დოც. ა. ჯაბუა, დოც. დ. თაქთაქიშვილი

მასალათა გამძლეობის ამოცანათა კრებული

ტექნიკა და შრომა
19 თბილისი 56

წინასიტყვაობა

წინამდებარე შრომის მიზანია ხელი შეუწყოს სტუდენტობას მასალათა გამძლეობის კურსის ღრმად შესწავლაში და მისცეს მათ დამოუკიდებელი მუშაობის ჩვევები.

ამოცანათა კრებულის ყოველ თავს წამძღვარებული აქვს მოკლე ცნობები თეორიიდან, რომლის მიზანია მოაგონოს სტუდენტს თეორიის ის ნაწილი, რომელიც ეხება განსახილავ თავში მოცემულ ამოცანებს.

ამოცანათა კრებულზე სტუდენტთა დამოუკიდებლად მუშაობის გასაადვილებლად ყოველ პარაგრაფში დაწვრილებით გარჩეულია საშუალო სირთულის რამდენიმე ამოცანა.

ამოცანების გადაწყვეტისას ვსარგებლობდით 25 სმ ნორმალური ლოგარითმული სახაზავით, რიცხვების დამრგვალებას ვახდენდით საინჟინრო პრაქტიკაში მიღებული წესების მიხედვით.

ამოცანათა კრებული ძირითადად შეესაბამება უმაღლესი ტექნიკური სასწავლებლების პროგრამას მასალათა გამძლეობაში.

უმაღლესი სასწავლებლებისათვის მასალათა გამძლეობის ამოცანათა კრებული ქართულ ენაზე პირველად გამოდის და, ცხადია, წიგნი უნაკლო არ იქნება; ყოველგვარი საქმიანი მითითება ავტორების მიერ კმაყოფილებით იქნება მიღებული.

დასასრულს უღრმეს მადლობას ვუძღვნით ტექნ. მეცნ. კანდიდატს დოც. ა. მ. კაკუშაძეს აღნიშნული წიგნის რედაქტირებისა და მთელი რიგი მითითებებისათვის, ტექნ. მეც. კანდიდატს დოც. გ. კ. ცქიფურიშვილს კრებულის რეცენზირებისა და მთელი რიგი საქმიანი შენიშვნებისათვის და ინჟ. ნ. ფ. ენუქიძეს ნახაზების შესრულებისა და ხელნაწერის კორექტირებისათვის.

ავტორები.

თავი პირველი

სტატიკურად რკვევადი სისტემები

მოკლე ცნობები თეორიიდან

სიბრტყეზე მდებარე ძალთა სისტემა თუ თავს იყრის ერთ წერტილში, მათი წონასწორობისათვის საკმარისია დაკმაყოფილებულ იქნეს სტატიკის ძალთა წონასწორობის ორი პირობა:

$$\Sigma X=0; \quad \Sigma Y=0,$$

ან საკმარისია ძალთა მრავალკუთხედი ჩაკეტილი იყოს.

თუ ძალებს სიბრტყეში ნებისმიერი მდებარეობა აქვთ, ასეთი ძალთა სისტემის წონასწორობისათვის საჭიროა დაკმაყოფილებულ იქნეს სტატიკის წონასწორობის შემდეგი პირობები:

$$\Sigma X=0; \quad \Sigma Y=0 \quad \text{და} \quad \dot{\Sigma} M=0$$

ან საკმარისია ჩაიკეტოს როგორც ძალთა, ისე თოკის მრავალკუთხედი.

სწორი ძელის ღერძული გაჭიმვა-კუმშვის დროს განიეკვეთში ძაბვა იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$\sigma=\frac{P}{F}$$

სადაც P არის მოქმედი ღერძული ძალა,

F—განივი კვეთის ფართობი.

ძაბვასა და დეფორმაციას აკავშირებს ფიზიკური კანონი, რომელიც ჰუკის კანონის სახელწოდებითაა ცნობილი

$$\sigma=E\varepsilon.$$

როგორც ფორმულიდან ჩანს, გრძივი ფარდობითი დეფორმაცია ε პირდაპირ პროპორციულია მისი გამომწვევი ძაბვისა, ხოლო პროპორციულობის კოეფიციენტი E დამოკიდებულია მასალის დრეკად თვისებებზე და დრეკადობის მოდული ეწოდება.

გრძივი ფარდობითი დეფორმაცია

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l},$$

სადაც Δl არის ღეროს აბსოლუტური გრძივი დეფორმაცია,

l—მისი საწყისი სიგრძე.

თუ შევიტანთ ჰუკის ფორმულაში σ და ε მნიშვნელობებს, უკანასკნელი მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF}.$$

ღეროს განივი ფარდობითი დეფორმაციის (ε') შეფარდებას გრძივ ფარდობით დეფორმაციასთან (ε) ეწოდება პუასონის კოეფიციენტი და აღინიშნება μ ასოთი

$$\mu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon}.$$

μ დამოკიდებულია მასალის დრეკად თვისებებზე და იცვლება 0-დან 0,5-მდე.

აღებული მასალისათვის μ-ს გარკვეული მუდმივი მნიშვნელობა აქვს.

ღერძული გაჭიმვა-კუმშვის დროს მოცულობის ფარდობითი ნაზრდი

$$\Theta = \frac{V_1 - V}{V} = \varepsilon(1 - 2\mu),$$

სადაც V არის ღეროს მოცულობა დეფორმაციამდე,

V_1 „ „ დეფორმაციის შემდეგ,

$V_1 - V$ „ მოცულობის აბსოლუტური ნაზრდი.

დასაშვები ძაბვა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_0}{n},$$

სადაც σ_0 არის ის ძაბვა, რომლის დროსაც მასალა ირღვევა (მყიფე მასალა) ან იწყებს დენადობას (პლასტიკური მასალა),

n—მარაგის კოეფიციენტი.

საანგარიშო ელემენტმა რომ საიმედოდ იმუშაოს, საჭიროა მისი განივკვეთის ზომები ისე შევარჩიოთ, რომ ნებისმიერ კვეთში ძაბვა არ აღემატებოდეს დასაშვებს, ე. ი. ღერძული გაჭიმვა-კუმშვის დროს სიმტკიცის პირობას აქვს შემდეგი სახე:

$$\sigma = \frac{P}{F} \leqslant [\sigma];$$

აქედან განივკვეთის ფართობის საანგარიშო ფორმულა იქნება:

$$F \geqslant \frac{P}{[\sigma]}.$$

როდესაც ცნობილია ღეროს განივკვეთის ფართობი F და დასაშვები ძაბვა $[\sigma]$, მაქსიმალური დასაშვები ძალის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$P_{\text{დას}} \leq F[\sigma].$$

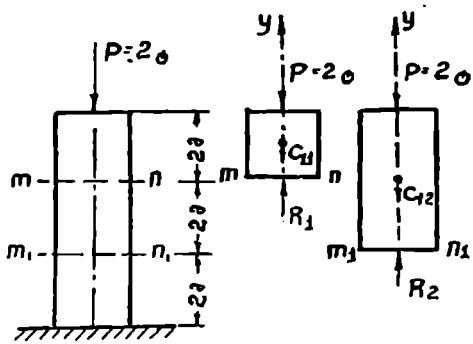
§ 1. სისტემის ელემენტებში აღძრული ძალების განსაზღვრა

1.1. ერთგვაროვანი მუდმივი კვეთის სვეტზე, რომლის სიმაღლე $h=6$ მ-ს და წონა $G=6$ ტ-ს მოქმედებს ცენტრალურად მკუმშავი ძალა $P=2$ ტ (იხ. ნახაზი).

ვიპოვოთ ბოლოებიდან 2 მ მანძილით დაშორებულ კვეთებში აღძრული ძალის სიდიდეები.

ა მ ო ხ ს ნ ა: $m-n$ კვეთში აღძრული R_1 ძალის საპოვნელად წარმოდგენით მოვახდინოთ სვეტის განკვეთა $m-n$-ის მიძართულებით და შევადგინოთ მოკვეთილი ნაწილის წონასწორობის პირობა:

$$\Sigma Y=0.$$



1.1 ამოცანისათვის.

თუ Y ღერძს მივმართავთ ქვევიდან ზევით, გვექნება:

$$-P-\frac{G}{3}+R_1=0; \qquad R_1=P+\frac{G}{3}=2+2=4 \text{ ტ}; \qquad R_1=4 \text{ ტ}.$$

თუ გავარჩევთ m_1-n_1 სიბრტყით მოკვეთილი ნაწილის წონასწორობას, მაშინ წონასწორობის პირობა $\Sigma Y=0$ მოგვცემს R_2 ძალის სიდიდეს:

$$-P-\frac{2}{3}\ G+R_2=0;$$

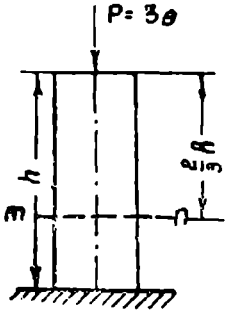
$$R_2=P+\frac{2}{3}G=2+4=6 \text{ ტ};$$

$$R_2=6 \text{ ტ}.$$

1.2. ერთგვაროვანი მუდმივი კვეთის სვეტზე, რომლის წონა $G=1800$ კგ, მოქმედებს ძალა $P=3000$ კგ.

ვიპოვოთ $m-n$ და საყრდენ კვეთებში აღძრული ძალები.

პასუხი: $m—n$ კვეთში $R_1 = 4200$ კგ;
საყრდენ კვეთში $R_2 = 4800$ კგ.



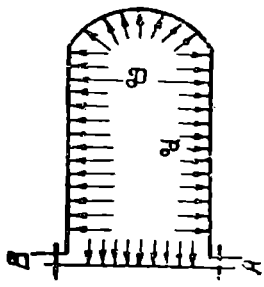
1.2 ამოცანისათვის.

1.3. ცილინდრულ ქვაბში, რომლის დიამეტრი $D = 2$ მ-ს, მოქმედებს ორთქლის წნევა, რომელიც ტოლია $P_0 = 9$ ატმოსფეროსი (იხ. ნახაზი).

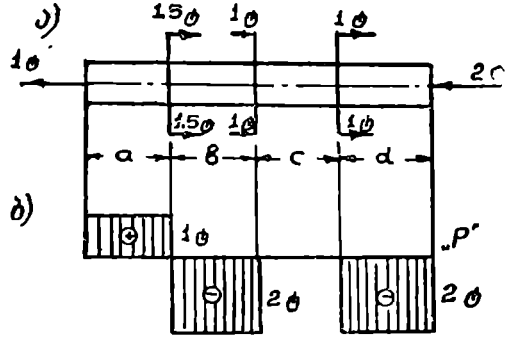
ვიპოვოთ ის ძალა P, რომელიც ცდილობს მოაცილოს ქვაბს AB სახურავი.

მითითება: მხედველობაში მივიღოთ, რომ ჰაერის წნევა გარედან ტოლია ერთი ატმოსფეროს.

პასუხი: $P = 251$ ტ.



1.3 ამოცანისათვის.

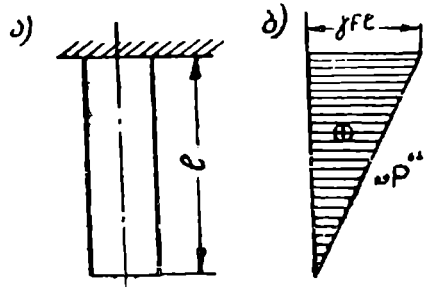


1.4 ამოცანისათვის.

1.4. ავაგოთ მოცემული სისტემისათვის (იხ. ნახ. ა) ნორმალური ძალების ეპიურა.

მითითება: ნორმალური ძალების ეპიურა წარმოადგენს გრაფიკს, რომელიც გვიჩვენებს ნორმალური ძალის ცვალებადობას ღეროს ღერძის გასწვრივ.

პასუხი: მოცემულია ბ ნახაზზე.



1.5 ამოცანისათვის.

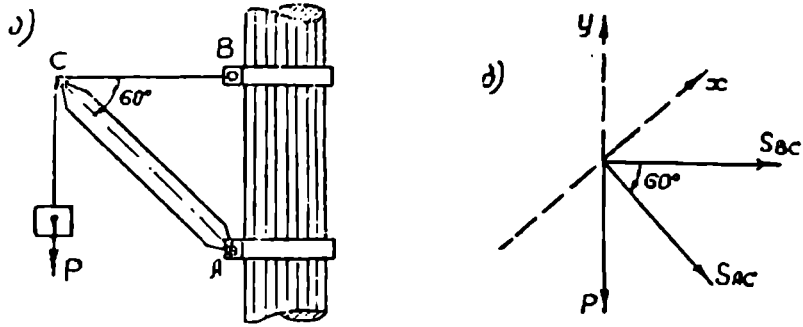
ღეროს გაჭიმული უბნის ეპიურა მიღებულია დადებითად, ხოლო შეკუმშული უარყოფითად.

1.5. ავაგოთ ერთი ბოლოთი ჩამაგრებული ღეროსათვის საკუთარი წონით გამოწვეული ნორმალური ძალის ეპიურა (იხ. ნახ.), თუ მოცულობითი წონაა γ, განივკვეთის ფართობი—F, ხოლო სიგრძე—l.

პასუხი: მოცემულია ბ ნახაზზე.

1.6. ანძური ტიპის ამწე შედგება CA ისრისა და CB მჭიმისაგან (იხ. ნახაზი). ვიპოვოთ გამჭიმავი ძალა მჭიმში და შემკუმშავ ისარში, თუ ისარი A წერტილში დამაგრებულია სახსრულად და C წერტილში მოქმედებს ძალა $P=150$ კგ.

ა მ ო ხ ს ნ ა: C კვანძში თავს იყრის სამი ძალა, რომელთა შორის CB და CA ღეროებში აღძრული ძალების მიმართულებები ცნობილია, ხო-



1.6 ამოცანისათვის.

ლო P ძალის როგორც მიმართულება, ისე სიდიდე მოცემულია.

ამოვკვეთოთ კვანძი და კვანძში მოქმედი უცნობი ძალები S_{AC} და S_{BC} მივმართოთ კვანძიდან გარეთ (იხ. ნახაზი).

თუ Y და X ღერძებს მივმართავთ ისე, რომ Y მართობული იყოს S_{BC} უცნობი ძალისა, ხოლო X, S_{AC} ძალის, და ვისარგებლებთ სტატიკის წონასწორობის პირობებით:

$$\Sigma Y=0 \quad \text{და} \quad \Sigma X=0$$

მივიღებთ:

$$-P-S_{AC}\cdot\cos 30^\circ=0;$$

$$S_{AC}=-\frac{P}{\cos 30^\circ}=-\frac{150}{0{,}865}=-173{,}5 \text{ კგ};$$

$$S_{AC}=-173{,}5 \text{ კგ}.$$

S_{AC} ძალას აქვს მინუსი ნიშანი. ეს იმას ნიშნავს, რომ S_{AC} ძალის მიმართულება სწორად არ აგვიღია. AC ისარი 173,5 კგ ძალით ყოფილა შეკუმშული.

ანალოგიურად, თუ ვისარგებლებთ, პირობით $\Sigma X=0$, მივიღებთ:

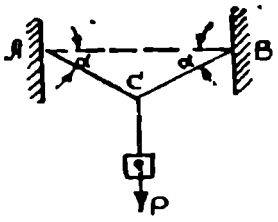
$$-P\cdot\cos 60^\circ+S_{BC}\cdot\cos 30^\circ=0,$$

$$S_{BO}=P\frac{\cos 60^\circ}{\cos 30^\circ}=P\cdot \operatorname{ctg} 60^\circ=150\cdot 0{,}576=86{,}5 \text{ კგ};$$

$$S_{BO}=86{,}5 \text{ კგ}.$$

1.7. ტვირთი $P=1$ ტ AC და BC მჭიმების საშუალებით ჩამოკიდებულია A და B წერტილებში (იხ. ნახაზი).

ვიპოვოთ დაჭიმულობის ძალა მჭიმში, როცა



1.7 ამოცანისათვის.

$$\alpha=30^\circ, \quad \alpha=0^\circ \quad \text{და} \quad \alpha=90^\circ.$$

პასუხი:

$$\alpha=30^\circ; \quad S_{AC}=S_{AB}=1 \text{ ტ}.$$

$$\alpha=0^\circ; \quad S_{AO}=S_{AB}=\infty$$

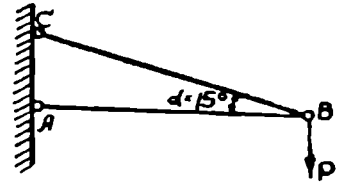
$$\alpha=90^\circ; \quad S_{AO}=S_{AB}=0{,}5 \text{ ტ}.$$

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: როგორც ამოცანის პასუხებიდან ჩანს, რამდენადაც დიდია α, იმდენად მცირეა მჭიმში ძალის სიდიდე, მაგრამ, სამაგიეროდ, მჭიმის სიგრძე უნდა ავიღოთ უფრო მეტი.

1.8. ღეროვანი სახსრული სისტემა ABC (იხ. ნახაზი) კედელთან მიმაგრებულია A და C სახსრებით, ხოლო ერთმანეთთან B სახსრის საშუალებით.

ვიანგარიშოთ CB და AB ღეროებში აღძრული ძალების სიდიდე და მიმართულება, თუ ძალა $P=3$ ტ, ხოლო $\alpha=15^\circ$.

გამოვთვალოთ ძალის სიდიდეები CB და AB ღეროებში, თუ $\alpha=0$ და $\alpha=90^\circ$.



1.8 ამოცანისათვის.

მ ი თ ი თ ე ბ ა. თუ ღეროვან სახსრულ სისტემაში გარე ძალები მოქმედებენ კვანძებში, მაშინ ღეროები მუშაობენ ან გაჭიმვაზე ანდა კუმშვაზე და მიმართული არიან ღეროს ღერძის გასწვრივ.

პასუხი: $S_{BC}=11{,}6$ ტ,

$S_{AB}=-11{,}2$ ტ. (ე. ი. შეკუმშულია)

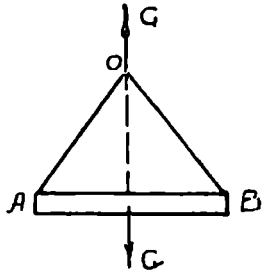
როდესაც $\alpha=0$, $S_{BO}=S_{AB}=\infty$;

როდესაც $\alpha=90^\circ$, $S_{BC}=P$; $S_{AB}=0$,

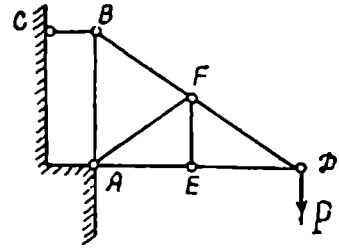
1.9. ძელი AB, რომლის წონაა 6 ტონა და სიგრძე 10 მ, ჩამოკიდებულია ბაგირზე OA და OB მჭიმების საშუალებით.

ვიპოვოთ მჭიმების დაჭიმულობა, თუ თვითეულის სიგრძე არის 8 მ.

პასუხი: $S_{OB}=S_{O\bar{A}}=3{,}84$ ტ.



1.9 ამოცანისათვის.



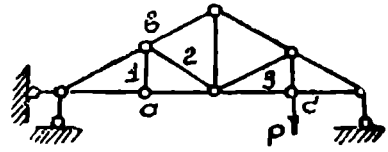
1.10 ამოცანისათვის.

1.10. სახსრებით შეერთებული ღეროვანი სისტემა ანუ ფერმა (იხ. ნახაზი) მიმაგრებულია კედელთან A სახსრით და ჰორიზონტალური BC მჭიმით.

ვიპოვოთ EF და FA ღეროებში ძალები, თუ ფერმის ბოლოზე მოქმედებს P ძალა.

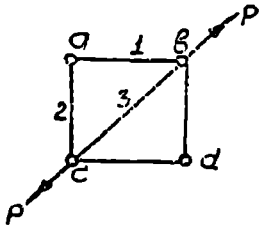
მითითება: რომ განესაზღვროთ ძალების სიდიდეები EF და AF ღეროებში, საჭიროა განვიხილოთ ჯერ E კვანძის წონასწორობა, ხოლო შემდეგ F კვანძისა.

პასუხი: დაჭიმულობა EF და AF ღეროებში ნულის ტოლია.



1.11 ამოცანისათვის.

1.11. ვიპოვოთ სამკუთხოვანი ფერმის 1-ლ, მე-2 და მე-3 ღეროებში აღძრული ძალები, თუ ფერმის C კვანძზე მოქმედებს P ძალა (იხ. ნახაზი).



1.12 ამოცანისათვის.

მითითება: 1-ლ და მე-2 ღეროებში აღძრული ძალების საპოვნელად საჭიროა დაიწეროს წონასწორობის პირობა ჯერ a და მერე b კვანძისათვის.

მე-3 ღეროში ძალის მოსაძებნად ამოვკვეთავთ C კვანძს.

პასუხი: 1-ლ და მე-2 ღეროებში ძალები ნულის ტოლია, ხოლო მე-3 ღეროში დაჭიმულობის ძალა უდრის P-ს.

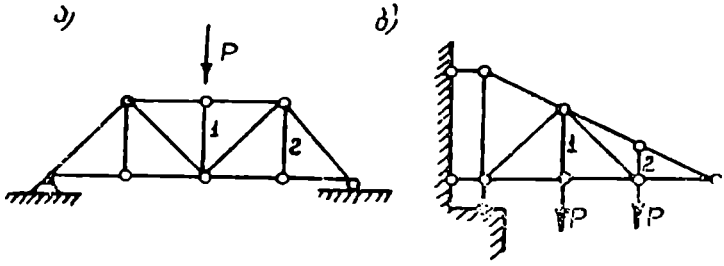
1.12. ვიპოვოთ ძალები 1-ლ, მე-2 და მე-3 ღეროებში, თუ სისტემაზე მოქმედებს ძალა P ისე როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები.

მ ი თ ი თ ე ბ ა: ამოვკვეთოთ ჯერ a კვანძი და დავწეროთ წონასწორობის პირობა, შემდეგ კი C კვანძი.

პ ა ს უ ხ ი: $S_1 = S_2 = 0$;

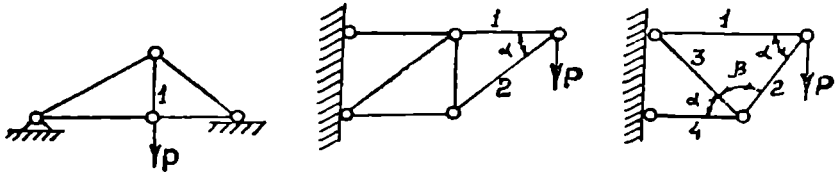
$$S_3 = P.$$

1.13. ვიპოვოთ ძალები ფერმის 1-ლ და მე-2 ღეროებში (იხ. ნახ. ა და ბ).



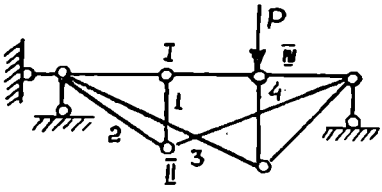
1.13 ამოცანისათვის.

1.14. განვსაზღვროთ ფერმის ღეროებში ძალები: 1) ა ნახაზის 1-ლ ღეროში, 2) ბ ნახაზის 1-ლ და მე-2 ღეროებში, 3) გ ნახაზის ყველა ღეროში.



1.14 ამოცანისათვის.

1.15. ნახაზზე მოცემული ფერმისათვის ვიპოვოთ 1-ლ, მე-2, მე-3 და მე-4 ღეროებში აღძრული ძალები.



1.15 ამოცანისათვის.

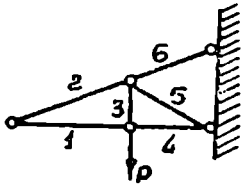
მ ი თ ი თ ე ბ ა: იმისათვის, რომ ვიპოვოთ ძალები 1-ლ, მე-2 და მე-3 ღეროებში, საჭიროა ამოვკვეთოთ ჯერ I და შემდეგ II კვანძი, ხოლო მე 4 ღეროში ძალის მოსაძებნად ამოვკვეთოთ III კვანძი და შევადგინოთ ამოკვეთილი კვანძების წონასწორობის პირობები.

პ ა ს უ ხ ი: $S_1 = S_2 = S_3 = 0$; $S_4 = P$.

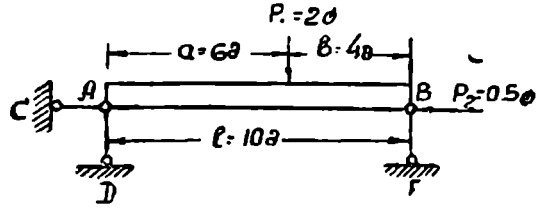
1.16′. ვიპოვოთ ძალების სიდიდეები 1-ლ, მე-2, მე-3 და მე-4 ღეროებში (იხ. ნახაზი).

პასუხი: $S_1=S_2=S_4=0;\quad S_3=P.$

1.16. ვიპოვოთ AC, AD და BF ღეროებში აღძრული ძალები ანუ



1.16′ ამოცანისათვის.



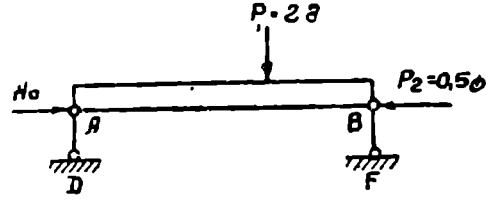
1.16ª ამოცანისათვის.

რეაქციები (იხ. ნახაზი), თუ AB კოჭზე ვიმოქმედებთ ვერტიკალური P_1 და ჰორიზონტალური P_2 ძალით.

ამოხსნა: ვიპოვოთ CA საყრდენ ღეროში აღძრული რეაქცია. ამისათვის წარმოდგენით CA ღერო მოვაცილოთ კოჭს და მისი ქმედება შევცვალოთ უცნობი Ha ძალით, რომლის მიმართულება და მოდების წერტილი ცნობილია (იხ. ნახაზი). Ha-ს ვიპოვით წონასწორობის პირობიდან:

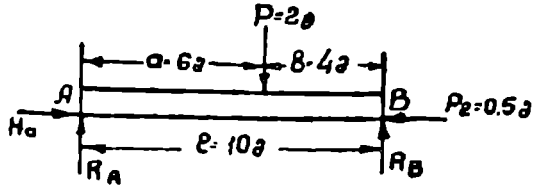
$$\Sigma x=0,$$

საიდანაც $Ha=P_2=0{,}5$ ტ.



1.16ბ ამოცანისათვის.

როგორც ჩანს, თუ სისტემაზე მოქმედებს ძალები, რომელთაც ჰორიზონტალური მდგენელი არა აქვთ, მაშინ $Ha=0$.



1.16ბ ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ რეაქციები DA და BF საყრდენ ღეროებში. DA საყრდენ ღეროში რეაქცია აღვნიშნოთ R_A-თი, ხოლო BF-ში R_B-თი (იხ. ნახაზი).

როგორც წინა შემთხვევაში, DA და BF ღეროები წარმოდგენით მოვაცილოთ კოჭს და მათი ქმედება შევცვალოთ უცნობი რეაქციის R_A და R_B ძალებით.

სისტემის წონასწორობისათვის საჭიროა დაკმაყოფილებულ იქნეს სტატიკის წონასწორობის სამი პირობა. პირველი პირობა $\Sigma X=0$ ჩვენ უკვე გამოვიყენეთ. დარჩენილ ორ პირობას, ჩვენს შემთხვევაში, უმჯობესია მივცეთ ასეთი სახე:

$$\Sigma M_A=0; \quad \Sigma M_B=0,$$

სადაც ΣM არის მომენტების ჯამი შესაბამისი სახსრის მიმართ.

თუ ამ პირობებით ვისარგებლებთ, გვექნება:

$$\Sigma M_A=0 \quad \text{ფორმულიდან} \quad -R_B\,l+P_1\cdot a=0;$$

$$R_B=\frac{P_1a}{l}=\frac{2\cdot 6}{10}=1{,}2 \text{ ტ};$$

$$\Sigma M_B=0\text{-დან} \quad \text{კი} \quad R_A\cdot l-P_1\cdot b=0;$$

$$R_A=\frac{P_1b}{l}=\frac{2\cdot 4}{10}=0{,}8 \text{ ტ}.$$

გამოთვლილ რეაქციათა სისწორე მოწმდება სტატიკის შემდეგი პირობით: $\Sigma Y=0$.

თუ რეაქციების სიდიდეები სწორად არის ნაპოვნი, ეს პირობა დაკმაყოფილდება.



1.16ე ამოცანისათვის.

მართლაც, $\Sigma Y=0$ გვაძლევს:

$$R_A+R_B-P_1=0; \quad 0{,}8+1{,}2-2=0;$$

$$0=0.$$

ნახაზიდან ჩანს, რომ A სახსარი უძრავია, მას არ შეუძლია გადაადგილდეს ვერტიკალური ან ჰორიზონტალური მიმართულებით, B სახსარს შეუძლია გადაადგილდეს ჰორიზონტალური მიმართულებით, ამიტომ A სახსარს ეწოდება უძრავი სახსროვანი საყრდენი, ხოლო B სახსარს—მოძრავი სახსროვანი საყრდენი.

მოძრავ სახსროვან საყრდენს (B) აქვს ერთი ბმა. მართლაც, თუ B საყრდენს მოვაცილებთ, კოჭს შეუძლია იმოძრაოს A უძრავი სახსრის გარშემო. თუ B საყრდენს დავტოვებთ და მოვაცილებთ A საყრდენს, კოჭს შეუძლია იმოძრაოს B სახსრის გარშემო და გადაადგილდეს ჰორიზონტალურად, მაშასადამე, A საყრდენს ჰქონია ორი ბმა.

სქემატურად უძრავი სახსრული დამაგრება მოცემულია ნახ. დ—I-ზე, ხოლო ნახ. დ—II-ზე მოცემულია მოძრავი სახსრული დამაგრება.

1.17. ვიპოვოთ R_A, R_B და H რეაქციები ქვემოთ მოყვანილი შემთხვევებისათვის (იხ. ნახაზი).

მითითება: q ინტენსივობის განზომილება არის ძალა მოსული კოჭის ერთეულ სიგრძეზე ტ/მ.

პასუხი: ა) $R_A = R_B = 1$ ტ. $Ha = 0$;

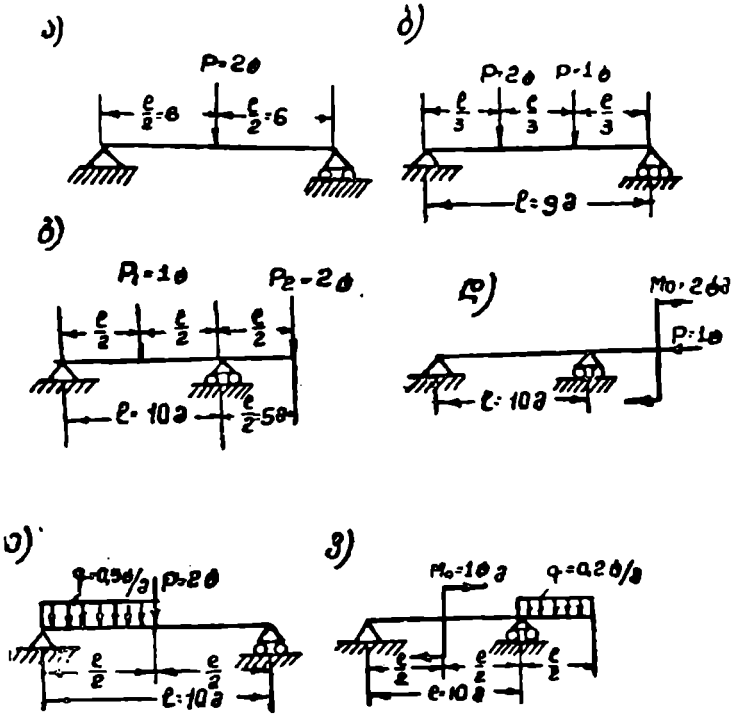
ბ) $R_A = 1{,}66$ ტ; $R_B = 1{,}33$ ტ. $Ha = 0$.

გ) $R_A = -0{,}5$ ტ. $R_B = 3{,}5$ ტ. $Ha = 0$.

დ) $R_A = -R_B = -0{,}2$ ტ. $Ha = 1$ ტ.

ე) $R_A = 2{,}875$ ტ; $R_B = 1{,}625$; $Ha = 0$;

ვ) $R_A = -0{,}35$; $R_B = 1{,}35$; $Ha = 0$.



1.17 ამოცანისათვის.

შენიშვნა: რეაქციების მიმართულება გაანგარიშების დაწყებამდე არ ვიცით. ამისათვის რეაქციებს მივმართავთ ქვევიდან ზევით. გ და ვ შემთხვევებში რეაქციის უარყოფითი მიმართულება იმას ნიშნავს, რომ

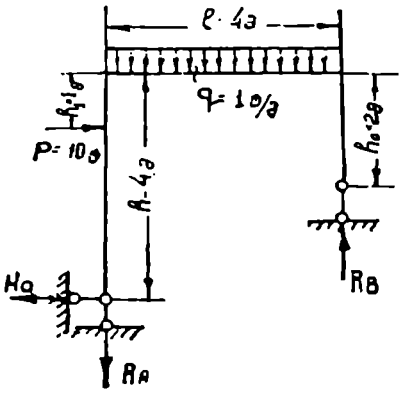
რეაქციის მიმართულება არ მიგვიღია სწორი, ე. ი. R_A რეაქცია გ და ვ შემთხვევებში ფაქტიურად მიმართულია ზევიდან ქვევით.

1.18. ნახაზზე მოცემული სისტემისათვის, რომლის ზომები და დატვირთვა ცნობილია, მოვძებნოთ R_A, R_B და Ha რეაქციები (იხ. ნახაზი).

ა მ ო ხ ს ნ ა: ვისარგებლოთ პირობით: $\Sigma X=0$,

$$-Ha+P=0,$$

საიდანაც $Ha=-P=-10$ ტ. როგორც აქედან ირკვევა Ha ძალის მიმართულება სწორად არ შეგვირჩევია; მივმართოთ შებრუნებულად.



1.18 ამოცანისათვის.

თუ ვისარგებლებთ პირობით

$$\Sigma M_B=0,$$

გვექნება: $R_A\cdot l+Ha\,(h-h_0)+$

$$+P\cdot h_0-h_1-ql\,\frac{l}{2}=0;$$

$$R_A=-\frac{Ha(h-h_0)}{l}-\frac{Ph_0-h_1}{l}+$$

$$+\frac{ql}{2}=-\frac{10\cdot 2}{4}-\frac{10\cdot 1}{4}+\frac{1\cdot 4}{2};$$

$$R_A=-5{,}5\ \text{ტ}.$$

უარყოფითი ნიშანი გვიჩვენებს, რომ R_A მიმართულია ზევიდან ქვევით. ნახაზში შეგვაქვს შესწორება ანალოგიურად წინა შემთხვევისა.

R_B რეაქციას ვსაზღვრავთ პირობიდან: $\Sigma M_A=0$.

$$-R_B\cdot l+ql\,\frac{l}{2}+P(h-h_1)=0;$$

$$R_B=\frac{ql^2}{2l}+\frac{P(h-h_1)}{l}=\frac{1\cdot 4^2}{2\cdot 4}+\frac{10\cdot 3}{4}=9{,}5\ \text{ტ};$$

$$R_B=9{,}5\ \text{ტ}.$$

შ ე მ ო წ მ ე ბ ა: თუ Y ღერძს მივმართავთ ზევით და შევადგენთ სტატიკის პირობას $\Sigma Y=0$, გვექნება:

$$-R_A-ql+R_B=0;$$

$$-5{,}5-4+9{,}5=0;$$

$$0=0.$$

მაშასადამე, რეაქციების სიდიდეები სწორადაა ნაპოვნი.

1.19. ვიპოვოთ R_A, R_B და Ha რეაქციები ა, ბ და გ ნახაზებზე მოცემული სისტემებისათვის.

პასუხი:

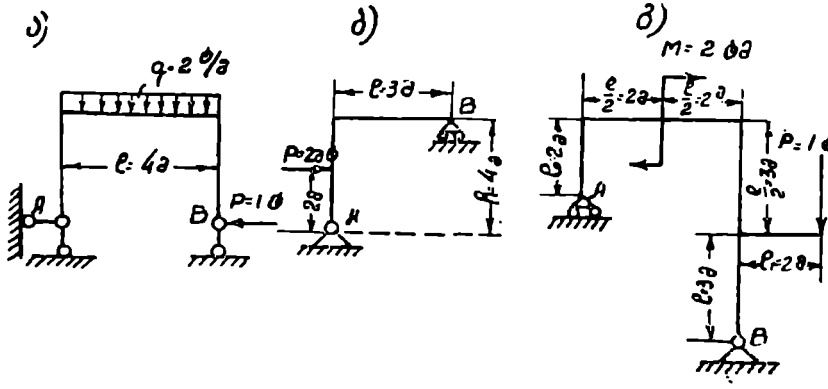
ა) $R_A = 4$ ტ; ბ) $Ha = -2$ ტ; გ) $Ha = 0$;

$R_B = 4$ ტ; $R_A = -1{,}33$; $R_A = -1$;

$Ha = 1$ ტ; $R_B = 1{,}33$; $R_B = 2$.

1.20. განვსაზღვროთ ნახაზზე მოცემული ფერმის ყველა ღეროში ძალების სიდიდეები და ნიშნები კვანძების ამოკვეთის მეთოდით.

ამოხსნა: ფერმის საყრდენ რეაქციებს ვეძებთ კოჭის ანალოგიუ-



1.19 ამოცანისათვის.

რად და ვღებულობთ, რომ $R_A = R_B = 5$ ტ და $Ha = 0$. 1—2, 1—3 ღეროებში აღძრული ძალების სიდიდეებისა და ნიშნის (მიმართულების) გასაგებად ამოვკვეთოთ 1-ლი კვანძი.

ამოკვეთილ კვანძში (იხ. ნახ. ბ) თავს იყრის ოთხი ღერო. აქედან ორ საყრდენ ღეროში ძალები ცნობილია, სახელდობრ: $Ha = 0$; $R_A = 5$ ტ. დანარჩენი ორი ღეროს უცნობი ძალები S_{1-2} და S_{1-3} მივიღოთ გამჭიმავად, ე. ი. მივმართოთ კვანძიდან გარეთ. თუ მათი სიდიდის გამოთვლისას მივიღეთ ნიშანი პლუსი, ეს იმას ნიშნავს, რომ უცნობი ძალის არჩეული მიმართულება სწორი ყოფილა, თუ მივიღეთ ნიშანი მინუსი არჩეული მიმართულება შესაბრუნებელია, ე. ი. ღერო იკუმშება.

1-ლი კვანძის წონასწორობის პირობიდან $\Sigma Y=0$, ვღებულობთ:

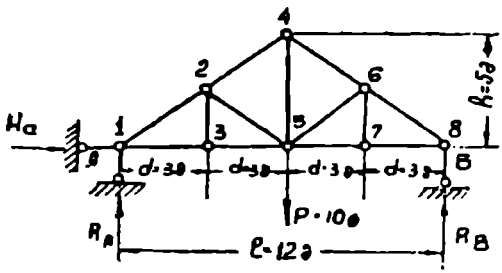
$$R_A+S_{1-2}\sin\alpha=0;$$

$$S_{1-2}=-\frac{R_A}{\sin\alpha};$$

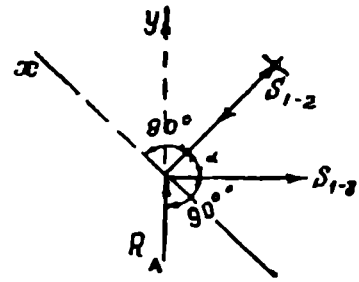
რადგანაც

$$\sin\alpha=\frac{h}{\sqrt{h^2+(2d)^2}}=\frac{5}{\sqrt{5^2+6^2}}=0{,}64;$$

$$S_{1-2}=-\frac{5}{0{,}64}=-7{,}8\ \text{ტ}.$$



1.20ა ამოცანისათვის.



1.20ბ ამოცანისათვის.

ნიშანი მინუსი გვიჩვენებს, რომ 1—2 ღერო იკუმშება; ამის გამო საჭიროა გადაიშალოს პირვანდელი შერჩეული მიმართულება და უკვე ნასკნელი მივმართოთ კვანძისაკენ.

განვსაზღვროთ ძალა S_{1-3}, ამისათვის ვისარგებლოთ სტატიკის წონასწორობის შემდეგი პირობით: $\Sigma X=0$.

$$R_A\cos\alpha-S_{1-3}\sin\alpha=0;$$

$$S_{1-3}=R_A\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}=R_A\operatorname{ctg}\alpha;$$

$$\operatorname{ctg}\alpha=\frac{2d}{h}=\frac{6}{5}=1{,}2;$$

$$S_{1-3}=5\cdot 1{,}2=6\ \text{ტ}.$$

ღეროში ძალის მიმართულება დაემთხვევა წინასწარ არჩეულს, ე. ი. ღერო გაჭიმულია.

თუ ამოვკვეთავთ მე-3 კვანძს და 1-ლი კვანძის ანალოგიურად შევადგენთ წონასწორობის პირობას, დავინახავთ, რომ

$$S_{3-2}=0;$$

$$S_{1-3}=S_{3-5}=6 \text{ ტ}.$$

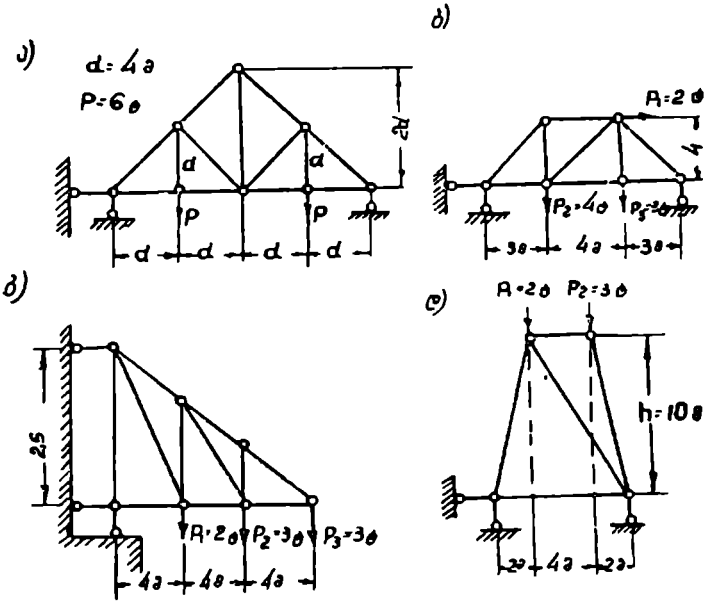
მე-2 კვანძის ამოკვეთით განვსაზღვრავთ ძალებს ღეროებში

$$S_{12}=S_{24}=-7{,}8.$$

როგორც ჩანს, ღეროები შეკუმშულია და $S_{2-5}=0$.

რადგანაც ფერმის მარჯვენა და მარცხენა ნაწილი სიმეტრიულია, შეიძლება გადავიდეთ მე-5 კვანძზე.

მე-5 კვანძის ამოკვეთით ვღებულობთ:



1.20′ ამოცანისათვის.

$$S_{4-5}=P=10 \text{ ტ};$$

$$S_{3-5}=S_{5-7}=6 \text{ ტ}.$$

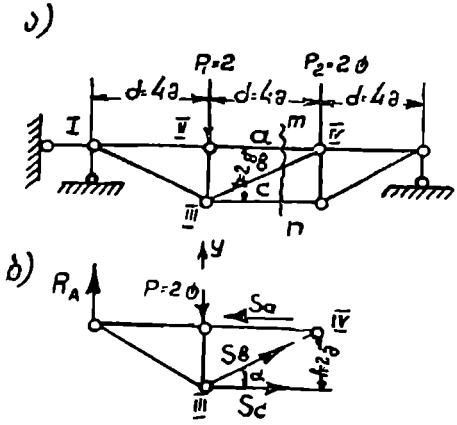
ამრიგად, 1—2, 2—4, 4—6, 6—8 ღეროები შეკუმშულია და ძალა ტოლია 7,8 ტ-ისა, ხოლო 1—3, 3—5, 5—7, 7—8 ღეროები იჭიმება 5 ტ ძალით, 4—5 ღერო კი—10 ტ ძალით.

1.20.′ კვანძების ამოკვეთის მეთოდით ვიპოვოთ ძალის სიდიდეები და მიმართულება ქვემოთ მოყვანილი ფერმებისათვის (იხ. ნახაზი).

1.21. ვიპოვოთ ფერმის a, b და c (ნახ. ა) ღეროებში ძალების სიდიდეები და ნიშანი.

