

ბ. ს. ზავრიძე

სსრ მენაიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრი

ნაგებობათა წინააღმდეგობა

წიგნი II

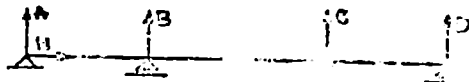
საქართველოს სსრ სახელმწიფო ტექნიკური განმარტების
„ტექნიკა და უკონსტრუქცია“

სტატიკურად ურკვევადი ბრტყელი ნაგებობანი

§ 52. ზოგადი ცნაგანი

მარტივ ნაგებობათა საყრდენი რეაქციების განსაზღვრის დროს დაეამტკიცეთ, იმ შემთხვევაში, როდესაც უცნობთა რიცხვი სამს აღემატებოდა სტატიკის განტოლებები საკუარისი არ იყო მათი განსაზღვრისათვის. შემდეგ ვნახეთ, რომ რთულ ნაგებობათა შემთხვევებში ცნობილი ხერხით მდგენელი ნაწილების შეუღლებისას ამოცანა შეიძლება გამხდარიყო სტატიკურად რკვევადი იმ შემთხვევებშიც, როდესაც საყრდენ რეაქციათა უცნობ ელემენტების რიცხვი აღემატებოდა სამს. ასე სამსახსრიან თაღისათვის, გერბერას კოქისათვის ჩვენ მივაღწიეთ სტატიკურად რკვევადობას საყრდენთა შორის შუალეღებში სახსრების მოწყობით, რომელთა რაოდენობა ზედმეტ (სამზე მეტი) ელემენტთა საყრდენი რეაქციების რიცხვს უდრის. თითოეული სახსრის ცენტრის მიმართ მლუნავე მომენტების ნულთან გატოლებით სტატიკის დამატებით განტოლებებს მივიღებთ, რომელთა რიცხვი უდრის სახსრების რიცხვს.

ასე მაგალითად: სახსროვან საყრდენებიანი თაღისათვის საყრდენი რეაქციების 4 უცნობი მდგენელი გვაქვს, ე. ი. ერთი ზედმეტი, სტატიკურ რკვევადობისათვის კი აუცლებელია ერთი სახსრის ჩართვა, რის შემდეგ სამსახსრიანი თაღი მიიღება.



ნახ. 153.

რამდენიმე (n) საყრდენზე მდებარე კოქისათვის, რომლ-დანაც ერთი უძრავია, ხოლო ($n - 1$) მოძრავი, ზედმეტი უცნობთა რიცხვი იქნება $2 + (n - 1) - 3 = n - 2$, და მალეღში სახსართა რიცხვი ($n - 2$). სამი საყრდენისათვის ($n - 2$) = 1, ოთხისათვის ($n - 2$) = 2 (გერბერის კოქი) და ა. შ.

თუ ზემოთ აღნიშნული პირობები დაკმაყოფილებული არ არის, მაშინ ნაგებობა საყრდენი რეაქციების მიმართ სტატიკურად ურკვევადია. ასე მაგალითად: ორსახსრიანი თაღი (სახსრიანი საყრდენებით) სტატიკურად ურკვევადია, რადგან უცნობთა რიცხვი უდრის 4, ხოლო სტატიკის განტოლებათა რიცხვი სამს. ერთსახსრიანი სამშალიანი კოქი სტატიკურად ურკვევადია (ნახ. 153), რადგან უცნობთა რიცხვი უდრის ხუთს (A, H, B, C, D), განტოლებათა რიცხვი კი ოთხს (გარეძალთა წონანსჯორობის 3 განტოლება

და მლუნავი მომენტის ერთი განტოლება სახსარში). მრავალ საყრდენზე მდებარე უჭრი კოჭი სტატიკურად ურკვევადია, რადგან უცნობთა რიცხვი სამზე მეტია, განტოლებათა რიცხვი კი უდრის სამს.

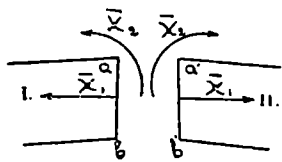
გამქოლი ფერმის ელემენტებში ძალეათა განსაზღვრა შეიძლება სტატიკის პირობების მიხედვით ლეროთა რიცხვისათვის $m=2n-3$, სადაც n კვანძების რიცხვია. როცა $m > 2n-3$ მაშინ ფერმა სტატიკურად ურკვევადია ელემენტებში ძალებების მიმართ.

§ 53. სტატიკურად ურკვევად ნაგებობაში ზედმეტი უცნობების განსაზღვრის ზოგადი მეთოდი

თუ გვაქვს სტატიკურად ურკვევადი სისტემა, მაშინ ზედმეტი უცნობების შერჩევა ჩვენი მოსაზრებების მიხედვით წარმოებს. მაგალითად, უჭრი კოჭისათვის ზედმეტ უცნობად შეგვიძლია მივიღოთ ან საყრდენი რეაქცია ან მლუნავი მომენტი ნებისმიერ კვეთში, კერძოდ, კი საყრდენში. შემდეგში ზედმეტ უცნობად მუდამ მივიღებთ ან ხისტი საყრდენის რეაქციას ან შიგაძალას. ასეთ შერჩევას ის უპირატესობა აქვს, რომ ასეთნაირად მიღებული ზედმეტი უცნობი ძალით გამოწვეული გადაადგილება მუდამ ნულის ტოლია.

ხისტი საყრდენი რეაქციის გადაადგილება ნულს რომ უდრის, ცხადია, გვრჩება განსახილველად მხოლოდ გადაადგილებათა საკითხი შიგაძალთა შესაბამისად.

ნაგებობას I და II ნაწილებად თუ გავკრით (ნახ. 154) და I ნაწილს უკუვაგდებთ, ხოლო მის მოქმედებას II ნაწილზე შევცვლით ძალებით, მაშინ ისინი ამ ნაწილის მიმართ გარეძალებს წარმოადგენენ. თუ უკუვაგდებით II ნაწილს, მაშინ მისი მოქმედება I ნაწილზე გამოიხატებოდა იგივე ძალებით, რომლებიც მიმართული იქნებოდნენ მოპირდაპირე მხარეს.



ნახ. 154.

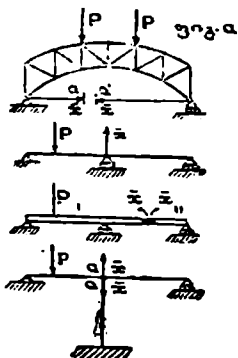
ერთდროულად თუ განვიხილავთ I და II ნაწილებს, მაშინ მათთვის ურთიერთქმედების ძალთა სისტემა წარმოადგენს შიგაძალთა სისტემას. ყველა ნაწილის ერთდროული განხილვა, რომლებათაც დაყოფილია ნაგებობა იმ შემთხვევებშიც ვრცელდება, როდესაც ნაგებობა (მაგ. ფერმა) ჩამოიკვეთება საყრდენებიდან. საყრდენის მოქმედება ფერმაზე (საყრდენი რეაქცია) წარმოადგენს ფერმის მიმართ გარეძალას. სწორედ ისევე ფერმის წნევა საყრდენზე წარმოადგენს გარეძალას საყრდენისათვის.

თუ ერთდროულად განვიხილავთ ფერმას საყრდენებით, მაშინ ასეთ განზოგადოებულ ნაგებობათვის ჩვენ გვაქვს ურთიერთქმედების ძალები, როგორც შიგაძალები. ამიტომ, თუ ფერმა ან კოჭი დრეკად საყრდენებს ეყრდნობა, მაშინ საყრდენი ძალა შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც შიგაძალა, ხოლო კოჭი ან ფერმა საყრდენებთან ერთად განზოგადოებულ ნაგებობად. ნაგებობის ნაწილებს შორის ურთიერთქმედების შიგაძალები ტოლსა და მოპირდაპირე ორ ძალას ან ორ ტოლსა და მოპირდაპირე ძალთა წყვილებს წარმოადგენს.

გენენ. მათი გადაადგილებანი (ნახ. 154) C და C' წერტილთა ფარდობით გადაადგილებას და ab და $a'b'$ კვეთების ფარდობით შობრუნებას წარმოადგენენ. \bar{X}_1 და \bar{X}_2 ძალები ისეთნაირად უნდა შევიარჩიოთ, რომ ნაწილებად დაყოფილი სხეული ისეთივე პირობებში დარჩეს, როგორც მთელი სხეული, ე. ი. C და C' წერტილები და შესაბამისად ab და $a'b'$ კვეთები მუდამ დამთხვეული იყვნენ, მაშასადამე, შიგაძალთა შესაბამისის გადაადგილებანი ნულის ტოლი უნდა იყოს.

ნათქვამი ავხსნათ რამდენიმე მაგალითით.

155-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ფერმა (ფიგ. ა) ზედმეტი ღეროთი (მკი-ზით). ვივქრათ ზედმეტი ღერო რომელიმე ადგილას. ღეროს ნაწილებს შორის ურთიერთქმედების ძალები, როგორც ელემენტისა, რომელიც განიცდის მხოლოდ ღერძული ძალის მოქმედებას დაიყვანება ორ ტოლსა და მოპირდაპირე \bar{X} ძალაზე. შესაბამისი გადაადგილებები— a და a' წერტილთა ფარდობითი გადაადგილებები (დამთხვეულია ერთმანეთთან როგორც დეფორმაციამდე, ისე დეფორმაციის შემდეგაც P და \bar{X} ძალების მოქმედებით) ნულის ტოლია. კოჭი (ფიგ. ბ) უჭრი



ნახ. 155.

ორმალიანია. თუ მივიღებთ ერთ საყრდენს ზედმეტ დამაგრებად, მაშინ ზედმეტ უცნობად გვექნება \bar{X} რეაქცია. მისი გადაადგილება შესაბამისად P და \bar{X} ძალთა მოქმედებით ნულის ტოლია. თუ რომელიმე კვეთში მოვაწყობთ სახსარს (ნახ. 155 ფიგ. ც), მაშინ ღერძული წერტილის გარდა ამ კვეთის ყველა წერტილს უნდა მოვაშოროთ ბმები. ანით მივალწვეთ I და II ნაწილების თავისთუვალ ფარდობით ბრუნვას, რომელიც მოცემულ კოქს არ ვხაზნდა. ამისათვის ჩვენ ვალდებული ვართ მოვლოთ ისეთი ძალთა წყვილი \bar{X} , რომელიც მოცემული ძალთა სისტემის და \bar{X} ძალთა მოქმედებით ერთსახსრიან სტატიკურად განხლვრულ ორმალიან კოქსში შემხები I და II ნაწილების ფარდობითი შობრუნება ნულს ეტოლებოდეს. მაშასადამე, აქაც \bar{X} ძალას მიერ შესაბამისი გადაადგილება ნულის ტოლია. თუ სახსარს საყრდენის ზემოთ მოვაწყობთ, მაშინ \bar{X} —საყრდენი მოშენტი იქნება. კოქს (ფიგ. დ) ორი ხისტი და ერთი დრეკადი საყრდენი აქვს. მივილოთ ზედმეტ უცნობად დრეკადი საყრდენის \bar{X} რეაქცია. მაგრამ მივილოთ ის, როგორც შიგაძალა, ე. ი. ურთიერთქმედების ძალად კოქსა და დგარს შორის. მაშინ დგარისა და კოქსსა შორის შემდგარ სისტემას ერთ ნაგებობად თუ განვიხილავთ, მივიღებთ, რომ \bar{X} ძალას, როგორც ორ ტოლსა და მოპირდაპირე ძალთა სისტემას, შესაბამისად გადაადგილება— a და a' წერტილთა ურთიერთ დაშორება. ეს გადაადგილება კი ნულის ტოლია.

ამნაირად, ზედმეტ უცნობთა ასეთი შერჩევისას ჩვენ მივიღებთ ძირითად განტოლებას მათი განსაზღვრისათვის:

$$\bar{z} = 0$$

სადაც δ — შესაბამისი გადაადგილებაა ზედმეტი ძალისაგან. სტატიკურად გახ-
ზღვრულ სისტემაზე მოცემული ძალისა და \bar{X} ძალის ერთდროული მოქმედებით,
რომელიც მიიღება ზედმეტი დამაგრებების მოშორებით.

გამოვიყვანოთ δ -ს ზოგადი გამოსახულება.

დაუშვათ, რომ მოცემულია გარეძალთა სისტემა და შერჩეული ზედმეტი
 $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$. . . უცნობები. შესაბამისი გადაადგილებანი ზედმეტი ძალებისა-
გან $\delta_1, \delta_2, \delta_3$. . . აღვნიშნოთ. აღნიშნულ გადაადგილებათა განსაზღვრას შეე-
ძლებოდა ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის კანონის გამოყენებით. \bar{X}_1 ძალის
შესაბამისი გადაადგილება აღვნიშნოთ δ_{m1} (გამოწვეული მხოლოდ ერთი გარე-
ძალით), ასეთივე გადაადგილება $\bar{X}_1=1$ ძალის მოქმედებით δ_{11} , ხოლო \bar{X}_2, \bar{X}_3
და ა. შ. ძალების მოქმედებით δ_{21}, δ_{31} . . . მაშინ მოცემულ ძალთა და $\bar{X}_1,$
 \bar{X}_2, \bar{X}_3 . . . ძალების ერთდროული მოქმედებით გამოწვეული გადაადგილება
იქნება:

$$\delta_1 = \delta_{m1} + \bar{X}_1 \delta_{11} + \bar{X}_2 \delta_{21} + \bar{X}_3 \delta_{31} . \quad (16)$$

სწორედ ასევე δ_2 -სათვის მივიღებთ:

$$\delta_2 = \delta_{m2} + \bar{X}_1 \delta_{12} + \bar{X}_2 \delta_{22} + \bar{X}_3 \delta_{32} . \quad (17)$$

სადაც $\delta_{m3}, \delta_{13}, \delta_{23}, \delta_{33}$. . . წარმოდგენენ \bar{X}_3 ძალის შესაბამის გადაადგი-
ლებებს ერთ-ერთ გარეძალთა სისტემის მოქმედებისაგან, $\bar{X}_1=1$ ძალისაგან,
 $\bar{X}_2=1$ ძალისაგან და ა. შ. ანალოგიურ გამოსახულებებს მივიღებთ δ_3, δ_4 და
ა. შ. სიდიდეებისათვის.

$\delta=0$ -თან ტოლობის მხედველობაში მიღებით, ზედმეტ უცნობთა განსაზ-
ღვრისათვის შემდეგი ზოგად განტოლებათა სისტემა გვექნება:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{m1} + \bar{X}_1 \delta_{11} + \bar{X}_2 \delta_{21} + \bar{X}_3 \delta_{31} + \dots &= 0 \\ \delta_{m2} + \bar{X}_1 \delta_{12} + \bar{X}_2 \delta_{22} + \bar{X}_3 \delta_{32} + \dots &= 0 \\ \delta_{m3} + \bar{X}_1 \delta_{13} + \bar{X}_2 \delta_{23} + \bar{X}_3 \delta_{33} + \dots &= 0 \end{aligned} \right\} . \quad (18)$$

§ 54. სტატიკურად შრამბადი ურთიერთობები

სტატიკურად ურთიერთ ურთიერთობებში ზედმეტ უცნობებს განვსაზღვრავთ
მე-(18) ზოგადი განტოლებით. უპირველეს ყოვლისა აღვნიშნოთ, რომ ფერძის
წერტილების δ გადაადგილებებისათვის შემდეგი ზოგადი გამოსახულება გვაქვს:

$$\delta_{m1} = \sum \frac{S_m S_1 l}{EF} , \quad (2)$$

სადაც S_m — ტვირთის მოქმედებით გამოწვეული ძალებია ღეროებში, ხოლო
 S_1 მოქმედი ერთის ტოლი ძალით გამოწვეული ძალები, რომლებიც შეესა-
ბანებიან საძიებელ გადაადგილებებს. კერძოდ, თუ განვსაზღვრავთ \bar{X}_1 ძალის
შესაბამის გადაადგილებას, მაშინ S_1 -ით გამოიხატება ღეროებში ძალები, $\bar{X}_1=1$
ძალის მოქმედებისაგან.

როდესაც ვსაზღვრავთ $X_1=1$ ძალით გამოწვეულ შესაბამის გადაადგილებას, $\bar{X}_1=1$ ძალის მოქმედებით, მაშინ მე-(2) ფორმულაში S_m ნაცვლად უნდა ჩავსვათ S_1 . მაშინ

$$\delta_{11} = \sum \frac{S_1^2 l}{EF}$$

სწორედ ასევე ვლებულობთ $\bar{X}_1=1$ ძალის შესაბამის δ_{21} გადაადგილებას $X_2=1$ ძალის მოქმედებისაგან

$$\delta_{21} = \sum \frac{S_2 S_1 l}{EF}$$

სადაც S_2 არის $\bar{X}_2=1$ ძალის მოქმედებით ღეროში მიღებული ძალვა. ამნაირად, δ_{ij} -სათვის მივიღებთ ზოგად გამოსახულებას:

$$\delta_{ij} = \sum \frac{S_i S_j l}{EF} \quad (19)$$

შენიშნოთ, რომ შეჯამებისას გაითვალისწინება აგრეთვე მონაცემები ზედმეტ ღეროსათვის, რომელშიც ძალვა უდრის \bar{X} -ს. ამიტომ $\bar{X}=1$ ძალის მოქმედებით შესაბამის ღეროში ძალვა უდრის 1-ს. თუ \bar{X} -ს გაუტოლებთ ნულს და განვიხილავთ მოცემულ ძალთა, ან სხვა ღეროების კვთებში მოდებული ძალთა მოქმედებას, მაშინ განსახილველ ღეროში ძალვა ნულის ტოლი იქნება.

I შემთხვევა. ფერმა ერთი ზედმეტი უცნობით.

ზედმეტი უცნობი \bar{X} -ით აღვნიშნოთ. მე-(18) ფორმულის მიხედვით გვაქვს:

$$\delta_{m1} + \bar{X} \delta_{11} = 0,$$

საიდანაც

$$\bar{X} = -\frac{\delta_{m1}}{\delta_{11}} = -\frac{\sum \frac{S_m S_1 l}{EF}}{\sum \frac{S_1^2 l}{EF}}, \quad (20)$$

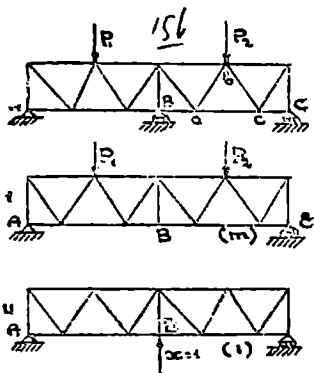
სადაც S_m არის ძირითად სტატიკურად განზღვრულ ფერმაზე მოცემულ ძალთა მოქმედებით გამოწვეული ძალები ღეროებში, S_1 —ძალებია $\bar{X}=1$ ძალის მოქმედებით. თუ ყველა ღერო დამზადებულია ერთი და იგივე მასალისაგან მაშინ E მუდმივია და

$$\bar{X} = -\frac{\sum \frac{S_m S_1 l}{F}}{\sum \frac{S_1^2 l}{F}} \quad (21)$$

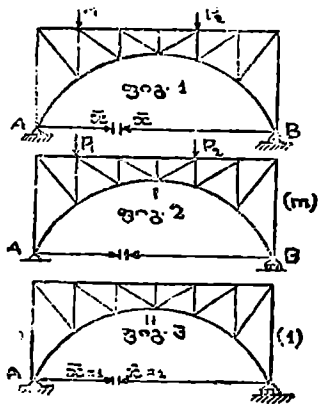
როდესაც ზედმეტი უცნობი ასეთნაირად არის განზღვრული, მაშინ სტატიკურად ურკვევად ფერმის ღეროებში ძალები ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის კანონის საფუძველზე განიზღვრებიან ფორმულით:

$$S = S_m + S_1 \bar{X} \quad (22)$$

მაგალითი № 1. მოცემულია P_1 და P_2 ძალებით დატვირთული, ხისტ საყრდენებზე მდებარე, ორმალიანი, უკრი კოჭოვანი ფერმა (ნახ. 156). ზედმეტ \bar{X} უცნობად მივიღოთ შუა საყრდენი რეაქცია. მაშინ (21)-ე და (22)-ე

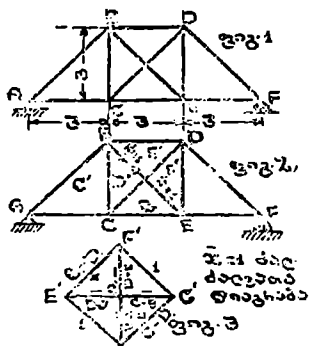


ნახ. 156.



ნახ. 157.

ფორმულებში S_m -ად მიიღება შუა საყრდენის მოშორების შემდეგ მიღებულ სტატიკურად რკვევად ფერმაში მოცემული P_1 და P_2 ძალებისაგან გამოწვეული ძალები, ხოლო S_1 -ად იმავე ფერმაში $\bar{X}_1 = 1$ ძალისაგან მიღებული ძალა.



ნახ. 158.

მაგალითი № 2. მოცემულია ორსახსრიანი თაღოვანი ფერმა. ზედმეტ \bar{X} უცნობად მივიღოთ განბრჯენი. სათანადო დამაგრების მოშორებით (რომელიც აფერხებს ერთ-ერთი საყრდენის პორიზონტალურ გადაადგილებას) მივიღებთ სტატიკურად რკვევად ფერმას, რომლის ღეროებში განვსაზღვრავთ მოცემულ ძალების მოქმედებით (S_m) ძალებს და $\bar{X}_1 = 1$ ძალის მოქმედებით (S_1) ძალვას.

S_m და S_1 მნიშვნელობებს ჩავსვამთ (21)-ე და (22)-ე ტოლობებში.

მაგალითი № 3. მოცემულია ორსახსრიანი თაღოვანი ფერმა მკვირთ (ნახ. 157). ფერმა სტატიკურად რკვევადია საყრდენების

მიმართ, მაგრამ სტატიკურად ურკვევადია ღეროების მიხედვით. ზედმეტ ღეროთ მივიღოთ მკვირი. გავეკრათ ის რომელიმე ადგილას და მის ნაწილებს შორის მოვდლოთ ურთიერთმოქმედი \bar{X} ძალები. მივიღებთ სტატიკურად რკვევად ფერმას. გამოვითვალათ ღეროებში P ძალებით წარმოქმნილი S_m ძალ-

ებები. რადგან ამ შემთხვევაში ზედმეტი ღეროს კვეთში არავითარი ძალები არ არის მოღებული, ამიტომ მასში ძალები ნულის ტოლი იქნებიან. შემდეგ განვსაზღვრავთ $\bar{X}=1$ ძალის მოქმედებით წარმოქმნილ S_1 ძალვას. ამ შემთხვევაში ზედმეტი ღეროს ორივე ნაწილი გაკიმული იქნება ფერმის A და B კვანძებზე მოქმედი $\bar{X}=1$ ძალებით, რომლებიც გამოიწვევენ შესაბამის ძალებს დანარჩენ ღეროებში. მიღებულ S_m და S_1 მნიშვნელობებს ჩავსვამთ (21)-ე და (22)-ე ფორმულებში.

რიცხვითი მაგალითი. განისაზღვროს ძალები 158-ე ნახ. წარმოდგენილ ფერმაში. ფერმა სტატიკურად ურკვევადია. ზედმეტ ღეროთ BE ღერო მივიღოთ. გავკრათ ის და სათანადოდ გაკრილ ნაწილებზე მოვღოთ \bar{X} ძალები. ნახაზზე აგებულია სტატიკურად რკვევადი ფერმის ღეროებში $\bar{X}=1$ ძალისაგან წარმოქმნილი ძალებათა დიაგრამა, მასთან ზედმეტ ღეროში ძალვა $+1$ იქნება. P ძალის მოქმედებით კრემონას დიაგრამის აგება მოყვანილია 143-ე ნახაზის მე-3 ფიგურაზე. ამ შემთხვევისათვის ზედმეტ ღეროში ძალვა უდრის ნულს.

ყველა მოქმედება მოყვანილია ცხრილში.

ელემენტების დასახელება	ნომენტის სიგრძე l	კუთხის ფართობი F სმ ²	ძალვა P ძალისაგან S_m კგ.	ძალვა $\bar{X}=1$ ძალისგან S_1 კგ.	$\frac{S_m \cdot S_1 \cdot l}{F}$	$\frac{S_1^2 \cdot l}{F}$	ძალები სტატიკურად ურკვევად ფერმაში $S=S_m+S_1\bar{X}$
$A-C$	300	15	+ 10 000	0	0	0	+ 10 000
$C-E$	300	30	+ 20 000	- 0,7	- 140 000	+ 5,0	+ 12 160
$E-F$	300	90	+ 20 000	0	0	0	+ 20 000
$A-B$	420	40	- 14 000	0	0	0	- 14 000
$B-D$	300	30	- 10 000	- 0,7	+ 70 000	+ 5,0	- 17 840
$D-F$	420	90	- 28 000	0	0	0	- 28 800
$B-C$	300	15	+ 10 000	- 0,7	- 140 000	+ 10,0	- 2 160
$D-E$	300	45	+ 30 000	- 0,7	- 140 000	+ 3,3	+ 22 160
$C-D$	420	42	- 14 000	+ 1	- 140 000	+ 10,0	- 2 800
$B-E$	420	40	0	+ 1	0	+ 10,5	+ 11 200
					- 490 000	+ 43,8	

$$\bar{X} = \frac{-490\,000}{+43,8} = +11\,200 \text{ კგ.}$$

მე-2 შემთხვევა. ფერმა ორი ზედმეტი უცნობით.

აღვნიშნოთ ზედმეტი უცნობები \bar{X}_1 და \bar{X}_2 -ით. მაშინ მე-(18) ფორმულის თანახმად მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{m_1} + \bar{X}_1 \delta_{11} + \bar{X}_2 \delta_{21} &= 0 \\ \delta_{m_2} + \bar{X}_1 \delta_{12} + \bar{X}_2 \delta_{22} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

მ-ს მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \sum \frac{S_m S_1 l}{EF} + \bar{X}_1 \sum \frac{S_1^2 l}{EF} + \bar{X}_2 \sum \frac{S_2 S_1 l}{EF} &= 0 \\ \sum \frac{S_m S_2 l}{EF} + \bar{X}_1 \sum \frac{S_2 S_1 l}{EF} + \bar{X}_2 \sum \frac{S_2^2 l}{EF} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

აქ S_m არის ძალები მოცემულ გარეძალებისაგან

S_1 " " $\bar{X}_1 = 1$ ძალისაგან

S_2 " " $\bar{X}_2 = 1$ ძალისაგან

\bar{X}_1 და \bar{X}_2 მიმართ განტოლებების ამოხსნით მივიღებთ მათ მნიშვნელობებს. რის შემდეგაც დეროებში ძალები განისაზღვრებიან ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის კანონის საფუძველზე:

$$S = S_m + \bar{X}_1 S_1 + \bar{X}_2 S_2 \quad (25)$$

მე-3 შემთხვევა. ფერმა მრავალი ზედმეტი უცნობებით. წინა შემთხვევების ანალოგიურად მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{m_1} + \bar{X}_1 \delta_{11} + \bar{X}_2 \delta_{21} + \bar{X}_3 \delta_{31} + \dots &= 0 \\ \delta_{m_2} + \bar{X}_1 \delta_{12} + \bar{X}_2 \delta_{22} + \bar{X}_3 \delta_{32} + \dots &= 0 \\ \delta_{m_3} + \bar{X}_1 \delta_{13} + \bar{X}_2 \delta_{23} + \bar{X}_3 \delta_{33} + \dots &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

ან ჩასმის შემდეგ:

$$\left. \begin{aligned} \sum \frac{S_m S_1 l}{EF} + \bar{X}_1 \sum \frac{S_1^2 l}{EF} + \bar{X}_2 \sum \frac{S_2 S_1 l}{EF} + \bar{X}_3 \sum \frac{S_3 S_1 l}{EF} + \dots &= 0 \\ \sum \frac{S_m S_2 l}{EF} + \bar{X}_1 \sum \frac{S_1 S_2 l}{EF} + \bar{X}_2 \sum \frac{S_2^2 l}{EF} + \bar{X}_3 \sum \frac{S_3 S_2 l}{EF} + \dots &= 0 \\ \sum \frac{S_m S_3 l}{EF} + \bar{X}_1 \sum \frac{S_1 S_3 l}{EF} + \bar{X}_2 \sum \frac{S_2 S_3 l}{EF} + \bar{X}_3 \sum \frac{S_3^2 l}{EF} + \dots &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

$\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \dots$ მნიშვნელობათა განსაზღვრის შემდეგ S ძალებს გამოვითვლით შემდეგი ფორმულით:

$$S = S_m + S_1 \bar{X}_1 + S_2 \bar{X}_2 + S_3 \bar{X}_3 + \dots \quad (28)$$

მაგალითი. მოცემულია 159-ე ნახაზზე წარმოდგენილი სტატიკურად ურკვევადი ფერმა. ზედმეტ დეროებად შეგვიძლია მივიღოთ 22, 23, 24 ირიბნები. ვაჭრათ ისინი რომელიმე ადგილებში და აღვნიშნოთ ძალები შესა-

ბამისად X_1 , X_2 და X_3 . მაშინ ძალვა S_m განიზღვრება (m) სქეიდან (ფიგ. მე-2), რომელზეც გაკრილი ღეროები არ არის ნაჩვენები, როგორც არა მომუშავენი. ძალები S_1 , S_2 და S_3 განიზღვრებიან შესაბამისად (1)-ლი მე-(2) და მე-(3) სქემების მიხედვით (ფიგ. 3. 4 და 5), რომლებზეც აქვს არ არის ნაჩვენები ის გაკრილი ღეროები, რომლებიც არ მუშაობენ და რომლებშიც X შივადალები უდრის ნულს. ყველა მოქმედება მოცემულია ცხრილში (იხ. გვ. 12).

ზედმეტი უცნობების განსაზღვრისათვის შემდეგი განტოლებები გვექნება:

$$1120000 + 87,85\bar{X}_1 + 12,25\bar{X}_2 + 0 \cdot \bar{X}_3 = 0$$

$$-770000 + 12,25\bar{X}_1 + 90,8\bar{X}_2 + 12,25\bar{X}_3 = 0$$

$$728000 + 0 \cdot \bar{X}_1 + 12,25\bar{X}_2 + 87,85\bar{X}_3 = 0.$$

განტოლებათა სისტემის ამოხსნის შემდეგ მივიღებთ:

$$\bar{X}_1 = -14400 \text{ კგ.}$$

$$\bar{X}_2 = +11750 \text{ კგ.}$$

$$\bar{X}_3 = -9930 \text{ კგ.}$$

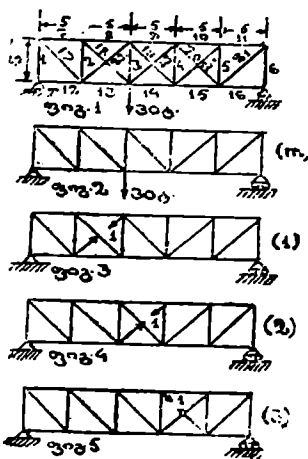
ამ შედეგების მიხედვით შევაესებთ ცხრილის უკანასკნელ სვეტს.

§ 55. სტატიკურად ურკვევად ფარგინათვის გავლენის ხაზის აპება

სტატიკურად ურკვევად სისტემებში ტვირთის მდებარეობასა და ამა თუ იმ ფუნქციათა შორის დამოკიდებულება (საყრდენი რეაქცია, ძალები ღეროებში და სხვ.) რთული სახით გამოიხატება. ასეთ შემთხვევებში, ჩვეულებრივად, შემდეგნაირად იქცევიან: ერთეულის ტოლ ტვირთს დააყენებენ რომელიმე განზღვრულ წერტილში და ტვირთის შესაბამის მდებარეობისათვის განსაზღვრავენ საძიებელ ფუნქციათა კერძო მნიშვნელობებს, რომლებიც თავის მხრივ წარმოადგენენ გავლენის ხაზის ორდინატებს. ამ მონაცემების მიხედვით მიღებულ წერტილებს შეაერთებენ შესაბამისი ხაზებით.

ფერმებზე გარეძალები მოდებული უნდა იყვნენ კვანძებზე. აქ ადგილი ექნება დატვირთვის კვანძურად გადაცემას. და გავლენის ხაზი წარმოადგენს მრავალკუთხედს, წვეროებით კვანძების ქვემოთ. ამიტომ ფუნქციათა კერძო მნიშვნელობებს განსაზღვრავენ ერთეული ტვირთის ყველა კვანძზე მდებარეობის შემთხვევისათვის. გავლენის ხაზის მიღებულ წერტილებს შეაერთებენ სწორი მონაკვეთებით.

ცნობილია, რომ სტატიკურად ურკვევად სისტემებში ყოველი ფუნქცია ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის ზოგადი კანონის თანახმად, გამოყენე-



ნახ. 150.

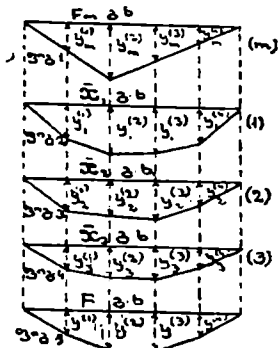
სტატისტიკურად შეკმეველი ფორმის ანგარიშის ცხრილი (ნახ. 159-სატომის)

l	F	S _m	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	$\frac{S_m S_1}{F}$	$\frac{S_m S_2}{F}$	$\frac{S_m S_3}{F}$	$\frac{S_1 S_2}{F}$	$\frac{S_1 S_3}{F}$	$\frac{S_2 S_3}{F}$	$\frac{S_1 S_2 S_3}{F^2}$	$\frac{S_1 S_3 S_4}{F^2}$	$\frac{S_2 S_3 S_4}{F^2}$	$\frac{S_1 S_2 S_3 S_4}{F^3}$	S = S _m + S ₁ S ₂ + S ₂ S ₃ + S ₃ S ₄
1	500	25	-	18000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 18000
2	500	25	-	18000	-0,7	0	+ 252000	0	0	+ 9,9	0	0	0	0	0	0	- 7900
3	500	20	-	12000	-0,7	-0,7	- 210000	- 210000	0	+ 12,25	+ 12,25	0	+ 12,25	0	0	0	+ 19500
4	500	20	0	0	-0,7	-0,7	0	0	0	0	+ 12,25	+ 12,25	+ 12,25	+ 12,25	0	0	- 1300
5	500	25	-	12000	0	0	0	0	+ 168000	0	0	0	0	0	0	0	- 6750
6	500	25	-	12000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 12000
7	500	25	-	15000	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 18000
8	500	50	-	96000	-0,7	0	+ 252000	0	0	+ 4,9	0	0	0	0	0	0	- 21900
9	500	50	-	24000	0	-0,7	0	- 168000	0	0	+ 4,9	0	0	0	0	0	- 32200
10	500	50	-	24000	0	0	0	+ 168000	0	0	0	+ 4,9	0	0	0	0	- 17050
11	500	25	-	12000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 12000
12	500	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	500	50	+ 18000	-0,7	0	0	+ 126000	0	0	+ 4,9	0	0	0	0	0	0	+ 29100
14	500	50	+ 96000	0	-0,7	0	0	- 252000	0	0	+ 4,9	0	0	0	0	0	+ 27800
15	500	50	+ 12000	0	0	-0,7	0	- 84000	0	0	0	+ 4,9	0	0	0	0	- 19000
16	500	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	700	25	+ 25000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+ 25000
18	700	25	+ 25000	+ 1	0	0	+ 700000	0	0	+ 28	0	0	0	0	0	0	+ 10800
19	700	25	- 17000	0	+ 1	0	0	- 476000	0	0	0	0	0	0	0	0	- 5250
20	700	25	+ 17000	0	0	+ 1	0	0	- 476100	0	0	+ 28	0	0	0	0	+ 7100
21	700	25	+ 17000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+ 17000
22	700	25	0	+ 1	0	0	0	0	0	+ 28	0	0	0	0	0	0	- 14400
23	700	25	0	0	+ 1	0	0	0	0	0	+ 28	0	0	0	0	0	+ 11750
24	700	25	0	0	0	+ 1	0	0	0	0	0	+ 28	0	0	0	0	- 9990

ბული იმ სტატიკურად რკვევად ფერმისათვის. რომელიც მიიღება ზედმეტ დამაგრებათა მოცილებით, შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით:

$$F = F_m + F_1 \bar{X}_1 + F_2 \bar{X}_2 + \dots \quad (129)$$

სადაც F_m ფუნქციის მნიშვნელობაა, სტატიკურად რკვევად ფერმაზე ერთ-ერთი გარემოს მოქმედების დროს. F_1, F_2, F_3, \dots შესაბამისი შედეგებია $\bar{X}_1 = 1, \bar{X}_2 = 1, \dots$ ძალების ცალ-ცალკე მოქმედებების შემთხვევაში. ამიტომ, თუ წინასწარ აგებულია გავლენის ხაზები ზედმეტი უცნობებისათვის, მაშინ ასეთი ხაზების აგება ნებისმიერ ფუნქციებისათვის არავითარ სიძნელეს არ წარმოადგენს. ამისათვის ჩვენ წინასწარ ავაგებთ სტატიკურად რკვევადი ფერმის გავლენის ხაზებს F_m -სათვის და შემდეგ განესაზღვრავთ F_1, F_2 და ა. შ. მნიშვნელობებს. მაშინ სტატიკურად ურკვევადი ფერმის გავლენის ხაზის F ორდინატებს მივიღებთ: 160 ე ნახაზიდან (ფიგ. მე-5)



ნახ. 160.

$$\begin{aligned} y^{(1)} &= y_m^{(1)} + F_1 y_1^{(1)} + F_2 y_2^{(1)} + F_3 y_3^{(1)}, \\ y^{(2)} &= y_m^{(2)} + F_1 y_1^{(2)} + F_2 y_2^{(2)} + F_3 y_3^{(2)}, \\ y^{(3)} &= y_m^{(3)} + F_1 y_1^{(3)} + F_2 y_2^{(3)} + F_3 y_3^{(3)}, \\ y^{(4)} &= y_m^{(4)} + F_1 y_1^{(4)} + F_2 y_2^{(4)} + F_3 y_3^{(4)}. \end{aligned}$$

მაგალითად, თუ ჩვენ გვსურს, რომ ავაგოთ 159-ე ნახაზზე წარმოდგენილი ფერმის № 8 ღეროსათვის ძალების გავლენის ხაზი, მაშინ $F_1 = -0,7, F_2 = 0, F_3 = 0$ (იხ. ცხრილის S_1, S_2, S_3 სვეტები). რაც შეეხება \bar{X} -ის გავლენის ხაზის აგებას, სტატიკურად ურკვევად ფერმაზე ერთეული ტვირთის ერთი კვანძიდან მეორესაკენ გადაადგილებისას შეიცვლება მხოლოდ ის სვეტები, რომლებიც შეიცავენ, S_m სიდიდეს. დანარჩენი მონაცემები ყველა სვეტისათვის რჩება უცვლელად.

მაგალითი. აიგოს 161-ე ნახ. წარმოდგენილი სტატიკურად ურკვევადი ფერმის ღეროების ძალებისათვის გავლენის ხაზები. ზედმეტ უცნობად მივიღოთ CI ღერო და დაეიწყოთ ძალების გავლენის ხაზის აგება ამ ღეროსათვის. ყველა მოქმედება მოყვანილია ცხრილში. ამ ცხრილში $S_m^{(1)}, S_m^{(2)}, S_m^{(3)}, S_m^{(4)}$ სიდიდეები წარმოადგენენ მოცემულ ღეროში ძალვათა მნიშვნელობებს ერთეული ტვირთის შესაბამის B, C, D, E კვანძებში მოთავსებისას სტატიკურად რკვევად ფერმისათვის, რომელიც მიღებულია ზედმეტი CI ღეროს უქურადებით. სხვანაირად, რომ ვთქვათ ეს სიდიდეები წარმოადგენენ სტატიკურად რკვევადი ფერმის მოცემულ ღეროში ძალების გავლენის ხაზის ორდინატებს. მაგალითად, ასეთი ფერმის CD ღეროსათვის გავლენის ხაზი წარმოდგენილია 161-ე ნახაზის მე-3 ფიგურაზე და ცხრილში შეტანილია ორდინატების შესაბამისი მნიშვნელობანი:

$$S_m^{(1)} = +0,6, \quad S_m^{(2)} = +1,2, \quad S_m^{(3)} = +0,8, \quad S_m^{(4)} = +0,4.$$

$$S^{(1)} = \dots 0,28 + 0,14 \times 1 = - 0,14;$$

$$S^{(2)} = \dots 0,56 + 0,28 \times 1 = - 0,28$$

$$S^{(3)} = + 0,56 - 0,28 \times 1 = + 0,28$$

$$S^{(4)} = + 0,28 - 0,14 \times 1 = + 0,14.$$

CD და HD ღეროებისათვის გავლენის ხაზები წარმოდგენილია 161-ე ნახაზის მე-4 და მე-5 ფიგურებზე.

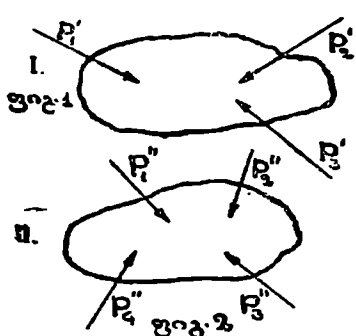
იმ ღეროებს, რომლებსაც ცხრილში მოყვანილ სიდიდეებს შეესაბამება $S_i = 0$ მნიშვნელობა: მათთვის (29'-) ე ფორმულის მიხედვით მივიღებთ

$$S = S_m$$

ე. ი. სტატიკურად ურკვევადი ფერმის გავლენის ხაზები ისეთივეა, როგორც სტატიკურად რკვევადისა (ზედმეტი ღეროს გავლენა უკუგდებულა).

§ 56. ხტატიკურად ურკვევადი ხსტმის გავლენის ხაზის ამგზისათვის ურთი- მრტბაღაღვიღბბბბბ პრინციპის გავრკვებბბ

მასალათა გამძღობის სახელმძღვანელოებში მოყვანილია ურთიერთ გადაადგილებათა თეორემის ზოგადი დამტკიცება. აქ ვაჩვენოთ, რომ კოქისა



ნახ. 162

და ფერმისათვის ეს თეორემა წარმოადგენს მორის თეორემის საფუძველზე მიღებულ გამოსახულებათა უშუალო შედეგს. მართლაც, ვთქვათ, დრეკად სხეულზე (ნახ. 162-ე) ცალ-ცალკე მოქმედებს ორი ძალთა სისტემა (I და II). ურთიერთ გადაადგილების პრინციპი იმაში მდგომარეობს, რომ I გარეძალთა სისტემის მუშაობა გადაადგილებაზე წარმოქმნილი II ძალთა სისტემის მოქმედებით უდრის II გარეძალთა სისტემის მუშაობას გადაადგილებაზე წარმოქმნილი I ძალთა სისტემის მოქმედებით. თუ მოცემულია ფერმა, მაშინ I ძალთა სისტემით გამოწვეული მუშაობა გადა-

ადგილებაზე II ძალთა სისტემის მოქმედებით, მორის თეორემის საფუძველზე გამოისახება შემდეგნაირად:

$$\sum P_I \pi_{II} = \sum \frac{S_I S_{II} l}{EF} \tag{30}$$

სადაც S_I არის ფერმის ღეროებში I ძალთა სისტემის მოქმედებით წარმოშობილი ძალები, ხოლო S_{II} — II ძალთა სისტემის მოქმედებით, სწორედ

სტატისტიკურად უზრუნველყოფილი ფაქტის განმარტების ცხრილი (161 ნახაზისათვის)

ღირებუ- ბის დასა- ხელება	<i>i</i>	<i>F</i>	<i>S_i</i>	$\frac{S_m^{(1)}}{S_m}$	$\frac{S_m^{(2)}}{S_m}$	$\frac{S_m^{(3)}}{S_m}$	$\frac{S_m^{(4)}}{S_m}$	$\frac{S_m^{(1)}}{F}$	$\frac{S_m^{(2)}}{F}$	$\frac{S_m^{(3)}}{F}$	$\frac{S_m^{(4)}}{F}$	$\frac{S_i^{(1)}}{F}$
AB	500	0	0	+0,6	+0,4	+0,2	+0,2	0	0	0	0	0
BC	500	0	0	+0,6	+0,4	+0,2	+0,2	0	0	0	0	0
CD	500	-0,7	+0,6	+1,2	+0,8	+0,4	+0,4	-4,2	-8,4	-5,6	-2,8	+5
DE	500	0	+0,2	+0,4	+0,6	+0,8	+0,8	0	0	0	0	0
EF	500	0	+0,2	+0,4	+0,6	+0,8	+0,8	0	0	0	0	0
GH	500	0	-0,6	-1,2	-0,8	-0,4	-0,4	+2,8	+5,6	+8,4	+4,2	+5
HJ	500	-0,7	-0,4	-0,8	-1,2	-0,6	-0,6	0	0	0	0	0
JK	500	0	-0,4	-0,8	-1,2	-0,6	-0,6	0	0	0	0	0
AG	700	0	-1,12	-0,84	-0,56	-0,28	-0,28	0	0	0	0	0
GC	700	0	-0,28	+0,84	+0,56	+0,28	+0,28	0	0	0	0	0
HD	700	+1	-0,23	-0,56	+0,56	+0,28	+0,28	-5,6	-11,2	+11,2	+5,6	+20
DK	700	0	+0,28	+0,56	+0,84	+0,28	+0,28	0	0	0	0	0
KF	700	0	-0,28	-0,56	-0,84	-1,12	-1,12	0	0	0	0	0
GB	500	0	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HC	500	-0,7	+0,2	-0,4	-0,4	-0,2	-0,2	-2,8	-5,6	+5,6	+2,8	+10
JD	500	-0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+10
AE	500	0	0	0	0	+1	+1	0	0	0	0	0
CJ	700	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+20
								-9,8	-18,6	+18,6	+9,8	+70

ცხრილის მონაცემების მიხედვით ეპოვით \bar{X} ძალვის მნიშვნელობებს ზედმეტ CI ლეროში:

$$\bar{X}^{(1)} = -\frac{9,8}{+70} = +0,14;$$

$$\bar{X}^{(2)} = -\frac{-19,6}{+70} = +0,28;$$

$$\bar{X}^{(3)} = -\frac{+19,6}{+70} = -0,28;$$

$$\bar{X}^{(4)} = -\frac{+9,8}{+70} = -0,14.$$

კვანძების ქვემოთ ორდინატების მოზომვით, რომლებიც \bar{X} შესაბამის მნიშვნელობებს ეტოლებიან. მივიღებთ გავლენის ტეხილ ხაზს ზედმეტი ლეროს \bar{X} ძალვისათვის (ნახ. 161 ფიგ. მე-2).

აეაგოთ CD და HD ლეროების ძალეებისათვის გავლენის ხაზები. CD ლეროსათვის 161-ე ნახ. მე-3 ფიგურაზე წარმოდგენილია გავლენის ხაზი სტატიკურად რკვევადი ფერმის ელემენტისათვის, რომელიც მიიღება ზედმეტი ლეროს მოცილებით. მისი ორდინატები S_m -ით აღვნიშნოთ (ისინი აღებულია ცხრილიდან \bar{X} -ის განსაზღვრისათვის).

მაშინ ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის კანონის ჩანახმად სტატიკურად ურკვევადი ფერმის S ძალვისათვის გვექნება შემდეგი გამოსახულება:

$$S = S_m + S_1 \bar{X}, \quad (29')$$

სადაც CD ლეროსთვის, ცხრილის მიხედვით

$$S_1 = -0,7.$$

CD ლეროს ძალვისათვის გავლენის ხაზის შემდეგ ორდინატებს მივიღებთ:

$$S^{(1)} = 0,6 - 0,7 \times 0,14 = 0,5$$

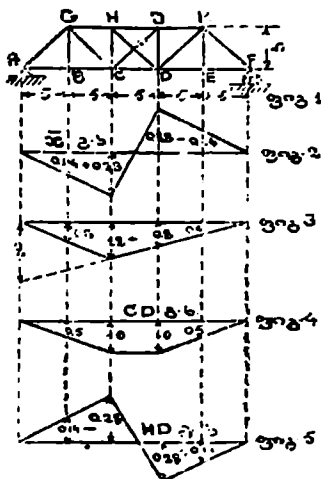
$$S^{(2)} = 1,2 - 0,7 \times 0,28 = 1,0$$

$$S^{(3)} = 0,8 + 0,7 \times 0,28 = 1,0$$

$$S^{(4)} = 0,4 + 0,7 \times 0,14 = 0,5.$$

სწორედ ასევე, ცხრილიდან, HD ლეროსათვის მივიღებთ: $S_m^{(1)} = -0,26$.

$$S_m^{(2)} = -0,56, \quad S_m^{(3)} = +0,56, \quad S_m^{(4)} = +0,28, \quad S_1 = +1,$$



ნახ. 161.

ასევე II ძალთა სისტემის მუშაობა I ძალთა სისტემის მოქმედებით გამოწვეულ გადაადგილებაზე გამოისახება შემდეგნაირად:

$$\sum P_{II} \pi_I = \sum \frac{S_{II} S_I l}{EF} \quad (31)$$

(30)-ე და (31)-ე ფორმულების შედარებით მივიღებთ:

$$\sum P_I \pi_{II} = \sum P_{II} \pi_I \quad (32)$$

რისი დამტკიცებაც გვინდოდა.
კოქისათვის გვაქვს:

$$\sum P_{II} \pi_I = \int \frac{M_I M_{II} d\alpha}{EI}$$

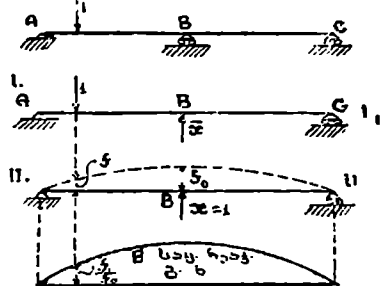
$$\sum P_I \pi_{II} = \int \frac{M_{II} M_I d\alpha}{EI}$$

საიდანაც

$$\sum P_I \pi_{II} = \sum P_{II} \pi_I \quad (33)$$

I და II ძალთა სისტემებზე შეიძლება შევარჩიოთ ნებისმიერი სისტემა, მაგრამ შეეჩერდებით ისეთზე, რომელიც საშუალებას მოგვცემს დასმული ამოცანის მეტად მოხერხებულად გადაწყვეტისათვის. სტატიკურად ურკვევად სიდიდეებისათვის გავლენის ხაზების ასახვებზე ჩვენ უკუვაგდებთ ზედმეტ დამატებებს, რის შემდეგაც განვიხილავთ მიღებულ სტატიკურად რკვევად სისტემებს. ძალთა ერთ სისტემად მივიღებთ გარეძალებს და ყველა \bar{X} ძალებს, ხოლო მეორე სისტემად $\bar{X}=1$ ძალას. გავარკვიოთ ეს კერძო მაგალითებით.

მაგალითი № 1. აიგოს ორმალიანი უჭრი კოქის შუა საყრდენი რეაქციის გავლენის ხაზი (ნახაზი 163).



ნახ. 163.

გამოვიყვანოთ B საყრდენი რეაქციის გამოსახულება უჭრი კოქის მალზე ერთეული ტვირთის ნებისმიერ მდებარეობის დროს. B საყრდენი რეაქცია მივიღოთ ზედმეტ უცნობად და აღვნიშნოთ ის \bar{X} -ით. \bar{X} სიდიდის განსაზღვრისათვის უნდა მოვაშუროთ B საყრდენი და მისი მოქმედება AC კოჭზე შევცვალოთ ისეთი \bar{X} ძალით, რომ მოცემული ერთეული ძალისა და \bar{X} ძალის ერთობლივი მოქმედებით B წერტილის ვერტიკალური გადაადგილება უდრდეს ნულს. ძალთა I სისტემად მივიღოთ მოცემული ძალა და \bar{X} ძალა; მეორე სისტემად კი $\bar{X}=1$ ძალა.

2. კ. ს. ზაფრევი. II ნაწ.

II ძალთა სისტემის მუშაობა I ძალთა სისტემის მოქმედებით გამოწვეულ გადაადგილებაზე წარმოადგენს $\bar{X}=1$ ძალისა და B წერტილის ვერტიკალური გადაადგილების ნამრავლს მოცემული დიტვირთვისა და \bar{X} ძალის ერთობლივი მოქმედების დროს.

ზემოთ ჩვენ ვნახეთ, რომ ეს გადაადგილება უდრიდა ნულს. ამიტომ

$$\sum P_{11} \pi_1 = 1 \cdot 0 = 0 \quad (**)$$

იმისათვის, რომ I ძალთა სისტემის მუშაობა გადაადგილებაზე გამოვხატოთ II ძალთა სისტემის მოქმედებით, ამისათვის შეგვიძლია გრაფიკული ხერხით ავაგოთ AC კოქის გალუნული ღერძი $\bar{X}=1$ ძალის მოქმედებით. მაშინ

$$\sum P_1 \pi_{11} = -1 \cdot f_1 + \bar{X} \cdot f_0 \dots \dots \dots (**)'$$

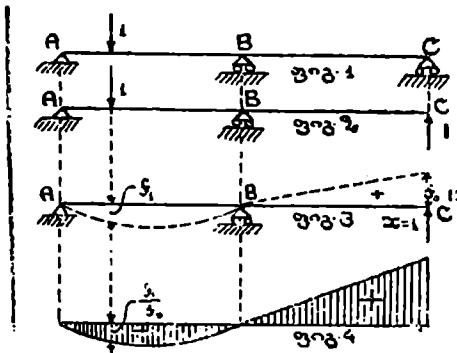
(**) და (**') გამოსახულებების (33)-ე ფორმულაში ჩასმით მივიღებთ:

$$-1 \cdot f_1 + \bar{X} \cdot f_0 = 0;$$

საიდანაც

$$\bar{X} = \frac{f_1}{f_0} \quad (34)$$

კოქზე ერთეული ტვირთის გადაადგილების დროს, \bar{X} გამოსახულებაში მნიშვნელოვანი f_0 მუდმივი რჩება, ხოლო მრიცხველი f_1 წარმოადგენს სტატიკურად რკვევადი კოქის გალუნული ღერძის ორდინატებს $\bar{X}=1$ ძალის მოქმედების დროს. ამიტომ \bar{X} გავლენის ხაზის ორდინატების აგებისათვის საკმარისია აგებული გალუნული მრუდის ყველა ორდინატების f_0 -ჯერ შემციობება ან რაც იგივეა, შევინარჩუნოთ იგივე მრუდი მხოლოდ f_0 -ჯერ შევცვალოთ საზომი მასშტაბი.



ნახ. 164.

თუ მოითხოვება იმავე კოქისათვის ნაპირა საყრდენი C რეაქციის გავლენის ხაზის აგება, მაშინ ზედმეტ უცნობად უნდა მივიღოთ ამ საყრდენის რეაქცია

(ნახ. 164). მოვაშორებთ C საყრდენს და მის მოქმედებას კოქზე შევცვლით \bar{X} ძალით, რომელიც განიზღვრება C წერტილში ნაღუნის ნულთან ტოლობის პირობით, მოცემული მოქმედები ძალისა და \bar{X} ძალის ერთობლივი მოქმედების შემთხვევისათვის. დანარჩენი მიმდევრობა ზემომოყვანილი მსჯელობის ანალოგიურია.

ვაწარმოთ ABC კონსოლიანი კოქის გალუნული ღერძის აგება $\bar{X}=1$ ძალის მოქმედებისაგან (ნახ. 164-ე ფიგ. მე-3). ურთიერთგადაადგილებათა თეორემის საფუძველზე ვწერთ:

$$-1 \cdot f_1 + \bar{X} \cdot f_0 = 0,$$

$$\bar{X} = + \frac{f_1}{f_0}$$

გავლენის ხაზის ასაგებად საჭიროა გაღუნული ღერძის ყველა ორდინატის f_0 -ზე გაყოფა.

მაგალითი № 2. აიგოს სამშალიანი უკრი კოქის შუა საყრდენი რეაქციის გავლენის ხაზი (ნახ. 165).

შუა B და C საყრდენები მივიღოთ ზედმეტ დამაგრებებად. უკუვაგლოთ ისინი და მათი მოქმედება კოქზე შევცვალოთ ისეთი \bar{X}_1 და \bar{X}_2 ძალებით, რომ სტატიკურად რევევადი AD კოქის B და C წერტილების გადაადგილებანი ამ ძალების და მოცემული ძალების ერთობლივი მოქმედებით, ტოლი იყოს ნულის. მოცემულ დატვირთვად მივიღოთ ერთეული ტვირთი, რომელიც მოდებულია კოქის სიგრძის ნებისმიერ წერტილზე. ურთიერთგადაადგილებაა პრინციპის გამოყენებით I ძალთა სისტემის სახით გვექნება მოცემული ერთეული ძალა და \bar{X}_1 და \bar{X}_2 ძალები II სისტემად ჯერ $\bar{X}_1=1$ ძალა, ხოლო შემდეგ $\bar{X}_2=1$ ძალა. ჯერ I და II, ხოლო შემდეგ I და II' სისტემების კომბინირებით მივიღებთ ორ განტოლებას ორი \bar{X}_1 და \bar{X}_2 უცნობით. II ძალთა სისტემის მიერ შესრულებული მუშაობა გადაადგილებაზე I ძალთა სისტემის მოქმედებით უდრის ნულს, რადგან B წერტილის ვერტიკალური გადაადგილება \bar{X}_1 და \bar{X}_2 ძალებისა და მოცემული ძალების ერთობლივი მოქმედებით, პირობის თანახმად, უდრის ნულს.

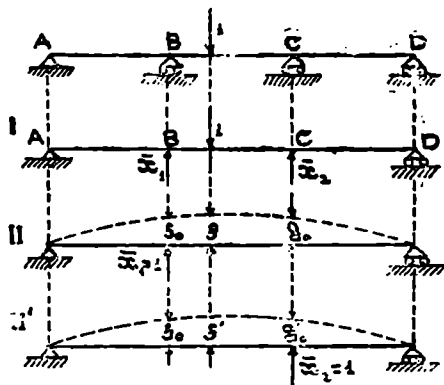
I ძალთა სისტემის II ძალთა სისტემის მოქმედებით წარმოქმნილ გადაადგილებაზე გამოწვეული მუშაობის გამოსახულების მისაღებად გრაფიკულად უნდა ავაგოთ $\bar{X}_1=1$ ძალის მოქმედებით AD კოქის გაღუნული ღერძი. მაშინ ურთიერთგადაადგილებათა პრინციპის საფუძველზე შემდეგ განტოლებას მივიღებთ:

$$\bar{X}_1 f_0 + \bar{X}_2 g_0 - 1 \cdot f = 1 \cdot 0$$

სწორედ ასევე, II სისტემად თუ მივიღებთ $\bar{X}_2=1$ ძალა, მაშინ მივიღებთ განტოლებას:

$$\bar{X}_1 f_0' + \bar{X}_2 g_0' - 1 \cdot f' = 1 \cdot 0,$$

სადაც f_0' , g_0' , f' AD კოქის გაღუნული ღერძის ორდინატებია $\bar{X}_2=1$ ძალის მოქმედებით.



ნახ. 165.

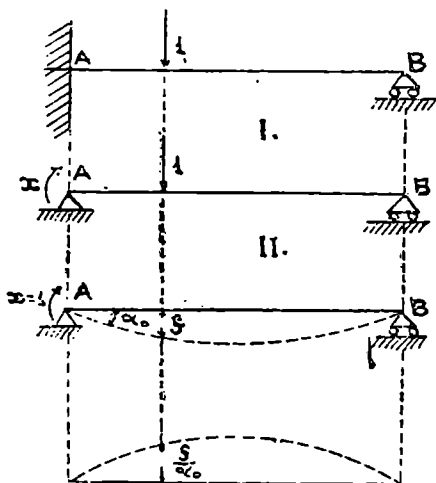
ამ ორი განტოლების ერთობლივი ამოხსნით მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \bar{X}_1 &= \frac{f \cdot g_0' - f' \cdot g_0}{f_0 \cdot g_0' - f_0' \cdot g_0} \\ \bar{X}_2 &= \frac{f' \cdot f_0 - f \cdot f_0'}{f_0 \cdot g_0' - f_0' \cdot g_0} \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

\bar{X}_1 და \bar{X}_2 გამოსახულებებში მნიშვნელები არ არიან დამოკიდებული ტვირთის მდებარეობაზე და ამიტომ მათი გამოთვლა წინასწარ შეიძლება.

კოქის მთელ სიგრძეზე ერთეული ტვირთის გადაადგილებით თითოეულ შერჩეულ მდებარეობისათვის ნახაზიდან ვპოულობთ f და f' ორდინატებს, აგებულ მრუდებიდან, რომლებიც წარმოადგენენ კოქის გაღუნულ ღერძებს $\bar{X}_1=1$ ძალისა და შესაბამისად $\bar{X}_2=1$ ძალის მოქმედებისაგან. ამ მნიშვნელობებს ჩავსვამთ (35)-ე გამოსახულებაში და განვსაზღვრავთ \bar{X}_1 და \bar{X}_2 გავლენის ხაზის შესაბამის ორდინატებს. ამ ორდინატების მოზომვით მდოვრული მრუდით შევავრთებთ მიღებულ წერტილებს.

მაგალითი № 3. აიგოს ერთი ბოლოთი ჩამაგრებული და მეორეთი დაყრდნობილი კოქის საყრდენი მდუნავი მომენტის გავლენის ხაზი (ნახ. 166).



ნახ. 166.

საყრდენის ჩამაგრება ზედმეტ დამაგრებად მივიღოთ. უკუვავდეთ ის და მის ნაცვლად ისეთი წყვილძალი \bar{X} მომენტით მოვდეთ, რომ მისი და მოცემული ერთეული ძალის ერთობლივი მოქმედებით A კვეთის მობრუნების კუთხე ნულს უდრიდეს. 166-ე ნახ. ნაჩვენებია: I და II ძალთა სისტემები და კოქის გაღუნული ღერძი გრაფიკულად აგებული $\bar{X}=1$ წყვილძალის მოქმედებით. ურთიერთგადაადგილებათა პრინციპის თანახმად ვწერთ:

$$\bar{X} \cdot \alpha_0 + 1 \cdot f = 1 \cdot 0,$$

საიდანაც

$$\bar{X} = - \frac{f}{\alpha_0}.$$

მნიშვნელი α_0 ერთეული ძალის მდებარეობისაგან დამოუკიდებელია. ის შეიძლება წინასწარ განისაზღვროს ცნობილი ფორმულით (აღვილად მიღებულ გრაფო-ანალიზური ხერხით)

$$\alpha_0 = \frac{1}{3EJ} \quad (36)$$

გალუნული ლერძის ყველა ორდინატების α_0 -ზე გაყოფით და ნიშნის შეცვლით საძიებელი გავლენის ხაზის ორდინატებს მივიღებთ.

მაგალითი № 4. აიგოს ორმალიანი უკრი კოქის საყრდენი მომენტის გავლენის ხაზი (ნახ. 167-ე).

მივიღოთ საყრდენი მომენტი ზედმეტ უცნობად. გავკრათ კოქი საყრდენ კვეთში. ურთიერთქმედების ძალები კოქის ნაწილებს შორის წარმოიდგინება, როგორც ორი ტოლი (და ურთიერთშებრუნებული ვერტიკალური ძალები (გადამკრეფი ძალები) და ორი ტოლი და ურთიერთშებრუნებული წვეილძალები (მღუნავი მომენტები).

კოქის თითოეული ნაწილი წარმოადგენს ორ საყრდენზე მდებარე კოქს. ვერტიკალური ძალები საყრდენ კვეთებში უშუალოდ გადაეცემა საყრდენებს და კოქის ნაწილებს დეფორმაციაზე გავლენა არ აქვთ. გვჩნება წვეილ ძალები. წვეილძალების \bar{X} სიდიდე განისაზღვრება იმ პირობიდან, რომ მათი და მოცემული დატვირთვის ერთობლივი მოქმედებით გადაადგილება ნულის ტოლი უნდა იყოს. ე. ი. მოსაზღვრე მალეების შემხები საყრდენი კვეთების ფარდობითი მობრუნების კუთხე. ამიტომ II ძალთა სისტემის შემოაბა (ორი წვეილი $\bar{X}=1$) გადაადგილებაზე I ძალთა სისტემის მოქმედებით (იხ. ნახ. 167-ე) უდრის ნულს. ურთიერთგადაადგილებათა თეორემის საფუძველზე გვაქვს:

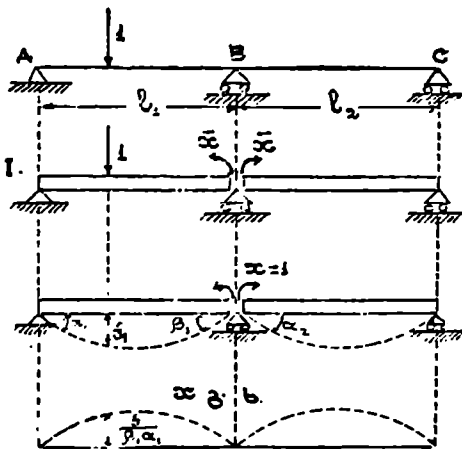
$$I \cdot f + \bar{X} \cdot \beta_1 + \bar{X} \cdot \alpha_2 = 0.$$

საიდანაც

$$\bar{X} = -\frac{f}{\beta_1 + \alpha_2} \quad (37)$$

აქ f — ერთეული ძალის შესაბამისი მდებარეობის AB და BC კოქებისათვის წინასწარ გრაფიკული ხერხით აგებული გალუნული ლერძის ორდინატია საყრდენი წვეილის $\bar{X}=1$ მოქმედებით. საყრდენი კვეთების მობრუნების კუთხეები β_1 და α_2 განიზღვრებიან № 3 მაგალითის ანალოგიურად:

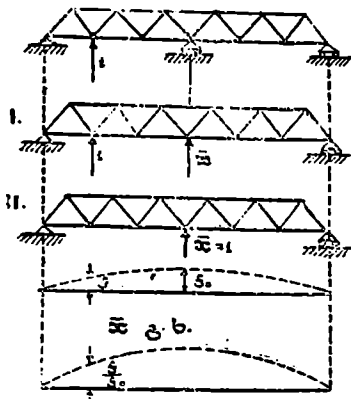
$$\beta_1 = \frac{l_1}{3EJ}, \quad \alpha_2 = \frac{l_2}{3EJ} \quad (38)$$



ნახ. 167.

(37) ე გამოსახულებაში მნიშვნელი დაპოუციდებელია ერთეული ტვირთის მდებარეობისაგან და გავლენის ხაზის აგება წარმოებს უბრალოდ, წინა მაგალითების ანალოგიურად.

მაგალითი № 5. აიგოს სტატიკურად ურკვევადი ზედმეტ საყრდენიანი ფერმის საყრდენი რეაქციის გავლენის ხაზი (ნახ. 168-ე).



ნახ. 168.

ისე როგორც კოქისათვის, უკუვადებთ ზედმეტ საყრდენს. მის მოქმედებას ფერმაზე შევცვლით \bar{X} ძალით და განვიხილავთ მიღებულ სტატიკურად რკვევად ფერმაზე ძალთა ორი სისტემის მოქმედებას: I— \bar{X} ძალა და მოცემული ერთეული ძალა, II— $\bar{X}=1$ ძალა. ურთიერთგადაადგილებათა თეორემის საფუძველზე მივიღებთ:

$$-1 \cdot f + \bar{X} \cdot f_0 = 0,$$

საიდანაც

$$\bar{X} = \frac{f}{f_0}.$$

f და f_0 სიდიდეები განიზღვრებიან უბრალოდ, თუ ჩვენ წინასწარ ვილიოს გეგმის საფუძველზე განვსაზღვრავთ

დავრავთ და ნახაზზე დავიტანთ ყველა იმ კვანძის გადაადგილებათა ვერტიკალურ გეგმილებს $\bar{X}=1$ ძალის მოქმედებით, რომლებზედაც გადაადგილება ერთეული ტვირთი (ნალუნის მრუდი). საყრდენი რეაქციის \bar{X} გავლენის ხაზის ორდინატები ნალუნის მრუდის ორდინატების პროპორციული იქნებიან (f_0 -ჯერ ნაკლები). იმის გამო, რომ დატვირთვა გადაეცემა კვანძებს, საჭიროა შესაბამისი კვანძების გავლენის ხაზის წერტილების განსაზღვრა და მათი შეერთება სწორხაზის მონაკვეთებით.

მაგალითი № 6. აიგოს სტატიკურად ურკვევადი ფერმის საყრდენი რეაქციის გავლენის ხაზი, რომელსაც აქვს ორი ზედმეტი საყრდენი (ნახ. 169).

ამოცანა სამშალიანი კოქის ამოცანის ანალოგიურად ამოიხსნება. ურთიერთგადაადგილებათა პრინციპს ორჯერ გამოვიყენებთ. I ძალთა სისტემად ორივე შემთხვევაში მივიღოთ \bar{X} ძალები და მოცემული დატვირთვა. II ძალთა სისტემად პირველ შემთხვევისათვის მივიღოთ $\bar{X}_1=1$ ძალა, ხოლო მეორე შემთხვევისათვის კი $\bar{X}_2=1$ ძალა. ნახაზზე ორი მრუდია ნაჩვენები: K — ნალუნის მრუდი $\bar{X}_1=1$ ძალის მოქმედებით. ამ მრუდის ორდინატები ვილიოს აგების საფუძველზე წარმოადგენს AD ფერმის ქვედა კვანძების გადაადგილებათა ვერტიკალურ პროექციებს $\bar{X}_1=1$ ძალის მოქმედებით. K' — ნალუნის

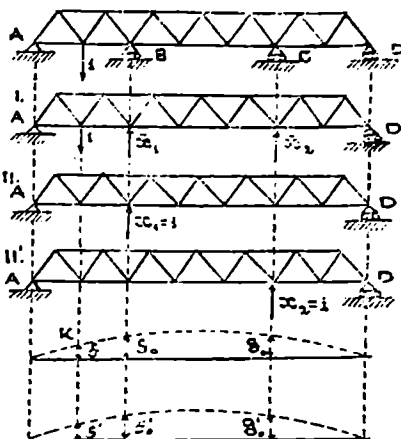
მრუდი, $\bar{X}_2 = 1$, ძალის მოქმედებით. ურთიერთგადაადგილებათა პრინციპის გამოყენებით მივიღებთ:

$$\begin{aligned} -1 \cdot f + \bar{X}_1 \cdot f_0 + \bar{X}_2 \cdot g_0 &= 1 \cdot 0 \\ -1 \cdot f' + \bar{X}_1 \cdot f'_0 + \bar{X}_2 \cdot g'_0 &= 1 \cdot 0. \end{aligned}$$

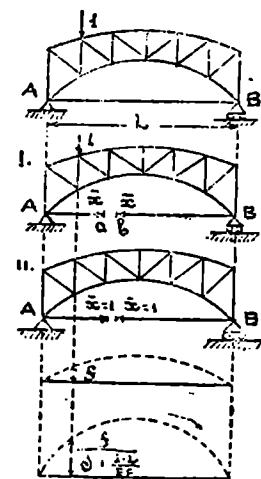
ამ განტოლებათა ამოხსნით მივიღებთ.

$$\left. \begin{aligned} \bar{X}_1 &= \frac{f \cdot g'_0 - f'_0 \cdot g_0}{f'_0 \cdot g'_0 - g_0 \cdot f_0} \\ \bar{X}_2 &= \frac{f'_0 \cdot f_0 - f \cdot f'_0}{f'_0 \cdot g'_0 - g_0 \cdot f_0} \end{aligned} \right\} \cdot (39)$$

თითოეულ ქველა კვანძისათვის K და K' მრუდეები გვაძლევნ f და f' ორდინატთა სიდიდეებს, რომელთა ჩისმა \bar{X}_1 და \bar{X}_2 გამოსახულებებში მოგვცემს, შესაბამისად, განსახილველი კვანძის გავლენის ხაზის ორდინატებს. ასეთნაირად მიღებული ყველა ქველა კვანძის ქვემოთ მდებარე წერტილებს ვაერთებთ სწორხაზით.



ნახ. 169.



ნახ. 170.

მაგალითი № 7. აიგოს სტატიკურად ურკვევადი ფერმის ღეროების გავლენის ხაზები, რომელსაც აქვს ზედმეტი ღერო (ნახ. 170).

ვთქვათ საჭიროა თალოვანი ფერმის მქიმის ძალოსათვის გავლენის ხაზის აგება (ნახ. 170). მივიღოთ მქიმი ზედმეტ ღეროთ, გავკრათ ის ნებისმიერ ადგილას და კვეთებზე მოვდოთ ურთიერთქმედების \bar{X} ძალები. ეს ძალები ისეთი სიდიდის უნდა იყვნენ, რომ მათი და მოცემული დატვირთვის ერთობლივი მოქმედებით, იმ a და b კვეთების ურთიერთგადაადგილება, რომლებზედაც მოდებულია \bar{X} ძალები, ნულის ტოლი იყოს. I სისტემაღ მივიღოთ მოცემული ერთეული ძალა და \bar{X} ძალები, II სისტემაღ კი $\bar{X}=1$ ძალები. II ძალთა სისტემის მიერ შესრულებული მუშაობა გადაადგილებაზე I სისტემის მოქმედებით უდრის ნულს, რადგან $\bar{X}=1$ ძალების შესაბამისი გადაადგილება უდრის ნულს (კვეთთა ურთიერთგადაადგილება I

ძალთა სისტემის მოქმედებით). I სისტემის მუშაობის გამოსახულების მისაღებად, II სისტემით გამოწვეულ გადაადგილებაზე, უნდა ავაგოთ ვილიოს გეგმა. განესაზღვრათ $\bar{X}=1$ ძალის მოქმედებით ყველა იმ კვანძების გადა-

აღვლებათა ვერტიკალურ გეგმილებს, რომლებზედაც მოდებულია ერთეული ტვირთი F -ით გადაადგილების დროს და ავადგებთ f ნალუნის პრულს. ვილინს გეგმიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ B წერტილის პორიზონტალური გადაადგილების δ სიდიდე. მაშინ a და b კვეთების ურთიერთგადაადგილება $\bar{x} = 1$ ძალის მოქმედებით იქნება A და B წერტილთა δ მიახლოებისა და a და b წერტილებს დაშორების მიახლოების ალგებრული ჯამი, L სიგრძის ლეროს (შქიმის) გაჭრისაგან $\bar{x} = 1$ გამქრავი ძალის მოქმედებით. საბოლოოდ მივიღებთ:

$$-1 \cdot f + \bar{x} \left(\delta + \frac{1 \cdot L}{EF} \right) = 1 \cdot 0,$$

საიდანაც

$$\bar{x} = \frac{f}{\delta + \frac{1 \cdot L}{EF}} \quad (40)$$

მაშასადამე, აქაც საძიებელი გავლენის ხაზის ორდინატები ნალუნის მრუდია f ორდინატების პროპორციულია, რომლის პროპორციულობის კოეფი-

ციენტი $\frac{1}{\delta + \frac{1 \cdot L}{EF}}$ არ არის დამოკიდებული ერთეული ტვირთის მდებარეობაზე.

ფერმის კვანძებისათვის ორდინატების გამოთვლით და სათანადო წერტილების აგებით შევერთებთ მათ სწორხაზის მონაკვეთებით.

§ 57. ტემპერატურის გავლენა

სტატიკურად რკვევად ფერმაში ნებისმიერ ab ლეროს დანიშნულებას შეადგენს, a და b წერტილებს შორის მუდმივი l მანძილის შენარჩუნება ისე, რომ ამ მანძილის შეცვლის ყოველგვარი ცდა გამოიწვევს ლეროს უკუქმედებას, რომელშიდაც წარმოიქმნება შიგა ძალები. იმის გამო, რომ სტატიკურად რკვევად ფერმაში ყველა ლერო აუცილებელია, ამიტომ ab ლეროს მოშორება არღვევს კავშირს a და b წერტილებს შორის, რის შემდეგ მანძილის ცვლილება არავითარ წინააღმდეგობას არ შეხვდება. მაშასადამე, თუ ab ლეროს ნაცვლად ჩავდგამთ სხვა ლეროს, რომლის სიგრძე განსხვავდება l -საგან ან სხვა სიტყვებით ab ლეროს ნებისმიერი შეცვლით არავითარი შიგაძალები არ წარმოიქმნება. ტემპერატურის მოქმედებით ადგილი აქვს მხოლოდ ლეროთა სიგრძეების თავისუფალ ცვლილებას. ნათქვამიდან დავასკვნით, რომ ტემპერატურის მოქმედებით სტატიკურად რკვევად ფერმაში დამატებითი ძალები არ იქნებიან.

თუ სტატიკურად ურკვევად ფერმას მოვაშორებთ ზედმეტ ლეროს, მაშინ ფერმის დარჩენილი ნაწილი გეომეტრიულად უცვლადი იქნება და კვანძებს შორის მანძილის შეცვლა არ მოხდება ძალების გარეშე. თუ მოშორებული ლეროს ნაცვლად მოვინდომებთ სხვა სიგრძის ლეროს ჩადგმას, მაშინ წინასწარ მოდებულია ძალებმა ისე უნდა შესცვალოს ლეროს სიგრძე, რომ ის ზუსტად

ეტოლებოდეს შესაბამის მანძილს კვანძებს შორის. დაჭიმულ მდგომარეობაში ჩადგმული ღერო ეცდება დაუბრუნდეს თავის პირვანდელ სიგრძეს, რის გამოც წნევას აწარმოებს ფერმის კვანძებზე, რომლის შედეგადაც წარმოიშობს ძალებს ფერმის დანარჩენ ღეროებში. ასეთივე შედეგი მიიღება ზედმეტი ღეროს სიგრძის უშუალო ცვლილებით, მაგ, ტემპერატურის მოქმედებისგან.

ამნაირად, ზედმეტი ღეროს სიგრძის ცვლილება, როდესაც შენარჩუნებულია დანარჩენი ღეროების პირველადი სიგრძე, წარმოქმნის ძალებს ფერმის ელემენტებში. თუ ფერმის ყველა ღერო, ზედმეტი ღეროებიანად, მიიღებს ტოლ ფარდობით წაგრძელებებს, მაშინ ფერმაში ძალები არ წარმოიშობა. მართლაც, სტატიკურად რკვევადი ფერმა, რომელიც მიღებულია ზედმეტი ღეროების მოცილებით, ფერმის ცვლილების შემდეგ წარმოქმნის პირვანდელის მსგავსს ფიგურას, რადგან ამ ორი ფიგურის ყველა გვერდი ერთმანეთის პროპორციულია:

$$\frac{l_1 + \Delta l_1}{l_1} = \frac{l_2 + \Delta l_2}{l_2} = \frac{l_3 + \Delta l_3}{l_3} = 1 + \epsilon, \quad (41)$$

სადაც ϵ — ფარდობითი წაგრძელება და საერთოა ყველა ელემენტისათვის. ფიგურების მსგავსობის გამო, ორ კვანძს შორის მანძილი, რომლებიც დაკავშირებული იყო მოშორებული ზედმეტი ღეროთი, გვერდების პროპორციული იქნებიან:

$$\frac{l_0 + \Delta l_0}{l_0} = 1 + \epsilon,$$

საიდანაც

$$l_0 + \Delta l_0 = (1 + \epsilon) l_0 \quad (42)$$

იმის გამო, რომ ზედმეტი ღეროც წაგრძელდა $(1 + \epsilon)$ -ჯერ, ამიტომ მისი სიგრძე ზუსტად კვანძებს შორის მანძილის ტოლი იქნება და ის შეიძლება ჩავდგათ ფერმაში ძალვის გარეშე, რისი დამტკიცებაც გვინდოდა.

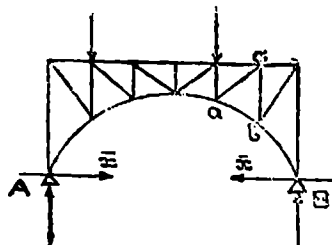
ყველა ღეროს ტემპერატურის t^0 -ით შეცვლისას, შეიცვლება მათი სიგრძეებიც αt სიდიდით, სადაც α — ღეროს მასალის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი. ფარდობითი წაგრძელება ტოლია:

$$\epsilon = \frac{\alpha t l}{l} = \alpha t, \quad (43)$$

რომელიც ყველა ღეროსათვის ერთიდაიგივე იქნება. აქედან დავასკვნით, რომ: ფერმის ყველა ღეროში. ზედმეტი ღეროებიანადვე, ტემპერატურის თანაბარი ცვლილებით არ წარმოიქმნება დამატებითი ძალები.

რაც შეეხება ზედმეტ საყრდენიან ფერმას, შევნიშნავთ, რომ: ყველა ღეროში ტემპერატურის თანაბარი ცვლილებით ძალები ან წარმოიშობიან ან არა, დამოკიდებულად იმაზე საყრდენები ხელს უშლიან თუ არა ფერმის რომელიმე განზომილების ცვლილებას. მაგ: უკრ კოკოვან ფერმაში (ნახ. 156) საყრდენები ხელს არ უშლიან ზომების ცვლილებას. ორსახსრიან თალში (ნახ. 171) კი პირიქით AB მალის ზომები ჩამაგრებულია. მაშასადამე, ფერმის ყველა ღეროში ტემპერატურის თანაბარი ცვლილებით (ნახ. 156) ძალ-

ვები არ წარმოიშობიან, ფერმაში კი პირიქით (ნახ. 171). თუ შევცვლით ერთი ზედმეტი ღეროს ტემპერატურას, მაშინ ძალები წარმოიშობიან, როგორც ერთ,



ნახ. 171.

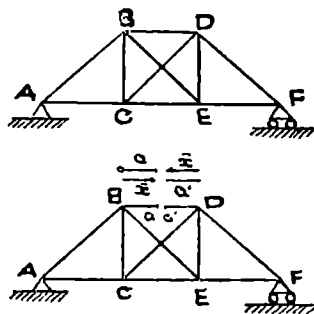
ისე მეორე ფერმაში. მაგ; ფერმის ab ღეროს მოშორებით (ნახ. 156) ის სტატიკურად რკვევადი და გეომეტრიულად უცვლადი ხდება, რომელსაც სამი საყრდენი აქვს და ერთი სახსარი C წერტილში. სწორედ ასევე ფერმაც (ნახ. 171) — სამსახსრიანი თალია (შუა სახსარი C წერტილში). მაშასადამე, დამტკიცებულის თანახმად, ab ღეროს სიგრძის ცვლილება განიჭვევს ძალებს ფერმაში.

ამნაირად, ჩვენ გვაქვს სტატიკურად ურკვევადი ფერმის ღეროების ძალებზე

ტემპერატურის გავლენის ორი შემთხვევა: ზედმეტი ღეროს ტემპერატურის ცვლილებისა და ფერმის ყველა ღეროს ტემპერატურის ცვლილების შემთხვევები, როდესაც ფერმას აქვს ისეთი ზედმეტი საყრდენი დამაგრებანი, რომლებიც ხელს უშლიან ზომათა ცვლილებებს.

1-ლი შემთხვევა. ტემპერატურის ცვლილება ზედმეტ ღეროში. ვთქვათ ფერმის (ნახ. 172) ზედმეტი BD ღერო თბება t -ზე დანარჩენი ღეროების ტემპერატურასთან შედარებით. წინასწარ გავქრათ აღნიშნული ღერო რომელიმე ადგილას. მაშინ ფერმა სტატიკურად რკვევადი გახდება მისი გეომეტრიულად უცვლადობის დაუკარგავად.

ამის შემდეგ გავათბობთ მას t -ზე. მაშინ ღერო წაგრძელდება $\alpha l_0 t$ სიდიდით. იმისათვის, რომ u და v წერტილები ისევ დაემთხვენ ერთმანეთს, საჭიროა მათზე მოვლოთ ისეთი \bar{X} ძალები, რომელთა მოქმედებით გამოწვეული შესაბამისი გადაადგილებანი უდრიდეს $\alpha l_0 t$ სიდიდეს. $\bar{X}=1$ ძალის მოქმედებით ღეროებში წარმოქმნილი ძალები აღვნიშნოთ S -ით, მივიღებთ \bar{X} ძალის მოქმედებით $S \cdot \bar{X}$ ძალებს და \bar{X} ძალის შესაბამის გადაადგილებას δ -(2) ფორმულის თანახმად, რომელიც გამოიხატება შემდეგნაირად:



ნახ. 172.

$$\delta = \sum \frac{(\bar{X}S) \cdot Sl}{EF} = \frac{\bar{X}}{E} \sum \frac{S^2 l}{F} = \alpha l_0 t,$$

საიდანაც

$$\bar{X} = \frac{E \alpha l_0 t}{\sum \frac{S^2 l}{F}} \quad (44)$$

X -ის განსაზღვრის შემდეგ მივიღებთ ტემპერატურულ ძალებს ყველა ღეროში შემდეგი ფორმულით:

$$S_i = S \cdot X \quad (45)$$

რიცხვითი მაგალითი. ფერმის ზომები ნაჩვენებია 173-ე ნახაზზე. ტემპერატურის ცვლილება უდრის 40° , რკინის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი $0,000125$, $E \alpha t = 2000000 \times 0,000125 \times 40 = 1000$. შემდეგი ანგარიში მოყვანილია ცხრილში.

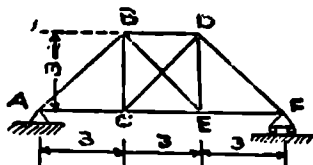
ელემენტების დასახელება	სიგრძე l სმ.	გამოვი კვეთის ფართობი F სმ ²	ძალები $\bar{X} = 1$ ძალსაგან S კგ.	$\frac{F^2 l}{F}$	ძალები ელემენტებში $S \cdot \bar{X}$ კგ.
A-C	300	15	0	0	0
C-E	300	30	-1	10	-3380
E-F	300	30	0	0	0
A-B	420	40	0	0	0
B-D	300	30	-1	10	-3380
D-F	420	30	0	0	0
B-C	300	15	-1	20	-3380
D-E	300	45	-1	6,7	-3380
C-D	420	42	1,4	21	4730
B-E	420	40	1,4	21	4780

ჯ ა მ ი 18,7

$$X = \frac{1000 \cdot 300}{88,7} = 3380$$

შე-2 შემთხვევა. ფერმის ყველა ღეროში ტემპერატურის ცვლილება, რომელსაც აქვს ზომის ცვლილების ხელშეშ. შლელი ზედმეტი საყრდენი დამაგრება.

ვაჩვენოთ ამოცანის ამოხსნა ორსახსრიანი თალის მაგალითზე (ნახ. 171). ზედმეტი უცნობია \bar{X} განბრუნე. თუ მოვაშორებთ ამ ძალის შესაბამის ზედმეტ დამაგრებას, მაშინ ყველა ღეროში ტემპერატურის t -ით ცვლილებით ფერმა გარდიქმნება მსგავს ფიგურად, რომლის ყველა ზომა პირვანდელთან $(1 + \alpha t)$ -ჯერ მეტი იქნება. მაშასადამე, მალის სიგრძე ტოლი იქნება $L(1 + \alpha t)$, ე. ი $L \alpha t$ სიდიდით მეტი იქნება პირვანდელთან შედარებით. აუცილებელია მოვდეთ ისეთი \bar{X}



ნახ. 173.

იქნება პირვანდელთან შედარებით. აუცილებელია მოვდეთ ისეთი \bar{X} ძალები, რომლებიც ალაღვენენ

პირვანდელი მალის საგრძეს, ე. ი. X ძალების შესაბამისი გადაადგილება J, α სიდიდის ტოლი უნდა იყოს. აღნიშნოთ ყველა ლეროში ძალები $X=1$ ძალის მოქმედებით N -ით. მაშინ გვექნება:

$$S_t = \bar{X} \cdot S \quad (46)$$

$$\delta = \sum \frac{(\bar{X} S) S_l}{EF} = \frac{\bar{X}}{E} \sum \frac{S^2 l}{F} = J, \alpha,$$

საიდანაც

$$\bar{X} = \frac{E L \alpha t}{\sum \frac{S^2 l}{F}} \quad (47)$$

§ 58. ხტატიქურად ურკვევადი ფერმის ელემენტებისათვის კვეთების შარჩევა

სტატიკურად ურკვევად სისტემებში შიგაძალები წარმოადგენენ არამართო აქტიური ძალების, ფერმის სქემების გეომეტრიული ზომების, საყრდენ კონსტრუქციებისა და მათ განლაგებათა ფუნქციებს, არამედ ლეროთა განივი კვეთის ზომებზედაც არიან დამოკიდებული, რადგან განტოლებები ზედმეტი უცნობების განსაზღვრისათვის ფერმის დეფორმაციათა შესწავლის საფუძველზე შეიღგინება. ამიტომ სტატიკურად ურკვევადი ფერმის ელემენტებში ძალები გამოწვეული მუდმივი ან დროებითი დატვირთვით ან კიდევ ტემპერატურას მოქმედებით შეიძლება განისაზღვრონ მხოლოდ იმ შემთხვევებში, თუ წინასწარ მოცემული იქნება ლეროების განივი კვეთის ზომები. მაშასადამე, აქ გამოუსადეგარია ელემენტებში კვეთების შერჩევის პირდაპირი ხერხი, როდესაც მოცემული გარეძალებას მიხედვით წინასწარ განესაზღვრავთ ლეროებში შიგაძალებს და მხოლოდ შემდეგ შევარჩევთ კვეთებს, რომლებიც დააკმაყოფილებენ აღნიშნულ ძალებს.

მოცემულ შემთხვევაში წინასწარ უნდა შევამოწმოთ დანიშნული კვეთების ზომები. მიიღება შემდეგი ანგარიშის მსვლელობა: წინასწარ დაენიშნავთ განივი კვეთის ზომებს. მოცემულ კვეთებისათვის მუდმივი დატვირთვისაგან განესაზღვრავთ ლეროებში ძალებს, ავაგებთ გავლენის ხაზებს და გამოვითვლით საანგარიშო ძალებს მოძრავი დატვირთვისაგან. განესაზღვრავთ, თუ მოითხოვება ტემპერატურულ ძალებსაც, რის შემდეგ გამოვარკვევთ თითოეულ ლეროში უდიდეს საანგარიშო ძალებს, რომელთა მიხედვით ახლად შევარჩევთ ლეროებში კვეთებს, რომლებსაც ვამოწმებთ მეორადი ანგარიშით. თუ მეორე ანგარიშის შედეგი მნიშვნელოვნად განსხვავდება პირველი ანგარიშის შედეგისაგან, მაშინ ახლად აწარმოებენ კვეთების შერჩევას და იმეორებენ ანგარიშს მესამეჯერ.

რაც შეეხება საკითხს იმის შესახებ, თუ როგორი კვეთები უნდა შევარჩიოთ წინასწარ, ადვილად შევაძრინევთ, რომ ძალები დატვირთვისაგან დამოკიდებულია არა კვეთების აბსოლუტურ ზომებზე, არამედ ზომებს შორის შეფარდებაზე.

მართლაც ჩავწერთ ზედმეტი უცნობის განსაზღვრისათვის ზოგადი სახის განტოლება (იხ. განტოლება 27-ე):

$$\sum \frac{S_m S_l}{F} + \bar{x}_1 \sum \frac{S_1 S_l}{F} + \bar{x}_2 \sum \frac{S_2 S_l}{F} + \dots = 0.$$

ერთ-ერთი კვეთი მივიღოთ F -ად, მაშინ

$$F_1 = a_1 F; \quad F_2 = a_2 F \quad (48)$$

$$\begin{aligned} \sum \frac{S_m S_l}{F} &= \frac{S_m^{(1)} S_l^{(1)} l_1}{F_1} + \frac{S_m^{(2)} S_l^{(2)} l_2}{F_2} + \frac{S_m^{(3)} S_l^{(3)} l_3}{F_3} + \dots = \\ &= \frac{1}{F} \left[\frac{S_m^{(1)} S_l^{(1)} l_1}{a_1} + \frac{S_m^{(2)} S_l^{(2)} l_2}{a_2} + \dots \right] = \frac{1}{F} \sum \frac{S_m S_l}{a} \end{aligned} \quad (49)$$

სწორედ ასევე, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \sum \frac{S_1 S_l}{F} &= \frac{1}{F} \sum \frac{S_1 S_l}{a} \\ \sum \frac{S_2 S_l}{F} &= \frac{1}{F} \sum \frac{S_2 S_l}{a} \quad \text{და ა. შ.} \end{aligned}$$

განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\sum \frac{S_m S_l}{a} + \bar{x}_1 \sum \frac{S_1 S_l}{a} + \bar{x}_2 \sum \frac{S_2 S_l}{a} + \dots = 0 \quad (50)$$

ე. ი. F სიღრმე შეიცვალა.

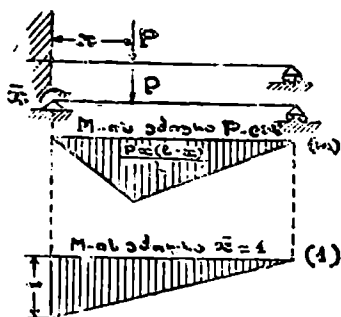
რაც შეეხება a სიღრმეს. მის ყველა მნიშვნელობებს ხშირად იღებენ ერთის ტოლად, ე. ი. ფერმის ყველა ლეროს წინასწარ მუდმივ კვეთისას თვლიან. ზოგჯერ ფერმის სარტულის მდგენელ ლეროებისათვის იღებენ $a=1$, ხოლო ირიბებისათვის და დგარებისათვის $a < 1$. უნდა აღინიშნოს, რომ პრაქტიკაში შედეგები დიდად არ არის დამოკიდებული F სიღრმეზე და ხშირად თუ მივიღებთ $F=c$ ან $F=1$, მაშინ ზეოზე ანგარიში იძლევა დამაკმაყოფილებელ შედეგებს და შეზღოში შემოწმება საჭირო არ არის.

თუ ფერმის ლეროები მოქლონიანი კვეთისაა, მაშინ ზედმეტი უცნობების განსაზღვრელ გამოხატულებაში აუცილებლად უნდა მივიღოთ ბრუტო კვეთი, შესუსტების მხედველობაში მიუღებლად, რადგან ზედმეტი უცნობების განსაზღვრელი განტოლებები შედგენილია ფერმის დიფორმაციის განხილვის საფუძველზე. დეფორმაციები კი დამოკიდებულია განივი კვეთების საშუალო ზომებისაგან, რომლებიც უახლოვდებიან ბრუტო კვეთის.

§ 59. მულტიკვამითიანი ხატიკაურად უკვანავალი კოხვი

მე-(18) ზოგადი განტოლების განოკენება K' ცხრილების არსებობის შემთხვევაში მნიშვნელოვნად აპარტივებს სტატისტიკურად ურკვევადი კოქის ანგარიშს. ვაჩვენოთ ეს კერძო მაგალითებზე.

1. ერთი ბოლოთი დამაგრებული და მეორეთი დაყრდნობილი კოქი, დამაგრებული ბოლოდან x მანძილზე დატვირთულია P ძალით (ნახ. 174).



ნახ. 174.

განესაზღვროთ საყრდენი მომენტი, მივიღოთ საყრდენი მომენტი ზედმეტ უცნობად, მოვაშოროთ ჩამაგრება და მის ნაცვლად მოვდოთ ძალთა წყვილი ისეთი \bar{X} მომენტით, რომ ამ ძალთა წყვილის შესაბამისი δ გადაადგილება მოცემული დატვირთვისა და \bar{X} წყვილის ერთობლივი მოქმედებით უდრიდეს ნულს. ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის კანონის თანახმად გვაქვს:

$$\delta = \delta_{m1} + \bar{X} \delta_{11};$$

სადაც δ_{m1} — გადაადგილება P დატვირთვისაგან, ხოლო δ_{11} — გადაადგილება

$\bar{X}=1$ ძალის მოქმედებით. მუდმივი კვეთის კოქისათვის გვაქვს (იხ. მე-10 ფორმულა):

$$\delta_{m1} = \frac{1}{EJ} K_{m1},$$

სადაც K_{m1} — M_{10} და M_1 ეპიურათა შორის კომბინაციაა (ნახ. 174) ცხრილიდან, l სვეტის მე-5 სტრიქონის საფუძველზე გვაქვს:

$$K_{m1} = \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot \frac{Px(l-x)}{l} \left(1 + \frac{l-x}{l} \right) l = \frac{1}{6} P l^2 \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \left(2 - \frac{x}{l} \right),$$

საიდანაც

$$\delta_{m1} = \frac{1}{6EJ} P l^2 \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \left(2 - \frac{x}{l} \right) \quad . (51)$$

და

$$\delta_{11} = \frac{1}{EJ} K_{11},$$

სადაც K_{11} — M_1 -ის კომბინაციაა თავის თავთან. ცხრილის I სვეტის I სტრიქონის საფუძველზე გვაქვს:

$$K_{11} = \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 1 \cdot l,$$

საიდანაც

$$\delta_{11} = \frac{l}{3EJ} \quad . (52)$$

განტოლების საფუძველზე $\delta = \delta_{m1} + \bar{X} \delta_{11} = 0$ გვაქვს:

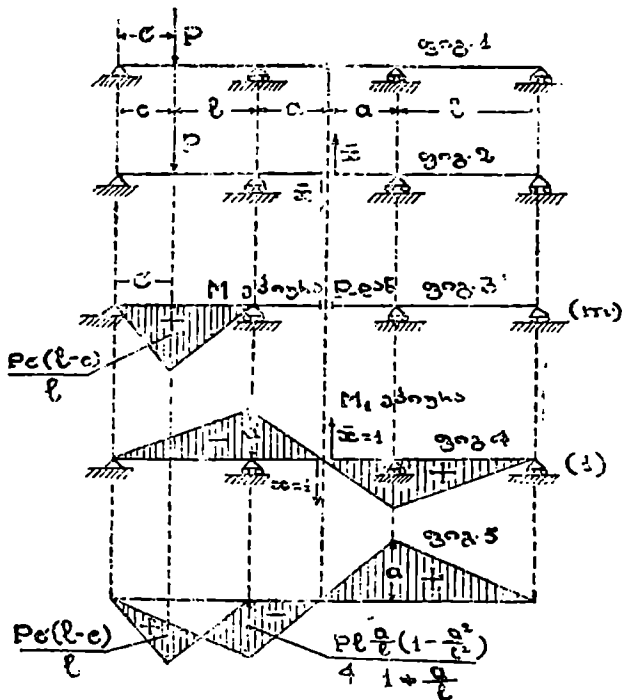
$$\bar{X} = - \frac{\delta_{m1}}{\delta_{11}} \quad (53)$$

(51)-ის და (52)-ის (53)-ში ჩასმით მივიღებთ:

$$\bar{X} = - \frac{Plx}{2l} \left(1 - \frac{x}{l} \right) \left(2 - \frac{x}{l} \right) \quad (54)$$

თუ \bar{X} -ის გამოსახულებაში ჩავსვამთ $P=1$, მაშინ მივიღებთ \bar{X} სიდიდესა და x აბსცისათა შორის დამოკიდებულებას, რომელიც განსაზღვრავს ერთეული ტვირთის მდებარეობას, ე. ი. მივიღებთ გავლენის ხაზის განტოლებას.

2. სამმალიანი კოჭი ერთი სახსრით შუაში (ნახ. 175).



ნახ. 175.

ეს კოჭი სტატიკურად ურკვევადია, რადგან ორი ზედმეტი საყრდენის არსებობით, გვაქვს მხოლოდ ერთი სახსარი. ამიტომ ზედმეტი უცნობის რიცხვი უდრის ერთს.

თუ სახსარზე გავატარებთ კვეთს, მივიღებთ სტატიკურად რკვევად სისტემას, რომელიც შესდგება ორი კონსოლიანი კოქისაგან, თითოეული დაყრდნობილი ორ წერტილზე. ცენტრალური სახსრის მოქმედება შეიცვლება მხოლოდ ვერტიკალური \bar{X} ძალით, რადგან კოქის ნებისმიერ კვეთში მლუნავი ვერტიკალური ძალებით შიგაძალები დაიყვანება ვერტიკალურ (გადაშვრულ) ძალაზე და წვეილ ძალაზე (მლუნავი მომენტზე). სახსარში კი მლუნავი მომენტი ნულს ტოლია.

მე-(18) ზოგადი გამოსახულების გამოყენებით მივიღებთ:

$$\bar{\delta} = \bar{\delta}_{m_1} + \bar{X} \delta_{11} = 0$$

ეს გამოსახულება ნიშნავს, იმას რომ გადაადგილება \bar{X} შიგაძალთა შესაბამისად, ე. ი. ორი კოქის ბოლოების დაცილება ვერტიკალური მიმართულებით P და \bar{X} ძალების ერთობლივი მოქმედებით ნულს უდრის.

აქ

$$\bar{\delta}_{m_1} = \frac{1}{EJ} K_{m_1},$$

სადაც $K_{m_1} = M_m$ და M_1 ეპიურათა კომბინაციაა (ნახ. 175 ფიგ. მე-3 და მე-4). ცხრილის I სვეტის მე-5 სტრიქონის თანახმად გვაქვს;

$$K_{m_1} = -\frac{1}{6} P \frac{c(l-c)}{l} a \left(1 + \frac{c}{l} \right) l = -\frac{1}{6} P l^2 a \frac{c}{l} \left(1 - \frac{c^2}{l^2} \right).$$

აქ c არის M ეპიურის სამკუთხედის წვეროს დაშორება იმ საყრდენ ვერტიკალიდან, რომელსაც M_1 ეპიურაში შეესაბამება 0 ორდინატი. ცხრილში ეს სიდიდე აღნიშნულია x' . შემდეგ გვაქვს, რომ:

$$\bar{\delta}_{11} = \frac{1}{EJ} K_{11},$$

სადაც K_{11} , M_1 -ის კომბინაციაა თავისთავთან. ცხრილის I სვეტის 1 სტრიქონის მიხედვით გვაქვს:

$$K_{11} = \left(\frac{1}{3} a^2 l + \frac{1}{3} a^2 a \right) \cdot 2 = \frac{2}{3} a^2 (l + a),$$

საიდანაც

$$\bar{X} = -\frac{\bar{\delta}_{m_1}}{\bar{\delta}_{11}} = -\frac{K_{m_1}}{K_{11}} = + \frac{1}{4} \frac{P l^2}{a(l+a)} \frac{c}{l} \left(1 - \frac{c^2}{l^2} \right) = + \frac{P}{4} \frac{\frac{c}{l} \left(1 - \frac{c^2}{l^2} \right)}{\frac{a}{l} \left(1 + \frac{a}{l} \right)} \quad (55)$$

მლუნავი მომენტის ეპიურა მიიღება M_m და M_1 ეპიურათა საფუძველზე, რადგან ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის კანონის თანახმად:

$$M = M_m + \bar{X} M_1$$

(55)-ე გამოსახულებიდან განესაზღვროთ \bar{X} , M_1 ეპიურის ორდინატები \bar{X} -ზე რ შევცვალოთ და M_m ეპიურის ორდინატებთან ალგებრულად შევეკრიბოთ. გვაქვს:

$$a \cdot X = \frac{Pl}{4} \cdot \frac{\frac{c}{l} \left(1 - \frac{c^2}{l^2}\right)}{1 + \frac{a}{l}}$$

შემდეგი აგება გასაგებია 175 ე ნახაზიდან (ფიგ. მე-5).

თუ ტვირთი P მდებარეობს მეორე მალზე, მაშინ შეიცვლება მხოლოდ M_m -ის ეპიურა. ის 176-ე ნახაზზე ნაჩვენებ სახეს მიიღებს. მაშინ ახალი M_m ეპიურის კომბინირებით M_1 ეპიურასთან I სვეტის 1-ლ და მე-6 სტრიქონების მიხედვით მივიღებთ:

$$\begin{aligned} K_{m_1} &= + \frac{1}{3} Pca + \frac{1}{6} Pca \frac{c}{a} \left(3 - \frac{c}{a}\right) = \frac{1}{6} Pca \left(2l = 3c - \frac{c^2}{a}\right) = \\ &= \frac{1}{6} Pa^2 \frac{c}{a} \left(2 \frac{l}{a} + 3 \frac{c}{a} - \frac{c^2}{a^2}\right), \end{aligned}$$

საიდანაც

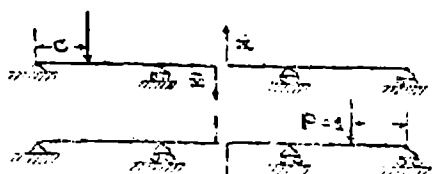
$$\bar{X} = \frac{\bar{e}_{m_1}}{\bar{e}_{11}} = \frac{K_{m_1}}{K_{11}} = \frac{P \frac{c}{a} \left(2 \frac{l}{a} + 3 \frac{c}{a} - \frac{c^2}{a^2}\right)}{4 \left(1 + \frac{l}{a}\right)} \quad (56)$$

თუ (55)-ე და (56) ე გამოსახულებაში ჩავსვათ $P=1$ და c შევცვლით საზღვრებში 0-დან l -მდე (55) ე გამოსახულებაში, ხოლო 0-დან a -მდე (56)-ე გამოსახულებაში, მაშინ მივიღებთ კოქის მარცხენა ნახევრისათვის \bar{X} გავლენის ხაზის განტოლებას.

როდესაც ტვირთი გადაადგილდება კოქის მარჯვენა ნახევარზე, მაშინ სათანადო წერტილებში \bar{X} -ის აბსოლუტური სიდიდით ისეთივე მნიშვნელობებს მივაღებთ,



ნახ. 176.



ნახ. 177.

ღებულთა I ფიგურის სახსრში გავავალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო 180° ით შემობრუნებით.

მ. კ. ს. ზავრიცი. II ნაწ.

178 ე ნახაზზე მოყვანილია აგება კერძო შემთხვევისათვის, როდესაც სა-
მივე მალი ერთმანეთის ტოლია, ე. ი., როდესაც $a = \frac{l}{2}$, მაშინ

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{3} \frac{c}{l} \left(1 + \frac{c^2}{l^2} \right);$$

$$\bar{X}_2 = -\frac{1}{12} \frac{c}{a} \left(4 + 3 \frac{c}{a} - \frac{c^2}{a^2} \right) = \frac{1}{3} \frac{c}{l} \left(2 + 3 \frac{c}{l} - 2 \frac{c^2}{l^2} \right).$$

თუ მოითხოვება რომელიმე ფუნქციისათვის გავლენის ხაზის აგება, მაგა-
ლითად, მლუნავი მომენტისათვის № 2 წერტილში, მაშინ ძალთა ქმედების და-
მოუკიდებლობის კანონის თანახმად შეგვიძლია დავ-
წეროთ:

$$M = M_m + \bar{X} M_1$$

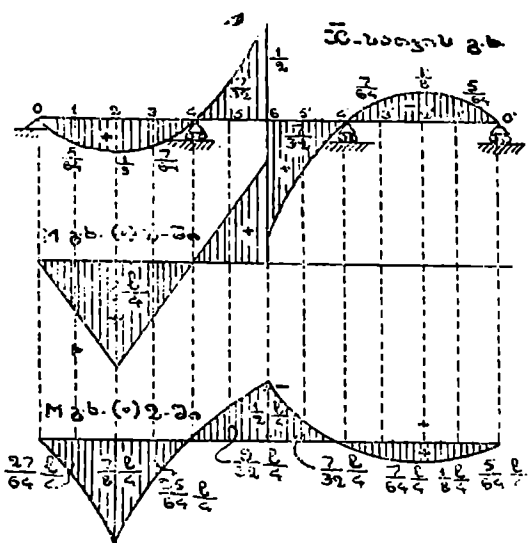
სადაც M_m არის სტატი-
კურად რკვევად კოქსე
ფუნქციის მნიშვნელობა
მოცემული დატვირთვის
მოქმედების შემთხვევაში
(ერთეული ძალის), ხოლო
 M_1 — იგივე მხოლოდ $\bar{X} = 1$
ძალის მოქმედებით. აქ
 M_m წარმოადგენს ერთე-
ული ტვირთის მდებარეო-
ბის ფუნქციას და გრაფი-
კულად გამოისახება მლუნ-
ავი მომენტის გავლენის
ხაზის სახით სტატიკურად
რკვევადი კოქსისათვის № 2
წერტილში.

\bar{X} -იც წარმოადგენს
ერთეული ტვირთის მდ-

ბარეობის ფუნქციას და გრაფიკულად გამოისახება ჩვენს მიერ აგებული გავ-
ლენის ხაზით. M_1 არის 1 ტოლი ძალის მოქმედებით განზღვრული შედეგი,
რომელიც გარკვეული წესით არის მოდებული (ურთიერთმოქმედი ვერტი-
კალური ძალები კონსოლების ბოლოებს შორის) და რომელიც არ არის დამო-
კიდებული გარეძალების მდებარეობისაგან. ეს სიდიდე განიზღვრება უშუალოდ
 M_1 -ის ეპიურიდან, როგორც № 2 წერტილის შესაბამისი ორდინატი. 175-ე

ნახაზიდან ვაკვს: $M_1 = -\frac{a}{2}$ და ჩვენს შემთხვევისათვის, როდესაც $a = \frac{l}{2}$, მაშინ

$M = -\frac{l}{4}$. მაშასადამე: № 2 წერტილში მლუნავი მომენტის გავლენის ხაზის



ნახ. 178.

ასაგებად უნდა ვისარგებლოდ \bar{X} და M_m გავლენის ხაზებით (ნახ. 178), რისთვისაც \bar{X} გავლენის ხაზის ორდინატებს გავამრავლებთ $(-\frac{1}{4})$ სიდიდებზე და მიღებულ ნამრავლს ალგებრულად შევკრებთ შესაბამის M_m გავლენის ხაზის ორდინატებთან. ორდინატების გამოთვლა შესრულებულია ცხრილში, აგება კი 178-ე ნახაზზე.

№ 2 წარტილში M -ის გავლენის ხაზის ორდინატების გამოთვლის ცხრილი (178 ნახაზისათვის).

№№	M_m	X	$M_1\bar{X} = -\frac{1}{4}\bar{X}$	$M = M_m + M_1\bar{X}$
0	0	0	0	0
1	$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4}$	$+\frac{5}{64}$	$-\frac{5}{64} \cdot \frac{1}{4}$	$\frac{27}{64} \cdot \frac{1}{4}$
2	$1 \cdot \frac{1}{4}$	$+\frac{1}{8}$	$-\frac{1}{8} \cdot \frac{1}{4}$	$\frac{7}{8} \cdot \frac{1}{4}$
3	$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4}$	$+\frac{7}{64}$	$-\frac{7}{64} \cdot \frac{1}{4}$	$\frac{25}{64} \cdot \frac{1}{4}$
4	0	0	0	0
5	$-\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4}$	$-\frac{7}{32}$	$+\frac{7}{32} \cdot \frac{1}{4}$	$-\frac{9}{32} \cdot \frac{1}{4}$
6	$\left. \begin{array}{l} -1 \cdot \frac{1}{4} \\ 0 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} -\frac{1}{2} \\ +\frac{1}{2} \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} +\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \\ -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \end{array} \right\}$	$-\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4}$
5'	0	$+\frac{7}{32}$	$-\frac{7}{32} \cdot \frac{1}{4}$	$-\frac{7}{32} \cdot \frac{1}{4}$
4'	0	0	0	0
3'	0	$-\frac{7}{64}$	$+\frac{7}{64} \cdot \frac{1}{4}$	$+\frac{7}{64} \cdot \frac{1}{4}$
2'	0	$-\frac{1}{8}$	$+\frac{1}{8} \cdot \frac{1}{4}$	$+\frac{1}{8} \cdot \frac{1}{4}$
1'	0	$-\frac{5}{64}$	$+\frac{5}{64} \cdot \frac{1}{4}$	$+\frac{5}{64} \cdot \frac{1}{4}$
0'	0	0	0	0

§ 60. მულტიპლიკატიური სტატისტიკური უკავშირის კოეფიციენტის გავლენის ხაზის აგების წესები.

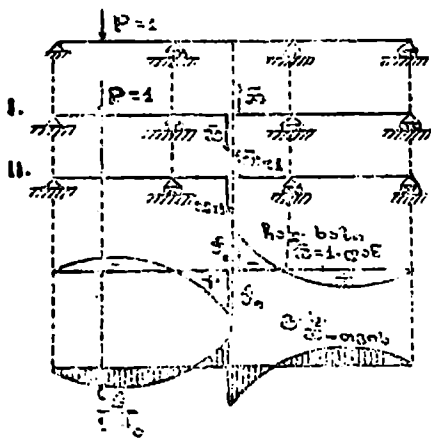
წინა მაგალითებზე ვნახეთ, რომ მას შემდეგ, რაც აიგება ზედმეტი უცნობებისათვის გავლენის ხაზები, დანარჩენ ფუნქციებისათვის გავლენის ხაზებზე

ბის აგება არავითარ სიძნელეს არ წარმოადგენს და შეიძლება მათი შესრულება ზოგადი გამოსახულებით.

$$M = M_m + M_1 X_1 + M_2 X_2 + \dots \quad (57)$$

მაშასადამე, ჩვენ შეგვიძლია დავეყვაროთ ზედმეტი უცნობებისათვის გავლენის ხაზების აგების წესების განმარტებით. ზემოთ § 56-ში განვიხილეთ ურთიერთგადაადგილებათა თეორემის საფუძველზე გავლენის ხაზის აგების გრაფიკული მეთოდი. წინა მაგალითზე ვაჩვენებთ ანალიზური მეთოდი, რომელიც იმაში მდგომარეობდა, რომ c აბსცისით განზღვრულ წერტილში $P=1$ ტვირთის დაყენებით, გამოვყავს ზედმეტი უცნობების, როგორც c სიდიდის ფუნქციის გამოსახულება, რის შემდეგაც ვღებულობთ გავლენის ხაზის განტოლებას. ცხრილებიდან K სიდიდითა გამოყენებით აღვიღებთ ასეთი გამოსახულებათა შედგენა.

შედარების მიზნით მოვიყვანოთ, იგივე კოქისათვის, ურთიერთგადაადგილებათა თეორემის მიხედვით \bar{X} გავლენის ხაზის აგების წესა.



ნახ. 179.

179 ე ნახაზე ნაჩვენებია ნორმული კოქი, რომელზედაც სრულიდ ნებისმიერად დაყენებულია $P=1$ ძალა. შემდეგ ზედმეტი დანაგრება მომორებულია და მისი მოქმედება შეტელილია X ძალებით, მასთან ავ ძალების და მოციმული დატვირთვით გამოწვეული გადაადგილება ნულის ტოლია. ძირითად სტატიკურად რკვევად კოქზე მოქმედი ძალთა ეს სისტემა მივიღოთ I სისტემად, ხოლო II სისტემად $\bar{X}=1$ ძალა. ავგებთ ნაღუნთა მრუდს II ძალთა სისტემის მოქმედებით, რომლისთვისაც ქვედა მიმართულებას ჩავთვლით დადებითად, ზევით კი უარყოფითად.

$P=1$ ძალის მოდების წერტილში ნაღუნის სიდიდეებს აღვნიშნავთ

f_1 -ით \bar{X} ძალის მოდების წერტილში კი f_0 -ით. მაშინ X ძალის მუშაობა II ძალთა სისტემის მოქმედებით გამოწვეულ გადაადგილებაზე იქნება:

$$\bar{X} \cdot f_0 + X |f_0| = 2 \bar{X} |f_0|$$

სადაც $|f_0|$ — ნაღუნის აბსოლუტური სიდიდეა.

$P=1$ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა კი იქნება:

$$1 \cdot f_1$$

სადაც f_1 ნაღუნე შეიძლება იყოს, როგორც დადებითი (მიმართული ქვევით) ისე უარყოფითი (მიმართული ზევით).

საბოლოოდ, ურთიერთგადაადგილებათა პრინციპის შიხედვით გვექნება,

$$f_1 + 2 \bar{x} f_0 = 1.0$$

საძიანაც

$$\bar{x} = - \frac{f_1}{2 f_0}$$

\bar{x} -ის გავლენის ხაზის ასაგებად საჭიროა ნაღუნთა მრუდის ორდინატების $2f_0$ -ზე გაყოფა და ნიშნის შეცვლა.

§ 61. მუდმივკვეთიანი უბარი კოჭები.

§ 56-ში ვიხივეთ, რომ ურთიერთგადაადგილებათა პრინციპის საფუძველზე ვაგებთ გავლენის ხაზების, უკრი კოქის საყრდენი მღუნავი მომენტებისათვის. ასლა ვაჩვენოთ მათთვის გავლენის ხაზის აგების ანალიზური ხერხი. აქ შეიძლება მთლიანად გამოვავყენოთ, ცხრილი K სიდიდეზე დაყრდნობით; ის ზოგადი წესი, რომლითაც აგებული იქნა ერთსახსრიან სამშალიან კოქის ზედმეტ \bar{x} უცნობისათვის გავლენის ხაზები. უკრი კოქებისთვის ზედმეტ უცნობებად ყველაზე უმჯობესია მივიღოთ საყრდენი მომენტები. აქ სამომენტთა თეორემა საშუალებას გვაძლევს დავეწროთ განტოლება ზედმეტ უცნობთა გამოსაანგარიშებლად. ამიტომ უმჯობესია აღნიშნულ განტოლებათა გამოყენება.

სამომენტთა თეორემა დამტკიცებული იყო მასალათა გამძლეობის კურსში. საინტერესოა აქ ვაჩვენოთ, რომ ის შეიძლება მიღებულ იქნას უშუალოდ, როგორც შედეგი ჩვენი საერთო წესის გააოყენების, K სიდიდეთა ცხრილების საფუძველზე.

