}}{\rho^{\circ}} \qquad \text{აქედან} \qquad R = \frac{\rho^{\circ}}{\delta^{\circ}} \cdot S, \quad \rho = \frac{180^{\circ}}{\pi} \qquad (3.2.4)$$

ρ°-რადიანის ზომაა $= 57^{\circ}{,}3 = 3438' = 206265'' = \frac{1}{\sin 1''}$. იმის გამო, რომ ეს მეთოდი დღესაც გამოყენებულია, ერატოსთენე ითვლება გეოდეზიის მამამთავრად.

3.3. ცნება გრადუსული გაზომვების შესახებ

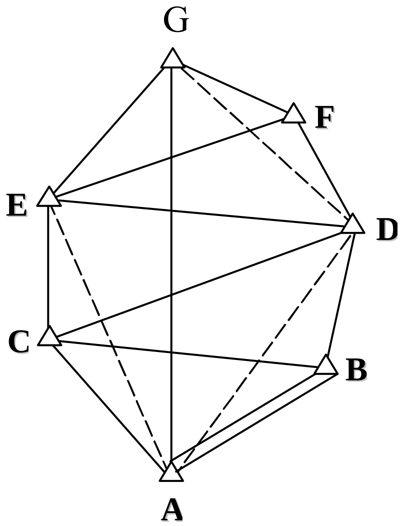
გრადუსული გაზომვების ძირითადი პრინციპია: ერთი გრადუსის შესაბამისი რკალი, ისე შეესაბამება ნებისმიერ რკალს, როგორც ერთი გრადუსის შესაბამისი ცენტრალური კუთხე ამ ნებისმიერი რკალის ცენტრალურ კუთხეს.

$$\frac{S_{1^\circ}}{S} = \frac{1^\circ}{\delta^\circ}, \qquad S_{1^\circ} = \frac{1^\circ}{\delta^\circ} \cdot S .$$

უდიდესი გრადუსული გაზომვების შესრულების საფუძველზე რწმუნდებოდნენ იმაში, რომ 1°-რკალების სიგრძე დედამიწის პოლუსებთან უფრო გრძელი გამოდიოდა ვიდრე ეკვატორთან. დროთა ვითარებაში დარწმუნდნენ, რომ დედამიწა სფეროიდულია. საბოლოოდ ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონის საფუძველზე დადასტურდა, რომ დედამიწის საერთო სახე არის, სფეროიდი, (ბრუნვის ელიფსოიდი).

ა) ტრიანგულაციის გამოყენების პირველი ცდები

დედამიწის ნამდვილი სახის მეტისმეტი სირთულე მუდამ ხელის შემშლელი იყო ხაზების გაზომვების დროს, რაც საგრძნობლად გაუმჯობესდა მანძილების არაპირდაპირი ხერხით განსაზღვრის გამოგონების შედეგად. ეს ხერხი პირველად გამოიყენა დანიელმა ასტრონომმა ტიხო-ბრაგემ 1578 წელს, მაგრამ მის ფუძემდებლად სთვლიან ჰოლანდიელ მეცნიერს სნელიუსს (1580-1626), რომელმაც ორ წერტილს შორის განსასაზღვრელი მანძილის შესაბამის სივრცეზე ააგო სამკუთხედების ქსელი, რომელშიც გაიზომა სამი მცირე ზომის ბაზისი, ანუ ფუძე (აუცილებელი იყო მხოლოდ ერთი ბაზისი), და ყველა კუთხე ამ სამკუთხედებისა. სინუსების თეორემით პირველი გვერდისა (ბაზისის) და გაზომილი კუთხეების გამოყენებით განსაზღვრა ქსელის სამკუთხედების ყველა დანარჩენი გვერდის სიგრძე, რამაც საშუალება მისცა ამ წერტილებს შორის მანძილის განსაზღვრისა. ხაზების სიგრძეების განსაზღვრისათვის საჭირო სამკუთხედთა ქსელს და ამ ქსელის შედგენის მეთოდსაც ეწოდება ტრიანგულაცია. ამ მეთოდის პირველყოფილი სახე განაზომთა, გამონათვალთა და, საერთოდ, სამკუთხედთა ქსელის სათანადო ანალიზის გარეშე სრულდება. მაგალითად (ნახ. 11), მერიდიანის ურთიერთ უხილავი ბოლოებისა და დიდი დაბრკოლების მომცველი AG რკალის სიგრძის განსაზღვრისათვის მისი შესაბამისი



ნახ. 11

სივრცის წინასწარი დათვალიერების (რეკოგნოსცირების) შედეგად შეარჩევენ უშუალოდ ადვილად გასაზომ მოკლე *AB* ხაზს, რომელსაც ბაზისი (ფუძე) ვუწოდეთ, და აგრეთვე დანიშნავენ სამკუთხედთა წვეროებს იმ ვარაუდით, რომ იმზირებოდეს სამკუთხედის ყოველი წვეროდან, როგორც დანარჩენი ორი წვერო, ასევე მასთან დაკავშირებული შემდეგი სამკუთხედების წვეროები. უშუალოდ ზომავენ *AB* ბაზისს და ყველა სამკუთხედის შიგა კუთხეებს და სინუსების თეორემის გამოყენებით საზღვრავენ *AC, BC, BD, CD, DE, CE, DF, EF, EG, FG* გვერდებს; შემდეგ ცნობილი (განსაზღვრული) *DE* გვერდისა და შესაბამისი კუთხეებით საზღვრავენ *AE, AD, DG* გვერდებს; ამ გვერდებისა და სათანადო კუთხეების საშუალებით ისაზღვრება *AG* რკალის სიგრძე ორჯერ, რის შესაბამისად მოითხოვება დაცული იყოს შემდეგი ტოლობა:

$$AG = AE\frac{\sin A\widehat{E}G}{\sin E\widehat{G}A} = AD\frac{\sin A\widehat{D}G}{\sin A\widehat{G}D} \tag{3.3.1}$$

ცხადია, საკითხის ასე გადაწყვეტა გამოთვლის კონტროლისა და საიმედო შედეგის საშუალებას იძლევა. ამ ხერხის შედეგად ამაღლდა ხაზოვანი გაზომვების დონე; კუთხური გაზომვების დონე კი შედარებით მაღალი იყო. ტრიანგულაციის მეთოდი ამჟამად ფართოდ გამოიყენება, როგორც დედამიწის ფიგურისა და ზომების დადგენისათვის საჭირო გრადუსული გაზომვების, ისე სახელმწიფო კარტოგრაფიული და საგანგებო აგეგმვებისათვის, აგრეთვე დაკვალვებისათვის დასაყრდენ ქსელთა შექმნის საქმეში.

ტრიანგულაციის მეთოდი წარმატებით გამოიყენა პიკარმა (1620-1682), რომელიც 1669-1670 წლებში საფრანგეთის მეცნიერებათა აკადემიის დავალებით ასრულებდა პარიზსა და ამიენს შორის რკალის გაზომვებს. ამ გაზომვების შედეგად $1^{o}23'55''$ რკალის სიგრძე მიღებულ იქნა 153689 მ, საიდანაც 1^{o} რკალს შეესაბამება 111,212 კმ, ხოლო R=6371692 მ. თანამედროვე გაზომვებით იგივე რკალის 1^{o} სიგრძეა 111,221 კმ. ვინაიდან გაზომვების ტექნიკა მაშინ დაბალი იყო, ასეთი თანმთხვევა შემთხვევითად ითვლება, მაგრამ მაინც აღსანიშნავია, რომ გაზომვები მაშინდელი დროისათვის შესრულებული იყო მაღალ დონეზე. პიკარი თარაზული კუთხეების გაზომვის დროს იყენებდა ძაფთა ბადით აღჭურვილ ჭოგრს, ხოლო განედების გაზომვისათვის – ზენიტურ სექტორებს.

ცნობილია, რომ ნიუტონმა ათეული წლების განმავლობაში თავი შეიკავა მის მიერ აღმოჩენილი მსოფლიო მიზიდულობის კანონის გამოქვეყნებისაგან (1687 წ.), ვიდრე არ შეამოწმა მთვარემდე ამ კანონის გავრცელების სისწორე, რისთვისაც პიკარის მიერ მიღებული დედამიწის რადიუსის ზუსტი მნიშვნელობა გამოიყენა.

პიკარის მიერ შესრულებული სამუშაოებით შეიძლება დამთავრებულად ჩაითვალოს დედამიწის საერთო სახის ზომების დადგენისათვის შედარებით მეცნიერულ დონეზე დაყენებული საჭირო გაზომვითი სამუშაოების პირველი პერიოდი, რომელიც მოიცავს დაახლოებით 2000 წელს და რომლის დროს დედამიწის საერთო სახე წარმოდგენილი იყო მხოლოდ როგორც სფერო შვეული ხაზების წრფეებად წარმოდგენის საფუძველზე, მაგრამ აქვე საჭიროდ მიგვაჩნია აღვნიშნოთ, რომ ამავე პერიოდში საფუძველი ეყრება დედამიწის ფიგურის თეორიის დადგენასთან დაკავშირებულ გრავიმეტრიულ (ფიზიკურ) გაზომვებს. ნიუტონის თანამედროვე ფრანგმა ასტრონომმა რიშემ (1640-1696) 1672 წელს ეკვატორის ახლოს, სამხრეთ ამერიკაში მდებარე კაიენში, როცა ის აწარმოებდა მარსის პარალაქსის განსაზღვრებს, შენიშნა, რომ პარიზში შემოწმებული და დაყენებული ქანქარიანი საათი დღე-ღამეში უკან რჩებოდა 2,5 მინუტით და სწორი მსვლელობის აღსადგენად საჭირო გახდა ქანქარის სიგრძე დაემოკლებინათ 3 მმ. ანალოგიურ მოვლენებს ამჩნევდნენ სხვა მოგზაური მეცნიერებიც, მაგრამ ვერცერთმა ვერ ახსნა ამ მოვლენის მიზეზი. მხოლოდ ნიუტონმა (1643-1727) შესძლო აეხსნა შენიშნული მოვლენა პოლუსებიდან ეკვატორისაკენ სიმძიმის ძალის შემცირების მიზეზით.

ბ) დედამიწის საერთო სახის დადგენა

გაზომვების დროს გამოთვლის შედეგად იღებდნენ ერთი და იგივე მერიდიანის სხვადასხვა წერტილების გრძედების და ასევე პარალელის მიმართ განედის სხვადასხვა მნიშვნელობებს. ამას აბრალებდნენ გაზომვის შემთხვევით შეცდომებს, მაგრამ შემდეგ გამოირკვა რომ ეს ასე არ არის. ამის მიზეზია შვეულის გადახრა.

დროთა ვითარებაში დარწმუნდნენ, რომ დედამიწის საერთო სახე არის სფეროიდისაგან განსხვავებული ტანი – გეოიდი.

დიდი ხნის მანძილზე ფიქრობნენ, რომ ბრუნვითი ელიფსოიდის (სფეროიდის) a დიდი ნახევარღერძისა და α შეკუმშულობის განსაზღვრის სიზუსტეზე გავლენას ახდენს S-რკალის სიგრძისა და φ განედის ან λ გრძედის შეცდომები.

მაშასადამე, თვლიდნენ, რომ შვეული ხაზები წრფეებს წარმოადგენენ და არ იღებდნენ მხედველობაში იმას, რომ ეს შვეულები სინამდვილეში გადახრილები არიან დედამიწის ტანში მასების სხვადასხვა სიმკვრივის გამო. ე.ი. ერთი და იგივე მერიდიანის ან პარალელის სხვადასხვა წერტილების კოორდინატების

ურთიერთგანსხვავებული მნიშვნელობების მიზეზია ზემოხსენებული ელემენტების გაზომვის შემთხვევითი შეცდომები.

საბოლოოდ დადგინდა, რომ აღნიშნული შეცდომების მიზეზია შვეულის გადახრები, მაგ. შვეულის გადახრა 7",2 გამოდის, ხოლო შემთხვევითი შეცდომის შედეგია 3".

დედამიწის საერთო სახის გამომსახველი ძიებული ზედაპირი სფეროიდისაგან (რომელიც ხასიათდება მხოლოდ სულ მთლიანობით და სულ ამობურცულობით) უნდა განსხვავდებოდეს სულ ჰორიზონტალურობითაც.

მაშასადამე, ძიებული ზედაპირი ყოველ წერტილში პერპენდიკულარული იქნება შვეული ხაზებისა, როგორც მრუდეებისა, ე.ი. მართობული უნდა იყოს არა წრფივი ხაზებისა.

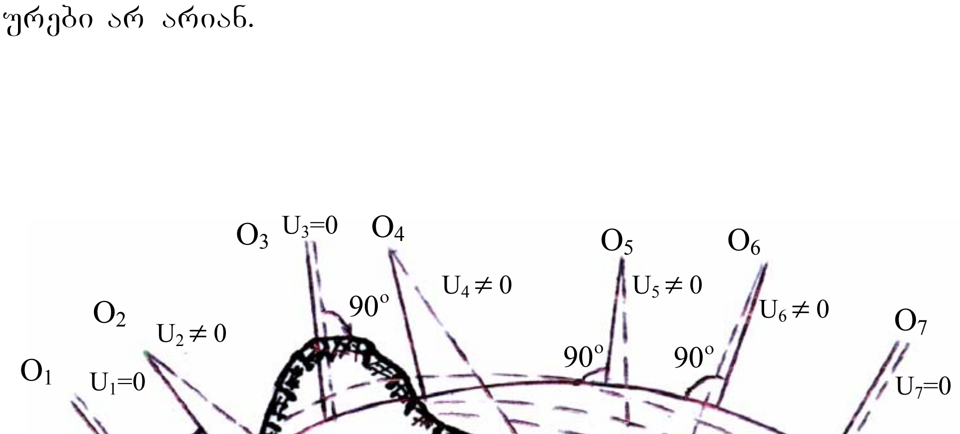
ასეთ ზედაპირს გერმანელი მეცნიერის ლისტინგის წინადადებით (1873წ) უწოდეს გეოიდის ზედაპირი, თვით ტანს კი გეოიდი.

ჩვენ ვიცით, რომ დონებრივი ზედაპირი შეგვიძლია გავატაროთ უსასრულო რაოდენობისა, როგორც ლითოსფეროს შიგ, ასე მის გარეთ.

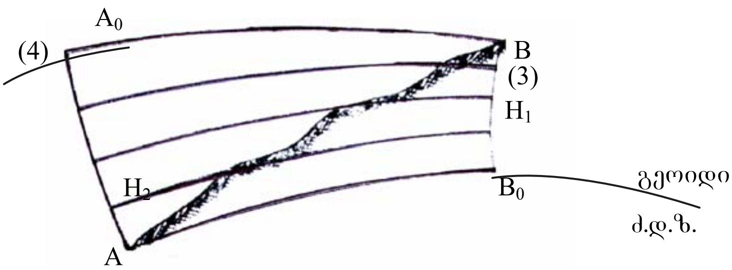
დედამიწა, რომ უძრავი იყოს, არ ჰქონდეს ადგილი მთებს, გორებს, ღრუბლებს, ნივთიერებათა სიმკვრივეებიც ერთგვაროვანი იყოს, მაშინ მისი საერთო სახე იქნებოდა სფერო და შვეული ხაზები ცენტრში გაივლიდნენ, მაგრამ არცერთი ზემოხსენებული პირობა შესრულებული არ არის. ამიტომ ძიებული ზედაპირის ფორმა იქნება სფეროსაგან განსხვავებული ტანი. აქვე შეიძლება ავღნიშნოთ, რომ ოკეანეები წარმოადგენენ საშუალო პირეულს, მუდამ მართობს თარაზული მიმართულების მიმართ. ხმელეთის ამპლიტუდაა (ევერესტი – 9კმ, ოკეანეთა ღრმული – 11კმ)≈20კმ. იგი დედამიწის საერთო სახესთან უმნიშვნელოა და 1მ-იანი დიამეტრის დედამიწის მაკეტზე 0.7მმ გამოჩნდებოდა.

ზემოთ აღნიშნულის საფუძველზე გეოიდის ზედაპირი უნდა ხასიათდებოდეს სულ მთლიანობით, სულ ამობურცულობით და სულ ჰორიზონტალურობით.

როგორც აღვნიშნეთ, დონებრივი ზედაპირები შეიძლება გატარდეს უამრავი, რომლებიც ძირითადი დონებრივი ზედაპირის პარალელურები არ იქნებიან და არც ურთიერთშორის პარალელურები არიან, იმის გამო, რომ ძალური ხაზები პარალელურები არ არიან.



ავიღოთ ოკიანური ზედაპირი, რომელიც ემთხვევა სფეროიდს, O_1 წერტილში, რომლის ნორმალი ელიფსოიდისადმი ადგენს 90^o კუთხეს. შვეული ემთხვევა ნორმალს და გადახრა $U_1 = 0$. U_1-ს ეწოდება შვეულის ასტრონომოგეოდეზიური გადახრა.



ნახ. 13

O_2-წერტილში ნორმალი არ გაყვება შვეულს და გადახრა $U_2 \neq 0$

O_3-$U_3 = 0$ შვეული გაყვება ნორმალს $O_4 \neq 0$ O_5 და O_6 $U \neq 0$ შვეული გადაიხარა ტანში არსებული წიაღის სიმკვრივის სხვადასხვაობის გამო, $O_7 = 0$. ისმის კითხვა, შეიძლება თუ არა გამოვიყენოთ გეოიდი ფიზიკურ ზედაპირზე განაზომთა რედუცირებისა და მათემატიკური დამუშავებისათვის ნახ. 20-ზე $H_1 \neq H_2$. ეს იმას ნიშნავს, რომ სიმაღლე დამოკიდებულია იმაზე, თუ საიდანაა იგი განსაზღვრული. ამის მიზეზია ის, რომ გეოიდის დონებრივი ზედაპირები O_3 წერტილში $U = 0$ შვეული გაყვება ნორმალს, U_4, U_5 და U_6 წერტილებში $U \neq 0$, O_7 წერტილში კი $U = 0$. არაპარალელურები არიან ერთმანეთის მიმართ, ამიტომ A და B წერტილების სიმაღლეები სხვადასხვაა.

3.4. მსოფლიო ელიფსოიდი. რეფერენც-ელიფსოიდი

იმის გამო, რომ გეოიდის ზედაპირის გამოყენება გეგმილთ ზედაპირად ვერ ხერხდება, იძულებული ვართ მივმართოთ აპროქსიმაციას, რაც ნიშნავს გეგმილთ ზედაპირად მივიღოთ მათემატიკური ზედაპირი, რომლის პარამეტრების განსაზღვრა შეგვიძლია და ახლოსაა გეოიდთან. ცხადია, ასეთ სხეულად უნდა მივიღოთ სფეროიდი, ბრუნვის ელიფსოიდი მსოფლიო ელიფსოიდის სახით, რომელიც უნდა ხასიათდებოდეს:

1. მისი ცენტრი უნდა ემთხვეოდეს დედამიწის სიმძიმის ცენტრს;
2. ეკვატორი ემთხვეოდეს გეოიდის ეკვატორს;
3. მოცულობა უდრიდეს გეოიდის მოცულობას;
4. გეოიდიდან გადახრათა კვადრატების ჯამი უნდა იყოს მინიმალური.

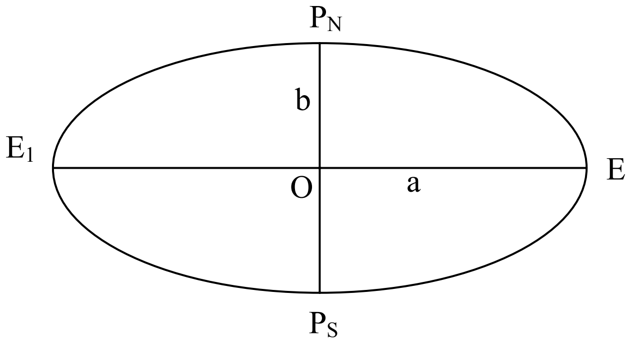
მაშასადამე, იგი უნდა გამოდგეს მთელი დედამიწის ან მისი უდიდესი ნაწილების რედუცირების, მათემატიკური დამუშავების და სასიმაღლო საფუძვლად. რადგან ასეთი აბსოლუტური მსოფლიო ელიფსოიდის პარამეტრების დადგენისათვის ჯერ შესრულებული არ არის მსოფლიო გრადუსული გაზომვები, ანუ ასტრონომო-გეოდეზიური (გეომეტრიული), ფიზიკური (გრავიტაციული) და სუფთა ასტრონომიული გაზომვები, ამიტომ მსოფლიო (საერთო) ელიფსოიდი ჯერ-ჯერობით არ არსებობს.

ზემოხსენებულის გამო სახელმწიფო ან სახელმწიფოები თავის ტერი-ტორიაზე შესრულებული უდიდესი გრადუსული გაზომვების შედეგად საზღვრავენ სამუშაო ელიფსოიდის პარამეტრებს და იყენებენ თავიანთ ტერიტორიებზე განაზომთა რედუცირების, მათემატიკური დამუშავების და სასიმაღლო საფუძვლად.

სამუშაო ელიფსოიდები ხასიათდებიან იმით, რომ მათი გადახრათა კვადრატების ჯამი გეოიდიდან მოცემულ სახელმწიფოს ტერიტორიაზე მინიმალურია. ასეთ ელიფსოიდს უწოდებენ რეფერენც–ელიფსოიდს.

რეფერენც–ელიფსოიდები მრავალია: ბესელის, ჰეიფორდის, კლარკის, კრასოვსკის და სხვა.

ჩვენში დღემდე მიღებული იყო კრასოვსკის რეფერენც–ელიფსოიდი, რომლის პარამეტრები გამოთვლილია კრასოვსკის ხელმძღვანელობით. დაახლოებით გადაწყვეტილი იქნა 1500-მდე უცნობიანი განტოლებები, სადაც გამოიყენეს საბჭოთა კავშირის, ინდოეთის, ჩინეთის და ევროპის ქვეყნების განაზომები და გრავიტაციული მონაცემები.



ნახ. 14

a – დიდი ნახევარღერძი

b – მცირე ნახევარღერძი

α - შეკუმშულობა

$$\alpha = \frac{\mathrm{a} - b}{\mathrm{a}} \qquad (3.4.1)$$

კრასოვსკის ელიფსოიდის პარამეტრებია:

$$a = 6378245 \text{ მ}$$

$$\alpha = \frac{1}{298.3}$$

მეოცე საუკუნის სამოციან წლებში, ამერიკული და საბჭოთა თანამგზავრებით დადგინდა, რომ $\alpha = \frac{1}{298.31}$, რომელიც ყველაზე ახლოს იყო კრასოვსკის მონაცემებთან.

დედამიწის ელიფსოიდის ერთიანი საყოველთაო ზომები პირველად დამტკიცებულ იქნა საერთაშორისო გეოდეზიური და გეოფიზიკური კავშირის XVI ასამბლეის მიერ გრენობლში (საფრანგეთი) 1975 წელს:

დიდი ნახევარღერძი $\mathrm{a} = 6378140 \pm 5$ მ;

შეკუმშულობა α=1/298,257;

მომდევნო წლებში ზემოაღნიშნული პარამეტრები ზუსტდებოდა:

1983 წელს – a=6378137 ± 1 მ, α=1/298,256;

1987 წელს – a=6378136 ± 1 მ, α=1/298,256;

IV თავი

გეოდეზიური სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა

4.1. ძირითადი გეოდეზიური სამუშაოები

დედამიწის ნამდვილი სახისა და მისი ტოპოგრაფიული ელემენტების გეომეტრიულად შესწავლის მიზნით გეოდეზიაში სრულდება ძირითადი გეოდეზიური სამუშაოები და აგეგმვები.

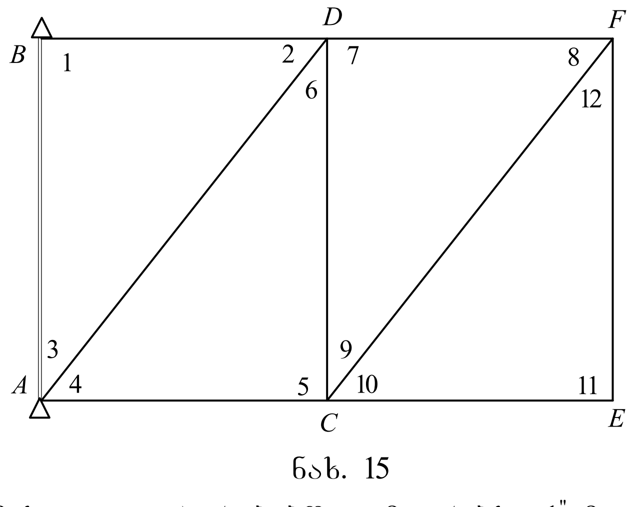
ძირითადი გეოდეზიური სამუშაოების შესასრულებლად შენდება საგანგებო პუნქტები და სამიზნე ნიშნები პირამიდების, სიგნალების და სხვათა სახით, რასაც მოკლედ სახელმწიფო გეოდეზიურ ქსელს უწოდებენ.

მაღალი სიზუსტის სახელმწიფო გეოდეზიურ ქსელზე დაყრდნობით იქმნება დაბალი სიზუსტის გეოდეზიური ქსელები, რის საფუძველზეც წარმოებს აგეგმვითი სამუშაოები.

ძირითადი სახელმწიფო გეოდეზიური ქსელის ჰორიზონტალური საფუძვლის შექმნა ანუ პუნქტების ჰორიზონტალური კოორდინატების განსაზღვრა ხდება ასტრონომიულად φ განედისა და λ გრძედის და გეოდეზიურად B განედისა და L გრძედის საშუალებით.

ასტრონომიული ხერხით კოორდინატების განსაზღვრა მოხერხებულია იმის გამო, რომ ადგილზე პუნქტების მშენებლობა და მანძილების გაზომვები არ სრულდება. ხდება მხოლოდ მნათობებზე დაკვირვებები და თუ ხილვადობა კარგია, შესასრულებლად ადვილია, მაგრამ თანხლებულია შეცდომებით, რაც მცირე სივრცეებზე მისაღები არაა.

მაგალითად, პუნქტის φ განედის განსაზღვრაში $0'',2$ შეცდომა ადგილზე გვაძლევს დაახლოებით 6მ. ხაზოვან ცდომილებას $\left(\frac{0.2}{206265}\cdot 6371110 \approx 6\right)$, გარდა ამისა შვეულების გადახრა ნორმალიდან დაახლოებით $5''$-ით, იგივე გამოთვლით გვაძლევს 150მ შეცდომას. ამიტომ ასტრონომიულ მეთოდთან ერთად იყენებენ გრავიმეტრიულ მეთოდსაც, რაც შეცდომას იგივე პირობებში ამცირებს $1''$-მდე. $1''$-ს კი შეესაბამება 30მ. ხაზოვანი



ნახ. 15

შეცდომა. მცირე ტერიტორიებზე ეს შეცდომაც ძალიან საგრძნობია და ამიტომ ამ ხერხს არ მიმართავენ და სარგებლობენ გეოდეზიური მეთოდით.

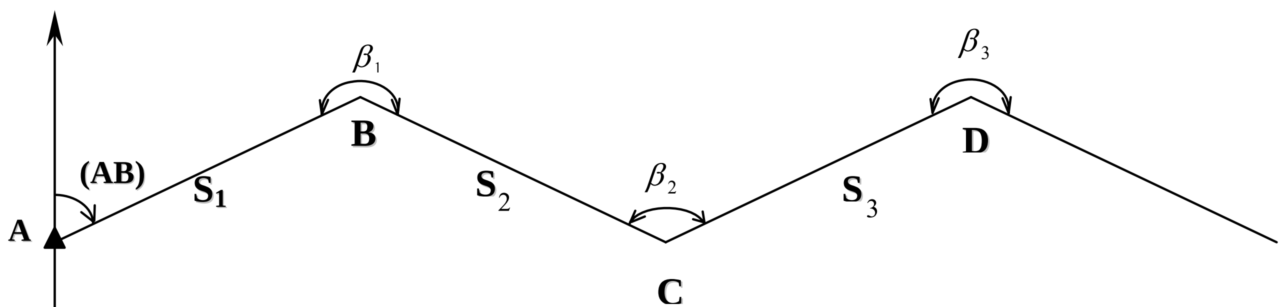
გეოდეზიური მეთოდით კოორდინატების განსაზღვრისას სარგებლობენ: 1. ტრიანგულაციის 2. ტრილატერაციის და 3. პოლიგონომეტრიის ხერხებით.

ა) ტრიანგულაციის მეთოდის არსი შემდეგში მდგომარეობს: ადგილზე ქმნიან სამკუთხედების ჯაჭვს ისე, რომ წვეროებიდან ერთმანეთი ჩანდეს. *A* და *B* პუნქტების კოორდინატები ცნობილია (განსაზღვრულია ასტრონომიულად და მათემატიკურად გამოთვლილია გეოდეზიური კოორდინატები), იზომება შიგა კუთხეები 1, 2, 3, 4... ცნობილი *A* და *B* წერტილების კოორდინატებისა და გაზომილი კუთხეების საშუალებით გამოითვლება დანარჩენი პუნქტების კოორდინატები.

მოცემული *A* წერტილის კოორდინატებით, *AB* ხაზის სიგრძით, მისი (*AB*) აზიმუტით და გაზომილი შიგა კუთხეებით 1, 2, 3, 4, ..., გამოითვლება *BCDEF* ... წერტილების კოორდინატები (ნახ. 15).

ბ) ტრილატერაციის დროს გამოსავალი მონაცემებია იგივე ე.ი. 1) *A* და *B* წერტილების კოორდინატები ან 2) *A* წერტილის კოორდინატები, *AB*-ს სიგრძე და (AB)-აზიმუტი. ნაცვლად კუთხეებისა იზომება ყველა გვერდის სიგრძეები, ხოლო შემდეგ გამოითვლება დანარჩენი წერტილების კოორდინატები.

გ) პოლიგონომეტრიის დროს *A* წერტილია ცნობილი და ვიცით პირველი *AB* გვერდის აზიმუტი. ვზომავთ S_1, S_2, S_3. . . მანძილებს და კუთხეებს β_1, β_2, β_3 . . . შემდეგ გამოითვლება *B, C, D*. . . წერტილების კოორდინატები (ნახ. 16).



ნახ. 16

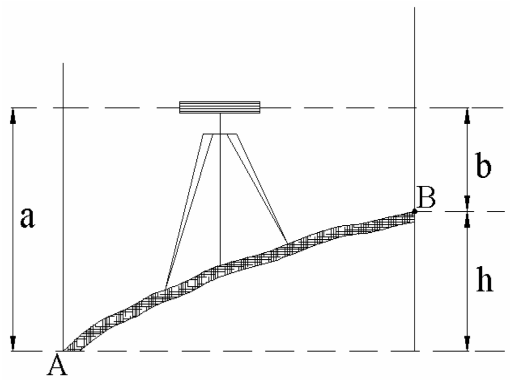
დ) ნიველობა

გეოდეზიური დასაყრდენი ქსელის სასიმაღლო საფუძვლის შექმნა ხდება, გეომეტრიული, ტრიგონომეტრიული და ბარომეტრული ნიველობის ხერხით.

ნიველობა არის მოქმედებათა ერთობლიობა, რომლის საშუალებითაც განისაზღვრება წერტილთა შორის სიმაღლეთა სხვაობა, ანუ აღმატება.

გეომეტრიული ნიველობის დროს ხდება წერტილებს შორის სიმაღლეთა სხვაობის განსაზღვრა თარაზული სხივის საშუალებით, რომელსაც გვაძლევს ხელსაწყო (ნიველირი).