ა მ ო ხ ს ნ ა: a, b და c ღეროებში ძალებს ვეძებთ განკვეთის მეთოდით. კვეთას ამ შემთხვევაში ვახდენთ m—n-ის მიმართულებით.

მოკვეთილი მარცხენა ნაწილის მარჯვენაზე ქმედება შევცვალოთ ჯერ ჩვენთვის უცნობი S_a, S_b და S_c ძალებით; მივიღოთ, რომ ეს ძალები ყველა დადებითია. S_a, S_b და S_c ძალების სიდიდეებისა და მიმართულების გასაგებად ვისარგებლოთ სტატიკის წონასწორობის პირობებით. ფერმის და მასზე მოქმედი დატვირთვის სიმეტრიულობის გამო რეაქცია



1.21 ამოცანისათვის.

$$R_A = R_B = P.$$

თუ ვისარგებლებთ პირობით $\Sigma Y = 0$, მივიღებთ:

$$R_A - P + S_b \cdot \sin\alpha = 0;$$

$R_A = P$, ამიტომ $S_b = 0$.

S_c ძალის სიდიდისა და მიმართულების გასაგებად ვიყენებთ პირობას: — სისტემის მოკვეთილ ნაწილზე მოქმედი ძალების მომენტების ჯამი IV კვანძის მიმართ ნულის ტოლია

$$\Sigma M_{IV} = 0;$$

$$-S_c \cdot h + R_A \cdot 2d - P \cdot d = 0;$$

$$S_c = \frac{2R_A d}{h} - \frac{Pd}{h} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 2}{2} - \frac{2 \cdot 2}{2} = 2 \text{ ტ}.$$

ანალოგიურად განვსაზღვრავთ S_a ძალას, თუ სამომენტო წერტილად მივიღებთ მოკვეთილი ნაწილის III კვანძს, ე. ი. ვწერთ პირობას:

$$\Sigma M_{III} = 0; \quad S_a \cdot h + R_A d = 0;$$

$$S_a = -\frac{R_A d}{h} = -\frac{2 \cdot 2}{2} = -2 \text{ ტ}.$$

S_a ძალის არჩეული მიმართულება შესაბრუნებელია, ე. ი. ღერო იკუმშება.

1.22. ვიპოვოთ ქვემოთ მოყვანილი ფერმების *a*, *b* და *c* ღეროებში ძალების მიმართულება და სიდიდე განკვეთის ხერხით, თუ

ა) $P=2$ ტ; $d=4$ მ;

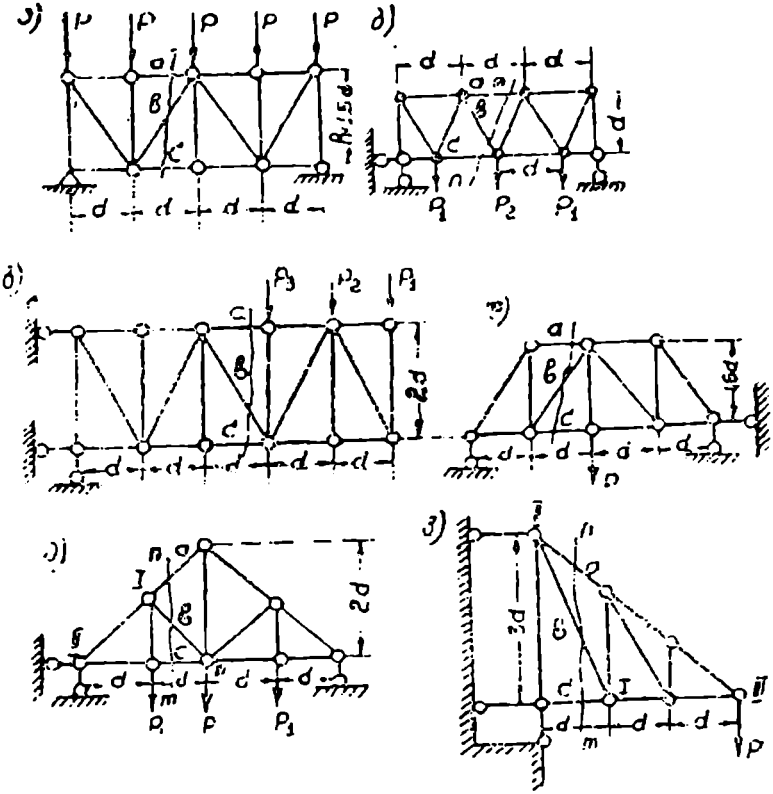
ბ) $P_1=3$ ტ; $P_2=5$ ტ; $d=5$ მ;

გ) $P_1=1$ ტ; $P_2=5$ ტ; $d=3$ მ; $P_3=3$ ტ.

დ) $d=4$ მ; $P=15$ ტ;

ე) $P_1=10$ ტ; $P=15$ ტ; $d=5$ მ;

ვ) $P=2$ ტ, $d=4$ მ.



1.22 ამოცანისათვის.

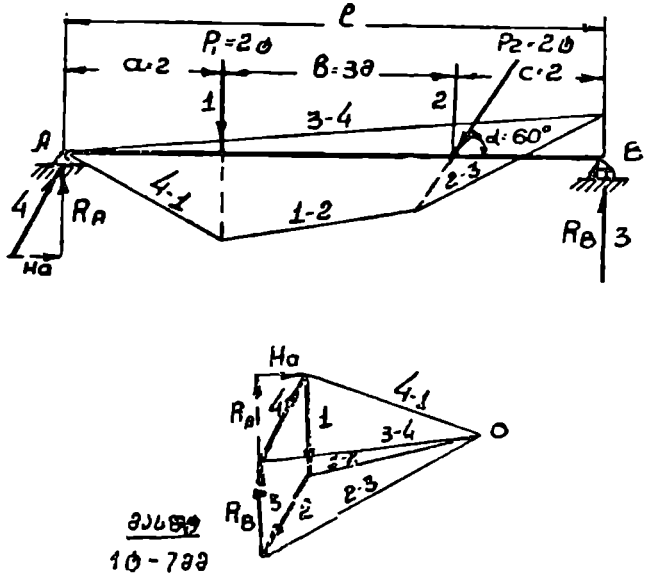
მ ი თ ი თ ე ბ ა: ბ. შემთხვევის გადასაწყვეტად კვეთა მოვახდინოთ *m—n*-ის მიმართულებით.

გ შემთხვევაში გაკვეთის შემდეგ გავარჩიოთ მარჯვენა ნაწილის

წონასწორობა ე—კვეთა მოვახდინოთ $m-n$ მიმართულებით, სამომენტო წერტილებად მივიჩნიოთ I, II, და III კვანძები და გავარჩიოთ მარცხენა ნაწილის წონასწორობა.

ვ—კვეთა მოვახდინოთ $m-n$-ის მიმართულებით და გავარჩიოთ მარჯვენა ნაწილის წონასწორობა.

1.23. გრაფიკული ხერხით მოძებნოთ და ანალიზურად შეამოწმოთ საყრდენი რეაქციების სიდიდეები ნახაზზე მოცემული კოჭისათვის.



1.23 ამოცანისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა: მოსაძებნია A საყრდენში რეაქციის R_A და Ha მდგენელები და B საყრდენში R_b რეაქციის სიდიდე. რეაქციებს ვპოულობთ თოკის და ძალთა მრავალკუთხედის თანდათანობითი აგებით. თოკის და ძალთა მრავალკუთხედის აგების გასაადვილებლად ძალები დავნომროთ.

P_1 ძალას დავაწეროთ 1, P_2-ს 2, R_b-ს 3, ხოლო H_a და R_A ძალების ტოლქმედს 4. შევარჩიოთ ძალთა მასშტაბი და ძალთა მრავალკუთხედის აგება დავიწყოთ 1-და 2 ცნობილი ძალებიდან. პოლუსად მივიღოთ 0. 1 და 2 ძალების ბოლოები 4—1, 1—2 და 2—3 სხივების საშუალებით შევაერთოთ პოლუსთან.

თოკის მრავალკუთხედის ასაგებად A საყრდენიდან გავატაროთ 4—1 სხივის პარალელური ხაზი 1 ძალის გადაკვეთამდე; უკანასკნელიდან 1—2 სხივის პარალელური 2 ძალის გადაკვეთამდე, 2 ძალის გადაკვეთიდან 2—3 სხივის პარალელური 3 ძალის გადაკვეთამდე.

თუ 2—3 მიმართულების და 3 ძალის გადაკვეთის წერტილს შევუერთებთ A წერტილს, მივიღებთ 3—4 სხივის მიმართულებას.

0—პოლუსიდან თუ გავატარებთ 3—4 მიმართულების პარალელურ სხივს, ხოლო 2 ძალის ბოლოდან ძალთა მრავალკუთხედზე 3 ძალის პარალელურ წრფეს, მათი გადაკვეთის წერტილი განსაზღვრავს 3 და 4 ძალების მიმართულებასა და სიდიდეს. თუ 4 ძალას, ანუ რეაქციას A საყრდენში დავშლით Ha და R_A მიმართულებებად, მივიღებთ Ha და R_A ძალების სიდიდეებს.

ძალთა მრავალკუთხედზე მასშტაბში მოცემულია R_B ძალის სიდიდე და A საყრდენში R_A და Ha ძალების სიდიდეები.

ანალიზური ხერხით Ha-ს მოსაძებნად საკმარისია გამოვიყენოთ სტატიკის წონასწორობის პირობა $\Sigma X=0$, საიდანაც მივიღებთ:

$$-P_2\cos\alpha+Ha=0;$$

$$Ha=P_2\cos\alpha=2\cdot\cos 60^\circ=2\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}=1{,}73\ \text{ტ}.$$

R_A რეაქციის მოსაძებნად დავშალოთ P_2 ძალა ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ მდგენელებად და ვისარგებლოთ სტატიკის წონასწორობის პირობით

$$\Sigma M_B=0;$$

$$R_A\cdot l-P_1(b+c)-P_2\cdot\sin\alpha\cdot c=0;$$

$$R_A=\frac{P_1(b+c)+P_2\sin x\cdot c}{l}=\frac{2\cdot 5+2\cdot 0{,}866\ \ 2}{7}=1{,}92\ \text{ტ}.$$

R_B რეაქციას ვიპოვით პირობით:

$$\Sigma M_A=0;$$

$$-R_B l+P_2\cdot\sin\alpha\,(a+b)+P_1 a=0;$$

$$R_B=\frac{P_2\cdot\sin\alpha\,(a+b)+b_1 a}{l}=\frac{2\cdot 0{,}866\cdot 5+2\cdot 2}{7}=1{,}81\ \text{ტ}.$$

1.24. ქვემოთ მოყვანილი შემთხვევებისათვის (იხ. ნახაზი) განსაზღვროთ R_A, Ha და R_B რეაქციები გრაფიკულად და ანალიზურად.

პასუხი:

ა) $R_A = 2{,}25$ ტ; $H_a = 0$; $R_B = 1{,}75$ ტ;

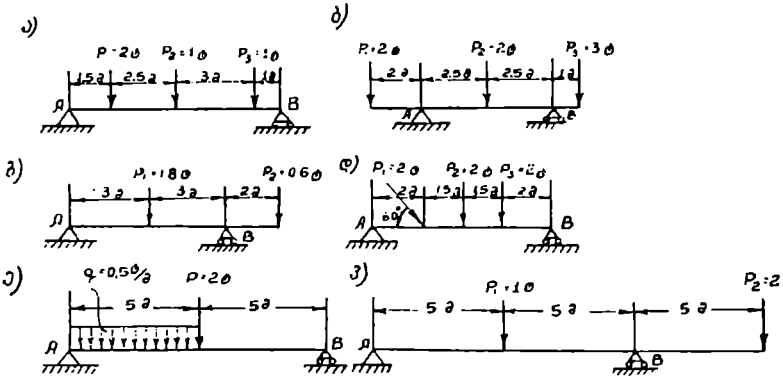
ბ) $R_A = 3{,}2$ ტ; $H_a = 0$; $R_B = 3{,}8$ ტ;

გ) $R_A = 0{,}75$ ტ; $H_a = 0$; $R_B = 1{,}65$ ტ;

დ) $R_A = 1{,}81$ ტ; $H_a = -1$; $R_B = 1{,}92$ ტ;

ე) $R_A = 2{,}87$ ტ; $H_a = 0$; $R_B = 1{,}63$ ტ;

ვ) $R_A = -0{,}5$ ტ; $H_a = 0$; $R_B = 3{,}5$ ტ;



1.24 ამოცანისათვის.

მითითება: ძალთა მრავალკუთხედს ყოველთვის ცნობილი ძალებისაგან ვადგენთ. თანაბრად განაწილებული ტვირთი რეაქციის გამოთვლისას შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც შეყურსული ძალა, რომელიც სიმძიმის ცენტრში მოქმედებს.

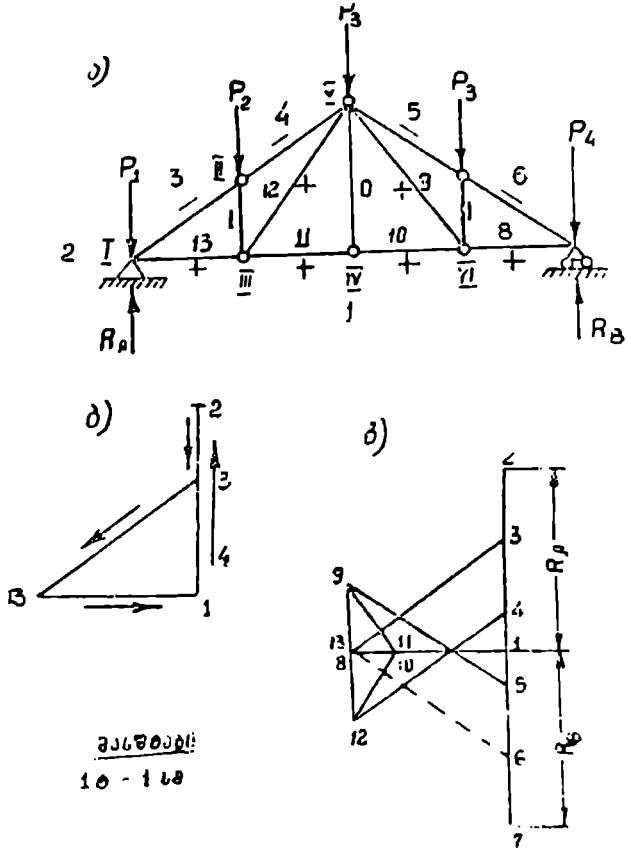
1.25. განვსაზღვროთ ფერმის ღეროებში (იხ. ნახ.) ძალების სიდიდეები და ნიშანი გრაფიკული ხერხით.

ამოხსნა: სანამ ფერმის ღეროებში ძალების სიდიდეების განსაზღვრას შევუდგებოდეთ, საჭიროა ვიპოვოთ R_A და R_B რეაქციების სიდიდეები; უკანასკნელს ვიპოვით იმავე ხერხით, როგორც ორ საყრდენზე მდებარე კოჭისათვის.

რეაქციების განსაზღვრის შემდეგ საჭიროა ფერმა დაიყოს უბნებად, როგორც ეს ა ნახაზზეა ნაჩვენები. უბნები შეიძლება იყოს ღია კონტურით (მაგალითად 1-ლი უბანი R_A და R_B რეაქციებს შორის, ან მე-2 უბანი R_A და P_1 ძალებს შორის, ანდა მე-3 უბანი P_1 და P_2 ძალებს შორის და სხვ.) ან ჩაკეტილი კონტურით (8—9—10 და სხვ.).

ძალები ან ღეროები იკითხება იმ უბნების ნომრებით, რომლებიც უკანასკნელს საზღვრავენ. მაგალითად P_1 ძალა წაიკითხება ასე: 2—3, P_2—3—4 და ა. შ. ღერო, რომელიც აერთებს I და II კვანძს—3—13, ღერო, რომელიც აერთებს III და V კვანძებს—12—11 და ა. შ.

ფერმის ღეროებში გრაფიკული ხერხით ძალების მოსაძებნად საკმაოა ჯერ ავაგოთ გარე ძალთა მრავალკუთხედი. აგებას ვიწყებთ P_1



1.25 ამოცანისათვის.

ძალიდან და ფერმას ვუვლით საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით. გ ნახაზზე დატანილია შესაფერის მასშტაბში ძალები: 2—3 (P_1), 3—4 (P_2), 4—5 (F_3), 5—6 (P_4), 6—7 (P_5) და რეაქციები: 7—1 (R_B), 1—2 (R_A): R_A და R_B რეაქციული ძალები სწორად არის განსაზღვრული, თუ ძალთა მრავალკუთხედი 2—3—4—5—6—7—1—2 ჩაკეტილია.

გარე ძალთა მრავალკუთხედის აგების შემდეგ გადავდივართ ცალ-ცალკე კვანძების მრავალკუთხედების აგებაზე. კვანძში თავს იყრის ცნობილი გარე ძალა და საძიებელი ძალები, რომლებიც კვანძზე ფერმის ღეროების საშუალებით მოქმედებენ.

რადგანაც კვანძი წონასწორობაშია, ამისათვის კვანძისათვის აგებული ძალთა მრავალკუთხედი ჩაკეტილი უნდა იყოს. კვანძების ძალთა მრავალკუთხედების აგების თანმიმდევრობას ვარჩევთ იმ პირობით, რომ თვითეულ მომდევნო კვანძში არ იყოს ორ უცნობ ძალაზე (ანუ ღეროზე) მეტი.

კვანძების ძალთა მრავალკუთხედის აგების თანმიმდევრობა *ა* ნახაზზე ნაჩვენებია რომაული ციფრებით.

ავაგოთ I კვანძში შემავალი ძალთა მრავალკუთხედი: ამისათვის გამოვიყენოთ გარე ძალთა მრავალკუთხედის ის ნაწილი, რომელზედაც დატანილია უკვე I კვანძში მოქმედი გარე ძალები. I კვანძის ძალთა მრავალკუთხედის აგებისას ძალები დავიტანოთ იმ თანმიმდევრობით, როგორც უკანასკნელნი განლაგებულნი არიან კვანძის მიმართ, კვანძს შემოვუაროთ საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით.

კვანძის ძალთა მრავალკუთხედის აგება დავიწყოთ ცნობილი 2—3 (P_1) ძალიდან, რომელიც დატანილია მეორე ძალთა მრავალკუთხედზე (იხ. ნახ. ბ). 3—13 და 13—1 ღეროებში ძალის სიდიდეების მოსაძებნად საჭიროა გავატაროთ 3 წერტილიდან 3—13 ღეროს პარალელური ხაზი, ხოლო 1 წერტილიდან 13—1 ღეროს პარალელური ხაზი. გადაკვეთის წერტილი იქნება 13, ხოლო მონაკვეთები 3—13 და 13—1 ძალთა მრავალკუთხედზე განსაზღვრავენ აღნიშნულ ღეროებში ძალების სიდიდეებს იმავე მასშტაბში, რომლითაც ავაგეთ ძალთა მრავალკუთხედები. რადგანაც 1 კვანძის ძალთა 2—3—13—1—2 მრავალკუთხედი ჩაკეტილია, ძალთა 3—13 და 13—1 სიდიდეები ღეროში სწორად ყოფილა მოძებნილი.

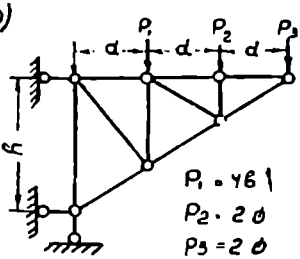
ჩვენ ვიპოვეთ პირველ კვანძში შემავალ 3—13 და 13—1 ღეროებში ძალთა სიდიდეები და დავრწმუნდით მის სისწორეში.

3—13 ან 13—1 ძალები შეიძლება ღეროს კუმშავდეს ან ჭიმავდეს. იმისათვის, რომ წარმოდგენა გვქონდეს ღეროების მუშაობის პირობებზე, საჭიროა აგრეთვე გავარკვიოთ 3—13 და 13—1 ძალების ნიშნები.

თუ ძალა კვანძიდან მიმართულია გარეთ (გამოდის კვანძიდან), ცხადია, შესაბამისი ღერო გაჭიმული (+) იქნება და, პირიქით, თუ ძალა მიმართულია კვანძისაკენ (შედის კვანძში), შესაბამისი ღერო შეკუმშული (—) იქნება.

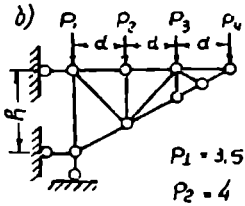
I კვანძის ძალთა მრავალკუთხედს თუ ცალკე გამოვყოფთ, ბ ნახაზზე ნათლად დავინახავთ ღეროებში ძალების მიმართულებას.

ა)



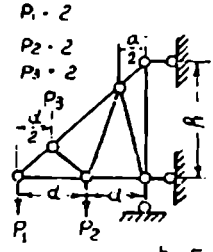
$P_1 = 48$
$P_2 = 20$
$P_3 = 20$
$d = 40$
$h = 80$

ბ)



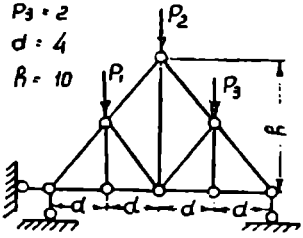
$P_1 = 3.5$
$P_2 = 4$
$P_3 = 2$
$d = 3$
$h = 6$

გ)

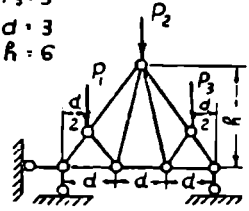


$h = 5$
$d = 4$

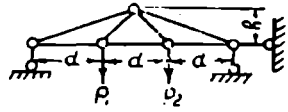
დ)



ე)

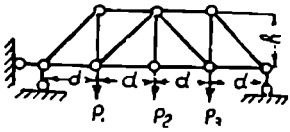


ვ)



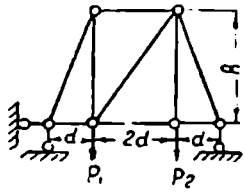
ზ)

$P_1 = 6$ $d = 4$
$P_2 = 10$ $h = 6$
$P_3 = 4$



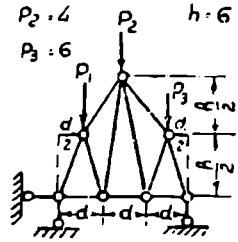
თ)

$P_1 = 4$ $d = 2$
$P_2 = 6$ $h = 6$

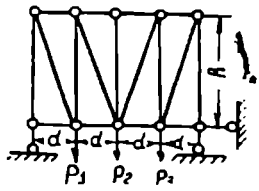


ი)

$P_1 = 3$ $d = 2$
$P_2 = 4$ $h = 6$
$P_3 = 6$

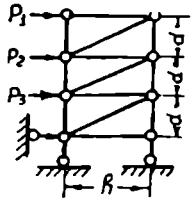


კ)



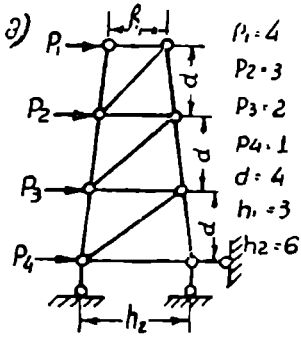
$P_1 = 3$ $d = 2$
$P_2 = 6$ $h = 6$
$P_3 = 4$

ლ)



$P_1 = 3$
$P_2 = 2$
$P_3 = 1$
$d = 2$
$h = 4$

მ)



$P_1 = 4$
$P_2 = 3$
$P_3 = 2$
$P_4 = 1$
$d = 4$
$h_1 = 3$
$h_2 = 6$

I კვანძს შემოვუაროთ საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით და მივყვეთ I კვანძის ძალთა მრავალკუთხედს. ცნობილი ძალა 2—3 (P_1) მიმართულია ზევიდან ქვევით; 3—13 ძალა მიმართულია ზევიდან ქვევით, შედის კვანძში და შეკუმშულია (—); 13—1 გამოდის კვანძიდან და გაჭიმულია (+). რეაქცია 1—2 კი მიმართულია ქვევიდან ზევით.

ანალოგიურად ვარკვევთ ძალთა სიდიდეებს და მათ მიმართულებას ფერმის დანარჩენ ღეროებში.

ა ნახაზზე დატანილია ფერმის ღეროებში ძალთა ნიშნები, ხოლო ბ ნახაზზე მოცემულია ამ ღეროებში ძალთა სიდიდეები.

შ ე მ ო წ მ ე ბ ა: როგორც აღვნიშნეთ, ძალთა მრავალკუთხედები I, II კვანძებისათვის სწორად იქნება აგებული იმ შემთხვევაში თუ ისინი ჩაკეტილი იქნებიან. გარდა ამისა საჭიროა შევამოწმოთ რამდენად სწორად არის აგებული მთლიანად მთელი ფერმის ძალთა მრავალკუთხედი; უკანასკნელის შემოწმებას ვახდენთ შემდეგნაირად.

VI კვანძის ძალთა მრავალკუთხედის აგების შემდეგ ჩვენთვის ცნობილი იქნება ძალთა სიდიდეები და მიმართულება. ფერმის ყველა ღეროში, გარდა 6—8 ღეროსა ძალთა მრავალკუთხედზე ბ ნახაზზე დატანილი გვექნება 6 და 8 წერტილები. მთლიანი ძალთა მრავალკუთხედი სწორად იქნება აგებული, თუ 6 და 8 წერტილების შემაერთებელი წყვეტილი ხაზი 6—8 ღეროს პარალელური აღმოჩნდება, წინააღმდეგ შემთხვევაში საჭიროა შეცდომის მოძებნა და გასწორება.

1.26. განვსაზღვროთ ფერმის ღეროებში ძალთა სიდიდეები გრაფიკული ხერხით.

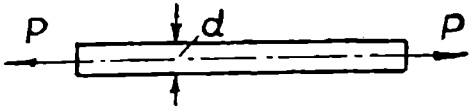
§ 2. ძაბვებისა და დეფორმაციების განსაზღვრა

1.27. წრიული კვეთის ფოლადის ღერო, რომლის დიამეტრი $d=2$ სმ-ს, იჭიმება $P=4$ ტ ღერძული ძალით (იხ. ნახაზი). განვსაზღვროთ ღეროს განივკვეთში აღძრული ძაბვა.

ა მ ო ხ ს ნ ა: ვინაიდან ღეროზე მოქმედებს ცენტრალურად გამჭიმავი P ძალა, ამიტომ მის კვეთში ძაბვა თანაბრად განაწილდება და იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$\sigma=\frac{P}{F}.$$

თუ ამ გამოსახულებაში შევიტანთ რიცხვით მნიშვნელობებს, მივიღებთ:



$$\sigma=\frac{4000}{\frac{3{,}14\cdot 2^2}{4}}=1270 \text{ კგ/სმ}^2;$$

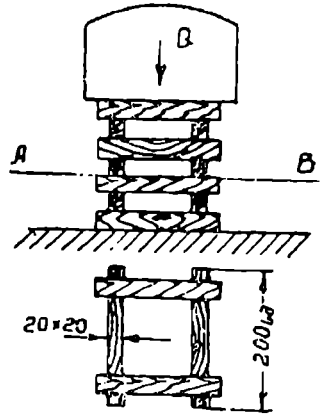
1.27 ამოცანისათვის.

1.28. წრიული განივკვეთის ფოლადის ღერო გაწყდა 12 ტ გამჭიმავი ძალის მოქმედებით. რა ძალა დასჭირდება იმავე მასალის კვადრატული განივკვეთის ღეროს გაწყვეტას, თუ კვადრატის თვითეული გვერდის სიგრძე დიამეტრის ტოლია.

პასუხი: 15300 კგ.

1.29. წყლის რეზერვუარი, რომელიც იტევს 20 მ³ წყალს მოთავსებულია ხის კოჭების წყობაზე, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები (იხ. ნახ.). ვიპოვოთ ძაბვა AB კვეთში და გრუნტზე.

მითითება: პირობით მივიღოთ, რომ ხის კოჭი გრუნტს თანაბრად აწვება.



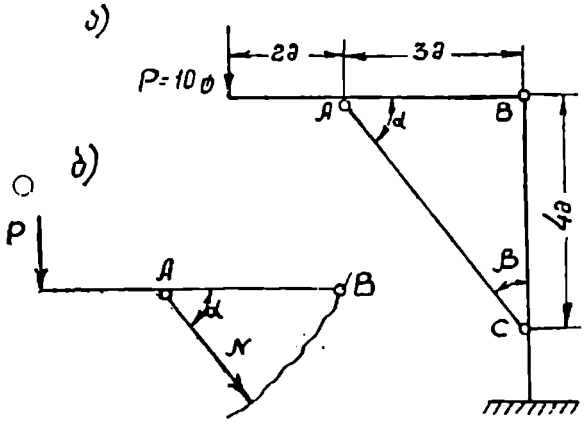
1.29 ამოცანისათვის.

პასუხი:

ძაბვა AB კვეთში $\sigma_1 = 12{,}5$ კგ/სმ²;

ძაბვა გრუნტზე $\sigma_2 = 2{,}5$ კგ/სმ²;

1.30. გავიგოთ ძაბვა AC ღეროს ნორმალურ კვეთში, თუ ღეროს განივკვეთი წრიულია და დიამეტრი $d=30$ სმ-ს (იხ. ნახაზი) (დანარჩენი ზომები და ძალის მოდების ადგილი და სიდიდე ნახაზზეა ნაჩვენები).



1.30 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: რადგანაც AC ღეროს ორივე ბოლო სახსრულად არის დამაგრებული, ამიტომ მასში აღიძვრება მხოლოდ ღერძული N ძალა, რომელიც ჩვენ გვაინტერესებს.

N-ის გასაგებად გავკვეთოთ სისტემა ისე, რომ განკვეთის სიბრტყემ გაიაროს B სახსარში და გადაკვეთოს AC ღერო (იხ. ნახაზი), მოკვეთილი მარცხენა ნაწილის წონასწორობიდან შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\Sigma M_B = P(2+3) + N \cdot 3\sin\alpha = 0;$$

$$\sin\alpha=\frac{(BC)}{(AC)}=\frac{4}{5};$$

აქედან

$$N=-\frac{50}{2,4}=-20,8\ \text{ტ};$$

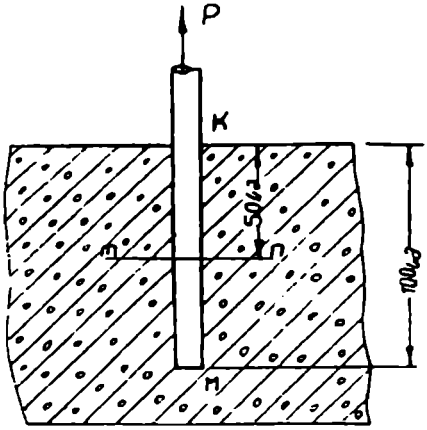
$$F=\frac{3,14\cdot 30^2}{4}=707\ \text{სმ}^2;$$

$$\sigma=-\frac{20800}{707}=-29,4\ \text{კგ/სმ}^2.$$

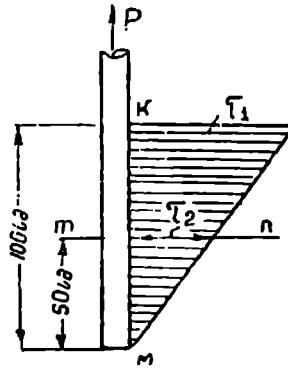
1.31. საძირკველში ჩაბეტონებულია ფოლადის ღეროს ბეტონსა და ფოლადის ღეროს შორის არსებული შეჭიდულობის გამო; ღეროს ამოსაძრობად საჭიროა $P=3$ ტ ძალა (იხ. ნახაზი).

ვიანგარიშოთ ფოლადის ღეროს დაჭიმულობა $m-n$ კვეთში, თუ შეჭიდულობის ინტენსივობა K წერტილიდან M წერტილამდე იცვლება სწორი ხაზის კანონით ისე, რომ M წერტილში აღწევს ნულს.

ა მ ო ხ ს ნ ა: $m-n$ კვეთში ძალა $T=\frac{t_2\cdot 50}{2}$, სადაც t_2 არის



1.31 ამოცანისათვის.



1.31ა ამოცანისათვის.

შეჭიდულობის ინტენსივობა $m-n$ კვეთში. როგორც ნახაზიდან ჩანს (იხ. ნახაზი)

$$\frac{\tau_2}{\tau_1}=\frac{50}{100};$$

აქედან

$$\tau_2=\frac{\tau_1}{2},$$

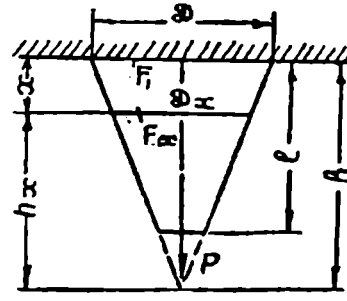
ხოლო

$$\tau_1 = \frac{2 \cdot 3000}{100} = 60 \text{ კგ/სმ}^2; \qquad \tau_2 = 30 \text{ კგ/სმ}^2;$$

შეკიტანოთ ეს მნიშვნელობა T-ს გამოსახულებაში:

$$T = \frac{30 \cdot 50}{2} = 750 \text{ კგ}.$$

1.32. წრიული კვეთის წაკვეთილ კონუსურ ძელზე მოქმედებს გამჭიმავი ღერძული ძალა P (იხ. ნახაზი). ვიპოვოთ ძელის სიგრძეზე ძაბვის განაწილების კანონი (ძელის საკუთარი წონა მხედველობაში არ მიიღება, ნებისმიერ განივკვეთში ძაბვა განაწილებულია თანაბრად).



1.32 ამოცანისათვის.

ამოხსნა:

$$\sigma_x = \frac{P}{F_x}; \qquad F_x = \frac{\pi D_x^2}{4}.$$

სამკუთხედების მსგავსებიდან შეიძლება დავწეროთ:

$$\frac{D_x}{D} = \frac{h-x}{h}; \qquad D_x = D\frac{h-x}{h};$$

$$F_x = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{(h-x)^2}{h^2} = F_1 \frac{(h-x)^2}{h^2};$$

F_x გამოსახულება შევიტანოთ σ_x-ის მნიშვნელობაში, მივიღებთ

$$\sigma_x = \frac{Ph^2}{F_1(h-x)^2} = \sigma_1 \frac{h^2}{(h-x)^2}.$$

როგორც მიღებული გამოსახულებიდან ჩანს, ძელის სიგრძეზე ძაბვა იცვლება ჰიპერბოლური მრუდით.

1.33. ფოლადის ღერო, რომლის დიამეტრი $d = 25$ მმ-ს, გამოცდილ იქნა გაჭიმვაზე. დეფორმაციას ვზომავთ 10 სმ სიგრძეზე, ოპტიკური ხელსაწყოს საშუალებით, რომლის გამადიდებლობის კოეფიციენტი $K = 500$.

ცდის მონაცემის ანალიზის შედეგად განვსაზღვროთ მოცემული მასალისათვის პროპორციულობის ზღვარი, დრეკადობის მოდული და დავხაზოთ გაჭიმვის დიაგრამა.

ცხრილი 1

ტვირთი კგ-ობით	ხელსაწყოზე ანაწერი მმ-ობით	ტვირთის სხვაობა	ხელსაწყოს ანაწერის სხვაობა მმ-ობით
0	14		
1000	19	1000	5
2000	24,4	1000	5,4
3000	29,1	1000	4,7
4000	34,6	1000	5,5
5000	39,65	1000	5,05
6000	44,7	1000	5,05
7000	49,6	1000	4,9
8000	55	1000	5,4
9000	59,7	1000	4,7
9200	60,7	1000	1
9400	61,9	1000	1.2
9600	63,5	1000	1,6
9800	66,4	1000	2,9

ამოხსნა: გამოსაცდელი ნიმუშის განიკვეთის ფართობი

$$F=\frac{3{,}14\cdot 25^2}{4}=490\ \text{მმ}^2.$$

გამოსაცდელ ნიმუშზე დატვირთვას ვზრდით ათას-ათასი კგ-ობით, ნიმუში გრძელდება პროპორციულად 9000 კგ-მდე, შემდეგ კი ეს პროპორცია ირღვევა (იხ. ცხრილი 1). მაშასადამე, ტვირთი 9000 კგ შეიძლება ჩავთვალოთ პროპორციულობის ზღვარის შესაბამის ტვირთად.

პროპორციულობის ზღვარში ძაბვა

$$\sigma_{\text{პ}}=\frac{9000}{4{,}9}=1837\ \text{კგ/სმ}^2.$$

პროპორციულობის ზღვრამდე 1000 კგ ძალის შესაბამისი საშუალო ანათვალი იქნება:

$$\frac{5+5{,}4+4{,}7+5{,}5+5{,}05+5{,}05+4{,}9+5{,}4+4{,}7}{9}=5{,}075\ \text{მმ}.$$

საანგარიშო სიგრძის აბსოლუტური დაგრძელება:

$$\Delta l=\frac{5{,}075}{500}.$$

ფარდობითი წაგრძელება

$$\varepsilon=\frac{5{,}075}{500\cdot 100}=10{,}15\ \ 10^{-5}.$$

დრეკადობის მოდული $E=\frac{\sigma}{\varepsilon}$. სადაც $\sigma=\frac{1000}{4{,}9}$,

მაშასადამე

$$E=\frac{10^3\ \ 10^5}{4{,}9\cdot 10{,}15}=2{,}01\ \ 10^6\ \text{კგ/სმ}^2.$$

გაჭიმვის დიაგრამის აგება ნაჩვენებია ნახაზზე, სადაც ძალა მოცემულია ტონობით, ხოლო დაგრძელება მილიმეტრობით, გადიდებული 500-ჯერ.

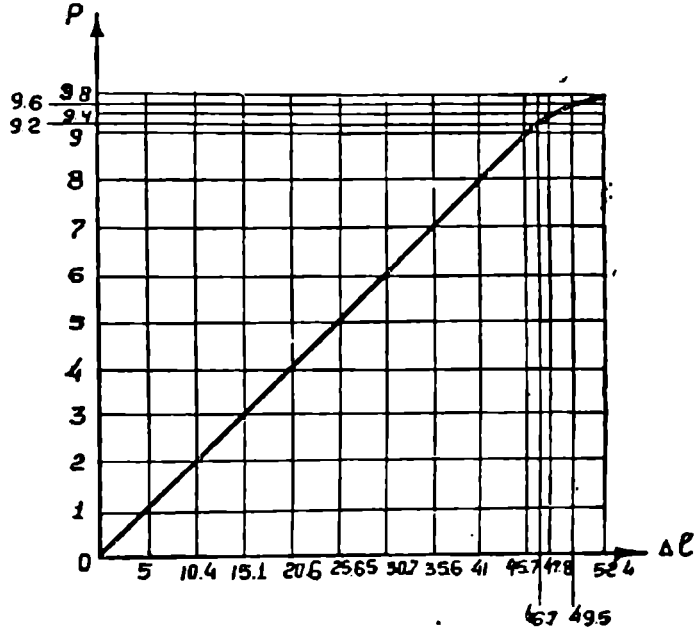
1.34. ფოლადის ღეროს დიამეტრით 2 სმ, იჭიმება $P=3$ ტ ძალით.

ღეროზე დაყენებულმა ტენზომეტრმა, რომლის ბაზაა 60 მმ, გვიჩვენა 26,65 მმ წაგრძელება. ტენზომეტრის გამადიდებლობის კოეფიციენტი $K=1000$.

განსაზღვროთ ძაბვა და მასალის დრეკადობის მოდული.

პასუხი: $\sigma=955$ კგ/სმ²;

$$E=2{,}15\cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$



1.33 ამოცანისათვის.

1.35. ფოლადის მილის გაჭიმვაზე გამოცდისას, რომელზედაც მიმაგრებული იყო ტენზომეტრი ბაზით 10 სმ, მივიღეთ შემდეგი შედეგები:

ცხრილი 2

დატვირთვა კგ-ობით	100	200	400	600	800	1000	1400	1800	2000	2200
ტენზომეტრზე ანათვალი	4	4,30	4,92	5,52	6,12	6,72	7,94	9,18	9,84	10,50
დატვირთვა კგ-ობით	2300	2400	2200	2000	1600	1200	800	400	200	
ტენზომეტრზე ანათვალი	11	12,50	12,20	11,62	10,44	9,28	8,12	6,86	6,22	

მილის შიგა დიამეტრი $d=28,6$ მმ-ს და კედლის სისქე 0,91 მმ-ს. ავაგოთ გაჭიმვის დიაგრამა და განვსაზღვროთ: 1) პროპორციულობის ზღვარი, 2) დრეკადობის მოდული.

როგორი პროპორციულობის ზღვარია მოსალოდნელი განმეორებითი დატვირთვისას?

პასუხი: $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ².

1.36. ფოლადის ნიმუში, რომლის სიგრძეა 20 სმ და განივკვეთის ფართობი 10 სმ², გამოცდილ იქნა გაჭიმვაზე. გრძივი და განივი დეფორმაციების გასაზომად ღეროს საანგარიშო მალის შუაში მიმაგრებული იყო ტენზომეტრები ერთი გრძივი და მეორე განივი მიმართულებით.

ტენზომეტრის ბაზა უდრის 20 მმ-ს და გამადიდებლობის კოეფიციენტი $K=1000$.

ცდით მიღებული შედეგი ასეთია:

ტვირთი ტონობით	0		2	3	4	5	6
ტენზომეტრზე ანათვალი გრძივი მიმართულებით	3	4,1	5	5,55	7,05	8,15	9,05
ტენზომეტრზე ანათვალი განივი მიმართულებით	4,28	4,01	3,73	3,44	3,16	2,87	2,60

განვსაზღვროთ გამოსაცდელი ნიმუშის მასალისათვის დრეკადობის მოდული და პუასონის კოეფიციენტი.

პასუხი: $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ²;

$\mu=0,28$.

1.37. ფოლადის მავთული, დიამეტრით $d=17$ მმ და სიგრძით 150 სმ გამოცდილ იქნა გაჭიმვაზე.

გამოცდის დროს მავთულის გრძივი დეფორმაციის ცვალებადობა შესაბამისი ძალის ცვლილებასთან გამოისახება შემდეგნაირად:

დატვირთვა კგ-ობით	14,2	38,2	63,6	89	101,8	114,6	127,4	140
წაგრძელება მმ-ობით	0,046	0,137	0,228	0,320	0,366	0,427	0,488	0,595

ავაგოთ გაჭიმვის დიაგრამა, განვსაზღვროთ ის ძალები, რომლებიც შეესაბამებიან პროპორციულობის და დენადობის ზღვრებს და გამოვთვალოთ დრეკადობის მოდული E.

პასუხი: $E=1,85\cdot 10^6$ კგ/სმ²

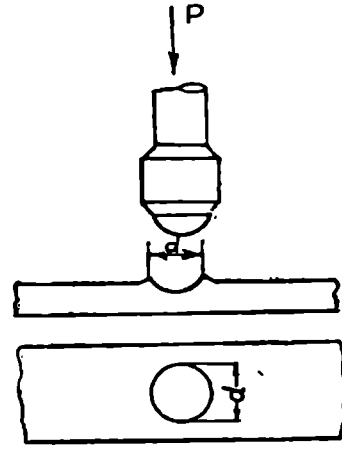
1.38. ბაგირი, რომელიც ჩაშვებულია შახტში $l=600$ მ სიღრმეზე, დაგრძელდა $\Delta l=148$ მმ-ით. განვსაზღვროთ ბაგირის დრეკადობის მოდული, თუ მისი დიამეტრი $d=12$ მმ-ს და მის ბოლოზე მოქმედი ძალა ტოლია 500 კგ-ის. ბაგირის საკუთარ წონას მხედველობაში არ ვღებულობთ.

პასუხი: $E=1{,}8\cdot 10^6$ კგ/სმ².

1.39. ფოლადის ღერო, რომლის სიგრძეა 80 სმ და განივკვეთის ფართობი $F=4$ სმ², $P=50$ ტ ძალის მოქმედებით დაგრძელდა $\Delta l=0{,}5$ სმ-ით, რას უდრის მასალის დრეკადობის მოდული E?

პასუხი: $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ².

1.40. გავიანგარიშოთ ფოლადის სიმყარის რიცხვი H ბრინელის წესით, თუ ბრინელის ხელსაწყოს ბურთულას დიამეტრი $D=10$ მმ-ს. შესაბამისი $P=3000$ კგ ძალის მოქმედების შედეგად საცდელ ნიმუშზე მივიღეთ ანაბეჭდი დიამეტრით $d=4$მმ (იხ. ნახაზი).