ვთქვათ მოცემულია ნებისმიერად დატვირთული უკრი კოქი (ნახ. 180). ვაგუკრათ ის საყრდენებზე. მივიღებთ ბოლოებით დაყრდნობილ, სტატიკურად განზღვრულ ერთმალაიან სისტემებს, მათზე უშუალოდ მოდებულ მოქმედი გარეძალებით და წყვილძალებით, რომლებიც ცვლიან უკუგდებულ დამაგრებების მოქმედებებს. n საყრდენზე მოდებული წყვილმომენტის სიდიდე ზოგადი სახით M_n აღვნიშნოთ. ზედმეტი უცნობების, M_n განსაზღვრისათვის განტოლება იმ პირობიდან დაიწერება, რომ თითოეული ასეთი წყვილის შესაბამისი გადაადგილება ეტოლებოდეს ნულს, რადგან ეს წყვილები წარმოადგენენ შინაგან ძალებს — ურთიერთმოქმედ ძალებს ნაგებობის ნაწილებს შორის, და მათ შესაბამებდა ფარდობითი მობრუნების კუთხის გადაადგილება ორ შემზე მუზობელ ძალების კვეთში. დავეწროთ M_n მომენტის შესაბამისი გადაადგილებისათვის ზოგადი გამოსახულება.

მე-(18) ფორმულის საფუძველზე:

$$\begin{aligned} \delta_n = & \delta_{nn} + M_1 \delta_{1n} + M_2 \delta_{2n} + \dots + M_{n-1} \delta_{n-1n} + M_n \delta_{nn} + \\ & + M_{n+1} \delta_{n+1n} + \dots = 0. \end{aligned}$$

ჩასმით

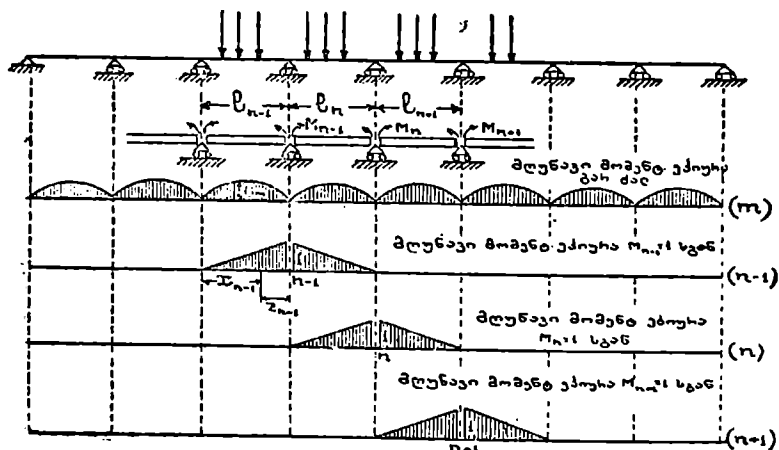
$$\delta_{nn} = \frac{1}{EJ} K_{nn}, \quad \delta_{n-1n} = \frac{1}{EJ} K_{n-1n} \text{ და ა. შ.}$$

მიტილებთ

$$K_{nn} + M_1 K_{1n} + M_2 K_{2n} + \dots + M_{n-1} K_{n-1n} + M_n K_{nn} + M_{n+1} K_{n+1n} + \dots = 0 \quad (58)$$

აქ $K_{nn} = \int M_n M_n dx$ გარედაღების მიერ გამოწვეული და $M_n = 1$ მლუ.

ნავ მომენტთა ეპიურების კომბინაციაა. ასევე $K_{1n} = \int M_1 M_n dx$ კომბინაციაა $M_1 = 1$ და $M_n = 1$ მლუნავი მომენტების ეპიურების და ა. შ.



ნახ. 180.

ზღუნავი მომენტების ეპიურა $M_n = 1$ წყვილის მოქმედებისგან წარმოადგენს ორ სწორკუთხოვან სამკუთხედს წვეროებით n საყრდენების პირდაპირ (იხ. ნახ. 180). სწორედ ასევე მლუნავი მომენტების ეპიურები, ნებისმიერ რომელიმე ერთეული წყვილების: $M_1 = 1$, $M_2 = 1$, $M_{n-1} = 1$, $M_{n+1} = 1$, ... მოქმედებისგან წარმოადგენენ ორ სწორკუთხოვან სამკუთხედს წვეროებით, შესაბამისი საყრდენების პირდაპირ.

ყველა ეპიურის $M_n = 1$ ეპიურასთან კომბინაციით შევნიშნავთ, რომ მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც n და $n + 1$ მალში ეპიურას აქვს ნული-საგან განსხვავებული უბნები, მაშინ ეს კომბინაცია მიიღება ნულის ირა ტოლი სიდიდის. დანარჩენი კომბინაციები იქნებიან ნულის ტოლი, რადგან დანარჩენი სიგრძეზე ინტეგრალში $\int M M_n dx$ გვაქვს $M_n = 0$. M_{n-1} ეპიურა იკავებს $n - 1$ და n მალებს, M_{n+1} ეპიურა კი $n + 1$ და $n + 2$ მალებს. დანარჩენი ეპიურები საყრდენი ერთეული წყვილებისაგან იკავებენ შემდეგ მალებს, ამიტომ მათი კომბინაციები M_n ეპიურასთან უდრის ნულს. ამნაირად გვრჩება

(58) ე ტოლობის შემდეგი კოეფიციენტები, რომლებიც ნულს არ უდრიან:

$$K_{mn}; K_{n-1,n}; K_{n,n}; K_{n+1,n}$$

გამოვიყვანოთ მათი, გამოსახულებანი.

ნებისმიერი მალის წერტილის დაშორება მალის მარცხენა ბოლოდან აღენიშნოს x -ით, მარჯვენა ბოლოდან კი z . მათ ნიშნებს დაუსვამთ შესაბამისად მალეების რიგითი ნომრების მიხედვით.

მაშინ

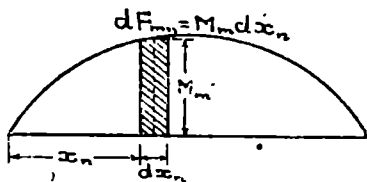
$$\begin{aligned} K_{mn} &= \int M_m M dx = \int_0^{l_n} M_n \frac{1 \cdot x_n}{l_n} dx_n + \int_0^{l_{n+1}} M_n \frac{1 \cdot z_{n+1}}{l_{n+1}} dz_{n+1} = \\ &= \frac{1}{l_n} S_n + \frac{1}{l_{n+1}} S'_{n+1} \end{aligned} \quad (59)$$

აქ $S_n = \int_0^{l_n} M_m x_n dx_n = \int_0^{l_n} x_n (M_m dx_n) = \int_0^{l_n} x_n dF_{mn}$ და არის ფიგურის სტატი-

კური მომენტი, გამოსახული M_m მღუნავი მომენტის ეპიურით l_n მალზე, ვერტიკალის მიმართ, რომელიც გატარებულია ამ მალის მარცხენა საყრდენზე (ნახ. 181).

სწორედ ასევე

$$\begin{aligned} S'_{n+1} &= \int_0^{l_{n+1}} M_m z_{n+1} dz_{n+1} = \\ &= \int_0^{l_{n+1}} z_{n+1} (M_m dz_{n+1}) = \\ &= \int_0^{l_{n+1}} z_{n+1} dF_{m,n+1} \end{aligned}$$



ნახ. 181.

არის M_m ეპიურის სტატიკური მომენტი $n+1$ მალზე, ამ მალის მარჯვენა საყრდენი ვერტიკალის მიმართ. K ცხრილების ძალით გვაქვს:

$$K_{n-1,n} = \frac{1}{6} l_n \quad (60)$$

$$K_{n,n} = \frac{1}{3} l_n + \frac{1}{3} l_{n+1} = \frac{1}{3} (l_n + l_{n+1}) \quad (61)$$

$$K_{n,n+1} = \frac{1}{6} l_{n+1} \quad (62)$$

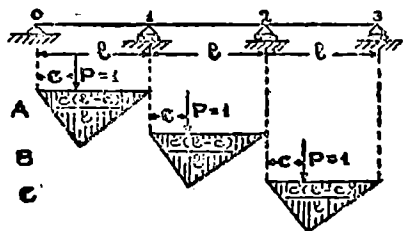
(54), (60), (61). (62) გამოსახულებების ჩასმით (58)-ე განტოლებაში, მივიღებთ:

$$\frac{1}{l_n} S_n + \frac{1}{l_{n+1}} S_{n+1} + M_{n-1} \frac{l_n}{6} + M_n \frac{l_n + l_{n+1}}{3} + M_{n+1} \frac{l_{n+1}}{6} = 0,$$

საიდანაც

$$M_{n-1} l_n + 2 M_n (l_n + l_{n+1}) + M_{n+1} l_{n+1} = -6 \left(\frac{S_n}{l_n} + \frac{S_{n+1}}{l_{n+1}} \right) \quad (63)$$

ეს კი არის ცნობილი სახის სამშომენტო განტოლება.



ნახ. 181¹.

მაგალითის: სახით გამოვეყენოთ სამშომენტო განტოლება ვავლენის ხაზის ავეპისათვის. ავიღოთ l -ის ტოლი მალეებით სამ-მალეიანი კოეფიციენტი (ნახ. 181¹). მოვითავსოთ პირველად $P=1$ ძალა პირველ მალზე, რომლის მოდების წერტილს განვისაზღვრავთ ცვალე-ბადი c სიდიდით. M_n მლუნავი მომენტის ეპიურა ასეთ შემთხვევისათვის წარმოადგენილია A ფი-

გურაზე. ჯერ დავწეროთ სამშომენტო განტოლება № 1 და № 2 მალეებისათვის, შემდეგ კი № 2 და № 3 მალეებისათვის. მაშინ

$$0 \cdot l + 2 M_1 \cdot 2l + M_2 l = -6 \frac{1}{2} \frac{c(l-c)}{l} \frac{1}{3} \frac{l+c}{l};$$

$$M_1 l + 2 M_2 \cdot 2l + 0 \cdot l = 0$$

საიდანაც

$$4 M_1 + M_2 = -1 \cdot l \frac{c}{l} \left(1 - \frac{c^2}{l^2} \right)$$

$$M_1 + 4 M_2 = 0.$$

ამოხსნით მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= -\frac{4}{15} l \frac{c}{l} \left(1 - \frac{c^2}{l^2} \right) \\ M_2 &= +\frac{1}{15} l \frac{c}{l} \left(1 - \frac{c^2}{l^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (64)$$

ერთეული ძალა მოვითავსოთ მეორე მალზე, მაშინ

$$0 \cdot l + 2 M_1 \cdot 2l + M_2 \cdot l = -6 \frac{1}{2} \frac{c(l-c)}{l} \frac{1}{3} \frac{(l+l-c)}{l}$$

$$M_1 \cdot l + 2M_2 \cdot 2l + 0 \cdot l = -6 \cdot \frac{1}{2} \frac{c(l-c)}{l} \frac{1}{3} \frac{l-c}{l}$$

საიდანაც

$$4M_1 + M_2 = -l \cdot \frac{c}{l} \left(1 - \frac{c}{l}\right) \left(2 - \frac{c}{l}\right);$$

$$M_1 + 4M_2 = -l \cdot \frac{c}{l} \left(1 - \frac{c^2}{l^2}\right).$$

ამოხსნით მივიღებთ:

$$M_1 = -\frac{1}{15} l \frac{c}{l} \left(1 - \frac{c}{l}\right) \left(7 - 5\frac{c}{l}\right) \left\{ \right.$$

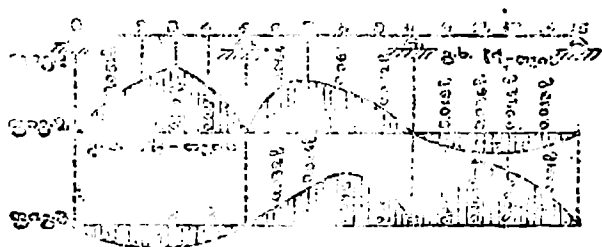
$$M_2 = -\frac{1}{15} l \frac{c}{l} \left(1 - \frac{c}{l}\right) \left(2 - 5\frac{c}{l}\right) \left. \right\}$$

(65)

ორდესაც ერთეული ძალა მესამე მალზეა, მაშინ:

$$0 \cdot l + 2M_1 \cdot 2l + M_2 \cdot l = 0$$

$$M_1 l + 2M_2 \cdot 2l + 0 \cdot l = -6 \cdot \frac{1}{2} \frac{c(l-c)}{l} \frac{1}{3} \frac{(l+l-c)}{l}$$



152.

საიდანაც

$$4M_1 + M_2 = 0$$

$$M_1 + 4M_2 = -l \cdot \frac{c}{l} \left(1 - \frac{c}{l}\right) \left(2 - \frac{c}{l}\right)$$

ამოხსნით მივიღებთ:

$$M_1 = +\frac{1}{15} l \frac{c}{l} \left(1 - \frac{c}{l}\right) \left(2 - \frac{c}{l}\right) \left\{ \right.$$

$$M_2 = -\frac{4}{15} l \frac{c}{l} \left(1 - \frac{c}{l}\right) \left(2 - \frac{c}{l}\right) \left. \right\}$$

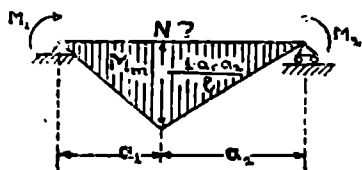
(66)

შეიძლება, ერთეული ტვირთის ჩებისმიერი მდებარეობისათვის მივიღო. M_1 და M_2 გამოსახულება, როგორც ტვირთის მდებარეობის განმსაზღვრელი აბსცისის ფუნქცია. ეს გამოსახულებანი წარმოადგენენ გველენის ხაზის განტოლებებს. გველენის ხაზების აგებისათვის გამოეთვალათ ორდინატები განსაზღვრულ წერტილებში. გამოთვლები მოყვანილია ცხრილში. აგება შესრულებულია 182-ე ნახაზზე.

M_1 და M_2 გველენის ხაზების ორდინატების გამოთვლის ცხრილი

პირველი მალი				მეორე მალი				მესამე მალი			
წერტილი	$\frac{c}{l}$	M_1	M_2	წერტილი	$\frac{c}{l}$	M_1	M_2	წერტილი	$\frac{c}{l}$	M_1	M_2
0	0	0	0	5	0	0	0	10	0	0	0
1	0,2	-0,0517	+0,0137	6	0,2	-0,0647	-0,0327	11	0,2	+0,0197	-0,0777
2	0,4	-0,0907	+0,0227	7	0,4	-0,0807	-0,0647	12	0,4	+0,0267	-0,1027
3	0,6	-0,1027	+0,0267	8	0,6	-0,0647	-0,0807	13	0,6	+0,0227	-0,0907
4	0,8	-0,0777	+0,0197	9	0,8	-0,0327	-0,0647	14	0,8	+0,0197	-0,0517
5	1,0	0	0	10	1,0	0	0	15	1,0	0	0

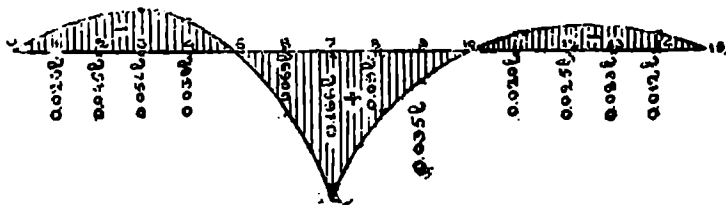
მას შემდეგ რაც რომ აგებული იქნება გველენის ხაზები ხედმეტი M_1 და M_2 უცნობებისათვის, შეგვიძლია შეუდგეთ სხვა ფუნქციების გველენის ხაზების აგებას, რომლებიც წინასწარ უნდა გამოვსახოთ M_1 და M_2 საშუალებით.



ნახ. 183.

აეგათ, მაგალითისათვის, № 7 კვეთში მღუნავი მომენტის გველენის ხაზები. 183-ე ნახაზიდან ცხადია, რომ ერთეული ტვირთის ნებისმიერი დაყენების შემთხვევას შეესაბამება:

$$M_7 = M_m + M_1 \frac{a_2}{l} + M_2 \frac{a_1}{l}$$



ნახ. 184.

სადაც M_m არის საძიებელი მღუნავი მომენტის გველენის ხაზის ორდინატი. ზედმეტი დამატების მოლინად მოშორების წარმოადგენით, ე. ი. გველენის

ხაზი აგებულია ბოლოებით დაყრდნობილ უბრალო კოქისათვის. № 7 კვეთისათვის გვაქვს:

$$\frac{a_2}{l} = 0,6; \quad \frac{a_1}{l} = 0,4$$

$$M_1 = M_m + 0,6 M_1 + 0,4 M_2.$$

გავლენის ხაზის გამოთვლის შედეგები მოყვანილია ცხრილში. აგება კი 184-ე ნახაზზე.

წიბო. №	M_m	$0,6M_1$	$0,4M_2$	$M_1 = M_m +$ $+ 0,6 M_1 +$ $+ 0,4 M_2$	წიბო. №	M_m	$0,6M_1$	$0,4M_2$	$M_1 = M_m +$ $+ 0,6 M_1 +$ $+ 0,4 M_2$
0	0	0	0	0	8	0,167	-0,0387	-0,0327	+0,0907
1	0	-0,0317	+0,0057	-0,0267	9	0,097	-0,0197	-0,0267	+0,0357
2	0	-0,0547	+0,0097	-0,0457	10	0	0	0	0
3	0	-0,0617	+0,0107	-0,0517	11	0	+0,0117	-0,0317	-0,0207
4	0	-0,0467	+0,0087	-0,0387	12	0	+0,0167	-0,0417	-0,0257
5	0	0	0	0	13	0	+0,0137	-0,0367	-0,0237
6	0,127	-0,0387	-0,0137	+0,0697	14	0	+0,0097	-0,0207	-0,0127
7	0,247	-0,0487	-0,0267	+0,1667	15	0	0	0	0

როდესაც მოითხოვება სტატიკურად ურკვევადი კოქის მთელ რიგ კვეთებისათვის მლუნავი მომენტების გავლენის ხაზების აგება, რეკომენდირებულია, წინასწარ მლუნავი მომენტის ეპიურის აგება ერთეული ძალის სხვადასხვა მდებარეობისათვის კოქის მთელ სიგრძეზე. ასეთი ეპიურების აგება, მას შემდეგ, რაც რომ ცნობილია საყრდენი მომენტები, მეტად მარტივად სრულდება დამატებითი მოქმედებების გარეშე. საჭიროა მხოლოდ უბრალო კოქისათვის მლუნავი მომენტების აგება და საყრდენი მომენტების ხაზების დატანა. აგება მოყვანილია 185-ე ნახაზზე.

როდესაც $P=1$ ტვართი მოთავსებულია № 1 წერტილზე, მაშინ გაკრილი კოქის მლუნავი მომენტის ეპიურა წარმოადგენს სამკუთხედს, წვეროთი ამ წერტილის ქვემოთ, შემდეგი სიმაღლით:

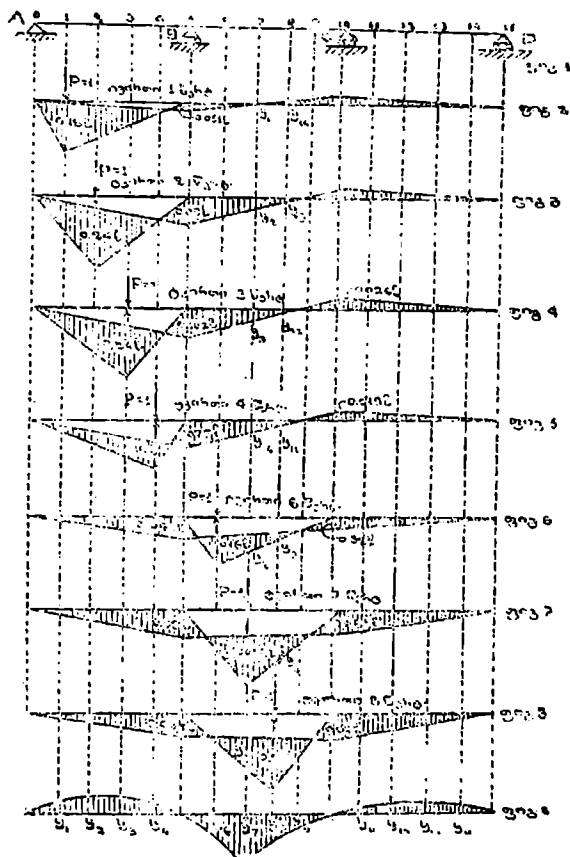
$$m = \frac{1 \cdot c(l-c)}{l} = 1 \cdot l \frac{c}{l} \left(1 - \frac{c}{l} \right) = 0,2 \cdot 0,8 \cdot l = 0,16l.$$

M_1 და M_2 მნიშვნელობებს ვღებულობთ გავლენის ხაზის ორდინატების ცხრილიდან, სადაც № 1 წერტილის შესაბამისად მივიღებთ:

$$M_1 = -0,051l, \quad M_2 = +0,013l,$$

აღაგებთ 0,16/ სიმაღლის სამკუთხედს, გაავტარებთ საყრდენი მომენტების ხაზებს—0,051 l და +0,013l ორდინატებით საყრდენების ზემოთ მოზომილი შესაბამის მხარეს (უარყოფითი ორდინატი დადებით მხარეს და პირიქით), რის შემდეგაც მივალვით წახაზულ ეპიურას. სწორედ ასევე № 2 წერტილში ერთეული ტვირთის მდებარეობისათვის გაქვს:

$$m = 0,4 \cdot 0,6l = 0,24, \quad M_1 = -0,090l, \quad M_2 = +0,022l \text{ და ა.შ.}$$



ნახ. 185.

ასეთნაირად ავაგებთ ეპიურებს ჩვენს მიერ შერჩეულ ერთეული ტვირთის მდებარეობისათვის. ეს ეპიურები იძლევიან ყველა მონაცემს ნებისმიერ კვეთში მდუნაევი მომენტის გავლენის ხაზის აგებისათვის. მაგ; № 7 კვე-

თისათვის გვაქვს: № 1 წერტილში M_7 -ის გავლენის ხაზას y_1 ორდინატს შეესაბამება № 7 კვეთში მდუნაევი მომენტის მნიშვნელობა ერთეული ტვირთის № 1 წერტილში მდებარეობის დროს. ამ მნიშვნელობას ვდებულობთ № 1 ეპიუროდან № 7 წერტილის ქვემოთ. სწორედ ასევე y_2 მიიღება № 2 ეპიურიდან № 7 წერტილის ქვემოთ, როგორც მდუნაევი მომენტის მნიშვნელობა № 7 კვეთში ერთეული ტვირთის № 2 წერტილში მდებარეობის დროს და ა. შ. ამნაირად ჩვენ მივიღებართ y_7 -მდე. რაც შეეხება № 7 ეპიურას, ადვილად შევაძინებთ ნახაზიდან, სიმეტრიულობის გამო წარმოადგენს № 6 ეპიურას ნობრუნებულს 180° -ით ვერტიკალური ღერძის გარშემო და y_7 № 7 ეპიურასე წარმოადგენს № 6 ეპიურის y_7 ორდინატს, რამელიც შეესაბამება № 8 წერტილს და წარმოადგენს № 7 წერტილის სარკისებურ გამოახულებას. მანასადამე, ეპიურის შემდგომი აგება მოითხოვება მხოლოდ არა სიმეტრიულ კოქისათვის, სიმეტრიულიათვის ვსარგებლობთ ზემოთ აგებულ ეპიურებით, მათი 180° -ით მობრუნების გულეებით ვერტიკალური ღერძის გარშემო, ე. ი. ამ შემთხვევაში ორდინატებს აღვნიშნავთ № 8 წერტილის ქვემოთ.

ანეინაირად ვაზომოდ ყველა ორდინატს მოვწოდებთ შეაბამის წერტილებში, რის შემდეგ ვდებულობთ გავლენის ხაზებს № 7-სათვის (ნახ. 185. თიგურა მუ-9). განხილულ წესს ის უპირატესობა აქვს, რომ ირ საეპიურებს დამატებით გამოთვლებს. ყველა აგებანი, მას შეიძლება, რაც განისაზღვრება საყრდენი მომენტებისათვის გავლენის ხაზის ორდინატები, შეიძლება შესრულებულ იქნას გრაფიკულად.

გადამჭრელი ძალისა და საყრდენი რეაქციების გავლენის ხაზის იგებისათვის 183-ე ნახაზის მიხედვით გვაქვს შემდეგი გამოსახულება:

ვადამჭრელ ძალისათვის

$$Q_7 = Q_0 - \frac{M_1}{l} + \frac{M_2}{l} \quad (67)$$

საყრდენი რეაქციებისათვის:

$$\left. \begin{aligned} A_7 &= A_{m1} + \frac{M_1}{l} \\ B_0 &= B_{m1} + B_{m2} - \frac{M_1}{l} - \frac{M_2}{l} + \frac{M_2}{l} \end{aligned} \right\} \quad (68)$$

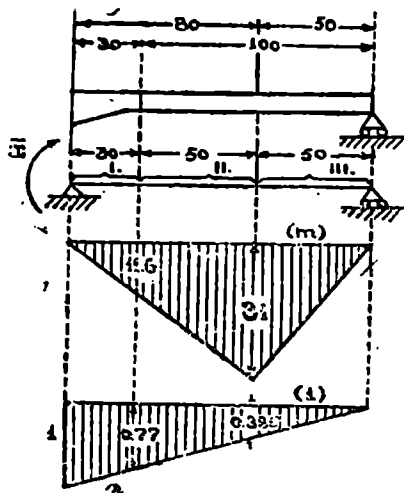
სადაც Q_0 — გადამჭრელი ძალა უბრალო კოქისათვის, A_{m1} და B_{m1} უბრალო კოქის პირველი მალის საყრდენი რეაქციებია, B_{m2} იგივე, მეორე მალისათვის.

§ 82. ცვლადკვამთიანი სტატიკულად უკვამავლი კოქები

ცვლადკვითიანი კოქები ანგარიშის მიხედვით, მუდმივკვითიან კოქებისაგან იმით განსხვავდებიან, რომ აქ ინერციის J მომენტი არ წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს და მისი ინტეგრალის ნიშნის გარეთ გამოტანა არ შეიძლება.

ამის გამო δ გადაადგილება უფრო ზოგადი სახით გამოისახება:

$$\delta = \frac{1}{E} \int \frac{M \cdot M_1 dx}{J}$$



ნახ. 186.

და ზემოთყვანილი K სიდიდის ცხრილი არ გამოდგება. ამიტომ დამოუკიდებლად უნდა შევესრულოთ ინტეგრირება*. იმ შემთხვევაში, როდესაც გვაქვს მუდმივკვეთიანი უბნები, მაშინ შეიძლება მათი გამოყოფა და K ცხრილების გამოყენება. დანარჩენი გაანგარიშება არავითარ სიძნელეს არ წარმოადგენს.

ვაჩვენოთ ანგარიშის წესი უბრალო მაგალითზე (ნახ. 186).

მოცემულია ერთი ბოლოთი ჩამაგრებული და მეორე ბოლოთი დაყრდნობილი კოჭი. პირველი უბნის სიგრძეზე ინერციის მოშენტი იცვლება სწორხაზის კანონით, ხოლო II და III უბნების სიგრძეზე—მუდმივია. ზედმეტი დამაგრების მოშორებით და მისი შოკმედების სათანადო ძალით შეცვლით მივიღებთ:

$$\delta = \delta_{m1} + \bar{X} \delta_{11} = 0;$$

სადაც

$$\delta_{m1} = \int_0^{130} \frac{M_m M_1 dx}{EJ} = \frac{1}{E} \int_0^{130} \frac{M_m M_1 dx}{J};$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{E} \int_0^{130} \frac{M_1^2 dx}{J},$$

საიდანაც

$$\bar{X} = - \frac{\int_0^{130} \frac{M_m M_1 dx}{J}}{\int_0^{130} \frac{M_1^2 dx}{J}}$$

* გერმანიის ბეტონის კავშირის „რკინა-ბეტონის ნაგებობათა სტატიკაში“ მოყვანილია ინტეგრალთა ცხრილები ცვლადკვეთიანი კოჭის სხვადასხვა შემთხვევისათვის (1928 წ. გვ. 56, 58).

აქ II და III უბნების სიგრძეზე გვექნება:

$$J_c = \text{const.}$$

I უბნის სიგრძეზე

$$\frac{J_c}{j} = 4 - \frac{x}{10},$$

საიდანაც

$$j = \frac{J_c}{4 - \frac{x}{10}}.$$

ამ მონაცემების და აგებული (m) და (l) ეპიურების საფუძველზე გვაქვს:

$$\int_0^{30} \frac{M_m M_l dx}{J} = \int_0^{30} \frac{\frac{31}{80} x \left(1 - \frac{x}{130}\right) dx \left(4 - \frac{x}{10}\right)}{J_c} + \frac{1}{J_c} K_{m, l}^{II, III}$$

$$\int_0^{30} \frac{M_l^2 dx}{J} = \int_0^{30} \frac{\left(1 - \frac{x}{130}\right)^2 dx \left(4 - \frac{x}{10}\right)}{J_c} + \frac{1}{J_c} K_{II}^{III}$$

გამოვითვალოთ თითოეული შესაქრები ცალ-ცალკე

$$\int_0^{30} \frac{31}{80} \frac{1}{J_c} x \left(1 - \frac{x}{130}\right) \left(4 - \frac{x}{10}\right) dx = \frac{31}{80 J_c} 777 = \frac{307}{J_c}$$

K სიდიდის ცხრილის III სვეტის მე-3 სტრიქონის და I სვეტის 1 სტრიქონის საფუძველზე, გვაქვს:

$$K_{m, l}^{II, III} = \frac{1}{6} [11,6 (2 \cdot 0,77 + 0,385) + 31 (0,77 + 0,385 \cdot 2)] 50 + \\ + \frac{1}{3} 31 \cdot 0,385 \cdot 50 = 583 + 199 = 782.$$

$$\int_0^{30} \frac{\left(1 - \frac{x}{130}\right)^2 \left(4 - \frac{x}{10}\right) dx}{J_c} = \frac{62,3}{J_c}$$

K სიდიდის ცხრილის II სვეტის I სტრიქონის და I სვეტის 1 სტრიქონის საფუძველზე გვაქვს

$$K_{II}^{III} = \frac{1}{6} [0,77 (2 \cdot 0,77 + 0,385) + 0,385 (0,77 + 0,385 \cdot 2)] 50 + \\ + \frac{1}{3} 0,385^2 \cdot 50 = 17,3 + 2,5 = 19,8.$$

ჩახშით მივიღებთ:

$$\int_0^{130} \frac{M - M_1 dx}{J} = \frac{1}{J_c} (300 + 782) = \frac{1082}{J_c}.$$

$$\int_0^{130} \frac{M_1^2 dx}{J} = \frac{1}{J_c} (62,3 + 19,8) = \frac{82,1}{J_c},$$

$$\chi = -\frac{1082}{82,1} = -13,2.$$

თუ მოითხოვება χ გავლენის ხაზის აგება, მაშინ ასეთი გამოთვლები უნდა ჩავატაროთ ერთეული ტვირთის სხვადასხვა მდებარეობისათვის რომლის შედეგად მივიღებთ გავლენის ხაზის ორდინატებს.

როგორც მუდმივ, ისე ცვლადი კვეთიანი უკრი კოქების ანგარიშის გააღვილების მიზნით, რეკონსტრუირებულია ცხრილების ხმაარება, რომლებიც მოთავსებულია ცნობარებში.

§ 63. სტატიკურად შრკვევადი კონსტრუქციის კვეთების შერჩევა

როგორც ცნობილია, სტატიკურად შრკვევადი ნაგებობის ანგარიშის დროს წინასწარ ენიშნავეთ კვეთის ზომებს და შემდეგ ვამოწმებთ. ეს იწვევს მნიშვნელოვან სიძნელეს. მაგრამ მდგომარეობა იმით აღვივლებთ, რომ საკმარისია ვიცოდეთ კვეთების არა აბსოლუტური განზომილებები, არამედ მათი შეფარდებანი.

ზეგალითად, მუდმივი კვეთის კოქისათვის ინერციის მომენტი, როგორც მუდმივი სიდიდე გამოდის ინტეგრალის ნიშნის გარეთ, იკვეთება და განტოლებებში არ მონაწილეობს.

წინა ზეგალითში ჩვენ დავსახეთ ცვლადკვეთიან კოქისათვის $\frac{J_c}{J}$ შეფარდების ფორმა, რის შედეგადაც J_c სიდიდე განტოლებიდან ამოვარდა.

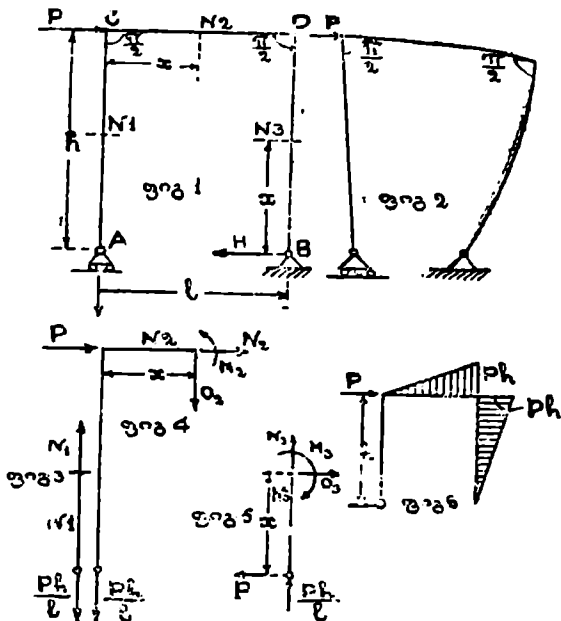
რადგან ჩვეულებრივ სტატიკურად განუზღვრელი კოქი მიიღება ხან მუდმივი კვეთის, ხან ინერციის მომენტთა შეფარდებით განხორციელებული ფორმით, მათი ანგარიშით ჩვენ ვღებულობთ მონაცემებს კვეთების შერჩევისათვის, რომელიც დამოკიდებულია კვეთის აბსოლუტური ზომებისაგან, რის გამოც ჩატარებული ანგარიში წარმოადგენს საბოლოოს.

§ 64. სტატიკურად შრკვევადი ჩარჩოები

გავხსენათ, რომ სწორ ღეროთა ბოლოების ერთმანეთთან სახსრებით შეერთებისას მივიღებთ ფრკას — ნაკვობას, რომელზედაც, კვანძებზე, მოდებული ძალების მოქმედებით ყველა ელემენტი იმუშავებს მხოლოდ გაქანებაზე და კუმ-

შვაზე. ამავე დროს ასეთი ნაგებობის გეომეტრიულად უცვლადობა ხასიათდება საჭირო ღეროთა განსაზღვრული რიცხვით. ჩარჩოებში ღეროები უერთდებიან ერთმანეთს ხისტად, ე. ი. ისე, რომ ელემენტთა შორის მდებარე კუთხეები ინარჩუნებენ მუდმივ სიდიდეს. მაგალითად, 187-ე ნახაზზე AC , CD , DB ღეროებმა შეიძლება მოდებული ძალთა მოქმედებით განიცადონ დეფორმაციები, მაგრამ მათ შორის კუთხეები სწორი რჩებიან (187 ნახ. ფიგ. მე-2)

ამ წესით ელემენტთა შეერთებით სავსებით უზრუნველყოფილია ჩარჩოს გეომეტრიული უცვლადობა. მიშასადამე, ჩარჩო აღვიღს უთმობს ფერმას იმ



ნახ. 187.

მხრივ, რომ ჩარჩოს ელემენტები მუშაობენ არა მარტო ღერძულ ძალებზე, არამედ ღუნვაზედაც, იმ უპირატესობითაც, რომ მისი გეომეტრიულად უცვლადობა არ არის დამოკიდებული ღეროთა რიცხვისაგან. ამიტომ აქ დაინიშნება უმცირესი ღეროთა რაოდენობა. 187-ე ნახაზზე წარმოდგეილია სტატიკურად რკვევადი ჩარჩო. საყრდენი რეაქციები განიზღვრებიან უბრალოდ, სტატიკის განტოლებათა საფუძველზე:

$$H = P; \quad B = P \frac{h}{l}; \quad A = -\frac{Ph}{l} \quad (69)$$

ასევე ადვილად განიზღვრება შიგა ძალებიც. მაგალითად, A -ს ღეროს ნებისმიერ № 1 კვეთში ძალვის განსაზღვრისათვის გავჭრით მას აღნიშნულ ადგილას, მოვაშორებთ ყველა ნაწილს № 1 კვეთიდან B წერტილამდე და მის მოქმედებას დარჩენილ ნაწილზე შევცვალოთ ძალებით, რომლებმაც უნდა გა-

აწონასწორონ ამ უკანასკნელზე მოდებული გარეძალები, ე. ი. ძალა $\frac{Ph}{l}$ (ფიგ. მე-3). ამისათვის № 1 კვეთში საკიროა მოვლათ გარეთ მიმართული გრძივი $N_1 = P \frac{h}{l}$ ძალა. მაშასადამე, AC ნებისმიერ კვეთში გვაქვს მხოლოდ გამჭიმავი N_1 ძალა. განვიხილოთ CD ღერო, გავკრათ ის x აბსცისით განზღვრულ ნებისმიერ ადგილას (№ 2) და მოვაშოროთ ყველა მარჯვენა ნაწილი. მოშორებულ ნაწილის მოქმედებას მარცხენა ნაწილზე შეეცვლით ძალებით, რომლებმაც უნდა გააწონასწორონ დარჩენილ ნაწილზე მოდებული გარეძალები. ზოგად შემთხვევაში შიგაძალები განიზღვრებიან სამი სიდიდით: N_2 , Q_2 და M_2 . სტატიკის პირობიდან გვაქვს:

$$N_2 = -P \quad (\text{შემკუმშავი ძალა})$$

$$Q_2 = -P \frac{h}{l} \quad (\text{გადამკრელი ძალა})$$

$$M_2 = -\frac{Ph}{l}x \quad (\text{მლუნავი მომენტი})$$

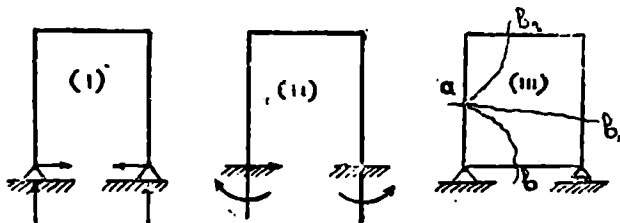
ბოლოს, № 3 კვეთისათვის გვაქვს:

$$N_3 = -P \frac{h}{l} \quad (\text{შემკუმშავი ძალა})$$

$$Q_3 = P \quad (\text{გადამკრელი ძალა})$$

$$M_3 = -Px \quad (\text{მლუნავი მომენტი})$$

ამნიჩად თითოეული ღერო გრძივი ძალის მოქმედებას განიცდის, ხოლო CD და DB ღეროები, გარდა აღნიშნულისა, მლუნავი მომენტისა და გადამკრელი ძალის მოქმედებას. მლუნავი მომენტის ეპიურა წარმოდგენილია 187-ე ნახ. მე-6 ფიგურაზე.



ნახ. 188.

188-ე ნახაზზე წარმოდგენილია სტატიკურად ურკვევადი ჩარჩოების მაგალითები. I და II ჩარჩოები საყრდენი რეაქციების მიმართ სტატიკურად ურკვევადია. I ჩარჩოს აქვს ერთი ზედმეტი უცნობი, ხოლო II-ს სამი ზედმეტი უცნობი. III ჩარჩო საყრდენ რეაქციების მიხედვით სტატიკურად რკვევადია.

მაგრამ შინაგანად სტატიკურად ურკვევადი, რადგან მას აქვს ჩაკეტილი კონტური. თუ საჭიროა რომელიმე ნაწილის გამოყოფა, მაშინ ჩარჩოს გაუქმით ორ ადგილას (კვეთი ab). თითოეულ კვეთში გვაქვს შიგაძალთა განმსაზღვრელი სამი უცნობი (N , Q და M). მაშასადამე, სულ 6 უცნობი, რომელთაგან 3 უცნობი ზედმეტია. ერთი რომელიმე კვეთისათვის ზედმეტად შეიძლება მივიღოთ N , Q და M მნიშვნელობები (მაგ. a). თუ მოითხოვება შიგაძალთა გასაზღვრა სხვა რომელიმე კვეთში (b , b_1 , b_2), მაშინ უნდა გაეყვანოთ კვეთი a -ზე და შესაბამისად b , b_1 და b_2 -ზე. მაშინ სტატიკის სამი განტოლებით განიზღვრება N , Q და M მნიშვნელობები b , b_1 და b_2 კვეთებში, ზედმეტ უცნობთა მიხედვით.

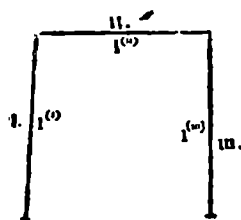
ზედმეტ უცნობთა განსაზღვრისათვის გვაქვს შემდეგი ზოგადი გამოსახულებანი:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{m_1} + \bar{X}_1 \delta_{11} + \bar{X}_2 \delta_{21} + \dots &= 0 \\ \delta_{m_2} + \bar{X}_1 \delta_{12} + \bar{X}_2 \delta_{22} + \dots &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

δ_{m_1} , δ_{m_2} , δ_{11} , δ_{12} , δ_{21} , δ_{22} , ... მნიშვნელობების განსაზღვრა შეიძლება ზოგადი მეთოდით. აქ საქმე გვაქვს ლუნვის, გრძივი ძალებისა და ძვრის ერთობლივად მოქმედების რთულ შემთხვევასთან.

ცნობილია, რომ ძვრის გავლენა დეფორმაციის სიდიდებზე უმნიშვნელოა და ამის გამო ის შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ. ჩარჩოების ანგარიშის პრაქტიკამ დაგვანახა, რომ მათთვის გრძივი ძალის გავლენაც უმნიშვნელოა მლუნავი მომენტის გავლენასთან შედარებით, ამიტომ შეგვიძლია ზედმეტი უცნობთა მოძევნის დროს განსაზღვროთ დეფორმაციები ლუნვაზე დამოკიდებულებით ისე, როგორც კოქისთვის—ე. ი. ფორმულით:

$$\delta = \int \frac{MM_1 dx}{EJ}$$



ნახ. 189.

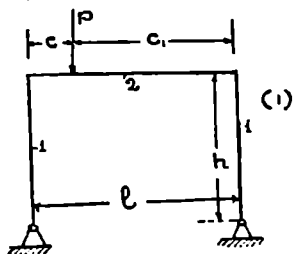
სადაც ინტეგრირება ვრცელდება ჩარჩოს ლეროთა მთელ სიგრძეზე. კერძო შემთხვევაში, როდესაც ზღვარში თითოეული ლეროს კვეთი ინარჩუნებს მუდმივ სიდიდეს, (189 ნახ.) გვექნება:

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{1}{EI^{(I)}} \int_{(I)} MM_1 dx + \frac{1}{EI^{(II)}} \int_{(II)} MM_1 dx + \frac{1}{EI^{(III)}} \int_{(III)} MM_1 dx + \\ &+ \dots = \frac{1}{EI^{(I)}} \left[K^{(I)} + \frac{I^{(I)}}{I^{(II)}} K^{(II)} + \frac{I^{(I)}}{I^{(III)}} K^{(III)} + \dots \right] \dots \quad (70) \end{aligned}$$

აქ $K^{(I)}$, $K^{(II)}$, $K^{(III)}$ მლუნავ მომენტთა ეპიურების სათანადო კომბინაციების შედეგებია K სიდიდეთა ცხრილების მიხედვით.

ანგარიშის დანარჩენი მსვლელობა სტატიკურად რკვევადი ჩარჩოებისათვის ისეთივეა, როგორც კოქებისათვის.

ვთქვათ მოცემულია ორსახსრიანი სწორკუთხოვანი ჩარჩო, რიგელის წერტილში მოდებული მოქმედი ვერტიკალური P ძალით (ნახ. 190). მივიღოთ დგარის და რიგელის ინერციის მომენტების ფარობად u ($u = \frac{I_1}{I_2}$). ზედმეტად მივი-



ლოთ ერთ-ერთი საყრდენის პარიზონტალური დამაგრება, ხოლო ზედმეტ უცნობად შესაბამისი \bar{X} განმზარჯენი. შევეცვალოთ მოცილებული ზედმეტი დამაგრების მოქმედება \bar{X} ძალით, მივიღებთ II სქემას, რომლისთვისაც დაიწერება დეფორმაციის შემდეგი განტოლება:

$$\delta_{m1} + \bar{X} \delta_{11} = 0,$$

საიდანაც

$$\bar{X} = - \frac{\delta_{m1}}{\delta_{11}}$$

III სქემა წარმოადგენს მღუნავი მომენტის ეპიურას P ძალის მოქმედების დროს, IV სქემა იგივეს $\bar{X}=1$ ძალის მოქმედებით.

გვაქვს

$$\delta_{m1} = \frac{1}{EJ_1} \sum \frac{J_1}{J_2} K_{m1},$$

სადაც შეჯამება ვრცელდება ყველა სამივე ღეროზე. K ცხრილის III სვეტის მე-4 სტრიქონის მიხედვით გვაქვს:

$$\begin{aligned} \delta_{m1} &= \frac{1}{EJ_1} \cdot \frac{J_1}{J_2} \left(-\frac{1}{2} P \frac{cc_1}{l} hl \right) = \\ &= - \frac{1}{EJ_1} u \frac{1}{2} Pcc_1 h. \end{aligned}$$

სწორედ ასევე

$$\delta_{11} = \frac{1}{EJ_1} \sum \frac{J_1}{J_2} K_{11}.$$

K ცხრილის I სვეტის 1 სტრიქონის და II სვეტის მე-4 სტრიქონის თანახმად გვაქვს:

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= + \frac{1}{EJ_1} \left[1 \cdot \frac{1}{3} - h^2 h \cdot 2 + u l^2 l \right] = \\ &= \frac{h^3}{EJ_1} \left[\frac{2}{3} h + u \right]. \end{aligned}$$

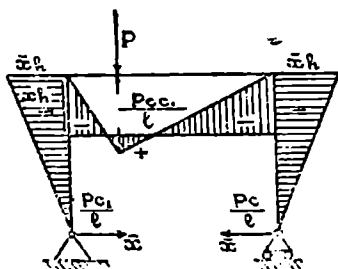
ნახ. 190.

საბოლოოდ გვაქვს:

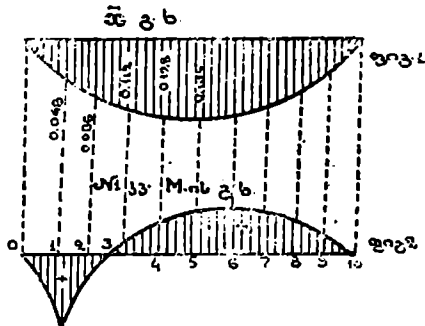
$$\bar{X} = -\frac{\delta_{m1}}{\delta_{11}} = +\frac{1}{2} \frac{Pucc_1 h}{h^2 \left(\frac{2}{3}h + ul \right)} = \frac{3 Pucc_1}{2h(2h + 3ul)} \quad (71)$$

P და \bar{X} ძალების ერთობლივი მოქმედებისაგან ავავოთ მლუნავი მომენტის ეპიურა. აგება ვაწარმოოთ ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის კანონის მიხედვით. გვაქვს:

$$M = M_m + \bar{X} M_1.$$



ნახ. 191.



ნახ. 192.

მაშასადამე (I) ეპიურის ორდინატები \bar{X} -ზე უნდა გავამრავლოთ და აღგებ-
რულად შევეკრიბოთ (III) ეპიურის ორდინატებთან. აგება შესრულებულია
191-ე ნახაზზე.

გრძივი ძალა მარცხენა დგარში

$$N_1 = -\frac{Pc_1}{l}$$

მარჯვენა დგარში

$$N_2 = -\frac{Pc}{l}$$

რიგელში

$$N_3 = -\bar{X}$$

განივი ძალა დგარში

$$|Q| = \bar{X}$$

რიგელის მარცხენა ნაწილში

$$Q_1 = P \frac{c_1}{l}$$

რიგელის მარჯვენა ნაწილში

$$Q_2 = -P \frac{c}{l}$$

თუ საჭიროა \bar{X} გავლენის ხაზის აგება, მაშინ (71)-ე გამოსახულებაში უნდა მივიღოთ P ერთის ტოლად. ხოლო c სიდიდე ჩვეულებრივ აბსცისად, მასთან $c_1 = l$ მაშინ (71-ე) გამოსახულება \bar{X} ის გავლენის ხაზის განტოლებას წარმოადგენს. 192-ე ნახაზის პირველ ფიგურაზე აგებულია ასეთი გავლენის ხაზი რიკებით მაგალითისათვის: $h = 6$ მ, $l = 10$ მ, $\frac{J_1}{J_2} = \frac{1}{1,4}$.

$P = 1$ შემთხვევაში:

$$\bar{X} = \frac{3 \cdot 1}{2 \cdot 1,4} \cdot \frac{c(10 - c)}{6(2 \cdot 6 + \frac{3}{1,4} \cdot 0,1)} = 0,00535 c(10 - c).$$

ამ ფორმულას მიხედვით შედგენილია \bar{X} -ის გავლენის ხაზის ორდინატების ცხრილი.

	1	2	3	4	5
\bar{X}	0,045	0,036	0,112	0,128	0,134

ორდინატების ამ მნიშვნელობათა მიხედვით მივიღებთ სათანადო წერტილებს, რომლებსაც ნაერთებთ მდოვრული მრუდით. თუ საჭიროა მღუნავი მონეტისათვის გავლენის ხაზის აგება რომელიმე კვეთში, გვექნება:

$$M = M_m + X M_1$$

მაგ: № 1 კვეთისათვის M_m მნიშვნელობა იცვლება სამკუთხედის კანონით, რომლის წვერო მდებარეობს № 1 წერტილის ქვემოთ და რომლის სიმაღლეა $\frac{1 \cdot 1 \cdot 9}{10} = 0,9$. მღუნავი მომენტის M_1 სიდიდე არ არის დამოკიდებული $\bar{X} = 1$ ტვირთის მდებარეობაზე და ყოველთვის უდრის $-1 \cdot h = -6$. M -ის ორდინატების გამოთვლა მოყვანილია ცხრილში.

№ 1 კვეთში M -ის ბაჰალის ხაზის ორდინატთა გამოთვლის ცხრილი

წერტილ. № №	M_m	\bar{X}	$M_1 \bar{X} = -6 \bar{X}$	$M = M_m + M_1 \bar{X}$	წერტილ. № №	M_m	\bar{X}	$M_1 \bar{X} = -6 \bar{X}$	$M = M_m + M_1 \bar{X}$
0	0	0	0	0	4'	0,4	0,128	-0,77	-0,37
1	0,9	0,018	-0,29	+0,61	3'	0,3	0,112	-0,67	-0,37
2	0,8	0,036	-0,52	+0,28	2'	0,2	0,086	-0,52	-0,32
3	0,7	0,112	-0,67	+0,03	1'	0,1	0,048	-0,29	-0,19
4	0,6	0,234	-0,77	-0,17	0'	0	0	0	0
5	0,5	0,134	-0,80	-0,30					

აგება მოყვანილია 192-ე ნახაზის მე-2 ფიგურაზე.

შეშვებისათვის მნიშვნელოვანია ეხლავე შევთანხმდეთ ჩარჩოს სხვადასხვა ელემენტებში მღუნავი მომენტთა ნიშნების შესახებ. ცხადია, რომ ჩვენ გვიანტერესებს ნიშანი არა თავისთავად, არამედ როგორც დამახასიათებელი მღუნავი მომენტის მიმართულების. მღუნავი მომენტის მიმართულება კი განიზღვრება მო-

ლუნული ღერძის ჩაზნექილობის მიმართულებით. მაგალითად, ჰორიზონტალურ კოქისათვის ჩვენ შევთანხმდით ჩაგვეთვალა მლუნავი მომენტი დადებითად მასინ, როდესაც ლუნვის ღერძის ჩაზნექილობა მიმართულია ზევით, ე. ი. როდესაც კოქის ქვედა ბოქკოები გაკიმულია. თუ ეპიურის დადებით ორდინატებს მოვზომავთ ქვემოთ, მაშინ ეპიურის შესაბამისი უბნები აგებული იქნებიან გაკიმული ბოქკოების მხარეზე. უარყოფით მომენტს შეესაბამება ნალუნი ჩაზნექილობით ქვემოთ. გაკიმული ბოქკოები იქნებიან ზემოთ. ეპიურის შესაბამისი უბანი იქნება აგრეთვე ზემოთ, ე. ი. ისევე გაკიმული ბოქკოების მხარეზე. ჩვენ შევთანხმდით და მლუნავი მომენტის ეპიურის ორდინატები ყოველთვის მოვზომოთ გაკიმული ბოქკოების მხარეზე. მაგ; 190-ე ნახაზზე, P ძალის შოკმედებისაგან, რიგელში გაკიმული ბოქკოები განლაგებულია ქვემოთ და ამ მხარიდან ავაგებთ მლუნავ მომენტის ეპიურას (იხ. 190-ე ნახ. III სქემა).

სწორედ ასევე $X=1$ ძალის მოქმედებისაგან გვაქვს რიგელის ამოლუნვა ზემოთ. ზედა მხარეს ავაგებთ შესაბამის ეპიურას (სქემა IV). III და IV სქემების შედარებით ვრწმუნდებით, რომ დამოკიდებულად იმისა თუ მლუნავი მომენტის რომელ მიმართულებას ავირჩევთ დადებითად რიგელში, მიმართულება (ნიშნები) მლუნავ მომენტებისა ამ სქემებში იქნებიან საწინააღმდეგო.

ამიტომ ორდინატების გამრავლების შედეგად მივიღებთ უარყოფით სიდიდეს (ე. ი. $K = \int M_m M_1 dx$ უარყოფითია). სწორედ ასევე ალგებრული

შეკრება წარმოადგენს შესაბამისი ორდინატების არითმეტიკულ სხვაობას, ამასთან ტოლქმედი მომენტის მიმართულება იქნება თანხვედნილი აბსოლუტურად დიდ შემადგენელ მომენტის მიმართულებასთან.

ჰორიზონტალურ კოქებისათვის ნიშნების მხრივ ორდინატები შეგვიძლია ჩავთვალოთ დადებითად, რომლებიც განლაგებულია კოქის ღერძის ქვემოთ, და უარყოფითად ღერძის ზემოთ. დგარებისათვის ორდინატები შეგვიძლია ჩავთვალოთ დადებითად, რომლებიც გადაზომილია კოქიდან ჩარჩოს კონტურის შიგნით, გარეთ კი უარყოფითად. ეს წესი გავავრცელოდ ჩარჩოს ყველა ღეროებზე. სპეციალურ შემთხვევებში, რომლებისთვისაც ეს წესი არ გამოიყენება ნებისმიერად შევარჩევთ ნიშანთა წესს.

ისევე, როგორც ჩვენ ამოვხსენით აპოცანა ზედმეტი უცნობის განსასახლვრავად ორსახსრიანი სწორკუთხოვანი ჩარჩოსათვის მასზე P ვერტიკალური ძალის მოქმედების დროს, ასევე შეიძლება განვსაზღვროთ ზედმეტი უცნობები სხვა ნებისმიერ ფორმის ჩარჩოსთვის და ნებისმიერ დატვირთვისათვის.

ზემოდ თქმულის მიხედვით შეიძლება შევადგინოთ ცხრილები. მოვიყვანოთ ამონაწერები ასეთი ცხრილებიდან ზოგიერთ შემთხვევისათვის (იხ. ჩაკერებული ფურცელი).

მაგალითი. კერძო მაგალითებზე ვაჩვენოთ ცხრილის ხმარების წესები (ნახ. 193).

$$\frac{I_2}{I_1} = 0,5; \quad \frac{I_3}{I_1} = 0,5; \quad I_4 = I_1.$$

ცხრილის მიხედვით გამოვითვლოთ

$$\nu = \frac{h}{s} \cdot \frac{J_2}{J_1} = \frac{5}{\sqrt{4^2 + 4^2}} \cdot \frac{J_2}{J_1} = \frac{5}{5,6} 0,5 = 0,446;$$

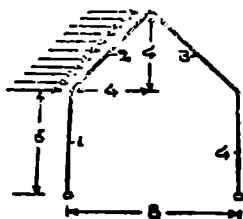
$$\mu = \frac{h}{l} \left[3 + \nu + \frac{f}{h} \left(3 + \frac{f}{h} \right) \right] = \frac{5}{8} \left[3 + 0,446 + \frac{4}{5} \left(3 + \frac{4}{5} \right) \right] = 4,05$$

$$W = \frac{4}{4} = 1 \frac{\text{ტ}}{\text{მ}};$$

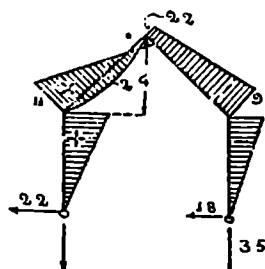
$$\bar{X}_a = \frac{Wf}{2} \left[-1 - \frac{1}{8} \frac{f}{l} \frac{\left(4 + 3 \frac{f}{h} \right)}{\mu} \right] = \frac{1 \cdot 4}{2} \left[-1 - \frac{1}{8} \cdot \frac{4}{8} \frac{\left(4 + 3 \frac{4}{5} \right)}{4,05} \right] = -2,2$$

$$\bar{X}_b = \frac{Wf}{2} \left[+1 - \frac{1}{8} \frac{f}{l} \frac{\left(4 + 3 \frac{f}{h} \right)}{\mu} \right] = \frac{1 \cdot 4}{2} \left[1 - \frac{1 \cdot 4}{8 \cdot 8} \frac{\left(4 + 3 \frac{4}{5} \right)}{4,05} \right] = +1,8$$

$$A = -\frac{Ph}{l} = -\frac{4 \cdot 7}{8} = -3,5; \quad B = +\frac{Ph}{l} = +3,5.$$



ნახ. 193.



ნახ. 194.

ამის შედეგად მივიღებთ ძალებს 194-ე ნახაზის თანახმად. ცნობილი ძალების მიხედვით კი არ არის ძნელი მლუნავე მომენტის ეპიურის აგება. № 4 ღვარში მლუნავე მომენტი სწორხაზის კანონით იცვლება 0-დან $1,8 \times 5 = 9$ ტ. მ.-მდე და ჩვენს მიერ მიღებული ნიშანთა წესის მიხედვით უარყოფითია, რადგან გაკეცილი ბოკკოები კონტურს გარეთაა. № 3 რიგელში მლუნავე მომენტი სწორხაზის კანონით იცვლება -9 ტ. მ.-დან $-1,8 \cdot 9 + 3,5 \cdot 4 = -16,2 + 14,0 = -2,2$ ტ. მ.-მდე. № 1 ღვარში მლუნავე მომენტი იცვლება 0-დან $+2,2 \cdot 5 = +11$ ტ. მ.-მდე. № 2 რიგელში ადგილი აქვს უშუალოდ მოდებულ

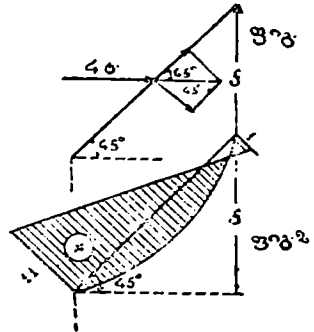
დატვირთვის გავლენას და (+ 11), (- 2,2 ტ-მ) საყრდენ მომენტებს. თანაბარი დატვირთვისაგან ინტენსივობით (ნახ. 195)

$$P = \frac{4 \cdot \sin 45^\circ}{s} = \frac{4 \cdot \sin 45^\circ \cdot \sin 45^\circ}{f} = \frac{4}{4} \sin^2 45^\circ = 0,5 \frac{\text{ტ}}{\text{მ}}$$

მდუნავი მომენტის ეპიურა წარმოადგენს პარაბოლს, $\frac{0,5 \cdot 5,6^2}{8} = 2$ ტ.მ. სიმაღლით შუაში.

აევაგებთ ამ პარაბოლს, ცნობილი წესით გავატარებთ საყრდენი მომენტების ხაზს (მოვზომავთ დადებით საყრდენ მომენტებს უარყოფით მხარეს და პირიქით), რის შედეგად მივიღებთ წახაზულ ეპიურას.

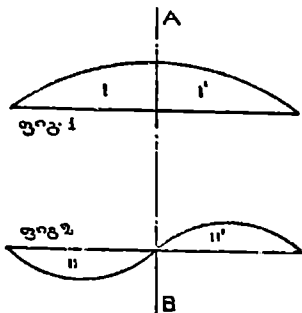
თუ ჩარჩოზე მოქმედებს ძალთა ერთობლიობა, მაშინ ცხრილებიდან ვღებულობთ ზედმეტ უცნობთა მნიშვნელობებს ცალ-ცალკე მოსკმედი თითოეულ ძალისაგან და შედეგებს ვკრიბავთ ძალთა კმედების დამოუკიდებლობის კანონის საფუძველზე.



ნახ. 195.

§ 66. ჩამაგრებული ძუსლებიანი ჩარჩო

ჩამაგრებულ ქუსლებიან ჩარჩოს აქვს სამი ზედმეტი დამაგრება. ამიტომ, ზედმეტ უცნობთა განსაზღვრისათვის უნდა ამოვხსნათ სამუცნობიანი სამი განტოლებათა სისტემა. ზედმეტი უცნობის შერჩევისათვის უნდა ვიხელმძღვანელოთ იმ მოსაზრებებით, რომ რაც შეიძლება გავამარტივოთ განტოლებათა სისტემიდან უცნობთა გამორიცხვა, რადგან მრავალუცნობიანი განტოლებათა სისტემის ამოხსნა მეტად ძნელ სამუშაოს წარმოადგენს. გამარტივებას მივიღებთ იმ შემთხვევაში, თუ კოეფიციენტთა ნაწილი იქცევა ნულად. უცნობთა კოეფიციენტებს წარმოადგენენ: $\delta_{11}, \delta_{12}, \delta_{23}, \delta_{22}, \delta_{33} \dots$ ან მათი პროპორციული K სიდიდეები. არსებობს მთელი რიგი მაგალითები K სიდიდედან ზოგიერთი მთვანის ნულთან გატოლებისათვის. მეტად მარტივი წესი დამყარებულია იმ მდგომარეობაზე, რომ სიმეტრიულ და ასიმეტრიულ ეპიურების ერთმანეთთან კომბინაცია ნულის ტოლია. ასიმეტრიული ეწოდება ისეთ ფიგურას, რომლის ერთი ნაწილი მეორე ნაწილის მთლიან განმეორებას წარმოადგენს, მაგრამ ერთმანეთისაგან ნიშნით განსხვავდებიან. მაგ; 196-ე ნახაზის



ნახ. 196.

რების ერთმანეთთან კომბინაცია ნულის ტოლია. ასიმეტრიული ეწოდება ისეთ ფიგურას, რომლის ერთი ნაწილი მეორე ნაწილის მთლიან განმეორებას წარმოადგენს, მაგრამ ერთმანეთისაგან ნიშნით განსხვავდებიან. მაგ; 196-ე ნახაზის

№ 1 ფიგურა AB ღერძის მიმართ სიმეტრიულია, № 2 ფიგურა კი ასიმეტრიული. ზათი, ერთმანეთთან კომბინაციით გვექნება:

$$K_{1-2} = K_{I-II} + K_{I'-II'}$$

მაგრამ

$$K_{I-II} = \int y_I \cdot y_{II} dx,$$

$$K_{I'-II'} = \int y_{I'} \cdot y_{II'} dx$$

თუ ავიღებთ AB ღერძის სხვადასხვა მხარეს ორ წერტილს, მისგან ერთიდაიგივე მანძილით დაშორებულს, მაშინ

$$y_I = y_{I'} - \text{სიმეტრიულობის გამო,}$$

$$y_{II} = -y_{II'} - \text{ასიმეტრიულობის გამო.}$$

აქედან

$$y_I \cdot y_{II} = -y_{I'} \cdot y_{II'}$$

იმის გამო, რომ ასეთი დამოკიდებულება ვრცელდება ყველა წერტილზე, მივიღებთ:

$$\int y_I \cdot y_{II} dx = - \int y_{I'} \cdot y_{II'} dx,$$

საიდანაც

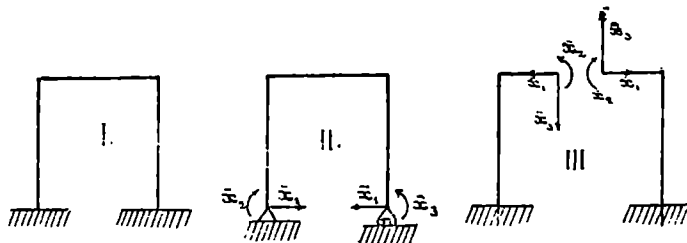
$$K_{I-II} = -K_{I'-II'}$$

ან

$$K_{1-2} = K_{I-II} + K_{I'-II'} = 0$$

რისი დამტკიცებაც გვინდოდა.

$\bar{x}=1$ ძალის მოქმედებით შესაბამისი სიმეტრიული და ასიმეტრიული ეპიურები მიიღებთან მხოლოდ სიმეტრიული ჩარჩოს შემთხვევისათვის, თუ მას

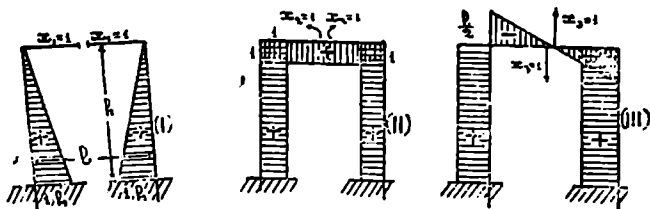


ნახ. 197.

გავკრით სიმეტრიის ღერძზე. მაგალითად 197-ე ნახაზზე წარმოდგენილი ჩამორებული ქუსლებიანი ჩარჩო საყრდენი რეაქციების მიმართ შეიძლება ჩავთვა-

ლოთ, როგორც სტატიკურად ურკვევადი. მაშინ ზედმეტი საყრდენი დამაგრებების მოშორებით მივიღებთ 3 ზედმეტ $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$ უცნობებს 197-ე ნახ. II სქემა.

იგივე ჩარჩო შიგა თვალსაზრისის ნიხედვით შეიძლება ჩავთვალოთ სტატიკურად ურკვევადად. თუ მას გაეკრით შუაში მივიღებთ ორ ცალკეულ ჩარჩოს, რომელთაგან თითოეული ჩამაგრებულია მხოლოდ ერთი ბოლოთი და აქვს 3 უცნობი, რომლებიც ესაბამებიან საყრდენ რეაქციებს, ე. ი. ეს ჩარჩოები სტატიკურად რკვევადი იქნებიან. მოცილებული დამაგრებანი შეიცვლებიან $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$ ძალებით (197 ნახ. III სქემა), რომელთაგან \bar{X}_1 და \bar{X}_2 სიმეტრიული არიან \bar{X}_3 კი ასიმეტრიული.



ნახ. 198.

სახელდობრ ეს სქემა ამარტივებს განტოლებათა სისტემის ამოხსნას. 198-ე ნახაზზე ავებულება $\bar{X}_1=1, \bar{X}_2=1$ და $\bar{X}_3=1$ შესაბამისი მლუნავ მომენტთა ეპიურები.

გადაადგილებისათვის ვვაქვს ცნობილი გამოსახულება (10)

$$\delta_{11} = \sum -\frac{1}{KJ} K_{11}$$

ერთ-ერთ ღეროს ინერციის მომენტად მივიღოთ J_0 და გავამრავლოთ ორივე ნაწილი EJ_0 -ზე მივიღებთ:

$$EJ_0 \delta_{11} = \sum K_{11} \frac{J_0}{J}$$

K -ს ცხრილების გამოყენებით, ვვაქვს

$$EJ_0 \delta_{11} = \frac{J_0}{J_c} 2 \frac{1}{3} h^3 h = \frac{2}{3} h^3 \frac{J_0}{J_c},$$

$$EJ_0 \delta_{12} = \frac{J_0}{J_c} 2 \frac{1}{2} h \cdot 1 \cdot h = h^2 \frac{J_0}{J_c},$$

$$EJ_0 \delta_{13} = 0,$$

$$EJ_0 \delta_{22} = 2 \left(\frac{J_0}{J_c} 1 \cdot h + 1 \frac{1}{2} \right) = 2 \cdot h \frac{J_0}{J_c} + 1,$$

$$EJ_0 \delta_{23} = 0,$$

$$EJr \delta_{33} = 2 \left(\frac{1}{2} \frac{l}{2} h \frac{Jr}{Jc} + \frac{1}{3} \frac{l}{2} \frac{l}{2} \frac{l}{2} \right) = \frac{l^3}{12} \left(6h \frac{Jr}{Jc} + l \right).$$

მაშინ ნებისმიერ დატვირთვისათვის განტოლებათა შემდეგ სისტემას მივიღებთ

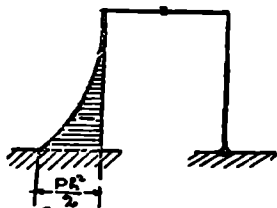
$$\left. \begin{aligned} EJr \delta_{m1} + \bar{x}_1 \frac{2}{3} h^3 \frac{Jr}{Jc} + \bar{x}_2 h^3 \frac{Jr}{Jc} &= 0 \\ EJr \delta_{m2} + \bar{x}_1 h^2 \frac{Jr}{Jc} + \bar{x}_2 \left(2h \frac{Jr}{Jc} + l \right) &= 0 \\ EJr \delta_{m3} + \bar{x}_3 \frac{l^3}{12} \left(6h \frac{Jr}{Jc} + l \right) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (72)$$

განვიხილოთ მარცხენა დგარის სიმაღლეზე თანაბრად განაწილებული ჰორიზონტალური დატვირთვა. ავაგებთ (m) ებიურას (ნახ. 199). K ცხრილების საფუძველზე, გვაქვს:

$$EJr \delta_{m1} = -\frac{1}{4} \frac{\rho h^3}{2} h \frac{Jr}{Jc} = -\frac{1}{8} \rho h^4 \frac{Jr}{Jc},$$

$$EJr \delta_{m2} = -\frac{1}{3} l \frac{\rho h^3}{2} h \frac{Jr}{Jc} = -\frac{1}{6} \rho h^4 \frac{Jr}{Jc},$$

$$EJr \delta_{m3} = +\frac{1}{3} \frac{l}{2} \frac{\rho h^3}{2} h \frac{Jr}{Jc} = +\frac{1}{12} \rho h^3 l \frac{Jr}{Jc}$$



ნახ. 199.

განტოლებათა სისტემაში ჩასმით, მივიღებთ:

$$\bar{x}_1 \frac{2}{3} h^3 \frac{Jr}{Jc} + \bar{x}_2 h^3 \frac{Jr}{Jc} = \frac{1}{8} \rho h^4 \frac{Jr}{Jc},$$

$$\bar{x}_1 h^2 \frac{Jr}{Jc} + \bar{x}_2 \left(2h \frac{Jr}{Jc} + l \right) = \frac{1}{6} \rho h^4 \frac{Jr}{Jc},$$

$$\bar{x}_3 \frac{l^3}{12} \left(6h \frac{Jr}{Jc} + l \right) = -\frac{1}{12} \rho h^3 l \frac{Jr}{Jc},$$

აღნიშნოთ $\nu = \frac{h}{l} \frac{Jr}{Jc}$.

განტოლებათა სისტემის ამოხსნის შემდეგ მივიღებთ ასეთნაირ შედეგებს,

$$\bar{x}_1 = \frac{\rho h}{16} \left(3 + \frac{\nu}{2 + \nu} \right);$$

$$\bar{X}_2 = -\frac{1}{24} \frac{\rho h^2 v}{2 + v};$$

$$\bar{X}_3 = -\frac{\rho h^3 v}{l(1+6v)}.$$

$\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$ მნიშვნელობათა განსაზღვრით შეგვიძლია ავაგოთ მლუნავ მომენტთა ეპიურა ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის კანონის საფუძველზე, მასთან ესარგებლობთ (1) მე-(2), მე-(5) და (მ) ეპიურებით. ჩავატაროთ ეს რიცხვითი შავალითისათვის:

$$l = 10 \text{ მ}, \quad h = 6 \text{ მ}, \quad \frac{Jr}{J_c} = 1,4.$$

მაშას

$$v = \frac{h}{l} \frac{Jr}{J_c} = 0,6 \cdot 1,4 = 0,84.$$

$$\bar{X}_1 = \frac{\rho 6}{16} \left(3 + \frac{0,84}{2,84} \right) = 1,24\rho;$$

$$\bar{X}_2 = -\frac{1}{24} \frac{\rho 6^2 \cdot 0,84}{2,84} = -0,44\rho;$$

$$\bar{X}_3 = -\frac{\rho 6^2 \cdot 0,84}{10(1 + 6 \cdot 0,84)} = -0,50\rho.$$

მლუნავ მომენტთა ეპიურის ორდინატებს (ნახ. 200) შემდეგი მნიშვნელობები აქვთ:

$$y_1 = y^{(m)} + \bar{X}_1 y_1^{(1)} + \bar{X}_2 y_1^{(2)} + \bar{X}_3 y_1^{(3)} = -\frac{\rho 6^2}{2} + 1,24\rho \cdot 6 - 0,44\rho \cdot 1 + 0,50\rho \cdot \frac{10}{2} = -18\rho + 7,44\rho - 0,44\rho + 2,50\rho = -8,50\rho.$$

$$y_2 = -\frac{18}{4}\rho + \frac{7,44}{2} - 0,44\rho + 2,5\rho = (-4,5 + 3,72 - 0,44 + 2,50)\rho = +1,28\rho.$$

$$y_3 = 0 + 0 - 0,44\rho + 2,50\rho = +2,06\rho.$$

$$y_4 = 0 + 0 - 0,44\rho - 2,50\rho = -2,94\rho.$$

$$y_5 = 0 + 1,24\rho \cdot 6 - 0,44\rho - 0,50 \cdot \frac{10}{2}\rho = +7,44\rho - 0,44\rho - 2,50\rho = +4,50\rho.$$

გრძივი N და განივი Q ძალები 201-ე ნახაზის თანახმად შემდეგ მნიშვნელობებს მიიღებენ: № 1 ღვარში

$$N_1 = 0,50\rho,$$

$$Q_1 = -1,24\rho + \rho(6 - x) = +4,76\rho - \rho x.$$

№ 2 რიგელის ნაწილში:

$$N_2 = -1,24 p,$$

$$Q_2 = -0,50 p.$$

№ 3 რიგელის ნაწილში:

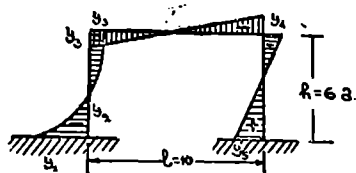
$$N_3 = -1,24 p,$$

$$Q_3 = -0,50 p.$$

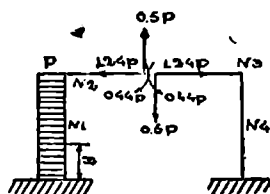
№ 4 ღვარში:

$$N_4 = -0,50 p;$$

$$Q_4 = +1,24 p.$$

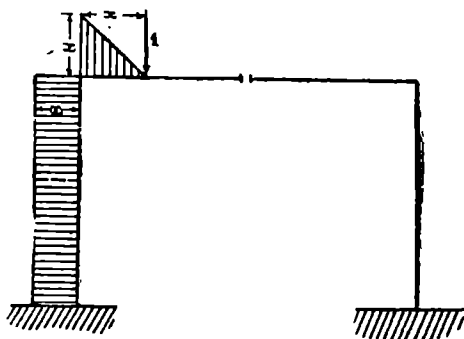


ნახ. 200.



ნახ. 201.

მოდრავი დატვირთვის მოქმედების დროს რეკომენდირებულია გაველენის ხაზების აგება. დაუშვათ, რომ საჭიროა ქუსლებით ჩამაგრებული ჩარჩოს ზედმეტ უცნობებისათვის გაველენის ხაზის აგება, როდესაც $l = 10$ მ, $h = 6$ მ. $\frac{J_r}{J_c} = 1,4$.



ნახ. 202.

(72)-ე განტოლებები მიიღებენ სახეს:

$$EJ_r \delta_{m1} + \bar{X}_1 \frac{2}{3} 6^3.$$

$$\cdot 1,4 + \bar{X}_2 6^3 \cdot 1,4 = 0,$$

$$EJ_r \delta_{m2} + \bar{X}_1 6^3 \cdot 1,4 +$$

$$+ \bar{X}_2 (2 \cdot 6 \cdot 1,4 + 10) = 0,$$

$$EJ_r \delta_{m3} + \bar{X}_3 \frac{10^3}{12} (6 \cdot 6 \cdot 1,4 + 10) = 0,$$

ან საბოლოოდ

$$\left. \begin{aligned} Efr \delta_{m_1} + 202 \bar{x}_1 + 50,4 \bar{x}_2 &= 0 \\ Efr \delta_{m_2} + 50,4 \bar{x}_1 + 26,8 \bar{x}_2 &= 0 \\ Efr \delta_{m_3} + 504 \bar{x}_3 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

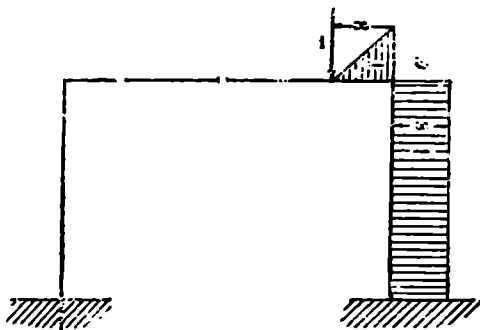
აქედან

$$\bar{x}_1 = \frac{Efr}{107} (1,88\delta_{m_2} - \delta_{m_1})$$

$$\bar{x}_2 = \frac{Efr}{57} (\delta_{m_1} - 4\delta_{m_2}),$$

$$\bar{x}_3 = -\frac{Efr}{504} \delta_{m_3}.$$

ერთეულ ტვირთს დაეყენებთ x აბსციისით განზღვრულ რიგელის ნებისმიერ წერტილში, ჯერ მის მარცხენა ნახევარზე (ნახ. 202). ამ ნახაზზე აგებულია (m) ეპიურა. მისი კომბინაციით (1), (2) და (3) ეპიურებთან (198 ნახ.) მივიღებთ:



ნახ. 203.

$$Efr \delta_{m_1} = -\frac{1}{2} 6 \cdot x \cdot 6 \frac{Jr}{Jc} = -18 \cdot 1,4x = -25,2x,$$

$$Efr \delta_{m_2} = -1 \cdot x \cdot 6 \cdot 1,4 - \frac{1}{2} 1 \cdot x \cdot x \cdot 1 = -8,4 - \frac{1}{2} x^2,$$

$$Efr \delta_{m_3} = +5x \cdot 6 \cdot 1,4 + \frac{1}{6} 5x \frac{x}{5} \left(3 - \frac{x}{5} \right) 5 = +42x + \frac{5}{6} x^2 \left(3 - \frac{x}{5} \right).$$

\bar{x}_1 , \bar{x}_2 , \bar{x}_3 -ის გამოსახულებებში ჩასმით მივიღებთ:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{107} \left[-1,88 \left(8,4x + \frac{1}{2} x^2 \right) + 25,2x \right] = +0,0878x - 0,00878x^2,$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{57} \left(-25,2x + 33,6x + 2x^2 \right) = 0,147x + 0,035x^2,$$

$$\bar{x}_3 = -\frac{1}{504} \left(42x + 2,5x^2 - \frac{1}{6} x^2 \right) = -0,0832x - 0,00496x^2 + 0,00033x^2.$$

როდესაც ერთეული ძალა გადავა რიგელის მარჯვენა ნახევარზე, მაშინ 203-ე ნახაზის თანახმად δ_{m_1} და δ_{m_2} იგივე იქნება, როგორც პირველ შემთხვევისათვის, ხოლო δ_{m_3} განსხვავებული იქნება ნიშნით. მაშინ

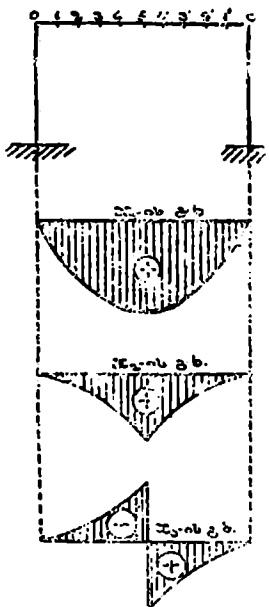
$$\bar{x}_1^{(n)} = \bar{x}_1, \quad \bar{x}_2^{(n)} = \bar{x}_2, \quad \bar{x}_3^{(n)} = -\bar{x}_3$$

გავლენის ხაზის ორდინატების გამოთვლა მოცემულია ცხრილში.

გავლენის ხაზის ორდინატთა ცხრილი \bar{x}_1 , \bar{x}_2 , \bar{x}_3 -ნათვის

წერტი- ლები	x	$\bar{x}_1 = 0,0878x - 0,00878x^2$	$\bar{x}_2 = 0,147x + 0,035x^2$	$\bar{x}_3 = \pm 1 - 0,0832x - 0,0496x^2 + 0,00073x^3$
0	0	0	0	0
1	1	0,079	0,182	-0,132
2	2	0,140	0,434	-0,362
3	3	0,184	0,766	-0,687
4	4	0,211	1,148	-1,105
5	5	0,220	1,610	-1,615
5'	5	0,220	1,610	+1,615
4'	4	0,211	1,148	+1,105
3'	3	0,184	1,756	+0,687
2'	2	0,140	0,434	+0,362
1'	1	0,079	0,182	+0,132
0	0	0	0	0

გამოთვლილი ორდინატების მიხედვით ავაგებთ გავლენის ხაზებს (204 ნახ.)



ნახ. 204.

წინა მაგალითზე ჩვენ ვნახეთ, რომ ყოველ მოცემულ ჩარჩოსათვის დამოუკიდებლად იმისგან, თუ როგორი დატვირთვა მოქმედებდა მასზე შეიძლება შედგეს (72)-ე განტოლებები, რომლებზედაც დატვირთვა გავლენას ახდენდა მხოლოდ თავისუფალ წვერთა მნიშვნელობებზე. თავისუფალი წვერები დამოკიდებული არიან K კომბინაციის (III) მლუწავ მომენტისაგან, რომელიც მიიღება მოცემული დატვირთვის მოქმედებით ჩარჩოზე ზედმეტი დამაგრებათა მოშორების შემდეგ, და (1), მე (2) და მე (3) მლუწავი მომენტების ეპიურებისაგან, იგივე ჩარჩოზე $\bar{x}_1 = 1$, $\bar{x}_2 = 1$ და $\bar{x}_3 = 1$ ძალთა ცალ-ცალკე მოქმედების შემთხვევაში, როდესაც ჩარჩოზე მოქმედებს მოცემულ ძალთა ერთობლიობა, მაშინ მლუწავი მომენტის ეპიურა (III) შეიძლება მივიღოთ რთული სახით, ამიტომ ასეთ შემთხვევებში მოცემულ მოქმედი ძალებისაგან განსაზღვრავენ ზედმეტ უცნობთა მნიშვნელობებს და შედეგებს შეკრებენ ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის კანონის საფუძველზე. ჩამაგრებულ ქუსლებთან ჩარჩოებისათვის შედგენილია ცხრილები ზედმეტი უცნობთა გან-

სასაზღვრავად სხვადასხვა ფორმის ჩარჩოებისა და გარეძალთა სხვადასხვა შემთხვევებისათვის. აქ ისინი არ მოგვყავს. მკითხველებს ურჩევთ იხელმძღვანელონ კლენილოგელის ცხრილებით ან რკინა-ბეტონის ნაგებობათა სტატიკაში მოყვანილი ცხრილებით.

§ 67. სტატიკურად ურკვევადი ჩარჩოების სხვა შემთხვევები

თუ მოცემულია ჩარჩო, მაშინ ზედმეტ უცნობთა განსაზღვრა შეიძლება ვაწარმოოთ ან ასოითი გამოსახულების მიხედვით ან რიცხობრივი სახით. პირველ შემთხვევაში შედეგი შეიძლება გავაერთიანოთ ჩარჩოს ელემენტების სხვადასხვა ზომებზე. სახელდობრ, ჩარჩოს ანგარიშისათვის ამოცანის ასოითი ამოხსნის მიხედვით შედგენილია ყველა არსებული ცხრილი. ანგარიშის დროს ამ ცხრილებით უნდა აისარგებლოთ. თუ მოცემული შემთხვევა არ არის გათვალისწინებული ცხრილებში, მაშინ მიზანშეწონილია მისი ამოხსნა რიცხობრივი სახით. ქვემოთ მოყვანილია რამდენიმე მაგალითი.

205-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ჩაკეტილი კონტურიანი ჩარჩო. მასზე მოქმედებს ჰორიზონტალური W ძალა და ორი ვერტიკალური P ძალა. ჩარჩოს ზომები მოცემულია, ინერციის მომენტთა შეფარდება შემდეგია:

$$\frac{J_2}{J_1} = 2; \quad \frac{J_3}{J_2} = 2; \quad \frac{J_4}{J_1} = 0,5.$$

ჩარჩო სტატიკურად რკვევადია საყრდენი რეაქციების მიმართ, მაკრამ შინაგანად სტატიკურად ურკვევადია. ზედმეტ უცნობებად შეგვიძლია მივიღოთ ნებისმიერ კვეთში შიგაძალები, რადგან თუ ჩარჩოს რომელიმე ადგილას გავჭრით მივიღებთ ღია, ე. ი. სტატიკურად რკვევად ჩარჩოს. ზნოთ აღვნიშნეთ, რომ სიმეტრიული ჩარჩოების ყველა შემთხვევაში ყველაზე უკეთესია კვეთის გატარება სიმეტრიის ღერძზე. ასეთნაირად კვეთის გატარებით, ზედმეტ უცნობებს აღვნიშნავთ: X_1, X_2, X_3 , რომლებიც განიზღვრებიან ზოგადი წესით, ცალკე W ძალის მოქმედების შემთხვევისათვის და ცალკე P ძალის მოქმედების შემთხვევისათვის.

206-ე ნახაზზე აგებულია შესაბამისი ეპიურები. K ცხრილების გამოყენებით მივიღებთ:

$$EJ_2 \delta_{11} = \sum K_{11} \frac{J_2}{J_1} = 2 \left(\frac{1}{3} 8^2 \cdot 8 \cdot 2 + 8^2 \cdot 3 \cdot 0,5 \right) = 875.$$

$$EJ_2 \delta_{12} = 2 \left(\frac{1}{2} 8 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 2 + 8 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 0,5 \right) = 152.$$

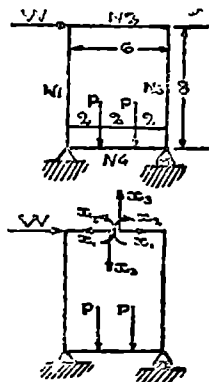
$$EJ_1 \delta_{13} = 0,$$

რადგან სიმეტრიული ფიგურა ასიმეტრიულთან ნულს გვაძლევს.

$$EJ_2 \delta_{22} = 2 (1 \cdot 8 \cdot 2 + 1 \cdot 3 \cdot 1 + 1 \cdot 3 \cdot 0,5) = 41;$$

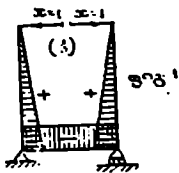
$$EJ_2 \delta_{23} = 0.$$

$$EJ_2 \delta_{33} = 2 \left(3^2 \cdot 8 \cdot 2 + \frac{1}{3} 3^2 \cdot 3 \cdot 1 + \frac{1}{3} 3^2 \cdot 3 \cdot 0,5 \right) = 315.$$



ნახ. 205.

ზოგადი განტოლებები გარეძალთა ნებისმიერ სისტემისათვის მიიღებს მე-(18) სახეს:



$$\delta_{m1} + \bar{X}_1 \delta_{11} + \bar{X}_2 \delta_{21} + \bar{X}_3 \delta_{31} = 0,$$

$$\delta_{m2} + \bar{X}_1 \delta_{12} + \bar{X}_2 \delta_{22} + \bar{X}_3 \delta_{32} = 0,$$

$$\delta_{m3} + \bar{X}_1 \delta_{13} + \bar{X}_2 \delta_{23} + \bar{X}_3 \delta_{33} = 0.$$

თითოეული განტოლების ორივე ნაწილის EJ_2 -ზე გამრავლებით და შემოთ გამოთვლილი უცნობთა კოეფიციენტების მნიშვნელობების ჩასმით, მივიღებთ:

$$EJ_2 \delta_{m1} + 875 \bar{X}_1 + 152 \bar{X}_2 = 0,$$

$$EJ_2 \delta_{m2} + 152 \bar{X}_1 + 41 \bar{X}_2 = 0,$$

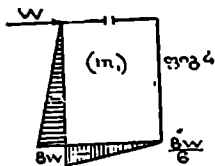
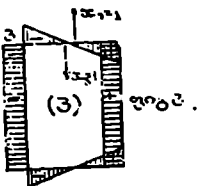
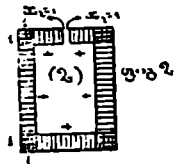
$$EJ_2 \delta_{m3} + 315 \bar{X}_3 = 0,$$

საიდანაც

$$\bar{X}_1 = -\frac{1}{311} EJ_2 \delta_{m1} + \frac{1}{84} EJ_2 \delta_{m3},$$

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{84} EJ_2 \delta_{m1} - \frac{1}{14.6} EJ_2 \delta_{m2},$$

$$\bar{X}_3 = -\frac{1}{315} EJ_2 \delta_{m3}.$$



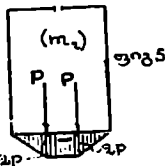
დატევირთვით ჩარჩო პორიზონტალური IV ძალით. ასეთი დატევირთვის შესაბამისი მლუნაევი მოძენტის (m_1) ეპიურა აგებულია 206-ე ნახაზზე. K ცხრილების გამოყენებით მივიღებთ:

$$EJ_2 \delta_{m1} = \sum K_{m1} \frac{J_2}{J_1} = -\frac{1}{3} 8 \cdot 8 \cdot W \cdot 2 -$$

$$-\frac{1}{2} 8 \cdot 8 \cdot W \cdot 6 \cdot 0,5 = -437 W,$$

$$EJ_2 \delta_{m3} = -\frac{1}{2} 1 \cdot 8 \cdot W \cdot 8 \cdot 2 -$$

$$-\frac{1}{2} 1 \cdot 8 \cdot W \cdot 6 \cdot 0,5 = -76 W,$$



ნახ. 206.

$$EJ_2 \delta_{m3} = +\frac{1}{2} 3 \cdot 8 \cdot W \cdot 8 \cdot 2 + \frac{1}{6} 3(2 \cdot 8 \cdot W + 4W) 3 \cdot 0,5 -$$

$$-\frac{1}{6} 3 \cdot 4 W \cdot 3 \cdot 0,5 = +204 W,$$

ჩასმით მივიღებთ:

$$\bar{X}_1 = + \frac{1}{311} 437W - \frac{1}{84} 76W = (1,40 - 0,90)W = + 0,50W,$$

$$\bar{X}_2 = - \frac{1}{84} 437W - \frac{1}{14,6} 76W = (- 5,20 + 5,20)W = 0,$$

$$\bar{X}_3 = - \frac{1}{315} 204W = - 0,65W.$$

ახლა განესაზღვროთ ზედმეტ უცნობთა მნიშვნელობანი მხოლოდ ვერტიკალურ P ძალთა მოქმედებით. მლუნავი მომენტის (m_2) ეპიურა აგებულია 206-ე ნახაზზე. მისი (1), მე-(2) და მე-(3) ეპიურებთან კომბინაციით მივიღებთ:

$$EJ_2 \delta_{m_1} = \sum K_{m_1} \frac{J_2}{J_1} = - 8 \cdot 2P \cdot 4 \cdot 0,5 = - 32P,$$

$$EJ_2 \delta_{m_2} = - 1 \cdot 2P \cdot 4 \cdot 0,5 = - 4P,$$

$$FJ_2 \delta_{m_3} = 0$$

(სიმეტრიული ეპიურის კომბინაცია ასიმეტრიულთან).
აქედან

$$\bar{X}_1 = + \frac{1}{311} 32P - \frac{1}{84} 4P = (+ 0,103 - 0,048)P = + 0,055P,$$

$$\bar{X}_2 = - \frac{1}{84} 32P + \frac{1}{14,6} 4P = (- 0,381 + 0,274)P = - 0,107P,$$

$$\bar{X}_3 = 0.$$

ყველა მოცემული ძალის (პორიზონტალური W და ვერტიკალური P) ერთობლივი მოქმედებით ზედმეტ უცნობთა შემდეგ მნიშვნელობებს მივიღებთ:

$$\bar{X}_1 = + 0,50W + 0,055P,$$

$$\bar{X}_2 = 0 - 0,107P = - 0,107P,$$

$$\bar{X}_3 = - 0,65W.$$

მაგალითად, თუ მოცემულია: $H = 20$ ტ, $P = 30$ ტ, მაშინ

$$\bar{X}_1 = + 0,50 \cdot 20 + 0,055 \cdot 30 = + 11,65 \text{ ტ},$$

$$\bar{X}_2 = - 0,107 \cdot 30 = - 3,21 \text{ ტ},$$

$$\bar{X}_3 = - 0,65 \cdot 20 = - 13 \text{ ტ}.$$

\bar{X}_1 , \bar{X}_2 , \bar{X}_3 მნიშვნელობების ცოდნით, მლუნავ მომენტის ეპიურებით $\bar{X}_1 = 1$, $\bar{X}_2 = 1$, $\bar{X}_3 = 1$ ძალების და მოცემული გარეძალების მოქმედებისგან, შეიძლება ავადგოთ ეპიურა შეჯამებულ ძალთა მოქმედებისათვის, შემდეგი ფორმულის გამოყენებით:

$$M = \bar{X}_1 M_1 + \bar{X}_2 M_2 + \bar{X}_3 M_3 + M_n^{(1)} + M_n^{(2)},$$

ეს ეპიურა შესდგება სწორხაზის მონაკვეთებისაგან, რომლებიც განიხილვრებიან ორდინატებით სათანადო წერტილებში. ჩვენი რიცხვითი მაგალითისათვის ორდინატთა გამოთვლა მოყვანილია ცხრილში

მლუნავ მონაკვეთთა ეპიურის ორდინატთა გამოთვლის ცხრილი

წერტილ-ნახაზზე	M_1	M_2	M_3	$+11,65M_1$	$-8,21M_2$	$-13M_3$	$M_m^{(1)}$	$M_m^{(2)}$	M
a	+8	+3	-8	+93,20	-8,21	+39	-8,20 = -160	0	-31
b	0	+1	-3	0	-8,21	+39	0	0	+35,8
c	0	+1	+3	0	-8,21	+39	0	0	-42,2
d	+8	+1	+3	+93,20	-8,21	-39	0	0	+51
e	+8	+1	+3	+93,20	-8,21	-13	-53,8	2,30 = -60	-36,8
f	+8	-1	-1	+93,20	-8,21	+13	-206,7	-60	-63,8

ნაპოვნი ორდინატებით აგებულია ეპიურები 207-ე ნახაზის 1 ფიგურაზე. გრძივი და განივი ძალები ადვილად განიზღვრებიან 207-ე ნახაზის მე-2 ფიგურირიდან.

bc და gc უბანზე

$$N_2 = -11,65 \text{ ტ}; Q_2 = -13 \text{ ტ}$$

ab უბანზე.

$$N_1 = +13 \text{ ტ}; Q_1 = 20 - 11,65 = +8,35 \text{ ტ.}$$

cd უბანზე

$$N_3 = -13 \text{ ტ}; Q_3 = +11,65 \text{ ტ.}$$

ad უბანზე

$$N_4 = +11,65 \text{ ტ.}$$

ae უბანზე

$$Q_4^{(I)} = 13 + 3,3 = 16,3 \text{ ტ.}$$

ef უბანზე

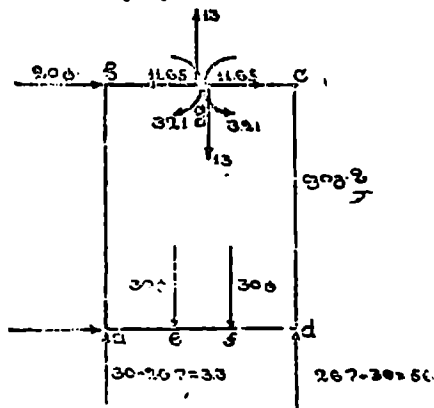
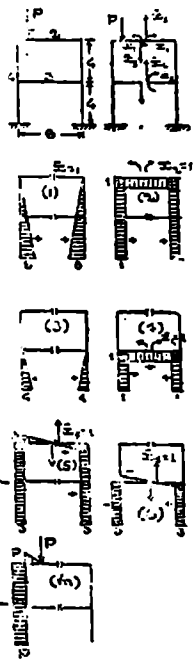
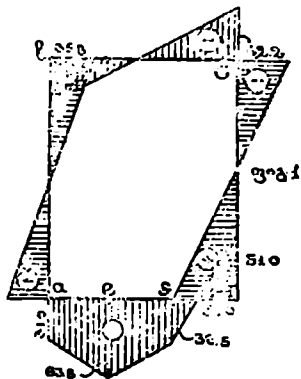
$$Q_4^{(II)} = 16,3 - 30 = -13,7 \text{ ტ.}$$

fd უბანზე

$$Q_4^{(III)} = -13,7 - 30 = -43,7 \text{ ტ.}$$

ზედმეტ უცნობთა რიცხვის ზრდის შემთხვევაში, მათი განსაზღვრისათვის განტოლებათა შედგენის წესი იგივე რჩება და თუ ცალ-ცალკე გავითვალისწინებთ მოცემულ ძალთა თითოეული ჯგუფის მოქმედებას, მაშინ განტოლებათა შედგენა არავითარ სიძნელეს არ წარმოადგენს. სიძნელებები წარმოიშობიან განტოლებათა სისტემის ამოხსნის დროს, რადგან უცნობთა მნიშვნელოვანი რიცხვის არსებობის შემთხვევაში ეს საშუალო მეტად სიძნელეა. სიძნელეთა თავიდან აცილების მიზნით უპირველეს ყოვლისა, საჭიროა განტოლებათა შედგენის ისეთი წესების მოძებნა, რომლებიც წვერთა ნაწილს ნულად აქცევს. ერთი ასეთი წესთაგანი ზემოთ ვკვლინდა აღწერილი, სახელდობრ ზედმეტ უცნობთა ისეთი შერჩევა, რომ ეპიურები $\bar{X} = 1$ ძალის მოქმედებით იყენენ სიმეტრიული და ასიმეტრიული (კვრით სიმეტრიულ ჩარჩოს სიმეტრიის ღერძზე).

ამას გარდა; მას შემდეგ, რაც რომ შეღვევნილი იქნება განტოლებები. მათ ამოგხსნით ან ლეტერმინანტების დახმარებით, ან მოქმედების განლაგებით მათი ამოხსნის გარკვეული სისტემით. ამ მ. მარაულებშია წარმოდგენილი უამრავი ამოხსნის წესები. ჩვენ აქ მოვიყვანთ ზედალ მარტივ ხერხს, რომლის გამოყენებაც შეიძლება ყველა შემთხვევაში. ამ წესს ვაჩვენებთ კერძო მაგალითზე.



ნახ. 207.

ნახ. 208.

ეთქვით მოცემულია ჩამაგრებული ქუსლებიანი ორსართულიანი ჩარჩო. ზომები ნაჩვენებია 208-ე ნახაზზე. მასზე მოქმედებს ვერტიკალური P ძალა. ამას გარდა მოცემულია: $\frac{J_2}{J_1} = 1,125$; $\frac{J_2}{J_3} = 1$; $\frac{J_3}{J_4} = 2$. გვეკრათ ჩარჩო სიმეტრიის ლერძზე. მივიღებთ ორ სტატიკურად რკვევად სისტემას. მათ შორის ურთიერთქმედების ძალები აღენიშნოთ $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \bar{X}_4, \bar{X}_5, \bar{X}_6$ -ით. იმის გამო რომ ისინი შეიგაძალებია მათი შესაბამისი გადაადგილებანი ნულის ტოლია, ამიტომ აქ უშუალოდ გამოვიყენებთ მე-(18) ზოგად განტოლებას:

$$\delta_{m1} + X_1 \delta_{11} + \bar{X}_2 \delta_{11} + X_3 \delta_{11} + \bar{X}_4 \delta_{11} + X_5 \delta_{11} + X_6 \delta_{11} = 0$$

$$\delta_{m2} + \bar{X}_1 \delta_{12} + \bar{X}_2 \delta_{22} + X_3 \delta_{22} + \bar{X}_4 \delta_{22} + \bar{X}_5 \delta_{22} + \bar{X}_6 \delta_{22} = 0$$

$$\delta_{m3} + \bar{X}_1 \delta_{13} + \bar{X}_2 \delta_{23} + X_3 \delta_{23} + \bar{X}_4 \delta_{23} + X_5 \delta_{23} + \bar{X}_6 \delta_{23} = 0$$

$$\delta_{m4} + \bar{X}_1 \delta_{14} + \bar{X}_2 \delta_{24} + \bar{X}_3 \delta_{24} + \bar{X}_4 \delta_{44} + X_5 \delta_{24} + \bar{X}_6 \delta_{24} = 0$$

$$\delta_{m5} + \bar{X}_1 \delta_{15} + \bar{X}_2 \delta_{25} + \bar{X}_3 \delta_{25} + \bar{X}_4 \delta_{45} + \bar{X}_5 \delta_{55} + \bar{X}_6 \delta_{55} = 0$$

$$\delta_{m6} + \bar{X}_1 \delta_{16} + \bar{X}_2 \delta_{26} + \bar{X}_3 \delta_{26} + \bar{X}_4 \delta_{46} + \bar{X}_5 \delta_{56} + \bar{X}_6 \delta_{66} = 0$$

ბ კოეფიციენტი განისაზღვრება შესაბამისი მლუნავ მომენტთა ეპიურების კომბინაციით შემდეგი ფორმულით:

$$EJ_2 \delta = \sum K \frac{J_2}{J_1}$$

გვაქვს:

$$EJ_2 \delta_{11} = 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 8^2 \cdot 8 \cdot 1,125 = + 384,$$

$$EJ_2 \delta_{12} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 1,125 = + 72,$$

$$EJ_2 \delta_{13} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 8 \cdot 4 \cdot \frac{4}{8} \left(3 - \frac{4}{8} \right) 8 \cdot 1,125 = 120,$$

$$EJ_2 \delta_{14} = 2 \cdot \frac{1}{2} (8 + 4) \cdot 1 \cdot 4 \cdot 1,125 = 54,$$

$$EJ_2 \delta_{16} = 0,$$

$$EJ_2 \delta_{16} = 0,$$

$$EJ_2 \delta_{22} = 2 (1 \cdot 8 \cdot 1,125 + 1 \cdot 3 \cdot 1) = + 24.$$

$$EJ_2 \delta_{23} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 1,125 = + 18,$$

$$EJ_2 \delta_{24} = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 1,125 = 9,$$

$$EJ_2 \delta_{25} = 0,$$

$$EJ_2 \delta_{26} = 0,$$

$$EJ_2 \delta_{33} = 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 4^2 \cdot 4 \cdot 1,125 = + 48,$$

$$EJ_2 \delta_{34} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 1,125 = + 18.$$

$$EJ_2 \delta_{35} = 0,$$

$$EJ_2 \delta_{36} = 0,$$

$$EJ_2 \delta_{44} = 2(1 \cdot 4 \cdot 1,125 + 1 \cdot 3 \cdot 2) = 21,$$

$$EJ_2 \delta_{45} = 0,$$

$$EJ_2 \delta_{46} = 0,$$

$$EJ_2 \delta_{55} = 2 \left(3^2 \cdot 8 \cdot 1,125 + \frac{1}{3} \cdot 3^2 \cdot 3 \cdot 1 \right) = +180,$$

$$EJ_2 \delta_{56} = 2 \cdot 3^2 \cdot 4 \cdot 1,125 = +81,$$

$$EJ_2 \delta_{66} = 2 \left(3^2 \cdot 4 \cdot 1,125 + \frac{1}{3} \cdot 3^2 \cdot 3 \cdot 2 \right) = +117,$$

$$EJ_2 \delta_{m1} = -\frac{1}{2} \cdot 8 \cdot P \cdot 8 \cdot 1,125 = -36P,$$

$$EJ_2 \delta_{m2} = -1 \cdot P \cdot 8 \cdot 1,125 - \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot P \cdot 1 \cdot 1 = -9P - 0,5P = -9,5P,$$

$$EJ_2 \delta_{m3} = -\frac{1}{2} \cdot 4 \cdot P \cdot 4 \cdot 1,125 = -9P,$$

$$EJ_2 \delta_{m4} = -1 \cdot P \cdot 4 \cdot 1,125 = -4,5P,$$

$$EJ_2 \delta_{m5} = +3P \cdot 8 \cdot 1,125 + \frac{1}{6} \cdot 3 \cdot P \cdot \frac{1}{3} \left(3 - \frac{1}{3} \right) \cdot 3 \cdot 1 = \\ = 27P + 1,33P = +28,33P,$$

$$EJ_2 \delta_{m6} = +3 \cdot P \cdot 4 \cdot 1,125 = +13,5P.$$

განტოლებებში ჩასმით და ორივე მხარის EJ_2 -ზე გამრავლებით მივიღებთ:

$$-36P + 384\bar{X}_1 + 72\bar{X}_2 + 120\bar{X}_3 + 54\bar{X}_4 = 0$$

$$-9,5P + 72\bar{X}_1 + 24\bar{X}_2 + 18\bar{X}_3 + 9\bar{X}_4 = 0$$

$$-9P + 120\bar{X}_1 + 18\bar{X}_2 + 48\bar{X}_3 + 18\bar{X}_4 = 0$$

$$-4,5P + 54\bar{X}_1 + 9\bar{X}_2 + 18\bar{X}_3 + 21\bar{X}_4 = 0$$

$$+28,33P + 180\bar{X}_5 + 81\bar{X}_6 = 0$$

$$+13,5P + 81\bar{X}_5 + 117\bar{X}_6 = 0$$

აქ X -ის ზოგიერთი კოეფიციენტის ნულთან გატოლებით ექვს განტოლებიანი სისტემა ორ დამოუკიდებელ განტოლებათა სისტემაზე დაიყვანება: ოთხი განტოლება $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \bar{X}_4$, უცნობებით და ორი განტოლება \bar{X}_5 და \bar{X}_6 უცნობებით. შეუდგეთ პირველი სისტემის ამოხსნას. აქ ვაჩვენოთ მოქმედებათა ხელსაყრელი განლაგება. მოქმედებები თავმოყრილია ცხრილში (გაუსის გამართვი-ბული ალგორითმი):

ოთხ განტოლებიანი სისტემის ამოხსნის ცხრილი.

\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	\bar{X}_4		
	I ოპერაცია				
384	72	120	54	36P	
72	24	18	9	9,5P	$\frac{384}{72}$
120	18	48	18	9P	$\frac{391}{120}$
54	9	18	21	4,5P	$\frac{384}{54}$
	II ოპერაცია				
	-56	24	6	-14,6P	
	14,4	-24	-8,6	7,2	$\frac{-56}{14,4}$
	8	-8	-95,5	4P	$\frac{-56}{8}$
	III ოპერაცია				
		-69,4	-8	13,4P	
		-32	-662,5	13,4P	$\frac{69,4}{32}$
	IV ოპერაცია				
			1430	-14,6P	

პირველი ოპერაცია მდგომარეობს განტოლებათა განსაკუთრებულად ჩიწერაში სახელდობრ: პირველი სტრიქონი ასე უნდა იკითხებოდეს:

$$384\bar{X}_1 + 72\bar{X}_2 + 120\bar{X}_3 + 54\bar{X}_4 = 36P.$$

ამის შესაბამისად პირველი ოპერაციის დანარჩენი სტრიქონებიც ასე წაიკითხება:

$$72\bar{X}_1 + 24\bar{X}_2 + 18\bar{X}_3 + 9\bar{X}_4 = 9,5P,$$

$$120\bar{X}_1 + 18\bar{X}_2 + 48\bar{X}_3 + 18\bar{X}_4 = 9P,$$

$$54\bar{X}_1 + 9\bar{X}_2 + 18\bar{X}_3 + 21\bar{X}_4 = 4,5P.$$

მეორე ოპერაცია მდგომარეობს \bar{X}_1 -ის გამორიცხვაში. ამისათვის თითოეული განტოლების ორივე მხარეს, გარდა პირველი განტოლებისა, გავამრავლებთ პირველი და განსაზღვრული განტოლებების \bar{X}_1 -ის კოეფიციენტთა შეფარდებაზე და გამოვაკლებთ პირველს. ამის მიხედვით მეორე სტრიქონს გავამრავლებთ $\frac{384}{72}$ -ზე და გამოვაკლებთ პირველს. მაშინ \bar{X}_1 მოისპობა, რადგან

მეორე განტოლებაში \bar{X}_1 კოეფიციენტი იქნება 384, იგივე რაც პირველში.

სწორედ ასევე პირველ განტოლებას ვაკლებთ მესამე და მეოთხე განტოლებებს ცალ-ცალკე, წინასწარ $\frac{384}{120}$ და $\frac{384}{54}$ შესაბამის რიცხვებზე გამრავლებით.

მესამე ოპერაცია დაიყენება \bar{X}_2 -ის გამორიცხვაში და მდგომარეობს შემდეგში: მეორე განტოლება პირველდება $\left(-\frac{5\cancel{8}}{14,4}\right)$ -ზე და აკლდება პირველს.

მესამე განტოლება კი პირველდება $\left(-\frac{56}{8}\right)$ -ზე და აკლდება პირველს.

მეოთხე ოპერაცია მდგომარეობს იმაში, რომ მეორე განტოლება უნდა გავამრავლოთ $\frac{69,4}{32}$ -ზე და გამოვაკლოთ პირველს. მიიღება ერთუცნობიანი განტოლება.

$$1430\bar{X}_4 = -14,5 P,$$

საიდანაც

$$\bar{X}_4 = -\frac{14,6}{1430} P = -0,0102 P.$$

\bar{X}_3 -ის განსაზღვრისათვის ვისარგებლოდ III ოპერაციის შედეგად მიღებულ ერთ-ერთი განტოლებით

$$-69,4 \bar{X}_3 + 8 \cdot 0,0102 P = +13,4 P$$

საიდანაც

$$\bar{X}_3 = -\frac{13,4 - 0,0816}{69,4} P = -0,192 P.$$

თუ \bar{X}_2 და \bar{X}_3 მნიშვნელობებს ჩავსვამთ მეორე ოპერაციის შედეგად მიღებულ ნებისმიერ განტოლებაში მივიღებთ:

$$+8\bar{X}_2 + 8 \cdot 0,192 P + 95,5 \cdot 0,0102 P = +4 P.$$

საიდანაც

$$\bar{X}_2 = \frac{4 - 1,536 - 0,974}{8} P = +0,186 P$$

შემდეგ, პირველი ოპერაციის შედეგად მიღებულ ნებისმიერ განტოლების საფუძველზე გვაქვს:

$$54\bar{X}_1 + 9 \cdot 0,186 P - 18 \cdot 0,192 P - 21 \cdot 0,0102 P = 4,5 P,$$

საიდანაც

$$\bar{X}_1 = \frac{4,5 - 1,7 - 3,46 - 0,21}{54} P = \frac{-0,87}{54} P = -0,0161 P$$

ასეთივე წესით ამოვხსნით ორგანტოლებიან სისტემას.

ორგანტოლებიანი სისტემის ამოხსნის ტხრილი.

X_2	X_3	N	
180	I ოპერაცია	-28,33P	180
81	81	-13,5 P	
	II ოპერაცია	1,87P	81
	-179		

ამ ცხრილადან ვღებულობთ:

$$\bar{X}_2 = -\frac{1,67 P}{179} = -0,0093 P$$

$$180\bar{X}_3 - 81 \cdot 0,0093 P = -28,33 P$$

საიდანაც

$$\bar{X}_3 = \frac{-28,33 + 0,75}{180} P = -0,153 P$$

თუ მოგვესურებოდა იგივე ამოცანის ამოხსნა სხვა დატვირთვისათვის, მაშინ განტოლებებში შეიცვლებოდა მხოლოდ $\bar{m}_1, \bar{m}_2, \dots$ მნიშვნელობები, რაც გავლენას მოახდენდა მხოლოდ N სვეტის ოპერაციაზე. ამიტომ რეკომენდირებულია თავიდანვე შევავსოთ რამდენიმე N სვეტი ყველა მოცემული დატვირთვის შესაბამისად და თითოეულ დატვირთვისათვის ვისარგებლოდ შესაბამისი სვეტით.

§ 68. სტატისტიკურად ურკვევადი ჩარჩოების ანგარიშის მსვლელობა

სტატისტიკურად ურკვევადი ჩარჩოების ანგარიშის დროს არ არის საჭირო კვების ზომების აბსოლუტური სიდიდეებით დანიშვნა. საკმარისია მხოლოდ ერთი რომელიმე ღეროს ყველა დანარჩენ ღეროებთან ინერციის მომენტთა შეფარდების $\frac{J_0}{J_1}$ მოცემა. ეს წესი გამომდინარეობს უშუალოდ ზედმეტი უცნობების განსაზღვრის განტოლებებიდან:

$$\bar{m}_1 + \bar{X}_1 \bar{m}_{11} + \bar{X}_2 \bar{m}_{21} + \bar{X}_3 \bar{m}_{31} + \dots = 0$$

$$\bar{m}_2 + \bar{X}_1 \bar{m}_{12} + \bar{X}_2 \bar{m}_{22} + \bar{X}_3 \bar{m}_{32} + \dots = 0$$

$$\bar{m}_3 + \bar{X}_1 \bar{m}_{13} + \bar{X}_2 \bar{m}_{23} + \bar{X}_3 \bar{m}_{33} + \dots = 0$$

თუ ერთ-ერთი ღეროს J_0 ინერციის მომენტს ძირითადად მივიღებთ, გამოვალთ ცნობილ გამოსახულებიდან

$$\bar{v} = \sum \frac{K}{EJ},$$

და ჯამის ნიშნის გარეთ გამოვიტანთ მამრავლს $-\frac{1}{EJ_0}$, რომელზედაც ვკვიცავთ განტოლების ორივე ნაწილს, მაშინ

$$\left. \begin{aligned} \sum K_{m1} \frac{J_0}{J} + \bar{X}_1 \sum K_{11} \frac{J_0}{J} + \bar{X}_2 \sum K_{21} \frac{J_0}{J} + \bar{X}_3 \sum K_{31} \frac{J_0}{J} + \dots &= 0 \\ \sum K_{m2} \frac{J_0}{J} + \bar{X}_1 \sum K_{12} \frac{J_0}{J} + \bar{X}_2 \sum K_{22} \frac{J_0}{J} + \bar{X}_3 \sum K_{32} \frac{J_0}{J} + \dots &= 0 \\ \sum K_{m3} \frac{J_0}{J} + \bar{X}_1 \sum K_{13} \frac{J_0}{J} + \bar{X}_2 \sum K_{23} \frac{J_0}{J} + \bar{X}_3 \sum K_{33} \frac{J_0}{J} + \dots &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (73)$$

როგორც (73)-ე განმარტებით ნ.ს.ს. განტოლებები არ შეიცავენ $\frac{1}{j}$ აბსოლუტურ მნიშვნელობებს, შეიცავენ მხოლოდ $\frac{1}{j}$ შეფარდებას.

თუ მოცემული ტიპის ჩარჩოსათვის და მოცემული დატვირთვისათვის გვაქვს ცხრილები, მაშინ საჭიროა ზედმეტი უცნობების განსაზღვრისათვის ამ ცხრილებით სარგებლობა. წინააღმდეგ შემთხვევაში ზედმეტი უცნობები განისაზღვრებიან განტოლებების უშუალო ამოხსნით. ამისათვის კი რეკომენდირებულია:

1) სიმეტრიული ჩარჩოების შემთხვევებში ზედმეტ უცნობებად ნივით სიმეტრიულად და ასიმეტრიულად განლაგებული ძალები.

2) ზედმეტი უცნობების სახით მივიღოთ ან შიგაძალები ან ხისტი საყრდენი რეაქციები, რადგან მხოლოდ ასეთ შემთხვევებში ამ ძალების შესაბამისი გადაადგილებანი ნულის ტოლია და (73)-ე განტოლებებს ექნებათ ძალა.

3) გარეძალთა რთული ერთობლიობა უნდა დაეშალოს მარტივ სისტემებად და ცალ-ცალკე თითოეული სისტემის მოქმედება განვსაზღვროთ ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის კანონის საფუძველზე.

4) მრავალ ზედმეტ უცნობთა შემთხვევებში, განტოლებებში მონაცემები ჩაისვას რიცხვითი სახით.

5) განტოლებათა სისტემის ამოხსნას დეტერმინანტთა დახმარებით, ან წინა პარაგრაფში მოყვანილი ოპერაციათა ცხრილების შედგენის ნეთოდით.