17-ე ნახაზიდან ჩანს, რომ სიმაღლეთა სხვაობის განსაზღვრის ფორმულაა



ნახ. 17

$$h = a - b. \tag{4.1.1}$$

ტრიგონომეტრიული ნიველობა სრულდება დახრილი სხივის საშუალებით, სადაც დახრის კუთხე და მანძილები იზომება თეოდოლიტით, რომელთა მონაცემების ჩასმით სათანადო ფორმულებში მიიღება წერტილთა შორის სიმაღლეთა სხვაობები.

ბარომეტრული ნიველობა სრულდება წერტილებზე ჰაერის წნევისა და ტემპერატურის გაზომვების შედეგად.

4.2. გეგმების, რუკების, პროფილების შედგენასთან დაკავშირებული ზოგიერთი ცნებები

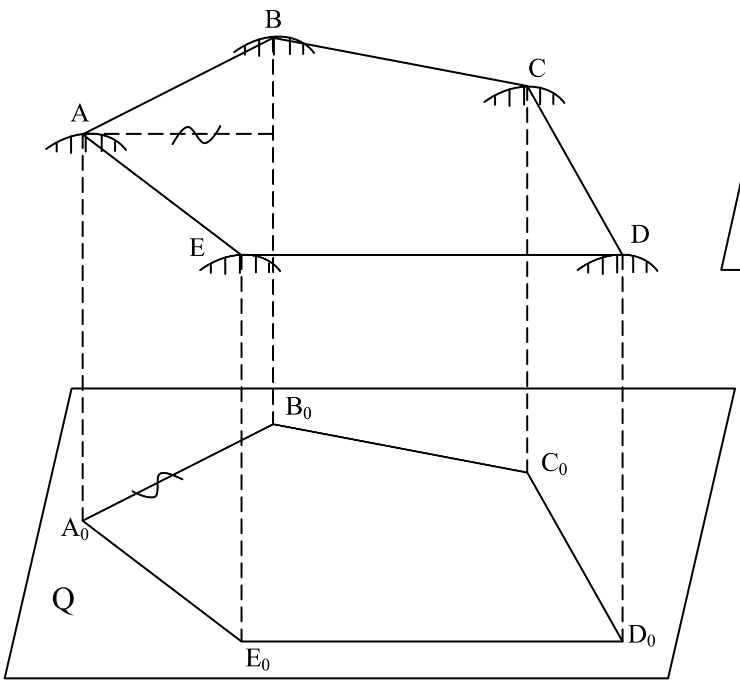
ნებისმიერი ობიექტის გეომეტრიული აგება ადვილია მის მსგავს ზედაპირზე.

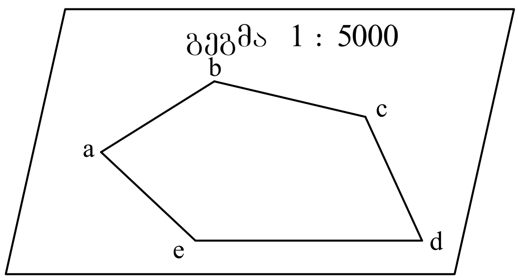
მაშასადამე, დედამიწის ნამდვილ სახეზე სრულყოფილი წარმოდგენა გვექნება, თუ მას ავაგებთ მის მსგავს ტანზე, მაგალითად – გლობუსზე, მაგრამ პრაქტიკული გამოყენებისათვის დიდი გლობუსი უხერხულია (მაგალითად 1 : 10 000 000 მასშტაბში დედამიწა გლობუსზე გამოისახება 1.3მ დიამეტრით. მასზე ევერესტიც კი ძნელად შეიმჩნევა, ამიტომ იგი ნაკლებად გამოსაყენებელია), რის გამოც დედამიწას ან მის დიდ ნაწილებს გამოხაზავენ სიბრტყეზე (ქაღალდზე) გეგმების ან რუკების სახით.

სფეროს განშლა სიბრტყეზე დაკავშირებულია დამახინჯებებთან (დედამიწა რომ იყოს ცილინდრული ან კონუსური ფორმის იგი დაუმახინჯებლად გაიშლებოდა), ამიტომ გეოდეზიაში მიღებულია სხვადასხვა კარტოგრაფიული პროექციები, სადაც მხედველობაში მიღებულია ზემოხსენებული დამახინჯებები. აქ საქმე გვექნება ორ შემთხვევასთან:

1. როცა სივრცე დიდია;
2. როცა სივრცე პატარაა.

როცა სივრცე არ აღემატება 300 – 320 კმ^2, საქმე გვექნება გეგმებთან, ხოლო როცა სივრცე მეტია, მივიღებთ რუკებს.





ნახ. 18

პატარა სივრცეს ვაგეგმილებთ Q ჰორიზონტულ სიბრტყეზე ორთოგონალურად. აქ შვეული ხაზები პარალელურები იქნებიან. (ნახ. 18)

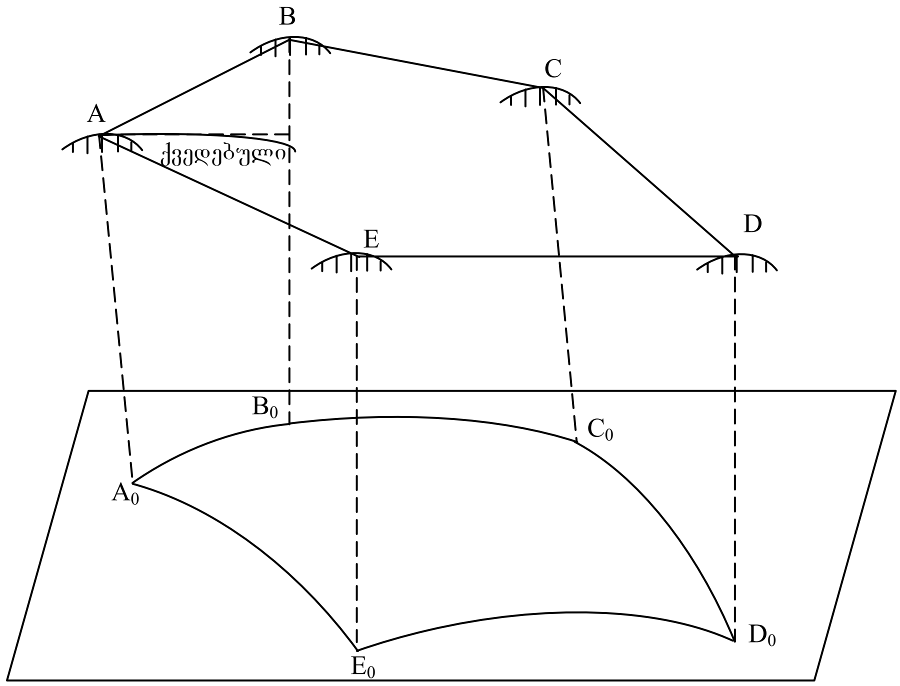
დიდი სივრცეები გეგმილდება სფერულ ზედაპირზე, სადაც შვეული ხაზები ურთიერთ მიმართ პარალელურები არ იქნებიან. (ნახ. 19)

ორივე შემთხვევაში ადგილი აქვს დამახინჯებას, მაგრამ პირველში განსხვავება მცირეა და ნახაზზე გადაგვაქვს სათანადო შემცირებით, გეგმის სახით, სადაც დამახინჯების შეცდომას ვუგულვებელვყოფთ.

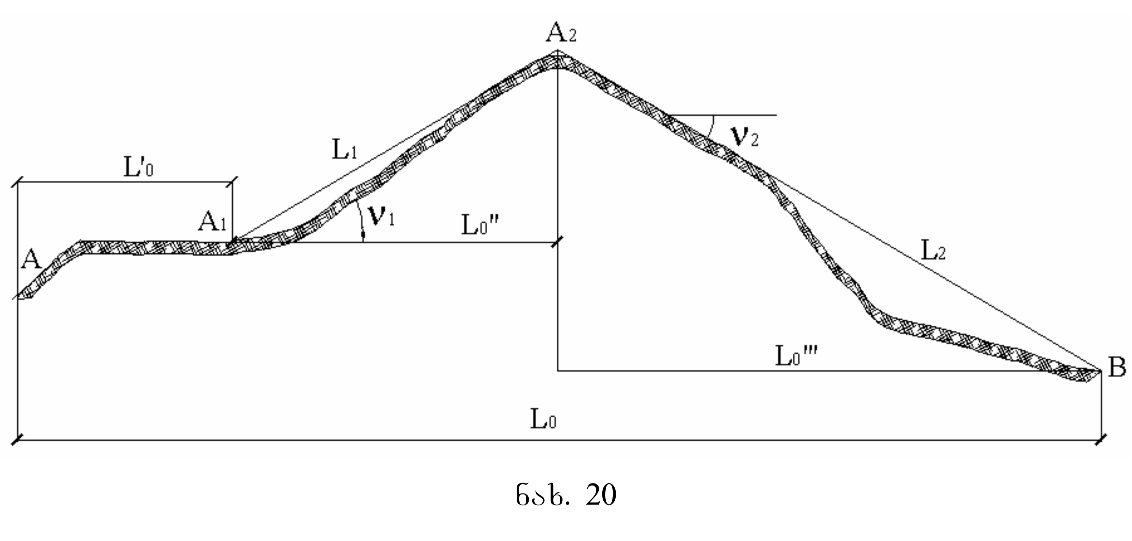
პირველ შემთხვევაში $A_0B_0C_0D_0E_0$ უწოდებენ თარაზულ პროექციას (ჰორიზონტულ პროექციას).

მეორე შემთხვევაში კი უწოდებენ ჰორიზონტალურ პროექციას.

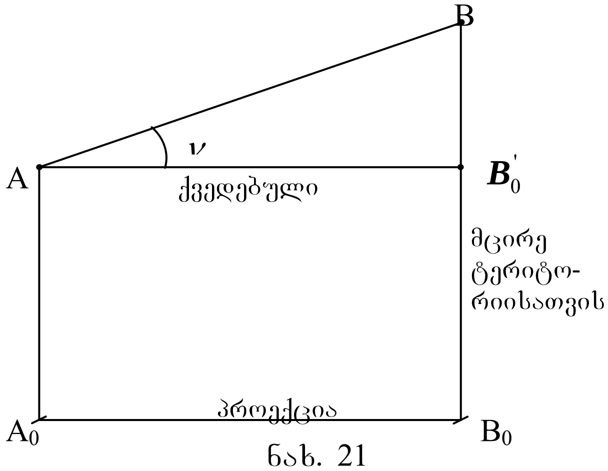
ნახ. 19



დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირს წარმოდგენით ვაგეგმილებთ დონებრივ ზედაპირზე, რაც საერთოდ არ ხდება. სინამდვილეში კი, *AB* ხაზის ქვედებული ეს არის *AB* ხაზის პროექცია სიბრტყეზე (ნახ. 20).



ნახ. 20

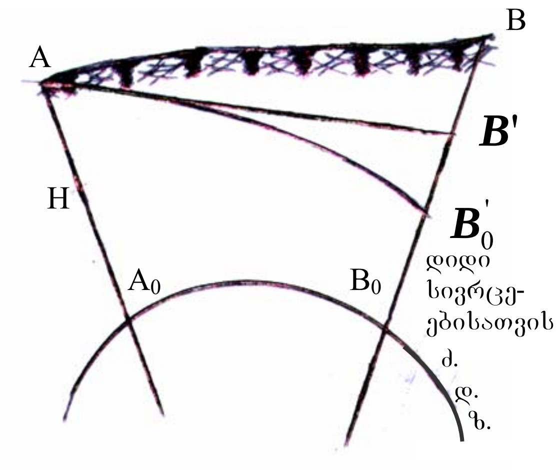


ნახ. 21

$$L_0 = L_0^{'} + L_0^{''} + L_0^{'''} = L_0^{'} + L_1 \cos\nu_1 + L_2 \cos\nu_2 \tag{4.2.1}$$

მაშასადამე, ადგილზე ჩვენ ვზომავთ ან ვსაზღვრავთ ქვედებულს. მცირე სივრცეებზე ქვედებულები და თარაზული პროექციები ერთი და იგივეა, ხოლო დიდ სივრცეებზე ქვედებულებში უნდა შევიტანოთ შესწორებები.

გეგმა არის სიბრტყედ (თარაზული) მიღებულ დონებრივ ზედაპირზე ორთოგონალურად დაგეგმილებული, შედარებით მცირე ტერიტორიის ასლი, გამოხაზული ქაღალდზე.



ნახ. 22

დიდი ტერიტორიის დროს ჰორიზონტალური პროექციიდან ავიღოთ ქვედებულები (ნახ. 22).

$$\frac{A_0B_0}{AB_0^{'}} = \frac{R}{R+H} \tag{4.2.2}$$

$$A_0B_0 = AB_0^{'}\frac{R}{R+H} = AB_0^{'}\left(1 - \frac{H}{R} + \frac{H^2}{R^2} - \cdots\right) \tag{4.2.3}$$

ამ გამოსახულებაში ბოლო წევრს სიმცირის გამო უგულვებელვყოფთ, ამიტომ

$$A_0B_0 \approx AB_0^{'}\left(1 - \frac{H}{R}\right). \tag{4.2.4}$$

შესწორება გამოითვლება ფორმულით

$$\varepsilon = A_0B_0 - AB_0^{'} = -AB_0^{'}\frac{H}{R}. \tag{4.2.5}$$

მაგალითად, როცა $AB_0^{'} = 500$ მ, მაშინ გამოთვლის შედეგად $\varepsilon = 8$ სმ.

ვინაიდან ჰორიზონტალური პროექცია ქვედებულს არ უდრის, ამიტომ სფეროიდის ზედაპირზე დაგეგმილების დროს ქვედებული მახინჯდება. ე.ი. რუკის შედგენის დროს ქვედებულები ორჯერ უნდა შესწორდეს.

რუკა არის ჰორიზონტალურად მიღებული სფეროიდულ ან სფეროს ზედაპირზე ორთოგონალურად დაგეგმილებისა და სიბრტყეზე გამოხაზვის დროს დამახინჯებისაგან არა სრულად შესწორებული შემცირებული გამოსახულება მთელი დედამიწისა ან მისი დიდი ნაწილებისა ქაღალდზე.

გეგმა და რუკა მაშინ მოგვცემს სრულყოფილ წარმოდგენას დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე, თუ ორივე შემთხვევაში გვეცოდინება ყველა კონტურული წერტილების ნიშნულები.

4.3. ცნებები აგეგმვების შესახებ

აგეგმვის ქვეშ ვგულისხმობთ მოქმედებათა ერთობლიობას, რომლის საშუალებითაც შეიქმნება რაიმე ნაგებობის გეგმა და ჭრილები, ადგილის ტოპოგრაფიული გეგმა და რუკები, ან არსებულ გეგმებში და რუკებში სხვადასხვა დანიშნულებისამებრ შეიტანება საჭირო წვლილადები.

აგეგმვითი სამუშაოები შეიძლება დაიყოს 2-ჯგუფად: 1. საველე და 2. კამერალური.

საველე სამუშაოების ქვეშ იგულისხმება მანძილებისა და კუთხეების გაზომვები.

კამერალური სამუშაოები ითვალისწინებს განაზომთა მათემატიკურ დამუშავებას, გამოთვლებს და გამოხაზვას.

აგეგმვები სრულდება: 1. დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე, 2. წიაღში, 3. საჰაერო აგეგმვები.

დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირზე აგეგმვებს ეკუთვნის აგეგმვები ხმელეთზე. სახმელეთო აგეგმვებია: ინსტრუმენტალური, ნახევრად ინსტრუმენტალური და თვალზომითი.

ხშირად აგეგმვის სახელწოდება დაკავშირებულია ინსტრუმენტთან ე.ი. იმ ინსტრუმენტის სახელწოდება ჰქვია, რომლითაც ხდება აგეგმვა. მაგალითად: თეოდოლიტური, მენზულითი, ტახეომეტრიული, ფოტოთეოდოლიტური და სხვა.

წიაღის აგეგმვები განკუთვნილია: ა) მეტროპოლიტენებისათვის და ბ) სამთო-საექსპლოატაციო საქმესთან დაკავშირებული.

მეტროპოლიტენებისათვის განკუთვნილი სამუშაოებია: საორიენტირო, პოლიგონომეტრიული სამუშაოები და ნიველობა.

სამთო-საექსპლოატაციო საქმესთან დაკავშირებულ სამუშაოებში, ანუ სამარკშეიდერო სამუშაოებში შედის: საორიენტირო, თეოდოლიტური, ნიველობა და წვლილადების აგეგმვები.

აეროაგეგმვა წარმოადგენს აეროგადაღების, საველე ლაბორატორიული სამუშაოების, ტოპოგეოდეზიური სამუშაოების და ფოტოგრამმეტრიული სამუშაოების ერთობლიობას.

ყოველ აგეგმვაში ძირითადია ზოგადიდან კერძოზე გადასვლისა და აუცილებლობისა და საკმარისობის პრინციპის დაცვა.

არსებულ რუკებში წვლილადების შეტანასთან დაკავშირებული აგეგმვები სრულდება სხვადასხვა სამეცნიერო დარგების მიერ წვლილადების შეტანის მიზნით, აღმოჩენების შეტანის მიზნით (მაგალითად, აგეგმვები არსებობს გეოლოგიური, გეოფიზიკური, საგზაო, სატყეო, სინოპტიკური, საჰაერო, ელექტრული და სხვა), რის შედეგად მიიღება სათანადო სახელწოდების გეგმები, რუკები და პროფილები.

4.4. მასშტაბები

გეგმების, პროფილების, რუკების, ასევე ნებისმიერი ნახაზის ქაღალდზე გამოხაზვისათვის საჭიროა შემცირება, რასაც მასშტაბს ვუწოდებთ. ძირითადად მასშტაბებია: ვერტიკალური და ჰორიზონტალური.

ვერტიკალურ მასშტაბებს (პროფილების შედგენის დროს) ვუწოდებთ ნიშნულების შესაბამისი სიმაღლეების, პროფილების შემცირების ზომას.

გეგმაზე ჰორიზონტული მასშტაბია ქვედებულების შესაბამისი სიგრძეების ქაღალდზე გამოხაზვის შემცირების ზომა.

მოცემულ წერტილში, გარკვეული მიმართულებით რუკის მასშტაბები ეწოდება ამ წერტილის მახლობლობაში იმავე მიმართულებით აღებულ უსასრულოდ მცირე სიგრძესა და ადგილზე შესაბამის შესწორებულ ქვედებულებს შორის ფარდობას.

ა) რიცხვითი მასშტაბი

რიცხვითი (1:M)მასშტაბი ეწოდება ალიქვოტურად (მრიცხველში ერთი) დაწერილ წილადს, რომლის მნიშვნელი გვიჩვენებს რამდენჯერ უნდა შემცირდეს ქვედებული სიბრტყეზე გამოხაზვის დროს: $\frac{1}{10000}, \frac{1}{5000}, \frac{1}{2000}$.

მოცემული რიცხვითი მასშტაბები შეგვიძლია დავწეროთ სხვაგვარადაც: 1სმ – 100მ; 1სმ – 50მ; 1სმ – 20მ. რიცხვითი მასშტაბის საფუძველზე ასე დაწერილ მასშტაბს ეწოდება სახელდებული (განმარტებითი) მასშტაბი.

მასშტაბების ცნებასთან დაკავშირებით შეიძლება ამოიხსნას სამი ამოცანა.

1. გვაქვს გეგმა, რომლის მასშტაბი არ ვიცით და უნდა გავიგოთ ამ გეგმის მასშტაბი.

ვთქვათ, ხაზის მონაკვეთის სიგრძე გეგმაზე 2სმ-ია, ხოლო ამ მონაკვეთის შესაბამისი სიგრძე ადგილზე=200მ.

მათი შეფარდებით მივიღებთ საძიებელ მასშტაბს.

$$\frac{2}{20000} = \frac{1}{10000};$$

2. გვაქვს ხაზის სიგრძე გეგმაზე და მასშტაბი. უნდა გავიგოთ შესაბამისი ქვედებული ადგილზე. ხაზის სიგრძე გეგმაზე გამრავლებული მასშტაბის მნიშვნელზე იქნება ქვედებულის სიგრძე ადგილზე.

3. გვაქვს ქვედებულის სიგრძე ადგილზე და მასშტაბი. ქვედებულის სიგრძეს გავყობთ მასშტაბის მნიშვნელზე, მივიღებთ მონაკვეთის ქვედებულის სიგრძეს გეგმაზე.

ვინაიდან ზემოხსენებული არითმეტიკული მოქმედებები, ფარგლით გამონათვლის აღება სახაზავზე და მისი გადაზომვა ქაღალდზე ბევრ დროს მოითხოვს და შეცდომების წყაროა, ამიტომ მიმართავენ ხაზვით მასშტაბს.

ბ) ხაზვითი მასშტაბი

ხაზვითი მასშტაბი ცნობილია შემდეგი სახის: ხაზოვანი, განივი, სოლური.

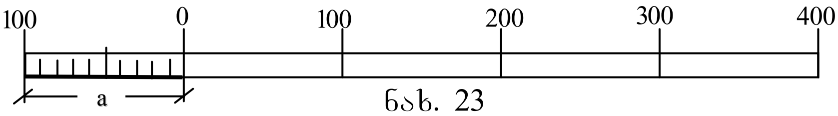
ნებისმიერი სახის ხაზვითი მასშტაბი (ხაზოვანი, განივი, სოლისებრი) წარმოადგენს სკალას, რომლის დანაყოფის კვესურებზე წარწერილია მოცემული რიცხვითი მასშტაბის შესაბამისი რიცხვები.

<u>ხაზოვანი</u> მასშტაბის შესადგენად ფარგლის მაქსიმალური ბიჯით (ათი სანტიმეტრი) გავატარებთ თარაზულ სქელ ხაზს, შემდეგ მის პარალელურად ერთ

მმ-ზე დაშორებით გავატარებთ ბეწვისებურ ხაზს (არა უმეტეს 0.08 მმ-სა), რომელსაც ზომის ხაზი ეწოდება.

მოცემული რიცხვითი მასშტაბის საფუძველზე შევარჩევთ მასშტაბის ფუძეს (ჩვენს შემთხვევაში 1სმ) საერთოდ იღებენ 1სმ, 2სმ, 2.5სმ. ე.ი. ისეთ ფუძეს, რომელსაც მოცემული რიცხვითი მასშტაბის მიხედვით შეესაბამება მარტივი რიცხვები. მაგალითად 1 : 10000, 1 : 5000, 1 : 2000 მასშტაბისათვის შესაბამისად ფუძეს ავიღებთ 1, 2 და 2.5სმ. შემდეგ გადავზომავთ გავლებულ ხაზზე შერჩეული ფუძის ტოლ მონაკვეთებს.

ვთქვათ, რიცხვითი მასშტაბი არის 1 : 10000, მაშინ ხაზოვანი მასშტაბი იქნება (ნახ. 23)



ნახ. 23

a მონაკვეთს მასშტაბის <u>ფუძე</u> ეწოდება, ხოლო ადგილზე მის შესაბამის ქვედებულს კი მასშტაბის ოდენობა ჰქვია. თუ a=2სმ, მასშტაბს <u>ნორმულს</u> უწოდებენ.

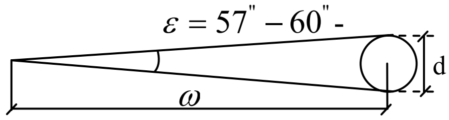
ფუძის პირველ მარჯვენა კვესურზე წავაწერთ 0-ს, მარცხნივ მოცემული რიცხვითი მასშტაბის შესაბამის რიცხვს ადგილზე შეესაბამება – 100მ. პირველ ფუძეს ვყობთ m=10 ტოლ ნაწილად.

<u>მასშტაბის სიზუსტე</u> ეწოდება უმცირესი დანაყოფის შესაბამის ქვედებულს ადგილზე. იგი ცვალებადი სიდიდეა ერთი და იგივე მასშტაბისათვის და დამოკიდებულია მასშტაბის აგებაზე (მაგალითად თუ ფუძეს დავყობთ 10 ნაწილად, ჩვენი მასშტაბის შემთხვევაში სიზუსტე იქნება 10მ, თუ დავყობთ 20 ნაწილად – სიზუსტე იქნება 5მ და ხუთ ნაწილად დაყოფის შემთხვევაში სიზუსტე იქნება 20მ).

<u>მასშტაბის ზღვრული სიზუსტე</u> არის მოცემული მასშტაბის ზღვრული გრაფიკული სიზუსტის შესაბამისი ქვედებული ადგილზე.

ზღვრული გრაფიკული სიზუსტე ყველა მასშტაბისათვის მუდმივია. მაგალითად: ავიღოთ წერტილი და დავმზიროთ საუკეთესო ხედვის $\omega = 250$ მმ მანძილზე ε კრიტიკული კუთხით. ექსპერიმენტალურად დადგენილია რომ იგი $= 57'' - 60''$.

$$d = \frac{\varepsilon''}{\rho''} \cdot \omega = \frac{60''}{206265} \cdot 250 \approx 0.1 \text{ მმ}$$



ე.ი. წერტილის დიამეტრი, რომელსაც არჩევს შეუიარაღებელი თვალი ყოფილა 0.1მმ, რასაც ეწოდება მასშტაბის ზღვრული გრაფიკული სიზუსტე.

1 : 10000 მასშტაბისათვის ზღვრული სიზუსტე 1მ იქნება.

1 : 5000 მასშტაბისათვის ზღვრული სიზუსტე 50სმ იქნება.

1 : 2000 მასშტაბისათვის ზღვრული სიზუსტე 20სმ იქნება.

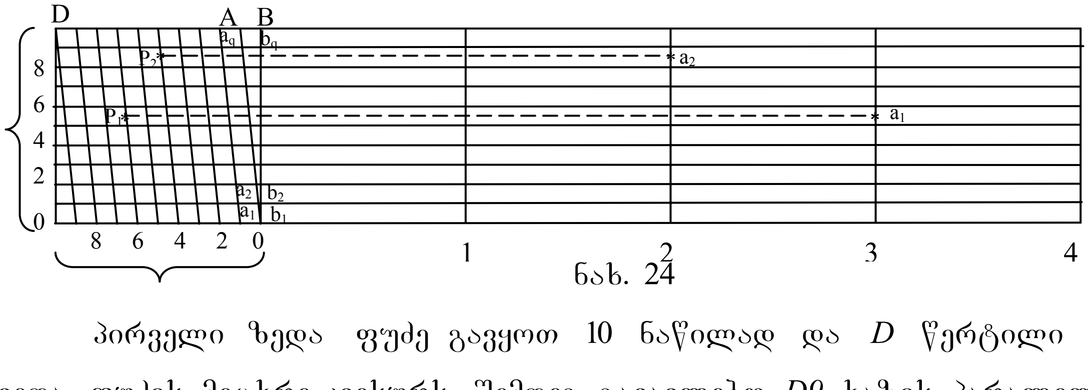
როგორც ვხედავთ ყველა მასშტაბისათვის ზღვრული გრაფიკული სიზუსტე ერთი და იგივე იქნება, ხოლო ზღვრული სიზუსტე კი სხვადასხვა.

ანათვალი ხაზოვან მასშტაბზე უდრის ფარგლის მარჯვენა და მარცხენა წვეროზე ანათვლების ჯამს, მაგალითად: ვთქვათ 1 : 10000 მასშტაბის საშუალებით შედგენილ ხაზოვან მასშტაბზე უნდა გადავზომოთ 271.35მ, მოცემულ მასშტაბში 1მ-ზე ნაკლებ სიგრძეს ვერ გადავზომავთ ე.ი. 0.35 მეტრი უნდა გადავაგდოთ. 200მ გადავზომავთ მარჯვნივ და 70მ-ის გადასაზომად მარცხენა ფეხს გადავიტანთ ფუძის მე-7 პატარა დანაყოფზე; 1მ-ის გადასაზომად კი იმავე მარცხენა ფეხს გადავიტანთ კიდევ მარცხნივ მილიმეტრის 0.1-ზე. გაზომილი ხაზის სიგრძე იქნება 200+70+1=271მ.

ბ) განივი ანუ ტრანსვერსალური მასშტაბი

უფრო მეტი სიზუსტის საჭიროების შემთხვევაში გამოიყენება განივი ანუ ტრანსვერსალური მასშტაბი. შევირჩევთ ფუძეს და ხაზოვანი მასშტაბის პრინციპზე ავაგებთ მასშტაბს ე.ი. გადავზომავთ ფუძეებს და გადაზომვის წერტილებში ავმართავთ პერპენდიკულარებს, გავუკეთებთ წარწერებს 1, 0, 1, 2, 3, ...

ვთქვათ ფუძედ ავიღეთ 2სმ. პირველი მონაკვეთი დავყოთ m=10 ნაწილად. შევარჩიოთ მონაკვეთი 2-3მმ და განაპირა მართობებზე გადავზომავთ n=10 მონაკვეთს.



ნახ. 24

პირველი ზედა ფუძე გავყოთ 10 ნაწილად და *D* წერტილი შევუერთოთ ქვედა ფუძის მეცხრე კვესურს. შემდეგ გავავლებთ *D9* ხაზის პარალელურ ხაზებს ანუ ტრანსვერსალებს.

ფუძის პატარა დანაყოფი უდრის მის 0.1-ს, ხოლო ვერტიკალურად გადაადგილება თითო საფეხურით იქნება ფუძის პატარა დანაყოფის 0.1-ს ან ფუძის 0.01-ს.

ე.ი. $a_1b_1 = 0.01$ ფუძისას

$a_2b_2 = 0.02$ ფუძისას

. . . .

. . . .

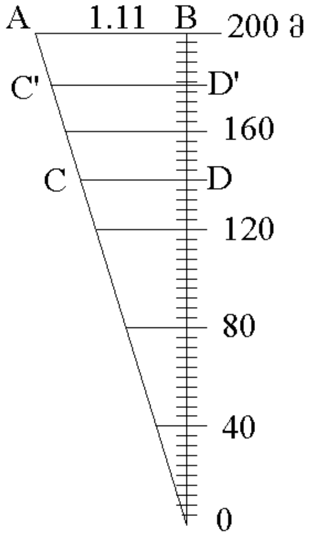
$AB = 0.1$ ფუძისას

ვთქვათ, უნდა გადავზომოთ 286მ 72სმ (მასშტაბის ფუძეა ერთი სანტიმეტრი) ფუძის ჯერად რიცხვს 200მ გადავზომავთ ფუძის მარჯვნივ 2-თან, ე.ი. ფარგლის მარჯვენა ფეხს გავაჩერებთ 2-ზე. შემდეგ 80მ-ის გადასაზომად ფარგლის მარცხენა ფეხს დავაყენებთ ფუძის მე-8 დანაყოფზე. შემდეგი რიცხვის – 6მ-ის გადასაზომად ფარგლის მარცხენა ფეხს გადავაადგილებთ ვერტიკალურად ზევით მე-6 დანაყოფზე. შემდეგი რიცხვის 70სმ-ის გადასაზომად ფარგლის ფეხს გადავაადგილევთ ვერტიკალურად ზევით მე-6 დანაყოფიდან 0.7 მონაკვეთზე (თვალით), ხოლო უკანასკნელ რიცხვს – 2სმ გადავაგდებთ.

ამრიგად, ჩვენი გადაზომილი სიგრძე იქნება 2.867სმ. მაშასადამე, განივი მასშტაბი 10-ჯერ უფრო ზუსტია ხაზოვან მასშტაბზე და გამოსაყენებლად მოხერხებულია.