1.40 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: სიმყარის რიცხვი H უდრის მოქმედ ძალას კილოგრამობით გაყოფილს ანაბეჭდის ფართობზე მმ²-ობით, ე. ი. $H=\frac{P}{\omega}$,

სადაც

$$\omega=\frac{\pi D}{2}(D-\sqrt{D^2-a^2});$$

$$H=\frac{3000}{\frac{3{,}14\cdot 10}{2}(10-\sqrt{100-16})}$$

$$H=229 \text{ კგ/მმ}^2.$$

1.41. ბრინელის ხელსაწყოთი გამოვთვალოთ ფოლადის ნიმუშის დროებითი წინაღობა, თუ ბურთულას დიამეტრი $D=10$ მმ-ს; შესაბამისი მოქმედი ძალა $P=3000$ კგ-ს და ანაბეჭდის დიამეტრი $d=5$ მმ-ს. მოცემულია სიმყარის კოეფიციენტი $\alpha=0{,}33$

მითითება: დროებითი წინაღობა $\sigma_{წ}=\alpha H$.

პასუხი: $\sigma_{წ}=46{,}7$ კგ/მმ².

1.42. ცემენტის მარკის დასადგენად ცემენტის ხსნარისაგან ვამზადებთ (1 : 3) კუბიკებს $7\times 7\times 7$ სმ³.

გამოვთვალოთ ცემენტის მარკა, თუ მაქსიმალური ძალა, რომელმაც ნიმუში დაარღვია, $P=18$ ტ-ს.

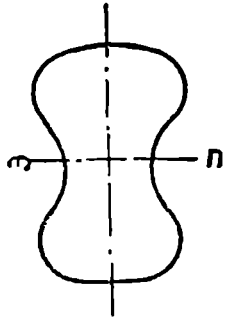
მითითება: ცემენტის მარკად მიჩნეულია ის მაქსიმალური ძაბვა, რომელსაც მივიღებთ ნიმუშის დარღვევის დროს.

პასუხი. ცემენტის მარკა $\sigma_ე = 367$ კგ/სმ².

1.43. განვსაზღვროთ ცემენტის ხსნარის დროებითი წინაღობა გაჭიმვაზე, თუ გამოსაცდელი ნიმუშის უმცირესი განივკვეთის ფართობი $m—n$ კვეთში $F = 2{,}25 \times 2{,}22$ სმ² (იხ. ნახაზი), ხოლო მრღვევი ძალა $P = 100$ კგ·ს.

პასუხი: $\sigma_ჭ = 20$ კგ/სმ².

1.44. გავიანგარიშოთ 28-დღიანი ბეტონის მარკა, რომლის შემადგენლობაც არის 1 : 2 : 4, გამოსაცდელი ნიმუშის ზომები $20 \times 20 \times 20$ სმ, ხოლო მოქმედი მრღვევი ძალა $P = 40$ ტ.



1.43 ამოცანისათვის.

პასუხი: ბეტონის მარკა 100.

1.45. გავიანგარიშოთ ხის დროებითი წინაღობა კუმშვაზე ბოჭკოების გასწვრივ და ბოჭკოების განივად ღერძული ძალის მოქმედებისას, თუ გამოსაცდელი ნიმუშის ზომებია $7 \times 7 \times 7$ სმ².

ცდის შედეგად მიღებული იყო მრღვევი ძალა ბოჭკოების გასწვრივ $P_1 = 23$ ტ-ს, ბოჭკოების განივად $P_2 = 7{,}8$ ტ-ს.

პასუხი: $\sigma_1 = 470$ კგ/სმ²,
$\sigma_2 = 159$ კგ/სმ².

1.46. წრიული კვეთის $d = 1{,}5$ სმ ფოლადის ნიმუშის გაჭიმვაზე გამოცდისას მიღებული იყო შემდეგი შედეგები: მაქსიმალური ძალა $P = 9300$ კგ, რომლის მოქმედებითაც ნიმუში გაწყდა. ნიმუშის საანგარიშო სიგრძე 15 სმ, გაწყვეტის შემდეგ მოიმატა 3,5 სმ, კვეთის დიამეტრი გაწყვეტის ადგილას $d_1 = 0{,}9$ სმ.

განვსაზღვროთ დროებითი წინაღობა $\sigma_{ღ}$, ფარდობითი ნარჩენი გრძივი დეფორმაცია δ და ფარდობითი ნარჩენი განივკვეთის ფართობის შემცირება პროცენტობით.

პასუხი: $\sigma_{ღ} = 5270$ კგ/სმ²,
$\delta = 23{,}3\%$,
$\psi = 64\%$.

1.47. ფოლადის ღეროზე ($E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ²), რომლის სიგრძე $l = 6$ მ-ს და $d = 3{,}2$ მმ-ს, ჩამოკიდებულია ტვირთი, რომელმაც ღერო დააგრძელა 3 მმ-ით. ამის შემდეგ იგივე ტვირთი ჩამოკიდებული იყო სპილენძის ღეროზე სიგრძით $l_1 = 3{,}6$ მ და $d_1 = 5$ მმ, უკანასკნელმა მიიღო დაგრძელება 1,23 მმ.

განვსაზღვროთ სპილენძის მავთულის დრეკადობის მოდული.

პასუხი: $E = 1{,}2 \cdot 10^6$ კგ/სმ².

1.48. დავადგინოთ მარაგის კოეფიციენტი სამშენებლო ფოლადისათვის სტატიკური და ნიშანცვლადი დატვირთვების შემთხვევაში, თუ დენადობის ზღვარი $\sigma_ზ = 2600$ კგ/სმ², ხოლო დასაშვები ძაბვა სტატიკური დატვირთვის შემთხვევაში $[\sigma] = 1400$ კგ/სმ². ნიშანცვლადი დატვირთვისას $[\sigma] = 800$ კგ/სმ².

პასუხი: $n = 1{,}86$; $n = 3{,}25$.

1.49. ხის ნიმუშის ბოჭკოების გასწვრივ და ბოჭკოების მართობულად კუმშვაზე გამოცდისას მიღებული იყო მრღვევი ძაბვები,— ბოჭკოების გასწვრივ $\sigma_{ზღ} = 650$ კგ/სმ² და ბოჭკოების მართობულად $\sigma_{ზღ} = 180$ კგ/სმ².

ვიპოვოთ დასაშვები ძაბვები აღნიშნულ მიმართულებებზე, თუ მარაგის კოეფიციენტი, ორივე შემთხვევაში, $n = 4{,}8$.

პასუხი: $[\sigma_1] = 135{,}5$ კგ/სმ²;

$[\sigma_2] = 37{,}5$ კგ/სმ².

1.50. შახტური ამწის ფოლადის ბაგირზე, რომლის დიამეტრი $d = 1{,}8$ სმ-ს ჩამოკიდებულია ტვირთი $Q = 5$ ტ.

რა მარაგით მუშაობს ბაგირი, თუ მისი დროებითი წინაღობა გაწყვეტაზე $\sigma_{წ} = 6400$ კგ/სმ², ბაგირის საკუთარ წონას მხედველობაში არ ვღებულობთ.

პასუხი: $n = 3{,}27$.

1.51. ვიპოვოთ დასაშვები ძაბვა ხისათვის, თუ დროებითი წინაღობა ნიმუშის გამოცდით მიღებულია $\sigma_{წ} = 600$ კგ/სმ² და მარაგის კოეფიციენტი შერჩეულია $n = 4{,}8$.

პასუხი: $[\sigma] = 125$ კგ/სმ².

1.52. დავადგინოთ ბეტონის დასაშვები ძაბვა, თუ გამოცდის შედეგად მიღებული ბეტონის მარკაა 110, ხოლო მარაგის კოეფიციენტი ტექნიკური ნორმების მიხედვით $n = 2{,}2$.

პასუხი: $[\sigma] = 50$ კგ/სმ².

1.53. განვსაზღვროთ რა ძალის მოქმედების დროს მიაღწევს ძაბვა დენადობის ზღვარს ლითონის ღეროში, რომლის დიამეტრი $d = 2$ სმ-ს, თუ დასაშვები ძაბვა $[\sigma] = 1400$ კგ/სმ² და მარაგის კოეფიციენტი $n = 1{,}6$-ს.

პასუხი: $P = 7040$ კგ.

1.54. წრიული განივკვეთის ფოლადის ღერო, რომლის დიამეტრი $d = 3$ სმ-ს და სიგრძე $l = 20$ მ-ს, იჭიმება $P = 8{,}5$ ტ ძალით. გამოვთვალოთ ძაბვა, გრძივი აბსოლუტური და ფარდობითი დეფორმაცია, თუ

ფოლადის დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ² (ღეროს საკუთარ წონას მხედველობაში არ ვღებულობთ).

ამოხსნა: $\sigma=\frac{P}{F}$;

$$\sigma=\frac{P}{\frac{\pi d^2}{4}}=\frac{4\cdot8500}{3{,}14\cdot3^2}=1206 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ღეროს აბსოლუტური დაგრძელება $\Delta l=\frac{Pl}{EF}$;

$$F=7{,}06 \text{ სმ}^2;$$

$$\Delta l=\frac{8500\cdot2000}{2\cdot10^6\cdot7{,}06}\cong1{,}2 \text{ სმ}.$$

ფარდობითი დეფორმაცია

$$\varepsilon=\frac{\Delta l}{l}=\frac{1{,}2}{2000}=0{,}0006.$$

1.55. ფოლადის ღერო, რომლის სიგრძე $l=4$ მ-ს, იჭიმება ღერძული ძალით, რომლისგან გამოწვეული ძაბვა ნორმალურ კვეთში $\sigma=650$ კგ/სმ².

რას უდრის ამ ძალის მოქმედებით ღეროს დაგრძელება, თუ ფოლადის დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ².

ამოხსნა: ფარდობითი დაგრძელება

$$\varepsilon=\frac{\sigma}{E}=\frac{650}{2\cdot10^6}.$$

აბსოლუტური დაგრძელება

$$\Delta l=\varepsilon l=\frac{650}{2\cdot10^6}\cdot400=1{,}3 \text{ მმ}.$$

1.56. მაღალი ძაბვის გადამცემი ხაზის ბაგირი სპილენძისაა, სიგრძით $l=260$ მ-ს, განივკვეთის ფართობით $F=45$ მმ² და დაჭიმულია $P=900$ კგ ძალით.

რას უდრის სპილენძის ბაგირის გრძივი ფარდობითი დეფორმაცია ε, თუ სპილენძის მავთულის დრეკადობის მოდული $E=1{,}3\cdot10^6$ კგ/სმ², ხოლო ბაგირის დრეკადობის მოდული $E_1=0{,}85\ E$.

პასუხი: $\varepsilon=0{,}00181$.

1.57. ორთქლის მანქანის ცილინდრის ტანი ფუძეზე დამაგრებულია 80 სმ სიგრძის 6 ჭანჭიკით, რომელთა დიამეტრი $d=5$ სმ-ს; ორთქლის წნევით გამოწვეული ძალა ცდილობს ცილინდრი მოაშოროს ფუძეს.

განსაზღვროთ თვითეული ჭანჭიკის წაგრძელება და მაქსიმალური ძაბვა, თუ ცილინდრის შიგა დიამეტრი $D=400$ მმ; ცილინდრში ორთქლის მაქსიმალური წნევა $q=42$ ატმოსფეროს და ჭანჭიკის დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: $\Delta l=0{,}18$ მმ;

$\sigma=448$ კგ/სმ².

1.58. როგორია ფოლადის მავთულის აბსოლუტური გრძივი დეფორმაცია და ძაბვა ნორმალურ კვეთში, თუ მისი საწყისი სიგრძე $l=25$ მ-ს და ფარდობითი გრძივი დეფორმაცია $\varepsilon=0{,}00054$, ხოლო მასალის დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ².

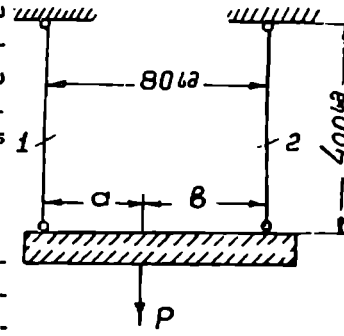
პასუხი: $\Delta l=1{,}35$ სმ;

$\sigma=1080$ კგ/სმ².

1.59. ჰორიზონტალურ მავთულს, რომელსაც მოძრაობაში მოჰყავს რკინიგზის ნიშანსვეტი აქვს სიგრძე $l=500$ მ-ს და დიამეტრი $d=6$ მმ-ს, მავთულის დაჭიმულობა უდრის 250 კგ-ს.

როგორი გადაადგილება უნდა მისცეს ნიშნის მიმცემმა მავთულის თავს, თუ ნიშანსვეტის მოსაბრუნებლად საჭიროა მავთულის ბოლომ მიიღოს 15 სმ გადაადგილება? მავთულის დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: 37,1 სმ.



1.60 ამოცანისათვის.

1.60. ზედა ბოლოთი ერთ დონეზე ჩამაგრებული ორი მავთული ერთმანეთისაგან დაცილებულია 80 სმ-ით (იხ. ნახ.), თვითეული მავთულის ღეროს სიგრძე 4 მეტრია, დიამეტრი 10 მმ.

მავთულების ქვედა ბოლოზე ჩამოკიდებულია ხისტი კოჭი, რომელზეც მოქმედებს $P=400$ კგ ძალა ისეთ ადგილას, რომ მავთულების დეფორმაციის შემდეგ ხისტი ღერო კვლავ რჩება ჰორიზონტალური. მავთულის 1-ლი ღერო ფოლადისაა ($E_ფ=2\cdot10^6$ კგ/სმ²), მე-2 ალუმინის ($E_ალ=7\cdot10^5$ კგ/სმ²).

განსაზღვროთ ძალის მდებარეობა და ძაბვები თვითეული მავთულის ღეროში.

პასუხი: $\sigma_{ფ} = 378$ კგ/სმ²; $\sigma_{აღ} = 132$ კგ/სმ².

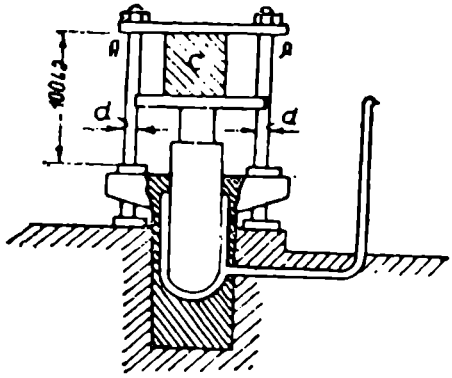
მანძილი ძალის მოდების წერტილიდან ფოლადის მავთულამდე

$$a = 20{,}74 \text{ სმ}.$$

1 61. 50-ტონიანი ჰიდრავლიკური წნეხი იხმარება მასალის კუმშვაზე გამოსაცდელად (იხ. ნახაზი).

1) განსაზღვროთ ფოლადის წრიული განივკვეთის A სეტის სიმტკიცის მარაგი, თუ წნეხს აქვს ორი სეტი დიამეტრით $d = 6$ სმ-ს და სეტის მასალის დენადობის ზღვარი $\sigma_{დენ} = 4200$ კგ/სმ²;

2) გამოთვალოთ სეტის დაგრძელება, როცა გამოსაცდელი C ნიმუში იკუმშება 50 ტ ძალით.



1.61 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: 1) გამოსაცდელ ნიმუშზე 50 ტ ძალის მოქმედების დროს წნეხის თვითეული სეტი იჭიმება $P = 25$ ტ ძალით.

სეტის განივკვეთის ფართობი

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 6^2}{4} = 28{,}26 \text{ სმ}^2;$$

$$\sigma = \frac{25000}{28{,}26} = 886 \text{ კგ/სმ}^2 \text{ და}$$

$$n = \frac{\sigma_{დენ}}{\sigma} = \frac{4200}{886} = 4{,}75;$$

2) დრეკადობის მოდული მივიღოთ $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ², მაშინ სეტის დაგრძელება

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF} = \frac{25000 \cdot 100}{2 \cdot 10^6 \cdot 28{,}26};$$

$$\Delta l = 0{,}0443 \text{ სმ}.$$

1.62. ხიდის ელემენტის დეფორმაციის გასაზომი ხელსაწყო 200-ჯერ ადიდებს მანძილის შეცვლას ორ წერტილს შორის, რომლებიც ერთმანეთისაგან 1 მეტრითაა დაშორებული.

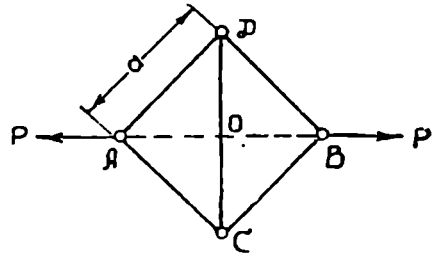
განვსაზღვროთ რამდენით გაიზრდება ძაბვა ფოლადის ფერმის ღეროში მატარებლის გაელისას, თუ მასზე დაყენებული ხელსაწყო უჩვენებს 8 სმ დაგრძელებას (ფერმის მასალისათვის $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ²).

პასუხი: $\sigma = 800$ კგ/სმ².

1.63. ფოლადის ღეროებიდან სახსრულად შეკრულია კვადრატი; D და C სახსრები შეერთებულია დიაგონალით, A და B წვეროებზე მოქმედებს გამჭიმავი ძალა $P=10$ ტ (იხ. ნახაზი); ყველა ღეროს ფართობი თანატოლია და $F=12{,}5$ სმ^2.

გამოვთვალოთ CD დიაგონალის აბსოლუტური დეფორმაცია, თუ კვადრატის გვერდის სიგრძე $a=100$ სმ-ს და დრეკადობის მოდული $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ^2.

პასუხი: $\Delta=0{,}0566$ სმ.

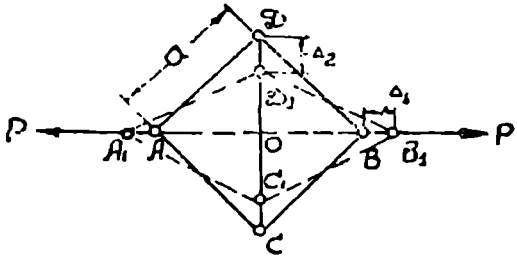


1.63 ამოცანისათვის.

1.63 ა. გამოვთვალოთ წინა ამოცანისათვის A და B კვანძების ურთიერთდაშორება მოცემული $P=10$ ტ ძალის მოქმედების შედეგად.

ამოხსნა: P ძალა კვადრატის გვერდებში აღძრავს გამჭიმავ ძალებს $\frac{P}{\sqrt{2}}$ ტოლს, ხოლო DC დიაგონალში შემკუმშავ ძალას P-ს ტოლს.

გამოვიანგარიშოთ AB წარმოდგენითი დიაგონალის აბსოლუტური წაგრძელება $2\Delta_1$ (იხ. ნახაზი).



1.63ა ამოცანისათვის.

BD გვერდის აბსოლუტური წაგრძელება იქნება:

$$\Delta_3=\frac{P\cdot a}{\sqrt{2}\cdot EF},$$

ხოლო ნახევარი დიაგონალის OD-ს აბსოლუტური დამოკლება

$$\Delta_2=\frac{P\cdot\frac{a}{\sqrt{2}}}{EF}.$$

სწორკუთხიანი სამკუთხედიდან OD_1B_1 შეგვიძლია დავწეროთ:

$$(OB_1)=\sqrt{(D_1B_1)^2-(D_1O)^2};$$

ჩავსვათ მნიშვნელობები:

$$\frac{a}{\sqrt{2}}+\Delta_1=\sqrt{(a+\Delta_3)^2-\left(\frac{a}{\sqrt{2}}-\Delta_2\right)^2}$$

აქედან

$$\Delta_1 = \sqrt{(a+\Delta_3)^2 - \left(\frac{a}{\sqrt{2}} - \Delta_2\right)^2} - \frac{a}{\sqrt{2}}.$$

შევიტანოთ Δ_2 და Δ_3-ს რიცხვითი მნიშვნელობები:

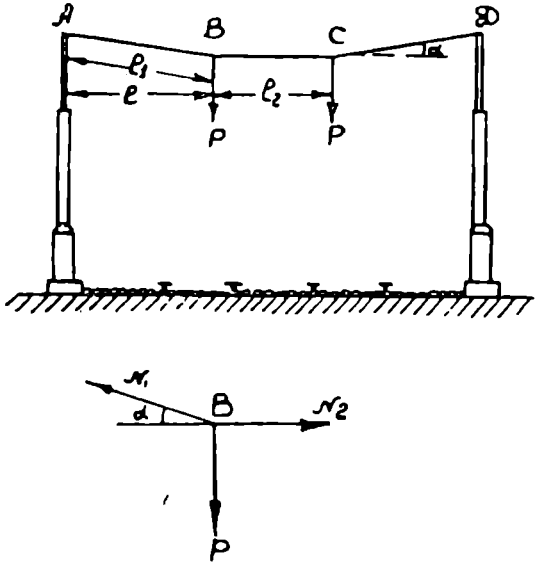
$$\Delta_2 = \frac{P \cdot a}{\sqrt{2}\,EF} = \frac{10000 \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 12{,}5} = 0{,}0283 \text{ სმ};$$

$$\Delta_3 = \frac{P_a}{\sqrt{2}\,EF} = 0{,}0283 \text{ სმ};$$

$$\Delta_1 = \sqrt{(100+0{,}0283)^2 - \left(\frac{100}{1{,}41} - 0{,}0283\right)^2} - \frac{100}{1{,}41};$$

$$\Delta_1 = 0{,}7 \text{ სმ},$$

ე. ი. A და B კვანძების დაშორება P ძალის მოქმედებით გადიდდა $2\Delta_1 = 1{,}4$ სმ-ით.



1.64ა ამოცანისათვის.

1.64. ტრამვაის საჰაერო ხაზის დასამაგრებლად ქუჩის ორივე მხარეზე დაყენებულია სვეტები, რომლებზედაც AB და CD დახრილი მჭიმებით საჰაერო ხაზია ჩამოკიდებული (იხ. ნახაზი).

ვიპოვოთ დახრილი და ჰორიზონტალური მჭიმების დაჭიმულობა, მჭიმის საჰაერო ხაზთან შეერთების B კვანძის გადაადგილება და მჭიმის დახრის კუთხე α-ს ოპტიმალური მნიშვნელობა.

ა მ ო ხ ს ნ ა: საჰაერო ხაზის წონა აღვნიშნოთ P-თი, დახრილი მჭიმის დაჭიმულობა N_1-ით და ჰორიზონტალურის N_2-თი. B კვანძის წონასწორობის პირობიდან გვაქვს:

$$N_1 \cdot \cos\alpha = N_2; \qquad N_1 \cdot \sin\alpha = P,$$

საიდანაც

$$N_1=\frac{P}{\sin\alpha}\quad\text{და}\quad N_2=P\cdot\operatorname{ctg}\alpha;$$

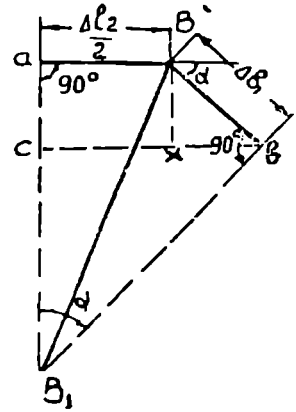
აქ α არის დახრილი მჭიმის ჰორიზონტთან დახრის კუთხე.

დახრილი მჭიმის წაგრძელება Δl_1 და ჰორიზონტალური მჭიმის Δl_2 განვსაზღვროთ შემდეგი ფორმულიდან:

$$\Delta l_1=\frac{N_1 l_1}{EF_1}=\frac{Pl_1}{EF_1\sin\alpha};$$

$$\Delta l_2=\frac{N_2 l_2}{EF_2}=\frac{Pl_2\operatorname{ctg}\alpha}{EF_2}.$$

B კვანძის გადაადგილება მოინახება დიაგრამით, რომელიც აიგება შემდეგნაირად (იხ. ნახ. ბ): კვანძიდან მჭიმის ღეროების მიმართულებით გადაიზომება წაგრძელებები მათი ნიშნის მხედველობაში მიღებით (ე. ი., თუ შეკუმშული ღეროა, წაგრძელება Δl იზომება კვანძიდან ღეროსაკენ და თუ გაჭიმული ღეროა, მაშინ კვანძიდან ღეროს გაგრძელებაზე). გადაზომილ წაგრძელებათა ბოლოებიდან ღერძებისადმი აღვმართავთ მართობებს ურთიერთ გადაკვეთამდე $|B_1|$, რომელიც იქნება B კვანძის ახალი მდებარეობა. ამგვარად, B კვანძის ჰორიზონტალური გადაადგილება $B_a=\frac{\Delta l_2}{2}$, ხოლო ვერტიკალური გადაადგილება



1.64ბ ამოცანისათვის.

$$B_1a=ac+B_1C=Bf+B_1C.$$

Bfb სამკუთხედიდან

$$Bf=\Delta l_1\sin\alpha;$$
$$fb=\Delta l_1\cos\alpha.$$

ნახაზიდან

$$cb=cf+fb=\frac{\Delta l_2}{2}+\Delta l_1\cos\alpha.$$

CB_1b სამკუთხედიდან

$$CB_1=cb\operatorname{ctg}\alpha=\left(\frac{\Delta l_2}{2}+\Delta l_1\cos\alpha\right)\operatorname{ctg}\alpha.$$

ამგვარად ვერტიკალური გადაადგილება

$$aB_1 = Bf + CB_1 = \Delta l_1 \sin\alpha + \left(\frac{\Delta l_2}{2} + \Delta l_1 \cos\alpha\right)\operatorname{ctg}\alpha.$$

$$aB_1 = \Delta l_1 \sin\alpha + \frac{\Delta l_1}{\sin\alpha}\cos^2\alpha + \frac{\Delta l_2}{2}\operatorname{ctg}\alpha = \frac{\Delta l_1}{\sin\alpha}(\sin^2\alpha + \cos^2\alpha) +$$

$$+ \frac{\Delta l_2}{2}\operatorname{ctg}\alpha;$$

საბოლოოდ

$$aB_1 = \frac{\Delta l_1}{\sin\alpha} + \frac{\Delta l_2}{2}\operatorname{ctg}\alpha.$$

ოპტიმალური დახრის კუთხე მჭიმისათვის გვექნება მაშინ, თუ ვიპოვით სამივე მჭიმის მინიმალურ მოცულობას. დახრილი მჭიმების განივკვეთის ფართობი

$$F_1 = \frac{N_1}{[\sigma]}.$$

ჰორიზონტალური მჭიმისათვის

$$F_2 = \frac{N_2}{[\sigma]}.$$

მჭიმის მთლიანი მოცულობა

$$V = 2l_1F_1 + l_2F_2 = \frac{2lF_1}{\cos\alpha} + l_2F_2 = \frac{2lN_1}{\cos\alpha[\sigma]} + \frac{l_2N_2}{[\sigma]}.$$

ამ გამოსახულებაში შევიტანოთ N_1-ისა და N_2-ის მნიშვნელობა, მივიღებთ:

$$V = \frac{2lP}{[\sigma]\sin\alpha\cos\alpha} + \frac{l_2P\operatorname{ctg}\alpha}{[\sigma]} = \frac{4lP}{[\sigma]\sin 2\alpha} + \frac{l_2P\operatorname{ctg}\alpha}{[\sigma]};$$

$$\frac{dV}{d\alpha} = -\frac{8lP\cos 2\alpha}{[\sigma](\sin 2\alpha)^2} - \frac{l_2P}{[\sigma]\sin^2\alpha} = 0.$$

მარტივი გარდაქმნის შემდეგ მივიღებთ:

$$2l(\cos^2\alpha - \sin^2\alpha) + l_2\cos^2\alpha = 0,$$

ან

$$2l(\cos^2\alpha - 1 + \cos^2\alpha) + l_2\cos^2\alpha = 0;$$

აქედან

$$\cos^2\alpha = \frac{2l}{4l + l_2}; \qquad \cos\alpha = \sqrt{\frac{2l}{4l + l_2}};$$

$$\alpha = \arccos\sqrt{\frac{2l}{4l + l_2}}.$$

1.65. კვადრატული განივკვეთის ფოლადის ნიმუშის გაჭიმვაზე გამოცდისას გაზომილ იქნა ნიმუშის გრძივი და განივი დეფორმაციები. გრძივი მიმართულებით 200 მმ-ის სიგრძემ მოიმატა 0,11 მმ, ხოლო განივი მიმართულებით 100 მმ, სიგრძემ მოიკლო 0,017 მმ.

განსაზღვროთ ნიმუშის მასალის პუასონის კოეფიციენტი.

პასუხი: $\mu = 0{,}309$.

1.66. სპილენძის ღერო, რომლის განივკვეთის ფართობი უდრის 12 სმ²-ს, იჭიმება $P = 14$ ტ ძალით.

მოვძებნოთ ღეროს მოცულობის ფარდობითი ნაზრდი, თუ სპილენძის დრეკადობის მოდული $E = 1 \cdot 10^6$ კგ/სმ² და პუასონის კოეფიციენტი $\mu = 0{,}32$.

პასუხი: $\Theta = \dfrac{\Delta V}{V} = 4{,}2 \cdot 10^{-4} = 0{,}042\%$.

1.67. თუჯის სვეტი სიგრძით 4 მ და განივკვეთის ფართობით 36 სმ² იკუმშება 40 ტ ძალით.

ვიპოვოთ—რას უდრის სვეტის მოცულობის შემცირება, თუ თუჯის დრეკადობის მოდული $E = 1 \cdot 10^6$ კგ/სმ² და პუასონის კოეფიციენტი $\mu = 0{,}26$.

პასუხი: $\Delta V = 7{,}68$ სმ³.

1.68. წინა ამოცანის პირობებისათვის ვიპოვოთ თუჯის სვეტის განივკვეთის ფართობის ფარდობითი დეფორმაცია, თუ სვეტის განივკვეთი წარმოადგენს კვადრატს 6×6 სმ².

პასუხი: განივკვეთის ფართობი გაიზარდა $0{,}0968\%$-ით.

1.69. წრიული კვეთის სპილენძის ღერო, რომლის დიამეტრია 42 მმ და სიგრძე 50 სმ, გამოცდილ იქნა 16,5 ტ გამჭიმავ ძალაზე. ძალის მიყენების შემდეგ დეფორმაციების გაზომვამ შემდეგი შედეგი მოგვცა: ღეროს დიამეტრი შემცირდა 0,015 მმ-ით; გრძივი მიმართულებით ყოველი 10 სმ დაგრძელდა 0,11 მმ-ით.

ვიპოვოთ დრეკადობის მოდული და პუასონის კოეფიციენტი.

პასუხი: $E = 1{,}084 \cdot 10^6$ კგ/სმ²;

$\mu = 0{,}325$.

1.70. წრიული განივკვეთის ფოლადის ღერო, რომლის სიგრძეა 80 მ და განივკვეთის ფართობი 10 სმ², ჩამაგრებულია ზედა ბოლოთი და იჭიმება საკუთარი წონით.

განსაზღვროთ საკუთარი წონით გამოწვეული ღეროს მოცულობის ნაზრდი, თუ ფოლადის დრეკადობის მოდული $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ², მოცულობითი წონა $\gamma = 7{,}85$ ტ/მ³ და პუასონის კოეფიციენტი $\mu = 0{,}31$.

მ ი თ ი თ ე ბ ა: საკუთარი წონის გაელენით ღეროს მოცულობის ნაზრდის გასაგებად ჯერ უნდა გავიგოთ ღეროს შუა სიგრძეში ერთეული მოცულობის ნაზრდი და გავამრავლოთ ღეროს მოცულობაზე.

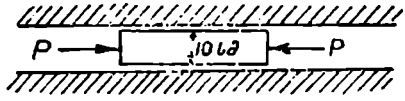
პ ა ს უ ხ ი: $\Delta V = 0{,}476$ სმ³.

1.71. წინა ამოცანის პირობებისათვის ვიპოვოთ ღეროს ჩამაგრების კვეთის რადიუსის შემცირება საკუთარი წონის გავლენით.

პ ა ს უ ხ ი: $\Delta r = -0{,}00112$ მმ.

1.72. სწორკუთხოვანი განივკვეთის თუჯის მცოცი მოძრაობს აბსოლუტურად ხისტ მიმმართველში (იხ. ნახაზი). მცოცსა და მიმმართველს შორის ღრიჯო $\delta = 0{,}02$ მმ-ს.

ვიპოვოთ ის მკუმშავი ძალა P, რომლითაც უნდა ვიმოქმედოთ მცოცზე, რომ მცოცსა და მიმმართველს შორის ღრიჯო გახდეს ნულის ტოლი.



1.72 ამოცანისათვის.

მცოცის განივკვეთის ფართობის ზომებია: 4×10 სმ; დრეკადობის მოდული $E = 1 \cdot 10^6$ კგ/სმ²; პუასონის კოეფიციენტი $\mu = 0{,}24$.

პ ა ს უ ხ ი: $P = 33333$ კგ.

1.73. ფოლადის მილი, რომლის სიგრძეა 20 სმ, გარე დიამეტრი 10 სმ და კედლის სისქე 2,5 სმ, იჭიმება 15 ტ ძალით.

ვიანგარიშოთ რამდენი პროცენტით შეიცვლება მილის შიგა მოცულობა, თუ პუასონის კოეფიციენტი $\mu = 0{,}32$ და დრეკადობის მოდული $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ².

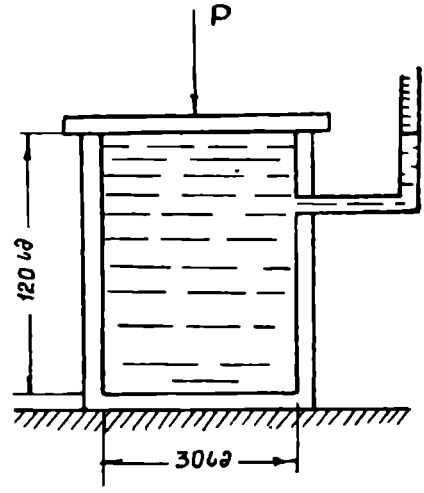
მ ი თ ი თ ე ბ ა: დეფორმაციის შემდეგ მილის შიგა მოცულობა

$$V_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} \cdot l_0,$$

სადაც l_0 და d_0 არის მილის სიგრძე, და შიგა დიამეტრი დეფორმაციის შემდეგ $l_0 = l(1+\varepsilon)$ და $d_0 = d(1-\mu\varepsilon)$.

მოცულობის ცვლილება პროცენტობით იქნება:

$$\frac{V_0 - V}{V} \cdot 100.$$



1.74 ამოცანისათვის.

1.74. ფოლადის ცილინდრული ჭურჭელი, რომლის სიგრძეა 120 სმ, შიგა დიამეტრი 30 სმ და კედლის სისქე 20 სმ, ავსებულია სითხით

(იხ. ნახაზი). რა სიდიდის მკუმშავმა ძალამ უნდა იმოქმედოს ჰურჭელზე, თუ გამოდენილი სითხის მოცულობა უდრის 24 სმ³, დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ²;

პუასონის კოეფიციენტი $\mu=0{,}32$.

პასუხი: $P=314$ ტ.

§ 3. ტვირთამტანიანობის განსაზღვრა და კვეთის შერჩევა

1.75. წრიული განივკვეთის ფოლადის ღეროზე მოქმედებს ღერძულად გამჭიმავი $P=5{,}32$ ტ ძალა. შეგარჩიოთ ღეროს საჭირო დიამეტრი, თუ დასაშვები ძაბვა ღეროს მასალისათვის $[\sigma]=1400$ კგ/სმ².

ამოხსნა: ღერძული გაჭიმვის ან კუმშვის დროს სიმტკიცის პირობას აქვს შემდეგი სახე:

$$\sigma=\frac{P}{F}\leqslant[\sigma],$$

საიდანაც

$$F\geqslant\frac{P}{[\sigma]}=\frac{5{,}32\cdot10^3}{1400}=3{,}8\ \text{სმ}^2.$$

წრის ფართობი

$$F=\frac{\pi D^2}{4}.$$

ამგვარად

$$\frac{\pi d^2}{4}\geqslant3{,}8\ \text{სმ}^2;$$

აქედან

$$d\geqslant\sqrt{\frac{4\cdot3{,}8}{3{,}14}}=2{,}2\ \text{სმ}.$$

საბოლოოდ მივიღებთ:

$$d=2{,}2\ \text{სმ}.$$

1.76. მოვძებნოთ ის დასაშვები მაქსიმალური P ძალა, რომელიც შეიძლება უშიშრად მივაყენოთ წრიული განივკვეთის ფოლადის ღეროზე, რომლისათვისაც დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1600$ კგ/სმ², დიამეტრი $d=3$ სმ.

$$P\leqslant[\sigma]\cdot F;$$

$$F=\frac{\pi d^2}{4}=\frac{3{,}14\cdot3^2}{4}=7{,}01\ \text{სმ}^2.$$

$$P=1600\cdot7{,}01=11200\ \text{კგ};\qquad P=11{,}2\ \text{ტ}.$$

1.77. ხის მოკლე ძელი, რომლის განივკვეთი წარმოადგენს კვადრატს $F=a^2$, იკუმშება $P=14{,}4$ ტ ძალით.

ვიპოვოთ განივკვეთის ზომები, თუ დასაშვები ძაბვა კუმშვაზე

$$[\sigma]=100 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: $a=12$ სმ.

1.78. ზედა ბოლოთი ჩამაგრებულ ბაგირზე ჩამოკიდებულია ტვირთი $P=5$ ტ ბაგირი შედგება $d=2$ მმ დიამეტრის მქონე მავთულებისაგან, დასაშვები ძაბვა მავთულისათვის $[\sigma]=1400$ კგ/სმ^2.

რა რაოდენობის მავთულებისაგან უნდა შედგებოდეს ბაგირი?

პასუხი: $n=114$ ცალი.

1.79. ფოლადის ცილინდრული ღეროა იჭიმება $P=15072$ კგ ძალით. მოვძებნოთ ღეროს დიამეტრი, თუ დასაშვები ძაბვა გაჭიმვაზე

$$[\sigma]=1200 \text{ კგ/სმ}^2.$$

რა მარაგით იმუშავებს ღეროა, თუ დენადობის ზღვარი

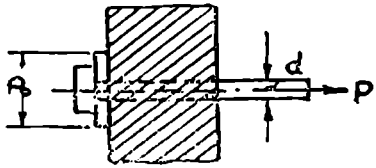
$$\sigma_{\text{დენ}}=2160 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: $d=4$ სმ.

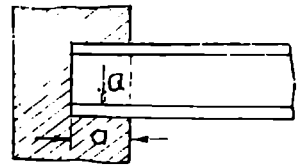
1.80. თუჯის მოკლე სვეტი მუშაობს მკუმშავ ღერძულ ძალაზე. განვსაზღვროთ ის ძალა, რომელიც გამოიწვევს სვეტის დარღვევას, თუ სვეტის დიამეტრი $d=10$ სმ-ს, დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1000$ კგ/სმ^2, მარაგის კოეფიციენტი $n=3{,}5$.

პასუხი: $P_{\text{ძღ}}=275{,}5$ ტ.

1.81. დაზიანებული კედლის შესაკვრელად მოწყობილია მჭიდი (იხ.



1.81 ამოცანისათვის.



1.82 ამოცანისათვის.

ნახაზი), რომელზედაც მოქმედებს გამჭიმავი ძალა $P=8500$ კგ.

ვიპოვოთ მჭიდის—d და საფენის დიამეტრი D, თუ დასაშვები ძაბვა მჭიდში $[\sigma]=1200$ კგ/სმ^2 და კედლის ზედაპირზე $[\sigma]=15$ კგ/სმ^2.

პასუხი: $d=3$ სმ;

$D=26{,}6$ სმ.

1.82. კოჭი სიგანით $b=12$ სმ დაყრდნობილია აგურის კედელზე (იხ. ნახაზი). კოჭის ბოლოთი კედელს გადაეცემა $Q=4$ ტ ძალა.

რა სიგრძით უნდა ეყრდნობოდეს კოჭი კედელს, თუ წყობაზე დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=8$ კგ/სმ².

პასუხი: $a\cong 42$ სმ.

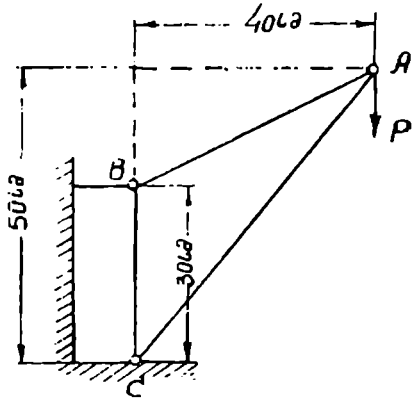
1.83. მილისებური თუჯის მოკლე სვეტის გარეთა დიამეტრი $D=20$ სმ-ს, რომელზედაც ბჭმედებს მკუმშავი ძალა $P=160$ ტ.

განვსაზღვროთ მილის კედლის საჭირო სისქე „t", თუ დასაშვები ძაბვა კუმშვაზე $[\sigma]=800$ კგ/სმ².

პასუხი: $t=4$ სმ.

1.84. ვიანგარიშოთ უკოსინის სისტემის ამწის გაჭიმული AB ღეროს დიამეტრი, თუ მაქსიმალური ტვირთი, რომელიც უკოსინმა უნდა აიტანოს, ტოლია $P=5000$ კგ-სა, დასაშვები ძაბვა AB ღეროს მასალისათვის $[\sigma]=1200$ კგ/სმ².

გეომეტრიული ზომები ნაჩვენებია ნახაზზე.

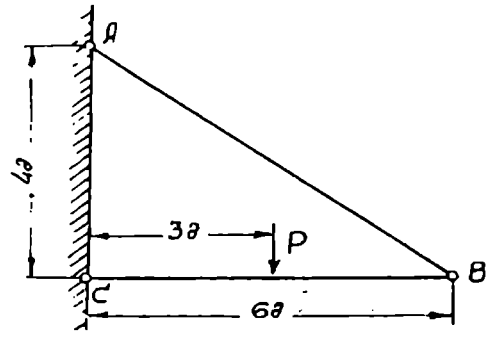


1.84 ამოცანისათვის.

მითითება: AB ღეროში ძალის მოსაძებნად საჭიროა ამოვკვეთოთ A კვანძი და გამოვიყენოთ წონასწორობის პირობები

$$\Sigma X=0 \text{ და } \Sigma Y=0.$$

პასუხი: $d=2{,}83$ სმ.



1.85 ამოცანისათვის.

1.85. რას უნდა უდრიდეს AB ფოლადის მჭიმის ფართობი (იხ. ნახაზი), თუ BC ღეროს შუაში მოქმედებს ვერტიკალური ძალა. $P=4$ ტ და მჭიმის მასალისათვის დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1200$ კგ/სმ².

პასუხი: $F\cong 3$ სმ².

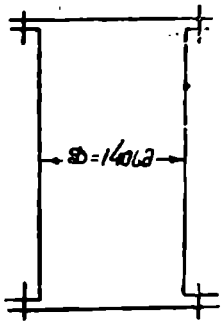
1.86. წრიული განივკვეთის ორთქლის ქვაბში, რომლის დიამეტრი $D=140$ სმ-ს ორთქლის წნევა აღწევს 6 ატმ-ს (იხ. ნახაზი).

ვიანგარიშოთ ჭანჭიკთა რიცხვი, რომელიც საჭიროა ქვაბის ცილინ-

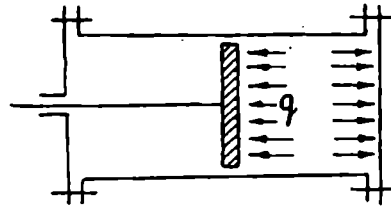
დრულ-ტანთან სახურავის მისამაგრებლად, თუ ჭანჭიკის დიამეტრი $d=14$ მმ-ს და დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=800$ კგ/სმ².

პასუხი: $n\cong 75$ ცალი.

1.87. ორთქლის მანქანის ცილინდრში წნევა $q=15$ ატმ-ს, ცილინდრის შიგა დიამეტრი $D=400$ მმ-ს (იხ. ნახაზი).



1.86 ამოცანისათვის.



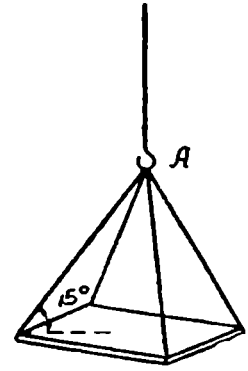
1.87 ამოცანისათვის.

რამდენი მოქლონია საჭირო ცილინდრის ფუძის ტანზე მისამაგრებლად, თუ მოქლონის დიამეტრი $d=20$ მმ-ს და დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=500$ კგ/სმ².