ზედმეტი უცნობების განსაზღვრის შემდეგ აწარმოებენ მლუნავი მომენტის ებიურის აგებას, განსაზღვრავენ გრძივ და განივ ძალებს. შეარჩევენ ჩარჩოს ელემენტების კვეთებს და შეამოწმებენ $\frac{1}{j}$ ფარდობას. იმ შემთხვევაში, როდესაც მიღებული ფარდობა მკვეთრად განსხვავდება წინასწარ დანიშნულ სიდიდესაგან, მაშინ ანგარიში უნდა ჩავატაროთ მეორეჯერ.

თუ მოითხოვება მოძრავი დატვირთვის მოქმედების გათვალისწინება გავლენის ხაზების საშუალებით, მაშინ ან ხაზების ასაგებად გარეგან დატვირთვად მიიღებენ $P=1$ ძალას, რომლის ნდებარეობა განისაზღვრება ნებისმიერი x აბსცისით. მაშინ ზედმეტი უცნობები განიზღვრებიან, როგორც x -ის ფუნქციები და შესაბამისი გამოსახულებანი წარმოადგენენ გავლენის ხაზის ორდინატებს.

§ 69. სტატიკურად ურკვევადი ჩარჩოების ანგარიში ტემპერატურის მოქმედების შემთხვევისათვის

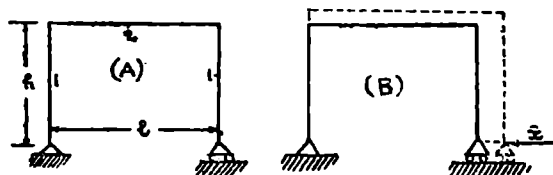
ტემპერატურის მოქმედებით ჩარჩოს ანგარიში წარმოებს ცალკე, რის შემდეგ დატვირთვით და ტემპერატურის მოქმედებებით მიღებული შედეგები ჯამდება. ტემპერატურაზე გაანგარიშების ზოგადი მეთოდი მდგომარეობს შემდეგში: ზედმეტ დამაგრებებს წინასწარ მოაშორებენ, რის შემდეგ ჩარჩოზე ამოქმედებენ ტემპერატურას. ამით კი წეიცვლება ჩარჩოს ფორმა. შემდეგ მოდებენ ძალებს, რომლებიც ცვლიან მოშორებულ დამაგრებათა მოქმედებებს, რისთვისაც ძალთა სიდიდეებს შეარჩევენ ისეთნაირად, რომ ტემპერატურის და აღნიშნული ძალების ერთობლივი მოქმედებით დაცული იყოს ჩარჩოს დამაგრების პირობები. რაც შეეხება ზედმეტი დამაგრებებისაგან განთავისუფლებული

ჩარჩოს ფორმას ცვლილების ხასიათს ტრეპეოატურის მოქმედებით, მთელ ჩარჩოზე ტემპერატურის t° -ით თანაბრად ცვლის დროს, ჩარჩო მიიღებს ფიგურის ფორმას, რომელიც მსგავსი იქნება პირვანდელი მოხაზულობის და ჩარჩოს ახალი ფორმის ზომები განსხვავებული იქნებიან პირვანდელი ფორმის შესაბამის ზომებისაგან, როგორც $(1 + \alpha t)$ და l შეფარდება, სადაც α ჩარჩოს მასალის ხაზოვანი გაფართოების კოეფიციენტია. თუ ტემპერატურის მოქმედებას განვიხილავთ ცალკეულ ღერო, მაშინ მხოლოდ $(1 + \alpha t)$ -ჯერ შეიცვლება ღეროს ზომები. l სიდიდეს მივიღებთ დადებითად, როდესაც ტემპერატურა იზრდება, წინააღმდეგ შემთხვევაში l -ს უარყოფითად.

ეს ზოგადი მეთოდი გამოვიყენოთ ჩვენს მიერ განხილული სტატიკურად ურკვევად ჩარჩოსათვის.

1-ლი შემთხვევა. 209-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ორსახსრიანი ჩარჩო. ასეთი ჩარჩო განხილული იყო § 65-ში. ტემპერატურაზე ანგარიშის ზოგადი მეთოდის გამოყენებამდე, უპირველეს ყოვლისა, მოვაშოროთ ზედმეტი დამაგრება, ე. ი. მივანიჭოთ მარჯვენა საყრდენს ჰორიზონტალური გადაადგილების შესაძლებლობა. შემდეგ გავათხოთ მთელი

მეთოდის გამოყენებამდე, უპირველეს ყოვლისა, მოვაშოროთ ზედმეტი დამაგრება, ე. ი. მივანიჭოთ მარჯვენა საყრდენს ჰორიზონტალური გადაადგილების შესაძლებლობა. შემდეგ გავათხოთ მთელი

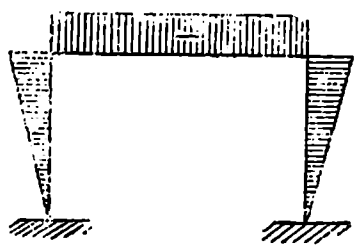


ნახ. 209.

ჩარჩო თანაბრად t° -ზე. ასეთ შემთხვევაში ჩარჩოს ყველა ზომა, მათ შორის მალის სიდიდე შეიცვლება $(1 + \alpha t)$ -ჯერ, ე. ი. მალის სიდიდე მიიღებს შემდეგ ნაზრდს:

$$\Delta l = l(1 + \alpha t) - l = l\alpha t$$

იმისათვის, რომ მალს დაუბრუნოთ პირვანდელი სიდიდის მნიშვნელობა და ამით შევასრულოთ სტატიკურად ურკვევადი ჩარჩოს საყრდენი დამაგრების პირობა, საჭიროა მასზე მოვდოთ ისეთი ზედმეტი \bar{X} სიდიდის ძალა, რომ ამ ძალის მოქმედებით მარჯვენა საყრდენმა \bar{X} -ის მიმართულებით მიიღოს Δl გადაადგილება. ვიცით, რომ გადაადგილებისათვის ზოგად გამოსახულებას, ზედმეტი \bar{X} ძალის შესაბამისად და სისტემას მხოლოდ ერთი ზედმეტი უცნობით, აქვს შემდეგი სახე: (იხ. მე-(16) ფორ. § 53).



ნახ. 210.

$$\bar{X} = \bar{X}_{11} + \bar{X}_{11}$$

ჩვენს შემთხვევაში \bar{X}_{11} არის მოცემული გარეძალის მოქმედებით გამოწვეული გადაადგილება, და ის უდრის ნულს გარეძალის არ არსებობის გამო. მივიღებთ: $\bar{X}_{11} = l\alpha t$.

§ 65-ის თანახმად, ორსახსრიან ჩარჩოსათვის გვაქვს:

$$\delta_{11} = \frac{h^3}{EJ_1} \left(\frac{2}{3} h + ul \right); \quad \text{სადაც } u = \frac{J_1}{J_2}.$$

აქედან

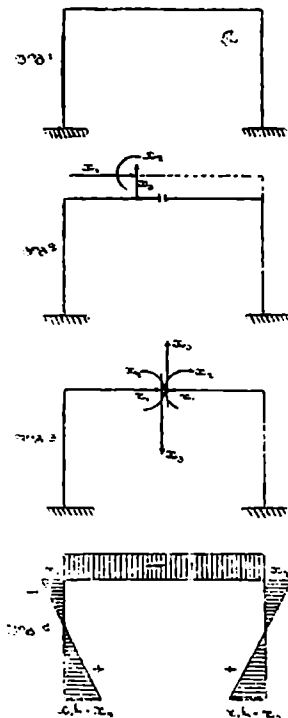
$$\bar{X} = \frac{EJ_1 \alpha l}{h^2 \left(\frac{2}{3} h + ul \right)}.$$

\bar{X} -ის განსაზღვრით, ტემპერატურის ნოქმედებისაგან აუარებთ მღუნავი მომენტის ეპიურას (ნახ. 210). ადვილი შესაშრნეია, რომ შედეგა მიიღებოდა ისეთივე თუ შევცვლიდით, მხოლოდ პორიზონტალური რიგელის ტემპერატურას t^0 -ით, რადგან ჩარჩოს ეს მალი ზედმეტ დამაგრებისაგან განთავისუფლების შემდეგ შეიცვლებოდა იგივე αl სიდიდით.

მე-2 შემთხვევა. ჩამაგრებული ქუსლე ბიანი ჩარჩო (ნახ. 211). ეს შემთხვევა განხილული იყო ჩვენს მიერ ნ-ე პარაგრაფში. თუ ჩარჩო სიმეტრიულია და მას გავქრით სიმეტრიის ღერძზე, მივიღებთ სტატიკურად რკვევად ორნახევარ ჩარჩოს. შევცვალოთ მთელი ჩარჩოს ტემპერატურა t^0 -ით. მაშინ თითოეული ნახევარჩარჩო მსგავს ფიგურად იქცევა, ყველა ზომა შეიცვლება $(1 + \alpha t)$ -ჯერ და ამას გარდა ყველა გვერდი და განივი კვეთებიც (გვერდების პერპენდიკულარული) შეინარჩუნებენ პირვანდელის პარალელურ მდებარეობას (211 ნახ. მე-2 ფიგურა, სადაც აღნიშნულია ერთი ნახევარჩარჩოს დეფორმაცია). ზედმეტი უცნობები \bar{X}_1 , \bar{X}_2 , \bar{X}_3 იმ პირობიდან უნდა განისაზღვრონ, რომ ამ ძალების მოქმედებით ორივე ნახევარჩარჩოს ნაპირა კვეთები ხელახლად დაემთხვეს ერთმანეთს. ეს იმას ნიშნავს, რომ \bar{X}_1 ძალის შესაბამისი გადაადგილება (ორივე ნახევარჩარჩოს პორიზონტალურ გადაადგილებათა ჯამი) ტოლი უნდა იყოს:

$$2 \left(\frac{l}{2} \alpha l \right) = \alpha l.$$

\bar{X}_2 და \bar{X}_3 ძალების შესაბამისი გადაადგილება წნულის ტოლი უნდა იყოს, რადგან ორივე კვეთმა უნდა შეინარჩუნოს თავისი პარალელური მდებარეობა და ერთნაირ სიმაღლეზე დარჩეს (კვეთების ფარდობითი მობრუნება და ფარდობითი ვერტიკალური გადაადგილებანი წნულის ტოლი უნდა იყოს).



ნახ. 211.

აქედან

$$\left. \begin{aligned} \bar{\delta}_1 &= \bar{X}_1 \bar{\delta}_{11} + \bar{X}_2 \bar{\delta}_{21} + X_3 \bar{\delta}_{31} = lat \\ \bar{\delta}_2 &= \bar{X}_1 \bar{\delta}_{12} + \bar{X}_2 \bar{\delta}_{22} + \bar{X}_3 \bar{\delta}_{32} = 0 \\ \bar{\delta}_3 &= \bar{X}_1 \bar{\delta}_{13} + \bar{X}_2 \bar{\delta}_{23} + \bar{X}_3 \bar{\delta}_{33} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (74)$$

66-ე პარაგრაფიდან გვაქვს:

$$\bar{\delta}_{11} = \frac{1}{EJ_r} \cdot \frac{2}{3} h^3 \frac{J_r}{J_c}$$

$$\bar{\delta}_{12} = \frac{1}{EJ_r} h^2 \frac{J_r}{J_c}$$

$$\bar{\delta}_{13} = 0,$$

$$\bar{\delta}_{22} = \frac{1}{EJ_r} \left(2h \frac{J_r}{J_c} + l \right)$$

$$\bar{\delta}_{23} = 0$$

$$\bar{\delta}_{33} = \frac{1}{EJ_r} \frac{l^2}{12} \left(6h \frac{J_r}{J_c} + l \right)$$

(74)-ში ჩასმით მივიღებთ:

$$\frac{2}{3} h^3 \frac{J_r}{J_c} \bar{X}_1 + h^2 \frac{J_r}{J_c} \bar{X}_2 = EJ_r lat$$

$$h^2 \frac{J_r}{J_c} \bar{X}_1 + \left(2h \frac{J_r}{J_c} + l \right) \bar{X}_2 = 0$$

$$\bar{X}_3 \frac{l^2}{12} \left(6h \frac{J_r}{J_c} + l \right) = 0$$

ამოხსნით მივიღებთ:

$$X_1 = + \frac{3(2\nu + 1) EJ_r al}{\nu(\nu + 2) h^2}$$

$$X_2 = - \frac{3}{\nu + 2} \frac{EJ_r al}{h}$$

$$X_3 = 0$$

სადაც

$$\nu = \frac{h}{l} \cdot \frac{J_r}{J_c}$$

66-ე პარაგრაფში მოყვანილ რიცხვითი მაგალითისათვის, როდესაც $l=10$ მ. $h=6$ მ. $\frac{J_r}{J_c}=1,4$ გვექნება:

$$\nu = 0,6 \cdot 1,4 = 0,84$$

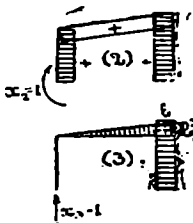
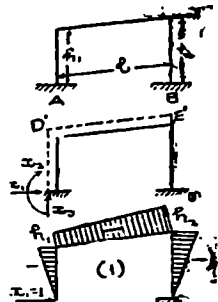
$$\bar{X}_1 = \frac{3(1 + 1,68)}{0,84(0,84 + 2)} \cdot \frac{EJ, \alpha l}{6^2} = 0,094 EJ, \alpha l$$

$$\bar{X}_2 = -\frac{3}{2,84} \frac{EJ, \alpha l}{6} = -0,176 EJ, \alpha l.$$

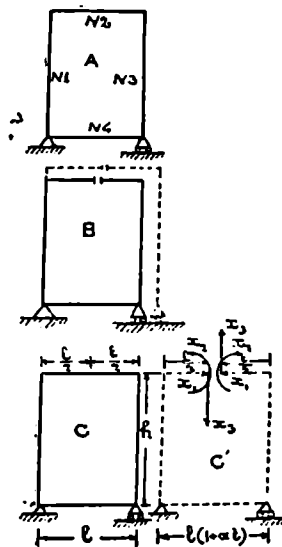
ზედმეტ უცნობთა მნიშვნელობების განსაზღვრის შემდეგ, შეგვიძლია ავსაგოთ მლუნავ მომენტთა ეპიურა, $\bar{X}_1 = 1$. $\bar{X}_2 = 1$ მოქმედებების შემთხვევაში ეპიურების სარგებლობით, ძალთა ქმედების დამოუკიდებლობის კანონის საფუძველზე. ასეთი ეპიურა აგებულია 211-ე ნახაზის მე-4 ფიგურაზე.

თუ ჩარჩო არასიმეტრიულია (ნახ. 212), მაშინ ზედმეტ დამაგრებად შეიძლება მივიღოთ ერთ-ერთი საყრდენი. ამ დამაგრების მოშორების შემდეგ შევცვალოთ მთელი ჩარჩოს ტემპერატურა

t' -ით. A კვეთი დარჩება კოორდინატულურ AB ხაზზე და შეინარჩუნებს პირვანდელის პარალელურ მდებარეობას, მხოლოდ კოორდინატულურ მიმართულებაზე გადაადგილდება $l\alpha$ სიღიძით. (ეს გამომდინარეობს $A'D'E'B'$ ფიგურების მსგავსობიდან). ზედმეტი დამაგრებათა მოქმედების შემცველნი $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$ ძალები უნდა განისაზღვრონ პირობებიდან:



ნახ. 212.



ნახ. 213.

აქედან

$$\delta_1 = l\alpha$$

$$\delta_2 = 0$$

$$\delta_3 = 0$$

$$\delta_{11} \bar{X}_1 + \delta_{21} \bar{X}_2 + \delta_{31} \bar{X}_3 = l\alpha.$$

$$\delta_{12} \bar{X}_1 + \delta_{22} \bar{X}_2 + \delta_{32} \bar{X}_3 = 0$$

$$\delta_{13} \bar{X}_1 + \delta_{23} \bar{X}_2 + \delta_{33} \bar{X}_3 = 0$$

სადაც

$$\delta_{11} = \sum \frac{1}{EJ} \cdot K_{11}$$

$$\delta_{12} = \sum \frac{1}{EJ} \cdot K_{12} \text{ და ა. შ.}$$

აქ K_{11} — (1) ეპიურის კომბინაცია (1) ეპიურასთან, K_{12} (1) ეპიურის კომბინაცია მე-(2) ეპიურასთან და ა. შ.

მე-8 შემთხვევა. ჩაკეტილი კონტურიანი ჩარჩო (ნახ. 213). ასეთი ჩარჩო განზილული იყო ჩვენს მიერ § 67-ში. ის სტატიკურად რკვევადია საყრდენი რეაქციების მიმართ, მაგრამ შინაგანად სტატიკურად ურკვევადია. მთელი ჩარჩოს თანაბარი გათბობით ყველა გვერდი $(1 + \alpha t)$ -ჯერ შეიცვლება; ამიტომ თუ ჩვენ მას გავკრიდით რომელიმე ადგილას (ნახ. 213 B), მაშინ ამ ადგილის გათბობით გაკრილი ნაწილები ერთმანეთს დაემთხვევოდნენ და არაეითარი ძალის მოღება არ დაგვკირდებოდა.

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც ქვედა განბრჯენი განიცილის ტემპერატურის მოქმედებას (ნახ. 213 C). უფრო კარგად გაგების მიზნით წარმოვიდგინოთ ჩარჩოს შეცვლილი ფორმა ცალკე (C'), მასზე მოღებული \bar{X}_1 , \bar{X}_2 და \bar{X}_3 ძალებით ისე, რომ ხელახლად ჩაიკეტოს კონტური (სიმეტრიის პირობიდან შეიძლება დარწმუნება იმისა, რომ $\bar{X}_3 = 0$), მაშინ

$$\delta_1 = \bar{X}_1 \delta_{11} + \bar{X}_2 \delta_{21} + \bar{X}_3 \delta_{31} = \alpha t$$

$$\delta_2 = \bar{X}_1 \delta_{12} + \bar{X}_2 \delta_{22} + \bar{X}_3 \delta_{32} = 0,$$

$$\delta_3 = \bar{X}_1 \delta_{13} + \bar{X}_2 \delta_{23} + \bar{X}_3 \delta_{33} = 0.$$

§ 67-ში ჩვენ განვიხილეთ რიცხვითი მაგალითი, სახელდობრ გვექონდა არჩო $l = 6$ მ. მალით, $h = 8$ მ. სიმალით და ინერციის მომენტთა შეფარდებანი:

$$\frac{J_2}{J_1} = 2, \quad \frac{J_3}{J_2} = 2, \quad \frac{J_3}{J_1} = 0.5.$$

ასეთი მაგალითისათვის გვაქვს:

$$\delta_{11} = \frac{1}{EJ_2} 875,$$

$$\delta_{12} = \frac{1}{EJ_2} 152,$$

$$\delta_{13} = 0,$$

$$\delta_{22} = \frac{1}{EJ_3} 41,$$

$$\delta_{23} = 0,$$

$$\delta_{33} = \frac{1}{EJ_3} 315.$$

ჩასმით მივიღებთ:

$$872 \bar{X}_1 + 152 \bar{X}_2 = EJ_2 \alpha t,$$

$$152 \bar{X}_1 + 41 \bar{X}_2 = 0,$$

$$315 \bar{X}_3 = 0.$$

$$X_1 = 0,020 EJ_2 \alpha l,$$

$$X_2 = -0,092 EJ_2 \alpha l,$$

$$X_3 = 0.$$

§ 70. სტატიკურად ურკვევადი კოშკებისა და ჩარჩოების გაანგარიშების გრაფიკული ხეხი (ფოტოსურათის მეთოდი)

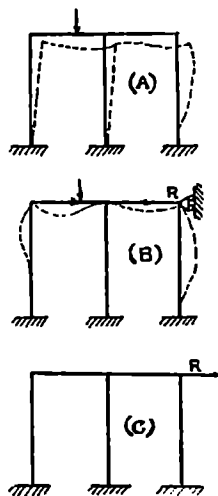
როდესაც ჩარჩოზე (ნახ. 214 ფიგ. A) მოქმედებს ძალთა რიგე სისტემა, მაშინ ჩარჩოს დეფორმაციები დაიყვანება: ღეროების ღუნვაზე, გაქიმვაზე ან კუმშვაზე, ძვრაზე და კვანძების გადაადგილებებზე. ჩვენი შეთანხმების თანახმად ჩარჩოების დეფორმაციებს, გამოწვეულს გაქიმვისგან ან კუმშვისგან ანდა ძვრისაგან, მხედველობაში არ მივიღებთ, რადგან ისინი უმნიშვნელონი არიან ღუნვისგან გამოწვეული დეფორმაციებთან შედარებით. ჩარჩოს კვანძების გადანაცვლების გამო გაძნელებულია მისი დეფორმაციის განხილვა და ამ ამოცანის გამარტივების მიზნით შეგვყავს დამატებითი დამაგრებანი, რომლებიც შეაფერხებენ კვანძების გადანაცვლებას. მაგალითად, 214-ე ნახ. წარმოდგენილი ჩარჩოსათვის საკმარისია ჰორიზონტალური გადაადგილებისადმი ხელის შემშლელი რიგელის დონეზე საყრდენის დაყენება (ნახ. 214 ფიგ. B). ასეთ შემთხვევაში ჩარჩოს ყველა კვანძები დარჩებიან თავიანთ ადგილებზე, რადგან ჩვენი შეთანხმების თანახმად ღეროების სიგრძეების ცვლილებებით გამოწვეული გადაადგილებებს მხედველობაში არ ვლვებულობთ. მაგრამ B სქემაზე გვაქვს დამატებითი K ძალა—საყრდენი რეაქცია, რომელიც არ გვაქვს 214-ე ნახაზის მოცემულ A სქემაზე.

იმისათვის, რომ მოცემულ სქემას დაუბრუნდეთ, საჭიროა ცალკე განვიხილოთ R ძალის მოქმედება, რომელიც დამატებითი საყრდენი რეაქციის (სქემა C) ტოლი და მოპირდაპირეა და შემდეგ შევაჯამოთ B და C სქემების მიხედვით ანგარიშის შედეგები. ამნაირად ჩვენ გვექნება ორი ოპერაცია:

პირველი ოპერაცია—მოცემულ ძალთა სისტემის და დამატებითი საყრდენი რეაქციის მოქმედებანი.

მეორე ოპერაცია—დამატებითი ძალების მოქმედება, რომლებიც სპობენ დამატებით საყრდენის მოქმედებას.

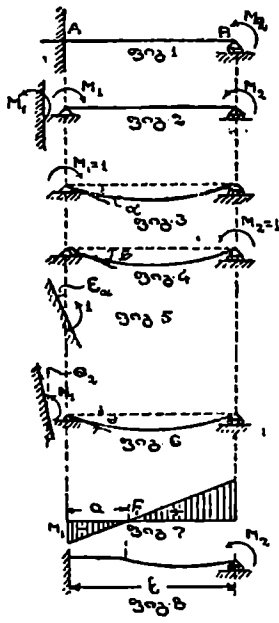
პირველ ოპერაციაში თითოეულ ღეროს აქვს უძრავი ბოლოები და განიცდის მასზე მოდებული ძალის უშუალოდ მოქმედებას, ამას გარდა წვეილძალის მოქმედებასაც, რომელიც წარმოადგენს მეზობელი ღეროების მოქმედებას განსახილველ ღეროთა ბოლოებზე. საყრდენი წვეილების ამ მომენტებს ჩვენ მივიღებთ ზედმეტ უცნობებად. დეფორმაციის განტოლებები ამ უცნობთა განსაზღვრისათვის დამოკი-



ნახ. 214.

დებული არიან ღეროთა შორის მოთავსებულ კუთხეთა უცვლადობაზე (კვანძების სიხისტე).

ა) ფოკუსების თეორია. ფოკუსების მეთოდი გამოიყენება ყველა სისტემისათვის, რომლებიც შესდგებიან მლუნავი ღეროებისაგან, კერძოდ. სტატიკურად ურკვევადი კოქებისა და ჩარჩოებისათვის. ასეთ სისტემებიდან ღეროს გამოყოფით და ზედმეტ უცნობებად საყრდენი მომენტების მიღებით ჩვენ შეგვეძლება ამოცანის დაყვანა ძირითადი სქემის— AB ღეროს შესწავლაზე, რომლის ერთი ბოლო ჩამაგრებულია (დრეკადალ ან ხისტად), მეორე კი დაყრდნობილია B წერტილში რომელზედაც მოდებულია ძალთა წყვილი M_2 მომენტით. ჩამაგრება მივიღოთ ზედმეტ დამაგრებად. შესაბამისი ზედმეტი უცნობი—ძალთა წყვილი M_1 მომენტით იმ პირობიდან განიზღვრება, რომ ბოლოებით თავისუფლად დაყრდნობილი AB კოქის საყრდენი კვების მობრუნების ფარდობითი Q კუთხე, M_1 და M_2 წყვილძალთა და საყრდენის ჩამაგრების სიბრტყის მოქმედებით ნულს ეტოლებოდა.



ნახ. 215.

შემოვიღოთ შემდეგი აღნიშვნები:
 α — სტატიკურად რკვევადი AB კოქის კვების მობრუნების კუთხე $M_1=1$ წყვილძალის მოქმედებით.
 β — იგივე $M_2=1$ მოქმედებით.
 ϵ_a — ჩამაგრებული საყრდენი სიბრტყის მობრუნების კუთხე $M_1=1$ მოქმედებით (იხ. ნახ. 215 ფიგურა მე-5).
 მაშინ

$$\Theta = \Theta_1 + \Theta_2 = M_1\alpha + M_2\beta + M_1\epsilon_a = 0.$$

აქედან

$$M_1(\alpha + \epsilon_a) + M_2\beta = 0.$$

$$\frac{M_2}{M_1} = -\frac{\alpha + \epsilon_a}{\beta} \quad (75)$$

α , β და ϵ_a სიდიდეები დადებითია. ამიტომ $\frac{M_2}{M_1} < 0$ და კოქის მლუნავი მომენტის ეპიურა 215-ე ნახაზის მე-7 ფიგურაზე წარმოადგენილ სახეს მიიღებს, ე. ი. სწორხაზის სახეს, რომელიც კოქის ღერძს გაკვეთს F_1 წერტილში. ამ წერტილის მდებარეობა განიზღვრება α სიდიდეზე დამოკიდებულებით გამოსახულებიდან:

$$\frac{M_2}{M_1} = -\frac{l-a}{a} \quad (75^1)$$

(75)-თან შედარებით დავწერთ:

$$\frac{l-a}{a} = \frac{a+\varepsilon_a}{\beta}, \quad (76)$$

საიდანაც

$$a = \frac{\beta}{\alpha + \beta + \varepsilon_a} l \quad (77)$$

ამგვარად, a სიდიდე არ არის დამოკიდებული M_2 -საგან, დამოკიდებულია მხოლოდ კოქის ზომებზე და ჩამაგრების სახეზე. F_1 წერტილის ეწოდება ფოკუსი. ის წარმოადგენს გაღუნული კოქის გადაღუნვის წერტილს M_2 წვეილის მოქმედებისგან.

თუ კოქი მუდმივკვეთიანია, მაშინ

$$\beta = \frac{l}{6EJ} \quad (78)$$

$$\alpha = \frac{l}{3EJ} = 2\beta$$

(77)-ის თანახმად გვაქვს:

$$a = \frac{1}{3 + \frac{\varepsilon_a}{\beta}} l \quad (79)$$

ბისტი ჩამაგრების შემთხვევისათვის გვაქვს:

$$\varepsilon_a = 0;$$

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{\beta}{\alpha + \beta} l \text{ ცვლადკვეთიანი ღეროებისათვის და} \\ a &= \frac{1}{3} l \text{ მუდმივკვეთიანი ღეროებისათვის} \end{aligned} \right\} \quad (80)$$

A წერტილზე თავისუფლად დაყრდნობის შემთხვევაში:

$$\varepsilon_a = \infty, \quad a = 0. \quad (81)$$

სწორედ ასევე, კოქის მარცხენა ბოლოზე აქტიური წვეილის M_1 მომენტით მოქმედებისას და მარჯვენა ბოლოს B წერტილში (ნახ. 216) დრეკადი ჩამაგრებისას, მივიღებთ:

$$b = \frac{\beta}{\gamma + \beta + \varepsilon_b} l. \quad (82)$$

მუდმივი კვეთის კოქისათვის:

$$\beta = \frac{l}{6EJ},$$

$$\gamma = \frac{l}{3} \frac{1}{EJ} = 2\beta,$$

$$b = \frac{1}{3 + \frac{\epsilon_b}{\beta}} l \quad (83)$$

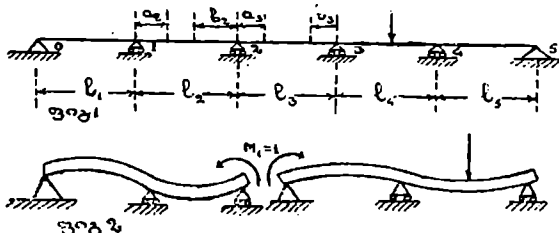
(79)-ე და (83)-ე ფორმულებიდან ჩანს, რომ მუდმივკვეთიან კოქებში ფოკუსების მდებარეობის განსაზღვრისათვის საჭიროა β და ϵ_a წინასწარი ცოდნა. β განსაზღვრა არაერთარ სიძნელეს არ წარმოადგენს. მუდმივკვეთიანი კოქისათვის β განიზღვრება (78)-ე ფორმულით.

გადაჭედვართ ϵ_a სიდიდის განსაზღვრაზე ჯერ უჭრი კოქისთვის (ნახ. 217).

ვთქვათ საჭიროა უჭრი კოქის 2—3 ღეროს a_3 საფოკუსო მანძილის განსაზღვრა წინასწარი წინა ღეროს სათანადო საფოკუსო a_2 მანძილის განსაზღვრის შემდეგ. ასეთ შემთხვევაში ϵ_a გამოსახულება წარმოადგენს 2—3 ღეროს მე-2 საყრდენი კვეთის მობრუნების კუთხეს მასზე მოდებული ერთის ტოლი წვეილი მომენტის მოქმედების შემთხვევაში. ეს კვეთი მიეკუთვნება 1—2 ღეროს (ფიგ. b) და ამნაირად ამოცანა დაიყვანება 1—2 ღეროს მარჯვენა საყრდენი კვეთის მობრუნების კუთხის განსაზღვრაზე, რომლის მარცხენა ბოლო დრეკად აღის ჩამაგრებული, ხოლო მარჯვენაზე მოდებულია $M_1=1$ აქტიური წვეილი. მარცხენა ბოლოს ჩამაგრების ხარისხი; განიზღვრება მოცემული საფოკუსო მანძილით.

ნახ. 216.

ბოლო მარჯვენაზე მოდებულია $M_1=1$ აქტიური წვეილი. მარცხენა ბოლოს ჩამაგრების ხარისხი; განიზღვრება მოცემული საფოკუსო მანძილით.



ნახ. 217.

ამგვარად, ჩვენ შევისწავლით 218-ე ნახაზზე წარმოდგენილ სქემას, სახელდობრ: განსაზღვრაეთ A ბოლოთი ჩამაგრებული და B ბოლოთი დაყრდნობილი კოქის მობრუნების ϵ_b კუთხეს, რომლის დრეკადობის ხარისხი მოცემულია საფოკუსო a მანძილით, დაყრდნობილ ბოლოზე მოდებული $M=1$

წყველსაღლის მოქმედების შემთხვევისათვის. ხეშთ იყო ნაჩენები (იხ. მაგ. ნახ. 216), რომ ასეთ შემთხვევაში მლუნავი მომენტის ეპიურა წარმოადგენდა F_1 ფოკუსზე გამავალ სწორს, B წერტილში $M_1=1$ ორდინატით. მაშასადამე, ფოკუსის მდებარეობა განსაზღვრავს ამ სწორის მდებარეობას. აქედან

$$M_2 = -\frac{1 \cdot a}{l-a},$$

$$\tau_b = M_1 \alpha + M_2 \beta = 1 \cdot \gamma - \frac{a}{l-a} \beta \quad . (84)$$

მულმიკვეთიანი კოქის შემთხვევისათვის $\gamma = 2\beta$

$$\tau_b = \beta \left(2 - \frac{a}{l-a} \right) \quad . (85)$$

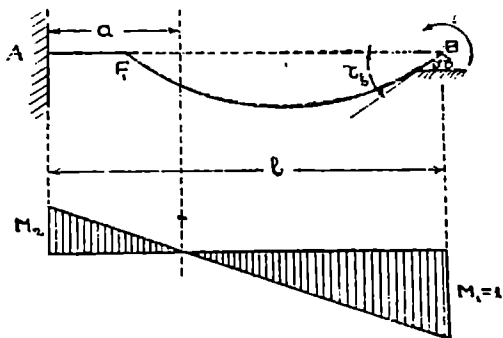
ბოლოს, თუ მულმიკვეთიანი კოქის A ბოლო ჩამაგრებულაა ხისტად, მაშინ

$$a = \frac{l}{3}$$

$$\tau_b = \beta \left(2 - \frac{1}{2} \right) = 1,5\beta = 1,5 \frac{l}{6EJ} = \frac{l}{4EJ} \quad . (86)$$

ამგვარად, უკრი კოქის თითოეულ მალისათვის შეგვიძლია საფოკუსო მანძილის განსაზღვრა, თუ განსახილველი ფოკუსის უახლოეს მალში ცნობილი იქნება მოპირდაპირე საყრდენთან მდებარე ფოკუსის (დაშორებული ფოკუსის) მდებარეობა.

თუ დავიწყებთ ნაპირა მალიდან, მაშინ ნაპირა საყრდენთან ახლოს მდებარე ფოკუსის მდებარეობა განიზღვრება ნაპირა საყრდენის კვეთის დამაგრების პირობიდან. ამის შემდეგ, გვეცოდინება რა ამ ფოკუსის მდებარეობა, თანმიყოლებით გადავალთ შემდეგ მალე-



ნახ. 218.

ზე და განვსაზღვრავთ თითო საფოკუსო მანძილს თითოეულ მალში. ასეთი ოპერაციის გამოკრებით, დაწყებული მეორე ნაპირა საყრდენიდან, განვსაზღვრავთ მეორე საფოკუსო მანძილებს.

მაგალითის სახით განვიხილოთ მუდმივკვეთიანი, l -ის ტოლი მალეებით, ხუთმალისანი უკრი კოჭი (ნახ. 217). მარცხენა საფოკუსო a მანძილი ნებისმიერ მალისათვის ასეთნაირად გამოისახება:

$$a = \frac{l}{3 + \frac{\varepsilon_a}{\beta} l},$$

სადაც ყველა მალისათვის

$$\beta = \frac{l}{6 EJ}$$

საფოკუსო მანძილების განსაზღვრას ვაწარმოებთ თანდათანობით, დაწყებული პირველი მალიდან.

№ 1 მალისათვის მარცხენა ბოლოს თავისუფლად დაყრდნობის გამო გვაქვს:

$$\varepsilon_a = \infty, \quad a = 0.$$

მას შემდეგ, რაც განვსაზღვრეთ პირველი მალის მარცხენა საფოკუსო მანძილი, შესაძლებლობა გვეძლევა გადავიდეთ მე-2 მალის შესაბამის საფოკუსო მანძილის განსაზღვრაზე. გვაქვს:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 = \beta_1 \left(2 - \frac{a_1}{l - a_1} \right) = \frac{l}{6 EJ} \cdot 2$$

$$a_2 = \frac{l}{3 + \frac{\varepsilon_2}{\beta_2}} = \frac{l}{3 + 2} = 0,2l.$$

შემდეგ გადავიდეთ № 3 მალზე:

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_2 = \beta_2 \left(2 - \frac{a_2}{l - a_2} \right) = \frac{1}{6 EJ} \left(2 - \frac{0,2}{0,8} \right) = 1,75 \frac{1}{6 EJ};$$

$$a_3 = \frac{l}{3 + \frac{\varepsilon_3}{\beta_3}} = \frac{l}{3 + 1,75} = 0,21 l.$$

№ 4 მალისათვის:

$$\varepsilon_4 = \varepsilon_3 = \beta_3 \left(2 - \frac{a_3}{l - a_3} \right) = \frac{1}{6 EJ} \left(2 - \frac{0,21}{0,79} \right) = 1,744 \frac{1}{6 EJ};$$

$$a_4 = \frac{l}{3 + \frac{\varepsilon_4}{\beta_4}} = \frac{l}{3 + 1,744} = 0,21 l.$$

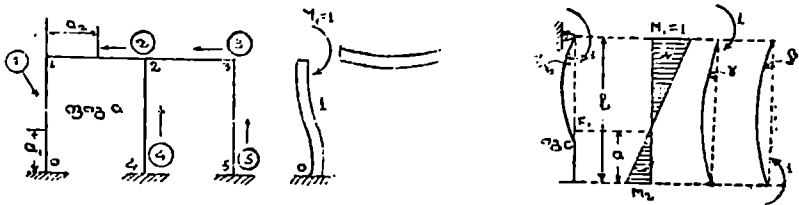
№ 5 მაღისათვის:

$$\varepsilon_2 = \tau_2 = \beta_2 \left(2 - \frac{a_2}{l - a_2} \right) = \beta_2 \left(2 - \frac{0,21}{0,79} \right) = 1,744 \frac{l}{6 EJ}$$

$$a_2 = \frac{l}{3 + \frac{\varepsilon_2}{\beta_2}} = 0,21l$$

სწორედ ასევე № 5 მალიდან დაწყებული და მარცხნივ თანდათანობით გადასვლით, შევძლებთ b_6, b_4, b_3, b_2, b_1 სიდიდეების განსაზღვრას. სიმეტრიულობის გამო გვაქვს:

$$b_5 = 0; \quad b_4 = 0,20l; \quad b_3 = 0,21l; \quad b_2 = 0,21l; \quad b_1 = 0,21l;$$



ნახ. 219.

ახლა გადავიდეთ ჩარჩოებისათვის საფოკუსო მანძილების განსაზღვრაზე. თუ საკიროა ჩარჩოს მე-2 ლეროს a_2 საფოკუსო მანძილის განსაზღვრა (ნახ. 219), მას შემდეგ, რაც მოცემული იქნება წინა 1 ლეროს შესაბამისი საფოკუსო a_1 მანძილი, მაშინ საფუძვლად მივიღებთ იმ მოსაზრებას, რომ მე-2 ლეროს მარცხენა საყრდენი კვეთი ეკუთვნის 1 ლეროსაც. მაშასადამე, მე-2 ლეროს ε_2 სიდიდის განსაზღვრისათვის უნდა განვიხილოთ 1 ლერო, რომლის ქვედა ბოლო ჩამაგრებულია, ხოლო ზედა ბოლოზე მოდებულია წყვილ-ძალი $M_1 = 1$ მომენტი. ქვედა ბოლოს ჩამაგრების ხარისხი განიზღვრება მოცემული საფოკუსო a_1 მანძილით. მიიღება ისეთივე სქემა, როგორც უკრი კოქისათვის (ნახ. 218), და τ სიდიდის განსაზღვრისათვის ვღებულობთ იგივე (84)-ე და (85)-ე გამოსახულებებს.

რთულად დგას საკითხი მე-3 ლეროსთვის. მისთვის მარცხენა საყრდენს წარმოადგენს კვანძი, რომელშიაც ხისტად არის დამაგრებული მე-(2) და მე-(4) ლეროები. ასეთი კვანძის მობრუნების τ კუთხე, $M=1$ წყვილის მოქმედებით (ნახ. 219 ფიგ. C), წარმოადგენს ε_3 კუთხეს განსაზღვრულ მე-3 ლეროსთვის. τ კუთხის განსაზღვრა ადვილად შეიძლება, თუ ცნობილი იქნება BC და CF ლეროების B და F ბოლოების უახლოესი ფოკუსების მდებარეობანი (ნახ. 220). გამოვყოთ კვანძი ორი კვეთით, რომლებიც გატარებულია მისგან უსასრულო მცირე მანძილზე. გამოყოფილ ნაწილზე მოდებული ძალები უნდა აკმაყოფილებდნ წონასწორობის პირობებს. ნულს გაუტოლებთ კუთხის ცენტრის მიმართ ყველა ძალთა მომენტების ჯამს. თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ გრძივი

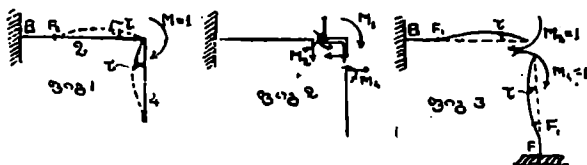
ძალები ამ წერტილზე გადიან, ხოლო განივი ძალთა მხრები უსასრულო მცირე არიან, მაშინ შეგვიძლია ზღვრულ შემთხვევაში, როდესაც კვეთიდან მანძილი კუთხის ცენტრამდე უდრის ნულს, დავწეროთ:

$$M_1 = M_2 + M_4 \quad . (87)$$

მოცემულ შემთხვევისათვის კი

$$1 = M_2 + M_4 \quad . (88)$$

ზემოთ გამოყვანილი (84)-ე ფორმულის საფუძველზე შეგვიძლია BC და CF ღეროთა C ბოლოების τ_{12} და τ_{14} კუთხეების განსაზღვრა, როდესაც მოქ-



ნახ. 220.

მედებს წყვილძალი ერთის ტოლი მომენტით (ფიგ. მე-3). მაგრამ ამ ბოლოების მობრუნების ნამდვილი კუთხე უდრის τ_1 -ს (ფიგ. 1). ძალთა ქმედების შეკრების კანონის თანახმად გვაქვს:

$$\tau_1 = M_2 \tau_{12} = M_4 \tau_{14}$$

აქედან

$$M_2 = \frac{\tau_1}{\tau_{12}}, \quad M_4 = \frac{\tau_1}{\tau_{14}}$$

(87)-ე ფორმულაში ჩასმით მივიღებთ:

$$1 = \frac{\tau_1}{\tau_{12}} + \frac{\tau_1}{\tau_{14}}$$

ან

$$\frac{1}{\tau_1} = \frac{1}{\tau_{12}} + \frac{1}{\tau_{14}} \quad (89)$$

ამ გამოსახულების გარდაქმნა შეიძლება ასედაც:

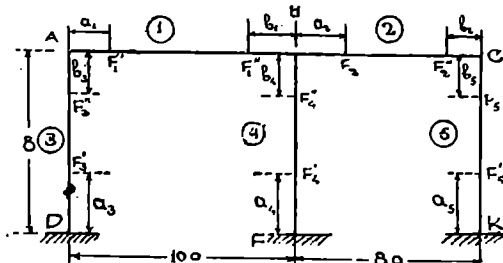
$$\tau_1 = \frac{\tau_{12} \cdot \tau_{14}}{\tau_{12} + \tau_{14}} \quad . (90)$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც მოცემულ წერტილში თავს იყრის მეტი რაოდენობით ღეროები, მაშინ ანალოგიით მივიღებთ:

$$\frac{1}{\tau_i} = \sum \frac{1}{\tau_{i,j}} \quad . (91)$$

ამგვარად, τ_1 კუთხე განივხატი τ_{12} , τ_{14} და ა. შ. კუთხეებით. რაც მოითხოვებოდა.

ჩვენ შივილეთ ε_0 სიდიდის განსაზღვრისათვის შემდეგა წესი განსახილველი ღეროს იმ ბოლოსათვის, რომელიც დამაგრებულია კვანძთან და რომელშიც თავს იყრის ერთმანეთთან ხისტად დაკავშირებული ორი ან რამდენიმე სხვა ღერო, რომელთა დაშორებული საფოკუსო მანძილები წინასწარ არიან განზღვრული: ჯერ უნდა განისაზღვრონ r_{12} და r_{14} კუთხეთა სიდიდეები ამ ღეროებისათვის—პირობითი გულეებით, ისე, რომ განსახილველი ღე-



ნახ. 221.

რო თითქოს თითოეულ მითგანთან ცალ-ცალკე იყოს დაკავშირებული, რის შემდეგაც (91)-ე ფორმულით განესაზღვრაეთ r_1 სიდიდეს და, მაშასადამე, ε_0 .

მაგალითის სახით განვიხილოთ 221-ე ნახ. წარმოდგენილი ჩარჩო. ჩარჩოს სიმაღლეა 8 მ. მალეები 10 მ. და 8 მ. ინერციის მომენტები:

$$J_1 = 0,0054 \text{ მ}^4, \quad J_2 = J_3 = J_4 = 0,003125 \text{ მ}^4, \quad J_5 = 0,0016 \text{ მ}^4.$$

წინასწარ განესაზღვრაეთ ყველა ღეროსათვის β მნიშვნელობას. მუდმივი კვეთის ღეროსათვის β -ს ზოგადი გამოსახულება ასეთია:

$$\beta = \frac{l}{6 EJ}.$$

AB რიგელისათვის გვაქვს:

$$\beta_1 = \frac{10}{6 E \cdot 0,0054} = 308,6 \frac{1}{E}.$$

BC რიგელისათვის:

$$\beta_2 = \frac{8}{6 E \cdot 0,003125} = 426,7 \frac{1}{E}.$$

დგარებისათვის:

$$\beta_3 = \frac{8}{6 E \cdot 0,003125} = 426,7 \frac{1}{E}.$$

$$\beta_4 = \frac{8}{6 E \cdot 0,003125} = 426,7 \frac{1}{E}.$$

$$\beta_5 = \frac{8}{6 E \cdot 0,0016} = 833,3 \frac{1}{E}.$$

ახლა გადავიდეთ ფოკუსების მდებარეობების განსაზღვრაზე. დავიწყოთ DA , EB და KC დგარებიდან. მათი ქვედა ბოლოები ჩამაგრებულია ხისტად, ამიტომ (79)-ე ფორმულის საფუძველზე:

$$a_3 = \frac{8}{3} = 2,67 \text{ მ,}$$

$$a_4 = \frac{8}{3} = 2,67 \text{ მ,}$$

$$a_5 = \frac{8}{3} = 2,67 \text{ მ.}$$

გადავიდეთ AB რიგელზე. მისი მარცხენა ბოლო დაკავშირებულია დგართან, რომლის F_3' ფოკუსის მდებარეობა ცნობილია. ამიტომ შეგვიძლია a_1 სიდიდის განსაზღვრა. გვაქვს:

$$a_1 = \frac{l}{3 + \frac{e_{a1}}{\beta_1}}$$

აქ $\beta_1 = 308,6 \frac{1}{E}$. რაც შეეხება e_{a1} კუთხეს, ის ტოლია № 3 დგარის ზედა ბოლოს მობრუნების r_3 კუთხის, ამ ბოლოზე მოდებული ძალთა წყვილის $M=1$ მომენტის მოქმედების შემახვევაში. (86)-ე ფორმულის ძალით გვაქვს:

$$e_{a1} = r_3 = \frac{l_3}{4EJ_3} = \frac{8}{4E \cdot 0,003125} = 640 \frac{1}{E}.$$

a_1 -ის გამოსახულებაში ჩასმით მივიღებთ:

$$a_1 = \frac{10}{3 + \frac{640}{308,6}} = 1,97 \text{ მ.}$$

მას შემდეგ, რაც განისაზღვრა a_1 , შეგვიძლია გადავიდეთ BC დგარს a_2 საფოკუსო მანძილის განსაზღვრაზე, რადგან a_1 და a_4 სიდიდეები ცნობილი არიან. გვაქვს:

$$a_2 = \frac{l^2}{3 + \frac{e_{a2}}{\beta_2}}$$

აქ

$$\beta_2 = 426,7 \frac{1}{E}$$

e_{a2} კუთხე უდრის B კვანძის (რომელიც აკავშირებს BE დგარს AB რიგელთან) მობრუნების r_{a2} კუთხეს, კვანძზე მოქმედი წყვილძალის $M=1$ მომენტის მოქმედების დროს.

(89)-ე და (90)-ე გამოსახულებათა ძალით გვაქვს:

$$\frac{1}{r_{b_1}} = \frac{1}{r_{b_1}} + \frac{1}{r_{b_2}},$$

ან

$$r_{b_{12}} = \frac{r_{b_1} \cdot r_{b_2}}{r_{b_1} + r_{b_2}}.$$

აქ r_{b_1} არის AB ღეროს B ბოლოს მობრუნების კუთხე ძალთა წყვილის $M_1 = 1$ მომენტის მოქმედებით, ხოლო $r_{b_2} = BE$ ღეროს ბოლოს მობრუნების კუთხე $M_2 = 1$ მოქმედებით.

(85)-ე გამოსახულების საფუძველზე გვაქვს:

$$r_{b_1} = \beta_1 \left(2 - \frac{l}{l_1 - a_1} \right) = \frac{1}{F} \cdot 308,6 \left(2 - \frac{1,97}{10 - 1,97} \right) = 541,5 \frac{1}{E}.$$

(86)-ე გამოსახულების საფუძველზე კი

$$r_{b_2} = \frac{l_2}{4EJ_2} = \frac{8}{4E \cdot 0,003125} = 640 \frac{1}{E}$$

აქედან

$$r_{b_1} = r_{b_{12}} = \frac{r_{b_1} \cdot r_{b_2}}{r_{b_1} + r_{b_2}} = \frac{\frac{1}{E^2} \cdot 541,5 \cdot 640}{\frac{1}{E} (541,5 + 640)} = 293,3 \frac{1}{E}.$$

საბოლოოდ:

$$a_2 = \frac{8}{3 + \frac{293,3}{426,7}} = 2,17 \text{ მ.}$$

ახლა შეგვიძლია გადავიღეთ KC ღერის საფოკუსო b_2 მანძილის განსაზღვრაზე:

$$b_2 = \frac{l_2}{3 + \frac{r_{b_2}}{\beta_2}}$$

გვაქვს:

$$\beta_2 = 833,3 \frac{1}{E};$$

r_{b_2} არის BC ღეროს C ბოლოს მობრუნების კუთხე წყვილძალის ერთი ტოლი მომენტის მოქმედებით.

$$r_{b_2} = r_{b_{12}} = \beta_2 \left(2 - \frac{a_2}{l_2 - a_2} \right) = \frac{1}{E} \cdot 426,7 \left(2 - \frac{2,17}{8 - 2,17} \right) = 694,6 \frac{1}{E}.$$

აქედან

$$b_2 = \frac{8}{3 + \frac{694,6}{833,3}} = 2,09 \text{ მ.}$$

ახლა გამოვალთ რა α_2 -დან, ვიმოქმედებთ შებრუნებული რიგით:

$$b_2 = \frac{l_2}{3 + \frac{\varepsilon_2}{\beta_2}}, \quad \beta_2 = 426,7 \frac{1}{E},$$

$$\varepsilon_2' = \frac{l_6}{4 E J_2} = \frac{1}{E} \frac{8}{4 \cdot 0,0016} = 1250 \frac{1}{E},$$

$$b_2 = \frac{8}{3 + \frac{1250}{426,7}} = 1,35 \text{ მ.}$$

$$b_1 = \frac{l_1}{3 + \frac{\varepsilon_1'}{\beta_1}}, \quad \beta_1 = 308,6 \frac{1}{E},$$

$$\varepsilon_1' = \tau_{b_2 1} = \frac{\tau_{b_4} \cdot \tau_{b_2}}{\tau_{b_4} + \tau_{b_2}}; \quad \tau_{b_4} = 640 \frac{1}{E};$$

$$\tau_{b_2} = \beta_2 \left(2 - \frac{b_2}{l_2 - b_2} \right) = \frac{1}{E} \cdot 426,7 \left(2 - \frac{1,35}{8 - 1,35} \right) = 766,7 \frac{1}{E};$$

$$\varepsilon_1' = \tau_{b_4 1} = \frac{1}{E} \frac{640 \cdot 766,7}{640 + 766,7} = 348,8 \frac{1}{E},$$

$$b_1 = \frac{10}{3 + \frac{348,8}{308,6}} = 2,42 \text{ მ.}$$

$$b_3 = \frac{b_3}{3 + \frac{\varepsilon_3'}{\beta_3}}; \quad \beta_3 = 426,7 \frac{1}{E};$$

$$\varepsilon_3' = \tau_{a_1} = \beta_1 \left(2 - \frac{b_1}{l_1 - b_1} \right) = \frac{1}{E} \cdot 308,6 \left(2 - \frac{2,42}{10 - 2,42} \right) = 518,7 \frac{1}{E},$$

$$b_3 = \frac{8}{3 + \frac{518,7}{426,7}} = 1,90 \text{ მ.}$$

ღარჩა განსასაზღვრავი b_4

$$b_4 = \frac{l_4}{3 + \frac{\varepsilon_4'}{\beta_4}}$$

$$\beta_4 = 426,7 \frac{1}{E},$$

სიდაც ε_4' კუთხე— B კვანძში მობრუნების კუთხეა, რომელშიც თავს იყრის AB და BC ღეროები, წყვილძალის $M=1$ მომენტით მოქმედების დროს. ვაქვს:

$$\varepsilon_4' = \varepsilon_{b12} = \frac{\varepsilon_{b1} \cdot \varepsilon_{b2}}{\varepsilon_{b1} + \varepsilon_{b2}} = \frac{1}{E} \frac{541,5 \cdot 766,7}{541,5 + 766,7} = 317,4 \frac{1}{E},$$

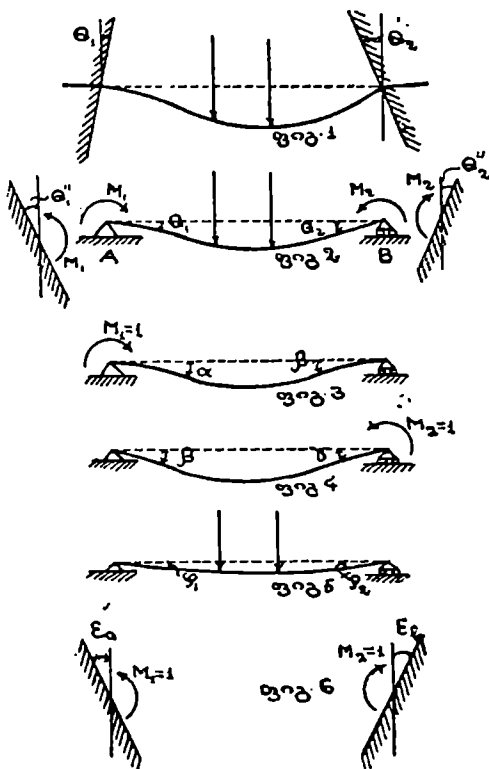
$$b_3 = \frac{8}{3 + \frac{317,4}{426,7}} = 2,14 \text{ მ.}$$

ბ) ღეროებში საყრდენი მომენტების განსაზღვრა ფოკუსების მეთოდით.

ექვეთ ღერო (ნახ. 222) დრეკადად არის ჩამაგრებული და განიცდის ნებისმიერი დატვირთვის მოქმედებას. მოვიშოროთ ზედმეტი ჩამაგრება და მისი მოქმედება წყვილძალთა M_1 და M_2 მომენტებით შევცვალოთ. მომენტების მნიშვნელობანი განიზღვრება იმ პირობიდან, რომ ღეროს ბოლოების კვეთების და საყრდენ სიბრტყეთა მობრუნების ფარდობითი (α_1 და α_2) კუთხეები ნულის ტოლი უნდა იყვნენ.

შემოვიღოთ აღნიშვნები: α და β იყოს A და B კვეთების მობრუნების კუთხეები $M_1=1$ მოქმედებით (ფიგ. მე-3 და მე-4). β და γ —იგივე მხოლოდ $M_2=1$ მომენტის მოქმედებით. B კვეთის მობრუნების კუთხე, $M_1=1$ მოქმედებით, ყოველთვის უდრის A კვეთის მობრუნების კუთხეს, $M_2=1$ მოქმედებით, ურთიერთგადაადგილებათა თეორემის საფუძველზე. მუდმივი კვეთის ღეროსათვის:

$$\gamma = \alpha = 2\beta = \frac{l}{3EJ}; \quad \beta = \frac{l}{6EJ}$$



ნახ. 222.

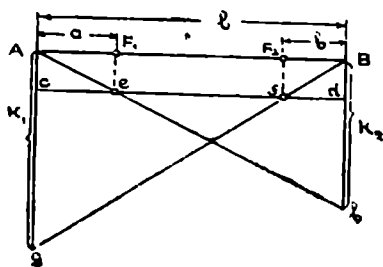
φ_1 და φ_2 — A და B კვეთების მობრუნების კუთხეებია მოცემული დატვირ-

რეის მოქმედებისაგან, ε_a — A საყრდენის მოძრუნების კუთხე $M_1=1$ წყვილის მოქმედებით და ε_b — B სათვის $M_2=1$ მოქმედებით.

M_1 და M_2 განსაზღვრის პირობები შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$\Theta_1 = \Theta_1' + \Theta_1'' = \varphi_1 + M_1 \alpha + M_2 \beta + M_1 \varepsilon_a = 0$$

$$\Theta_2 = \Theta_2' + \Theta_2'' = \varphi_2 + M_1 \beta + M_2 \gamma + M_2 \varepsilon_b = 0.$$



გარდაეკნათ შემდეგნაირად:

$$M_1 \frac{\alpha + \varepsilon_a}{\beta} + M_2 = -\frac{\varphi_1}{\beta},$$

$$M_1 + M_2 \frac{\gamma + \varepsilon_b}{\beta} = -\frac{\varphi_2}{\beta}$$

(75)-ე და (82)-ე ფორმულების თანახმად გვქონდა:

$$\frac{\alpha + \varepsilon_a}{\beta} = \frac{l-a}{a},$$

$$\frac{\gamma + \varepsilon_b}{\beta} = \frac{l-b}{b}$$

ჩასმით მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} M_1 \frac{l-a}{a} + M_2 &= -\frac{\varphi_1}{\beta} \\ M_1 + M_2 \frac{l-b}{b} &= -\frac{\varphi_2}{\beta} \end{aligned} \right\} \quad (92)$$

223-ე ნახაზზე მოზომილია საყრდენი ორდინატები:

$$\left. \begin{aligned} \bar{Aa} = K_1 &= -\frac{\varphi_2}{\beta} \\ \bar{Bb} = K_2 &= -\frac{\varphi_1}{\beta} \end{aligned} \right\} \quad (93)$$

223-ე ნახაზის თანახმად გვაქვს:

$$\bar{Bb} = \bar{Bd} + \bar{db} = \bar{Bd} + \frac{\bar{Ac}}{a} (l-a).$$

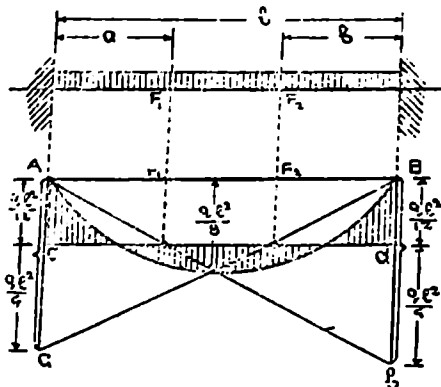
$$\bar{Aa} = \bar{Ac} + \bar{ca} = \bar{Ac} + \frac{\bar{Bd}}{b} (l-b)$$

(\bar{db} და \bar{Ca} მნიშვნელობებს ვპოულობთ Ac და edb სამკუთხედების მსგავსობიდან).

$$\left. \begin{aligned} Ac \frac{l-a}{a} + Bbd - \frac{\varphi_1}{\beta} \\ Ac + Bd \frac{l-b}{b} - \frac{\varphi_2}{\beta} \end{aligned} \right\} \quad (94)$$

(92)-ე ფორმულისათვის შედარებით, დავასკენით რომ $\overline{Ac} = M_1$ და $\overline{Bd} = M_2$, ე. ი. cd სწორი წარმოადგენს საყრდენ მომენტების ხაზს. მაშასადამე. საყრდენი მომენტების განსაზღვრისათვის, A და B წერტილების ქვემოთ მოვზომავთ საყრდენ ორდინატებს, რომლებიც შესაბამისად უდრიან $-\frac{\varphi_2}{\beta}$ და $-\frac{\varphi_1}{\beta}$ სი-

დიდეებს, ორდინატის ბოლოებს შევავრთებთ B და A წერტილებთან. ამ მონაკვეთებზე ვერტიკალებით ჩამოვიტანთ ფოკუსებს და მიღებულ წერტილებს შევავრთებთ სწორხაზით, რომელიც იქნება საყრდენ მომენტთა ხაზი, ე. ი. საყრდენ



ნახ. 224.

ვერტიკალებზე საყრდენ მომენტების ტოლ მონაკვეთებს მოკვეთს.

მაგალითი. ბოლოებით ხისტად ჩამაგრებული მულმიკვეთიანი კოჭი დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით (ნახ. 224). ჩამაგრების სიხისტის გამო:

$$a = \frac{l}{3}; \quad b = \frac{l}{3}$$

განვსაზღვროთ φ_1 და φ_2 . მოცემული დატვირთვით გამოწვეული მომენტთა ეპიურის (პარაბოლის) საფუძველზე, გრაფო-ანალიზური მეთოდით, მივიღებთ

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \frac{1}{EI} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{ql^3}{8} \cdot l \cdot \frac{1}{2} = \frac{ql^3}{24EI}$$

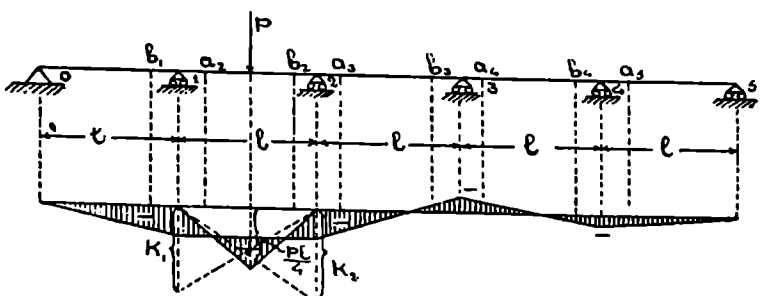
$$\beta = \frac{l}{6EI}; \quad K_1 = K_2 = -\frac{\varphi}{\beta} = -\frac{ql^3}{4}$$

მოვზომავთ $K_2 = \overline{Aa}$, $K_1 = \overline{Bb}$ სიდიდეებს. თანამიმდევრობით გავატარებთ aB , F_1f , bA , F_2e , ef სიდიდეებს, მივიღებთ მონაკვეთებს $\overline{Ac} = M_1$ და $\overline{Ba} = M_2$. ნახაზიდან ცხადია, რომ $M_1 = M_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{ql^3}{4} = \frac{ql^3}{12}$. საბოლოო ეპიურა დაშტრიხულია.

გ) უკრი კოქის მღუნავი მომენტთა ეპიურის აგება ფოკუსების მეთოდით

ამოცანას ამოვხსნით ერთი მალის დატვირთვის წარმოდგენით. ამით ჩვენ არაფერს ვკარგავთ. რადგან რამდენიმე მალის დატვირთვის შემთხვევაში, რთული ამოცანა მთელ რიგ მარტივ ამოცანებზე შეგვიძლია დავიყვანოთ, ამასთან ცალ-ცალკე დატვირთოდ თითოეული მალი და მივიღოთ საბოლოო შედეგები ძალთა ქმედების შეკრების კანონით. ყველა საფოკუსო მანძილებს კი წინასწარ განვსაზღვრავთ.

დატვირთული მალისათვის გვაქვს 222-ე ნახაზზე წარმოდგენილი სქემა, რომლის საყრდენი კვეთის ჩამაგრების ხარისხი განიზღვრება, შესაბამისად, საფოკუსო მანძილების სიდიდებით. ზემოგანხილული მეთოდის თანახმად, დატვირთული მალისათვის ავაგებთ მღუნავი მომენტების ეპიურას, რის გამოც განიზღვრება საყრდენი მღუნავი მომენტებიც. გადავიღოთ რა შემდგომ მეზობელ მალეებზე, თითოეულ მათგანისათვის გვაქვს 215-ე ნახაზზე წარმოდგენილი სქემები, რომლებიც ხასიათდებიან მალეებზე დატვირთვის უქონლობით, დატვირთული მალიდან გადაცემული ერთ ბოლოზე მოდებული აქტიური წყვილძალებით და შესაბამისად, მეორე ბოლოს დრეკადული ჩამაგრებით. გვეცოდინება რა აქტიური წყვილძალთა მომენტის სიდიდე გავატარებთ სწორხაზს მალის შორეულ ფოკუსზე და ეს სწორი იქნება ამ მალის მღუნავი მომენტის ეპიურა. ამასთანავე განიზღვრება მეორე საყრდენი მომენტიც. ასეთი თანმიმდევრული აგებით დანარჩენ მალეებისათვის მივიღებთ ყველა მღუნავ მომენტთა ეპიურას.



ნახ. 225.

მაგალითის სახით განვიხილოთ მუდმივი კვეთის ხუთმალიანი კოქი თანატოლი მალეებით, რომლის მეორე მალის შუა ნაწილი დატვირთულია შეყურსული P ძალით (ნახ. 225).

ასეთი კოქისათვის ზემოთ განვსაზღვრეთ საფოკუსო მანძილები. ნახაზზე აღვნიშნავთ ფოკუსების მდებარეობას, რის შემდეგაც დატვირთული მალისათვის გრაფო-ანალიზური ხერხით განვსაზღვრავთ შემდეგ სიდიდეებს:

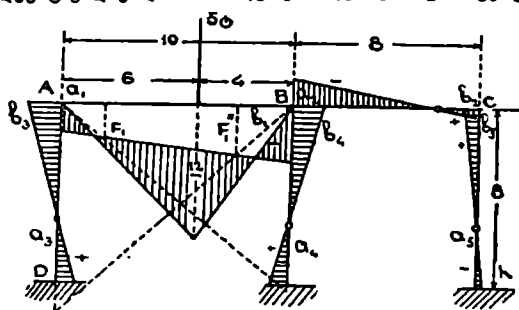
$$\varphi = \varphi_1 = \varphi_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{Pl}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{EI} = \frac{Pl^2}{16EI};$$

$$K_1 = K_2 = -\frac{\varphi}{\beta} = -\frac{Pl^2 \cdot 6EI}{16EI \cdot l} = -\frac{3}{8} Pl.$$

შემდეგი აგება გასაგებია ნახაზიდან. განვსაზღვრავთ დატვირთული მალის საყრდენ მომენტებს, განვაგრობოთ მომენტების ეპიურას დანარჩენ მალეებზე იმის საფუძველზე, რომ მალის სიგრძეზე ძალის უქონლობის შემთხვევაში მომენტების ეპიურა წარმოადგენს უშორეს ფოკუსზე გაშვებულ სწორხაზს.

დ) ჩარჩოსათვის მღუნავი მომენტთა ეპიურის აგება კვანძთა უძრაობის გულეებით.

ჩარჩოს შემთხვევაში, ისე როგორც უკრი კოჭისათვის, დატვირთულად ჩავთვლით მხოლოდ ერთ მალს და ეპიურის აგებას დავიწყებთ დატვირთული მალიდან. ამ აგებას შევასრულებთ ზოგადი წესით, განვსაზღვრავთ საყრდენთა მღუნავ მომენტებს, რის შემდეგაც გადავალთ მოსაზღვრე მალეებზე. თუ მოცემული ღერო განსახილველი ბოლოთი დამაგრებულია ერთ ღეროსთან, მაშინ უკანასკნელისათვის ეპიურა აიგება ისე, როგორც უკრი კოჭისათვის. იმ შემთხვევებში, როდესაც განსახილველ კვანძში მოცემული ღერო დაკავშირებულია ორ ან რამდენიმე ღეროსთან, მაშინ საყრდენი მომენტი ამ ღეროთა შორის განაწილდება გარკვეული წესით. ნათელვყოთ ეს კერძო მაგალითზე, რომლის განზოგადება ადვილია. ვთქვათ მოცემულია ჩარჩო, რომლის ფოკუსების მდებარეობა განსაზღვრულია ზემოთ (ნახ. 226). მასზე მოქმედებს ძალა $P=5$ ტ. ჩარჩოს კვანძების მდებარეობა უცვლელი იყოს. AB კოჭზე P ძალის მოქმედებისას, როდესაც ის განთავისუფლებულია ზედმეტ დამაგრებებიდან, მივიღებთ მომენტთა ეპიურას სამკუთხედის სახით, წვეროთი ძალის მოდების წერტილის ქვემოთ შემდეგი სიმაღლით:



ნახ. 226.

$$M_0 = \frac{5 \cdot 6 \cdot 4}{10} = 12 \text{ ტ/მ.}$$

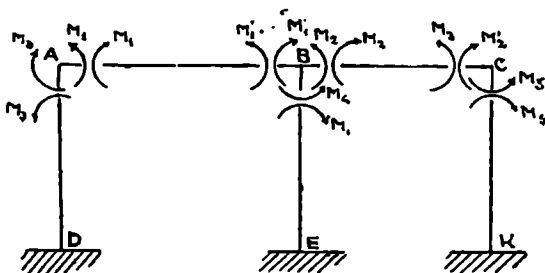
დატვირთულ AB მალისათვის გრაფო-ანალიზური ხერხით განვსაზღვრავთ:

$$\varphi_1 = \frac{10 \cdot 12}{2 \cdot 10} \left(\frac{10}{3} + \frac{4}{3} \right) \cdot \frac{1}{EI_1} = \frac{28}{EI_1}$$

$$\varphi_2 = \frac{10 \cdot 12}{2} \left(\frac{10}{3} + \frac{6}{3} \right) \cdot \frac{1}{EJ_1} = \frac{32}{EJ_1}$$

$$K_2 = -\frac{\varphi_1}{\beta_1} = -\frac{28 \cdot 6 EJ_1}{EJ_1 \cdot 10} = -16,8,$$

$$K_1 = -\frac{\varphi_2}{\beta_2} = -\frac{32 \cdot 6 EJ_1}{EJ_1 \cdot 10} = -19,2$$



ნახ. 227.

განესაზღვრავთ საყრდენ ორდინატებს. მათ მოვზომავთ და უკვე განმარტებული მეთოდით ავაგებთ საყრდენი მომენტების ხაზს განსახილველ მაღისათვის.

მასშტაბის მიხედვით მივიღებთ:

$$M_1 = -2,84 \text{ ტ. მ.} \quad M'_1 = -5,27 \text{ ტ. მ.}$$

დანარჩენი ღეროების საყრდენი მომენტები განიზღვრებიან 228-ე ნახაზის მიხედვით. აქ გამოყოფილია კვანძები კვეთებით, უსასრულოდ ახლოდ მდებარე კვანძებიდან, და ზღვარში, როდესაც კვეთების მანძილი კვანძებიდან ნულისკენ მიისწრაფის მივიღებთ:

A კვანძის წონასწორობის პირობიდან

$$M_2 = M.$$

C კვანძის წონასწორობის პირობიდან

$$M_2 = M'_2.$$

B კვანძის წონასწორობის პირობიდან

$$M'_1 = M_2 + M_1 \quad . (95)$$

საქიროა M_2 და M_2 გამოსახვა, ცალ-ცალკე, უკვე ცნობილი M'_1 დამოკიდებულებით.

B კვანძში ღეროთა ბოლოების ხისტი შეუღლების გამო, ამ წერტილთან მიმდებარე სამივე ღეროს ბოლოები ერთიდაიგივე θ კუთხით მობრუნდებიან და 228-ე ნახაზის თანახმად გვექნება:

$$M_1' r_{24} = M_2 r_{22} = M_4 r_{24} = \theta \quad (96)$$

საიდანაც

$$M_1' = \frac{\theta}{r_{21}}$$

$$M_2 = \frac{\theta}{r_{22}}$$

$$M_4 = \frac{\theta}{r_{24}}$$

და (89)-ე ფორმულის მიხედვით:

$$\frac{\theta}{r_{24}} = \frac{\theta}{r_{22}} + \frac{\theta}{r_{24}}$$

ან θ -ზე შეკვეციტ მივიღებთ:

$$\frac{1}{r_{24}} = \frac{1}{r_{22}} + \frac{1}{r_{24}}$$

საიდანაც

$$r_{24} = \frac{r_{22} \cdot r_{24}}{r_{22} + r_{24}}$$

(96)-ე ფორმულის საფუძველზე გვაქვს:

$$\left. \begin{aligned} M_2 &= M_1' \frac{r_{24}}{r_{22}} = M_1' \frac{r_{24}}{r_{22} + r_{24}} \\ M_4 &= M_1' \frac{r_{22}}{r_{22} + r_{24}} \end{aligned} \right\} \quad (97)$$

(97)-დან M_2 და M_4 ამგვარადაც შეგვეძლო გამოგვესახა:

$$\left. \begin{aligned} M_2 &= M_1' \frac{r_{24}}{r_{22}} = M_1' \frac{\frac{1}{\frac{1}{r_{22}}}}{\frac{1}{\frac{1}{r_{22}} + \frac{1}{r_{24}}}} \\ M_4 &= M_1' \frac{\frac{1}{\frac{1}{r_{22}} + \frac{1}{r_{24}}}}{\frac{1}{\frac{1}{r_{22}} + \frac{1}{r_{24}}}} \end{aligned} \right\} \quad (98)$$

უკანასკნელი გამოსახულებანი ადვილი დასამახსოვრებელია და ამას-გარდა საშუალებას გვაძლევენ ანალოგიით დაეწეროთ გამოსახულებანი მრავალ ღეროსათვის.

მიღებული თანხმად ავაგებთ მღუნავ მომენტთა ეპიურას ყველა ღეროსათვის. AD ღვარის A ბოლოში გვაქვს საყრდენი მომენტი $M_3 = M_4 = -2,84$ ტ. მ. იმის გამო, რომ ღვარზე გარეძალები უშუალოდ არ არიან მოღებული, მღუნავ მომენტთა ეპიურა გაივლის F_3 ფოკუსზე. მოპირდაპირე ბოლოში მასშტაბით (ან გამოთვლით) მივიღებთ:

$$M_3' = +1,42 \text{ ტ. მ.}$$

EB ღვარის B ბოლოში საყრდენი მომენტი:

$$M_4 = M_3' \frac{v_3}{v_3 + v_4} = -5,27 \frac{766,7}{766,7 + 640} = -5,27 \cdot 0,545 = -2,87 \text{ ტ. მ.}$$

F_4 -ზე სწორის გატარებით მივიღებთ E ბოლოში:

$$M_4' = +1,43 \text{ ტ. მ.}$$

BC რიგელისათვის

$$M_2 = M_4' - M_4 = -5,27 + 2,87 = -2,4 \text{ ტ. მ.}$$

F_5 ' წერტილზე სწორის გატარებით მივიღებთ:

$$M_2' = +0,49 \text{ ტ. მ.}$$

CK ღვარისათვის გვაქვს:

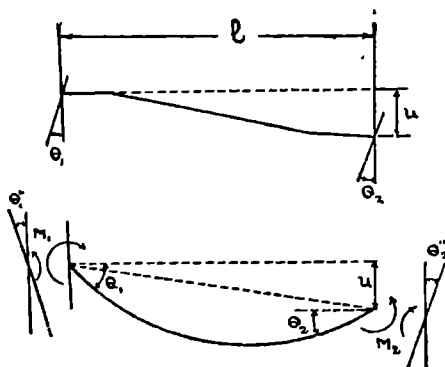
$$M_6 = M_2' = +0,49 \text{ ტ. მ.}$$

F_6 -ზე სწორის გატარებით მივიღებთ:

$$M_6' = -0,25 \text{ ტ. მ.}$$

ე) კოქის განივი გადაადგილების გავლენა.

ზემოთ ჩვენ ვიგულისხმეთ, რომ ყველა ღეროს საყრდენი წერტილები ღეროს ღერძის მიმართულებით არ იღებდნენ გადაადგილებებს. მაგრამ განვარიშების დროს საჭიროა ღეროების შინაგან ძალებათა მნიშვნელობებზე ამ გადაადგილებათა გავლენის ცალ-ცალკე გამოკვება. ვთქვათ მოცემულია ღერო (ნახ. 229), რომლის ბოლოები, ზოგად შემთხვევაში, დრეკადად არიან ჩამაგრებული. a და b საფოკუსო მანძილები დამოკიდებული არიან დრეკადული ჩამაგრების ხარისხზე. აბსოლუტურად ხისტი ჩამაგრების დროს, როგორც ზემოთ მივიღეთ, სათანადო საფოკუსო მანძილი უდრის შალის $\frac{1}{3}$ -ს. როდესაც არ არის ჩამაგრება მაშინ საფოკუსო მანძილი ნულის ტოლია. ვთქვათ ღეროს ერთმა ბოლომ ღერძის პერპენდიკულარულ მიმართულებით მიიღო u გადაადგილება.



ნახ. 229.

რება მაშინ საფოკუსო მანძილი ნულის ტოლია. ვთქვათ ღეროს ერთმა ბოლომ ღერძის პერპენდიკულარულ მიმართულებით მიიღო u გადაადგილება.

შარცხენა საყრდენი კვეთის მობრუნების θ კუთხე სამი შესაქრებისაგან შესდგება: α -ს გადანაცვლებისგან $\frac{u}{l}$ მობრუნებისა, M_1 წვეილის მოქმედებით $M_1\alpha$ მობრუნებისა და M_2 წვეილის მოქმედებით $M_2\beta$ მობრუნებისაგან, აქედან

$$\theta_1' = \frac{u}{l} + M_1\alpha + M_2\beta.$$

საყრდენი ჩამაგრების სიბრტყის მობრუნება:

$$\theta_1'' = M_1\varepsilon_1.$$

კოქის საყრდენი კვეთის და ჩამაგრების სიბრტყის თარღობითი მობრუნების კუთხის ნულთან გატოლებით მივიღებთ:

$$\theta_2 = \theta_1' + \theta_1'' = \frac{u}{l} + M_1\alpha + M_2\beta + M_1\varepsilon_1 = 0,$$

საიდანაც

$$M_1(\alpha + \varepsilon_1) + M_2\beta = -\frac{u}{l}.$$

გარდაქმნით მივიღებთ:

$$M_1 \frac{\alpha + \varepsilon_1}{\beta} + M_2 = -\frac{u}{l\beta}$$

და (92)-ე ფორმულის საფუძველზე:

$$M_1 \frac{l-a}{a} + M_2 = -\frac{u}{l\beta} \quad . (99)$$

მარჯვენა საყრდენ კვეთისათვის მივიღებთ: u -ს გადანაცვლებით $\left(-\frac{u}{l}\right)$ მობრუნების კუთხეს, M_1 წვეილისაგან $M_1\beta$ მობრუნების კუთხეს, კოქის საყრდენი კვეთისათვის M_2 წვეილისაგან $M_2\gamma$ მობრუნების კუთხეს და ჩამაგრების სიბრტყისათვის $M_2\varepsilon_2$. მივიღებთ შემდეგ განტოლებას:

$$-\frac{u}{l} + M_1\beta + M_2\gamma + M_2\varepsilon_2 = 0.$$

$$M_1\beta + M_2(\gamma + \varepsilon_2) = \frac{u}{l}, \quad M_1 + M_2 \frac{\gamma + \varepsilon_2}{\beta} = \frac{u}{l\beta},$$

$$M_1 + M_2 \frac{l-b_1}{b} = \frac{u}{l\beta} \quad . . (100)$$

(99)-ე და (100)-ე განტოლებების ერთობლივი ამოხსნით მივიღებთ:

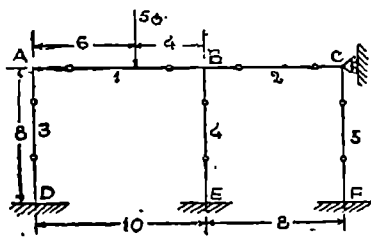
$$M_1 = -\frac{u}{l(l-a-b)\beta^2},$$

$$M_2 = + \frac{u}{l(l-a-b)^2} \cdot b.$$

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= -na, \\ M_2 &= +nb, \\ n &= \frac{u}{3l(l-a-b)} \end{aligned} \right\} \text{სადაც} \quad (101)$$

ვ) ჩარჩოს ანგარიში ფოკუსების მეთოდით

ზემოთ ჩვენ ვაჩვენეთ ყველა ფოკუსის მდებარეობის განსაზღვრის ხერხი (იხ. A). ამის შემდეგ ჩარჩოსათვის, ნახაზზე რომელზედაც ყველა ფოკუსები არის დატანილი, მოცემული დატვირთვის მოქმედებით შეგვიძლია ავაგოთ მლუნავი მომენტის ეპიურა. დატვირთვა მოდებულია ჩარჩოს ერთ-ერთი ღეროს ბოლოზე, იმ ვარაუდით, რომ თითქოს გვექონდეს ერთი ან რამდენიმე ფიქტიური საყრდენი, რომლებიც აფერხებენ ღეროების ბოლოების გადაადგილებას. ჩარჩოს ყველა ღეროსათვის მლუნავ მომენტთა ეპიურის აგების შემდეგ ადვილად განიზღვრება ჩარჩოს ღეროებისათვის გრძივი და განივი ძალები და ამას გარდა დამატებითი საყრდენთა R რეაქციების სიდიდეებიც. ამ რეაქციების განსაზღვრის შემდეგ, მოვაშორებთ მოცემულ დატვირთვას დამატებითი საყრდენებით და ჩარჩოზე ვამოქმედებთ R რეაქციათა ტოლ ძალებს მოწინააღმდეგე მიმართულებით. ამ შემთხვევისათვის ავაგებთ მლუნავ მომენტთა ეპიურას, და მას შევკრიბავთ იმ ეპიურასთან, რომელიც აგებული იყო დამატებითი საყრდენების არსებობის შემთხვევისათვის, ამით თავიდან ავიცილებთ დამატებითი ფიქტიური საყრდენების გავლენას.



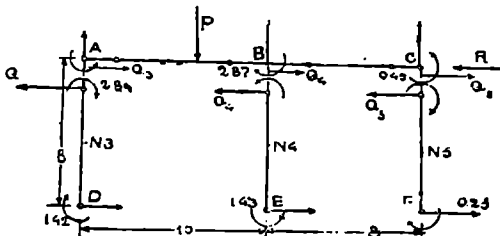
ნახ. 230.

მაგალითის სახით გავიანგარიშოთ 230-ე ნახაზზე წარმოდგენილი ჩარჩო. ამ ჩარჩოს ფოკუსების მდებარეობა ზემოთ განვსაზღვრეთ. შემდეგ აღვნიშნავთ, რომ D , E და F წერტილები უძრავებია, ხოლო A , B და C წერტილებს კი შეუძლიათ გადაადგილება ჰორიზონტალური მიმართულებით (დგარების გაღუნვის დროს). მათ გადაადგილებას ვერტიკალზე უგულვებელყოფთ, რადგან ასეთი გადაადგილება მიმდინ-

ნარეობს მხოლოდ ღეროების გაკიპვით ან კუმშვით, რომელთა გავლენა ჩარჩოს დეფორმაციაზე შეთანხმების თანახმად, მხედველობაში არ მიიღება. მაშასადამე, კვანძების გადაადგილების თავიდან აცილების მიზნით საკუროა C წერტილზე ისეთი ფიქტიური საყრდენის მოღება, რომელიც შეაფერხებს მხოლოდ ჰორიზონტალურ გადაადგილებას. მაშინ A და B წერტილებიც დამაგრდებიან, რადგან წათი გადაადგილებანი დახასიათებული იქნებიან მხოლოდ BC და AB ღეროების კუმშვით.

ფიქტიური C საყრდენის მოწყობით ავაგებთ უძრავ კვანძებიანი ჩარჩოს მღუნავი მომენტის ეპიურას, რომლის კვანძებს შორის მოქმედებს მხოლოდ 5 ტ. ძალა. ასეთი ეპიურა აგებული იყო ჩვენს მიერ ფოკუსების მეთოდით (ნახ. 226).

ახლა შევიძლია განვსაზღვროთ ფიქტიური C საყრდენის R რეაქცია. ამისათვის რიგელს გამოვყოფთ დგარებისაგან ზედა ბოლოებზე გატარებული კვეთებით (ნახ. 231). დგარის თითოეულ ასეთ კვეთში გვაქვს: გრძივი ძალა, განივი Q ძალა და მღუნავი მომენტი. უკანასკნელის მნიშვნელობას მივიღებთ მღუნავი მომენტის ეპიურიდან. მაგალითად, № 3 დგარში მღუნავი მომენტის მნიშვნელობა არის 2,84 ტ. მ., და მიმართულია ისეთნაირად, რომ დგარის მარცხენა ბოქვები იყოს გაქიმული (რადგან ეპიურის ორდინატები მარცხნივ არიან განლაგებული). № 4 დგარში მომენტის მნიშვნელობა უდრის 2,87 ტ. მ., რომლის მარჯვენა ბოქვები გაქიმულია და, ბოლოს № 5 დგარში მომენტის მნიშვნელობაა 0,49 ტ. მ., რომლის მარცხენა ბოქვები გაქიმულია. დგარის მოქმედება რი-



ნახ. 231.

გელზე ტოლი და მოპირდაპირეა რიგელის მოქმედებისა დგარზე. რიგელის წონასწორობის პირობის საფუძველზე (ყველა ძალის გვემილები პორიზონტალურ ღერძზე), გვაქვს:

$$R = Q_2 + Q_1 + Q_3.$$

Q ძალები განიზღვრებიან დგარების წონასწორობის პირობიდან.

დგარებზე მოქმედებენ შემდეგი ძალები: გრძივი და განივი ძალები და დგარების ზედა ბოლოებში მღუნავი მომენტები. გრძივი და განივი ძალები და მღუნავი მომენტები ქვედა ბოლოებში, რისთვისაც მღუნავ მომენტთა მნიშვნელობა ქვედა ბოლოში განიზღვრება ეპიურიდან იმავე წესით, როგორც ზედა ბოლოსათვის განვსაზღვრეთ. ეს მნიშვნელობანი დაწერილია 231-ე ნახაზზე. № 3 დგარის წონასწორობის პირობიდან (D წერტილის მიმართ მომენტთა ჯამის ნულთან გატოლებით) გვაქვს:

$$-Q_3 \cdot 8 + 2,84 + 1,42 = 0,$$

საიდანაც

$$Q_3 = \frac{2,84 + 1,42}{8} = + 0,533 \text{ ტ.}$$

სწორედ ასევე № 4 და № 5 დგარებისათვის გვაქვს:

$$-Q_1 \cdot 8 - 2,87 - 1,43 = 0$$

საიდანაც

$$Q_1 = -\frac{2,87 + 1,43}{8} = -0,533 \text{ ტ.}$$

$$-Q_1 \cdot 8 + 0,49 + 0,25 = 0,$$

საიდანაც

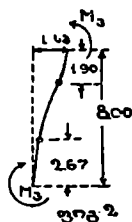
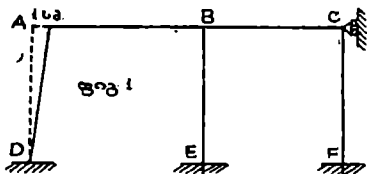
$$Q_2 = \frac{0,49 + 0,25}{8} = +0,092 \text{ ტ.}$$

აქედან

$$R = 0,533 - 0,538 + 0,092 = +0,087 \text{ ტ.}$$

ამგვარად, ჩარჩოს ყველა კვანძის თავიანთ ადგილზე მდგრადობისათვის, საკირაო C კვანძზე პორიზონტალური ძალის $R=0,087$ ტ. მოდება, და კვანძთა უძრავობის გულებით აგებული მომენტთა ეპიურა (ნახ. 226) წარმოადგენს მოცემულ ჩარჩოზე P და K ძალების ერთობლივი მოქმედების შედეგს. R -ის გავლენის თავიდან აცილების მიზნით უნდა გამოვარკვიოთ მოწინააღმდეგე მხარეს მიმართული $0,087$ ტ. ძალის მოქმედება. ერთსართულიანი

ჩარჩოს გაანგარიშება, რიგელის დონეზე მოდებული პორიზონტალური ძალის მოქმედებით, შემდეგნაირად წარმოებს. ასეთი ძალა გამოიწვევს მარჯვნივ A , B და C კვანძების (ერთმანეთის ტოლ) პორიზონტალურ გადაადგილებებს. ჯერ ავა-



ნახ. 232.

გოთ მლუნავი მომენტთა ეპიურა გულებით, რომ თითქოს ეს კვანძები გადაადგილდნენ 1 სმ-ით. ჯერ გადაადგილოთ A კვანძი (ნახ. 232).

(101)-ე ფორმულის საფუძველზე გვაქვს:

$$n = \frac{0,01 \cdot 2100000}{8(8 - 2,67 - 1,90) 426,7} = 1,79$$

ასეადაც

$$\beta_2 = \frac{426,7}{E} \text{ (იხ. ჩარჩოსთვის ფოკუსების განსაზღვრა)}$$

$$E = 2100000 \text{ კგ/სმ}^2 = 21000000 \text{ ტ/მ}^2$$

აქედან

$$M_1' = -1,79 \cdot 2,67 = -4,78 \text{ ტ მ.}$$

$$M_2 = +1,79 \cdot 1,90 = +3,40 \text{ ტ მ.}$$

რადგან მხოლოდ A კვანძის გადაადგილებას ვიხილავთ, ჩარჩოს დანარჩენი ღეროების ბოლოები არც გადაადგილდებიან და არც ღეროების მა-

ლებზე იქნებთან მოდებული ძალები. ეპიურის შემდგომი აგება ფოკუსებზე გაივლის (ნახ. 233).

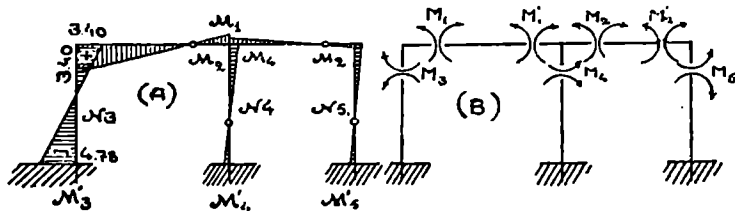
B ფიგურიდან გვაქვს: $M_1 = M_2 = 3,40$ ტ. მ.

A ფიგურიდან მასშტაბით $M_1' = 1,2$ ტ. მ.

(97)-ე ფორმულის საფუძველზე:

$$M_3 = M_1' \frac{r_2}{r_2 + r_1} = 0,545; M_1' = 0,655 \text{ ტ. მ.}$$

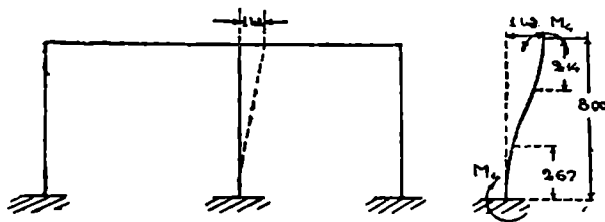
$$M_2 = M_1' - M_3 = 0,455; M_1' = 0,545 \text{ ტ. მ.}$$



ნახ. 233.

შემდეგ M_3' და M_2' — მასშტაბით, $M_3 = M_2'$ (*B* ფიგურის საფუძველზე) და M_2' — მასშტაბით.

ახლა განვსაზღვროთ *B* წერტილის მარჯვნივ 1 სმ-ზე გადაადგილების გაელენა (ნახ. 234).



ნახ. 234.

გვაქვს:

$$n = \frac{0,01 \cdot 2100000}{8(8 - 2,67 - 2,14) \cdot 426,7} = 1,93$$

$$M_1' = -1,93 \cdot 1,67 = -5,13 \text{ ტ. მ.}$$

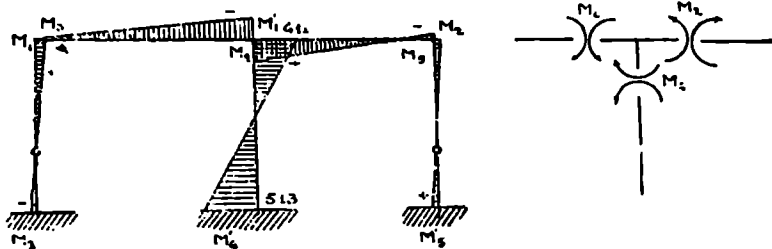
$$M_1 = +1,93 \cdot 2,14 = +4,11 \text{ ტ. მ.}$$

ანალოგიურად (97)-ე ფორმულიდან გვაქვს:

$$M_1 = M_4 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} = M_4 \frac{766,7}{514,5 + 766,7} = 0,586 M_4 = 2,4 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_3 = M_4 - M_1' = 0,414 M_4 = 1,7 \text{ ტ. მ.}$$

შემდეგ გავატარებთ ეპიურას ფოკუსებზე (ნახ. 235). *C* წერტილის 1 სმ-ზე მარჯვნივ გადაადგილებით გვექნება:

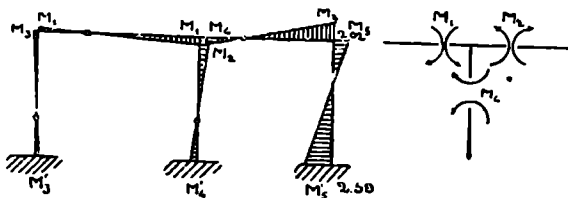


ნახ. 285.

$$n = \frac{0,01 \cdot 2100000}{8(8 - 2,67 - 2,09) 426,7} = 0,97$$

$$M_3 = -0,97 \cdot 2,67 = -2,59,$$

$$M_5 = +0,97 \cdot 2,09 = 2,02.$$



ნახ. 236

შემდეგ გავატარებთ ფოკუსებზე (ნახ. 236), მასთან (97)-ე ფორმულის ანალოგიურად, გვექნება:

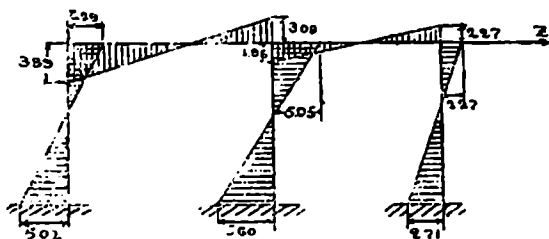
$$M_1' = M_2 \cdot \frac{\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} = M_2 \frac{640}{541,5 + 640} = 0,542 M_2,$$

$$M_1 = M_2 = M_1' = 0,458 M_2.$$

სამი ეპიურის ორდინატების შეკრებით მივიღებთ მლუნავ მომენტთა ეპიურას მთელი რიგელის მარჯვნივ 1-სმ-ზე გადაადგილების დროს (ნახ. 237).

ასეთი დეფორმაციის განხორციელების მიზნით საჭიროა C წერტილზე ჰორიზონტალური Z ძალის მოღებვა.

ამ ძალის სიდიდე R რეაქციის განსაზღვრის ანალოგიურად გამოითვლება.



ნახ. 237.

238-ე ნახაზიდან გვაქვს:

$$Z = -Q_3 - Q_4 - Q_5$$

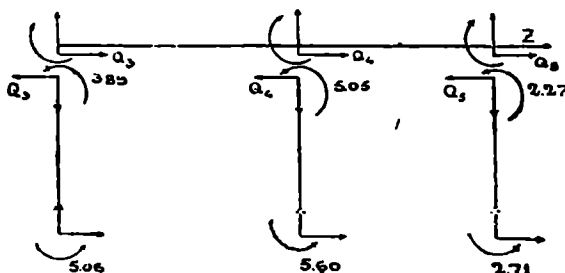
$$Q_3 = -\frac{3,89 + 5,02}{8} = -1,114 \text{ ტ.},$$

$$Q_4 = -\frac{5,05 + 5,60}{8} = -1,331 \text{ ტ.},$$

$$Q_5 = -\frac{2,27 + 2,71}{8} = -0,623 \text{ ტ.}$$

საიდანაც

$$Z = 1,114 + 1,331 + 0,623 = 3,07 \text{ ტ.}$$



ნახ. 238.

მაგრამ ჩვენთვის საჭიროა მოვდოთ არა 3,07 ტ. ძალა, არამედ 0,087 ტონა. ძალის $\frac{0,087}{3,07}$ -ჯერ შეცვლით მომენტთა ეპიურის ყველა ორდინატი ამდენჯერვე შეიცვლება.

ეპიურის ორდინატების $\frac{0,087}{3,07} = 0,0283$ -ზე გამრავლებით (ნახ. 237):

მივიღებთ ეპიურას ჰორიზონტალური 0,087 ძალის მოქმედებისაგან, რომლის შეკრებით 226-ე ნახაზე წარმოდგენილ ეპიურის ორდინატებთან მოგვეკვმს მოკვეთულ ჩარჩოზე P ძალის მოქმედებით საბოლოო ეპიურას (ნახ. 239).

საყრდენი ორდინატების შემდეგ მნიშვნელობებს მივიღებთ:

$$M_3' = +1,42 - 5,02 \cdot 0,0283 = +1,42 - 0,14 = +1,28 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_3 = -2,84 + 3,89 \cdot 0,0283 = -2,84 + 0,11 = -2,73 \text{ "}$$

$$M_1 = -2,73 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_1' = -5,27 - 3,09 \cdot 0,0283 = -5,27 - 0,09 = -5,36$$

$$M_2 = -2,40 + 1,96 \cdot 0,0283 = -2,40 + 0,05 = -2,35$$

$$M_2' = +0,49 - 2,17 \cdot 0,0283 = +0,49 - 0,06 = +0,43$$

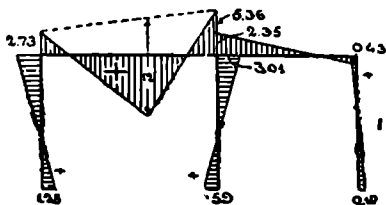
$$M_3 = +0,043 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_5' = -0,25 + 2,71 \cdot 0,0283 = -0,25 + 0,08 = -0,17 \text{ "}$$

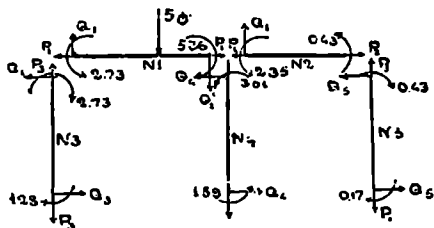
$$M_4 = -2,87 - 5,05 \cdot 0,0283 = -2,87 - 0,14 = -3,01 \text{ "}$$

$$M_4' = +1,43 + 5,60 \cdot 0,0283 = +1,43 + 0,16 = +1,59 \text{ "}$$

სამკუთხედის წვერო P ძალის ქვემოთ განიზღვრება a და b წერტილების შეერთებით საყრდენ მომენტების ხაზით და P ვერტიკალზე ამ ხაზიდან $M_0 = 12$ ტ. მ. ორდინატის მოზომვით.



ნახ. 239.



ნახ. 240.

გრძივი ძალების განსაზღვრისათვის და განივი ძალებით ეპიურების აგებისათვის, გამოვიყენოთ ღეროები ერთიმეორესაგან (ნახ. 240). კვანძებში მომენტები სიდიდით და მიმართულებით აიღება მლუნავ მომენტთა ეპიურიდან. თითოეული ღერო წონასწორობის მდგომარეობაშია. ასევე, ქმედება და უკუქმედების ტოლობის პირობიდან ერთი კვანძის ყველა შიგაძალა ნულის ტოლ ტოლქმედს უნდა გადალევდეს ე. ი. წონასწორობაში უნდა იყენენ.

მაშინ დგარებზე მოდებული ძალების წონასწორობის პირობიდან მივიღებთ:

$$Q_2 = \frac{2,73 + 1,28}{8} = 0,50 \text{ ტ.}$$

$$Q_4 = -\frac{3,01 + 1,59}{8} = -0,58 \text{ ტ.}$$

$$Q_3 = \frac{0,43 + 0,17}{8} = 0,08 \text{ ტ.}$$

რიგელზე მოღებული ძალთა წონასწორობის პირობიდან გვაქვს:

$$Q_1 = \frac{5,4 + 2,73 - 5,36}{10} = 1,74 \text{ ტ.}$$

$$Q_1' = 1,74 - 5 = -3,26 \text{ ტ.}$$

$$Q_2 = \frac{2,35 + 0,43}{8} = 0,35 \text{ ტ.}$$

მივიღებთ 241-ე ნახაზზე წარმოდგენილ გადაშვრულ ძალთა ეპიურას. განივ ძალებს მივიღებთ, თუ განვიხილავთ თითოეულ კვანძში თავმოყრილ ძალებს (ქმედების და უქუქმედების ტოლობის პირობიდან):

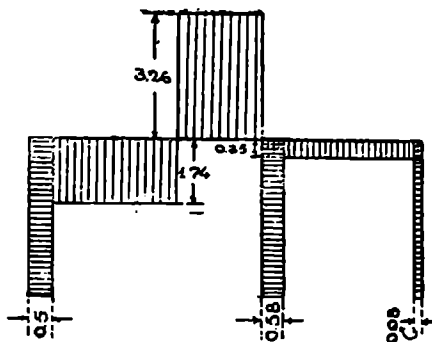
$$P_2 = -Q_1 = -1,74 \text{ ტ. (კუმშვა)}$$

$$P_1 = -Q_2 = -0,5 \text{ ტ. (კუმშვა)}$$

$$P_3 = P_1 - Q_4 = -0,5 + 0,58 = +0,08 \text{ ტ. (გაკიშვა)}$$

$$P_4 = Q_1' - Q_3 = -3,26 - 0,35 = -3,61 \text{ ტ. (კუმშვა)}$$

$$P_5 = Q_2 = +0,35 \text{ ტ. (გაკიშვა)}$$



ნახ. 241.

ზემოვანხილულ მაგალითში პირველი ოპერაციის შედეგად მივიღეთ მლუნავე მომენტთა ეპიურა ნახ. 226-ე, რომლის შემდეგაც შევიტანეთ შესწორება ბოლოების გადანაცვლებაზე (II ოპერაცია ნახ. 237) და მივიღეთ 239-ე ნახაზზე წარმოდგენილი საბოლოო ეპიურა. ამ ეპიურების შედარებიდან დაერწმუნდებით, რომ ჩვენი მაგალითისათვის, შესწორება ბოლოების გადანაცვლებაზე უმნიშვნელოა და შეიძლება მისი უგულებელყოფა. ანგარიშის გამოცილება გვიჩვენებს, რომ ჩარჩოებში, რომლებიც დამაგრებულია დგარებით, ბოლოების გადაადგილებათა შესწორება შეიძლება ყოველთვის უგულებელგვყოთ ვერტიკალური დატვირთების მოქმედების დროს, ე. ი. ასეთ შემთხვევაში შეიძლება დავეყრდნობოდეთ მხოლოდ I ოპერაციით. ეს მდგომარეობა მნიშვნელოვნად ამარტივებს ანგარიშს, რადგან I ოპერაცია ძალზე მარტივია. აღნიშნული შენიშვნა შეიძლება მთლიანად გამოყენებულ იქნეს გავლენის ხაზების აგებისათვის, რადგანაც ამ შემთხვევაში საქმე გვექნება მხოლოდ ვერტიკალურ ძალებთან.

ზ) უკრიო კოქებისა და ჩარჩოებისათვის გავლენის ხაზების აგება

გავლენის ხაზის აგება უკრიო კოქებისა და მრავალმალიანი ჩარჩოებისათვის რეკომენდირებულია შესრულდეს ისე, როგორც ნაჩვენები იყო 185-ე

ნახაზზე, ე. ი. სხვადასხვა მდებარეობისათვის ერთეული ტვირთის მოქმედებით წარმოქმნილი მლუნავი მომენტების. წინასწარი აგების საფუძველზე. ამ ეპიურების მარტივად აგება შეიძლება. ფოკუსების მეთოდით, რადგან ეს მეთოდი საშუალებას გვაძლევს ადვილად გავავრცელოდ ეპიურა დაუტვირთავ მალეზე მას შემდეგ, რაც რომ აგებული იქნება ეპიურები დატვირთულ ღეროებისათვის.

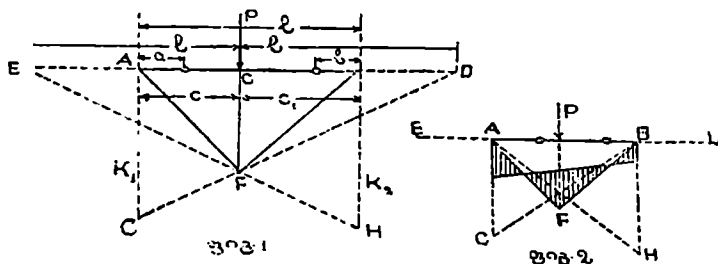
ჩვენ უკვე გავეცანით დატვირთულ ღეროსათვის, რომლის ფოკუსების მდებარეობა წინასწარ არის განზღვრული, მლუნავ მომენტთა ეპიურის აგებას გადამკვეთი მონაკვეთების მეთოდით.

გავიხსენოთ, რომ გადამკვეთი მონაკვეთების საყრდენი ორდინატები შესაბამისად უდრიადა:

$$K_1 = -\frac{\varphi_b}{\beta},$$

$$K_2 = -\frac{\varphi_a}{\beta}.$$

მუდმივი კვეთის ღეროზე ერთი შეუქრსული ძალის მოქმედების შემთხვევაში ეპიურის აგება შეიძლება გამარტივდეს.



ნახ. 242.

სახელდობრ P ტვირთის მოღების წერტილიდან (ნახ. 242), ორივე მხარეს მოვზომავთ მონაკვეთებს, რომელთა სიგრძე უდრის l მალის სიგრძეს. მიღებულ E და D წერტილებს შევავრთებთ მომენტთა ეპიურის სამკუთხედის F წვეროსთან, რომელიც აგებულია ორ საყრდენზე მდებარე სტატიკურად რკვევად კოჭზე P ძალის მოქმედების შემთხვევისათვის. ამ მონაკვეთების საყრდენ ვერტიკალებამდე გავრძელებით, მათზე საძიებელ საყრდენ ორდინატებს მოვკვეთავთ:

$$K_1 = -\frac{\varphi_b}{\beta}, \quad K_2 = -\frac{\varphi_a}{\beta}.$$

მართლაც, გვაქვს: მლუნავ მომენტთა ABF ეპიურაში ორდინატი

$$CF = \frac{Pcc_1}{l}.$$

საყრდენი A კვეთის მობრუნების φ_a კუთხის გრაფო-ანალიზური წესით განსაზღვრით, მივიღებთ:

$$\begin{aligned}\varphi_a &= \frac{1}{JE} \frac{\text{ფარ.}(ABF)}{3} \cdot \frac{(l+c_1)}{l} = \frac{1}{JE} \frac{1}{2} l \frac{Pcc_1}{l} \cdot \frac{1}{3} \frac{(l+c_1)}{l} = \\ &= \frac{1}{6JE} \frac{Pcc_1}{l^2} (l+c_1).\end{aligned}$$

ამის ანალოგიურად,

$$\varphi_b = \frac{l}{6JE} \frac{Pcc_1}{l^2} (l+c).$$

შემდეგ, გამოვდივართ რა გამოსახულებიდან:

$$\beta = \frac{l}{6EJ},$$

მივიღებთ:

$$K_1 = \frac{\varphi_b}{\beta} = \frac{Pcc_1}{l^2} (l+c) \quad (*)$$

$$K_2 = \frac{\varphi_a}{\beta} = \frac{Pcc_1}{l^2} (l+c_1) \quad (**)$$

242-ე ნახაზის ADG და CDF სამკუთხედების მსგავსობიდან გვაქვს:

$$AG = \frac{CF}{GD} \cdot AD = \frac{Pcc_1}{l} \cdot \frac{1}{l} (l+c) = \frac{Pcc_1}{l^2} (l+c).$$

სწორედ ასევე HBE და FCE სამკუთხედთა მსგავსობიდან გვაქვს.

$$BH = CF \cdot \frac{1}{EC} \cdot BE = \frac{Pcc_1}{l} \cdot \frac{1}{l} (l+c_1) = \frac{Pcc_1}{l^2} (l+c_1).$$

(*) და (**) შედარებით გვაქვს:

$$AG = K_1,$$

$$BH = K_2,$$

რისი დამტკიცებაც გვინდოდა.

242-ე ნახაზის მე-2 ფიგურაზე შესრულებულია, AB ღეროსათვის, მომენტთა ეპიურის მთლიანი აგება, მასთან რომ არ დაიჩრდილოს ნახაზი GD და HE მონაკვეთები არ არიან გატარებულნი. წერტილები G და H მიღებულია შესაბამისად D და F წერტილებთან და E და F წერტილებთან სახაზავის მიღებით.

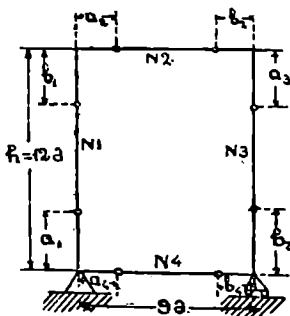
ამგვარად, შეყურსული ძალის მოქმედების შემთხვევაში უკბრი კოქისა და ჩარჩოსათვის (უკანასკნელ შემთხვევაში ბოლოების გადანაცვლების ჩაუთ-

თველად მლუნავ მომენტთა ეპიურის აგება დაიყვანება მეტად მარტივ ოპერაციაზე მას შემდეგ, რაც განზღვრული იქნება ფოკუსების მდებარეობანი. ეს არსებითად აადვილებს გავლენის ხაზების აგებას მლუნავ მომენტთა ეპიურების წინასწარი აგების გზით.

§ 71. ფოკუსების მეთოდის გამოყენება ზოგიერთ სპეციალურ შემთხვევაში

ა) ჩაკეტილ კონტურიანი ჩარჩოები (ნახ. 243)

ამ შემთხვევის განსაკუთრებულობა იმაში მდგომარეობს, რომ აქ არ მოგვეპოვება ღეროები, რომლებშიც შეიძლებოდა ფოკუსების მდებარეობის უშუალოდ განსაზღვრა, რადგან არც ერთ ღეროს არა აქვს ბოლო, რომლითაც, ერთი ბოლოთი, ჩამაგრებული იყოს მხოლოდ საყრდენთან.



ნახ. 243.

ასეთ შემთხვევაში წინასწარ, ნებისმიერად, დაენიშნავთ ერთი ფოკუსის მდებარეობას (ვღებულობთ საფოკუსო მანძილს ღეროს სიგრძის $\frac{1}{4}$ ტოლს) და შემდეგ, ეიმოქმედებთ თანდათანობითი მიახლეობის ხერხით.

აეილოთ რიცხვითი მაგალითი. მოცემულია $J_1 = J_2 = 0,01$ მ⁴. $J_3 = J_4 = 0,02$ მ⁴. დაენიშნოთ მნიშვნელობა

$$a_1 = \frac{h}{4} = 3 \text{ მ.}$$

წინასწარ გამოვითვლოთ β მნიშვნელობანი.

$$\beta_1 = \frac{12}{6E \cdot 0,01} = \frac{200}{E};$$

$$\beta_2 = \frac{9}{6E \cdot 0,01} = \frac{750}{E};$$

$$\beta_3 = \frac{200}{E};$$

$$\beta_4 = \frac{750}{E}.$$

შემდეგ

$$a_2 = \frac{9}{3 + \frac{e_2}{\beta_2}}$$

სადაც

$$\varepsilon_2 = \tau_{b1} = \beta_1 \left(2 - \frac{a_1}{l_1 - a_1} \right) = \frac{200}{E} \left(2 - \frac{3}{9} \right) = \frac{333,3}{E}.$$

$$a_2 = \frac{9}{3 + \frac{333,3}{75}} = 1,2 \text{ მ.}$$

$$a_3 = \frac{12}{3 + \frac{\varepsilon_2}{\beta_2}}; \quad \varepsilon_3 = \tau_{b2} = \beta_2 \left(2 - \frac{a_2}{l_2 - a_2} \right) = \frac{75}{E} \left(2 - \frac{1,2}{7,8} \right) = \frac{139}{E};$$

$$a_3 = \frac{12}{3 + \frac{139}{200}} = 3,25 \text{ მ.}$$

$$a_4 = \frac{9}{3 + \frac{\varepsilon_3}{\beta_3}}; \quad \varepsilon_4 = \tau_{b3} = \beta_3 \left(2 - \frac{a_3}{l_3 - a_3} \right) = \frac{200}{E} \left(2 - \frac{3,25}{8,75} \right) = \frac{326}{E},$$

$$a_4 = \frac{9}{3 + \frac{326}{75}} = 1,23 \text{ მ.}$$

$$a_1 = \frac{12}{3 + \frac{\varepsilon_4}{\beta_4}}; \quad \varepsilon_1 = \tau_{b4} = \beta_4 \left(2 - \frac{a_4}{l_4 - a_4} \right) = \frac{75}{E} \left(2 - \frac{1,23}{7,77} \right) = \frac{138}{E}$$

$$a_1 = \frac{12}{3 + \frac{138}{200}} = 3,25 \text{ მ.}$$

დასაწყისში მივიღეთ $a_1 = 3$ მ., რადგან მთელი კონტურის შემოვლით მივიღეთ a_1 სხვა მნიშვნელობა, ამიტომ ხელშეორედ ჩავატარებთ ყველა მოკმედებას, მასთან დავიწყეთ მნიშვნელობიდან:

$$a_1' = 3,25 \text{ მ.}$$

$$\varepsilon_2' = \frac{200}{E} \left(2 - \frac{3,24}{8,75} \right) = \frac{326}{E},$$

$$a_2' = \frac{9}{3 + \frac{326}{75}} = 1,22 \text{ მ.}$$

$$\varepsilon_3' = \frac{75}{E} \left(2 - \frac{1,22}{7,78} \right) = \frac{138}{E},$$

$$a_3' = \frac{12}{3 + \frac{138}{200}} = 3,25 \text{ მ.} = a_3.$$

შემდეგი განმეორება იქნება:

$$a'_4 = a_4 = 1,23$$

$$a_1'' = a_1' = 3,25.$$

b მნიშვნელობანი განიზღვრებიან სიმეტრიით:

$$b_1 = a_8 = 3,25 \text{ მ.}$$

$$b_2 = a_2 = 1,22 \text{ მ.}$$

$$b_3 = a_1 = 3,25 \text{ მ.}$$

$$b_4 = a_4 = 1,23 \text{ მ.}$$

ბ) მრავალღარუსიანი ჩარჩო

ვთქვით გვაქვს ორღარუსიანი ჩარჩო (ნახ. 244). წინასწარ განვსაზღვროთ ყველა ფოკუსი და C და C' წერტილებში დავაყენოთ ფიქტიური საყრდენები, რომლებიც დაამაგრებენ ყველა კვანძს. ცნობილი წესით ავაგოთ მლუნაე მომენტთა ეპიურები (226-ე ნახაზთან შეფარდებით). შემდეგ განვსაზღვროთ ფიქტიური საყრდენების R_1 და R_2 რეაქციები.

გავატაროთ კვეთი, მე-3 ფიგურა. ზედა ნაწილზე მოღებულ ძალთა წონასწორობის პირობიდან მივიღებთ:

$$Q_8 + Q_7 + Q_9 = R_1 + R_2 \quad . (102)$$

გავატაროთ კვეთი, მე-4 ფიგურა, მივიღებთ:

$$Q_6 + Q_8 + Q_{10} = R_1 \quad . (103)$$

Q -ს მნიშვნელობებს განვსაზღვრავთ ცალკეული ღეროების გამოყოფით ისე, როგორც ერთღარუსიანი ჩარჩოების შემთხვევაში. (102)-ე და (103)-ე განტოლებებიდან განვსაზღვრავთ R_1 და R_2 მნიშვნელობებს. შემდეგ Z_1 და Z_2 ძალთა ისეთი სისტემა მოვლათ, რომლითაც ქვედა რიგელი ადგილზე დარჩეს ზედა კი გადაადგილდეს $\mu_1 = 1$ სმ-ით (ნახ. 245). ამისათვის თანდათანობით გადაავადგილებთ მე-6, მე-8 და მე-10 დგარების ზედა კვანძებს და თითოეულ შემთხვევისათვის საერთო წესით ავაგებთ მლუნაე მომენტთა ეპიურას, შემდეგ კი შეჯამებულ ეპიურას სამივე შემთხვევისათვის.

ამის შემდეგ, როგორც R_1 და R_2 განსაზღვრის დროს, მივიღებთ Z_1 და Z_2 ძალთა მნიშვნელობებს, რომლებიც წარმოქმნიან ასეთ გადანაცვლებებს, სახელდობრ:

$$Z_1 + Z_2 = -Q_6' - Q_7' - Q_9'$$

$$Z_1 = -Q_6' - Q_8' - Q_{10}'$$

ახლა მოვდეთ Z_1' და Z_2' ისეთი ძალთა სისტემა, რომლითაც მე-5, მე-7 და მე-9 დგარების ზედა ბოლოები $u_1 = 1$ სმ.-ით გადაადგილდნენ, ხოლო მე-6, მე-8 და მე-10 დგარები ინარჩუნებდნენ პირვანდელ მდებარეობას მათი მიმდებარე რიგელების მიმართ. ამისათვის მე-5, მე-7 და მე-9 დგარების ბოლოებს ცალ-ცალკე და თანდათანობით გადაადგილებთ, ავაგებთ თითოეულ შემთხვევისათვის მღუნავ მომენტთა ეპიურას და შეჯამებულ ეპიურას განესაზღვრავთ შეჯამებული ეპიურის შესაბამის Z_1' და Z_2' მნიშვნელობებს ისე, როგორც Z_1 და Z_2 განსაზღვრის დროს, სახელდობრ:

$$Z' + Z_1' = -Q_5'' - Q_7'' - Q_9'',$$

$$Z_1' = -Q_5'' - Q_7'' - Q_9''.$$

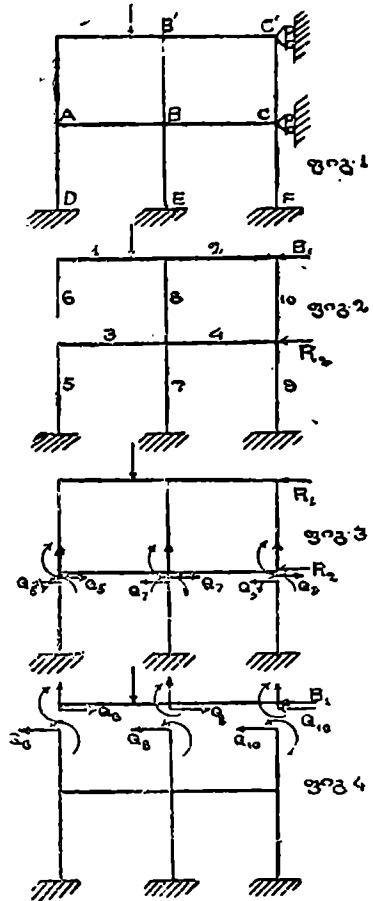
ნამდვილი გადაადგილებანი მოცემულ პირობებში აღენიშნოთ u_1 და u_2 -ით (ნახ. 246). მაშინ, იმის გამო, რომ R_1 და R_2 ძალები და დამატებითი პორიზონტალური ძალები ურთიერთ უნდა გაბათილდნენ. მივიღებთ:

$$R_1 - u_1 Z_1 - u_2 Z_1' = 0,$$

$$R_2 - u_1 Z_2 - u_2 Z_2' = 0.$$

განტოლებათა ამ.სისტემიდან განიზღვრება u_1 და u_2 უცნობები. მღუნავ მომენტთა საბოლოო ეპიურა შემდეგი გამოსახულების საფუძველზე მიიღება:

$$M = M_1 + u_1 M' + u_2 M'',$$

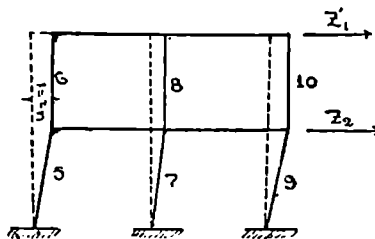
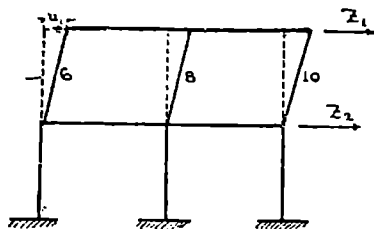


ნახ. 244.