მასშტაბი წილად ფუძეზე

იმ შემთხვევაში, როდესაც რიცხვითი მასშტაბის მნიშვნელი არ არის გამოსაყენებლად მოხერხებული რიცხვი ან ვსარგებლობთ არამეტრული ათობითი სისტემის მასშტაბიანი რუკებით და გეგმებით, მუშაობის გაადვილების მიზნით ადგენენ ისეთ ხაზვით მასშტაბს, რომელსაც ფუძე ექნება წილადი, მხოლოდ ქვედებულზე შესაბამისი რიცხვები მრგვალი იქნება. მაგალითად, სოლისებრი მასშტაბის ფუძეა (ნახ. 25) 1,11 სმ, იმის გამო, რომ აეროსურათის რიცხვითი მასშტაბის მნიშვნელი დავამრგვალეთ შემდეგნაირად: აეროსურათის მასშტაბი არის 1 : 18000, ე.ი. გეგმაზე 1 სმ ქვედებულს ადგილზე შეესაბამება 180 მ. ვადგენთ პროპორციას – რას უნდა



ნახ. 25

უდრიდეს *a* ფუძე, რომ შესაბამისი ქვედებულის სიგრძე ადგილზე 200 მეტრი იყოს, მაშასადამე,

$$1 \text{ სმ } ---------- \ 180 \text{ მ} \qquad a = \frac{200\text{მ} \cdot 1\text{სმ}}{180\text{მ}} = 1{,}111 \text{ სმ}$$

$$a \ --------- \ 200 \text{ მ}$$

ან კიდევ, ვთქვათ, ვსარგებლობთ 200 სჟ რუკით, ე.ი. გეგმაზე 1 გოჯს ადგილზე შეესაბამება 200 სჟ. საერთოდ, პირველ რიგში უნდა გავიგოთ რიცხვითი მასშტაბი, რისთვისაც ვერსები და საჟენები გოჯებში უნდა გამოვსახოთ. მაშასადამე, ვინაიდან 1 სჟ=84 გოჯს, 200 სჟ რუკის მასშტაბი იქნება 1 : 16800. ვადგენთ პროპორციას.

მოცემული 200 საჟენიანი რუკის მასშტაბის მიხედვით 1 სმ ფუძეს ადგილზე ქვედებული შეესაბამება 168 მეტრი. რას უნდა უდრიდეს *a* ფუძე, რომ მას შეესაბამებოდეს 200 მეტრი, ე.ი. მასშტაბის ფუძე უნდა იქნეს

$$\boldsymbol{a} = \frac{200\text{მ} \cdot 1 \text{ სმ}}{168 \text{ მ}} = 1{,}1904 \text{ სმ}$$

განხილადი რუკისათვის ნებისმიერი სახის ხაზვითი (ხაზოვანი, სოლისებრი, განივი) მასშტაბის ფუძეს ავიღებთ 1,19 ან 2, 38 სმ. პირველ შემთხვევაში ადგილის ქვედებულის შესაბამისი რიცხვები იქნება 200 მეტრი და მეორე შემთხვევაში 400 მეტრი. ამით რუკის რიცხვითი მასშტაბი იგივე იქნება და ასეც უნდა იყოს, ხოლო წილადფუძიანი მასშტაბის სიზუსტე მცირეოდენ შემცირდება.

საერთოდ უნდა გვახსოვდეს, ხაზვითი მასშტაბის ფუძე უნდა ავიღოთ 1,19 ან 2,38 სმ. პირველ შემთხვევაში სათანადო რიცხვები ადგილზე იქნება იმდენი მეტრი, რამდენ საჟენიანი რუკაც გვაქვს, ხოლო მეორე შემთხვევაში მეტრების რაოდენობა ორჯერ მეტი იქნება, მაგალითად, 500 სჟ რუკისათვის (რუკაზე 1 გოჯს ადგილზე ქვედებული შეესაბამება 500 სჟ. რიცხვითი მასშტაბი კი იქნება 1 : 42000) ხაზვითი მასშტაბის 1,19 ფუძეს ადგილზე 500 მეტრი ქვედებული შეესაბამება, ხოლო 2,38 სმ ფუძეს კი ადგილზე ქვედებული შეესაბამება 1000 მეტრი. რიცხვითი მასშტაბი იგივე დარჩება. მასშტაბს წილად ფუძეზე ხშირად გადასაყვანი მასშტაბი ეწოდება. ამ ღონისძიებით ნებისმიერი სისტემით შედგენილ რუკებზე განაზომები მეტრულ სისტემაში მიიღება, რაც მეტად უწყობს ხელს ძველი (საჟენური) და სხვადასხვა სისტემის რუკების გამოყენებას. არსებული განივი მასშტაბიდან შეიძლება ავიღოთ გადასაყვანი მასშტაბების ფუძეები შემდეგნაირად:

მაგალითი: ვთქვათ, მასშტაბი არის ერთსანტიმეტრიანი ფუძით, მაშინ $Q_2P_2 = 1{,}19$ სმ, ხოლო $Q_3P_3 = 2{,}38$ სმ.

მაგალითი: ვთქვათ, მასშტაბი არის ორსანტიმეტრიანი ფუძით, მაშინ $Q_4P_4 = 1{,}19$, ხოლო $Q_5P_5 = 2{,}38$ სმ.

4.5. რუკებისა და გეგმების კლასიფიკაცია

რუკებზე და გეგმებზე მოთავსებულ ადგილის შესახებ ცნობების ერთობლიობას მისი შინაარსი ეწოდება. შინაარსის მიხედვით რუკები გვაქვს

1. საერთო გეოგრაფიული და 2. სპეციალური

მასშტაბის მიხედვით საერთო გეოგრაფიული რუკები არის სამი სახის:

1. წვრილმასშტაბიანი, რომლის მნიშვნელია 1000000 – მიმოხილვითი რუკები.

2. საშუალო მასშტაბიანი მიმოხილვითი რუკები:

1 : 1000000, 1 : 500000, 1 : 300000

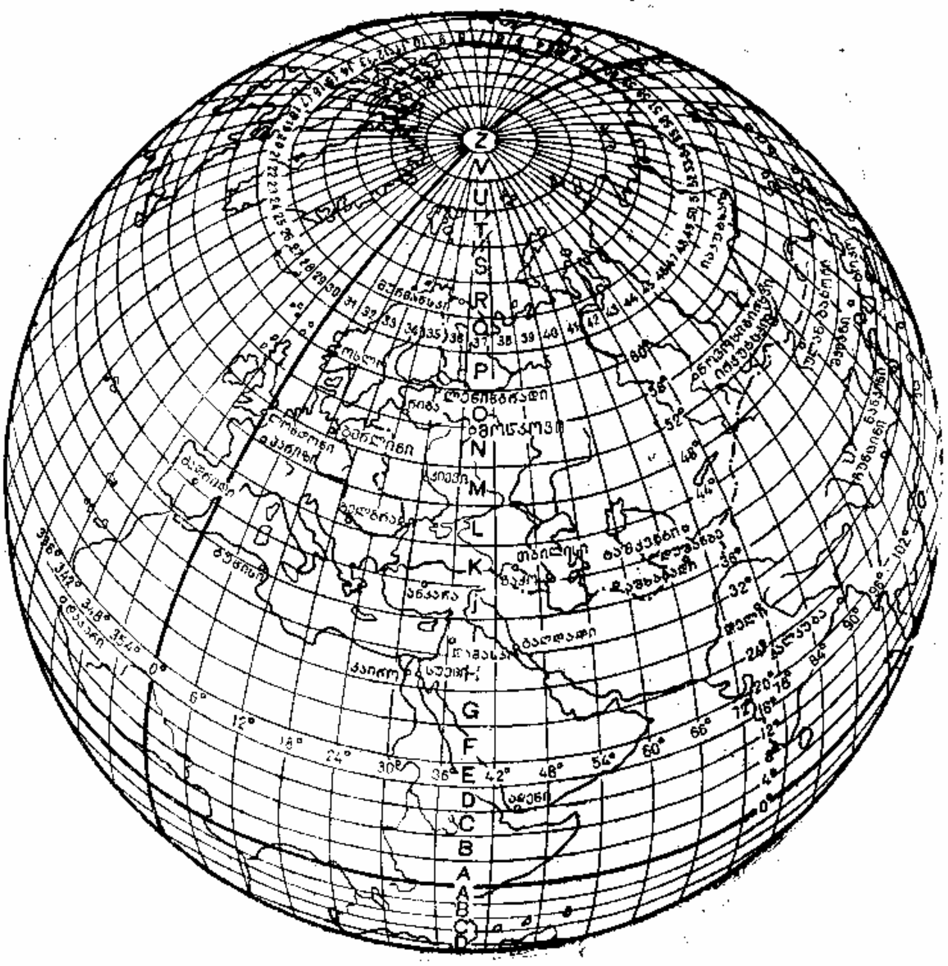
3. მსხვილმასშტაბიანი ტოპოგრაფიული რუკები

1 : 200000, 1 : 100000, 1 : 25000

4. ტოპო – გეგმები

1 : 10000, 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 და 1 : 500

სპეციალური ეწოდება ისეთ რუკებს, რომლებზეც უფრო დეტალურად არის გამოსახული საერთო გეოგრაფიული რუკების ცალკეული ელემენტების შინაარსი ან გამოსახულია ისეთი ბუნებრივი და სოციალურ-ეკონომიკური ელემენტები, რომლებიც საერთო გეოგრაფიულ რუკებზე არ არის გადაღებული. მაგალითად, სპეციალურ რუკებს განეკუთნება გეოლოგიური, გეოფიზიკური, სატყეო, საგზაო, საზღვაო, საჰაერო, გაზური, ელექტრული, სინოპტიკური და სხვა (მათ ხშირად თემატურ რუკებსაც უწოდებენ). სამხედრო რუკები, სპეციალურ რუკებს ეკუთვნის, რომლებზეც გადატანილია რელიეფისა და ობიექტების გარდა, ადგილზე ტრანსპორტისა და სხვა სამხედრო აღჭურვილობის გამტარუნარიანობის (გრუნტები, ნიადაგები) და სვლების შესახებ ცნობები და სხვა. სამხედრო რუკებია: სტრატეგიული (1 : 1000 000 და უფრო წვრილ მასშტაბიანი რუკები), ოპერატიული (1 : 500 000 – 1 : 200 000 მასშტაბიანი), ტაქტიკური (1 : 100 000 – 1 : 25 000 მასშტაბიანი). საერთოდ კი უნდა ვიცოდეთ, რომ რუკები და გეგმები ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი მასალა და დასაყრდენია სამხედრო საქმის წარმოების დროს. ამიტომ ამბობენ, რომ რუკა „არმიის თვალიაო“. საერთოდ კი ძნელია წარმოვიდგინოთ ისეთი დარგი, რომელიც არ საჭიროებს რუკებს, გეგმებს და პროფილებს.



ნახ. 26

4.6. რუკების დაყოფა, აღნიშვნა – დანომრვა და ნომენკლატურა

პრაქტიკული საჭიროების შესაბამისად მთელი დედამიწა გამოისახება რუკების ცალკეულ ფურცლებზე, რისთვისაც საჭიროა მთელი დედამიწის დაყოფა.

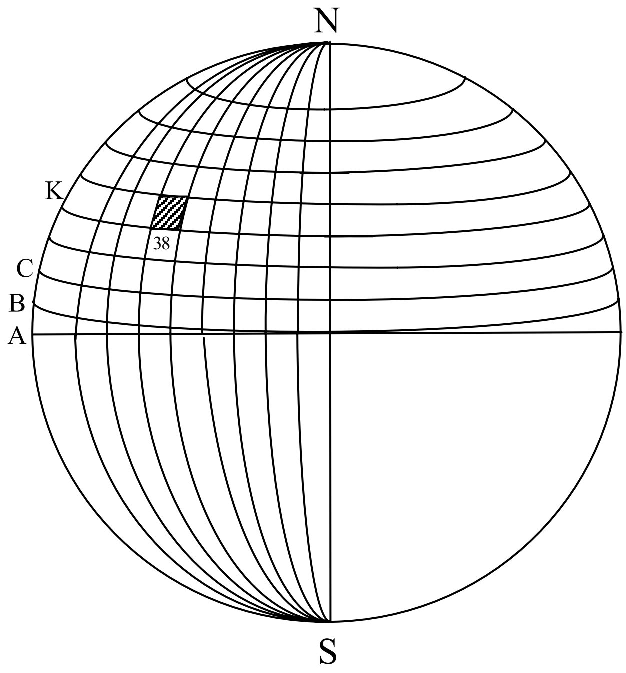
დაყოფისათვის გამოსავლად მიღებულია 1 : 1000000 რუკა.

ეკვატორიდან ზევით და ქვევით დედამიწას ყოფენ 4°-იან სფერულ სარტყლებად – სულ 44, რომელსაც ნომრავენ ლათინური მთავრული ასოებით *A, B, C, . . . V*-მდე

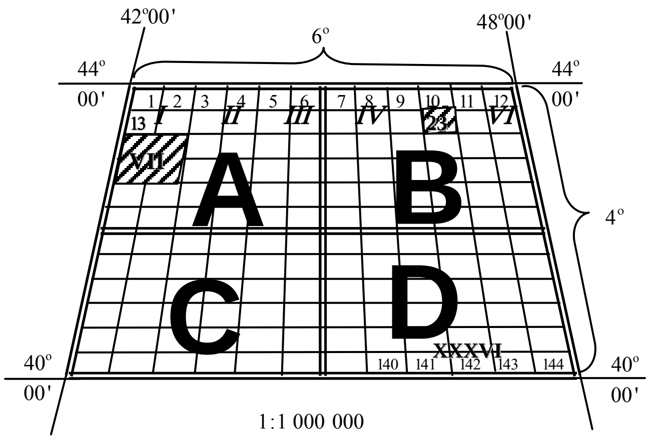
ამავე დროს გრინვიჩის მერიდიანის 180°-დან გამოყოფენ 6°-იან სფერულ ორგვერდოვანებს მერიდიანების საშუალებით, რასაც ფიუზოს უწოდებენ და ნომრავენ 1, 2, 3, 4, . . . , 60. მთელი დედამიწა დაიყოფა $44 \times 60 = 2640$ ტრაპეციად.

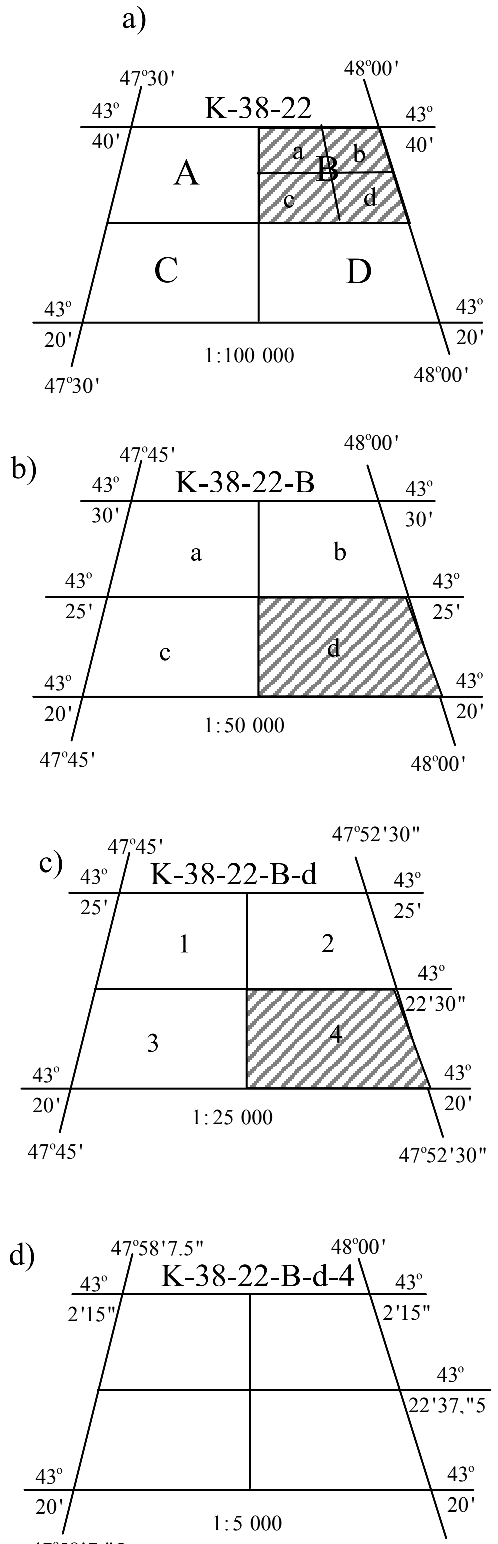
უნდა ვიცოდეთ, რომ ამა თუ იმ მასშტაბიანი რუკის ყოველ ფურცელს ასოებით და რიცხვებით თავისი აღნიშვნები ან ნომრები აქვს. რუკის ფურცლების აღნიშვნებისა და დანომვრის სისტემას ნომენკლატურა ეწოდება.

ვთქვათ გვინდა განვიხილოთ ტრაპეცია, რომელშიც თბილისი მდებარეობს, მისი ნომენკლატურაა K-38, სადაც K-სარტყლის ნომერია, 38-ფიუზოს ნომერია.



ნახ. 27





პირველ ცხრილში განხილულია სხვადასხვა მასშტაბიანი რუკების და გეგმების ნომენკლატურა თბილისის (K-38) სარტყლისათვის•.

• ამჟამად საერთაშორისო ასოციაციის მიერ მიღებულია თანამედროვე ნომეკლატურა. რადგანაც ჯერჯერობით იყენებენ ზემოაღნიშნულ ნომენკლატურას, ამიტომაც ვაწვდით მკითხველს ამ მასალას.

ცხრილი 1

მასშტაბები	გამოსავალი ფურცელი	დაყოფა	აღნიშვნა ან დაყოფა	ნომენკლატურა	რკალი	
					პარალელი	მერიდიანი
	მიმოხილვითი წვრილმასშტაბიანი რუკები					
1 : 1000000	დედამიწ. ზედ	2640	A, B, C, . . . 1, 2, 3, . . .60	K – 38	6°	4°
1 :500000	$\frac{1:1000000}{K-38}$	4	А, Б, С, Д,	K – 38 – A	3°	2°
1 : 300000	$\frac{1:1000000}{K-38}$	9	I-II-III. . .IX	K – 38 – VII	2°	1°20
	ტოპოგრაფიული რუკები					
1 :200000	“	36	I-II-. . .XXXVI	K – 38 – VII	1°	40'
1 : 100000	“	144	1, 2, 3, . . .144	K – 38 – 22	30'	20'
1 : 50000	$\frac{1:1000000}{K-38-22}$	4	А, Б, С, Д,	K – 38 – 22 – B აქედან იწყება სიბრტყე		
1 : 25000	$\frac{1:50000}{K-38-22-B}$	4	a, b, c, d	K – 38 –22 – B – d	7'5	5'
	ტოპოგრაფიული გეგმები					
1 : 10000	$\frac{1:25000}{K-38-22-B-a}$	4	1, 2, -3,4	K – 38 – 22 – B – d –2	3'45	2'5
1 : 5000	$\frac{1:100000}{K-38-22}$	256	1, 2, 3, . . .256	K – 38 – 22 – (240)		
1 : 2000	$\frac{1:5000}{K-38-22-(240)}$	4	A, B, C, D	K – 38 – 22 – 240 – A		
1 : 1000	$\frac{1:2000}{K-38-22-240-}$	4	I-II-III-IV	K–38– 22 –240–A–III		
1 : 500	$\frac{1:2000}{K-38-22-240-}$	16	1, 2, 3, . . .16	K–38– 22 –240–A–12 K – 38 – 22 – 240 – A		

საკითხის შედარებით სრულად წარმოდგენისათვის საჭიროდ მიგვაჩნია მოვიყვანოთ საქართველოს ტერიტორიისათვის ამჟამად დადგენილი ტოპოგრაფიული რუკების შემდეგი მასშტაბური რიგი და ტრაპეციების ჩარჩოების ზომები, ასევე მიღებულია შესაბამისი ნომენკლატურა.

მოვიყვანოთ ცხრილი პრეზიდენტის 1999 წლის №206 ბრძანებულებიდან.

ΔB – განედების სხვაობა

ΔL – გრძედების სხვაობა.

ცხრილი 2

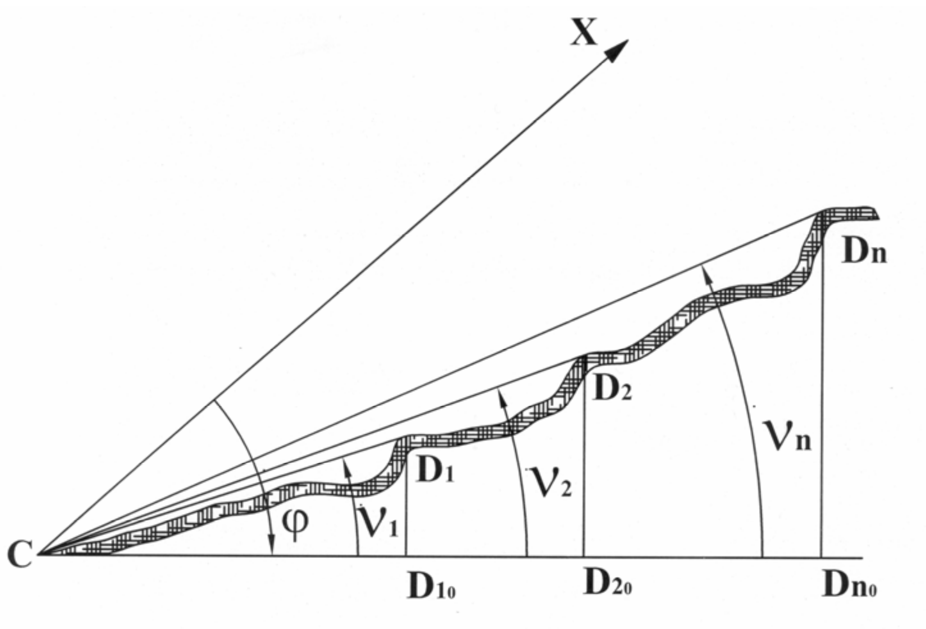
№	მასშტაბი	ტრაპეციის ჩარჩოს ზომები			ნომენკლატურა
		ΔB	ΔL	სმXსმ	
1	1 : 1 000 000	$4^{o}00'$	$6^{o}00'$	44.4x49.7	T-38
2	1 : 500 000	$2^{o}00'$	$3^{o}00'$	44.4x49.7	T-38-E
3	1 : 200 000	$0^{o}48'$	$1^{o}12'$	44.4x49.7	T-38-XLII
4	1 : 100 000	$0^{o}24'$	$0^{o}40'$	44.4x55.2	T-38-C4804
5	1 : 50 000	$0^{o}12'$	$0^{o}20'$	44.4x55.2	T-38-L4406
6	1 : 25 000	$0^{o}06'$	$0^{o}10'$	44.4x55.2	T-38-4635
7	1 : 10 000	$0^{o}03'$	$0^{o}05'$	55.5x69.0	T-38-4635d
8	1 : 5 000	$0^{o}01'30''$	$0^{o}02'30''$	55.5x69.0	T-38-4635d-4

V თავი

წერტილთა მდებარეობის განსაზღვრის საკითხისათვის

5.1. ორიენტირება

ა) მიმართულების დადგენისათვის



ნახ. 28

სივრცეში *C* წერტილზე მიმართულების, ანუ CD_n მიმართულების განსაზღვრისათვის, საჭიროა თარაზული მიმართულება ანუ φ კუთხე და ვერტიკალური მიმართულება ანუ ν კუთხე.

φ არის თარაზული პოლარული კუთხე, რომელსაც ეწოდება თარაზული მიმართულება, რომელსაც მიმართული ანუ CD_{n_0} ქვედებული ქმნის *C* წერტილში გატარებულ *x* ღერძთან (ღერძი კი მიმართული ხაზია).

კუთხე ν არის დახრის კუთხე, რომელსაც ადგენს მიმართული CD_n მონაკვეთი მის CD_{n_0} ქვედებულთან.

ორიენტირება ეწოდება მხოლოდ φ კუთხის განსაზღვრას, რის შედეგადაც *C* წერტილი მოხვდება CD_{n_0} ქვედებულის გასწვრივობაში.

ორიენტირებასთან დაკავშირებით ძირითადად სამი ამოცანა წყდება:

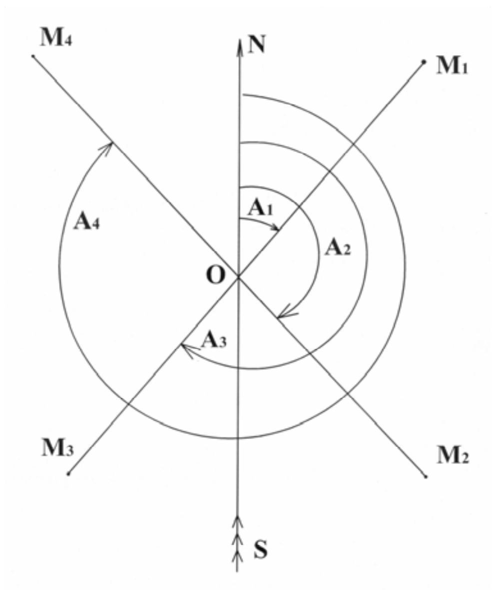
1. თვით φ კუთხის განსაზღვრა;
2. ცნობილი (გეგმიდან ამოღებული) φ კუთხის საშუალებით *D* წერტილის გაგნება;

3. არსებული რუკებისა და გეგმების ორიენტირება, რაც ნიშნავს რუკებისა და გეგმების ისე შემობრუნებას, რომ მათზე მოთავსებული ობიექტები მოხვდნენ ადგილზე მათი შესაბამისი ობიექტების გასწვრივობაში.

x ღერძის ნაცვლად C წერტილში შეიძლება გვქონდეს ასტრონომიული მერიდიანის, გეოდეზიური მერიდიანის, ღერძა მერიდიანის ან მაგნიტური მერიდიანის პროექციები, სფეროიდულ, სფერულ ან დონებრივ სიბრტყეზე, რის შესაბამისად საორიენტირო კუთხეებს ეწოდებათ ასტრონომიული აზიმუტი ან რუმბი, გეოდეზიური აზიმუტი ან რუმბი, დირექციული კუთხე ან დირექციული რუმბი, მაგნიტური აზიმუტი ან მაგნიტური რუმბი.

საუგულვებელყოფო შეცდომის დაშვებით ასტრონომიულ და გეოდეზიურ მერიდიანებს შერწყმულად სთვლიან (სინამდვილეში ისინი ურთიერთ გადახრილები არიან) და ორივეს ერთად უწოდებენ ჭეშმარიტ ან გეოგრაფიულ მერიდიანს. აქედან სათანადო (ასტრონომიულ და გეოდეზიურ) აზიმუტებს, საერთოდ უწოდებენ ჭეშმარიტ ან გეოგრაფიულ აზიმუტს და მაშასადამე ორიენტირებასაც უწოდებენ ჭეშმარიტ ან მაგნიტურ ორიენტირებას. აქედან გამომდინარე <u>ორიენტირებაც</u> ორგვარია: <u>გეოგრაფიული და მაგნიტური.</u>

ბ) ჭეშმარიტი ორიენტირება



ნახ. 29

ვთქვათ NS არის O წერტილის გეოგრაფიული მერიდიანი ე.ი. სადაც მიხრილობა მხედველობაში არ არის მიღებული.

წერტილებზე ორიენტირება ხდება კუთხეებით: 1) აზიმუტი 2) დირექციული კუთხე და 3) რუმბი. ჭეშმარიტ ორიენტირებისას ვიყენებთ ჭეშმარიტ აზიმუტს, დირექციულ კუთხეს ან ჭეშმარიტ რუმბს.

NS არის საშუადღეო ხაზი (პროექცია დონებრივ ზედაპირზე) ჭეშმარიტი ან გეოგრაფიული მერიდიანი. OM_1 მიმართულებით მონაკვეთის ჭეშმარიტი აზიმუტია A_1.

აზიმუტი არის კუთხე (A), რომელსაც OM_1 – მიმართული ქვედებული ქმნის O წერტილის ჭეშმარიტ საშუადღეო ხაზის ჩრდილო მიმართულებასთან. იცვლება 0^o-დან 360^o-მდე საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით. (ნახ. 37)-დან.

OM_1 – აზიმუტი იქნება A_1

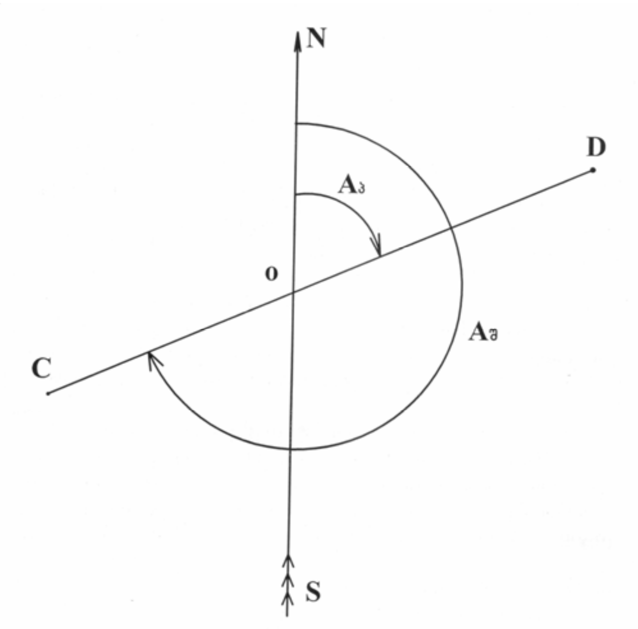
OM_2 – აზიმუტი იქნება A_2

OM_3 – აზიმუტი იქნება A_3

OM_4 – აზიმუტი იქნება A_4

ბ) დამოკიდებულება პირდაპირ და შებრუნებულ აზიმუტებს შორის

აზიმუტები არის: 1) პირდაპირი (რომელსაც გვაძლევენ ან ვზომავთ) და 2) შებრუნებული, რომელიც გამოითვლება (ნახ. 30)



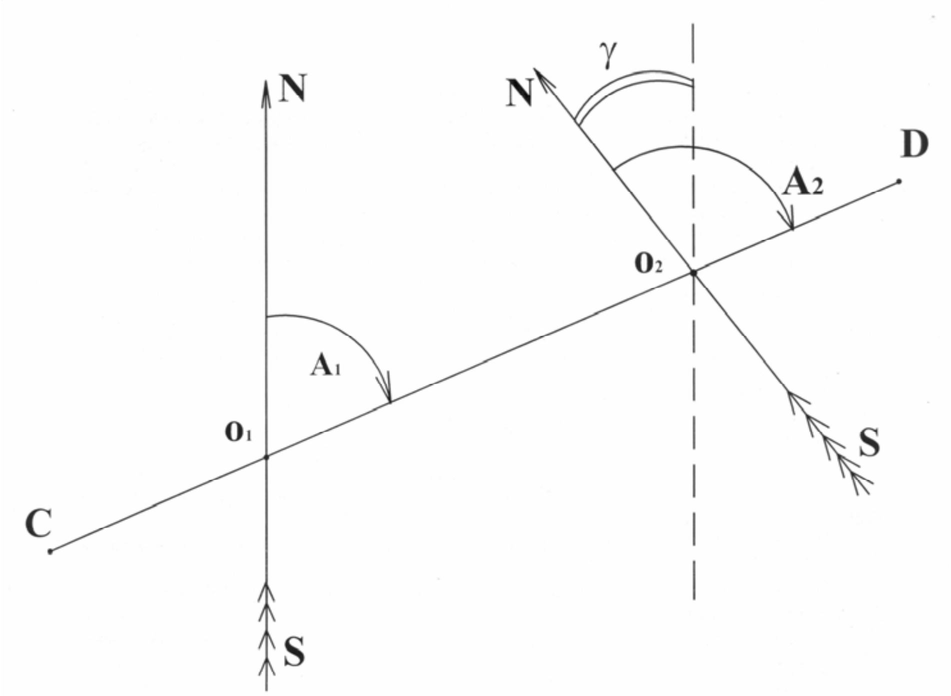
ნახ. 30

ვთქვათ გვაქვს *CD* ხაზის O წერტილში პირდაპირი აზიმუტი $A_პ$, მაშინ იმავე წერტილში მისი შებრუნებულია $A_შ$. ნახაზიდან

$$A_{შ} = A_{პ} \pm 180^{o}$$

წრფის ერთი და იგივე წერტილში შებრუნებული აზიმუტი უდრის პირდაპირ აზიმუტს ±180°, (+ როცა პირდაპირი აზიმუტი <180° და – როცა პირდაპირი აზიმუტი >180°) (ნახ. 30)

დ) წრფის აზიმუტის ქცევა



ნახ. 31

ავიღოთ მიმართება *CD*. O_1 წერტილში მისი აზიმუტი იქნება A_1, O_2-ში კი A_2 (აქ ლაპარაკია ჭეშმარიტ ორიენტირებაზე ე.ი. გვექნება ჭეშმარიტი აზიმუტი).