პასუხი: $n=12$ ცალი.

1.88. კვადრატული ფორმის ამწის ბაქანი ჩამოკიდებულია ოთხი თანატოლი სიგრძის მავთულზე, რომლებიც A კვანძში ამწის ბაგირთან ადგენენ 45° კუთხეს.

შევარჩიოთ მავთულის დიამეტრი, თუ მავთულზე დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1000$ კგ/სმ² და ასაწევი ტვირთის წონა $Q=2$ ტ.



1.88 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: რადგანაც ოთხივე მავთული სიმეტრიულია ძალის მოქმედების მიმართ, ამიტომ ყველა მავთულში აღძრული ძალა თანატოლი იქნება.

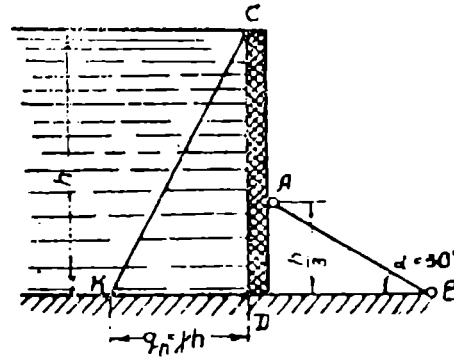
ამოვკვეთოთ A კვანძი და განვიხილოთ მისი წონასწორობა. დავაგეგმილოთ ყველა მოქმედი ძალა, რომლებიც თავს იყრიან კვანძში ამწის ბაგირის მიმართულებაზე, მივიღებთ:

$$Q-4\cdot S\cos 45^\circ=0;\qquad S=\frac{Q}{4\cos 45^\circ};\qquad S=\frac{2000}{4\frac{\sqrt{2}}{2}}=707\ \text{კგ};$$

$$F=\frac{S}{[\sigma]}=\frac{707}{1000}=0{,}707\ \text{სმ}^2\qquad \text{და}\qquad d\cong 0{,}95\ \text{სმ}.$$

1.89. წყლის გადამკეტი ფარი CD თავისუფლად ეყრდნობა D ბოლოთი და სახსრულად არის მიმაგრებული წრიული განივკვეთის ხის AB ბჯენთან; უკანასკნელი ჰორიზონტთან ადგენს $\alpha=30°$ კუთხეს (იხ. ნახაზი). წყლის სიღრმე $h=4{,}5$ მ-ს, სიგანე $b=6$ მ-ს. ბჯენის ფართან მიერთების ადგილი A ფუძიდან დაშორებულია $\frac{h}{3}$ მანძილით.

გამოვიანგარიშოთ რამდენი ცალი ბჯენია საჭირო, თუ თვითეული მათგანის დიამეტრი $d=18$ სმ-ს და კუმშვაზე დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=100$ კგ/სმ².



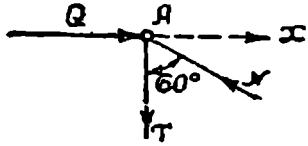
1.89 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: წყლის დაწოლა კედელზე ნაწილდება სწორი ხაზის წესით, წყლის ზედაპირზე დაწოლის ინტენსივობა $q_0=0$, ხოლო h სიღრმეზე $q_h=\gamma h$, სადაც γ არის წყლის მოცულობითი წონა.

წყლის დაწოლის სიდიდე მთელ ფართობზე აღვნიშნოთ Q-თი

$$Q=\frac{q_h\cdot h}{2}\cdot b=\frac{1\cdot 4{,}5\cdot 4{,}5}{2}\cdot 6=$$
$$=60{,}75\ \text{ტ}.$$

როგორც ცნობილია, წყლის დაწოლის ტოლქმედი Q გადის წნევის სამკუთხედის ცენტრში, ე. ი. ჩვენი მაგალითისათვის A სახსარში ბჯენზე მოსული N ძალის გასაანგარიშებლად ამოვკვეთოთ A კვანძი და განვიხილოთ მისი წონასწორობა (იხ. ნახაზი).



1.89′ ამოცანისათვის.

$\Sigma X=0$ გვაძლევს $Q-N\cos 30°=0$

აქედან $N=\frac{Q}{\cos 30°}=\frac{60{,}75}{0{,}866}=70$ ტ.

ფარის დასამაგრებლად საჭირო ბჯენების ფართობი

$$F=\frac{70000}{100}=700\ \text{სმ}^2,$$

ერთი ბჯენის ფართობი

$$f=\frac{3{,}14\cdot 18^2}{4}=256\ \text{სმ}^2.$$

ბჯენთა რიცხვი

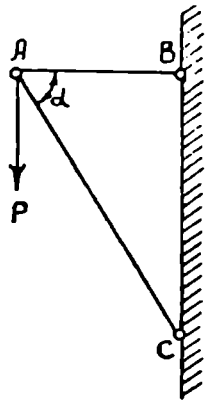
$$n=\frac{F}{f}=\frac{700}{256}=2{,}74.$$

მივიღებთ 3 ბჯენს, დიამეტრით 18 სმ.

1.90. ვიანგარიშოთ წინა ამოცანის პირობებში ბჯენთა რიცხვი, თუ წყლის სიღრმე $h=6$ მ-ს, ფარის სიგანე $b=8$ მ-ს, ბჯენის დახრის კუთხე $\alpha=45°$, დასაშვები ძაბვა ბჯენზე $[\sigma]=80$ კგ/სმ², და ბჯენის განივკვეთი 20×20 სმ².

პასუხი: $n=5{,}2\cong6$ ცალი.

1.91. ნახაზზე ნაჩვენები სახსროვანი სისტემის AB ღერო ფოლადისაა, რომლისთვისაც $[\sigma]=1400$ კგ/სმ², AC ღერო კი ხისაა $[\sigma]=40$ კგ/სმ².



1.91 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ AB და AC ღეროების განივკვეთის ფართობი, თუ კუთხე $\alpha=60°$ და $P=6$ ტ.

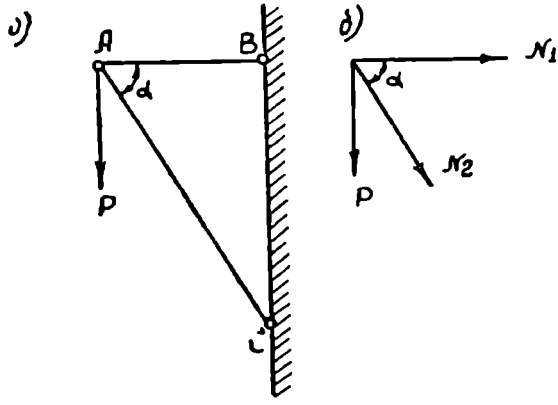
პასუხი: $F_ფ=2{,}48$ სმ²;
$F_ხ=173{,}5$ სმ².

1.92. სახსროვანი სისტემის ფოლადის AB ღეროს განივკვეთი $F_1=5$ სმ², დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1400$ კგ/სმ², ხის ღეროს განივკვეთის ფართობი

$$F_2=200 \text{ სმ}^2;$$
$$[\sigma]=40 \text{ კგ/სმ}^2.$$

გამოვთვალოთ P ძალის მაქსიმალური დასაშვები სიდიდე, თუ ღეროებს შორის კუთხე $\alpha=60°$ (იხ. ნახაზი).

ამოხსნა: ამოვკვეთოთ A კვანძი და განვიხილოთ მისი წონასწორობა (იხ. ნახაზი).



1.92 ამოცანისათვის.

$$\Sigma X=N_1+N_2\cos\alpha=0;$$
$$\Sigma Y=P+N_2\sin\alpha=0;$$
$$N_2=\frac{P}{\sin60°}=$$
$$=-\frac{P}{0{,}866};$$
$$N_1=P\frac{\cos60°}{\sin60°}=$$
$$=P\operatorname{ctg}60°=0{,}577\ P.$$

ამგვარად:

$N_1=0{,}577\ P$,
$N_2=1{,}155\ P$.

მიღებული ძალები გვიჩვენებენ, რომ AB ღერო იჭიმება, ხოლო AC იკუმშება.

AB ღეროსათვის სიმტკიცის პირობას აქვს შემდეგი სახე:

$$\sigma_{ე} = \frac{N_1}{F_1} = \frac{0{,}577\ P}{5} \leqslant 1400;$$

აქედან

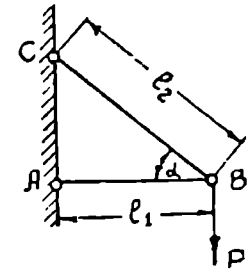
$$P \leqslant \frac{5 \cdot 1400}{0{,}577} = 12130 \text{ კგ.}$$

AC ღეროს სიმტკიცის პირობიდან გვაქვს:

$$\sigma_{ე} = \frac{N_2}{F_2} = \frac{1{,}155\ P}{200} \leqslant 40,$$

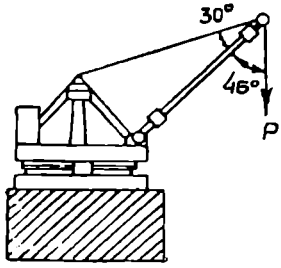
საიდანაც

$$P \leqslant \frac{40 \cdot 200}{1{,}155} = 6940 \text{ კგ.}$$



1.93 ამოცანისათვის.

მაშასადამე, უდიდესი დასაშვები ძალის მნიშვნელობა მიიღება AC ღეროს სიმტკიცის პირობიდან და $P_{დას} = 6940$ კგ.



1.94 ამოცანისათვის.

1.93. ABC სახსროვანი სისტემის B კვანძზე მოდებულია ძალა $P = 10$ ტ (იხ. ნახაზი).

ჰორიზონტალურ AB ღეროს სიგრძე $l_1 = 2$ მ-ს, დახრილი CB ღერო ჰორიზონტთან ადგენს α კუთხეს.

განვსაზღვროთ α კუთხის მნიშვნელობა, რომელსაც შეესაბამება ღეროების მასალის მინიმალური ხარჯი, წრიული განივკვეთის AB და BC ღეროების საჭირო ფართობები და B კვანძის ვერტიკალური გადაადგილება, თუ ღეროები ფოლადისაა, რომლებისთვისაც დასაშვები ძაბვა $[\sigma] = 1200$ კგ/სმ²; დრეკადობის მოდული $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ².

პ ა ს უ ხ ი: $\alpha = 54° 45'$;

$$d_1 = 2{,}74 \text{ სმ}; \qquad d_2 = 3{,}60 \text{ სმ};$$

$$\delta = \Delta l_1 \operatorname{ctg} \alpha + \frac{\Delta l_2}{\sin \alpha} \cong 0{,}34 \text{ სმ.}$$

1.94. რა მაქსიმალური ტვირთის აწევა შეუძლია მბრუნავ ამწეს (იხ. ნახაზი) ისრების უშიშრად მოძრაობის დროს, თუ ამწეს ქვედა ისრის განივკვეთის ფართობი $F_1 = 3$ სმ², ზედასი კი $F_2 = 2$ სმ². გაჭიმვაზე დასაშვები ძაბვა $[\sigma] = 1000$ კგ/სმ²; კუმშვაზე — $[\sigma] = 700$ კგ/სმ².

პ ა ს უ ხ ი: $P_{დას} = 1087$ კგ.

1.95. მოცემული გვაქვს ბაგირი, რომელიც შედგება 64 მავთულისაგან, რომელთა დიამეტრი — $d=2{,}4$ მმ-ს.

ვიანგარიშოთ ის ძალა, რომელიც გაწყვეტს ბაგირს, თუ მავთულის მრღვევი ძაბვა $\sigma_{\text{მრ}}=15000$ კგ/სმ² და ბაგირში მავთულთა შორის ძალთა განაწილების უთანასწორობის კოეფიციენტი $\eta=1{,}2$.

პასუხი: $P_{\text{მრღ}}=36{,}3$ ტ.

1.96. მრგვალი ფორმის ფოლადის ღეროზე მოქმედებს ნიშანცვლადი ძალა $P=4000$ კგ.

ვიანგარიშოთ ღეროს დიამეტრი, თუ მრღვევი ძაბვა ფოლადისათვის $\sigma_{\text{მრ}}=5500$ კგ/სმ², ხოლო მარაგის კოეფიციენტი $n=5$.

პასუხი: $d_1=2{,}15$ სმ.

1.97. ქარხანამ მიიღო ბაგირი, რომელიც შედგება 2 მმ-იანი დიამეტრის 68 ფოლადის მავთულისაგან.

დასადგენია ის დასაშვები ტვირთი, რომელზედაც ბაგირს შეუძლია უშიშრად იმუშაოს.

ცალკეული მავთულების გამოცდამ გვიჩვენა, რომ მრღვევი ძაბვა $\sigma_{\text{მრ}}=20000$ კგ/სმ². ბაგირის მუშაობის პირობების შესაბამისი მარაგის კოეფიციენტი უდრის 9-ს (ბაგირში ცალკეულ მავთულთა არათანაბარ მუშაობას მხედველობაში არ ვღებულობთ).

პასუხი: $P=4750$ კგ.

1.98. რკინიგზის ხიდის ფერმის ირიბანაში მატარებლის გავლისას აღძრული მაქსიმალური ძალა $P=46$ ტ-ს.

ვიანგარიშოთ ირიბანის განივკვეთის ფართობი, თუ მასალის დენადობის ზღვარი $\sigma_{\text{დენ}}=2500$ კგ/სმ², მარაგის კოეფიციენტი $n=1{,}5$ და ძალის დინამიკური მოქმედების კოეფიციენტი $K=1{,}1$.

პასუხი: $F=30{,}3$ სმ².

1.99. შიგაწვის ძრავის ბარბაცა მუშაობს 3030 კგ ნიშანცვლად დატვირთვაზე.

ვიანგარიშოთ ბარბაცას მინიმალური განივკვეთის ფართობი, თუ მრღვევი ძაბვა $\sigma_{\text{მრ}}=8500$ კგ/სმ² და მარაგის კოეფიციენტი $n=7$-ს.

პასუხი: $F=2{,}5$ სმ².

1.100. მალი, რომლის სიგრძეა 8 მ, გადახურულია თაღით (იხ. ნახაზი). თაღის საყრდენზე აღიძვრება გამბჯენი ძალა $P=16$ ტ, რომელსაც მთლიანად იღებს წრიული კვეთის ფოლადის მჭიმი.

ვიანგარიშოთ მჭიმის დიამეტრი და აბსოლუტური გრძივი დეფორმაცია, თუ დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1400$ კგ/სმ² და $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ².

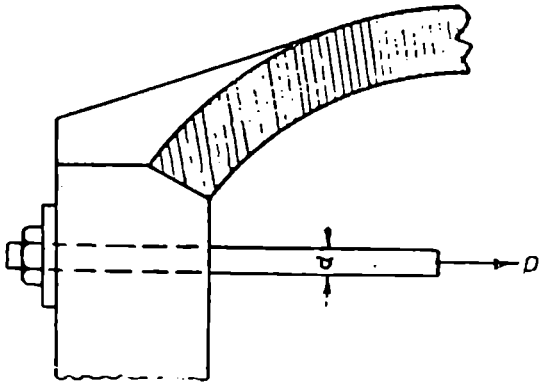
პასუხი: $d=3{,}8$ სმ;

$\Delta l=0{,}44$ სმ.

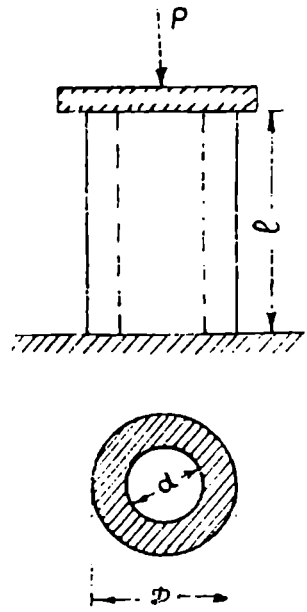
1.101. რა ძალის ატანა შეუძლია მილისებურ თუჯის სვეტს (იხ. ნახაზი) და რას უდრის გრძივი აბსოლუტური დეფორმაცია, თუ სვეტის სიგრძე $l=4$ მ-ს, განივკვეთის გარე დიამეტრი $D=16$ სმ-ს, შიგა დიამეტრი $d=12$ სმ-ს, დასაშვები ძაბვა კუმშვაზე $[\sigma]=800$ კგ/სმ²; დრეკადობის მოდული $E=1\cdot10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: $P=70336$ კგ;

$\Delta l=0{,}32$ სმ.



1.100 ამოცანისათვის.



1.101 ამოცანისათვის.

1.102. სწორკუთხოვანი განივკვეთის ხის სვეტზე მოქმედებს ცენტრალური მკუმშავი ძალა $P=10$ ტ.

ვიპოვოთ განივკვეთის ზომები და გრძივი ფარდობითი დეფორმაცია, თუ სვეტის განივკვეთის გვერდების ფარდობა $\frac{a}{b}=1{,}2$; დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=120$ კგ/სმ² და დრეკადობის მოდული $E=1{,}2\cdot10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: $a=10$ სმ;

$b=8{,}3$ სმ;

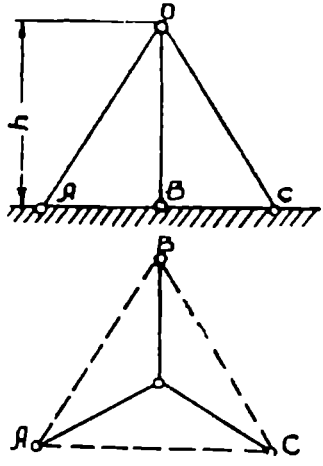
$\varepsilon=0{,}001$.

1.103. ორი ერთი და იგივე სიგრძის მავთული, ერთი ფოლადის ($E=2\cdot10^6$ კგ/სმ²) და მეორე სპილენძის ($E=1\cdot10^6$ კგ/სმ²) იჭიმება ტოლი ძალით. ფოლადის მავთულის დიამეტრია 1,2 მმ, რას უდრის

სპილენძის მავთულის დიამეტრი, თუ ორივე მავთული წაგრძელდა ერთი და იმავე სიდიდით.

პასუხი: $d=1{,}7$ მმ-ს.

1.104. ცხრა ტონა ტვირთის ასაწევად მოწყობილია ხის მორებისაგან შედგენილი სამფეხი, რომლისთვისაც $(AO)=(BO)=(CO)=4$ მ (იხ. ნახაზი).



1.104 ამოცანისათვის.

სამფეხის სიმაღლე, ე. ი. მიწის ზედაპირიდან O კვანძის დაშორება $h=3$ მ-ს. ტვირთის ასაწევად O კვანძში მოწყობილია უძრავი ჭაღი.

მორების A, B და C ბოლოები სახსრულად არის მიმაგრებული ტოლგვერდა სამკუთხედის წვეროებზე.

როგორი უნდა იყოს მორის დიამეტრი, თუ აღებული შემთხვევისათვის დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=10$ კგ/სმ². რა სიდიდით დაიწევა O კვანძი, თუ $E=10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: $d=31{,}9$ სმ;

$\delta=0{,}534$ მმ.

თავი მეორე

სტატიკურად ურკვევი სისტემები

მოკლე ცნობები თეორიიდან

სტატიკურად ურკვევი ამოცანების ამოსახსნელად, სტატიკის წონასწორობის პირობების გარდა საჭიროა შედგეს იმდენი დამატებითი განტოლება, რამდენჯერაც ამოცანა სტატიკურად ურკვევია. დამატებითი განტოლება სისტემის დეფორმაციის ერთიანობის კანონიდან დგება და ყოველი განსახილავი ამოცანისათვის კერძო სახე აქვს.

ტემპერატურის ცვალებადობის გავლენა

ღეროს წაგრძელება, რომელსაც აქვს თავისუფლად გადაადგილების საშუალება:

$$\Delta l = \alpha(t_2 - t_1)l.$$

ორივე ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებულ ღეროში აღძრული ძაბვა $\sigma = \alpha E(t_1 - t_2)$ და ძალა

$$P = \sigma F = \alpha EF(t_1 - t_2).$$

ამ ფორმულებში α არის მასალის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი; t_1 და t_2—საწყისი და საბოლოო ტემპერატურები.

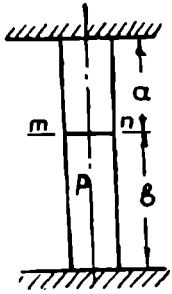
§ 4. ძაბვების და დეფორმაციების განსაზღვრა

2.1. ორივე ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებულ მუდმივი განივკვეთის ღეროზე, რომლის ფართობია $F = 100$სმ^2, $m-n$ კვეთში მოქმედებს ღერძული ძალა $P = 42$ ტ (იხ. ნახაზი). $m-n$ კვეთი ღეროს ბოლოებიდან დაშორებულია $a = 2$ მ და $b = 3$ მ-ით. ღეროს ზედა ნაწილი სპილენძისაა, ქვედა კი ფოლადის.

განვსაზღვროთ ძაბვები ღეროს ზედა და ქვედა განივკვეთში, თუ დრეკადობის მოდული ფოლადისათვის $E_2 = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ^2 და სპილენძისათვის $E_1 = 1 \cdot 10^6$ კგ/სმ^2.

ა მ ო ხ ს ნ ა: როგორც ნახაზიდან ჩანს, ღეროს სპილენძის ნაწილი იჭიმება უცნობი P_1-ძალით, ხოლო ფოლადის ნაწილი იკუმშება უცნობი

P_2 ძალით. ზედა და ქვედა კვეთებში ძაბვების მოსაძებნად საჭიროა P_1 და P_2 ძალების სიდიდეების განსაზღვრა. წონასწორობის პირობებიდან ვღებულობთ მხოლოდ ერთ განტოლებას, სახელდობრ: $P_1+P_2=P$.



2.1 ამოცანისათვის.

მეორე დამატებითი განტოლება უნდა შევადგინოთ დეფორმაციის ერთიანობის პირობიდან, რაც მდგომარეობს შემდეგში: სპილენძის ნაწილის დაგრძელება ფოლადის ნაწილის დამოკლების ტოლი უნდა იყოს, ე. ი. $\Delta a=\Delta b$. თუ ჰუკის კანონს გამოვიყენებთ, დეფორმაციის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე:

$$\frac{P_1 a}{E_1 F}=\frac{P_2 b}{E_2 F},$$

თუ მიღებულ განტოლებაში შევიტანთ ცნობილი სიდიდეების მნიშვნელობებს მივიღებთ:

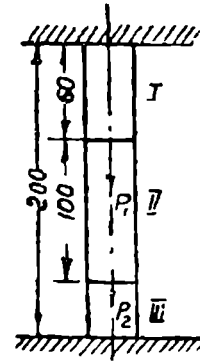
$$P_1=\frac{3P_2}{4}.$$

ჩავსვათ P_1-ის მნიშვნელობა წონასწორობის განტოლებაში, გვექნება:

$$\frac{3P_2}{4}+P_2=P;$$

$$P_2=\frac{4P}{7}=24 \text{ ტ};$$

$$P_1=18 \text{ ტ}.$$



შესაბამისად

$$\sigma_1=\frac{P_1}{F}=\frac{18000}{100}=180 \text{ კგ/სმ}^2.$$

$$\sigma_2=\frac{P_2}{F}=-\frac{24000}{100}=240 \text{ კგ/სმ}^2.$$

2.2. ფოლადის სვეტი, რომლის სიმაღლეა 200 სმ და განივკვეთის ფართობი 100 სმ², ჩამაგრებულია ორივე ბოლოთი. სვეტის $m-n$ და m_1n_1 კვეთებში მოქმედებენ ღერძული ძალები (იხ. ნახაზი).

2.2 ამოცანისათვის.

პირველი ძალის მოდების წერტილი ზედა საყრდენიდან დაცილებულია 60 სმ-ით, ხოლო მეორე ძალისა 160 სმ-ით.

ვიპოვოთ ძაბვები სვეტის სამივე უბნის ნორმალურ კვეთებში, თუ

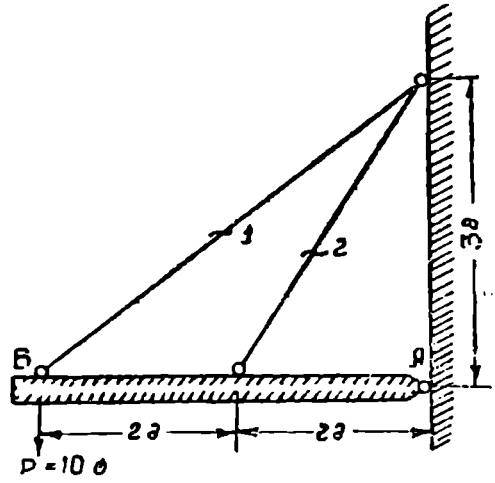
$$P_1=30 \text{ ტ და } P_2=40 \text{ ტ}.$$

პასუხი:

$$\sigma_1 = +290 \text{ კგ/სმ}^2;$$
$$\sigma_2 = -10 \text{ კგ/სმ}^2;$$
$$\sigma_3 = -410 \text{ კგ/სმ}^2.$$

2.3. ხისტი ძელი (რომლის დეფორმაციას მხედველობაში არ ვღებულობთ) მიმაგრებულია კედელზე სახსრით და 1 და 2 ტოლგანივკვეთიანი მჭიმებით (იხ. ნახაზი). 1-ლი მჭიმი სპილენძისაა, მე-2 ფოლადის. ხისტი ძელის B ბოლოზე დაკიდებულია $P=10$ ტ ტვირთი.

განვსაზღვროთ 1-ლი და მე-2 მჭიმებში აღძრული ძალები, თუ ფოლადის და სპილენძის დრეკადობის მოდულთა ფარდობა უდრის 2-ს.



2.3 ამოცანისათვის.

პასუხი:

$$S_1 = 7{,}08 \text{ ტ};$$
$$S_2 = 13{,}72 \text{ ტ}.$$

2.4. ფოლადის ღერო, რომლის დიამეტრი $d=2$ სმ-ს, წინასწარ გაჭიმულია $P=2$ ტ ძალით და მოთავსებულია წრიული განივკვეთის $D=4$ სმ ბეტონის მასივში. ბეტონის გამაგრების შემდეგ ფოლადის ღეროს ძალას აშორებენ.

როგორი ძაბვა აღიძვრება ფოლადში და ბეტონში, თუ მივიღებთ, რომ ბეტონი და ფოლადი ბეტონის გამაგრების შემდეგ მუშაობენ მონოლითურად

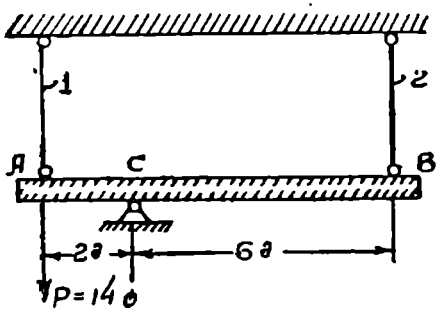
$$E_ფ = 2 \cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2;$$
$$E_ბ = 1 \cdot 10^5 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: $\sigma_ფ = +112{,}35$ კგ/სმ^2;
$\sigma_ბ = -37{,}45$ კგ/სმ^2.

2.5. AB ხისტი კოჭი ეყრდნობა მყარ C სახსროვან საყრდენს და დაკიდებულია თანატოლი სიგრძის ორი ღეროთი (იხ. ნახაზი). 1-ლი ღერო სპილენძისაა, რომლის ფართობი $F_1=15$ სმ^2-ს და $E_ს=1 \cdot 10^6$ კგ/სმ^2-ს; მე-2 ღერო ფოლადისაა, განივკვეთის ფართობით $F_2=5$ სმ^2-ს და $E_ფ = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ^2-ს. კოჭის ბოლოზე მოქმედებს ძალა $P=14$ ტ.

განვსაზღვროთ 1-ლ და მე-2 ღეროებში აღძრული ძაბვები.

პასუხი: $\sigma_1 = +133{,}3$ კგ/სმ²; $\sigma_2 = -800$ კგ/სმ².



2.5 ამოცანისათვის.

2.6. ერთი და იგივე განივკვეთის ფოლადის სამი ღერო თავს იყრის A სახსარში, რომელშიც მოდებულია ვერტიკალური ძალა $P = 20$ ტ. ღეროების სიგრძე, მათი საყრდენებთან მიმაგრების სქემა და მიმართულება ნაჩვენებია ნახაზზე (იხ. ნახაზი).

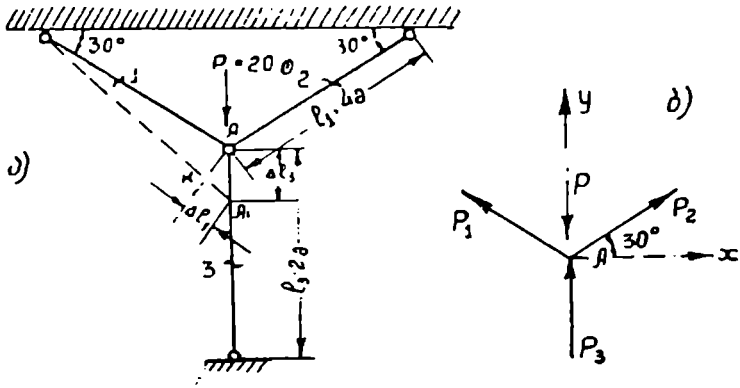
განვსაზღვროთ ღეროებში აღძრული ძალები.

ამოხსნა: ამოვკვეთოთ A კვანძი და განვიხილოთ მისი წონასწორობა (იხ. ნახაზი). $\Sigma x = 0$ მოგვცემს: $P_1 = P_2$, ხოლო $\Sigma y = 0$-დან მივიღებთ:

$$2P_1 \cos 60^\circ + P_3 - P = 0, \qquad (ა)$$

აქედან

$$P_1 + P_3 = P$$



2.6 ამოცანისათვის.

დამატებით განტოლებას ვადგენთ დეფორმაციის ერთიანობის პირობიდან, რომლის მიხედვით დახრილი ღეროების შეუღლად გადაადგილება უდრის ვერტიკალური ღეროს დამოკლებას AA_1-ს, ე. ი.

$$AA_1 = \frac{KA_1}{\cos 60^\circ}. \qquad (ბ)$$

(დეფორმაციის სიმცირის გამო KA_1A კუთხე შეიძლება ჩავთვალოთ 60°-ის ტოლად).

KA_1 არის დახრილი ღეროს წაგრძელება:

$$KA_1 = \frac{P_1 \cdot l_1}{EF};$$

შვეული ღეროს დამოკლება

$$AA_1 = \frac{P_3 \cdot l_3}{EF};$$

ეს მნიშვნელობები შევიტანოთ (*ბ*) განტოლებაში, მივიღებთ:

$$\frac{P_3 l_3}{EF} = \frac{P_1 l_1}{EF \cos 60°}; \qquad P_3 \cdot 2 = \frac{P_1 \cdot 4}{0{,}5};$$

$$P_3 = 4P_1.$$

P_3-ის მნიშვნელობა შევიტანოთ (*ა*) განტოლებაში:

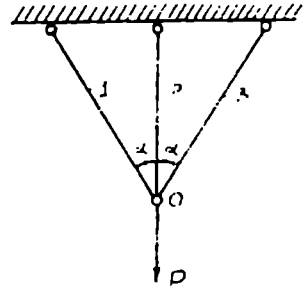
$$P_1 + 4P_1 = P; \qquad 5P_1 = P;$$

$$P_1 = \frac{P}{5} = \frac{20}{5} = 4 \text{ ტ};$$

$$P_3 = 4 \cdot P_1 = 16 \text{ ტ}.$$

2.7. წინა ამოცანის პირობებისათვის განვსაზღვროთ ღეროებში აღძრული ძალები, თუ დახრილი ღეროები ფოლადისაა, რომლისთვისაც $E_ფ = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ², და სპილენძის ვერტიკალური ღერო დრეკადობის მოდულით

$$E_ს = 1 \cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$



2.8 ამოცანისათვის.

პასუხი: $P_1 = P_2 = \frac{20}{3} = 6\frac{2}{3}$ ტ;

$$P_3 = 13\frac{1}{3} \text{ ტ}.$$

2.8. ერთი და იგივე განივკვეთის ფოლადის სამ ღეროზე ჩამოკიდებული 4 ტ ტვირთი.

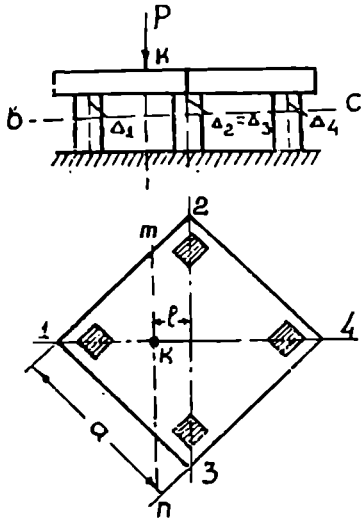
განვსაზღვროთ რა ძალები აღიძვრება ღეროებში და რას უდრის 0 კვანძის გადაადგილება Δl, თუ ღეროს განივკვეთის ფართობი უდრის 2 სმ²-ს, შუა

ღეროს სიგრძე $l=2$ მ²-ს და განაპირა ღეროების დახრის კუთხე ვერტიკალთან $\alpha=40°$-ს (იხ. ნახაზი).

პასუხი: $P_1=P_3=1238$ კგ; $P_2=2105$ კგ.

$$\Delta l=1{,}05 \text{ მმ}.$$

2.9. როგორ განაწილდება კვადრატული მაგიდის ფეხებზე P ძალის დაწოლა, თუ P ძალა მოდებულია კვადრატის დიაგონალზე და ცენტრიდან l მანძილითაა დაშორებული (იხ. ნახაზი). ვგულისხმობთ, რომ მაგიდის ზედაპირი აბსოლუტურად ხისტია და მაგიდა ტოლი განივკვეთის ფეხებით იატაკზეა მიმაგრებული.



2.9. ამოცანისათვის.

ამოხსნა: P ძალის მოქმედებით მაგიდის ფეხებში აღძრული ძალები აღვნიშნოთ შესაბამისად P_1, P_2, P_3 და P_4-ით ნახაზზე ნაჩვენები bc დახრილი ხაზი გვიჩვენებს მაგიდის დეფორმაციის მიმართულებას, საიდანაც

$$\frac{\Delta_1+\Delta_4}{2}=\frac{\Delta_2+\Delta_3}{2},$$

ან

$$\Delta_1+\Delta_4=\Delta_2+\Delta_3.$$

ნახაზიდან ჩანს, რომ $\Delta_2=\Delta_3$, ამიტომ შესაბამისი ძალებიც თანატოლი უნდა იყოს, ე. ი. $P_2=P_3$.

საბოლოოდ დეფორმაციის განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\Delta_1+\Delta_4=2\Delta_2.$$

თუ დეფორმაციებს ძალებით გამოვსახავთ, გვექნება:

$$\frac{P_1l}{EF}+\frac{P_4l}{EF}=2\frac{P_2l}{EF},$$

აქედან

$$P_1+P_4=2P_2 \qquad (ა)$$

ძალთა გეგმილების ჯამი ვერტიკალურ ღერძზე მოგვცემს:

$$P_1+P_4+2P_2=P \qquad (ბ)$$

ამ განტოლებაში P_1+P_4-ის მაგივრად შევიტანოთ მისი მნიშვნელობა $2P_2$, გვექნება:

$$2P_2+2P_2=P,$$

საიდანაც

$$P_2=\frac{P}{4}.$$

შემდეგი განტოლების შესადგენად ავიღოთ ძალთა მომენტების ალგებრული ჯამი K წერტილზე გამავალი 2—3 დიაგონალის პარალელური $m—n$ ღერძის მიმართ.

$$P_1\left(\frac{a\sqrt{2}}{2}-l\right)-2\,\frac{P}{4}\cdot l-P_4\left(\frac{a\sqrt{2}}{2}+l\right)=0 \qquad (გ)$$

(ა) და (გ) განტოლების ამოხსნით მივიღებთ:

$$P_1=\frac{P}{4}+\frac{Pl}{a\sqrt{2}} \quad \text{და} \quad P_4=\frac{P}{4}-\frac{Pl}{a\sqrt{2}}.$$

$$P_2=P_3=\frac{P}{4}.$$

P_4-ის მნიშვნელობიდან ჩანს, რომ როცა $l>\frac{a\sqrt{2}}{4}$ მეოთხე საყრდენში აღიძვრება გამჭიმავი ძალა.

2.10. რკინაბეტონის სვეტზე, რომლის განივკვეთის ფართობია 30×30 სმ², მოქმედებს მკუმშავი ძალა $P=25650$ კგ.

ვიანგარიშოთ რა ძაბვები აღიძვრება ბეტონში და არმატურაში, თუ არმატურის ფართობი შეადგენს ბეტონის ფართობის $2^0/_0$-ს და

$$E_{ბ}=2{,}5\cdot10^3 \text{კგ/სმ}^2,\ E_{ფ}=2\cdot10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: ბეტონი და არმატურა იმდენად მკვიდრად არიან ერთმანეთთან დაკავშირებული, რომ მათი დეფორმაციები თანატოლია.

პ ა ს უ ხ ი: $\sigma_{ბ}=25$ კგ/სმ².

$\sigma_{არ}=200$ კგ/სმ².

2.11. წინასწარდაძაბული რკინაბეტონის ღეროში არმატურის დაჭიმულობის ძალა $S=700$ კგ-ს.

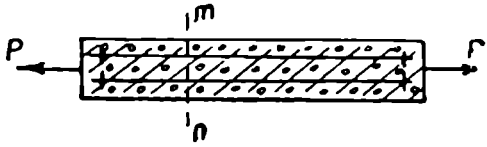
განვსაზღვროთ ძაბვა ბეტონში და არმატურაში, თუ რკინაბეტონის ღეროზე მოვდებთ $P=1$ ტ გამჭიმავ ძალას (იხ. ნახაზი). არმატურის ფართობი $E_{ფ}=0{,}0705$ სმ²-ს.

$$E_{ფ}=2\cdot10^6 \text{ კგ/სმ}^2,\ F_{ბ}=10 \text{ სმ}^2,\ E_{ბ}=2\cdot10^5 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ა მ ო ხ ს ნ ა: რკინაბეტონის კონსტრუქციებში რკინა და ბეტონი წარმოადგენენ ერთ მთლიან მონოლითურ მასალას, სადაც ორივე მასალა განიცდის თანაბარ დეფორმაციას

$$\Delta l_ფ = \Delta l_ბ = \Delta l .$$

ძალების განაწილება ურთიერთ შორის მოხდება ფართობისა და სიხისტის პროპორციულად. ძალა, რომელსაც მიიღებს არმატურა ტოლია



2.11 ამოცანისათვის.

$$P_ფ = \frac{\Delta l}{l} F_ფ \cdot E_ფ,$$

სადაც Δl არის წინასწარ დაძაბული რკინაბეტონის ღეროს აბსოლუტური წაგრძელება გამოწვეული გარე ძალით. ძალა, რომელიც გადაეცემა ბეტონს

$$P_{ბეტ} = \frac{\Delta l}{l} F_{ბეტ} \cdot E_{ბეტ}.$$

წონასწორობის პირობიდან შეგვიძლია დავწეროთ:

$$P = P_ფ + P_{ბეტ};$$

შევიტანოთ მარჯვენა ნაწილში ზემოხსენებული მნიშვნელობები, მივიღებთ:

$$P = \frac{\Delta l}{l}(F_ფ E_ფ + F_{ბეტ} E_{ბეტ}) = \varepsilon (F_ფ E + F_{ბეტ} E_{ბეტ}),$$

საიდანაც

$$\varepsilon = \frac{P}{F_ფ E_ფ + F_{ბეტ} E_{ბეტ}} = \frac{1000}{0{,}0705 \cdot 2 \cdot 10^6 + 10 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0{,}000467;$$

P ძალით გამოწვეული ძაბვა ფოლადის ღეროში იქნება:

$$\varepsilon \cdot E_ფ = 0{,}000467 \cdot 2 \cdot 10^6 = 934 \text{ კგ/სმ}^2,$$

ხოლო ბეტონში

$$\varepsilon E_{ბეტ} = 0{,}000467 \cdot 2 \cdot 10^5 = 93{,}4 \text{ კგ/სმ}^2.$$

იმისათვის, რომ ვიპოვოთ ფაქტიური დაძაბულობა ბეტონში და არმატურაში, საჭიროა მხედველობაში მივიღოთ წინასწარი დაძაბულობა.

არმატურაში წინასწარი დაძაბულობით გამოწვეული ძაბვა ტოლია:

$$\frac{S}{F_ფ} = \frac{700}{0{,}0705} = 9929 \text{ კგ/სმ}^2,$$

არმატურაში მთლიანი გამჭიმავი ძაბვა

$$\sigma_ფ = 9929 + 934 = 10863 \text{ კგ/სმ}^2.$$

მკუმშავი ძაბვა ბეტონში გარე ძალის მოდებამდე ტოლია

$$\frac{S}{F_{ბეტ}} = -\frac{700}{10} = -70 \text{ კგ/სმ}^2,$$

გარე ძალის მიყენების შემდეგ

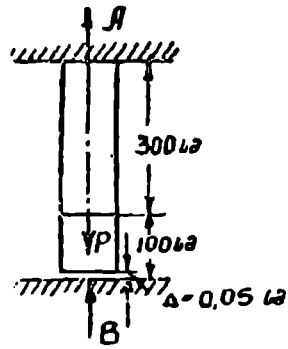
$$\sigma_{ბეტ} = 93{,}4 - 70 = 23{,}4 \text{ კგ/სმ}^2.$$

2.12. ვიანგარიშოთ წინა ამოცანისათვის იმ გამჭიმავი ძალის სიდიდე, რომელიც ბეტონს წინასწარი დაძაბულობისაგან მთლიანად გაანთავისუფლებს.

განვსაზღვროთ ძაბვა არმატურაში ამ დროს.

პასუხი: $P = 749{,}35$ კგ;
$\sigma_ფ = 10629$ კგ/სმ².

2.13. ფოლადის პრიზმულ ღეროზე, რომლის ერთი ბოლო დამაგრებულია, ხოლო მეორე ბოლო საყრდენიდან დაშორებულია. $\Delta = 0{,}05$ სმ-ით, მოქმედებს ძალა $P = 35$ ტ (როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები).



2.13 ამოცანისათვის.

ვიპოვოთ ძაბვები ჩამაგრების A და B კვეთებში თუ ღეროს ფართობი $F = 36$ სმ²-ს და დრეკადობის მოდული $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ²-ს.

პასუხი: $\sigma_A = +493$ კგ/სმ²;
$\sigma_B = -479$ კგ/სმ².

2.14. თუჯის რგოლზე, რომლის გარე დიამეტრი $d_1 = 50$ სმ-ს და კედლის სისქე $\delta_1 = 2{,}5$ სმ-ს, ჩამოცმულია ცხელ მდგომარეობაში $\delta_2 = 2$ სმ სისქის ფოლადის სალტე (იხ. ნახაზი).

ფოლადის სალტის ნორმალურ ტემპერატურამდე გაცივებისას მის კვეთში აღძრული გამჭიმავი ძაბვა $\sigma_ფ = 150$ კგ/სმ².

ვიპოვოთ თუჯის რგოლზე ფოლადის სალტის წნევის ინტენსივობა და მკუმშავი ძაბვა მასში.

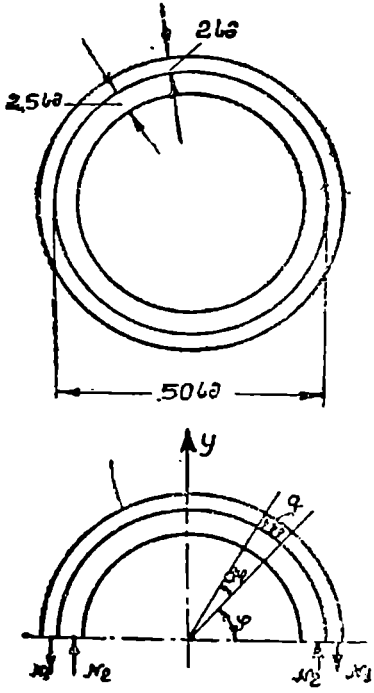
ა მ ო ხ ს ნ ა: გავკვეთოთ ფოლადისა და თუჯის რგოლი დიამეტრალური სიბრტყით და განვიხილოთ მოკვეთილი ნაწილის წონასწორობა (იხ. ნახაზი), მივიღებთ $N_1 = N_2$.

ვიანგარიშოთ N_1 და N_2-ის მნიშვნელობები:

$$N_1 = 1 \cdot 2 \cdot 150 = 300 \text{ კგ};$$

$$N_2 = 1 \cdot 2{,}5 \cdot \sigma_{ო} = 2{,}5\ \sigma_{ო}.$$

თუ შევიტანთ N_1 და N_2-ის მნიშვნელობებს წონასწორობის განტოლებაში, მივიღებთ $\sigma_{ო} = 120$ კგ/სმ².