სადაც M_1 არის 244-ე ნახაზის სქემის შესაბამისი ეპიურის ორდინატები. M' და M'' იგივე 246-ე ნახაზის სქემის შეჯამებული ეპიურის ორდინატებია.

ამის ანალოგიურად მიმდინარეობს სამი და მეტი იარუსიანი ჩარჩოების ანგარიში. როგორც ზემოთ აღენიშნეთ, საერთოდ პრაქტიკაში, ფიქტიური საყრდენების გამაწონასწორობელი ძალები მხედველობაში მიიღებოდა მხოლოდ პორიზონტალური დატვირთვების შემთხვევაში. ჩარჩოებზე ვერტიკალ-

ლური ძალების მოქმედების დროს კი კვანძების გადაადგილებას უგულებელ-
ვყოფთ და ვკმაყოფილდებით მხოლოდ I ოპერაციით.

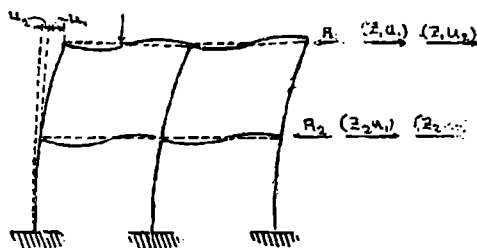


ნახ. 245.

თუ საჭიროა ჩარჩოს გაანგარი-
შება ჰორიზონტალურ ძალთა მოქმე-
დებაზე, რომლებიც მოდებული არიან
კვანძებზე რიგების დონეზე, მაშინ
ამოცანა უნდა ამოხსნათ II ოპერა-
ციის მიხედვით. მაგალითად, ორია-
რუსიანი ჩარჩოსათვის, რომლის რი-
გების დონეზე მოქმედებს ჰორი-
ზონტალური S_1 და S_2 ძალები (ეკრძო
შემთხვევაში ერთ-ერთი ძალა შეიძლება
ნულის ტოლი იყოს), გადავადგილებთ
ზედა რიგებს 1 სმ-ით წინას მიმართ,
განვსაზღვრავთ Z_1 და Z_2 ძალებს, შემ-
დეგ წინა რიგების გადაადგილებით
საყრდენების მიმართ 1 სმ-ით, განვსაზ-
ღვრავთ Z_1' და Z_2' ძალებს, და S_1 და
 S_2 ძალებით გამოწვეულ ნამდვილ გა-
დანაცვლებებს u_1 და u_2 თუ აღვნიშ-
ნავთ, მაშინ მათი სიდიდეები განიზ-
ღვრებიან შემდეგი გამოსახულებების
მიხედვით:

$$S_1 = u_1 Z_1 + u_2 Z_1'$$

$$S_2 = u_1 Z_2 + u_2 Z_2'$$



ნახ. 246.

რის შემდეგაც ძალთა ქმედების შეკრების კანონის საფუძველზე ავაგებთ S_1
და S_2 ძალებით გამოწვეულ ეპიურას:

$$M = u_1 M' + u_2 M''.$$

§ 72. ფოკუსების მეთოდის გამოყენება ცვლადკვეთიანი სტატიკურად
 ურკვევადი კოეფიციენტებისა და ჩარჩომებისათვის.

§ 70-ში ძირითადი ფორმულები გამოვიყენებთ ზოგად შემთხვევისათვის, რომელიც შემდეგ გავამარტივებთ მუდმივი კვეთისათვის. გავიხსენოთ ეს ფორმულები:

ზოგად შემთხვევაში საფოკუსო მანძილებისათვის გვაქვს:

$$a = \frac{\beta}{\alpha + \beta + \varepsilon_a} l, \quad (77)$$

$$b = \frac{\beta}{\gamma + \beta + \varepsilon_b} l, \quad (82)$$

და მხოლოდ მუდმივი კვეთის შემთხვევისათვის $\alpha = \gamma = 2\beta$ ტოლობის საფუძველზე, გვაქვს:

$$a = \frac{1}{3 + \frac{\varepsilon_a}{\beta}} l \quad (79)$$

$$b = \frac{1}{3 + \frac{\varepsilon_b}{\beta}} l \quad (83)$$

უკრი კოეფიციენტების შუალედურ საყრდენებისათვის და აგრეთვე ჩარჩოების იმ კვანძებისათვის, სადაც თავს იყრის მხოლოდ ორი ღერო, საყრდენი დამაგრების მობრუნების კუთხეები განიზღვრებიან ფორმულებით:

$$\varepsilon_a = \tau_{a1} = \gamma_1 - \frac{a_1}{l_1 - a_1} \beta_1 \quad (84)$$

$$\varepsilon_b = \tau_{b1} = \alpha_1 - \frac{b_1}{l_1 - b_1} \beta_1 \quad (84')$$

ამ ფორმულებში შემავალი ყველა მონაცემი წინა ღეროს ეკუთვნის. მუდმივი კვეთის შემთხვევისათვის ($\gamma = \alpha = 2\beta$):

$$\varepsilon_a = \tau_{a1} = \beta_1 \left(2 - \frac{a_1}{l_1 - a_1} \right) \quad (85)$$

$$\varepsilon_b = \tau_{b1} = \beta_1 \left(2 - \frac{b_1}{l_1 - b_1} \right) \quad (85')$$

ნაპირა საყრდენების ყველა შემთხვევისათვის თავისუფლად დაყრდნობის დროს $\varepsilon = \infty$, ხოლო ჩამაგრების შემთხვევაში $\varepsilon = 0$.

ჩარჩოს კვანძებისათვის, რომლებშიც თავს იყრის ორზე მეტი ღერო, მობრუნების τ_1, τ_2, \dots კუთხეები ჯერ (84)-ე და შემდეგ შესაბამისად (85)-ე

ფორმულებით განიზღვრებიან, მასთან ნაგულისხმევია, რომ განსახილველი ღერო დამაგრებულია ცალ-ცალკე თითოეულ წინასთან, რის შემდეგ $\epsilon_a = \tau$ განისაზღვრება ფორმულით:

$$\frac{1}{\epsilon_a} = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} + \dots \quad (91)$$

საყრდენთა K_1 და K_2 მონაკვეთები ყველა შემთხვევაში განისაზღვრება ფორმულებით:

$$K_n = - \frac{\varphi_n}{\beta} \quad (92)$$

$$K_2 = - \frac{\varphi_2}{\beta} \quad (92')$$

ჩარჩოების კვანძებში მღუნავ მომენტთა განაწილების კოეფიციენტები, რომლებშიც თავს იყრის ორზე მეტი ღერო, ყველა შემთხვევაში განისაზღვრებიან ფორმულებით:

$$\mu_1 = \frac{\frac{1}{\tau_1}}{\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} + \dots} \quad (98)$$

$$\mu_2 = \frac{\frac{1}{\tau_2}}{\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} + \dots}$$

დასასრულ, ღეროს ბოლოს გადაადგილების გავლენა u სიდიდეზე ყველა შემთხვევაში განისაზღვრება ფორმულებით:

$$M_1 = - na, \quad (101)$$

$$M_2 = + nb,$$

სადაც

$$n = \frac{u}{\beta l(l-a-b)}.$$

იმისათვის, რომ ვისარგებლოთ ზემომოყვანილი ფორმულებით, საჭიროა a , γ , β , φ_a , φ_b კუთხეების წინასწარი განსაზღვრა. მუდმივი კვეთის ღეროსათვის ამ კუთხეთა მნიშვნელობები განისაზღვრება მარტივად, ან გრაფო-ანალიზური წესით ან მღუნავ მომენტთა ეპიურების კომბინაციით ცხრილებიდან, რომლებიც შედგენილია მუდმივი კვეთის კოპებისათვის. ეპიურათა კომბინაციის ეს წესი შეიძლება გამოყენებული იყოს ცვლადი კვეთის ღეროებისთვისაც, ამ შემთხვევისათვის ცხრილები მოყვანილია გერმანიის ბეტონის კავშირის „რკინა-ბეტონის ნაგებობათა სტატიკაში“ (1928 წ. გვ. 96, 98).

ბოვიყვანოთ ფორმულები კუთხეებისათვის ინერციის მომენტთა სხვადასხვა წესით ცვლილების შემთხვევაში, რისთვისაც φ_a და φ_b კუთხეთა მნიშვნელობებს ამოწვეთ შეყურსულ P ძალისათვის, რომელიც A და B საყრდენებიდან დაშორებულია c და c_1 მანძილებით (რომელიც საჭიროა გავლენის ხაზის ასაგებად), და თანაბარი დატვირთვისათვის ღეროს მთელ სიგრძეზე.

ა) მუდმივი კვეთის კოქი

$$\beta = \frac{l}{6EJ}$$

$$\alpha = \gamma = 2\beta$$

შეყურსულ P ძალისათვის

$$\varphi_a = \frac{Pcc_1}{J^2} (l + c_1) \frac{l}{6EJ};$$

$$\varphi_b = \frac{Pcc_1}{J^2} (l + c) \frac{l}{6EJ}$$

თანაბრად დატვირთვისათვის ინტენსივობით q :

$$\varphi_a = \varphi_b = \frac{ql^3}{24EJ}.$$

ბ) კოქი ორი სიმეტრიული ვუტებით

247-ე ნახაზის 1 ფიგურაზე წარმოდგენილ ღეროს შუა ნაწილს აქვს მუდმივი კვეთი, ხოლო ნაპირა ნაწილებში, სიგრძით v , ადგილი აქვს კვეთის სიმაღლის ზრდას და, მაშასადამე, ინერციის მომენტის ზრდასაც საყრდენებისაკენ. ეს ნაპირა უბნები ცვლადი ინერციის მომენტებით ვუტებად იწოდებიან. განვიხილოთ ვუტის სიგრძეზე ინერციის მომენტის ზრდის ხაზობრივი კანონი. შემოვიღოთ აღნიშვნები:

$$\frac{v}{l} = \lambda, \quad \frac{J_c}{J_k} = n.$$

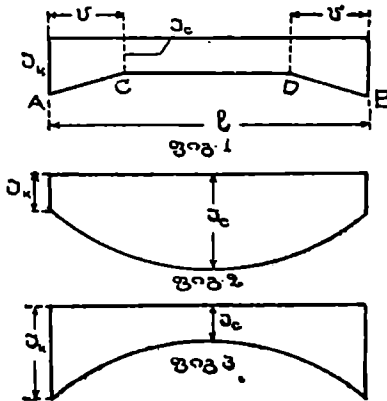
მაშინ ცვლადი კვეთის ღეროსათვის K სიდიდეთა ცხრილის საფუძველზე გვაქვს:

$$\alpha = \gamma = \left\{ 2 - (1-n)\lambda [(1-\lambda)^2 + 2] \right\} \frac{l}{6EJ_c},$$

$$\beta = [1 - (1-n)\lambda^2(2-\lambda)] \frac{l}{6EJ_c}.$$

შეყურსულ P ძალისათვის, რომელიც დაშორებულია ღეროს A და B ბოლოებიდან c და c_1 მანძილებით თუ ძალა ვუტის AC სიგრძეზეა, მაშინ:

$$\varphi_a = \frac{Pcc_1}{12EJ_c} \frac{l}{c_1} \left\{ 4 - 2n \frac{c}{l} \left(2 + \frac{c_1}{l} \right) - (1-n) \left[2\lambda(2+1-\lambda^2) \right. \right. \\ \left. \left. \frac{c^2}{l^2} \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{c_1}{l} \right) \right] \right\}$$



ნახ. 247.

$$\varphi_b = \frac{Pcc_1}{12EJ_c} \frac{l}{c} \left\{ 2 - 2n \frac{c_1^2}{l^2} - (1-n) \left[2\lambda^2(2-\lambda) + \frac{c_1^3}{c^3} \cdot \frac{1}{\lambda} \right] \right\}.$$

თუ ძალა CD უბნის სიგრძეზეა, რომელსაც აქვს მუდმივი ინერციის მომენტი, მაშინ

$$\varphi_a = \frac{Pcc_1}{12EJ_c} \left[2 \left(1 + \frac{c_1}{l} \right) - (1-n)\lambda^2 \left(\lambda \frac{l}{c_1} + 2 \frac{l}{c} - \lambda \frac{l}{c} \right) \right].$$

$$\varphi_b = \frac{Pcc_1}{12EJ_c} \left[2 \left(1 + \frac{c}{l} \right) - (1-n)\lambda^2 \left(\lambda \frac{l}{c} - 2 \frac{l}{c_1} - \lambda \frac{l}{c_1} \right) \right].$$

თანაბრად დატვირთვისათვის, მთელ მალზე

$$\varphi_a = \varphi_b = \frac{ql^3}{24EJ_c} [1 - (1-n)\lambda(2-\lambda)].$$

თუ ხაზობრივი კანონით იცვლება ვუტის სიმაღლე, მაშინ ინერციის მომენტთა ცვლილების კანონი მეტად რთულია (n -ის მესამე ხარისხი). ასეთ

შემთხვევისათვის გვაქვს ცხრილები (ი. ა. შტაერმანი ხისტი ჩარჩოები და ცვლადი კვეთის უკრი კოქები. თბილისი 1929 წ.). მაგრამ, ასეთ შემთხვევებში ფორმულები, შედგენილი ინერციის მომენტების ცვლილების ხაზობრივი კანონით, პრაქტიკისათვის სასეებით საქმარის სიზუსტეს იძლევიან.

გ) სიმეტრიული კოქის კვეთი განუწყვეტლივ იცვლება

247-ე ნახაზის მე-2 და მე-3 ფიგურებზე წარმოდგენილია კოქის თანდათანობითი გაძლიერება საყრდენებიდან შუა ნაწილისაკენ და შუა ნაწილიდან საყრდენებისაკენ. პირველ შემთხვევაში $n = \frac{J_c}{J_k} > 1$, მეორე შემთხვევაში $n < 1$. ორივე შემთხვევისათვის გვაქვს:

$$\alpha = \gamma = \frac{l}{15 E J_c} (2n + 3).$$

$$\beta = \frac{l}{30 E J_c} (n + 4).$$

შეყურსულ ძალისათვის

$$F_a = \frac{P c c_1}{15 E J_c} \left[\frac{n+4}{2} \left(1 + \frac{c_1}{l} \right) + \frac{c_1^2}{l^2} (1-n) \left(3 \frac{c}{l} - 1 \right) \right].$$

$$F_b = \frac{P c c_1}{15 E J_c} \left[\frac{n+4}{2} \left(1 + \frac{c}{l} \right) + \frac{c^2}{l^2} (1-n) \left(3 \frac{c_1}{l} - 1 \right) \right].$$

თანაბარი მთლიანი დატვირთვისათვის:

$$F_a = F_b = \frac{q l^3}{120 E J_c} (n + 4).$$

მაგალითები. პირველი მაგალითის სახით ავიღოთ 225-ე ნახაზზე წარმოდგენილი უკრი კოქი, რომლის კვეთი თითოეულ მალში უწყვეტლივ იცვლება და ძლიერდება შუა ნაწილიდან საყრდენებისაკენ. ინერციის მომენტი საყრდენზე ორჯერ მეტია მალის ინერციის მომენტთან შედარებით.

$$\text{მაშასადამე, } n = \frac{J_c}{J_k} = \frac{1}{2}.$$

წინასწარ განვსაზღვროთ α , β , γ .

გვაქვს:

$$\alpha = \gamma = \frac{l}{15 E J} (2n + 3) = \frac{4}{15} \frac{l}{E J}.$$

$$\delta = \frac{l}{30 EJ} (n+4) = \frac{3}{20} \frac{l}{EJ}$$

გადავიდეთ, პირველი მალიდან დაწყებული, საფოკუსო მანძილების განსაზღვრაზე. ბოლოთი თავისუფლად დაყრდნობილი № 1 მალისათვის გვაქვს:

$$\epsilon_a = \infty, \quad a_1 = 0.$$

მეორე მალისათვის (84)-ე ფორმულის მიხედვით

$$\epsilon_a = \tau_{b1} = \gamma_1 - \frac{a_1}{l_1 - a_1} \beta_1 = \frac{4}{15} \frac{l}{EJ},$$

$$a_1 = \frac{\beta_2}{\alpha_2 + \beta_2 + \epsilon_{a1}} l = \frac{\frac{3}{20}}{\frac{4}{15} + \frac{3}{20} + \frac{4}{15}} l = 0,22 l.$$

მესამე მალისათვის:

$$\epsilon_a = \tau_{b2} = \gamma_2 - \frac{a_2}{l_2 - a_2} \beta_2 = \frac{4}{15} \frac{l}{EJ} - \frac{0,22 \cdot 3}{0,78 \cdot 20} \frac{l}{EJ} = 0,225 \frac{l}{EJ},$$

$$a_2 = \frac{\beta_3}{\alpha_3 + \beta_3 + \epsilon_a} l = \frac{20}{\frac{4}{15} + \frac{3}{20} + 0,225} l = 0,234 l.$$

მეოთხე მალისათვის:

$$\epsilon_a = \tau_{b3} = \gamma_3 - \frac{a_3}{l_3 - a_3} \beta_3 = \frac{4}{15} \frac{l}{EJ} - \frac{0,234 \cdot 3}{0,766 \cdot 20} \frac{l}{EJ} = 0,221 \frac{l}{EJ},$$

$$a_3 = \frac{\beta_4}{\alpha_4 + \beta_4 + \epsilon_a} l = \frac{0,15}{0,267 + 0,15 + 0,221} l = 0,235 l.$$

მეხუთე მალისათვის:

$$\epsilon_a = \tau_{b4} = \frac{4}{15} \frac{l}{EJ} - \frac{0,235 \cdot 3}{0,765 \cdot 20} \frac{l}{EJ} = 0,221 \frac{l}{EJ},$$

$$a_4 = \frac{0,15}{0,267 + 0,15 + 0,221} l = 0,235 l.$$

სიმეტრიის გამო:

$$b_5 = 0, \quad b_4 = 0,22 l, \quad l_3 = 0,234 l, \quad b_2 = 0,235 l, \quad b_1 = 0,235 l.$$

საფოკუსო მანძილების მოზომვისა და ფოკუსების დანიშნვის შემდეგ შევუდგებით № 2 მაღის შუაში მოთავსებულ P ძალის მოქმედებით გამოწვეული მლუნავი მომენტის ეპიურის აგებას.

გვაქვს:

$$\varphi_a = \varphi_b = \frac{P \frac{l}{2} \frac{l}{2}}{15 EJ} \left[\frac{1}{2} + 4 \left(1 + \frac{1}{2} \right) + \left(\frac{1}{2} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} \left(3 \cdot \frac{1}{2} - 1 \right) \right] = 0,057 \frac{Pl^2}{EJ}.$$

საყრდენი მონაკვეთები:

$$K_1 = K_2 = -\frac{\varphi}{\beta} = -\frac{0,057 Pl}{0,15} = -0,38 Pl.$$

შემდეგი აგება ისეთივეა, როგორც ეს ნაჩვენებია 225-ე ნახაზზე. მეორე მაგალითის სახით განვიხილოთ 221-ე და 227-ე ნახაზებზე წარმოდგენილი ჩარჩოები, რომელთა დგარები მუდმივი კვეთისაა, რიგელებს კი სიმეტრიული ვუტები აქვთ. თითოეული ვუტის სიგრძე მაღის $\frac{1}{5}$ შეადგენს. მაშასადამე, $\lambda = 0,20$.

დგარების ინერციის მომენტები $J_3 = J_4 = 0,003125$ მ⁴, $J_5 = 0,0016$ მ⁴. № 1 რიგელის ინერციის მომენტი მაღის შუაში $J_{c1} = 0,0054$ მ⁴, საყრდენთან $J_{H1} = 0,018$ მ⁴, № 2 რიგელისათვის $J_{c2} = 0,003125$ მ⁴, $J_{H2} = 0,008$ მ⁴. მაშასადამე

$$n_1 = \frac{0,0054}{0,018} = 0,3; \quad n_2 = \frac{0,003125}{0,008} \approx 0,4.$$

განვსაზღვროთ α , β , γ კუთხეთა მნიშვნელობანი.

მუდმივი კვეთის დგარებისათვის β მნიშვნელობები ზემოთ იყო განზღვრული.

გვაქვს:

$$\beta_3 = 426,7 \frac{1}{E},$$

$$\beta_4 = 426,7 \frac{1}{E},$$

$$\beta_5 = 833,3 \frac{1}{E}.$$

№ 1 რიგელისათვის გვაქვს:

$$\alpha_1 = \gamma_1 = \left\{ 2 - (1 - 0,3) 0,2 [0,8^2 + 2] \right\} \frac{10}{6 E \cdot 0,0054} = 1,6304 \cdot 308,6 \cdot \frac{1}{E} = 503 \frac{1}{E}.$$

$$\beta_1 = [1 - (1 - 0,3) 0,2^2 (2 - 0,2)] \frac{10}{6 E \cdot 0,0054} = 0,95 \cdot 308,6 \frac{1}{E} = 292,5 \frac{1}{E}$$

№ 2 რიველისათვის:

$$\alpha_2 = \gamma_2 = [2 - (1 - 0,4) 0,2 (0,8^2 + 2)] \frac{8}{6 E \cdot 0,003125} =$$

$$= 1,6832 \cdot 426,7 \frac{1}{E} = 718 \frac{1}{E}$$

$$\beta_2 = [1 - (1 - 0,4) 0,2^2 (2 - 0,2)] \cdot 426,7 \frac{1}{E} = 0,957 \cdot 426,7 \frac{1}{E} = 409 \frac{1}{E}$$

გადავიდეთ საფოკუსო მანძილების განსაზღვრაზე. ქვედა ბოლოებით ხისტად ჩამაგრებული მუდმივი კვეთის დგარებისათვის

$$a_3 = a_4 = a_5 = \frac{8}{3} = 2,67 \text{ მ.}$$

№ 1 რიველის მარცხენა ბოლო დამაგრებულია № 3 დგართან, F_1' ფოკუსის მდებარეობა ცნობილია, ამიტომ განიზღვრება a_1 საფოკუსო მანძილი:

$$a_1 = \frac{\beta_1}{\alpha_1 + \beta_1 + \varepsilon_a} l_1,$$

სადაც

$$\varepsilon_{a1} = \tau_3 = \gamma_3 - \frac{a_3}{l_3 - a_3} \quad \beta_3 = \beta_3 \left(2 - \frac{a_3}{l_3 - a_3} \right) = 1,5 \beta_3 = 640 \frac{1}{E}$$

აქედან

$$a_1 = \frac{292,5}{503 + 292,5 + 640} \cdot 10 = 2,04 \text{ მ.}$$

№ 2 ღეროსათვის გვაქვს:

$$a_2 = \frac{\beta_2}{\alpha_2 + \beta_2 + \varepsilon_{a2}} l_2.$$

№ 2 ღერო B წერტილით დამაგრებულია № 1 და № 4 ღეროებთან. გიგულისხმობთ, რომ მოცემული ღერო დამაგრებულია მხოლოდ № 4 მუდმივი კვეთიან ღეროსთან, მივიღებთ:

$$\tau_{a1} = \beta_4 \left(2 - \frac{\frac{1}{3}}{1 - \frac{1}{3}} \right) = 1,5 \beta_4 = 640 \frac{1}{E}$$

გიგულისხმობთ, რომ № 2 ღერო დამაგრებულია მხოლოდ № 1 ღეროსთან, მივიღებთ:

$$\tau_{b_1} = \gamma_1 - \frac{a_1}{l_1 - a_1} \beta_1 = 503 \frac{1}{E} - \frac{2,04}{10 - 2,04} 292,5 \frac{1}{E} = 428 \frac{1}{E}.$$

საბოლოოდ $\varepsilon_{a_2} = \tau_{b_{14}}$, მიიღება გამოსახულებიდან:

$$\frac{1}{\tau_{b_{14}}} = -\frac{1}{\tau_{b_1}} + \frac{1}{\tau_{c_4}}.$$

სადაც

$$\varepsilon_{a_2} = \tau_{b_{14}} = \frac{\tau_{b_1} \tau_{c_4}}{\tau_{b_1} + \tau_{c_4}} = \frac{428 \cdot 640}{428 + 640} = 257 \frac{1}{E}.$$

ჩასმით მივიღებთ:

$$a_1 = \frac{409}{718 + 409 + 257} \cdot 8 = 2,37 \text{ მ.}$$

მულტიკვეთიანი № 5 ღვარისათვის გვაქვს:

$$b_2 = \frac{l_2}{3 + \frac{\varepsilon_b}{\beta}}$$

სადაც

$$\varepsilon_b = \tau_{c_2} = \gamma_2 - \frac{a_2}{l_2 - a_2} \beta_2 = 718 \frac{1}{E} - \frac{2,37}{8 - 2,37} 409 \frac{1}{E} = 546 \frac{1}{E}.$$

აქედან

$$b_2 = \frac{8}{3 + \frac{546}{833,3}} = 2,19 \text{ მ.}$$

დაწყებული a_2 -დან, ვიმოძრაოთ უკუმიმართულებით. მივიღებთ:

$$b_2 = \frac{\beta_2}{\gamma_2 + \beta_2 + \varepsilon_b} l_2.$$

სადაც

$$\varepsilon_b = \tau_{c_b} = \beta_b \left(2 - \frac{a_b}{l_b - a_b} \right) = 1,5 \beta_b = 1250 \frac{1}{E}.$$

აქედან

$$b_2 = \frac{409}{718 + 409 + 1250} \cdot 8 = 1,38 \text{ მ.}$$

შემდეგ

$$b_1 = \frac{\beta_1}{\gamma_1 + \beta_1 + \varepsilon_b} l_1,$$

სადაც

$$\varepsilon_b = \tau_{b_{24}} = \frac{\tau_{b_2} \cdot \tau_{b_4}}{\tau_{b_2} + \tau_{b_4}}.$$

ა.4

$$\tau_{b_1} = 640 \frac{1}{E}.$$

$$\tau_{b_2} = \alpha_2 - \frac{b_2}{l_2 - b_2} \beta_2 = 718 \frac{1}{E} - \frac{1,38}{6,62} \cdot 409 \frac{1}{E} = 633 \frac{1}{E}.$$

აქედან

$$\epsilon_b = \frac{633 \cdot 640}{633 + 640} \frac{1}{E} = 318 \frac{1}{E}$$

$$b_1 = \frac{292,5}{503 + 292,8 + 318} \cdot 10 = 2,62 \text{ მ.}$$

მუდმივკვეთიან № 3 დგარისათვის

$$b_2 = \frac{l_2}{3 + \frac{\epsilon_b}{\beta_2}},$$

სადაც

$$\epsilon_b = \tau_{b_1} = \alpha_1 - \frac{b_1}{l_1 - b_1} \beta_1 = \left(503 - \frac{2,62}{7,38} \cdot 292,5 \right) \frac{1}{E} = 399 \frac{1}{E}.$$

$$b_2 = \frac{8}{3 + \frac{399}{426,7}} = 2,13 \text{ მ.}$$

გადავიღებთ b_4 -ზე

$$b_4 = \frac{l_4}{3 + \frac{\epsilon_b}{\beta_4}}$$

აქ

$$\epsilon_b = \tau_{b_{12}} = \frac{\tau_{b_1} \tau_{b_2}}{\tau_{b_1} + \tau_{b_2}};$$

$$\tau_{b_2} = 633 \frac{1}{E};$$

$$\tau_{b_1} = 428 \frac{1}{E};$$

$$\epsilon_b = \frac{633 \cdot 428}{633 + 428} \frac{1}{E} = 254,5 \frac{1}{E}.$$

აქედან

$$b_4 = \frac{8}{3 + \frac{254,5}{426,7}} = 22,2 \text{ მ.}$$

ამგვარად, ყველა საფოკუსო მანძილი განზღვრულია. (226-ე ნახაზზე) დანერწნოთ ფოკუსები და ავაგოთ $P=5$ ტ. ძალის მოქმედებით გამოწვეული მლუნაეი მომენტის ეპიურა. ამისათვის უნდა განვსაზღვროთ № 1 ლეროს φ_1 და φ_2 მნიშვნელობები. ფორმულით, ვუტებს გარეთ მოდებული ძალის შემთხვევისათვის, გვაქვს:

$$\varphi_1 = \frac{5 \cdot 6 \cdot 4}{12 E \cdot 0,0054} \left[2(1 + 0,4) - 0,7 \cdot 0,2^3 \left(\frac{0,2}{0,4} + \frac{2}{0,6} - \frac{0,2}{0,6} \right) \right] = \frac{5010}{E};$$

$$\varphi_2 = \frac{5 \cdot 4 \cdot 6}{12 E \cdot 0,0054} \left[2(1 + 0,6) - 0,7 \cdot 0,2^3 \left(\frac{0,2}{0,6} + \frac{2}{0,4} - \frac{0,2}{0,6} \right) \right] = \frac{5680}{E}.$$

აქედან

$$K_2 = -\frac{\varphi_1}{\beta_1} = -\frac{5010}{292,5} = -17,1,$$

$$K_1 = -\frac{\varphi_2}{\beta} = -\frac{5680}{292,5} = -19,4.$$

მოვზომავთ საყრდენ მონაკვეთებს და (ნახ. 226) ავაგებთ დატვირთული № 1 ლეროსათვის მლუნაეი მომენტის ეპიურას, რის შემდეგაც ჩავატარებთ დაუტვირთავი ლეროსათვის აგებას (ფოკუსზე გავლით). ამისათვის საჭიროა № 1 ლეროს B წერტილში საყრდენი მომენტის წინასწარი განაწილება № 2 და № 4 ლეროთა შორის.

(98)-ე ფორმულის მიხედვით გვაქვს

$$M_3 = M_1 \frac{\frac{1}{\tau_2}}{\frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_4}} = M_1 \frac{\tau_4}{\tau_2 + \tau_4} = M_1 \frac{640}{633 + 640} = 0,502 M_1,$$

$$M_4 = M_1 - M_3 = 0,498 M_1.$$

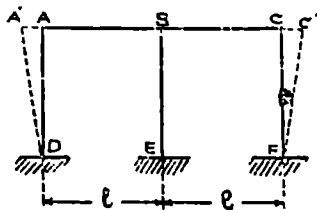
§ 73. ჩარჩოების გაანგარიშება ტემპერატურაზე ფოკუსების ვითოდით

დგარების სიგრძეთა ცვლილება ტემპერატურის მოქმედებით შეუფერხებლად მიმდინარეობს. რიგელების სიგრძეთა ცვლილებებს კი ეწინააღმდეგება დგარების სიხისტე.

ამიტომ ტემპერატურული ძალები ჩარჩოს ელემენტებში წარმოიშობიან მხოლოდ რიგელების ტემპერატურის ცვლილებით. თუ ჩარჩო სიმეტრიულია (ნახ. 248), მაშინ რიგელის P -ზე თანაბარი გათბობით შუა BE დგარი შეინარჩუნებს თავის მდებარეობას ხოლო A და C წერტილები ერთნაირად გადაადგილდებიან l_{α} სიდიდით (გრძივი ძალების ზემოქმედებით რიგელის დამოკლებას ჩარჩოებში, როგორც ყოველთვის, მხედველობაში არ ვლენულობთ). ამ დროს AD და CE დგარების ბოლოები მიიღებენ განივ გა-

დაადგილებას რის შედეგადაც ბოლოებზე წარმოიქმნება მლუნავი მომენტები, რომლებიც განიზღვრებიან (101) ფორმულით.

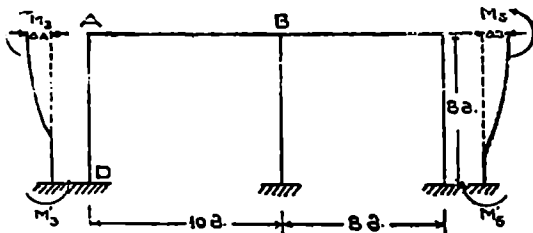
ამ მომენტების გამოთვლით ავაგებთ ჩარჩოს მლუნავი მომენტთა ეპიურას AD დგარის ბოლოების გადანაცვლების ზეგაელენით, და შემდეგ, CF დგარის ბოლოების გადანაცვლების ზეგაელენით. ამ ეპიურების გატარების დროს ვსარგებლობთ ჩარჩოს ყველა ღეროების ფოკუსებით რის შემდეგაც



ნახ. 248.

ვაგატარებთ შეჯამებულ ეპიურას. არასიმეტრიული ჩარჩოს შემთხვევაში ერთ-ერთი დგარის ზედა წერტილი შეგვიძლია შევაკავოთ ფიქტიური საყრდენით ისე, როგორც ამას ჩავდიოდით ტვირთის მოქმედების დროს. ვაჩვენოთ ეს რიცხვით მაგალითზე. ავილოთ იგივე ჩარჩო (ნახ. 249), რომელიც წინათ გავიანგარიშეთ ტვირთის მოქმედებაზე და მისთვის ავაგოთ მლუნავი მომენტის ეპიურა ტემპერატურის 15° -ზე აწვისათვის. არ გავითვალისწინებთ დგარების

სიგრძის ცვლილებას, რადგან ის ჩარჩოს შიგა ძალებზე არავითარ გავლენას არ ახდენს, განვიხილავთ მხოლოდ რიგელების სიგრძეთა ცვლილებების გავლენას. ამისათვის რომელიმე ზედა კვანძში, უმჯობესია შუაში (B წერტილში) მოვაწყოთ ფიქტიური საყრდენი, რომელიც შეაფერხებს ამ კვანძის პორიზონტალურ გადაადგილებას.



ნახ. 249.

ჩკინა - ბეტონის

ხაზობრივი გაფართოე-

ბის კოეფიციენტი $\alpha = 0,000012$, A კვანძის მარცხნივ გადაადგილების სიდიდე იქნება.

$$\Delta A = 0,000012 \cdot 15 \cdot 10 = 0,0018 \text{ მ.}$$

C კვანძის გადაადგილების სიდიდე მარჯვნივ იქნება:

$$\Delta C = 0,000012 \cdot 15 \cdot 8 = 0,00144$$

ზენოთ გამოვითვალეთ საყრდენ მომენტთა მნიშვნელობები, წარმოქმნილი დგარების ბოლოების $1 \text{ სმ} = 0,01 \text{ მ}$ -ზე გადანაცვლებით. მიღებული მნიშვნელობების $\frac{\Delta A}{0,01} = 0,18$ და $\frac{\Delta C}{0,01} = 0,144$ სიდიდეებზე გამრავლებით, მივიღებთ:

$$M'_2 = -4,78 \cdot 0,18 = -0,86 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_3 = +3,40 \cdot 0,18 = +0,61 \text{ ტ. მ.}$$

$$M'_5 = -2,59 \cdot 0,144 = -0,37 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_5 = +2,02 \cdot 0,144 = +0,29 \text{ ტ. მ.}$$

ავაგოთ ეპიურა ΔA გადანაცვლების მოქმედებისაგან (ნახ. 250). M_2 და M'_3 მოზომვით მივიღებთ ეპიურას № 3 ღვარისათვის. შემდეგ $M_1 = M_3$ და № 1 რიგელის ეპიურა გაივლის ფოკუსზე. მასშტაბით მივიღებთ M'_1 -შემდეგ გვაქვს:

$$M_4 = 0,545 M'_1,$$

$$M_2 = 0,455 M'_1.$$

მოვზომავთ და გავატარებთ ეპიურას ფოკუსებზე. მასშტაბით გავზომავთ M'_2 და M'_4 . შემდეგ $M_3 = M'_2$ და ფოკუსზე სწორის გატარებით მივიღებთ M'_5 .

ასეთივე წესით ავაგებთ ეპიურას C წერტილის გადანაცვლების მოქმედებისათვის (ნახ. 251). ამის შემდეგ ავებული ორი ეპიურის საყრდენი ორდინატების შეჯამებით, ავაგებთ ეპიურას ΔA და ΔC გადანაცვლებათა ერთდროული მოქმედებისათვის (ნახ. 252).

შემდეგ განვსაზღვრავთ R საყრდენ რეაქციას B წერტილში. რიგელის წონასწორობის პირობიდან გვაქვს:

$$R = Q_2 + Q_1 + Q_3.$$

ღვარების წონასწორობის პირობიდან გვაქვს:

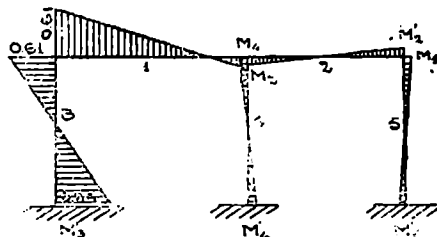
$$Q_2 = \frac{0,63 + 0,87}{8} = 0,19 \text{ ტ.}$$

$$Q_1 = \frac{0,06 + 0,03}{8} = 0,01 \text{ ტ.}$$

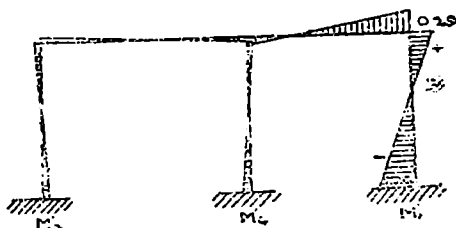
$$Q_3 = -\frac{0,31 + 0,38}{8} = -0,09 \text{ ტ.}$$

აქედან

$$R = 0,19 + 0,01 - 0,09 = 0,11 \text{ ტ.}$$



ნახ. 250.



ნახ. 251.

ფიქტიური R ძალის მოსაშორებლად უნდა მოვდეთ $0,11$ ტ. ტოლი და პარაჯენიე მამართული ძალა, რის გამოც A , B და C წერტილები მიიღებენ ტოლ გადასაცვლებებს პარაჯენიე. ზემოთ გვეჩონდა, რომ 1 სმ. გადასაცვლებისათვის რიგელის დონეზე (მის ნებისმიერ წერტილზე), საჭიროა მოვდეთ $Z=3,07$ ტ. ძალა. ამ შემთხვევისათვის ჩვენ მივიღეთ 237 -ე ნახაზზე წარმოდგენილი მომენთა ეპიურა. $0,11$ ტ. ძალის მოქმედებით მიიღება ასეთივე ეპიურა, მაგრამ შეცვლილი ორდინატებით $\frac{0,11}{3,07}=0,036$ -ჯერ. 237 -ე ნახაზის ეპიურის ორდინატების $0,036$ -ზე გამრავლებით და 252 -ე ნახაზის ეპიურის ორდინატებთან შეკრებით მივიღებთ ტემპერატურის მოქმედებისაგან საბოლოო ეპიურას მოცემულ ჩარჩოსათვის. საყრდენი ორდინატების შემდეგ ვნიშვნელობებს მივიღებთ:

$$M_3' = 0,87 - 5,02 \cdot 0,036 = 0,87 - 0,18 = 0,69 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_3 = M_1 = -0,63 + 3,89 \cdot 0,036 = -0,63 + 0,14 = -0,39 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_1' = 0,25 - 3,09 \cdot 0,036 = 0,25 - 0,11 = +0,14 \text{ ტ. მ.}$$

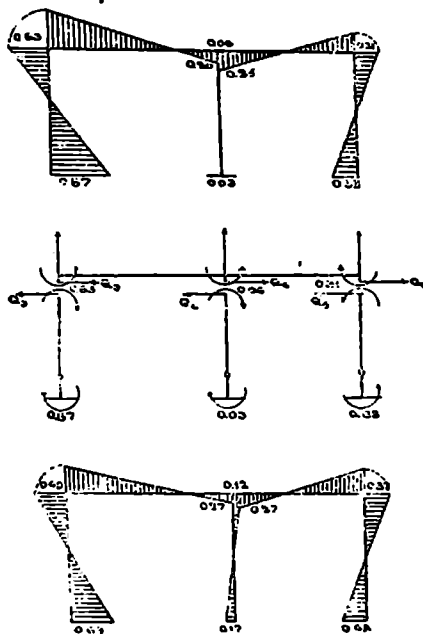
$$M_2 = 0,20 + 1,96 \cdot 0,006 = 0,20 + 0,07 = +0,27 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_2' = M_3 = -0,31 - 2,27 \cdot 0,036 = -0,31 - 0,09 = -0,39 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_3' = +0,38 + 2,71 \cdot 0,036 = 0,38 + 0,10 = +0,48 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_1 = -0,06 + 5,05 \cdot 0,036 = -0,06 + 0,18 = +0,12 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_1' = +0,03 - 5,60 \cdot 0,036 = +0,03 - 0,20 = -0,17 \text{ ტ. მ.}$$



ნახ. 252.

ამ მონაცემების მიხედვით აგებულია ეპიურა (ნახ. 252). მომენტთა ეპიურის საფუძველზე შეიძლება აუაგოთ გადაამქრელი ძალის ეპიურა და განესაზღვროთ გრძივი ძალები ისე, როგორც ამას ვაწარმოებდით P ძალის მოქმედების შემთხვევაში.

§ 74. ჩარჩოს გაანგარიშება კუთხური დეფორმაციის მეთოდით

ზემოგანხილული იყო ჩარჩოების გაანგარიშების ორი წესი. პირველი წესი (ძალთა მეთოდი) იმაში მდგომარეობდა, რომ სტატიკურად ურკვევადი ჩარჩოების უცნობ სიდიდეებად მიღებული გვექონდა ძალები ამა თუ იმ სახით (საყრდენი რეაქციები და შიგა ძალები), რის შემდეგაც ვსარგებლობდით $K_{n1} = \int M_m M_1 \cdot dx$ ცხრილებით, რომლის საფუძველზე ადვილად ვადგენდით კანონიკურ მე-(18) განტოლებათა სისტემას. ეს წესი მეტად მოსახერხებელია და ხშირად გამოიყენება გაანგარიშების პრაქტიკაში. მაგრამ, მრავალი ძალის და განსაკუთრებით მრავალი იარუსების შემთხვევებში ეს მეთოდი უხერხული აღება, რადგან მოითხოვს მრავალ უცნობიან მრავალ განტოლებათა სისტემის ამოხსნას.

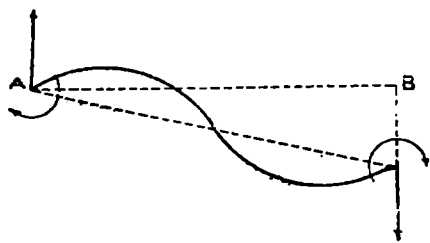
ერთიარუსიან მრავალმალიან ჩარჩოებისათვის მეტი უპირატესობა აქვს ფოკუსების მომენტების მეთოდს, რომელიც წარმოადგენს ზემოგანხილულიდან მეორე წესს. ეს მეთოდი განსაკუთრებით გამოსაყენებელია იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭიროა გავლენის ხაზის აგება. მრავალიარუსიანი ჩარჩოებისათვის ფოკუსების მომენტების მეთოდი იწვევს მთელ რიგ სიძნელეებს, როგორც საფოკუსო მანძილების განსაზღვრის ისე კვანძების გადანაცვლების გავლენის აღრიცხვის შემთხვევაში.

კუთხური დეფორმაციის მეთოდი იმაში მდგომარეობს, რომ ზედმეტ უცნობებად იღებენ დეფორმაციებს, რომლებიც პირველ რიგში განიზღვრებიან, ამის შემდეგ, დეფორმაციებზე დამოკიდებულებით განიზღვრებიან უცნობი ძალები. რადგან სტატიკურად ურკვევადი ჩარჩოების მაღალი სარისხის ურკვევადობის შემთხვევაში ზედმეტი უცნობები არსებითად მცირე რაოდენობით გვხვდებიან, ვიდრე ძალთა მეთოდით გაანგარიშების შემთხვევაში, ამიტომ ძირითადი სისტემის ამოხსნა ადვილდება.

თავიდანვე შეეთანხმდეთ ნიშნების შესახებ. კვანძის მობრუნების კუთხე დადებითად ჩაეთვალოთ, როდესაც მობრუნება წარმოებს საათის ისრის მიმართულებით (ნახ. 253). ღეროს ერთი ბოლოს ფარდობითი გადანაცვლება მეორეს მიმართ დადებითია, როდესაც ღერო მობრუნდება საათის ისრის მიმართულებით. ადვილი შესამჩნევია, რომ 253-ე ნახაზზე B ბოლოს δ გადაადგილება A ბოლოს მიმართ, ან რაც იგივეა A ბოლოს გადაადგილება B ბოლოს მიმართ ასეთი ნიშანთა წესისათვის დადებითია.

საყრდენთა მლუნაევი მომენტები და გადაამქრელი ძალები დადებითად ჩაეთვალოთ, როდესაც ისინი ცდილობენ აწარმოონ ღეროების დადებითი დეფორმაციები, ე. ი. როდესაც ღეროზე მოდებული მლუნაევი მომენტები ღეროს ბოლოებს საათის ისრის მიმართულებით აბრუნებენ, ხოლო გადაამქრელია

ძალები მთელ ღეროს საათის ისრის მიმართულებით მოაბრუნებს *) (ნახ. 254). მაგალითად 255-ე ნახაზზე A და B საყრდენებთან ნაჩვენებია ბოლოებით ჩამგრებული და თანაბრად დატვირთული კოქისათვის მღუნავი მომენტებისა და

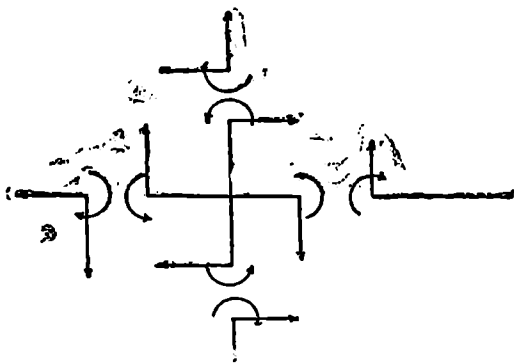


ნახ. 253.

გადამჭრელი ძალების ნამდვილი მიმართულებანი, მასთან აღვილი შესანიშნავია, რომ აღნიშნული ნიშანთა წესის მიხედვით საყრდენი მღუნავი მომენტი უარყოფითია A საყრდენთან და დადებითია B საყრდენთან. სოლო გადამჭრელი ძალა დადებითია A საყრდენთან და უარყოფითია B საყრდენთან.

ჯერ განვიხილოთ შემთავება-

როდესაც ჩარჩოს კვანძები არ გადინაცვლებენ. გამოვყოთ ჩარჩოს ნაწილი რომელიც შეიცავს ერთ კვანძში თავმოყრილ ყველა ღეროს (ნახ. 256). ამასთან აღნიშნოთ მოცემული კვანძის მობრუნების კუთხე, ხოლო ψ_1 , ψ_2 და ψ_3 სათანადოთ ღეროების მოპირდაპირე ბოლოების მობრუნების კუთხეები (მეზობელი კვანძების მობრუნების კუთხეები).



ნახ. 254.

ნახაზზე ცალკეა წარმოდგენილი თითოეული ღეროს დეფორმაცია.

შემდეგში დაკმაყოფილებით მხოლოდ იმ შემთხვევით, როდესაც თითოეული ღერო მუდმივი კვეთისაა. ასეთ შემთხვევაში საყრდენის კვეთზე მოდებული ერთეული მომენტი გამოიწვევს ღეროს მოპირდაპირე ბოლოს მობრუნებას შემდეგი კუთხით:

$$-\beta = -\frac{l}{6EJ},$$

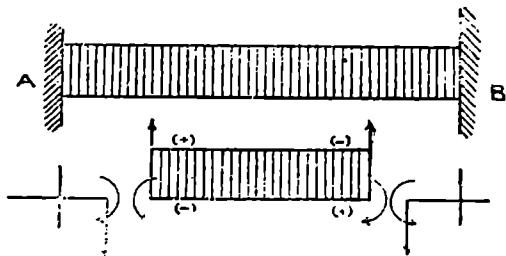
მიმდებარე ბოლოსას კი $\alpha = 2\beta$ კუთხით.

თითოეული ღეროს დეფორმაციის განხილვის შემდეგ დავწერთ:

*) ჩვეულებრივად კუთხური დეფორმაციებით მომენტების განტოლებათა წესების დროს სარგებლობენ მოწინააღმდეგე ნიშანთა წესით. მაგრამ, ჩვენს მიერ შემოღებულ აქრუს აქრუს უპირატესობა. ეს განსხვავება გამოისახება (M -ის ნიშნით) ამოხსნილ განტოლებათა:

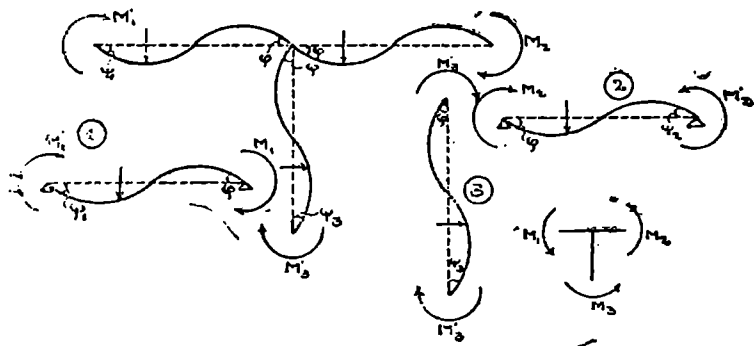
$$\begin{aligned} \varphi &= 2\beta_1 M_1 - \beta_1 M_1' + \varphi_{\alpha 1}; \\ \varphi &= 2\beta_2 M_2 - \beta_2 M_2' + \varphi_{\alpha 2}; \\ \varphi &= 2\beta_3 M_3 - \beta_3 M_3' + \varphi_{\alpha 3}; \\ \psi_1 &= -\beta_1 M_1 + 2\beta_1 M_1' + \psi_{\alpha 1}; \\ \psi_2 &= -\beta_2 M_2 + 2\beta_2 M_2' + \psi_{\alpha 2}; \\ \psi_3 &= -\beta_3 M_3 + 2\beta_3 M_3' + \psi_{\alpha 3}. \end{aligned}$$

დაწერილ გამოსახულებებში $\varphi_{\alpha 1}$; $\varphi_{\alpha 2}$; $\varphi_{\alpha 3}$; $\psi_{\alpha 1}$; $\psi_{\alpha 2}$; $\psi_{\alpha 3}$ აღნიშნულია ზოლოდებით თავისუფლად დაყრდნობილი მარტივი კოქის მობრუნების სათა-



ნახ. 255.

ნადო კუთხეები, მასთან ნაგულისხმებია, რომ კოქზე მხოლოდ უშუალოდ მოდებულა ტვირთი მოქმედებს.



ნახ. 256.

გაუდავქმნათ თითოეული გამოსახულება შემდეგნაირად:

$$\begin{aligned} 2M_1 - M_1' &= \frac{6EJ_1}{l_1} \varphi - \frac{6EJ_1}{l_1} \varphi_{\alpha 1}; \\ -M_1 + 2M_1' &= \frac{6EJ_1}{l_1} \psi_1 - \frac{6EJ_1}{l_1} \psi_{\alpha 1}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2M_2 - M_2' &= \frac{6EJ_2}{l_2} \varphi - \frac{6EJ_2}{l_2} \varphi_{m2} \\
 -M_2 + 2M_2' &= \frac{6EJ_2}{l_2} \psi_2 - \frac{6EJ_2}{l_2} \psi_{m2} \\
 2M_3 - M_3' &= \frac{6EJ_3}{l_3} \varphi - \frac{6EJ_3}{l_3} \varphi_{m3} \\
 -M_3 + 2M_3' &= \frac{6EJ_3}{l_3} \psi_3 - \frac{6EJ_3}{l_3} \psi_{m3}
 \end{aligned}$$

თითოეული ორი განტოლებიანი სისტემის ამოხსნით მივიღებ:

$$3M_1 = \frac{12EJ_1}{l_1} \varphi - \frac{12EJ_1}{l_1} \varphi_{m1} + \frac{6EJ_1}{l_1} \psi_1 - \frac{6EJ_1}{l_1} \psi_{m1}$$

ა5

$$M_1 = 4 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi + 2 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_1 - \left(4 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi_{m1} + 2 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_{m1} \right)$$

$$M_1' = 4 \frac{EJ_1}{l_1} \psi + 2 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi - \left(4 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_{m1} + 2 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi_{m1} \right)$$

ანალოგიურ გამოსახულებებს მივიღებთ M_2 , M_2' , M_3 და M_3' მომენტებს ისათვის №№ 2 და 3 ლეროებისათვის.

კერძო შემთხვევაში, თუ ჩვენ გვქმნებოდა ბოლოებით ხისტად ჩამაგრებული ლერო, მაშინ φ და ψ მნიშვნელობების მაგიერ უნდა ჩაგვესვა ნული სიდიდეები.

მაშინ

$$M_1 = - \left(4 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi_{m1} + 2 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_{m1} \right);$$

$$M_1' = - \left(4 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_{m1} + 2 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi_{m1} \right);$$

ჩასმით და ანალოგიური გამოსახულებების დაწერით № 2 და № 3 ლეროებისათვის მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned}
 M_1 &= 4 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi + 2 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_1 + M_{I1} \\
 M_2 &= 4 \frac{EJ_2}{l_2} \varphi + 2 \frac{EJ_2}{l_2} \psi_2 + M_{II1} \\
 M_3 &= 4 \frac{EJ_3}{l_3} \varphi + 2 \frac{EJ_3}{l_3} \psi_3 + M_{III1}
 \end{aligned} \right\} \dots (111)$$

$$\left. \begin{aligned} M_1' &= 2 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi + 4 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_1 + M_1' \\ M_2' &= 2 \frac{EJ_2}{l_2} \varphi + 4 \frac{EJ_2}{l_2} \psi_2 + M_2' \\ M_3' &= 2 \frac{EJ_3}{l_3} \varphi + 4 \frac{EJ_3}{l_3} \psi_3 + M_3' \end{aligned} \right\} \quad . (112)$$

ბოლოებით ჩამაგრებული მუდმივი კვეთის ლეროსათვის მოცემული დატვირთვით გამოწვეული საყრდენი მომენტების $M_1, M_1', M_{II}, M_1'', M_{III}, M_1'''$ შინაშენელობები ქვემოთმოყვანილი ცხრილის საფუძველზე აიღება.

კვანძის წონასწორობის პირობის ჩაწერით და იმის გათვალისწინებით, რომ როგორც გრძივი ისე განივი ძალების მომენტები კვანძის მიმართ ნულს უდრის, გვექნება:

$$M_1 + M_2 + M_3 = 0.$$

აქ (111)-ე გამოსახულებების ჩასმით და ორივე ნაწილის $2E$ გაყოფით, მივიღებთ:

$$2\varphi \sum \frac{J}{l} + \sum \frac{J}{l} \psi = - \frac{1}{2E} \sum M_i \quad . (113)$$

ეს არის განსახილველი კვანძის მობრუნების φ კუთხისა და მეზობელ კვანძის მობრუნების ψ კუთხეთა შორის დამაკავშირებელი, განტოლება. ის სამომენტო თეორემის ანალოგიურია. ასეთი განტოლება დაიწერება ყველა კვანძისათვის და მიიღება განტოლებათა სისტემა კუთხური დეფორმაციების განსაზღვრისათვის.

φ და ψ მობრუნების კუთხეთა განსაზღვრის შემდეგ (111)-ე და (112)-ე განტოლებებიდან განესაზღვრავთ საყრდენ მღუნავ მომენტებს.

ამგვარად (113)-ე ძირითად სისტემას აქვს კვანძების რაოდენობის ტოლი უცნობთა რიცხვი, რაც წარმოადგენს კუთხური დეფორმაციათა მეთოდის უპირატესობას სტატიკურად ურკვევადობის მაღალი ხარისხის დროს, რადგან ძალთა მეთოდის გამოყენებით ძირითადი სისტემა მეტ უცნობებს შეიცავს.

ძირითადი განტოლებათა სისტემა უფრო ადვილი დასამახსოვრებელი რომ იყოს, წარმოვადგინოთ ის შემდეგი სახით:

$$2\varphi \sum \frac{EJ}{l} + \sum \psi \frac{EJ}{l} = - \frac{1}{2} \sum M_i \quad . (113')$$

სადაც EJ მოცემული ლეროს სიხისტეა. უწოდოთ $\frac{EJ}{l}$ გრძივი სიხისტე.

მივიღებთ შემდეგ წესს ძირითადი განტოლების წაკითხვისათვის: განსახილველი კვანძის მობრუნების ორმაგი კუთხე გამრავლებული ამ კვანძში თავმოყრილი ლეროების გრძივ სიხისტეთა

ჯამზე, პლუს მოსახლვრე კვანძების მობრუნების კუთხეთა ჯამი გამრავლებული შესაბამისად ღეროთა გრძივ სიხისტებზე, რომლებიც დაკავშირებულია განსახილველ კვანძთან, უდრის განსახილველ კვანძში მიმდებარე ღეროების საყრდენი მომენტების ნახევარ ჯამს შებრუნებული ნიშნით, იმ გულისხმობით, რომ ეს მიმდებარე ღეროები წარმოადგენენ ბოლოებით ხისტად ჩამაგრებულ კოქებს.

(113)-ე ან (113')-ე განტოლებების გამოყენების მოხერხებულობის მიზნით მოგვყავს სხვადასხვა დატვირთვისათვის M_x მნიშვნელობათა ცხრილი.

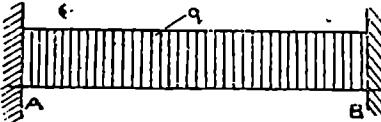

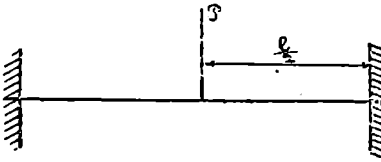
მაგალითი: ვთქვათ მოცემულია ჩარჩო (ნახ. 257) ყველა ღეროს ერთნაირი ინერციის J მომენტი აქვს. დავწეროთ ძირითადი (113')-ე განტოლება B კვანძისათვის:

$$2\varphi_b \left(\frac{EJ}{8} + \frac{EJ}{12} \right) + \left(0 \cdot \frac{EJ}{8} + \varphi_c \frac{EJ}{12} \right) = -\frac{1}{2} \left(-\frac{2 \cdot 12^2}{12} \right),$$

ან

$$5\varphi_b + \varphi_c = 144 \cdot \frac{1}{EJ}.$$

M_x და Q_x -ის მნიშვნელობათა ცხრილი დატვირთვის ზოგიერთი შემთხვევისათვის

№6	და ტ ვ ი რ თ ვ ი ს ს ა ხ ე	M_x	Q_x
1		$M_A = -\frac{ql^2}{12}$ $M_B = +\frac{ql^2}{12}$	$Q_A = \frac{ql}{2}$ $Q_B = -\frac{ql}{2}$
2		$M_A = -\frac{Pc^2(l-c)^2}{l^2}$ $M_B = +\frac{Pc(l-c)^2}{l^2}$	
3		$M_A = -\frac{Pl}{8}$ $M_B = +\frac{Pl}{8}$	$Q = \frac{P}{2}$ $Q = -\frac{P}{2}$

C კვანძისათვის:

$$2\varphi_C \left(\frac{EJ}{12} + \frac{EJ}{8} + \frac{EJ}{10} \right) + \left(\varphi_B \frac{EJ}{12} + \varphi_E \frac{EJ}{10} + 0 \right) = \frac{-1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 12^2}{12},$$

ა5

$$37\varphi_C + 5\varphi_B + 6\varphi_E = -720 \cdot \frac{1}{EJ}.$$

E კვანძისათვის

$$2\varphi_E \cdot \frac{EJ}{10} + \varphi_C \frac{EJ}{10} = 0,$$

ა6

$$2\varphi_E + \varphi_C = 0$$

მივიღეთ სამი განტოლებათა სის-

ტემა:

$$5\varphi_B + \varphi_C = 144 \cdot \frac{1}{EJ};$$

$$5\varphi_B + 37\varphi_C + 6\varphi_E = -720 \cdot \frac{1}{EJ};$$

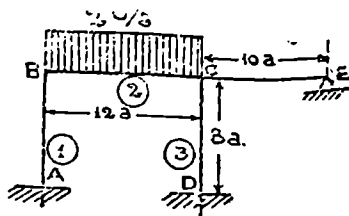
$$\varphi_C + 2\varphi_E = 0.$$

ანაზსნით მივიღებთ:

$$\varphi_B = 34 \cdot \frac{1}{EJ},$$

$$\varphi_C = -26 \cdot \frac{1}{EJ},$$

$$\varphi_E = 13 \cdot \frac{1}{EJ}.$$



ნახ. 257.

(111)-ე და (112)-ე განოსახულებათა საფუძველზე განიზღვრებთან საყრდენი მღუნნავი მომენტები:

$$M_A = 2 \frac{EJ}{8} \varphi_B + 4 \frac{EJ}{10} \cdot 0 + 0 = 2 \frac{EJ}{8} \cdot 34 \cdot \frac{1}{EJ} = 8,5 \text{ ტ. მ};$$

$$M_B = 4 \frac{EJ}{8} \varphi_B + 2 \frac{EJ}{8} \cdot 0 + 0 = 17 \text{ ტ. მ};$$

$$M_C = 4 \frac{EJ}{12} \varphi_C + 2 \frac{EJ}{12} \varphi_B + \frac{2 \cdot 12^2}{12} = -4 \frac{EJ}{12} \cdot 26 \cdot \frac{1}{EJ} + 2 \frac{EJ}{12} \cdot 34 \cdot \frac{1}{EJ} + 24 = 21 \text{ ტ. მ};$$

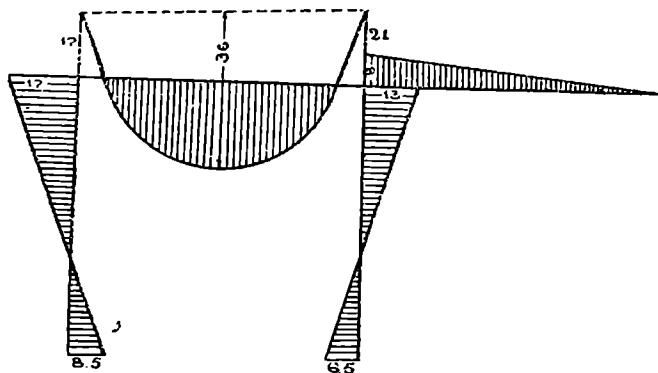
$$M_{c_3} = -4 \frac{EJ}{8} \varphi_c + 2 \frac{EJ}{8} \cdot 0 + 0 = -4 \frac{EJ}{8} + 26 \frac{1}{EJ} = -13 \text{ ტ. ნ.}$$

$$M_{c_4} = 4 \frac{EJ}{10} \varphi_c + 2 \frac{EJ}{8} \varphi_E + 0 = -4 \frac{EJ}{10} \cdot 26 \frac{1}{EJ} +$$

$$+ 2 \frac{EJ}{8} \cdot 13 \frac{1}{EJ} = -8 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_D = 2 \frac{EJ}{8} \varphi_c + 4 \frac{EJ}{8} \cdot 0 + 0 = -6,5 \text{ ტ. მ.}$$

მიღებული შედეგები საშუალებას გვაძლევს ავავაგოთ მღუნავ მომენტთა ვაიურა (ნახ. 258).



ნახ. 258.

განვიხილოთ ახლა მეორე შემთხვევა, როდესაც კვანძები გადაინაცვლებენ. მაშინ ჩარჩოს ნაწილი, რომელიც შეიცავს ერთ კვანძში თავმოყრილ ღეროებს მიიღებს 259-ე ნახაზზე წარმოდგენილ სახეს.

260-ე ნახაზზე ცალკეა წარმოდგენილი პირველი ღეროს დეფორმაცია. 256-ე ნახაზთან შედარებით ადვილად დაფასკვნიოთ, რომ δ გადაინაცვლება იწვევს φ და ψ კუთხეების გადიდებას ერთსა და იგივე $\frac{\delta}{l}$ სიდიდით. ამნაირად პირველ შემთხვევისათვის დაწერილი (უძრავ კვანძისათვის) გამოსახულების გამოყენებით მივიღებთ:

$$\varphi = 2\beta_1 M_1 - \beta_1 M_1' + \varphi_{m1} + \frac{\delta_1}{l_1};$$

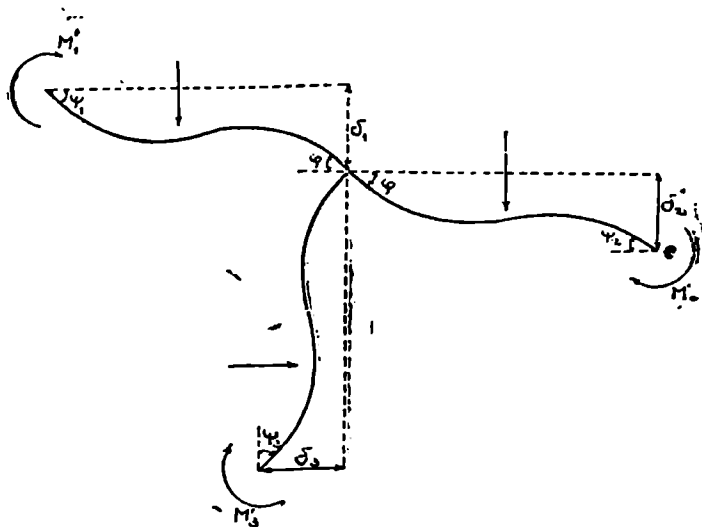
$$\varphi = 2\beta_2 M_2 - \beta_2 M_2' + \varphi_{m2} + \frac{\delta_2}{l_2};$$

$$\varphi = 2\beta_2 M_2 - \beta_2 M_3 + F_{m2} + \frac{\bar{z}_2}{l_2};$$

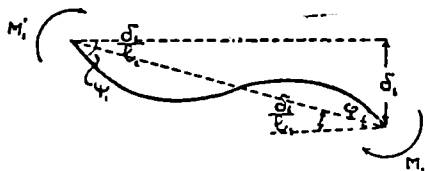
$$\psi_1 = -\beta_1 M_1 + 2\beta_1 M_2 + \psi_{m1} + \frac{\bar{z}_1}{l_1};$$

$$\psi_2 = -\beta_2 M_2 + 2\beta_2 M_3' + \psi_{m2} + \frac{\bar{z}_2}{l_2};$$

$$\psi_3 = -\beta_3 M_3 + 2\beta_3 M_3' + \psi_{m3} + \frac{\bar{z}_3}{l_3};$$



ნახ. 259.



ნახ. 260.

გარდაქმნის შედეგად, პირველ ღეროსათვის მივიღებთ:

$$2M_1 - M_1' = \frac{6EJ_1}{l_1} \varphi - \frac{6EJ_1}{l_1} \varphi_{m1} - \frac{6EJ_1}{l_1} \cdot \frac{\delta_1}{l_1};$$

$$-M_1 + 2M_1' = \frac{6EJ_1}{l_1} \psi_1 - \frac{6EJ_1}{l_2} \psi_{m1} - \frac{6EJ_1}{l_1} \cdot \frac{\delta_1}{l_1},$$

საიდანაც M_1 და M_1' მიმართ ამოხსნით მივიღებთ:

$$M_1 = 4 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi + 2 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_1 - \frac{6EJ_1}{l_1} \cdot \frac{\delta_1}{l_1} - \left(4 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi_{m1} + 2 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_{m1} \right);$$

$$M_1' = 4 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_1 + 2 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi - \frac{6EJ_1}{l_1} \cdot \frac{\delta_1}{l_1} - \left(4 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_{m1} + 2 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi_{m1} \right).$$

როგორც შედეგი ხისტად დამაგრებულბოლოებიანი კოქისათვის მივიღებთ ($\varphi=0$; $\psi=0$ და $\delta_1=0$ განტოლებით):

$$M_1 = - \left(4 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi_{m1} + 2 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_{m1} \right);$$

$$M_1' = - \left(4 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_{m1} + 2 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi_{m1} \right).$$

ჩასმით მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \frac{4EJ_1}{l_1} \varphi + 2 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_1 - 6 \frac{EJ_1}{l_1} \cdot \frac{\delta_1}{l_1} + M_{I1} \\ M_1' &= 2 \frac{EJ_1}{l_1} \varphi + 4 \frac{EJ_1}{l_1} \psi_1 - 6 \frac{EJ_1}{l_1} \cdot \frac{\delta_1}{l_1} + M_{I1}' \end{aligned} \right\} \quad (114)$$

ანალოგიური გამოსახულებების დაწერა შეიძლება დანარჩენ ღეროებისათვისაც:

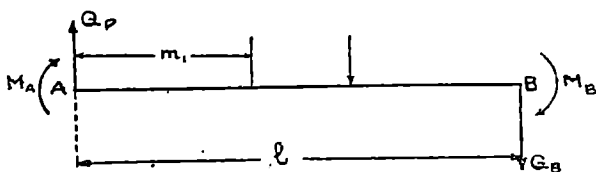
$$\left. \begin{aligned} M_2 &= \frac{4EJ_2}{l_2} \varphi + \frac{2EJ_2}{l_2} \psi_2 - \frac{6EJ_2}{l_2} \cdot \frac{\delta_2}{l_2} + M_{II} \\ M_2' &= \frac{2EJ_2}{l_2} \varphi + \frac{4EJ_2}{l_2} \psi_2 - \frac{6EJ_2}{l_2} \cdot \frac{\delta_2}{l_2} + M_{II}' \\ M_3 &= \frac{4EJ_3}{l_3} \varphi + \frac{2EJ_3}{l_3} \psi_3 - \frac{6EJ_3}{l_3} \cdot \frac{\delta_3}{l_3} + M_{III} \\ M_3' &= \frac{2EJ_3}{l_3} \varphi + \frac{4EJ_3}{l_3} \psi_3 - \frac{6EJ_3}{l_3} \cdot \frac{\delta_3}{l_3} + M_{III}' \end{aligned} \right\} \quad (114')$$

თუ M_1 , M_2 , M_3 მნიშვნელობებს კვანძის წონასწორობის პირობაში ჩაწერთ $M_1 + M_2 + M_3 = 0$, მივიღებთ ძირითად განტოლებას:

$$2\varphi \sum \frac{EJ}{l} + \sum \frac{EJ}{l} \psi = 3 \sum \frac{EJ}{l} \cdot \frac{\delta}{l} - \frac{1}{2} \sum M_z \quad (115).$$

ეს განტოლება განსხვავდება (113')-ე განტოლებიდან იმით, რომ მარჯვენა ნაწილში არის დამატებითი წევრი, რომელიც შეიცავს განსახილველ კვანძში თავმოქრილ ღეროთა ბოლოების ფარდობით გადაადგილებათა და გრძივ სიხისტეთა გასამკვეცებულ ჯამს. ამის გამო ძირითადი განტოლება შეიცავს გარდა კვანძების მობრუნების კუთხეთა, ისე ფარდობით δ გადაადგილებათა უცნობებს, რის გამოც უნდა დავწეროთ დამატებითი განტოლება.

ამისათვის გამოვსახოთ ჯერ საყრდენ კვებებში განივი ძალები, მობრუნების კუთხეებისა და სათანადო კვანძების გადანაცვლებათა დამოკიდებულების მიხედვით. 261-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ერთ-ერთი ღერო; მისი A და B კვანძების მობრუნების კუთხეები აღვნიშნოთ შესაბამისად φ_A და φ_B -თი; ბოლო ფარდობითი გადანაცვლება კი δ -თი. გვაქვს:



ნახ. 261.

$$Q_B \cdot l + M_A + M_B + \sum P_i a_i = 0,$$

საიდანაც

$$Q_B = -\frac{M_A + M_B}{l} - \frac{\sum P_i a_i}{l} = -\frac{M_A + M_B}{l} + Q_{B0} \quad (116)$$

აქ Q_{B0} უშუალოდ ღეროზე მოდებული ტვირთით გამოწვეული გადამკრელი ძალაა—იმ გულისხმობით, რომ ის თითქოს თავისუფლად დაყრდნობილი იყოს ბოლოებით.

$$Q_{B0} = -B_0 \quad (116')$$

(114) და (114')-ე ფორმულიდან M_A და M_B მნიშვნელობების ჩასმით ნივილებთ:

$$Q_B = -\frac{6 \frac{EJ}{l} (\varphi_A + \varphi_B) - 12 \frac{EJ}{l} \cdot \frac{\delta}{l} + M_{ZA} + M_{ZB}}{l} + Q_{B0}$$

ბოლოებით ხისტად ჩამაგრებული კოქისათვის, თუ ნულს ვაუტოლებთ φ_A , φ_B და δ , მივიღებთ:

$$Q_{BZ} = -\frac{M_{ZA} + M_{ZB}}{l} + Q_{B0}$$

Q_B გამოსახულებაში $Q_{B\%}$ -ის ჩასმით მივიღებთ:

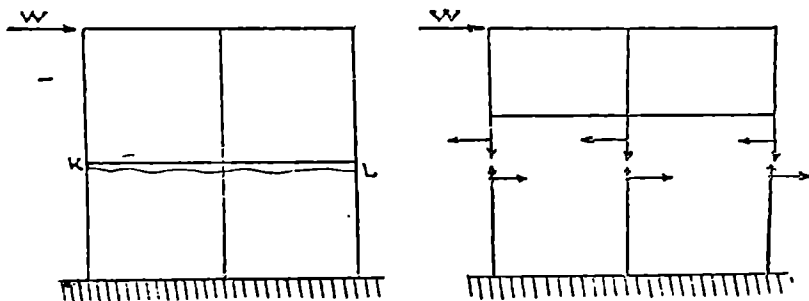
$$Q_B = -\frac{6EJ}{l} \cdot \frac{1}{l} \left(\varphi_A + \varphi_B - 2 \frac{\delta}{l} \right) + Q_{B\%} \quad . (117)$$

ლატივრთვის სხვადასხვა შემთხვევისათვის $Q_{B\%}$ მნიშვნელობები მოცუ-
ნულია ცხრილში (გვ. 136).

ახლა დავეწროთ ის დამატებითი განტოლებები, რომლებიც საკიროა
ზედმეტ δ უცნობების თანაპოვრიერებისათვის, რისთვისაც დაეკმაყოფილდ-
ებით მხოლოდ ვერტიკალური დგარებით (ნახ. 262). დახრილ დგარებისათვის
მეთოდი იგივე რჩება, მაგრამ გამოსახულებები რთული სახით მიიღებან.

თითოეული სართულის ფარგლებში, რიგელის ქვემოთ ჰორიზონტალუ-
რი კვეთების გატარებით, კვეთის ზემოთ დარჩენილი ჩარჩოს ნაწილის წონას-
წორობის განხილვით და ყველა ძალის ჰორიზონტალურ ღერძზე დაგეგმილუ-
ბით, მივიღებთ:

$$\sum Q = W.$$



ნახ. 262.

ახ

$$-\sum \left[6 \frac{EJ}{l} \cdot \frac{1}{l} \left(\varphi_A + \varphi_B - 2 \frac{\delta}{l} \right) + Q_{B\%} \right] = W \quad . (118)$$

საბოლოოდ (115)-ე და (118)-ე განტოლებები შეადგენენ განტოლება-
თა სისტემას ყველა φ და δ უცნობთა განსაზღვრისათვის.

ამ უცნობთა განსაზღვრის შემდეგ (114)-ე და (114')-ე განტოლებათა
საფუძველზე საყრდენ მღუნავ მომენტთა მნიშვნელობებს მივიღებთ, რის შემ-
დეგ შეგვიძლია ავაგოთ მღუნავ მომენტთა ეპიურა.

მაგალითისათვის ავიღოთ 263-ე ნახაზზე წარმოდგენილი ჩარჩო, რომ-
ლის ყველა ელემენტის გრძივი სისისტე მივიღოთ მუდმივი სიდიდის, აღ-
ნიშნოთ ის λ ასოთი, ჩარჩოს სიმაღლე კი l -ით.

რადგან B და C კვანძები A და D კვანძების მიმართ მიიღებენ ერთნაირ გადაანაცვლებას, ამიტომ შეგვეძლება (115)-ე და (118)-ე განტოლებათა დაწერა:

$$2\varphi_B \cdot 2\lambda + \varphi_C \lambda = 3\lambda \frac{\delta}{l}$$

$$2\varphi_C \cdot 2\lambda + \varphi_B \lambda = 3\lambda \frac{\delta}{l}$$

$$-6\lambda \frac{1}{l} \left(\varphi_B - 2 \frac{\delta}{l} \right) - 6\lambda \frac{1}{l} \left(\varphi_C - 2 \frac{\delta}{l} \right) = P.$$

განართივებით მივიღებთ:

$$4\varphi_B + \varphi_C = 3 \frac{\delta}{l};$$

$$\varphi_B + 4\varphi_C = 3 \frac{\delta}{l};$$

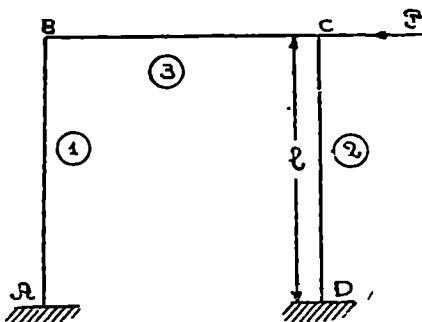
$$\varphi_B + \varphi_C = 4 \frac{\delta}{l} - \frac{P}{6\lambda} l.$$

ერთობლივი ამოხსნის შედეგად მივიღებთ:

$$\varphi_B = \varphi_C = \frac{Pl}{28\lambda};$$

$$\delta = \frac{5}{84\lambda} \cdot Pl^2.$$

ნახ. 263.



(114)-ე და (114') განტოლებებით გამოთვლილი მობრუნების კუთხეებისა და გადაანაცვლებათა მნიშვნელობების საფუძველზე მივიღებთ საყრდენ მომენტებს. მაგალითად, A წერტილისათვის გვაქვს:

$$M_A = 2\lambda \varphi_B + 0 - 6\lambda \frac{\delta}{l} = \frac{Pl}{14} - 6 \frac{5}{84} Pl = -\frac{2}{7} Pl.$$

ყველა საყრდენი მომენტის ასეთნაირად განსაზღვრის შემდეგ ავაგებთ მლუნავ მომენტთა ეპიურას.

§ 75. ორსახსრიანი დაწვრილი თალი ვეტიკალური დატვირთვის შემთხვევაში

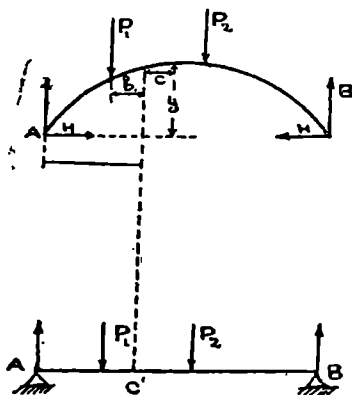
თალი წარმოადგენს მრუდე ღეროს. რომელიც დაყრდნობილია საყრდენებზე ისეთნაირად, რომ წინააღმდეგობას უწევს არა მარტო საყრდენ წერტილთა ვერტიკალურ, არამედ ჰორიზონტალურ გადაადგილებებსაც. თალი, არსებითად კოჭებისა და ჩარჩოებისაგან იმით განსხვავდება, რომ უკანასკ-

წვლნი შესდგებიან სწორხაზოვან ელემენტებისაგან, რომელთა მდუნაეი მომენტის ეპიურა წარმოიდგინება, როგორც ბოლოებით თავისუფლად დაყრდნობილი უბრალო კოქის ეპიურა, რომელზედაც დადებულია საყრდენი მომენტების სწორხაზი. მაშასადამე, კოქის ან ჩარჩოს ყოველ ელემენტში უდიდესი მდუნაეი მომენტის სიდიდეს აქვს არანაკლები მნიშვნელობა, ვიდრე თავისუფლად დაყრდნობილი კოქის უდიდესი მდუნაეი მომენტის ნახევარს. თალის შემთხვევაში კი მდუნაეი მომენტის ეპიურა, რომელიც აგებულია ბოლოებით თავისუფლად დაყრდნობილი კოქის გულეებით დაემატება არა სწორხაზი, არამედ ტეხილი ან მრუდე; ამის შედეგად თალისათვის არსებითად მიიღება მკირე მდუნაეი მომენტები, ვიდრე სათანადო კოქისათვის. ამის გამო გრძივი ძალთა როლი მდუნაე მომენტების როლთან შედარებით აქ ისეთი უმნიშვნელო არ არის, როგორც ჩარჩოებში და მათი გავლენის უგულვებელყოფა თალის დეფორმაციაზე არ შეიძლება.

აქ ჩვენ შევიჩრდებით ორსახსრიან (სტატიკურად ურკვევად) თალებზე.

თალის ანგარიში რთულდება იმით, რომ ჯერ ერთი ისინი წარმოადგენენ მრუდე ლეროებს და მეორე, მასზე არ შეიძლება გრძივი ძალების უგულვებელყოფა დეფორმაციაზე, თუმცა ზოგიერთი გამარტივების შეტანა მაინც შეიძლება.

ორსახსრიან თალში, სტატიკის სამი განტოლების დროს, საყრდენ რეაქციათა ოთხი უცნობი მდგენელი გვაქვს (ნახ. 264).



ნახ. 264.

თუ ჰორიზონტალურ ღერძზე გვემილთა ჯამს გაუტოლებთ ნულს, მივიღებთ, რომ ვერტიკალური დატვირთვის მოქმედებისას საყრდენი რეაქციების ჰორიზონტალური გვეგმილები ტოლი და შებრუნებული იქნებიან. აღენიშნოთ ისინი H (განბრჯენი) და ეს სიდიდე მივიღოთ ზედმეტ უცნობად. თალის საყრდენი წერტილების მიმართ: მომენტთა განტოლებები არ განსხვავდებიან ასეთივე მალის უბრალო კოქისათვის შედგენილ მომენტთა განტოლებებისაგან. ზედმეტი H უცნობთა განსაზღვრისათვის ვისარგებლოდ კასტილიანოს დებულებით:

$$\frac{dU}{dH} = \Delta l,$$

სადაც Δl — ძალის სიგრძის ცვლილებაა. ამ შემთხვევაში, საყრდენი წერტილების უძრაობის გამო, გვაქვს $\Delta l = 0$, საიდანაც

$$\frac{dU}{dH} = 0.$$

მცირე სიმრუდის ღეროებისათვის, რომლებსაც ეკუთვნის ყველა თალი-
გვაქვს:

$$u = \int \frac{M^2 ds}{2EJ} + \int \frac{N^2 ds}{2EF},$$

საიდანაც

$$\int M \frac{dM}{dH} \cdot \frac{ds}{EJ} + \int N \frac{dN}{dH} \cdot \frac{ds}{EF} = 0 \quad (119)$$

C კვეთში მლუნავი მომენტისათვის შემდეგი გამოსახულება გვაქვს:

$$M = Ax - \sum Pb - Hy,$$

სადაც $\sum Pb$ არის კვეთის მარცხნივ მოთავსებული აქტიურ ძალთა მომენ-
ტების ჯამი C წერტილის მიმართ. თალის მსგავსი მალის კოქში, რომელიც
დატვირთულია იგივე P ძალით. C წერტილის მიმართ, რომელსაც იგივე x
აბსცისა აქვს, მლუნავი მომენტისათვის შემდეგი გამოსახულება გვექნება:

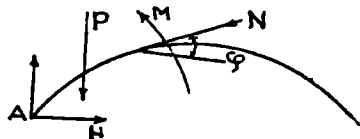
$$M_0 = Ax - \sum Pb,$$

აქედან

$$M = M_0 - Hy. \quad (120)$$

გრძივი N ძალისათვის გვაქვს
გამოსახულება (იხ. ნახ. 264).

$$N = H \cos \varphi + (A - \sum P) \sin \varphi.$$



ნახ. 265.

მაგრამ $A - \sum P = Q_0$ — გადაბურელი ძალაა კოქის C' წერტილში, აქედან

$$N = H \cos \varphi + Q_0 \sin \varphi. \quad (121)$$

(119)-ში ჩასმით მივიღებთ:

$$- \int \frac{1}{EJ} (M_0 - Hy) y ds + \int \frac{1}{EF} (H \cos \varphi + Q_0 \sin \varphi) \cos \varphi ds = 0, \text{ საიდანაც}$$

$$H = \frac{\int \frac{M_0 y ds}{J} - \int \frac{Q_0 \sin \varphi \cos \varphi ds}{F}}{\int \frac{y^2 ds}{J} + \int \frac{\cos^2 \varphi ds}{F}} \quad (122)$$

ეს არის H -ის ზოგადი გამოსახულება. ინტეგრალს შიგნით გამოსახუ-
ლების სირთულის გამო გამოიყენება მიახლოებებითი ინტეგრირება (ტრაპე-
ციის ფორმულა). კერძო შემთხვევაში შეიძლება გამარტივება. მაგალითად-
დაწეული თალისათვის H -ის გამოსახულებაში პრაქტიკისათვის შეიძლება საკ-
მარისი სიზუსტით დაეუშვათ:

$$ds = dx; \quad \cos \varphi = 1; \quad \sin \varphi = 0,$$

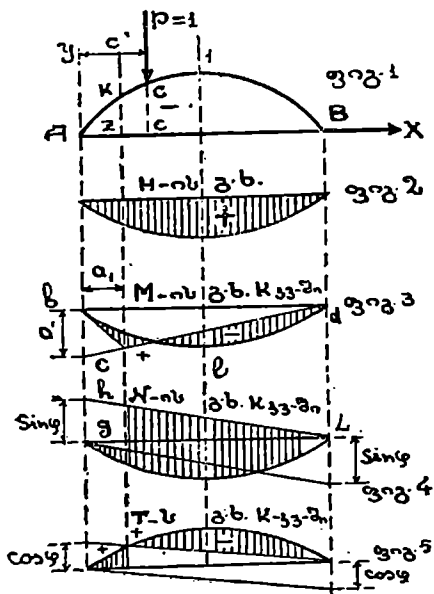
პაზინ (122)-ე გამოსახულება ასეთნაირად გარდაიქმნება:

$$H = \frac{\int M_0 \frac{y dx}{J}}{\int \frac{y^2 dx}{J} + \int \frac{dx}{F}} \quad . (123)$$

პულმიკვეთიანი დაწეული თალისათვის

$$H = \frac{\int M_0 y dx}{\int y^2 dx + il} \quad . (124)$$

სადაც $i = \sqrt{\frac{J}{F}}$ კვეთის ინერციის რადიუსია.



ნახ. 266.

მაგალითისათვის ავსებთ გავლენის ხაზი პარაბოლური დაწეული თალის H განმბრჯენისათვის. ამისათვის $P=1$ ძალა დავაყენოთ C აბსცისიან წერტილში (ნახ. 266). პარაბოლის განტოლება \bar{X} და \bar{Y} ღერძების მიმართ იქნება:

$$y = \frac{4f}{l^2} x(l-x).$$

იგივე მალის კოქისათვის M_0 მღუნავი მომენტი მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$M_0 = \frac{1(l-c)}{l} x$$

უბნისათვის $x=0$ -დან $x=c$ -მდე და

$$M_0 = \frac{1 \cdot c}{l} (l-x).$$

უბნისათვის $x=c$ -დან $x=l$ -მდე.

(124)-ე ფორმულაში ჩასმით მივიღებთ:

$$H = \frac{\int_0^c \frac{1 \cdot (l-c)}{l} x \frac{4f}{l^3} x(l-x) dx + \int_c^l \frac{c}{l} (l-x) \frac{4f}{l^3} x(l-x) dx}{\int_0^l \frac{16f^2}{l^4} x^2(l-x)^2 dx + i^2 l} = \frac{5}{8} \frac{1 \cdot c \left(1 - 2 \frac{c^2}{l^2} + \frac{c^3}{l^3}\right)}{f \left(1 + \frac{15}{8} \frac{l^2}{f^2}\right)}$$

ის სხვადასხვა მნიშვნელობების ჩამოთვლით, H -ის გავლენის ხაზის შესაბამის ორდინატებს მივიღებთ (ნახ. 266 ფიგ. მე-2).

K კვეთში მლუნავი მომენტის გავლენის ხაზის ასაგებად ვისარგებლოთ შემდეგი ფორმულით:

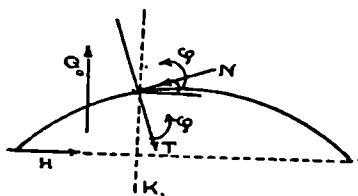
$$M = M_0 - Hy.$$

266-ე ნახაზის მე-3 ფიგურაზე bcd სამკუთხედი წარმოადგენს M_0 -ის გავლენის ხაზს. რომელიც ისევე აიგება, როგორც AB კოქის გავლენის ხაზი, წერტილში, რომელსაც აქვს ისეთივე c აბსცისა, როგორც თალს. bcd მრუდი Hy ფუნქციის გავლენის ხაზია. ეს ხაზი მიიღება H განმბრჯენის გავლენის ხაზის ორდინატების გამრავლებით Kl . ორდინატის სიდიდეზე K წერტილში. 266-ე ნახაზის მე-3 ფიგურაზე დაშტრიხულია $M = M_0 - Hy$ ფუნქციის გავლენის ხაზი. გრძივი ძალის გავლენის ხაზის ასაგებად გვაქვს გამოსახულება:

$$N = Q_0 \sin \varphi + H \cos \varphi.$$

266-ე ნახაზის მე-4 ფიგურაზე $fghj$ ტეხილი ხაზი წარმოადგენს $Q_0 \sin \varphi$ გავლენის ხაზს, რომლის ასაგებადაც $\sin \varphi$ -ზე ვამრავლებთ AB კოქის Q_0 გადაშტრიხული ძალის გავლენის ხაზის საყრდენ ორდინატებს კვეთში, რომელიც მარცხენა საყრდენიდან დაშორებულია a , მანძილით. fmi მრუდი ხაზი $H \cos \varphi$ ფუნქციის გავლენის ხაზია. ეს ხაზი მიიღება H განმბრჯენის გავლენის ხაზის ორდინატების $\cos \varphi$ -ზე გამრავლებით.

266-ე ნახაზის მე-4 ფიგურაზე დაშტრიხულია ორი აგებული ხაზის ალგებრული ჯამი. ის წარმოადგენს N -ის გავლენის ხაზს. თალის განივი T ძალის გამოსახულებას შევადგენთ 267-ე ნახაზის პაფუტეულზე, სადაც Q_0 -თ აღნიშნულია თალის გამოყოფილ ნაწილზე (K კვეთის მარცხნივ) მოქმედი ვერტიკალური გარეძალის ალგებრული ჯამი. ეს არის AB კოქის გადაშტრიხული ძალა K' წერტილში. წონასწორობის პირობის ძალით, T მიმართულებაზე გვექმნება ჯამის ნულთან გატოლებით, მივიღებთ:



ნახ. 267.

$$T - Q_0 \cos \varphi + H \sin \varphi = 0,$$

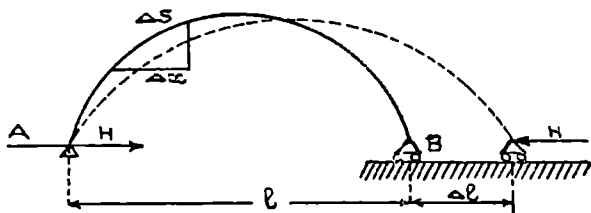
$$T = Q \cos \varphi - H \sin \varphi. \quad (125)$$

T -თვის გავლენის ხაზის აგება A -ის გავლენის ხაზის აგების ანალოგიურად სწარმოებს (ნახ. 266).

§ 76. ორსახსრიანი თალის ანგარიში ტემპერატურაზე

ტემპერატურის გავლენით თალის ზომები იცვლება, მაშასადამე, A და B საყრდენებს შორის მანძილიც ცდილობს შეიცვალოს. საყრდენი წერტილებს უძრაობის გამო ამ მისწრაფებას აფერხებს საყრდენთა წინააღმდეგობანი, რის გამოც წარმოიშობა საყრდენი რეაქციები. აქტიური ძალების არ არსებობის დროს საყრდენი რეაქციები A და B წერტილებში უნდა ურთიერთ გაწონასწორდნენ, ე. ი. AB სწორის გასწვრივ წარმოიქმნებიან ტოლი და შებრუნებული ძალები H განმბრჯენის სახით. ტემპერატურის გავლენა ცალკე გავითვალისწინოთ (ტემპერატურული ძაბვა ცალკე შეიკრიბება გამოთვლილ დატვირთვის ძაბვისთან).

მოვაშოროთ თალს B საყრდენი დამაგრება (ნახ. 268). ასეთ შემთხვევაში



ნახ. 268.

ში გათვლილი B საყრდენი A წერტილიდან Δl სიღრმით გადინაცვლებს. ნისპირვანდელ მდებარეობაში დასაბრუნებლად B წერტილზე BA მიმართულ ძვით ისეთი H სიდიდის ძალა უნდა მოვდოთ, რომ ამ ძალის ზეგავლენით B წერტილი მიუახლოვდეს A წერტილს Δl სიღრმით. ასეთი ძალის ზეგავლენით სტატიკურად რკვევადი თალი (B საყრდენი დამაგრების მოშორებით) ტემპერატურის მოქმედებით ისეთივე პირობებში იმუშაებს, როგორც სტატიკურად ურკვევადი. გვაქვს:

$$N = H \cos \varphi; \quad M = -Hy;$$

$$U = \int \frac{M^2 ds}{2EJ} + \int \frac{N^2 ds}{2EF},$$

აქედან

$$\Delta l = \frac{dU}{dH} = \int M \frac{dM}{dH} \frac{ds}{EJ} + \int N \frac{dN}{dH} \frac{ds}{EF} = \int H \cdot y \cdot y \frac{ds}{EJ} + \int H \cos \varphi \cdot \cos \varphi \frac{ds}{EF},$$

$$H = \frac{E\Delta l}{\int \frac{y^2 ds}{J} + \int \frac{\cos^2 \varphi ds}{F}} \quad (176)$$

დაწვეული თალისათვის ვაქვს:

$$ds = dx; \quad \cos \varphi = 1,$$

მივიღებთ:

$$H = \frac{E\Delta l}{\int \frac{y^2 dx}{J} + \int \frac{dx}{F}} \quad (177)$$

ჩასასმელი დარჩა მხოლოდ Δl სიდიდე. Δs ელემენტი l -ზე გათბობით მიიღებს $\alpha \Delta s$ ნაზრდს, სადაც α ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტია. აბსცისის ნაზრდი იქნება:

$$\alpha l ds \cdot \cos \varphi = \alpha l ds \frac{dx}{ds} = \alpha l dx,$$

აქედან

$$\Delta l = \int \alpha l dx = \alpha l l.$$

ჩასმით მივიღებთ:

$$H = \frac{E\alpha l l}{\int \frac{y^2 dx}{J} + \int \frac{dx}{F}}.$$

ერძო შემთხვევისათვის მუდმივი კვეთის პარაბოლური თალისათვის:

$$\begin{aligned} H &= \frac{E\alpha l l}{\frac{1}{J} \int_0^l \left[\frac{4f}{l^2} x(l-x) \right]^2 dx + \frac{1}{F} \int_0^l dx} = \\ &= \frac{E\alpha l l}{\frac{8}{15} \frac{f^3}{J} + \frac{l}{F}}; \quad \text{სადაც } i^2 = \frac{J}{F}. \end{aligned}$$

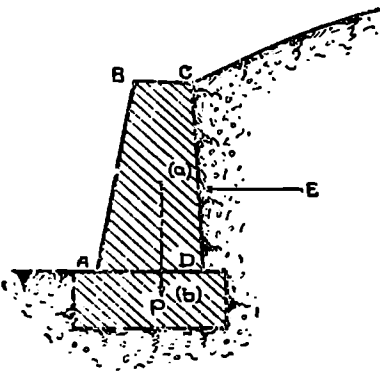
$M = -Hy$ გამოსახულების გამო ნომენტების ეპიურა ისეთივე მრუდია, როგორც თალის ღერძი და ამიტომ $\text{Max } |M| = Hf$ მიიღება კლიტეში.

თავი მათე

ქვის საყრდენი კედლები

§ 77. ბაკმაღები

ბუნებრივი სახით ნაყარი მიწა გვერდებიდან შემოსახლვრება ფერ-
დობებით, რომელთა მაქსიმალური დაქანება დამოკიდებულია ყამირას გეა-
რეობისაგან. თუ საკირა მიწის ფენის უფრო მეტი ციცაბო ფერდობებით
შემოსახლვრა, მაშინ მიწის მასის გვერდითი დასაკეხვლად აიგება საყრ-
დენი კედელი.



ნახ. 269.

ქვის საყრდენი კედელი (ნახ. 269)
შესდგება (a) სხეულისაგან და (b) სა-
ძირკელისაგან. მისი ანგარიში საკე-
როა დაეიწყეთ გარეძალევის განსაზ-
ღვრით. ასეთებად ითვლებიან საკუთა-
რი წონა P და მიწის წნევა კედლის
სხეულზე E. კედლის წონა შეიძლება
განისაზღვროს მისი ზომების მიხედვით,
რომლებიც წინასწარ უნდა დაინიშნონ
(ემპირიული ფორმულებით ან არსებუ-
ლი ნაგებობებთან შედარებით). მიწის
წნევის E სიდიდისა და მდებარეობის
განსაზღვრა კი წარმოადგენს უფრო
რთულ ამოცანას, რომლის ამოხსნასაც
შევუდგებით.

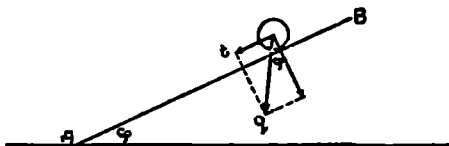
§ 78. საკითხის დაყენება საყრდენ კედელზე მიწის წნევის განსაზღვრისათვის

მიწა წარმოადგენს ცალკეული ნაწილების ერთობლიობას, რომელთა
ურთიერთგადანაცვლებებს ხელს უშლის ხახუნისა და შეკიდულობის ძალები.
შეკიდულობის ძალები მეტის-მეტად ცვალებადია, რომლებიც დამოკიდებულ-
ნი არიან ზევრ შემთხვევით გარემოებაზე და უფრო მნიშვნელოვნად მოცემუ-
ლი ყამირის ინდივიდუალურ თავისებურებებზე.

წნევის განსაზღვრა კედელზე ისეთი რთული სხეულისაგან, როგორც
არის ბუნებრივი სახით მიწა, წარმოადგენს ჯერ კიდევ გადუწყვეტელ ანო-

ცანას. ამიტომ პირველი მიახლოებით ჩვენ შევისწავლით კედელზე ზოგიერთი გამარტივებული ფხვიერი სხეულის მოქმედებას, რომელთა ნაწილაკებს შორის მოქმედებს მხოლოდ ხახუნის ძალა; შეკიდების ძალებს ჩვენ ანგარიშში არ მივიღებთ.

ნაწილაკებს შორის ხახუნის ძალის სიდიდე დამოკიდებულია ყამირის სახეზე და მის ტენიანობის ხარისხზე, და ცდების საშუალებით ის შეიძლება განსაზღვრული იქნეს უდიდესი დაქანებული ფერდობის სიდიდით, რომელიც შეიძლება გადიდებულ იქნეს მიწის დაყრით ფხვიერ მდგომარეობაში. ამ დაქანებას უწოდებენ ბუნებრივს და ფ კუთხეს ჰორიზონტალურ სიბრტყესა და მას შორის (ნახ. 270) ბუნებრივი ფერდობის კუთხეს. ვთქვათ, AB (ნახ. 270) მიწის ბუნებრივი დაქანებაა. მის ზედაპირზე მდებარე ნაწილაკის q წონა დაეშალოდ ფერდობის ნორმალურ და პარალელურ ნიმართულეებზე მდგენლებად



ნახ. 270.

$$n = q \cos \varphi; \quad l = q \sin \varphi.$$

l მდგენელი ცდილობს ნაწილაკის გადაადგილებას ფერდობის ნიმართულებით. ამ გადაადგილებას ეწინააღმდეგება ხახუნის ძალა, რომელიც პროპორციულია ნორმალური n დაწნევის. თუ პროპორციულობის კოეფიციენტს (ხახუნის კოეფიციენტს) აღვნიშნავთ f -თ, დაწვერთ ნაწილაკის უძრაობას პირობას:

$$l \leq fn \text{ ან } q \sin \varphi \leq f q \cos \varphi; \quad \text{იგ } \varphi \leq f.$$

უდიდესი კუთხე, რომლითაც ფერდობი დადგება შესაბამება განტოლებას:

$$\text{იგ } \varphi = f.$$

კუთხე $\varphi = \arctg f$, და არის ბუნებრივი დაქანების კუთხე. ცდები გვიჩვენებს, რომ მოცემული ყამირისათვის ბუნებრივი დაქანების კუთხე (მაშასადამე ხახუნის კოეფიციენტი) ძლიერ დამოკიდებულია ტენიანობის ხარისხზე. φ კუთხისა და f კოეფიციენტის სიდიდეთა მონაცემები სხვადასხვა ყამირებისათვის სხვადასხვა ტენიანობით (მშრალი, ბუნებრივი ტენიანი და გაყენითილი წყლით) მოყვანილია ცნობარებში. ქვიშოვან ყამირებისათვის $\varphi = 30^\circ$; $f = \text{იგ } \varphi = 0,577$.

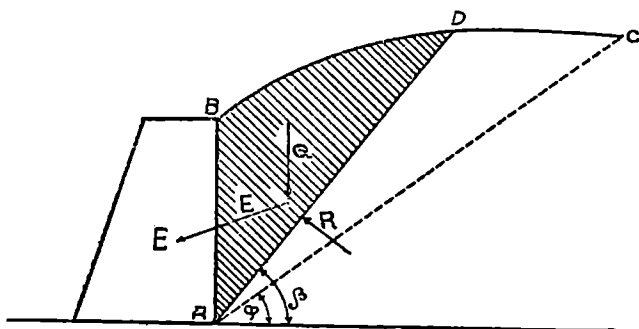
271-ე ნახაზზე წარმოდგენილია საყრდენი კედლისა და მიწის თხრილის განივი პრილი. AC სწორი შეესაბამება მიწის ბუნებრივ ფერდობს. საყრდენი კედლის AB წახნაგზე მიწის E წნევა გამოწვეულია იმით, რომ მიწის მასის ნაწილი სიმძიმის ძალის მოქმედებით ისწრაფის, გამოყოფილი რომელიც AD ზედაპირით დაწარჩენ მიწის მოცულობისაგან ჩამოცოცდეს ამ ზედაპირზე, მაგრამ ხედება კედლის წინააღმდეგობას. AD ზედაპირს ეწოდება

ჩამონგრევის ზედაპირი. მისი ზუსტი სახე უცნობია, მაგრამ პრაქტიკის პიზუსტისათვის საკმარისია ის მიღებულ იქნეს სიბრტყედ. პრიზმას ABD უფროთ ეწოდება ჩამონგრევის პრიზმა.

ჩამონგრევის პრიზმა იმყოფება წონასწორობაში სამი ძალის მოქმედებისაგან: მისი საკუთარი წონისაგან Q , კედლის E და R რეაქციებისაგან და აგრეთვე მიწის დანარჩენ მასისაგან. თუ E და R რეაქციების მიმართულებანი ცნობილი არიან, მაშინ Q წონით შეიძლება, წონასწორობის პირობით, განისაზღვრონ E და R . ჩამონგრევის პრიზმის Q წონა განისაზღვრება, თუ ცნობილი იქნება ჩამონგრევის სიბრტყის მდებარეობა.

ამნაირად, საყრდენ კედელზე მიწის წნევის E განსაზღვრისათვის უნდა გადაწყვიტოთ E და R რეაქციების მიმართულებებისა და ჩამონგრევის სიბრტყის მდებარეობის საკითხები.

რადგან საყრდენი კედელი და ჩამონგრევის პრიზმა წარმოადგენენ პოზნებს, რომელთა თითოეული სიგრძის ერთეულები იმყოფებიან ძალებისა და ზომების მიმართ ერთიდაიგივე პირობებში, ამიტომ ჩვენ შეგვიძლია შე-



ნახ. 271.

პოვისაზღვროთ პრიზმათა ნაწილების განხილვით კედლის ღერძის ნორმალურად გატარებული ერთიმეორისაგან ერთეული სიგრძით დაშორებული ორი სიბრტყით. ყველა ჯგუფის ძალა დაიყვანება ტოლქმედზე, რომელიც იმყოფება შუა სიბრტყეში, რომელსაც მივიღებთ ნახაზის სიბრტყედ. AD სწორს, ჩამონგრევის სიბრტყის ნახაზის სიბრტყესთან გადაკვეთას, ეუწოდოთ ჩამონგრევის ხაზი.

§ 79. R და E რეაქციების მიმართულებანი (ნახ. 271)

იმის გამო, რომ რეაქციათა მიმართულებანი ზუსტად ცნობილი არ არიან, ამოცანა მათი განსაზღვრისათვის ნამდვილი სიდიდით არ შეიძლება გადაწყვიტოთ იქნეს და ამიტომ საყრდენი კედლის ანგარიში უნდა დაუქვემდებაროდ დაშვებებს, რომლებმაც მაინც უნდა მოგვცეს ნაგებობის მდგრა-

ლობისა და სიმტკიცის საკმარისი გარანტია. ამ მიზნით კედელზე მოქმედ ძალას განიხილავენ იმ ზღვრულ მომენტში, როდესაც ის დაიძრა და მიიღო რალაქ გადაადგილება ან ქვედა წინა წიბოს მიმართ შემობრუნებით ან თუბზე გასრიალებით. თუ ასეთი წარმოდგენით კედლის გადაადგილებაზე მოქმედებს საკმაო წინააღმდეგობა. მაშინ მისი მღვრადობა უზრუნველყოფილია. ეს არის ზღვრული წონასწორობის მეთოდია.

განსახილველ მომენტში ჩამონგრევის პრიზმა ჩამოცოცდება ქვევით, როგორც ჩამონგრევის სიბრტყეზე ისე კედლის უკანა ზედაპირზე. ამიტომ R და E რეაქციები გადაიხრებიან გადანაკვლების საწინააღმდეგოდ, ნორმალიდან გვერდზე ხახუნის კუთხით. R რეაქცია φ კუთხით, მიწის ხახუნით მიწაზე და E რეაქცია γ კუთხით მიწის ხახუნით ქვის წყობაზე ($\text{tg } \varphi = f_1$, სადაც f_1 არის მიწის წყობაზე ხახუნის კოეფიციენტი). ამასთან კედლის ზედაპირის მდგონარეობით მიწის ხახუნის წყობაზე თუ მეტია მიწის ხახუნისა მიწაზე. მაშინ AE წახნაგზე მიეკრება მიწის ფენა და პრიზმის სრიალი წარმოიშობა ამ შრეზე. ასეთ შემთხვევაში უნდა მივიღოთ $\gamma = \varphi$. პრაქტიკაში ჩვეულებრივ ასეც ხდება, კედლის უკანა წახნაგის ხორკლიანობის გამო ხშირად სიმტკიცის მარაგის იღებენ $\gamma = 0$ ე. ი. გულისხმობენ მიწის წნევას კედელზე მათი შეხების სიბრტყის პერპენდიკულარული მიმართულებით.

§ 80. ჩამონგრევის სიბრტყის მდებარეობის განსაზღვრა

ჩამონგრევის სიბრტყის მდებარეობა განსაზღვრება მისი პორიზონტთან დახრის β კუთხით. β ცვლილებით მივიღებთ პრიზმათა რიგს, რომელთაგანაც ჩამონგრევის პრიზმა იქნება ის, რომელიც მოითხოვს უდიდეს უკუქმედებას მის დასაკეებლად ჩამოცოცებისაგან, და. მაშასადამე, აწარმოებს უდიდეს წნევას საყრდენ კედელზე. ამის საფუძველზე გამოვსახოთ წნევა E , როგორც β ფუნქცია. ჩვენ განვსაზღვრავთ ჩამონგრევის სიბრტყის შესაბამის კუთხეს ტოლობიდან $\frac{dE}{d\beta} = 0$, რის შემდეგაც ჩასმით განვსაზღვრავთ E .

§ 81. მიწის წნევის ანალიზური განსაზღვრა კედლის ვეტიკალურ უკანა წახნაგზე, შემოსაზღვრული მიწის მასის კონკრეტულადი სიბრტყით, რომელიც პატარააშულია კედლის ზედა წახნაგის დონეზე (ნახ. 272)

ხახუნის კუთხე მიწისა კედელზე მივიღოთ ნულის ტოლად: $\gamma = 0$. Q , E და R ძალები წონასწორობის პირობიდან:

$$E \quad R \sin(\beta - \varphi) = 0; \quad Q - R \cos(\beta - \varphi) = 0,$$

აიღიანა

$$E = Q \text{tg}(\beta - \varphi).$$

მიწის ერთეული მოცულობის წონის q ასოდი აღნიშვნით, მივიღებთ:

$$Q = q \cdot \text{ფართობი}(ABD) = q \frac{H \cdot H \text{ctg } \beta}{2} = \frac{qH^2}{2} \cdot \text{ctg } \beta.$$

$$E = \frac{q \cdot H^2}{2} \operatorname{ctg} \beta \cdot \operatorname{tg} (\beta - \varphi).$$

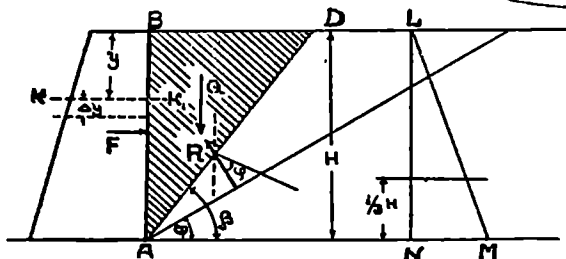
ჩამონგრევის სიბრტყეს ესაბამება β_0 კუთხე, რომელიც დაკმაყოფილებს $\frac{\partial E}{\partial \beta} = 0$ განტოლებას.

$$\frac{qH^2}{2} \left[-\operatorname{tg} (\beta - \varphi) \frac{1}{\sin^2 \beta} + \operatorname{ctg} \beta_0 \frac{1}{\cos^2 (\beta_0 - \varphi)} \right] = 0:$$

$$\frac{\sin (\beta_0 - \varphi)}{\cos (\beta_0 - \varphi) \sin^2 \beta_0} = \frac{\cos \beta_0}{\sin \beta_0 \cos^2 (\beta_0 - \varphi)}$$

$$\sin (\beta_0 - \varphi) \cos (\beta_0 - \varphi) = \sin \beta_0 \cos \beta_0;$$

$$\sin 2 (\beta_0 - \varphi) = \sin 2 \beta_0; \quad 2 (\beta_0 - \varphi) = 180^\circ - 2 \beta_0; \quad \beta_0 = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}.$$



ნახ. 272.

ჩასმით მივიღებთ:

$$E = \frac{qH^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (128).$$

E წნევა განაწილებულია AB სიბრტყეზე. გამოვიყენოთ წნევის განაწილების კანონი. (128)-ე გამოხატულების თანახმად, KK_1 სიბრტყის ზემოთ მდებარე კედლის ნაწილზე, რომელიც დაშორებულია ზედა წახნაგისაგან y მანძილით, BK_1 სიბრტყეზე მოქმედებს ძალა:

$$E_1 = \frac{q y^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

dy ელემენტზე მოქმედებს dE_1 ძალა.

წნევის ინტენსივობა K წერტილში (ერთეულ სიმაღლეზე მოსული წნევა):

$$p = \frac{dE_1}{dy} = qy \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

მაშასადამე, ინტენსივობა იცვლება y -ზე დამოკიდებულებით სწორხაზის კანონით. როცა $y=0$; $p=0$; როცა $y=H$, $p=qH \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$.

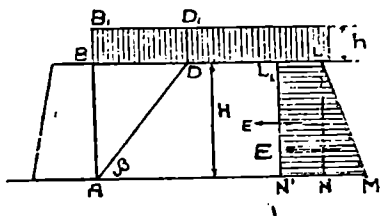
272-ე ნახაზზე წარმოდგენილია LNM სატვირთო ხაზი (მასში $NM = qH \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$), რომელსაც აქვს სამეუთხედის სახე (წნევის სამკუთხედი). სატვირთო ხაზის სახე გვიჩვენებს, რომ განსახილველ შემთხვევაში E წნევის მოდების წერტილი ძვეს სიმაღლის $\frac{1}{2}$ მანძილზე სხეულის ქვედა წახნაგიდან.

§ 82. ზედა ჰორიზონტალურ BD სიბრტყეზე განლაგებულ თანაბრადგანაწილებული დატვირთვის გავლენა წინა პარაგრაფის ამოცანის მიხედვით (ნახ. 273)

დატვირთვის ინტენსივობა აღენიშნოთ k -თი. დატვირთვა ჩვეულებრივად წარმოადგენს მიწის ფენის ისეთ სახეს, რომლის ერთეული ფართის წონა უდრის k -ს. $k=qh$, სადაც h არის ფენის სისქე.

აქედან

$$h = \frac{k}{q} \quad (129)$$



ნახ. 273.

გვაქვს:

$$Q = q \cdot \text{ფართობი } (ABB_1D_1D) = q \left(\frac{H^2}{2} \operatorname{ctg} \beta + hH \operatorname{ctg} \beta \right) = \frac{qH}{2} \operatorname{ctg} \beta (H + 2h);$$

$$E = Q \operatorname{tg} (\beta - \varphi) = \frac{qH}{2} (H + 2h) \operatorname{ctg} \beta \cdot \operatorname{tg} (\beta - \varphi),$$

$$\frac{dE}{d\beta} = \frac{qH}{2} (H + 2h) \frac{d}{d\beta} [\operatorname{ctg} \beta \cdot \operatorname{tg} (\beta - \varphi)] = 0.$$

წინა პარაგრაფის საფუძველზე, ამ განტოლების გადაწყვეტით:

$$\beta_0 = 45^\circ + \frac{\varphi}{2},$$

$$E = \frac{qH}{2} (H + 2h) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (130)$$

წარმოვადგინოთ E ასეთი სახით:

$$E = \frac{qH^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) + qHh \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = E_I + E_{II}.$$

128)-ე ფორმულასთან შედარებით, შევნიშნავთ, რომ პირველი შესაკრები წარმოადგენს მიწის წნევას გარეშე დატვირთვის არ არსებობის დროს, ხოლო მეორე შესაკრები კი k დატვირთვის გავლენას, ამასთან E_{II} პროპორციულია H სიმაღლის. მისი ინტენსივობა მუდმივია და უდრის:

$$\frac{E_{II}}{H} = qh \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

273-ე ნახაზზე ნაჩვენებია სატვირთო $L' N' ML$ ხაზი, მასთან

$$LL' = qh \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right); \quad NM = qH \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

E წნევის მოდების წერტილი ძვეს ტრაპეციის ცენტრზე განავალ ჰორიზონტალურ სწორზე. რომელიც შეიძლება განზღვრული იყოს აგრეთვე ზოი ჰორიზონტალური ძალის ნდებარეობით:

$$E_1 = -\frac{qH^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right),$$

რომელიც დაწორებულია სხეულის ქვედა საზღვრიდან $\frac{H}{3}$ -ით, და

$$E_{II} = qHh \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right),$$

დაწორებული სხეულის ქვედა საზღვრიდან $\frac{H}{2}$ -ით.

§ 83. საპარლენ კედელზე მიწის წნევის გრაფიკული განსაზღვრა. რეზხანის მეთოდი

ანალიზური მეთოდი მეტად რთულ შემთხვევებში მიიყვანება ვებერთელა წარმულებამდე. ამიტომ ასეთ შემთხვევებში უმჯობესია გრაფიკული მეთოდი. მოვიყვანოთ რეზხანის მეთოდი.