CD ხაზზე სხვადასხვა წერტილში აზიმუტი სხვადასხვაა. იგი იზრდება აღმოსავლეთით და მცირდება დასავლეთით.

$$A_2 = A_1 + \gamma ,$$

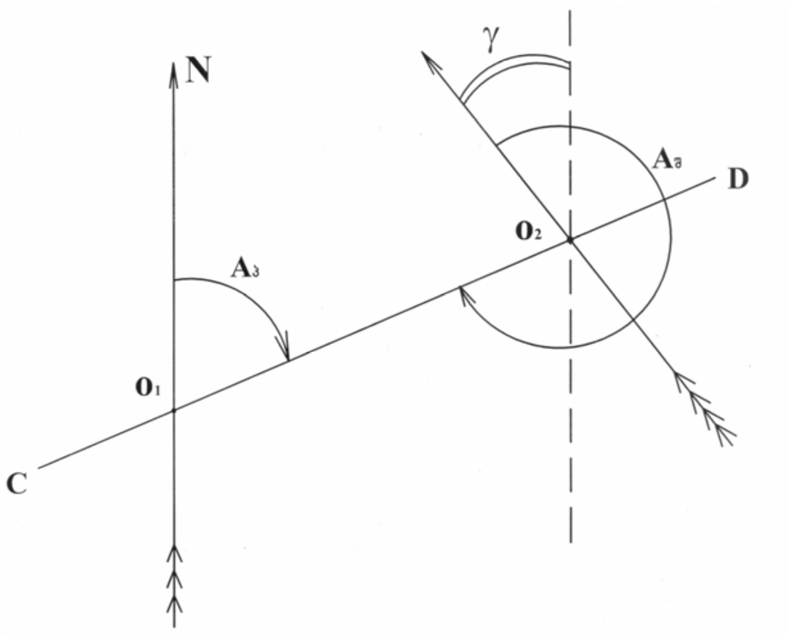
γ -მერიდიანის შეახლოების კუთხე.

ე) წრფის სხვადასხვა წერტილში აზიმუტებს შორის დამოკიდებულება

ავიღოთ იგივე *CD* ხაზი. ვთქვათ O_1 წერტილში პირდაპირი აზიმუტია $A_პ$. O_2 წერტილში იმავე *CD*-ს შებრუნებული აზიმუტი $A_შ$. წრფის სხავადასხვა წერტილში შებრუნებული აზიმუტი ტოლია

$$A_შ = A_პ \pm 180^{\circ} \pm \gamma .$$

პლიუსია, როცა $A_p < 180^{\circ}$ და მინუსი კი როცა $A_p > 180^{\circ}$



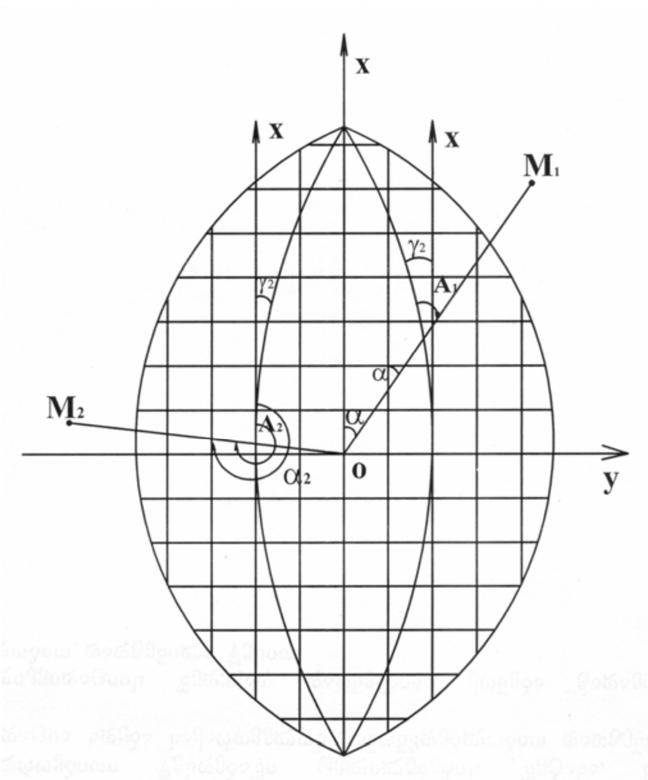
ნახ. 32

5.2. დირექციული კუთხე

ცნება დირექციული კუთხის შესახებ ჩვენში შემოვიდა მას შემდეგ, რაც მიღებული იქნა გაუსის პროექციები და კოორდინატები.

ავიღოთ სფერული ორგვერდოვანედი (ფიუზო). თვითოეულ ფიუზოში ცენტრალურ მერიდიანს უწოდებენ ღერძა მერიდიანს, რომელსაც *x* ღერძს ამთხვევენ. ღერძა მერიდიანის მართობი არის ეკვატორის პროექცია და აღნიშნავენ *y*-ით. ფიუზოს ფარგლებში მერიდიანებს თვლიან ურთიერ-თპარალელურად. პარალელების პროექციებიც იქნებიან პარალელურები.

პარალელებისა და მერიდიანების გავლენის შედეგად მიიღება კილომეტრული ბადე (ნახ. 33)



ნახ. 33

დირექციული კუთხე ეწოდება იმ კუთხეს, რომელსაც მიმართული ქვედებული ქმნის ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძის ჩრდილო მიმართულებასთან. იცვლება 0°-დან 360°-მდე საათის ისრის მოძრაობის თანხვდენილად და აღინიშნება α ასოთი; მაშინ როცა წრფის წერტილი მოხვდება ღერძა მერიდიანზე – დირექციული კუთხე ემთხვევა აზიმუტს. წრფის აზიმუტი იცვლება, წრფის დირექციული კუთხე კი მუდმივია.

ა) დამოკიდებულება წრფის სხვადასხვა წერტილში აზიმუტებსა და დირექციულ კუთხეს შორის

თუ გავატარებთ OM_1-ის რომელიმე წერტილში ჭეშმარიტ მერიდიანს, მივიღებთ აზიმუტს. დავუკავშიროთ აზიმუტი დირექციულ კუთხეს (ნახ. 33).

$$A_1 = \alpha_1 + \gamma \, , \tag{5.2.1}$$

ეს მაშინ, როდესაც წერტილი ღერძა მერიდიანის აღმოსავლეთისაკენაა, ხოლო

$$A_2 = \alpha_2 - \gamma \, , \tag{5.2.2}$$

როცა წერტილია ღერძა მერიდიანის დასავლეთით. მაგალითად OM_2-ის რომელიმე წერტილში α_2-იქნება დირექციული კუთხე, აქვე გავატაროთ ჭეშმარიტი მერიდიანი, მივიღებთ γ_2 კუთხეს

ე. ი. $$A_2 = \alpha_2 - \gamma$$

მაშასადამე, ზოგადად ორივე შემთხვევისათვის დავწერთ

$$A = \alpha \pm \gamma = \alpha + \gamma \qquad (5.2.3)$$

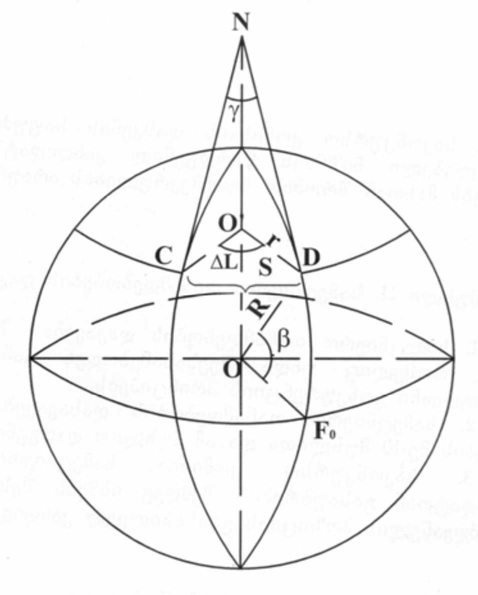
ე.ი. ჭეშმარიტი (გეოგრაფიული) აზიმუტი უდრის დირექციული კუთხისა და მერიდიანთა შეახლოების ალგებრულ ჯამს (რადგანაც γ-შეახლოება ალგებრული რიცხვია)

5.3. მერიდიანთა შეახლოების კუთხის გამოსათვლელი ფორმულა

CN და DN არიან C და D წერტილების საშუადღეო ხაზები. მათ შორის კუთხე γ იქნება მერიდიანთა შეახლოება.

$$\Delta L = L_D - L_C, \qquad (5.3.1)$$

ანუ ΔL არის C და D წერტილების გრძედების სხვაობა.



ნახ. 34

სფეროზე ორ C და D წერტილებს შორის რკალი $CD=S$. მერიდიანთა შეახლოების განსაზღვრისათვის განვიხილოთ ორი სექტორი $CO'D$ და CND

პირველი სექტორიდან ($CO'D$) $$S = \frac{\Delta L}{\rho} \cdot r, \qquad (5.3.2)$$

$\Delta OO'D$-დან კი $r = R\cos\beta$,

ანუ

$$S = \frac{\Delta L}{\rho} \cdot R\cos\beta. \quad (5.3.3)$$

მეორე სექტორიდან (CND)

$$S = \frac{\gamma}{\rho} \cdot DN = \frac{\gamma}{\rho} Rctg\beta, \quad (5.3.4)$$

აქედან $\gamma = \frac{S}{R} \cdot \rho \cdot tg\beta$,

ხოლო (1) და (3)-დან მივიღებთ

$$\gamma = \Delta L \cdot \sin\beta. \quad (5.3.5)$$

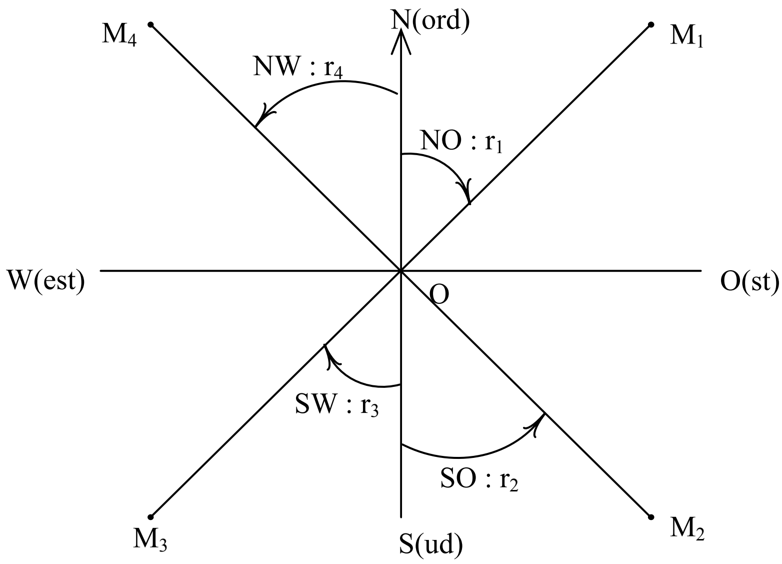
როდესაც გეოდეზიური გრძედების სხვაობა ცნობილია ვსარგებლობთ (5.3.5) ფორმულით, ხოლო როცა რკალის სიგრძეა ცნობილი, სარგებლობენ (5.3.4) ფორმულით.

თუ $S = 100 \div 200$ მ, მაშინ მერიდიანთა შეახლოებას მხედველობაში არ იღებენ.

5.4. რუმბები

ა) ჭეშმარიტი რუმბი

როგორც აღვნიშნეთ ორიენტირებისათვის გამოიყენება ჭეშმარიტი აზიმუტი და ჭეშმარიტი რუმბი. ჭეშმარიტ რუმბს ვუწოდებთ იმ უმცირეს მოსაზღვრე კუთხეს, რომელსაც მიმართული ქვედებული ადგენს მისი გამოსავალი წერტილის ჭეშმარიტ მერიდიანთან.



ნახ. 35

ნახაზზე მიმართული ქვედებული OM_1-ის უმცირესი მოსაზღვრე კუთხე იქნება r_1. იგი იცვლება 0°-დან 90°-მდე.

$$OM_1 - NO\ldots r_1$$

$$OM_2 - SO\ldots r_2$$

$$OM_3 - SW\ldots r_3$$

$$OM_4 - NW\ldots r_4$$

(ინდექსი ნიშნავს კვადრანტებს, r კი კუთხის ოდენობას)

ბ) დამოკიდებულება ჭეშმარიტ აზიმუტებსა და ჭეშმარიტ რუმბებს შორის

ვთქვათ მოცემულია OM_1 A_1 აზიმუტი, მაშინ რუმბი იქნება $NO{:}r$ (ნახ.43)

$OM_1 \ldots A_1$ $NO{:}r_1$ $r_1 = A_1$

$OM_2 \ldots A_2$ $SO{:}r_2$ $r_2 = 180° - A_2$

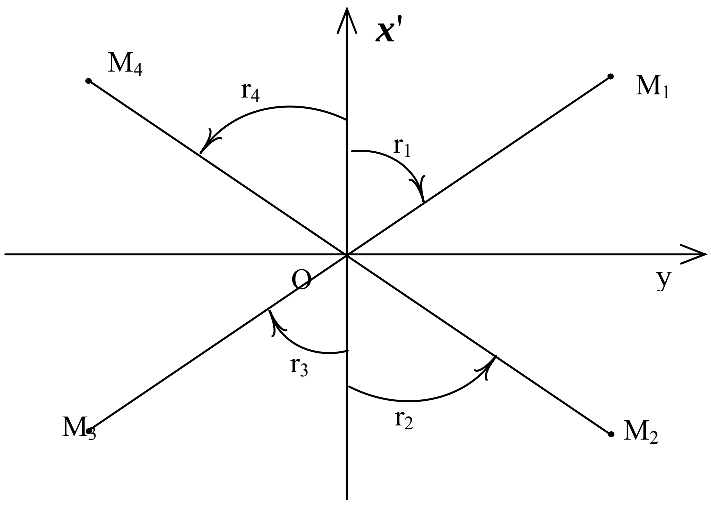
$OM_3 \ldots A_3$ $SW{:}r_3$ $r_3 = A_3 - 180°$

$OM_4 \ldots A_4$ $NW{:}r_4$ $r_4 = 360° - A_4$

ასეთია დამოკიდებულება ჭეშმარიტ რუმბებსა და ჭეშმარიტ აზიმუტებს შორის.

გ) დირექციული რუმბი

დირექციული რუმბი არის უმცირესი კუთხე, რომელსაც მიმართულება ადგენს მის საწყის წერტილში გატარებულ ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძის მიმართ



ნახ. 36

როდესაც $x^{'}$ ღერძი დაემთხვევა ღერძა მერიდიანს, გვექნება ჭეშმარიტი რუმბი, ხოლო როცა დაემთხვევა ღერძა მერიდიანის პარალელურს, მაშინ გვექნება დირექციული რუმბი.

დ) დამოკიდებულება დირექციულ კუთხეებსა და დირექციულ რუმბებს შორის

$OM_1 \ldots \alpha_1 \ldots r_1 \qquad r_1 = \alpha_1$

$OM_2 \ldots \alpha_2 \ldots r_2 \qquad r_2 = 180^o - \alpha_2$

$OM_2 \ldots \alpha_3 \ldots r_3 \qquad r_3 = \alpha_3 - 180^o$

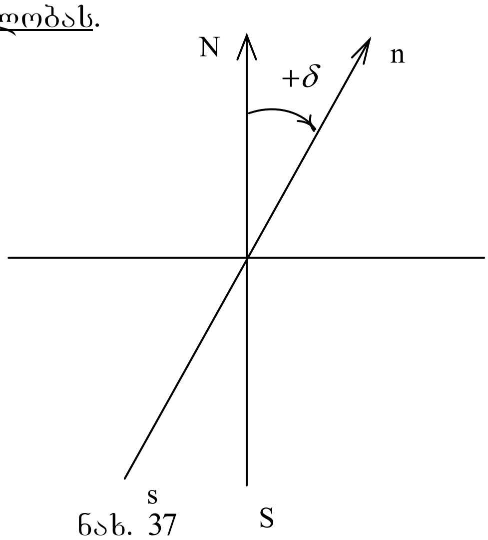
$OM_4 \ldots \alpha_4 \ldots r_4 \qquad r_4 = 360^o - \alpha_4$

თუ დავაკვირდებით შევამჩნევთ, რომ პირდაპირი და შებრუნებული რუმბები იცვლებიან სიმეტრიულად ე.ი. კუთხური სიდიდეები უცვლელია, ხოლო კვადრანტები იცვლებიან სიმეტრიულად.

5.5. მაგნიტური ორიენტირება

მაგნიტური ორიენტირების შემთხვევაში ქვედებულები უკავშირდებიან მათი საწყისი წერტილების მაგნიტურ მერიდიანებს, რომლის განხორციელებასაც მაგნიტური ისრის მაგნიტური ღერძი იძლევა (მაგნიტურ ისარს აქვს ორი ღერძი გეომეტრიული და მაგნიტური).

ცნობილია, რომ დედამიწის სხვადასხვა წერტილებში მაგნიტური მერიდიანი არ ემთხვევა ჭეშმარიტ მერიდიანებს. მათ შორის იქმნება δ კუთხე, რომელსაც უწოდებენ ისრის მიხრილობას.



ნახ. 37

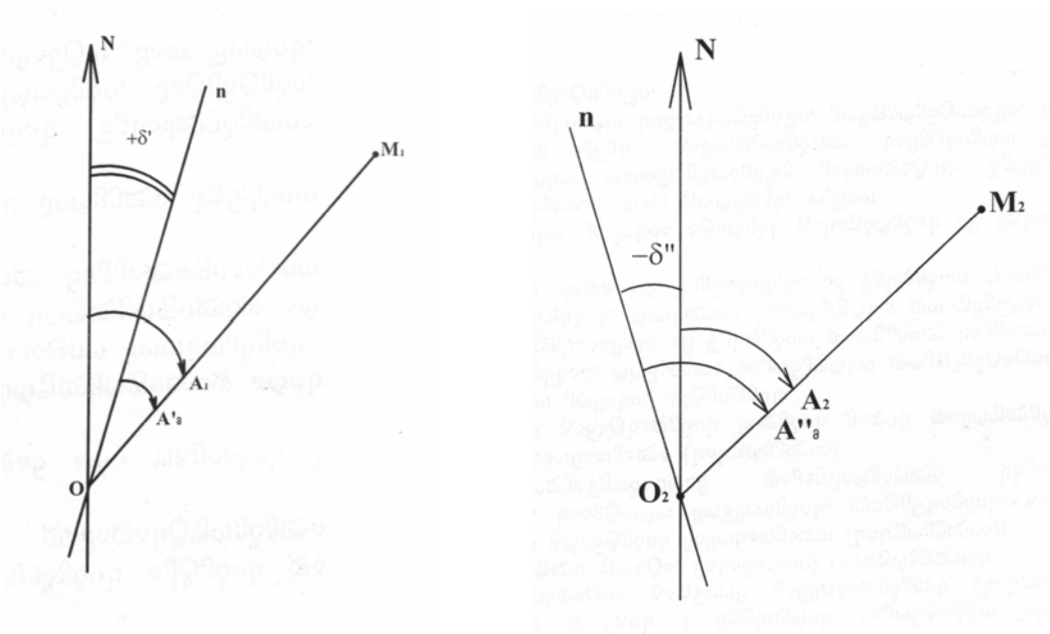
მაგნიტური აზიმუტი არის კუთხე, რომელსაც მიმართება ქმნის მაგნიტური ისრის ჩრდილო მიმართულებასთან. იგი იცვლება 0°-დან 360°-მდე საათის ისრის მოძრაობის შესაბამისად (მაგნიტური ისრის პოლუსები აღინიშნება *n* და *s*-ით).

მაგნიტური მიხრილობა არის კუთხე შექმნილი მაგნიტურ ისარსა და ჭეშმარიტ მერიდიანს შორის.

როდესაც მიხრილობა აღმოსავლურია, იგი აღინიშნება “+”-ით

$$A_1 = A'_{მ} + \delta' . \tag{5.5.1}$$

ახლა ავიღოთ დასავლური მიხრილობა. იგი აღინიშნება “–”-ით



ნახ. 38

$$A_2 = A''_{მ} - \delta'' \tag{5.5.2}$$

ჭეშმარიტი აზიმუტი უდრის მაგნიტური აზიმუტისა და მიხრილობის ალგებრულ ჯამს

$$A = A_{მ} \pm \delta = A_{მ} + \delta . \tag{5.5.3}$$

ა) კავშირი დირექციულ კუთხესა და მაგნიტურ აზიმუტებს შორის

კავშირი დირექციულ კუთხესა და მაგნიტურ აზიმუტებს შორის იგივეა, რაც კავშირი ჭეშმარიტ ორიენტირებასა და მაგნიტურ ორიენტირებას შორის. ამ კავშირის დასადგენად ვიყენებთ ფორმულებს

$$A = \alpha + \gamma \tag{5.5.4}$$

და

$$A = A_მ + \delta . \tag{5.5.5}$$

ველზე ჩვენ ვზომავთ მაგნიტურ აზიმუტებს, მაგრამ გეგმაზე ვიყენებთ დირექციულ კუთხეს. ზემოხსენებული ფორმულებიდან

$$\alpha + \gamma = A_მ + \delta , \tag{5.5.6}$$

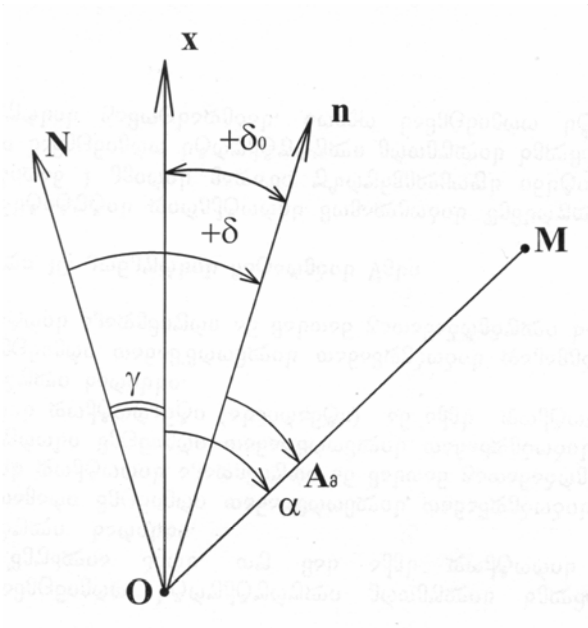
$$\alpha = A_მ + (\delta - \gamma) = A_მ - \delta_o , \tag{5.5.7}$$

სადაც δ_o არის მაგნიტური მიხრილობისა და მერიდიანთა შეახლოების სხვაობა, ანუ მაგნიტური ისრის მიხრილობა ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძის ჩრდილო მიმართულებასთან.

ვთქვათ ცნობილია $A_მ$, შეგვიძლია გამოვთვალოთ α ან პირიქით.

δ_o-ის განსაზღვრა სიძნელეს არ წარმოადგენს.

განვიხილოთ რამდენიმე შემთხვევა



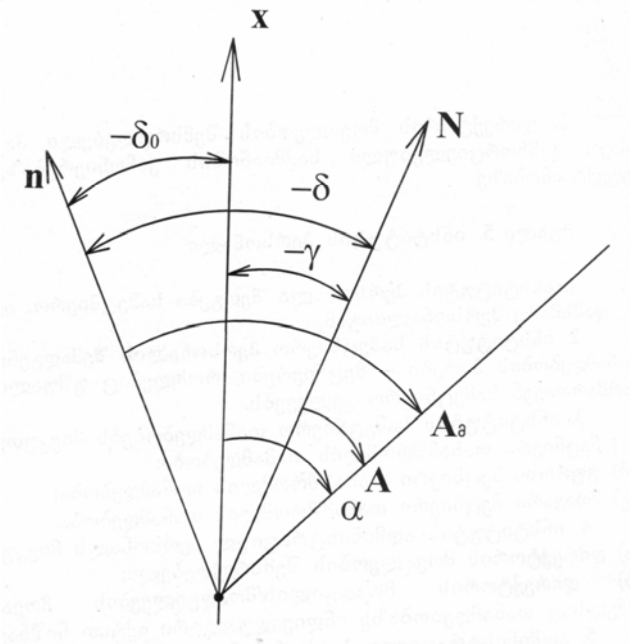
ნახ. 39

მერიდიანთა შეახლოება - $+\gamma$ (აღმოსავლურია)

მიხრილობაც - $+\delta$ (აგრეთვე აღმოსავლურია)

$$\alpha = A_მ + (\delta - \gamma) = A_მ + \delta_o , \tag{5.5.8}$$

როცა $|\delta| > |\gamma|$.



ნახ. 40

$$\alpha = A_მ + [-\delta - (-\gamma)] = A_მ - \delta_o, \quad (5.5.9)$$

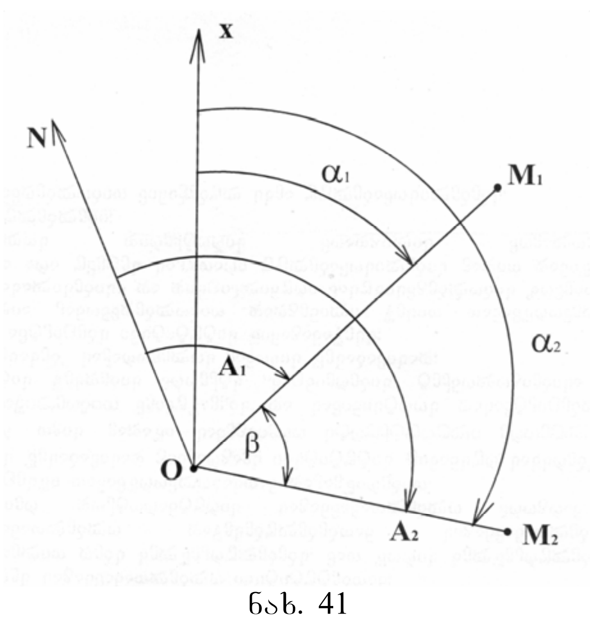
$$\text{როცა } |\delta| < |\gamma| .$$

ზოგადად

$$\alpha = A_მ + \delta_o. \quad (5.5.10)$$

ე.ი. დირექციული კუთხე უდრის მაგნიტური აზიმუტის და ღერძა მერიდიანის პარალელური ღერძიდან მაგნიტური ისრის მიხრილობის ალგებრულ ჯამს.

5.6. ცნობილი აზიმუტებითა და დირექციული კუთხეებით მიმართულებათა შორის კუთხეების განსაზღვრა



ნახ. 41

თუ ცნობილია A_1 და A_2 აზიმუტები, მაშინ მიმართულებებს შორის კუთხე β გამოითვლება ფორმულით

$$\beta = A_2 - A_1 . \tag{5.6.1}$$

თუ ცნობილია არა აზიმუტები, არამედ დირექციული კუთხეები მაშინ

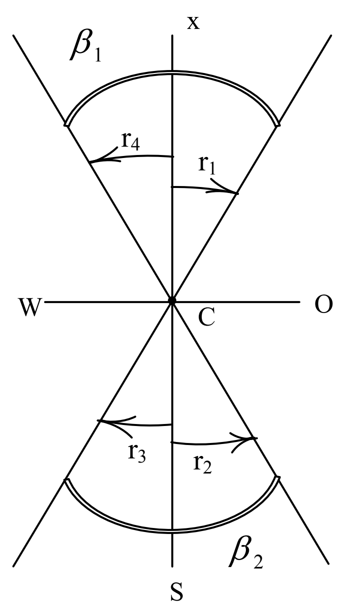
$$\beta = \alpha_2 - \alpha_1 . \tag{5.6.2}$$

5.7. ცნობილი დირექციული რუმბებით ასტროლაბიური კუთხეების განსაზღვრა

ასტროლაბიური კუთხეების განსაზღვრისათვის გამოვიყენოთ დირექციული რუმბები.