2.14 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ ფოლადის სალტის დაწოლის ინტენსივობა q თუჯის რგოლზე.

ელემენტარულ ფართობზე დაწოლა უდრის $qrd\varphi$, თუ ამოვკვეთავთ ფოლადის სალტის ერთ მეოთხედ ნაწილს და ავიღებთ ყველა ძალის გეგმილების ჯამს Y ღერძის მიმართ, მივიღებთ:

$$N_1 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} rqd\varphi \sin\varphi = qr,$$

აქედან

$$q = \frac{N_1}{r}.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანის შემდეგ გვექნება:

$$q = \frac{300}{25} = 12 \text{ კგ/სმ}^2.$$

2.15. ფოლადის პროპორციულობის ზღვრის გასადიდებლად ფოლადს ცივად ვამუშავებთ. დამუშავების შემდეგ მავთულის გარე ზედაპირზე ვიღებთ გაცილებით უფრო მაღალი დრეკადობის მოდულს, ვიდრე შიგა კვეთში, რის შემდეგაც ძაბვების განაწილება განივკვეთის ფართობში არათანაბრად ხდება.

ვიპოვოთ დასაშვები ძალა, რომელიც შეიძლება ვამოქმედოთ ცივად დამუშავებულ მავთულზე და განვსაზღვროთ ძაბვა მავთულის შიგა კვეთში, თუ გარე ფენის ფართობი $F_1 = 0{,}17$ სმ², დრეკადობის მოდული $E_1 = 2{,}3 \cdot 10^6$ კგ/სმ², შიგა კვეთის ფართობი $F_2 = 0{,}1$ სმ² და $E_2 = 1{,}9 \cdot 10^6$ კგ/სმ², დასაშვები ძაბვა $[\sigma] = 1200$ კგ/სმ².

გ ა ნ მ ა რ ტ ე ბ ა: დასაშვები ძალა ნაწილდება მაეთულის შიგა და გარე კვეთებზე. ცხადია ერთი და იგივე დეფორმაციის დროს გარე კვეთში უფრო მაღალი ძაბვა აღიძვრება, ვიდრე შიგა კვეთში. უკანასკნელი იმდენჯერ მეტი იქნება, რამდენჯერაც გარე კვეთის დრეკადობის მოდული მეტია შიგა კვეთის დრეკადობის მოდულზე.

წინა მსჯელობის საფუძველზე დასაშვები ძალის გასაანგარიშებლად მივიღებთ შემდეგ ფორმულას:

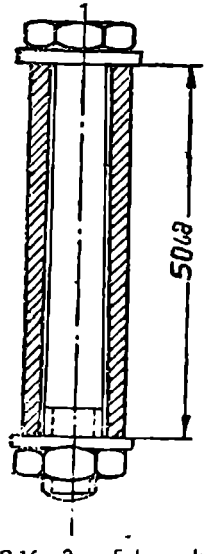
$$P=[\sigma]\cdot F_1+\frac{E_2}{E_1}[\sigma]F_2.$$

პ ა ს უ ხ ი: $P=300$ კგ;

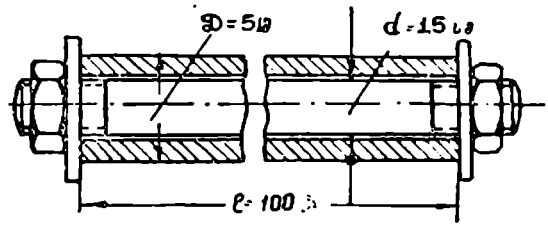
$\sigma_2=990$ კგ/სმ².

2.16. ფოლადის მილში, რომლის სიგრძეა 50 სმ, გაყრილია ჭანჭიკი (იხ. ნახაზი).

რა მკუმშავი ძაბვა აღიძვრება მილში ჭანჭის 45°-ით შემობრუნებისას?



2.16 ამოცანისათვის.



2.17 ამოცანისათვის.

თუ ჭანჭიკის ხრახნის ბიჯი $S=2$ მმ-ს, ჭანჭიკისა და მილის განივკვეთის ფართობი და დრეკადობის მოდული თანატოლია

$$E_ფ=2\cdot10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პ ა ს უ ხ ი: $\sigma=500$ კგ/სმ².

2.17. ფოლადის ჭანჭიკი გაყრილია სპილენძის მილში, რომლის ზომები ნახაზზეა ნაჩვენები.

ვიანგარიშოთ ძაბვა ჭანჭიკში და მილში, თუ ქანჩს შემოვატრიალებთ 180°-ით.

ცნობილია, რომ ჭანჭიკის ბიჯი $S=2{,}2$ მმ,

დრეკადობის მოდული $E_სპ=1{,}3\cdot10^6$ კგ/სმ²;

$$F_ფ=2\cdot10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

გ ა ნ მ ა რ ტ ე ბ ა: ფოლადის ჭანჭიკისა და სპილენძის მილის აბსოლუტურ დეფორმაციათა ჯამი ტოლი უნდა იყოს ქანჩის გადაადგილებისა

$$\Delta l=\Delta l_ფ+\Delta l_სპ,$$

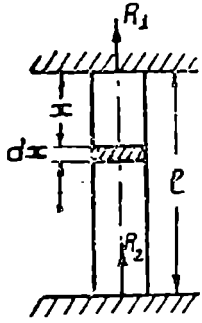
პასუხი: $\sigma_ა = -188{,}5$ კგ/სმ²;
$\sigma_ფ = +1910$ კგ/სმ²,

2.18. ფოლადის მილში გაყრილია ჭანჭიკი. ქანჩის მოჭერით ჭანჭიკში აღძრულია გამჭიმავი, ხოლო მილში მკუმშავი ძალა, რომელიც უდრის 2 ტონას. მილისა და ჭანჭიკის მასალა ერთი და იგივეა, ხოლო ფართობები ტოლი.

როგორ შეიცვლება ჭანჭიკში და მილში ძალები, თუ ჭანჭიკზე ვიმოქმედებთ ორი ტონა გამჭიმავი ძალით და რას უნდა უდრიდეს გამჭიმავი ძალა, რომ მილი შემკუმშავი ძალისაგან სრულიად განთავისუფლდეს.

პასუხი: $P_1 = 3$ ტ;
$P_2 = 4$ ტ.

2.19. ძელი, რომლის სიგრძეა l, განივკვეთის ფართობი F და საკუთარი წონა Q, ორივე ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული (იხ. ნახაზი).



2.19 ამოცანისათვის.

გავიანგარიშოთ ძელის სიმძიმის რა ნაწილი გადაეცა ზედა და ქვედა საყრდენებს.

ამოხსნა: სტატიკა გვაძლევს წონასწორობის ერთ განტოლებას:

$$R_1 + R_2 - Q = 0,$$

სადაც შედის ორი უცნობი R_1 და R_2 ზედა და ქვედა რეაქციების სიდიდე. მაშასადამე, ამოცანა ერთჯერ სტატიკურად ურკვევია. დამატებითი განტოლების შესადგენად მივმართავთ დეფორმაციის ერთიანობის პირობას. ზედა საყრდენიდან x მანძილის დაშორებით გამოვყოთ dx ელემენტი და გამოვთვალოთ მისი გრძივი Δdx დეფორმაცია.

$$\Delta dx = \frac{\sigma_x dx}{E},$$

სადაც σ_x არის ძაბვა x კვეთში, რომელიც ტოლია: $\sigma_x = \dfrac{R_1 - \dfrac{Qx}{l}}{F}$;

ძელის მთელი დაგრძელება იქნება:

$$\Delta l = \int_0^{l} \Delta dx = \int_0^{l} \frac{R_1 - \dfrac{Qx}{l}}{EF}\, dx = \frac{1}{EF}\left[R_1 x - \frac{Qx^2}{2l} \right]_0^{l} =$$

$$= \frac{1}{EF}\left(R_1 l - \frac{Ql}{2} \right).$$

რადგანაც ძელის ორივე ბოლო ხისტადაა ჩამაგრებული, ამიტომ ძელს სიგრძის შეცვლა არ შეუძლია, ე. ი. Δl უნდა უდრიდეს ნულს.

$$\frac{1}{EF}\left(R_1 l - \frac{Q l}{2}\right) = 0,$$

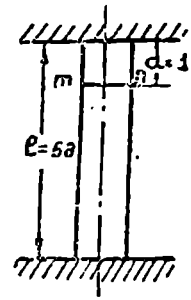
აქედან

$$R_1 = \frac{Q}{2}.$$

თუ R_1-ის მნიშვნელობას შევიტანთ სტატიკის პირობიდან დაწერილ განტოლებაში, მივიღებთ:

$$R_2 = \frac{Q}{2},$$

2.20. ფოლადის ძელი, რომლის სიგრძეა $l = 6$ მ და განივკვეთის ფართობი $F = 100$ სმ², ორივე ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული (იხ. ნახაზი).

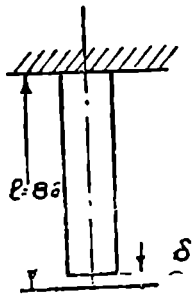


2.20 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ საკუთარი წონით გამოწვეული ძაბვა, ძელის ზედა ბოლოდან $a = 1$ მ დაშორებულ $m—n$ კვეთში, თუ ძელის მასალის მოცულობითი წონა $\gamma = 7{,}8$ ტ/მ³.

პასუხი: $\sigma_{mn} = +1{,}56$ კგ/სმ².

2.21. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით ავაგოთ ფოლადის ძელის საკუთარი წონით გამოწვეული ძაბვის ცვალებადობის ეპიურა ძელის სიგრძეზე.



2.23 ამოცანისათვის.

2.22. რა სიგრძის უნდა იყოს ორივე ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული მუდმივი განივკვეთის ფოლადის ღერო, რომ საკუთარი წონით გამოწვეული ძაბვა ჩამაგრების კვეთში უდრიდეს 4 კგ/სმ²; ფოლადისათვის $\gamma = 7{,}8$ ტ/მ³.

პასუხი: $l = 10{,}26$ მ.

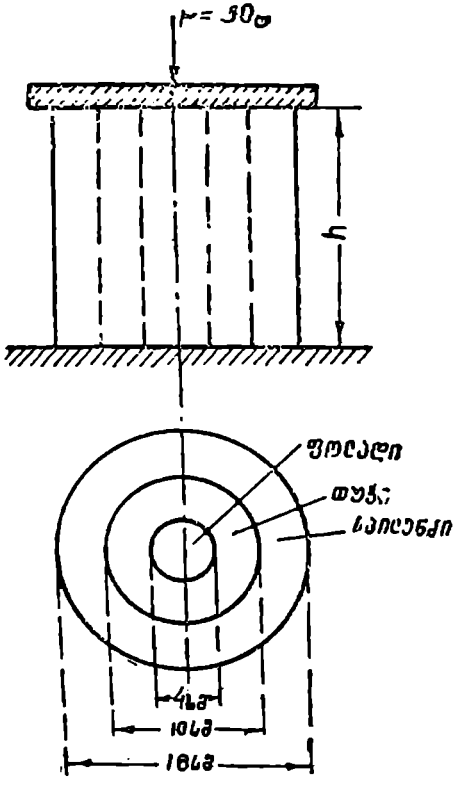
2.23. სპილენძის ძელი, რომლის სიგრძეა $l = 8$ მ და განივკვეთის ფართობი $F = 100$ სმ², ზედა ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული, ხოლო ქვედა ბოლო ხისტი საყრდენიდან დაშორებულია δ მანძილით (იხ. ნახაზი).

რას უდრის δ, თუ ძელის საკუთარი წონით გამოწვეული ძაბვა ზედა საყრდენ კვეთში ორჯერ მეტია ქვედა საყრდენ კვეთში ძაბვასთან შედარებით.

სპილენძისათვის $\gamma = 8{,}8$ ტ/მ³ და
$E = 10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: $\delta = 0{,}01877$ მმ.

2.24. ფოლადის ღერო თავისუფლად არის ჩასმული თუჯის მილში; უკანასკნელი, თავის მხრივ, თავისუფლადაა ჩასმული სპილენძის მილში. დიამეტრები ნაჩვენებია ნახაზზე (იხ. ნახაზი).



2.24 ამოცანისათვის.

აღნიშნული წესით შედგენილ ღეროს ხისტი ფილის საშუალებით გადაეცემა $P = 50$ ტ ცენტრალურად მკუმშავი ძალა.

განსაზღვროთ ფოლადში, თუჯსა და სპილენძში აღძრული ძაბვები, თუ დრეკადობის მოდული $E_ფ = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ²,

$E_თ = 1{,}2 \cdot 10^6$ კგ/სმ²,

და $E_სპ = 10^6$ კგ/სმ².

(განივ დეფორმაციას მხედველობაში არ ვღებულობთ).

ა მ ო ხ ს ნ ა: შედგენილ ღერძზე მოქმედი P ძალა ხისტი ფილის საშუალებით ნაწილდება ფოლადის ღეროზე და თუჯის და სპილენძის მილებზე; თუ ამ ძალებს შესაბამისად აღვნიშნავთ $P_ფ$, $P_თ$ და $P_სპ$-ით და ვერტიკალურ ღერძზე ავიღებთ შედგენილ ღეროზე მოქმედი ყველა ძალის გეგმილების ჯამს, მივიღებთ:

$$P_ფ + P_თ + P_სპ - P = 0.$$

სტატიკის წონასწორობის პირობები ამაზე მეტ განტოლებას ვერ გვაძლევს. ამრიგად ჩვენი ამოცანა ორჯერ სტატიკურად ურკვევია. დამატებითი განტოლების შესადგენად მივმართოთ დეფორმაციის ერთიანობის პირობას, რომ შედგენილი ღეროს სამივე ელემენტის დამოკლების სიდიდე ურთიერთტოლია, ე. ი. $\Delta h_ფ = \Delta h_თ = \Delta h_სპ$.

აქედან შესაძლებელია შევადგინოთ დეფორმაციის ორი განტოლება:

$$\Delta h_ფ = \Delta h_თ \text{ და } \Delta h_ფ = \Delta h_სპ.$$

აბსოლუტური გრძივი დეფორმაციები გამოვსახოთ შესაბამისი ძალების საშუალებით:

$$\frac{P_ფ \cdot h}{E_ფ \cdot F_ფ} = \frac{P_თ \cdot h}{E_თ \cdot F_თ} \quad \text{და} \quad \frac{P_ფ \cdot h}{E_ფ \cdot F_ფ} = \frac{P_სკ \cdot h}{E_სკ \cdot F_სკ}.$$

წონასწორობისა და დეფორმაციის განტოლებებში ძალები შევცვალოთ შესაბამისი ძაბვებით, შემდეგნაირად:

$$P_ფ = \sigma_ფ F_ფ, \quad P'_თ = \sigma_თ F_თ, \quad P_სკ = \sigma_სკ F_სკ$$

და მოვახდინოთ საჭირო შეკვეცები, მაშინ წონასწორობის და დეფორმაციების განტოლებები საბოლოოდ შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$1)\ \sigma_ფ \cdot F_ფ + \sigma_თ F_თ + \sigma_სკ \cdot F_სკ = P;$$

$$2)\ \frac{\sigma_ფ}{E_ფ} = \frac{\sigma_თ}{E_თ};$$

$$3)\ \frac{\sigma_ფ}{E_ფ} = \frac{\sigma_სკ}{E_სკ}.$$

თუ ამოვხსნით ამ სამი განტოლებიდან $\sigma_ფ$-ს, მივიღებთ:

$$\sigma_ფ = \frac{P}{F_ფ + \dfrac{E_თ F_თ + F_სკ E_სკ}{E_ფ}};$$

ვიცით:

$$F = \frac{\pi 4^2}{4} = 12{,}56 \text{ სმ}^2;$$

$$F'_თ = \frac{\pi}{4}(10^2 - 4^2) = 65{,}94 \text{ სმ}^2;$$

$$F_სკ = \frac{\pi}{4}(16^2 - 10^2) = 122{,}46 \text{ სმ}^2.$$

შევიტანოთ $\sigma_ფ$-ის გამოსახულებაში რიცხვითი მნიშვნელობები:

$$\sigma_ფ = \frac{50000}{12{,}56 + \dfrac{1{,}2 \cdot 10^6 \cdot 65{,}94 \times 1 \cdot 10^6 \cdot 122{,}46}{2 \cdot 10^6}} = \frac{50000}{113{,}35} = 442 \text{ კგ/სმ}^2;$$

შესაბამისად:

$$\sigma_{თ} = \sigma_{ფ} \frac{E_{თ}}{E_{ფ}} = \frac{1{,}2 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6} \cdot 442 = 265{,}2 \text{ კგ/სმ}^2;$$

$$\sigma_{სპ} = \sigma_{ფ} \frac{E_{სპ}}{E_{ფ}} = \frac{1 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6} 442 = 221 \text{ კგ/სმ}^2;$$

ყველა ძაბვა მკუმშავია.

2.25. სპილენძის ღრუ ცილინდრის შიგა დიამეტრია 20 სმ, გარე დიამეტრი კი 25 სმ. ცილინდრის ბოლოები დახურულია ხისტი სახურავებით, რომელთა ცენტრში გაყრილია ფოლადის პანჭიკი. ჭანჩის მოქნერით პანჭიკის ღეროში აღძრულია 16 ტ გამჭიმავი ძალა. ამის შემდეგ სპილენძის ცილინდრში მაღალი წნევით შეშვებულია ზეთი, რომლის დაწოლა ცილინდრის თვითეულ სახურავზე უდრის 18 ტონას.

განვსაზღვროთ პანჭიკში აღძრული ძაბვა, თუ მისი საანგარიშო სიგრძე ტოლია ცილინდრის სიგრძის და განივკვეთის ფართობი უდრის 30 სმ²; დრეკადობის მოდული $E_{ფ} = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ², $E_{სპ} = 1 \cdot 10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: $\sigma_ჭ = 685$ კგ/სმ².

2.26. თუჯის ღრუ ცილინდრის შიგა დიამეტრია 30 სმ, გარე დიამეტრი კი 34 სმ. ცილინდრის ბოლოები დახურულია ჰერმეტული სახურავებით. ზედა და ქვედა სახურავების ცენტრები ერთმანეთთან შეერთებულია მათზე მიდუღებული ფოლადის ღეროთი, რომლის დიამეტრი 4 სმ-ია. აღნიშნული წესით დამზადებულ ცილინდრში 30 ატმოსფეროს წნევით შეშვებულია წყალი.

გავიანგარიშოთ რა ძაბვა აღიძვრება ფოლადის ღეროში წყლის წნევის შედეგად, თუ

$$E_{ფ} = 2 \cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2 \quad \text{და}$$

$$E_{თ} = 1{,}2 \cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: $\sigma = 157$ კგ/სმ².

2.27. ფოლადის ღერო, რომლის განივკვეთის ფართობი $F = 2$ სმ² და სიგრძე $l = 6$ მ ტემპერატურის მოქმედების გამო დამოკლდა 2 მმ-ით; რა გამჭიმავი ძალა უნდა მივაყენოთ ღეროს, რომ მან მიიღოს პირვანდელი სიგრძე. ღეროს დრეკადობის მოდული $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: $P = 1333\frac{1}{3}$ კგ.

2.28. რა ძალა უნდა მოვდოთ სპილენძის მავთულს, რომ ტემპერატურის 30° ცვალებადობის დროს, მისი სიგრძე უცვლელი დარჩეს, თუ მავთულის ფართობი $F = 0{,}5$ სმ², დრეკადობის მოდული $E = 1{,}2 \cdot 10^6$ კგ/სმ² და ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი $\alpha = 16 \cdot 10^{-6}$.

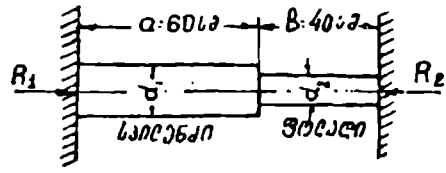
პასუხი: $P = 288$ კგ.

2.29. ალუმინის ღერო ორივე ბოლოთი ჩამაგრებულია $+15°C$ ტემპერატურის დროს.

განვსაზღვროთ მავთულში აღძრული ძაბვა, როცა ტემპერატურა—$30°C$ მიაღწევს, თუ ალუმინისათვის $E=0{,}7\cdot10^6$ კგ/სმ² და $\alpha=255\cdot10^{-7}$.

პასუხი: $\sigma=805$ კგ/სმ².

2.30. წრიული განივკვეთის ორსაფეხურიანი ღერო, რომლის პირველი საფეხური სპილენძისაა და მეორე ფოლადის, ორივე ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული $+15°$ ტემპერატურის დროს (იხ. ნახაზი).



2.30 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ საფეხურის კვეთებში აღძრული ძაბვები, თუ ღეროში ტემპერატურა გადიდდა $+45°$-მდე. დრეკადობის მოდული $E_ფ=2\cdot10^6$ კგ/სმ², $E_სპ=1\cdot10^6$ კგ/სმ², დიამეტრი $d_1=3{,}2$ სმ, $d_2=2$ სმ და ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი $\alpha_ფ=125\cdot10^{-7}$; $\alpha_სპ=165\cdot10^{-7}$. ღეროს საჭირო გეომეტრიული ზომები ნახაზზეა ნაჩვენები.

ამოხსნა: ტემპერატურის $30°$-ით გაზრდით ღერო ცდილობს გაფართოებას და აწვება საყრდენებს, რომლებშიაც აღიძვრება შესაბამისი R_1 და R_2 უცნობი რეაქციის ძალები.

ღეროს საფეხურების კვეთებში ძაბვის განსასაზღვრავად საჭიროა რეაქციის ძალების განსაზღვრა. სტატიკიდან შეიძლება მხოლოდ ერთი პირობის გამოყენება: $\Sigma x=0$, რომელიც გვაძლევს $R_1-R_2=0$;
აქედან

$$R_1=R_2=R.$$

R-ის გასაგებად საჭიროა დავწეროთ განტოლება დეფორმაციის ერთიანობის პირობიდან, რაც მდგომარეობს შემდეგში:

თუ ღეროს ერთი ბოლო თავისუფალი იქნება ჩამაგრებისაგან, მაშინ ტემპერატურის გაზრდით ღერო წაგრძელდება $\Delta a_t+\Delta b_t$ სიდიდით, რადგანაც ღეროს ორივე ბოლო ხისტად არის ჩამაგრებული, ამიტომ საყრდენზე უნდა აღიძრას ისეთი R ძალა, რომელიც ტემპერატურით დაგრძელებულ ღეროს დაამოკლებს იმავე სიდიდით, ე. ი.

$$\Delta a_t+\Delta b_t=\Delta a_R+\Delta b_R;$$

ამ განტოლებაში დეფორმაციები გამოვსახოთ R ძალის საშუალებით

$$\alpha_{სპ}a\Delta t+\alpha_ფ\cdot b\cdot\Delta t=\frac{R\cdot a}{E_{სპ}F_1}+\frac{R\cdot b}{E_ფF_2},$$

სადაც

$$F_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 3{,}2^2}{4} = 8{,}04 \text{ სმ}^2$$

და

$$F_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 2^2}{4} = 3{,}14 \text{ სმ}^2.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანის შემდეგ მივიღებთ:

$$165 \cdot 10^{-7} \cdot 60 \cdot 30 + 125 \cdot 10^{-7} \cdot 40 \cdot 30 = \frac{R \cdot 60}{10^6 \cdot 8{,}04} + \frac{R \cdot 40}{2 \cdot 10^6 \cdot 3{,}14};$$

აქედან

$$R = 3231{,}44 \text{ კგ}.$$

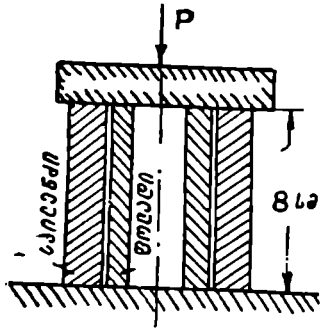
ძაბვები ღეროს საფეხურების კვეთებში იქნება:
სპილენძში

$$\sigma_{ს} = -\frac{R}{F_1} = -\frac{3231{,}44}{8{,}04} = -401{,}92 \text{ კგ/სმ}^2;$$

ფოლადში

$$\sigma_{ფ} = -\frac{R}{F_2} = -\frac{3231{,}44}{3{,}14} = -1029{,}12 \text{ კგ/სმ}^2.$$

2.31. ფოლადის მილი, რომლის ფართობია 20 სმ². ჩასმულია 30 სმ² განივკვეთის ფართობის მქონე სპილენძის მილში (იხ. ნახაზი). აღნიშნული წესით შედგენილ ღეროს ხისტი ფილის საშუალებით გადაეცემა ღერძული მკუმშავი ძალა $P = 10$ ტ. ღეროს სიგრძე დაუტვირთავ მდგომარეობაში t_0 ტემპერატურის დროს უდრის 80 სმ-ს.

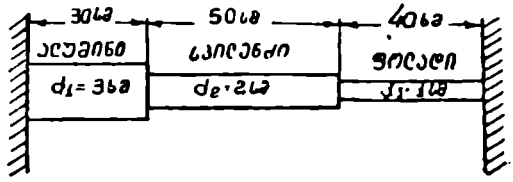


2.31 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ როგორ განაწილდება მოქმედი ძალა ფოლადის და სპილენძის მილებს შორის t_0 ტემპერატურის და ტემპერატურის 40° ზომატებისას, თუ ფოლადის დრეკადობის მოდული $E_ფ = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ², სპილენძისა $E_ს = 1 \cdot 10^6$ კგ/სმ² და ტემპერატურული ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი $\alpha_ფ = 125 \cdot 10^{-7}$, $\alpha_ს = 165 \cdot 10^{-7}$.

პასუხი: $P_ფ = 5717$ კგ; $P_{ფ \cdot t} = 2973$ კგ;
$P_ს = 4283$ კგ; $P_{ს \cdot t} = 7027$ კგ.

2.32. სამსაფეხურიანი წრიული განივკვეთის ძელი, რომლის პირველი საფეხური ალუმინისაა, მეორე სპილენძის და მესამე ფოლადის, მოთავსებულია ორ აბსოლუტურად მყარ კედლებს შორის. ძელის ზომები ნაჩვენებია ნახაზზე (იხ. ნახაზი).



2.32 ამოცანისათვის.

რა ძაბვები აღიძვრება საფეხურების კვეთებში ტემპერატურის $60°C$ მომატებისას, თუ

$$E_{ალ} = 7 \cdot 10^5 \text{ კგ/სმ}^2;$$
$$E_{სპ} = 1 \cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2;$$
$$E_{ფ} = 2 \cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2,$$

$$\alpha_{ალ} = 24 \cdot 10^{-6}; \quad \alpha_{სპ} = 165 \cdot 10^{-7} \quad \text{და} \quad \alpha_{ფ} = 125 \cdot 10^{-7}.$$

პასუხი: $\sigma_{ალ} = -415$ კგ/სმ²;
$\sigma_{სპ} = -935$ კგ/სმ²;
$\sigma_{ფ} = -3740$ კგ/სმ².

2.33. ერთი და იმავე სიგრძის ფოლადის, სპილენძის, თუთიისა და მინის ღეროები ორივე ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული.

შევადაროთ ძაბვები, რომლებიც აღიძვრებიან აღნიშნულ ღეროებში ტემპერატურის $30°C$ შემცირებით.

დრეკადობის მოდული

$$E_{ფ} = 2 \cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2;$$
$$E_{სპ} = 1 \cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2;$$
$$E_{თ} = 9 \cdot 10^5 \text{ კგ/სმ}^2;$$
$$E_{მინ} = 7 \cdot 10^5 \text{ კგ/სმ}^2.$$

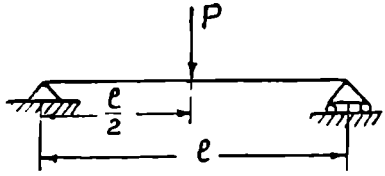
ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი: $\alpha_{ფ} = 125 \cdot 10^{-7}$;

$$\alpha_{სპ} = 165 \cdot 10^{-7}; \quad \alpha_{თ} = 29 \cdot 10^{-6} \quad \text{და} \quad \alpha_{მინ} = 85 \cdot 10^{-7}.$$

პასუხი: $\sigma_{ფ} = 750$ კგ/სმ²;
$\sigma_{სპ} = 495$ კგ/სმ²;
$\sigma_{თ} = 783$ კგ/სმ²;
$\sigma_{მინ} = 178{,}5$ კგ/სმ².

2.34. ორ საყრდენზე მდებარე ორტესებრი პროფილის ფოლადის კოჭზე $N20^b$, რომლის $F = 35{,}5$ სმ², $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ², და $\alpha = 125 \cdot 10^{-7}$, მალის შუაში მოქმედებს ძალა $P = 40$ ტ (იხ. ნახაზი).

ვიპოვოთ ტემპერატურათა სხვაობის ის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომლის შემდეგ ტემპერატურის მომატებით კოჭში ძაბვა არ იცვლება. კოჭის საყრდენები ისეა მოწყობილი, რომ მას იკავებს მხოლოდ ხახუნის ძალა. ხახუნის კოეფიციენტი $f=0{,}4$.



2.34 ამოცანისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა: ზღვრული დამჭერი ხახუნის ძალა

$$R=\frac{P}{2}\cdot f,$$

ხოლო ტემპერატურის მომატებით კოჭში აღძრული მკუმშავი ძალა იქნება:

$$\alpha(t_2-t_1)EF;$$

თუ ამ სიდიდეებს გავუტოლებთ ერთმანეთს, მივიღებთ:

$$\frac{P}{2}f=\alpha(t_2-t_1)\,EF,$$

აქედან

$$t_2-t_1=\frac{Pf}{2\alpha EF}=\frac{40000\cdot 0{,}4}{2\cdot 125\cdot 10^{-7}\cdot 2\cdot 10^{6}\cdot 35{,}5}\cong 9^\circ,$$

ე. ი. 9° ზევით ტემპერატურის მომატება კოჭის დაძაბულ მდგომარეობაზე არ იმოქმედებს.

2.35. ორტესებრი ფოლადის კოჭი $N20^a$, რომლის მალი $l=6$ მ, კვეთის ფართობი $F=35{,}5$ სმ², $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ² და $\alpha=125\cdot 10^{-7}$, ორივე ბოლოთი კედელში ხისტადაა ჩამაგრებული.

რა ძალით იმოქმედებს კოჭი კედელზე და რას უდრის კოჭში ძაბვა, თუ ხანძრის შემთხვევაში კოჭში ტემპერატურამ მოიმატა $100^\circ C$-ით.

როგორ შეიცვლება საძებნი სიდიდეები, თუ კოჭის ერთ-ერთ ბოლოსა და კედელს შორის დარჩენილია 3 მმ მანძილი.

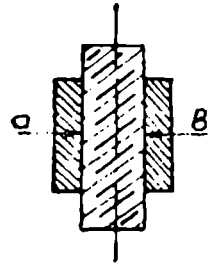
პ ა ს უ ხ ი: 1) $\sigma=-2500$ კგ/სმ²; $P=88750$ კგ;
2) $\sigma=-1500$ კგ/სმ²; $P=53250$ კგ.

2.36. რკინიგზის ზოგიერთ ხაზზე ლიანდაგები მიდუღებულია ერთმანეთთან უწყვეტ ხაზად, რა სიდიდის ძაბვები აღიძვრება ლიანდაგში, თუ ტემპერატურა იცვლება $-20^\circ C$-დან $+50^\circ C$-მდე, ხოლო შედუღება წარმოებული იყო $+10^\circ C$ დროს. $\alpha=125\cdot 10^{-7}$; $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ².

პ ა ს უ ხ ი: $\sigma=-1000$ კგ/სმ²;
$\sigma=750$ კგ/სმ².

2.37. სპილენძის ცილინდრი, რომლის განივკვეთის ფართობია 4 სმ², ჩახრახნილია თავისუფლად ფოლადის ხრახნში კვეთის ფართობით 2 სმ², 20°C ტემპერატურის დროს (იხ. ნახაზი).

როგორი ძაბვები აღიძვრება სპილენძში და ფოლადში $a-b$ კვეთთან, 360°C ტემპერატურის მომატებით, თუ აღნიშნული კვეთი ბოლოებიდან საკმარისი მანძილით არის დაშორებული.



2.37 ამოცანისათვის.

$E_ფ = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ² $\quad E_სპ = 1 \cdot 10^6$ კგ/სმ²
$\alpha_ფ = 125 \cdot 10^{-7}$; $\quad \alpha_სპ = 155 \cdot 10^{-7}$.

პასუხი: $\sigma_სპ = -500$ კგ/სმ²;
$\sigma_ფ = +1200$ კგ/სმ².

2.38. ფოლადის ღერო, რომლის დიამეტრია $d=2$ სმ-ს, ჩასმულია ბეტონის ცილინდრში, გარეთა დიამეტრით $D=8$ სმ; ბეტონი, თავისი თვისების თანახმად, გამაგრებისას მოკლდება იმდენად, რაც შეესაბამება 18°-ით ტემპერატურის შემცირებას.

განვსაზღვროთ ძაბვები ბეტონში და ფოლადში, თუ დრეკადობის მოდული ბეტონისათვის $E_ბ = 2 \cdot 10^5$ კგ/სმ², ფოლადისათვის $E_ფ = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ² და ბეტონის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი $\alpha_ბ = 0{,}00001$.

პასუხი: $\sigma_ფ = -215{,}5$ კგ/სმ²;
$\sigma_ბ = 14{,}4$ კგ/სმ².

2.39. ერთი და იგივე სისქის სამი ფურცელი დალაგებული და მიდუღებულია ერთმანეთზე. შუა ფურცელი ფოლადისაა, განაპირა სპილენძის.

როგორი ძაბვები აღიძვრება ფოლადის და სპილენძის ფურცლებში მათი 120°-ით თანაბრად გახურების დროს, თუ ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი $\alpha_სპ = 16{,}5 \cdot 10^{-6}$; $\alpha_ფ = 12{,}5 \cdot 10^{-6}$.

დრეკადობის მოდული $E^ფ = 2E_სპ = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ².

მითითება: დეფორმაციის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე:

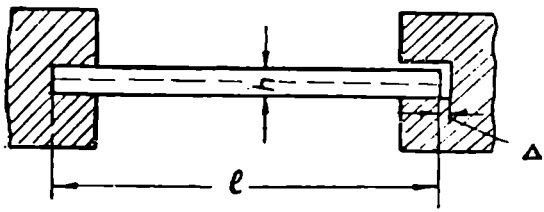
$$\Delta l_{t\,სპ} - \Delta l_{t\,ფ} = \Delta l_ფ{}^P + \Delta l_სპ{}^P.$$

ან გაშლილად

$$t(\alpha_სპ - \alpha_ფ) = P\left(\frac{1}{E_ფ F_ფ} + \frac{1}{E_სპ \cdot F_სპ}\right).$$

პასუხი: $\sigma_ფ = 320$ კგ/სმ²;
$\sigma_სპ = -160$ კგ/სმ².

2.40. ცხელი დამუშავების საამქროს სათავსო გადახურულია რკინაბეტონის ფილით, რომლის მალი $l=5$-ს და სისქე $h=12$ სმ-ს. ფილა დაბეტონებულია $t_1=15°$ ტემპერატურის დროს, ისე, რომ ერთ-ერთ საყრდენ კედელთან დატოვებულია ღრიჯო $\Delta=2$ მმ.



2.40 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ ფილის დაწოლა კედლის ერთ გრძივ მეტრზე, თუ ტემპერატურას გავზრდით $t_2=60°$-მდე. ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტი ფილის მასალისათვის მივიღოთ $\alpha=0{,}00001$ და დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: $N=12$ ტ.

2.41. განვსაზღვროთ უწყვეტად შედუღებული რკინიგზის ლიანდაგში ძაბვების ცვალებადობის საზღვრები, თუ რელსი დალაგებულია $+10°$ ტემპერატურის დროს და წლის განმავლობაში ტემპერატურა იცვლება $-30°$-დან $+30°$-მდე; რელსის მასალის გაფართოების კოეფიციენტი $\alpha=12{,}5\cdot10^{-6}$; დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ².

განვსაზღვროთ აგრეთვე რა მანძილით უნდა დაეაშოროთ 20-მეტრიანი სიგრძის რელსები, თუ ტემპერატურით აღძრული ძაბვა არ უნდა აღემატოს 200 კგ/სმ², რამდენით გაიზრდება რელსებს შორის მანძილი Δ ზამთარში, როცა ტემპერატურა დაეცემა $-30°$-მდე.

პასუხი: $\sigma_{t_1}=+1000$ კგ/სმ²; $\sigma_{t_2}=-500$ კგ/სმ²;
$\Delta=3$ მმ; $\Delta_1=3+10=13$ მმ.

2.42. რკინიგზის რელსი, რომლის სიგრძეა $l=10$ მ, დალაგებულია $t_1=+12°$ ტემპერატურის დროს; მეზობელ რელსებს შორის დატოვებულია $-3{,}5$ მმ, მანძილი.

რა ტემპერატურის დროს მოისპობა რელსებს შორის Δ მანძილი და როგორი ძაბვა აღიძვრება რელსში $t_2=46°$ ტემპერატურის დროს, თუ

$$\alpha=12{,}5\cdot10^{-6};\quad E=2\cdot10^6\ \text{კგ/სმ}^2.$$

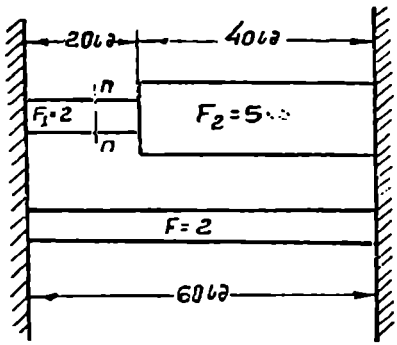
პასუხი: $t=t_1+\Delta t=12°+28°=40°$;
$\sigma_t=-150$ კგ/სმ².

2.43. ფოლადის ორი ღერო, ერთი—საფეხურიანი და მეორე—პრიზმატული, ბოლოებით ჩამაგრებულია კედელში. შევადაროთ პირველი ძელის

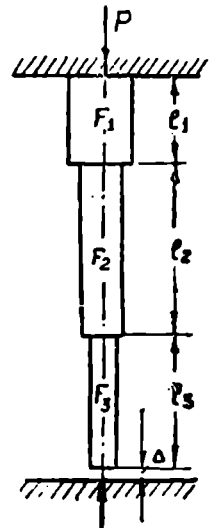
n—n კვეთში ძაბვა პრიზმატული ძელის ძაბვას, რომლებიც აღიძერება ტემპერატურის 20°C მომატებისას. ძელის საჭირო ზომები ნახაზზეა ნაჩვენები (იხ. ნახაზი)

$$E=2\cdot10^6 \text{ კგ/სმ}^2;\ \alpha=125\cdot10^{-7}.$$

პასუხი: $\sigma_1=-1666$ კგ/სმ²;
$\sigma_2=-500$ კგ/სმ².



2.43 ამოცანისათვის.



2.44 ამოცანისათვის.

2.44. სამი ნაწილისაგან შემდგარი ფოლადის ღერო, რომლის სიგრძეებია: $l_1=20$ სმ; $l_2=40$ სმ და $l_3=30$ სმ; განიეკვეთის ფართობით: $F_1=30$ სმ² $F_2=20$ სმ², და $F_3=10$ სმ², ზედა ბოლოთი ჩამაგრებულია, ხოლო ქვედა ბოლო საყრდენიდან დაცილებულია $\Delta=0{,}4$ მმ-ით.

ვიპოვოთ ძაბვა ღეროს სამივე ნაწილის კვეთში, იმ შემთხვევისათვის, როცა ტემპერატურამ მოიმატა 60°C-ით (იხ. ნახაზი).

ფოლადისათვის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი

$$\alpha=125\cdot10^{-7} \text{ და } E=2\cdot10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ამოხსნა: ტემპერატურის მომატებით ღერო დაგრძელდება Δl_t სიდიდით, ხოლო მკუმშავი საყრდენი რეაქციის მოქმედებით დამოკლდება Δl_p-თი; ამ დეფორმაციების ალგებრული ჯამი უდრის Δ-ს, ე. ი. $\Delta l_t-\Delta l_p=\Delta$, Δl_t-ს და Δl_p-ს სიდიდეები შესაბამისად იქნება:

$$\Delta l_t=\alpha t(l_1+l_2+l_3);$$

$$\Delta l_p=\frac{Pl_1}{EF_1}+\frac{Pl_1}{EF_2}+\frac{Pl_3}{EF_3}.$$

ეს მნიშვნელობები შევიტანოთ წინა განტოლებაში, გვექნება:

$$\alpha E t \cdot (l_1 + l_2 + l_3) - P \cdot \left(\frac{l_1}{F_1} + \frac{l_2}{F_2} + \frac{l_3}{F_3} \right) = E\Delta.$$

თუ რიცხვით მნიშვნელობებს შევიტანთ, მივიღებთ:

$$P = 9700 \text{ კგ}.$$

საძებნი ძაბვები კი იქნება:

$$\sigma_1 = -\frac{P}{F_1} = -\frac{9700}{30} = -323{,}3 \text{ კგ/სმ}^2;$$

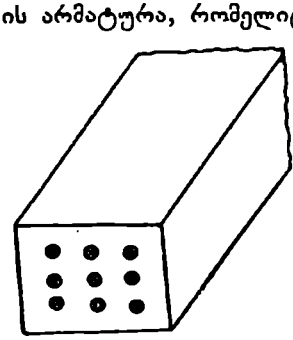
$$\sigma_2 = -\frac{P}{F_2} = -\frac{9700}{20} = -485 \text{ კგ/სმ}^2;$$

$$\sigma_3 = -\frac{P}{F_3} = -\frac{9700}{10} = -970 \text{ კგ/სმ}^2.$$

2.45. წინა ამოცანის შემთხვევაში რამდენჯერ გადიდდება ძაბვა, რომ ძელის ორივე ბოლო თავიდანვე ხისტად იყოს ჩამაგრებული.

პასუხი: 2,46-ჯერ.

2.46. ბეტონის ძელის ღერძის პარალელურად ჩალაგებულია ფოლადის არმატურა, რომელიც კვეთში სიმეტრიულადაა განაწილებული (იხ. ნახაზი).



2.46 ამოცანისათვის.

ვიპოვოთ ბეტონში და ფოლადში აღძრული ძაბვები ტემპერატურის $60°C$ მომატებისას, რომელიც გამოწვეულია ბეტონის და ფოლადის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტთა სხვაობით, თუ ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი

ფოლადისათვის $\alpha_ფ = 12{,}5 \cdot 10^{-6}$;

ბეტონისათვის $\alpha = 11 \cdot 10^{-6}$;

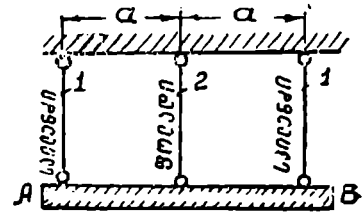
$E_ფ = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ^2; $E = 2 \cdot 10^5$ კგ/სმ^2.

არმატურის ფართობი ძელის კვეთში შეადგენს ბეტონის ფართობის 0,1-ს.

პასუხი: $\sigma_ფ = -90$ კგ/სმ^2; $\sigma_ბ = +9$ კგ/სმ^2.

2.47. სპილენძისა და ფოლადის ღეროებისაგან შედგენილი სისტემა აწყობილია $+15°C$ ტემპერატურის დროს (იხ. ნახაზი).

ვიანგარიშოთ ძაბვები ღეროებში, თუ სისტემას გავახურებთ $t=+75°C$-ით; მოცემულია, რომ ღეროების ფართობი თანატოლია და AB კოჭი აბსოლუტურად ხისტია.



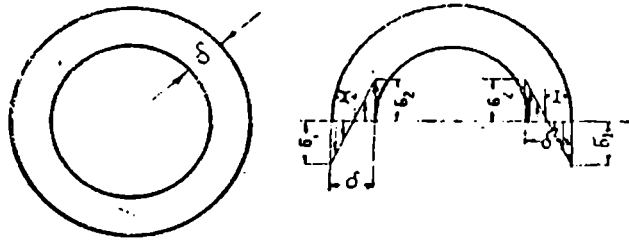
2.47 ამოცანისათვის.

$\alpha_{სპ}=16{,}5\cdot10^{-6}$; $E_{სპ}=10^6$ კგ/სმ²;
$\alpha_{ფ}=12{,}5\cdot10^{-6}$; $E_{ფ}=10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: $\sigma_{სპ}=-320$ კგ/სმ²;
$\sigma_{ფ}=+640$ კგ/სმ².