274-ე ნახაზზე AB არის კედლის უკანა წახნაგი, რომელიც ვერტიკალურ სიბრტყესთან ადგენს α კუთხეს; φ — ბუნებრივი დაქანების კუთხეა. ჩამონგრევის პრიზმაზე რეაქციათა გადახრის კუთხეები ნორმლიდან აღნიშნულია γ და ψ ასოებით, ამასთან, კერძოდ, γ შეიძლება უდრიდეს ნულს (იხ. § 79). ვიგულისხმობთ, რომ ჩამონგრევის AD ხაზის მდებარეობა, რომელიც განიზღვრება მისი დახრით ჰორიზონტალურ სიბრტყესთან β კუთხით ცნობილია. გამოვიყვანოთ პირობები, რომლის საფუძველზედაც შეიძლებოდეს ამ კუთხის განსაზღვრა.

ჩამონგრევის პრიზმას აქვს ABD კვეთი ერთის ტოლი სიმაღლით. ერთეული მოცულობის წონის q ასოთი აღნიშვნით მივიღებთ ჩამონგრევის პრიზმის წონას

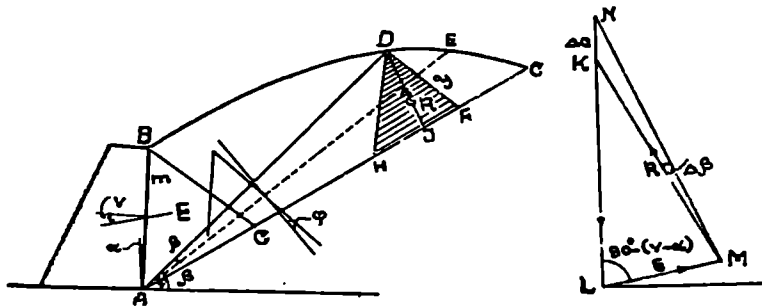
$$Q = q \cdot \text{ფართი } (ABD) \quad . \quad (131)$$

KLM სამკუთხედი (ნახ. 274) წარმოადგენს წონასწორობის სამკუთხედს Q , E და R ძალებისაგან. ამ სამკუთხედიდან, მოცემული ჩამონგრევის ხაზის მდებარეობაზე დამოკიდებულებით, განიზღვრებიან E და R სიდიდეები. ჩამონგრევის ხაზის ნამდვილი მდებარეობა, § 80 თანახმად, შეესაბამება პირობას:

$$\frac{dF}{d\beta} = 0 \text{ ან ხლვ. } \frac{dF}{d\beta} = 0,$$

როცა $\Delta\beta$ მიისწრაფის ნულისაკენ და მასთან ΔF -ც. ეს იმას ნიშნავს, რომ $\Delta\beta$ უსასრულოდ მცირე ნაზრდის დროს, შესაბამისი ΔE სიდიდე იქნება უმაღლესი რიგის უსასრულო მცირე $\Delta\beta$ -სთან შედარებით. აპიტომ, თუ AD წარმოადგენს ჩამონგრევის ხაზის ნამდვილ მდებარეობას, მაშინ β კუთხეს უსასრულოდ მცირე $\Delta\beta$ ნაზრდის მიცემით, შეგვიძლია უკუვაგდოთ E რეაქციის ნაზრდი, როგორც უმაღლესი რიგის მცირე.

$\Delta\beta$ ნაზრდის შედეგად AD ხაზი მიიღებს AE მდებარეობას. პრიზმის Q წონა მიიღებს $\Delta Q = q \cdot \text{ფართი } (AD/)$ ნაზრდს. R რეაქცია გადაიხრება $\Delta\beta$ კუთხით, ხოლო E რეაქცია შეინარჩუნებს პირვანდელ სიდიდეს და მიმართულებას. ABE პრიზმის შესაბამისი ძალთა სამკუთხედი მიიღებს NLM სახეს



ნახ. 274.

თუ D წერტილზე გავატარებთ DF სწორს, რომელიც AC სწორთან შედგენს $\alpha = 90^\circ - (\gamma - \alpha)$ კუთხეს, მაშინ ADF და KLM სამკუთხედები იქნებიან მსგავსნი, α და $(\beta - \varphi)$ კუთხეების ტოლობის გამო. ამის საფუძველზე

$$\frac{\text{ფართი } (ADF)}{\text{ფართი } (KLM)} = \frac{AF^2}{Q^2} = S, \dots \dots (132)$$

სადაც S -ით აღნიშნულია $\frac{AF^2}{Q^2}$ შეფარდება. უსასრულოდ მცირე უმაღლეს-

სი რიგის სიზუსტით გვაქვს:

$$\text{ფართი } (ADE) = \frac{AD^2}{2} \Delta_3,$$

$$\text{ფართი } (NKM) = \frac{R^2}{2} \Delta_3,$$

საიდანაც

$$\frac{\text{ფართი } (ADE)}{\text{ფართი } (NKM)} = \frac{AD^2}{R^2},$$

მაგრამ ADF და LKM სამკუთხედების მსგავსობიდან გვაქვს.

$$\frac{AD^2}{R^2} = \frac{AF^2}{Q^2} = S,$$

საიდანაც ფართი $(ADE) = S$ ფართ (NKM) .

$$\Delta Q = q \text{ ფართი } (ADE) = q \cdot \text{ფართი } (NKM). \quad (133)$$

მაგრამ KLM და KNM სამკუთხედებიდან, რომლებსაც აქვთ ფუძეები ერთ სწორზე და წვეროები საერთო, მივიღებთ:

$$\frac{Q}{\Delta Q} = \frac{\text{ფართი } (KLM)}{\text{ფართი } (NKM)}$$

(131)-ე და (133)-ე ტოლობებში ჩასმით, მივიღებთ:

$$\frac{\text{ფართი } (ABD)}{S \text{ ფართი } (NKM)} = \frac{\text{ფართი } (KLM)}{\text{ფართი } (NKM)}$$

საიდანაც

$$\text{ფართი } (ABD) = S \text{ ფართი } (KLM)$$

ან (132)-ე ტოლობის საფუძველზე

$$\text{ფართი } (ABD) = \text{ფართი } (ADF) \quad (134)$$

ეს გამოსახულება ახასიათებს ჩამონგრევის ხაზის მდებარეობას. ჩამონგრევის ხაზი იკავებს ისეთ AD მდებარეობას, რომლის D წერტილზე DF სწორის გატარებით, რომელიც ადგენს ბუნებრივი ფერდობის ხაზთან $\alpha = 90^\circ - (\gamma - \alpha)$ კუთხეს, მივიღებთ ABD ფიგურის ტოლ სიდიდის ADF სამკუთხედს.

აგების გამარტივების მიზნით გავიყვანოთ B წერტილიდან DF სწორის პარალელური BG . ამ სწორსა და კედლის უკანა წახნაგს შორის კუთხე იქნება (ABG სამკუთხედიდან):

$$m = 180^\circ - (90^\circ - \gamma + \alpha) - (90^\circ - \varphi - \alpha) = \gamma + \varphi.$$

ვიცით რა m კუთხის სიდიდე, გავავლებთ პირველად BG სწორს. რომელიც განსაზღვრავს DF მიმართულებას, რის შემდეგ შეიძლება მოინახოს ჩამონგრევის AD ხაზი.

E რეაქციის სიდიდე (წნევა კედელზე) შეიძლება განსაზღვრული იქნეს შემდეგნაირად, KJM და ADF სამკუთხედთა მსგავსობიდან გვაქვს:

$$\frac{E}{Q} = \frac{DF}{AF}.$$

ჩავსვათ

$$Q = q \cdot \text{ფართი } (ABD) = q \cdot \text{ფართი } (ADF);$$

$$E = q \cdot \text{ფართი } (ADF) \cdot \frac{DF}{AF} = q \cdot \frac{AF \cdot \eta}{2} \cdot \frac{\gamma}{AF} = q \cdot \frac{\gamma \eta}{2}.$$

გავატარებთ DH რკალს $DF = \gamma$ რადიუსით და შევეერთებთ H და D წერტილებს, მივიღებთ სამკუთხედს, რომლის ფართი ტოლია:

$$\frac{1HF \cdot \eta}{2} = \frac{\gamma \eta}{2},$$

საიდანაც

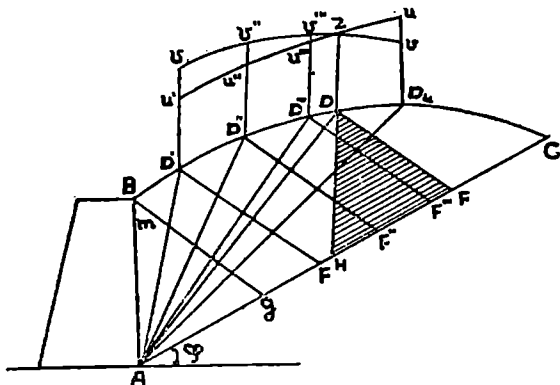
$$E = q \cdot \text{ფართი } (HDF) \quad . \quad (135)$$

ე. ი. საყრდენ კედელზე მიწის E წნევა უდრის, ისეთი მიწის პრიზმის წონას, რომელსაც აქვს ერთეული სიმაღლე და ფუძეთ აღნიშნული მეთოდით აგებული HDF სამკუთხედის ფართი. ამ სამკუთხედს რეზხანის სამკუთხედი ეწოდება.

§ 84. ჩამონგრევის AD ხაზის აგება

ამნაირად, E -ს გრაფიკულად განსაზღვრის ამოცანის არსებითი ნაწილი წარმოადგენს ჩამონგრევის AD ხაზის აგება. ზოგად შემთხვევაში, როდესაც მიწის მისა შემოსაზღვრულია ზემოდან ნებისმიერი მრუდით, აგება შეიძლება ვაწარმოოთ შემდეგნაირად.

275-ე ნახაზზე გავლებულია ბუნებრივი ფერდობის შესაბამისად AC სწორი და BG სწორი კედლის უკანა AB წახნაგთან შედგენილი $m = \gamma + \varphi$ კუთხით. BG სწორს ეწოდება მიმართულების ხაზი. გავატაროთ, მიმართულების



ნახ. 275.

ხაზის პარალელური, მთელი რიგი $D^I F^I$, $D^{II} F^{II}$, და ა. შ. სწორები, და D^I , D^{II} , D^{III} , D^{IV} წერტილები შევეერთოთ A წერტილთან. წვეილ-

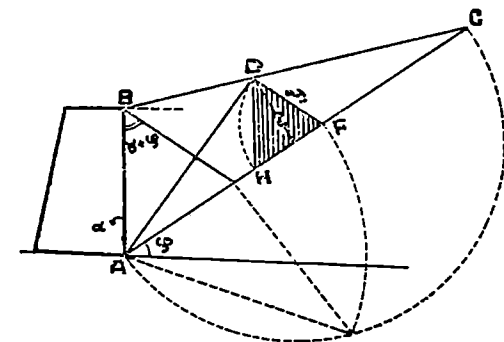
წვილად, ABD^I და $AD^I F^I$, ABD^{II} და $AD^{II} F^{II}$ და ა. შ. ფართების შედარებით მივიღებთ ჩამონგრევის ხაზის ნამდვილ მდებარეობას მაშინ. როდესაც ფართი $(ABD) =$ ფართ (ADF) . D^I , D^{II} , D^{III} , D^{IV} წერტილებიდან გავლევთ ვერტიკალებზე მოვზომავთ u და v ნიშნების შესაბამისად, ABD და ADF ფართების პროპორციულ D_u და D_v მონაკვეთებს, წერტილებს შევეერთებთ მლოვრული მრუდით, მივიღებთ ABD ფართის $u_1, u^{II}, u^{III}, u^{IV}$ მრუდს და ADF ფართის $v_1, v^{II}, v^{III}, v^{IV}$ მრუდს. გადაკვეთის z წერტილი შეესაბამება ამ ფართების ტოლობას. მასზე ვერტიკალური სწორის გატარებით მივიღებთ D წერტილს, რომელიც განსაზღვრავს ჩამონგრევის AD ხაზის მდებარეობას. გავაელებთ DF -ს, BG პარალელურად და ავაგებთ რეგისტრის სამკუთხედს, რომელიც განსაზღვრავს მიწის E წნევის სიდიდეს კედელზე.

§ 85. შემთხვევა, როდესაც მიწის მასა შემოსაზღვრულია ჯამოლან სიბრტყით

ამ შემთხვევისათვის შეიძლება რეკომენდირებული იყოს მეტად ნატივი მეთოდი. ჩვენ ენახეთ, რომ ჩამონგრევის AD ხაზის მდებარეობა განისაზღვრებოდა ტოლობით:

ფართი $(ABD) =$ ფართი (ADF) . (134)

BC სწორით, მიწის მასის შემოსაზღვრის შემთხვევისათვის (ნახ. 276) გვაქვს:



ADC სამკუთხედს თითოეულ ABD და ADF სამკუთხედებთან აქვს საერთო წვერო, ამასთან მოპირდაპირე გვერდები მდებარეობენ ერთ სწორზე. ამიტომ შევიძლია დავწეროთ:

$$\frac{\text{ფართი } (ABD)}{\text{ფართი } (ADC)} = \frac{BD}{DC},$$

$$\frac{\text{ფართი } (ADF)}{\text{ფართი } (ADC)} = \frac{AF}{AC},$$

ნახ. 276.

საიდანაც (134)-ე ფორმულის საფუძველზე, მივიღებთ:

$$\frac{BD}{DC} = \frac{AF}{AC}.$$

GBC და FDC სამკუთხედების მსგავსობიდან გვაქვს:

$$\frac{BD}{DC} = \frac{GF}{FC},$$

$$\frac{AF}{AC} = \frac{GF}{FC} = \frac{AF - AG}{AC - AF}$$

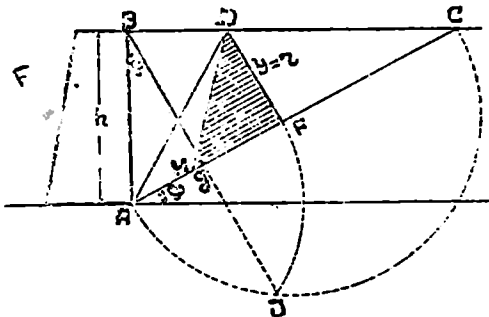
აბ

$$(AF - AG) AC = (AC - AF) AF;$$

$$(AF)^2 = AC \cdot AG,$$

ე. ი. AF მონაკვეთის სიგრძე არის საშუალო პროპორციული AC და AG მონაკვეთებს შორის. ასეთივე დამოკიდებულებაა კატეტსა, ჰიპოტენუსასა და კატეტის მიმდებარე ჰიპოტენუსის ნაკვეთს შორის. რომელიც მოკვეთილია სწორი კუთხის წვეროდან დაწვეული პერპენდიკულარით. ამიტომ, თუ AC მონაკვეთზე, როგორც დიამეტრზე ავაგებთ ნახევარ წრეს, გავიყვანთ პერპენდიკულარს GI და I წერტილს შევჯერებთ A წერტილს, მაშინ $(AI)^2 = AC \cdot AG$, საიდანაც $AF = AI$ და F წერტილი შეაძლება მივიღოთ A წერტილიდან, როგორც ცენტრიდან, IF რკალის შემოხაზვით.

აქედან წესი: რეგზანის სამკუთხედის აგებას, როდესაც მიწის მასა შემოსაზღვრულია ზემოდან სიბრტყით, ვაწარმოებთ ასე: გავავლებთ ბუნებრივი ფერდობის შესაბამის AC სწორს და მის მონაკვეთზე, კედლის უკანა წახნაგსა და მიწის ზედაპირს შორის, როგორც დიამეტრზე შემოვხაზავთ ნახევარწრეს. გავიყვანთ მიმართულების BG ხაზს და მისი AC სწორთან გადაკვეთის G წერტილიდან ავმართავთ პერპენდიკულარს ნახევარწრის



ნახ. 277.

გადაკვეთამდე (D) , რის შემდეგ A წერტილიდან, როგორც ცენტრიდან AI რადიუსით შემოვხაზავთ რკალს AC სწორის გადაკვეთამდე F წერტილში; უკანასკნელიდან გავავლებთ მიმართულების ხაზის პარალელურ DF სწორს და D წერტილს შევავერთებთ სწორით A წერტილთან. AD სწორი წარმოადგენს ჩამონგრევის ხაზს. ამის შემდეგ DH რკალი, რომელსაც გავატარებთ F წერტილიდან, როგორც ცენტრიდან, მოგვცემს შესამე H წვეროს რეგზანის სამკუთხედისას, რომელიც (სამკუთხედი) დაშტრიხულია 276-ე ნახაზზე.

კერძო შემთხვევისათვის, როდესაც მიწა ზემოდან შემოსაზღვრულია პორიზონტალური სიბრტყით, ხოლო უკანა წახნაგი ვერტიკალურია და თუ ვიგულისხმებთ, რომ $\gamma = 0$ (ანალიზური გადაწყვეტა— § 81), მივიღებთ (ნახ. 277):

$$\varphi = m, \quad \angle FAT = \angle ABG$$

და მაშასადამე,

$$BG \perp AC, \text{ საიდანაც } DF \perp AC, \text{ რადგან } DF \parallel BG.$$

ABD და ADF მართკუთხიანი სამკუთხედებია, აქვთ საერთო ჰიპოტენუზა, და მათი ფართობი ტოლია; მაშასადამე სამკუთხედები ტოლია და

$$AB = AF, \quad \angle BAD = \angle DAF = \frac{90^\circ - \varphi}{2} = 45^\circ - \frac{\varphi}{2},$$

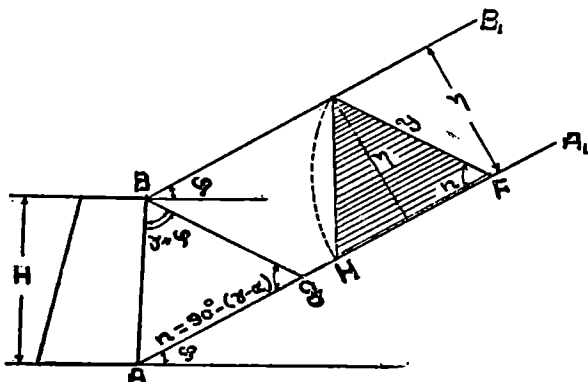
$$y = \eta = DF = AF \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = AB \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = H \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

წინევა

$$E = \frac{1}{2} y \eta \cdot q = q \frac{H^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

ე. ი. მივიღეთ იგივე შედეგი, რაც § 81-ში.

იმ შემთხვევაში, როდესაც მიწა შემოსაზღვრულია ზემოდან ბუნებრივი ფერდობის პარალელურად დახრილი სიბრტყით (ნახ. 278), 276-ე ნახაზის



ნახ. 278.

C , F და D წერტილები გადაკვეთებიან უსასრულოდამე; მაშასადამე AD სწორი შეუერთდება AC სწორს, ე. ი. ჩამონგრევის სიბრტყე დაემთხვევა კედლის უკანა წახნაგის ქვედა A წიბოზე გავლებული ბუნებრივი ფერდობის სიბრტყეს. რეზანის სამკუთხედი შეიძლება გადმოვიტანოთ ნახაზის საზღვრებში, რად-

გან BB_1 და AA_1 სწორების პარალელურობის გამო მისი ზომები დამოუკიდებელი არიან D წერტილის მდებარეობისაგან. ამ დროს წნევის სიდიდე

$$E = q \cdot \frac{1}{2} \gamma h = q \cdot \frac{1}{2} \gamma^2 \sin \alpha = \frac{1}{2} q \gamma^2 \sin |90^\circ - (\gamma - \alpha)| = \frac{1}{2} q \gamma^2 \cos (\gamma - \alpha);$$

$$\gamma = \overline{HG} \frac{\sin |90^\circ - (\alpha + \varphi)| \overline{AB}}{\sin |90^\circ - (\gamma - \alpha)|} = \frac{\cos (\alpha + \varphi)}{\cos (\gamma + \alpha)} \cdot \frac{H}{\cos \alpha}.$$

ჩასმით მივიღებთ

$$E = \frac{1}{2} q \frac{H^2}{\cos^2 \alpha} \cdot \frac{\cos^2 (\alpha + \varphi)}{\cos (\gamma - \alpha)} \quad (136)$$

კერძო შემთხვევაში, როდესაც უკანა AB წახნაგი პერპენდიკულარულია ($\alpha = 0$) და თუ მივიღებთ წნევის მიმართულებას AB წახნაგისადმი ნორმალურად ($\gamma = 0$), მაშინ (136)-ე ფორმულიდან

$$E = \frac{qH^2}{2} \cos^2 \varphi.$$

ახლა გამოვიყენოთ ზოგად შემთხვევისათვის, საყრდენ კედელზე მოქმედი მიწის წნევის ანალიზური გამოხატულება; მიწის მასის ზემოდან ნებისმიერად დახრილი სიბრტყით შემოსაზღვრულობისათვის. კედლის უკანა ზედაპირის ნებისმიერად დახრისათვის, და მიწისა კედელზე ხახუნის გათვალისწინებით. გამოვიყენოთ 276-ე ნახაზი. დაწეროთ:

$$\frac{DF}{B_g} = \frac{CF}{C_g};$$

$$\frac{B_g}{AB} = \frac{\sin |90^\circ - \alpha - \varphi|}{\sin |90^\circ - (\gamma - \alpha)|} = \frac{\cos (\alpha + \varphi)}{\cos (\gamma - \alpha)}.$$

აქედან

$$DF = AB \frac{\cos (\alpha + \varphi)}{\cos (\gamma - \alpha)} \cdot \frac{CF}{C_g} = \frac{H}{\cos \alpha} \cdot \frac{\cos (\alpha + \varphi)}{\cos (\gamma - \alpha)} \cdot \frac{CF}{C_g};$$

ზღვასრულოთ შემდეგი გარდაქმნა:

$$\begin{aligned} \frac{CF}{C_g} &= \frac{AC - AF}{AC - A_g} = \frac{AC - \sqrt{AC \cdot A_g}}{AC - A_g} = \frac{\sqrt{AC} (\sqrt{AC} - \sqrt{A_g})}{AC - A_g} = \\ &= \frac{\sqrt{AC}}{\sqrt{AC} + \sqrt{A_g}} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{A_g}{AC}}} = \frac{1}{1 + \sqrt{Z}}, \end{aligned}$$

სადაც

$$Z = \frac{A_g}{AC}.$$

ჩანსთ მივიღებთ:

$$DF = \frac{H}{\cos \alpha} \cdot \frac{1}{1 + \sqrt{Z}} \cdot \frac{\cos(\varphi + \alpha)}{\cos(\gamma - \alpha)}$$

აილა დავეწვროთ გამოსახულება მიწის E წნევისათვის (რეზხანის სანკუთხედის წონას გამოვითვლით 276-ე ნახაზით).

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} q \gamma \eta = \frac{1}{2} q \gamma^3 \sin[90^\circ - (\gamma - \alpha)] = \frac{1}{2} q \cos(\gamma - \alpha) DF^2 = \\ &= \frac{1}{2} q \cos(\gamma - \alpha) \frac{H^2}{\cos^2 \alpha} \cdot \frac{1}{(1 + \sqrt{Z})^2} \cdot \frac{\cos^2(\varphi + \alpha)}{\cos^2(\gamma - \alpha)} = \\ &= \frac{1}{2} q H^2 \frac{1}{(1 + \sqrt{Z})^2} \cdot \frac{\cos^2(\varphi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\gamma - \alpha)}. \end{aligned} \quad (137)$$

სადაც

$$Z = \frac{Ag}{AC} = \frac{Ag}{AB} \cdot \frac{AB}{AC} = \frac{\sin(\gamma + \varphi)}{\sin(90^\circ + \alpha + \varphi)} = \frac{\sin(\gamma + \varphi)}{\cos(\gamma - \alpha)} \cdot \frac{\sin(\varphi - \psi)}{\cos(\alpha + \psi)} \quad (137')$$

(137)-ე და (137')-ე გამოსახულებების მოხერხებულად გამოყენებისათვის არსებობს ცხრილები $\frac{1}{2} q H^2$ კოეფიციენტის მნიშვნელობების E ფორმულიათვის γ , φ , α , ψ არგუმენტებისაგან დამოკიდებულებით.

შეენიშნოთ, რომ α და ψ კუთხეები შეიძლება იყვნენ, როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი. დადებითი ის მიმართულებაა, რომელიც ნაჩვენებია 276-ე ნახაზზე, მოპირდაპირე მიმართულება კი უარყოფითი.

ზოგადი (137)-ე და (137')-ე ფორმულებიდან შეიძლება მივიღოთ: გამოსახულებანი კერძო შემთხვევისათვის. მაგალითად: ვერტიკალური კედლისათვის, მიწის მასის ჰორიზონტალურ ზედაპირისათვის და მიწასა და კედელს შორის ხახუნის უქონლობის შემთხვევისათვის ჩავსვათ:

$$\alpha = 0, \quad \psi = 0, \quad \gamma = 0,$$

მაშინ

$$Z = \frac{\sin \varphi}{1} \cdot \frac{\sin \varphi}{1} = \sin^2 \varphi;$$

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} q H^2 \frac{1}{(1 + \sin \varphi)^2} \cdot \frac{\cos^2 \varphi}{1} = \frac{1}{2} q H^2 \frac{1 - \sin^2 \varphi}{(1 + \sin \varphi)^2} = \\ &= \frac{1}{2} q H^2 \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \frac{1}{2} q H^2 \frac{\sin 90^\circ - \sin \varphi}{\sin 90^\circ + \sin \varphi} = \\ &= \frac{1}{2} q H^2 \frac{2 \sin \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \cos \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)}{2 \sin \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \cos \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)} = \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2} qH^2 \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{1}{2} qH^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

ი. შვიდღოთ ზენთის ცნობილი გამოსახულება.

შემთხვევისათვის, როდესაც მიწის მასის ზედაპირი ბუნებრივი ფერდობის პარალელურია, გვაქვს

$$\psi = \varphi;$$

და მაშასადამე

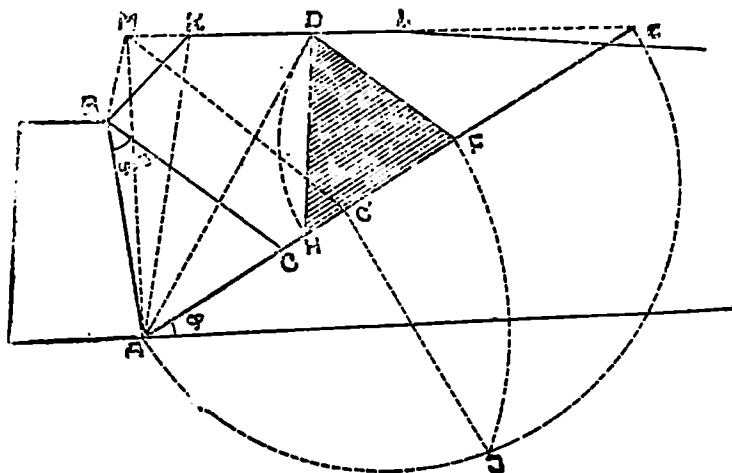
$$Z = 0$$

$$F = \frac{1}{2} qH^2 \frac{\cos^2(\varphi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\gamma - \alpha)},$$

ი. შვიდღოთ ზემოთ გამოყვანილი (136)-ე გამოსახულება.

§ 86. შემთხვევა. როდესაც მიწის მასა ზემოდან შემოსაზღვრულია კანაღენიმი სიბრძნით, რომელიც მართანეთან იკვეთება კედლის დარბის პარალელურ სწორად

279-ე ნახაზზე მიწის ზედაპირს შეესაბამება ტეხილი $BKLC$ ხაზი. თუ D წერტილი მიიღება BK მონაკვეთის საზღვრებში, მაშინ შემდეგი ყამირის



ნახ. 279.

ზედაპირის დახრის ცვლილება E სიდიდებზე არ იმოქმედებს. თუ D წერტილი არ არის BK საზღვრებში, მაშინ ჩამონგრევის ხაზის აგებისათვის შევცვლით AKB სამკუთხედს ტოლი სიდიდის AMK სამკუთხედით, რომლის MK

გვერდი უნდა იმყოფებოდეს KL მონაკვეთის გაგრძელებაზე. ამისათვის გავკევავს BM სწორი AK სწორის პარალელურად და ვაგრძელებთ KL მონაკვეთს BM სწორის გადაკვეთამდე M წერტილში. M წერტილს შევეერთებთ A წერტილთან. მიღებული AMK სამკუთხედი ტოლი სიდიდისაა ABK სამკუთხედის, რომელთაც აქვთ საერთო AK ფუძე და ტოლი სიმაღლე— BM და AK პარალელურ სწორებს შორის მანძილი. გავატაროთ მიმართულების BG ხაზის პარალელური MG' სწორი და ჩვენთვის ცნობილი მეთოდით ავაგოთ AD სწორი, რომელიც შეესაბამება AMD და ADF სამკუთხედთა ფართების ტოლობას. მაგრამ

$$\text{ფართი } (AMK) = \text{ფართი } (ABK),$$

საიდანაც

$$\text{ფართი } (AMD) = \text{ფართი } (ABKD).$$

მაშასადამე,

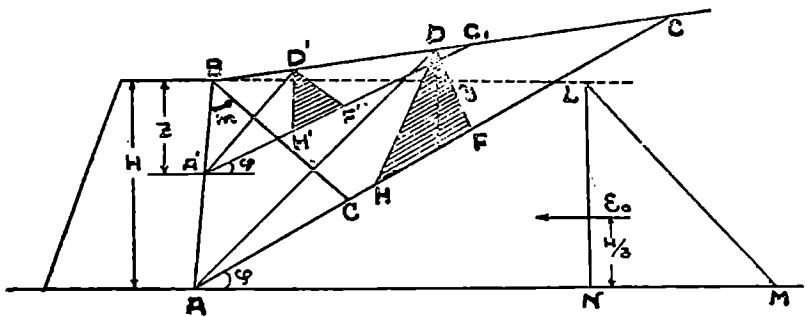
$$\text{ფართი } (ADF) = \text{ფართი } (ABKD).$$

ე. ი. § 83 (134)-ე ფორმულის თანახმად AD სწორი შეესაბამება ჩამონგრევის სიბრტყეს $BKLC$ ზედაპირისათვის.

თუ D წერტილს მივიღებთ არა KL მონაკვეთზე, არამედ LC მონაკვეთზე, მაშინ საკირო იქნება, იგივე მეთოდით, AML სამკუთხედის შეცვლა მისი ტოლი სიდიდის AL ფუძეანი სამკუთხედით. რომელსაც ერთი გვერდი ექნება LC მონაკვეთის გაგრძელება, დანარჩენ აგებას გავიმეორებთ ახალი ფიგურისათვის.

§ 87. საპირდაპირი კედლის უკანა ზედაპირზე E წნევის განაწილების კანონი

პირველი შემთხვევა. მიწის მასა შემოსაჯღვრულია ზემოდან სიბრტყით (პორიზონტალური ან დახრილი).



ნახ. 280.

ვთქვათ AD სწორი (ნახ. 280) წარმოადგენს ჩამონგრევის ხაზს H სიმაღლის მქონე საყრდენ კედლისათვის, ხოლო HDF —რეზხანის სამკუთხედს.

ამასთან, როგორც ცნობილია, $DF=HF$ და DF სწორი პარალელურია BG მიმართულების ხაზის. მიწის წნევა AB კედელზე გამოისახება ასე:

$$I_0 = q \cdot \text{ფართი (HDF)} \quad (138)$$

განესაზღვროთ წნევა კედლის $A'B$ ნაწილზე, რომელიც მდებარეობს კედლის ზედა B წახნაგზე გატარებული ჰორიზონტალური სიბრტყიდან χ მანძილზე. უპირველეს ყოვლისა ვაჩვენოთ, რომ ჩამონგრევის $A'D'$ ხაზი პარალელურია მთელი კედლის ჩამონგრევის AD ხაზისა. მართლაც, თუ $A'D'$ AD' , მაშინ ABD და $A'B'D'$ სამკუთხედები მსგავსია, და

$$\frac{\text{ფართი (A'BD')}}{\text{ფართ (ABD)}} = \frac{\overline{A'D'}^2}{AD^2}$$

იმის გამო, რომ $D'F'$ და DF სწორები პარალელურებია BG ხაზის მიმართულების, ისინი ურთიერთ პარალელურებიცაა, და ამიტომ ADF და $A'D'F'$ სამკუთხედები მსგავსენია.

სამკუთხედების მსგავსობიდან გამომდინარეობს:

$$\frac{\text{ფართი (A'D'F')}}{\text{ფართ (ADF)}} = \frac{\overline{A'D'}^2}{AD^2}$$

წინა ტოლობასთან შედარებით დავასკვნით:

$$\frac{\text{ფართი (A'BD')}}{\text{ფართ (ABD)}} = \frac{\text{ფართი (A'D'F')}}{\text{ფართ (ADF)}}$$

მაგრამ AD სწორი—ჩამონგრევის ხაზია მთელი სიმაღლის კედლისათვის, მაშასადამე, § 83-ის (134)-ე ეორმულით, ფართი $(ABD)=\text{ფართ (ADF)}$.

ჩასმით მივიღებთ:

$$\text{ფართი (A'BD')} = \text{ფართ (A'D'F')},$$

აქედან მივიღებთ, რომ $A'D'$ სწორი პარალელურია AD სწორის. და არის ჩამონგრევის ხაზი კედლის სიმაღლის χ ნაწილისათვის. ADF და $A'D'F'$ სამკუთხედთა მსგავსობიდან ერთის მხრივ და ABD და $A'BD'$ — მეორეს მხრივ. დავასკვნით:

$$\frac{D'F'}{DF} = \frac{A'D'}{AD} = \frac{A'B}{AB} = \frac{\chi}{H}$$

HDF და $H'D'F'$ რეგხანის სამკუთხედები—ტოლფერდიანებია და, პარალელური ხაზებით შედგენილი, წვერობთან მდებარე კუთხეები ტოლი აქვთ, მაშასადამე, სამკუთხედები მსგავსენი არიან, და

$$\frac{\text{ფართი (HDF)}}{\text{ფართ (HDF)}} = \frac{\overline{D'F'}^2}{DF^2} = \frac{\chi^2}{H^2}$$

კედლის $A'B$ ნაწილის z სიმაღლეზე წნევა

$$E = q \cdot \text{ფართი } (H'D'F') = q \cdot \text{ფართი } (HDF) \frac{z^2}{H^2} = F_0 \frac{z^2}{H^2},$$

აქედან E_0 არის წნევა მთელ კედელზე. A' წერტილში წნევის ინტენსიობა

$$p = \frac{dE}{dz} = 2 \frac{E_0}{H^2} z.$$

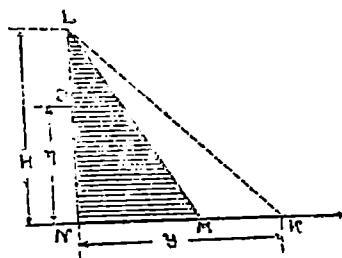
მაშასადამე, წნევის განაწილების კანონი—სწორხაზოვანია:

$$\text{როცა } z=0; p_1=0$$

$$\text{როცა } z=H; p_2 = \frac{2F_0}{H}$$

და წნევის მოდების წერტილი მდებარეობს კედლის უკანა ზედაპირის ქვედა წიბოდან $1/3 H$ მანძილზე.

სამკუთხედი LMN (ნაი., 280). როგორც გამოხატავს მიწის წნევის განაწილებას კედლის AB წახნაგზე ეწოდება წნევის სამკუთხედი. E_0 წნევა უდრის ამ სამკუთხედის ფართს. თუ ჩვენ ავაგებთ HDF რეზანის სამკუთხედის ტოლი სიდიდის LMN სამკუთხედს, მაშინ წნევის მნიშვნელობის მიღებისათვის საჭიროა მიღებული სამკუთხედის ნაწილების ფართები გავამრავლოთ ერთეული მოცულობის წონის q სიდიდეზე. მანძილები კი (ჰორიზონტალური და ვერტიკალური) უნდა გაიზომოს კედლის ნახაზის მასშტაბით. რეზანის სამკუთხედის ტოლი სიდიდის წნევის სამკუთხედის აგების წესი იხილეთ 281-ე ნახაზზე.



ნაი. 281.

ვირჩევთ წნევის სამკუთხედის ორ წვეროს N და L ვერტიკალზე, სამკუთხედის H სიმაღლის დროს. გადაიზომება რეზანის სამკუთხედის ფუტე და სიმაღლე DHF : $y = NK$ და $\eta = NJ$ (280-ე ნახაზიდან). K წერტილს შეეფერტებთ L წერტილს, ხოლო I წერტილიდან გავაგვლებთ სწორს $IM KL$. M წერტილი წარმოადგენს წნევის სამკუთხედის მესამე წვეროს.

მართლაც: ნახაზიდან ცხადია, რომ

$$\frac{LN}{IN} = \frac{NK}{NM},$$

საიდანაც

$$\frac{LN \cdot NM}{2} = \frac{NK \cdot IN}{2} = \frac{\eta y}{2};$$

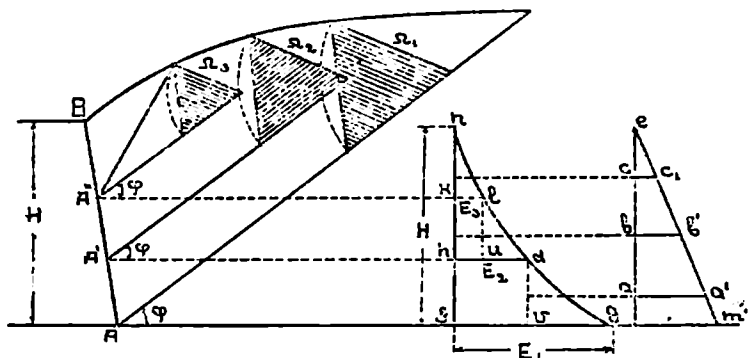
ფართი $(LNM) = \text{ფართი } (DHF)$.

მეორე შემთხვევა. მიწის მასა შემოსაზღვრულია ზემოდან ნებისმიერი ზედაპირით.

ზოგად შემთხვევაში, კედლის ნაწილებისათვის სხვადასხვა სიმალით, ჩამონგრევის საზები არ იქნებიან პარალელურები. ამიტომ აქ არ იქნება ისეთი მარტივი დამოკიდებულება წნევის p ინტენსივობასა და z სიდიდეს შორის. ამოცანა შეიძლება გადაეწყვიტოს შემდეგი მეთოდით (ნახ. 282). კედლის უკანა AB ზედაპირს ეყოფთ ნაწილებად A' , A'' , A''' და ა. შ. წერტილებით.

ავაგებთ კედლის უკანა AB ზედაპირისათვის და $A'B$, $A''B$ და ა. შ. ნაწილებისათვის რეზხანის სამკუთხედებს. აღვნიშნოთ სამკუთხედთა ფართობები Ω_1 , Ω_2 , Ω_3 . წნევა კედელზე AB : $F_1 = q\Omega_1$, $A'B$: $A''B$ და ა. შ. ნაწილებზე მოვა $F_2 = q\Omega_2$; $F_3 = q\Omega_3$ წნევები.

ვაღვაზომავეთ f უწერტიკალიდან, A , A' , A'' . წერტილების პირდაპირ, $F_1 = fg$, $E_2 = hd$, $E_3 = kl$, ორდინატებს, და მიღებულ g , d , l , n წერტილებს შევაერთებთ მდოვრული მრუდით. ამ მრუდის პორიზონტალური ორ-



ნახ. 282

დინატა ნებისმიერ წერტილში წარმოადგენს კედლის ნაწილზე. მოცემულ წერტილის ზემოთ, წნევას. მაშასადამე, კედლის $A''B$, $A'A'$, AA' უბნებზე მოქმედებენ შესაბამისი kl . $hd - kl = ud$, $fg - hd = vg$ წნევები, და წნევათა საშუალო მნიშვნელობანი (კედლის ერთეულ სიმაღლეზე) იქნებიან:

$$cc' = \frac{kl}{nk}, \quad bb' = \frac{ud}{kh}, \quad aa' = \frac{vg}{hf}.$$

ამ ორდინატების ca პერპენდიკულარიდან, კედლის შესაბამის უბნების შუაგულის პირდაპირ, ვაღვაზომავეთ და $m'a'b'c'e$ მდოვრული მრუდით შეერთებით მივიღებთ კედლის უკანა ზედაპირისათვის წნევის განაწილების კანონის გრაფიკულ გამოსახვას (წნევის ფიგურა). წნევის ფიგურის აგება იქნება მით ზუს-

ტი, რაც მეტ ნაწილად იქნება *ndg* მრუდი დაყოფილი. საყრდენ კედელზე ტოლქმედი წნევა გადის წნევის ფიგურის ცენტრზე.

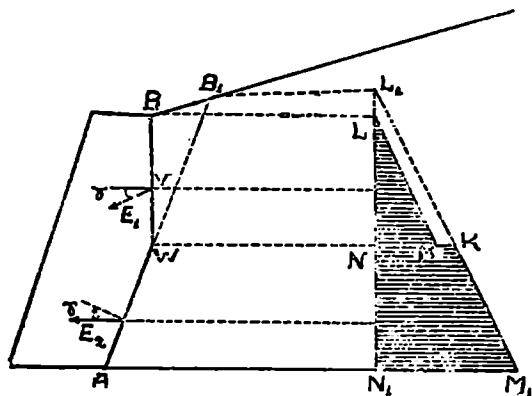
ვინაიდან მითითებული აგება რთულია, ხშირად პრაქტიკაში და ამ შემთხვევაშიც წნევის ფიგურას მიახლოებით ღებულობენ სამკუთხედის სახით, რაც საშუალებას იძლევა შევიზღუდოთ მხოლოდ სამკუთხედის აგებით, რომელიც ტოლი სიდიდის იქნება რეზხანის სამკუთხედისა მთელი კედლისათვის. ასეთი ამოხსნის სიზუსტე პრაქტიკისათვის საკმარისია.

§ 88. კედელზე მიწის წნევის განსაზღვრა. როგლის უკანა ზედაპირი შესდგება ურთიერთგადაკვეთი სიბრტყეებისა

283-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ორი *BW* და *HA* ურთიერთგადაკვეთი სიბრტყეები. წნევა *BW* წახნაგზე განიზღვრება ჩვეულებრივი გზით. შედეგად მივიღებთ წნევის *LNM* სამკუთხედს. მისი ფართი ეტოლება L_1 წნევას, რომელიც მოდებულია ν წერტილში, სამკუთხედის სიმძიმის ცენტრის შესაბამისად. *AW* წახნაგზე წნევის განსაზღვრისათვის გავაგრძელებთ *AW'* სიბრტყეს მიწის ზედაპირის B_1 წერტილში გადაკვეთამდე და ავაგებთ კედლის უკანა AK_1 ზედაპირის შესაბამის წნევის სამკუთხედს. ნახაზზე დაშტრი-

ხულია $L_1N_1M_1$ სამკუთხედის ნაწილი NKM_1N_1 , რომელიც შეესაბამება კედლის ნაწილს *AW'*-ს. NKM_1N_1 ტრაპეცია გამოხატავს წნევის განაწილების კანონს *AW'* წახნაგზე. L_2 წნევის სიდიდე უდრის ტრაპეციის ფართს და მისი მოდების წერტილი შეესაბამება ტრაპეციის სიმძიმის ცენტრს.

ასევე იქცევიან მეტი რაოდენობის ურთიერთგადაკვეთი სიბრტყეების შემთხვევებში. თუ კედლის უკანა ზედაპირი მრუდხაზოვანია, მაშინ მრუდე ხაზს მიახლოებით (ზედაპირს) შეცვლიან მასში ჩაწერილი ტეხილით.



ნახ. 283.

ყეების შემთხვევებში. თუ კედლის უკანა ზედაპირი მრუდხაზოვანია, მაშინ მრუდე ხაზს მიახლოებით (ზედაპირს) შეცვლიან მასში ჩაწერილი ტეხილით.

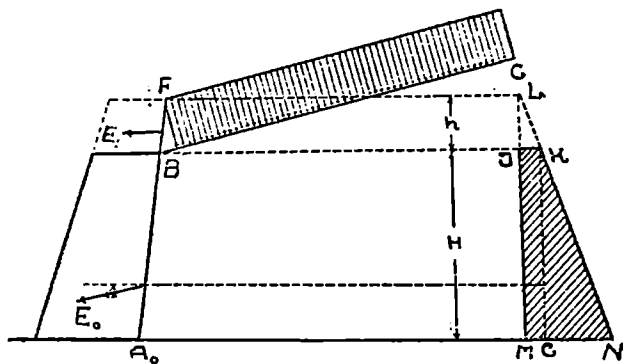
§ 89. თანაბრად განაწილებული დატვირთვის გაძვლენა მიწის ზედაპირზე

ვთქვათ მიწის მასის *BC* ზედაპირზე (ნახ. 284) მოქმედებს თანაბრად განაწილებული დატვირთვა—*k*; ინტენსივობის ერთეული ძალა, ზედაპირის. ჰორიზონტალურ პროექციის ერთეულზე. გამოვარკვიოთ ამ დატვირთვის გავ-

ლენა სიდიდებზე, და მიწის I_1 წნევის განაწილება კედელზე. შევცვალოთ დატვირთვა მიწის ფენის შესაბამისი ისეთი h სიმაღლით, რომ $k=ql \cdot 1$, ე. ი., რომ მიწის ჰორიზონტალური პროექციის ზედაპირის ერთეულზე მოდიოდეს k -ს ტოლი ვერტიკალური წნევა:

$$k = \frac{k}{q} \quad . (129)$$

გავზარდოთ კედელი მიწის ფენის ფიქტიურ ზედაპირამდე (F წერტილი) და ცნობილი მეთოდით ავაგოთ წნევის ფიგურა (კერძოდ წნევის სამკუთხედი). თუ ჩვენ გავიყვანთ პრილს FBC ზედაპირზე, მაშინ მიწის ფენის მოქმედება დანარჩენ ნაწილზე გამოიხატება თანაბრადგანაწილებული დატვირთვის სახით k ინტენსივობით BC ზედაპირზე და მიწის წნევა I_1 ფართი (LIK) კედლის $F'B$ უბანზე. მაშასადამე, ეს შემთხვევა (მიწის ფენის მოქმედება) განსხვავდება მოცემულისგან (თანაბრადგანაწილებული დატვირთვა) მხოლოდ I_1 ძალის არსებობით, და იმისათვის, რომ აღვადგინოთ მოცემული, საჭიროა E_1 ძალის მოცილება. მაშინ $MIKN$ ტრაპეცია, რომელიც მიღებულია ხსენებული წნევის LMN სამკუთხედიდან E_1 წნევის გამოხატული L დატვირთვის k ინტენსივობით წარმოადგენს ზემოდან ლატვირთული k ინტენსივობით თანაბრადგანაწილებული მიწის მასის წნევის ფიგურას AB კედელზე.



ნახ. 284.

ადვილად შევამჩნევთ, რომ შემთხვევისათვის, როდესაც BC ზედაპირი წარმოადგენს სიბრტყეს, CKN სამკუთხედი გამოხატავს წნევის სამკუთხედს თანაბრადგანაწილებული ტვირთის არ არსებობის შემთხვევისათვის. რომლის გავლენა გამოიხატება $MIKG$ სწორკუთხედით. მაშასადამე, LMN და CKN სამკუთხედების მსგავსობიდან,

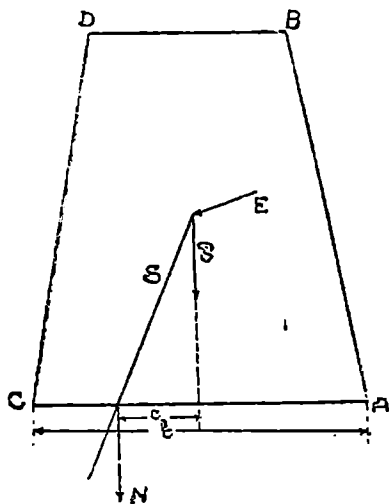
$$\frac{\text{ფართი } (CKN)}{\text{ფართი } (LMN)} = \frac{H^2}{(H+h)^2} \quad . (139)$$

27-ე პარაგრაფიდან გასაგებია, რომ თუ წნევა ($H + h$) სიმაღლის კედელზე უდრის ფართ LMN , მაშინ იმავე პირობებში წნევა H სიმაღლის კედელზე ტოლი იქნება ფართ $(LMN) \cdot \frac{H^2}{(H+h)^2}$ (პროპორციულია სიმაღლის კვადრატის) ან (139)-ე ფორმულით უდრის ფართ (CKN) , რაც მოითხოვდა დამტკიცებას.

§ 90. საპრდენი კედლის გაანგარიშება

როდესაც კედელზე განზღვრული იქნება მოქმედი გარეძალები—საკუთარი წონა და მიწის წნევა,—შეუღებებიან მის შემოწმებას მდგრადობაზე და სინტიციცებე. მდგრადობაზე შემოწმებისათვის საჭიროა გამოვარკვიოთ, რომ ძალთა მოქმედებისაგან არ მოხდეს კედლის გადაადგილება—გადაყირაობა პრუნეთ გარე კედელს C წიბოს გარშემო, ან ძერა AC სიბრტყის მიმართ (ნახ. 235). ამისათვის საჭიროა, რომ E და P ძალების S ტოლქმედი არ გამოდიოდეს კედლის AC ფუძის საზღვრიდან და რომ S ტოლქმედსა და ფუძის ნორმალს შორის მოთავსებული კუთხე არ აქარბებდეს კედელსა და ფუძის (სანარკველს) შორის ხაზუნის ϕ კუთხეს, ე. ი. უნდა იქოს

$$T < N f_1; S \sin \theta < f_1 S \cos \theta; t \theta < f_1; t \theta < t \phi; \theta < \phi \quad (140)$$



ნახ. 235

ნისათვის კედლის ერთი ნაწილიდან მეორეზე.

ამის შესახებ საკითხი, თუ როგორ უნდა გავიანგარიშოთ ხსნარზე წყობით შესრულებული კედელი, წყობის გაქიმვისადმი წინააღმდეგობის გათვა-

სიმტიციცებე შემოწმებისათვის საჭიროა, რომ ძაბეა არსად არ აქარბებდეს დასაშვებს. დასაშვები ძაბეები კი დამოკიდებულია როგორც ქვის ჯიშისაგან ისე ხსნარისაგანაც. კედლები შეიძლება იყვნენ მშრალ წყობისაგან (ხსნარის გარეშე) და ხსნარზე. მშრალი წყობა ვერ აითვისებს გამქიმავ ძაბეებს. ძერას ეწინააღმდეგება მხოლოდ ხახუნის ძალები. წყობაში ხსნარზე, თუნდაც ხსნარი აერთებდეს ქვებს ერთმანეთთან და ხელს უშლიდეს როგორც მათ ძერას, ისე ერთმანეთისაგან გამოცოფას (გაქიმვა), მაინც წყობის წინააღმდეგობა გაქიმვაზე და ძერაზე უმნიშვნელო იქნება კუმშვის წინააღმდეგობასთან შედარებით, ამიტომ მათს ზოგიერთ შემთხვევაში უგულებელყოფენ და ხსნარის მნიშვნელობას ზოგჯერ იხილავენ მხოლოდ წნევის სწორად გადაცე-

ლისწინებით თუ ამის გარეშე, წყდება ნაგებობის დანიშნულებისა და ხსნარის შემადგენლობისაგან დამოკიდებულებით. ტექნიკური პირობები და ამათუ იმ ნაგებობათა გაანგარიშების ნორმები ამის შესახებ იძლევიან შესაბამის მითითებებს. თუ ანგარიშს ვაწარმოებთ წარმოდგენით, რომ წყობა ხსნარზე არ ითვისებს გამჭიმავ ძალებებს, მაშინ კედლის ანგარიში მშრალ წყობაზე და ხსნარზე წყობაზე ერთი და იგივეა, მხოლოდ ხსნარზე წყობაში წინების უფრო თანასწორი განაწილების მიზნით, მშრალი წყობისაგან კედელს ჩვეულებრივ აძლევენ ანგარიშით მიღებულ რამდენჯერმე მეტ განივ ზონებს.

თუ ჩვენ გვსურს წყობაში ძაბვის განსაზღვრა, AC სიბრტყეში — კედლის სხეულის ფუძეზე (საძირკელის ჩამონაკრის დონეზე), მაშინ ამ სიბრტყის ზემოთ მოდებულ კვეთა ძალის ტოლქმედი უნდა დავშალოდ ნორმალურ N და სიბრტყის კვეთში T მდგენელებად. T ძალა გამოიწვევდა მებ ძაბვას; მაგრამ ვინაიდან უგულვებელყოფთ წყობის ქრაზე წინააღმდეგობას, ამ ძალას უპირისპირებთ მხოლოდ წყობის წყობაზე ხახუნის ძალას და T ძალაზე შეზღოვება ამოიწურება ზემომოყვანილი პირობით ($\sigma < \rho$).

უსათრთხოების m კოეფიციენტის შემოყვანით შეგვიძლია დავწეროთ:

$$T = \frac{Nf}{m} \text{ ან } \tau \leq \frac{1}{m} \tau \rho \quad (141)$$

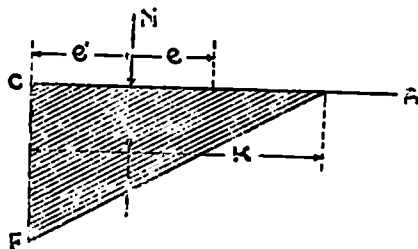
N მდგენელი იწვევს ნორმალურ ძაბვას. ერთის ტოლი დუქისა და k სიბრტყის სწორკუთხოვან კვეთისათვის c სიღრმით უცენტრობის შემთხვევაში, არაუცენტრალური კუმშვის თეორიის თანახმად უდიდესი და უმცირესი ძაბვა გამოიხატება შემდეგნაირად:

$$\text{Max } \sigma = \frac{N}{1 \cdot b} \left(1 + \frac{6c}{b} \right); \quad \text{Min } \sigma = \frac{N}{1 \cdot b} \left(1 - \frac{6c}{b} \right) \quad (142)$$

ამასთან თუ $c > \frac{b}{6}$, ე. ი. S ტოლქმედის მოდების წერტილი (წინების

ცენტრი) გამოდის კვეთის (ბირთვის) შუა მესამედის საზღვრებიდან, მაშინ $\text{Min } \sigma < 0$, ე. ი. კვეთის უკანა წიბოს უნდა ქონდეს გამჭიმავი ძაბვები; იმ შემთხვევაში, როდესაც უსურადლებოდ ვტოვებთ წყობის წინააღმდეგობას გაჭიმვაზე მაშინ ადგილი აქვს ნაკერის გახსნას.

286-ე ნახაზიდან ჩანს, რომ შიგაძალების ტოლქმედი, რომელიც ეტოლება დაშტრიხული სამკუთხედის ფართს, გამომსახველი მათი განაწილების კანონის, უნდა აწარმოებდეს ძალა N . ეს ტოლქმედი გადის სამკუთხედის სიმძიმის ცენტრზე,



ნახ. 286.

ე. ი. სიმალის $\frac{1}{3}$ მანძილით CF ფუძიდან, სადაც $e = \frac{k}{3}$; $k = 3e$. უდიდესი CF ძაბვა მიიღება პირობიდან $\frac{\text{Max } \sigma k}{2} = N$, საიდანაც

$$\text{Max } \sigma = \frac{2N}{k} = \frac{2N}{3e} . \quad (143)$$

და საანგარიშო ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\text{Max } \sigma = \frac{2N}{3e} \leq R . \quad (143')$$

ნაგებობის დანიშნულებასთან დამოკიდებულებით, ზოგიერთ შემთხვევაში ნაკერის გახსნა არ დაიშვება, მაშინ უნდა იყოს:

$$c \leq \frac{b}{6} \text{ ან } e \geq \frac{b}{3} , \quad (144)$$

და ასეთ შემთხვევაში საანგარიშო ფორმულა იქნება

$$\text{Max } \sigma = \frac{N}{b} \left(1 + \frac{6c}{b} \right) \leq R . \quad (145)$$

თუ რომ ყველა ძალის S ტოლქმედი, მდებარე განსახილველი კვეთის ზემოთ, გაივლის კვეთის საზღვრებში, ე. ი. 285-ე ნახაზის C წერტილიდან მარჯვნივ, მაშინ კედელი არ ისწრაფის გადაბრუნებისადმი. მაგრამ შემოწმება გადაბრუნებაზე მაინც უნდა ჩავატაროთ იმისათვის, რომ დავრწმუნდეთ მდგრადობისათვის საკირო მარაგში. ამისათვის, თუ აღვნიშნავთ გადაბრუნებელი ძალის (მიწის წნევა) მომენტს C წერტილის მიმართ Ma -თი, ხოლო დამპერი ძალის (კედლის ნაწილების წონა) მომენტს იმავე წერტილის მიმართ Mx -ით, მაშინ უნდა დავწეროთ პირობა:

$$Ma \leq \frac{1}{m} Mx , \quad (146)$$

სადაც m ჩენს მიერ დაწესებული მარაგის კოეფიციენტი.

141-ე, 143-ე, 144-ე, 145-ე, 146-ე პირობებს უნდა აკმაყოფილებდეს AC კვეთის გარდა, კედლის და საძირკვლის ყველა დანარჩენი კვეთებიც. შემოწმება ადვილდება წნევის მრუდის აგებით. საძირკვლის ფუძის სიბრტყეში აუცილებელია მან გაიაროს შუა მესამედის საზღვრებში, ამასთან უდიდესი ძაბვა არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებ წნევას ყამირზე.

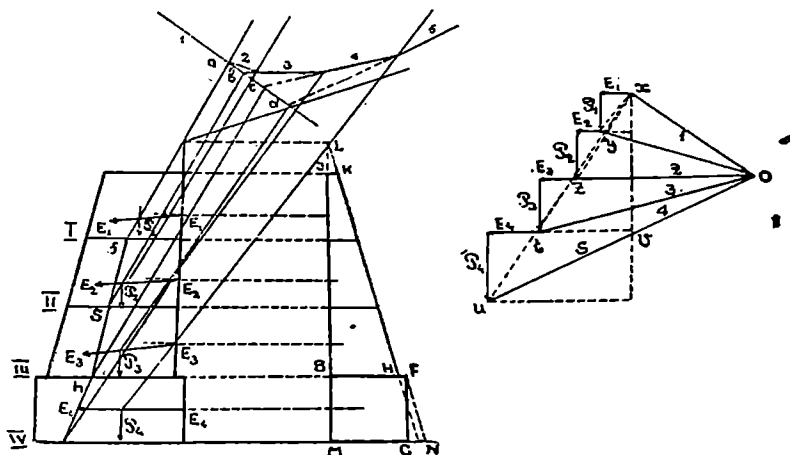
287-ე ნახაზზე მოცემულია საყრდენი კედლის გრაფიკულად გაანგარიშების მაგალითი.

დაიწყოთ წნევის ფიგურის აგებით.

$IBHK$ წნევის ტრაპეცია კედლის სხეულზე.

MBFN — წნევის ტრაპეცია საძირკველზე მარჯვნიდან. *CFN* სამკუთხედი წნევაა. საძირკველზე მარცხნიდან. მასალაზე, საძირკველზე ტოლქმედი წნევაა *MBFC* სწორკუთხედი (აქ შემთხვევაა, როდესაც მარცხნივ კედლიდან მიწა არ ზიდულობს გარეშე დატვირთვას, მაგ., წყალი, ამ დატვირთვის შემთხვევაში *CFN* სამკუთხედის ნაცვლად იქნებოდა ტრაპეცია). შემთხვევაში, როდესაც საძირკველზე წნევის მიმართულება მარცხნიდან და მარჯვნიდან არ ემთხვევა ერთ სწორს, მაშინ ორივე ძალა აღინიშნება კედლის ნახაზზე ცალ-ცალკე.

დავეთ კედელი სიმაღლის მიხედვით ელემენტებად (I, II, III კვეთებით), განვსაზღვროთ ამ ელემენტების შესაბამისი წნევის ფიგურის ფართე-



ნახ. 257.

ბი და ცენტრები, E_1, E_2, E_3, E_4 აღვნიშნოთ ძალები, რომლებიც ტოლია წნევათა ფიგურების ფართების მოდებული კედლის უკანა ზედაპირის წერტილებზე შესაბამისად იგივე ფიგურების, სიმძიმის ცენტრების გასწვრივ; მათი მიმართულება არის კედლის ნორმალთან γ კუთხით დახრილი (კერძო შემთხვევაში $\gamma = 0$). განვსაზღვროთ და დავიტანოთ კედლის ელემენტების წონები, რომლებიც ტოლია შესაბამისი კვეთის ნაწილების ფართებისა და წყობის ერთეული მოცულობის წონათა ნამრავლის, მოდებული კვეთის ნაწილების სიმძიმის ცენტრებში. ამის შემდეგ ვაგებთ წნევის მრუდს. $x-y, y-z, z-t, t-u$, ძალთა მრავალკუთხედზე, ტოლქმედი ძალები მოდებულია კედლის ყოველ ელემენტისათვის O პოლუსიდან. კედლის ნახაზზე აგებულია თოკის მრავალკუთხედი. წნევა I კვეთში (ტოლქმედი ძალა მოდებულია ამ კვეთის ზემოთ) უდრის სიდიდით და მიმართულებით $x-y$ და მოდებულია f წერტილში. წნევა II კვეთში—ტოლქმედი ძალა $x-y$ და $y-z$ უდრის სიდიდით და მიმართულებით $x-z$; მოდების g წერტილი განისაზღვრება თუ თოკის მრავალკუთხედის შესაბამისი განაპირა გვერდების გადაკვეთის b წერ-

ტილიდან გავატარებთ $x - z$ -ის პარალელურ სწორს. სწორედ ასევე განიზღვრება წნევები III და IV კვეთებში, რომლებიც სიდიდით ტოლია და მიმართულებით, შესაბამისად, $x - t$ და $x - u$, მოდებული h და j წერტილებში. f, g, h, j წერტილების შეერთებით მივიღებთ წნევის მრუდს. $x - \gamma$; $x - z$, $x - t$ და $x - u$ წნევებმა უნდა შეადგინონ შესაბამის კვეთების ნორმალურად წყობის წყობაზე I, II, III კვეთებისათვის, ხოლო IV კვეთისათვის წყობისა უამირზე, ხახუნის კუთხეებზე არა მეტი კუთხე. ძალთა მრავალკუთხედზე, კვეთებში, აგებულია წნევათა ნორმალური მდგენელები:

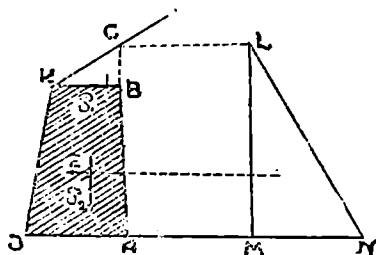
$$N_1 = x - s, N_2 = x - r, N_3 = x - v, N_4 = x - \dots$$

ან წინაშენელობების (143')-ე და (145)-ე ფორმულებში ჩასმით (c და l განიზღვრებიან წნევის მრუდის ნახაზიდან) მივიღებთ სიმტკიცის პირობას კუმშვაზე, ამასთან (145)-ე ფორმულა გამოიყენება იმ კვეთებისათვის, რომლებშიდაც წნევის მრუდი არ გამოდის შუა შესამედის სახლვრებიდან. ხოლო (143')-ე ფორმულა დანარჩენი კვეთებისათვის. ამ გამოსახულებებში K' დასახელები წნევაა წყობაზე I, II, III კვეთებში, და დასახელები წნევა უამირზე IV კვეთში.

როდესაც განზღვრულია E და P ძალები, შეიძლება ძაბვების განაზღვრა აგრეთვე ანალიზურადაც. წნევის მრუდის აუგებლად, ფორმულით:

$$\begin{aligned} \text{Max } \sigma & \left\{ \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W} = \frac{N}{b} \pm \frac{6M}{b^2} \right. \\ \text{Min } \sigma & \left. \right. \end{aligned} \quad (145')$$

სადაც N არის აღებული კვეთის ზემოთ მოდებული ყველა ძალის გეგმილების ჯამი პერპენდიკულარულ ღერძზე, M მღუნავი მომენტი—იგივე ძალების მომენტების ჯამი კვეთის ცენტრალური ღერძის მიმართ. წნევის არაკენტრირების c სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს პირობიდან (ნახ. 286):



ნახ. 283.

$$Nc = M,$$

საიდანაც

$$c = \frac{M}{N} \quad (146')$$

პირობებიდან ნაგებობათა ანგარიშის დროს ჩვეულებრივი ღია ნაკერი არ დაიშვება, რადგან ნაკერში შეიძლება ჩადგეს წყალი, რომელიც განსაკუთრებით გაყინვის დროს ძლიერ დაარღვევს წყობას. მათთვის წნევის

მრუდი უნდა აკმაყოფილებდეს (144)-ე პირობას. ამას გარდა უშუალოდ წყლის მოქმედების შემთხვევაში, დარბილდება უამირი და მათთვის მიწასა და წყობას შორის ხახუნის კუთხე მიიღება $\gamma = 0$.

ზოგადად კი ხახუნის γ და φ კუთხეთა მნიშვნელობები დამოკიდებულია უამირის ტენიანობის ხარისხზე და ანგარიშში მხედველობაში მიიღება ან მა-

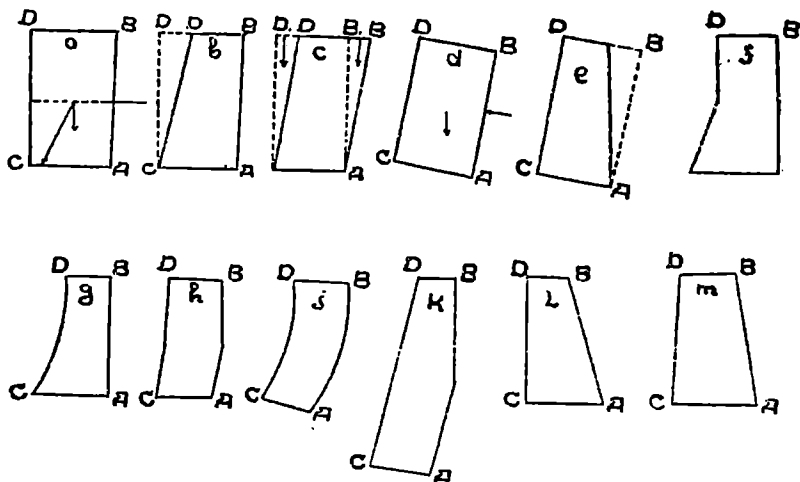
თი უმცირესი მნიშვნელობანი ან მიიღებენ ზომებს წყლის გამოსაყვანად (დრენაჟი კედელთან ქვებიდან, სილა ან მილი).

ზშირად საყრდენი კედლები აიგება ისე, რომ მიწის მასა ფარავს ზედა წახნაგს (ნახ. 288). ასეთ შემთხვევაში საყრდენი კედელი იღებს მიწის წნევას, რომელიც მოქმედებს AC ფართზე, და ამის გამო წნევის სამკუთხედს აგებენ მთლიან AC ფართისათვის. კედელზე მოქმედებენ შემდეგი ძალები: F წნევა, რომლის განაწილების წესი გამოიხატება LNM წნევის სამკუთხედით, KCB მიწის პრიზმის P_1 წონა და კედლის საკუთარი P_2 წონა. შემდეგი ანგარიში სიძნელეს არ წარმოადგენს.

§ 91. საყრდენი კედლისათვის პროფილის შარკვა

საყრდენი კედლის ანგარიში იმით დაიწყება, რომ დაენიშნავთ ფორმას და პროფილის ზომებს, რის შემდეგ ვაწარმოებთ შემოწმებას. პროფილის ფორმამ უნდა უპასუხო ხელსაყრელ პირობებს; მასალის უმცირეს რაოდენობას (უმცირესი ფართი), მოცემულ პირობებისათვის მდგრადობას და სიმტკიცეს. 289-ე ნახაზზე წარმოდგენილია კედლის პროფილების სხვადასხვა ფორმები.

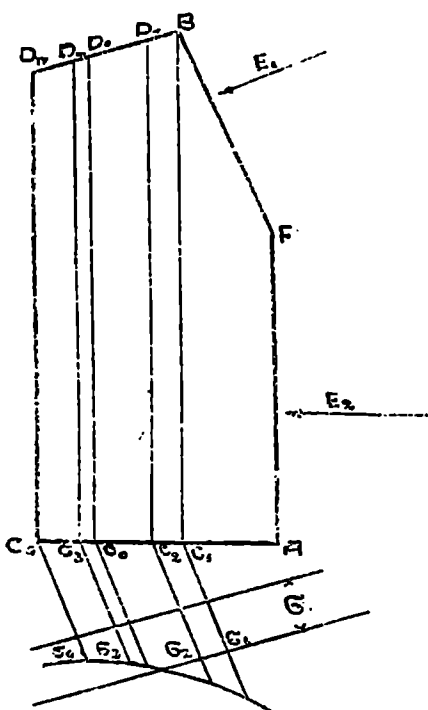
ფორმათა შედარებით შეენიშნავთ, რომ (b) ფორმის განსხვავება (a) ფორმისაგან მდგომარეობს DDC სამკუთხედის მოცილებაში, ასეთი მოცი-



ნახ. 289.

ლება ამცირებს წნევის არაცენტრიულობას ფუძეზე, რაც სასარგებლოა. (c) ფორმაში მოცილებულია (a) ფორმიდან DD_1C სამკუთხედი და დამატებულია AB_1B სამკუთხედი, რაც უფრო მეტად აახლოვებს წნევის ცენტრს

ფუძის ღერძთან. (ა) ფიგურას მივიღებთ (ა)-დან A წიპოს მიმართ ბრუნვით, რის შედეგადაც წარმოიშობა ფუძის ღერძის მიმართ კედლის წონის მომენტი, როპელიც მოწინააღმდეგეა მიწის წნევის მომენტის. (ბ) ფორმას მივიღებთ (დ) ფორმიდან ABB_1 სამკუთხედის მოკვეთით, რაც გადაწვეს წნევის ცენტრს მარცხნივ. კუთხის შესაბამი შერჩევით ასეთი ფორმა შეიძლება აღმოჩნდეს სასარგებლო, თუმც ის მოითხოვს AC ფუძის დიდ სიგრძეს, მაგრამ ზემოთ შევიწროებით მან შეიძლება მოგვეცეს პროფილის მცირე ფართი. საბოლოოდ ამა თუ იმ ფორმაზე შეჩერება ძნელია, რადგან ერთ პირობებში შეიძლება სასარგებლო აღმოჩნდეს ერთი ფორმა, მეორეში—მეორე. რეკომენდირებული შეიძლება იყვნენ (ანგარიშის საფუძველზე) (რ) ფორმა წინა CD წახნაგის $1:5$ და უკანას $1:10$ დაქანების შეთხვევაში, (ჰ) და (ი) ფორმა. (კ) ფორმა AF და CD წახნაგების $1:5$ დაქანებისას, ამასთან BF უნდა მდებარეობდეს ნაყარი ყამირის საზღვრებში, ხოლო F წერტილის ქვემოთ—საძირკველი.



ნახ. 290

როდესაც შერჩეულია ესა თუ ის პროფილის ფორმა, შერჩევენ ზომებს: ან არსებული ნაგებობებთან შედარებით ან წინასწარი განგარიშების საფუძველზე. ქვემოთ მოყვანილია გაანგარიშების მაგალითი.

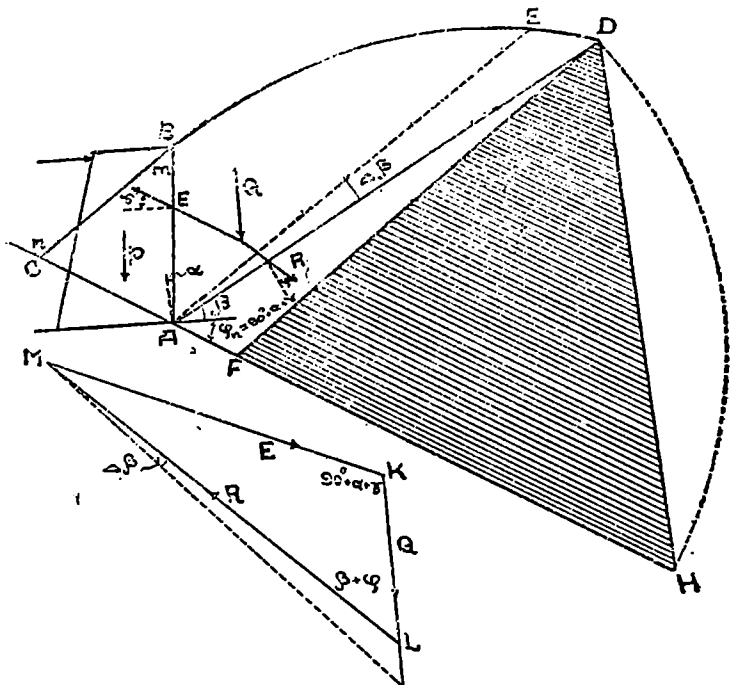
მაგალითი: შევირჩიოთ (კ) ტიპი და მივცეთ წახნაგს $1:5$ დაქანება. ასეთ შემთხვევაში კედლის ზედა სიგანე განსაზღვრავს კედლის დანარჩენ ზომებს. ავადგებთ უკანა AFB წახნაგს (ნახ. 290), განვსაზღვრავთ მიწის E_1 და E_2 წნევებს, რის შემდეგაც გავატარებთ, წინა წახნაგის რამდენიმე საცდელ მდებარეობას: C_1B , C_2D_{11} , C_3D_{11} , C_1D_{11} და თითოეული წახნაგის მდებარეობის შესაბამისად განვსაზღვრავთ $Max \sigma$ და $Min \sigma$ საძირკველის ფუძისათვის. თუ CD წახნაგის ამა თუ იმ მდებარეობისათვის მიიღება

$Min \sigma < 0$ ე. ი. მკუმშავი ძაბვა განაწილებულია ყამირზე კედლის საძირკველის ფუძის არა მთლიან ფართზე, მაშინ კედლის სისქეს გავადიდებთ მანამდე, სანამ არ მივიღებთ $Min \sigma \geq 0$. რაც შეეხება $Max \sigma$ მისი უდიდესი მკუმშავი ძაბვა არ უნდა აკარებდეს დასაშვებს, მასთან ეკონომიური მოსაზრებით ის,

რაც შეიძლება ახლოს უნდა იყოს დასაშვებთან. ამიტომ თითოეული წინა წახნაგის შესაბამისი მდებარეობის განსაზღვრით, რომელიც აკმაყოფილებს პირობას $\text{Min } \sigma$ და მნიშვნელობას $\text{Max } \sigma$, გადავზომავთ $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma$, ორდინატებს შესაბამისად. გვეყვანთ ძაბვის მრუდს σ და სწორს R კოორდინატით, რომელიც ეტოლება დასაშვებ ძაბვას. ამ ხაზების გადაკვეთა განსაზღვრავს წინა წახნაგის იმ C, D_0 მდებარეობას, რომლისთვისაც $\text{Max } \sigma = R$ (დასაშვები ძაბვა). წინა წახნაგის ამ მდებარეობისათვის ვაწარმოებთ ყველა შეზღუდვებს მდგრადობაზე და სიმკტიცეზე. თუ ამ პირობებიდან რომელიმე წათვანი არ იქნა ჯაკმაყოფილებული, მაშინ წინა წახნაგს შესაბამისად გადაადგილებთ.

§ 12. მიწის წინააღმდეგობა

როდესაც კედელი იკავებს პრიზმას ჩამონგრევისაგან, მაშინ მიწა აწარმოებს კედელზე აქტიურ წნევას, რომელსაც უწოდებენ აგრეთვე განმბრჯენს.



ნახ. 291.

პიროქით. თუ კედელზე მოქმედებს მოპირდაპირე მხრიდან რომელიმე ძალა, რომელიც ცდილობს კედლის გადაადგილებას მიწის მხარეზე. მაშინ მიწა ეწი-

ნალმდეგება ასეთ გადაადგილებას და მიწის რეაქციას კედელზე უწოდებენ პასიურ წნევას ან მიწის წინააღმდეგობას.

291-ე ნახაზზე წარმოდგენილ კედელზე მოქმედებს აქტიური Z ძალა. საკუთარი P წონა და მიწის I : რეაქცია. მიწის წნევა კედელზე მიიღება იმით, რომ კედელზე მოდებული აქტიური ძალები ცდილობენ გამოწევიონ ABD მიწის რომელიღაც მოცულობა, რომლის გადაადგილებასაც ეწინააღმდეგება მიწის წონა და ხახუნის ძალა. ABD პრიზმას უწოდოთ ამობურცვის პრიზმა; AD ზედაპირი დაახლოებით ნივლით სიბრტყედ და უწოდოთ ამობურცვის სიბრტყე. ამობურცვის სიბრტყის მდებარეობა განისაზღვრება იმ პირობიდან, რომ ის შეესაბამება ისეთ პრიზმას, რომელსაც აღმოაჩნდება უმცირესი წინააღმდეგობა მოძრაობისადმი, ე. ი. რომელიც შეესაბამება $MIn E$. ამიტომ, თუ მიწის წინააღმდეგობა E : გამოსახულია ამობურცვის სიბრტყის დახრის β კუთხესთან დამოკიდებულებით, მაშინ β კუთხე განიზღვრება პირობიდან:

$$\frac{dE}{d\beta} = 0.$$

E და R წნევათა მიმართულებანი, ზღვრული წონასწორობის დროს, გადაიხრებიან გადაადგილების საწინააღმდეგოდ, სიბრტყეთა ნორმალებიდან ხახუნის კუთხეებით. ამიტომ მიწის წინააღმდეგობის განსაზღვრის ამოცანა განსხვავდება განმბრჯენის განსაზღვრის ამოცანისაგან მხოლოდ E : და R ძალების მიმართულებებით.

მიწის წინააღმდეგობის E :-ს გრაფიკული განსაზღვრა განმბრჯენის გრაფიკულად განსაზღვრის ანალოგიურია. გავატარებთ AH სწორს, ნახ. 291-ე. რომელიც ადგენს ბუნებრივი დახრის φ კუთხეს ჰორიზონტალურ სწორთან. ან: მხრივ მიმართული, საიდანაც ჩამოწევივოდა კედელზე დაყრდნობილი მიწის მასა, თუ ამას არ შეეწინააღმდეგებოდა დანარჩენი მასა. გაიყვანოთ DF სწორი AH სწორთან შედგენილი $n = 90^\circ + \alpha + \gamma$ კუთხით ისე, რომ საწყობი ხელი ADF მსგავსი იყოს KLM სამკუთხედის. მაშინ ისევე, როგორც § 83-ში

$$\frac{\text{ფართი } (ADF)}{\text{ფართ } (KLM)} = \frac{AF^2}{Q^2} = S.$$

თუ β მივცემთ უსასრულოდ მცირე $\Delta\beta$ ნაზრდს, მივიღებთ:

$$\text{ფართი } (ADF) = \frac{AD^2}{2} \Delta\beta; \quad \text{ფართი } (NLM) = \frac{R^2}{2} \Delta\beta;$$

$$\frac{\text{ფართი } (ADE)}{\text{ფართ } (NLM)} = \frac{AD^2}{R^2} = \frac{AF^2}{Q^2} = S;$$

$$\text{ფართი } (ADE) = S \cdot \text{ფართი } (NLM);$$

$$\frac{Q}{\Delta Q} = \frac{\text{ფართი } (KLM)}{\text{ფართ } (NLM)},$$

$$\frac{q \cdot \text{ფართი } (ABD)}{q \cdot S \cdot \text{ფართი } (NLM)} = \frac{\text{ფართი } (KLM)}{\text{ფართი } (NLM)}$$

შალაღ

$$\text{ფართი } (ABD) = S \cdot \text{ფართი } (KLM) = \text{ფართი } (ADF).$$

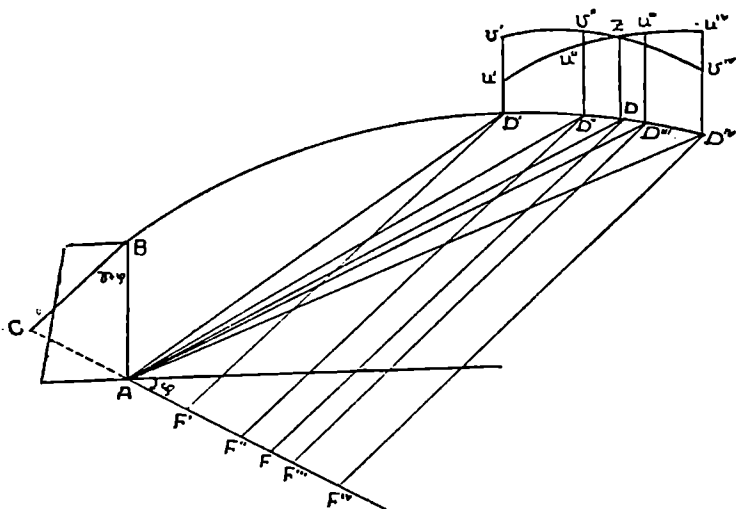
ამგვარად, ამობურცვის ხაზის მდებარეობა შეესაბამება (ABD) და (ADF) ფიგურათა ფართების ტოლობას.

გავიყვანოთ $BG \parallel DF$. ეს მიმართულების ხაზია. ის კედლის უკანა AB წახნაგთან აღგენს შემდეგ კუთხეს:

$$m = n - (90^\circ + \alpha - \varphi) = 90^\circ + \alpha + \gamma - 90^\circ - \alpha + \varphi = \gamma + \varphi. \quad /$$

ამგვარად, აგება განსხვავდება § 83-დან, მხოლოდ იმით, რომ კუთხე-ები γ , φ და მაშასადამე $(\gamma + \varphi)$ გადიზომებიან საწინააღმდეგო მხარეზე. 291-ე ნახაზზე $\triangle DFH$ — რეზანის სამკუთხედიია, $E = q \cdot \text{ფართი } (DFH)$; რადგან KLM და ADF სამკუთხედების მსგავსობიდან

$$E = Q \cdot \frac{DF}{AF} = q \cdot \text{ფართი } (ADF) \cdot \frac{DF}{AF}.$$



ნახ. 292.

ADF და $F'DH$ სამკუთხედებს აქვთ საერთო წვერო და ფუძეები ერთ სწორზე; მაშასადამე,

$$\frac{\text{ფართი } (FDH)}{\text{ფართი } (ADF)} = \frac{HF}{AF}.$$

$$\text{ფართი } (FDH) = \text{ფართი } (ADF) \cdot \frac{HF}{AF}$$

გამოსახულების ჩანძით I -ში და $FH = FD$ გათვალისწინებით (როგორც წრის რკალის რადიუსი), მივიღებთ

$$I = q \cdot \text{ფართი } (FDH);$$

ზოგად შემთხვევისათვის ამობურცვის ხაზის აგება ანალოგიურია 275-ე ნახაზზე წარმოდგენილი აგების.

292-ე ნახაზზე BG მიმართულების ხაზია:

$$D'u' = \text{ფართ } (AD'F'')$$

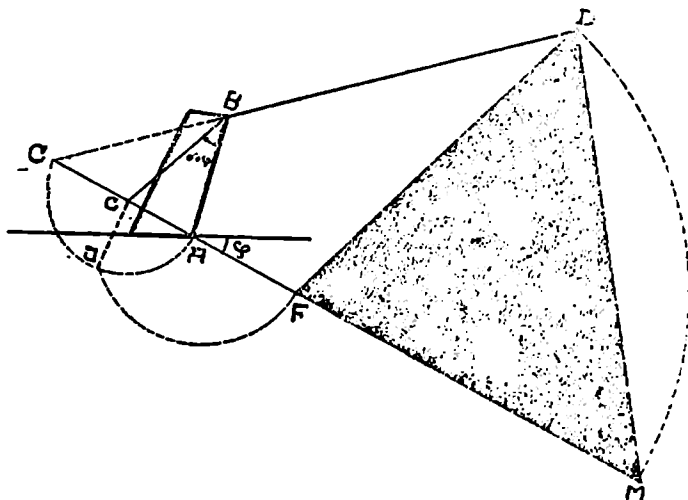
$$D's' = \text{ფართ } (ABD'),$$

$$D'u'' = \text{ფართ } (AD''F')$$

$$D's'' = \text{ფართ } (ABD'')$$

და ა. შ. ამობურცვის ხაზის მდებარეობა შეესაბამება $(\mu\nu\theta\theta\theta\theta\theta\theta\theta\theta)$ და $(\rho\sigma\tau\tau\tau\tau\tau\tau)$ ხაზების გადაკვეთის z წერტილს.

293-ე ნახაზზე შესრულებულია ამობურცვის ხაზისა და რეზხანის საწყობა -



ნახ. 293.

ხედის აგება, როდესაც მიწის მასა შემოსახლოვრული ზემოდან სიპრტყია. 276-ე ნახაზის ანალოგიურად. აგება ცხადია ნახაზიდან, სისწორის დამტკიცება - § 85 ანალოგიურია.

$$\frac{\text{ფართი } (ABD)}{\text{ფართ } (ADC)} = \frac{BD}{CD}; \quad \frac{\text{ფართი } (ADF)}{\text{ფართ } (ADC)} = \frac{AF}{AC}; \quad \frac{BD}{CD} = \frac{GF}{CF}.$$

თუ ფართი $(ABD) =$ ფართ (ADF) ამობურცვის ხაზისათვის, მაშინ

$$\frac{BD}{GD} = \frac{AF}{AC} = \frac{GF}{CF}; \quad \frac{AF}{AC} = \frac{AF+AG}{AF+AC}; \quad AF^2 = AC \cdot AG.$$

ნახაზიდან

$$AF^2 = AC \cdot AG.$$

მაშასადამე, $AF = AF$, ე. ი. F წერტილი მიიღება, თუ A წერტილიდან, როგორც ცენტრიდან შემოეწვროთ E რკალს. ისევე, როგორც განმბრჯენის შემთხვევისათვის, შეიძლება დამტკიცება იმისა. რომ მიწის მასის ზემოდან სიბრტყით შემოსაზღვრულობისას მიწის წინააღმდეგობა განაწილდება სამკუთხედის კანონით. ასეთი განაწილების კანონი მიახლოებით მიიღება ზოგად შემთხვევაშიც. გარეშე ტვირთის გავლენა გაითვალისწინება ზუსტად ისევე, როგორც განმბრჯენის შემთხვევაში.

უმარტივეს შემთხვევაში, როდესაც მიწის მასა შემოსაზღვრულია ზემოდან ჰორიზონტალური სიბრტყით, კედლის უკანა წახანავის ვერტიკალურ მდებარეობაში და $\gamma = 0$ წარმოდგენით, § 81 და 82-დან შეგვიძლია მივიღოთ ფორმულები მიწის წინააღმდეგობისათვის ხახუნის კუთხეების დროს ნიშნების მოპირდაპირეზე შეცვლით:

$$E_{\text{I}} = \frac{qH^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right); \quad E_{\text{II}} = qHh \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \dots (147)$$

ასეთ შემთხვევაში ისეთივე ხედრითი წონის სითხის წნევა იქნებოდა

$$E_{\text{Ib}} = \frac{qH^2}{2}; \quad E_{\text{IIb}} = qHh.$$

ეს ფორმულები შეესაბამებიან განმბრჯენს და მიწის წინააღმდეგობას როდესაც $\varphi = 0$, რადგანაც $\operatorname{tg} 45^\circ = 1$. ამგვარად, სითხე შეიძლება განხილული იქნეს, როგორც ფხვიერი სხეულის კერძო შემთხვევა, რომელსაც აქვს შივა ხახუნის კუთხე (აგრეთვე ხახუნის კუთხე სხვა სხეულებთან) ნულის ტოლი. იმის გამო. რომ

$$\operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) < 1, \quad \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) > 1,$$

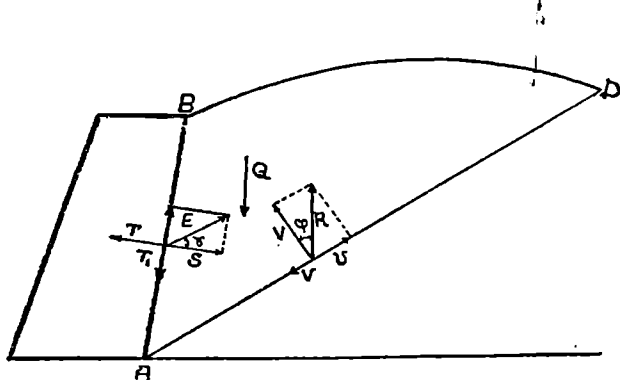
დაეასკენით, რომ მიწის განმბრჯენი კედელზე ნაკლებია, ვიდრე ამავე წონისა და მოხაზულობის სითხის წნევა, ხოლო მიწის წინააღმდეგობა მეტი. ე. ი. მიწის წინააღმდეგობა მეტია განმბრჯენზე. ვაჩვენოთ. რომ ზოგად შემთხვევაშიც მიწის წინააღმდეგობა მეტია განმბრჯენზე.

ვთქვათ 294-ე ნახაზზე ABD პრიზმას აქვს Q წონა. თუ ის სითხეა, მაშინ მისი წნევის მიმართულება AB და AD სიბრტყეებზე ნორმალურია და შეიძლება განისაზღვრონ წონასწორობის პირობიდან.

თუ ABD —მიწიანი სხეულია, რომელიც აწარმოებს აქტიურ წნევას, მაშინ რეაქციები გადაადგილების საწინააღმდეგო მხარეზე გადაიხრებიან. ან სხვა სიტყვებით, ნორმალურ რეაქციებს მიემატება ხახუნის ძალები:

$$T = S \operatorname{tg} \gamma = f_1 S; \quad U = V \operatorname{tg} \varphi = fV.$$

მაშასადამე, ABD პრიზმის სიმძიმის Q ძალით გადაადგალებას ასუსტებს ხახუნის ძალა, ამით მცირდება ნორმალური N და V რეაქციების სიდიდეები. ამგვარად, მიწის პრიზმის დაწოლის ნორმალური მდგენელი კედელზე უფრო მცირეა, ვიდრე ამავე წონის და მოხაზულობის სითხის წნევა და მით უფრო მცირეა, რაც ხახუნის კუთხე იქნება მეტი. იმავე პრიზმის ამობურცვის შემთხვევაში ნორმალური წნევა N ხდება აქტიურ ძალად, ხოლო უკუქმედების დანარჩენი ძალები და ამასთანავე ხახუნის ძალები T_1 და U , რომლებიც



ნახ. 294.

მიმართულია გადაადგილების წინააღმდეგო მიმართულებით აღიღებენ წინააღმდეგობას და მათი წინააღმდეგობის გადასალახავად იგივე Q წონის დროს საჭიროა მეტი E წნევა თუ ხახუნი არ იქნებოდა, და იქნებოდა უფრო მეტი, რაც მეტი იქნებოდა ხახუნის კუთხე. მაშასადამე, ერთი და იგივე პრიზმისათვის მიწის წინააღმდეგობა მეტია განმბრჯენზე და რადგანაც აგებით ცხადია, რომ მიწის წინააღმდეგობის პრიზმა მეტია განმბრჯენის პრიზმაზე, ჩვენ დავასკვნით, რომ ყოველ ზოგად შემთხვევაში მიწისა და კედლის მოხაზულობის დროს ყოველთვის მიწის წინააღმდეგობა მეტია განმბრჯენზე.

§ 93. შემთხვევა, როდესაც კედელი განიცდის ორმხრივან მიწის დაწოლას

აქ ძირითადი საკითხია, მივიღოთ თუ არა უმცირესი მიწის დაწოლა აქტიურად თუ პასიურად. პრაქტიკაში ხშირად იქცევიან ასე: თუ მიწის ორმხრივი დაწოლა ვიგულისხმეთ აქტიური და კედელი აღმოჩნდა მდგრადი მაშინ ძალები დარჩებიან იგივე. თუ ასეთი ძალების შედეგად მიიღებოდა კედლის გადაბრუნება ან ძეგრა რომელიმე მიმართულებით, მაშინ შესაბამისი მიწის დაწოლა, რომელიც უნდა შეეწინააღმდეგოს ამ გადაადგილებას, მიიღება პასიური. სხვა შემთხვევებში სიმტკიცის მარაგი მიწის ორივე მხრიდან დაწოლის მიიღებიან, როგორც აქტიური.

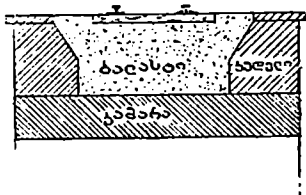
ქ ვ ი ს კ ა მ ა რ ე ბ ი

§ 94. ბ ა რ ა ქ ა ლ ე ბ ა

ქვის კამარები განსხვავდებიან თაღებისაგან იმით, რომ ისინი სრულდებიან ისეთი მასალებისაგან, რომელთა წინაღობა გაქიმვაზე ძალიან მცირეა კუმშვის წინაღობასთან შედარებით. ქვის წყობის ეს თვისება საჭიროა გავითვალისწინოთ, რათა შესაფერისი გზით კამარის ფორმისა და ზომების დანიშვნით მივალწიოთ შიგა ძალების ისეთ განაწილებას, რომ გამქიმვაში ძაბვები იყვნენ მინიმალური, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში ისინი სრულებით არ იყვნენ. თუ ამას დაუმატებთ იმ მოსაზრებას, რომ ქვის წყობას სხვა სამშენებლო მასალებთან შედარებით ახასიათებს უფრო ნაკლები წინააღმდეგობა კუმშვაზე, ვიდრე მოცულობითი წონა, მაშინ გასაგები გახდება თუ ქვის კამარებს რატომ აქვთ მნიშვნელოვანი საკუთარი წონა დანარჩენ დატვირთვებთან შედარებით. ამასთან დაკავშირებით ქვის კამარებისათვის, იმ შემთხვევებშიც კი, როდესაც ისინი სტატიკურად რკვევალთა (სამსახსრიანი), ყველა ზომა წინასწარ დაინიშნება და შემდეგ შემოწმდება.

ქვის კამარებზე მოქმედებენ შემდეგი ძალები:

I. ვერტიკალური ძალები: ა) კამარის საკუთარი წონა განისაზღვრება წინასწარ დანიშნული ზომებით და კამარის წყობის ერთეული მოცულობის წონით; ბ) კამარას ზედა ნაწილის წონა—ბალასტის და კედლის (ნახ. 295), გ) დროებითი დატვირთვა. როგორც საყრდენი კედლის ანგარიშის დროს აქაც განიხილება კამარის ორი ნორმალურ კვეთებს შორის მოთავსებული ნაწილი, რომლებიც ერთი მეორესაგან დაშორებულია ერთეული სიგრძის მანძილით. ყველა ვერტიკალურ დატვირთვას შეცვლიან ზოგჯერ წყობის ფენით, რომელთა სიმაღლე h ,

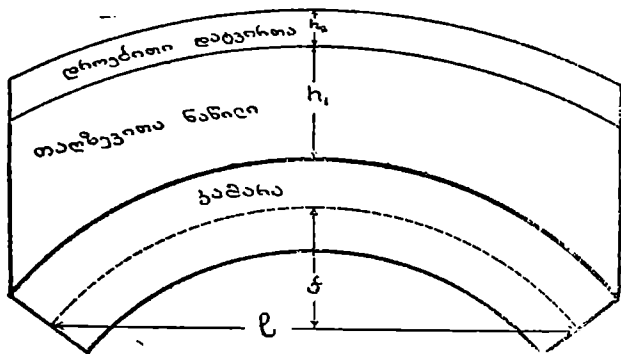


ნახ. 295.

თითოეულ წერტილში, უდრის $\frac{h}{\sigma}$, სადაც k

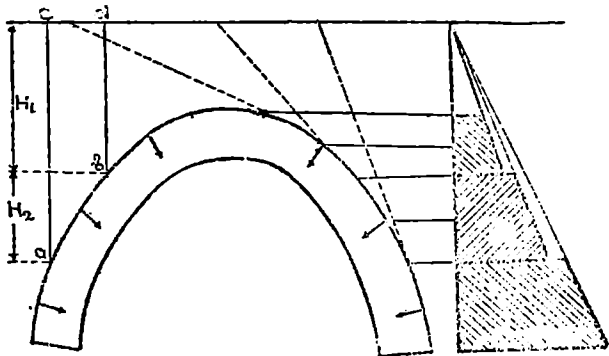
არის დატვირთვის ინტენსივობა აღებულ წერტილში (წნევა კამარის ზედაპირის ერთეულ პორიზონტალურ პროექციაზე), ხოლო σ არის წყობის ერთეული მოცულობის წონა (ნახ. 296).

II. ჰორიზონტალური ძალები—მიწის დაწოლა. დაწეულ კამარებისათვის ის უმნიშვნელოა და არ გაითვალისწინება. აწეულ კამარებისათვის $\left(\frac{f}{l} > \frac{1}{2}\right)$ მიწის წნევა კამარაზე განისაზღვრება, როგორც მიწის წნევა საყრდენი კედ-



ნახ. 296.

ლის უკანა მრუდხაზოვან ზედაპირზე. გრაფიკული განსაზღვრა წარმოდგენილია 297-ე ნახაზზე მარჯვნივ. ზემოდან მიწის ჰორიზონტალური სიბრტყეა შე-



ნახ. 297.

ნოსაზღვრულობის შემთხვევაში ამოცანა გადაწყდება უბრალოდ, ანალიზურად. მაგ.; ab უბნისათვის მიწის წნევის ვერტიკალური მდგენელი მიიღება $abcd$ პრისმის წონის ტოლი, ხოლო ჰორიზონტალურ მდგენელს განვსაზღვრავთ, როგორც ab წახნაგის პერპენდიკულარულ პროექციაზე მიწის წნევას:

$$E = \frac{q}{2} (H_2^2 + 2H_2H_1) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

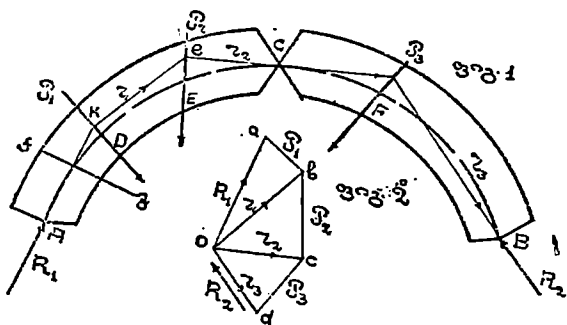
§ 95. შიგაძაღვების ხაზი

როდესაც ცნობილია აქტიური ძალები შეუდგებიან საყრდენი რეაქციების განსაზღვრას. ჩამაგრებული ქუსლებიანი კამარები წარმოადგენენ სტატიკურად ურკვევად სისტემებს სამი ზედმეტი უცნობით (ნახ. 298). სტატიკურად რკვევად სისტემას მივიღებთ; თუ მოვაწყობთ 3 სახსარს (ნახ. 299 ფიგ. 1). ასეთ შემთხვევებში რეაქციები განიზღვრებიან სტატიკის პირობებიდან. ისინი მოდებული იქნებიან A და B წერტილებში, ხოლო AC და CB ნაწილების ურთიერთქმედების ძალები მოდებული იქნება C წერტილში. ვთქვათ განსაზღვრეთ R_1 და R_2 რეაქციები მოცემულ P_1, P_2, P_3 აქტიური ძალებისათვის. თუ ჩვენ გავიყვანთ თალის ღერძის ნორმალურად fg კვეთს, მაშინ მარცხენა ნაწილის მოქმედება მარჯვენაზე (შიგაძაღვ) ტოლი იქნება ყველა ძალის ტოლქმედისა მოცემული კვეთის მარცხნიდან. სახელ-



ნახ. 298.

დობრ კვეთისათვის AD უბანზე შიგაძაღვა ეტოლება საყრდენ R_1 რეაქციას. კვეთისათვის DE უბანზე შიგაძაღვა ეტოლება R_1 და P_1 ძალების r_1 ტოლქმედს, რომელიც გადის k წერტილში. მისი სიდიდე და მიმართულება განისაზღვრება ძალთა Oab სამკუთხედიდან (ნახ. 299, ფიგ. მე-2). კვეთისათვის



ნახ. 299.

EF უბანზე შიგაძაღვა ეტოლება R_1, P_1, P_2 ძალების r_2 ტოლქმედს, ან რაც იგივეა r_1 და P_3 ტოლქმედს, რომელიც გადის C წერტილში, რომლის სიდიდე და მიმართულება განიზღვრება Obc ძალთა სამკუთხედიდან. ცხადია, რომ r_2 ძალამ, როგორც AC ნაწილის BC ნაწილზე მოქმედება ძალამ; უნდა გაიაროს C წერტილში. ბოლოს, FB უბანზე შიგაძაღვა ეტოლება R_1, P_1, P_2, P_3 ძალების r_3 ტოლქმედს (ძალთა Ocd სამკუთხედიდან), რომელიც ტოლია და

მოპირდაპირე R_2 ძალის. აგების შედეგად მივიღებთ $AklmB$ შიგაძალე-
ვის ხაზს.

299-ე ნახაზიდან ცხადია, რომ ეს ხაზი წარმოადგენს თოკის მრავალ-
კუთხედს, რომლის შესაბამისი $Oabcd$ ძალთა მრავალკუთხედის კიდურა სხი-
ვები გამოხატავენ R_1 და R_2 რეაქციებს. ეს თოკის მრავალკუთხედი გადის
მოცემულ $3 A, C, B$ წერტილებზე. იმის გამო, რომ 3 წერტილზე შეიძლება

მხოლოდ ერთი თოკის მრავალკუთხედის გატარება მივაღწეოთ შემდეგ წესამდე:
როდესაც ცნობილია კამარის წნევის ცენტრები ქუს-
ლებში და კლიტეში, მაშინ მოცემულ შიგაძალთა სისტემი-
სათვის შიგაძალების ხაზი აიგება, როგორც თოკის მრავალ-
კუთხედი, რომელიც გაივლის აღნიშნული წნევის ცენტრებ-
ში, ამასთან ძალთა მრავალკუთხედის შესაბამისი სხივები
წარმოადგენენ სიდიდით და მიმართულებით შიგაძალებს.
კიდურა სხივები კი შეესაბამებიან საყრდენ რეაქციებს.

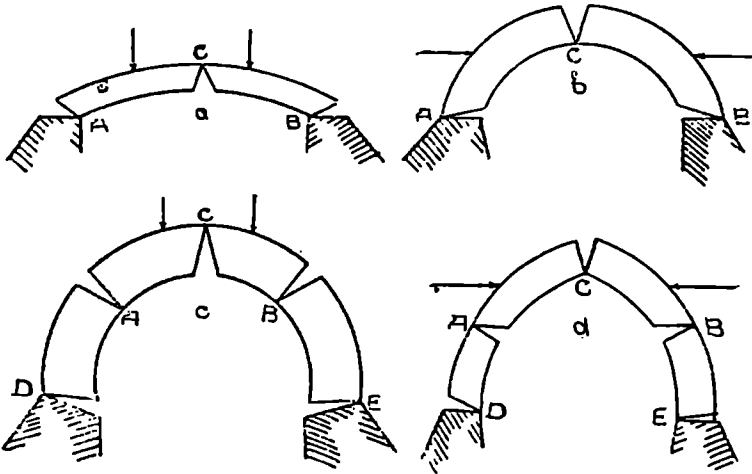
შიგაძალთა ხაზი იძლევა კამარის ნებისმიერ ნორმალურ კვეთში ძაბვა-
თა განსაზღვრის შესაძლებლობას, არაცენტრალური კუმშვის ფორმულით.
ამიტომ კამარის გრაფიკული ანგარიში შიგაძალთა ხაზის აგებაზე მიიყვანება.
ეს აგება წარმოებს უბრალოდ, მხოლოდ სამსახსრიან კამარებში. უსახსრო
კამარებისათვის შიგაძალების ხაზის აგების მთავარი სიძნელე მდგომარეობს
იმაში, რომ წნევის ცენტრების მდებარეობანი ცნობილი არ არიან არც ერთ
კვეთში. გადაწყვეტა შეიძლება, მხოლოდ დეფორმაციათა განხილვის საფუძ-
ველზე. კამარის გაანგარიშების გრაფიკული მეთორდი წარმოადგენს მიახლოე-
ბითს და დამყარებულია ზღვრულ წონასწორობის წარმოდგენაზე, რისთვის-
საც უწოდებენ ზღვრულ წონასწორობის მეთოდს.

§ 96. ჩამაგრებულ ძუსლებიანი კამარების გრაფიკული გაანგარიშება (ზღვრული წონასწორობის მეთოდით)

მე-300 ნახაზზე წარმოდგენილია დანგრეულ კამარათა სახეები, სიმეტ-
რიულ დატვირთვისაგან, სხვადასხვა პირობებში: (ა)—დაწეული კამარა ჩა-
ტეხილია ვერტიკალური დატვირთვის მოქმედებისაგან; (ბ)—დაწეული კამა-
რა დანგრეულია გვერდითი დაწნევებით: (ც) და (დ)—იგივე აწეული კამარე-
ბისათვის.

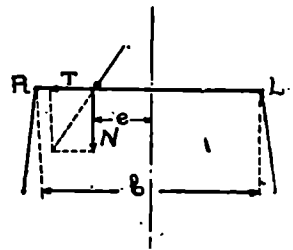
კამარაზე მოქმედი ძალა განვიხილოთ იმ მყისე მომენტში, როდესაც
მან დაიწყო დანგრევა. ჩვენ უნდა დავრწმუნდეთ იმაში, რომ კამარის ასეთ
მდგომარეობისათვის მასზე მოქმედ ძალებს არ შეუძლიათ აწარმოონ შემდ-
გომი გადაადგილება დანგრევის მხარეზე. ასეთი წარმოდგენით გაანგარიშე-
ბას აქვს ის უპირატესობა, რომ 3 წერტილი მაინც მოცემული აღმოჩნდე-
ბა შიგაძალების ხაზის აგებისათვის და ამოცანა გახდება სტატიკურად
რკვევადი. თოკის მრუდი გაიყვანება A, B და C წერტილებზე, რომლის გან-
ლაგება დამოკიდებულია დატვირთვის სახისაგან და კამარის დაქანებისაგან.
 C წერტილი კლიტეშია; A და B წერტილები ან ქუსლებშია ან ნაკერთა შო-
რის არიან, რომლებსაც უწოდებენ ნაკერის გადატეხვას.

მაგრამ წნეების გადაცემა ნაგებობის ერთი ნაწილიდან მეორეზე (A. B და C) წერტილებით რეალურად შეუძლებელია, რადგანაც ასეთ შემთხვევაში ნაწილების შეხების ფართი იქნებოდა ნულის ტოლი და ძაბვები უსასრულობის აპასთან, რასაკვირველია, წარმოიშობოდა თელვა ნაწილების შეხების ადგილებში, რომელიც გაგრძელდება მანამდე, სანამ უდიდესი ძაბვა არ გაუტოლდება კრიტიკულ ძაბვას თელვაზე. ამიტომ შიგაძალების ხაზმა უნდა გაიაროს მე-300 ნახაზზე წარმოდგენილ კამარის ნაწილების შეხების ფართის



ნახ. 300.

საზღვრებზე. პრაქტიკულად ფიქრობენ, რომ ზღვრულ წონასწორობის მდგომარეობაში კამარის ნაწილები ეხებიან კვეთის მთელ ფართს და ამასთან შიგაძალა იმყოფება შუა მესამედის საზღვარზე. ამგვარად, ძალების წონასწორობას განიხილავენ არა იმ მომენტში, როდესაც წნევის მრუდმა მითითებულ კვეთებში მიაღწია მათ ნაპირებს, არამედ იმ მომენტში, როცა ის აღმოჩნდა კვეთების შუა მესამედის (ქუსლი) შესაბამის საზღვრებზე (გახსნილი ნაკერი მხოლოდ იწყება). ამგვარად, ზღვრული წონასწორობის მეთოდი დაიყვანება 3 მოცემულ წერტილში, ქუსლებისა და კლიტეს კვეთებს შუა მესამედ საზღვრებზე, თოკის მრავალკუთხედის აგებაზე (ან ნაკერის



ნახ. 301.

გადატეხვა). წყობისა ხსნარზე ძვრისადმი და გაქიმვისადმი წინააღმდეგობას უზღულებელიყოფით ჩვენ დავამყარებთ შემდეგ პირობებს, რომლებსაც უნდა აკმაყოფილებდეს შიგაძალების ხაზი:

1) ის არსად არ უნდა გამოვიდეს კვეთების შუა მესამედის საზღვრებიდან;

2) შიგაძალების გადახრა კვეთების ნორმალებიდან არ უნდა აქარბებდეს წყობისა წყობაზე ხახუნის კუთხეს;

3) უდიდესი ძაბვა წყობისა კუმშვაზე არ უნდა აქარბებდეს დასაშვებ. უდიდესი ძაბვა განისაზღვრება ფორმულით:

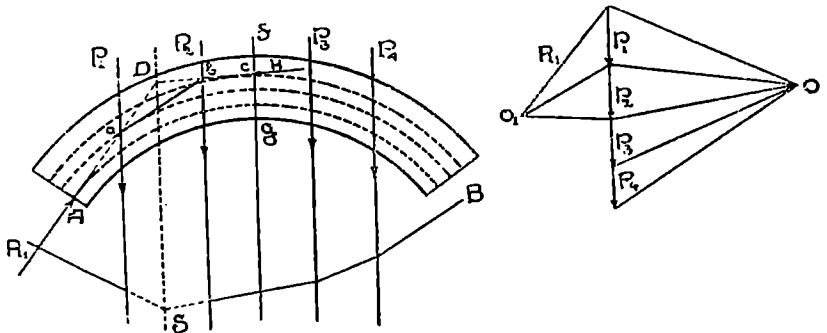
$$\text{Max } \sigma = \frac{N}{b} + \frac{N \cdot c \cdot b}{\rho^2} = \frac{N}{b} \left(1 + 6 \frac{c}{b} \right) \quad (145)$$

(ნახ. 301).

პირველი წვერი გამოხატავს საშუალო ძაბვას მოცემულ კვეთში; მეორე წვერი ძაბვას ღუნვისაგან ექსცენტრიული დაწნევის c გამო.

§ 97. სიმეტრიული ვარტიკალური დაბვირთვის შემთხვევა და დაწეული კამარა

302-ე ნახაზზე წარმოდგენილია სიმეტრიულად დაწეული კამარა სიმეტრიული დატვირთვების მოქმედებით (P_1, P_2, P_3, P_4 ძალები). გავიყვანოთ კლიტეში fg კვეთი. სიმეტრიულობის გამო შევნიშნავთ, რომ კამარის ნაწილეს შორის ურთიერთქმედების ძალები კვეთების ნორმალურად იქნებიან. მაშასადამე, კამარის მარჯვენა ნაწილის H წნევა მარცხენაზე, წინა პარაგრაფის მიხედვით პორიზონტალურია და მოდებულია კვეთის შუა მესამედის C ზედა საზღვარზე. R_1 საყრდენი რეაქცია მოდებულია ქუსლის კვეთის შუა მესამედის ქვედა საზღვარზე. ეს მონაცემები საკმარისია შიგაძაღთა ხაზის აგებისათვის კამარა



ნახ. 302.

რის მარცხენა ნაწილისათვის. თოკის მრავალკუთხედიდან შესაბამისი ნებისმიერი O პოლუსით, განესაზღვრავთ კამარის მარცხენა ნახევარზე მოდებული აქტიური ძალების S ტოლქმედის მდებარეობას. R_1 რეაქცია გაივლის A და D წერტილებში (S და H ძალების გადაკვეთის წერტილი). გვეცოდინება რა R_1 და H ძალების მიმართულებანი, ე. ი. თოკის მრავალკუთხედის კიდურა გვერდები, რომლებიც წარმოადგენენ შიგაძაღების ხაზს, ვიპოვით შესაბამის

O_1 პოლუსს და ავაგებთ თოკის $Aabc$ მრავალკუთხედს. ეს იქნება შიგაძალე-ბის ხაზი.

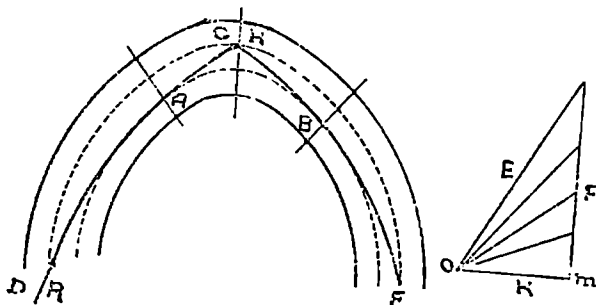
მთლიანი დატვირთვის მოქმედების შემთხვევაში შევცვლით მას შეყურ-სული ძალებით და შევედგებით აგებას ზემოთქმულის მიხედვით.

§ სიმეტრიული ვიარტიკალური დაბოვიტვის შემთხვევა და აწეული კამარა

წინასწარ საკიროა განვსაზღვროთ ნაკერის გადატეხვის მდებარეობა. კა-ნარის გრაფიკული განგარიშება დამყარებულია დაშვებაზე:

თუ მოსახერხებელია მოცემული დატვირთვისათვის აი-გოს თოკის მრუდი, რომელიც არსად არ გამოვსა კვეთის შუა მესამედის საზღვრებიდან, მაშინ შიგაძალების ქეშმე-რიტი მრუდი არსად არ გამოვსა შუა მესამედის საზღვრები-დან და ჩვენს მიერ აგებული თოკის მრუდი შეგვიძლია მი-ახლოვებით მივიღოთ როგორც შიგაძალების ხაზი. ამგვარად, კამარის მდგრადობის დასამტკიცებლად ჩვენ უნდა ავაგოთ ერთი მაინც თო-კის მრუდი, რომელიც არ გამოვსა შუა მესამედის საზღვრებიდან.

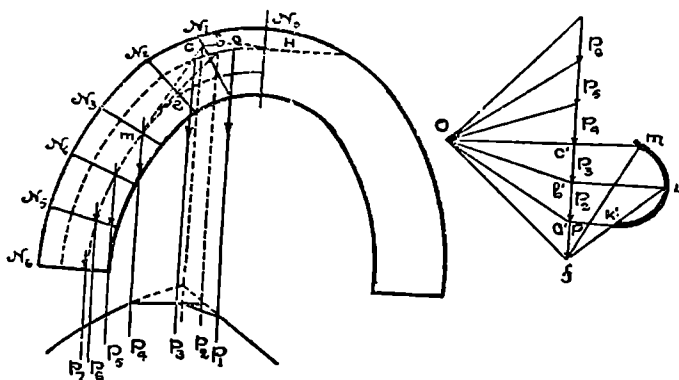
ვთქვათ ჩვენ ავაგებთ ასეთი $DACBF$ მრუდი (ნახ. 303); ეს მრუდი ეხება შუა მესამედის საზღვრებს C , A , B წერტილებში. A და B წერტილები შე-აბამისი იქნებიან გადატეხვის ნაკერების. 303-ე ნახაზზე აგებულია ძალთა მრავალკუთხედი ნახევარ DC კამარისათვის, ამასთან $Om = H$, ხოლო Ok სხი-ვი პარალელურია თოკის მრავალკუთხედის გვერდის, რომელიც გადის გადა-ტეხვის ნაკერზე. თუ ჩვენ ავაგებთ მეორე მრუდს კლიტეში ნაკლები H გან-



ნახ. 303.

პრჯენისათვის, მაშინ ყველა სხივი იქნება ციცაბო. AC უბანს მრუდ-გაივლის ციცაბოდ და A წერტილიდან გამოვსა შუა მესამედის საზღვრიდან, და შეხვდება ხაზებს, რომლებიც მოსაზღვრეა შუა მესამედისა სხვა კვეთებში. აღენი-შნოთ ეს გარემოება და დაუშვათ, რომ კამარაზე (ნახ. 304) მოქმედებს მთლია-ნი დატვირთვა. გაიყვიანოთ კვეთები და თითოეულ სოლზე მოქმედი დატვირ-

თები შეეცვალოთ შეუქრსული $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ ძალებით. დაეუწვათ: რომ № 1 კვეთში ნაკერის გადატეხვას მივიღებთ თოკის მრავალკუთხედის კიდურა ac გვერდის მიმართულებად, რომელიც შეესაბამება fk' სხივს და სიდიდით $H = a'k'$ ძალას. სწორედ ასევე № 2 კვეთში ნაკერის გადატეხვის გულ-



ნახ. 304.

ვებით $H = b'l'$, № 3 კვეთში $H = c'm$ და ა. შ. უდიდესი H მნიშვნელობა მიიღება ნაკერის გადატეხვის გულეებით № 2 კვეთში. ზემოთქმული გადმოცემიდან ცხადია, რომ თუ ჩვენ გავიყვანთ თოკის მრავალკუთხედს i და l წერტილებზე, მაშინ საპოლუსო H მანძილის სიდიდის შემცირებით (რომელიც შეესაბამება ნაკერის გადატეხვის გულეებას სხვა რომელიმე კვეთში) მრუდი გამოვა № 2 კვეთის შუა მესამედიდან. ეს იმას ნიშნავს, რომ ნაკერის გადატეხვა უნდა იყოს სახელდობრ № 2 კვეთში.

ამგვარად ნაკერის გადატეხვის მდებარეობა ესაბანება უდიდესი H წნევის მნიშვნელობას კლიტეში.

ამ პირობის საფუძველზე ნაკერის გადატეხვის განსაზღვრისათვის ჩვენ შეგვიძლია გავიყვანოთ მრუდის საპოლუსო H მანძილები და მრუდზე ვიპოვოთ $\text{Max } H$ (ნახ. 304). როდესაც ნაკერის გადატეხვა განსაზღვრულია, ჩვენ ავაგებთ თოკის მრავალკუთხედს i და l წერტილებზე ისე, როგორც ეს აღწერილია წინა პარაგრაფში.