ვარჩევთ ოთხ შემთხვევას

I – მოცემულია $r_1 \cap r_4$ და $r_2 \cap r_3$

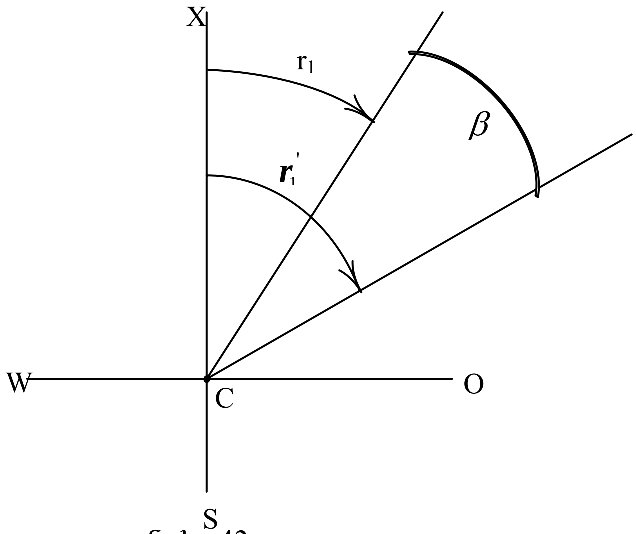


ნახ. 42

აქ $\beta_1 = r_1 + r_4$

$\beta_2 = r_2 + r_3$

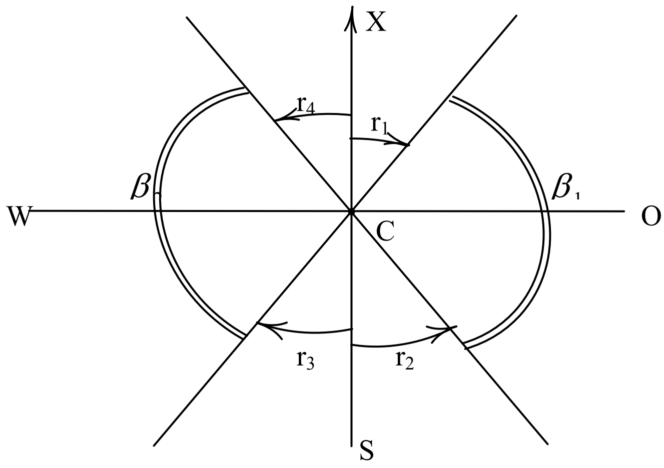
II – მოცემულია $r_1 \cap r_1^{'}$



ნახ. 43

აქ $\beta = r_1^{'} - r_1$

III – მოცემულია $r_1 \cap r_2$ და $r_3 \cap r_4$

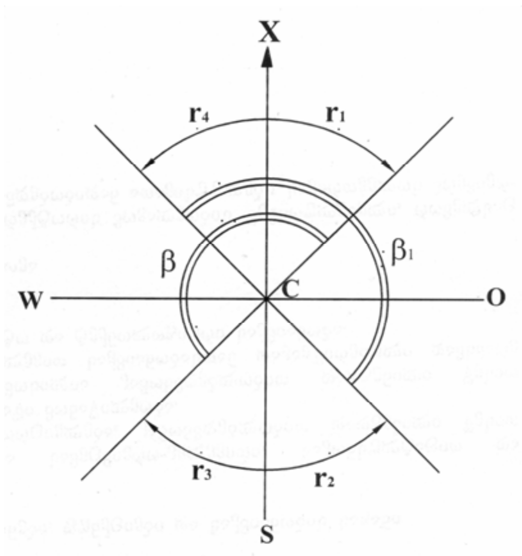


ნახ. 44

$$\beta_1 = 180^{o} - (r_1 + r_2)$$

$$\beta_2 = 180^{o} - (r_3 + r_4)$$

IV – მოცემულია $r_1 \cap r_3$ და $r_2 \cap r_4$



ნახ. 45

აქ
$$\begin{aligned} \beta &= 180^{o} - (r_3 - r_1) \\ \beta_1 &= 180^{o} - (r_2 - r_4) \end{aligned} \qquad (5.7.1)$$

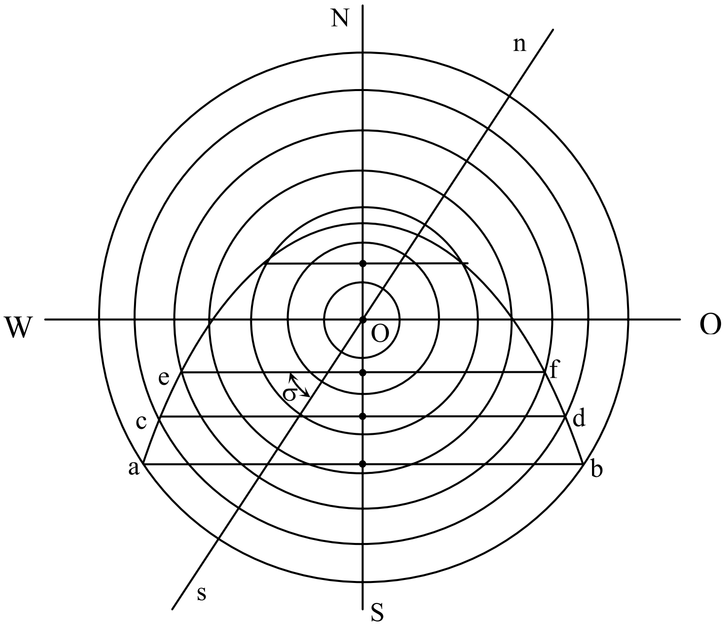
ასტროლაბიური კუთხე ეწოდება მიმართულებათა შორის 180°-ზე ნაკლებ კუთხეს.

მაშასადამე, როდესაც რუმბი სიმეტრიულ კვადრატებშია, მაშინ მიმართულებათა შორის ასტროლაბიური კუთხე უდრის 180° მინუს უდიდესი და უმცირესი კუთხეების, ანუ რუმბების სხვაობას.

მოყვანილი 4 შემთხვევა ვრცელდება გეოგრაფიული და მაგნიტური რუმბების გამოყენების დროსაც.

5.8. მიხრილობის განსაზღვრა

მიხრილობის განსაზღვრის რამოდენიმე მეთოდი არსებობს. ჩვენ განვიხილოთ ყველაზე მარტივი. ქაღალდზე ხაზავენ კონცენტრულ წრეხაზებს, რომელთა ცენტრში ამაგრებენ 1-2 დმ სიგრძის ჩხირს (ან ქინძისთავს) და მთელი დღის განმავლობაში თვალს ადევნებენ ჩხირის ჩრდილის მოძრაობას.



ნახ. 46

აღნიშნავენ წრეხაზზე ჩრდილის ბოლო წერტილთა გადაკვეთას, ცხადია ყველაზე გრძელი ჩრდილი იქნება მზის ამოსვლისას და ჩასვლისას (*a* და *b*) და უმოკლესი კი შუადღისას (*O*). თუ შევაერთებთ ერთსა და იმავე წრეხაზზე მდებარე წერტილებს და მონაკვეთების შუა წერტილებს ხაზით; ეს ხაზი იქნება საძიებელი მერიდიანი. შემდეგ ყიბლანით ვპოულობთ მაგნიტური მერიდიანის მიმართულებას *ns* და კუთხე ამ ორ მიმართულებას შორის არის საძიებელი მიხრილობა δ.

იმ წერტილების შემაერთებელ ხაზს, რომლებსაც ნულის ტოლი მიხრილობები აქვთ, ნულოვანი წერტილების შემაერთებელი ხაზი ანუ აგონური ხაზი ეწოდება. ერთნაირი მიხრილობის წერტილების შემაერთებელ ხაზს კი იზოგონური ხაზი ეწოდება.

VI თავი
კოორდინატები საინჟინრო გეოდეზიაში

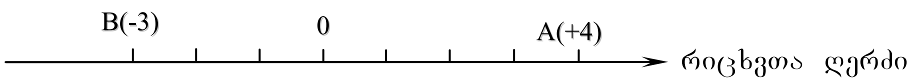
კოორდინატები ეწოდება იმ სახელდებულ ფარდობით რიცხვებს, რომლის საშუალებითაც განისაზღვრება წერტილების მდებარეობა.

გარდა ცნობილი კოორდინატებისა, რომლებიც ჩვენ ვიცით (ციური კოორდინატები), გეოდეზიაში იხმარება აგრეთვე მართკუთხა, პოლარული, ბიპოლარული და გაუსის ბრტყელი მართკუთხა კოორდინატები.

6.1. დეკარტის მართკუთხა კოორდინატები ღერძზე

ღერძს ვუწოდებთ მიმართულ ხაზს, რომელზედაც დატანილია ზომის ერთეულის შესაბამისი კვესურები.

იმ შემთხვევაში, როცა ღერძზე დანიშნულია გამოსავალი ნულოვანი წერტილი და მასთან შედარებით ნიშნები – რიცხვთა ღერძს ვუწოდებთ და ამბობენ, რომ შემოვიტანეთ დეკარტის სისტემა კოორდინატებისა



ნახ. 47

მათემატიკაში მიღებული პირობის თანახმად ნულიდან მარჯვნივ მიღებულია + ნიშანი, მარცხნივ კი – ნიშანი.

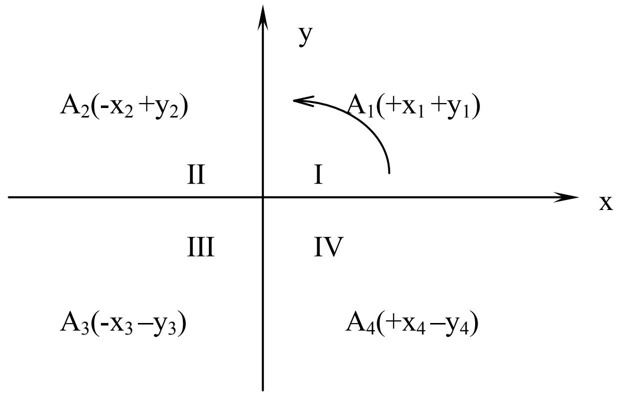
ღერძზე ყოველ წერტილს შეესაბამება ერთი კოორდინატი და ყოველ კოორდინატს ერთი წერტილი, მაგალითად:

$$A(+4), \quad B(-3)$$

6.2. მართკუთხა კოორდინატები სიბრტყეზე
ა) მარცხენა სისტემა

სიბრტყეზე გვაქვს ორი ღერძი: აბსცისთა ღერძი და ორდინატთა ღერძი.

წინასწარი შეთანხმებით, მათემატიკაში მიღებულია, რომ კვადრანტები იცვლება x ღერძის მიმართულებიდან y-ის მიმართულებისაკენ მცირე კუთხური მანძილით.



ნახ. 48

ყოველ წერტილს სიბრტყეზე შეესაბამება ორი კოორდინატი

$$A_1(+x_1,+y_1)$$

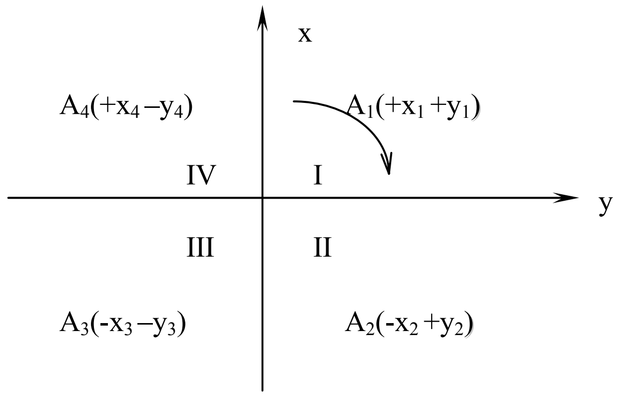
$$\boldsymbol{A}_2(-\boldsymbol{x}_2,+\boldsymbol{y}_2)$$

$$\boldsymbol{A}_3(-\boldsymbol{x}_3,-\boldsymbol{y}_3)$$

$$A_4(+x_4,-y_4)$$

ბ) მარჯვენა სისტემა

გეოდეზიაში მართკუთხა კოორდინატთა სისტემა შემდეგნაირად გამოიყენება: რადგან გეოდეზიაში ორიენტირებისათვის გამოსავალი ღერძია მერიდიანის მიმართულება, ხოლო მათემატიკაში აბსცისთა x ღერძი, ამიტომ x ღერძის მიმართულება დაამთხვიეს მერიდიანის მიმართულებას, რომ მათემატიკაში მიღებული წესი არ დარღვეულიყო. აქაც კვადრანტები იცვლება x ღერძის მიმართულებიდან, y-ის მიმართულებისაკენ და კოორდინატებში არავითარი განსხვავება არ გვექნება, მხოლოდ ვიღებთ მარჯვენა სისტემას.

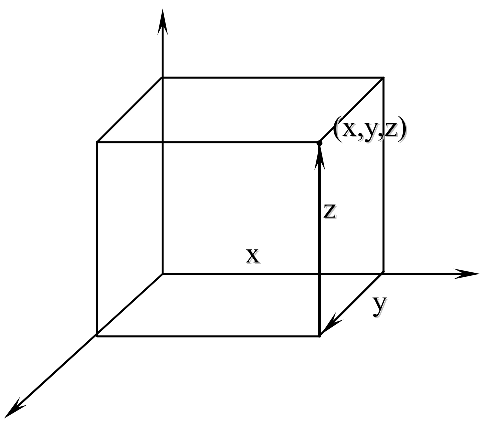


ნახ. 49

$$A_1(+x_1,+y_1)$$
$$A_2(-x_2,+y_2)$$
$$A_3(-x_3,-y_3)$$
$$A_4(+x_4,-y_4)$$

6.3. მართკუთხა კოორდინატები სივრცეში

დეკარტმა სივრცეში გამოიყენა სამი ღერძი: აბსცისების, ორდინატების და აპლიკატების ღერძები.



ნახ. 50

ვთქვათ, გვინდა გავიგოთ *A* წერტილის კოორდინატები. გავატარებთ აღებულ *A* წერტილში სამ ურთიერთმართობ სიბრტყეს, რის შედეგად მივიღებთ *x, y, z* კოორდინატებს, რომელთაც აქვთ გადაადგილების თვისებები

xyz

xzy

yxz

yzx

zxy

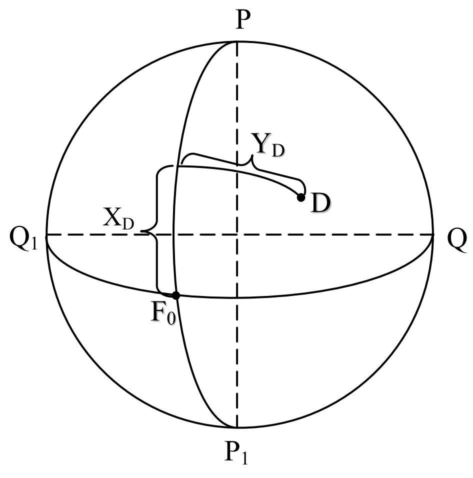
zyx

ცხრილი (6.3.1)

ოქტანტები	x	y	z
I	+	+	+
II	–	+	+
III	–	–	+
IV	+	–	+
V	+	+	–
VI	–	+	–
VI	–	–	–
VIII	+	–	–

6.4. მართკუთხა კოორდინატები სფეროზე (ზოლდნერის კოორდინატები)

ავიღოთ სფეროიდი QQ_1 ეკვატორით და PP_1 ღერძა მერიდიანით. მართკუთხა კოორდინატებისათვის ნულოვანი წერტილი აქ იქნება ეკვატორისა და ღერძა მერიდიანის გადაკვეთის F_0 წერტილი.



ნახ. 51

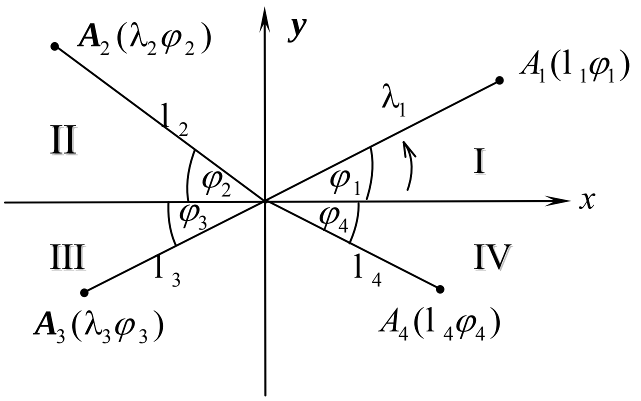
წერტილის სფერული კოორდინატებია უმოკლესი (გეოდეზიური ხაზები) x_D და y_D ხაზები.

გარდა ამისა, D წერტილის განსაზღვრისათვის უნდა ვიცოდეთ აგრეთვე, გამოსავალი F_0 წერტილის გრძედი და განედი F_0 (B_0L_0). (ნულოვანი იმიტომ, რომ

გამოსავალი წერტილი ეკვატორზეა. გამოსავლად შეიძლება აღებულ იქნას სხვა წერტილიც, ოღონდ ის იქნებოდა არა ეკვატორზე, არამედ პარალელზე).

6.5. პოლარული კოორდინატები სიბრტყეზე

ა) მათემატიკაში



ნახ. 52

ამ სისტემაში სიბრტყეზე კოორდინატები იქნება – φ პოლარული კუთხე ათვლილი x ღერძიდან და λ რადიუს ვექტორი.

სიბრტყეზე მართკუთხა კოორდინატებსა და პოლარული კოორდინატებს შორის დამაკავშირებელი ფორმულებია:

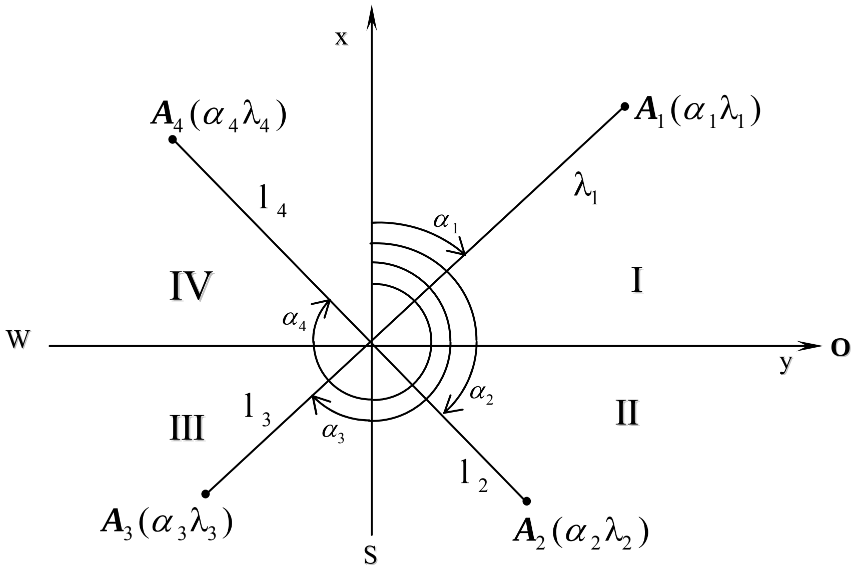
$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{x} &= \lambda\cos\varphi \\ \boldsymbol{y} &= \lambda\sin\varphi \end{aligned}\right\}$$ კვადრანტებში მათი ნიშნები მოყვანილია ცხრილში (6.5.1).

ცხრილი (6.5.1)

კვადრანტები	$\boldsymbol{x}$ $\cos\varphi$	$\boldsymbol{y}$ $\sin\varphi$
I	+	+
II	-	+
III	-	-
IV	+	-

ბ) პოლარული კოორდინატები სიბრტყეზე

(გეოდეზიაში)



ნახ. 53

აქ პოლარული φ კუთხის ნაცვლად გვექნება დირექციული კუთხე α, რადგან x ღერძი ემთხვევა ღერძა მერიდიანს. ამრიგად, წერტილის კოორდინატები იქნება α და λ.

$$A(\alpha,\lambda)$$

ხოლო ნიშნები იქნება იგივე.

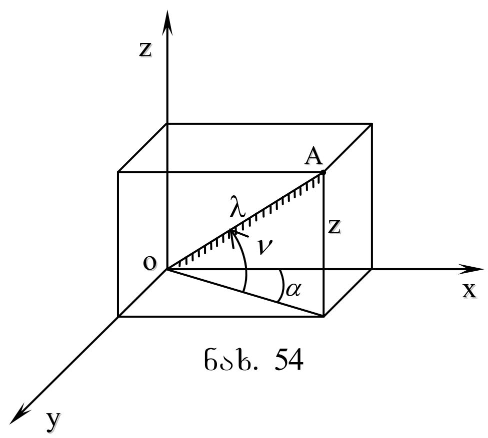
$$A_1(\alpha_1,\lambda_1)$$

$$A_2(\alpha_2,\lambda_2)$$

$$A_3(\alpha_3,\lambda_3)$$

$$A_4(\alpha_4,\lambda_4)$$

ბ) პოლარული კოორდინატები სივრცეში



ნახ. 54

α – არის დირექციული კუთხე

ν – დახრის კუთხე

λ – რადიუს ვექტორი

ე. ი. $A(\alpha, \nu, \lambda)$

ორიენტირებისათვის საჭიროა α დირექციული კუთხის განსაზღვრა;

მიმართულების განსაზღვრისათვის საჭიროა α და ν

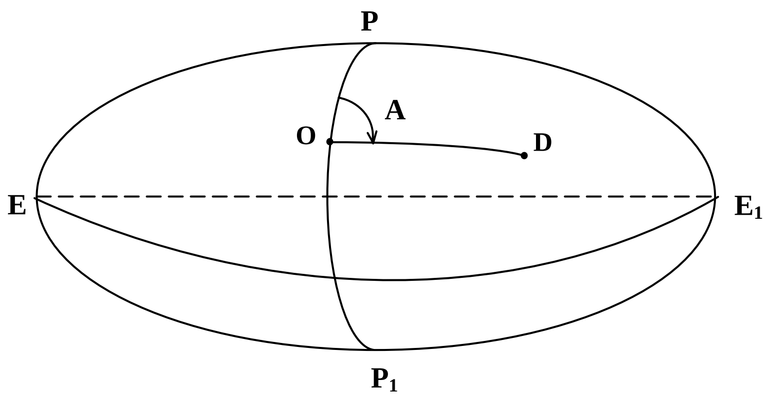
მდებარეობის განსაზღვრისათვის კი საჭიროა α, ν და λ. აქ სივრცე იყოფა 8 ნაწილად (ოქტანტებად).

ნახაზი 62-ის მიხედვით პოლარული კოორდინატების საშუალებით მართკუთხა კოორდინატების გამოსათვლელი ფორმულებია:

$$\left.\begin{aligned} x &= l\cos\nu\cdot\cos\alpha \\ y &= l\cos\nu\cdot\sin\alpha \\ z &= l\cdot tg\nu = l\sin\nu \end{aligned}\right\} \qquad (6.5.1)$$

კოორდინატთა ნიშნები კვადრანტებისა და ოქტანტების მიხედვით მოცემულია (შესაბამისად) წინა პარაგრაფებში მოცემულ (ცხ. 6.3.1 და ცხ. 6.5.1) ცხრილებში.

დ) პოლარული კოორდინატები სფეროიდზე



ნახ. 55

ავიღოთ O წერტილი ღერძა მერიდიანზე და მიმართულება (რომელიც წარმოადგენს გეოდეზიურ უმოკლეს ხაზს) OD (ვერტიკალური ჭრილი).

ე.ი. D წერტილის მდებარეობის განსაზღვრისათვის საჭიროა: A – აზიმუტი და OD მანძილი (დიდი წრის რკალი).

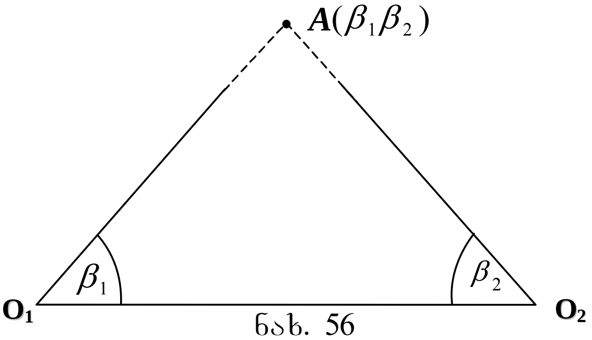
D(A, OD)

ორივე ამ კოორდინატს ეწოდება D წერტილის სფეროიდული პოლარული კოორდინატები.

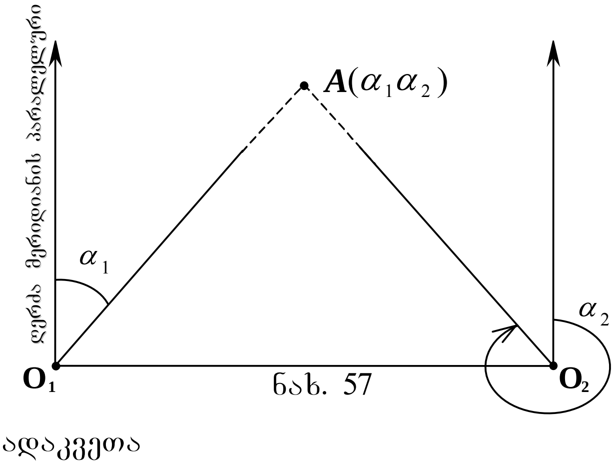
6.6. ბიპოლარული კოორდინატები

ბიპოლარული კოორდინატების განსაზღვრისათვის გვაქვს ორი შემთხვევა:
1. კუთხური გადაკვეთის და 2. ხაზოვანი გადაკვეთის

კუთხური გადაკვეთა

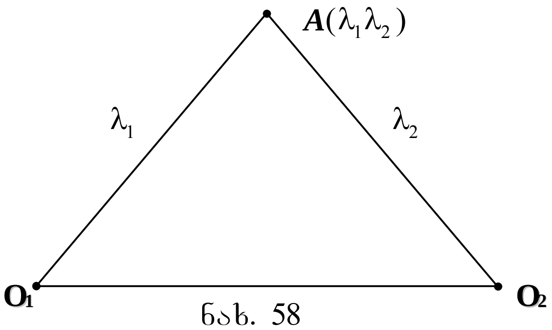


ნახ. 56

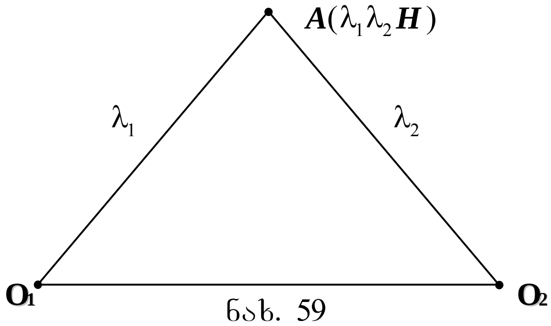


ნახ. 57

ხაზოვანი გადაკვეთა



ნახ. 58



ნახ. 59

პირველ შემთხვევაში გამოიყენება O_1 და O_2 წერტილებზე გაზომილი β_1 და β_2 კუთხე ან α_1 და α_2 დირექციული კუთხე, მეორე შემთხვევაში კი λ_1 და λ_2 რადიუს ვექტორები.

ესაა ბიპოლარული კოორდინატები სიბრტყეზე. სივრცეში კი დაემატება მესამე კოორდინატი ნიშნულის (სიმაღლის) სახით.

VII თავი

პირობითი აღნიშვნები

7.1. გეგმის შედგენა

ვინაიდან გეგმის შედგენის დროს შეუძლებელია წვლილადების გამოხაზვა თავისი ნამდვილი სახით და ოდენობით, ამიტომ მიმართავენ ქაღალდზე მათი გამოსახვის დროს პირობითი აღნიშნების გამოყენებას.

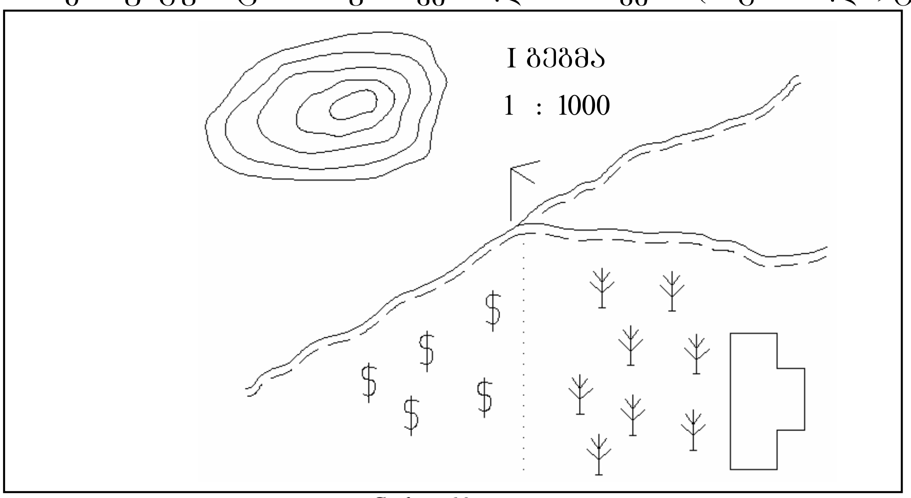
1. ისინი უნდა იყვნენ მსგავსი იმ წვლილადებისა, რასაც ისინი გამოსახავენ.
2. უნდა იყვნენ ადვილად გამოსახაზავი.
3. არ უნდა იყოს მათი რაოდენობა ბევრი და არც ისე მცირე, რომ საგნები ერთმანეთში აგვერიოს.

მაგ., ავიღოთ ტყე, რომელშიც აუარებელი ჯიშია. ყველა ჯიშს თავისი პირობითი აღნიშვნა რომ მივუჩინოთ, მათ რუკაზე ვერ გამოვხაზავთ, როგორი მსხვილი მასშტაბიც არ უნდა იყოს; შესადგენი რუკა ან პირობით ტყე მოიცავს სხვადასხვა მასივებს: წიწვიანი, ფოთლოვანი, გადამწვარი ტყე, ბუჩქნარი და სხვა. ჩვენ, რომ ეს მასივები ერთი პირობითი აღნიშვნით გამოვსახოთ, ამით მასივებს ავურევთ ერთმანეთში. ჩვენი სახალხო მეურნეობისათვის კი აუცილებელია ვიცოდეთ, სად რომელი მასივი იმყოფება.

პირობითი აღნიშვნები გვხვდება შემდეგი სახის.

I ფარგიანი (კონტურული) პირობითი აღნიშვნა, რომელიც პასუხობს კითხვებს.

1. რა საგანია?
2. სად მდებარეობს?
3. როგორი ფართობი უჭირავს?
4. როგორი კონფიგურაცია ანუ მოყვანილობა აქვს? (მაგ. სახლი, ტბა)



ნახ. 60

II – სახის პირობითი აღნიშვნები: უფარგო (არა კონტურული) უპასუხებს კითხვებზე:

1) რა საგანია?

სად არის?

(მაგ. გზის მაჩვენებლის დატანა გეგმაზე რომელიც ზუსტად გვიჩვენებს რა საგანია და სად არის)

III – სახის პირობითი აღნიშვნა არის ფართობითი.

ესაა გაერთიანება უფარგო და ფართობის (მაგ. ფიჭვის ტყის ან ვენახის მასივში დაკავებული ტერიტორია)

IV – ზოლური გვაძლევს საშუალებას გავიგოთ

1. რა საგანია?

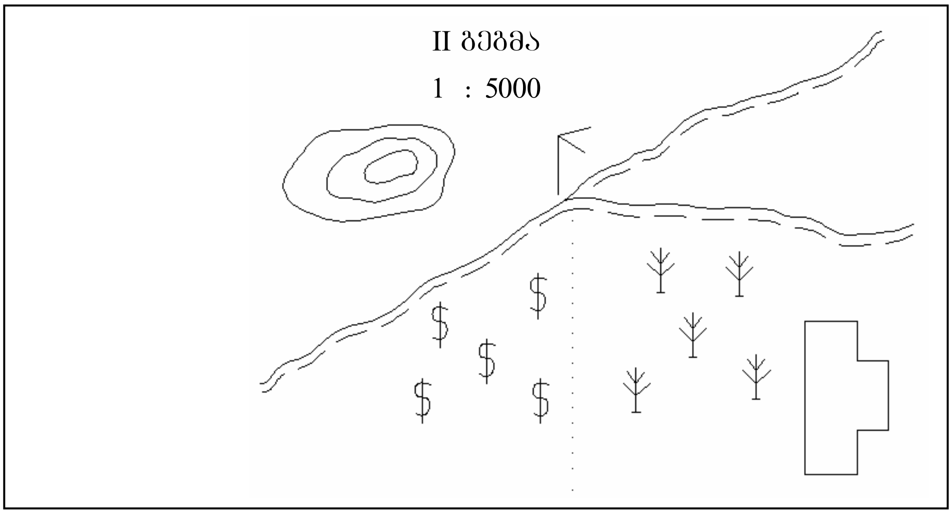
2. სადაა?

3. რა სიგრძე უჭირავს?

(მაგალითად, გზის სიგრძე დადგინდება მასშტაბში ზუსტად).

საგნების (წვლილადების) ამა თუ იმ ჯგუფში შეტანა დამოკიდებულია მასშტაბზე და საჭიროებაზე.

ავიღოთ ზემოთ მოყვანილი გეგმა, სხვა $\frac{1}{5000}$ მასშტაბში



ნახ. 61

სახლი, რომ შევამციროთ ამ მასშტაბში 5000 ჯერ იგი არ გამოჩნდება, მაგრამ გეგმაზე მისი გამოხაზვა საჭიროა და ამიტომ სახლს შევიტანთ მეორე ჯგუფის პირობითი აღნიშვნებით. ე.ი. ფარგიანი პირობითი ნიშანია, ხოლო მეორე გეგმაზე $\frac{1}{5000}$ მასშტაბში უფარგო პირობითი ნიშანია (II კატეგორია). ან ვთქვათ გზის მაჩვენებლის დიამეტრია 25 სმ. I გეგმაზე მასშტაბში გამოჩნდება, მაგრამ იგი გეგმაზე გამოიხაზება უფარგო პირობითი აღნიშვნით, რადგანაც სვეტის სისქის ცოდნა საჭირო არ არის.