2.48. განვსაზღვროთ ძაბვა, რომელიც წარმოიშვება თხელკედლიანი ფოლადის ცილინდრის კედელში, თუ ტემპერატურა ცილინდრის შიგა ზედაპირზე $20°C$-ით მეტია გარე ზედაპირის ტემპერატურაზე. ფოლადის დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ² და ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი $\alpha=125\cdot10^{-7}$.

ა მ ო ხ ს ნ ა: რადგანაც ცილინდრის შიგა ზედაპირის ტემპერატურა მეტია გარე ზედაპირის ტემპერატურაზე, ამიტომ ცილინდრის შიგა ზედაპირზე წარმოიშვება ძკუმშავი, ხოლო გარე ზედაპირზე გამჭიმავი ძაბვები. მივიღოთ, რომ როგორც ტემპერატურა, ისე ძაბვებიც ცილინდრის კედლის სისქეზე იცვლება სწორი ხაზის კანონით.



2.48 ამოცანისათვის.

შიგა ზედაპირის მკუმშავი ძაბვა აღვნიშნოთ σ_2-ით და გარე ზედაპირის გამჭიმავი ძაბვა σ_1-ით. ვთქვათ, ცილინდრის კედლის სისქეა δ. ცილინდრიდან ამოვჭრათ ერთეული სიგრძის ნახევარი წრე და განვიხილოთ მისი წონასწორობა (იხ. ნახაზი).

მივიღებთ:

$$\Sigma y=0;$$

$$\sigma_1\cdot x=\sigma_2(\delta-x).$$

რადგანაც ძაბვის განაწილება მიღებული გვაქვს სწორი ხაზის კანონით, ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ: $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{x}{\delta - x}$.

თუ ამ ორი განტოლებიდან გამოვრიცხავთ x-ს, მივიღებთ $\sigma_1 = -\sigma_2$. მაშასადამე, $x = \delta - x = \frac{\delta}{2}$, ე. ი. კედლის სისქის შუა ბოჭკოში ძაბვა ნულის ტოლია.

σ_1 და σ_2 ძაბვების მოსაძებნად გამოვიყენოთ პირობა, რომ ცილინდრის კედელში ტემპერატურა იცვლება სწორი ხაზის კანონით, ე. ი. გარე ზედაპირის გაცივება და შიგა ზედაპირის კუმშვა გამოწვეული იქნება ტემპერატურათა სხვაობით $\frac{t}{2} = 10°C$, და საბოლოოდ

$$\sigma_1 = -\sigma_2 = \alpha t E = 125 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 10 = 250 \text{ კგ/სმ}^2.$$

2.49. თუჯის რგოლი, რომლის გარე დიამეტრი $D = 60$ სმ-ს, კედლის სისქე $\delta = 2$ სმ-ს, ჩასმულია ზუსტად მორგებულ ფოლადის რგოლში $\delta = 1{,}4$ სმ.

ვიანგარიშოთ, რა ძაბვა უნდა აღიძრას ფოლადის და თუჯის რგოლის განივკვეთებში, თუ ფოლადის რგოლის დაწოლის ინტენსივობა თუჯის რგოლზე $q = 6$ კგ/სმ².

პასუხი: $\sigma = +128{,}5$ კგ/სმ²;
$\sigma' = -90$ კგ/სმ².

2.50. განვსაზღვროთ წინა ამოცანისათვის, რა ზომის უნდა იყოს ფოლადის რგოლის შიგა დიამეტრი და რამდენი გრადუსით უნდა გახურდეს იგი, რომ დაკმაყოფილებული იყოს წინა ამოცანის პირობები, თუ ნორმალურ ტემპერატურად მიღებულია $15°C$; თუჯისათვის $\alpha_ч = 11 \cdot 10^{-6}$; $E_ч = 1{,}2 \cdot 10^6$ კგ/სმ²; ფოლადისათვის $\alpha_ф = 125 \cdot 10^{-7}$; $E_ф = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ².

2.51. ათმილიმეტრიანი ოთხი ფურცლოვანი რკინა ერთმანეთთან შეერთებულია მოქლონით.

ვიანგარიშოთ მოქლონის დაძაბულობა ნორმალური ტემპერატურის დროს, თუ მოქლონის ფართობი ოთხჯერ მცირეა იმ ფართობზე, რომელსაც მოქლონი კუმშავს (იხ. ნახაზი).

მოცემულია: მოქლონის ტემპერატურა დამოქლონებისას $t = 880°C$, ღრიჭო, რომელიც არსებობს შესაერთებელ ფურცლებს შორის $\delta = 0{,}43$ მმ მოქლონისა და ფურცლის დრეკადობის მოდული $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ², ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი $\alpha = 125 \cdot 10^{-7}$ და ნორმალური ტემპერატურა $15°C$.

ამოხსნა: თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ მოქლონის ფართობი ოთხჯერ ნაკლებია შეკუმშული ფურცლის ფართობზე, გვექნება:

$$F_{\text{მოქ}} \cdot \sigma_{\text{მოქ}} = F_{\text{ფურც}} \cdot \sigma_{\text{ფურც}},$$

აქედან, რადგანაც

$$\frac{F_{\text{ფურც}}}{F_{\text{მოქ}}} = 4$$

მივიღებთ $\sigma_{\text{მოქ}} = 4\sigma_{\text{ფურც}}$.

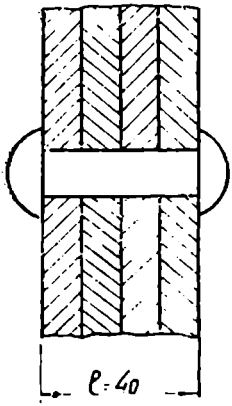
დეფორმაციის უწყვეტობის პირობა იქნება $\Delta l_{\text{მოქ}} = \Delta l_t - \delta - \Delta l_{\text{ფურც}}$. თუ შევიტანთ მნიშვნელობებს, მივიღებთ:

$$\frac{\sigma_{\text{მოქ}}}{E} \cdot l = \alpha t l - \delta - \frac{\sigma_{\text{მოქ}}}{4E} \cdot l,$$

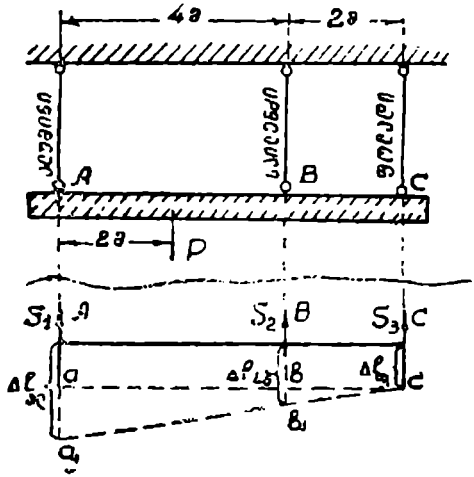
აქედან

$$\sigma_{\text{მოქ}} = \frac{\alpha t l - \delta}{l\left(1 + \frac{1}{4}\right)} \cdot E = \frac{125 \cdot 10^{-7} \cdot 875 \cdot 4 - 0{,}043}{4(1 + 0{,}25)} \cdot 2 \cdot 10^6;$$

$$\sigma_{\text{მოქ}} = 250 \text{ კგ/სმ}^2.$$



2.51 ამოცანისათვის.



2.52 ამოცანისათვის.

2.52. კოჭი AC (რომლის დეფორმაციას და წონას მხედველობაში არ ვღებულობთ) დაკიდებულია თანაბარი სიგრძისა და ტოლი განივკვეთის სამ ღეროზე (იხ. ნახაზი), A ღერო ალუმინისაა, B ღერო სპილენძის და C—ფოლადის. ხისტ კოჭზე მოდებულია $P = 5$ ტ ძალა, რომლის მოდების წერტილი და ღეროებს შორის მანძილი ნახაზზეა ნაჩვენები.

რა ძაბვები აღიძვრება ღეროებში, თუ ღეროს განივკვეთის ფართობი უდრის 2 სმ², დრეკადობის მოდული $E_ფ=3E_ალ$,

$$E_სპ=2E_ალ \text{ და } E_ალ=0{,}7\cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ა მ ო ხ ს ნ ა: ვისარგებლოთ სტატიკის პირობებით:

$$\Sigma y=0;\ S_1+S_2+S_3-5=0. \quad (1)$$

$$\Sigma M_c=0;\ 6\cdot S_1+2S_2-20=0. \quad (2)$$

რადგანაც გვაქვს სამი უცნობი სიდიდე S_1, S_2 და S_3 და ორი განტოლება, საჭიროა მესამე განტოლება შემოვიტანოთ დეფორმაციის ერთიანობის პირობიდან. aa_1c სამკუთხედიდან (იხ. ნახაზი) შევადგინოთ მესამე განტოლება:

$$\frac{\Delta l_ალ-\Delta l_ფ}{\Delta l_სპ-\Delta l_ფ}=\frac{6}{2}=3;$$

აქედან

$$\Delta l_ალ+2\Delta l_ფ-3\Delta l_სპ=0.$$

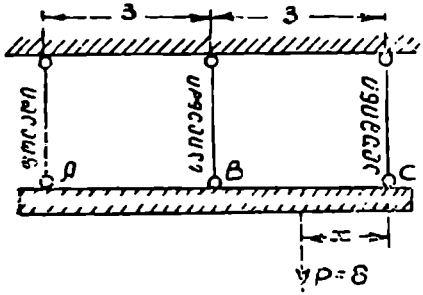
შევიტანოთ Δl-ს მნიშვნელობები:

$$\frac{S_1 l}{E_ალ\cdot F}-\frac{3S_2 l}{2E_ალ\cdot F}+\frac{2S_3 l}{3E_ალ\cdot F}=0;$$

$$6S_1-9S_2+4S_3=0. \quad (3)$$

(1), (2) და (3) განტოლებების ამოხსნის შედეგად მივიღებთ:

$$S_1=2{,}7 \text{ ტ};\ S_2=1{,}9 \text{ ტ};$$
$$S_3=0{,}4 \text{ ტ}.$$



2.53 ამოცანისათვის.

შესაბამისი ძაბვები იქნება:

$$\sigma_ალ=1350 \text{ კგ/სმ}^2;\ \sigma_სპ=950 \text{ კგ/სმ}^2;$$
$$\sigma_ფ=200 \text{ კგ/სმ}^2.$$

2.33. მოცემულია ფოლადის, სპილენძისა და ალუმინის სამი ღერო, რომელთა ბოლოები შეერთებულია ხისტი კოჭით (იხ. ნახაზი). შევარჩიოთ ძალის მოდების ადგილი ისეთნაირად, რომ ფოლადის ღეროში ძაბვა მიეიღოთ ნულის ტოლი.

მოცემულია $E_ფ=3E_ალ$; $E_სპ=2E_ალ$.

ღეროების ფართობები ტოლია:

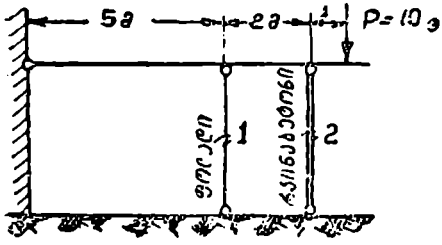
პ ა ს უ ხ ი: $x=1{,}5$ მ.

2.54. ტოლი განივკვეთის ფოლადის და რკინაბეტონის სვეტზე ხისტი კოჭის საშუალებით მოქმედებს $P=10$ ტ ძალა, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები (იხ. ნახაზი).

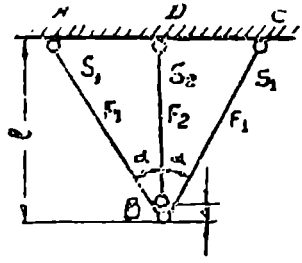
ვიანგარიშოთ რა ძალები აღიძვრება ფოლადის და რკინაბეტონის სვეტში, თუ ფოლადის დრეკადობის მოდული ხუთჯერ მეტია რკინაბეტონის დრეკადობის მოდულზე.

პასუხი: $S_1=11{,}5$ ტ;

$S_2=3{,}22$ ტ.



2.54 ამოცანისათვის.



2.55 ამოცანისათვის.

2.55. სამი ღეროსაგან შედგენილი სისტემის აწყობის დროს BD ღერო აღმოჩნდა 1 მმ-ით ნაკლები საპროექტო სიგრძეზე (იხ. ნახაზი), რის შედეგადაც აწყობის შემდეგ სისტემა აღმოჩნდა წინასწარ დაძაბულ მდგომარეობაში.

განვსაზღვროთ აწყობის შედეგად ღეროებში აღძრული ძაბვები, თუ

$$l=120 \text{ სმ}; \quad \alpha=30^\circ; \quad F_1=10 \text{ სმ}^2;$$

$$F_2=6 \text{ სმ}^2 \text{ და } E=2\cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: $\sigma_1=-391$ კგ/სმ²;

$\sigma_2=+1130$ კგ/სმ².

2.56. ვიანგარიშოთ როგორ გადანაწილდებიან წინა ამოცანის ღეროებში ძაბვები, თუ ტემპერატურამ მიაღწია $-10^\circ C$-ს, ხოლო მონტაჟი მოხდა $+20^\circ C$-ის დროს.

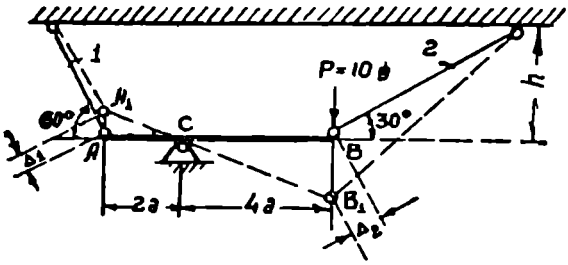
$$\alpha=125\cdot 10^{-7}.$$

პასუხი: $\sigma_1=-332{,}8$ კგ/სმ²;

$\sigma_2=+959{,}3$ კგ/სმ².

2.57. ხისტი ღერო C წერტილში ეყრდნობა სახსროვან საყრდენს და A და B წერტილებში დაკიდებულია ორი ერთი და იგივე მასალის და

ტოლი განივკვეთის მოკლე მჭიმებზე (იხ. ნახაზი). ღეროს B წერტილში მოდებულია $P=10$ ტ ძალა, მანძილი $AC=2$ მ-ს და $BC=4$ მ-ს.



2.57 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ რა ძალები აღიძვრება მჭიმებში.

ა მ ო ხ ს ნ ა: პირველ მჭიმში აღძრული მკუმშავი ძალა აღვნიშნოთ P_1-ით და მეორე მჭიმში აღძრული გამჭიმავი ძალა P_2-ით. ავიღოთ ხისტ ღეროზე მოდებული ყველა ძალის მომენტების ჯამი C საყრდენი წერტილის მიმართ გავუტოლოთ ნულს. მაშასადამე, $\Sigma M_c=0$ მოგვცემს:

$$-P_1\sin 60^\circ \cdot 2 - P_2\sin 30^\circ \cdot 4 + 4P = 0$$

ან

$$0{,}866P_1 + P_2 = 20. \qquad (ა)$$

სტატიკის წონასწორობის დანარჩენ ორ პირობას ვერ გამოვიყენებთ, რადგანაც თვითეული პირობა შემოიტანს ახალ უცნობებს C საყრდენი რეაქციის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელების სახით. მაშასადამე, სტატიკის პირობიდან მივიღეთ ერთი განტოლება (ა) ორი უცნობით—საჭიროა ერთი დამატებითი განტოლების შედგენა მჭიმების დეფორმაციის პირობიდან. P ძალის მოქმედებით B წერტილი მობრუნდება CB რადიუსით და დაიკავებს B_1 მდებარეობას (იხ. ნახაზი), დეფორმაციის სიმცირის გამო, BB_1 მიმართულება შეიძლება ჩავთვალოთ ვერტიკალურად. ანალოგიურად A წერტილი გადაადგილდება ვერტიკალურად ზევით და დაიკავებს A_1 მდებარეობას.

ACA_1 და BCB_1 სამკუთხედების მზგავსობიდან შეგვიძლია დავწეროთ:

$$BB_1 = 2AA_1.$$

როგორც ნახაზიდან ჩანს

$$AA_1 = \frac{\Delta_1}{\sin 60^\circ} \quad \text{და} \quad BB_1 = \frac{\Delta_2}{\sin 30^\circ} = 2\Delta_2;$$

მაშასადამე,

$$2\Delta_2 = \frac{2\Delta_1}{\sin 60^\circ};$$

$$\Delta_2 = \frac{\Delta_1}{\sin 60^\circ}. \qquad (ბ)$$

(ბ) არის მჭიმების დეფორმაციის პირობიდან მიღებული დამატებითი განტოლება

$$\Delta_1 = \frac{P_1 l_1}{EF}; \quad \Delta_2 = \frac{P_2 l_2}{EF};$$

$$l_1 = \frac{h}{\sin 60^\circ} \text{ და } l_2 = \frac{h}{\sin 30^\circ} = 2h;$$

მაშინ (ბ) განტოლება შემდეგნაირად დაიწერება:

$$\frac{P_2 \cdot 2h}{EF} = \frac{P_1 h}{EF \sin^2 60^\circ}.$$

შეკვეცის შემდეგ გვექნება:

$$P_2 = \frac{2}{3} P_1.$$

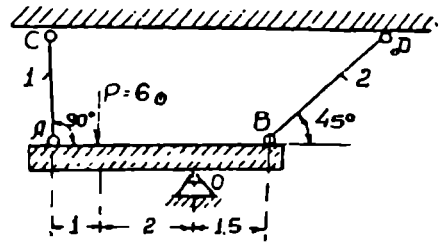
P_2-ს ეს მნიშვნელობა შევიტანოთ წონასწორობის (ა) განტოლებაში, მივიღებთ:

$$0{,}866 P_1 + 0{,}75 P_1 = 20;$$

$$P_1 = \frac{20}{1{,}616} = 12{,}38 \text{ ტ};$$

$$P_2 = 0{,}75 \cdot 12{,}38 = 9{,}28 \text{ ტ}.$$

2.58. ხისტი ღერო დაკიდებულია AC და BD ფოლადის ტოლგანივკვეთიან მჭიმზე და ეყრდნობა O სახსროვან საყრდენს (იხ. ნახაზი). ხისტი ღეროს K წერტილში მოდებულია 6 ტ შეყურსული ძალა. გეომეტრიული ზომები და მჭიმების დახრის კუთხე ნახაზზეა ნაჩვენები.



2.58 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ AC და BD მჭიმებში აღძრული S_1 და S_2 ძალები.

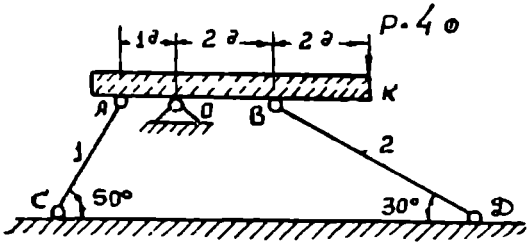
პასუხი: $S_1 = 3{,}672$ ტ,
$S_2 = 0{,}918$ ტ.

2.59. განვსაზღვროთ წინა ამოცანის პირობებისათვის რა ძალები აღიძვრება მჭიმებში, თუ AC მჭიმი სპილენძისაა და BD მჭიმი ფოლადის.

სპილენძის დრეკადობის მოდული $E_{სპ}=1\cdot10^6$ კგ/სმ²;
ფოლადის „ „ $E_{ფ}=2\cdot10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: $S_1=3{,}4$ ტ;
$S_2=1{,}7$ ტ.

2.60. ხისტი ღერო ეყრდნობა O სახსროვან საყრდენს და მყარ ფუძეებთან შეერთებულია AC და BD მჭიმებით (იხ. ნახაზი). ორივე მჭიმი ფოლადისაა; BD მჭიმის ფართობი ორჯერ მეტია AC მჭიმის ფართობზე. ხისტი ღეროს მარჯვენა ბოლოს K წერტილში მოქმედებს $P=4$ ტ ძალა.



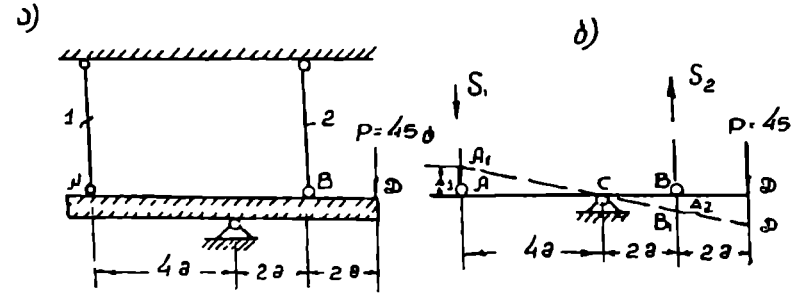
2.60 ამოცანისათვის.

განესაზღვროთ რა ძალები აღიძვრება მჭიმებში.

პასუხი: $S_1=7{,}28$ ტ;
$S_2=9{,}72$ ტ.

§ 5. ტვირთამტანიანობა და კვეთის შერჩევა

2.61. ხისტი კოჭი დაკიდებულია ორ ტოლგანივკვეთიან ფოლადის ღეროზე და ეყრდნობა C სახსროვან მყარ საყრდენს (იხ. ნახაზი).



2.61 ამოცანისათვის.

შეეარჩიოთ ღეროს განივკვეთის საჭირო ფართობი, თუ ხისტი კოჭის D ბოლოზე მოქმედებს 45 ტ ძალა და დასაშვები ძაბვა ღეროს მასალისათვის $[\sigma]=1200$ კგ/სმ².

ამოხსნა: როგორც ნახაზიდან ჩანს, ხისტ კოჭზე P ძალის მოქმედებით 1-ლ ღეროში აღიძვრება მკუმშავი S_1 და მე-2 ღეროში გამჭიმავი

S_2 ძალები (იხ. ნახაზი). იმისათვის, რომ შევარჩიოთ ღეროს განივკვეთის ფართობი, საჭიროა განვსაზღვროთ S_1 და S_2 ძალები. სტატიკის წონასწორობის პირობებიდან ჩვენი ამოცანისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ მხოლოდ მესამე პირობა; სახელდობრ, კოჭზე მოქმედი ყველა ძალის მომენტების ალგებრული ჯამი C საყრდენი სახსრის მიმართ უდრის ნულს, ე. ი. $\Sigma M_c=0$. მართლაც, სტატიკის პირველი პირობა $\Sigma x=0$, იგივურად კმაყოფილდება, ხოლო სტატიკის მეორე პირობას $\Sigma y=0$, S_1 და S_2-ს გარდა, შემოაქვს დამატებითი უცნობი, C საყრდენის რეაქცია, ამიტომ ეს პირობა ჩვენთვის გამოუყენებელია. ამგვარად, $\Sigma M_c=0$ გვაძლევს (იხ. ნახაზი):

$$-S_1 \cdot 4 - 2S_2 + P \cdot 4 = 0,$$

საიდანაც

$$2S_1 + S_2 = 90.$$

სტატიკიდან მივიღეთ ერთი განტოლება ორი უცნობით, ე. ი. ამოცანა ერთჯერ სატიკურად ურკვევია; საჭიროა დეფორმაციის ერთიანობის პირობიდან დამატებითი განტოლების შედგენა, რაც შემდეგში მდგომარეობს:

1-ლი ღეროს დამოკლება Δ_1 პროპორციულია მე-2 ღეროს დაგრძელების Δ_2-ს (იხ. ნახ. ბ), ე. ი.

$$\frac{\Delta_1}{\Delta_2} = \frac{4}{2};$$

აქედან

$$\Delta_1 = 2\Delta_2.$$

დეფორმაციის ამ განტოლებაში თუ შევიტანთ Δ_1 და Δ_2-ს მნიშვნელობებს, მივიღებთ:

$$\frac{S_1 h}{EF} = 2\,\frac{S_2 h}{EF},$$

საიდანაც

$$S_1 = 2S_2.$$

S_1-ის მნიშვნელობა ჩავსვათ სტატიკის განტოლებაში $4S_2 + S_2 = 90$; აქედან

$$S_2 = 18 \text{ ტ};$$

$$S_1 = 2 \cdot 18 = 36 \text{ ტ}.$$

რადგანაც ამოცანის პირობის თანახმად 1-ლ და მე-2 ღეროები ტოლი განივკვეთისაა, ამიტომ კვეთი უნდა შეირჩეს უდიდეს S_1 ძალაზე და მე-2 ღერო განხორციელდეს იმავე კვეთის

$$F = \frac{S_1}{[\sigma]} = \frac{36000}{1200} = 30 \text{ სმ}^2.$$

2.62. კვადრატული განივკვეთის რკინაბეტონის სვეტმა, რომლის ფართობის 4%-ს შეადგენს არმატურა, უნდა იმუშაოს $P=140$ ტ მკუმშავ ძალაზე.

შევარჩიოთ ბეტონის და არმატურის საჭირო ფართობი, თუ დასაშვები ძაბვები

$$[\sigma]_ბ = 50 \text{ კგ/სმ}^2;$$

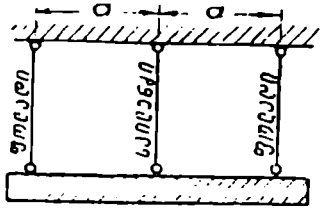
$$[\sigma]_ფ = 1200 \text{ კგ/სმ}^2$$

და დრეკადობის მოდულთა ფარდობა

$$\frac{E_ფ}{E_ბ} = 10.$$

პასუხი: $F_ბ = 2000$ სმ²;
$F_ფ = 80$ სმ².

2.63. თანაბრტოლი სიგრძის $l=120$ სმ მავთულის სამი ღეროა ზედა ბოლოებით ჩამაგრებულია ერთ დონეზე, ხოლო ქვედა ბოლოებზე ჩამოკიდებულია აბსოლუტურად ხისტი კოჭი წონით 14 ტ (იხ. ნახაზი). განაპირა მავთულების ტოლგანივკვეთიანი ღეროები ფოლადისაა, შუა კი სპილენძის; შუა მავთულის განივკვეთის ფართობის ფარდობა განაპირა მავთულის ფართობთან უდრის 1,6-ს.



2.63 ამოცანისათვის.

გავიანგარიშოთ ღეროების განივკვეთის ფართობები, თუ ფოლადზე დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1500$ კგ/სმ²; სპილენძზე – $[\sigma]=1000$ კგ/სმ²;

$E_ფ = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ²; $E_სპ = 1 \cdot 10^6$ კგ/სმ²; $\alpha_ფ = 125 \cdot 10^{-7}$; $\alpha_სპ = 165 \cdot 10^{-7}$.

როგორ შეიცვლება ძაბვები, როცა ტემპერატურა მოიმატებს 40°C-ით და რამდენით უნდა გავზარდოთ ტემპერატურა, რომ სპილენძის მავთული სრულიად გამოირთოს.

პასუხი: $F_ფ = \frac{10}{3}$ სმ²; $F_სპ = \frac{16}{3}$;

$$\sigma_ფ = 1500 \text{ კგ/სმ}^2; \quad \sigma_სპ = 750 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ტემპერატურის 40°C მომატების შემდეგ ძაბვები განაწილდება შემდეგნაირად:

$$\sigma_ფ = 1716 \text{ კგ/სმ}^2; \quad \sigma_სპ = 148 \text{ კგ/სმ}^2.$$

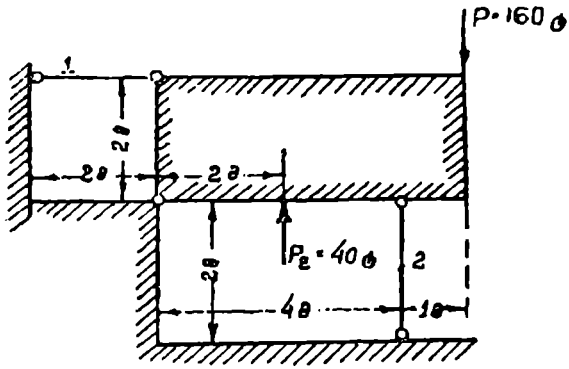
სპილენძის მავთული გამოირთვება მაშინ, როცა $\Delta t = 525°$.

2.64. კვადრატული განივკვეთის რკინაბეტონის სვეტზე მოქმედებს 150 ტ ცენტრალურად მკუმშავი ძალა. სვეტი არმირებულია 8 ფოლადის ღეროთი, რომელთა ფართობი შეადგენს სვეტის ფართობის 1,2%-ს. ფოლადის და ბეტონის დრეკადობის მოდულთა ფარდობა უდრის 10-ს. დაშვებები ძაბვა ბეტონისათვის—50 კგ/სმ², არმატურისათვის—1000 კგ/სმ².

განვსაზღვროთ სვეტის განივკვეთის ზომები და არმატურის ღეროს დიამეტრი.

პასუხი: 52×52 სმ;
$d = 16$ მმ.

2.65. ხისტი კონსტრუქცია საძირკველზე დამაგრებულია ორი ღეროთი და სახსროვანი საყრდენით (იხ. ნახაზი). 1 ღერო ფოლადისაა



2.65 ამოცანისათვის.

$$([\sigma]_ფ = 1600 \text{ კგ/სმ}^2;\ E_ფ = 2 \cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2);$$

მეორე—თუჯის

$$([\sigma]_თ = 1000 \text{ კგ/სმ}^2;\ E_თ = 1{,}2 \cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2);$$

მეორე ღეროს ფართობი ორჯერ მეტია პირველი ღეროს ფართობზე.

განვსაზღვროთ ფოლადის და თუჯის ღეროების საჭირო განივკვეთის ფართობი, თუ კონსტრუქციაზე მოქმედებენ:

$$P_1 = 160 \text{ ტ} \quad \text{და} \quad P_2 = 40 \text{ ტ} \quad \text{ძალები.}$$

პასუხი: $F_1 = 72$ სმ²;
$F_2 = 144$ სმ².

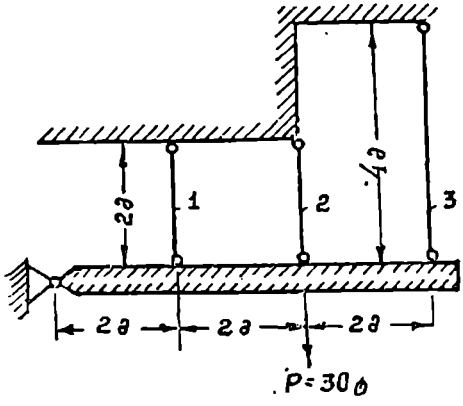
2.66. ხისტი ძელი, რომლის ერთი ბოლო სახსრითაა მიმაგრებული საყრდენზე, დაკიდებულია ტოლგანივკვეთიან სამ ღეროზე (იხ. ნახაზი).

1-ლი და მე-3 ღეროები ფოლადისაა, რომელთათვის

$$[\sigma]_ფ = 1600 \text{ კგ/სმ}^2; \quad E_ფ = 2 \cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2;$$

მე-2 ღერო კი სპილენძის

$$[\sigma]_სპ = 800 \text{ კგ/სმ}^2; \quad E_სპ = 1 \cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

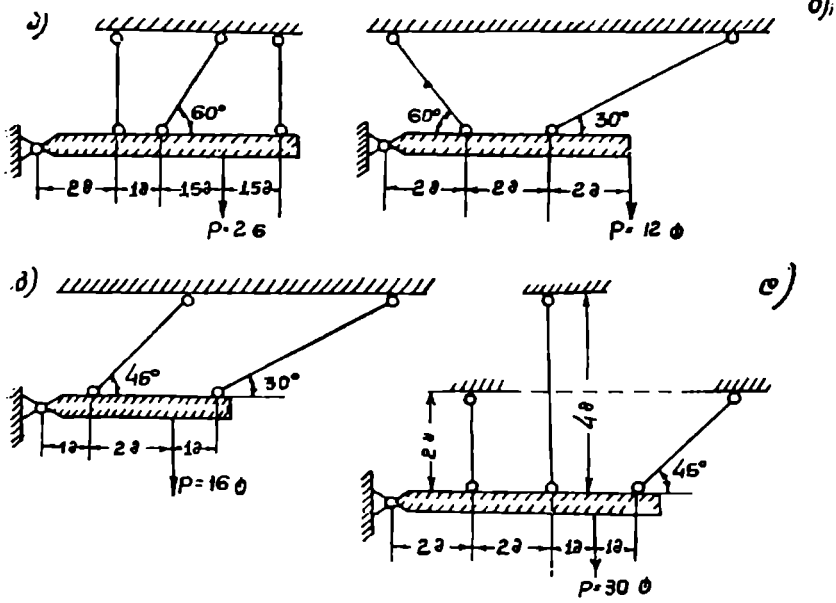


2.66 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ ღეროს საჭირო განივკვეთის ფართობი, თუ ძელზე მოქმედებს $P = 30$ ტ ძალა. ძალის მოდების ადგილი და სხვა საჭირო გეომეტრიული ზომები მოცემულია ნახაზზე.

პასუხი: $F = 10$ სმ².

2.67. ფოლადის ტოლგანივკვეთიან ღეროებზე დაკიდებულია ხისტი ძელი, რომლის ერთი ბოლო საყრდენთან სახსრითაა მიმაგრებული (იხ. ნახაზი).



2.67 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ ღეროების საპირო ფართობები, თუ ღეროს მასალისათვის $[\sigma]=1600$ კგ/სმ².

მოქმედი ძალის სიდიდე, მოდების ადგილი და სხვა საპირო გეომეტრიული ზომები ნახაზზეა ნაჩვენები.

პასუხი: ა) 9,6 სმ²; გ) 14,7 სმ²;
ბ) 6,37 სმ²; დ) 11,38 სმ².

2.68. ხისტი ძელი მყარ საყრდენთან დაკავშირებულია სახსრითა და ორი ღეროთი (იხ. ნახაზი).

1-ლი ღერო ფოლადისაა, რომლისთვისაც

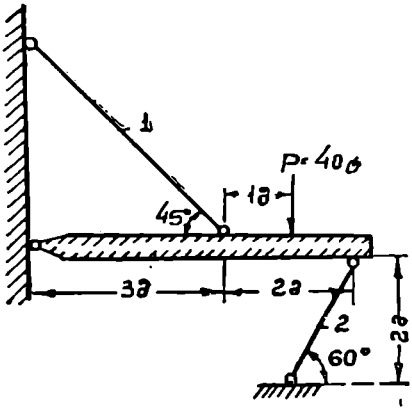
$$[\sigma]_ფ=1600 \text{ კგ/სმ}^2; \quad E_ფ=2\cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2;$$

მე-2 ღერო ხისაა:

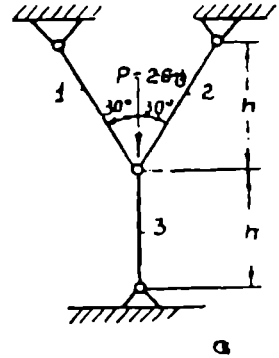
$$[\sigma]_ხ=80 \text{ კგ/სმ}^2; \quad E_ხ=1\cdot 10^5 \text{ კგ/სმ}^2.$$

განვსაზღვროთ ღეროთა განივკვეთის ფართობი, თუ ხისა და ფოლადის ღეროების ფართობთა ფარდობა უდრის 12-ს.

პასუხი: $F_1=31,7$ სმ;
$F_2=380$ სმ².



2.68 ამოცანისათვის.



2.69 ამოცანისათვის.

2.69. ნახაზზე მოცემული კონსტრუქციის 1-ლი და მე-2 ღერო ფოლადისაა, რომელთა

$$[\sigma]_ფ=1400 \text{ კგ/სმ}^2; \quad E_ფ=2\cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

მე 3 ღერო კი სპილენძის

$$[\sigma]_ს=800 \text{ კგ/სმ}^2; \quad E=1\cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

(იხ. ნახაზი) ფოლადის ღეროები ტოლი განივკვეთისაა, სპილენძის ღე-

როს განივკვეთის ფართობი სამჯერ მეტია ფოლადის ღეროს ფართობთან შედარებით.

შევარჩიოთ ფოლადის და სპილენძის ღეროს კვეთები.

პასუხი: $F_1 = F_2 = 5{,}8$ სმ²;
$F_3 = 17{,}4$ სმ².

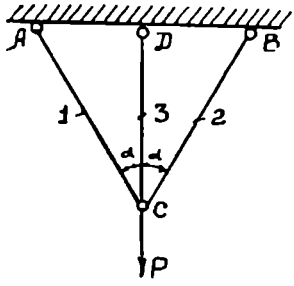
2.70. როგორი უნდა იყოს წინა ამოცანაში მოცემული კონსტრუქციის ღეროს კვეთი, თუ სამივე ღეროს ტოლი განივკვეთის ფართობი აქვს.

პასუხი: $F = 9$ სმ².

§ 6. ზღვრული დატვირთვის მეთოდით გაანგარიშება

2.71. სამი ტოლი განივკვეთის ფოლადის ღეროსაგან შედგენილ სისტემაზე მოქმედებს P ძალა (იხ. ნახაზი).

განვსაზღვროთ P ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა დასაშვები ძაბვის მეთოდით და დასაშვები ტვირთის მეთოდით. რამდენი პროცენტით ჭარბობს დასაშვები ტვირთის მეთოდით მიღებული ძალის სიდიდე დასაშვები ძაბვის მეთოდით მიღებულ ძალის სიდიდეს.



2.71 ამოცანისათვის.

მოცემულია ღეროს განივკვეთის ფართობი $F = 2$ სმ², დახრილი ღერო ვერტიკალთან ადგენს $\alpha = 30°$ კუთხეს. დენადობის ზღვარი $\sigma_{\text{დენ}} = 2500$ კგ/სმ² და მარაგის კოეფიციენტი $K = 2$.

ა მ ო ხ ს ნ ა: დასაშვებ ძაბვაზე გაანგარიშებისას სისტემის განივკვეთის ზომებს ისე ვარჩევთ, რომ არც ერთ ღეროში ძაბვა არ აღემატებოდეს დასაშვებ ძაბვას. ამ მეთოდით გაანგარიშებისას სისტემა საშიშ მდგომარეობაშია, თუ ერთ-ერთ ღეროში მაინც ძაბვა აღწევს დენადობის ზღვარს

$$\sigma_e = K[\sigma].$$

დასაშვები ტვირთის მეთოდით გაანგარიშებისას სისტემის საშიშ მდგომარეობად ითვლება ის მდგომარეობა, როდესაც კონსტრუქცია მთლიანად აღწევს დენადობის ზღვარს. მაქსიმალურ მრღვევ ძალას დასაშვები ძაბვის მეთოდით გაანგარიშებისას შეესაბამება ის მომენტი, როდესაც მესამე ღეროში ძაბვა გაუტოლდება დენადობის ზღვარს. მაქსიმალურ დასაშვებ ძალას მივიღებთ შემდეგი განტოლებიდან:

$$P = S_3(1+2\cos^2\alpha) = F[\sigma](1+2\cos^3\alpha) = F\frac{\sigma_{დენ}}{K}(1+2\cos^3\alpha);$$

$$P = 2\frac{2500}{2}(1+\cos^3 30^\circ) = 5750 \text{ კგ}.$$

დასაშვები ტვირთის მეთოდით მოცემულ სისტემას ვანგარიშობთ როგორც სტატიკურად რკვევადს, რომლის ყველა ღეროში ძაბვები ცნობილია და უდრის $F\sigma_{დენ}$-ს.

სტატიკის პირობიდან დავწერთ:

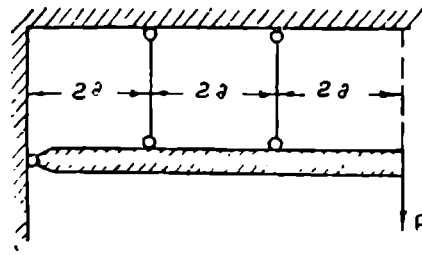
$$P_{ზღვ} = S_{ზღვ} + 2S_{ზღვ}\cdot\cos\alpha = F\sigma_{დენ}(1+2\cos\alpha) = 2\cdot 2500\,(1+2\cdot 0{,}866) = 13660 \text{ კგ}.$$

დასაშვები ძალა

$$P = \frac{P_{ზღ}}{2} = \frac{13660}{2} = 6830 \text{ კგ}.$$

როგორც ჩანს, დასაშვები ტვირთის მეთოდით გაანგარიშება საშუალებას გვაძლევს იგივე სისტემა დავტვირთოთ 18,8% მეტი ძალით. აქედან გამომდინარეობს ის დიდი ეკონომია, რომელსაც ეს მეთოდი იძლევა.

2.72. აბსოლუტურად ხისტი კოჭი, რომლის ბოლოზე მოქმედებს P ძალა, ჩამოკიდებულია ტოლი სიგრძისა და განივკვეთის ფოლადის ორ ღეროზე, რომლის $F = 2{,}4$ სმ² და $\sigma_{დენ} = 2500$ კგ/სმ² (იხ. ნახაზი).



2.72 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ ის მაქსიმალური დასაშვები ძალა, რომელიც შეიძლება მივაყენოთ სისტემას, თუ გაანგარიშებას ვახდენთ დასაშვები ძაბვისა და დასაშვები ტვირთის მეთოდით.

რამდენი პროცენტით ჭარბობს დასაშვები ტვირთის მეთოდით მიღებული ძალის სიდიდე, დასაშვები ძაბვის მეთოდით მიღებულ ძალის სიდიდეს?

პასუხი: დასაშვები ძაბვის მეთოდით $P = 5000$ კგ-ს;
დასაშვები ტვირთის მეთოდით $P = 6000$ კგ-ს
განსხვავება 20%.

2.73. განვსაზღვროთ წინა ამოცანის პირობებისათვის მოცემული სისტემის მასალის ეკონომია %-ბით, თუ ორივე მეთოდით გაანგარიშები-

სას შევარჩევთ ღეროს განივკვეთის ფართობს დასაშვებ ძალაზე $P=5000$ კგ-ს.

პასუხი: მასალის ეკონომია დასაშვები ტვირთის მეთოდით გაანგარიშებისას 16%.

2.74. სამი ღეროსაგან შედგენილი ფოლადის სახსროვანი სისტემა თავმოყრილია D სახსარში და მასზე მოქმედებს P ძალა (იხ. ნახაზი).

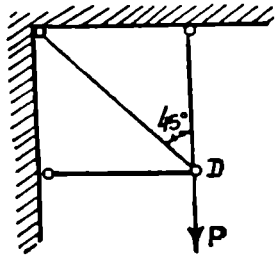
ვიპოვოთ დასაშვები ტვირთის მეთოდით მაქსიმალური დასაშვები ძალა, რომელიც შეგვიძლია მოვდოთ სისტემას, თუ ღეროების განივკვეთის ფართობი ტოლია და უდრის 2 სმ²-ს;

$$\sigma_{დენ}=2400 \text{ კგ/სმ}^2\text{-ს}$$

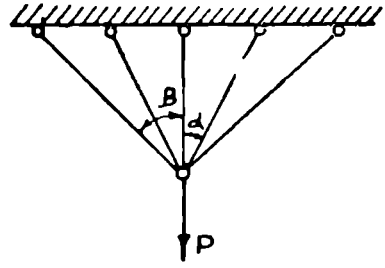
და

$$K=1{,}4\text{-ს}.$$

პასუხი: $P=5850$ კგ.



2.74 ამოცანისათვის.



2.75 ამოცანისათვის.

2.75. მოცემული გვაქვს სიმეტრიული ღეროვანი სისტემა, რომელიც შედგება ტოლი განივკვეთის ფოლადის ხუთი ღეროსაგან (იხ. ნახაზი).

ვიანგარიშოთ ზღვრული P ძალა დასაშვები ძაბვისა და დასაშვები ტვირთის მეთოდით, თუ ღეროების განივკვეთის ფართობი $F=1$ სმ²-ს, კუთხე $\alpha=30°$-ს, $\beta=45°$-ს, ძაბვა დენადობის ზღვარზე $\sigma_{დენ}=2500$ კგ/სმ²-ს

პასუხი: დასაშვები ძაბვის მეთოდით $P_{ზღვრ}=6630$ კგ

„ ტვირთის „ $P_{ზღვრ}=7850$ კგ.

2.76. სპილენძის წრიული განივკვეთის ღერო, რომლის ფართობია 30 სმ², თავისუფლად ჩასმულია 20 სმ² ფართობის მქონე ფოლადის მილში. შედგენილ ღეროს ხისტი ფილის საშუალებით გადაეცემა ცენტრალურად მკუმშავი ძალა.