§ 99. არასიმეტრიული ვერტიკალური დატვირთვების შემთხვევა

იმის გამო, რომ კამარაზე მუდმივი ტვირთი სიმეტრიულია, ხოლო წვის კამარებისათვის დროებითი დატვირთვის გავლენა მეტისმეტად მცირეა, ამიტომ კამარის დარღვევის სურათს ჩვენ წარმოვიდგენთ ისეთივეს, როგორც სიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევაში და ამოცანა დაიყვანება თოკის მრავალკუთხედის აგებამდე, რომელმაც უნდა გაიაროს მოცემულ სამ A, B, C წერტილებზე.

§ 100. გრაფიკული მეთოდით გაანგარიშებისას კამარის ღერძის ხაზის მოხაზულობის ხელსაყრელი შერჩევა

Max σ ფორმულიდან (§ 96) ჩანს, რომ ძაბვის უდიდესს სიდიდეზე დიდი გავლენა აქვს არაცენტრიულობას e , რომელიც წარმოადგენს შიგაძალების გადახრას კამარის ღერძის ხაზიდან. ამის გამო მცირე დატვირთვების სხვა შემთხვევას შეიძლება შეესაბამებოდეს Max σ დიდი მნიშვნელობა, თუ შესაბამისი შიგაძალების ხაზის გადახრა ღერძის ხაზიდან იქნება მეტი. მოცემულ დატვირთვებისათვის კამარის ღერძის ხაზის ხელსაყრელი მოხაზულობა იქნება ისეთი, რომლისთვისაც შიგაძალების ხაზი ყველა წერტილში დაემთხვევა კამარის ღერძს. ასეთ შემთხვევაში კამარა იმუშავებს მხოლოდ კუმშვაზე, და კვეთებში ძაბვა იქნება:

$$\sigma = \frac{N}{b}$$

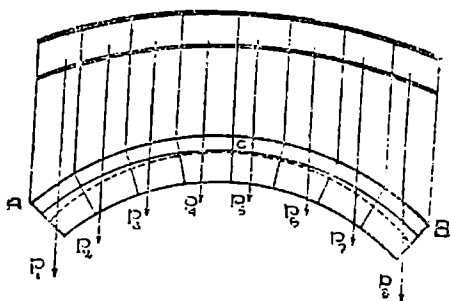
პრაქტიკაში, როდესაც საქმე აქვთ მუდმივ და დროებით დატვირთვებთან, კამარის ხელსაყრელ ღერძის ხაზის ფორმად აღიარებენ მას, რომელიც დაემთხვევა შიგაძალების ხაზს მუდმივი დატვირთვისათვის, ხოლო ზოგჯერ $p + \frac{1}{2} k$ დატვირთვისათვის, სადაც p —მუდმივი, ხოლო k დროებითი დატვირთვების ინტენსივობაა.

დაწესებულია, რომ უსახსრო კამარებისათვის შიგაძალების ხაზის ზუსტად დამთხვევა წნევის მრუდესთან შეუძლებელია. ამიტომ ამოცანა ჩამოყალიბდება ასე:

მოცემული მალისა და აწეულობის ისრის კამარისათვის უნდა განვსაზღვროთ ისეთი ღერძის ხაზის მოხაზულობა, რომელიც რაც შეიძლება უახლოვდებოდეს შიგაძალების ხაზს მუდმივ და ნახევარ დროებით დატვირთვებისათვის.

რადგან უსახსრო კამარებისათვის შიგაძალების ზუსტად აგება ჩვენ ვერ გვაძლევს მონაცემებს მისი კლიტეში და ქუსლებში გავლის შესახებ, ამიტომ მიახლოებით ჩვენ ეს ხაზი გავყავს კლიტესა და ქუსლების კვეთების ცენტრებში, ე. ი. როგორც სამსახსრიან კამარებისათვის.

გადაწყვეტის მსვლელობა შემდეგია: წინასწარ დავნიშნავთ ღერძის ხაზსა და სისქეებს კამარის კვეთებში. განვსაზღვრავთ საკუთარ წონას და დატვირთვის. უკანასკნელს შევცვლით შესაბამისი სინაღლის წყობის წონით (§ 94). დროებითი დატვირთვის ნახევარს ასევე შევცვლით.



ნახ. 305.

13. კ. ს. ხავრიავი. II ნაწ.

წყობის ფენით. დავყოფთ კამარას სოლებად (ნახ. 305) და განვსაზღვრავთ სოლების საკუთარ წონებს და მათზე წნევებს. მაშინ მთლიანი დატვირთვა შეიცვლება შეყურსულ ძალთა P_1, P_2, \dots, P_n სისტემით. ავაგებთ თოკის მრუდს, რომელიც გაივლის A, B, C წერტილებში, კლიტესა და ქუსლების კვეთებში. ეს მრუდი, სავსეა, რომ ვთქვათ, არ დამთხვევა ჩვენს მიერ დანიშნულ კამარის ღერძს. მეორე მიახლოება იმაში მდგომარეობს, რომ აგებულ თოკის მრუდს მივიღებთ ღერძის ხაზად, ხელახლად განვსაზღვრავთ საკუთარ წონას, ძუღმივ წონას და ხელახლად ავაგებთ A, B, C წერტილებზე თოკის მრუდს. ჩვეულებრივ, ასეთ შემთხვევაში თოკის მრუდი უფრო მიახლოებით დამთხვევა ღერძის ხაზს, წინააღმდეგ შემთხვევაში ჩვენ შეგვიძლია ვაწარმოოთ მესამე მიახლოება.

ზოგჯერ, იმ მდგომარეობის გათვალისწინებით, რომ კამარებში დროებითი ტვირთის გავლენა მცირეა, კმაყოფილდებიან მხოლოდ მუდმივი ტვირთისაგან თოკის მრუდის მოხაზულობის აგებით და ამ მრუდს მიიღებენ კამარის ღერძად.

§ 101. კამარის გრაფიკულად გაანგარიშების მსვლელობა

გრაფიკული გაანგარიშება მიახლოებითია. ამის გამო ჰორიზონტალური ძალები შეიძლება უქუვეადოთ. თავდაპირველად განსაზღვრავენ ღერძის ხაზის ხელსაყრელ მოხაზულობას (§ 100). ამის შემდეგ ამოწმებენ კამარას: 1) მთლიან დატვირთვაზე მთელ მალზე და 2) ცალმხრივ დატვირთვაზე. ამა თუ იმ შემთხვევისათვის აგებენ შიგაძალთა ხაზს (§ 97, 98, 99) და მასთან ლებულობენ § 96 პირობას. შიგაძალების ხაზის აგებამდე განსაზღვრავენ გადატების ნაკერის მდებარეობას და თუ ასეთი არ აღმოჩნდა, მაშინ კამარას გაანგარიშებენ, როგორც დაწეულს.

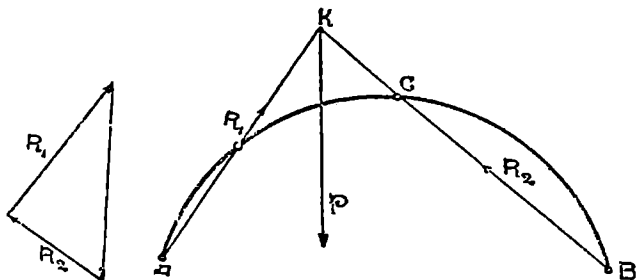
სიმეტრიული დატვირთვების შემთხვევაში შიგაძალების ხაზის აგება, როგორც თოკის მრუდისა, სრულდება უბრალოდ, რადგანაც რეაქციის მიმართულება ნახევარ კამარისათვის და მაშასადამე პოლუსის მდებარეობა განიზღვრება სწრაფად (§ 97). არასიმეტრიული დატვირთვისათვის კი უნდა აიგოს მოცემულ 3 წერტილზე გამავალი თოკის მრუდი. აგების მეთოდი მოყვანილია გრაფიკულ სტატიკაში, მაგრამ თვით აგება მოითხოვს მთელი რიგი ხაზების გატარებას, რომელიც ბუნდოვანს ხდის ნახაზს. ამიტომ წარმოვადგენთ მეორე მეთოდს, რომელიც დაფუძნებულია სამსახსრიან თაღში რეაქციების გრაფიკულ განსაზღვრაზე.

§ 102. ხამხასხრიან კამარისათვის რეაქციების გრაფიკული განსაზღვრა და გაანგარიშებისათვის ჩამაგრაბულ ძუსლებიანი კამარის გამოყენება

1 შემთხვევა. დატვირთულია მხოლოდ ქუსლისა და კლიტის სახარებს შორის კამარის AC ნაწილი.

306-ე ნახაზზე — P ტოლქმედი ძალაა, რომელიც მოდებულია AC უბანზე. კამარის CB ნაწილის გამოყოფით შეენიშნავთ, რომ ამ ნაწილზე მოქმე-

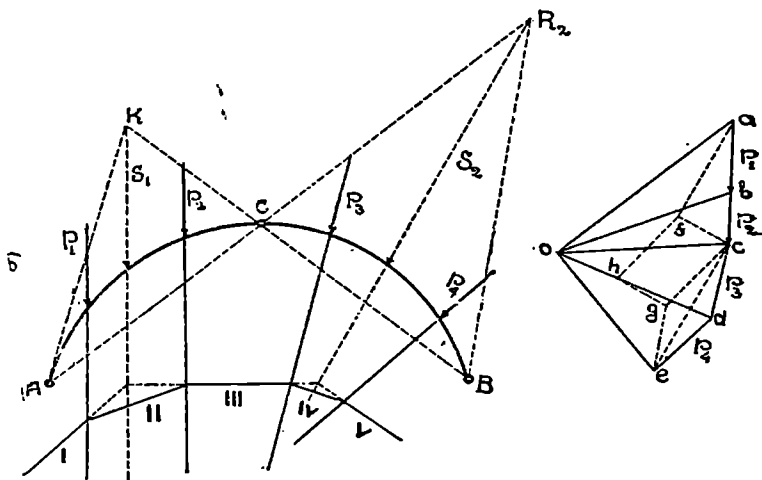
დებენ შემდეგი ძალები: C წერტილში კაპარის მარცხენა ნაწილი და B წერტილში საყრდენი R_2 რეაქცია. ძალთა წონასწორობის პირობიდან გამოდის, რომ ისინი BC სწორისკენ უნდა იყვნენ მიმართული. ეს მდგომარეობა განსაზღვრავს R_2 რეაქციის მიმართულებას, ხოლო R_1 რეაქცია, რომელიც აწონა-



ნახ. 306.

სწორებს R_2 და P ძალებს გაივლის ამ ძალების გადაკეთის K წერტილზე, ე. ი. AK სწორზე. გვეკოდინება რა R_1 და R_2 რეაქციების მიმართულებანი, ჩვენ ავაგებთ ძალთა სამკუთხედს, რომლიდანაც განისაზღვრება რეაქციების სიდიდეები.

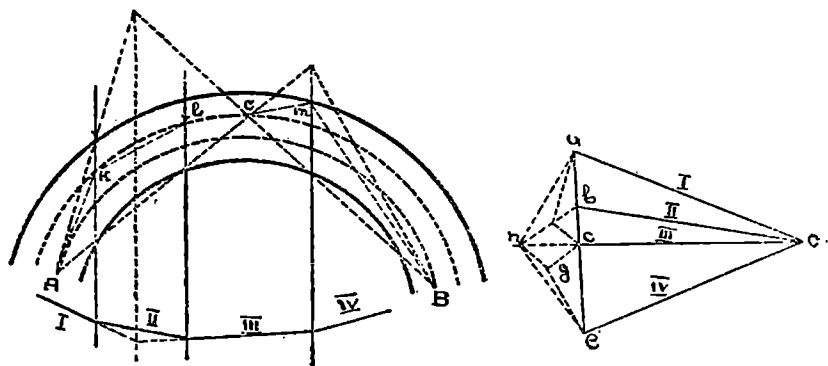
მე-2 შემთხვევა. დატვირთული კამარის მთელი მალი. ძალთა დაწოვილებელი მოქმედების კანონით ცალკე განესაზღვრავთ, წინას მიხედვით,



ნახ. 307.

რეაქციებს ძალებისაგან, რომლითაც დატვირთულია AC უბანი, და ცალკე CB უბანზე დატვირთულ ძალებისაგან, რის შედეგადაც შედეგებს შეეკრებთ.

307-ე ნახაზზე კამარის AC უბანზე მოღებულა P_1 და P_2 ძალები. ავადგებთ ძალთა მრავალკუთხედს, რომელშიც $P_1=ab$, $P_2=bc$; მათი ტოლქმედი $S_1=ac$ გაივლის თოკის მრავალკუთხედის I და III გვერდების გადაკვეთის წერტილზე, ნებისმიერ O პოლუსის შესაბამისად. ზემოგანხილულის მიხედვით განვსაზღვრავთ საყრდენ რეაქციებს P_1 და P_2 ძალების მოქმედებისაგან. ძალთა მრავალკუთხედზე ისინი გამოიხატებიან fa და cf მონაკვეთებით. სწორედ ასევე P_3 და P_4 ძალების S_2 ტოლქმედი (ძალთა მრავალკუთხედზე ce მონაკვეთი), რომელიც გაივლის თოკის მრავალკუთხედის III და V გვერდების გადაკვეთის წერტილზე გამოიწვევს საყრდენ რეაქციებს, რომლებიც ძალთა მრავალკუთხედზე გამოიხატებიან gc და eg მონაკვეთებით. P_1 ; P_2 ; P_3 ; P_4 ძალების ერთდროული მოქმედებისაგან საყრდენი A რეაქცია მიიღება, როგორც შესაბამისი fa და gc მონაკვეთების ტოლქმედი რეაქცია, ხოლო B რეაქცია მიიღება, როგორც შესაბამისი cf და eg მონაკვეთების ტოლქმე-



ნახ. 308.

დი რეაქცია. ამ ძალების შეკრებისათვის ვავიყვანოთ სწორი gh cf და fh eg . მაშინ hf მონაკვეთი ტოლი და პარალელური იქნება gc , და fa და gc ძალების ჯამი ტოლი იქნება fa და hf (ha მონაკვეთი) ძალების ჯამის და წარმოადგენს A წერტილში რეაქციას. სწორედ ასევე რეაქცია B წერტილში განისაზღვრება, როგორც gh და eg ძალების ჯამი (eh მონაკვეთი) ტოლი cf და eg ძალების ჯამის. ამგვარად, რეაქციები განვსაზღვრეთ. ახლა თუ h წერტილს მივიღებთ პოლუსად, მაშინ თოკის მრავალკუთხედი აგებული A წერტილზე წარმოადგენს შიგაძალების ხაზს, რადგან ძალთა მრავალკუთხედის კიდურა სხივები ესაბამებიან საყრდენ რეაქციებს. ეს ხაზი გაივლის აგრეთვე B და C წერტილებზე.

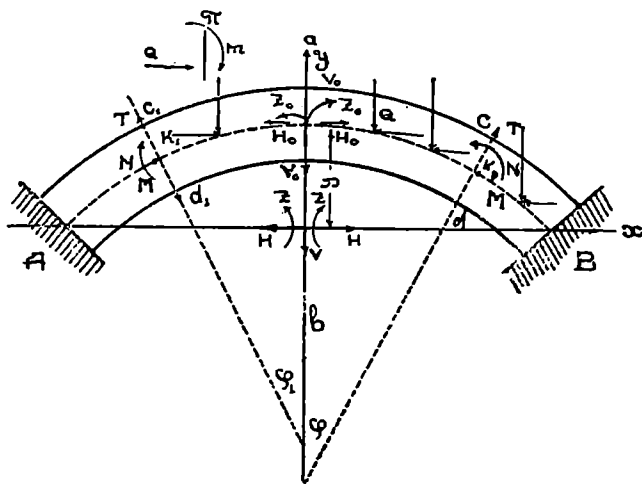
ჩამაგრებულ ქუსლებიანი კამარის შემთხვევაში, თუ რომ განვსაზღვრავდით სან წერტილს, რომლებზედაც უნდა გაიაროს შიგაძალების ხაზმა, მაშინ აგება არაფრით არ განსხვავდება სამსახსრიან კამარისაგან, რომლის სახსრები ეხთხევა ზემომოყვანილ სამ წერტილს. მაგალითი—308-ე ნახაზზე.

ასოთი აღნიშვნები იგივეა, როგორც 307-ე ნახაზზე. ha და he რეაქციების განსაზღვრისათვის ვლდებულობთ h წერტილის პოლუსად და პირველი გვერდის A წერტილზე გატარებით ვაგებთ შესაბამის $AklmB$ თოკის პრაველ-კუთხედს, რომელიც წარმოადგენს შიგაძალების ხაზს. შიგაძალების აგების ასეთი მეთოდი არასიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევაში იქნება მეტად ხელსაყრელი.

§ 103. კამარის გაანგარიშების ანალიზური მეთოდი

§ 95-ში ჩვენ ვნახეთ, რომ კამარა წარმოადგენს სტატიკურად ურკვევად სისტემას სამი ზედმეტი უცნობით. ზედმეტი უცნობების მოხერხებუ-ლი შერჩევა საშუალებას მოგვცემს კამარის ანგარიშის გასამარტივებლად.

წამოყენებულ მეთოდში ზედმეტ უცნობად მიღებულია კამარის კლიტეში შიგაძალა. შემდეგში, ფორმულების გამოყენების დროს, შევიზღუდებით სიმეტ-



ნახ. 309.

რიული კამარებით, რომლებიც ყველაზე ხშირად გამოიყენება პრაქტიკაში. არასიმეტრიული კამარების შემთხვევაში საბოლოო ფორმულები მნიშვნელოვანად რთულია, მაგრამ გამოყენების საფუძველი იგივეა.

309-ე ნახაზზე წარმოდგენილი კამარა სიმეტრიულია ვერტიკალური ღერძის მიმართ, რომელიც განიცდის როგორც ჰორიზონტალურ, ისე ვერტიკალურ ძალების მოქმედებას, ამასთან დატვირთვა, ზოგად შემთხვევაში, არასიმეტრიულია. ac სიბრტყე კლიტეში კვეთს კამარას ორ ნაწილად, მასთან ურთიერთქმედების ძალები, ზოგად შემთხვევაში გრძივი H_0 , განივი V_0 და წვეილძალი Z_0 მომენტით, მიიყვანებიან, როგორც მოდებულნი კვეთის ცენტრში. ჩვენ გვაქვს შესაძლებლობა შევცვალოთ ძალთა (H_0 , V_0 , Z_0) სისტემა

სტატიკურად გვევალენტურ სისტემად ორი H და V ძალისგან, მოდებულნი ნებისმიერ O წერტილში და წყვილძალისაგან Z მომენტით.

თუ O წერტილს ავიღებთ სიმეტრიის ღერძზე, კლიტის კვეთის ცენტრიდან ნებისმიერი y_0 მანძილით ქვემოთ, მაშინ H_0 , V_0 , Z_0 და H , V , Z სიდიდეებს შორის დამყარდება ასეთი დამოკიდებულებანი:

$$\left. \begin{aligned} H_0 &= H \\ V_0 &= V \\ Z_0 &= Z - Hy_0 \end{aligned} \right\} \quad (149).$$

კამარის AC და CB თითოეული ნაწილი წარმოადგენს ერთი ბოლოთი ჩამარბულ და მეორე ბოლოთი თავისუფლად მდებარე მრუდე ღეროებს, დატვირთულებს მოცემული ძალებით და ამას გარდა ურთიერთქმედების (H_0 , V_0 , Z_0) ან რაც იგივეა (H , V , Z) ძალებით. ასეთი ღერო—სტატიკურად რკვევადია და, მაშასადამე, შიგაძალები ყველა კვეთში. შეიძლება გამოისატონ H , V , Z ძალებით. H , V , Z სიდიდეებს ჩვენ მივიღებთ ზედმეტ უცნობებად. იმის გამო, რომ ეს ძალები წარმოადგენენ შიგაძალებს მთელი კამარის მიმართ, მათი სიდიდეები უნდა აკმაყოფილებდნენ უმცირესი მუშაობის პირობას, სახელდობრ:

$$\frac{\partial U}{\partial H} = 0; \quad \frac{\partial U}{\partial V} = 0; \quad \frac{\partial U}{\partial Z} = 0, \quad (150)$$

სადაც U არის მთლიანი კამარის დეფორმაციის პოტენციალური ენერგია.

კამარებში, რომლებშიც სიმრუდის რადიუსების შეფარდება სისქეებთან აპრობებს 4 (პრაქტიკაში მხოლოდ ასეთ კამარებთან გვაქვს საქმე) გამოიყენება ხაზოვანი ძაბვების კვეთზე განაწილების ჰიპოტეზის გამარტივებული ფორმულები (მცირე სიმრუდის ღერო). ასეთ შემთხვევაში უკუვაგლებდ მხებიითი ძაბვების გავლენას დეფორმაციის მუშაობაზე, მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას:

$$U = \int \frac{M^2 ds}{2EJ} + \int \frac{N^2 ds}{2EF}, \quad (151)$$

სადაც ინტეგრირება ვრცელდება კამარის ღერძის მთელ სიგრძეზე. 150-ე ფორმულაში ჩასმით მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} \int M \frac{\partial M}{\partial H} \cdot \frac{ds}{EJ} + \int N \frac{\partial N}{\partial H} \cdot \frac{ds}{EF} &= 0 \\ \int M \frac{\partial M}{\partial V} \cdot \frac{ds}{EJ} + \int N \frac{\partial N}{\partial V} \cdot \frac{ds}{EF} &= 0 \\ \int M \frac{\partial M}{\partial Z} \cdot \frac{ds}{EJ} + \int N \frac{\partial N}{\partial Z} \cdot \frac{ds}{EF} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (152).$$

ფორმის განსაზღვრისათვის M , N დამოკიდებულებით H , V , Z -დან გავყავს cd და $c_1 d_1$ კვეთები. კამარის Ck ნაწილის წონასწორობიდან (და შე-

საბამისად Ck_1) გვექნება, Ck უბნისათვის ყველა ძალის cd კვეთის ნორმალის მიმართულებაზე პროექციების ჯამის ნულთან ვატოლებით, შემდეგ cd მიმართულებაზე და, ბოლოს, მომენტების ჯამი cd კვეთის k ცენტრის მიმართ, მივიღებთ:

$$N = H \cos \varphi - V \sin \varphi - II \sin \varphi - Q \cos \varphi,$$

სადაც II არის გარე ვერტიკალური ძალების ჯამი Ck უბანზე, დადებითი მიმართულებად მიღებულია ზემოდან ქვეით, Q არის ჯამი იგივე ჰორიზონტალური ძალებისა, დადებითი მიმართულებად მიღებულია მარჯვნიდან მარცხნივ (დაწნევა ხდება კამარის გარე ზედაპირზე), ხოლო φ არის k წერტილში ნორმალის კუთხე კამარის ღერძსა და \bar{Y} ღერძს შორის, დადებითია თუ მას გადავზომავთ Y ღერძის მიმართულებიდან \bar{X} ღერძის მხარეზე. \bar{X} და \bar{Y} ღერძების მიმართულებანი ნახაზზეა ნაჩვენები.

შემდეგ:

$$T = V \cos \varphi - H \sin \varphi - II \cos \varphi - Q \sin \varphi;$$

$$M = Z + Vx - Hy - M,$$

სადაც M არის Ck უბანზე მოღებული ყველა გარეძალის მომენტი, რომლისთვისაც დადებითი მიმართულება შეესაბამება მომენტის მიმართულებას II და Q ძალების დადებითი მიმართულებების შემთხვევაში (საათის ისრის მოწინააღმდეგედ k წერტილის მიმართ).

სწორედ ასევე ck_1 უბნისათვის იმის გათვალისწინებით, რომ $c_1 d_1$ კვეთს შეესაბამება უარყოფითი φ კუთხე და უარყოფითი x აბსცისა, აღვნიშნავთ აბსოლუტურ სიდიდეებს პირდაპირი ფრჩხილებით $|\varphi| = -\varphi$ და $|x| = -x$, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} N &= H \cos |\varphi| + V \sin |\varphi| + II_1 \sin |\varphi| - Q \cos |\varphi| = \\ &= H \cos \varphi - V \sin \varphi - II_1 \sin \varphi - Q \cos \varphi; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= V \cos |\varphi| - H \sin |\varphi| + II_1 \cos |\varphi| + Q \sin |\varphi| = \\ &= V \cos \varphi + H \sin \varphi + II_1 \cos \varphi - Q \sin \varphi; \end{aligned}$$

$$M = Z - I_1 |x| - Hy - M = Z + Vx - Hy - M.$$

ck და ck_1 უბნების N , T , M გამოხატულებების შედარებით, შევნიშნავთ, რომ ამა თუ იმ შემთხვევაში გამოხატულებანი მიიღებთან ერთი და იგივე, თუ ჩვენ მარცხენა მხარეში მივიღებთ II -სათვის სხვა ნიშანთა წესს, სახელდობრ თუ დადებითად მივიღებთ მიმართულებას ქვევიდან ზევით, მაშინ საბოლოოდ გვექნება:

$$\left. \begin{aligned} N &= H \cos \varphi - V \sin \varphi + II \sin \varphi - Q \cos \varphi \\ T &= H \sin \varphi + V \cos \varphi - II \cos \varphi - Q \sin \varphi \\ M &= Z - Hy + Vx - M \end{aligned} \right\} \quad (153)$$

ამასთან გავიმეორებთ, რომ ამ გამოხატულებებში II და Q წარმოადგენენ კლიტესა და განსახილველ კვეთებს შორის უბნებზე მოცემულ ვერტიკალურ

და ჰორიზონტალურ ძალების შესაბამის ჯამს, ხოლო M არის განსახილველი კვების ცენტრის მიმართ იმავე უბანზე მოდებული მოცემული ძალების მომენტის: დადებითი მიმართულება კამარის მარჯვენა და მარცხენა ნაწილისათვის—ნახაზის მიხედვით.

(153)-ე გამოხატულების ჩასმით (152)-ე განტოლებაში, მივიღებთ:

$$-\int (Z - Hy + Vx - M)y \frac{ds}{EJ} + \int (H \cos \varphi - V \sin \varphi + \Pi \sin \varphi - Q \cos \varphi) \cos \varphi \frac{ds}{EF} = 0;$$

$$\int (Z - Hy + Vx - M)x \frac{ds}{EJ} - \int (H \cos \varphi - V \sin \varphi + \Pi \sin \varphi - Q \cos \varphi) \sin \varphi \frac{ds}{EF} = 0;$$

$$\int (Z - Hy + Vx - M) \frac{ds}{EJ} = 0,$$

მასთან ინტეგრირება ვრცელდება კამარის ღერძის მთელ სიგრძეზე. ფრჩხილების გახსნით და E -ზე შეკვეცით მივიღებთ:

$$-Z \int \frac{y ds}{J} + H \int \frac{y^2 ds}{J} - V \int \frac{xy ds}{J} + \int \frac{My ds}{J} + H \int \frac{\cos^2 \varphi ds}{F} - V \int \frac{\sin \varphi \cos \varphi ds}{F} + \int \frac{\Pi \sin \varphi \cos \varphi ds}{F} - \int \frac{Q \cos^2 \varphi ds}{F} = 0;$$

$$Z \int \frac{x ds}{J} - H \int \frac{xy ds}{J} + V \int \frac{x^2 ds}{J} - \int \frac{Mx ds}{J} - H \int \frac{\cos \varphi \sin \varphi ds}{F} + V \int \frac{\sin^2 \varphi ds}{F} - \int \frac{\Pi \sin^2 \varphi ds}{F} + \int \frac{Q \cos \varphi \sin \varphi ds}{F} = 0$$

$$Z \int \frac{ds}{J} - H \int \frac{y ds}{J} + V \int \frac{x ds}{J} - \int \frac{M ds}{J} = 0.$$

იგივე შედეგები შეიძლება მიღებულ იქნენ § 53-მე-(18) ზოგადი გამოხატულების საფუძველზედაც, რომელიც ამ შემთხვევაში მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= \delta_{m1} + Z\delta_{11} + H\delta_{21} + V\delta_{31} = 0 \\ \delta_2 &= \delta_{m2} + Z\delta_{12} + H\delta_{22} + V\delta_{32} = 0 \\ \delta_3 &= \delta_{m3} + Z\delta_{13} + H\delta_{23} + V\delta_{33} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (154)$$

აქ δ_{m1} არის სტატიკურად რკვევად სისტემაზე (მიღებული ზედმეტი და-მაგრებების მოცილებით) მოცემული გარეძალებისაგან მოქმედი Z ძალის შე-

საბამისი გადაადგილება. მცირე სიმრუდის მრუდზე ღეროსათვის ჩვენ ცალკე განვიხილავთ ლუნვისა და კუმშვის გავლენას და შედეგებს შევკრებთ. ლუნვისგან გადაადგილებას აქვს შემდეგი ზოგადი გამოხატულება

$$\int \frac{M_m M_1 ds}{EJ} \quad . . (155)$$

კუმშვისგან გადაადგილება სასრულო სიგრძის სწორი ღეროს შემთხვევაში გამოიხატება ასე:

$$\sum \frac{N_m N_1 \cdot l}{EF} \quad . (156)$$

მოცემულ შემთხვევაში ჩვენ გვაქვს უსასრულოდ მცირე სწორი ელემენტების სისტემა. ამიტომ კუმშვისგან გადაადგილებისათვის მივიღებთ გამოხატულებას:

$$\int \frac{N_m N_1 ds}{EF},$$

აქედან

$$\delta_{m1} = \int \frac{M_m M_1 ds}{EJ} + \int \frac{N_m N_1 ds}{EF}.$$

ამის შესაბამისად:

$$\delta_{m2} = \int \frac{M_m M_2 ds}{EJ} + \int \frac{N_m N_2 ds}{EF},$$

$$\delta_{m3} = \int \frac{M_m M_3 ds}{EJ} + \int \frac{N_m N_3 ds}{EF},$$

$$\delta_{11} = \int \frac{M_1^2 ds}{EJ} + \int \frac{N_1^2 ds}{EF},$$

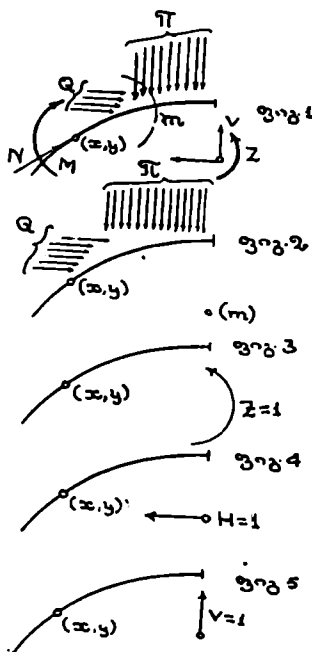
$$\delta_{21} = \int \frac{M_2 M_1 ds}{EJ} + \int \frac{N_2 N_1 ds}{EF},$$

$$\delta_{31} = \int \frac{M_3 M_1 ds}{EJ} + \int \frac{N_3 N_1 ds}{EF},$$

$$\delta_{22} = \int \frac{M_2^2 ds}{EJ} + \int \frac{N_2^2 ds}{EF},$$

$$\delta_{32} = \int \frac{M_3 M_2 ds}{EJ} + \int \frac{N_3 N_2 ds}{EF}.$$

. (157)



ნახ. 310.

საქიროა ჩავსვათ მლუნავი მომენტისა და გრძივი ძალების შემდეგი მნიშვნელობანი (ნახ. 310) მოცემული დატვირთვების მოქმედებისაგან:

$M_m = -M$ (M , Π და Q ძალების მომენტია),

$$N_m = \Pi \sin \varphi - Q \cos \varphi.$$

$Z = 1$ ძალის მოქმედებისაგან:

$$M_1 = 1; N_1 = 0.$$

$H = 1$ ძალის მოქმედებისაგან:

$$M_2 = -1 \cdot y; N_2 = 1 \cdot \cos \varphi.$$

$V = 1$ ძალის მოქმედებისაგან:

$$M_3 = 1 \cdot x; N_3 = -1 \cdot \sin \varphi.$$

ჩასმით მივიღებთ:

$$\delta_{m1} = - \int \frac{M ds}{EJ};$$

$$\delta_{m2} = + \int \frac{My ds}{EJ} + \int \frac{\Pi \sin \varphi \cos \varphi ds}{EF} - \int \frac{Q \cos^2 \varphi ds}{EF};$$

$$\delta_{m3} = - \int \frac{Mx ds}{EJ} - \int \frac{\Pi \sin^2 \varphi ds}{EF} + \int \frac{Q \cos \varphi \sin \varphi ds}{EF};$$

$$\delta_{11} = \int \frac{ds}{EJ};$$

$$\delta_{21} = - \int \frac{y ds}{EJ};$$

$$\delta_{31} = \int \frac{x ds}{EJ};$$

$$\delta_{22} = \int \frac{y^2 ds}{EJ} + \int \frac{\cos^2 \varphi ds}{EF};$$

$$\delta_{32} = - \int \frac{xy dx}{EJ} - \int \frac{\sin \varphi \cos \varphi ds}{EF};$$

$$\delta_{33} = - \int \frac{x^2 ds}{EJ} + \int \frac{\sin^2 \varphi ds}{EF}.$$

(154)-ში ჩასმით მივიღებთ განტოლებას:

$$\begin{aligned} & - \int \frac{M ds}{EJ} + Z \int \frac{ds}{EJ} - H \int \frac{y ds}{EJ} + V \int \frac{x ds}{EJ} = 0; \\ & \int \frac{My ds}{EJ} + \int \frac{\Pi \sin \varphi \cos \varphi ds}{EF} - \int \frac{Q \cos^2 \varphi ds}{EF} - Z \int \frac{y ds}{EJ} + \\ & + H \int \frac{y^2 ds}{EJ} + H \int \frac{\cos^2 \varphi ds}{EF} - V \int \frac{xy ds}{EJ} - V \int \frac{\sin \varphi \cos \varphi ds}{EF} = 0; \\ & - \int \frac{Mx ds}{EJ} - \int \frac{\Pi \sin^2 \varphi ds}{EF} + \int \frac{Q \cos \varphi \sin \varphi ds}{EF} + Z \int \frac{x ds}{EJ} - \\ & - H \int \frac{xy ds}{EJ} - H \int \frac{\sin \varphi \cos \varphi ds}{EF} + V \int \frac{x^2 ds}{EJ} + V \int \frac{\sin^2 \varphi ds}{EF} = C. \end{aligned}$$

E-ზე შეკვეცილ მივიღებთ იგივე განტოლებებს, რომლებიც მიღებულ იქნა საწყისი უმცირესი მუშაობის უშუალოდ გამოყენებით.

სიმეტრიული კამარისათვის, თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ \bar{Y} ღერძი არის სიმეტრიული ღერძი და \bar{X} ღერძი კი მისი პერპენდიკულარული, შევნიშნავთ, რომ ზოგიერთი ინტეგრალები გაუტოლდება ნულს, სახელდობრ:

$$\int \frac{x ds}{J}, \quad \int \frac{xy ds}{J}, \quad \int \frac{\sin \varphi \cos \varphi ds}{J}, \quad \int \frac{\sin \varphi \cos \varphi ds}{F}.$$

ამის გამო, რომ ინტეგრირება ვრცელდება კამარის მთელ სიგრძეზე, თითოეული ინტეგრალქვეშა გამოსახულება შეიძლება დაყოფილ იქნეს ორ თანამამრავლად:

$$x \left(\frac{ds}{J} \right), \quad x \left(\frac{y ds}{J} \right), \quad \sin \varphi \left(\frac{\cos \varphi ds}{J} \right),$$

რომელთაგანაც ორი ნებისმიერი კამარის ელემენტისათვის, ტოლია და სიმეტრიულად განლაგებულია კამარის სიმეტრიის ღერძის მიმართ; მეორე მამრავლები ერთმანეთის ტოლია ნიშნითა და სიდიდით, ხოლო პირველი მამრავლები სიდიდით ტოლებია, ნიშნებით კი მოწინააღმდეგე, რადგანაც x და $\sin \varphi$ კამარის მარჯვენა ნაწილისათვის დადებითია, ხოლო მარცხენასათვის კი უარყოფითი ($\cos \varphi$, კუთხის ნიშნის ცვლილებით არ იცვლება). მაშასადამე, შეჯამებისას (ინტეგრირებით) შესაკრებები, რომლებიც ეკუთვნიან ორ ტოლ და სიმეტრიულად განლაგებულ y ღერძის მიმართ კამარის ელემენტებს წყვილ-წყვილად გაუტოლდებიან ნულს და ჯამი (ინტეგრალი) ტოლი იქნება ნულის.

განტოლება ჩვენ შეგვიძლია უფრო გავამარტივოდ თუ გავიხსენებთ, რომ კოორდინატების სათავე O შერჩეულ იქნა სრულიად ნებისმიერად სიმეტრიის ღერძზე. ამ მდგომარეობით ვსარგებლობთ კიდევ ერთი ინტეგრალის ნულთან გატოლებისათვის. სახელდობრ $\int y \frac{ds}{J}$, რის შემდეგაც უცნობები ადვილად განისაზღვრებიან.

გავატაროთ (ნახ. 311) კლიტის კვეთის ცენტრის C წერტილზე კოორდინატთა u და w ღერძები. გადაწყვანი ფორმულები იქნებიან შემდეგი:

$$x = u, \quad y = y_0 - w,$$

აქედან:

$$\int \frac{y ds}{J} = \int \frac{(y_0 - w) ds}{J} = y_0 \int \frac{ds}{J} - \int w \frac{ds}{J}.$$

ნულთან გატოლებით მივიღებთ:

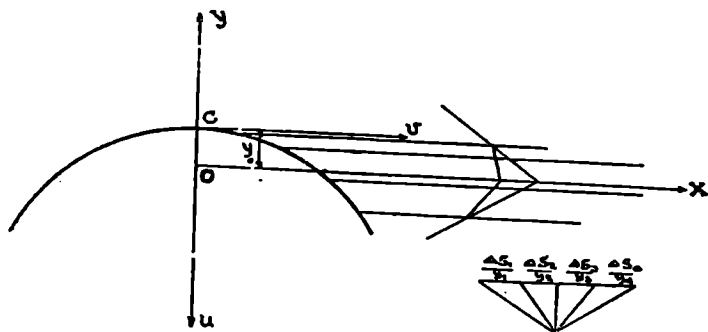
$$y_0 = \frac{\int w \frac{ds}{J}}{\int \frac{ds}{J}} \quad (158)$$

ინტეგრირება ვრცელდება კამარის ღერძის მთელ სიგრძეზე, მაგრამ სი-
მეტრიულობის გამო შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\frac{\int_{\frac{x}{2}}^x \frac{w ds}{J}}{\int_{\frac{x}{2}}^x \frac{ds}{J}} = \frac{2 \int_{\frac{x}{2}}^x \frac{w ds}{J}}{2 \int_{\frac{x}{2}}^x \frac{ds}{J}} = \frac{\int_{\frac{x}{2}}^x \frac{w ds}{J}}{\int_{\frac{x}{2}}^x \frac{ds}{J}},$$

ე. ი. ინტეგრირება შეგვიძლია კამარის ნახევრის საზღვ-
რებში.

ახალი კოორდინატთა სათავე შეიძლება განვსაზღვროთ გრაფიკულად-
წარმოვიდგინოთ კამარის ღერძი ცვლადი წონის მქონე ძაფად, რომლის ვრ-
თელი სიგრძე იწონის $\frac{1}{J}$, მაშინ ძაფის მთლიანი წონა ეტოლება $\int \frac{ds}{J}$,
ხოლო წონის სტატიკური მომენტი \bar{x} ღერძის მიმართ $\int \frac{y ds}{J}$. ამგვარად,
ნითითებული ინტეგრალი ნულის ტოლი იქნება იმ შემთხვევაში, როდესაც \bar{x}



ნახ. 311.

ღერძი ცენტრალურია და \bar{x} ღერძის მდებარეობა (ან კოორდინატის სათავე O)
განიზღვრება, როგორც ცენტრალური ღერძის მდებარეობა, თოკის შრულის
აგებით ჰორიზონტალური ძალებისათვის $\frac{\Delta S_1}{J_1}$, $\frac{\Delta S_2}{J_2}$ და ა. შ. (ნახ. 311).

O წერტილი ჩვეულებრივ იწოდება დრეკად ცენტრად.

ამგვარად, კოორდინატთა სათავეს შესაბამისი შერჩევით კამარის სიმეტ-
რიის ღერძზე და \bar{y} ღერძის სიმეტრიის ღერძად მიღებით, ხოლო \bar{x} ღერძის
ნისს პერპენდიკულარულად, მივიღებთ:

$$\int \frac{y ds}{J} = 0, \quad \int \frac{x ds}{J} = 0, \quad \int \frac{yx ds}{J} = 0, \quad \int \frac{\sin \varphi \cos \varphi ds}{F} = 0,$$

$$\int \frac{\sin \varphi \cos \varphi ds}{F} = 0,$$

და განტოლება სტატიკურად ურყევად სიდიდის განსაზღვრისათვის მიიღებს სახეს:

$$\left. \begin{aligned} H \int y^2 \frac{ds}{J} + \int \frac{My ds}{J} + H \int \frac{\cos^2 \varphi ds}{F} + \int \frac{\Pi \sin \varphi \cos \varphi ds}{F} - \\ - \int \frac{Q \cos^2 \varphi ds}{F} = 0, \\ V \int \frac{x^2 ds}{J} - \int \frac{Mx ds}{J} + V \int \frac{\sin^2 \varphi ds}{F} - \int \frac{\Pi \sin^2 \varphi ds}{F} + \\ + \int \frac{Q \cos \varphi \sin \varphi ds}{F} = 0, \\ Z \int \frac{ds}{J} - \int \frac{M ds}{J} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (159)$$

აღიღალ შევამჩნევთ, რომ Z , H და V უცნობები განტოლებად და მათი გამორიცხვა არ დაგვიძირდება. Z , H და V მიმართ გადაწყვეტილ მიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} Z &= \frac{\int M \frac{ds}{J}}{\int \frac{ds}{J}}, \\ H &= \frac{\int My \frac{ds}{J} + \int \Pi \sin \varphi \cos \varphi \frac{ds}{F} - \int Q \cos^2 \varphi \frac{ds}{F}}{\int y^2 \frac{ds}{J} + \int \frac{\cos^2 \varphi ds}{F}}, \\ V &= \frac{\int Mx \frac{ds}{J} + \int \Pi \sin^2 \varphi \frac{ds}{F} - \int Q \cos \varphi \sin \varphi \frac{ds}{F}}{\int \frac{x^2 ds}{J} + \int \frac{\sin^2 \varphi ds}{F}} \end{aligned} \right\} \quad (160)$$

ეს არის ზოგადი ფორმულები სიმეტრიული კამარებისათვის, ინტეგრირება ვრცელდება კამარის ღერძის მთელ სიგრძეზე.

კერძო შემთხვევები:

1) კამარაზე მოქმედებს მხოლოდ ვერტიკალური დატვირთვა. თუ დაუშვებთ, რომ $Q = 0$, მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} Z &= \frac{\int M \frac{ds}{J}}{\int \frac{ds}{J}}; & H &= - \frac{\int My \frac{ds}{J} + \int \Pi \sin \varphi \cos \varphi \frac{ds}{F}}{\int y^2 \frac{ds}{J} + \int \frac{\cos^2 \varphi ds}{F}} \\ Y &= \frac{\int Mx \frac{ds}{J} + \int \Pi \sin^2 \varphi \frac{ds}{F}}{\int x^2 \frac{ds}{J} + \int \sin^2 \varphi \frac{ds}{F}} \end{aligned} \right\} \quad (161)$$

2) ცალკე გაითვალისწინება ჰორიზონტალური დატვირთვის გავლენა. თუ დაუშვებთ $\Pi = 0$, მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} Z &= \frac{\int M \frac{ds}{J}}{\int \frac{ds}{J}}, & H &= - \frac{\int My \frac{ds}{J} - \int Q \cos^2 \varphi \frac{ds}{F}}{\int y^2 \frac{ds}{J} + \int \cos^2 \varphi \frac{ds}{F}} \\ Y &= \frac{\int Mx \frac{ds}{J} - \int Q \cos \varphi \sin \varphi \frac{ds}{F}}{\int \frac{ds}{J} + \int \sin^2 \varphi \frac{ds}{F}} \end{aligned} \right\} \quad (162)$$

3) კამარაზე მოქმედებს ვერტიკალური სიმეტრიული დატვირთვა. (161)-ე ფორმულებში მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ კამარის მარჯვენა და მარცხენა ნაწილების (AC და CB) სიმეტრიულად განლაგებულ წერტილებში, M მნიშვნელობები სიდიდით და ნიშნით იქნებიან ერთი და იგივე, ხოლო Π კი იქნება სიდიდით ტოლი და ნიშნით საწინააღმდეგო (Π ნიშნების სხვადასხვა წესის გამო). ასეთ შემთხვევაში მივიღებთ:

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \Pi \sin \varphi \cos \varphi \frac{ds}{F} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \Pi \sin \varphi \cos \varphi \frac{ds}{F} +$$

$$+ \int_0^{\frac{\pi}{2}} (-\Pi)(-\sin \varphi) \cos \varphi \frac{ds}{F} = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \Pi \sin \varphi \cos \varphi \frac{ds}{F},$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} Mx \frac{ds}{J} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} Mx \frac{ds}{J} + \int_0^{\frac{\pi}{2}} M(-x) \frac{ds}{J} = 0,$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \Pi \sin^2 \varphi \frac{ds}{F} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \Pi \sin^2 \varphi \frac{ds}{F} + \int_0^{\frac{\pi}{2}} -(\Pi) \sin^2 \varphi \frac{ds}{F} = 0.$$

დანარჩენ ინტეგრალებისათვის შეგვიძლია დავეყვაროთ იმდეთ კამარის ნახევრის ინტეგრირებით და შედეგების 2-ზე გამრავლებით, რადგანაც ინტეგრალქვეშა გამოსახულებები კამარის მარცხენა და მარჯვენა ნაწილების წერტილებისათვის შესაბამისად ტოლია ნიშნებით და სიდიდებით. (161)-ში ჩასმით და 2-ზე შეკვეცით მივიღებთ:

$$Z = \frac{\int_0^{\frac{s}{2}} M \frac{ds}{J}}{\int_0^{\frac{s}{2}} \frac{ds}{J}}; \quad V = 0; \quad H = - \frac{\int_0^{\frac{s}{2}} My \frac{ds}{J} + \int_0^{\frac{s}{2}} \Pi \sin \varphi \cos \varphi \frac{ds}{F}}{\int_0^{\frac{s}{2}} y^2 \frac{ds}{J} + \int_0^{\frac{s}{2}} \cos^2 \varphi \frac{ds}{F}}. \quad (163)$$

4) ცალკე განიხილება სიმეტრიული ჰორიზონტალური დატვირთვების გავლენა. მარჯვენა და მარცხენა ნაწილების სიმეტრიულ წერტილებში Q მნიშვნელობანი ტოლია სიდიდით და ნიშნით. ამიტომ:

$$\int_0^{\frac{s}{2}} Q \cos^2 \varphi \frac{ds}{F} = 2 \int_0^{\frac{s}{2}} Q \cos^2 \varphi \frac{ds}{F};$$

$$\int_x^{\frac{s}{2}} Q \cos \varphi \sin \varphi \frac{ds}{F} = \int_0^{\frac{s}{2}} Q \cos \varphi \sin \varphi \frac{ds}{F} + \int_0^{\frac{s}{2}} Q \cos \varphi (-\sin \varphi) \frac{ds}{F} = 0.$$

(162)-ში ჩასმით მივიღებთ:

$$Z = \frac{\int_0^{\frac{s}{2}} M \frac{ds}{J}}{\int_0^{\frac{s}{2}} \frac{ds}{J}}; \quad H = - \frac{\int_0^{\frac{s}{2}} My \frac{ds}{J} - \int_0^{\frac{s}{2}} Q \cos^2 \varphi \frac{ds}{F}}{\int_0^{\frac{s}{2}} y^2 \frac{ds}{J} + \int_0^{\frac{s}{2}} \cos^2 \varphi \frac{ds}{F}}; \quad V = 0 \quad (164)$$

ინტეგრირება რთულდება მით, რომ დამოკიდებულებანი $x, y, \varphi, s, J, F, M, Q, \Pi$ შორის მეტად რთულია და მხოლოდ სხედასხვა უბრალო შემთხვევაში თანაბარკვეთიან პარაბოლურ და წრიულ კამარებისათვის ინტეგრალები აიღება. მარტივად. უფრო ხშირად ინტეგრირება საჭიროა შეიცვალოს შეჯამებით: კამარის ღერძის ხაზი დაიყოფა რამდენიმე ნაწილად, ყოველი დანაყოფის წერტილში გაივლება ღერძის ნორმალური კვეთები და განისაზღვრება ყველა ცვლადი, რომლებიც შედიან ინტეგრალქვეშა გამოსახულებაში. შემდეგ, ერთ-ერთი მიახლოებითი ინტეგრირების ფორმულით განისაზღვრება ინტეგრალის მნიშვნელობა.

როდესაც განსაზღვრულია H, V, Z ზედმეტი უცნობები, შეუდგებიან სხვადასხვა კვეთში N, T, M შიგაძალების განსაზღვრას 153-ე ფორმულებით, რის შემდეგაც ხდება კვეთის შემოწმება უდიდეს ძაბვაზე. ნორმალური ძაბვები კვეთის კიდურა ბოკკოებისათვის განისაზღვრებიან ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} \text{Max } \sigma &= \frac{N}{F} + \left| \frac{M}{W} \right| = \frac{N}{e} + \left| \frac{6M}{bh^2} \right| \\ \text{Min } \sigma &= \frac{N}{F} - \left| \frac{M}{W} \right| = \frac{N}{e} - \left| \frac{6M}{bh^2} \right| \end{aligned} \right\} \quad . (165)$$

თუ $\text{Min } \sigma < 0$ (გაკიშვა) ეს ნიშნავს, რომ შესაბამის კვეთებში შიგაძალების ხაზი გამოვიდა კვეთის შუა მესამედის საზღვრებიდან.

§ 104. კამარის ანალიზურად გაანგარიშების მსვლელობა

წინასწარ შეარჩევენ კამარის ლერძის ხელსაყრელ მოხაზულობას, კლიტეში და ქუსლებში სისქეებს და კამარის შიგა და გარე ზედაპირების მოხაზულობას. ამის შემდეგ ლერძის ხაზს დაყოფენ ტოლ ნაწილებად, მივიღებთ კამარის სოლებს, რომლებსთვისაც განვსაზღვრავთ მათზე მოქმედ მუდმივ და დროებით ძალებს. განვსაზღვრავთ ძაბვებს ნაკერებში ცალკე მუდმივ და ცალკე დროებით დატვირთებისაგან მათი სხვადასხვა სახით მოქმედებების შემთხვევისათვის (ცალმხრივი ან მთელ მალზე) და შედეგების ცხრილში მოთავსებით გამოვარკვევთ არახელსაყრელ შემთხვევებს და უდიდეს ძაბვებს თითოეულ ნაკერისათვის.

§ 105. კამარის ანალიზურად გაანგარიშების მაგალითი

საანგარიშო მალი $l = 21$ მ.

აწეულობის ისარი $f = 6,6$ მ.

კამარის სიგანე $4,8$ მ.

წინასწარ შერჩეული კამარის ლერძის ხაზის მოხაზულობა, კლიტეში და ქუსლებში სისქეები და კამარის გარე და შიგა მოხაზულობანი, $e_0 = 0,90$ მ., $e_1 = 1,40$ მ.

1 მ² კამარის წყობის წონა 2200 კგ.

1 მ² კამარაზე მდებარე ნაწილის წონა 2000 კგ.

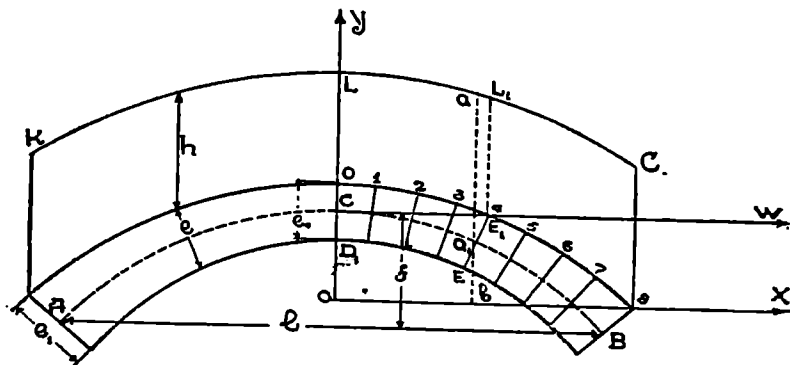
ამგვარად, კამარაზე მდებარე ნაწილის დაწოლა კამარის ზედაპირის ჰორიზონტალური პროექციის ერთეულზე ტოლია 2000 h' , (სადაც h' არის ნოცემულ წერტილში კამარაზე მდებარე ნაწილების ნამდვილი სიმაღლე), რომელიც ეკვივალენტურია კამარის მასალის წონის $h = \frac{2000 h'}{2200} = 0,91 h'$ სიმაღლის.

აქ h დაყვანილი სიმაღლეა. ამგვარად, კამარაზე მდებარე ნაწილების კამარის მასალისადმი დაყვანისათვის საჭიროა ნამდვილი სიმაღლეების ნაცვლად გადავზომოთ, შესაბამის წერტილებში, დაყვანილი სიმაღლეები, რომლებიც ტოლი იქნებიან 0,91 ნამდვილის. შედეგად ნახაზზე მივიღებთ KLG ხაზს (იხ. ნახ. 312).

განგარიშებისათვის კამარა დაყოფილია $\Delta S=1,638$ ტოლი სიგრძეების 8 სოლად.

1. მუდმივ ტვირთზე გაანგარიშება.

კოორდინატა O სათაის მდებარეობა განისაზღვრება (158) ფორმულით:



ნახ. 312.

$$y_0 = \frac{\int_0^{\frac{l}{2}} z w \frac{ds}{J}}{\int_0^{\frac{l}{2}} \frac{ds}{J}} = \frac{\Delta s \sum \frac{w}{J}}{\Delta s \sum \frac{1}{J}} = \frac{\sum \frac{w}{J}}{\sum \frac{1}{J}} \quad (166)$$

ზედმეტი უცნობები განიზღვრებიან (163)-ე ფორმულით:

$$Z = \frac{\int_0^{\frac{l}{2}} M \frac{ds}{J}}{\int_0^{\frac{l}{2}} \frac{ds}{J}} = \frac{\sum M}{\sum \frac{1}{J}}; \quad H = - \frac{\sum M \frac{y}{J} + \sum \Pi \sin \varphi \cos \varphi \frac{1}{F}}{\sum \frac{y^2}{J} + \sum \frac{\cos^2 \varphi}{F}} \quad (167)$$

$$V = 0.$$

შეჯამება (Σ) საკუთრა ვაწარმოთ მიახლოებითი ინტეგრირების ფორმულით.

შეგზრდეთ მარტივ ტრაპეციის ფორმულაზე:

$$\sum y_i = \frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + \frac{y_n}{2} \quad (168)$$

ზედმეტი უცნობების განსაზღვრით, ჩავსვამთ მათ (153)-ე ფორმულაში, რის შემდეგაც (165)-ე ფორმულით განესაზღვრავთ ნაკერებში უღიდეს ძაბვებს.

№ 1 ცხრილის განმარტება

∴—ორდინატები არიან მანძილები კამარის ლერძის ხაზის დაყოფის წერტილებიდან, კლიტის კვეთის ცენტრზე გავლებულ \bar{U} ჰორიზონტალურ ღერძამდე, რომლებიც განიზღვრებიან უბრალოდ ნახაზიდან—გაზომვით მსხვილი მასშტაბით. ასევე განიზღვრებიან სისქეები ნაკერებშიც. ინერციის მომენტი $J = \frac{4,8 e^3}{12}$.

(168)-ე ფორმულის თანახმად ორი უკანასკნელი სვეტის შეჯამებისას პირველი და უკანასკნელი სტრიქონების მნიშვნელობები უნდა გაიყოს 2-ზე.

γ_0 სიდიდე განსაზღვრავს O წერტილის მდებარეობას, რომელზედაც გადავიტანთ კოორდინატთა სათავეს.

ცხრილი № 1 γ_0 განსაზღვრისათვის

ნაკერის №	(წებრი)	კამარის სისქე e მეტრი	ინერციის მომენტი J	$\frac{1}{J}$	$w \cdot \frac{1}{J}$	შ ე ნ ი შ ვ ნ ა
0	0	0,90	0,292	3,43	0	$\gamma_0 = \frac{\sum w}{\sum \frac{1}{J}} = \frac{28,0}{17,7} = 1,58 \text{ ტ.}$
1	0,114	0,92	0,311	3,21	0,37	
2	0,456	0,94	0,332	3,01	1,37	
3	1,017	0,93	0,377	2,63	2,70	
4	1,737	1,04	0,40	2,22	3,97	
5	2,751	1,11	0,547	1,83	5,03	
6	3,890	1,20	0,691	1,45	5,63	
7	5,161	1,30	0,879	1,14	5,90	
8	6,600	1,40	1,098	0,91	6,01	
				$\Sigma = 17,7$	28,0	

№ 2 ცხრილის განმარტება

x აბსცისა განისაზღვრება ნახაზზე გაზომვით; ასევე $\sin \varphi$ და $\cos \varphi$. კვეთის ფართი $F = 4,8e$. ვერტიკალური ძალების ჯამი კლიტეს და განსახილველ კვეთს შორის უღრის შესაბამის ქვის პრიზმის მოცულობას გამრავლებულს წყობის ერთეული მოცულობის წონაზე (2200 კგ/მ³). მაგალითად № 4 ნაკერისათვის $\Pi = 2200 \cdot (\text{ფართ } LL_1E_1ED) \cdot 4,8$, საიდანაც $\frac{\Pi}{2200} = (\text{ფართ } LL_1E_1ED) \cdot 4,8$. ფიგურის ფართი განისაზღვრება ნახაზის მიხედვით. სწორედ ასევე განისაზღ-

კრება იგივე პრიზმის წონის M მომენტი განსახილველი კვეთის ცენტრის მიმართ, მაგალითად № 4 კვეთისავეს $M = 2200 \cdot 4,8 \cdot S$, საიდანაც $\frac{M}{2200} = 4,8 S$, აადაც S არის LL_1EE_1D ფართის სტატიკური მომენტი ab სწორის მიმართ. შეჯამებას აწარმოებენ (166)-ე ფორმულის მიხედვით.

№ 1 და № 2 ცხრილებიდან შედეგების ჩასმით (163)-ე ფორმულაში მივიღებთ:

ცხრილი № 2 ზედმეტი უცნობების განსაზღვრისათვის

კვეთის №	x	$y = y_0 - If$ (θ)	$\sin \varphi$	$\cos \varphi$	f (θ°)	$\frac{1}{y \cdot J}$	$\frac{1}{y^2 \cdot J}$	$\frac{\cos \varphi \sin \varphi}{f}$	$\frac{\cos^2 \varphi}{f}$	$\frac{II}{2200}$ (θ^2)	$\frac{M}{2200}$ (θ^2)	$\frac{1}{J}$ $\frac{M}{2200} \cdot \frac{1}{J}$	$\frac{y}{J}$ $\frac{M}{2200} \cdot \frac{y}{J}$	$\frac{II \sin \varphi \cos \varphi}{2200}$ $\frac{M}{2200} \cdot \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{f}$
0	0	+1,58	0	1	4,32	+5,43	8,59	0	0,232	0	0	0	0	0
1	1,63	+1,47	0,140	0,990	4,42	+4,71	6,92	0,0313	0,222	11,90	11,75	37,7	+ 55,4	0,47
2	3,23	+1,13	0,277	0,961	4,51	+3,39	3,82	0,0593	0,205	31,34	47,85	144,0	+ 162,3	1,85
3	4,76	+0,57	0,409	0,913	4,70	+1,50	0,85	0,0793	0,177	50,91	108,88	289,1	+ 163,6	4,04
4	6,20	-0,20	0,532	0,847	4,99	-0,45	0,09	0,0902	0,144	74,61	195,27	433,9	- 89,7	6,73
5	7,52	-1,17	0,615	0,764	5,43	-2,14	2,50	0,0925	0,109	103,16	305,80	558,9	- 653,1	9,54
6	8,69	-2,31	0,746	0,666	5,76	-3,34	7,70	0,0362	0,077	136,18	435,82	630,5	-1455,0	11,74
7	9,69	-3,60	0,832	0,555	6,24	-4,10	14,74	0,0740	0,049	172,61	576,55	656,0	-2361,0	12,77
1050	-5,02	0,901	0,433	0,913	6,72	-4,57	22,94	0,0581	0,028	210,43	715,42	651,8	-3270,0	12,23
						$\Sigma = 51,6$		$\Sigma = 1,11$				$\Sigma = 3080$	5765	53,4

$$Z = \frac{\sum \frac{M}{J}}{\sum \frac{1}{J}} = 2200 \frac{\sum \frac{M}{2200} \cdot \frac{1}{J}}{\sum \frac{1}{J}} = \frac{2200 \cdot 3080}{17,7} = 383000 \text{ კმ. მ.}$$

$$H = - \frac{\sum M \frac{y}{J} + \sum II \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{f}}{\sum \frac{y^2}{J} + \sum \frac{\cos^2 \varphi}{f}} = -2200 \cdot \frac{-5765 + 534}{51,6 + 1,11} =$$

$$= 2200 \frac{5712}{52,7} = 238500 \text{ კმ.}$$

ნაკერის №	$H \cos \varphi$	$H \sin \varphi$	$N = H \cos \varphi + P \sin \varphi$	$-Hv$	$-M$	$M = Z - Hy - M$	$W = \frac{J}{r^2}$	$\frac{N}{F}$	$\frac{M}{W}$	ძაბვა σ	
	(გზ.)	(გზ.)	(გზ.)			(გზ. გ.)		(გზ./სმ ²)	(გზ./სმ ²)	გარე ბოკა.	შიგა ბოკა.
0	238500	0	238500	- 377000	0	+ 6000	0,65	5,5	+0,9	+6,4	+4,6
1	236000	5800	241000	- 350000	- 26000	+ 7000	0,68	5,45	+1,01	+6,5	+4,5
2	229000	19100	248000	- 269000	- 105000	+ 9000	0,71	5,5	+1,3	+6,8	+4,2
3	218000	45800	264000	- 135000	- 240000	+ 8000	0,77	5,6	+1,0	+6,6	+4,6
4	202000	87400	289000	+ 49000	- 430000	+ 2000	0,87	5,8	+0,2	+6,0	+5,9
5	182000	146500	328500	+ 279000	- 673000	+11000	0,99	6,2	-1,1	+5,1	+7,3
6	159000	223500	382500	+ 550000	- 959000	-26000	1,15	6,6	-2,3	+4,3	+8,9
7	132300	316000	448500	+ 858000	-1260000	-27000	1,35	7,2	-2,0	+5,2	+9,2
8	103500	417000	520500	+1197000	-1574000	- 6000	1,57	7,75	-0,4	+7,4	+8,5

№ 3. ცხრილის განმარტება

II $\sin \varphi$ და M სვეტების შესასვებად ვსარგებლობთ № 2 ცხრილით.

$$II \sin \varphi = 2200 \cdot \left(\frac{II}{2200} \right) \cdot \sin \varphi;$$

$$-M = -2200 \cdot \left(\frac{M}{2200} \right).$$

ძაბვები კიდურა ბოკოებში:

გარეთ:

$$\sigma_o = \frac{N}{F} + \frac{M}{W}.$$

შიგნით:

$$\sigma_u = \frac{N}{F} - \frac{M}{W}.$$

კამარის მარცხენა ნახევრის ნაკერებში ძაბვები არიან იგივე, როგორც კამარის მარჯვენა ნახევრის შესაბამის ნაკერებში.

II. ნახევარ კამარის გაანგარიშება დროებით დატვირთვაზე.

მოცემულია დროებითი დატვირთვა 2,25 ტონა პორიზონტალური ზედაპირის მ²-ზე. შესაბამისი დაყვანილი სიმაღლე:

$$\frac{2,25}{2,20} = 1,02 \text{ მ.}$$

დროებითი ცალმხრივი დატვირთვის მოქმედება განვიხილოთ ცალკე ნუმივისაგან. არასიმეტრიული დატვირთვის გამო ინტეგრირება გავრცელდება კამარის ღერძის ხაზის მთელ სიგრძეზე. ჯამი, გავრცელებული მთელ სიგრძეზე აღნიშნოთ Σ_0 განსხვავებული Σ ჯამისაგან, რომელიც ვრცელდება ოღა ნახევარ სიგრძეზე.

(161)-ე ფორმულის გამოყენებით და იმის გამო, რომ კამარის მარჯვენა და ნარტყენა ნაწილები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან მხოლოდ x და $\sin \varphi$ -ით, და რადგან დატვირთვის უქონლობის გამო მარტყენა ნაწილში M და Π უდრის ნულს, მივიღებთ:

$$Z = \frac{\int M \frac{ds}{J}}{\int \frac{ds}{J}} = \frac{\sum_0 M \frac{1}{J}}{\sum_0 \frac{1}{J}} = \frac{\sum M \frac{1}{J}}{2 \sum \frac{1}{J}};$$

$$H = - \frac{\int My \frac{ds}{J} + \int \Pi \sin \varphi \cos \varphi \frac{ds}{F}}{\int y^2 \frac{ds}{J} + \int \cos^2 \varphi \frac{ds}{F}} = -$$

$$\frac{\sum_0 My \frac{1}{J} + \sum_0 \Pi \sin \varphi \cos \varphi \frac{1}{F}}{\sum_0 y^2 \frac{1}{J} + \sum_0 \cos^2 \varphi \frac{1}{F}} = - \frac{\sum My \frac{1}{J} + \sum \Pi \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{F}}{2 \left(\sum y^2 \frac{1}{J} + \sum \frac{\cos^2 \varphi}{F} \right)};$$

$$= - \frac{\int Mx \frac{ds}{J} + \int \Pi \sin^2 \varphi \frac{ds}{F}}{\int x^2 \frac{ds}{J} + \int \sin^2 \varphi \frac{ds}{F}} = - \frac{\sum_0 Mx \frac{1}{J} + \sum_0 \Pi \frac{\sin^2 \varphi}{F}}{\sum_0 x^2 \frac{1}{J} + \sum_0 \frac{\sin^2 \varphi}{F}} =$$

$$= - \frac{\sum Mx \frac{1}{J} + \sum \Pi \frac{\sin^2 \varphi}{F}}{2 \left(\sum x^2 \frac{1}{J} + \sum \frac{\sin^2 \varphi}{F} \right)}.$$

ცხრილი № 4

Z , H და V განსაზღვრებისათვის ცალმხრივი დროებით დატვირთვისაგან

ნაწილის № 1	დატვირთული ნაწილის სიგრძე l (მ)	$\frac{H}{2200} = 4,8 \frac{1,02 l}{(მ^2)}$	შარი γ (მ)	$\frac{M}{2200} = \frac{H}{2200} \gamma$	$\frac{\sin^2 \varphi}{F}$	$\frac{1}{J} x$	$\frac{1}{J} x^2$	$\frac{H}{2200} \cdot \frac{\sin^2 \varphi}{F}$	$\frac{H}{2200} \cdot \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{F}$	$\frac{M}{2200} \cdot \frac{x}{J}$	$\frac{M}{2200} \cdot \frac{\gamma}{J}$	$\frac{M}{2200} \cdot \frac{1}{J}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1.695	8,31	0,78	0,78	0,004	5,23	8,5	0,036	0,26	34	+	31
2	3,355	16,44	1,55	25,5	0,017	9,71	81,3	0,279	0,97	247	+	86
3	4,970	24,36	2,28	55,4	0,035	12,64	60,2	0,864	1,93	701	+	83
4	6,485	31,78	2,96	94,0	0,057	13,78	85,4	5,802	2,87	1291	-	43
5	7,890	38,67	3,57	138,2	0,078	13,74	103,3	3,023	3,58	1900	-	295
6	9,150	44,84	4,11	181,5	0,097	12,57	109,3	4,331	3,86	2320	-	616
7	10,24	50,19	4,67	229,4	0,111	11,03	106,8	5,565	3,71	2529	-	939
8	11,13	54,55	4,94	269,2	0,120	9,57	100,5	6,589	3,17	2575	-	1231
				$\Sigma = 0,459$			556	19,2	18,6	10320	-	2320
												1360

№ 4 ცხრილის განმარტება

λ და ν მნიშვნელობებზე, ნახ. 313-ის მიხედვით, განიზღვრებიან ფორმულებით

$$\lambda = x + \frac{e}{2} \sin \varphi; \quad \nu = x - \frac{\lambda}{2}.$$

ძალების ჯამი კლიტესა და განსახილველ კვეთებს შორის იქნება

$$\Pi = 2200 \cdot 1,02 \cdot 4,8 \cdot \lambda,$$

საიდანაც

$$\frac{\Pi}{2200} = 1,02 \cdot 4,8 \cdot \lambda.$$

ცხრილი № 5. ძაბვები ცალმხრივი დროებითი დატვირთვისაგან
(153-168 ფორ.)

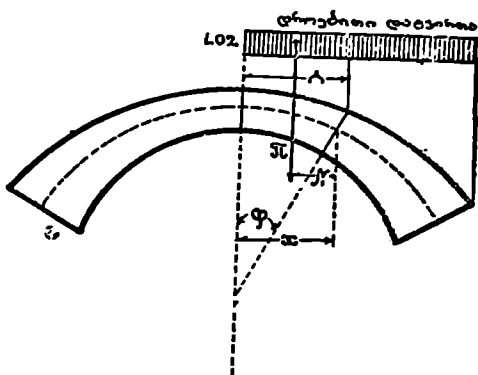
H cos φ	V sin φ	H sin φ	N (კგ)	-Hy	+Vx	-M	M (კგ. მ.)	N/F კგ/სმ²	M/W	ძაბვები : (კგ/სმ²)	
										გარე ბოჭკა	შიგა ბოჭკა
47520	0	0	47520	- 75100	0	0	+ 9400	1,10	+1,15	+2,5	-0,35
47000	- 2860	2560	46700	- 69900	+ 33300	- 14300	+ 33600	1,06	+4,96	+6,0	-3,1
45700	- 5660	10000	50000	- 53700	+ 63900	- 56100	+ 38600	1,11	+5,44	+6,6	-4,3
43400	- 8340	21920	57000	- 27100	+ 97100	-121900	+ 32600	1,21	+4,23	+5,4	-3,0
40300	-12800	37200	64700	+ 9500	+ 26500	-206800	+ 13700	1,30	+1,58	+2,9	-0,3
36300	-13200	54900	78000	+ 55600	+153400	- 30400	- 10500	1,46	-1,06	+0,4	+2,5
31700	-15200	73600	90100	+109800	+177300	-405900	- 34300	1,56	-3,00	-1,4	+4,6
26400	-17300	91900	110300	+171100	+197700	-504700	- 51400	1,62	-3,80	-2,2	+5,4
20600	-18400	108100	49900	+238600	+214200	- 59200	- 54900	1,64	-3,50	-1,9	+5,1
47000	+ 2860	0	51400	- 69900	- 33000	0	- 18700	1,13	-2,75	-1,6	+3,9
45700	+ 5660	0	51700	- 53700	- 63900	0	- 33100	1,14	-4,66	-3,5	+5,8
43400	+ 8340	0	53100	- 27100	- 97100	0	- 39700	1,10	-5,16	-4,1	+6,3
40300	+12800	0	49500	+ 9500	-126500	0	- 32500	1,06	-3,74	-2,7	+4,8
36300	+13160	0	46900	+ 55600	-153400	0	- 13900	0,93	-1,34	-0,4	+2,3
31700	+15220	0	43400	+109800	-177300	0	+ 17000	0,81	+1,48	+2,3	-0,7
26400	+17300	0	39000	+171100	-197700	0	+ 57900	0,60	+4,29	+5,0	-3,6
20600	+18400	0		+238600	-214200	0	+108900	0,58	+6,93	+7,5	-6,35

ჩვეუ ძალების მომენტი განსახილველი კვეთის ცენტრის მიმართ M = Π ν, საიდანაც

$$\frac{M}{2200} = \frac{\Pi}{2200} \nu.$$

დანარჩენი ზემოთქმული ცხრილის საფუძველზე. შეჯამება—(168)-ე ფორმულით.

წინა და № 4 ცხრილებიდან შედეგების (161)-ე ფორმულაში ჩასმით, შივილებთ:



ნახ. 313.

$$Z = \frac{2200 \cdot 1360}{2 \cdot 17,7} = 84500 \text{ კმ. მ.}$$

$$H = -2200 \frac{-2300 + 18,8}{2(51,6 + 1,11)} = +47520 \text{ კმ.}$$

$$V = 2200 \frac{10320 + 19,2}{2(556 + 0,459)} = 20400 \text{ კმ.}$$

№ 5 ცხრილის განმარტება

კამარის მარჯვენა ნახევრისათვის $\cos \varphi$, $\sin \varphi$, x და y მნიშვნელობები აიღება № 2 ცხრილიდან, ხოლო მარცხენასათვის ეს მნიშვნელობები შესაბამის ნაკერებისათვის ერთი და იგივეა აბსოლუტური მნიშვნელობებით. $\cos \varphi$ და y ნიშნები იგივეა, ხოლო $\sin \varphi$ და x —მოპირდაპირე.

$$II \sin \varphi = 2200 \left(\frac{II}{2200} \right) \cdot \sin \varphi;$$

$$M = 2200 \left(\frac{M}{2200} \right),$$

სადაც კამარის მარჯვენა ნახევრისათვის $\frac{II}{2200}$ და $\frac{M}{2200}$ აიღება № 2 ცხრი-

ლიდან, ხოლო მარცხენასათვის უდრის ნულს (დატვირთვის უქონლობის გამო). N და M მნიშვნელობები (153)-ე ფორმულით. დაბეჭდი: გარე ბოკეობები

$$\sigma_0 = \frac{N}{F} + \frac{M}{W'}$$

შიგა

$$\sigma_{II} = \frac{N}{F} - \frac{M}{W'}$$

III. დროებით დატვირთვაზე გაანგარიშება, რომლითაც დატვირთულია მთელი კამარა. ცალკე განვიხილავთ მუდმივი დატვირთვის მოქმედებას. დატვირთა—სიმეტრიულია, გამოიყენება 163-ე ფორმულები. 161-ე ფორმულებთან შედარებით შევნიშნავთ, რომ Z და H მნიშვნელობანი ასეთ შემთხვევაში უდრის იმავე ფუნქციების გაორკეცებულ მნიშვნელობებს, რომლებიც მიღებული იყვნენ ცალმხრივი დატვირთვისათვის, ხოლო $V=0$. მაშასადამე: $Z=84500 \cdot 2=169000$ კგ, $H=47520 \cdot 2=95040$ კგ. $V'=0$.

ცხრილი № 6

დაბეჭდი დროებით დატვირთვისაგან, რომლითაც დატვირთულია მთელი შალი

ნაკერის №	$H \cos \varphi$	$H \sin \varphi$	N	$-Hy$	$-M$	M (კგ. მ)	$\frac{N}{F}$	$\frac{M}{W'}$	დაბეჭდი σ კგ/სმ ²	
							კგ/სმ ²		გარე ბოკე.	შიგა ბოკე.
0	95040	0	95040	-150200	0	+ 18800	+2,20	+ 2,89	+5,1	-0,7
1	94000	2560	96600	-139800	- 14300	+ 14900	+2,19	+ 2,19	+4,4	0
2	91400	10000	101400	-107400	- 56100	+ 5500	+2,25	+10,77	+3,0	+1,5
3	86900	21920	108700	- 54200	-121900	- 7100	+2,31	- 0,92	+1,4	+3,2
4	80600	37200	117800	+ 19000	-206900	- 18800	+2,36	- 2,16	+3,2	+4,5
5	72600	54900	127500	+111200	-304000	- 23800	+2,39	- 2,49	0	+4,8
6	63400	73600	137000	+219600	-405900	- 17300	+2,36	- 1,50	+0,6	+3,9
7	52800	91900	144700	+342200	-504700	+ 6500	+2,32	+ 0,48	+2,8	+1,8
8	41200	108100	149300	+477200	-592200	+ 54000	+2,22	+ 3,44	+5,7	-1,2

№ 6 ცხრილის განსახლება

$H \cos \varphi$ მნიშვნელობა ($-Hy$) მივიღეთ № 5 ცხრილიდან იგივე სიდიდითა გაორკეცებული მნიშვნელობებით (H სიდიდის გაორკეცების გამო). $H \sin \varphi$ და ($-M$) აღებულია № 5 ცხრილიდან უცვლელად. N , M და σ მნიშვნელობები (153)-ე და (163)-ე ფორმულებით. კამარის მარცხენა ნახევრის ნაკერებისათვის დაბეჭდი ტოლია მარჯვენა ნახევრის შესაბამის ნაკერების დაბეჭდის. კამარის გაანგარიშება ჩვენ ვაწარმოეთ მისი მთელი 4,8 მ. სიგანეზე. შედეგები საბოლოოა და არ შეიცვლებიან, თუ ჩვენ ავიღებთ გაანგარიშების საფუძვლად 1 მ. სიგანეს.

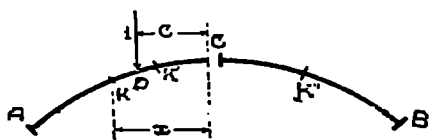
ცხრილი № 7 შედეგები და საანგარიშო ძაბვები

წ. ს. კ. ც. წ.	ძაბვები გულში და ტერორფისაგან		ძაბვები ცალმხრივი დროებითი და ტერორფისაგან		ძაბვები დროებითი და ტერორფისაგან		ძაბვები მთლიან მალზე და ტერორფისაგან		საანგარიშო ძაბვები					
	გარე ბოკა.	შევა ბოკა.	გარე ბოკა.	შევა ბოკა.	გარე ბოკა.	შევა ბოკა.	გარე ბოკა.	შევა ბოკა.	გარე ბოკა.	შევა ბოკა.				
0	+6,4	+4,6	+2,55	-0,35	+5,1	-0,7	+8,0	+4,8	+11,5	+8,9	+11,5	+8,9	+11,5	+8,9
1	+6,5	+4,5	+6,0	-8,9	+4,4	0	+12,5	+0,6	+10,9	+4,5	+12,5	+4,5	+12,5	+4,5
2	+6,8	+4,2	+6,6	-4,8	+4,0	+1,5	+18,4	-0,1	+9,8	+5,7	+18,4	+5,7	+18,4	+5,7
3	+6,6	+4,6	+5,4	-3,0	+1,4	+3,2	+12,0	+1,6	+8,0	+7,8	+12,0	+7,8	+12,0	+7,8
4	+6,0	+5,6	+2,0	-0,8	+0,2	+4,5	+8,0	+5,8	+0,2	+10,1	+10,1	+10,1	+10,1	+10,1
5	+5,1	+7,8	+0,4	+2,5	0	+4,8	+5,5	+9,8	+5,1	+12,1	+12,1	+12,1	+12,1	+12,1
6	+4,3	+8,9	-1,4	+4,6	+0,9	+8,6	+2,9	+18,5	+5,2	+12,8	+12,8	+12,8	+12,8	+12,8
7	+5,2	+9,2	-2,2	+5,1	+2,8	+1,8	+3,0	+14,6	+8,0	+11,0	+11,0	+11,0	+11,0	+11,0
8	+7,4	+6,2	-1,9	+5,1	+5,7	-1,2	+5,5	+18,8	+18,1	+7,0	+18,8	+7,0	+18,8	+7,0
1'	+6,5	+4,5	-1,6	+5,9	+4,4	0	+4,0	+8,4	+10,9	+4,5	+10,9	+4,5	+10,9	+4,5
2'	+6,8	+4,2	-3,5	+5,8	+8,0	+1,5	+3,8	+10,0	+9,8	+5,7	+10,0	+5,7	+10,0	+5,7
3'	+6,6	+4,6	-4,1	+6,8	+1,4	+3,2	+2,5	+10,9	+8,0	+7,8	+10,9	+7,8	+10,9	+7,8
4'	+6,0	+5,6	-2,7	+4,7	+0,2	+4,5	+3,8	+10,4	+6,2	+10,1	+10,4	+10,1	+10,4	+10,1
5'	+5,1	+7,8	-0,4	+2,3	0	+4,8	+4,7	+9,6	+5,1	+12,1	+12,1	+12,1	+12,1	+12,1
6'	+4,8	+8,9	+2,8	-0,8	+0,9	+3,9	+6,6	+8,2	+5,2	+12,8	+12,8	+12,8	+12,8	+12,8
7'	+5,2	+8,2	+5,0	-3,6	+2,8	+1,8	+10,2	+5,8	+8,0	+11,0	+11,0	+11,0	+11,0	+11,0
8'	+7,4	+6,2	+7,5	-6,85	+5,7	-1,2	+14,9	+1,9	+18,1	+7,0	+14,9	+7,0	+14,9	+7,0

კამარის გაანგარიშება დროებით დატვირთვაზე გავლენის ხაზების მეთოდით

საპასუხისმგებლო ნაგებობებში დროებით დატვირთვაზე კამარის გაანგარიშება წარმოებს გავლენის ხაზებით.

ასეთ შემთხვევებში წინასწარ უნდა ავაგოთ, Z , H და V ზედმეტ უცნობებისათვის გავლენის ხაზები. იმის გამო, რომ ჩამაგრებულ ქუსლებთან კამარებში ზედმეტი უცნობების გამოხატულებანი აბსცისაზე დამოკიდებულებით, რომელიც განსაზღვრავს ერთეული ტვირთის მდებარეობას, მეტად რთულია, მათთვის გავლენის ხაზების აგება წარმოებს თანდათანობით ერთეული ტვირთის დაყენებით სხვადასხვა წერტილში. თითოეულ დაყენებისათვის განვსაზღვრავთ ზედმეტ უცნობებს და შემდეგ ზედმეტი უცნობების მნიშვნელობების აბსცისის ლერძიდან გადაზომვით, ორდინატების სახით, მიღებულ წერტილებს შევეერთებთ მდოვრული მრუდუ ხაზით, რომელიც იქნება გავლენის ხაზი განსახილველ ზედმეტ უცნობისათვის.



ნახ. 314.

ამასთან ვისარგებლოთ (160)-ე გამოსახულებებით Z , H და V -სათვის. ამ გამოსახულებებში II და M ფუნქციებს აქვთ შემდეგი მნიშვნელობანი (იხ. 314-ე ნახ.). ნებისმიერ K კვეთისათვის პირველ AD უბანზე დატვირთული ნახევარ კამარის ქუსლიდან ტვირთის მოდების წერტილამდე:

$$II = +1; \quad M = +1(x - c).$$

ნებისმიერ K' კვეთისათვის მეორე DC უბანზე ტვირთის მოდების წერტილსა და კლიტეს შორის, და აგრეთვე დაუტვირთავ CB ნახევარ კამარის K'' კვეთისათვის:

$$II = 0; \quad M = 0.$$

როდესაც ასეთნაირად აგებულია გავლენის ხაზები ზედმეტ უცნობებისათვის ჩვენ გადავდივართ შერჩეულ კვეთებში, გამოსახულებების საფუძველზე, გრძივი N ძალების და მღუნავი M მომენტებისათვის გავლენის ხაზების აგებაზე, (153)-ე ფორმულიდან გამომდინარე:

$$\left. \begin{aligned} N &= H \cos \varphi - V \sin \varphi + II \sin \varphi \\ M &= Z - Hy + Vx - M \end{aligned} \right\} . \quad (169)$$

ნორმალურ ძაბვებისათვის, განხილული კვეთის კიდურა წერტილებში, ჩვენ გვაქვს გამოსახულებანი:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_o &= \frac{N}{F} + \frac{M}{W} \\ \sigma_u &= \frac{N}{F} - \frac{M}{W} \end{aligned} \right\} \quad (170)$$

(170)-ე გამოსახულებების გამოყენება იწვევს ზოგიერთ უსახელოდობრ, დავუშვათ, რომ ჩვენ ავაგეთ კამარის K კვეთში M და N -სათვის გავლენის ხაზები (315-ე ნახ.). წარმოიშობა საკითხი, რომელი უბანი უნდა დატვირთოთ დროებითი დატვირთვით, რომ ფუნქციამ მიიღოს უდიდესი მნიშვნელობა:

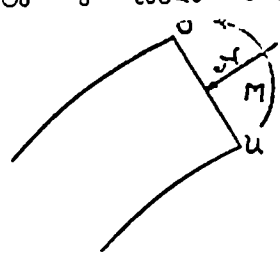
$$\sigma_0 = \frac{N}{F} + \frac{M}{W}$$

(ძაბვები გარე ბოქოებში).

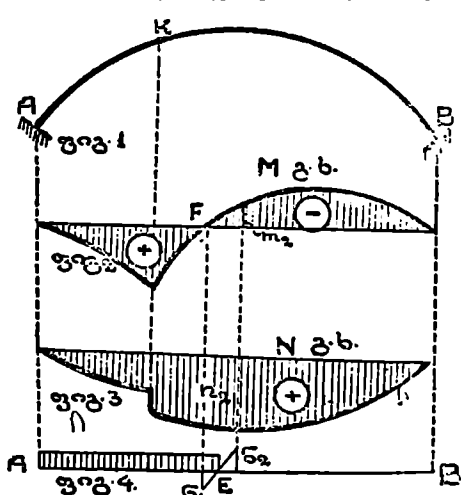
კამარის გაანგარიშების დროს დროებით დატვირთვას ჩვეულებრივ ლეზლობენ თანაბრად—განაწილებულს.

უდიდესი σ_0 მნიშვნელობის შესაბამისი დატვირთვის საზღვრების საკითხის გადაკრისათვის, საკიროა ავაგოთ გავლენის ხაზი σ_0 -სათვის N და M გავლენის ხაზების საფუძველზე. ეს გავლენის ხაზი შესდგებოდა ორ დადებით და უარყოფით უბნისაგან, რომელთა შორის საზღვრად იქნებოდა წერტილი, რომელიც შეესაბამებოდა $\sigma_0 = 0$ მნიშვნელობას. რადგან ეს წერტილი უნდა ვიპოვოთ, ამიტომ შეუუღლებით შემდეგ-

ნაირად: ავიღებთ რამდენიმე წერტილს იმ წერტილთან ახლოს, რომელშიც $M=0$, და განესაზღვრათ ამ წერტილებისათვის σ მნიშვნელობებს, გადავზომავეთ მათ აბსცისის ლერძიდან (316 ნახ.) და მიღებულ წერტილებს შევავრთებთ მდოვრული მრუდით, რომელიც მოგვცემს ნულ წერტილს σ -სათვის. ჩვეულებრივად იწყებენ იმ წერტილიდან, რომელშიც $M=0$. ნახაზიდან ვლევულობთ მნიშვნელობას $N=n_1$ და



ნახ. 315.



ნახ. 316.

$$\sigma_1 = \frac{n_1}{F} + \frac{0}{W} = \frac{n_1}{F} > 0.$$

შემდეგ აიღებენ მეორე წერტილს M -ის უარყოფით მნიშვნელობის არეში. მივიღებთ:

$$M=m_2, \quad N=n_2$$

$$\sigma_2 = \frac{n_2}{F} + \frac{m_2}{W} < 0.$$

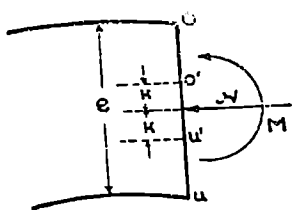
σ_1 და σ_2 ორდინატების გადაზომვით წერტილებს შევავრთებთ სწორხაზით, მივიღებთ ნულ E წერტილს, რომელიც ითვლება დატვირთვის საზღვ-

რად. AE უბნის თანაბარი დატვირთვით მივიღებთ განსახილველი ფუნქციის უდიდეს დადებით მნიშვნელობას

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M}{W},$$

N და M გავლენის ხაზების ფართობის სარგებლობით. EB უბნის დატვირთვით მივიღებთ ამ ფუნქციის უდიდეს უარყოფით მნიშვნელობას.

სწორედ ასევე მოვიქცევით ფუნქციისათვის



ნახ. 317.

$$\sigma_u = \frac{N}{F} - \frac{M}{W},$$

რომელიც წარმოადგენს კამარის ნაპირა შიგა ბოქვებში ძაბვებს. ადვილი შესამჩნევია, რომ σ_u -სათვის გამყოფი წერტილი მოთავსდება F წერტილიდან მარცხნივ.

მართლაც, F წერტილისათვის:

$$\sigma_u = \frac{N_1}{F} > 0.$$

$\sigma_u < 0$ მნიშვნელობის მიღებისათვის საჭიროა $M > 0$, ე. ი. წერტილი ავიდეთ F წერტილიდან მარცხნივ.

σ -სათვის ნულ წერტილის განსაზღვრისათვის ჩვენ შეგვიძლია ამ ოპერაციების თავიდან აცილება, თუ M და N გავლენის ხაზების მაგიერ ვისარგებლებდით ბირთვული მომენტების M_0 და M_u გავლენის ხაზებით.

გავიხსენოთ, რომ ბირთვულ მომენტებს ჩვენ ვუწოდებთ კვეთის ერთ მხარეზე მდებარე ძალებიზ მომენტს კვეთის ბირთვის O' და U' საზღვრების მიმართ (ნახ. 317). ეს მომენტები აღვნიშნოთ M_0 და M_u .

ძალები, რომლებიც ცვლიან კამარის უკუგდებული ნაწილის მოქმედებას დარჩენილზე ჩვენს მიერ წარმოდგენილია M და N სახით.

ამიტომ

$$\left. \begin{aligned} M_0 &= M - Nk \\ M_u &= M + Nk \end{aligned} \right\} \quad (171),$$

სადაც k არის კვეთის ბირთვის რადიუსი.

მასალათა გამძლეობის კურსიდან ცნობილია, რომ $k = \frac{W}{F}$ სწორკუთხოვან კვეთებისათვის:

$$k = \frac{b \cdot e^2}{6 \cdot b \cdot e} = \frac{e}{6}.$$

კვების O და U კიდურა წერტილებში ძაბვები გამოსახებიან (171-ე ფორმულებით:

$$\sigma_0 = \frac{N}{F} + \frac{M}{W}$$

$$\sigma_u = \frac{N}{F} - \frac{M}{W}$$

ეს გამოსახულებები შეგვიძლია გარდავქმნათ შემდეგნაირად:

$$\sigma_0 = \frac{N}{F} + \frac{M}{W} = \frac{1}{W} \left(N \frac{W}{F} + M \right) = \frac{1}{W} (Nk + M),$$

ან (171)-ე ფორმულის საფუძველზე

$$\sigma_0 = \frac{M_u}{W} \quad . (172)$$

სწორედ ასევე

$$\sigma_u = \frac{N}{F} - \frac{M}{W} = \frac{1}{W} (Nk - M) = - \frac{M_o}{W} \quad . (173)$$

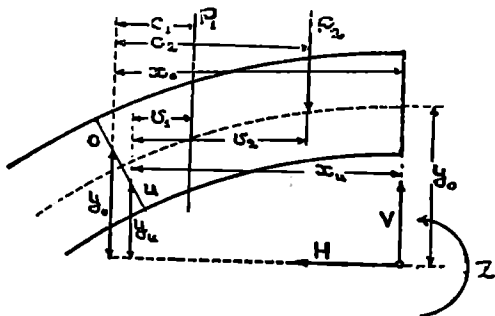
ამგვარად, σ_0 და σ_u ძაბვები პროპორციულია ბირთვული M_u და M_o მომენტებისა და M_u და M_o გავლენის ხაზების არახელსაყრელი დატვირთვა მოგვეცემს საანგარიშო ძაბვების მნიშვნელობას:

$$\text{Max } \sigma_0 = \frac{\text{Max } M_u}{W},$$

$$\text{Min } \sigma_0 = \frac{\text{Min } M_u}{W},$$

$$\text{Max } \sigma_u = - \frac{\text{Min } M_o}{W},$$

$$\text{Min } \sigma_u = - \frac{\text{Max } M_o}{W}.$$



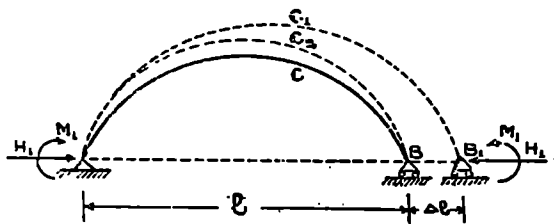
ნახ. 318.

M_o და M_u გავლენის ხაზების აგებისათვის ჩვენ შეგვიძლია ვისარგებლოდ (171)-ე დამოკიდებულებით, ან უშუალოდ მივიღოთ M_o და M_u გამოსახულებანი 318-ე ნახაზის საფუძველზე

$$\left. \begin{aligned} M_o &= Z + Vx_0 - Hy_0 - \Sigma Pc \\ M_u &= Z + Vx_u - Hy_u - \Sigma Pv \end{aligned} \right\} \quad . (174)$$

კალკე განვიხილოთ ძაბვები, რომლებიც წარმოიშობიან კამარაში ტემპერატურის ცვლილებით. გამოვიყენოთ კასტილიანოს თეორემა.

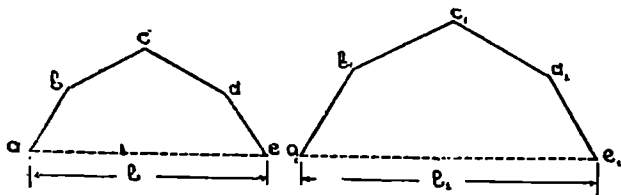
გავანთავისუფლოთ კამარა ზედმეტ დამაგრებებისაგან და ერთ-ერთ საყრდენში მოვაწყოთ უძრავი სახსარი, მეორეში კი მოძრავი, პორიზონტალური მიმართულებით. (ნახ. 319).



ნახ. 319.

მაშინ ტემპერატურის t -ზე გავრდით კამარის ფორმა შეიცვლება და მისი საყრდენი გაიწევა. კამარის ახალი AC_1B_1 ფორმა მსგავსია პირვანდელ ACB ; ყველა შესაბამისი ელემენტები პარალელურებია,

ხოლო მათი შეფარდებანი კი ეტოლებიან $(1 + \alpha t)$ -ს, სადა α მასალის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი. ეს გამოდის იქიდან, რომ კამარის ღერძის ხაზი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მრავალკუთხედის ზღვარი (ნახ. 320). (ab, bc, cd, de) მონაკვეთების სიგრძეთა შეცვლისას $(1 + \alpha t)$ -ჯერ და მათ შორის კუთხეების უცვლელად დატოვებით (კვანძების სიხისტის გამო), $a_1b_1c_1d_1e_1$ მრავალკუთხედი იქნება $abcde$ მრავალკუთხედის მსგავსი და, მაშასადამე, ae და a_1e_1 გვერდები პარალელური, როგორც პორიზონტალური გვერდები, მა-



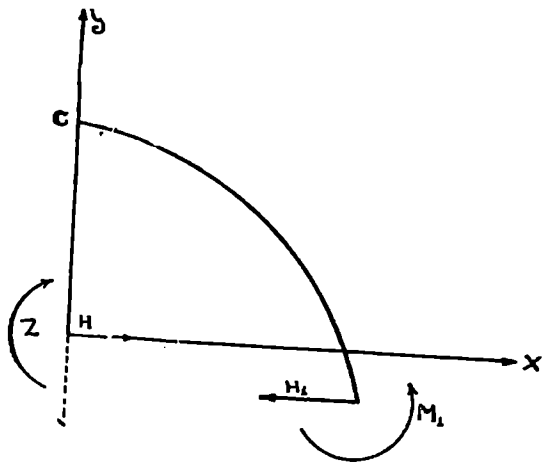
ნახ. 320.

შინ ყველა დანარჩენი გვერდი ასევე პარალელური იქნება. ბოლო a_1e_1 და ae გვერდების შეფარდება იქნება აგრეთვე $(1 + \alpha t)$ ტოლი. მაშასადამე,

$$\frac{l_1}{l} = 1 + \alpha t, \text{ ე. ი. } l_1 = l(1 + \alpha t) \text{ და } \Delta l = l_1 - l = l\alpha t.$$

დავუბრუნდეთ ახლა 319-ე ნახაზს.

შევარჩიოთ ძალთა სისტემა, რომელიც უნდა მოიძოს საყრდენ წერტილებში, რომ საყრდენი კვეთები დაუბრუნდეს პირვანდელ მდებარეობას. ამისათვის საჭიროა პოარიზონტალური H_1 ძალის მოღება, A და I_1 წერტილების დაახლოება $\Delta l = l x_1$ სიდიდით და ამას გარდა, რადგან საყრდენი კვეთები მობრუნდენ, საჭიროა M_1 წველის მოღება საყრდენი კვეთების უკუბრუნებისათვის. მაშინ, AC_1B_1 კამარისათვის კასტილიანოს თეორემის გამოყენებით, განწყობილი H და M_1 ძალების მოქმედებისაგან, რომლებსაც მიყავს ის AC_1B მდებარეობაში, შევნიშნავთ რომ



ნახ. 321.

$$\frac{\partial U}{\partial H_1} = \Delta l = l x_1; \quad \frac{\partial U}{\partial M_1} = 0, \quad (175),$$

რადგანაც AC_1B და ACB კამარის ღერძების შესაბამისი ელემენტები საყრდენებთან პარალელურებია. კლიტეში კვეთის გატარებით (ნახ. 321) და CB ნახევარ კამარაზე მოქმედი შიგაძალების O წერტილზე მოღებით, რომლებიც განისაზღვრებიან (166)-ე ფორმულებით, ძალთა წონასწორობის განტოლების საფუძველზე, მივიღებთ:

$$H_1 = H; \quad M_1 = Z + H y_1 = Z - H y_1,$$

(რადგან y_1 — უარყოფითია).

(175)-ე ფორმულაში ჩასმით მივიღებთ:

$$\frac{\partial U}{\partial H_1} = \frac{\partial U}{\partial H} = l x_1; \quad \frac{\partial U}{\partial M_1} = \frac{\partial U}{\partial Z} = 0. \quad (176)$$

(151)-ე ფორმულიდან U მნიშვნელობების ჩასმით:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial H} &= \int M \frac{\partial M}{\partial H} \cdot \frac{ds}{EJ} + \int N \frac{\partial N}{\partial H} \cdot \frac{ds}{EF} = l x_1; \\ \frac{\partial U}{\partial Z} &= \int M \frac{\partial M}{\partial Z} \cdot \frac{ds}{EJ} + \int N \frac{\partial N}{\partial H} \cdot \frac{ds}{EF} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (177)$$

(153)-ე ფორმულის საფუძველზე, V , II , Q , M მნიშვნელობების ნულთან ვატოლებით მივიღებთ:

$$N = H \cos \varphi; \quad M = Z - Hy \quad . (178)$$

ჩავსვით (177)-ში და ვაწარმოთ ინტეგრირება ნახევარ კამარის საზღვრებში, ხოლო შთელი სიგრძისათვის შედეგები გავაორკეცოთ.

$$-2 \int_{\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} (Z - Hy) y \frac{ds}{EJ} + 2 \int_{\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} H \cos^2 \varphi \frac{ds}{EF} = \alpha t;$$

$$2 \int_{\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} (Z - Hy) \frac{ds}{EJ} = 0,$$

საიდანაც, იმის გამო, რომ $\int y \frac{ds}{EJ} = 0$, მივიღებთ:

$$2H \left[\int y^2 \frac{ds}{J} + \int \cos^2 \varphi \frac{ds}{F} \right] = \alpha t l; \quad 2Z \int \frac{ds}{J} = 0,$$

საიდანაც

$$H = \frac{\alpha t l}{2 \int_{\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} y^2 \frac{ds}{J} + 2 \int_{\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} \cos^2 \varphi \frac{ds}{F}}, \quad Z = 0. \quad . (179)$$

H განსაზღვრით ჩასვამენ (178)-ე ფორმულებში, რომელიც $Z=0$ ტოლობის გამო მიიღებს სახეს:

$$N = H \cos \varphi; \quad M = -Hy, \quad . (180)$$

რის შემდეგაც განიზღვრებიან ძაბვები (165)-ე ფორმულით.

ტემპერატურის დაწევის შემთხვევაში იმავე ფორმულებში t უნდა მავილოთ უარყოფითი.

§ 107. ტემპერატურული ძაბვების განსაზღვრის მაგალითი

ავილოთ § 105 განხილული კამარა და წარმოვიდგინოთ ტემპერატურის ცვლილება $\pm 15^\circ$, სადაც (+) ნიშანი შეესაბამება ტემპერატურის აწევას, ხოლო (-) ნიშანი ტემპერატურის დაწევას.

ქვის წყობისათვის გვაქვს:

$\alpha = 0,000007$; $E = 67000$ კგ/სმ² = 670000 ტ/მ²; $l = 21$ მ.
ინტეგრალები ავილოთ № 2 ცხრილიდან:

$$\int y^2 \frac{ds}{J} = \Delta S \sum y^2 \frac{1}{J} = 1,638 \cdot 51,6 = 84,45;$$

$$\int \cos^2 \varphi \frac{dS}{F} = \Delta S \sum \cos^2 \varphi \frac{1}{F} = 1,638 \cdot 1,11 = 1,82,$$

მაშინ ტემპერატურის 15° აწევის შემთხვევისათვის,

$$Z=0; H = \frac{670000 \cdot 0,000007 \cdot 15 \cdot 21}{2(84,45 + 1,82)} = 8,56 \text{ ტ.}$$

ტემპერატურის დაწევის შემთხვევისათვის $H = -8,56 \text{ ტ.}$

ცხრილი № 8 ტემპერატურული დაბევები

ნაკერის №	$t = +15^\circ$				$t = -15^\circ$				საანგარიშო დაბევები და ტემპერატურის ერთდროული მოქმედებისას	
	$N = H \cos \varphi$ (ტონა)	$M = -Hy$ (ტონა-მეტრი)	$\frac{N}{F}$ (აგ/აგმ)	$\frac{M}{W}$ (აგ/აგმ)	დაბევები σ		დაბევა ϵ		უდიდესი მკუმშავი	უდიდესი გამჭიმავი
					გარე ბოკჯ.	შიგა ბოკჯ.	გარე ბოკჯ.	შიგა ბოკჯ.		
0	8,56	-13,49	+0,20	-2,07	-1,9	+2,3	+1,9	-2,3	+13,4	
1	7,47	-12,58	+0,19	-1,65	-1,7	+2,0	+1,7	-2,0	+14,2	
2	8,23	-9,67	+0,18	-1,35	-1,2	+1,5	+1,2	-1,5	+14,9	
3	7,82	-4,88	+0,17	-0,63	-0,5	+0,8	+0,5	-0,8	+12,5	
4	7,25	+1,71	+0,15	+0,20	+0,4	+0,05	-0,4	+0,05	+10,5	
5	6,54	+10,02	+0,12	+1,01	+1,2	-0,9	-1,2	+0,6	+13,0	
6	5,70	+19,77	+0,10	+1,72	+1,3	-1,6	-1,3	+1,6	+15,1	
7	4,75	+30,82	+0,08	+2,28	+2,4	-2,2	-2,4	+2,2	+16,8	
8	3,71	+42,97	+0,05	+2,74	+2,8	-2,7	-2,8	+2,7	+16,0	

№ 8 ცხრილის განმარტება

გარე ბოკჯობისათვის დაბევები $\sigma_0 = \frac{N}{F} + \frac{M}{W}$, შიგა ბოკჯობისათვის:

$$\sigma_{II} = \frac{N}{F} - \frac{M}{W}.$$

(-15°) ტემპერატურის დროს შეიცვლება H -ის ნიშანი, მაშასადამე, შეიცვლიან თავის ნიშნებს N და M , ხოლო აქედან σ_0 და σ_{II} . $t = -15^\circ$ -სათვის მიიღება, თუ ჩვენ დაეწერთ σ_0 და σ_{II} , $t = 15^\circ$ -სათვის შებრუნებული ნიშნებით. დაბევები, დატვირთვისა და ტემპერატურის ერთდროული მოქმედებისაგან შესაბამის ბოკჯობებში მიიღებიან დაბევების ალგებრული შეკრებით (№ 7 და № 2 ცხრილები). უკანასკნელ ორ სვეტში მოთავსებულია უდიდესი მკუმშავი და გამჭიმავი დაბევები მარჯვენა ნახევარ კამარის არახელსაყრელ შემთხვევისათვის. მარცხენა ნახევარ კამარაზე ტემპერატურული დაბევები იგივეა, როგორც მარჯვენაზე და საანგარიშო დაბევების ანგარიში სიძნელეს არ წარმოადგენს.

§ 106. მუდმივი კვეთის დაწვრილი კამარის შემთხვევა ვერტიკალური
დატვირთვის მოქმედების ქვეშ

ასეთ შემთხვევაში აღიძვრება მთელი რიგი გამარტივება Z , H და V .
გამოსახულებებისათვის, რაც ნებას იძლევა ვაწარმოთ ინტეგრირება უშუა-
ლოდ, შეჯამების შეუცვლელად.

პირველ ყოვლისა კამარის დაწვეულობის გამო, მივიღებთ:

$$\cos \varphi = 1; \quad \sin \varphi = 0,$$

აქედან

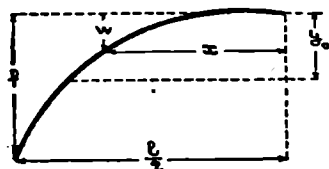
$$ds = \frac{dx}{\cos \varphi} = dx.$$

ამას გარდა $J = \text{const}$ და $F = \text{const}$.

(161)-ე ფორმულაში ჩასმით, მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} Z &= \frac{\int M dx}{l} \\ H &= \frac{\int My dx}{\int y^2 dx + \frac{J}{F} l} \\ V &= \frac{\int Mx dx}{\int x^2 dx} \end{aligned} \right\} \quad (181)$$

პარაბოლისათვის (ნახ. 322) გვაქვს:



ნახ. 322.

$$x^2 = 2pw$$

$$x = \frac{l}{2} \quad w = f \quad \text{ჩასმით, მივიღებთ:}$$

$$2p = \frac{l^2}{4f},$$

საიდანაც

$$w = \frac{4f}{l^2} \cdot x^2.$$

(158)-ეში ჩასმით, მივიღებთ:

$$y_0 = - \frac{\int \frac{4f}{l^2} x^2 dx}{l} = \frac{4f}{l^2} \cdot 2 \int_0^{\frac{l}{2}} x^2 dx = \frac{8f}{l^2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{l^3}{8} = \frac{f}{3}. \quad (182)$$

ქედან

$$v = y_0 - w = \frac{f}{3} - \frac{4f}{l^2} x^2.$$

ამოვივალოთ (181)-ე გამოსახულების მნიშვნელი:

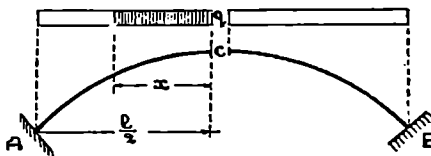
$$\begin{aligned} \int y^2 dx &= 2 \int_0^{\frac{l}{2}} \left(\frac{f^2}{9} - \frac{8}{3} \cdot \frac{f^2}{l^2} x^2 + \frac{16f^2}{l^4} x^4 \right) dx = \\ &= 2 \left(\frac{f^2}{9} \cdot \frac{l}{2} - \frac{8}{3} \cdot \frac{f^2}{l^2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{l^3}{8} + \frac{16f^2}{l^4} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{l^5}{32} \right) = \frac{4}{45} f^2 l; \end{aligned}$$

$$\int x^2 dx = 2 \int_0^{\frac{l}{2}} x^2 dx = \frac{2}{3} \cdot \frac{l^3}{8} = \frac{l^3}{12}.$$

ანერჯის რადიუსი $\sqrt{\frac{I}{F}}$ აღვნიშნოთ i ასოთი.
წივილებთ:

$$\left. \begin{aligned} Z &= \frac{1}{l} \int M dx \\ H &= \frac{1}{l \left(\frac{4}{45} f^2 + i^2 \right)} \int My dx \\ V &= \frac{12}{l^3} \int Mx dx \end{aligned} \right\} \quad (183)$$

ეს გამოსახულებანი შეიძლება გამოვიყენოთ დატვირთვის ყველა შემთხვევისათვის.



ნახ. 323.

წიელი მალის თანაბარი დატვირთვისათვის გვაქვს (ნახ. 323):

$$M = \frac{qx^2}{2};$$

$$\int M dx = 2 \int_0^{\frac{l}{2}} \frac{qx}{2} dx = q \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{l^2}{8} = \frac{ql^2}{24};$$

$$\int My dx = 2 \int_0^{\frac{l}{2}} \frac{qx^2}{2} \left(\frac{f}{3} - \frac{4f}{l^2} x^2 \right) dx = q \left(\frac{f}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{l^3}{8} - \frac{4f}{l^2} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{l^5}{32} \right) = \\ = - \frac{qfl^3}{90}.$$

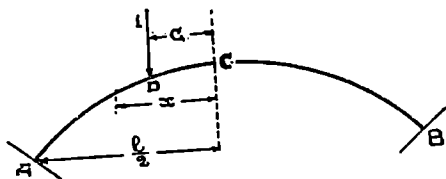
$\int Mx dx = 0$, რადგანაც კამარის მარცხენა და მარჯვენა ნახევრისათვის x მნიშვნელობანი განსხვავდებიან მხოლოდ ნიშნებით.

ჩასმით მივიღებთ:

$$Z = - \frac{ql^2}{24};$$

$$H = + \frac{ql^2 f}{8f^2 + 90l^2} = \frac{ql^2}{8f \left(1 + \frac{45}{4} \cdot \frac{l^2}{f^2} \right)}.$$

აეიღოთ ნებისმიერ წერტილში დაყენებული ϵ აბსცისით განზღწერილი ერთეული ტვირთი (ნახ. 324). გვაქვს სამი უბანი: AD , DC , CB . რომლებიდანაც მხოლოდ AD უბანზე M მნიშვნელობა არ უდრის ნულს.



ნახ. 324.

აქედან

$$\int M dx = \int_0^{\frac{l}{2}} 1(x-c) dx = \frac{1}{2} \left(\frac{l^2}{4} - c^2 \right) - c \left(\frac{l}{c} - c \right) = \\ = \left(\frac{l}{2} - c \right) \left[\frac{1}{2} \left(\frac{l}{2} + c \right) - c \right] = \frac{1}{2} \left(\frac{l}{2} - c \right)^2;$$

$$\int My dx = \int_0^{\frac{l}{2}} (x-c) \left(\frac{f}{3} - \frac{4f}{l^2} x^2 \right) dx = - \frac{f}{3l^2} \left(\frac{l}{2} - c \right)^2 \left(\frac{l}{2} + c \right)^2;$$

$$\int Mx dx = \int_0^{\frac{l}{2}} (x-c)x dx = - \frac{1}{8} cl^2 + \frac{1}{24} l^3 + \frac{1}{6} c^3.$$

(183)-ეში ჩასმით ვღებულობთ:

$$\left. \begin{aligned}
 Z &= \frac{1}{2l} \left(\frac{l}{2} - c \right)^2 = \frac{l}{8} \left(1 - \frac{2c}{l} \right)^2, \\
 H &= + \frac{f! \left(1 - \frac{2c}{l} \right)^2 \left(1 + \frac{2c}{l} \right)^2}{48 \left(\frac{4}{45} f^2 + i^2 \right)} = \frac{15 \left(1 - \frac{2c}{l} \right)^2 \left(1 + \frac{2c}{l} \right)^2}{64 \frac{f}{l} \left(1 + \frac{45}{4} \frac{i^2}{f^2} \right)}, \\
 V &= - \frac{3}{2} \frac{c}{l} + \frac{1}{2} + 2 \frac{c^3}{l^3}.
 \end{aligned} \right\} \quad (184)$$

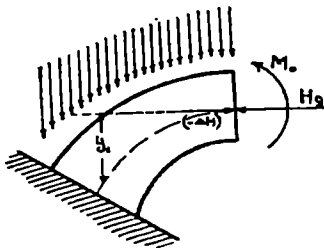
სიდიდის არგუმენტად ჩათვლით, რომელიც საზღვრავს ერთეული ტვირტის მდებარეობას. შეგვიძლია ვისარგებლოთ გამოყვანილი გამოსახულებებით გავლენის ხაზების აგებისათვის.

§ 109. კამარის ღერძის მოხაზულობის ხელსაყრელად შარკვიის საკითხი ანალიზური გაანგარიშებისას

კამარის ღერძის ხელსაყრელი მოხაზულობა იქნება, რასაკვირველია, ისეთი, რომლის დროსაც საანგარიშო ძაბვები იქნებიან მინიმალური. ზემოთ ჩვენ ვნახეთ, თუ როგორი სიძნელე უნდა გადავლახოთ საანგარიშო ძაბვების გაანგარიშებისას. ამასთან ერთად ხელსაყრელი მოხაზულობის უშუალოდ გადაჭრის ამოცანა ამჟამად ჯერ კიდევ გადაუწყვეტელია. რჩება თანმიმდევრობითი გასინჯვის მეთოდი, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს: დანიშნავენ კამარის ფორმას და ზომებს, აწარმოებენ მის მთლიან გაანგარიშებას და საბოლოო შედეგებით მსჯელობენ, თუ რამდენად კარგია კამარის მიღებული ფორმა. იმ შემთხვევაში, თუ ასეთი აღმოჩნდა უეარგისი, მაშინ დანიშნავენ კამარის ღერძის ახალ მოხაზულობას და თავიდან ჩაატარებენ უდიდეს გაანგარიშებას. აქედან, ცხადია, თუ რამდენად სასარგებლოა თავიდანვე, პრაქტიკულად რაციონალური ღერძის მოხაზულობის დანიშვნა.

ზემოთ ჩვენ აღნიშნეთ, რომ კამარის გრაფიკულად გაანგარიშებისას ხელსაყრელ ღერძად ღებულობდნენ მუდმივ დატვირთვისაგან აგებულ თოკის მრუდს (ან მუდმივი და ნახევარ დროებითი), რომელიც გაივლიდა კამარის კლიტისა და ქუსლების კვეთების ცენტრებში. ასეთი მოხაზულობა წარმოადგენს მართლაც ხელსაყრელს სამსახსრიან კამარისათვის, რადგანაც მისთვის შიგაძაღების ხაზი გაივლის სახსრებზე—ე. ი. კლიტესა და ქუსლების კვეთების ცენტრებზე, და, მაშასადამე, ემთხვევა კამარის ღერძის ყველა წერტილს, რის გამოც კამარა მუშაობს მხოლოდ სუფთა კუმშვაზე. მაგრამ უსახსრო კამარის გაანგარიშების პრაქტიკამ დაგვანახა, რომ ასეთი მოხაზულობა, თუ არ წარმოადგენს მისთვის მართლაც ხელსაყრელს, მაშინ, ყოველ შემთხვევაში, წარმოადგენს პრაქტიკულად მიზანშეწონილს და საჭიროა მისი არჩევა.

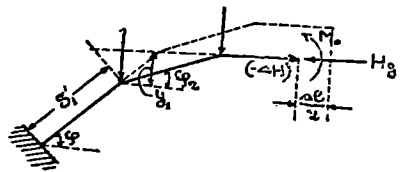
საქიროა ალენიშნოთ, რომ უსახსრო კამარაში დატვირთვის მოქმედებისას, მხოლოდ სუფთა კუმშვის მიერ გამოწვეული შესაძლო მუშაობა გამოირიცხულია. ე. ი. მასში მლუნავი მომენტები აუცილებელია. ამ მდგომარეობის დასამტკიცებლად წარმოვიდგინოთ, რომ ჩვენ შევძელით კამარის ღერძის ისეთნაირად შერჩევა, რომ ის მუდმივი დატვირთვის მოქმედებისას მუშაობდეს მხოლოდ კუმშვაზე (ნახ. 325). მასში წნევის მრუდი ყველა წერტილში უნდა დაემთხვეს ღერძის ხაზს, მაშასადამე, ისე, როგორც სამსახსრიანი კამარის შემთხვევაში. თუ ჩვენ გავკეთავთ კამარას კლიტეში, მაშინ ნახევარ კამარის კლიტეს კვეთში იმოქმედებს H_g განმბრჯენი, რომელიც სიდიდით ტოლი იქნება სამსახსრიანი კამარის გამბრჯენის. კამარის კუმშვის დეფორმაციის შედეგად, კლიტის კვეთები გადაადგილდებიან H_g ძალის მოქმედების მიმართულებით და უსახსრო კამარის ორ ნახევარს შორის წარმოიშობა Δl სიდიდის ხერელი (ნახ. 330).



ნახ. 325.