რა განსხვავებაა I გეგმაზე და II გეგმაზე ფარდობით უფარგო პირობით ნიშნებში?

ის განსხვავებაა, რომ II-ზე აღებულია უფარგო პირობითი ნიშნები მცირე ზომის ანუ წვრილი მასშტაბისათვის, ხოლო I-ზე აღებულია, იგივე უფარგო პირობითი ნიშნები მსხვილი მასშტაბისათვის.

უსწორმასწორობის ანუ რელიეფის გამომსახველი პირობითი აღნიშვნები უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ პირობებს:

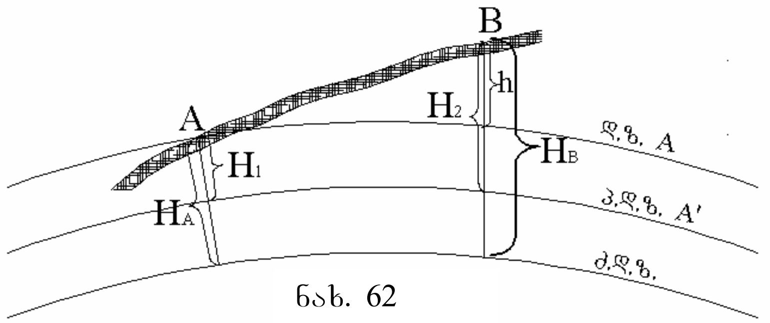
1. ისინი უნდა გვაძლევდნენ საშუალებას გავიგოთ გეგმაზე ყოველი წერტილის სიმაღლე (ნიშნული);
2. უნდა გვაძლევდეს საშუალებას გავიგოთ დაქანების მიმართულება;
3. როგორია დაქანების ხარისხი;
4. უნდა გვაძლევდეს წარმოდგენას ზედაპირის პლასტიურობის შესახებ (სადაა შეზნექილი, გამოზნექილი).

უსწორმასწორობის გამომსახველი პირობითი აღნიშვნები ასეთია:

1. ნიშნულები,
2. იზოჰიფსები,
3. ნიშნულები და იზოჰიფსები ერთად,
4. კვესურები,
5. პუნქტირები,
6. შეღებვა (შეფერვა).

ვიცით, რომ ნიშნული არის რიცხვი, რომელიც გამოხატავს წერტილის სიმაღლეს დონებრივი ზედაპირიდან.

ავიღოთ *A* და *B* წერტილების H_A და H_B-აბსოლუტური (ნორმალური) სიმაღლეები (ნახ. 62).



ნახ. 62

გავატაროთ პირობითი დონებრივი ზედაპირი A' წერტილისათვის. $H_1 - H_2$-პირობითი სიმაღლეები იქნება.

ვთქვათ დონებრივი ზედაპირი გავატაროთ A წერტილში. h-იქნება აღმატება. ანუ ფარდობითი სიმაღლე (იგი შეიძლება იყოს როგორც + ნიშნით, ისე – ნიშნით) მაშასადამე ნიშნულები გვხვდებიან:

1. აბსოლუტური,
2. პირობითი,
3. ფარდობითი (აღმატება).

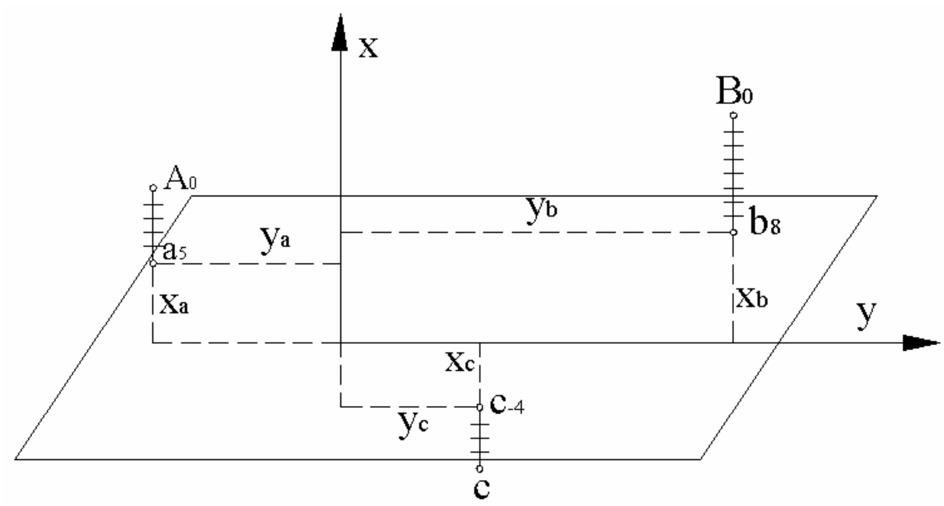
ვიცით, რომ ტოპოგრაფიული ზედაპირის ფუნქცია გამოისახება ასე

$Z = \varphi(x, y)$

და ხასიათდება ცალსახობით, სასრულობით, უწყვეტობით და მდოვრულობით.

7.2. ნიშნულებიანი გეგმილები

ა) წერტილი სივრცეში



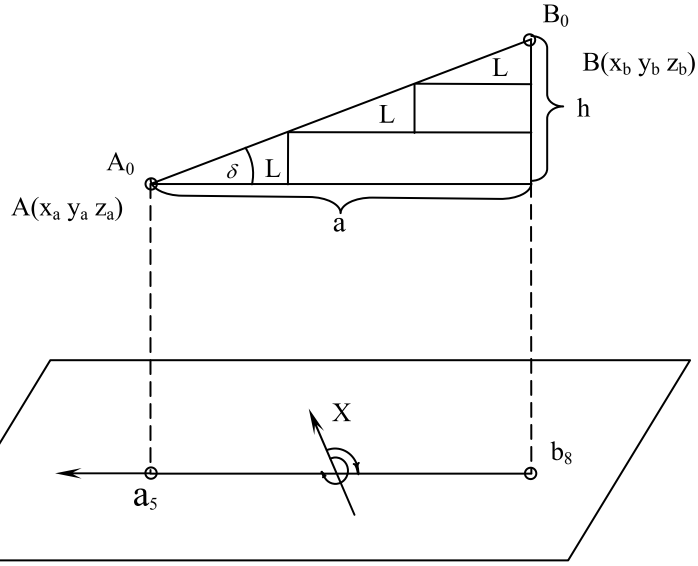
ნახ. 63

ვთქვათ, გეგმაზე გვაქვს სამი წერტილი a_5, b_8, c_4. შესაბამისად 5, 8, (-4) ნიშნულებია (კოორდინატებია), რაც გვაძლევს წარმოდგენას რელიეფზე. Z – მესამე კოორდინატია. ვიცით, რომ სივრცეში წერტილის მდებარეობის განსაზღვრისათვის საჭიროა 3 კოორდინატი. x, y, კოორდინატს კი ასე წარმოვიდგენთ. გეგმაზე პირობით ან ფიუზოს შესაბამისად ავაგებთ კოორდინატთა ღერძებს და ყველა წერტილის მდებარეობას ვსაზღვრავთ ამ ღერძების მიმართ (ნახ. 63) ე.ი. x და y-ს ვთვლით ცნობილად, ხოლო მესამე კოორდინატი იქნება ნიშნული 5, 8, -4, რომლებიც გეგმის ზემოთ და ქვემოთ გადაიზომება მასშტაბში.

ბ) ხაზი სივრცეში

ხაზებს სივრცეში შეიძლება ეჭიროს ნებისმიერი მდებარეობა. ისინი შეიძლება იყვნენ: პარალელური, აცდენილი, გადაკვეთილი, ურთიერთმართობი.

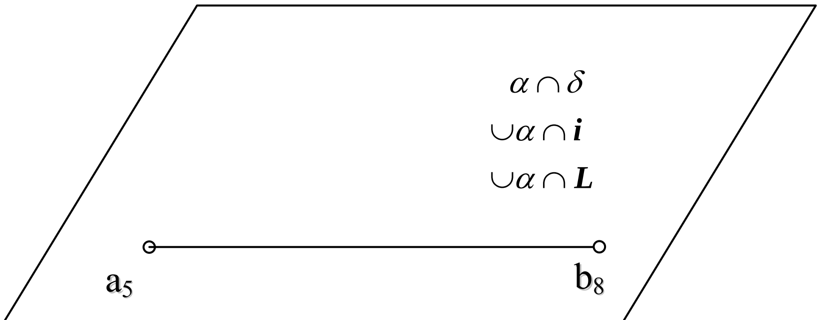
მაგალითად, გეგმაზე გადაკვეთილი ხაზები სივრცეში შეიძლება იყვნენ აცდენილნი, გადაკვეთილნი, ასევე გეგმაზე პარალელური ხაზები სივრცეში შეიძლება იყვნენ პარალელურები ან აცდენილნი. ან კიდევ გეგმაზე შერწყმული ხაზები, სივრცეში შეიძლება იყვნენ პარალელური, გადაკვეთილი და მართობი. განვიხილოთ ისინი ცალ-ცალკე.



ნახ. 64

აქ ძირითადად გვხვდება ორი შემთხვევა:

1. მოცემულია a_5, b_8 ხაზის ორი წერტილის სამ-სამი კოორდინატი (x_A, y_A, z_A) და (x_B, y_B, z_B)
2. მეორე შემთხვევის დროს სივრცეში ხაზის მიმართულება განისაზღვრება ერთი (ა$_5$) წერტილის სამი კოორდინატით (x_A, y_A, z_A) და მიმართულებებით.



$\alpha \cap \delta$ (მიმართების კუთხე, დახრის კუთხე)

Y

$\alpha \cap \delta$ (მიმართების კუთხე, დახრის კუთხე)

Y

$\alpha \cap i$ (მიმართების კუთხე, ქანობი)

Y

$\alpha \cap L$ (მიმართების კუთხე, ინტერვალი)

α - კუთხე შეიძლება იყოს ნებისმიერი საორიენტაციო კუთხე: აზიმუტი, რუმბი, დირექციული კუთხე და სხვა. α - მიმართების კუთხე არის შემდგარი ხაზის მიმართების მიერ x ღერძის დადებით მიმართულებასთან 0^o-დან 360^o-მდე.

ხაზის დადებით მიმართულებად კი პირობითად ითვლება მიმართულება დაღმართისაკენ (ე.ი. b_8-დან a_5-კენ). სამთო (გეომეტრიაში) საქმეში δ - არის დახრის კუთხე (ჩვენთვის ცნობილია ν) მიმართული მონაკვეთის მიერ შექმნილი მის ქვედებულთან.

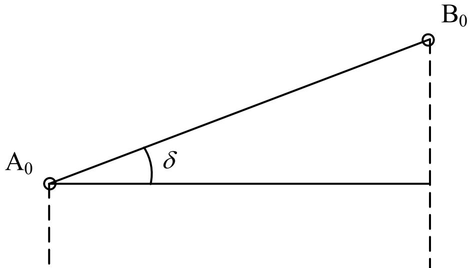
i-არის აღმატება - h-ის ფარდობა ქვედებულთან

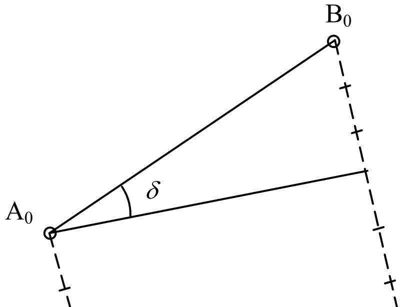
$$\boldsymbol{i} = \frac{\boldsymbol{h}}{\boldsymbol{a}} = \frac{1}{\boldsymbol{L}} \tag{7.2.1}$$

i-არის $\mathrm{tg}\delta$,

L -ს ეწოდება ინტერვალი.

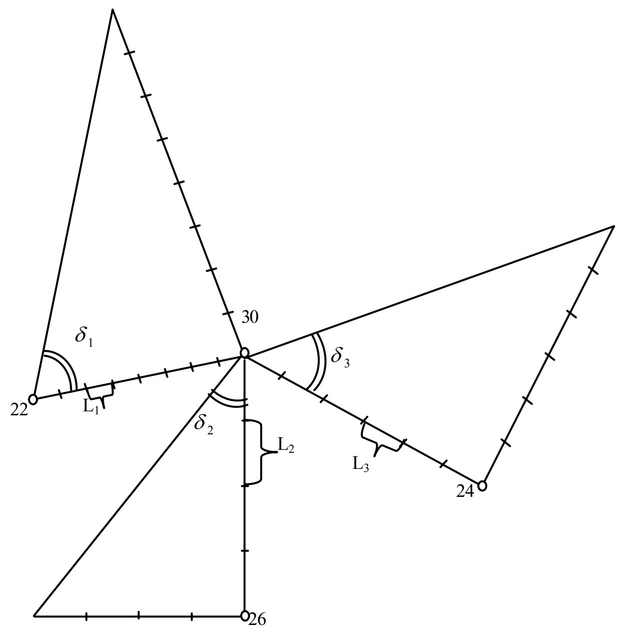
ინტერვალი არის ქვედებული, რომლის შესაბამისი აღმატება=1. მაშასადამე სივრცეში ხაზის მიმართების განსაზღვრისათვის საჭიროა ორი წერტილის კოორდინატები ან ერთი წერტილის კოორდინატები და მიმართება (α ან δ)





ნახ. 66 ნახ. 67

ამ ნახაზებში განსხვავებაა x და y-ში. α (დირექციული ანუ მიმართების) კუთხე ცვლის ორ x და y კოორდინატს, ხოლო δ ცვლის z-ს



ნახ. 68

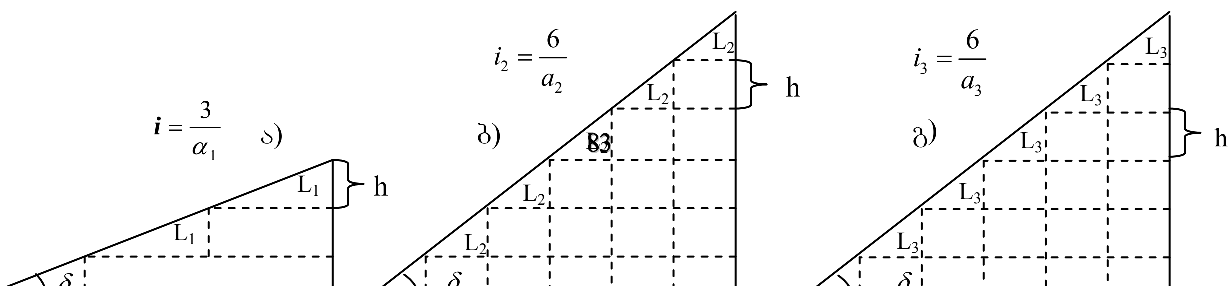
δ -ს ვიგებთ ტრანსპორტირით

i -ს ვიგებთ გაზომვით და გამოთვლით

L -ს კი გრადუირებით

ვთქვათ მოცემულია ხაზები 5-8, 8-14, 6-12 და უნდა გავიგოთ δ კუთხე. ამისათვის ავაგოთ ხაზები. კვეთის სიმაღლე h=1მ.

ხაზი, რომლის L-იც დიდია, ის ნაკლებად დაქანებულია. რომლის ინტერვალიც მცირეა, ის უფრო დაქანებულია.



ნახ. 69 (ა, ბ, გ)

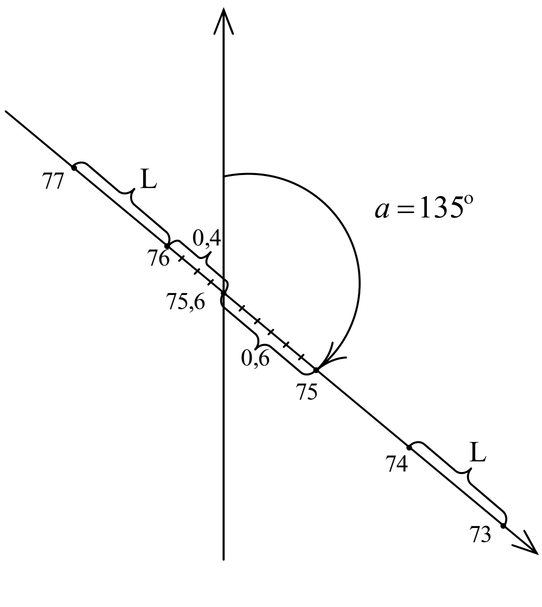
ბ) გრადუირება

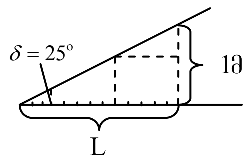
გრადუირებისათვის ვარჩევთ ორ შემთხვევას.

1. როცა მოცემულია ერთი წერტილის კოორდინატები, ხაზის მიმართება და კვეთის სიმაღლე.

2. როცა მოცემულია ორი წერტილის კოორდინატები (ნიშნულები) და კვეთის სიმაღლე.

I შემთხვევა. ვთქვათ მოცემულია წერტილი (75,6); $\alpha = 135^{\circ}$; $\delta = 25^{\circ}$, ე.ი. წერტილის კოორდინატი და მიმართულება α და δ





ნახ. 70

გავატაროთ თარაზული ხაზი და ტრანსპორტირით ავაგოთ 25° კუთხე მასშტაბის შესაბამისი სიგრძე. ავიღოთ 1მ და შესაბამისი L ინტერვალი დავყოთ 10 ნაწილად. L-ის 0.6 გადავზომოთ დაღმართისაკენ, მივიღებთ 75 ნიშნულის მქონე წერტილს, შემდეგ გადავზომოთ 75-დან მთლიანი L-ის ტოლი მივიღებთ 74-ს; ხოლო 75.6-დან გადავზომოთ აღმართისაკენ L-ის 0.4-დი, მივიღებთ 76 წერტილს. გრადუირების მიზანია არა

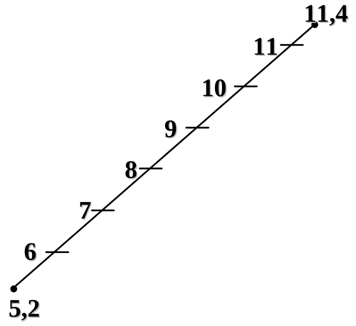
მარტო ის, რომ შევადაროთ ინტერვალები, არამედ ერთნაირი ნიშნულის მქონე წერტილები შევაერთოთ და გამოვსახოთ რელიეფი.

გრადუირება ნიშნავს დავნიშნოთ ხაზზე ისეთი წერტილები, რომლებიც ჯერადი იქნება კვეთის სიმაღლისა.

II-შემთხვევაში როდესაც მოცემულია ხაზის ორი წერტილის სამ-სამი კოორდინატი. ამ შემთხვევაში x, y-ს ვთვლით ცნობილად და z კოორდინატით ვახდენთ გრადუირებას აქ ვარჩევთ სამ ხერხს.

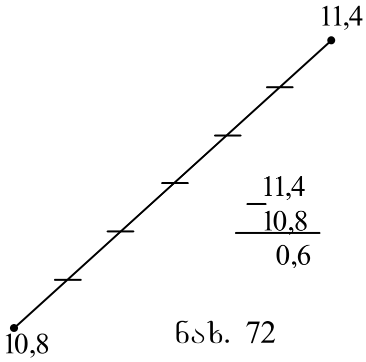
1. უშუალო ინტერპოლობა
2. ტრაფარეტის ანუ სერსეროთის ხერხი
3. პროფილის ანუ უჯრედიანი ქაღალდის ხერხი

1) ვთქვათ მოცემულია ორი წერტილი 11.4 და 5.7;



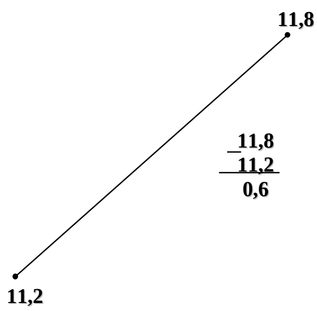
ნახ. 71

სხვაობა 11,4-5,2=6.2≈6 ნაწილად გავყოფთ მოცემულ ხაზს და 6.2 წერტილიდან გადავზომავთ $\left(\frac{1}{6}\right)$ მონაკვეთის 0.8-ს, მივიღებთ 6 წერტილს. 11.4-დან დადაბლებისაკენ გადავზომავთ 0.4-ს მივიღებთ 11 წერტილს. შემდეგ 11 და 6 წერტილებს შორის მანძილს ვყოფთ 11-6=5 ნაწილად და წავაწერთ შესაბამისად 7, 8, 9, 10 ნიშნულებს. როდესაც წერტილის ნიშნულებს შორის სხვაობა ნაკლებია კვეთის სიმაღლეზე, მაგრამ ამ წერტილებს შორის არის კვეთის სიმაღლის ჯერადი ნიშნულის შესაბამისი წერტილი. მაშინ დამრგვალებას არ ვახდენთ და ვაწარმოებთ 6 ათწილად ნაწილებზე მოცემული ხაზის დაყოფას (ნახ. 72).



ნახ. 72

როდესაც წერტილის ნიშნულებს შორის სხვაობა ნაკლებია კვეთის სიმაღლეზე და ამ წერტილებს შორის არ არის კვეთის სიმაღლის ჯერადი ნიშნული, მაშინ ხაზის გრადუირებას არ ვახდენთ. (ნახ. 73)



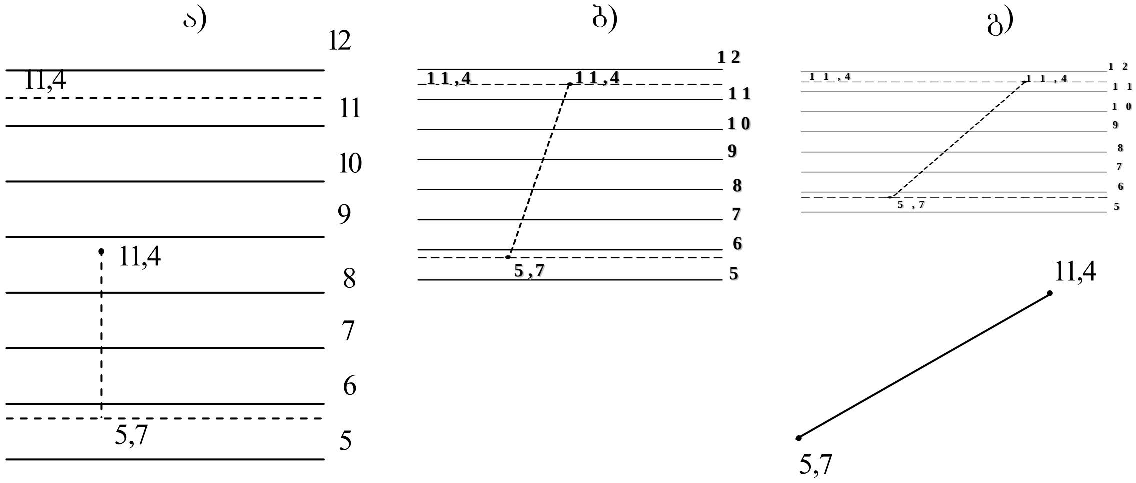
ნახ. 73

2) ტრაფარეტის ანუ სერსეროთის ხერხი დამყარებულია იმ გეომეტრიულ

მოსაზრებაზე, რომ თუ მონაკვეთს გადავკვეთთ თანაბრად დაცილებული პარალელური ხაზებით, მაშინ (მონაკვეთი) ხაზი დაიყოფა ტოლ მონაკვეთებად.

სერსეროთის ხერხისათვის წინასწარ ვამზადებთ გასანთლულ ქაღალდზე პარალელურ ხაზებს ტოლი მანძილით დაცილებულს. იხილეთ (ნახ. 74 ა, ბ, გ)

ა) ბ) გ)



ნახ. 74 (ა, ბ, გ)

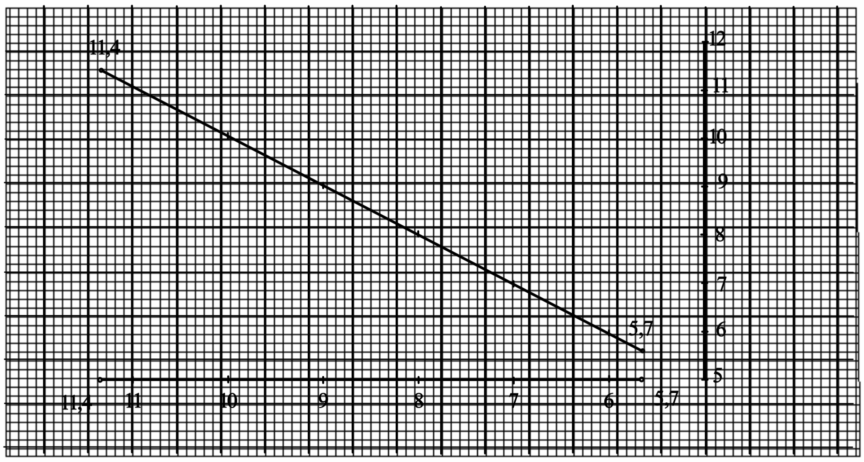
ვთქვათ გვინდა ვაწარმოოთ ინტერპოლობა 5.7 და 11.4 წერტილებს შორის. ამისათვის წინასწარ სერსეროთზე წავაწერთ საჭირო ნიშნულებს 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12. 5-სა და 6-ს პარალელურ ხაზებს შორის თვალით შევაფასებთ და დავნიშნავთ 5,7 წერტილს. 11-სა და 12-ს შორის გავავლებთ (წყვეტილით) 11.4 შესაბამის ხაზს. შემდეგ ხაზის 5,7 დავამთხვევთ სერსეროთზე აღნიშნულ 5,7 წერტილს და სერსეროთს ვაბრუნებთ 11.4-ის გადაკვეთამდე მერე 6, 7, 8, 9, 10, 12 ნიშნულებით შესაბამის ხაზებსა და ხაზის გადაკვეთის წერტილებს დავაჭერთ ფანქარს და ხაზს მოვაშორებთ სერსეროთს და ბოლოს ფანქრით ნაჭდევზე წავაწერთ 6, 7, 8, 9, 10, 11. ეს მეთოდი ინტერპოლობისა არის საკმაოდ ზუსტი. სერსეროთები მზადდება სხვადასხვა ზომის. 10 მმ-იანი, 5 მმ-იანი და სხვა.

ჩვენს შემთხვევაში I-ლი ზომის სერსეროთი არ გამოდგება, რადგან 5,7 წერტილში სერსეროთის ბრუნვით 11.4-ის ხაზს არ გადაკვეთს, რადგანაც ის მოკლეა.

საერთოდ, ხაზისა და სერსეროთის გადაკვეთა რაც უფრო მართობულად იქნება, მით მეტია სიზუსტე.

ე.ი. ჩვენი შემთხვევისათვის III-ე (გ ვარიანტი) ივარგებს, მაგრამ ნაკლები სიზუსტის იქნება.

დ) პროფილის ანუ უჯრედიანი – (მილიმეტრებიანი) ქაღალდის ხერხი



ნახ. 75

მოცემულია ხაზი (5,7–11,4). მოვახდინოთ მისი გრადუირება მილიმეტრებიანი ქაღალდით.

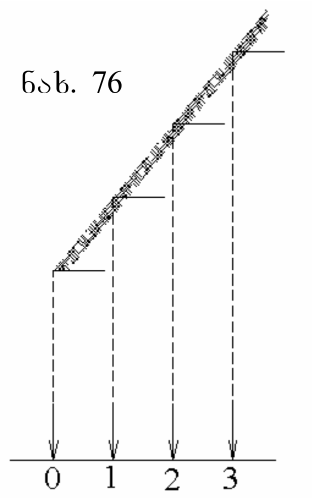
სანტიმეტრებიან დანაყოფებს წავაწეროთ ნიშნულები 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12; შემდეგ მილიმეტრულ ქაღალდზე მივადოთ გვერდიდან დასაგრადუირებელი ხაზის. 5,7 წერტილი და 11.4 ავაგეგმილოთ მილიმეტრულ ქაღალდზე. შემდეგ 12.4 და 5.7 წერტილები შევაერთოთ ხაზით. გადაკვეთის წერტილები 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 სანტიმეტრებიან ხაზებიდან ჩამოვაგეგმილოთ 5.7 – 11.4 – ხაზზე, მივიღებთ დაგრადუირებულ ხაზს (გადაკვეთის წერტილებზე მონაკვეთების ფარგლით გადაზომა და ისე გადატანა დასაგრადუირებელ ხაზზე მიზანშეწონილი არაა, იგი შეცდომების წყაროა). გრადუირების ეს ხერხი კიდევ უფრო ზუსტია.

საერთოდ გეოდეზიაში (სიზუსტის შესაბამისად) ვმუშაობთ აუცილებლობისა და საკმარისობის პრინციპის შესაბამისად, ამიტომ გრადუირების ხერხს შევარჩევთ იმის მიხედვით, თუ როგორი სიზუსტითაა საჭირო სამუშაოს შესრულება. თუ წვრილ მასშტაბში ვმუშაობთ, ვიყენებთ უშუალო ინტერპოლობას, საშუალო მასშტაბში, სერსეროთს, ხოლო მსხვილ მასშტაბში მილიმეტრებიანი ქაღალდის ხერხს.