განვსაზღვროთ დასაშვები ტვირთის მეთოდით ზღვრული მკუმშავი ძალა, თუ დენადობის ზღვარი ფოლადისათვის

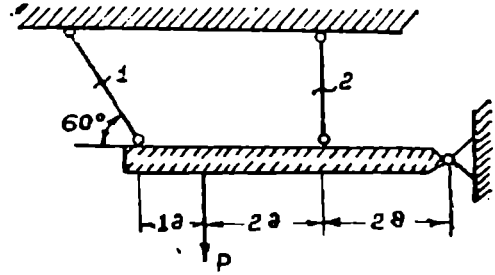
$\sigma_{ზ.ფ}=2600$ კგ/სმ² და სპილენძისათვის

$\sigma_{ზ.სპ}=1800$ კგ/სმ².

პასუხი: $P_{ზღვრ}=106$ ტ.

2.77. ერთი ბოლოთი სახსრულად ჩამაგრებული ხისტი ღერო ჩამოკიდებულია ორ ტოლგანივკვეთიან ფოლადის ღეროზე, რომელთა ფართობია $F=8$ სმ² (იხ. ნახაზი).

განვსაზღვროთ ზღვრული ტვირთის მეთოდით,—რა ძალა შეიძლება ვამოქმედოთ კონსტრუქციაზე და რას უდრის ძაბვები ამ ძალის მოქმედების დროს 1-ლ და მე-2 ღეროებში, თუ ძალის მოდების წერტილი სახსრული საყრდენიდან დაცილებულია 4 მეტრით.



2.77 ამოცანისათვის.

დენადობის ზღვარი ღეროს მასალისათვის: $\sigma_{დენ}=2400$ კგ/სმ² და მარაგის კოეფიციენტია 2.

პასუხი: $P=15{,}18$ ტ;
$\sigma_1=1400$ კგ/სმ²;
$\sigma_2=750$ კგ/სმ².

2.78. განვსაზღვროთ წინა ამოცანის პირობებისათვის რას უდრის P ძალის დასაშვები მაქსიმალური მნიშვნელობა და როგორი ძაბვები ეღიძვრებიან 1-ლ და მეორე ღეროებში, თუ კონსტრუქციას ვანგარიშობთ დასაშვები ძაბვის მეთოდით.

პასუხი: $P=12{,}98$ ტ;
$\sigma_1=1200$ კგ/სმ²;
$\sigma_2=640$ კგ/სმ².

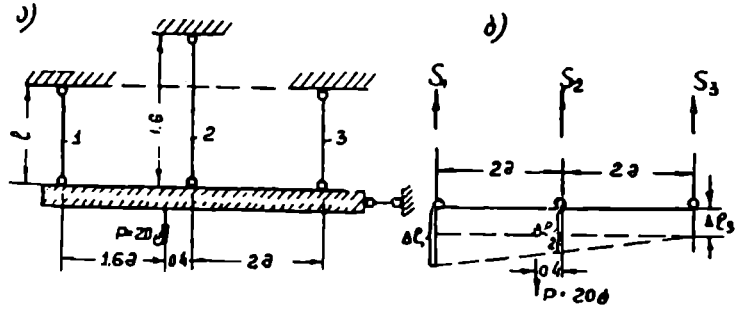
2.79. ხისტი ძელი ჩამოკიდებულია სამ ტოლგანივკვეთიან ღეროზე. 1-ლი ღერო სპილენძისაა, რომლის დენადობის ზღვარი $\sigma_{დენ}=1800$ კგ/სმ² და $E_ც=1\cdot10^6$ კგ/სმ²; მე-2 და მე-3 ღეროები ფოლადისაა, რომელთათვის $\sigma_{დენ}=2800$ კგ/სმ² და $E_ფ=2\cdot10^6$ კგ/სმ² (იხ. ნახაზი).

განვსაზღვროთ ღეროების განივკვეთის ფართობი ზღვრული ტვირთის მეთოდით, თუ ხისტ ძელზე მოქმედებს $P=20$ ტ ძალა, რომლის მოდების ადგილი და სხვა საჭირო გეომეტრიული ზომები ნახაზზეა ნაჩვენები.

ა მ ო ხ ს ნ ა: განვსაზღვროთ პირველად P ძალის მოქმედებით ღეროებში აღძრული ძალები მათი დრეკადობის ფარგლებში მუშაობის პირობისათვის. დავუშვათ, რომ სამივე ღერო იჭიმება, რომლის შესაბამისი ძალთა

სქემა და სისტემის დეფორმირებული სახე ნაჩვენებია ცალკე ნახაზზე (იხ. ნახ. ბ).

სტატიკის წონასწორობის პირობები მოგვცემს ორ განტოლებას.



2.79 ამოცანისათვის.

ხისტ ძელზე მოქმედი ყველა ძალის გეგმილების ჯამი ვერტიკალურ ღერძზე, მოგვცემს:

$$S_1+S_2+S_3-P=0. \qquad (I)$$

ამავე ძალის მომენტების ალგებრული ჯამი შუა ღეროს სახსრის მიმართ იქნება:

$$S_1 \cdot 2-S_2 \cdot 2-P \cdot 0{,}4=0. \qquad (II)$$

სტატიკა მეტ განტოლებას ვერ გვაძლევს, მაშასადამე, ამოცანა ერთჯერ სტატიკურად ურკვევია. დამატებით მესამე განტოლებას ვადგენთ დეფორმაციის პირობიდან (იხ. ნახ. ბ).

$$\frac{\Delta l_1-\Delta l_3}{4}=\frac{\Delta l_2-\Delta l_3}{2}.$$

თუ ამ განტოლებაში აბსოლუტურ გრძივ დეფორმაციებს გამოვსახავთ ძალის საშუალებით, დეფორმაციის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე:

$$2S_1-3{,}2S_2+S_3=0. \qquad (III)$$

(I), (II) და (III) განტოლებებით მიღებული სისტემის ამოხსნა, კონსტრუქციის დრეკადობის ფარგლებში მუშაობის დროს მოგვცემს ღეროებში აღძრული ძალებისა და ძაბვების შემდეგ მნიშვნელობებს:

$$S_1=0{,}408\ P \qquad \text{და} \qquad \sigma_1=0{,}408\frac{P}{F};$$

$$S_2 = 0{,}384\ P \qquad \text{და} \qquad \sigma_2 = 0{,}384\frac{P}{F};$$

$$S_3 = 0{,}208\ P \qquad \text{და} \qquad \sigma_3 = 0{,}208\frac{P}{F}.$$

როგორც ზემოთ მიღებული სიდიდეებიდან ჩანს, ღეროების დრეკადობის ფარგლებში მუშაობის დროს ყველაზე დაძაბულია 1-ლი ღერო. P ძალის შემდგომი გადიდებით ამ ღეროში პირველად ძაბვა მიაღწევს დენადობის ზღვარს, მაშასადამე, ზღვრული ტვირთი 1-ლი ღეროსათვის იქნება:

$$S_1^{\text{ზღვრ}} = \sigma_{\text{სა.დენ}} \cdot F.$$

ამ მომენტში მე-2 და მე-3 ღეროებში ძაბვას ჯერ არ მიუღწევია დენადობის ზღვრამდე. ძალის შემდგომი გაზრდისას 1-ლი ღერო დარჩება უცვლელად და გაიზრდება ძაბვები მე-2 და მე-3 ღეროებში მანამ, სანამ უფრო მეტად დაძაბულ მე-2 ღეროში აღძრული ძალა

$$S_2^{\text{ზღვრ}} = \sigma_{\text{ფ. დენ}} \cdot F.$$

1-ლ და მე-2 ღეროებში დენადობის დაწყება იქნება კონსტრუქციისთვის ზღვრული მდგომარეობა, რადგანაც ეს ღეროები დეფორმირდებიან ძალის გაზრდის გარეშე, ხოლო ხისტ ძელს შეუძლია შემობრუნება მე-3 ღეროს სახსრის ირგვლივ, მე-3 ღეროში ძალა არ გაიზრდება მანამ, სანამ 1-ლი და მე-2 ღეროები არ გაიელიან დენადობის მოედანს.

კონსტრუქციის ზღვრული მდგომარეობის გამომწვევი ძალა აღვნიშნოთ $P_{\text{ზღვრ}}$-ით.

ავიღოთ კონსტრუქციაზე $P_{\text{ზღვრ}}$ ძალის მოქმედების დროს ყველა ძალის მომენტების ალგებრული ჯამი მე-3 ღეროს მიერთების სახსრის მიმართ:

$$S_1^{\text{ზღვრ}} \cdot 4 + S_2^{\text{ზღვრ}} \cdot 2 - P_{\text{ზღვრ}} \cdot 2{,}4 = 0$$

ან

$$\sigma_{\text{სა.დენ}} \cdot F \cdot 4 + \sigma_{\text{ფ.დენ}} F \cdot 2 - P_{\text{ზღვრ}} \cdot 2{,}4 = 0.$$

ეს განტოლება გავყოთ მარაგის კოეფიციენტ K-ზე, მივიღებთ:

$$[\sigma]_{\text{სა}} F \cdot 4 + [\sigma]_{\text{ფ}} F \cdot 2 - P \cdot 2{,}4 = 0,$$

რადგანაც

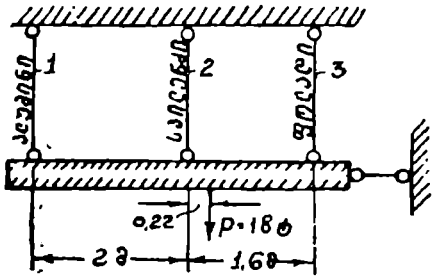
$$\frac{P_{\text{ზღვრ}}}{K} = P, \qquad \frac{\sigma_{\text{სა. დენ}}}{K} = [\sigma]_{\text{სა}} \quad \text{და}$$

$$\frac{\sigma_{\text{ფ. დენ}}}{K} = [\sigma]_{\text{ფ}}.$$

დავუშვათ $K=2$,
მაშინ:

$$F=\frac{1{,}2\ P}{2[\sigma]_{ა}+[\sigma]_{ფ}}=\frac{1{,}2\cdot 20000}{2\cdot 900+1400}=7{,}5\ \text{სმ}^2.$$

2.80. ხისტი კოჭი ჩამოკიდებულია სამტოლგანივკვეთიან ღეროზე (იხ. ნახაზი). 1-ლი ღერო ალუმინისაა, რომლისთვისაც



2.80 ამოცანისათვის.

$$\sigma_{დენ}=1200\ \text{კგ/სმ}^2\ \text{და}$$
$$E_{ალ}=0{,}7\cdot 10^6\ \text{კგ/სმ}^2.$$

მე-2 ღერო სპილენძისაა, რომლის

$$\sigma_{სპ.დენ}=1800\ \text{კგ/სმ}^2$$
და $E_{სპ}=1\cdot 10^6\ \text{კგ/სმ}^2$.

მე-3 ღერო ფოლადისაა, რომლის

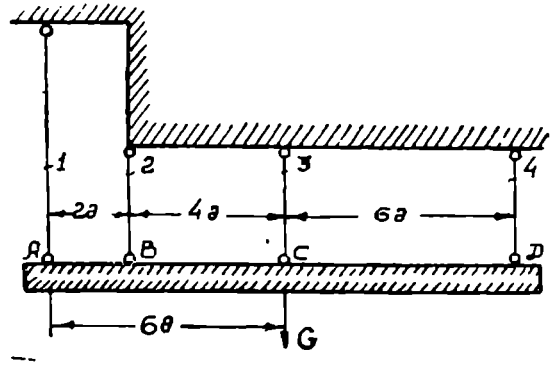
$$\sigma_{ფ.\ დენ}=2800\ \text{კგ/სმ}^2\ \text{და}$$
$$E_{ფ}=2\cdot 10^6\ \text{კგ/სმ}^2.$$

განესაზღვროთ ღეროს საჭირო ფართობი ზღვრული ტვირთის მეთოდით, თუ მარაგის კოეფიციენტი სამივე ღეროს მასალებისათვის $K=1{,}8$-ს.

პასუხი: $F=6{,}3$ სმ^2.

2.81. ხისტი კოჭი, რომლის წონა 20 ტ ჩამოკიდებულია ტოლგანივკვეთიანი ფოლადის ოთხ ღეროზე (იხ. ნახაზი).

შევარჩიოთ ღეროების განივკვეთის ფართობი დასაშვები ტვირთის მეთოდით, თუ დენადობის ზღვარი ფოლადისათვის $\sigma_{დენ}=2500$ კგ/სმ^2, და მარაგის კოეფიციენტი $K=2$ (ღეროებს შორის მანძილი ნახაზზეა ნაჩვენები).



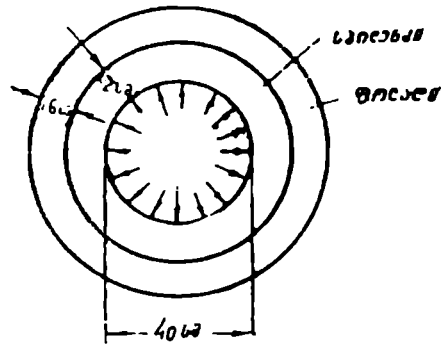
2.81 ამოცანისათვის.

მითითება: როგორც ნახაზიდან ჩანს, ძაბვა დენადობის ზღვარს მიაღწევს ჯერ მე-4 ღეროში, შემდეგ მე-3 და ბოლოს მე-2 ღეროში.

იმისათვის, რომ შევარჩიოთ განივკვეთის ფართობი, დავწეროთ წონასწორობის პირობა: $\Sigma M_A = 0$.

პასუხი: $F = 4{,}8$ სმ².

2.82. სპილენძის რგოლზე მჭიდროდ ჩამოცმულია ფოლადის სალტე. განვსაზღვროთ დასაშვები ტვირთის მეთოდით წნევა სპილენძის რგოლის შიგა ზედაპირის ერთეულ ფართობზე, რომელიც დაარღვევს სისტემას (იხ. ნახაზი).



2.82 ამოცანისათვის.

მოცემულია სპილენძის რგოლის შიგა დიამეტრი $d = 40$ სმ-ს, კედლის სისქე 2 სმ-ს, ფოლადის სალტის კედლის სისქე 1,5 სმ-ია, დენადობის ზღვარი სპილენძისათვის 1400 კგ/სმ²; ფოლადისათვის 2500 კგ/სმ².

მითითება: ამ მეთოდით გაანგარიშებისას დარღვევა მაშინ იქნება, როდესაც სპილენძსა და ფოლადში ძაბვა მიაღწევს დენადობის ზღვარს.

პასუხი: $q_{\text{შიგ}} = 327{,}5$ კგ/სმ².

2.83. გავიანგარიშოთ დასაშვები ტვირთის მეთოდით—რა მკუმშავი ძალა შეგვიძლია ვამოქმედოთ რკინაბეტონის სვეტზე უშიშრად, თუ სვეტში სიმეტრიულად ჩალაგებული არმატურის ფართობი უდრის 2 სმ²-ს, ბეტონის ფართობი 50 სმ²-ს, დენადობის ზღვარი არმატურისათვის ტოლია 2500 კგ/სმ²; დროებითი წინაღობა ბეტონისათვის—110 კგ/სმ²; მარაგის კოეფიციენტი $K = 2$.

პასუხი: $P = 5250$ კგ.

თავი მესამე

საკუთარი წონის გავლენა. დრეკადი ძაფი

მოკლე ცნობები თეორიიდან

მუდმივი კვეთის ძელის ღერძული გაჭიმვის ან კუმშვის დროს, ნებისმიერ x კვეთში ძაბვა, ძელის საკუთარი წონის მხედველობაში მიღებით, ტოლია:

$$\sigma_{(x)}=\frac{P+\gamma Fx}{F}=\frac{P}{F}+\gamma x,$$

სადაც P არის ღერძული გამჭიმავი ან მკუმშავი ძალა, γ—ძელის მასალის მოცულობითი წონა, F—ძელის განივკვეთის ფართობი.

ძელის ჩამაგრების კვეთში ძაბვა:

$$\sigma_{max}=\frac{P}{F}+\gamma l.$$

საპირო განივკვეთის ფართობი სიმტკიცის პირობის მიხედვით იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$F\geq\frac{P}{[\sigma]-\gamma l}.$$

აბსოლუტური გრძივი დეფორმაცია

$$\Delta l=\frac{Pl}{EF}+\frac{\gamma l^2}{2E}=\frac{Pl}{EF}+\frac{Ql}{2EF},$$

სადაც

$$Q=\gamma Fl.$$

ტოლწინაღობიანი ძელის განივკვეთის ფართობი ნებისმიერ x კვეთში

$$F_{(x)}=F_0e^{\frac{\gamma}{\sigma}x},$$

სადაც

$$F_0=\frac{P}{[\sigma]};$$

ჩამაგრების კვეთში

$$F(l)=F_0e^{\int_0^l\frac{\gamma}{[\sigma]}dl}.$$

ტოლწინაღობიანი ძელის აბსოლუტური გრძივი დეფორმაცია

$$\Delta l=\varepsilon l=\frac{[\sigma]l}{E}=\frac{Pl}{EF_0}.$$

საფეხურიანი ძელის n საფეხურის განივკვეთის ფართობი, როცა საფეხურების სიგრძე სხვადასხვაა, იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$F_n=\frac{P[\sigma]^{n-1}}{([\sigma]-\gamma l_1)([\sigma]-\gamma l_2)\dots([\sigma]-\gamma l_n)},$$

სადაც $l_1, l_2 \dots l_n$ არის შესაბამისი საფეხურების სიგრძე, n—საფეხურების რიცხვი.

ტოლსაფეხურიანი ძელის შემთხვევაში, როცა

$$l_1=l_2=\dots=l_n=l$$

$$F_n=\frac{P}{[\sigma]\left(1-\frac{\gamma l}{[\sigma]}\right)^n}.$$

საფეხურიანი ძელის აბსოლუტური გრძივი დეფორმაცია მიიღება საფეხურების (როგორც პრიზმული ძელის) დეფორმაციათა შეჯამებით, ამასთან, ყოველი საფეხურის დეფორმაციის გაანგარიშების დროს წინამდებარე საფეხურების წონა ემატება გარე ძალას.

დრეკადი ძაფი. ერთ დონეზე დაკიდებული ძაფის დაკიდების ისარი

$$f=\frac{ql^2}{8H};$$

აქედან

$$H=\frac{ql^2}{8f},$$

სადაც q არის გრძივ მეტრზე მოსული დატვირთვის ინტენსივობა,
l—საყრდენებს შორის მანძილი, H—ძაფის დაჭიმულობა.

თუ მოცემულია საყრდენებს შორის მანძილი l და დაკიდების ისარი f, მაშინ შესაბამისი ძაფის სიგრძე

$$S\approx l\left(1+\frac{8}{3}\frac{f^2}{l^2}\right).$$

ნგბისმიერ წერტილში ძაფის დაჭიმულობა

$$T=\frac{H}{\cos\alpha},$$

სადაც α არის აღებულ წერტილში ძაფის მხების დახრის კუთხე ჰორიზონტთან.

ძაფის მაქსიმალური დაჭიმულობა არის ჩამაგრების კვეთში და უდრის

$$T_{max}=H\sqrt{1+\frac{16f^2}{l^2}};$$

როდესაც ძაფი დაკიდებულია სხვადასხვა დონეზე მდებარე საყრდენებზე, მაშინ ძაფის ჰორიზონტალური დაჭიმულობა იანგარიშება ფორმულით:

$$H=\frac{ql^2}{2(\sqrt{f_2}\pm\sqrt{f_1})^2},$$

სადაც f_1 და f_2 არის ძაფის ყველაზე დაბალი წერტილიდან მარცხენა და მარჯვენა საყრდენის დონემდე შესაბამისი მანძილები.

ზემოაღნიშნული ერთ დონეზე დაკიდებული ძაფი, რომლის მალია l, დაჭიმულობა H_1, დატვირთვის ინტენსივობა q_1 დაკიდებულია t_1 ტემპერატურის დროს; თუ ექსპლოატაციის პერიოდში შემოყინვისაგან (ან სხვა მიზეზით) დატვირთვის ინტენსივობა გახდა q_2, ხოლო ტემპერატურა t_2, მაშინ შესაბამისი დაჭიმულობა H_2 იანგარიშება შემდეგი კუბური განტოლების ამოხსნის საფუძველზე

$$H_2^3+\left[\frac{EFq_1^2l^2}{24H_1^2}+EF\alpha(t_2-t_1)-H_1\right]H_2^2-\frac{EFq_2^2l^2}{24}=0,$$

სადაც E არის ძაფის მასალის დრეკადობის მოდული,

F—განივკვეთის ფართობი, α—ძაფის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი.

§ 7. ძაბვების და დეფორმაციების გამოთვლა საძუთარი წონის მხედველობაში მიღებით

3.1. რა სიმაღლის შეიძლება ავაშენოთ აგურის სვეტი, რომელიც იმუშაებს მხოლოდ საკუთარი წონით გამოწვეულ ძალაზე, თუ დასაშვები ძაბვა აგურის წყობაზე კუმშვის დროს $[\sigma]=8$ კგ/სმ² და წყობის მოცულობითი წონა $\gamma=1{,}6$ გ/სმ³.

პასუხი: $l=50$ მ.

3.2. განვსაზღვროთ ზედა ბოლოთი ჩამაგრებული ფოლადის, ხის ღეროებისა და კანაფისათვის კრიტიკული, ანუ ის სიგრძე, რომლის დროსაც მასალა გაწიცდის რღვევას საკუთარი წონის გავლენით.

თუ ფოლადისათვის მრღვევი ძაბვა $\sigma_{მრღ}=4800$ კგ/სმ², მოცულობითი წონა $\gamma=7{,}8$ გ/სმ³, ხისათვის $\sigma_{მრღ}=800$ კგ/სმ²; $\gamma=0{,}57$ გ/სმ³. კანაფისათვის $\sigma_{მრღ}=2000$ კგ/სმ²; $\gamma=1{,}1$ გ/სმ³.

პასუხი: $l_{ფოლ}=6150$ მ;
$l_{ხის}=14000$ მ;
$l_{კან}=18200$ მ.

3.3. დავადგინოთ კრიტიკული ანუ ზღვრული სიმაღლე მუდმივი სისქის ბეტონის კედლისათვის, თუ მრღვევი ძაბვა ბეტონისათვის $\sigma_{მრღ}=110$ კგ/სმ², მოცულობითი წონა $\gamma=2{,}4$ ტ/მ³.

პასუხი: $l_{ბეტ}=458$ მ.

3.4. ერთი ბოლოთი ჩამაგრებული ბაგირის თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს ძალა $P=2$ ტ, ბაგირის სიგრძე $l=200$ მ-ს, დიამეტრი $d=2$ სმ-ს.

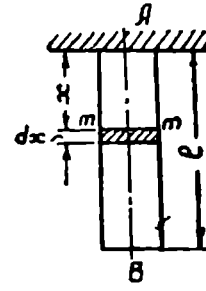
რამდენი პროცენტით გაიზრდება ძაბვა ჩამაგრების კვეთში საკუთარი წონის გავლენით, თუ $\gamma=7{,}7$ გ/სმ³.

პასუხი: $24{,}1\%$.

3.5. ზედა ბოლოთი ჩამაგრებული ძელი იქიმება საკუთარი წონით. ვიპოვოთ დამოკიდებულება ჩამაგრებიდან x მანძილზე დაშორებული $m-n$ კვეთის გადაადგილება Δl_x-სა და x მანძილს შორის.

ამოხსნა:

$m-n$ კვეთის გადაადგილება ტოლია ამ კვეთის ზემოთ მდებარე ძელის აბსოლუტური წაგრძელებისა. dx ელემენტის წაგრძელება, რომელიც დაშორებულია ჩამაგრებული ბოლოდან x მანძილით, გამოისახება შემდეგი ფორმულით:



3.5 ამოცანისათვის.

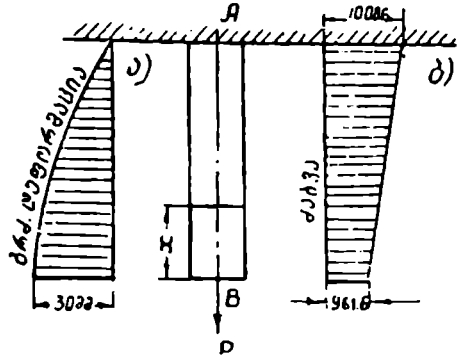
$$\frac{(l-x)\gamma dx}{E},$$

სადაც γ არის მასალის მოცულობითი წონა, მაშასადამე, $m-n$ კვეთის გადაადგილება ტოლია:

$$\Delta l_x=\int_0^x \frac{(l-x)\gamma dx}{E}=\frac{\gamma x(2l-x)}{2E}.$$

3.6. წრიული განივკვეთის ფოლადის ღერო, რომლის სიგრძეა 60 მ, ზედა ბოლოთი დამაგრებულია, ხოლო ქვედა ბოლოზე მოქმედებს 40 ტ ტვირთი.

განვსაზღვროთ ღეროს დიამეტრი საკუთარი წონის მხედველობაში მიღებით, თუ მოცულობითი წონა $\gamma = 7{,}85$ ტ/მ³ და დასაშვები ძაბვა $[\sigma] = 1000$ კგ/სმ².



3.7 ამოცანისათვის.

პასუხი: $d = 7{,}28$ სმ.

3.7. წინა ამოცანის ღეროსათვის ავაგოთ ძაბვისა და გრძივი დეფორმაციის ეპიურები.

ამოხსნა: საკუთარი წონის მხედველობაში მიღებისას ძაბვა იცვლება შემდეგი კანონით:

$$\sigma_x = \frac{P}{F} + \gamma x .$$

მაშასადამე, ძაბვის ეპიურა იცვლება სწორი ხაზის კანონით (იხ. ნახ.). უდიდესი ძაბვა ჩამაგრების კვეთში იქნება:

$$\sigma_{max} = \frac{P}{F} + \gamma l = \frac{40000}{\frac{3 \cdot 14 \cdot 7{,}28^2}{4}} + 0{,}00785 \cdot 6000 = 1008{,}6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

უმცირესი ძაბვა ძალის მოქმედების B კვეთში:

$$\sigma_{min} = \frac{P}{F} = \frac{4 \cdot 40000}{3{,}14 \cdot 7{,}28^2} = 961{,}5 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ღეროს ნებისმიერი კვეთის გადაადგილება λ მოიძებნება ფორმულით:

$$\lambda = \Delta l - \Delta x = -\frac{Pl}{EF} + \frac{\gamma l^2}{2E} - \frac{Px}{EF} - \frac{\gamma x^2}{2E};$$

$$\lambda = \frac{P}{EP}(l - x) + \frac{\gamma}{2E}(l^2 - x^2).$$

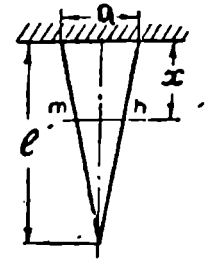
როგორც ჩანს, გრძივი დეფორმაციის ეპიურას აქვს პარაბოლის სახე (იხ. ნახ.). ღეროს ქვედა ბოლო მიიღებს მაქსიმალურ გადაადგილებას $\lambda_{max} = \Delta l = 30$ მმ.

3.8. კონუსური ფორმის ღერო იწიმება საკუთარი წონით (იხ. ნახაზი).

მოვძებნოთ დამოკიდებულება ნებისმიერ $m-n$ კვეთის გადაადგილებისა და x მანძილს შორის, სადაც x არის $m-n$ კვეთის დაშორება ჩამაგრების კვეთიდან.

პასუხი: $\Delta lx = \frac{\gamma x(2l-x)}{6E}$.

3.9. განვსაზღვროთ სწორკუთხოვანი ქვის სვეტის განივკვეთის ზომები საკუთარი წონის მხედველობაში მიღებით, თუ სვეტზე მოქმედებს მკუმშავი ძალა $P=30$ ტ, სვეტის სიმაღლე $l=8$ მ, დასაშვები ძაბვა კუმშვაზე $[\sigma]=10$ კგ/სმ², მოცულობითი წონა $\gamma=2$ ტ/მ³ და განივკვეთის ზომების ფარდობა $\frac{h}{b}=2$.



3.8 ამოცანისათვის.

პასუხი: $b\cong 43$ სმ;
$h=86$ სმ.

3.10. ვერტიკალურად დაკიდებული ფოლადის ღერო დატვირთულია მხოლოდ საკუთარი წონით. გამოვიანგარიშოთ ღეროს სიგრძე, თუ ფოლადის მოცულობითი წონა $\gamma=7{,}85$ გ/სმ³ და ძაბვა ჩამაგრების კვეთში $\sigma=600$ კგ/სმ².

პასუხი: $l=764$ მ.

3.11. როგორი იქნება წინა ამოცანის ღეროსათვის საკუთარი წონით გამოწვეული აბსოლუტური დაგრძელება, თუ ფოლადისათვის $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: $\Delta l=11{,}45$ სმ.

3.12. განვსაზღვროთ 24 მ სიგრძის კვადრატული განივკვეთის საფეხურებიანი სვეტის ზომები, რომელიც შედგება სამი თანაბარი სიმაღლის საფეხურებისაგან და იკუმშება 40 ტ ძალით. სვეტის წყობაზე დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=10$ კგ/სმ², წყობის მოცულობითი წონა $\gamma=2$ გ/სმ³.

პასუხი: 68×68 სმ²;
75×75 სმ²;
82×82 სმ².

3.13. სიღრმის გასაზომად ზღვაში ჩაშვებულია მუდმივი განივკვეთის ბაგირი. გავიგოთ ბაგირის აბსოლუტური გრძივი დეფორმაცია და ძაბვა წყლის ზედაპირთან, როცა ბაგირის ბოლომ მიაღწია 4 კმ-ს.

ბაგირის მოცულობითი წონა $\gamma=7{,}8$ გ/სმ³ და დრეკადობის მოდული $E=1{,}8\cdot 10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: $\sigma=l(\gamma-1)=2720$ კგ/სმ²;
$\Delta l=302$ სმ.

3.14. 3,6 კმ-ის სიმაღლეზე აშვებულია აეროსტატი, რომელსაც იპერს 70 მავთულისაგან შედგენილი ფოლადის ბაგირი. თვითეული მავთულის დიამეტრი $d=2{,}5$ მმ-ს, მოცულობითი წონა $\gamma=7{,}8$ გ/სმ³.

ბაგირის ქვედა ბოლოსთან შეერთებულია დინამომეტრი, რომელიც გვიჩვენებს $P=700$ კგ ძალას.

განვსაზღვროთ ძაბვა ბაგირის ქვედა (ჯალამბართან) და ზედა (აეროსტატთან) კვეთებში.

ამოხსნა: ქვედა კვეთის ერთ მავთულზე მოსული ძალა $P_1 = \frac{700}{70} = 10$ კგ. მაშასადამე ძაბვა ქვედა კვეთში

$$\sigma_{ქვ} = \frac{10 \cdot 4}{3{,}14 \cdot 0{,}25^2} = 203{,}5 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ძაბვა ზედა კვეთში:

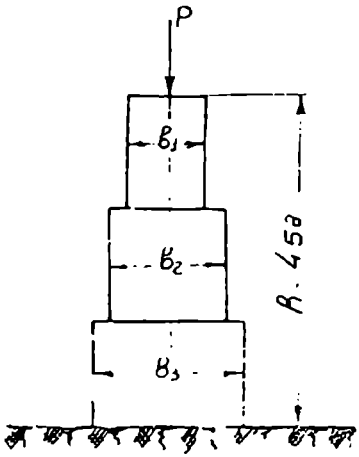
$$\sigma_{ზედ} = \sigma_{ქვ} + \gamma l.$$

$$\sigma_{ზედ} = 203{,}5 + 0{,}0078 \cdot 360000 = 3011 \text{ კგ/სმ}^2.$$

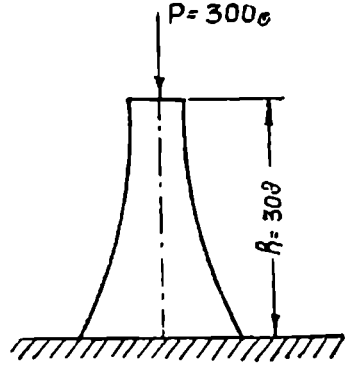
3.15. 4,5 მ სიმაღლის და 1 მ სიგრძის საძირკველზე მოქმედებს $P = 60$ ტ ღერძული ძალა (იხ. ნახაზი).

რას უდრის ძაბვა გრუნტზე, თუ საძირკველს აქვს სამი თანაბარი სიმაღლის საფეხური, რომელთა სიგანეა: $b_1 = 1$ მ, $b_2 = 1{,}5$ მ, $b_3 = 2$ მ. წყობის მოცულობითი წონა $\gamma = 2$ ტ/მ^3.

პასუხი: $\sigma = 3{,}675$ კგ/სმ^2.



3.15 ამოცანისათვის.



3.16 ამოცანისათვის.

3.16. მოცემულია ტოლწინაღობიანი ფორმის ბეტონის ხიდის ბურჯი (იხ. ნახაზი), რომელზედაც მოქმედებს გარე ძალა $P = 300$ ტ, ბურჯის სიმაღლეა $h = 30$ მ, წყობის მოცულობითი წონა $\gamma = 2{,}4$ ტ/მ^3, $[\sigma] = 60$ კგ/სმ^2, დრეკადობის მოდული $E = 2 \cdot 10^5$ კგ/სმ^2.

განვსაზღვროთ ზედა და ქვედა ფუძეების ფართობი F_0 და F_n, ბურჯის მოცულობა V, წონა Q და ბურჯის აბსოლუტური გრძივი დეფორმაცია Δh.

ამოხსნა: ბურჯის ზედა ფართობი

$$F_0=\frac{P}{[\sigma]}=\frac{300000}{60}=5000\ \text{სმ}^2.$$

ფართობი ჩამაგრების კვეთში:

$$F_n=F_0\cdot e^{\frac{\gamma}{(\sigma)}l}=5000e^{\frac{0{,}00\,24\,.\,8000}{60}};$$

$$F_n=5000e^{0{,}12}=5640\ \text{სმ}^2.$$

ბურჯის წონა:

$$Q=[\sigma]\cdot F_n-P=60\cdot 5640-300000;$$

$$Q=38400\ \text{კგ}=38{,}4\ \text{ტ}.$$

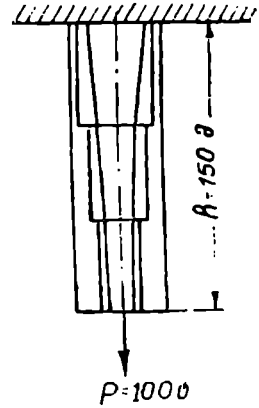
მოცულობა

$$V=\frac{Q}{\gamma}=\frac{38{,}4}{2{,}4}=16\ \text{მ}^3.$$

აბსოლუტური გრძივი დეფორმაცია

$$\Delta h=h\cdot\varepsilon=h\cdot\frac{[\sigma]}{E};$$

$$\Delta h=3000\frac{60}{2\cdot 10^5}=0{,}9\ \text{სმ}=9\ \text{მმ}.$$



3.17 ამოცანისათვის.

3.17. შეავადაროთ განივკვეთის ზომები, მოცულობა და გრძივი დეფორმაცია სამი თანაბარი სიგრძის $h=150$ მ ფოლადის ღეროსი, რომელთაგან ერთი არის პრიზმული, მეორე—სამი ტოლსაფეხურიანი და მესამე—ტოლწინაღობიანი ძელები (იხ. ნახაზი).

თუ გამჭიმავი ძალა თვითეული ღეროსათვის $P=100$ ტ-ს, დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1000$ კგ/სმ^2.

ღეროს მასალის მოცულობითი წონა $\gamma=7{,}85$ გ/სმ^3 და დრეკადობის მოდული $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ^2.

პასუხი: 1) $F=113{,}3$ სმ^2; $V=1{,}7$ მ^3; $\Delta h=7{,}061$ სმ;

2) $F_1=104{,}1$სმ^2; $V=1{,}622$ მ^3; $\Delta h=7{,}366$ სმ;
$F_2=108.2$ სმ^2;
$F_3=112{,}3$ სმ^2;

3) $F=112{,}1$ სმ^2; $V=1{,}592$ მ^3; $\Delta h=7{,}5$ სმ.

3.18. კედელი ერთ გრძივ მეტრ სამძირკველს გადასცემს $P=48$ ტ ტვირთს. გრუნტი, რომელსაც უნდა დაეყრდნოს სამძირკველი, მდებარეობს მიწის ზედაპირიდან 2,5 მ სიღრმეზე.

ვიანგარიშოთ სამძირკვლის საჭირო სიგანე, საკუთარი წონის მხედველობაში მიღებით, თუ სამძირკვლის მოცულობითი წონა $\gamma=2,2$ ტ/მ³ და დასაშვები ძაბვა გრუნტზე $[\sigma]=3$ კგ/სმ².

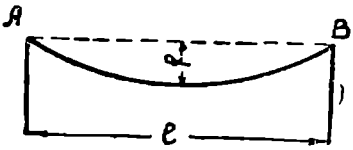
პასუხი: $b=196$ სმ.

3.19. რა სიღრმის უნდა იყოს წინა ამოცანაში მოცემული სამძირკველი, რომ მისი საკუთარი წონის მხედველობაში მიღებით და გრუნტზე დასაშვები ძაბვის შეუცვლელად სამძირკვლის სიგანე გამოვიდეს უსასრულოდ დიდი.

პასუხი: $h=13,64$ მ.

§ 8. მოქნილი ძაფი

3.20. ერთ დონეზე მდებარე ორ საყრდენზე ჩამოკიდებულია ბაგირი დიამეტრით $d=4,2$ სმ-ს, რომლის ერთი გრძივი მეტრი იწონის 10 კგ-ს, საყრდენებს შორის მანძილი $l=50$ მ-ს და დაკიდების ისარი $f=2$ მ-ს (იხ. ნახაზი).



3.20 ამოცანისათვის.

ვიანგარიშოთ ბაგირის მაქსიმალური და მინიმალური დაჭიმულობა.

ამოხსნა: მინიმალურ დაჭიმულობას ადგილი ექნება იმ კვეთში, სადაც დაკიდების ისარი აღწევს მაქსიმუმს, ე. ი.

$$H=\frac{ql^2}{8f}=\frac{10\cdot 2500}{8\cdot 2}=1560 \text{ კგ}.$$

მაქსიმალური დაჭიმულობა არის ბაგირის ჩამაგრების კვეთში

$$T_{max}=H\sqrt{1+16\frac{f^2}{l^2}}=1562\sqrt{1+16\frac{2^2}{50^2}};$$

$$T_{max}=1582 \text{ კგ}.$$

3.21. სპილენძის მავთულს, რომლის დიამეტრი $d=4$ მმ-ს და დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=800$ კგ/სმ², ჩამოკიდებულია ერთ დონეზე მდებარე ორ საყრდენზე.

განვსაზღვროთ მინიმალური დაკიდების ისარი, რომელიც შეგვიძლია მივცეთ მავთულს, თუ მალი $l=50$ მ-ს, გრძივ მეტრზე დატვირთვის ინტენსივობა $q=0,11$ კგ/მ-ს.

პასუხი: $f_{min}=34,4$ სმ.

3.22. ვიანგარიშოთ ძაბვა წინა ამოცანისათვის მალის შუაში, როცა დაკიდების ისარი $f=1$ მ-ს.

პასუხი: $\sigma=275$ კგ/სმ².

3.23. ფოლადის ბაგირი, დიამეტრით $d=5$ მმ, ბოლოებით დამაგრებულია ორ ანძაზე, რომელთა შორის დონეთა სხვაობა $h=3$ მ-ს, ანძებს შორის მანძილი $l=60$ მ-ს, დატვირთვის ინტენსივობა გრძივ მეტრზე $q=2$ კგ/მ-ს (იხ. ნახაზი).

ვიანგარიშოთ დაჭიმულობა H, თუ $f_1=0{,}5$ მ-ს.

პასუხი: $H=541$ კგ.

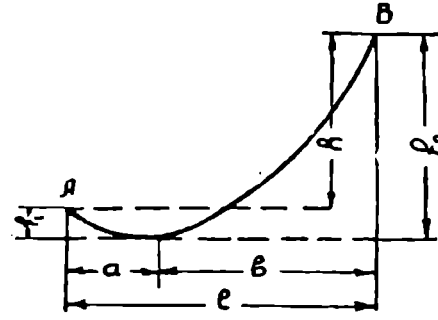
3.24. ვიანგარიშოთ წინა ამოცანისათვის ბაგირის დაჭიმულობა H, თუ $f_1=0$.

მითითება: აქ გამოვიყენებთ სხვადასხვა დონეზე დაკიდებული ბაგირის დაჭიმულობის საანგარიშო ფორმულას:

$$H=\frac{ql^2}{2(\sqrt{f_2}\pm\sqrt{f_1})^2}.$$

პასუხი: $H=1200$ კგ.

3.25. სპილენძის მავთული, კვეთით $F_1=200$ მმ², ჩამოკიდებულია ერთ დონეზე მდებარე საყრდენებზე, რომლებიც ერთმანეთისაგან დაცილებულია $l=120$ მ-ით.



3.23 ამოცანისათვის.

მავთულის მონტაჟის დროს ჰაერის ტემპერატურა იყო $+15°C$ და დაჭიმულობა $H_1=800$ კგ. მავთულის მახასიათებლები შემდეგია:

გრძივი მეტრის საკუთარი წონა $q=1{,}76$ კგ/მ.

დრეკადობის მოდული $E=1{,}4\cdot10^6$ კგ/სმ², ტემპერატურული ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი $\alpha=17\cdot10^{-6}$.

გამოვიანგარიშოთ მავთულის დაჭიმულობა და დაკიდების ისარი, თუ ტემპერატურამ დაიწია $-5°C$-მდე და მავთული შემოიყინა 8 მმ სისქეზე (იხ. ნახაზი).

ამოხსნა: ვიანგარიშოთ შემოყინვის წონა ერთ გრძივ მეტრზე, შემოყინვის ფართობი

$$F_2=\frac{3{,}14}{4}(3{,}2^2-1{,}6^2)=6{,}04\ \text{სმ}^2.$$

თუ მივიღებთ ყინულის მოცულობით წონას $\gamma=0{,}9$ გ/სმ³, მაშინ დატვირთვა შემოყინვისგან ერთ გრძივ მეტრზე იქნება:

$$q_2 = 0{,}0009 \cdot 6{,}04 \cdot 100 = 0{,}543 \text{ კგ/მ}.$$

დატვირთვის ინტენსივობა საკუთარი წონით და შემოყინვით გამოწვეული

$$q = q_1 + q_2 = 2{,}303 \text{ კგ/მ}.$$

ვიანგარიშოთ მავთულის დაჭიმულობა იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ტემპერატურა გახდა $-5°C$ და ამავე დროს მავთული შემოიყინა 8 მმ სისქეზე.

ვწერთ დაჭიმულობის საანგარიშო კუბურ განტოლებას:

$$H^3 + \left[\frac{EF_1 q_1^2 l^2}{24 H_1^2} + EF_1\alpha(t - t_1) - H_1\right] H^2 - \frac{EF_1 q^2 l^2}{24} = 0.$$

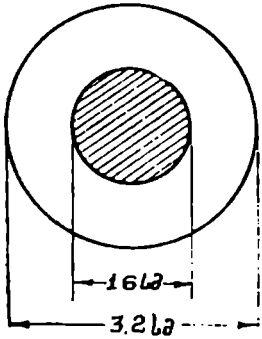
შევიტანოთ მნიშვნელობები, მივიღებთ:

$$H^3 + \left[\frac{1{,}4 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 1{,}76^2 \cdot 120^2}{24 \cdot 800^2} + \right.$$

$$\left. + 1{,}4 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 17 \cdot 10^{-6}(15 + 5) - 800\right] H^2 -$$

$$- \frac{1{,}4 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 2{,}303^2 \cdot 120^2}{24} = 0.$$

$$H^3 + 8292H^2 - 8{,}91 \cdot 10^9 = 0.$$



3.25 ამოცანისათვის.

კუბური განტოლების ამოხსნის დროს ჩვენ გვაინტერესებს არსი დადებითი ფესვი, რომელსაც ვპოულობთ თანდათანობითი მიახლოების წესით

$$H = 980 \text{ კგ}.$$

დაკიდების ისარი

$$f = \frac{ql^2}{8H} = \frac{2{,}303 \cdot 120^2}{8 \cdot 980} = 4{,}22 \text{ მ}.$$

3.26. ერთ დონეზე მდებარე მალალი ძაბვის გადამცემი ხაზის ანძებს შორის მანძილი $l = 100$ მ-ს. დაკიდების ისარი $f = 2{,}2$ მ-ს, მავთულის განივკვეთის ფართობი $F = 1{,}5$ სმ²-ს, დრეკადობის მოდული $E = 1{,}3 \cdot 10^6$ კგ/სმ² და მოცულობითი წონა $\gamma = 8{,}8$ გ/სმ².