ნათქვამის უფრო მეტი სიცხადისათვის განვიხილოთ ჩარჩოს ზღვრული მდებარეობის კამარა მისი გვერდების რიცხვის უსაზღვროდ გაზრდისას. ყველა ის, რაც კი მიეკუთვნება ჩარჩოს მდგომარეობას, რომლებიც დამოკიდებული არ არიან გვერდების რიცხვისგან, მთლიანად შეიძლება გამოვიყენოთ კამარისათვის. 326-ე ნახაზზე წარმოდგენილია კვანძებში მოდებული ძალებით და H_g ძალით ნახევარჩარჩო, ამასთან ყველა ღეროს გამოცდინა, მხოლოდ. სუფთა კუმშვაზე. დეფორმაცია დაიყვანება მხოლოდ

ღეროების დამოკლებაზე. ღეროებს შორის კუთხეები კი რჩებიან უცვლელი მლუნავი მომენტების უქონლობის გამო. დეფორმაციის შემდეგ ნახევარჩარჩოს მიღებისათვის ჩვენ შევუდგებით ღეროებით აგებას მომიჯნე ქუსლიდან. ქუსლის ხისტად ჩამაგრების გამო ამ ღეროების დახრა (φ_1) არ შეიცვლება. ნახევარჩარჩოს შემდეგ პირველი ღეროს მდებარეობისა და მეზობელ ღეროებს შორის კუთხეთა სიდიდეების შენარჩუნების გამო ექნება პირვანდელი (φ_2) დახრა და ა. შ. ე. ი. ყველა ღერო შეინარჩუნებს პორიზონტალურ სწორთან დახრილ პირვანდელ კუთხეებს, ხოლო უკანასკნელი ღერო დარჩება პორიზონტალური. ალენიშნოთ გვერდების პირვანდელი სიგრძეები s_1, s_2, \dots , ხოლო დეფორმაციის შემდეგ სიგრძეების ცვლილებანი s'_1, s'_2, \dots ჩვენ მივიღებთ ჩარჩოს მალს (იხ. ნახ. 326)



ნახ. 326.

$$l = \sum s_i \cos \varphi_i$$

და ჩარჩოს ღეროების პროექციების ჯამს, ჰორიზონტალურ ღერძზე, დეფორმაციების შემდეგ:

$$l' = \sum s_i' \cos \varphi_i.$$

შედარებით დავრწმუნდებით, იმის გამო, რომ $s_i' < s_i$, გვექნება $l' < l$ ე. ი. ნახევარჩარჩოს კლიტეს ბოლოები შორდებიან ერთმანეთს $\Delta l = l - l'$ სიდიდით. იმისათვის, რომ ესენი კვლავ მივიყვანოთ თანამხვევამდე კლიტეში მომიჯნავე ელემენტების ჰორიზონტალობის დაცვის პირობისას, საჭიროა კლიტის კვეთში დამატებითი ძალების მოღება. რადგან ძირითად სისტემაზე მივიღეთ ერთი ბოლოთი ჩამაგრებული და მოცემული P_i და H_j ძალებით დატვირთული ნახევარჩარჩო, მასთან დამატებული ძალები იქნებიან ზედმეტი უცნობები. სიმეტრიულობის გამო ჩვენ ვღებულობთ ორ ზედმეტ უცნობს: განმბრჯენს ($-\Delta H$) გარეთ მიმართულს (დადებითად ვღებულობთ მიმართულებას შიგნით) და კლიტეს კვეთში მღუნავ M_0 მომენტს. ამასთან მღუნავი მომენტი რომელიმე კვეთში γ_1 ორდინატი (იხ. 326 ნახ.) ($-\Delta H$) ძალის და M_0 მოქმედებისაგან იქნება:

$$M = M_0 - \gamma_1 (-\Delta H).$$

იმის გამო, რომ γ_1 ცვლადი სიდიდეა, M იგივეურად ყველა კვეთისათვის შეიძლება უდრიდეს ნულს, მხოლოდ ერთდროულად ტოლობის პირობების არსებობისას:

$$M_0 = 0, \Delta H = 0,$$

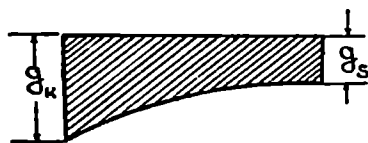
ე. ი. ზედმეტი უცნობების უქონლობისას. ეს კი შეუძლებელია, რადგან ჩვენ დავრწმუნდით, რომ ნახევარჩარჩოს ბოლოები დაცილდნენ და საჭიროა მათი დაახლოება. ანგვარად, უსახსრო ჩარჩოებში მღუნავი მომენტები ძალთა მოქმედებისაგან აუცილებელია. იმის გამო, რომ ჩვენს მსჯელობაში ძალების რიცხვი და ჩარჩოების გვერდების რიცხვი როლს არ ასრულებენ, დავასკვნით, რომ ეს გავრცელდება კამარებზედაც.

§ 110. კამარის განაზღვრვა შტრასნერის მეთოდით

წინა პარაგრაფში ჩვენ ვაჩვენეთ, რომ კამარის ღერძის პრაქტიკულად მიზანშეწონილ მოხაზულობას წარმოადგენდა თოკის მრუდი, მიღებული მუდმივი დატვირთვის მოქმედებისაგან. რომელიც გაივილიდა კლიტესა და ქუსლების კვეთების ცენტრებში.

ღერძის ასეთი მოხაზულობისათვის და კამარის განივი კვეთების ზომების ცვლილების კანონის განსაზღვრისათვის, შტრასნერის მიერ მიღებულ იქნა გადაწყვეტა თვალსაჩინო სახით. მის შედეგად შედგენილია ცხრილები, რომლებიც აადვილებენ გაანგარიშებას. ამ მეთოდს აქვს დიდი მნიშვნელობა, რადგან შტრასნერის ცხრილები მოიცავენ პრაქტიკაში თითქმის განსახილველ ყველა შემთხვევას. ჩვენ არ შეეჩერდებით გამოყვანაზე, გადმოვიცემთ მხოლოდ მეთოდის დედაარს.

327-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ნახევარკანარის დატვირთვის ხაზი მუდ-
ვივ ტვირთისაგან. კლიტეში ამ ხაზის ორდინატა (მუდმივი ტვირთის ინტენ-
სივობა) აღნიშნულია g_1 , იგივე, ქუსლში — g_2 . შეფარდება $\frac{g_2}{g_1}$ აღნიშნულია
 m -ით:



ნახ. 327.

$$m = \frac{g_2}{g_1}. \quad (I)$$

m პარამეტრზე დამოკიდებულე-
ბით შტრასნერმა გამოიყენა კამარის
ღერძის განტოლება, როგორც თოკის
მრუდი მუდმივი დატვირთვისაგან. ამ
მრუდის ორდინატების გამოთვლა მო-
ყვანილია I ცხრილში. კამარის l მა-
ლი დაყოფილია 24 ნაწილად, რომ-

ლის ნომერაცია იწყება ქუსლიდან (ნახ. 328). f -ით აღნიშნულია კამარის
ისარი.

კვეთის ზომების ცვლილების კანონი შტრასნერით მიღებულია შემდეგ -
ნაირად:

$$\frac{J_s}{J_k \cos \varphi} = 1 - 1(1-n)\xi, \quad (185),$$

სადაც J_s — არის კლიტის კვეთის ინერციის მომენტი,

J_k — იგივე z აბსცისიან კვეთში,

φ — დახრის კუთხე მხებსა და კამარის ღერძთან z კვეთში,

ξ — z აბსცისის ფარდობა $\frac{l}{2}$ ნახევარმალთან,

n — კოეფიციენტი, რომელიც განიზღვრება პირობიდან ქუსლისათვის,

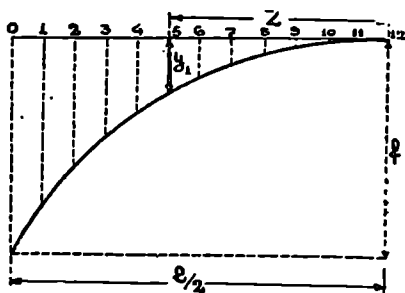
$$\frac{J_s}{J_k \cos \varphi_k} = 1 - (1 - n) \cdot 1,$$

საიდანაც

$$n = \frac{J_s}{J_k \cos \varphi_k} \quad (186)$$

აქ J_k და φ_k — ინერციის მომენტი
და დახრის კუთხეა ქუსლის კვეთში.

სწორკუთხოვან კვეთის შემ-
თხვევისათვის და კამარის მუდმივი
სიგანისათვის, შესაბამისი სისქეების
აღნიშვნით d_s , d_k , d_z და ჩასმით:



ნახ. 328.

$$J_s = \frac{bd_s^3}{12}, \quad J_k = \frac{bd_k^3}{12}, \quad J_z = \frac{bd_z^3}{12},$$

ცხრილი I. კაპიტალის ღირებულების ორლინიატები

მ	33000ის №№		I	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 (ჯამლი)
	ა	ბ											
1,000	1,000,000	0,6944	0,8403	0,5625	0,4444	0,3409	0,2500	0,1796	0,1111	0,0625	0,0278	0,0070	0
1,317	1,000,000	0,6891	0,8831	0,5499	0,4312	0,3284	0,2400	0,1660	0,1059	0,0594	0,0264	0,0069	0
1,756	1,000,000	0,6714	0,9266	0,5359	0,4178	0,3109	0,2300	0,1594	0,1007	0,0563	0,0249	0,0063	0
2,240	1,000,000	0,6596	0,8180	0,5223	0,4044	0,3012	0,2200	0,1506	0,0955	0,0532	0,0235	0,0059	0
2,814	1,000,000	0,6478	0,8101	0,5085	0,3908	0,2920	0,2100	0,1492	0,0909	0,0502	0,0221	0,0055	0
3,500	1,000,000	0,6348	0,8019	0,4944	0,3771	0,2768	0,2000	0,1357	0,0852	0,0472	0,0208	0,0052	0
4,324	1,000,000	0,6221	0,7935	0,4801	0,3632	0,2675	0,1900	0,1282	0,0802	0,0443	0,0194	0,0049	0
5,321	1,000,000	0,6090	0,7849	0,4654	0,3491	0,2552	0,1800	0,1208	0,0761	0,0419	0,0181	0,0045	0
6,586	1,000,000	0,5955	0,7758	0,4507	0,3349	0,2425	0,1700	0,1138	0,0701	0,0384	0,0168	0,0041	0
8,081	1,000,000	0,5810	0,7664	0,4358	0,3205	0,2304	0,1600	0,1060	0,0652	0,0356	0,0155	0,0038	0
9,880	1,000,000	0,5673	0,7567	0,4200	0,3059	0,2177	0,1500	0,0996	0,0608	0,0327	0,0142	0,0035	0

მივიღებთ:

$$\frac{d_s^3}{d_s^3 \cos \varphi} = 1 - (1-n) \xi,$$

სადაც

$$n = \frac{d_s^3}{d_s^3 \cos \varphi} \quad (II)$$

ამ განტოლების d_s მიმართ ამოხსნით, შტრანსერმა წარმოგვიდგინა ის შემდეგი სახით:

$$d_s = d_s c \sqrt{1 + \xi^2 \varphi} \quad (III)$$

აქ c კოეფიციენტი, რომელიც განიზღვრება II ცხრილიდან n -ზე დამოკიდებულებით.

ცხრილი II. c კოეფიციენტის მნიშვნელობანი

n	კვთ. №№ 0 (ქუსლი)	1 2 3 4 5 6 (გეოზე) 7 8 9 10 11 12 (კლიტი)													
		1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,8	1,077	1,070	1,063	1,056	1,049	1,042	1,036	1,029	1,023	1,017	1,011	1,006	1,000	1,000	1,000
0,6	1,186	1,164	1,145	1,126	1,109	1,093	1,077	1,063	1,049	1,036	1,023	1,011	1,000	1,000	1,000
0,5	1,260	1,227	1,197	1,170	1,145	1,122	1,101	1,081	1,063	1,046	1,029	1,014	1,000	1,000	1,000
0,4	1,357	1,305	1,260	1,221	1,186	1,154	1,126	1,101	1,077	1,056	1,036	1,017	1,000	1,000	1,000
0,3	1,494	1,408	1,339	1,282	1,233	1,191	1,154	1,122	1,093	1,066	1,042	1,020	1,000	1,000	1,000
0,25	1,587	1,474	1,387	1,317	1,260	1,211	1,170	1,133	1,101	1,072	1,046	1,022	1,000	1,000	1,000
0,2	1,710	1,554	1,442	1,357	1,289	1,233	1,186	1,145	1,109	1,077	1,049	1,023	1,000	1,000	1,000
0,15	1,892	1,655	1,508	1,403	1,322	1,256	1,203	1,157	1,117	1,083	1,052	1,025	1,000	1,000	1,000

ღვ ფ განიზღვრება III ცხრილის საფუძველზე კამარის ღერძის მოსახულობის განმსაზღვრელი m პარამეტრისაგან დამოკიდებულებით.

ცხრილი III. $\xi^2 \varphi \cdot \left(\frac{l}{f}\right)^2$ ხილიდებები

m	კვთ. №№ 0 (ქუსლი)	1 2 3 4 5 6 (გეოზე) 7 8 9 10 11 12 (კლიტი)											
		1,000	16,000	13,444	11,111	9,000	7,111	5,444	4,000	2,778	1,778	1,000	0,444
1,347	17,780	14,447	11,576	9,117	7,023	5,528	4,077	2,568	1,633	0,910	0,401	0,100	0
1,756	19,772	15,504	12,074	9,221	6,926	5,067	3,577	2,402	1,495	0,323	0,360	0,089	0
2,240	21,841	16,620	12,526	9,322	6,820	4,874	3,371	2,223	1,363	0,741	0,322	0,079	0
2,814	24,150	17,796	13,016	9,409	6,704	4,677	3,166	2,044	1,273	0,665	0,286	0,070	0
3,500	26,676	19,038	13,499	9,485	6,578	4,477	2,964	1,882	1,118	0,593	0,253	0,062	0
4,324	29,441	20,351	13,993	9,548	6,442	4,274	2,765	1,720	1,004	0,525	0,222	0,054	0
5,321	32,476	21,747	14,490	9,597	6,294	4,068	2,569	1,564	0,895	0,462	0,193	0,046	0
6,536	35,812	23,208	14,985	9,629	6,134	3,858	2,376	1,415	0,796	0,404	0,167	0,040	0
8,031	39,494	24,765	15,487	9,643	5,962	3,644	2,187	1,272	0,701	0,350	0,143	0,034	0
2,689	43,572	26,420	15,985	9,637	5,776	4,428	2,001	1,143	0,612	0,300	0,121	0,023	0

I, II და III ცხრილების გამოყენების მაგალითი

მოცემულია:

საანგარიშო მალი .	$l = 31,60$ მ.
ისარი .	$f = 7,75$ მ.
სისქე კლიტეში.	$d_s = 1,00$ მ.
იგივე ქუსლში	$d_k = 1,38$ მ.
მუდმივი დატვირთვის ინტენსივობა კლიტეში.	$g_s = 6,56$ ტ/მ.,
იგივე ქუსლში .	$g_k = 18,50$ ტ/მ.,

გვაქვს:

$$m = \frac{g_k}{g_s} = \frac{18,50}{6,56} = 2,81.$$

ნახევარკამარის 6 ნაწილისათვის, მივიღებთ I ცხრილიდან კამარის ღერძის ორდინატებს $m = 2,81 = 2,814$ შემთხვევისათვის.

კამარის ღერძის ორდინატები

კუთ. წილი	0 (ქუსლი)		4	6 (მეოთხ.)	8	10	12 (კლიტე)
y	$1,000 \cdot 7,75 =$ $= 7,75$	$0,6473 \cdot 7,75 =$ $= 5,016$	$0,3908 \cdot 7,75 =$ $= 3,029$	$0,2100 \cdot 7,75 =$ $= 1,627$	$0,0903 \cdot 7,75 =$ $= 0,700$	$0,0221 \cdot 7,75 =$ $= 0,171$	0

n მნიშვნელობის გამოსაანგარიშებლად საჭიროა $\cos \varphi_k$ მნიშვნელობის გამოთვლა ქუსლის კვეთისათვის:

$$\cos \varphi_k = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2 \varphi_k}}$$

III ცხრილიდან ვპოულობთ $m = 2,814$ -სათვის ქუსლის კვეთში:

$$tg^2 \varphi_k \left(\frac{l}{f} \right)^2 = 24,150.$$

$$tg^2 \varphi_k = 24,150 \cdot \left(\frac{7,75}{31,60} \right)^2 = 1,450.$$

$$\cos \varphi_k = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2 \varphi_k}} = 0,639,$$

$$n = \frac{d_s^3}{d_k^3 \cos \varphi_k} = \frac{100^3}{1,38^3 \cdot 0,639} = 0,60.$$

ახლა გამოვითვალოთ d_x მნიშვნელობანი შესაბამის კვეთებისათვის:

1	კ ვ ე თ ე ბ ი ს ო მ ე	0 (კუსლი)	4	6 (მეობზე)	8	10	12 (კლიბე)	
2	$1g^2 \varphi \left(\frac{1}{f}\right)^2$ (III ცხრილიდან $m=2,814$)	24,150	13,010	6,704	3,166	1,273	0,286	0
3	(წინა სტრიქონი) $1g^2 \varphi$ მრავლდება $\left(\frac{7.75}{31.6}\right)^2$	1,450	0,781	0,402	0,190	0,076	0,0172	0
4	$\sqrt[6]{1+1g^2 \varphi}$	1,162	1,100	1,058	1,029	1,012	1,003	1,000
5	c (II ცხრილიდან $n=0,60$)	1,186	1,145	1,109	1,077	1,049	1,023	1,000
6	$d_x = d_x c \sqrt[6]{1+1g^2 \varphi}$, სადაც $d_x = 1,000$	1,38	1,26	1,17	1,11	1,06	1,03	1,00

მე-(3) სტრიქონის საფუძველზე შეგვიძლია გამოვითვალოთ მნიშვნელობა:

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1+1g^2 \varphi}}$$

ვხვლა კვეთისათვის.

კვეთების ომე	0	2	4	6	8	10	12
$\cos \varphi$	0,639	0,749	0,845	0,915	0,964	0,992	1,000

ნას შემდეგ, რაც განვსაზღვრეთ კამარის გეომეტრიული ზომები, შევეუდგებით მის გაანგარიშებას.

ა) კამარის გაანგარიშება მუდმივ დატვირთვაზე

109-ე პარაგრაფში უსახსრო კამარაზე დატვირთვის მოქმედების შემთხვევაში მლუნავი მომენტის გაჩენის აუცილებლობის დამტკიცებისას, ჩვენ გავკვეთთ ის კლიტეში და შიგაძალებიდან ამ კვეთში გამოვყავით H_g ძალა, რომელიც ერთდროულად კამარაზე მიყენებული მუდმივ შიგაძალებთან ერთად მასში გამოიწვევს სუფთა კუმშვას. ეს ძალა ეტოლება განმზრჯენს, რომელიც განისაზღვრება გულვებით, რომ კამარა სამსახსრიანია. H_g ძალა ჩვენ შეგვიძლია ჩავთვალოთ აქტიურ ძალად, რომელიც მოქმედებს ნახევარკამარაზე, ხოლო ზედმეტ უცნობებად მივიღოთ ($-\Delta H$) და M_0 ძალები, რომლებიც განისაზღვრებიან იმ პირობიდან, რომ მათი მოქმედებისგან მიყვანილ უნ-

და იქნან თანამთხვევამდე ნახევარ კამარის კლიტის კვეთები, რომლებიც აქტიური ძალების მოქმედებისგან (სუფთა კუმშვისას) დაშორდებოდნენ Δl სიდიდით პარალელურობის შენარჩუნებით.

ჩვენ აღვნიშნეთ, რომ $(-\Delta H)$ და M_0 ძალები, ხოლო მათთან ერთად კამარის კვეთებში მღუნავი მომენტები აუცილებლად წარმოიშობიან, როგორც დეფორმაციების შედეგი ნახევარკამარის კუმშვის დროს, იმ ძალების მოქმედებისგან, რომლებიც მიღებულ იქნა აქტიურად. თუ კამარას ჩვეულებით აბსოლუტურად უკუმშვად და, მაშინ ნახევარკამარის კლიტის კვეთის თვარღობითი Δl გადაადგილება გაუტოლდებოდა ნულს. ასეთ შემთხვევაში ეს კვეთები დაემთხვევოდნენ ერთმანეთს და არავითარი დამატებითი (ზედმეტ) ძალები არ იქნებოდა საჭირო მათზე მოდებისათვის. მაშასადამე, მუშაობის პირველი ეტაპი, როდესაც ჩვენ განვსაზღვრავთ H_2 სიდიდეს, როგორც სამსახსრიან კამარისათვის, წარმოადგენს გაანგარიშებას, გულეებით, აბსოლუტურად. მყარი სხეულისას, გაანგარიშების შემოგე ნაწილში, როდესაც ჩვენ განვსაზღვრავთ $(-\Delta H)$ და M_0 კამარის კუმშვის დეფორმაციის განხილვის საფუძველზე ჩვენ თითქოს შევგაქვს შესწორება კამარის დრეკადულ მოკუმშვაზე. შემდეგში, ჩვენ განვიხილავთ: H_2 ძალას (ძირითადი თაღოვანი ძალა) და მასზე დამოკიდებულებით კამარის კვეთებში შიგაძალებს, როგორც შიგაძალების მნიშვნელობას კამარის შეკუმშვის გაუთვალისწინებლად და დამატებით $(-\Delta H)$ და M_0 ძალებს, რომლებზედაც დამოკიდებულია კამარის კვეთებში შიგაძალები, როგორც კამარის დრეკადული მოკუმშვის შედეგი.

შეკუმშვის გაუთვალისწინებლად გაანგარიშების დროს, H_2 განიზღვრება მეტად უბრალოდ, როგორც სამსახსრიან კამარებისათვის. ამ სიდიდის მნიშვნელობა m -ის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის მოყვანილია შტრასნერის მიერ გავლენის ხაზების ცხრილებში (ცხრილი VI). ამასთან ყველა კვეთში აღიძვრება მხოლოდ მკუმშავი ძალები. კამარის რომელიმე კვეთში მკუმშავი N ძალების განსაზღვრისათვის, გამოვიყენოთ კამარის ნაწილს განსახილველ და კლიტის კვეთებს შორის (დაშტრახულია 329-ე ნახაზზე) და მისი წონასწორობის პირობიდან ვიპოვიოთ:

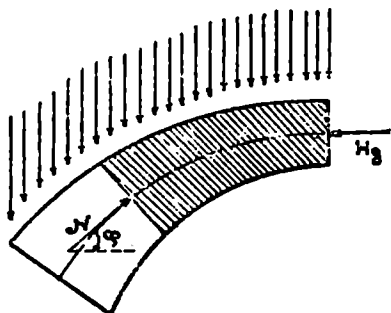
$$N \cos \varphi - H_2 = 0,$$

საიდანაც

$$N = \frac{H_2}{\cos \varphi} \quad (IV)$$

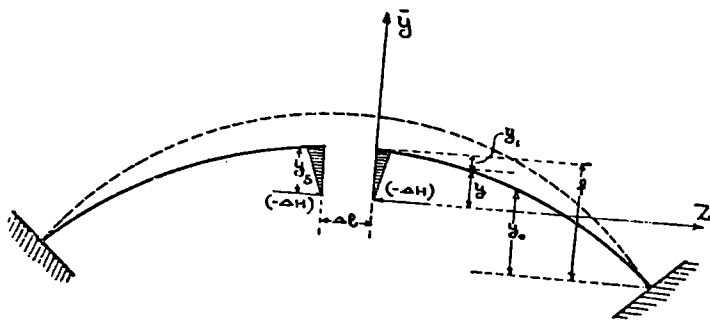
გადავიდეთ დამატებითი $(-\Delta H)$ და M_0 ძალების განსაზღვრაზე. დამატებითი ძალების ეს სისტემა შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც ცენტრიდან დაშორებული y მანძილზე არაცენტრულად მოდებული $(-\Delta H)$ ძალა, (ნახ. 330), სადაც

$$y = \frac{M_0}{(-\Delta H)} \quad (157)$$



ნახ. 329.

($-\Delta H$) და M_0 სიდიდეებს. ან შესაბამისად ($-\Delta H$) და y_0 განსაზღვრის პირობა მდგომარეობს იმაში, რომ ნახევარკამარის კლიტის კვეთთან მოღებულ ΔH და M_0 ძალების მოქმედებისაგან კვეთის ცენტრმა უნდა მიი-



ნახ. 330.

ლოს პორიზონტალური $\frac{\Delta l}{2}$ გადაადგილება ნულის ტოლი მობრუნების კუთხის დროს. დეფორმაციის პოტენციალური ენერგია

$$V = \int_s \frac{M^2 ds}{2EI} + \int_s \frac{N^2 ds}{2EF}$$

პირობები:

$$\frac{\partial V}{\partial(-\Delta H)} = \frac{\Delta l}{2};$$

$$\frac{\partial V}{\partial M_0} = 0.$$

პირველი პირობა შეიძლება გარდავქმნათ ასე:

$$\frac{\partial V}{\partial(\Delta H)} = -\frac{\Delta l}{2} = \int_s M \frac{\partial M}{\partial(\Delta H)} \cdot \frac{ds}{EI} + \int_s N \frac{\partial N}{\partial(\Delta H)} \cdot \frac{ds}{EF} \quad (188)$$

მეორე პირობა:

$$\frac{\partial V}{\partial M_0} = \int_s M \frac{\partial M}{\partial M_0} \cdot \frac{ds}{EI} + \int_s N \frac{\partial N}{\partial M_0} \cdot \frac{ds}{EF} = 0. \quad (189)$$

გვაქვს (ნახ. 331)

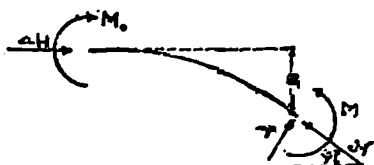
$$N = \Delta H \cos \varphi, \quad M = M_0 + \Delta H y_1. \quad (190)$$

(189)-ეს საფუძველზე, მივიღებთ:

$$\int_{\frac{z}{2}}^z (M_0 + \gamma_1 \Delta H) \frac{ds}{EI} = 0,$$

საიდანაც

$$\gamma_1 = \frac{M_0}{(-\Delta H)} = \frac{\int \gamma_1 \frac{ds}{EI}}{\int \frac{ds}{EI}} \dots (191)$$



ე. ი. დამატებითი განმბრუნების მოდელია ღრეკად (1) ცენტრში.

ამ წერტილს მივიღებთ კოორდინატის საწყისად, მაშინ 332-ე ნახაზიდან გვაქვს:

ნახ. 331.

$$M = (-\Delta H) y = -\gamma \Delta H.$$

(188)-ეს საფუძველზე, გვაქვს

$$-\int_{\frac{z}{2}}^z (-\gamma \Delta H) y \frac{ds}{EI} + \int_{\frac{z}{2}}^z \Delta H \cos^2 \varphi \frac{ds}{EF} = -\frac{\Delta l}{2},$$

საიდანაც

$$(-\Delta H) = \frac{\Delta l}{2 \left[\int_{\frac{z}{2}}^z y^2 \frac{ds}{EI} + \int_{\frac{z}{2}}^z \cos^2 \varphi \frac{ds}{EF} \right]} \quad (192)$$

ამ გამოთვლაში შტრასნერმა შეიტანა შემდეგი გარდაქმნა:

$$\begin{aligned} 2 \int_{\frac{z}{2}}^z y^2 \frac{ds}{EI} &= 2 \int_{\frac{z}{2}}^z y [y_0 - (f - y_0)] \frac{ds}{EI} = \\ &= \int_{\frac{z}{2}}^z \gamma_0 y \frac{ds}{EI} - (f - y_0) \int_{\frac{z}{2}}^z y \frac{ds}{EI} = \int_{\frac{z}{2}}^z \gamma_0 y \frac{ds}{EI}, \end{aligned}$$

რადგანაც $\int_{\frac{z}{2}}^z y \frac{ds}{EI} = 0$ (აბსცისის ღერძი გადის ღრეკად ცენტრზე);

$$2 \int_{\frac{z}{2}}^z \cos^2 \varphi \frac{ds}{EF} = \int_{\frac{z}{2}}^z \cos \varphi \frac{d\zeta}{EF}.$$

(192)-ში ჩასმით და აღნაშენით

$$d\omega = \frac{ds}{EI}$$

მივიღებთ

$$(-\Delta H) = \frac{\Delta l}{\int_{\frac{z}{2}}^z \gamma_0 y d\omega + \int_{\frac{z}{2}}^z \frac{\cos \varphi d\zeta}{EF}} \dots (193)$$

ეს გამოსახულება გარდაექმნათ შემდეგნაირად:

$$(-\Delta H) = \frac{\Delta l}{\int \gamma_0 y d\omega \left(1 + \frac{\int \frac{\cos \varphi dz}{EF}}{\int \gamma_0 y d\omega} \right)} = \frac{\Delta l}{(1+\mu) \int \gamma_0 y d\omega}, \dots (194),$$

სადაც

$$\mu = \frac{\int \frac{\cos \varphi dz}{EF}}{\int \gamma_0 y d\omega}. \quad (195)$$

Δl სიდიდეს ჩვენ მივიღებთ, როგორც კამარის დამოკლებული ჰორიზონტალური პროექციების ჯამს:

$$\Delta l = \int \frac{N ds}{EF} \cos \varphi = \int \frac{N dz}{EF}.$$

ჩასმით $N = \frac{Hg}{\cos \varphi}$ (იხ. IV ფორმულა) მივიღებთ:

$$\Delta l = Hg \int \frac{dz}{EF \cos \varphi}.$$

(194)-ში ჩასმით მივიღებთ:

$$(-\Delta H) = Hg \frac{\int \frac{dz}{EF \cos \varphi}}{\int \gamma_0 y d\omega (1+\mu)} = Hg \frac{\mu_1}{1+\mu},$$

სადაც

$$\mu_1 = \frac{\int \frac{dz}{EF \cos \varphi}}{\int \gamma_0 y d\omega}. \quad (196)$$

იმის გამო, რომ μ სიდიდე ერთთან შედარებით ძალიან მცირეა, საბოლოოდ მივიღებთ:

$$(-\Delta H) = \mu_1 Hg. \quad (V)$$

ეს ჩვენს მიერ შეტანილი შესწორებაა შტრასნერის ფორმულაში. შტრასნერმა შემოიღო შემდეგი აღნიშვნა:

$$\int \frac{\cos dz}{EF} = \frac{l}{EF_m}, \quad (197),$$

საიდანაც

$$\mu = \frac{l}{EF_n \int \gamma_0 y^2 dx} \quad (VI)$$

ამის შესაბამისად ჩვენ შემოვიღეთ შემდეგი აღნიშვნა:

$$\int \frac{dx}{EF \cos \varphi} = \frac{l}{EF_n} \quad (198).$$

საიდანაც

$$\mu_1 = \frac{l}{EF_n \int \gamma_0 y^2 dx} \quad (VII)$$

F_n და F_n მნიშვნელობები განისაზღვრებიან IV და V ცხრილებიდან, კლიტის კვეთის F , ფართზე დამოკიდებულებით.

ამგვარად, დამატებითი ($-\Delta H$) ძალის აბსოლუტური სიდიდე (კამარის შეკუმშვის გავლენა) მუდმივი დატვირთვის შოკმედების დროს განისაზღვრება (V) ფორმულით, სადაც μ_1 გამოითვლება (VII) ფორმულით. აქ F_n განისაზღვრება V ცხრილის საფუძველზე, ხოლო $\int \gamma_0 y^2 dx$ მნიშვნელობა მოყვანილია გავლენის ხაზის VI ცხრილში. დამატებითი ძალების მდებარეობა განისაზღვრება γ , სიდიდით (იხ. ფორმულა 191), რომლის მნიშვნელობა მოყვანილია აგრეთვე გავლენის ხაზის VI ცხრილში.

ცხრილი IV . $\gamma = \frac{F_n}{F_s}$ ხიდიდან

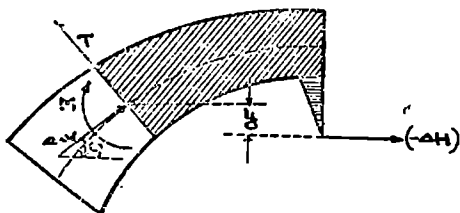
$\frac{f}{l}$	0,10	0,14	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	0,38
0,2	1,24	1,27	1,31	1,35	1,39	1,43	1,47	1,52
0,3	1,20	1,24	1,27	1,31	1,35	1,39	1,44	1,48
0,4	1,17	1,20	1,24	1,28	1,32	1,36	1,40	1,45
0,5	1,14	1,18	1,21	1,25	1,29	1,33	1,38	1,42
0,6	1,11	1,14	1,18	1,22	1,26	1,30	1,35	1,39
0,8	1,07	1,10	1,14	1,18	1,22	1,26	1,30	1,35
1,0	1,03	1,16	1,10	1,14	1,18	1,22	1,26	1,31

ცხრილი V. $v_1 = \frac{F_n}{F_r}$ სიღრმეები:

$\frac{f}{l}$	0,10	0,14	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	0,38
0,2	1,15	1,18	1,16	1,13	1,11	1,08	1,06	1,04
0,3	1,15	1,14	1,12	1,09	1,07	1,04	1,02	1,00
0,4	1,12	1,10	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96
0,5	1,09	1,07	1,05	1,03	1,01	0,99	0,96	0,94
0,6	1,06	1,05	1,03	1,01	0,98	0,96	0,94	0,91
0,8	1,02	1,01	0,99	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87
1,0	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,86	0,84

დამატებითი ძაბვები შეკუმშვისაგან მუდმივი დატვირთვის მოქმედების დროს განისაზღვრება ფორმულით (ნახ. 332):

$$\left. \begin{aligned} \Delta N &= -(-\Delta H) \cos \varphi = \Delta H \cos \varphi \\ M &= +(-\Delta H) y = -\Delta H y \end{aligned} \right\} \quad . \text{(VIII)}$$



ნახ. 332.

კამარის გაანგარიშების მაგალითი მუდმივ დატვირთვაზე

აეილოთ იგივე კამარა, რომლის გეომეტრიული ზომები ჩვენ განესაზღვრეთ ზემოთ. ძირითადი მონაცემები მუდმივ დატვირთვაზე გაანგარიშებისათვის;

საანგარიშო მალი	$l = 31,60$ მ.
ისარი	$f = 7,75$ მ.
სისქე კლიტეში	$d_s = 1,00$ მ.
მუდმივი დატვირთვის ინტენსივობა კლიტეში	$g_s = 6,56$ ტ/მ.

ლერძის მოხაზულობის განმსაზღვრელი კოე-
 ფიციენტი $m = 2,814$,
 კვეთის ცვლილების კანონის განმსაზღვრე-
 ლი კოეფიციენტი $n = 0,60$.

პირველ ყოვლისა განვსაზღვრავთ ძირითად თაღოვან ძალას. გავლენის ხაზის ცხრილით $m = 2,814$ -სათვის გვაქვს:

$$H_g = + 0,1579 \frac{F_s l^3}{f} = + 0,1579 \frac{6,56 \cdot 31,6^3}{7,75} = 133,6 \text{ ტონა.}$$

დანატეებითი თაღოვანი ძალა განისაზღვრება (V) და (VII) ფორმულე-
 ზის საფუძველზე:

$$\Delta H = - \mu_1 H_g = - \frac{H_g l}{E F_n \int y_0 y d\omega}$$

V ცხრილით $n = 0,60$ -სათვის და $\frac{f}{l} = \frac{7,75}{31,60} = 0,245$ გვაქვს:

$$\mu_1 = \frac{F_n}{F_s} = 0,99.$$

აქ F_s — ფართი ან კლიტეს კვეთის სიგანეა (ჩვენ გაანგარიშებას ვაწარ-
 მოვებთ კამარის 1 მ. სიგანეზე). მაშასადამე,

$$\begin{aligned}
 F_s &= d_s = 1,00 \text{ მ}^2, \\
 F_n &= 0,99 \cdot 1,00 = 0,99 \text{ მ}^2.
 \end{aligned}$$

გავლენის ხაზის ცხრილებიდან $m = 2,814$ და $n = 0,60$, გვაქვს:

$$\int y_0 y d\omega = 0,604 \frac{l f^3}{E J_s}.$$

აქ $J_s = \frac{1 \cdot 1^3}{12} = 0,0833$.

აქედან

$$E \int y_0 y d\omega = \frac{0,0604 \cdot 31,6 \cdot 7,75^3}{0,0833} = 1376,$$

მაშინ

$$\Delta H = - \frac{133,6 \cdot 31,6}{1376 \cdot 0,99} = - 3,10 \text{ ტ.}$$

ეს ძალა მოდებულია ქვემოთ კლიტეს კვეთის ცენტრიდან y_s მანძილით, სადაც y_s განისაზღვრება გავლენის ხაზის ცხრილიდან. სახელდობრ, $m = 2,814$, $n = 0,60$ გვაქვს:

$$y_s = 0,2646 f = 0,2646 \cdot 7,75 = 2,051.$$

ახლა დარჩა განსასაზღვრავი შიგაძალები და დანიშნულ კვეთებში ძაბ-
 ვება. ჩვენ მოვიყვანთ გაანგარიშებას კლიტის კვეთისათვის, მეოთხედი მალის
 კვეთში და ქუსლის კვეთში (იხ. ცხრ. 244-ე გვ.).

	კლებ	შეიბ.	ქესლი
cos φ (განზღერული იყო კამარის გეომეტრიული ზონების გამოთვლის დროს)	-1,000	0,915	0.639
ნორმალური ძალა შეკუმშვის გაუთვალისწინებლად (ფორმ. IV) $N = \frac{H_p}{\cos \varphi} = \frac{123.6}{\cos \varphi} \text{ ტ.}$	133,6	146,1	209,1
დამატებითი ნორმალური ძალა შეკუმშვისაგან (ფორმ. VIII) $\Delta N = \Delta H \cdot \cos \varphi = -3,10 \cos \varphi.$	-3,1	-2,8	-2,0
მთლიანი ნორმალური ძალა $N + \Delta N$	130,5	143,2	207,1
y ორდინატები, გამოთვლილი დრეკად ცენტრზე გაწვეული ღერძიდან $y = y_0 - y' = 2,051 - y'$	2,051	0,424	-5,639
მღუნავი მომენტი (შეკუმშვისაგან) VIII ფორმ. $M = -\Delta H y = +3,10 y \text{ ტ. მ.}$	+6,35	+1,32	-17,6
კვეთის ფართი $F_x = d_x \text{ მ}^2.$	1,00	1,11	1,38
წინააღობის მომენტი $W = \frac{d_x^3}{6} \text{ მ}^3$	0,167	0,205	0,316
ძაბვები შეკუმშვისაგან $\frac{N + \Delta N}{F} \text{ ტ./მ}^2$	130,5	129	150
ძაბვები ღუნვისაგან $\pm \frac{M}{W} \text{ ტ./მ}^2.$	± 38	$\pm 6,4$	$\mp 55,7$
ძაბვები ზემო ბოკვლებში $\sigma_0 = \frac{1}{10} \left(\frac{N + \Delta N}{F} + \frac{M}{W} \right) \text{ კგ/სმ}^2.$	+16,85	+13,54	+9,43
ძაბვები ქვედა ბოკვლებში $\sigma_u = \frac{1}{10} \left(\frac{N + \Delta N}{F} - \frac{M}{W} \right) \text{ კგ/სმ}^2$	+9,25	+12,26	+20,57

ბ) კამარის გაანგარიშება ტემპერატურაზე

კამარის გაანგარიშებას ტემპერატურაზე აქვს ბევრი საერთო, კუმშვაზე გაანგარიშებასთან შედარებით. მართლაც, თუ ჩვენ გავკვეთავთ კამარას კლიტში და მასზე ვიმოქმედებთ ტემპერატურის ცვლილებით, მაშინ კამარის ყველა ელემენტი შეიცვლის სიგრძეს, ხოლო ელემენტებს შორის კუთხეები დარჩებიან უცვლელი. მაშასადამე, ნახევარკამარის კლიტის კვეთები გადაადგილდებიან და რჩებიან ვერტიკალურები. მათი თანამთხვევამდე დაყვანისადმი საჭიროა, როგორც ზემოთ აღენიშნეთ, ღრეკად ცენტრზე ჰორიზონტალური ძალის მოღება, რომელიც განიზღვრება (194)-ე გამოსახულებით:

$$H = \frac{\Delta l}{(1 + \mu) \int y_0 y d\omega}$$

ან μ სიდიდის სიმცირის გამო ერთთან შედარებით

$$H = \frac{\Delta l}{\int y_0 y d\omega}$$

დადებითად, ჩვენ შევთანხმდით, მივიღოთ H ძალის მიმართულება ნახევარკამარის შიგნით, ე. ი. ჩვენს შემთხვევაში მიმართულება, შესაბამისად ტემპერატურის აწევით, ან დადებით სიდიდით ძალის Δl ნაზრდი ტემპერატურის მოქმედებისაგან.

Δl მაგიერ ჩვენ უნდა ჩავსვათ მისი გამოსახულება, რომელსაც მივიღებთ თუ განვიხილავთ ძალის სიდიდის ნაზრდს, როგორც კამარის ელემენტების სიგრძეთა ცვლილების ჰორიზონტალური პროექციების ჯამს:

$$\Delta l = \int ds \alpha l \cos \varphi = \alpha l \int ds \cos \varphi = \alpha l \int dx = \alpha l l,$$

აქედან

$$H_i = \frac{\alpha l l}{\int y_0 y d\omega} = \frac{E \alpha l l}{E \int y_0 y d\omega} \quad . \quad (IX)$$

$E \int y_0 y d\omega$ სიდიდე განისაზღვრება ცხრილიდან მუდმივ დატვირთვაზე გაანგარიშებისას.

გრძივი ძალის და მლუნავი მომენტის მნიშვნელობანი მიიღებიან ისეთივე მეთოდით, როგორც შეკუმშვის გათვალისწინების დროს:

$$\left. \begin{aligned} N_i &= H_i \cos \varphi \\ M_i &= -H_i y \end{aligned} \right\} \quad . \quad (X)$$

ტემპერატურაზე კამარის გაანგარიშების მაგალითი

იგივე კამარისათვის, რომელიც ჩვენ გავიანგარიშეთ ზემოთ მუდმივ დატვირთვაზე, ვაწარმოოთ გაანგარიშება ტემპერატურის 20°-ზე დაწვევისათვის. გვაქვს:

$$t = -20^{\circ},$$

$$\alpha = 0,000008,$$

$$l = 31,6 \text{ მ},$$

$$E = 60\,000 \text{ კგ/სმ}^2 = 600\,000 \text{ ტ/მ}^2.$$

$$E \int y_{\text{თ}} d\omega = 1376 \text{ (იხ. გაანგარიშება მუდმივ დატვირთვაზე).}$$

(IX) ფორმულაში ჩასმით, მივიღებთ:

$$H_t = \frac{600\,000 \cdot 0,000008 \cdot 20 \cdot 31,6}{1376} = -2,205 \text{ ტ.}$$

	კლიტე	ნეოთხ.	ქუსლი
ნორმალური ძალა $N_t = H_t \cos \varphi$ ტ (X ფორმ.).	-2,205	-2,02	-1,40
მღუნავი მომენტი $M_t = -H_t y$ ტ. მ. (X ფორმ.).	+4,52	+0,93	-12,57
ძაბვა კუმშვისაგან $\frac{N_t}{F}$ ტ/მ ² .	-2,2	-1,8	-1,0
ძაბვა ლუნვისაგან $\frac{M_t}{W}$ ტ/მ ² .	$\pm 27,1$	$\pm 4,6$	$\pm 39,8$
ძაბვა ზენო ბოჭკოებში: $\sigma_0 = \frac{1}{10} \left(\frac{N_t}{F} + \frac{M_t}{W} \right) \text{ კგ/სმ}^2.$	+2,49	+0,25	-4,08
ძაბვა ქვედა ბოჭკოებში: $\sigma_u = \frac{1}{10} \left(\frac{N_t}{F} - \frac{M_t}{W} \right) \text{ კგ/სმ}^2.$	-2,93	-0,64	+3,88

გ) გავლენის ხაზების აგება

კამარის დროებით დატვირთვაზე გაანგარიშებას აწარმოებენ გავლენის ხაზებით. VI ცხრილში მოყვანილია გავლენის ხაზის ორდინატები კამარის H ძალისათვის დრეკადული მოკუმშვის გათვალისწინებით და გავლენის ხაზის ორდინატები მღუნავი M' მომენტისათვის დრეკადული მოკუმშვის გათვალისწინებლად იმ პირობით, რომ გაანგარიშების დროს შევიდეს შესწორება დრეკადულ მოკუმშვაზე მღუნავ მომენტისათვის.

დამატებით კამარის ძალისათვის, დრეკადული მოკუმშვის გავლენისა-
გან, ზოგად გამოსახულებას აქვს შემდეგი სახე (იხ. 194):

$$(-\Delta H) = \frac{\Delta l}{(1+\mu) \int y_0 y d\omega}$$

დატვირთვის მოქმედების დროს:

$$\Delta l = \int \frac{N ds}{EF} \cos \varphi = \int \frac{N dz}{EF} \quad . (199)$$

ზოგად შემთხვევაში ვერტიკალური დატვირთვის მოქმედებისას, მათ შო-
რის ერთეული ძალის მოდების შემთხვევისათვისაც, N სიდიდე განისაზღვრე-
ბა 333-ე ნახაზის საფუძველზე, სადაც კლიტის კვეთში წარმოდგენილი ძალებ-
ში გამოთვლილი არიან დრეკადული მოკუმშვის გაუთვალისწინებლად. მხო-
ლოდ ასეთი დატვირთვისათვის, რომლის დროსაც თოკის მრუდი დაემთხვევა
კამარის ლერძს, როგორც ზემოთ ვნახეთ, მხებიითი V_1 და T ძალები და მღუნავი
მომენტები უდრიან ნულს და N სიდიდისათვის მიიღება მარტივი გამოსახუ-
ლება. მოცემულ შემთხვევაში გვაქვს:

$$N + (V_1 - 1) \sin \varphi - H \cos \varphi = 0,$$

საიდანაც

$$N = H \cos \varphi - (V_1 - 1) \sin \varphi.$$

გამარტივებისათვის უკუვადლოთ
მეორე წევრი, გამომდინარე იქედან,
რომ მოკუმშვის გავლენა აღმოჩნდე-
ბა არსებითად მხოლოდ დაწეულ კა-
მარებისათვის, ხოლო უკანასკნელი
 $\sin \varphi$ მნიშვნელობა ძალიან მცირეა
და ის შეიძლება უგულებელვყოთ
განსაკუთრებით დროებით დატვირთვაზე გაანგარიშების დროს, რომელიც კა-
მარებში ჩვეულებრივად მცირეა.

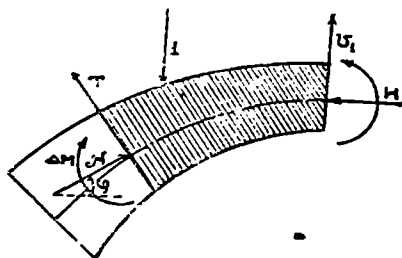
მაშასადამე,

$$N = H \cos \varphi,$$

და (199)-ე ფორმულის საფუძველზე,

$$\Delta l = \int \frac{H \cos \varphi dz}{EF} = H \int \frac{\cos \varphi dz}{EF}$$

$$(-\Delta H) = \frac{H \int \frac{\cos \varphi dz}{EF}}{\int y_0 y d\omega (1+\mu)} = \frac{H\mu}{1+\mu},$$



ნახ. 333.

$$\frac{\int \frac{\cos \varphi d\zeta}{EF}}{\int y_0 y d\omega} = \mu.$$

მნიშვნელში μ სიდიდის უკუვლებით ერთთან შედარებით მივიღებთ:

$$(-\Delta H) = H\mu. \quad (XI)$$

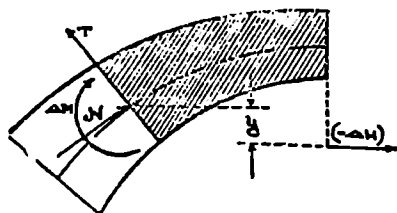
ეს ძალა, გათვალისწინებს მოკუმშვის გავლენას, როგორც ზემოთ იყო ნაჩვენები და მოდებულია დრეკადი ცენტრის სიმალლეზე. დამატებითი მლუნავი მომენტი მოკუმშვისაგან, 334-ე ნახაზის მიხედვით, გამოისახება ასე:

$$\Delta M = (-\Delta H) y = H\mu y. \quad (XII)$$

ამ გამოსახულებაში სრულებით ერთი და იგივეა მივიღებთ კამარის H ძალას კუმშვით გათვალისწინებულს თუ გაუთვალისწინებელს, რადგან თუ ჩვენ ვუწოდებთ მთელ თაღოვან ძალას H , ხოლო ძირითადს (მოკუმშვის გაუთვალისწინებლად) H' , მაშინ

$$H = H' + H'\mu = H'(1 + \mu) = H'.$$

იმ საფუძველზე, რომ ერთთან შედარებით ჩვენ უგულებელვყოფთ μ სიდიდეს. კამარის ძალისათვის მოკუმშვის გათვალისწინებით გავლენის ხაზის y ორდინატები მოყვანილია VI ცხრილში. ამ მონაცემების საფუძველზე ჩვენ XII ფორმულით გამო-



ნახ. 334.

კითვლით გავლენის ხაზის ორდინატებს დამატებითი მლუნავი ΔM მომენტისათვის.

მოკუმშვის გაუთვალისწინებლად, მლუნავი მომენტის სიდიდის M' აღნიშვნით, მივიღებთ სრული მლუნავი მომენტის გამოსახულებისათვის:

$$M = M' + \Delta M = M' + H\mu y \quad (XIII)$$

VII ცხრილში მოყვანილია გავლენის ხაზის ორდინატები, ვერტიკალური საყრდენი რეაქციებისათვის.

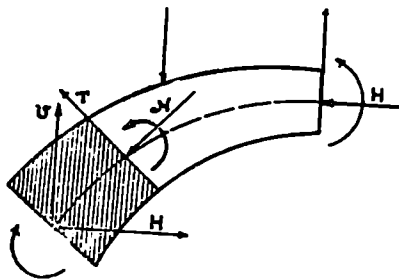
H განმბრჯენისაგან და ვერტიკალური V რეაქციისაგან დამოკიდებულებით, ჩვენ მივიღებთ, ნებისმიერ კვეთში, ნორმალური N ძალის შემდეგ გამოსახულებას (ნახ. 335):

$$N = H \cos \varphi + V \sin \varphi,$$

თუ დაშტრიხულ ნაწილზე არ არის მოღებული ერთეული ძალა და

$$N = H \cos \varphi + (V - 1) \sin \varphi,$$

როცა ერთეული ძალა მოღებულია.



ნახ. 335.



VI ცხრილი. თაღვანი ძალისა (განმბრჯენი) და მღუნავი მომენტების გავლენის ხაზის ორდინატები და ფართები ხიშეტრიულ უსახსრო კამარებისათვის

აღნიშვნები:

l მალი,

f ისარი,

y' კამარის ღერძის ორდინატი კლიტის ცენტრში გამავალი ღერძის შიშართ,

y'' იგივე მალის მეოთხედში,

J_0 ინერციის მომენტი კლიტეში,

J_k " " ქუსლში,

g_0 დატვირთვის ხაზის ორდინატი კლიტეში,

g_k " " " " ქუსლში,

φ_k კუთხე მხებისა ჰორიზონტთან ქუსლში.

კამარის ღერძის მოხაზულობა განისაზღვრება შეფარდებით:

$$\frac{y''}{f} \text{ ან შესაბამისად: } m = \frac{g_k}{g_0}.$$

განივი კვეთის ცვლილება ხასიათდება სიდიდით:

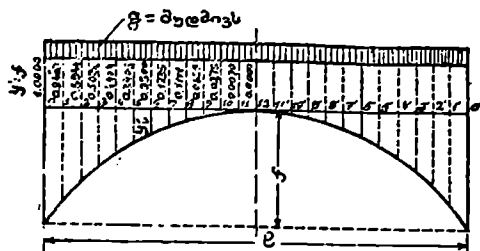
$$n = \frac{J_0}{J_k \cdot \cos \varphi_k};$$

უკანასკნელ გამოსახულებას სწორკუთხოვან კვეთისა და კამარის მუდმივი სიგანისათვის აქვს შემდეგი სახე:

$$n = \frac{d_0^3}{d_k^3 \cos \varphi_k}.$$

/

$$y_v : f = 0,25. \quad m = g_k : g_v = 1,000.$$



5ბ. 1.

$$H_g' = 0,1250 \cdot \frac{g_v l^2}{f}$$

$$\lg \varphi_k = 4,000 \cdot \frac{f}{l}$$

$$V_g = 0,5000 \cdot g_v l$$

$$\cos \varphi_k = \frac{1}{\sqrt{1 + 16,000 \cdot \frac{f^2}{l^2}}}$$

თაღოვანი ძალა (მნიშვნელობა $H \frac{f}{l} (1 + \mu)$).

	$\mu = \frac{f_v}{f_k \cdot \cos \varphi_k}$									f
	1.0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
	0,3333	0,3148	0,2917	0,2778	0,2619	0,2436	0,2333	0,2222	0,2101	
ბავუნების ხაზის ორდონატების №	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,0080	0,0057	0,0053	0,0051	0,0047	0,0043	0,0041	0,0037	0,0033	1
2	0,0219	0,0210	0,0199	0,0191	0,0182	0,0170	0,0161	0,0152	0,0140	2
3	0,0449	0,0434	0,0416	0,0403	0,388	0,0368	0,0355	0,0339	0,0319	3
4	0,0723	0,0706	0,0683	0,0668	0,0649	0,0625	0,0609	0,0590	0,0566	4
5	0,1020	0,1003	0,0980	0,0975	0,0947	0,0923	0,0908	0,0889	0,0865	5
6	0,1318	0,1305	0,1287	0,1276	0,1262	0,1243	0,1231	0,1217	0,1199	6
7	0,1601	0,1594	0,1586	0,1580	0,1574	0,1565	0,1560	0,1553	0,1545	7
8	0,1852	0,1855	0,1853	0,1861	0,1864	0,1868	0,1871	0,1874	0,1878	8
9	0,2060	0,2073	0,2089	0,2100	0,2114	0,2131	0,2143	0,2157	0,2179	9
10	0,2215	0,2237	0,2266	0,2284	0,2307	0,2337	0,2356	0,2380	0,2409	10
11	0,2311	0,2340	0,2377	0,2401	0,2431	0,2469	0,2494	0,2524	0,2562	11
12	0,2344	0,2375	0,2415	0,2441	0,2473	0,2516	0,2542	0,2575	0,2616	12
$\int y_v \cdot dx$	0,0869	0,0775	0,0683	0,0598	0,0520	0,0448	0,0410	0,0370	0,0329	$\int y_v \cdot dx$
	1.0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	

$$n = \frac{J_z}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$$

	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
	0,3333	0,3148	0,2917	0,2778	0,2619	0,2436	0,2333	0,2222	0,2101	$\cdot f$
გვერდის ხაზის ორდონატების M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0004	1
2	-0,0038	-0,0035	-0,0031	-0,0029	-0,0026	-0,0023	-0,0021	-0,0020	-0,0018	2
3	-0,0072	-0,0066	-0,0060	-0,0056	-0,0051	-0,0047	-0,0044	-0,0041	-0,0037	3
4	-0,0102	-0,0095	-0,0087	-0,0083	-0,0077	-0,0072	-0,0068	-0,0064	-0,0060	4
5	-0,0123	-0,0116	-0,0108	-0,0103	-0,0098	-0,0092	-0,0089	-0,0085	-0,0081	5
6	-0,0127	-0,0121	-0,0115	-0,0111	-0,0107	-0,0103	-0,0100	-0,0097	-0,0093	6
7	-0,0108	-0,0105	-0,0102	-0,0100	-0,0098	-0,0096	-0,0095	-0,0093	-0,0091	7
8	-0,0062	-0,0063	-0,0064	-0,0065	-0,0065	-0,0066	-0,0066	-0,0067	-0,0067	8
9	0,0016	0,0012	0,0006	0,0003	-0,0001	-0,0005	-0,0008	-0,0011	-0,0014	9
10	0,0180	0,0121	0,0111	0,0105	0,0099	0,0091	0,0087	0,0082	0,0077	10
11	0,0280	0,0269	0,0255	0,0247	0,0239	0,0229	0,0223	0,0218	0,0210	11
12	0,0469	0,0456	0,0441	0,0433	0,0423	0,0413	0,0407	0,0400	0,0392	12
11'	0,0280	0,0269	0,0255	0,0247	0,0239	0,0229	0,0223	0,0218	0,0210	11'
10'	0,0130	0,0121	0,0111	0,0105	0,0099	0,0091	0,0087	0,0082	0,0077	10'
9'	0,0016	0,0012	0,0006	0,0003	-0,0001	-0,0005	-0,0008	-0,0011	-0,0014	9'
8'	-0,0062	-0,0063	-0,0064	-0,0065	-0,0065	-0,0066	-0,0066	-0,0067	-0,0067	8'
7'	-0,0105	-0,0105	-0,0102	-0,0100	-0,0098	-0,0096	-0,0095	-0,0093	-0,0091	7'
6'	-0,0127	-0,0121	-0,0115	-0,0111	-0,0107	-0,0103	-0,0100	-0,0097	-0,0093	6'
5'	-0,0123	-0,0116	-0,0108	-0,0103	-0,0098	-0,0092	-0,0089	-0,0085	-0,0081	5'
4'	-0,0102	-0,0095	-0,0087	-0,0083	-0,0077	-0,0072	-0,0068	-0,0064	-0,0060	4'
3'	-0,0072	-0,0066	-0,0060	-0,0056	-0,0051	-0,0047	-0,0044	-0,0041	-0,0037	3'
2'	-0,0038	-0,0035	-0,0031	-0,0029	-0,0026	-0,0023	-0,0021	-0,0020	-0,0018	2'
1'	-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0004	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
M_{max}	0,0054	0,0052	0,0049	0,0047	0,0046	0,0044	0,0043	0,0041	0,0040	$\cdot p^2$
$M_{კლატე} H$	0,060	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	$\cdot p^2 : f$
M_{min}	-0,0054	0,0052	-0,0049	-0,0047	-0,0046	-0,0044	-0,0043	-0,0041	-0,0040	$\cdot p^2$
$M_{კლატე} H$	0,065	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	$\cdot p^2 : f$
n	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

$$y_0' : f = 0.25.$$

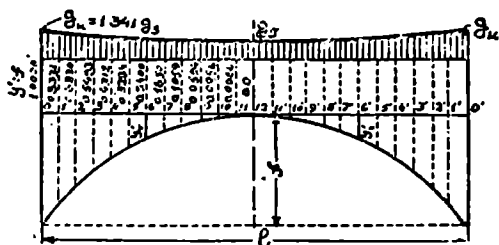
მომენტის კოეფიციენტი

$$m = 1,000$$

		$n = \frac{J_0}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
y		-0,6667	-0,6852	-0,7083	-0,7222	-0,7391	-0,7564	-0,7667	-0,7778	-0,7899	$-f$
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		-0,0343	-0,0346	-0,0351	-0,0353	-0,0356	-0,0363	-0,0366	-0,0371	-0,0377	1
2		-0,0554	-0,0564	-0,0578	-0,0589	-0,0600	-0,0618	-0,0629	-0,0641	-0,0658	2
3		-0,0659	-0,0676	-0,0700	-0,0717	-0,0739	-0,0768	-0,0787	-0,0810	-0,0850	3
4		-0,0675	-0,0698	-0,0732	-0,0754	-0,0784	-0,0829	-0,0846	-0,0879	-0,0917	4
5		-0,0626	-0,0652	-0,0690	-0,0716	-0,0749	-0,0793	-0,0821	-0,0856	-0,0899	5
6		-0,0529	-0,0554	-0,0591	-0,0616	-0,0649	-0,0693	-0,0721	-0,0755	-0,0796	6
7		-0,0366	-0,0419	-0,0451	-0,0474	-0,0502	-0,0539	-0,0563	-0,0591	-0,0626	7
8		-0,0247	-0,0263	-0,0287	-0,03 2	-0,0322	-0,0349	-0,0365	-0,0384	-0,0407	8
9		-0,0092	-0,0099	-0,0111	-0,0118	-0,0127	-0,0140	-0,0146	-0,0153	0,0162	9
10		0,0059	0,0061	0,0063	0,0065	0,0067	0,0071	0,0074	0,0080	0,0086	10
11		0,0196	0,0207	0,0222	0,0233	0,0247	0,0265	0,0279	0,0295	0,0317	11
12		0,0313	0,0331	0,0356	0,0374	0,0397	0,0429	0,0449	0,0475	0,0509	12
11'		0,0403	0,0426	0,0458	0,0480	0,0509	0,0547	0,0573	0,0604	0,0644	11'
10'		0,0464	0,0489	0,0523	0,0547	0,0577	0,0618	0,0645	0,0678	0,0718	10'
9'		0,0495	0,0518	0,0551	0,0573	0,0603	0,0641	0,0666	0,0696	0,0733	9'
8'		0,0494	0,0514	0,0542	0,0562	0,0587	0,0620	0,0641	0,0665	0,0696	8'
7'		0,0465	0,0490	0,0502	0,0517	0,0530	0,0561	0,0577	0,0595	0,0616	7'
6'		0,0410	0,0421	0,0435	0,0446	0,0459	0,0474	0,0484	0,0495	0,0508	6'
5'		0,0386	0,0402	0,0411	0,0425	0,0436	0,0450	0,0461	0,0471	0,0485	5'
4'		0,0251	0,0259	0,0266	0,0275	0,0280	0,0289	0,0293	0,0298	0,0302	4'
3'		0,0163	0,0162	0,0162	0,0162	0,0162	0,0161	0,0159	0,0157	0,0153	3'
2'		0,0082	0,0081	0,0081	0,0079	0,0079	0,0076	0,0074	0,0073	0,0069	2'
1'		0,0023	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0020	0,0020	0,0020	0,0017	1'
0'		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
	M_{max}	0,0171	0,0177	0,0186	0,0192	0,0200	0,0211	0,0217	0,0226	0,0236	$f \cdot 3$
	$H_{შეღებ}$	0,085	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,087	0,087	0,087	$f \cdot 3$
	M_{min}	-0,0171	-0,0177	-0,0186	-0,0192	-0,0200	-0,0211	-0,0217	-0,0226	-0,0236	$f \cdot 3$
	$H_{შეღებ}$	0,040	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,038	0,038	$f \cdot 3$
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

		$n = \frac{l_e}{f_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
		0,0533	0,0648	0,0417	0,0278	0,0119	-0,0064	-0,0167	-0,0278	-0,0399	f
ბაგღმის ხაზის რღობის კოეფიციენტი	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,0016	0,0016	0,0016	0,0015	0,0014	0,0012	0,0012	0,0011	0,0010	1
	2	0,0064	0,0065	0,0062	0,0061	0,0058	0,0054	0,0052	0,0048	0,0044	2
	3	0,0148	0,0146	0,0141	0,0138	0,0133	0,0126	0,0121	0,0115	0,0107	3
	4	0,0264	0,0260	0,0253	0,0248	0,0241	0,0230	0,0223	0,0214	0,0204	4
	5	0,0412	0,0407	0,0398	0,0391	0,0382	0,0368	0,0360	0,0349	0,0336	5
	6	0,0593	0,0586	0,0575	0,0567	0,0556	0,0541	0,0532	0,0520	0,0505	6
	7	0,0399	0,0381	0,0368	0,0360	0,0348	0,0333	0,0323	0,0311	0,0297	7
	8	0,0216	0,0207	0,0194	0,0185	0,0174	0,0159	0,0150	0,0140	0,0127	8
	9	0,0073	0,0063	0,0050	0,0042	0,0032	0,0020	0,0013	0,0004	-0,0006	9
	10	-0,0043	-0,0032	-0,0019	-0,0010	-0,0007	-0,0003	-0,0002	-0,0001	-0,0001	10
	11	-0,0131	-0,0119	-0,0107	-0,0102	-0,0097	-0,0092	-0,0087	-0,0082	-0,0077	11
	12	-0,0195	-0,0200	-0,0205	-0,0209	-0,0208	-0,0208	-0,0207	-0,0206	-0,0204	12
11'	-0,0236	-0,0248	-0,0238	-0,0236	-0,0234	-0,0229	-0,0225	-0,0220	-0,0214	11'	
10'	-0,0257	-0,0255	-0,0250	-0,0245	-0,0239	-0,0230	-0,0223	-0,0215	-0,0205	10'	
9'	-0,0260	-0,0254	-0,0244	-0,0237	-0,0228	-0,0215	-0,0207	-0,0196	-0,0184	9'	
8'	-0,0247	-0,0238	-0,0225	-0,0216	-0,0205	-0,0190	-0,0181	-0,0169	-0,0155	8'	
7'	-0,0222	-0,0211	-0,0197	-0,0187	-0,0174	-0,0159	-0,0149	-0,0138	-0,0124	7'	
6'	-0,0183	-0,0177	-0,0162	-0,0152	-0,0140	-0,0125	-0,0116	-0,0103	-0,0093	6'	
5'	-0,0148	-0,0138	-0,0124	-0,0115	-0,0104	-0,0091	-0,0083	-0,0075	-0,0064	5'	
4'	-0,0106	-0,0098	-0,0086	-0,0079	-0,0071	-0,0061	-0,0055	-0,0048	-0,0040	4'	
3'	-0,0067	-0,0060	-0,0053	-0,0048	-0,0042	-0,0035	-0,0031	-0,0027	-0,0022	3'	
2'	-0,0033	-0,0029	-0,0025	-0,0022	-0,0019	-0,0016	-0,0014	-0,0012	-0,0009	2'	
1'	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0005	-0,0004	-0,0003	-0,0003	-0,0002	1'	
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'	
M_{max}		0,0090	0,0088	0,0085	0,0083	0,0080	0,0076	0,0074	0,0071	0,0068	p, p'
$H_{შვლ. H}$		0,040	0,039	0,038	0,037	0,036	0,035	0,034	0,033	0,031	$p, p': f$
M_{min}		-0,0080	-0,0088	-0,0085	-0,0083	-0,0080	-0,0076	-0,0074	-0,0071	-0,0068	p, p'
$H_{შვლ. H}$		0,085	0,086	0,087	0,088	0,089	0,090	0,091	0,092	0,094	$p, p': f$
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

$$y_0 : f = 0,24. \quad m = g_k : g_0 = 1,347.$$



66b. II.

$$H_g = 0,1320 \cdot \frac{g_0 P}{f}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_k = 4,217 \cdot \frac{f}{l}$$

$$V_g = 0,566 \cdot g_0 l$$

$$\cos \varphi_k = \frac{1}{\sqrt{1 + 17,780 \cdot \frac{f}{l}}}$$

თაღოვანი ძალა (მნიშვნელობა $H \cdot \frac{f}{l} \cdot (1 + \mu)$).

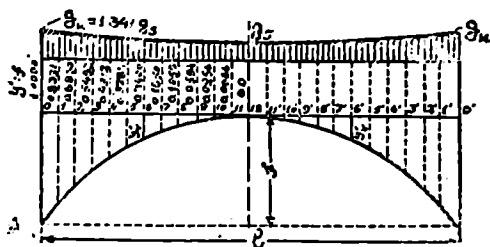
	$n = \frac{l_0}{l_k \cdot \cos \varphi_k}$									
	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
y_0	0,3262	0,3079	0,2650	0,2713	0,2556	0,2374	0,2273	0,2163	0,2044	$\cdot f$
პველენის ხაზის ორდინატების №	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,0061	0,0059	0,0054	0,0052	0,0049	0,0045	0,0042	0,0039	0,0035
	2	0,0229	0,0214	0,0203	0,0195	0,0186	0,0174	0,0166	0,0156	0,0144
	3	0,0156	0,0142	0,0123	0,0111	0,0396	0,376	0,0363	0,0347	0,0328
	4	0,0733	0,0716	0,0694	0,0679	0,0661	0,0637	0,0621	0,0602	0,0579
	5	0,1032	0,1015	0,0994	0,0979	0,0962	0,0938	0,0924	0,0906	0,0883
	6	0,1331	0,1319	0,1302	0,1292	0,1279	0,1261	0,1250	0,1233	0,1221
	7	0,1614	0,1608	0,1602	0,1597	0,1593	0,1586	0,1582	0,1577	0,1570
	8	0,1864	0,1859	0,1855	0,1879	0,1833	0,1890	0,1894	0,1899	0,1905
	9	0,2073	0,2067	0,2106	0,2118	0,2133	0,2158	0,2166	0,2182	0,2202
	10	0,2227	0,2251	0,2282	0,2301	0,2326	0,2359	0,2380	0,2405	0,2437
	11	0,2323	0,2353	0,2392	0,2418	0,2449	0,2491	0,2517	0,2550	0,2596
	12	0,2355	0,2388	0,2430	0,2458	0,2482	0,2537	0,2565	0,2600	0,2644
$\int y_0 dx$	0,0875	0,0761	0,0610	0,0577	0,0509	0,0437	0,0400	0,0361	0,0320	$l^2 : E I_0$
	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

		$n = \frac{J_r}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
y		0,3262	0,3079	0,2850	0,2713	0,2556	0,2374	0,2273	0,2163	0,2044	$\cdot f$
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0009	-0,0007	-0,0007	-0,0006	-0,0005	-0,0005	1
2		-0,0038	0,0035	-0,0031	-0,0029	-0,0026	-0,0023	-0,0021	-0,0020	-0,0018	2
3		-0,0071	-0,0065	-0,0059	-0,0055	-0,0051	-0,0046	-0,0045	-0,0040	-0,0037	3
4		-0,0100	-0,0094	-0,0086	-0,0081	-0,0076	-0,0071	-0,0067	-0,0063	-0,0059	4
5		-0,0120	-0,0113	-0,0105	-0,0101	-0,0096	-0,0090	-0,0087	-0,0083	-0,0079	5
6		-0,0122	-0,0117	-0,0111	-0,0107	-0,0104	-0,0099	-0,0097	-0,0094	-0,0091	6
7		-0,0101	-0,0099	-0,0096	-0,0095	-0,0093	-0,0091	-0,0090	-0,0089	-0,0087	7
8		-0,0052	-0,0054	-0,0056	-0,0057	-0,0058	-0,0059	-0,0060	-0,0061	-0,0062	8
9		0,0027	0,0022	0,0016	0,0012	0,0008	0,0003	0,0000	-0,0003	-0,0006	9
10		0,0142	0,0132	0,0122	0,0115	0,0108	0,0101	0,0096	0,0091	0,0085	10
11		0,0293	0,0281	0,0267	0,0259	0,0250	0,0239	0,0233	0,0227	0,0220	11
12		0,0482	0,0469	0,0454	0,0444	0,0435	0,0424	0,0417	0,0410	0,0402	12
11'		0,0293	0,0281	0,0267	0,0259	0,0250	0,0239	0,0233	0,0227	0,0220	11'
10'		0,0142	0,0132	0,0122	0,0115	0,0108	0,0101	0,0096	0,0091	0,0085	10'
9'		0,0027	0,0022	0,0016	0,0012	0,0008	0,0003	0,0000	-0,0003	-0,0006	9'
8'		-0,0052	-0,0054	-0,0056	-0,0057	-0,0058	-0,0059	-0,0060	-0,0061	-0,0062	8'
7'		-0,0101	-0,0099	-0,0096	-0,0095	-0,0093	-0,0091	-0,0090	-0,0089	-0,0087	7'
6'		-0,0122	-0,0117	-0,0111	-0,0107	-0,0104	-0,0099	-0,0097	-0,0094	-0,0091	6'
5'		-0,0120	-0,0113	-0,0105	-0,0101	-0,0096	-0,0090	-0,0087	-0,0083	-0,0079	5'
4'		-0,0100	-0,0094	-0,0086	-0,0081	-0,0076	-0,0071	-0,0067	-0,0063	-0,0059	4'
3'		-0,0071	-0,0065	-0,0059	-0,0055	-0,0051	-0,0046	-0,0043	-0,0040	-0,0037	3'
2'		-0,0038	-0,0035	-0,0031	-0,0028	-0,0026	-0,0023	-0,0021	-0,0020	-0,0018	2'
1'		-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0007	-0,0006	-0,0005	-0,0005	1'
0'		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
$\min M$		0,0058	0,0055	0,0052	0,0050	0,0048	0,0046	0,0045	0,0043	0,0042	$\cdot p^2$
$\max H$		0,062	0,062	0,062	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	$\cdot p^2 \cdot f$
$\min M$		-0,0052	-0,0050	-0,0047	-0,0045	-0,0043	-0,0042	-0,0041	-0,0039	-0,0038	$\cdot p^2$
$\max H$		0,064	0,064	0,064	0,065	0,065	0,065	0,066	0,066	0,066	$\cdot p^2 \cdot f$
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

		$n = \frac{J_s}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,9	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ		-0,6738	-0,6921	-0,7150	-0,7287	-0,7444	-0,7626	-0,7727	-0,7837	-0,7956	$\cdot f$
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		-0,0342	-0,0345	-0,0349	-0,0352	-0,0356	-0,0361	-0,0365	-0,0369	-0,0374	1
2		-0,0550	-0,0560	-0,0574	-0,0594	-0,0596	-0,0613	-0,0624	-0,0637	-0,0654	2
3		-0,0650	-0,0667	-0,0692	-0,0709	-0,0720	-0,0759	-0,0776	-0,0802	-0,0830	3
4		-0,0664	-0,0687	-0,0710	-0,0742	-0,0771	-0,0809	-0,0835	-0,0866	-0,0903	4
5		-0,0610	-0,0637	-0,0673	-0,0699	-0,0732	-0,0776	-0,0803	-0,0837	-0,0850	5
6		-0,0510	-0,0535	-0,0572	-0,0597	-0,0629	-0,0672	-0,0699	-0,0732	-0,0773	6
7		-0,0376	-0,0399	-0,0429	-0,0451	-0,0478	-0,0514	-0,0537	-0,0564	-0,0598	7
8		-0,0226	-0,0241	-0,0263	-0,0275	-0,0297	-0,0321	-0,0336	-0,0354	-0,0376	8
9		-0,0069	-0,0076	-0,0085	-0,0092	-0,0100	-0,0110	-0,0116	-0,0122	-0,0126	9
10		0,0082	0,0085	0,0089	0,0091	0,0095	0,0102	0,0106	0,0113	0,0122	10
11		0,0220	0,0232	0,0248	0,0260	0,0275	0,0297	0,0311	0,0330	0,0354	11
12		0,0336	0,0356	0,0383	0,0402	0,0426	0,0460	0,0481	0,0509	0,0545	12
11'		0,0427	0,0441	0,0484	0,0508	0,0537	0,0579	0,0605	0,0639	0,0680	11'
10'		0,0487	0,0518	0,0549	0,0573	0,0605	0,0649	0,0677	0,0711	0,0754	10'
9'		0,0517	0,0541	0,0576	0,0599	0,0630	0,0670	0,0696	0,0726	0,0767	9'
8'		0,0515	0,0537	0,0566	0,0587	0,0612	0,0647	0,0669	0,0695	0,0727	8'
7'		0,0485	0,0501	0,0524	0,0540	0,0560	0,0586	0,0602	0,0622	0,0644	7'
6'		0,0428	0,0440	0,0455	0,0466	0,0479	0,0496	0,0506	0,0518	0,0531	6'
5'		0,0352	0,0358	0,0367	0,0372	0,0380	0,0389	0,0394	0,0399	0,0404	5'
4'		0,0263	0,0265	0,0269	0,0271	0,0273	0,0276	0,0276	0,0276	0,0276	4'
3'		0,0171	0,0171	0,0170	0,0170	0,0170	0,0169	0,0168	0,0165	0,0162	3'
2'		0,0087	0,0086	0,0085	0,0084	0,0083	0,0081	0,0079	0,0077	0,0073	2'
1'		0,0024	0,0024	0,0023	0,0023	0,0023	0,0022	0,0021	0,0020	0,0018	1'
0'		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
M_{max}		0,0181	0,0187	0,0196	0,0204	0,0212	0,0222	0,0230	0,0239	0,0250	$\cdot p^2$
$M_{\text{ჰლ.ბ.}} H$		0,087	0,087	0,088	0,088	0,088	0,088	0,089	0,090	0,090	$\cdot p^2 : f$
M_{min}		-0,0166	-0,0172	-0,0181	-0,0187	-0,0194	-0,0204	-0,0211	-0,0219	-0,0229	$\cdot p^2$
$M_{\text{ჰლ.ბ.}} H$		0,039	0,039	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,037	0,37	$\cdot p^2 : f$
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

		$n = \frac{J_s}{J_k \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
		0,0362	0,0679	0,0450	0,0313	0,0156	-0,0026	-0,0127	-0,0237	-0,0356	f
ბავლენის ხაზის ორდინატების №	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0013	0,0012	0,0011	0,0010	1
	2	0,0065	0,0064	0,0062	0,0060	0,0057	0,0054	0,0051	0,0048	0,0044	2
	3	0,0146	0,0144	0,0140	0,0136	0,0131	0,0125	0,0120	0,0114	0,0106	3
	4	0,0261	0,0257	0,0250	0,0245	0,0238	0,0228	0,0221	0,0212	0,0202	4
	5	0,0408	0,0403	0,0394	0,0387	0,0378	0,0365	0,0356	0,0346	0,0333	5
	6	0,0588	0,0581	0,0570	0,0562	0,0551	0,0537	0,0527	0,0515	0,0501	6
	7	0,0834	0,0825	0,0812	0,0804	0,0792	0,0777	0,0767	0,0755	0,0741	7
	8	0,0210	0,0200	0,0187	0,0178	0,0167	0,0152	0,0143	0,0132	0,0120	8
	9	0,0066	0,0056	0,0043	0,0034	0,0024	0,0012	0,0001	-0,0005	-0,0014	9
	10	-0,0050	-0,0060	-0,0071	-0,0078	-0,0086	-0,0095	-0,0101	-0,0107	-0,0113	10
	11	-0,0139	-0,0147	-0,0156	-0,0161	-0,0166	-0,0171	-0,0174	-0,0176	-0,0178	11
	12	-0,0203	-0,0205	-0,0214	-0,0216	-0,0218	-0,0218	-0,0217	-0,0216	-0,0214	12
11'	-0,0214	-0,0216	-0,0224	-0,0225	-0,0223	-0,0223	-0,0224	-0,0223	-0,0222	11'	
10'	-0,0264	-0,0262	-0,0258	-0,0254	-0,0248	-0,0238	-0,0232	-0,0224	-0,0214	10'	
9'	-0,0267	-0,0261	-0,0252	-0,0245	-0,0236	-0,0223	-0,0215	-0,0205	-0,0192	9'	
8'	-0,0253	-0,0245	-0,0232	-0,0224	-0,0212	-0,0197	-0,0188	-0,0176	-0,0162	8'	
7'	-0,0228	-0,0217	-0,0203	-0,0193	-0,0181	0,0165	-0,0155	-0,0143	-0,0130	7'	
6'	-0,0193	-0,0182	-0,0167	-0,0157	-0,0145	-0,0130	-0,0120	-0,0110	-0,0097	6'	
5'	-0,0152	-0,0142	-0,0128	-0,0119	-0,0108	-0,0095	-0,0087	-0,0078	-0,0067	5'	
4'	-0,0109	-0,0101	-0,0089	-0,0082	-0,0073	-0,0063	-0,0057	-0,0050	-0,0042	4'	
3'	-0,0069	-0,0062	-0,0054	-0,0049	-0,0044	-0,0036	-0,0032	-0,0028	-0,0023	3'	
2'	0,0034	-0,0030	-0,0026	-0,0023	-0,0020	0,0017	-0,0014	-0,0012	-0,0010	2'	
1'	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0005	-0,0004	-0,0004	-0,0003	-0,0002	1'	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'	
$\max M$		0,0089	0,0087	0,0084	0,0082	0,0079	0,0075	0,0073	0,0070	0,0067	$\cdot p^2$
$\max H$		0,040	0,039	0,038	0,037	0,036	0,034	0,033	0,032	0,031	$\cdot p^2 : f$
$\min M$		-0,0094	-0,0091	-0,0088	-0,0087	-0,0084	-0,0080	-0,0077	-0,0074	-0,0071	$\cdot p^2$
$\min H$		0,086	0,087	0,088	0,089	0,090	0,092	0,094	0,095	0,096	$\cdot p^2 : f$
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

$$y_1' : f = 0,23. \quad m = g_t : g = 1,756.$$



ნახ. III.

$$H_g = 0,1397 \cdot \frac{q_s l^2}{f}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_k = 4,442 \cdot \frac{f}{l}$$

$$V_g = 0,6206 \cdot q_s l$$

$$\cos \varphi_k = \frac{1}{\sqrt{1 + 19,722 \cdot \frac{f^2}{l^2}}}$$

თაღიანი ძალა (მნიშვნელობა $H \cdot \frac{f}{l} \cdot (1 + \mu)$)

		$n = \frac{l}{k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
		0,3190	0,3070	0,2783	0,2647	0,2491	0,2312	0,2212	0,2103	0,1985	$\cdot f$
პარაბოლის სახის რ. დობ. კვ. მ. N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,0003	0,0000	0,0035	0,0057	0,0050	0,0046	0,0043	0,0040	0,0036	0,0036
	2	0,0227	0,0219	0,0207	0,0200	0,0190	0,0173	0,0170	0,0160	0,0148	0,0148
	3	0,0463	0,0450	0,0431	0,0419	0,0404	0,0384	0,0371	0,0355	0,0336	0,0336
	4	0,0745	0,0728	0,0706	0,0692	0,0674	0,0650	0,0633	0,0616	0,0593	0,0593
	5	0,1045	0,1029	0,1003	0,0994	0,0977	0,0955	0,0941	0,0923	0,0901	0,0901
	6	0,1345	0,1333	0,1318	0,1309	0,1293	0,1281	0,1270	0,1254	0,1244	0,1244
	7	0,1627	0,1624	0,1619	0,1616	0,1612	0,1607	0,1604	0,1600	0,1595	0,1595
	8	0,1877	0,1884	0,1892	0,1896	0,1903	0,1911	0,1916	0,1923	0,1933	0,1933
	9	0,2085	0,2101	0,2122	0,2135	0,2152	0,2176	0,2190	0,2208	0,2230	0,2230
	10	0,2239	0,2264	0,2296	0,2319	0,2346	0,2381	0,2404	0,2431	0,2466	0,2466
	11	0,2333	0,2365	0,2408	0,2435	0,2469	0,2513	0,2541	0,2575	0,2620	0,2620
	12	0,2365	0,2400	0,2446	0,2475	0,2511	0,2550	0,2589	0,2626	0,2674	0,2674
$\int y_0 y \cdot dx$		0,0863	0,0750	0,0629	0,0566	0,0498	0,0428	0,0390	0,0352	0,0312	$\cdot \frac{E I_k}{l^3}$
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	

		$n = \frac{J_s}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
y		0,8190	0,8009	0,2783	0,2647	0,2492	0,2318	0,2212	0,2104	0,1985	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0005	1
2	0	-0,0038	-0,0035	-0,0031	-0,0028	-0,0026	-0,0023	-0,0021	-0,0020	-0,0019	2
3	0	-0,0070	-0,0065	-0,0058	-0,0055	-0,0051	-0,0046	-0,0043	-0,0040	-0,0037	3
4	0	-0,0098	-0,0092	-0,0084	-0,0080	-0,0075	-0,0069	-0,0066	-0,0063	-0,0059	4
5	0	-0,0116	-0,0110	-0,0102	-0,0098	-0,0093	-0,0088	-0,0085	-0,0081	-0,0078	5
6	0	-0,0116	-0,0111	-0,0106	-0,0103	-0,0099	-0,0096	-0,0093	-0,0091	-0,0088	6
7	0	-0,0093	-0,0092	-0,0090	-0,0089	-0,0087	-0,0086	-0,0085	-0,0084	-0,0083	7
8	0	-0,0044	-0,0046	-0,0049	-0,0050	-0,0051	-0,0053	-0,0054	-0,0055	-0,0057	8
9	0	0,0038	0,0032	0,0024	0,0020	0,0016	0,0010	0,0007	0,0004	0,0000	9
10	0	0,0153	0,0144	0,0132	0,0125	0,0118	0,0109	0,0104	0,0099	0,0093	10
11	0	0,0306	0,0293	0,0278	0,0269	0,0260	0,0249	0,0243	0,0236	0,0228	11
12	0	0,0495	0,0481	0,0465	0,0456	0,0445	0,0433	0,0427	0,0419	0,0411	12
11'	0	0,0306	0,0293	0,0278	0,0269	0,0260	0,0249	0,0243	0,0236	0,0228	11'
10'	0	0,0153	0,0144	0,0132	0,0125	0,0118	0,0109	0,0104	0,0099	0,0093	10'
9'	0	0,0038	0,0032	0,0024	0,0020	0,0016	0,0010	0,0007	0,0004	0,0000	9'
8'	0	-0,0044	-0,0046	-0,0049	-0,0050	-0,0051	-0,0053	-0,0054	-0,0055	-0,0057	8'
7'	0	-0,0093	-0,0092	-0,0090	-0,0089	-0,0087	-0,0086	-0,0085	-0,0084	-0,0083	7'
6'	0	-0,0116	-0,0111	-0,0106	-0,0103	-0,0099	-0,0096	-0,0093	-0,0091	-0,0088	6'
5'	0	-0,0116	-0,0110	-0,0102	-0,0098	-0,0093	-0,0088	-0,0085	-0,0081	-0,0078	5'
4'	0	-0,0098	-0,0092	-0,0084	-0,0080	-0,0075	-0,0069	-0,0066	-0,0063	-0,0059	4'
3'	0	-0,0070	-0,0065	-0,0058	-0,0055	-0,0051	-0,0046	-0,0043	-0,0040	-0,0037	3'
2'	0	-0,0038	-0,0035	-0,0031	-0,0028	-0,0026	-0,0023	-0,0021	-0,0020	-0,0019	2'
1'	0	-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0005	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
	$m \cdot z$	0,0061	0,0059	0,0055	0,0053	0,0052	0,0049	0,0047	0,0046	0,0044	$\cdot p^2$
	p^2	0,065	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,063	0,063	$\cdot p^2 : f$
	$m \cdot p$	-0,0046	-0,0048	0,0045	-0,0043	-0,0043	-0,0041	-0,0039	-0,0038	-0,0036	$\cdot p^2$
	p	0,062	0,063	0,063	0,063	0,064	0,064	0,064	0,065	0,066	$\cdot p^2 : f$
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

		$n = \frac{f}{j_k \cdot \cos \gamma_k}$										
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15		
γ		-0,6810	-0,6991	-0,7217	-0,7353	-0,7508	-0,7687	-0,7758	-0,7896	-0,8015	$\cdot f$	
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1		-0,0340	-0,0343	-0,0348	-0,0351	-0,0355	-0,0360	-0,0364	-0,0368	-0,0371	1	
2		-0,0546	-0,0555	-0,0570	-0,0579	-0,0592	-0,0609	-0,0620	-0,0633	-0,0650	2	
3		-0,0642	-0,0658	-0,0683	-0,0700	-0,0722	-0,0751	-0,0770	-0,0793	-0,0822	3	
4		-0,0650	-0,0673	-0,0706	-0,0725	-0,0756	-0,0795	-0,0820	-0,0851	-0,0886	4	
5		-0,0594	-0,0620	-0,0656	-0,0682	-0,0714	-0,0757	-0,0784	-0,0818	-0,0860	5	
6		-0,0490	-0,0516	-0,0552	-0,0575	-0,0608	-0,0649	-0,0676	-0,0707	-0,0746	6	
7		-0,0355	-0,0377	-0,0407	-0,0427	-0,0453	-0,0487	-0,0509	-0,0535	-0,0567	7	
8		-0,0203	-0,0217	-0,0238	-0,0252	-0,0269	-0,0292	-0,0306	-0,0323	-0,0342	8	
9		-0,0045	-0,0051	-0,0060	-0,0065	-0,0071	-0,0079	-0,0082	-0,0088	-0,0092	9	
10		0,0107	0,0110	0,0116	0,0119	0,0125	0,0133	0,0140	0,0148	0,0160	10	
11		0,0244	0,0257	0,0275	0,0288	0,0306	0,0328	0,0345	0,0365	0,0393	11	
12		0,0360	0,0381	0,0410	0,0430	0,0456	0,0492	0,0516	0,0545	0,0585	12	
11'		0,0451	0,0476	0,0511	0,0526	0,0568	0,0611	0,0639	0,0674	0,0720	11'	
10'		0,0512	0,0539	0,0576	0,0601	0,0636	0,0681	0,0710	0,0746	0,0792	10'	
9'		0,0541	0,0566	0,0602	0,0626	0,0659	0,0701	0,0725	0,0762	0,0803	9'	
8'		0,0538	0,0560	0,0591	0,0612	0,0641	0,0676	0,0699	0,0727	0,0761	8'	
7'		0,0506	0,0523	0,0547	0,0564	0,0585	0,0613	0,0630	0,0650	0,0675	7'	
6'		0,0448	0,0459	0,0475	0,0487	0,0501	0,0519	0,0530	0,0543	0,0559	6'	
5'		0,0368	0,0375	0,0384	0,0390	0,0395	0,0407	0,0412	0,0418	0,0424	5'	
4'		0,0276	0,0279	0,0282	0,0285	0,0283	0,0290	0,0291	0,0291	0,0291	4'	
3'		0,0179	0,0179	0,0179	0,0179	0,0179	0,0178	0,0176	0,0174	0,0170	3'	
2'		0,0091	0,0091	0,0089	0,0089	0,0087	0,0085	0,0083	0,0081	0,0077	2'	
1'		0,0026	0,0026	0,0025	0,0024	0,0024	0,0023	0,0022	0,0021	0,0020	1'	
0'		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'	
$\frac{\Delta \text{მედიანა}}{\text{მედიანა}}$		0,0192	0,0198	0,0205	0,0216	0,0225	0,0235	0,0245	0,0254	0,0266	$\cdot p^2$	
$\frac{\Delta \text{მედიანა}}{\text{მედიანა}}$		0,0090	0,0089	0,0089	0,0090	0,0091	0,0091	0,0091	0,0091	0,0092	$\cdot p^2 \cdot f$	
$\frac{\Delta \text{მედიანა}}{\text{მედიანა}}$		-0,0161	-0,0167	-0,0175	-0,0181	-0,0189	-0,0198	-0,0205	-0,0213	-0,0222	$\cdot p^2$	
$\frac{\Delta \text{მედიანა}}{\text{მედიანა}}$		0,0038	0,0038	0,0038	0,0037	0,0037	0,0037	0,0037	0,0037	0,0036	$\cdot p^2 \cdot f$	
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n	

$$n = \frac{J_s}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$$

	1.0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
n	0,0690	0,0709	0,0489	0,0347	0,0192	0,0013	-0,0089	-0,0196	-0,0315	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,0016	0,0015	0,0015	0,0015	0,0014	0,0013	0,0012	0,0011	0,0010	1
2	0,0064	0,0063	0,0061	0,0059	0,0057	0,0053	0,0050	0,0047	0,0043	2
3	0,0144	0,0142	0,0138	0,0135	0,0130	0,0123	0,0118	0,0113	0,0105	3
4	0,0258	0,0254	0,0248	0,0242	0,0235	0,0225	0,0219	0,0210	0,0200	4
5	0,0404	0,0399	0,0390	0,0383	0,0374	0,0361	0,0353	0,0342	0,0330	5
6	0,0581	0,0576	0,0565	0,0557	0,0546	0,0532	0,0522	0,0511	0,0497	6
7	0,0378	0,0369	0,0356	0,0348	0,0336	0,0321	0,0311	0,0299	0,0286	7
8	0,0203	0,0194	0,0180	0,0171	0,0160	0,0145	0,0136	0,0125	0,0112	8
9	0,0059	0,0049	0,0035	0,0027	0,0016	0,0003	-0,0004	-0,0013	-0,0023	9
10	-0,0057	-0,0067	-0,0079	-0,0067	-0,0095	-0,0105	-0,0110	-0,0116	-0,0122	10
11	-0,0146	-0,0155	-0,0164	-0,0170	-0,0175	-0,0181	-0,0184	-0,0186	-0,0188	11
12	-0,0210	-0,0216	-0,0222	-0,0225	-0,0227	-0,0228	-0,0227	-0,0226	-0,0224	12
11'	-0,0251	-0,0254	-0,0255	-0,0254	-0,0252	-0,0248	-0,0245	-0,0240	-0,0233	11'
10'	-0,0271	-0,0270	-0,0266	-0,0262	-0,0256	-0,0246	-0,0241	-0,0231	-0,0223	10'
9'	-0,0273	-0,0268	-0,0259	-0,0253	-0,0244	-0,0231	-0,0223	-0,0213	-0,0200	9'
8'	-0,0260	-0,0251	-0,0239	-0,0230	-0,0219	-0,0205	-0,0195	-0,0181	-0,0170	8'
7'	-0,0233	-0,0223	-0,0209	-0,0199	-0,0187	-0,0171	-0,0161	-0,0149	-0,0135	7'
6'	-0,0198	-0,0186	-0,0172	-0,0162	-0,0150	-0,0135	-0,0125	-0,0114	-0,0101	6'
5'	-0,0156	-0,0146	-0,0132	-0,0123	-0,0112	-0,0098	-0,0090	-0,0081	-0,0070	5'
4'	-0,0112	-0,0103	-0,0092	-0,0085	-0,0078	-0,0065	-0,0059	-0,0052	-0,0044	4'
3'	-0,0071	-0,0064	-0,0053	-0,0051	-0,0045	-0,0038	-0,0034	-0,0029	-0,0024	3'
2'	-0,0035	-0,0031	-0,0027	-0,0024	-0,0021	-0,0017	-0,0015	-0,0013	-0,0010	2'
1'	-0,0010	-0,0009	-0,0007	-0,0006	-0,0005	-0,0004	-0,0004	-0,0003	-0,0002	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
$H_{max} M$	0,0037	0,0065	0,0082	0,0080	0,0078	0,0074	0,0072	5,0069	0,0066	$\cdot p^2$
$H_{შვდბ.} M$	0,040	0,039	0,038	0,036	0,035	0,034	0,033	0,032	0,031	$\cdot p^2 : f'$
$H_{min} M$	-0,0096	-0,0094	-0,0091	-0,0089	-0,0087	-0,0083	-0,0081	-0,0078	-0,0075	$\cdot p^2$
$H_{შვდბ.} M$	0,087	0,088	0,089	0,091	0,093	0,094	0,095	0,096	0,098	$\cdot p^2 : f'$
n	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

გაყდენის ხაზის ორღონატები M

$$y_1' : f = 0,22.$$

$$m = g_1 : g_2 = 2,240.$$

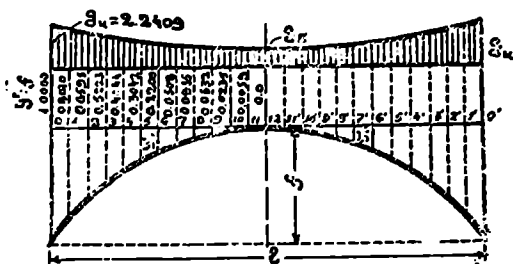


Fig. IV.

$$H_g = 0,1468 \cdot \frac{g_1 P}{f}.$$

$$\operatorname{tg} \varphi_k = 4,675 \cdot \frac{f}{l}.$$

$$V_g = 0,6923 \cdot g_1 l.$$

$$\cos \varphi_k = \frac{1}{\sqrt{1 + 21,841 \cdot \frac{f^2}{l^2}}}$$

თაღოვანი ძალა (მეწეველობა $H \cdot \frac{f}{l} \cdot (1 + \mu)$).

		$\mu = \frac{J_0}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ_0		0,3117	0,2938	0,2714	0,2580	0,2427	0,2250	0,2160	5,2043	0,1926	$\cdot f$
ბაქუნის ხაზის რადიუსები №	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,0064	0,0061	0,0057	0,0055	0,0051	0,0047	0,0044	0,0041	0,0037	1
	2	0,0232	0,0223	0,0212	0,0204	0,0195	0,0182	0,0174	0,0164	0,0152	2
	3	0,0472	0,0458	0,0440	0,0418	0,0413	0,0394	0,0381	0,0365	0,0346	3
	4	0,0755	0,0738	0,0717	0,0703	0,0635	0,0662	0,0647	0,0629	0,0606	4
	5	0,1058	0,1042	0,1022	0,1009	0,0993	0,0972	0,0958	0,0941	0,0920	5
	6	0,1358	0,1348	0,1334	0,1325	0,1314	0,1300	0,1291	0,1280	0,1266	6
	7	0,1640	0,1638	0,1635	0,1633	0,1641	0,1627	0,1625	0,1624	0,1621	7
	8	0,1891	0,1888	0,1904	0,1914	0,1921	0,1933	0,1940	0,1946	0,1960	8
	9	0,2056	0,2114	0,2133	0,2158	0,2172	0,2198	0,2214	0,2238	0,2259	9
	10	0,2249	0,2277	0,2312	0,2335	0,2365	0,2403	0,2427	-0,2457	0,2495	10
	11	0,2348	0,2378	0,2422	0,2451	0,2487	0,2535	0,2565	0,2611	0,2648	11
	12	0,2375	0,2412	0,2459	0,2451	0,2529	0,2590	0,2612	0,2652	0,2701	12
$\int \gamma_0 \cdot d\omega$		0,0847	0,0736	0,0616	0,0553	0,0486	0,0417	0,0380	0,0342	0,0302	$\cdot H/g_1$
μ		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	μ

$$n = \frac{J_s}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$$

	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
	0,3117	0,2988	0,2714	0,2580	0,2427	0,2250	0,2150	0,2043	0,1926	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-0,0011	-0,010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0005	1
2	-0,0038	-0,0034	-0,0031	-0,0028	-0,0026	-0,0023	-0,0021	-0,0019	-0,0017	2
3	-0,0069	-0,0063	-0,0057	-0,0054	-0,0050	-0,0045	-0,0043	-0,0040	-0,0036	3
4	-0,0096	-0,0090	-0,0083	-0,0078	-0,0073	-0,0068	-0,0065	-0,0062	-0,0058	4
5	-0,0113	-0,0107	-0,0100	-0,0096	-0,0091	-0,0086	-0,0083	-0,0079	-0,0076	5
6	-0,0111	-0,0107	-0,0102	-0,0099	-0,0096	-0,0092	-0,0090	-0,0088	-0,0086	6
7	-0,0086	-0,0085	-0,0084	-0,0083	-0,0082	-0,0081	-0,0080	-0,0080	-0,0079	7
8	-0,0034	-0,0037	-0,0039	-0,0041	-0,0043	-0,0045	-0,0047	-0,0048	-0,0050	8
9	0,0050	0,0043	0,0035	0,0031	0,0025	0,0019	0,0016	0,0013	0,0008	9
10	0,0167	0,0156	0,0144	0,0137	0,0129	0,0120	0,0115	0,0109	0,0103	10
11	0,0320	0,0307	0,0291	0,0282	0,0272	0,0260	0,0254	0,0247	0,0239	11
12	0,0510	0,0495	0,0479	0,0469	0,0458	0,0445	0,0439	0,0431	0,0422	12
11'	0,0320	0,0307	0,0291	0,0282	0,0272	0,0260	0,0254	0,0247	0,0239	11'
10'	0,0167	0,0156	0,0144	0,0137	0,0129	0,0120	0,0115	0,0109	0,0103	10'
9'	0,0050	0,0043	0,0035	0,0031	0,0025	0,0019	0,0016	0,0013	0,0008	9'
8'	-0,0034	-0,0037	-0,0039	-0,0041	-0,0043	-0,0045	-0,0047	-0,0048	-0,0050	8'
7'	-0,0086	-0,0085	-0,0084	-0,0083	-0,0082	-0,0081	-0,0080	-0,0080	-0,0079	7'
6'	-0,0111	-0,0107	-0,0102	-0,0099	-0,0096	-0,0093	-0,0090	-0,0088	-0,0086	6'
5'	-0,0113	-0,0107	-0,0100	-0,0096	-0,0091	-0,0086	-0,0083	-0,0079	-0,0076	5'
4'	-0,0096	-0,0090	-0,0083	-0,0078	-0,0073	-0,0068	-0,0065	-0,0062	-0,0058	4'
3'	-0,0069	-0,0063	-0,0057	-0,0054	-0,0050	-0,0045	-0,0043	-0,0040	-0,0036	3'
2'	-0,0038	-0,0034	-0,0031	-0,0028	-0,0026	-0,0023	-0,0021	-0,0019	-0,0017	2'
1'	-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0005	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
$\mu_{\max} M$	0,0065	0,0062	0,0059	0,0056	0,0054	0,0052	0,0050	0,0049	0,0047	$\cdot p^2$
$\mu_{\text{შებ}} H$	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	$\cdot p^2 : f$
$\mu_{\min} M$	-0,0045	-0,0045	-0,0043	-0,0041	-0,0040	-0,0038	-0,0036	-0,0036	-0,0035	$\cdot p^2$
$\mu_{\text{შებ}} H$	0,061	0,061	0,061	0,062	0,062	0,062	0,063	0,063	0,063	$\cdot p^2 : f$
n	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

		$n = \frac{J_s}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ		-0,0863	-0,7062	-0,7256	-0,7420	-0,7573	-0,7750	-0,7850	-0,7957	-0,8074	$\cdot f$
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		-0,0339	-0,0342	-0,0347	-0,0349	-0,0354	-0,0359	-0,0363	-0,0367	-0,0372	1
2		-0,0541	-0,0551	-0,0565	-0,0575	-0,0597	-0,0604	-0,0615	-0,0629	-0,0646	2
3		-0,0632	-0,0649	-0,0673	-0,0690	-0,0712	-0,0741	-0,0760	-0,0783	-0,0812	3
4		-0,0637	-0,0661	-0,0693	-0,0715	-0,0744	-0,0782	-0,0807	-0,0837	-0,0874	4
5		-0,0578	-0,0604	-0,0640	-0,0665	-0,0695	-0,0737	-0,0765	-0,0798	-0,0839	5
6		-0,0472	-0,0496	-0,0532	-0,0556	-0,0585	-0,0626	-0,0652	-0,0683	-0,0722	6
7		-0,0335	-0,0355	-0,0384	-0,0404	-0,0429	-0,0463	-0,0484	-0,0507	-0,0537	7
8		-0,0180	-0,0194	-0,0214	-0,0226	-0,0242	-0,0263	-0,0277	-0,0291	-0,0309	8
9		-0,0022	-0,0027	-0,0033	-0,0037	-0,0043	-0,0048	-0,0051	-0,0054	-0,0055	9
10		0,0130	0,0136	0,0143	0,0148	0,0155	0,0166	0,0173	0,0184	0,0199	10
11		0,0268	0,0283	0,0303	0,0318	0,0336	0,0363	0,0380	0,0402	0,0432	11
12		0,0385	0,0407	0,0436	0,0460	0,0487	0,0526	0,0551	0,0593	0,0622	12
11'		0,0475	0,0502	0,0539	0,0565	0,0599	0,0645	0,0675	0,0711	0,0758	11'
10'		0,0535	0,0564	0,0603	0,0630	0,0666	0,0718	0,0744	0,0782	0,0830	10'
9'		0,0561	0,0590	0,0629	0,0654	0,0687	0,0733	0,0760	0,0795	0,0840	9'
8'		0,0561	0,0583	0,0616	0,0638	0,0668	0,0705	0,0729	0,0758	0,0795	8'
7'		0,0526	0,0544	0,0570	0,0587	0,0610	0,0638	0,0656	0,0679	0,0704	7'
6'		0,0466	0,0478	0,0495	0,0507	0,0523	0,0542	0,0553	0,0567	0,0582	6'
5'		0,0384	0,0391	0,0401	0,0407	0,0417	0,0427	0,0432	0,0438	0,0445	5'
4'		0,0289	0,0291	0,0295	0,0298	0,0300	0,0303	0,0304	0,0305	0,0305	4'
3'		0,0189	0,0189	0,0189	0,0189	0,0188	0,0188	0,0186	0,0184	0,0181	3'
2'		0,0096	0,0095	0,0094	0,0093	0,0092	0,0089	0,0088	0,0085	0,0081	2'
1'		0,0027	0,0027	0,0026	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0022	0,0020	1'
0'		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
	M_{\max}	0,0204	0,0209	0,0220	0,0228	0,0237	0,0249	0,0260	0,0269	0,0281	$\cdot p^2$
	$M_{\text{შებობ. II}}$	0,091	0,092	0,092	0,093	0,093	0,093	0,091	0,094	0,095	$\cdot p^2 : f$
	M_{\min}	-0,0156	-0,0161	-0,0170	-0,0175	-0,0182	-0,0192	-0,0198	-0,0205	-0,0214	$\cdot p^2$
	$H_{\text{შებობ. II}}$	0,037	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	0,036	$\cdot p^2 : f$
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

$$n = \frac{J_p}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$$

	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
y	0,0917	0,0738	0,0514	0,0350	0,0227	0,0050	-0,0050	-0,0157	-0,0271	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
1	0,0015	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0013	0,0012	0,0011	0,0010	1
2	0,0063	0,0062	0,0060	0,0058	0,0056	0,0052	0,0049	0,0047	0,0045	2
3	0,0142	0,0140	0,0136	0,0133	0,0128	0,0122	0,0117	0,0111	0,0104	3
4	0,0255	0,0251	0,0245	0,0240	0,0233	0,0223	0,0216	0,0208	0,0198	4
5	0,0401	0,0395	0,0386	0,0379	0,0370	0,0358	0,0349	0,0339	0,0326	5
6	0,0579	0,0572	0,0560	0,0552	0,0541	0,0527	0,0518	0,0506	0,0492	6
7	0,0372	0,0363	0,0351	0,0342	0,0330	0,0315	0,0305	0,0293	0,0280	7
8	0,0197	0,0187	0,0173	0,0164	0,0152	0,0138	0,0129	0,0118	0,0105	8
9	0,0052	0,0042	0,0028	0,0019	0,0008	-0,0005	-0,0012	-0,0021	-0,0031	9
10	-0,0064	-0,0075	-0,0087	-0,0095	-0,0104	-0,0114	-0,0119	-0,0125	-0,0132	10
11	-0,0153	-0,0162	-0,0173	-0,0178	-0,0181	-0,0190	-0,0193	-0,0196	-0,0198	11
12	-0,0218	-0,0221	-0,0230	-0,0233	-0,0236	-0,0237	-0,0237	-0,0236	-0,0234	12
11'	-0,0258	-0,0261	-0,0263	-0,0263	-0,0261	-0,0258	-0,0254	-0,0250	-0,0243	11'
10'	-0,0278	-0,0277	-0,0274	-0,0270	-0,0265	-0,0257	-0,0251	-0,0243	-0,0233	10'
9'	-0,0280	-0,0275	-0,0267	-0,0261	-0,0252	-0,0240	-0,0231	-0,0221	-0,0209	9'
8'	-0,0266	-0,0258	-0,0246	-0,0237	-0,0226	-0,0212	-0,0202	-0,0191	-0,0177	8'
7'	-0,0239	-0,0229	-0,0214	-0,0205	-0,0193	-0,0177	-0,0167	-0,0155	-0,0141	7'
6'	-0,0202	-0,0191	-0,0176	-0,0167	-0,0155	-0,0139	-0,0130	-0,0119	-0,0106	6'
5'	-0,0160	-0,0150	-0,0135	-0,0127	-0,0116	-0,0102	-0,0093	-0,0085	-0,0074	5'
4'	-0,0115	-0,0106	-0,0095	-0,0087	-0,0079	-0,0068	-0,0062	-0,0051	-0,0046	4'
3'	-0,0073	-0,0066	-0,0058	-0,0053	-0,0047	-0,0039	-0,0035	-0,0030	-0,0025	3'
2'	-0,0039	-0,0032	-0,0025	-0,0025	-0,0022	-0,0018	-0,0016	-0,0013	-0,0011	2'
1'	-0,0010	-0,0009	-0,0007	-0,0007	-0,0006	-0,0005	-0,0004	-0,0003	-0,0002	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
M_{max}	0,0056	0,0054	0,0051	0,0079	0,0070	0,0073	0,0070	0,0068	0,0064	$\cdot p^2$
M_{min}	0,039	0,038	0,038	0,036	0,035	0,034	0,033	0,032	0,031	$\cdot p^2 : f$
M_{min}	-0,0099	-0,0096	-0,0095	-0,0093	-0,0090	-0,0087	-0,0084	-0,0082	-0,0077	$\cdot p^2$
M_{min}	0,029	0,029	0,029	0,023	0,024	0,025	0,027	0,028	0,029	$\cdot p^2 : f$
n	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

$$\nu_f : f = 0, \pm 1. \quad m = g_k : g = 2,914.$$

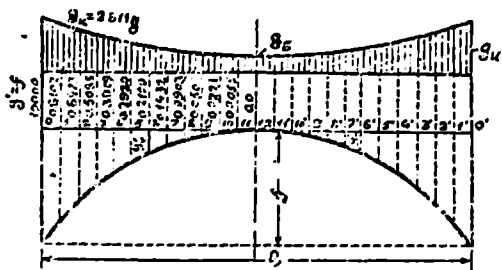


Fig. V.

$$H_g = 0,1579 \cdot \frac{g_k^2}{f}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_k = 4,915 \cdot \frac{f}{l}$$

$$P_g = 0,7761 \cdot g_k l$$

$$\cos \varphi_k = \frac{1}{\sqrt{1 + 21,150 \cdot \frac{f^2}{l^2}}}$$

თალღვანი ძალა (მნიშვნელობა $H \cdot \frac{f}{l} \cdot (1 + \nu)$)

	$n = \frac{J_k}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									✓
	0,1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
	0,3044	0,2867	0,2646	0,2513	0,2362	0,2187	0,2089	0,1963	0,1867	· f
ბეჭდვის ხანის ოპტიმალური №	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,0085	0,0062	0,0058	0,0058	0,0053	0,0048	0,0046	0,0042	0,0038	1
2	0,0237	0,0228	0,0217	0,0210	0,0200	0,0184	0,0180	0,0170	0,0157	2
3	0,0479	0,0466	0,0448	0,0436	0,0421	0,0402	0,0389	0,0374	0,0354	3
4	0,0766	0,0750	0,0723	0,0715	0,0698	0,0676	0,0661	0,0643	0,0621	4
5	0,1070	0,1056	0,1037	0,1024	0,1009	0,0990	0,0976	0,0960	0,0949	5
6	0,1371	0,1363	0,1351	0,1343	0,1335	0,1320	0,1312	0,1303	0,1290	6
7	0,1651	0,1653	0,1652	0,1651	0,1650	0,1649	0,1648	0,1648	0,1647	7
8	0,1904	0,1912	0,1924	0,1932	0,1942	0,1955	0,1963	0,1974	0,1987	8
9	0,2108	0,2128	0,2153	0,2170	0,2192	0,2219	0,2237	0,2260	0,2287	9
10	0,2261	0,2280	0,2324	0,2352	0,2383	0,2424	0,2450	0,2483	0,2524	10
11	0,2454	0,2489	0,2437	0,2467	0,2505	0,2555	0,2588	0,2627	0,2677	11
12	0,2656	0,2493	0,2474	0,2506	0,2517	0,2600	0,2635	0,2678	0,2730	12
$\int_0^l y \cdot dx$	0,0834	0,0722	0,0604	0,0541	0,0475	0,0407	0,0370	0,0332	0,0294	$\frac{f^2}{l^2}$
n	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

$$u = \frac{J_s}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$$

	1.0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
	0,3044	0,2867	0,2646	0,2513	0,2382	0,2187	0,2089	0,1963	0,1867	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0005	1
2	-0,0037	-0,0034	-0,0030	-0,0028	-0,0026	-0,0023	-0,0021	-0,0019	-0,0017	2
3	-0,0067	-0,0062	-0,0057	-0,0053	-0,0049	-0,0045	-0,0042	-0,0039	-0,0036	3
4	-0,0095	-0,0089	-0,0082	-0,0077	-0,0072	-0,0067	-0,0064	-0,0060	-0,0057	4
5	-0,0109	-0,0103	-0,0097	-0,0093	-0,0089	-0,0084	-0,0081	-0,0078	-0,0075	5
6	-0,0105	-0,0101	-0,0097	-0,0094	-0,0092	-0,0089	-0,0087	-0,0085	-0,0082	6
7	-0,0073	-0,0077	-0,0077	-0,0076	-0,0076	-0,0075	-0,0075	-0,0075	-0,0074	7
8	-0,0025	-0,0026	-0,0030	-0,0032	-0,0035	-0,0038	-0,0039	-0,0041	-0,0043	8
9	0,0061	0,0054	0,0045	0,0040	0,0034	0,0028	0,0024	0,0020	0,0016	9
10	0,0180	0,0169	0,0156	0,0145	0,0140	0,0130	0,0124	0,0118	0,0111	10
11	0,0334	0,0320	0,0303	0,0294	0,0284	0,0271	0,0265	0,0257	0,0249	11
12	0,0524	0,0509	0,0491	0,0481	0,0470	0,0457	0,0449	0,0441	0,0432	12
11'	0,0334	0,0320	0,0303	0,0294	0,0284	0,0271	0,0265	0,0257	0,0249	11'
10'	0,0180	0,0169	0,0156	0,0145	0,0140	0,0130	0,0124	0,0118	0,0111	10'
9'	0,0061	0,0054	0,0045	0,0040	0,0034	0,0028	0,0024	0,0020	0,0016	9'
8'	-0,0025	-0,0026	-0,0030	-0,0032	-0,0035	-0,0038	-0,0039	-0,0041	-0,0043	8'
7'	-0,0073	-0,0077	-0,0077	-0,0076	-0,0076	-0,0075	-0,0075	-0,0075	-0,0074	7'
6'	-0,0105	-0,0101	-0,0097	-0,0094	-0,0092	-0,0089	-0,0087	-0,0085	-0,0082	6'
5'	-0,0109	-0,0103	-0,0097	-0,0093	-0,0089	-0,0084	-0,0081	-0,0078	-0,0075	5'
4'	-0,0095	-0,0089	-0,0082	-0,0077	-0,0072	-0,0067	-0,0064	-0,0060	-0,0057	4'
3'	-0,0067	-0,0062	-0,0057	-0,0053	-0,0049	-0,0045	-0,0042	-0,0039	-0,0036	3'
2'	-0,0037	-0,0034	-0,0030	-0,0028	-0,0026	-0,0023	-0,0021	-0,0019	-0,0017	2'
1'	-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0005	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
ρ^2	0,0069	0,0065	0,0061	0,0059	0,0057	0,0054	0,0052	0,0050	0,0048	$\cdot \rho^2$
$\rho^3 : f$	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	$\cdot \rho^3 : f$
ρ^2	-0,0045	-0,0043	-0,0040	-0,0039	-0,0038	-0,0036	-0,0035	-0,0033	-0,0033	$\cdot \rho^2$
$\rho^3 : f$	0,060	0,060	0,060	0,061	0,061	0,062	0,062	0,062	0,063	$\cdot \rho^3 : f$
	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	u