7.5. ნიშნულებიანი პროექციების განზოგადოება

თუ ტოპოგრაფიულ ზედაპირს გავკვეთთ პარალელური ჰორიზონტალური ერთმანეთისაგან ტოლი მანძილებით დაშორებული სიბრტყეებით, მაშინ კვეთაში მივიღებთ ერთმანეთის პარალელურ მრუდ წირებს ან წრფეებს – იმისდა მიხედვით, თუ როგორია ტოპოგრაფიული ზედაპირი. განვიხილოთ მაგალითები:

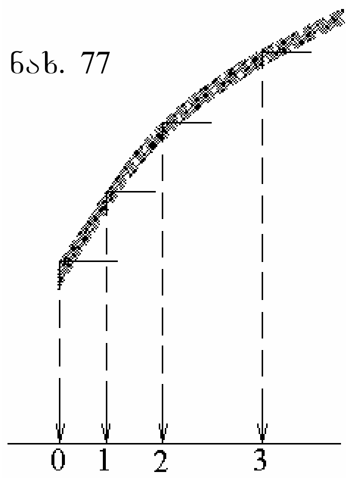
1)



ნახ. 76

თანაბარი დაქანების მქონე ზედაპირი

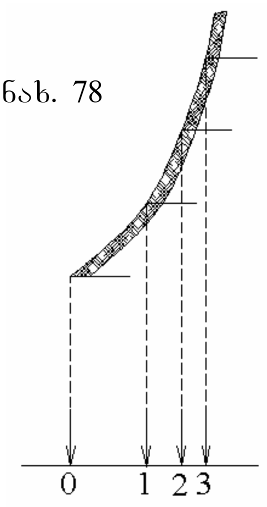
2)



ნახ. 77

ამოზნექილი ცილინდრული ზედაპირი

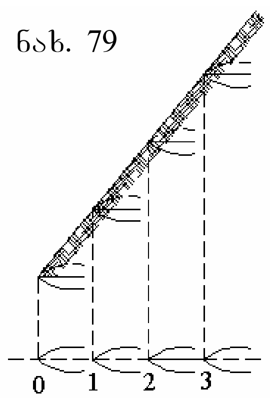
3)



ნახ. 78

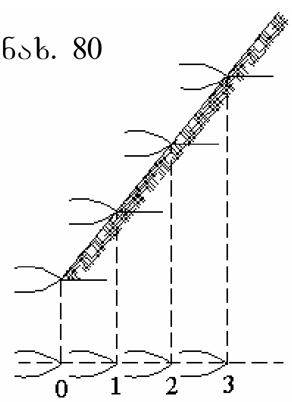
ჩაზნექილი ცილინდრული ზედაპირი

4)



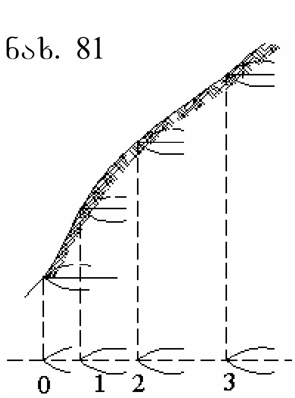
ნახ. 79

5)



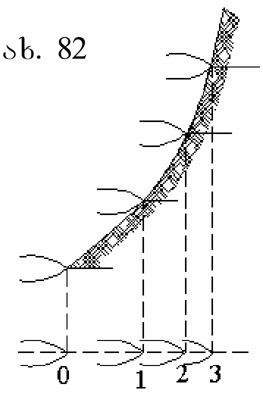
ნახ. 80

6)



ნახ. 81

7)



ნახ. 82

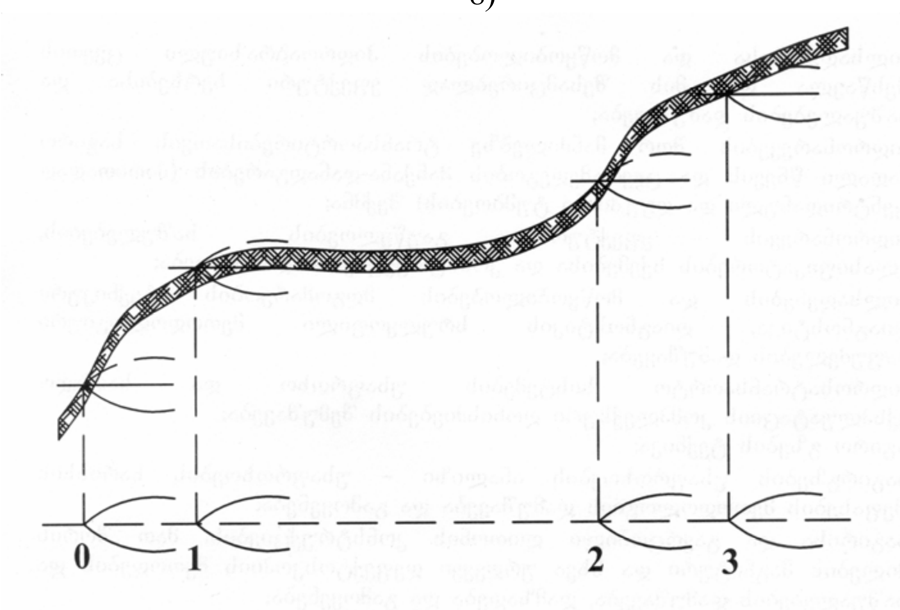
ქედი. წყალგამყოფი დადებითი ინვარიანტული ხაზი თანაბარი დახრით (იზოჰიფსები თანაბრადაა დაცილებული).

ღელე. თანაბრად დაქანებული წყალშემკრები ანუ უარყოფითი ინვარიანტული ხაზი.

ქედი. წყალგამყოფი ანუ დადებითი ინვარიანტული ხაზი არა თანაბარი დახრით (იზოჰიფსები არათანაბრადაა დაცილებული).

ღელე. თანაბრად დაქანებული წყალშემკრები ხაზი ანუ უარყოფითი ინვარიანტული ხაზი არა თანაბარი დახრით.

8)



საფეხურა ანუ ტერასა (სადაც ერთმანეთს ენაცვლება დაქანება და წავაკება)

ნახ. 83

გავარჩიოთ ზემოთ გამოსახული ყველა შემთხვევა ცალ-ცალკე:

1-ელ მაგალითში მოცემულია თანაბარი დაქანების მქონე მთის ფერდობის განკვეთა (წარმოდგენით) ჰორიზონტული სიბრტყეებით. კვეთაში მიიღება სწორი – ერთმანეთისაგან თანაბრად დაშორებული პარალელური ხაზები (ე.ი. გეგმაზე თანაბრად დაშორებული პარალელური ხაზები რომ გვექნება უნდა ვიცოდეთ რას წარმოადგენს ის ადგილზე).

2-ე შემთხვევაში ზედაპირს აქვს ამოზნექილი ცილინდრის ფორმა. კვეთაში მიიღება ერთმანეთისგან არათანაბრად დაშორებული წრფეები.

3-ე შემთხვევაში ზედაპირი ჩაზნექილია და იზოჰიფსებიც არათანაბრად იქნება დაშორებული.

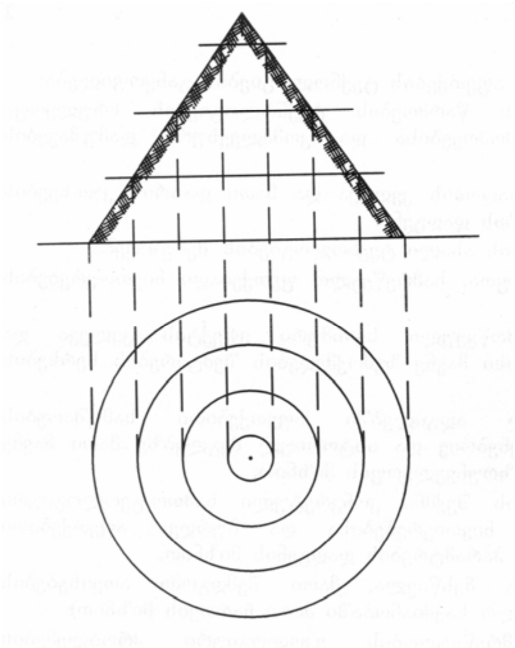
4-ე შემთხვევაში გვაქვს თანაბარი დაქანების მქონე ქედი (სამი მიმართულებით დაღმართი, ერთი მიმართულებით აღმართი. იზოჰიფსები თითქოს გაგვირბიან).

5-ე შემთხვევაში მოცემულია ღელე წყალშემკრები ანუ უარყოფითი ინვარიანტული ხაზი. გვაქვს სამი მიმართულებით აღმართი, ერთი მიმართულებით დაღმართი.

6-ე ნახაზზე მოცემულია არა თანაბარი დაქანების მქონე ქედი, განკვეთის წირები (იზოჰიფსები) ერთმანეთისაგან არა თანაბრადაა დაქანებული.

7-ე ნახაზზე გვაქვს არა თანაბარი დაქანების ღელე.

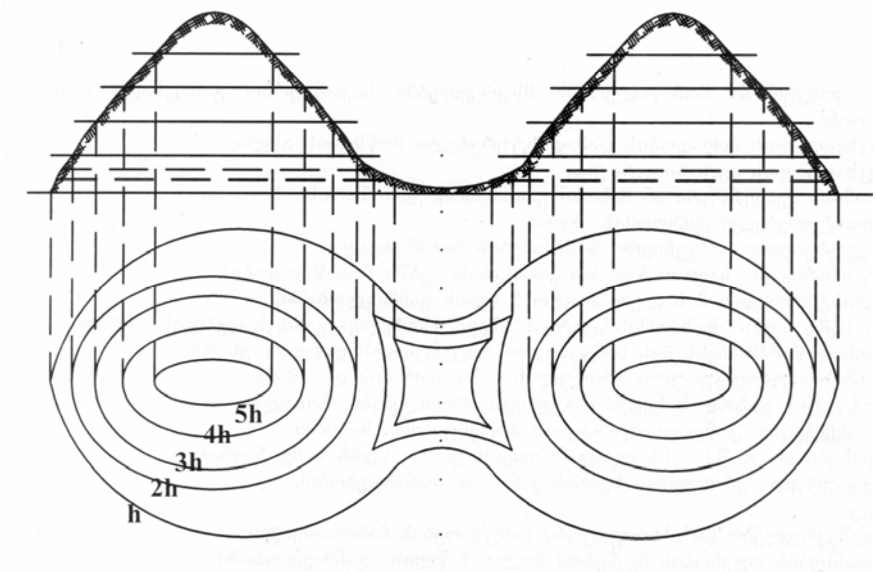
8-ე ნაჩვენებია საფეხურა ანუ ტერასა.



თუ გვაქვს კონუსური ზედაპირი კვეთაში, დაგეგმილებისას მივიღებთ კონცენტრულ წრეხაზებს.

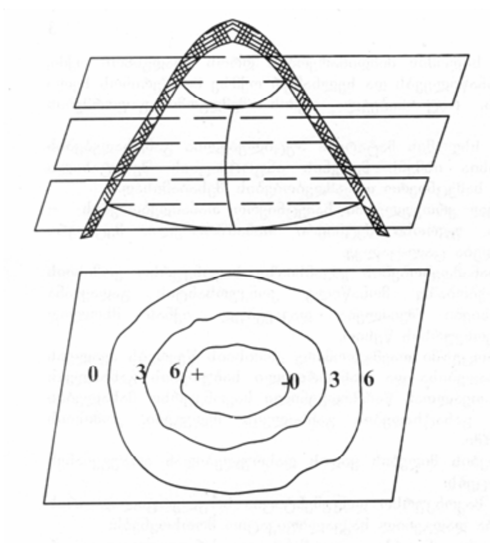
ნახ. 84

ზემოთ მოყვანილი შემთხვევები განვაზოგადოთ უფრო რთულ ზედაპირზე. ვთქვათ, გვაქვს უნაგირა, ე.ი. ადგილი ერთდება ორი ქედით და იწყება ორი ღელე.



ნახ. 85

როგორც ვხედავთ, იზოჰიფსები არიან შეკრული მრუდები ტოლი სიმაღლის მქონე წერტილებით, რომელთა ნიშნულები ჯერადია კვეთის.



ნახ. 86

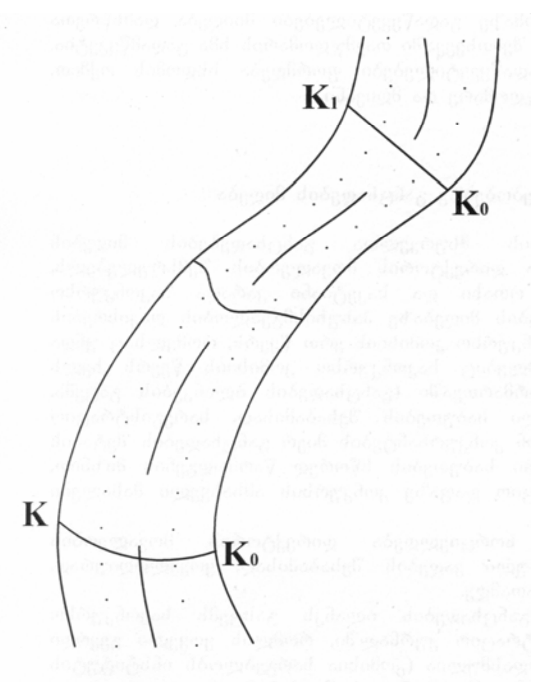
თუ დავაკვირდებით იზოჰიფსებს, დავინახავთ, რომ (მთა) გორა გამოსახულია ურთიერთ პარალელური იზოჰიფსებით, მაგრამ იმავე იზოჰიფსებით შეიძლება გამოსახული იქნეს ტაფობიც. ისმის კითხვა: როგორ უნდა გავარჩიოთ გეგმაზე მოცემული იზოჰიფსები – რას გამოხატავენ ტაფობს თუ გორას? აქ ყურადღება უნდა მივაქციოთ ნიშნულებს. როდესაც იზოჰიფსებზე ნიშნულები შუისაკენ იზრდება, მაშინ იზოჰიფსებით ამაღლებული ადგილია გამოსახული, როდესაც პირიქითაა, მაშინ ადგილი ტაფობს წარმოადგენს. ან იზოჰიფსებზე შეიძლება საერთოდ არ იყოს ნიშნულები. იგი შეიძლება კვესურებით იყოს აღნიშნული —|) დადაბლება |—) ამაღლება, ან უბრალოდ იზოჰიფსებზე შუაში ეწეროს (+) ან (–) ნიშანი.

იზოჰიფსები გვაძლევენ საშუალებას ნებისმიერი წერტილის ნიშნულის განსაზღვრისათვის.

ჩვენ ვიცით, რომ უსწორმასწორობის გამომსახველი პირობითი ნიშნები უნდა გვაძლევდნენ საშუალებას განვსაზღვროთ:

1. ნებისმიერი წერტილის ნიშნულები;

1. საითკენაა დაქანება;
2. როგორია დაქანების ხარისხი;
3. უნდა გვაძლევდეს საშუალებას წარმოდგენა გვქონდეს რელიეფის პლასტიკურობაზე.

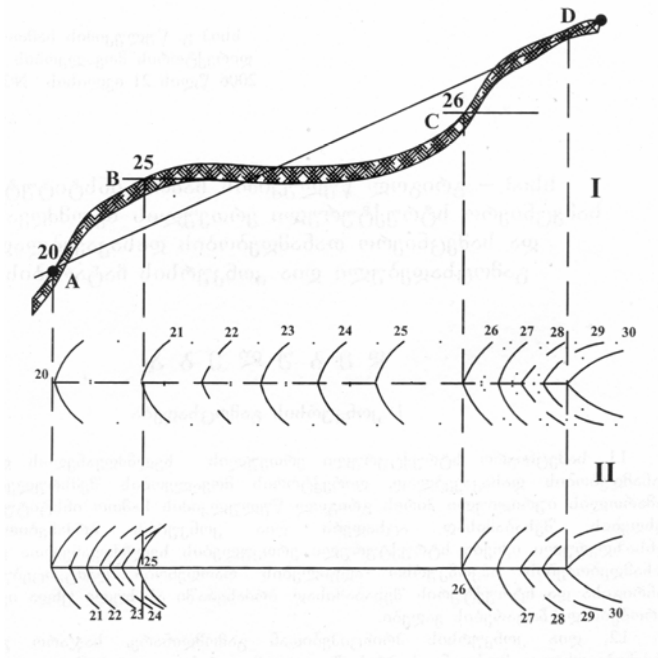


ნახ. 87

შეიძლება იზოჰიფსები აკმაყოფილებს ყველა ამ პირობას, მაგრამ მას მაინც აქვს ნაკლი. იგულისხმება, რომ ორ მეზობელ იზოჰიფსს შორის თანაბარი დაქანებაა, რაც სწორი არაა (ნახ. 87), არც კვეთის სიმაღლის შემცირება გვაძლევს სასურველ შედეგს. განვიხილოთ კვეთის სიმაღლის შემცირების მაგალითი საფეხურაზე (ნახ. 88)

საფეხურა ანუ ტერასა გამოისახება ახლოს განლაგებული და მკვეთრად დაშორებული იზოჰიფსებისაგან.

განვიხილოთ შემთხვევები:

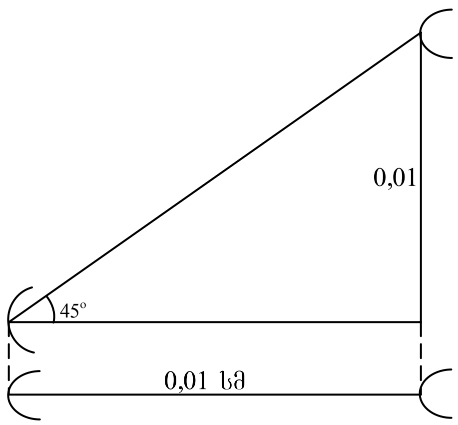


ნახ. 88

I – შევამციროთ კვეთის სიმაღლე, მაშინ დამხმარე იზოჰიფსები 20-30 შორის განაწილდება, როგორც ეს ნახაზზეა გამოსახული, მაგრამ, როგორც ზემოთ განხილულიდან ვიცით, თანაბრად დაშორებული იზოჰიფსებით იგულისხმება არა ისეთი დაქანება როგორიც საფეხურას გააჩნია, არამედ თანაბარი დაქანება *AB* ხაზის გაყოლებით. თუ დავაკვირდებით ზედაპირზე არსებულ 25-26 და 30 წერტილებს დავინახავთ, რომ ისინი არ შეესაბამებიან ჩვენს მიერ გეგმაზე კვეთის სიმაღლის შემცირებით მიღებულ იზოჰიფსებს. ახლა მივაქციოთ ყურადღება 20, 25, 26 და 30 წერტილებს. ინტერპოლობა გეგმაზე გავაკეთოთ აღებული წერტილების მიხედვით, მაშინ გეგმა მიიღებს I-ის ნაცვლად II-რე სახეს (ნახ. 88) რომლებიც არაფრით არ ემსგავსებიან ერთმანეთს. მაშასადამე

მნიშვნელობა აქვს დამახასიათებელი წერტილების ნიშნულების განსაზღვრას ველზე და არა კვეთის სიმაღლის შემცირებას, მხოლოდ ამის შემდეგ შეგვიძლია ვიმსჯელოთ კვეთის სიმაღლის შერჩევაზე.

ა) ნორმალური კვეთის სიმაღლის განსაზღვრა



ნახ. 89

45°-არის ზღვრული დაქანება, რომლის ზევით დაქანების შემთხვევაში, ზედაპირს იზოჰიფსებით ვერ გამოვსახავთ.

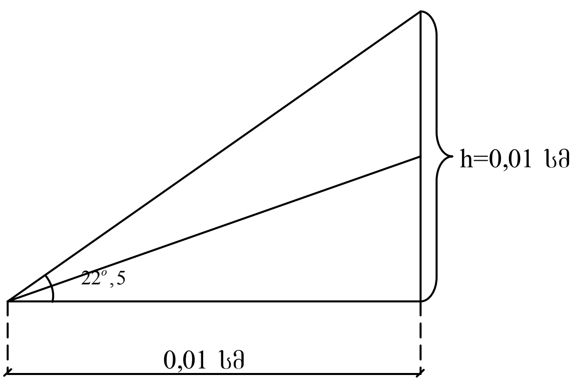
ვთქვათ გვაქვს 45°-იანი დაქანება. ნორმული კვეთის სიმაღლე დამოკიდებულია ფერდობის ზღვრულ (კიდეგან) დაქანებაზე და გეგმის მასშტაბზე. ზღვრულ (ანუ კიდეგან) დაქანებად მიღებულია დაქანება 45°.

ზღვრული სიახლოვე ორ იზოჰიფს შორის არის 0.01 სმ. კვეთის სიმაღლე ზღვრული იქნება 0.01 სმ ანუ როცა მასშტაბია $\frac{1}{10000}$, $h = 1$მ. როდესაც დახრის კუთხე 45°-ის ნაცვლად არის $22^{\circ}5$, მაშინ კვეთის სიმაღლე იზოჰიფსებს შორის იმავე დაცილებისათვის უნდა ავიღოთ $h/2$ (ორჯერ ნაკლები).

როგორ შევარჩიოთ კვეთის სიმაღლე?

ამისათვის გავარჩიოთ ორი შემთხვევა 22° და 45°-თვის

I) – ვთქვათ კვეთის სიმაღლეა – 1მ.

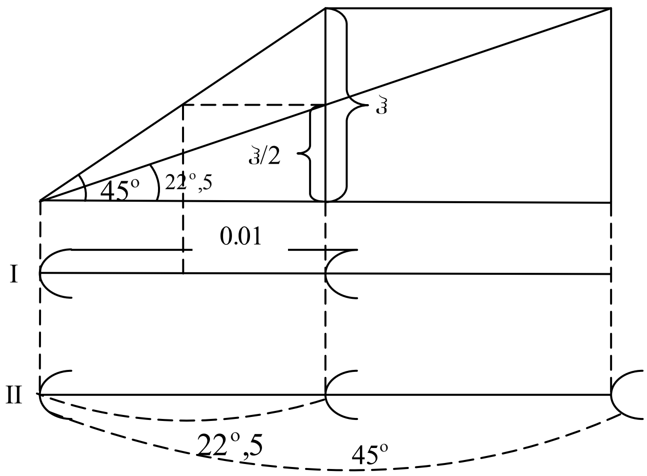


ნახ. 90

45° -ზე როდესაც $h = 1$მ იზოჰიფსებს შორის მანძილი 0.01 სმ. ე.ი. უდრის ზღვრულ გრაფიკულ სიზუსტეს. იმავე შემთხვევისათვის 22°-ზე მანძილი იზოჰიფსებს შორის გაიზრდება ე.ი. როდესაც კვეთის სიმაღლე $h = 1$მ. 45°-ზე იზოჰიფსებს შორის მანძილი ზღვრულია, ხოლო 22°-ზე იზოჰიფსებს შორის ზღვრულ დაცილებას შეესაბამება $h/2$ კვეთის სიმაღლე.

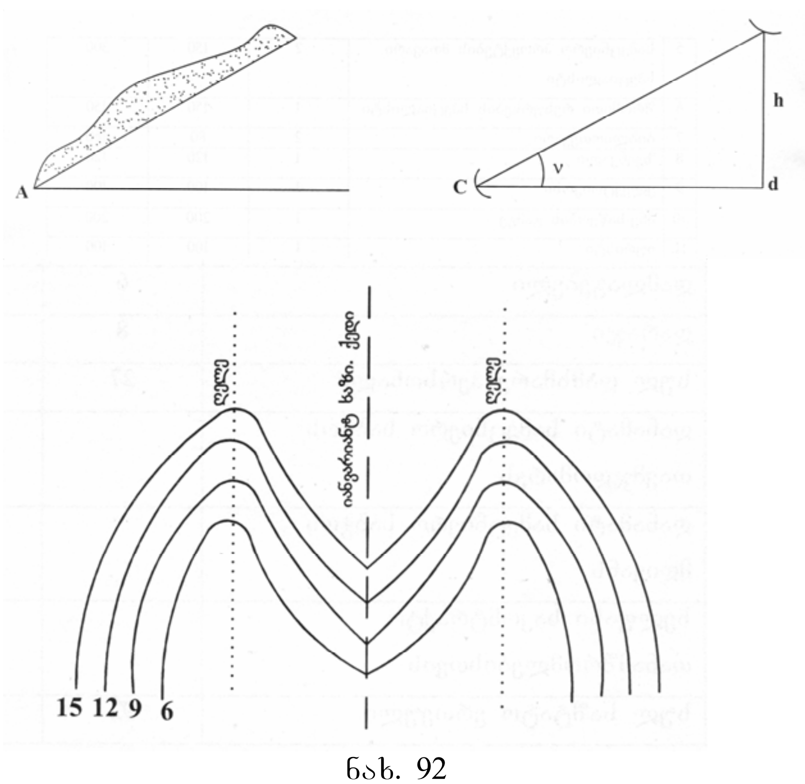
(45°-ზე $h=1$მ კვეთის სიმაღლის დროს იზოჰიფსებს შორის დაცილება ზღვრულია, მაგრამ $\frac{h}{2}$ კვეთის სიმაღლის დროს 45°-ზე იზოჰიფსებს შორის მანძილი 0.01სმ-ზე ნაკლები გამოდის, რის გამო იზოჰიფსები შეირწყმიან. მაშასადამე 45°-ისათვის როდესაც $h=1$მ. დასაშვებია, (მაგრამ $\frac{h}{2}$ არა)

ნახ. 91



II) ახლა განვიხილოთ 22°,5-ზე თუ $h=1$მ იზოჰიფსებს შორის მანძილი 0.02სმ. ე.ი. გაორკეცებულ ზღვრულ სიზუსტეს, როდესაც $\frac{h}{2}$, მაშინ იზოჰიფსებს შორის მანძილი უდრის 0.01 ე.ი. კვეთის სიმაღლე უნდა ავიღოთ 45°-ის შესაბამისი და არა 22°,5-ისა.

კვეთის ნორმალური სიმაღლე რელიეფისათვის უნდა შეირჩეს.



ნახ. 92

საერთოდ თუ ადგილი აქვს სხვადასხვაგვარ დაქანებას, მაშინ კვეთის სიმაღლე უნდა შევარჩიოთ მაქსიმალური დაქანებისათვის და ის გამოდგება ყველა დანარჩენი დაქანებებისათვის. საერთოდ, მთავარია პირველ რიგში დამახასიათებელი წერტილების შერჩევა, ხოლო შემდეგ კვეთის სიმაღლის შერჩევა.

დავამყაროთ დამოკიდებულება a-ქვედებულსა, ν დახრის კუთხესა და h კვეთის სიმაღლეს შორის. $a = h \cdot ctg\nu$

შევადგინოთ ცხრილი

v / h	1°	2°	3°	4°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
1მ	57.3	28.6	19.1	14.3	11.4	5.7	3.7	2.7	2.1	1.7	1.4	1.2	1.0

ქვედებულები გამოვთვალეთ ფორმულით $a = h \cdot ctgv(v = 1^o, 2^o ... 45^o)$ კუთხის ზრდისას მანძილი არაპროპორციულად მცირდება, ხოლო ზოგიერთ ინტერვალებში დაცულია პროპორციულად შემცირება.

ვთქვათ, გვინდა გზის გაყვანა, რომლის დახრაა 7^o. გამოვთვალოთ შესაბამისი a. განვსაზღვროთ ქვედებულის კლება 1^o-ით ზრდისას 5^o-დან 10^o-მდე.

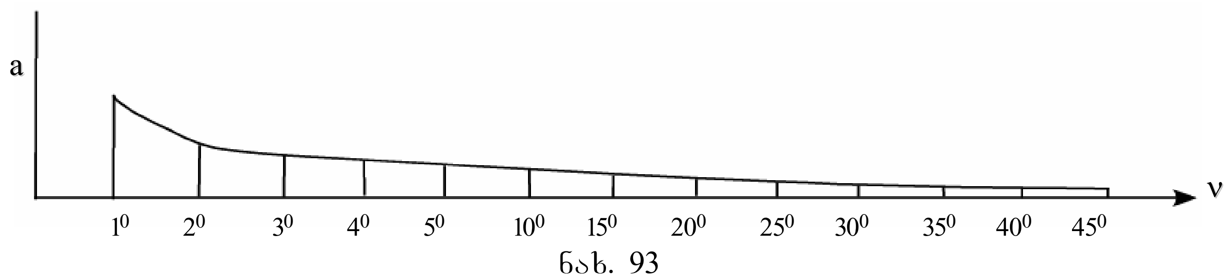
$$1^o - \frac{11.4 - 5.7}{5} = 1.14 \text{ მ}$$

ახლა განვიხილოთ შებრუნებული ამოცანა. მოცემულია a=9.12 და საჭიროა განვსაზღვროთ დახრის v კუთხე.

$$11.4 - 9.12 = 2.28$$

$$2.28 : 1.14 = 2$$

$$\text{ე.ი. } v = 5^o + 2^o = 7^o$$



ნახ. 93

აგებული დიაგრამის მიხედვით განვსაზღვროთ ცხრილში შეუტანელი დახრის კუთხის შესაბამისი ქვედებული v ღერძზე. გადავზომავთ ამ კუთხის შესაბამის მანძილს, მიღებული წერტილიდან აღვმართავთ მართობს დიაგრამის გადაკვეთამდე და მივიღებთ ქანობს მოცემულ მასშტაბში.

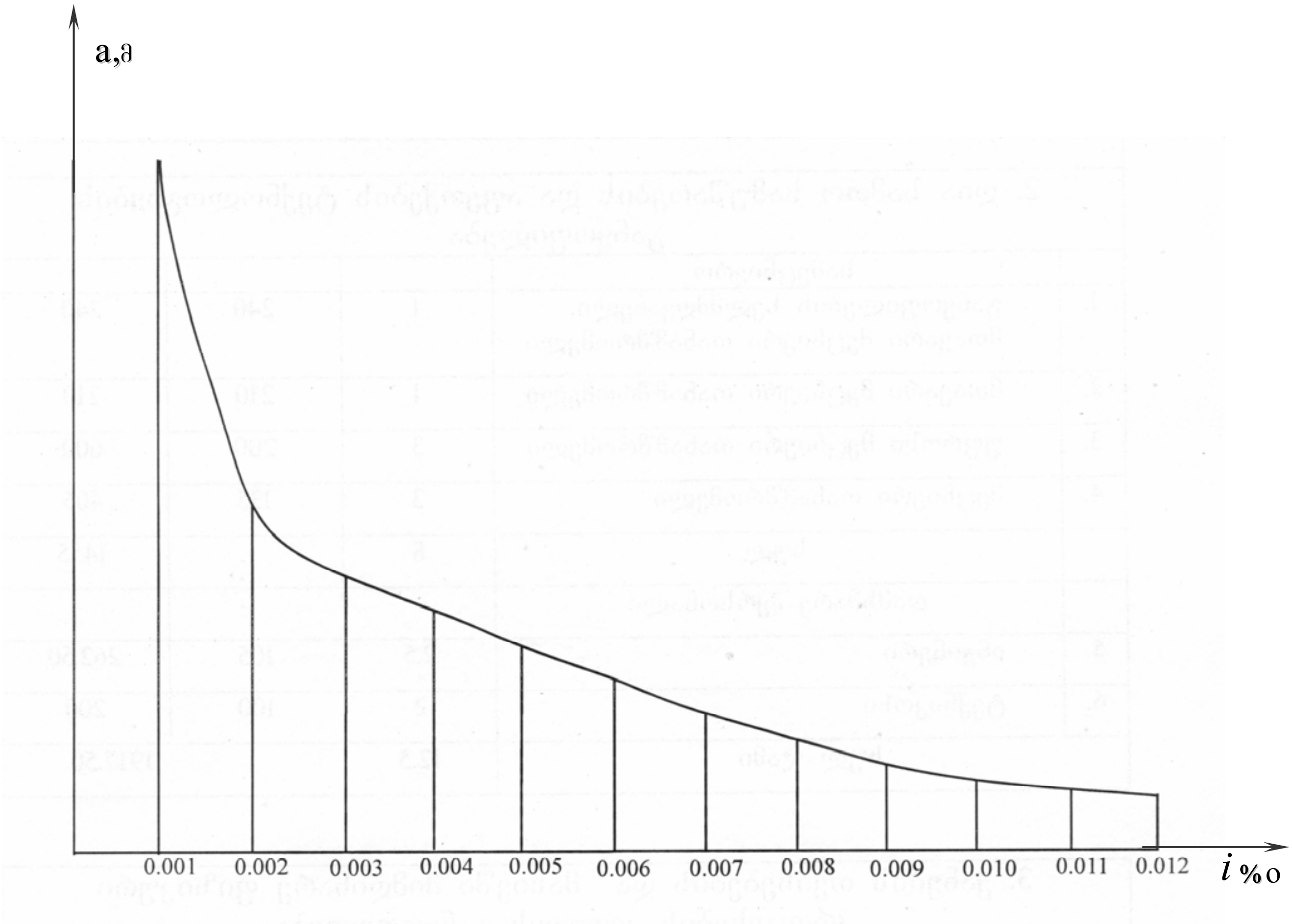
ქვედებულის განსაზღვრა შეიძლება ქანობის მიხედვითაც

$$\frac{h}{a} = tgv = i \qquad a = \frac{h}{i} \qquad i = 0.01 = 1\%$$

$$i = 0.001 = 1‰.$$

გავუტოლოთ h=1მ და შევადგინოთ ცხრილი

i / h	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012
1მ	1000	500	333.3	250.0	200.0	166.7	142.8	125.0	111.1	110.0	90.9	83.6



ნახ. 94

ცხრილის საშუალებით აიგება დიაგრამა: ცხრილში წინასწარ მოცემული *h*-ის და ქანობის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის გამოითვლიან ქვედებულებს ფორმულით

$$a = \frac{h}{i} \quad \text{როცა} \quad \begin{matrix} h = 1\text{მ} \\ i = 0.001 \end{matrix}$$

$$a = \frac{1\text{მ}}{0.001} = 1000\,\text{მ} \ \text{და ა.შ.}$$

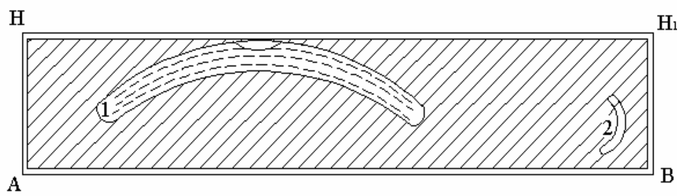
დიაგრამის ასაგებად ჰორიზონტულ ხაზზე ნებისმიერი მასშტაბით მოვზომავთ ქანობებს, ხოლო შვეული მიმართულებით კი მოცემულ მასშტაბში ქვედებულებს. მიღებულ წერტილებს შევაერთებთ, რის შედეგადაც მივიღებთ საძიებელ დიაგრამას.