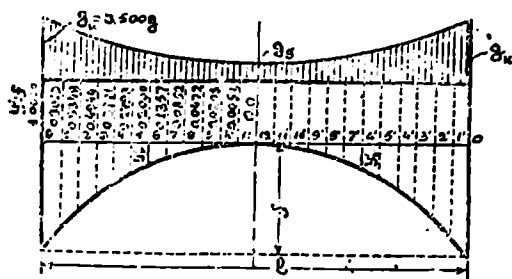
		$n = \frac{J_s}{J_k \cdot \cos \varphi^2}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ		-0,6956	-0,7133	-0,7354	-0,7487	-0,7638	-0,7813	-0,7911	-0,8017	-0,8133	$\cdot f$
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		-0,0338	-0,0341	-0,0345	-0,0348	-0,0352	-0,0355	-0,0361	-0,0366	-0,0371	1
2		-0,0535	-0,0545	-0,0559	-0,0569	-0,0582	-0,0598	-0,0609	-0,0623	-0,0640	2
3		-0,0621	-0,0640	-0,0665	-0,0681	-0,0703	-0,0732	-0,0751	-0,0774	-0,0803	3
4		-0,0625	-0,0648	-0,0680	-0,0702	-0,0729	-0,0767	-0,0792	-0,0822	-0,0859	4
5		-0,0562	-0,0586	-0,0622	-0,0646	-0,0677	-0,0719	-0,0746	-0,0778	-0,0819	5
6		-0,0453	-0,0475	-0,0509	-0,0533	-0,0563	-0,0602	-0,0627	-0,0658	-0,0694	6
7		-0,0313	-0,0332	-0,0360	-0,0379	-0,0403	-0,0435	-0,0455	-0,0478	-0,0506	7
8		-0,0159	-0,0170	-0,0188	-0,0200	-0,0214	-0,0234	-0,0246	-0,0259	-0,0274	8
9		0,0001	-0,0002	-0,0008	-0,0011	-0,0014	-0,0017	-0,0019	-0,0020	-0,0020	9
10		0,0155	0,0161	0,0170	0,0176	0,0184	0,0197	0,0206	0,0219	0,0236	10
11		0,0293	0,0305	0,0331	0,0345	0,0366	0,0394	0,0414	0,0438	0,0471	11
12		0,0410	0,0432	0,0465	0,0487	0,0517	0,0557	0,0584	0,0619	0,0662	12
11'		0,0500	0,0527	0,0567	0,0593	0,0628	0,0676	0,0708	0,0747	0,0797	11'
10'		0,0560	0,0588	0,0630	0,0658	0,0694	0,0744	0,0776	0,0817	0,0868	10'
9'		0,0587	0,0615	0,0654	0,0681	0,0716	0,0763	0,0793	0,0830	0,0875	9'
8'		0,0553	0,0608	0,0641	0,0664	0,0695	0,0735	0,0760	0,0791	0,0828	8'
7'		0,0548	0,0567	0,0594	0,0612	0,0635	0,0666	0,0685	0,0708	0,0735	7'
6'		0,0485	0,0499	0,0517	0,0530	0,0545	0,0565	0,0578	0,0592	0,0610	6'
5'		0,0401	0,0408	0,0419	0,0425	0,0435	0,0446	0,0452	0,0458	0,0466	5'
4'		0,0301	0,0304	0,0308	0,0311	0,0315	0,0319	0,0320	0,0320	0,0321	4'
3'		0,0197	0,0197	0,0198	0,0198	0,0197	0,0197	0,0195	0,0193	0,0189	3'
2'		0,0102	0,0100	0,0099	0,0099	0,0097	0,0095	0,0094	0,0091	0,0087	2'
1'		0,0029	0,0028	0,0027	0,0027	0,0027	0,0025	0,0025	0,0023	0,0022	1'
0'		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
$m_{\max} M$		0,0214	0,0220	0,0233	0,0241	0,0250	0,0264	0,0272	0,0285	0,0297	$\cdot p^2$
$\frac{m_{\max} H}{\rho_{\text{კვლ. H}}}$		0,093	0,093	0,094	0,095	0,095	0,096	0,096	0,097	0,098	$\cdot p^2 : f$
$m_{\min} M$		-0,0150	-0,0155	-0,0164	-0,0170	-0,0176	-0,0186	-0,0192	-0,0199	0,0208	$\cdot p^2$
$\frac{m_{\min} H}{\rho_{\text{კვლ. H}}}$		0,036	0,036	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,034	0,034	$\cdot p^2 : f$
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

$$n = \sum_k \frac{J_k}{\cos \varphi_k}$$

	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
y	0,0944	0,0767	0,0516	0,0113	0,0262	0,0087	-0,0011	-0,0117	-0,0233	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,0215	0,0015	0,0015	0,0014	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011	0,1010	1
2	0,0062	0,0061	0,0059	0,0057	0,0055	0,0051	0,0049	0,0046	0,0012	2
3	0,0140	0,0138	0,0134	0,0131	0,0127	0,0120	0,0116	0,0110	0,0103	3
4	0,0252	0,0248	0,0242	0,0237	0,0230	0,0220	0,0214	0,0206	0,0195	4
5	0,0397	0,0391	0,0382	0,0375	0,0366	0,0354	0,0346	0,0336	0,0323	5
6	0,0574	0,0567	0,0555	0,0547	0,0536	0,0522	0,0513	0,0501	0,0487	6
7	0,0367	0,0358	0,0345	0,0336	0,0324	0,0308	0,0299	0,0287	0,0274	7
8	0,0191	0,0181	0,0166	0,0157	0,0145	0,0130	0,0121	0,0110	0,0098	8
9	0,0016	0,0035	0,0020	0,0011	0,0000	-0,0019	-0,0021	-0,0030	-0,0040	9
10	-0,0072	-0,0082	-0,0085	-0,0103	-0,0112	-0,0123	-0,0128	-0,0135	-0,0141	10
11	-0,0162	-0,0170	-0,0181	-0,0187	-0,0193	-0,0200	-0,0203	-0,0206	-0,0209	11
12	-0,0226	-0,0232	-0,0239	-0,0242	-0,0245	-0,0247	-0,0247	-0,0247	-0,0245	12
11'	-0,0266	-0,0269	-0,0271	-0,0271	-0,0270	-0,0267	-0,0264	-0,0260	-0,0251	11'
10'	-0,0286	-0,0285	-0,0282	-0,0279	-0,0274	-0,0266	-0,0260	-0,0252	-0,0242	10'
9'	-0,0286	-0,0282	-0,0274	-0,0268	-0,0260	-0,0248	-0,0240	-0,0230	-0,0217	9'
8'	-0,0272	-0,0254	-0,0253	-0,0244	-0,0234	-0,0219	-0,0210	-0,0198	-0,0181	8'
7'	-0,0244	-0,0234	-0,0220	-0,0211	-0,0199	-0,0183	-0,0173	-0,0162	-0,0147	7'
6'	-0,0207	-0,0196	-0,0181	-0,0172	-0,0160	-0,0144	-0,0135	-0,0124	-0,0111	6'
5'	-0,0164	-0,0154	-0,0139	-0,0130	-0,0120	-0,0106	-0,0099	-0,0088	-0,0077	5'
4'	-0,0118	-0,0109	-0,0098	-0,0090	-0,0081	-0,0071	-0,0064	-0,0057	-0,0048	4'
3'	-0,0074	-0,0069	-0,0060	-0,0054	-0,0048	-0,0041	-0,0037	-0,0032	-0,0026	3'
2'	-0,0037	-0,0033	-0,0029	-0,0026	-0,0022	-0,0019	-0,0016	-0,0014	-0,0011	2'
1'	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0005	-0,0004	-0,0003	-0,0003	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
$\mu_{\text{მრ}} M$	0,0084	0,0083	0,0079	0,0078	0,0075	0,0071	0,0069	0,0066	0,0063	$\cdot \rho^2$
$\mu_{\text{გზაბ.}} f$	0,039	0,038	0,038	0,036	0,035	0,034	0,033	0,032	0,031	$\cdot \rho^2 : f$
$\mu_{\text{მინ}} M$	-0,0101	-0,0101	-0,0099	-0,0097	-0,0094	-0,0090	-0,0088	-0,0085	-0,0081	$\cdot \rho^2$
$\mu_{\text{გზაბ.}} H$	0,090	0,091	0,092	0,094	0,095	0,097	0,098	0,099	0,101	$\cdot \rho^2 : f$
n	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

$$y_1 : f = 0,20.$$

$$m = g : g_1 = 3,500.$$



6b. VI.

$$H_n = 0,1687 \cdot \frac{g_1^{11}}{f}$$

$$\cos \varphi_k = 5,165 \frac{f}{l}$$

$$F_g = 0,9713 \cdot g_1 l$$

$$\cos \varphi_l = \frac{1}{\sqrt{1 + 26,676 \cdot \frac{f}{l}}}$$

თალღვანი ძალა (მნიშვნელობა $H \cdot \frac{f}{l} \cdot (1 + \mu)$)

		$n = \frac{J_1}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1.0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
		0,2070	0,2795	0,2577	0,2446	0,2296	0,2124	0,2027	0,1922	0,1808	$\cdot f$
ბეჭდვის ხაზის რიგობები №	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,0067	0,0061	0,0070	0,0057	0,0054	0,0050	0,0047	0,0044	0,0039	1
	2	0,0241	0,0233	0,0221	0,0214	0,0205	0,0192	0,0184	0,0174	0,0162	2
	3	0,0488	0,0474	0,0457	0,0445	0,0431	0,0412	0,0399	0,0384	0,0364	3
	4	0,0775	0,0760	0,0740	0,0727	0,0710	0,0689	0,0674	0,0658	0,0636	4
	5	0,1091	0,1068	0,1052	0,1039	0,1025	0,1005	0,0993	0,0978	0,0960	5
	6	0,1384	0,1376	0,1366	0,1359	0,1350	0,1340	0,1333	0,1324	0,1312	6
	7	0,1666	0,1667	0,1669	0,1669	0,1669	0,1670	0,1671	0,1672	0,1673	7
	8	0,1915	0,1926	0,1940	0,1950	0,1961	0,1977	0,1987	0,2000	0,2015	8
	9	0,2119	0,2141	0,2165	0,2187	0,2211	0,2241	0,2261	0,2265	0,2315	9
	10	0,2269	0,2300	0,2341	0,2369	0,2402	0,2446	0,2475	0,2509	0,2553	10
	11	0,2363	0,2401	0,2450	0,2489	0,2524	0,2577	0,2611	0,2653	0,2706	11
12	0,2394	0,2434	0,2487	0,2522	0,2565	0,2622	0,2659	0,2703	0,2759	12	
$\int y_0^2 \cdot dA$		0,0821	0,0710	0,0593	0,0530	0,0466	0,0396	0,0361	0,0323	0,0285	$I^2 : E I_0$
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	*

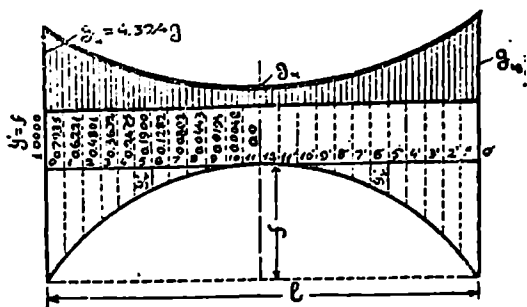
		$u = \frac{J_s}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ		0,2970	0,2795	0,2577	0,2446	0,2296	0,2124	0,2027	0,1922	0,1808	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0005	1
2	0,0037	-0,0034	-0,0030	-0,0028	-0,0025	-0,0023	-0,0021	-0,0019	-0,0017	-0,0017	2
3	0,0067	-0,0062	-0,0057	-0,0052	-0,0048	-0,0044	-0,0041	-0,0039	-0,0035	-0,0035	3
4	0,0092	-0,0086	-0,0079	-0,0075	-0,0070	-0,0065	-0,0062	-0,0059	-0,0055	-0,0055	4
5	0,0104	-0,0099	-0,0093	-0,0089	-0,0086	-0,0081	-0,0079	-0,0076	-0,0073	-0,0073	5
6	0,0098	-0,0095	-0,0091	-0,0089	-0,0087	-0,0084	-0,0083	-0,0081	-0,0079	-0,0079	6
7	0,0070	-0,0070	-0,0070	-0,0070	-0,0070	-0,0070	-0,0070	-0,0070	-0,0070	-0,0070	7
8	0,0013	-0,0017	-0,0022	-0,0024	-0,0027	-0,0031	-0,0033	-0,0035	-0,0037	-0,0037	8
9	0,0074	0,0066	0,0057	0,0051	0,0045	0,0038	0,0034	0,0030	0,0025	0,0025	9
10	0,0194	0,0183	0,0169	0,0161	0,0151	0,0140	0,0135	0,0128	0,0121	0,0121	10
11	0,0349	0,0334	0,0317	0,0307	0,0296	0,0283	0,0276	0,0268	0,0259	0,0259	11
12	0,0539	0,0524	0,0505	0,0494	0,0482	0,0468	0,0460	0,0452	0,0443	0,0443	12
11'	0,0349	0,0334	0,0317	0,0307	0,0296	0,0283	0,0276	0,0268	0,0259	0,0259	11'
10'	0,0194	0,0183	0,0169	0,0161	0,0151	0,0140	0,0135	0,0128	0,0121	0,0121	10'
9'	0,0074	0,0066	0,0057	0,0051	0,0045	0,0038	0,0034	0,0030	0,0025	0,0025	9'
8'	0,0013	-0,0017	-0,0022	-0,0024	-0,0027	-0,0031	-0,0033	-0,0035	-0,0037	-0,0037	8'
7'	0,0070	-0,0070	-0,0070	-0,0070	-0,0070	-0,0070	-0,0070	-0,0070	-0,0070	-0,0070	7'
6'	0,0098	-0,0095	-0,0091	-0,0089	-0,0087	-0,0084	-0,0083	-0,0081	-0,0079	-0,0079	6'
5'	0,0104	-0,0099	-0,0093	-0,0089	-0,0086	-0,0081	-0,0079	-0,0076	-0,0073	-0,0073	5'
4'	0,0092	-0,0086	-0,0079	-0,0075	-0,0070	-0,0065	-0,0062	-0,0059	-0,0055	-0,0055	4'
3'	0,0067	-0,0062	-0,0057	-0,0052	-0,0048	-0,0044	-0,0041	-0,0039	-0,0035	-0,0035	3'
2'	0,0037	-0,0034	-0,0030	-0,0028	-0,0025	-0,0023	-0,0021	-0,0019	-0,0017	-0,0017	2'
1'	0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0005	-0,0005	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
M_{max}		0,0073	0,0069	0,0065	0,0063	0,0060	0,0057	0,0055	0,0053	0,0051	$\cdot p^2$
$H_{\text{კოფ.}}$		0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,073	$\cdot p^2 : f$
M_{min}		-0,0042	0,0041	-0,0039	-0,0036	-0,0036	-0,0035	-0,0034	-0,0032	-0,0032	$\cdot p^2$
$H_{\text{კოფ.}}$		0,057	0,058	0,058	0,059	0,059	0,060	0,060	0,061	0,061	$\cdot p^2 : f$
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

		$\kappa = \frac{J_s}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ		-0,7030	-0,7205	-0,7423	-0,7554	-0,7704	-0,7876	-0,7973	-0,8078	-0,8192	$\cdot f$
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		-0,0336	-0,0339	-0,0344	-0,0347	-0,0351	-0,0356	-0,0360	-0,0364	-0,0370	1
2		-0,0531	-0,0540	-0,0555	-0,0564	-0,0576	-0,0594	-0,0605	-0,0619	-0,0635	2
3		-0,0614	-0,0632	-0,0656	-0,0673	-0,0693	-0,0721	-0,0740	-0,0761	-0,0793	3
4		-0,0613	-0,0635	-0,0666	-0,0687	-0,0715	-0,0753	-0,0777	-0,0806	-0,0842	4
5		-0,0546	-0,0570	-0,0604	-0,0648	-0,0659	-0,0700	-0,0726	-0,0755	-0,0796	5
6		-0,0433	-0,0456	-0,0489	-0,0511	-0,0541	-0,0578	-0,0602	-0,0632	-0,0669	6
7		-0,0292	-0,0311	-0,0337	-0,0355	-0,0378	-0,0405	-0,0427	-0,0449	-0,0475	7
8		-0,0136	-0,0146	-0,0163	-0,0173	-0,0187	-0,0204	-0,0215	-0,0226	-0,0240	8
9		0,0025	0,0023	0,019	0,018	0,0016	0,0014	0,0014	0,0015	0,0017	9
10		0,0177	0,0185	0,0196	0,0204	0,0214	0,0229	0,0241	0,0255	0,0275	10
11		0,0317	0,0333	0,0357	0,0374	0,0397	0,0427	0,0448	0,0476	0,0510	11
12		0,0433	0,0457	0,0492	0,0516	0,0547	0,0590	0,0620	0,0655	0,0702	12
11'		0,0524	0,0552	0,0593	0,0622	0,0659	0,0709	0,0742	0,0784	0,0837	11'
10'		0,0563	0,0613	0,0656	0,0686	0,0725	0,0777	0,0811	0,0859	0,0906	10'
9'		0,0611	0,0640	0,0680	0,0709	0,0746	0,0794	0,0826	0,0864	0,0912	9'
8'		0,0605	0,0631	0,0668	0,0691	0,0722	0,0764	0,0791	0,0823	0,0861	8'
7'		0,0569	0,0539	0,0617	0,0536	0,0660	0,0692	0,0713	0,0737	0,0767	7'
6'		0,0504	0,0518	0,0538	0,0551	0,0567	0,0590	0,0603	0,0618	0,0635	6'
5'		0,0416	0,0424	0,0437	0,0444	0,0454	0,0465	0,0471	0,0479	0,0488	5'
4'		0,0313	0,0316	0,0322	0,0325	0,0339	0,0332	0,0334	0,0336	0,0337	4'
3'		0,0206	0,0206	0,0207	0,0207	0,0208	0,0207	0,0206	0,0204	0,0200	3'
2'		0,0106	0,0106	0,0104	0,0103	0,0102	0,0100	0,0098	0,0095	0,0092	2'
1'		0,0030	0,0030	0,0029	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026	0,0025	0,0023	1'
0'		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
M_{max}		0,0224	0,0231	0,0245	0,0253	0,0263	0,0279	0,0288	0,0300	0,0319	$\cdot p^2$
$M_{\text{ვალ. } H}$		0,094	0,095	0,095	0,096	0,096	0,097	0,097	0,098	0,0100	$\cdot p^2 : f$
$M_{\text{მინ. } M}$		-0,0145	-0,0150	-0,015	-0,0164	-0,0170	-0,0180	-0,0186	-0,0192	-0,0201	$\cdot p^2$
$M_{\text{ვალ. } H}$		0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,034	0,034	$\cdot p^2 : f$
κ		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	κ

$$n = \frac{J_0}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$$

	1,0	0,9	0,8	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
y	0,0970	0,0795	0,0577	0,0446	0,0296	0,0124	0,0027	-0,0079	-0,0192	f
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0018	0,0012	0,0011	0,0011	0,0009	1
2	0,0021	0,0060	0,0058	0,0056	0,0054	0,0051	0,0048	0,0045	0,0042	2
3	0,0133	0,0137	0,0132	0,0129	0,0125	0,0118	0,0114	0,0109	0,0102	3
4	0,0249	0,0245	0,0239	0,0234	0,0227	0,0218	0,0211	0,0203	0,0193	4
5	0,0393	0,0387	0,0378	0,0371	0,0363	0,0350	0,0342	0,0332	0,0319	5
6	0,0569	0,0562	0,0550	0,0542	0,0531	0,0517	0,0506	0,0496	0,0483	6
7	0,0362	0,0332	0,0339	0,0329	0,0318	0,0402	0,0293	0,0281	0,0267	7
8	0,0181	0,0173	0,0160	0,0150	0,0138	0,0123	0,0114	0,0103	0,0090	8
9	0,0039	0,0027	0,0013	0,0003	-0,0008	-0,0022	-0,0029	-0,0039	-0,0048	9
10	-0,0079	-0,0090	-0,0103	-0,0111	-0,0121	-0,0132	-0,0138	-0,0144	-0,0151	10
11	-0,0168	-0,0178	-0,0190	-0,0196	-0,0202	-0,0209	-0,0213	-0,0216	-0,0219	11
12	-0,0232	-0,0240	-0,0248	-0,0251	-0,0254	-0,0257	-0,0257	-0,0257	-0,0255	12
11'	-0,0273	-0,0277	-0,0280	-0,0280	-0,0279	-0,0277	-0,0274	-0,0270	-0,0264	11'
10'	-0,0293	-0,0293	-0,0290	-0,0287	-0,0282	-0,0275	-0,0269	-0,0262	-0,0252	10'
9'	-0,0294	-0,0290	-0,0282	-0,0276	-0,0263	-0,0256	-0,0248	-0,0239	-0,0226	9'
8'	-0,0279	-0,0271	-0,0259	-0,0251	-0,0241	-0,0226	-0,0217	-0,0206	-0,0192	8'
7'	-0,0250	-0,0240	-0,0226	-0,0217	-0,0205	-0,0189	-0,0180	-0,0168	-0,0154	7'
6'	-0,0212	-0,0201	-0,0186	-0,0177	-0,0165	-0,0149	-0,0140	-0,0129	-0,0115	6'
5'	-0,0163	-0,0157	-0,0143	-0,0134	-0,0123	-0,0110	-0,0101	-0,0092	-0,0081	5'
4'	-0,0121	-0,0112	-0,0101	-0,0093	-0,0084	-0,0073	-0,0067	-0,0059	-0,0051	4'
3'	-0,0076	-0,0070	-0,0062	-0,0056	-0,0050	-0,0042	-0,0038	-0,0033	-0,0028	3'
2'	-0,0035	-0,0034	-0,0030	-0,0027	-0,0023	-0,0019	-0,0017	-0,0015	-0,0012	2'
1'	-0,0011	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0005	-0,0004	-0,0004	-0,0003	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
M_{max}	0,0083	0,0081	0,0078	0,0076	0,0073	0,0070	0,0068	0,0065	0,0062	ρ^2
$H_{\text{ჯგუფ.}}$	0,039	0,038	0,038	0,036	0,035	0,034	0,033	0,032	0,031	$\rho^2 : f$
M_{min}	-0,0104	-0,0103	-0,0101	-0,0099	-0,0097	-0,0094	-0,0092	-0,0089	-0,0085	ρ^2
$H_{\text{ჯგუფ.}}$	0,090	0,092	0,093	0,095	0,096	0,098	0,099	0,101	0,103	$M^2 : f^2$
α	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	α

$$y: f = 0,19. \quad m = g: g. = 1,324.$$



ნახ. VII.

$$H_g = 0,1808 \cdot \frac{g \cdot l^3}{f^3}$$

$$\text{tg} \tau_k = 5,427 \cdot \frac{f}{l}$$

$$V_g = 0,9412 \cdot g \cdot l$$

$$\cos \tau_k = \frac{l}{\sqrt{1 + 29,441 \cdot \frac{f^2}{l^2}}}$$

თანდობის ძალა (მნიშვნელობა $H \cdot \frac{f}{l} \cdot (1 + \mu)$)

		$n = \frac{J_g}{J_k \cdot \cos \tau_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
		0,2895	0,2723	0,2507	0,2378	0,2250	0,2060	0,1964	0,1861	0,1748	$\cdot f$
აღვიწმის ბაზის ორბიტის რაოდენობა №	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,0068	0,0065	0,0031	0,0059	0,0055	0,0051	0,0019	0,0145	0,0040	0
	2	0,0215	0,0237	0,0226	0,0219	0,0209	0,0197	0,0189	0,0179	0,0166	2
	3	0,0495	0,0482	0,0165	0,0453	0,0439	0,0420	0,0408	0,0393	0,0374	3
	4	0,0787	0,0772	0,0753	0,0740	0,0724	0,0703	0,0689	0,0672	0,0651	4
	5	0,1094	0,1082	0,1066	0,1055	0,1041	0,1023	0,1012	0,0997	0,0979	5
	6	0,1397	0,1391	0,1382	0,1377	0,1369	0,1360	0,1353	0,1346	0,1337	7
	7	0,1680	0,1682	0,1684	0,1687	0,1689	0,1691	0,1694	0,1697	0,1701	8
	8	0,1927	0,1940	0,1956	0,1967	0,1991	0,1999	0,2011	0,2025	0,2044	8
	9	0,2130	0,2153	0,2184	0,2204	0,2230	0,2262	0,2285	0,2311	0,2345	9
	10	0,2270	0,2318	0,2356	0,2385	0,2420	0,2467	0,2497	0,2534	0,2581	10
	11	0,2372	0,2412	0,2464	0,2498	0,2541	0,2597	0,2643	0,2678	0,2733	11
12	0,2402	0,2445	0,2501	0,2537	0,2582	0,2642	0,2680	0,2727	0,2787	12	
$\int y_g \cdot dW$		0,0807	0,0697	0,0591	0,0519	0,0455	0,0386	0,0351	0,0314	0,0276	$\frac{J_g \cdot E}{J_k}$
α		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

$$\mu = \frac{J_0}{J_k \cdot \cos \varphi_0}$$

	1,0	0,9	0,8	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ	0,2693	0,2723	0,2507	0,2378	0,2230	0,2060	0,1964	0,1861	0,1748	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0007	-0,0008	1
2	-0,0036	-0,0033	-0,0029	-0,0027	-0,0025	-0,0022	-0,0021	-0,0019	-0,0017	2
3	-0,0066	-0,0061	-0,0055	0,0051	-0,0047	-0,0043	-0,0041	-0,0038	-0,0035	3
4	-0,0089	-0,0083	-0,0077	-0,0073	-0,0069	-0,0064	-0,0062	-0,0059	-0,0055	4
5	-0,0093	-0,0095	-0,0089	-0,0086	-0,0082	-0,0078	-0,0076	-0,0073	-0,0070	5
6	-0,0092	-0,0090	-0,0086	-0,0081	-0,0082	-0,0080	-0,0079	-0,0077	-0,0076	6
7	-0,0060	-0,0061	-0,0062	-0,0062	-0,0063	-0,0064	-0,0063	-0,0064	-0,0064	7
8	-0,0003	-0,0006	-0,0012	-0,0015	-0,0019	-0,0022	-0,0025	-0,0027	-0,0029	8
9	0,0086	0,0078	0,0068	0,0062	0,0055	0,0048	0,0043	0,0039	0,0033	9
10	0,0208	0,0198	0,0181	0,0173	0,0163	0,0152	0,0146	0,0139	0,0132	10
11	0,0364	0,0349	0,0331	0,0320	0,0303	0,0295	0,0288	0,0280	0,0271	11
12	0,0555	0,0539	0,0519	0,0507	0,0495	0,0481	0,0473	0,0461	0,0454	12
11'	0,0364	0,0349	0,0331	0,0320	0,0308	0,0295	0,0288	0,0280	0,0271	11'
10'	0,0208	0,0196	0,0181	0,0173	0,0163	0,0152	0,0146	0,0139	0,0132	10'
9'	0,0086	0,0078	0,0068	0,0062	0,0055	0,0048	0,0043	0,0039	0,0033	9'
8'	-0,0003	-0,0006	-0,0012	-0,0015	-0,0019	-0,0022	-0,0025	-0,0027	-0,0029	8'
7'	-0,0060	-0,0061	-0,0062	-0,0062	-0,0063	-0,0063	-0,0063	-0,0064	-0,0064	7'
6'	-0,0092	-0,0090	-0,0086	-0,0084	-0,0082	-0,0080	-0,0079	-0,0077	-0,0076	6'
5'	-0,0099	-0,0095	-0,0089	-0,0086	-0,0082	-0,0078	-0,0076	-0,0073	-0,0070	5'
4'	-0,0089	-0,0083	-0,0077	-0,0073	0,0069	-0,0064	-0,0062	-0,0059	-0,0055	4'
3'	-0,0066	-0,0061	-0,0055	-0,0051	-0,0047	-0,0043	-0,0041	-0,0038	-0,0035	3'
2'	-0,0036	-0,0033	-0,0029	-0,0027	-0,0025	-0,0022	-0,0021	-0,0019	-0,0017	2'
1'	-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0006	-0,0004	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
$\mu_{\text{შპ}} M_{\text{შპ}}$	0,0078	0,0074	0,0069	0,0067	0,0064	0,0061	0,0059	0,0057	0,0055	$\cdot \rho P$
$\mu_{\text{შპ}} H_{\text{შპ}}$	0,074	0,074	0,075	0,075	0,075	0,076	0,076	0,077	0,077	$\cdot \rho P : f$
$\mu_{\text{შპ}} M_{\text{შპ}}$	-0,0039	-0,0039	-0,0036	-0,0035	-0,0034	-0,0034	-0,0032	-0,0031	-0,0031	$\cdot \rho P$
$\mu_{\text{შპ}} H_{\text{შპ}}$	0,056	0,057	0,057	0,057	0,057	0,058	0,059	0,059	0,059	$\cdot \rho P : f$
n	1,0	0,9	0,8	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

		$n = \frac{J_0}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
y		-0,7105	-0,7277	-0,7493	-0,7622	-0,7770	-0,7940	-0,8036	-0,8139	-0,8252	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,0334	-0,0338	-0,0342	-0,0345	-0,0350	-0,0355	-0,0359	-0,0363	-0,0369	-0,0373	1
2	0,0526	-0,0539	-0,0549	-0,0559	-0,0572	-0,0589	-0,0600	-0,0614	-0,0631	-0,0631	2
3	0,0606	-0,0623	-0,0646	-0,0662	-0,0683	-0,0712	-0,0731	-0,0754	-0,0782	-0,0782	3
4	0,0598	-0,0620	-0,0651	-0,0673	-0,0700	-0,0737	-0,0761	-0,0791	-0,0827	-0,0827	4
5	0,0528	-0,0552	-0,0595	-0,0608	-0,0639	-0,0679	-0,0704	-0,0736	-0,0775	-0,0775	5
6	0,0113	-0,0436	-0,0468	-0,0489	-0,0517	-0,0554	-0,0578	-0,0606	-0,0641	-0,0641	6
7	0,0270	-0,0287	-0,0313	-0,0329	-0,0351	-0,0380	-0,0395	-0,0418	-0,0442	-0,0442	7
8	0,0112	-0,0123	-0,0133	-0,0147	-0,0159	-0,0175	-0,0183	-0,0193	-0,0204	-0,0204	8
9	0,0048	0,0047	0,0046	0,0045	0,0045	0,0045	0,0047	0,0050	0,0056	0,0056	9
10	0,0201	0,0211	0,0224	0,0233	0,0245	0,0263	0,0275	0,0291	0,0314	0,0314	10
11	0,0341	0,0359	0,0384	0,0402	0,0426	0,0459	0,0482	0,0512	0,0549	0,0549	11
12	0,0457	0,0483	0,0519	0,0544	0,0577	0,0623	0,0653	0,0691	0,0741	0,0741	12
11'	0,0548	0,0578	0,0620	0,0650	0,0689	0,0741	0,0776	0,0821	0,0876	0,0876	11'
10'	0,0606	0,0639	0,0694	0,0715	0,0755	0,0810	0,0845	0,0889	0,0945	0,0945	10'
9'	0,0634	0,0664	0,0707	0,0737	0,0775	0,0825	0,0859	0,0899	0,0951	0,0951	9'
8'	0,0628	0,0655	0,0691	0,0717	0,0750	0,0794	0,0822	0,0856	0,0898	0,0898	8'
7'	0,0590	0,0612	0,0641	0,0662	0,0687	0,0720	0,0742	0,0768	0,0800	0,0800	7'
6'	0,0524	0,0539	0,0559	0,0574	0,0591	0,0614	0,0627	0,0644	0,0663	0,0663	6'
5'	0,0134	0,0443	0,0456	0,0464	0,0473	0,0486	0,0493	0,0501	0,0509	0,0509	5'
4'	0,0328	0,0331	0,0337	0,0340	0,0344	0,0348	0,0350	0,0351	0,0352	0,0352	4'
3'	0,0215	0,0215	0,0216	0,0216	0,0217	0,0216	0,0215	0,0213	0,0210	0,0210	3'
2'	0,0111	0,0110	0,0109	0,0109	0,0107	0,0105	0,0103	0,0100	0,0096	0,0096	2'
1'	0,0032	0,0031	0,0030	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026	0,0024	0,0024	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
ρ		0,0236	0,0244	0,0257	0,0266	0,0277	0,0292	0,0303	0,0316	0,0331	$\cdot \rho$
$\rho \cdot H$		0,096	0,097	0,098	0,099	0,099	0,100	0,101	0,102	0,103	$\cdot \rho \cdot f$
$\rho \cdot H$		-0,0141	-0,0146	-0,0154	-0,0159	-0,0165	-0,0174	-0,0180	-0,0185	-0,0194	$\cdot \rho$
$\rho \cdot H$		0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,033	$\cdot \rho \cdot f$
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

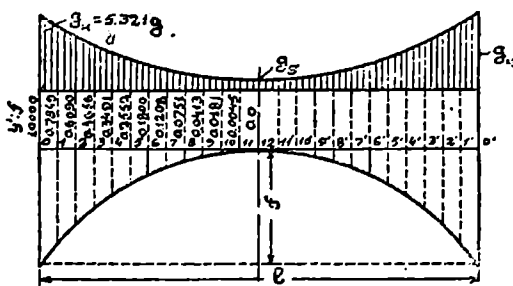
ბაქალენის ხაზის ორდინატები №

$$n = \frac{J_r}{J_s \cdot \cos \varphi_t}$$

	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ	0,0993	0,0823	0,0607	0,0478	0,0330	0,0160	0,0064	0,0039	-0,0152	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,0015	0,0014	0,0014	0,0014	0,0013	0,0012	0,0011	0,0010	0,0009	1
2	0,0060	0,0059	0,0057	0,0056	0,0053	0,0050	0,0048	0,0045	0,0041	2
3	0,0136	0,0135	0,0131	0,0128	0,0123	0,0117	0,0113	0,0107	0,0100	3
4	0,0246	0,0243	0,0236	0,0231	0,0225	0,0215	0,0209	0,0201	0,0191	4
5	0,0389	0,0383	0,0375	0,0369	0,0359	0,0346	0,0336	0,0328	0,0316	5
6	0,0564	0,0556	0,0545	0,0537	0,0526	0,0512	0,0503	0,0491	0,0478	6
7	0,0355	0,0345	0,0332	0,0323	0,0312	0,0296	0,0286	0,0275	0,0261	7
8	0,0179	0,0167	0,0152	0,0142	0,0131	0,0116	0,0106	0,0095	0,0083	8
9	0,0032	0,0020	0,0005	-0,0005	-0,0016	-0,0030	-0,0036	-0,0047	-0,0058	9
10	-0,0355	-0,0097	-0,0112	-0,0121	-0,0130	-0,0141	-0,0147	-0,0154	-0,0161	10
11	-0,0175	-0,0186	-0,0198	-0,0205	-0,0212	-0,0219	-0,0223	-0,0226	-0,0229	11
12	-0,0239	-0,0249	-0,0256	-0,0261	-0,0264	-0,0266	-0,0267	-0,0267	-0,0265	12
11'	-0,0280	-0,0285	-0,0288	-0,0289	-0,0289	-0,0286	-0,0284	-0,0280	-0,0274	11'
10'	-0,0299	-0,0300	-0,0298	-0,0296	-0,0292	-0,0284	-0,0278	-0,0272	-0,0262	10'
9'	-0,0300	-0,0297	-0,0290	-0,0283	-0,0276	-0,0265	-0,0257	-0,0247	-0,0235	9'
8'	-0,0284	-0,0278	-0,0267	-0,0259	-0,0248	-0,0234	-0,0225	-0,0214	-0,0200	8'
7'	-0,0256	-0,0247	-0,0233	-0,0223	-0,0211	-0,0196	-0,0186	-0,0174	-0,0160	7'
6'	-0,0218	-0,0207	-0,0191	-0,0182	-0,0170	-0,0154	-0,0145	-0,0134	-0,0120	6'
5'	-0,0172	-0,0161	-0,0147	-0,0138	-0,0127	-0,0114	-0,0105	-0,0095	-0,0084	5'
4'	-0,0124	-0,0115	-0,0103	-0,0096	-0,0087	-0,0076	-0,0069	-0,0062	-0,0053	4'
3'	-0,0078	-0,0072	-0,0063	-0,0058	-0,0052	-0,0044	-0,0040	-0,0035	-0,0029	3'
2'	-0,0039	-0,0035	-0,0031	-0,0028	-0,0024	-0,0020	-0,0018	-0,0015	-0,0012	2'
1'	-0,0011	-0,0010	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0005	-0,0004	-0,0004	-0,0003	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
$M_{max} M$	0,0082	0,0060	0,0077	0,0075	0,0072	0,0069	0,067	0,0064	0,0061	$\cdot p^2$
$M_{შებენი} H$	0,039	0,038	0,037	0,036	0,035	0,034	0,033	0,032	0,031	$\cdot p^2 : f$
$M_{min} H$	-0,0107	-0,0106	-0,0105	-0,0103	-0,0101	-0,0098	-0,0096	-0,0093	-0,0089	$\cdot p^2 : f$
$H_{შებენი} H$	0,091	0,093	0,094	0,096	0,097	0,0099	0,101	0,103	0,104	$\cdot p^2$
n	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	"

$$y' : f = 0,18.$$

$$m = g_1 : g_2 = 5,821.$$



56b. VIII.

$$H_p = 0,1946 \cdot \frac{g_2 l^2}{f}$$

$$tg \varphi_k = 5,700 \cdot \frac{f}{l}$$

$$F_p = 1,1092 \cdot g_2 l$$

$$\cos \varphi_k = \frac{1}{\sqrt{1 + 32,476 \cdot \frac{f}{l}}}$$

თაღოვანი ძალა (მეორეხელეობა $H \cdot \frac{f}{l} \cdot (1 + \mu)$)

	$n = \frac{l_k}{l_k \cdot \cos \varphi_k}$									
	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
y_k	0,2820	0,2650	0,2437	0,2309	0,2164	0,1996	0,1901	0,1799	0,1658	f
მკაფანის ხაზის ორდონატები X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,0070	0,0067	0,0064	0,0061	0,0059	0,0054	0,0047	0,0043	0,0043
	2	0,0251	0,0242	0,0231	0,0224	0,0215	0,0203	0,0195	0,0185	0,0172
	3	0,0504	0,0492	0,475	0,0464	0,0450	0,0431	0,0419	0,0404	0,0385
	4	0,0798	0,0784	0,0766	0,0753	0,0738	0,0718	0,0704	0,698	0,667
	5	0,1108	0,1096	0,1081	0,1070	0,1058	0,1042	0,1031	0,1018	0,1001
	6	0,1411	0,1406	0,1398	0,1393	0,1388	0,1380	0,1376	0,1370	0,1362
	7	0,1693	0,1687	0,1677	0,1670	0,1669	0,1674	0,1677	0,1672	0,1677
	8	0,1939	0,1953	0,1972	0,1985	0,2001	0,2020	0,2034	0,2051	0,2072
	9	0,2141	0,2166	0,2199	0,2221	0,2248	0,2284	0,2307	0,2336	0,2373
	10	0,2290	0,2324	0,2371	0,2401	0,2438	0,2487	0,2520	0,2559	0,2609
	11	0,2381	0,2422	0,2478	0,2513	0,2558	0,2617	0,2655	0,2702	0,2761
	12	0,2402	0,2455	0,2514	0,2552	0,2599	0,2661	0,2701	0,2752	0,2815
$\int y_k \cdot dx$	0,0793	0,0684	0,0568	0,0507	0,0443	0,0376	0,0341	0,0305	0,0267	$l^2 : E J_k$
n	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

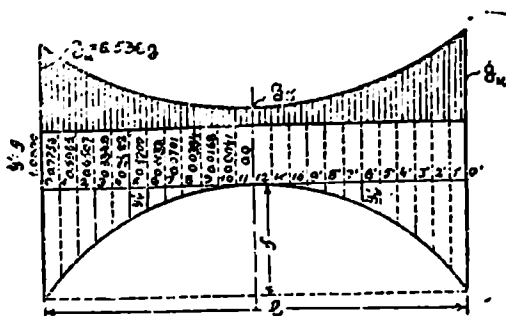
		$n = \frac{J_n}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
y		0,2820	0,2650	0,2437	0,2309	0,2164	0,1996	0,1901	0,1799	0,1689	$\cdot f$
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0004	1
2		-0,0037	-0,0033	-0,0030	-0,0027	-0,0025	-0,0022	-0,0021	-0,0019	-0,0017	2
3		-0,0064	-0,0059	-0,0054	-0,0051	-0,0047	-0,0043	-0,0041	-0,0038	-0,0035	3
4		-0,0086	-0,0081	-0,0074	-0,0071	-0,0067	-0,0062	-0,0060	-0,0057	-0,0054	4
5		-0,0095	-0,0091	-0,0086	-0,0082	-0,0079	-0,0076	-0,0073	-0,0071	-0,0068	5
6		-0,0086	-0,0083	-0,0081	-0,0078	-0,0077	-0,0075	-0,0074	-0,0073	-0,0071	6
7		-0,0052	-0,0053	-0,0054	-0,0055	-0,0056	-0,0057	-0,0057	-0,0058	-0,0058	7
8		0,0009	0,0004	-0,0002	-0,0005	-0,0009	-0,0014	-0,0016	-0,0019	-0,0022	8
9		0,0099	0,0090	0,0079	0,0073	0,0066	0,0058	0,0053	0,0047	0,0042	9
10		0,0222	0,0210	0,0194	0,0185	0,0175	0,0164	0,0158	0,0151	0,0142	10
11		0,0379	0,0363	0,0344	0,0334	0,0321	0,0307	0,0301	0,0292	0,0279	11
12		0,0570	0,0553	0,0533	0,0522	0,0509	0,0494	0,0487	0,0478	0,0467	12
11'		0,0379	0,0363	0,0344	0,0334	0,0321	0,0307	0,0301	0,0292	0,0279	11'
10'		0,0222	0,0210	0,0194	0,0185	0,0175	0,0164	0,0158	0,0151	0,0142	10'
9'		0,0099	0,0090	0,0079	0,0073	0,0066	0,0058	0,0053	0,0047	0,0042	9'
8'		0,0009	0,0004	-0,0002	-0,0005	-0,0009	-0,0014	-0,0016	-0,0019	-0,0022	8'
7'		-0,0052	-0,0053	-0,0054	-0,0055	-0,0056	-0,0057	-0,0057	-0,0058	-0,0058	7'
6'		-0,0086	-0,0083	-0,0081	-0,0078	-0,0077	-0,0075	-0,0074	-0,0073	-0,0071	6'
5'		-0,0095	-0,0091	-0,0086	-0,0082	-0,0079	-0,0076	-0,0073	-0,0071	-0,0068	5'
4'		-0,0086	-0,0081	-0,0074	-0,0071	-0,0067	-0,0062	-0,0060	-0,0057	-0,0054	4'
3'		-0,0064	-0,0059	-0,0054	-0,0051	-0,0047	-0,0043	-0,0041	-0,0038	-0,0035	3'
2'		-0,0037	-0,0033	-0,0030	-0,0027	-0,0025	-0,0022	-0,0021	-0,0019	-0,0017	2'
1'		-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0004	1'
0'		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
	$\mu_{\text{մ.Յ.Մ}}$	0,0032	0,0079	0,0074	0,0071	0,0068	0,0065	0,0063	0,0060	0,0058	$\cdot p^2$
	$\mu_{\text{թ.ժ.Մ}}$	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,079	0,079	0,079	$\cdot p^2 : f$
	$\mu_{\text{մ.Յ.Մ.մ.}}$	-0,0036	-0,0036	-0,0034	-0,0033	-0,0032	-0,0031	-0,0030	-0,0028	-0,0028	$\cdot p^2$
	$\mu_{\text{թ.ժ.Մ.մ.}}$	0,054	0,054	0,055	0,056	0,057	0,058	0,059	0,059	0,060	$\cdot p^2 : f$
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

	$n = \frac{J_0}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ	-0,7180	-0,7350	-0,7563	-0,7891	-0,7836	-0,8001	-0,8099	-0,8201	-0,8312	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-0,0332	-0,0336	-0,0339	-0,0343	-0,0347	-0,0352	-0,0356	-0,0361	-0,0366	1
2	-0,0520	-0,0530	-0,0544	-0,0553	-0,0566	-0,0582	-0,0594	-0,0607	-0,0625	2
3	-0,0595	-0,0611	-0,0635	-0,0651	-0,0672	-0,0701	-0,0720	-0,0743	-0,0771	3
4	-0,0585	-0,0606	-0,0636	0,0657	-0,0681	-0,0720	-0,0745	-0,0773	-0,0810	4
5	-0,0510	-0,0534	-0,0567	-0,0590	-0,0619	-0,0657	-0,0692	-0,0719	-0,0751	5
6	-0,0393	-0,0415	-0,0445	-0,0467	-0,0493	-0,0529	-0,0551	-0,0578	-0,0611	6
7	-0,0248	-0,0284	-0,0328	-0,0305	-0,0324	-0,0351	-0,0368	-0,0388	-0,0411	7
8	-0,0089	-0,0098	-0,0111	-0,0119	-0,0130	-0,0144	-0,0151	-0,0169	-0,0168	8
9	0,0072	0,0073	0,0073	0,0073	0,0074	0,0075	0,0079	0,0081	0,0093	9
10	0,0227	0,0236	0,0252	0,0262	0,0275	0,0291	0,0309	0,0327	0,0353	10
11	0,0364	0,0384	0,0412	0,0431	0,0456	0,0483	0,0517	0,0548	0,0589	11
12	0,0481	0,0508	0,0547	0,0574	0,0608	0,0656	0,0688	0,0729	0,0782	12
11'	0,0571	0,0603	0,0648	0,0679	0,0719	0,0773	0,0812	0,0857	0,0915	11'
10'	0,0632	0,0664	0,0712	0,0744	0,0785	0,0841	0,0890	0,0925	0,0984	10'
9'	0,0659	0,0690	0,0734	0,0765	0,0804	0,0857	0,0891	0,0934	0,0988	9'
8'	0,0652	0,0679	0,0718	0,0745	0,0779	0,0824	0,0854	0,0890	0,0934	8'
7'	0,0619	0,0635	0,0665	0,0696	0,0714	0,0749	0,0771	0,0799	0,0831	7'
6'	0,0545	0,0560	0,0592	0,0596	0,0615	0,0639	0,0655	0,0672	0,0693	6'
5'	0,0452	0,0461	0,0474	0,0492	0,0493	0,0507	0,0515	0,0524	0,0533	5'
4'	0,0342	0,0346	0,0352	0,0355	0,0360	0,0365	0,0367	0,0369	0,0369	4'
3'	0,0225	0,0226	0,0227	0,0228	0,0228	0,0227	0,0226	0,0224	0,0221	3'
2'	0,0117	0,0116	0,0115	0,0114	0,0113	0,0111	0,0109	0,0107	0,0102	2'
1'	0,0034	0,0033	0,0033	0,0032	0,0032	0,0031	0,0030	0,0028	0,0027	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
$\max M$	0,0248	0,0256	0,0270	0,0279	0,0293	0,0307	0,0319	0,0333	0,0349	$\cdot \rho^2$
$\max H$	0,099	0,099	0,100	0,101	0,102	0,103	0,103	0,104	0,105	$\cdot \rho^2 : f$
$\min M$	-0,0135	-0,0140	-0,0148	-0,0153	-0,0159	-0,0167	-0,0173	-0,0179	-0,0187	$\cdot \rho^2$
$\min H$	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	$\cdot \rho^2 : f$
n	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

		$\mu = \frac{J_s}{J_k \cdot \cos \varphi_s}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ		0,1020	0,0850	0,0637	0,0509	0,0364	0,0196	0,0101	-0,0001	-0,0112	$-f$
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		0,0014	0,0014	0,0014	0,0013	0,0013	0,0012	0,0011	0,0010	0,0009	1
2		0,0058	0,0058	0,0056	0,0055	0,0052	0,0049	0,0047	0,0044	0,0040	2
3		0,0135	0,0133	0,0129	0,0126	0,0121	0,0115	0,0111	0,0106	0,0099	3
4		0,0242	0,0239	0,0223	0,0228	0,0222	0,0212	0,0206	0,0198	0,0189	4
5		0,0394	0,0378	0,0369	0,0364	0,0355	0,0342	0,0334	0,0324	0,0312	5
6		0,0559	0,0551	0,0539	0,0531	0,0521	0,0507	0,0497	0,0486	0,0473	6
7		0,0350	0,0340	0,0326	0,0316	0,0304	0,0289	0,0250	0,0268	0,0255	7
8		0,0173	0,0161	0,0146	0,0135	0,0123	0,0108	0,0099	0,0087	0,0075	8
9		0,0026	0,0014	-0,0003	-0,0013	-0,0024	-0,0038	-0,0046	-0,0056	-0,0067	9
10		-0,0091	-0,0104	-0,0119	-0,0128	-0,0139	-0,0150	-0,0156	-0,0163	-0,0171	10
11		-0,0182	-0,0193	-0,0206	-0,0213	-0,0221	-0,0229	-0,0232	-0,0236	-0,0240	11
12		-0,0246	-0,0255	-0,0264	-0,0269	-0,0273	-0,0276	-0,0277	-0,0277	-0,0277	12
11'		-0,0267	-0,0292	-0,0296	-0,0298	-0,0293	-0,0286	-0,0294	-0,0290	-0,0285	11'
10'		-0,0305	-0,0307	-0,0305	-0,0303	-0,0300	-0,0293	-0,0288	-0,0281	-0,0272	10'
9'		-0,0306	-0,0303	-0,0297	-0,0292	-0,0285	-0,0278	-0,0265	-0,0256	-0,0244	9'
8'		-0,0293	-0,0284	-0,0274	-0,0266	-0,0256	-0,0241	-0,0232	-0,0221	-0,0207	8'
7'		-0,0261	-0,0252	-0,0239	-0,0230	-0,0218	-0,0202	-0,0192	-0,0181	-0,0166	7'
6'		-0,0222	-0,0212	-0,0197	-0,0189	-0,0175	-0,0160	-0,0150	-0,0139	-0,0125	6'
5'		-0,0177	-0,0166	-0,0152	-0,0142	-0,0131	-0,0117	-0,0109	-0,0099	-0,0089	5'
4'		-0,0123	-0,0119	-0,0106	-0,0099	-0,0090	-0,0079	-0,0072	-0,0064	-0,0055	4'
3'		-0,0090	-0,0074	-0,0065	-0,0060	-0,0054	-0,0046	-0,0041	-0,0036	-0,0030	3'
2'		-0,0040	-0,0036	-0,0031	-0,0028	-0,0025	-0,0021	-0,0018	-0,0016	-0,0013	2'
1'		-0,0011	-0,0010	-0,0008	-0,0008	-0,0007	-0,0005	-0,0005	-0,0004	-0,0003	1'
0'		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
$\mu_{max} M$		0,0031	0,0079	0,0076	0,0074	0,0071	0,0067	0,0065	0,0063	0,0059	$\cdot \rho^2$
$\rho_{\text{გლობ. H}}$		0,039	0,038	0,037	0,036	0,035	0,034	0,033	0,032	0,031	$\cdot \rho^2 : f$
M_{min}		-0,0110	-0,0110	-0,0103	-0,0107	-0,0105	-0,0101	-0,0099	-0,0097	-0,0093	$\cdot \rho^2$
$\rho_{\text{გლობ. H}}$		0,093	0,094	0,096	0,098	0,100	0,101	0,103	0,105	0,107	$\cdot \rho^2 :$
μ		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	μ

$$y_1 : f = 0,17.$$

$$m = g_1 : g_2 = 6,536.$$



ნახ. IX.

$$H_p = 0,2104 \cdot \frac{g_1 l^2}{f}$$

$$V_p = 1,2593 g_1 l$$

$$\operatorname{tg} \varphi_k = 5,995 \cdot \frac{f}{l}$$

$$\cos \varphi_k = \frac{1}{\sqrt{1 + 35,912 \cdot \frac{f}{l}}}$$

თაღოვანი ძალა (მნიშვნელობა $H \cdot \frac{f}{l} \cdot (1 + \mu)$)

		$n = \frac{J_0}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$											
		1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ_0		0,2743	0,2776	0,2366	0,2240	0,2097	0,1931	0,1833	0,1733	0,1633	0,1533	0,1433	$\cdot f$
ბეჭდვის ხაზის ორიონტები №	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,0072	0,0069	0,0065	0,0062	0,0059	0,0055	0,0052	0,0049	0,0046	0,0044	0,0041	1
	2	0,0256	0,0248	0,0237	0,0220	0,0211	0,0200	0,0191	0,0183	0,0173	0,0163	0,0153	2
	3	0,0512	0,0490	0,0464	0,0433	0,0415	0,0401	0,0389	0,0376	0,0366	0,0353	0,0343	3
	4	0,0800	0,0795	0,0777	0,0767	0,0752	0,0732	0,0720	0,0704	0,0694	0,0683	0,0673	4
	5	0,1119	0,1109	0,1095	0,1086	0,1075	0,1060	0,1050	0,1038	0,1028	0,1012	0,1002	5
	6	0,1424	0,1420	0,1414	0,1411	0,1406	0,1401	0,1397	0,1393	0,1387	0,1381	0,1377	6
	7	0,1705	0,1710	0,1716	0,1721	0,1728	0,1735	0,1740	0,1746	0,1754	0,1761	0,1767	7
	8	0,1951	0,1967	0,1987	0,2002	0,2019	0,2043	0,2057	0,2076	0,2100	0,2110	0,2120	8
	9	0,2151	0,2178	0,2213	0,2236	0,2266	0,2304	0,2330	0,2362	0,2392	0,2420	0,2448	9
	10	0,2298	0,2335	0,2384	0,2416	0,2455	0,2507	0,2541	0,2584	0,2637	0,2687	0,2737	10
	11	0,2469	0,2493	0,2490	0,2527	0,2575	0,2636	0,2677	0,2726	0,2779	0,2829	0,2879	11
12	0,2420	0,2466	0,2527	0,2566	0,2616	0,2681	0,2724	0,2776	0,2828	0,2880	0,2932	12	
$\int y_0 \cdot dx$		0,0779	0,0671	0,0558	0,0496	0,0432	0,0366	0,0331	0,0295	0,0258	0,0221	0,0184	$l^2 : E I_1$
		1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

$$n = \frac{J_0}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$$

	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ	0,2743	0,2576	0,2366	0,2240	0,2097	0,1931	0,1638	0,1738	0,1628	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0004	1
2	-0,0036	-0,0033	-0,0029	-0,0027	-0,0025	-0,0023	-0,0021	-0,0020	-0,0018	2
3	-0,0062	-0,0058	-0,0053	-0,0049	-0,0046	-0,0043	-0,0040	-0,0037	-0,0035	3
4	-0,0083	-0,0078	-0,0072	-0,0069	-0,0065	-0,0061	-0,0059	-0,0055	-0,0052	4
5	-0,0,90	-0,0085	-0,0081	-0,0078	-0,0075	-0,0072	-0,0070	-0,0068	-0,0065	5
6	-0,0073	-0,0076	-0,0074	-0,0073	-0,0072	-0,0071	-0,0070	-0,0069	-0,0067	6
7	-0,0043	-0,0045	-0,0046	-0,0047	-0,0048	-0,0049	-0,0050	-0,0051	-0,0052	7
8	0,0021	0,0015	0,0009	0,0005	0,0000	-0,0005	-0,0008	-0,0011	-0,0015	8
9	0,0113	0,0103	0,0091	0,0085	0,0077	0,0069	0,0064	0,0058	0,0053	9
10	0,0233	0,0224	0,0208	0,0199	0,0188	0,0176	0,0169	0,0162	0,0154	10
11	0,0396	0,0378	0,0359	0,0343	0,0335	0,0322	0,0314	0,0305	0,0295	11
12	0,0586	0,0563	0,0548	0,0536	0,0523	0,0508	0,0499	0,0489	0,0475	12
11'	0,0396	0,0378	0,0359	0,0343	0,0335	0,0322	0,0314	0,0305	0,0295	11'
10'	0,0233	0,0224	0,0208	0,0199	0,0188	0,0176	0,0169	0,0162	0,0154	10'
9'	0,0113	0,0103	0,0091	0,0085	0,0077	0,0069	0,0064	0,0058	0,0053	9'
8'	0,0021	0,0015	0,0009	0,0005	0,0000	-0,0005	-0,0008	-0,0011	-0,0015	8'
7'	-0,0043	-0,0045	-0,0046	-0,0047	-0,0048	-0,0049	-0,0050	-0,0051	-0,0052	7'
6'	-0,0078	-0,0076	-0,0074	-0,0073	-0,0072	-0,0071	-0,0070	-0,0069	-0,0067	6'
5'	-0,0090	-0,0086	-0,0081	-0,0078	-0,0075	-0,0072	-0,0070	-0,0069	-0,0065	5'
4'	-0,0083	-0,0078	-0,0072	-0,0069	-0,0065	-0,0061	-0,0059	-0,0055	-0,0052	4'
3'	-0,0062	-0,0058	-0,0053	-0,0049	-0,0046	-0,0043	-0,0040	-0,0037	-0,0035	3'
2'	-0,0036	-0,0033	-0,0029	-0,0027	-0,0025	-0,0023	-0,0021	-0,0020	-0,0018	2'
1'	-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0004	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
M_{max}	0,0088	0,0083	0,0076	0,0085	0,0073	0,0069	0,0066	0,0064	0,0062	$\cdot p^2$
$M_{pot.H}$	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,082	$\cdot p^3 : j$
M_{min}	-0,0035	-0,0033	-0,0032	-0,0031	-0,0030	-0,0029	-0,0028	-0,0027	-0,0026	$\cdot p^2$
$H_{pot.H}$	0,052	0,053	0,054	0,055	0,056	0,057	0,057	0,058	0,059	$\cdot p^2 : j$
n	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

$$\gamma_0' : f = 0,17.$$

შამუნტო მალის შეთანხმება

$$n = 6,536.$$

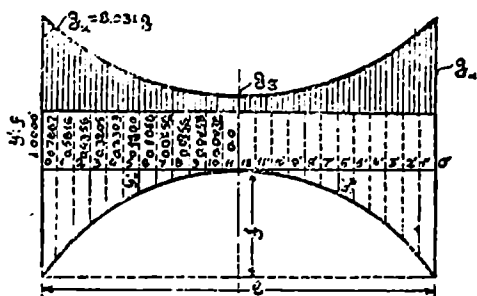
		$n = \frac{J_0}{J_2 \cos \varphi_2}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ		-0,7257	-0,7424	-0,7634	0,7760	-0,7903	-0,8069	-0,8162	-0,8262	-0,8372	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-0,0330	-0,0334	-0,0339	-0,0342	-0,0346	-0,0351	-0,0355	-0,0359	-0,0365	-0,0365	1
2	-0,0515	-0,0521	-0,0539	-0,0548	-0,0560	-0,0573	-0,0588	-0,0602	-0,0620	-0,0620	2
3	-0,0585	-0,0601	-0,0625	-0,0641	-0,0662	-0,0670	-0,0709	-0,0732	-0,0760	-0,0760	3
4	-0,0570	-0,0592	-0,0623	-0,0643	-0,0669	-0,0703	-0,0727	-0,0756	-0,0791	-0,0791	4
5	-0,0193	-0,0516	-0,0548	-0,0570	-0,0598	-0,0636	-0,0660	-0,0690	-0,0727	-0,0727	5
6	-0,0373	-0,0393	-0,0424	-0,0443	-0,0470	-0,0503	-0,0525	-0,0551	-0,0582	-0,0582	6
7	-0,228	-0,0242	-0,0265	-0,0290	-0,0298	-0,0323	-0,0338	-0,0357	-0,0376	-0,0376	7
8	-0,065	-0,0073	-0,0086	-0,0092	-0,0102	-0,0113	-0,0120	0,0127	-0,0133	-0,0133	8
9	0,0096	0,0097	0,0099	0,0100	0,0103	0,0107	0,0113	0,0120	0,0131	0,0131	9
10	0,0250	0,0262	0,0270	0,0290	0,0305	0,0326	0,0342	0,0363	0,0392	0,0392	10
11	0,0368	0,0410	0,0439	0,0459	0,0467	0,0525	0,0551	0,0585	0,0629	0,0629	11
12	0,0506	0,0534	0,0575	0,0602	0,0639	0,0669	0,0723	0,0765	0,0822	0,0822	12
11'	0,0595	0,0629	0,0675	0,0707	0,750	0,0807	0,0845	0,0894	0,0955	0,0955	11'
10'	0,0655	0,0690	0,0739	0,0772	0,0815	0,0874	0,0912	0,0961	0,1023	0,1023	10'
9'	0,0682	0,0714	0,0760	0,0791	0,0833	0,0889	0,0925	0,0970	0,1026	0,1026	9'
8'	0,676	0,0704	0,0743	0,0762	0,0807	0,0855	0,0885	0,923	0,0970	0,0970	8'
7'	0,0635	0,0657	0,0688	0,0711	0,0740	0,0777	0,0801	0,0829	0,0862	0,0862	7'
6'	0,0565	0,0581	0,0603	0,0619	0,0636	0,0664	0,0680	0,0699	0,0722	0,0722	6'
5'	0,0469	0,0478	0,0493	0,0502	0,0513	0,0529	0,0537	0,0547	0,0557	0,0557	5'
4'	0,0356	0,0359	0,0365	0,0370	0,0375	0,0380	0,0384	0,0387	0,0388	0,0388	4'
3'	0,0235	0,0236	0,0238	0,0238	0,0239	0,0258	0,0237	0,0235	0,0232	0,0232	3'
2'	0,0122	0,0121	0,0120	0,0120	0,0119	0,0116	0,0115	0,0112	0,0107	0,0107	2'
1'	0,0036	0,0035	0,0035	0,0033	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0028	0,0028	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
$M_{\text{მას}}$		0,0259	0,0269	0,0282	0,0293	0,0305	0,0324	0,0334	0,0349	0,0367	$\cdot p$
$M_{\text{გზობ. H}}$		0,100	0,101	0,102	0,103	0,104	0,105	0,105	0,106	0,108	$\cdot p$
$M_{\text{მინ. H}}$		-0,0131	-0,0136	-0,0143	-0,0148	-0,0153	-0,0161	-0,0166	-0,0173	-0,0180	$\cdot p$
$H_{\text{გზობ. H}}$		0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	$\cdot p$
z		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

$$n = \frac{J_2}{J_1 \cdot \cos \varphi_2}$$

	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ	0,1043	0,0576	0,0666	0,0540	0,0397	0,0231	0,0138	0,0088	-0,0072	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
1	0,0014	0,0014	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011	0,0010	0,0009	1
2	0,0057	0,0057	0,0055	0,0054	0,0051	0,0048	0,0046	0,0043	0,0040	2
3	0,0132	0,0131	0,0127	0,0124	0,0120	0,0113	0,0109	0,0104	0,0097	3
4	0,0240	0,0236	0,0220	0,0225	0,0219	0,0209	0,0203	0,0195	0,0186	4
5	0,0381	0,0375	0,0365	0,0359	0,0351	0,0338	0,0330	0,0320	0,0308	5
6	0,0554	0,0547	0,0534	0,0526	0,0515	0,0501	0,0492	0,0481	0,0467	6
7	0,0344	0,0335	0,0320	0,0310	0,0298	0,0283	0,0273	0,0261	0,0248	7
8	0,0167	0,0155	0,0139	0,0129	0,0116	0,0101	0,0091	0,0080	0,0067	8
9	0,0020	0,0006	-0,0010	-0,0020	-0,0033	-0,0048	-0,0055	-0,0065	-0,0076	9
10	-0,0093	-0,0112	-0,0128	-0,0136	-0,0147	-0,0160	-0,0166	-0,0173	-0,0181	10
11	-0,0188	-0,0200	-0,0214	-0,0221	-0,0230	-0,0239	-0,0242	-0,0247	-0,0251	11
12	-0,0252	-0,0262	-0,0273	-0,0277	-0,0282	-0,0287	-0,0287	-0,0298	-0,0289	12
11'	-0,0293	-0,0299	-0,0305	-0,0306	-0,0307	-0,0306	-0,0303	-0,0301	-0,0296	11'
10'	-0,0312	-0,0314	-0,0314	-0,0312	-0,0309	-0,0303	-0,0297	-0,0291	-0,0282	10'
9'	-0,0312	-0,0310	-0,0304	-0,0299	-0,0293	-0,0282	-0,0274	-0,0265	-0,0253	9'
8'	-0,0296	-0,0290	-0,0280	-0,0273	-0,0263	-0,0249	-0,0240	-0,0229	-0,0215	8'
7'	-0,0267	-0,0258	-0,0245	-0,0236	-0,0225	-0,0209	-0,0199	-0,0187	-0,0173	7'
6'	-0,0227	-0,0216	-0,0202	-0,0193	-0,0181	-0,0165	-0,0155	-0,0144	-0,0131	6'
5'	-0,0180	-0,0170	-0,0156	-0,0147	-0,0135	-0,0121	-0,0113	-0,0103	-0,0092	5'
4'	-0,0131	-0,0122	-0,0109	-0,0102	-0,0093	-0,0081	-0,0075	-0,0067	-0,0058	4'
3'	-0,0083	-0,0076	-0,0067	-0,0062	-0,0055	-0,0047	-0,0043	-0,0038	-0,0032	3'
2'	-0,0041	-0,0037	-0,0032	-0,0029	-0,0026	-0,0022	-0,0019	-0,0017	-0,0014	2'
1'	-0,0011	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0005	-0,0004	-0,0003	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
$\mu_{\text{მ.ა. M}}$	0,0050	0,0077	0,0074	0,0072	0,0070	0,0066	0,0064	0,0061	0,0058	$\cdot p^2$
$\mu_{\text{მ.ა. H}}$	0,038	0,038	0,038	0,036	0,035	0,034	0,034	0,033	0,032	$\cdot p^2 : f$
$\mu_{\text{მ.ა. M}}$	-0,0113	-0,0112	-0,0111	-0,0109	-0,0108	-0,0105	-0,0103	-0,0100	-0,0097	$\cdot p^2$
$\mu_{\text{მ.ა. H}}$	0,094	0,095	0,097	0,100	0,102	0,104	0,105	0,106	0,109	$\cdot p^2 : f$
π	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	π

$$y_c : f = 0,16.$$

$$m = g_t : g_c = 8,031.$$



ნახ. X.

$$H_g = 0,2287 \cdot \frac{g_c P}{f}$$

$$\cos \varphi_k = 6,283 \cdot \frac{f}{l}$$

$$V_g = 1,4370 \cdot g_c l$$

$$\cos \varphi_k = \frac{1}{\sqrt{1 + 39,494 \cdot \frac{f}{l}}}$$

თავიდან დაღა (მნიშვნელობა $H \cdot \frac{f}{l} \cdot (1 + \mu)$)

		$n = \frac{J_x}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
		0,2666	0,2501	0,2294	0,2170	0,2029	0,1865	0,1774	0,1675	0,1567	$\cdot f$
მკუთხედის ხაზის რიგობა M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,0073	0,0070	0,0066	0,0064	0,0061	0,0056	0,0054	0,0050	0,0045	1
	2	0,0261	0,0253	0,0242	0,0235	0,0225	0,0214	0,0206	0,0197	0,0184	2
	3	0,0521	0,0509	0,0493	0,0483	0,0470	0,0452	0,0440	0,0426	0,0407	3
	4	0,0821	0,0808	0,0791	0,0780	0,0767	0,0743	0,0736	0,0721	0,0701	4
	5	0,1133	0,1123	0,1110	0,1102	0,1092	0,1078	0,1070	0,1059	0,1045	5
	6	0,1437	0,1435	0,1430	0,1428	0,1425	0,1422	0,1419	0,1416	0,1413	6
	7	0,1718	0,1725	0,1732	0,1739	0,1747	0,1757	0,1763	0,1772	0,1784	7
	8	0,1962	0,1979	0,2002	0,2018	0,2037	0,2063	0,2090	0,2102	0,2130	8
	9	0,2161	0,2189	0,2227	0,2252	0,2283	0,2325	0,2352	0,2387	0,2432	9
	10	0,2307	0,2345	0,2395	0,2429	0,2471	0,2526	0,2562	0,2608	0,2667	10
	11	0,2497	0,2442	0,2501	0,2541	0,2589	0,2654	0,2697	0,2650	0,2817	11
12	0,2428	0,2476	0,2533	0,2579	0,2630	0,2690	0,2743	0,2800	0,2870	12	
$\int y_g \cdot dw$		0,0766	0,0658	0,0544	0,0484	0,0422	0,0356	0,0322	0,0286	0,0250	$l^3 : E I_x$
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

$$n = \frac{J_0}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$$

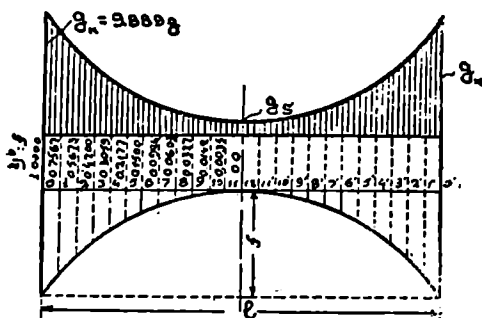
	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ	0,2606	0,2501	0,2294	0,2170	0,2029	0,1865	0,1774	0,1675	0,1567	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-0,0011	-0,0010	-0,0008	-0,0009	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0004	1
2	-0,0035	-0,0032	-0,0029	-0,0027	-0,0025	-0,0022	-0,0021	-0,0019	-0,0017	2
3	-0,0061	-0,0057	-0,0052	-0,0049	-0,0045	-0,0041	-0,0039	-0,0037	-0,0034	3
4	-0,0083	-0,0078	-0,0069	-0,0066	-0,0063	-0,0059	-0,0057	-0,0054	-0,0051	4
5	-0,0083	-0,0081	-0,0077	-0,0075	-0,0072	-0,0069	-0,0067	-0,0065	-0,0063	5
6	-0,0071	-0,0070	-0,0068	-0,0067	-0,0066	-0,0065	-0,0064	-0,0063	-0,0063	6
7	-0,0032	-0,0034	-0,0037	-0,0039	-0,0040	-0,0042	-0,0044	-0,0045	-0,0046	7
8	0,0033	0,0027	0,0119	0,0015	0,0010	0,0004	0,0001	-0,0003	-0,0007	8
9	0,0127	0,0117	0,0104	0,0097	0,0090	0,0081	0,0075	0,0069	0,0063	9
10	0,0253	0,0239	0,0222	0,0213	0,0201	0,0189	0,0182	0,0174	0,0165	10
11	0,0411	0,0394	0,0374	0,0363	0,0351	0,0336	0,0326	0,0318	0,0308	11
12	0,0603	0,0585	0,0564	0,0551	0,0538	0,0522	0,0513	0,0503	0,0492	12
11'	0,0411	0,0394	0,0374	0,0363	0,0351	0,0336	0,0326	0,0318	0,0308	11'
10'	0,0253	0,0239	0,0222	0,0213	0,0201	0,0189	0,0182	0,0174	0,0165	10'
9'	0,0127	0,0117	0,0104	0,0097	0,0090	0,0081	0,0075	0,0069	0,0063	9'
8'	0,0033	0,0027	0,0019	0,0015	0,0010	0,0004	0,0001	-0,0003	-0,0007	8'
7'	-0,0032	-0,0034	-0,0037	-0,0039	-0,0040	-0,0042	-0,0044	-0,0045	-0,0046	7'
6'	-0,0071	-0,0070	-0,0068	-0,0067	-0,0066	-0,0065	-0,0064	-0,0063	-0,0063	6'
5'	-0,0083	-0,0081	-0,0077	-0,0075	-0,0072	-0,0069	-0,0067	-0,0065	-0,0063	5'
4'	-0,0083	-0,0078	-0,0069	-0,0066	-0,0063	-0,0059	-0,0057	-0,0054	-0,0051	4'
3'	-0,0061	-0,0057	-0,0052	-0,0049	-0,0045	-0,0041	-0,0039	-0,0037	-0,0034	3'
2'	-0,0035	-0,0032	-0,0029	-0,0027	-0,0025	-0,0022	-0,0021	-0,0019	-0,0017	2'
1'	-0,0011	-0,0010	-0,0008	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0004	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
$m_{\text{max}} M$	0,0093	0,0089	0,0093	0,0090	0,0076	0,0072	0,0070	0,0067	0,0065	$\cdot pP$
$\text{გვ. } H$	0,065	0,085	0,085	0,085	0,086	0,086	0,096	0,066	0,086	$\cdot pP : f$
$m_{\text{min}} M$	-0,0032	-0,0031	-0,0029	-0,0028	-0,0027	-0,0026	-0,0025	0,0024	-0,0024	$\cdot pP$
$\text{გვ. } H$	0,049	0,050	0,051	0,052	0,059	0,058	0,054	0,055	0,056	$\cdot pP : f$
n	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

საპლანის ხაზის არღობები M

		$n = \frac{J_0}{J_b \cdot \cos \varphi_b}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ		-0,7334	-0,7499	-0,7706	-0,7830	-0,7971	-0,8135	-0,8226	-0,8325	-0,8433	$-f$
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		-0,0329	-0,0332	-0,0337	-0,0340	-0,0344	-0,0350	-0,0353	-0,0358	-0,0364	1
2		-0,0509	-0,0518	-0,0532	-0,0541	-0,0554	-0,0571	-0,0582	-0,0595	-0,0613	2
3		-0,0575	-0,0592	-0,0615	-0,0630	-0,0650	-0,0678	-0,0697	-0,0718	-0,0748	3
4		-0,0556	-0,0576	-0,0606	-0,0626	-0,0651	-0,0687	-0,0710	-0,0737	-0,0773	4
5		-0,0475	-0,0497	-0,0529	-0,0550	-0,0577	-0,0615	-0,0638	-0,0665	-0,0701	5
6		-0,0352	-0,0372	-0,0401	-0,0420	-0,0445	-0,0478	-0,0498	-0,0522	-0,0552	6
7		-0,0204	-0,0218	-0,0240	-0,0253	-0,0271	-0,0294	-0,0309	-0,0324	-0,0342	7
8		-0,0043	-0,0050	-0,0060	-0,0066	-0,0074	-0,0084	-0,0088	-0,0092	-0,0095	8
9		0,0120	0,0122	0,0125	0,0128	0,0132	0,0140	0,0146	0,0156	0,0171	9
10		0,0274	0,0286	0,0304	0,0317	0,0334	0,0358	0,0375	0,0400	0,0433	10
11		0,0415	0,0435	0,0466	0,0488	0,0516	0,0557	0,0585	0,0621	0,0670	11
12		0,0531	0,0561	0,0602	0,0630	0,0668	0,0721	0,0758	0,0809	0,0862	12
11'		0,0620	0,0654	0,0702	0,0736	0,0778	0,0839	0,0880	0,0930	0,0996	11'
10'		0,0679	0,0714	0,0764	0,0799	0,0844	0,0906	0,0946	0,0998	0,1064	10'
9'		0,0706	0,0739	0,0787	0,0820	0,0862	0,0921	0,0958	0,1006	0,1066	9'
8'		0,0698	0,0728	0,0769	0,0798	0,0835	0,0885	0,0917	0,0957	0,1006	8'
7'		0,0657	0,0681	0,0714	0,0738	0,0767	0,0807	0,0831	0,0862	0,0900	7'
6'		0,0585	0,0603	0,0625	0,0642	0,0664	0,0691	0,0718	0,0728	0,0752	6'
5'		0,0487	0,0498	0,0511	0,0522	0,0534	0,0550	0,0560	0,0571	0,0583	5'
4'		0,0370	0,0376	0,0382	0,0387	0,0393	0,0399	0,0402	0,0405	0,0406	4'
3'		0,0245	0,0246	0,0247	0,0249	0,0250	0,0250	0,0249	0,0248	0,0244	3'
2'		0,0128	0,0128	0,0127	0,0126	0,0125	0,0123	0,0121	0,0119	0,0115	2'
1'		0,0037	0,0037	0,0036	0,0035	0,0035	0,0034	0,0033	0,0031	0,0029	1'
0'		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
M_{\max}		0,0271	0,0282	0,0295	0,0307	0,0319	0,0338	0,0352	0,0367	0,0386	$\cdot p \cdot f$
$M_{\text{შებ.}}$		0,101	0,102	0,108	0,104	0,105	0,106	0,108	0,109	0,110	$\cdot \rho^2 : f$
M_{\min}		-0,0126	-0,0131	-0,0137	-0,0142	-0,0148	-0,0155	-0,0160	-0,0166	-0,0173	$\cdot p \cdot f$
$M_{\text{შებ.}}$		0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	$\cdot \rho^2 : f$
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	$-n$

		$n = \frac{J_s}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
n		0,1068	0,0901	0,0694	0,0570	0,0429	0,0265	0,0174	0,0075	-0,0033	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,0014	0,0014	0,0013	0,0013	0,0012	0,0011	0,0011	0,0010	0,0009	0,0009	1
2	0,0053	0,0056	0,0054	0,0053	0,0051	0,0047	0,0045	0,0043	0,0039	0,0039	2
3	0,0130	0,0128	0,0125	0,0122	0,0118	0,0112	0,0108	0,0102	0,0095	0,0095	3
4	0,0237	0,0233	0,0226	0,0222	0,0216	0,0207	0,0200	0,0193	0,0183	0,0183	4
5	0,0376	0,0371	0,0362	0,0355	0,0346	0,0334	0,0326	0,0317	0,0305	0,0305	5
6	0,0550	0,0541	0,0530	0,0521	0,0510	0,0496	0,0487	0,0476	0,0462	0,0462	6
7	0,0349	0,0328	0,0314	0,0305	0,0292	0,0276	0,0267	0,0255	0,0241	0,0241	7
8	0,0162	0,0149	0,0132	0,0122	0,0109	0,0093	0,0083	0,0072	0,0059	0,0059	8
9	0,0014	0,0001	-0,0017	-0,0027	-0,0040	-0,0056	-0,0065	-0,0074	-0,0085	-0,0085	9
10	-0,0103	-0,0119	-0,0135	0,0145	-0,0156	-0,0169	-0,0176	-0,0183	-0,0191	-0,0191	10
11	-0,0193	-0,0203	-0,0222	-0,0230	-0,0239	-0,0248	-0,0253	-0,0257	-0,0262	-0,0262	11
12	-0,0259	-0,0270	-0,0280	-0,0286	-0,0291	-0,0296	-0,0298	-0,0299	-0,0299	-0,0299	12
11'	-0,0249	-0,0307	-0,0312	-0,0315	-0,0316	-0,0315	-0,0314	-0,0311	-0,0307	-0,0307	11'
10'	-0,0319	-0,0321	-0,0321	-0,0321	-0,0317	-0,0312	-0,0308	-0,0301	-0,0292	-0,0292	10'
9'	-0,0318	-0,0316	-0,0312	-0,0307	-0,0300	-0,0290	-0,0284	-0,0274	-0,0263	-0,0263	9'
8'	-0,0302	-0,0296	-0,0287	-0,027	-0,0270	-0,0257	-0,0247	-0,0237	-0,0223	-0,0223	8'
7'	-0,0272	-0,0261	-0,0251	-0,0242	-0,0231	-0,0215	-0,0215	-0,0194	-0,0180	-0,0180	7'
6'	-0,0232	-0,0222	-0,0207	-0,0193	0,0186	-0,0170	-0,0161	-0,0149	-0,0136	-0,0136	6'
5'	-0,0185	-0,0174	-0,0160	-0,0151	-0,0140	-0,0125	-0,0117	-0,0107	-0,0095	-0,0095	5'
4'	-0,0184	-0,0125	-0,0111	-0,0106	-0,0096	-0,0084	-0,0077	-0,0070	-0,0061	-0,0061	4'
3'	-0,0085	-0,0078	-0,0069	-0,0064	-0,0057	-0,0049	-0,0044	-0,0039	-0,0033	-0,0033	3'
2'	0,0042	-0,003	-0,0033	-0,0030	-0,0027	-0,0023	-0,0020	-0,0017	-0,0014	-0,0014	2'
1'	0,0012	-0,0010	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0005	-0,0004	-0,0003	-0,0003	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
$\mu_{\text{კაბ. H}} \text{ max M}$		0,0078	0,0076	0,0073	0,0071	0,0068	0,0065	0,0063	0,0060	0,0057	$\cdot p^2$
$\mu_{\text{კაბ. H}} \text{ min M}$		0,039	0,039	0,033	0,036	0,035	0,034	0,034	0,033	0,032	$\cdot p^2 : f$
$\mu_{\text{კაბ. H}} \text{ min M}$		-0,0115	-0,0115	-0,0114	-0,0113	-0,0111	-0,0109	-0,0107	-0,0104	-0,0101	$\cdot p^2$
$\mu_{\text{კაბ. H}} \text{ min M}$		0,095	0,096	0,093	0,101	0,105	0,105	0,106	0,108	0,110	$\cdot p^2 : f$
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

$$y_s' : f = 0,15. \quad m = g_k : g_s = 2,889.$$



ნახ. XI.

$$H_g = 0,2499 \cdot \frac{g_s l^2}{f}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_k = 6,601 \cdot \frac{f}{l}$$

$$V_g = 1,6496 \cdot g_s l$$

$$\cos \varphi_k = \frac{1}{\sqrt{1 + 43,572 \cdot \frac{f^2}{l^2}}}$$

$$\text{თაღოვანი ძალა} \left(\text{მეზეველობა } H \cdot \frac{f}{l} \cdot (1 + \mu) \right).$$

		$n = \frac{f}{k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
y_s		0,2587	0,2424	0,2221	0,2099	0,1960	0,1799	0,1709	0,1612	0,1506	$\cdot f$
ბეჭდვის ხაზის რიგობები №	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0,0076	0,0073	0,0069	0,0066	0,0063	0,0059	0,0056	0,0052	0,0048	1
	2	0,0268	0,0258	0,0248	0,0241	0,0232	0,0220	0,0212	0,0203	0,0190	2
	3	0,0530	0,0519	0,0503	0,0494	0,0480	0,0463	0,0452	0,0439	0,0420	3
	4	0,0833	0,0821	0,0804	0,0795	0,0781	0,0764	0,0752	0,0739	0,0720	4
	5	0,1146	0,1138	0,1127	0,1120	0,1110	0,1098	0,1090	0,1081	0,1069	5
	6	0,1451	0,1450	0,1445	0,1447	0,1445	0,1444	0,1444	0,1443	0,1441	6
	7	0,1732	0,1740	0,1731	0,1738	0,1768	0,1780	0,1790	0,1800	0,1814	7
	8	0,1974	0,1994	0,2020	0,2037	0,2059	0,2087	0,2107	0,2132	0,2163	8
	9	0,2171	0,2202	0,2242	0,2270	0,2304	0,2349	0,2379	0,2416	0,2464	9
	10	0,2316	0,2357	0,2410	0,2446	0,2491	0,2549	0,2598	0,2637	0,2698	10
	11	0,2405	0,2452	0,2515	0,2557	0,2608	0,2676	0,2722	0,2778	0,2849	11
12	0,2435	0,2485	0,2551	0,2595	0,2649	0,2720	0,2763	0,2827	0,2902	12	
$f \cdot y_s \cdot d_{20}$		0,0750	0,0614	0,0532	0,0472	0,0411	0,0346	0,0312	0,0277	0,0241	$\cdot E I_s$
	α	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	

$$\pi = \frac{J_2}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$$

	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ	0,2587	0,2424	0,2221	0,2099	0,1960	0,1799	0,1709	0,1612	0,1506	$\cdot f$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-0,0011	-0,0010	-0,0008	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0004	1
2	-0,0034	-0,0031	-0,0028	-0,0026	-0,0024	-0,0022	-0,0020	-0,0019	-0,0017	2
3	-0,0059	-0,0055	-0,0050	-0,0047	-0,0044	-0,0041	-0,0038	-0,0036	-0,0034	3
4	-0,0076	-0,0072	-0,0067	-0,0064	-0,0061	-0,0057	-0,0050	-0,0052	-0,0049	4
5	-0,0079	-0,0076	-0,0072	-0,0071	-0,0068	-0,0064	-0,0063	-0,0061	-0,0061	5
6	-0,0063	-0,0062	-0,0061	-0,0061	-0,0060	-0,0059	-0,0059	-0,0059	-0,0058	6
7	-0,0023	-0,0025	-0,0029	-0,0031	-0,0032	-0,0035	-0,0036	-0,0038	-0,0040	7
8	0,0045	0,0038	0,0029	0,0025	0,0020	0,0014	0,0010	0,0006	0,0002	8
9	0,0142	0,0130	0,0118	0,0110	0,0101	0,0091	0,0087	0,0079	0,0072	9
10	0,0269	0,0254	0,0236	0,0226	0,0215	0,0202	0,0194	0,0186	0,0176	10
11	0,0429	0,0411	0,0390	0,0377	0,0365	0,0349	0,0341	0,0330	0,0320	11
12	0,0620	0,0601	0,0579	0,0566	0,0552	0,0537	0,0527	0,0516	0,0505	12
11'	0,0429	0,0411	0,0390	0,0377	0,0365	0,0349	0,0341	0,0330	0,0320	11'
10'	0,0269	0,0254	0,0236	0,0226	0,0215	0,0202	0,0194	0,0186	0,0176	10'
9'	0,0142	0,0130	0,0118	0,0110	0,0101	0,0091	0,0087	0,0079	0,0072	9'
8'	0,0045	0,0038	0,0029	0,0025	0,0020	0,0014	0,0010	0,0006	0,0002	8'
7'	-0,0023	-0,0025	-0,0029	-0,0031	-0,0032	-0,0035	-0,0036	-0,0038	-0,0040	7'
6'	-0,0063	-0,0062	-0,0061	-0,0061	-0,0060	-0,0059	-0,0059	-0,0059	-0,0058	6'
5'	-0,0079	-0,0076	-0,0072	-0,0071	-0,0068	-0,0064	-0,0063	-0,0061	-0,0061	5'
4'	-0,0076	-0,0072	-0,0067	-0,0064	-0,0061	-0,0057	-0,0054	-0,0052	-0,0049	4'
3'	-0,0059	-0,0055	-0,0050	-0,0047	-0,0044	-0,0041	-0,0038	-0,0036	-0,0034	3'
2'	-0,0034	-0,0031	-0,0028	-0,0026	-0,0024	-0,0022	-0,0020	-0,0019	-0,0017	2'
1'	-0,0011	-0,0010	-0,0008	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0006	-0,0005	-0,0004	1'
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
M_{max}	0,0099	0,0094	0,0098	0,0084	0,0080	0,0076	0,0074	0,0071	0,0068	$\cdot P^2$
$M_{კლას. H}$	0,088	0,088	0,088	0,089	0,099	0,089	0,089	0,091	0,091	$\cdot P^2 : f$
M_{min}	-0,0030	-0,0030	-0,0028	-0,0026	-0,0025	-0,0025	-0,0025	-0,0023	-0,0023	$\cdot P^2$
$M_{კლას. H}$	0,046	0,047	0,048	0,049	0,050	0,051	0,052	0,053	0,054	$\cdot P^2 : f$
π	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	π

		$n = \frac{J_p}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$										
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15		
y		-0,7419	-0,7576	-0,7779	-0,7901	-0,8040	-0,8201	-0,8291	-0,8388	-0,8494	f	
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1		-0,0327	-0,0329	-0,0334	-0,0337	-0,0341	-0,0347	-0,0351	-0,0356	-0,0361	1	
2		-0,0503	-0,0513	-0,0526	-0,0535	-0,0548	-0,0565	-0,0576	-0,0589	-0,0607	2	
3		-0,0564	-0,0660	-0,0603	-0,0619	-0,0639	-0,0667	-0,0684	-0,0707	-0,0735	3	
4		-0,0540	-0,0560	-0,0590	-0,0609	-0,0635	-0,0669	-0,0691	-0,0717	-0,0752	4	
5		-0,0456	-0,0477	-0,0507	-0,0522	-0,0556	-0,0593	-0,0613	-0,0640	-0,0674	5	
6		-0,0391	-0,0349	-0,0377	-0,0395	-0,0419	-0,0449	-0,0468	-0,0491	-0,0529	6	
7		-0,0179	-0,0193	-0,0213	-0,0226	-0,0242	-0,0263	-0,0274	-0,0289	-0,0305	7	
8		-0,0019	-0,0021	-0,0032	-0,0037	-0,0043	-0,0050	-0,0052	-0,0053	-0,0053	8	
9		0,0144	0,0148	0,0154	0,0159	0,0165	0,0175	0,0184	0,0196	0,0214	9	
10		0,0209	0,0314	0,0333	0,0348	0,0367	0,0394	0,0414	0,0440	0,0476	10	
11		0,0498	0,0461	0,0495	0,0519	0,0549	0,0593	0,0624	0,0662	0,0714	11	
12		0,0555	0,0596	0,0630	0,0661	0,0701	0,0757	0,0795	0,0843	0,0907	12	
11'		0,0645	0,0680	0,0731	0,0766	0,0811	0,0875	0,0918	0,0971	0,1041	11'	
10'		0,0704	0,0742	0,0793	0,0830	0,0877	0,0941	0,0984	0,1038	0,1107	10'	
9'		0,0730	0,0765	0,0815	0,0851	0,0895	0,0955	0,1006	0,1045	0,1109	9'	
8'		0,0723	0,0754	0,0797	0,0827	0,0866	0,0919	0,0955	0,0996	0,1050	8'	
7'		0,0692	0,0705	0,0741	0,0765	0,0796	0,0837	0,0865	0,0897	0,0937	7'	
6'		0,0607	0,0625	0,0650	0,0667	0,0689	0,0719	0,0738	0,0759	0,0785	6'	
5'		0,0506	0,0517	0,0533	0,0545	0,0556	0,0574	0,0584	0,0596	0,0610	5	
4'		0,0387	0,0391	0,0398	0,0404	0,0409	0,0416	0,0420	0,0425	0,0427	4'	
3'		0,0257	0,0258	0,0259	0,0260	0,0261	0,0262	0,0262	0,0260	0,0257	3'	
2'		0,0134	0,0133	0,0133	0,0132	0,0131	0,0128	0,0127	0,0125	0,0120	2'	
1'		0,0039	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036	0,0035	0,0033	0,0032	1'	
0'		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'	
M_{max}		0,0283	0,0293	0,0309	0,0321	0,0336	0,0355	0,0368	0,0385	0,0405	p^2	
$H_{ყვამ.}$		0,102	0,103	0,105	0,106	0,107	0,108	0,109	0,110	0,112	$p^2 : f$	
M_{min}		-0,0121	-0,0124	-0,0132	-0,0136	-0,0142	-0,0149	-0,0153	-0,0159	-0,0166	p^2	
$H_{ყვამ.}$		0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	$p^2 : f$	
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n	

		$n = \frac{J_s}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
γ		0,1087	0,0924	0,0721	0,0599	0,0460	0,0299	0,0209	0,0112	0,0006	$-f$
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0011	0,0010	0,0010	0,0009	1
2		0,0054	0,0055	0,0053	0,0052	0,0050	0,0047	0,0045	0,0042	0,0038	2
3		0,0128	0,0126	0,0122	0,0119	0,0116	0,0110	0,0106	0,0101	0,0094	3
4		0,0234	0,0230	0,0224	0,0219	0,0212	0,0204	0,0198	0,0190	0,0181	4
5		0,0373	0,0366	0,0356	0,0351	0,0342	0,0329	0,0322	0,0312	0,0301	5
6		0,0546	0,0537	0,0524	0,0516	0,0505	0,0490	0,0480	0,0470	0,0457	6
7		0,0835	0,0824	0,0808	0,0798	0,0786	0,0769	0,0759	0,0748	0,0734	7
8		0,0156	0,0142	0,0126	0,0114	0,0102	0,0085	0,0075	0,0064	0,0051	8
9		0,0005	-0,0006	-0,0024	-0,0035	-0,0049	-0,0064	-0,0073	-0,0083	-0,0094	9
10		-0,0110	-0,0124	-0,0143	-0,0152	-0,0165	-0,0177	-0,0185	-0,0194	-0,0202	10
11		-0,0200	-0,0214	-0,0230	-0,0239	-0,0248	-0,0257	-0,0263	-0,0268	-0,0272	11
12		-0,0264	-0,0276	-0,0288	-0,0294	-0,0300	-0,0306	-0,0308	-0,0310	-0,0310	12
11'		-0,0305	-0,0312	-0,0320	-0,0322	-0,0325	-0,0325	-0,0324	-0,0322	-0,0317	11'
10'		-0,0324	-0,0327	-0,0325	-0,0328	-0,0326	-0,0320	-0,0317	-0,0311	-0,0303	10'
9'		-0,0324	-0,0324	-0,0318	-0,0315	-0,0309	-0,0299	-0,0292	-0,0283	-0,0272	9'
8'		-0,0307	-0,0303	-0,0293	-0,0287	-0,0276	-0,0264	-0,0256	-0,0245	-0,0232	8'
7'		-0,0276	-0,0268	-0,0257	-0,0248	-0,0237	-0,0222	-0,0213	-0,0201	-0,0187	7'
6'		-0,0236	-0,0226	-0,0213	-0,0203	-0,0191	-0,0176	-0,0167	-0,0155	-0,0141	6'
5'		-0,0188	-0,0178	-0,0164	-0,0155	-0,0144	-0,0131	-0,0121	-0,0111	-0,0099	5'
4'		-0,0136	-0,0125	-0,0116	-0,0109	-0,0099	-0,0087	-0,0080	-0,0072	-0,0063	4'
3'		-0,0087	-0,0080	-0,0072	-0,0066	-0,0059	-0,0051	-0,0046	-0,0041	-0,0035	3'
2'		-0,0044	-0,0039	-0,0034	-0,0031	-0,0028	-0,0023	-0,0021	-0,0018	-0,0015	2'
1'		-0,0012	-0,0011	-0,0009	-0,0008	-0,0007	-0,0006	-0,0005	-0,0004	-0,0003	1'
0'		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'
	M_{max}	0,0076	0,0074	0,0071	0,0070	0,0067	0,0064	0,0062	0,0059	0,0056	$\cdot pP$
	$M_{შებბ.H}$	0,038	0,038	0,037	0,036	0,035	0,034	0,034	0,033	0,032	$\cdot pP : f'$
	$M_{მინ.H}$	-0,0118	-0,0118	-0,0118	-0,0117	-0,0116	-0,0114	-0,0111	-0,0109	-0,0106	$\cdot pP$
	$M_{შებბ.H}$	0,096	0,097	0,100	0,102	0,104	0,106	0,108	0,110	0,113	$\cdot pP : f'$
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

ცხრილი VII სურდენი ვერტიკალური V რეაქციის გავლენის ხაზის ორდინატება
 $\gamma^{\circ} : f =$ ნებისმიერი $m =$ ნებისმიერი

		$n = \frac{J_0}{J_k \cdot \cos \varphi_k}$									
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	
გაშლენის ხაზის ორდინატები M	0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0
	1	0,9949	0,9952	0,9956	0,9958	0,9962	0,9966	0,9969	0,9972	0,9976	1
	2	0,9803	0,9812	0,9825	0,9834	0,9845	0,9860	0,9869	0,9880	0,9894	2
	3	0,9570	0,9588	0,9612	0,9629	0,9650	0,9678	0,9696	0,9717	0,9742	3
	4	0,9259	0,9285	0,9321	0,9346	0,9377	0,9418	0,9444	0,9475	0,9514	4
	5	0,8879	0,8911	0,8957	0,8988	0,9028	0,9061	0,9114	0,9153	0,9200	5
	6	0,8437	0,8474	0,8527	0,8562	0,8608	0,8668	0,8705	0,8760	0,8804	6
	7	0,7944	0,7982	0,8037	0,8074	0,8121	0,8163	0,8223	0,8269	0,8325	7
	8	0,7407	0,7444	0,7496	0,7531	0,7576	0,7635	0,7672	0,7716	0,7769	8
	9	0,6836	0,6867	0,6911	0,6941	0,6980	0,7030	0,7062	0,7100	0,7145	9
	10	0,6238	0,6261	0,6293	0,6315	0,6344	0,6380	0,6404	0,6431	0,6464	10
	11	0,5624	0,5636	0,5653	0,5664	0,5679	0,5699	0,5711	0,5726	0,5743	11
	12	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	12
	11'	0,4376	0,4364	0,4347	0,4336	0,4321	0,4301	0,4289	0,4274	0,4257	11'
10'	0,3762	0,3739	0,3707	0,3685	0,3656	0,3620	0,3596	0,3569	0,3536	10'	
9'	0,3164	0,3133	0,3089	0,3059	0,3020	0,2970	0,2938	0,2900	0,2855	9'	
8'	0,2593	0,2556	0,2504	0,2469	0,2424	0,2365	0,2328	0,2284	0,2231	8'	
7'	0,2056	0,2018	0,1963	0,1926	0,1879	0,1817	0,1777	0,1731	0,1675	7'	
6'	0,1563	0,1526	0,1473	0,1438	0,1392	0,1332	0,1295	0,1250	0,1196	6'	
5'	0,1121	0,1089	0,1043	0,1012	0,0972	0,0919	0,0886	0,0847	0,0800	5'	
4'	0,0741	0,0715	0,0679	0,0654	0,0623	0,0582	0,0556	0,0525	0,0486	4'	
3'	0,0430	0,0412	0,0388	0,0371	0,0350	0,0322	0,0304	0,0289	0,0258	3'	
2'	0,0197	0,0188	0,0175	0,0161	0,0155	0,0140	0,0131	0,0120	0,0106	2'	
1'	0,0051	0,0048	0,0044	0,0042	0,0038	0,0034	0,0031	0,0028	0,0024	1'	
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0'	
n		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	n

გრძივი ძალისა და მლუნავი მომენტის გავლენის ხაზის აგების მაგალითი.

ავილოთ იგივე კამარა, რომელიც ჩვენ მიერ იყო განხილული ზემოთ.

$m=2,814$, $n=0,60$ -სათვის VI ცხრილიდან ვღებულობთ გავლენის ხაზის ფუნქციის ორდინატებს $H \frac{f}{l} (1+\mu)$. H განმზღჯენის სიდიდის მიღებისათვის, საჭიროა ეს ორდინატები გავყოთ $\frac{f}{l} (1+\mu)$ სიდიდებზე ან გავამრავლოთ $\frac{l}{f(1+\mu)}$.

გამოვივალთ ეს მაშრავლი. ჯერ განვსაზღვროთ μ სიდიდე IV ცხრილიდან $n=0,50$ და $\frac{f}{l}=0,245$ მიხედვით, გვაქვს:

$$\mu = \frac{F_m}{F_s} = 1,25;$$

$$F_m = 1,25 F_s = 1,25 \cdot 1,00 = 1,25.$$

ამას გარდა, ზემოთ ჩვენ განვსაზღვრეთ $E \int y_0 y \, d\omega = 1376$ მნიშვნელობა. აქედან, (VI) ფორმულით,

$$\mu = \frac{l}{EF_m \int y_0 y \, d\omega} = \frac{31,60}{1,25 \cdot 1376} = 0,01837;$$

$$\frac{l}{f(1+\mu)} = \frac{31,6}{7,75(1+0,01837)} = 4,004.$$

ამ მაშრავლებზე ცხრილის მონაცემების გამრავლებით, ვღებულობთ H -ის გავლენის ხაზის ორდინატებს. შემდეგ ამოვიწეროთ გავლენის ხაზის ორდინატებს საყრდენი ვერტიკალური V რეაქციისათვის (ცხრილი VII), რის შემდეგაც განვსაზღვრაოთ N მნიშვნელობებს. ამისათვის წინასწარ უნდა ამოვიწეროთ $\sin \varphi$ და $\cos \varphi$ მნიშვნელობანი.

მაღის მეოთხედისათვის:

$$\cos^2 \varphi = 0,9150;$$

$$\sin \varphi = 0,3988.$$

ქუსლისათვის:

$$\cos \varphi = 0,6383;$$

$$\sin \varphi = 0,7986.$$

შემდეგი მოქმედებანი ნორმალური ძალის გავლენის ხაზის გამოსათვლელად მოცემულია ქვემოთყვანილ ცხრილში.

ვერტიკალური კუთხე	H ¹⁾	V ¹⁾	კვეთი მალის მეოთხედში ²⁾					ქ უ ს ლ ი		
			V-1	V	(V-1) sin φ ან V sin φ	Hcos φ	λ ³⁾	V sin φ	Hcos φ	H
0	0	1,000	0	—	0	0	0	0,770	0	0,770
2	0,087	0,982	-0,018	—	-0,007	0,080	0,071	0,766	0,056	0,812
4	0,292	0,932	-0,068	—	-0,027	0,268	0,241	0,717	0,186	0,903
6	0,541	0,853	-0,174	+0,853	-0,059 +0,340	0,496	0,437 0,836	0,656	0,345	1,001
8	0,770	0,750	—	0,750	+0,299	0,706	1,005	0,577	0,491	1,068
10	0,932	0,629	—	0,629	0,251	0,855	1,106	0,484	0,595	1,079
12	0,990	0,500	—	0,500	0,191	0,903	1,107	0,385	0,632	1,017
10'	0,932	0,371	—	0,371	0,148	0,855	1,003	0,285	0,595	0,880
8'	0,770	0,250	—	0,250	0,100	0,706	0,906	0,193	0,491	0,684
6'	0,541	0,147	—	0,147	0,059	0,496	0,555	0,113	0,345	0,458
4'	0,292	0,068	—	0,068	0,027	0,268	0,295	0,052	0,186	0,238
2'	0,087	0,017	—	0,017	0,007	0,080	0,087	0,013	0,055	0,068
0'	0	0	—	0	0	0	0	0	0	0

M¹-სათვის ცხრილის მონაცემები უნდა გამრავლდეს l=31,9 მალზე. შემდეგ უნდა გამოეთვალოთ H_ყ, რისთვისაც ჩვენ მიერ გამოთვლილი გველენის ხაზის H ორდინატები უნდა გავამრავლოთ ყუ მამრავლზე, რომლებსაც აქვს შემდეგი მნიშვნელობა:

$$\begin{aligned} \text{კლიტესთვის} & \quad \text{ყუ} = 2,051 \cdot 0,01837 = +0,0377, \\ \text{მეოთხედისთვის} & \quad \text{ყუ} = 0,424 \cdot 0,01837 = +0,0078, \\ \text{ქუსლისთვის} & \quad \text{ყუ} = -5,699 \cdot 0,01837 = -0,1047. \end{aligned}$$

მოქმედება მოყვანილია ცხრილში.

გველენის ხაზების სარგებლობით, შეგვიძლია არახელსაყრელი სახით დაეტვირთოთ კამარა დროებითი ტვირთით და განესაზღვროთ შიგაძალები და ძაბვები.

გველენის ხაზები საშუალებას იძლევა ვაწარმოოთ გაანგარიშება ყოველგვარ დატვირთვაზე. მაგალითად, თუ ჩვენ გვსურს გავიანგარიშოთ კამარა საკუთარი წონის მოქმედებაზე, კამარის ზედა ნაშენის გაუთვალისწინებლად, მაშინ ჩვენ შეგვიძლია დაეყოთ კამარა სოლებად და თითოეული სოლის წონა გავამრავლოთ შესაბამისი გველენის ხაზის ორდინატზე. ასეთი ნამრავლების ჯამი მოგვცემს საძიებელ ფუნქციას.

1) მიიღება $H \cdot \frac{l}{T} (1+\mu)$ -დან (ცხრილი VI) 4,004 გამრავლებით.

2) VI ცხრილიდან.

3) კლიტეს კვეთისათვის ნორმალური ძალა N=H.

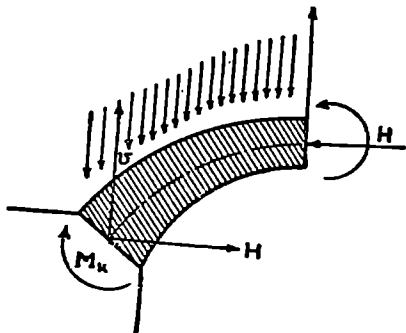
4) (XIV) და (XV) ფორმ.

მომენტების გვერდის ხაზის ორდინატების განსაზღვრა

შეცვლის ნომერი	კ ლ ი ტ ი		მ ე ო მ ბ ე დ ი				ქ უ ს ლ ი		
	H	$H_{\text{yp}} = 0,0377 H$	$M = M_1 + H_{\text{yp}}$	M ₁	0,0078 H	M	M ₁	-0,1047 H	M
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,087	0,008	-0,092	0,186	0,001	0,187	-1,766	-0,009	-1,775
4	0,292	0,011	-0,248	0,756	0,002	0,758	-2,149	-0,031	-2,180
6	0,541	0,020	-0,286	1,754	0,004	1,758	-1,608	-0,057	-1,665
8	0,770	0,029	-0,066	0,524	0,006	0,530	-0,594	-0,081	-0,675
10	0,932	0,035	+0,528	-0,900	0,007	-0,293	0,537	-0,098	+0,439
12	0,990	0,037	+1,589	-0,775	0,008	-0,747	1,469	-0,104	1,365
10'	0,952	0,035	+0,528	-0,891	0,007	-0,884	1,991	-0,098	1,893
8'	0,770	0,029	-0,066	-0,799	0,006	-0,793	2,026	-0,081	1,945
6'	0,541	0,020	-0,286	-0,572	0,004	-0,068	1,634	-0,057	1,577
4'	0,292	0,011	-0,248	-0,310	0,002	-0,308	0,973	-0,031	0,942
2'	0,097	0,003	-0,092	-0,092	0,001	-0,091	0,313	-0,009	0,304
0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0

დ) კამარის საყრდენი რეაქციის განსაზღვრა

კამარის საყრდენი რეაქცია განისაზღვრება სამი მონაცემით: ქუსლის კვეთის ცენტრზე მოდებული ვერტიკალური და ჰორიზონტალური მდგენელებით და საყრდენი მომენტი (ნახ. 336). რაც შეეხება ჰორიზონტალურ მდგენელს (განმბრუჯენი), მისი სიდიდე განისაზღვრება კამარის გაანგარიშების დროს. სწორედ ასევე, საყრდენი M_x მომენტი წარმოადგენს მღუნავ მომენტს ქუსლის კვეთში. ვერტიკალური V მდგენელის მნიშვნელობა მუდმივი დატვირთისაგან მოყვანილია VI ცხრილში, m -ზე დამოკიდებულებით. V -ს მნიშვნელობა დროებითი დატვირთისაგან განისაზღვრება გავლენის ხაზებით; და ნორმალური ძალის გავლენის ხაზის ორდინატების გამოთვლის დროს ჩვენ ამ მონაცემებით ვისარგებლეთ.



ნახ. 336.

მაგალითად, იგივე კამარისათვის, რომელიც ჩვენ ზემოთ განვიხილეთ, გვაქვს:

1) მუდმივი ტვირთი:

განმბრუჯენი $H=130,5$ ტ (ეტოლება მთლიან ნორმალურ ძალას კლიტში);

საყრდენი რეაქციის ვერტიკალური მდგენელი, $m=2,814$ -სათვის VI ცხრილიდან,

$$V=0,7761 g \cdot l=0,7761 \cdot 6.56 \cdot 31,6=160,9 \text{ ტონა};$$

საყრდენი მომენტი $M_x = -17,6$ ტ მ (მღუნავი მომენტი ქუსლის კვეთში);

2) დროებითი დატვირთვა:

H განმბრუჯენისათვის და ვერტიკალურ V მდგენელისათვის გვაქვს გავლენის ხაზის გამოთვლილი ორდინატები „ნორმალური ძალის გავლენის ხაზის ორდინატების განსაზღვრის“ ცხრილის პირველ ორ სვეტში.

საყრდენ M_x მომენტისათვის, როგორც მღუნავ მომენტისათვის ქუსლის კვეთში, გვაქვს ორდინატების გამოთვლა „მომენტების გავლენის ხაზის ორდინატების განსაზღვრის“ ცხრილის უკანასკნელ სვეტში.

H , V და M_x სიდიდეები საჭიროა კამარის საყრდენის გაანგარიშებისათვის.

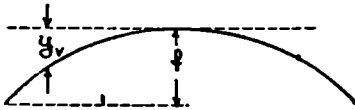
§ 111. შტრასენერის მეთოდის გამოყენება კამარის ლეკის ხვდა მოხაზულობისა და კვეთის ზომების ცვლილების ხვდა წახისათვის

წინა პარაგრაფში ჩვენ აღვნიშნეთ, რომ შტრასენერის მეთოდს უშუალოდ გამოვიყენებთ იმ კამარებისათვის, რომელთა ლეკის მოხაზულობა

მუდმივი დატვირთვის მოქმედებისაგან წარმოადგენს თ.ოკის მრუდს და აგრეთვე გამოიყენება განსაზღვრული წესით კამარის კვეთის ზომების კანონის ცვლილების შემთხვევისათვის. მაგრამ არის შესაძლებლობა შტრასნერის ცხრილების გამოსაყენებლად პრაქტიკის ყველა შემთხვევისათვის.

მართლაც, შტრასნერმა შეადგინა თოკის მრუდის განტოლება m პარამეტრზე დამოკიდებულებით, მიიღო ეს მრუდი კამარის ღერძად და მრუდის ორდინატების განტოლებაში ჩასმით აწარმოვა ყველა საჭირო ინტეგრირება. ახლა წარმოვიდგინოთ, რომ ჩვენ დაენიშნეთ კამარის ღერძის მოხაზულობა, რომელსაც აქვს იგივე სახის განტოლება, როგორსაც იძლევა შტრასნერი, მხოლოდ m კოეფიციენტის სხვა მნიშვნელობისათვის, რომელიც არ

ეტოლება $\frac{f}{g}$ შეფარდებას. მაშინ ეს მრუდი არ იქნება თოკის მრუდი, მაგრამ ინტეგრალების ამოხსნა დამოკიდებული იქნება კამარის ღერძის განტოლებაზე. მაშასადამე, ასეთ შემთხვევისათვის შეიძლება შტრასნერის ცხრილების გამოყენება. საჭიროა მხოლოდ გვახსოვდეს, რომ მუდმივ ტვირთზე გაანგარიშების მეთოდი უნდა შეეცვალოს, რადგანაც შტრასნერით ის იყო დაფუძნებული წარმოდგენაზე, რომ კამარის ღერძად მიღებული იყო თოკის მრუდი. ზოგად შემთხვევაში კი საჭიროა აევაგოთ გავლენის ხაზები შტრასნერის ცხრი-



ნახ. 337.

ლებით და მუდმივ ტვირთზე გაანგარიშება ვაწარმოოთ გავლენის ხაზებით. ამნაირად, თუ ჩვენ მოცემული გვაქვს რაიმე მოხაზულობის კამარის ღერძი და მოითხოვება კამარის გაანგარიშება შტრასნერის მეთოდით, საჭიროა, უპირველეს ყოვლისა, შევარჩიოთ m პარამეტ-

რის მნიშვნელობა მოცემულ მრუდისათვის. ამისათვის უნდა გავატაროთ შტრასნერის მრუდი, რომელიც დამთხვევა მოცემულ მრუდს ხუთ წერტილში: ქუსლებში, კლიტეში და მალის ჰეოთხედებში. ეს რომ შევასრულოთ უნდა გავზომოთ y' ორდინატი მეოთხედში (ნახ. 337) და 1 ცხრილში ავიღოთ № 6 წერტილის იმ სვეტის სტრიქონი, რომელიც შეესაბამება მოცემულ დატვირთვისათვის გამოთვლილ $\frac{y'}{f}$ შეფარდებას. მაგ., თუ მოცემულია პარაბოლა,

მაშინ $\frac{y'}{f} = 0,25$ ე. ი. $y' = 0,25 f$. I ცხრილში ვპოულობთ შესაბამის სტრიქონს, მასთან აღმოჩნდება, რომ $m = 1$.

m -ის ამ მნიშვნელობისთვის მიმდინარეობს კამარის შემდეგი გაანგარიშება.

იგულისხმება, რომ ხუთი წერტილის თანამთხვევა კიდევ არ იწვევს, ზოგადად, ორი მრუდის სრულ თანამთხვევას, (რომელიც მოცემულია და აკმაყოფილებს შტრასნერის განტოლებას), მაგრამ ეს მრუდები პრაქტიკულად სათანადოდ ახლოს არიან ერთმანეთთან და შტრასნერის ცხრილების გამოყენება მოცემული მრუდისათვის იძლევა სათანადო ზუსტ შედეგებს.

რაც შეეხება კვეთის ზომების ცვლილების კანონს, ა კოეფიციენტის სიდიდეს, განვიხილავთ ქუსლისა და კლიტეს კვეთების შერჩეულ ზომებზე დამოკიდებულებით. ქუსლსა და კლიტეს შორის ზომების ცვლილებები შტრასნერით მიმდინარეობს გარკვეული კანონით, რომელზედაც შეიძლება დავეყარდნოთ ახალი კამარების დაგეგმარების დროს. მაგრამ, თუ გვინდა ვაწარმოთ არსებული კამარის შემამოწმებელი ანგარიში, მაშინ შეიძლება მოხდეს, რომ ნამდვილი ზომების ცვლილება განსხვავდებოდეს შტრასნერის კანონიდან. მაგრამ, გაანგარიშების პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ კამარის კვეთის ცვლილების კანონის მიღებული განსხვავება არსებულთან, მოცემულ ქუსლსა და კლიტეს კვეთების ზომებთან, დიდ გავლენას არ ახდენს გაანგარიშების შედეგებზე. ამიტომ, იმ შემთხვევებში, როდესაც არ გვაქვს სხვა უფრო ზუსტი, უბრალო გაანგარიშების ხერხები, შეგვიძლია გამოვიყენოთ შტრასნერის მეთოდი. შეიძლება რეკომენდებულ იქნას შემდეგი: პარაბოლური და წრიული მუდმივი კვეთის მოხაზულობის კამარებისათვის, ანდა იმ შემთხვევისათვის, როცა კვეთი იცვლება სისქისა და $cos \varphi$ -ის უკუპროპორციულად, მაშინ ანგარიში უნდა ვაწარმოოთ იმ მეთოდებით, რომლებიც ზემოთ იყო განხილული. დანარჩენ შემთხვევებში გამოყენებული უნდა იქნას შტრასნერის მეთოდი.

ს ა რ ჩ ი ვ ი

თავი მცხრა

სტატიკურად ურკვევადი ბრძვ მლი ნაგებობანი

§ 52. ზოგადი ცნებანი	4
§ 53. სტატიკურად ურკვევად ნაგებობებში ზედმეტი უძნობების განსაზღვრის ზოგადი მეთოდი	4
§ 54. სტატიკურად ურკვევადი ფერმები	6
§ 55. სტატიკურად ურკვევადი ფერმისათვის გაულენის ხაზის აგება	11
§ 56. სტატიკურად ურკვევადი სისტემის გაულენის ხაზის აგებისათვის ურთიერთგადაადგილებათა პრინციპის გამოყენება	16
§ 57. ტემპერატურის გაულენა	24
§ 58. სტატიკურად ურკვევადი ფერმის ელემენტებისათვის კვთების შერჩევა	28
§ 59. მუდმივკვთიანი სტატიკურად ურკვევადი კოკები	29
§ 60. მუდმივკვთიანი სტატიკურად ურკვევადი კოკების გაულენის ხაზის აგების წესები	33
§ 61. მუდმივკვთიანი უკრი კოკები	37
§ 62. ცვლადკვთიანი სტატიკურად ურკვევადი კოკები	45
§ 63. სტატიკურად ურკვევადი კოკების კვთების შერჩევა	48
§ 64. სტატიკურად ურკვევადი ჩარჩოები	49
§ 65. ორსახსრიანი ჩარჩო	52
§ 66. ჩამაგრებული კუსლებიანი ჩარჩო	57
§ 67. სტატიკურად ურკვევადი ჩარჩოების სხვა შემთხვევები	65
§ 68. სტატიკურად ურკვევადი ჩარჩოების ანგარიშის მსუღელობა	74
§ 69. სტატიკურად ურკვევადი ჩარჩოების ანგარიში ტემპერატურის მოქმედების შემთხვევისათვის	75
§ 70. სტატიკურად ურკვევადი კოკებისა და ჩარჩოების გაანგარიშების გრაფიკული ხერხი (ფოკუსების მეთოდი)	81
§ 71. ფოკუსების მეთოდის გამოყენება ზოგიერთ სპეციალურ შემთხვევებში	112
§ 72. ფოკუსების მეთოდის გამოყენება ცვლადკვთიანი სტატიკურად ურკვევადი კოკებისა და ჩარჩოებისათვის	117
§ 73. ჩარჩოების გაანგარიშება ტემპერატურაზე ფოკუსების მეთოდით	127
§ 74. ჩარჩოს გაანგარიშება კუთხური დეფორმაციის მეთოდით	131
§ 75. ორსახსრიანი დაწეული თალი ვერტიკალური დატვირთვის მოქმედებისას	143
§ 76. ორსახსრიანი თალის ანგარიში ტემპერატურაზე	148

თავი მათე

ძვის სპეარდენი კმდეები

§ 77. გარემაღები	150
§ 78. საკითხის დაყენება საყრდენ კედელზე მიწის წნევის განსაზღვრისათვის	150
§ 79. R და E რეაქციების მიმართულებანი (ნახ. 271)	152
§ 80. ჩამონგრევის სიბრტყის მდებარეობა	153

§ 81. მიწის წნევის ანალიზური განსაზღვრა კედლის ვერტიკალურ უკანა წახნაგზე, შემოსახლურული მიწის მასის ჰორიზონტალური სიბრტყით, რომელიც გატარებულია კედლის ზედა წახნაგის დონაზე (ნახ. 272)	153
§ 82. ზედა ჰორიზონტალურ BD საბრტყეზე განლაგებულ თანაბრადანაწილებულ დატვირთვის გავლენა წინა პარაგრაფის ამოცანის მიხედვით (ნახ. 273)	155
§ 83. საყრდენ კედელზე მიწის წნევის გრაფიკული განსაზღვრა, რეზანის მეთოდი	156
§ 84. ჩამოგრევის AD ხაზის აგება	159
§ 85. შემთხვევა, როდესაც მიწის მასა შემოსახლურულია ზემოდან სიბრტყით	160
§ 86. შემთხვევა, როდესაც მიწის მასა ზემოდან შემოსახლურულია რამდენიმე სიბრტყით, რომლებიც ერთმანეთთან იკვეთებიან კედლის ღერძის პარალელურ სწორზე	165
§ 87. საყრდენი კედლის უკანა ზედაპირზე E წნევის განაწილების კანონი	166
§ 88. კედელზე მიწის წნევის განსაზღვრა, რომლის უკანა ზედაპირი შესდგება ურთიერთგადამკვეთი სიბრტყეებისაგან	170
§ 89. თანაბრადანაწილებული დატვირთვის გავლენა მიწის ზედაპირზე	170
§ 90. საყრდენი კედლის გაანგარიშება	172
§ 91. საყრდენი კედლისათვის პროფილის შერჩევა	177
§ 92. მიწის წინააღმდეგობა	179
§ 93. შემთხვევა, როდესაც კედელი განიციდის ორმხრიდან დაწოლას	184

თანხმობები
ძვის კამარები

§ 94. გარეძალები	185
§ 95. შიგაძალების ხაზი	187
§ 96. ჩამაგრებულ კუსლებიანი კამარების გრაფიკული გაანგარიშება (ზღვრული წონასწორობის მეთოდი)	188
§ 97. სიმეტრიული ვერტიკალური დატვირთვის შემთხვევა და დაწეული კამარა	190
§ 98. სიმეტრიული ვერტიკალური დატვირთვის შემთხვევა და აწეული კამარა	191
§ 99. არასიმეტრიული ვერტიკალური დატვირთვის შემთხვევა	192
§ 100. გრაფიკული მეთოდით გაანგარიშებისას კამარის ღერძის მოხაზულობის ხელსაყრელი შერჩევა	193
§ 101. კამარის გრაფიკულად გაანგარიშების მსვლელობა	194
§ 102. სამსახრიან კამარისათვის რეაქციების გრაფიკული განსაზღვრა და გაანგარიშებისათვის ჩამაგრებულ კუსლებიანი კამარის გამოყენება	194
§ 103. კამარის გაანგარიშების ანალიზური მეთოდი	197
§ 104. კამარის ანალიზურად გაანგარიშების მსვლელობა	208
§ 105. კამარის ანალიზურად გაანგარიშების მაგალითი	208
§ 106. ტემპერატურული ძაბვები კამარებში	212
§ 107. ტემპერატურული ძაბვების განსაზღვრის მაგალითი	224
§ 108. მუდმივი კვეთის დაწეული კამარის შემთხვევა ვერტიკალური დატვირთვის მოქმედების კვეშ	226
§ 109. კამარის ღერძის მოხაზულობის ხელსაყრელად შერჩევის საკითხი ანალიზური გაანგარიშებისას	229
§ 110. კამარის გაანგარიშება შტრასნერის მეთოდით	231
§ 111. შტრასნერის მეთოდის გაგრძელება კამარის ღერძის სხვა მოხაზულობისა და კვეთის ზომების ცვლილების სხვა წესისათვის	229