VIII თავი

თარაზოები

8.1. თარაზოს თეორია

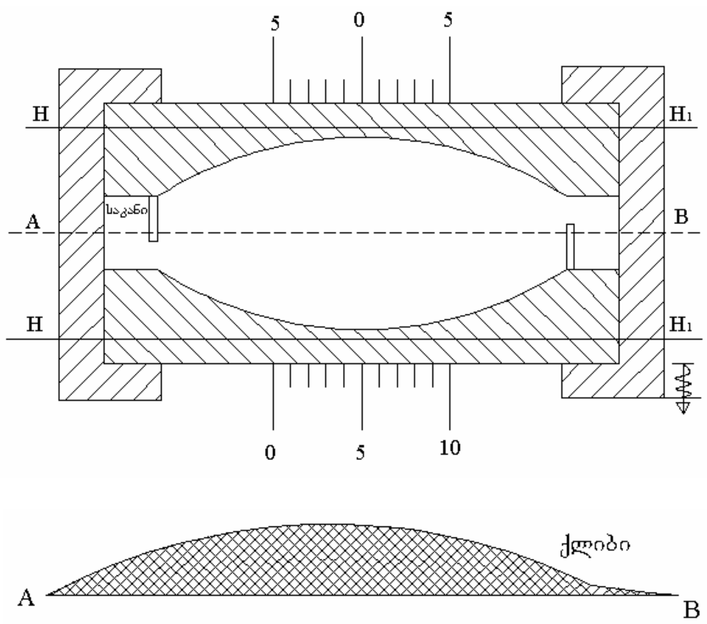
ხაზებისა და სიბრტყეების ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ მდგომარეობაში მოსაყვანად სარგებლობენ თარაზოთი. გეოდეზიური ინსტრუმენტები შედგება ღერძებისა და წრედებისაგან, რომელთა დაყენება შვეულად ან თარაზულად აუცილებელია სამუშაოების შესრულების დროს. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად გამოიყენება თარაზო.



ნახ. 95

თარაზო ძირითადად ორგვარია: ცილინდრული და სფერული. ცილინდრული თარაზოებიც ორი სახისაა:

1. პირველი სახის ცილინდრული თარაზო (ხელოსნების თარაზო) ასე მზადდება: აიღებენ შუშის მილს, გაახურებენ და სასურველი რადიუსით მოღუნავენ. მასში ჩაასხამენ სპირტს, ტოვებენ ცოტა ჰაერს ბუშტულასათვის და დახშავენ. მილის სიმრუდის მაქსიმალური რადიუსი $R_{max} \approx 2$ მეტრამდეა.



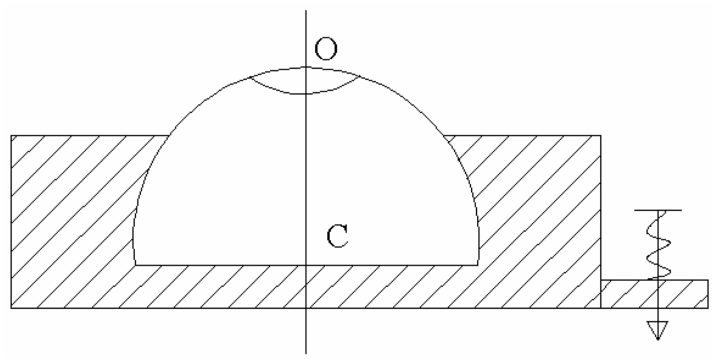
ნახ. 96

1-ლი ამპულით სიბრტყე მოყავთ თარაზულად, 2-თი კი ვერტიკალურად. თვალით ინტერპოლობისათვის თარაზოს ზემოთ აქვს ორი შტრიხი.

2. მეორე სახის ცილინდრული თარაზო არის უფრო ზუსტი. მის დასამზადებლად იღებენ მილს, შიგ მოათავსებენ გარკვეული პროფილის მქონე ქლიბს, რომლის სიმრუდის რადიუსი აღწევს 200 მეტრს. ამ ქლიბს აბრუნებენ მილში. მილის შიგა ზედაპირი მიიღებს ქლიბის პროფილს. თუ მილი ორივე მხარეზე არის გახეხილი, მაშინ გვექნება ორმხრივი ანუ რევერსიული თარაზო. თარაზოს მილაკზე ზრდად წარწერებს აკეთებენ შუიდან მარჯვნივ და მარცხნივ ან ერთი მხრით. ნახაზზე მოცემულია რევერსიული (ორმხრივი) თარაზო ორგვარი წარწერით. მიღებულია თარაზოს ორმილიმეტრიანი დანაყოფები.

მილს ერთი მხრიდან დახშავენ მინის საგოზავით და შიგ ჩაასხავენ გოგირდოვან ეთერს, ისე რომ გავსებას ცოტა აკლდეს, ათავსებენ $30^o - 40^o$-მდე გაცხელებულ ქვიშიან ან მარილიან აბაზანაში. მილი სითხის გაფართოების შედეგად აივსება და დაიწყებს გადმოსვლას, ამ დროს მილს დახშავენ. გაცივების შემდეგ სითხე შეიკუმშება და გაჩნდება უჰაერო ბუშტულა. ასე დამზადებულ მილს ათავსებენ სასურველი ფორმის ჩარჩოში. ჩარჩოს უკეთებენ თარაზოს შემასწორებელ ხრახნს. თარაზოს აქვს 2 ღერძი: 1. გეომეტრიული ანუ სიმეტრიის ღერძი *AB* და 2. თვით თარაზოს ღერძი HH_1, რომელიც არის ნულ პუნქტის მხები შიგნიდან.

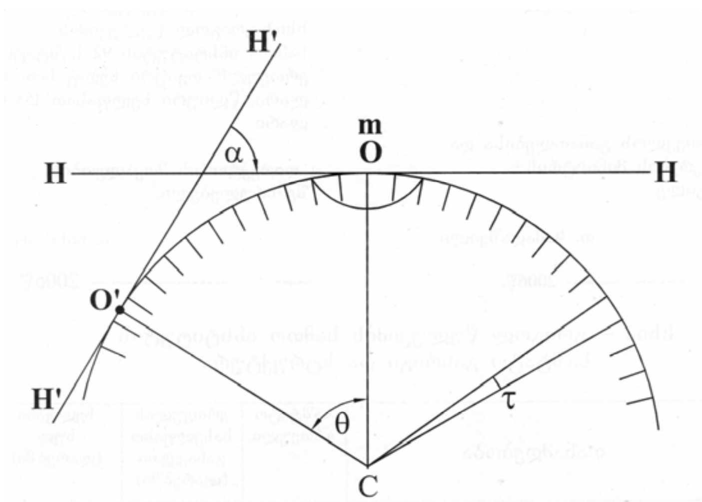
მაშასადამე, თარაზოს HH_1 ღერძი ეწოდება იმ წრფეს, რომელიც წარმოადგენს შიგა მხებს ნულ პუნქტში. თარაზოს გააჩნია 2 საკანი თარაზოს ორივე მხრისათვის (ერთი საკანი ზედა მხარესათვის, მეორე ქვედა მხარესათვის), საკანი გამოიყენება ზამთარში ან ზაფხულში სითხის სარეგულირებლად.



ნახ. 97

II სფერული თარაზო

სფერული თარაზო წარმოადგენს სფეროს ნაწილს (ნახაზზე მოცემულია ჭრილში) თარაზოს ღერძია *OC*. თარაზოს აქვს შემასწორებელი ხრახნი.



ნახ. 98

თარაზოს ღერძის დახრის კუთხის განსაზღვრა

ვთქვათ, თარაზოს *O* (ნულ) პუნქტს ემთხვევა ბუშტულას *m* ცენტრი (აქ ლაპარაკია ორივე ცილინდრულ და სფერულ თარაზოზე), მაშინ ნახაზზე *HH* ცილინდრული და *OC* სფერული თარაზოს ღერძებს ექნებათ შესაბამისად ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგომარეობები. *OC* სფერული თარაზოს ღერძი

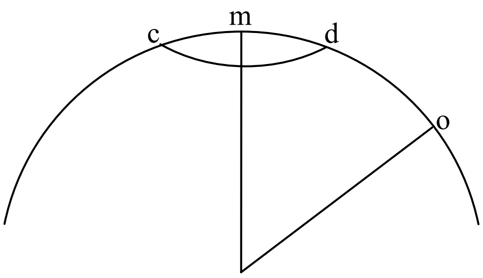
დავხაროთ θ კუთხით, ცილინდრული თარაზოს $H'H'$ ღერძი კი α კუთხით ე.ი. *HH*-მა მიიღო $H'H'$ მდებარეობა. ხოლო *OC*-ემ მიიღო $O'C$ მდებარეობა. როგორც ნახაზიდან სჩანს $\alpha = \theta$.

ერთი 2 მილიმეტრიანი დანაყოფის შესაბამისი ცენტრალური კუთხე ავღნიშნოთ τ-თი, რასაც თარაზოს საფასური ეწოდება. ნახაზიდან $\theta = \alpha = \tau \cdot n$, ე.ი. თუ ვიცით τ და ნულ პუნქტიდან ბუშტულას შუაგულის გადახრის შესაბამის დანაყოფთა *n* რიცხვი, მივიღებთ α ანუ θ კუთხეს.

ვინაიდან ნულ პუნქტიდან ბუშტულას შუაგულის შესაბამისი ანათვლის აღება ზუსტად ძნელია, ამიტომ ვსარგებლობთ მისი ბოლოების შესაბამისი ანათვლებით (ბუშტულას მარჯვენა და მარცხენა ბოლოებით), ამასთან დაკავშირებით განვიხილოთ ორი შემთხვევა.

1. ბუშტულა არის ნულ პუნქტიდან მარცხნივ (ნახაზზე თარაზოს ღერძის მარჯვენა მხარეა დახრილი), დავწეროთ ამ შემთხვევისათვის *om* მანძილის გამოსათვლელი ფორმულა. ნახაზიდან

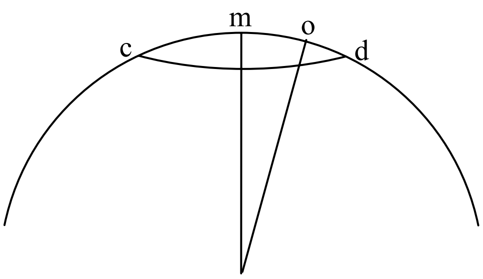
$$om = oc - cm = oc - \frac{oc - od}{2} = \frac{oc + od}{2} \qquad (8.1.1)$$



ნახ. 99

2. განვიხილოთ შემთხვევა, როცა ბუშტულა *O*-პუნქტიდან მარჯვნივ გადადის, ე.ი. როცა ანათვალი აიღება *O*-პუნქტიდან ორივე მხარეს. მაშინ ნახაზიდან.

$$om = oc - cm = oc - \frac{oc + od}{2} = \frac{oc - od}{2} \qquad (8.1.2)$$



ნახ. 100

მანძილები გამოვსახოთ ანათვლებით. აღვნიშნოთ

oc - მანძილი a დანაყოფის რაოდენობით,

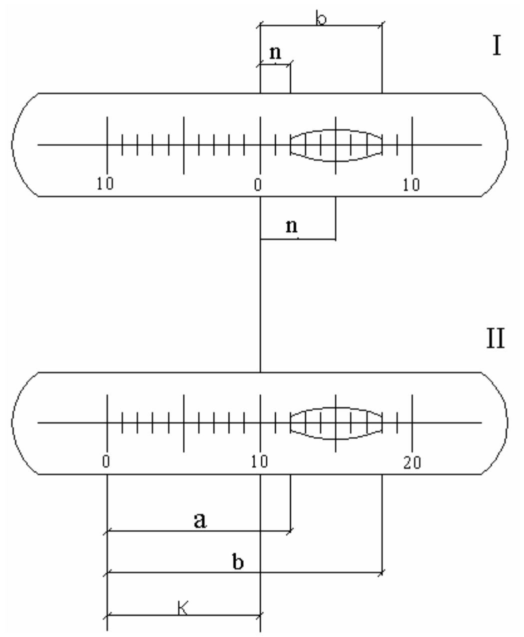
od - მანძილი b დანაყოფის რაოდენობით,

$om = n$.

დანაყოფები ათვლილი *O*-პუნქტიდან მარცხნივ აღვნიშნოთ "+"-ით, *O*-პუნქტიდან მარჯვნივ კი "–"-ით, ე.ი. (1) და (2) გაგრძელდება ასე:

$$n = \frac{a+b}{2} \ \text{(ნახ. 99)} \qquad\qquad n = \frac{a-(-b)}{2} = \frac{a+b}{2} \ \text{(ნახ. 100)}$$

დანაყოფების რაოდენობა *O*-პუნქტიდან ბუშტულის შუაგულამდე უდრის ბუშტულის ბოლოების შესაბამისი ანათვლების ალგებრულ საშუალოს.



ნახ. 101

ავიღოთ რევერსიული თარაზოს ზედხედი ორივე მხრიდან და განვსაზღვროთ *n*-ანათვალი.

I-დან

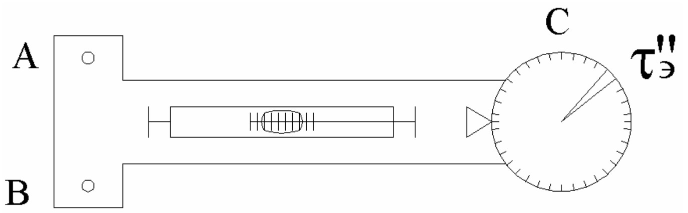
$$n = \frac{a+b}{2} = \frac{-2+(-8)}{2} = -5 .$$

II-დან

$$n = \frac{2k-a-b}{2} = \frac{20-12-18}{2} = -5 ,$$

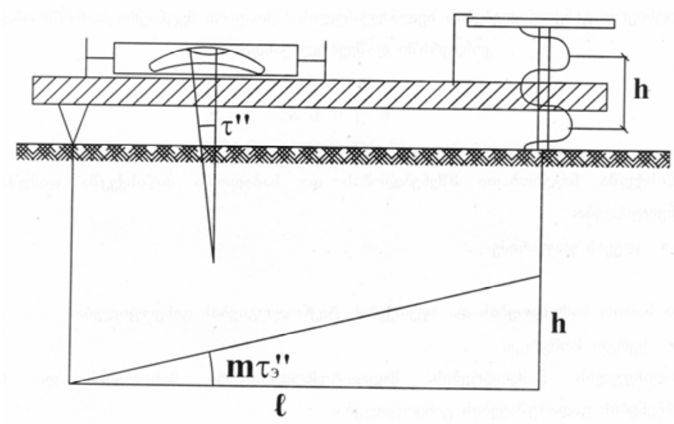
k-მანძილია შკალის საწყისიდან *O*-პუნქტამდე.

<u>თარაზოს დანაყოფის საფასურის განსაზღვრა.</u>



ნახ. 102

თარაზოს საფასურის განსაზღვრისათვის იყენებენ ეგზამენატორს. გარეგნულად იგი რეისშინას წააგავს. *A* და *B* წერტილებში ხისტად ჩამაგრებულია წვეტანებით. *C* წერტილში გაყრილია ხრახნი, რომლის თავი დაყოფილია *m* ნაწილად.

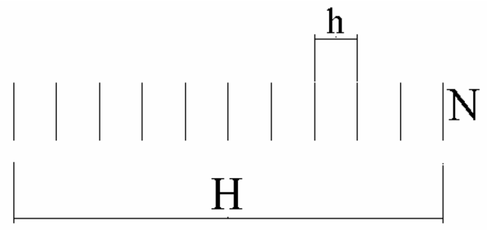


ნახ. 103

ავღნიშნოთ ეგზამენატორის საფასური $\tau_э''$-თი, დანაყოფების რაოდენობა კი, როგორც ვიცით, არის *m*. გამოსაცდელ თარაზოს ათავსებენ ეგზამენატორზე, როგორც ნაჩვენებია 103 ნახაზზე.

h–არის ხრახნის ბიჯი, რომელიც შეესაბამება მის ერთ სრულ შემობრუნებას და განისაზღვრება შემდეგნაირად. ავიღოთ ხრახნი და დავაჭიროთ ქაღალდზე. იგი დატოვებს კვალს. გავზომოთ H მანძილი კიდურა კვალებს შორის და დავთვალოთ მათ შორის რამდენი ხრახნის ბიჯია – N . მაშინ

$$\mathrm{h}=\frac{\mathrm{H}}{\mathrm{N}}.$$



ნახ. 104

შესაბამისი ცენტრალური კუთხე უდრის $m\tau_{\text{ე}}''$-ს. სანამ თარაზოს საფასურს განვსაზღვრავდეთ, მანამდე უნდა განისაზღვროს $\tau_{\text{ე}}''$ ნახაზიდან

$$m\tau_{\text{ე}}=\frac{h}{\lambda}\rho''; \qquad \text{და} \qquad \tau_{\text{ე}}''=\frac{h}{\lambda\cdot m}\rho'' \tag{8.1.3}$$

სადაც λ-გაიზომება, m-დანაყოფთა რაოდენობაა ეგზამენატორის ხრახნზე; $\rho''=206000''$-რადიანია სეკუნდებში; h-ბიჯი განსაზღვრულია.

თარაზოს საფასურის τ'' განსაზღვრისას ვიქცევით ასე: ეგზამენატორის ხრახნს ვატრიალებთ მანამდე, სანამ ბუშტულა მთლიანად არ გადავა ნულ პუნქტიდან მარცხნივ, ავიღებთ ანათვლებს a_1 და b_1 თარაზოზე და m_1 ეგზამენატორზე, ვატრიალებთ ხრახნს ისე, რომ თარაზოს ბუშტულა გადავიდეს ნულპუნქტიდან მარჯვნივ მთლიანად და ავიღებთ ანათვლებს a_2 და b_2 თარაზოზე და m_2 ეგზამენატორზე.

ბუშტულას ცენტრის შესაბამისი ანათვალი პირველ შემთხვევაში იქნება

$n_1=\dfrac{a_1+b_1}{2}$; შესაბამისი ანათვალი m_1 ეგზამენატორზე;

მეორე შემთხვევაში

$n_2=\dfrac{a_2+b_2}{2}$; შესაბამისი ანათვალი m_2 ეგზამენატორზე.

დანაყოფის რაოდენობა ეგზამენატორზე $m'=m_2-m_1$;

დანაყოფის რაოდენობა თარაზოზე $n=|n_1|+|n_2|$;

დახრის კუთხე თარაზოზე $n\cdot\tau''$ უდრის დახრის კუთხეს ეგზამენატორზე $m'\tau_{\text{ე}}''$, ე.ი. $n\cdot\tau''=m'\tau_{\text{ე}}$ აქედან

$$\tau''=\frac{m'}{n}\tau''_{\text{ე}}.$$

თუ ამ მოქმედებას გავიმეორებთ რამდენიმეჯერ, გამონათვალთა საშუალო იქნება τ''-ს ზუსტი მნიშვნელობა. მიღებულ τ'' გავყოფთ შუაზე და შევიტანთ ზემოთაღნიშნულ ფორმულებში

$$\alpha = \frac{a+b}{2}\tau'' = (a+b)\frac{\tau''}{2},$$

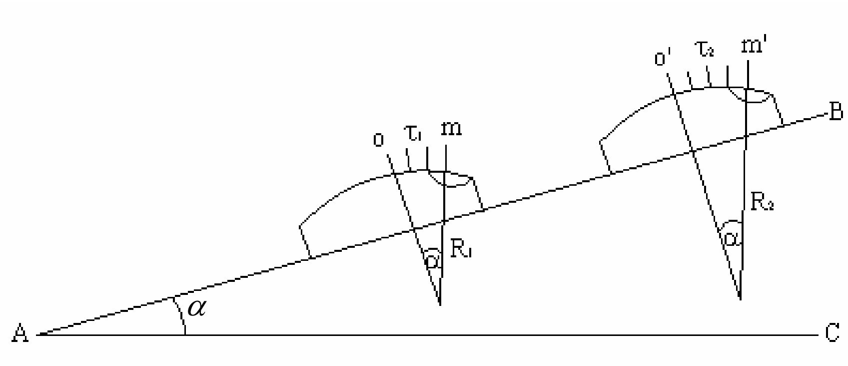
$$\alpha = \frac{2k-a-b}{2}\tau'' = (2k-a-b)\frac{\tau''}{2},$$

ამას ეწოდება თარაზოს ღერძის დახრის კუთხის განსაზღვრა ნახევარ საფასურებში.

ა) თარაზოს მგრძნობიარობა

თარაზოს მგრძნობიარობა არის მხილების უნარიანობა, რომელსაც გამოავლენს თარაზო მისი ღერძის ამა თუ იმ კუთხით დახრის შემთხვევაში.

ვთქვათ α კუთხით დახრილ AB სიბრტყეზე დევს ორი თარაზო. ერთი გადახრილია om მანძილით, მეორე კი $o'm'$-ით. ნულიდან ბუშტულის ცენტრი დახრილია α კუთხით ორივე თარაზოზე, მაგრამ რკალი ერთი და იგივე კუთხისათვის სხვადასხვაა. მეორე თარაზოს რკალი უფრო დიდია, ე.ი. ის უფრო მგრძნობიარეა.



ნახ. 105

$$om = \frac{\alpha}{\rho}R_1; \qquad o'm' = \frac{\alpha}{\rho}R_2; \quad \frac{\alpha}{\rho}\text{-კუთხური რადიანული ზომაა.}$$

თარაზოს მგრძნობიარობა პირდაპირ პროპორციულ დამოკიდებულებაშია რადიუსთან. თარაზოს მგრძნობიარობა დამოკიდებულია აგრეთვე მინის შიგა პირეულის დამუშავებაზე, სითხიანი ბუშტულის სიდიდეზე და თარაზოს საფასურზე. თარაზოს საფასური რაც უფრო მცირეა, ის მით უფრო მგრძნობიარეა, ე.ი. თარაზოს მგრძნობიარობა საფასურთან უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაშია. მაგალითად, ნახაზზე,

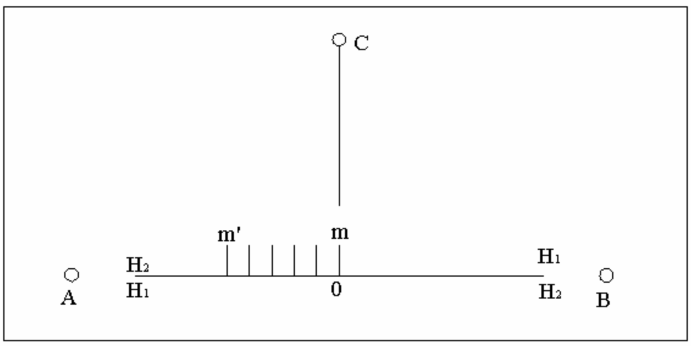
$$\tau_1 = \frac{\alpha}{3}, \quad \text{ხოლო} \qquad \tau_2 = \frac{\alpha}{4};$$

მგრძნობიარობის მიხედვით თარაზოები იყოფა 3 ჯგუფად

1. ზემგრძნობიარე $\tau = 2''-10''$-მდე;
2. მგრძნობიარე $\tau = 10''-30''$;
3. ტექნიკური $\tau = 30''-120''$.

ბ) ხაზებისა და სიბრტყეების ჰორიზონტულ მდგომარეობაში მოყვანა და თარაზოს შესწორება

თარაზო წესრიგშია მაშინ, როდესაც თარაზოს ნული აუცილებლად თარაზოს შუაშია, ე.ი. გეომეტრიული ღერძი *AB* პარალელურია *HH* თარაზოს ღერძის. ავიღოთ პლანშეტი, რომელსაც აქვს სამი ამწევი ხრახნი *A, B, C*. დავდოთ თარაზო ორი ამწევი *AB* ხრახნის გასწვრივ. პლანშეტი რომ თარაზულ მდგომარეობაში მოვიყვანოთ, ჯერ *AB* ხაზი უნდა მოვიყვანოთ თარაზულ მდგომარეობაში. *AB*-ს გასწვრივ დადებულ თარაზოზე ბუშტულის შუაში მოსაყვანად *A* და *B* ხრახნებს ვაბრუნებთ, სანამ *m* წერტილი არ დაემთხვევა ნულს. შემდეგ თარაზოს შემოვაბრუნებთ 180° და თუ თარაზო წესრიგშია, ბუშტულის *m* ცენტრი დაემთხვევა *O* ცენტრს და *AB* ხაზი იქნება თარაზულად. ხოლო, როცა თარაზო წესრიგში არ არის, ბუშტულის შუაგული იქნება *m*' წერტილში. მაშინ *mm*'-ის (გადახრის) ნახევარს შევასწორებთ თარაზოს შემასწორებელი C ხრახნით, ხოლო მეორე ნახევარს გადავაადგილებთ უკან ამწევი ხრახნებით *AB* და ა. შ.

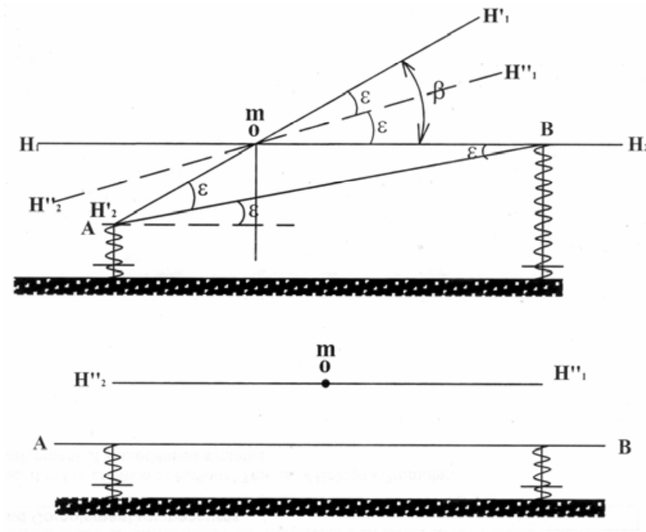


ნახ. 106

ცნობილია, რომ სიბრტყის მდებარეობას სივრცეში განსაზღვრავს მასზე მდებარე ორი ხაზი, ამიტომ მარტო *AB* ხაზის მოყვანით თარაზულ მდგომარეობაში სიბრტყის თარაზულობას ვერ მივაღწევთ. ამიტომ ვდებთ თარაზოს *AB* ხაზის

მართობულად C ხრახნის მიმართულებით და ამ ხრახნით მოგვყავს ბუშტულას m წერტილი ნულ წერტილში.

გ) თარაზოს ღერძის შესწორების გეომეტრიული ინტერპრეტაცია

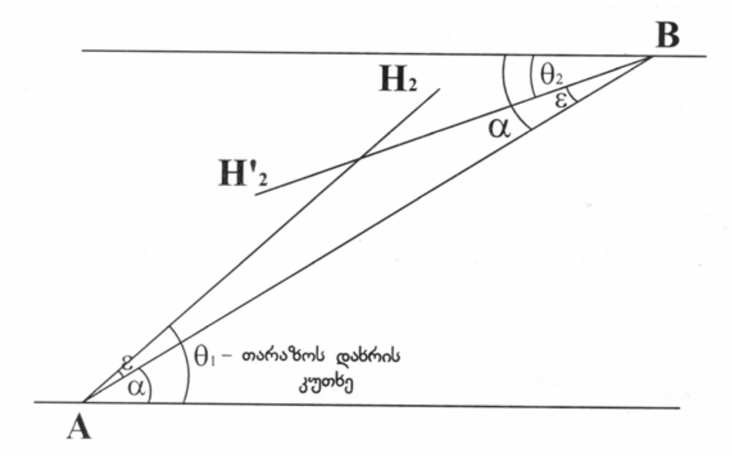


ნახ. 107

ვთქვათ AB არის თარაზოს გეომეტრიული ღერძი, რომელიც პარალელური უნდა იყოს თარაზოს H_1H_2 ღერძისა. დავუშვათ, რომ ისინი არ არიან პარალელურები და მათ შორის შეიქმნა ε კუთხე, მაშასადამე, როდესაც თარაზოს ბუშტულას m წერტილს ნულ წერტილში მოვიყვანთ, რაც იმას ნიშნავს, რომ H_1H_2 ღერძი თარაზული იქნება, მაშინ AB ღერძი დახრილი იქნება ε კუთხით. თარაზოს 180°-ით შემობრუნებისას ბუშტულა გადაიხრება, რადგან H_1H_2 ღერძი მიიღებს $H_1'H_2'$ მდებარეობას და გადაკვეთავს H_1H_2 ღერძს β კუთხით. ნახაზიდან $\beta = 2\varepsilon$; გავყოთ $<\beta$ შუაზე და გავატაროთ $H_1''H_2''$ ღერძი, რომელიც პერპენდიკულარულია AB-სი; $H_1'H_2'$ ღერძს, რომ $H_1''H_2''$-ის მდგომარეობა მივაღებინოთ, საჭიროა იგი შესწორდეს თარაზოს შემასწორებელი ხრახნით $\varepsilon = \dfrac{\beta}{2}$ კუთხით. AB გეომეტრიულ ღერძს მოვიყვანთ თარზულ მდგომარეობაში ამწევი ხრახნებით, რის შედეგადაც AB პარალელურია $H_1''H_2''$ და ორივე ღერძი თარაზულია.

დ) თარაზოს ღერძის დახრის კუთხის განსაზღვრა

ვთქვათ AB ღერძს აქვს დახრა α კუთხით. თუ AB და H_1H_2 ღერძებს შორის არ არის ε კუთხე, მაშინ პირდაპირ მივიღებთ AB ღერძის დახრის კუთხეს α-ს,



ნახ. 108

მაგრამ როგორი სიზუსტის თარაზოც არ უნდა იყოს, ε-ი მაინც იქნება (ლაპარაკია უზუსტეს თარაზოებზე), ამიტომ $\alpha = \theta_1 - \varepsilon$. შემობრუნების შემდეგ (მეორე შემთხვევაში)

$$\alpha = \theta_2 + \varepsilon$$

და მათი საშუალო

$\alpha = \dfrac{\theta_1 + \theta_2}{2}$ სადაც

$$\theta_1 = (a_1 + b_1)\frac{\tau}{2},$$

$$\theta_2 = (a_2 + b_2)\frac{\tau}{2}.$$