ვიანგარიშოთ მავთულის დაჭიმულობა, თუ ქარის დაწოლის ინტენსივობა $q_0 = 24$ კგ/მ²-ს.

მ ი თ ი თ ე ბ ა: ქარის დაწოლა ერთ გრძივ მეტრ მავთულზე

$$q_2 = d \cdot 1 \cdot q_0,$$

სადაც d არის მავთულის დიამეტრი.

საბოლოოდ, საკუთარი წონით და ქარის დაწოლით გამოწვეული ინტენსივობა მავთულზე

$$q=\sqrt{q_1^2+q_2^2}.$$

დაჭიმულობა, რომელსაც გამოიწვევს q ინტენსივობა, იანგარიშება კუბური განტოლებიდან:

$$H^3+\left[\frac{EFq_1^2l^2}{24H_1^2}-H_1\right]H^2-\frac{EFq^2l^2}{24}=0.$$

3.27. ვიანგარიშოთ დაკიდების ისარი წინა ამოცანაში მოცემული პირობებისათვის, თუ ტემპერატურის ნაზრდი $\Delta t=30^\circ C$ და ქარი არ მოქმედებს. ტემპერატურული ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი

$$\alpha=17\cdot10^{-6}.$$

3.28. ჩამოვკიდოთ ფოლადის მავთული 50 მ მალით ისე, რომ დაკიდების ისარი f საკუთარი წონის მოქმედებით არ აღემატებოდეს 1 მეტრს.

ვიპოვოთ ჩამოსაკიდებელი მავთულის საჭირო სიგრძე S, მავთულის საკუთარი წონით გამოწვეული დაჭიმულობის შესაბამისი ძაბვა და აბსოლუტური გრძივი დეფორმაცია, თუ მავთულის დიამეტრი $d=3$ მმ ს, ხოლო მოცულობითი წონა $\gamma=7{,}8$ გ/სმ³-ს.

პასუხი: $S=50{,}05$ მ; $H=17{,}1$ კგ;
$\sigma=244$ კგ/სმ²; $\Delta l=0{,}61$ სმ.

3.29. ორ საყრდენზე სიმეტრიულად ჩამოკიდებული ფოლადის მავთულის პირვანდელი სიგრძე „S“ უდრის საყრდენებს შორის დაშორებას—l ს.

ვიპოვოთ მავთულის საკუთარი წონით გამოწვეული დეფორმაციის შესაბამისი დაკიდების ისარი, თუ საყრდენებს შორის ჰანძილი $l=40$ მ-ს, $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ²-ს და $\gamma=7{,}8$ ტ/მ³-ს.

ამოხსნა: ჩაღუნვა მოხდება მავთულის დეფორმაციით, რომელსაც იწვევს საკუთარი წონა.

დეფორმირებული მავთულის სიგრძე

$$S_1=l+\Delta l, \qquad (ა)$$

სადაც

$$\Delta l=\frac{Hl}{EF}=\frac{\gamma l^3}{8Ef}$$

და პ. ლ. ჩებიშევის ფორმულის მიხედვით

$$S_1=l\sqrt{1+\frac{16}{3}\frac{f^2}{l^2}},$$

(ა) განტოლებაში Δl-ს და S_1-ის მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ მივიღებთ:

$$l\sqrt{1+\frac{16}{3}\frac{f^2}{l^2}}=l+\frac{\gamma l^3}{8Ef}.$$

შევკვეცოთ l-ზე და გავანთავისუფლოთ რადიკალისაგან:

$$1+\frac{16}{3}\frac{f^2}{l^2}=1+\frac{\gamma l^2}{4Ef}+\frac{\gamma^2 l^4}{64E^2f^2}.$$

ბოლო წევრი, როგორც პრაქტიკულად მცირე სიდიდე უგულებელვყოთ და საბოლოოდ გვექნება:

$$f=l\sqrt[3]{\frac{3\gamma l}{64E}}=4000\sqrt[3]{\frac{3\cdot 0{,}0078\ \ 4000}{64\cdot 2\cdot 10^6}}=36\ \text{სმ}.$$

ვ.35. ორ საყრდენზე სიმეტრიულად დაკიდებული სპილენძის მავთულის პირვანდელი სიგრძე „S“ უდრის საყრდენებს შორის მანძილს l-ს:

ვიპოვოთ მავთულის საკუთარი წონით გამოწვეული დაკიდების ისარი და დაჭიმულობა, თუ საყრდენებს შორის მანძილი $l=15$ მ-ს, $E=1{,}3\cdot 10^6$ კგ/სმ^2, $\gamma=8{,}8$ ტ/მ^3-ს და $d=10$ მმ-ს.

პასუხი: $f=11{,}7$ სმ; $H=16580$ კგ.

შენიშვნა: როგორც ჩანს, დაჭიმულობა იმდენად დიდია, რომ ამ პირობების პრაქტიკულად გახორციელება სპილენძის მავთულისათვის შეუძლებელია.

თავი მეოთხე

რთული დაძაბული მდგომარეობა

მოკლე ცნობები თეორიიდან

ძაბვები დახრილ კვეთზე ხაზობრივი დაძაბული მდგომარეობისას:

$$\sigma_\alpha = \sigma_0 \cos^2 \alpha; \qquad \tau_\alpha = \frac{\sigma_0}{2} \sin 2\alpha,$$

სადაც σ_α და τ_α არიან α კუთხით დახრილ კვეთში ნორმალური და მხები ძაბვები,

σ_0 — ნორმალური ძაბვა ღეროს ღერძის მართობ კვეთში,

α — კუთხე ღერძული ძალის მიმართულებასა და დახრილი კვეთის ნორმალს შორის.

კვეთს, სადაც მხები ძაბვა ნულის ტოლია, მთავარი კვეთი ეწოდება. მთავარ კვეთზე მოქმედი ძაბვა მთავარი ძაბვაა. მთავარი ძაბვებია: σ_1, σ_2 და σ_3. ინდექსები მიეკუთვნებათ ალგებრულ მნიშვნელობათა მიხედვით, ე. ი. $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

ხაზობრივი დაძაბული მდგომარეობის დროს ორი მთავარი ძაბვა ნულის ტოლია, ბრტყელი დაძაბულობისას ერთი მთავარი ძაბვა უდრის ნულს, ხოლო მოცულობითი დაძაბულობისას სამივე მთავარი ძაბვა არსებობს.

ბრტყელი დაძაბული მდგომარეობისას დახრილ კვეთში ნორმალური და მხები ძაბვები შემდეგია:

$$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_3 \sin^2 \alpha;$$

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\sigma.$$

მოცულობითი დაძაბული მდგომარეობისას ფარდობითი დეფორმაციები მთავარი ძაბვების მიმართულებით ტოლია:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} - \mu \left(\frac{\sigma_2}{E} + \frac{\sigma_3}{E} \right);$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E} - \mu\left(\frac{\sigma_1}{E} + \frac{\sigma_3}{E}\right);$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\sigma_3}{E} - \mu\left(\frac{\sigma_2}{E} + \frac{\sigma_1}{E}\right);$$

აქ E არის მასალის დრეკადობის მოდული, μ-პუასონის კოეფიციენტი.

ბრტყელი დაძაბული მდგომარეობის შემთხვევაში, როდესაც $\sigma_3=0$, გვექნება:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} - \mu\frac{\sigma_2}{E};$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E} - \mu\frac{\sigma_1}{E};$$

$$\varepsilon_3 = -\mu\left(\frac{\sigma_1}{E} + \frac{\sigma_2}{E}\right).$$

დეფორმაციის შედეგად სხეულის მოცულობის ფარდობითი ცვლილება

$$\Theta = \frac{v_1 - v_0}{v_0} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

ან, თუ ძაბვებით გამოვსახავთ:

$$\Theta = \frac{1-2\mu}{E}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3).$$

მოცულობითი დაძაბული მდგომარეობისას დეფორმაციის სრული პოტენციალური ენერგია

$$U = \frac{1}{2E}\left[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu\,(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_2\sigma_3)\right].$$

რთული დაძაბული მდგომარეობისას მასალის სიმტკიცეზე შესამოწმებლად არსებობს ოთხი თეორია:

პირველი თეორია:

$$\sigma_1 \leqslant [\sigma] \quad \text{ან} \quad [\sigma_3] \leqslant [\sigma] \qquad \text{I}$$

მეორე თეორია:

$$[\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)] \leqslant [\sigma] \qquad \text{II}$$

მესამე თეორია:

$$(\sigma_1-\sigma_3)\leq[\sigma] \qquad \text{III}$$

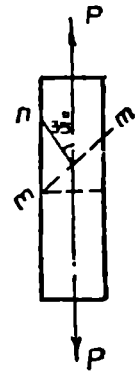
მეოთხე თეორია:

$$\left.\begin{array}{l}\sqrt{\sigma_1^2+\sigma_2^2+\sigma_3^2-\sigma_1\sigma_2-\sigma_1\sigma_3-\sigma_3\sigma_3}\leq[\sigma]\\ \text{ან}\quad \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2]}\leq[\sigma]\end{array}\right\} \qquad \text{IV}$$

§ 9. ხაზოვანი, ბრტყელი და მოცულობითი დაძაბული მდგომარეობა

4.1. ღერო, რომლის დიამეტრია 8 სმ, იშიმება 32 ტ ძალით.

განვსაზღვროთ ნორმალური და მხები ძაბვების სიდიდე იმ კვეთში, რომლის ნორმალი ძელის ღერძთან ადგენს 35° კუთხეს, (იხ. ნახაზი), რომელ კვეთში აღწევს მხები ძაბვა მაქსიმუმს და რას უდრის მისი სიდიდე.



4.1 ამოცანისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა: ხაზობრივი დაძაბული მდგომარეობისას α კუთხით დახრილ კვეთში

$$\sigma_\alpha=\sigma_0\cos^2\alpha \qquad \text{და} \qquad \tau_\alpha=\frac{\sigma_0}{2}\sin 2\alpha.$$

ჩვენს შემთხვევაში

$$\sigma_{35^\circ}=\frac{P}{F}\cos^2 35^\circ=\frac{32000}{\frac{3{,}14\cdot 8^2}{4}}(0{,}8192)^2=425\ \text{კგ/სმ}^2.$$

$$\tau_{35^\circ}=\frac{P}{2\cdot F}\cdot\sin 70^\circ=\frac{32000\cdot 2}{3{,}14\cdot 8^2}\cdot 0{,}9397=297\ \text{კგ/სმ}^2.$$

როგორც მხები ძაბვის ფორმულიდან ჩანს τ_α მაშინ აღწევს მაქსიმუმს, როცა $\sin 2\alpha=1$, ე. ი. $\alpha=45^\circ$. მაშასადამე,

$$\tau_{max}=\frac{\sigma_0}{2}=317\ \text{კგ/სმ}^2.$$

4.2. კვადრატული განივკვეთის ღერო იშიმება 22 ტ ძალით.

როგორი უნდა იყოს ღეროს განივკვეთის ზომები, რომ მხები ძაბვა ნებისმიერ დახრილ კვეთში არ აღემატოს 550 კგ/სმ²-ს.

პ ა ს უ ხ ი: 4,47×4,47 სმ².

4.3. პრიზმატული ღერო, განივკვეთით 3×5სმ², იშიმება 20 ტ ძალით.

ვიპოვოთ ნორმალური და მხები ძაბვები იმ კვეთში, რომლის ნორმალი ძალის მიმართულებასთან ადგენს 80° კუთხეს და ის მაქსიმალური მხები ძაბვა, რომელიც ღეროში აღიძვრება.

პასუხი: $\sigma_{80^\circ} = 40{,}15$ კგ/სმ²;
$\tau_{80^\circ} = 228$ კგ/სმ²;
$\tau_{max} = 666$ კგ/სმ².

4.4. გაჭიმული ღეროს ერთ-ერთ დახრილ კვეთში ნორმალური ძაბვა $\sigma_\alpha = 800$ კგ/სმ² და მხები ძაბვა $\tau_\alpha = 300$ კგ/სმ².

ვიპოვოთ ღეროში ნორმალური და მხები ძაბვების უდიდესი მნიშვნელობები.

ამოხსნა: პირველად უნდა მოვძებნოთ იმ დახრილი კვეთის დახრის კუთხე, რომლისთვისაც ძაბვები მოცემულია.

ვიცით $\sigma_0 \cos^2\alpha = 800$;

$$\frac{\sigma_0}{2}\sin 2\alpha = 300.$$

პირველი ტოლობიდან $\sigma_0 = \dfrac{800}{\cos^2\alpha}$ შევიტანოთ მხები ძაბვის ფორმულაში, მივიღებთ:

$$\frac{800 \cdot \sin 2\alpha}{2\cos^2\alpha} = 300;$$

აქედან

$$\frac{\sin\alpha \cdot \cos\alpha}{\cos^2\alpha} = \frac{3}{8}$$

ან $\operatorname{tg}\alpha = 0{,}375$, ხოლო $\alpha = 20^\circ 35'$.

თუ შევიტანთ α-ს მნიშვნელობას σ_0-ის გამოსახულებაში, მივიღებთ: $\sigma_0 = 910$ კგ/სმ². ეს იგივე ნორმალური ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობაა ღეროში.

მაქსიმალური მხები ძაბვა

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_0}{2} = 455 \text{ კგ/სმ}^2.$$

4.5. გაჭიმული ღეროს α კუთხით დახრილ კვეთში მხები ძაბვა $\tau_\alpha = 240$ კგ/სმ².

რას უდრის ამ კვეთში ნორმალური ძაბვა σ_α და კვეთის დახრის კუთხე α, თუ ღეროს ნორმალურ კვეთში ძაბვა $\sigma_0 = 600$ კგ/სმ².

პასუხი: $\alpha = 27^\circ$; $\sigma_\alpha = 476$ კგ/სმ².

4.6. წრიული განივკვეთის ხის სვეტი, რომლის დიამეტრია 16 სმ, იკუმშება P ძალით.

რას უდრის ძალა P, თუ 30°-ით დახრილ კვეთში ნორმალური მკუმშავი ძაბვა უდრის 35 კგ/სმ²-ს.

პასუხი: $P=9{,}4$ ტ.

4.7. ბრტყელ დაძაბულ მდგომარეობაში მყოფი ელემენტის მთავარი ძაბვების მნიშვნელობებია $+230$ კგ/სმ² და -160 კგ/სმ².

რას უდრის ნორმალური და მხები ძაბვა დახრილ კვეთში, რომლის ნორმალი მთავარი გამჭიმავი ძაბვის მიმართულებასთან ადგენს 40° კუთხეს.

განვსაზღვროთ აგრეთვე საანგარიშო ძაბვის მნიშვნელობა უდიდესი ფარდობითი დეფორმაციის თეორიით (სიმტკიცის II თეორია), თუ პუასონის კოეფიციენტი $\mu=0{,}26$.

ამოხსნა: დახრილ კვეთში ბრტყელი დაძაბული მდგომარეობისას ნორმალური ძაბვა

$$\sigma_\alpha=\sigma_1\cos^2\alpha+\sigma_3\sin^2\alpha.$$

თუ σ_α გამოსახულებაში შევიტანთ მთავარი ძაბვების მნიშვნელობებს:

$$\sigma_1=230\ \text{კგ/სმ}^2;\quad \sigma_2=0;\quad \sigma_3=-160\ \text{კგ/სმ}^2;$$

მივიღებთ:

$$\sigma_\alpha=230\cos^2 40^\circ-160\sin^2 40^\circ=69\ \text{კგ/სმ}^2;$$

მხები ძაბვა

$$\tau_\alpha=\frac{\sigma_1-\sigma_3}{2}\cdot\sin 2\alpha,$$

$$\tau_\alpha=\frac{230+160}{2}\sin 80^\circ=192\ \text{კგ/სმ}^2.$$

მეორე თეორიით საანგარიშო ძაბვა

$$\sigma_{\text{საანგ.}}=[\sigma_1-\mu(\sigma_2+\sigma_3)]=230+0{,}26\cdot 160=271{,}6\ \text{კგ/სმ}^2.$$

4.8. ფოლადის ფურცელი, რომლის სისქეა 10 მმ და სიგანე 20 სმ, იჭიმება P ძალით.

რას უდრის P ძალა, თუ მისი მოქმედების მიმართულებასთან 30° კუთხით დახრილ კვეთზე დაყენებული ტენზომეტრიდან აღებულმა ანათვალმა გვიჩვენა 100 მმ სიგრძის 0,0536 მმ-ით დაგრძელება. ფოლადის დრეკადობის მოდული $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: $P=28{,}6$ ტ.

4.9. ცილინდრული ქვაბის კედელში მთავარი ძაბვები ტოლია: $+420$ კგ/სმ² და 210 კგ/სმ².

განვსაზღვროთ ნორმალური, მხები და სრული ძაბვა დახრილ კვეთში, რომლის ნორმალი უდიდესი მთავარი ძაბვის მიმართულებასთან ადგენს 36° კუთხეს.

გამოვთვალოთ ქვაბის საანგარიშო ძაბვა სიმტკიცის მეოთხე თეორიით.

პასუხი: $\sigma_{\alpha}=355$ კგ/სმ²; $\tau_{\alpha}=100$ კგ/სმ²;
$P_{\alpha}=438$ კგ/სმ²; $\sigma_{საანგ}=364$ კგ/სმ²;

4.10. განვსაზღვროთ მხები და ნორმალური ძაბვების მაქსიმალური მნიშვნელობები, თუ ღეროს კვეთში გამჭიმავი ნორმალური ძაბვა უდრის 500კგ/სმ²-ს და მხები ძაბვა 300 კგ/სმ²-ს.

პასუხი: $\sigma_{max}=678$ კგ/სმ²;
$\tau_{max}=339$ კგ/სმ²;

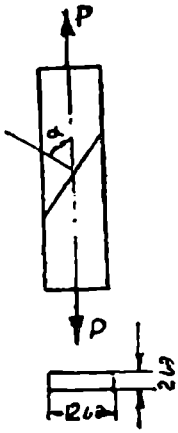
4.11. ცილინდრული ქვაბი, რომლის დიამეტრია 2 მ და კედლის სისქე 16 მმ, იმყოფება 10 ატმ შიგა წნევის ქვეშ.

განვსაზღვროთ ქვაბის კედელში მაქსიმალური მხები ძაბვა და ვიპოვოთ საანგარიშო ძაბვის სიდიდე სიმტკიცის მეოთხე თეორიით.

პასუხი: $\tau_{max}=156{,}25$ კგ/სმ²;
$\sigma_{საანგ}=542$ კგ/სმ²;

4.12. ფოლადის ღეროს ორი ნაწილი შედუღებულია ერთმანეთთან დახრილი ნაკერით (იხ. ნახაზი).

ვიანგარიშოთ რას უდრის ნორმალური და მხები ძაბვა ნაკერში, თუ ღეროს განივკვეთის ზომებია 2×12 სმ², ნაკერის დახრის კუთხე 30° და ღერძული გამჭიმავი ძალა $P=24$ ტ.



4.12 ამოცანისათვის.

პასუხი: $\sigma_{ნაკ}=750$ კგ/სმ²;
$\tau_{ნაკ}=433$ კგ/სმ².

4.13. ავაგოთ ძაბვათა (მორის) წრე შემდეგი შემთხვევებისათვის.

1) ხაზობრივი დაძაბული მდგომარეობისათვის (სუფთა გაჭიმვა ან კუმშვა).

2) ბრტყელი დაძაბული მდგომარეობისათვის, როცა ორ ურთიერთ მართობულ წახნაგზე გვაქვს მხოლოდ მხები ძაბვა τ_0 (ეგრეთ წოდებული სუფთა ძერა).

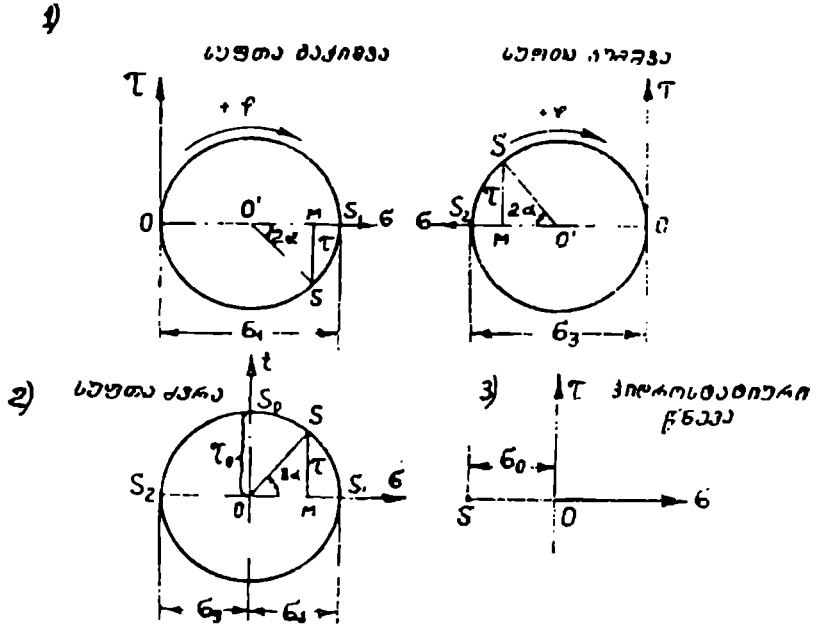
3) ბრტყელი ან მოცულობითი დაძაბული მდგომარეობისათვის, როცა ნებისმიერ წერტილზე გავლებულ ყოველ კვეთში მოქმედებს ნორმალური მკუმშავი ძაბვა $\sigma=-\sigma_0$ ეგრეთ წოდებული ყოველმხრივი ან ჰიდროსტატიკური წნევა (იხ. ნახაზი).

4.14. ბრტყელ დაძაბულ მდგომარეობაში მყოფი კუბური ელემენტი განიცდის სუფთა ძერას

$$\tau_\alpha = -\tau_\beta = 400 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ვიპოვოთ მთავარი ძაბვის მიერ მხებ ძაბვებთან შედგენილი კუთხეები და მთავარი ძაბვების სიდიდეები.

პასუხი: $\alpha = 45°$;
$\sigma_1 = 400$ კგ/სმ²;
$\sigma_3 = -400$ კგ/სმ².



4.13 ამოცანისათვის.

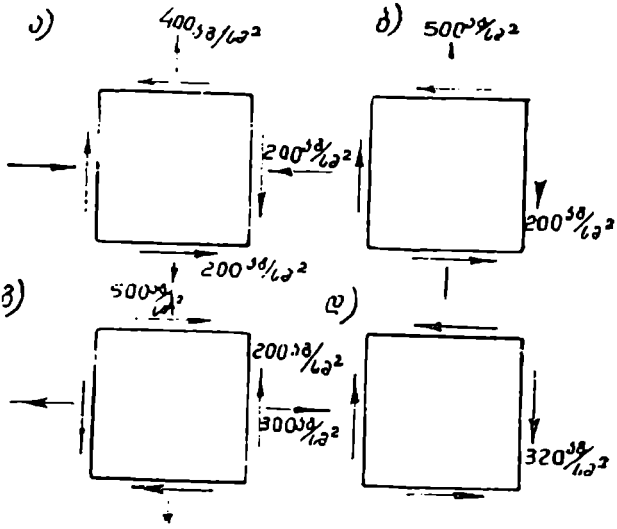
4.15ბ. მოცემულია ბრტყელი დაძაბული ელემენტის მთავარი ძაბვები. ვიპოვოთ გრაფიკულად მთავარი ძაბვის σ_1-ის მიმართულებასთან φ კუთხით დახრილ კვეთში ნორმალური და მხები ძაბვები, ქვემოთ მოყვანილი ყველა შემთხვევისათვის. ვიპოვოთ აგრეთვე მაქსიმალური მხები ძაბვა:

1) $\sigma_1 = 1000$ კგ/სმ²;	$\sigma_2 = +400$ კგ/სმ²	$\varphi = 30°$;
2) $\sigma_1 = 660$ „	$\sigma_3 = -240$ კგ/სმ²	$\varphi = 45°$;
3) $\sigma_1 = 360$ „	$\sigma_2 = +360$ „	$\varphi = 60°$;
4) $\sigma_1 = 200$	$\sigma_3 = -200$ „	$\varphi = 60°$;
5) $\sigma_1 = 200$ „	$\sigma_2 = +200$ „	ნებისმიერი კვეთისათვის.

პასუხი:

1) $\sigma_\varphi = 850$ კგ/სმ² $\quad \tau_\varphi = 260$ კგ/სმ² $\quad \tau_{max} = 300$ კგ/სმ²
2) $\sigma_\varphi = 450$ „ $\quad \tau_\varphi = \tau_{max} = 450$ კგ/სმ²;
3) $\sigma_\varphi = 360$ „ $\quad \tau_\varphi = \tau_{max} = 0$
4) $\sigma_\varphi = -100$ კგ/სმ² $\quad \tau_\varphi = 173$ კგ/სმ²; $\quad \tau_{max} = 200$ კგ/სმ².
5) $\sigma_\varphi = 360$ კგ/სმ² $\quad \tau_\varphi = \tau_{max} = 0$.

4.16. ვიპოვოთ გრაფიკულად მთავარი ძაბვის სიდიდე და მიმართულება ნახაზზე მოყვანილი შემთხვევებისათვის და დატანილ იქნეს მოცემულ ნახაზზე მხოლოდ მთავარი ძაბვების მიმართულება.



4.16 ამოცანისათვის.

4.17. მოცემულია ერთმანეთთან შედუღებული ღერძულ ძალაზე მოშუშავე ორი ფურცელი.

ვიპოვოთ რა კუთხეს ადგენს შედუღების სიბრტყის ნორმალი უდიდესი მთავარი ძაბვის მიმართულებასთან და რას უდრის შენადუღში მხები ძაბვა, თუ შედუღებულ ელემენტში მთავარი ძაბვები

$$\sigma_1 = 1400 \text{ კგ/სმ}^2; \qquad \sigma_2 = 700 \text{ კგ/სმ}^2$$

და დასაშვები ნორმალური ძაბვა შედუღების მასალაზე

$$[\sigma] = 1000 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: $\varphi = 49°6'$;

$\tau_\varphi = 50$ კგ/სმ²;

4.18. ბრტყელი დაძაბული მდგომარეობისათვის ავაგოთ ძაბვათა (მორის) წრე და ვუჩვენოთ, რომ როცა მთავარ ძაბვებს ერთი და იგივე ნიშანი აქვთ, მაშინ არ შეიძლება მოიძებნოს ისეთი კვეთი, რომელშიაც ნორმალური ძაბვა ნულს უდრის. როცა მთავარი ძაბვები სხვადასხვა ნიშნისაა, მაშინ გრაფიკული აგებით მოეძებნოთ კუთხე σ_1 მთავარი ძაბვის მიმართულებისა და იმ კვეთს შორის, რომელშიც ნორმალური ძაბვა ნულის ტოლია.

4.19. მოცულობით დაძაბულ მდგომარეობაში მყოფი სხეულისათვის ვიცით ორი მთავარი ძაბვა: $\sigma_1 = 330$ კგ/სმ² და $\sigma_2 = 250$ კგ/სმ².

რას უდრის მესამე მთავარი ძაბვა, თუ სხეულის დეფორმაციის შემდეგ მოცულობა უცვლელი რჩება.

პასუხი: $\sigma_3 = -580$ კგ/სმ².

4.20. დაძაბულ მდგომარეობაში მყოფი სხეულიდან ამოვრილია ელემენტარული კუბი, რომლის წახნაგებზე მხები და ნორმალური ძაბვები შემდეგია:

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 400 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ვიპოვოთ მთავარი ძაბვების სიდიდე და მიმართულება.

პასუხი: $\sigma_1 = 1200$ კგ/სმ²;

$\sigma_2 = \sigma_3 = 0$,

ე. ი. სხეული იმყოფება ხაზობრივ დაძაბულ მდგომარეობაში.

4.21. ვიპოვოთ წინა ამოცანისათვის მთავარი ძაბვების სიდიდეები, თუ $\tau_{xy} = \tau_{yz} = 0$, ხოლო დანარჩენი პირობები უცვლელი რჩება.

პასუხი: $\sigma_1 = 800$ კგ/სმ²;

$\sigma_2 = 400$ კგ/სმ²;

$\sigma_3 = 0$

4.22. ელემენტარული კუბი იმყოფება მოცულობით დაძაბულ მდგომარეობაში. მის ერთ-ერთ წახნაგზე ნორმალური ძაბვა $\sigma_x = -1500$ კგ/სმ²; დრეკადობის მოდული $E = 1 \cdot 10^6$ კგ/სმ²; პუასონის კოეფიციენტი $\mu = 0{,}25$.

გამოვიანგარიშოთ რას უდრის ნორმალური ძაბვა კუბის დანარჩენ წახნაგებში (σ_y და σ_z) და მოცულობის შეცვლა Θ, თუ დეფორმაცია ამ წახნაგების გასწვრივ ნულის ტოლია $\varepsilon_y = \varepsilon_z = 0$.

პასუხი $\sigma_y = \sigma_z = -500$ კგ/სმ²;

$\Theta = -0{,}00125$.

4.23. წინა ამოცანის პირობებისათვის ვიპოვოთ კუბის წახნაგებზე ნორმალური ძაბვები და მოცულობის ნაზრდი, თუ პუასონის კოეფიციენტი $\mu=0{,}5$;

პასუხი: $\sigma_y=\sigma_z=-1500$ კგ/სმ²;

$\Theta=0$.

4.24. სხეული იმყოფება მოცულობით დაძაბულ მდგომარეობაში, რომლისთვისაც ვიცით ორი მთავარი ძაბვა

$$\sigma_1=1200 \text{ კგ/სმ}^2 \quad \text{და} \quad \sigma_2=300 \text{ კგ/სმ}^2$$

მოცულობის ფარდობითი დეფორმაცია $Q=0{,}0001$,
დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ²,
პუასონის კოეფიციენტი $\mu=0{,}3$.

ვიპოვოთ მესამე მთავარი ძაბვა და საანგარიშო ძაბვა სიმტკიცის I და IV თეორიების მიხედვით.

ამოხსნა: ვიცით, რომ მოცულობის ფარდობითი დეფორმაცია

$$\Theta=\frac{1-2\mu}{E}(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3);$$

აქედან

$$\sigma_3=\frac{E}{1-2\mu}\Theta-(\sigma_1+\sigma_2)=\frac{2\cdot10^6\cdot0{,}0001}{1-0{,}6}-(1200+300)=$$

$$=-1000 \text{ კგ/სმ}^2.$$

სიმტკიცის II თეორიის მიხედვით საანგარიშო ძაბვა:

$$\sigma_{\text{საანგ}}=|\sigma_1-\mu(\sigma_2+\sigma_3)|=1200+0{,}3\cdot700=1410 \text{ კგ/სმ}^2.$$

სიმტკიცის IV თეორიის მიხედვით:

$$\sigma_{\text{საანგ}}=\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2}=$$

$$=\sqrt{\frac{1}{2}(900^2+1300^2+2200^2)}=1912 \text{ კგ/სმ}^2.$$

4.25. ქვაბების, რეზერვუარების და მილების გაანგარიშებისას მიღებული იყო მთავარი ძაბვების შემდეგი მნიშვნელობები:

1) $\sigma_1=900$ კგ/სმ²; $\sigma_2=450$ კგ/სმ²; $\sigma_3=-100$ კგ/სმ²;
2) $\sigma_1=700$ კგ/სმ²; $\sigma_2=350$ კგ/სმ²; $\sigma_3=0$;
3) $\sigma_1=1000$ კგ/სმ²; $\sigma_2=500$ კგ/სმ²; $\sigma_3=60$ კგ/სმ²;
4) $\sigma_1=500$ კგ/სმ²; $\sigma_2=500$ კგ/სმ²; $\sigma_3=-100$ კგ/სმ²;

ვიპოვოთ სიმტკიცის მარაგი სიმტკიცის ოთხივე თეორიის მიხედვით,

თუ პუასონის კოეფიციენტი $\mu=0{,}3$ და მრღვევი ძაბვა $\sigma_{\text{ღრ}}=3800$ კგ/სმ².

პასუხი: 1) $n=4{,}22$; 2) $n=5{,}43$;
3) $n=3{,}80$; 4) $n=7{,}6$.

4.26. მოცულობითი დაძაბული ელემენტისათვის განვსაზღვროთ ფარდობითი გრძივი დეფორმაცია, თუ დრეკადობის მოდული $E=1\cdot10^6$ კგ/სმ², პუასონის კოეფიციენტი $\mu=0{,}25$ და მთავარი ძაბვები:

1) + 600 კგ/სმ², + 400 კგ/სმ², + 200 კგ/სმ²;
2) + 500 კგ/სმ², + 200 კგ/სმ², — 300 კგ/სმ²;
3) + 400 კგ/სმ², — 100 კგ/სმ², + 200 კგ/სმ²;
4) + 400 კგ/სმ², — 200 კგ/სმ², — 600 კგ/სმ²;

პასუხი: მეორე ვარიანტისათვის:

$$\varepsilon_1=0{,}00045;$$
$$\varepsilon_2=0{,}0002;$$
$$\varepsilon_3=-0{,}00005.$$

4.27. მოცულობითი დაძაბული ელემენტისათვის განვსაზღვროთ მოცულობის ფარდობითი დეფორმაცია „Θ“, თუ მოცემულია, რომ მთავარი ძაბვები:

$$\sigma_1=1800 \text{ კგ/სმ}^2;$$
$$\sigma_2=800 \text{ კგ/სმ}^2;$$
$$\sigma_3=400 \text{ კგ/სმ}^2.$$

დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ² და პუასონის კოეფიციენტი $\mu=0.25$.

პასუხი: $\Theta=75\cdot10^{-5}$.

4.28. ქვემეხის გასროლისას მისი ლულის კედელზე აღძრული მთავარი ძაბვებია; $\sigma_1=3200$ კგ/სმ²; $\sigma_2=1000$ კგ/სმ²; $\sigma_3=-3800$ კგ/სმ².

რას უდრის მაქსიმალური მხები ძაბვა და რომელ სიბრტყეში მოქმედებს იგი; როგორია საანგარიშო ძაბვების სიდიდე სიმტკიცის III და IV თეორიის მიხედვით.

პასუხი: $\tau_{max}=3500$ კგ/სმ².

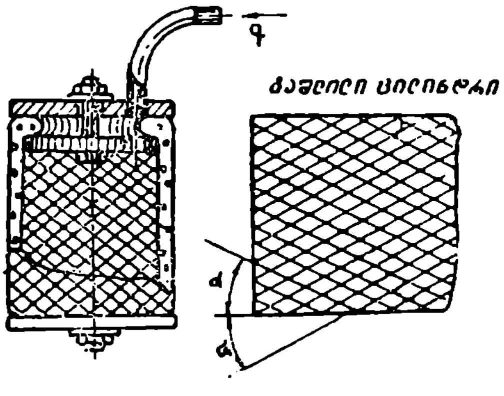
4.29. ფოლადის კუბი ზომით 20×20×20 სმ³, იკუმშება ორი ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებით $P=640$ ტ ძალით. მესამე მიმართულებით კუბი მოთავსებულია ხისტ კედლებს შორის ისე, რომ კედელსა და კუბს შორის დარჩენილი მანძილი (ღრიჯო) $\delta=0{,}06$ მმ.

ვიპოვოთ კუბზე აღნიშნული ძალის მოქმედებით კედელზე აღძრული რეაქციის ძალის სიდიდე და კუბში მაქსიმალური მხები ძაბვა, თუ $E=2{,}10^6$ კგ/სმ² და $\mu=0{,}32$.

პასუხი: $P_1=169{,}6$ ტ; $\tau_{max}=588$ კგ/სმ².

4-30.* მუყაოს წრიულ ცილინდრზე ჯვარედინად დახვეულია რეზინის ძაფები და ცილინდრი იმყოფება შიგა q წნევის მოქმედების ქვეშ (იხ. ნახაზი).

შემჩნეულია, რომ რეზინის ძაფების დახრის კუთხის მიხედვით ცილინდრმა შიგა წნევის გავლენით შეიძლება მიიღოს ნახაზზე მოცემული ერთ-ერთი ფორმა.



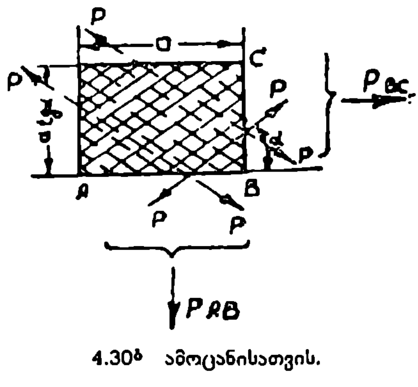
4.30ა ამოცანისათვის.

პირველ შემთხვევაში ცილინდრის ამობურთული მხარე მიმართულია გარეთ, მეორეში შიგნით, ხოლო მესამე შემთხვევაში ცილინდრის ფორმა უცვლელი რჩება.

როგორი α კუთხე შეესაბამება დეფორმაციის თვითეულ შემთხვევას?

ა მ ო ხ ს ნ ა: პირველ შემთხვევას ადგილი აქვს დიდი α კუთხის დროს, ხოლო მეორე შემთხვევას მცირე α კუთხისას. მესამე შემთხვევა არის საზღვარი პირველ და მეორე შემთხვევებს შორის. შესაბამისი α კუთხე შეიძლება მოძებნილ იქნას იმ დაშვებიდან, რომ ცილინდრის კედელზე მოსულ მთლიან წნევას ღებულობს რეზინის ძაფები.

გამოვყოთ რეზინ-მუყაოს ცილინდრის კედლიდან ელემენტი, რომლის ზომებია a და $a\,\mathrm{tg}\,\alpha$ (იხ. ნახაზი ბ).



4.30ბ ამოცანისათვის.

ასეთი ზომების არჩევისას AB და BC გვერდებზე მოთავსდება ძაფების თანაბარი რაოდენობა. ერთ ძაფზე მოსული ძალა აღვნიშნოთ P-თი, მაშინ AB გვერდზე მოსული ძალთა ტოლქმედი იქნება:

$$P_{AB} = P \cdot n \cdot \sin\alpha,$$

სადაც n არის AB გვერდზე მოსული ძაფთა რიცხვი. BC გვერდზე მოსული ძალის ტოლქმედი $P_{BC} = P \cdot n \cdot \cos\alpha$.

---

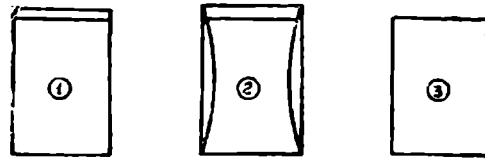
* ეს ამოცანა ამოღებულია ვ. ი. ფედოსიევის წიგნიდან.

ვიცით, რომ ცილინდრის შიგა წნევის დროს კედელში ღერძული ძაბვა ორჯერ ნაკლებია წრიული კვეთის ძაბვაზე, ე. ი.

$$\frac{P_{BC}}{a\,\mathrm{tg}\,\alpha}=2\,\frac{P_{AB}}{a}$$

თუ შევიტანთ P_{AB} და P_{BC}-ს ზემოთ მიღებულ მნიშვნელობებს, გვექნება:

$$\mathrm{tg}^2\alpha=\frac{1}{2};\quad \alpha=35°16'.$$



4.30ბ ამოცანისათვის.

რეზინის ძაფის დახრის კუთხის ამ მნიშვნელობისას ცილინდრის ფორმა უცვლელი რჩება.

როცა $\alpha>35°16'$ მივიღებთ პირველ დეფორმირებულ ფორმას, ხოლო როცა $\alpha<35°16'$ ვღებულობთ მეორე დეფორმირებულ ფორმას.

§ 10. თხელკედლიანი ჭურჭლის გაანგარიშება

4.31. შეავარჩიოთ რეზერვუარის კედლის საჭირო სისქე δ, რომელშიაც ასხია სითხე მოცულობითი წონით $\gamma=1$ ტ/მ³, რეზერვუარის დიამეტრი $D=6$ მ-ს, დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=300$ კგ/სმ²-ს, სითხე ჩასხმულია რეზერვუარში $h=5$ მ სიმაღლემდე.

მ ი თ ი თ ე ბ ა: სითხის წნევა რეზერვუარის კედლის სიმაღლეზე ნაწილდება სამკუთხედის კანონით, მაქსიმუმს აღწევს ფსკერთან და უდრის $\gamma\cdot h$-ს.

პ ა ს უ ხ ი: $\delta=5$ მმ-ს.

4.32. ცილინდრული ფორმის ორჯჭლის ქვაბის დიამეტრი $D=2{,}5$ მ-ს, ქვაბის მუშაობის დროს ორთქლის მაქსიმალური წნევა აღწევს 8 ატმოსფეროს, დასაშვები ძაბვა ქვაბის მასალაზე $[\sigma]=1000$ კგ/სმ²-ს.

განვსაზღვროთ ქვაბის კედლის საჭირო სისქე δ და შევამოწმოთ კედლის სიმტკიცე IV თეორის მიხედვით.

პ ა ს უ ხ ი: $\delta=10$ მმ-ს; 866 კგ/სმ²<1000 კგ/სმ².

4.33. ცილინდრული ქვაბის დიამეტრია 2 მ, კედლის სისქე 14 მმ და წნევა ქვაბის კედელზე 16 ატმოსფერო. განვსაზღვროთ ნორმალური და მხები ძაბვები ქვაბის კედლის მართობ კვეთში, რომელიც მსახველთან ადგენს 30° კუთხეს და გამოვთვალოთ საანგარიშო ძაბვა სიმტკიცის IV თეორიის მიხედვით.

პ ა ს უ ხ ი: $\sigma_\alpha=1001$ კგ/სმ²;

$\tau_\alpha=247$ კგ/სმ²;

$\sigma_{საანგ}=991$ კგ/სმ²;

4.34. საგენერატორო სადგურში წყალი მიეყვანილია ფოლადის მილით, რომლის შიგა დიამეტრი $D=40$ სმ-ს, ხოლო მილის კედლის სისქე $\delta=10$ მმ-ს.

ვიანგარიშოთ ფოლადის მილის კედელში მაქსიმალური ძაბვა, თუ წყლის დონეთა სხვაობა საგენერატორო სადგურსა და წყალმიმღებს შორის არის $H=427$ მ.

პასუხი: $\sigma_{max}=854$ კგ/სმ².

4.35. ცილინდრული ფორმის რეზერვუარში, რომლის დიამეტრი $D=4$ მ-ს და სიმაღლე $H=6$ მ-ს, ასხია სითხე, რომლის მოცულობითი წონა $\gamma=2$ გ/სმ²;

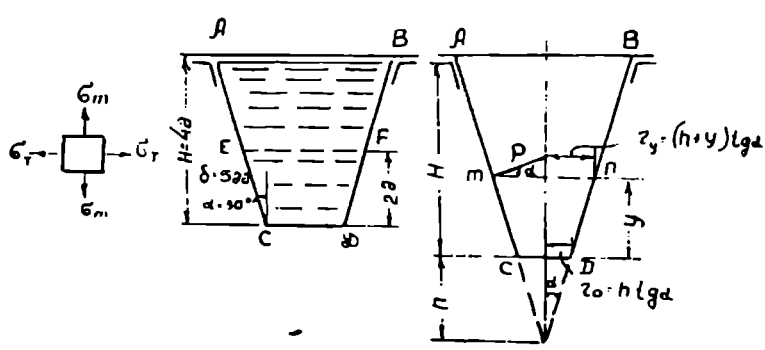
ვიანგარიშოთ რეზერვუარის კედლის სისქე ფსკერთან, თუ დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=800$ კგ/სმ²-ს.

პასუხი: $\delta=3$ მმ-ს.

4.36. ვიანგარიშოთ წინა ამოცანაში მოცემული რეზერვუარის კედელში მაქსიმალური ძაბვა, თუ ფსკერიდან $H_1=4$ მ სიმაღლეზე ასხია სითხე $\gamma=4$ გ/სმ³ და დანარჩენ $H_2=2$ მ სიმაღლეზე ასხია წყალი.

პასუხი: $\sigma_{max}=1200$ კგ/სმ².

4.37. წაკვეთილი კონუსის ფორმის რეზერვუარი ბოლოთი ჩამოკიდებულია საყრდენზე და ავსებულია წყლით (იხ. ნახაზი).



4.37 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ CD ფუძიდან 2 მ დაშორებით რეზერვუარის კედლის EF კვეთში აღძრული: მსახველის გასწვრივ σ_m და მსახველის მართობულად σ_t ძაბვები, თუ რეზერვუარის სიმაღლე $H=4$ მ-ს, კედლის სისქე $\delta=5$ მმ-ს, კონუსის წაკვეთილი ნაწილის სიმაღლე $h=2$ მ-ს და კონუსური ზედაპირის დახრის კუთხე ვერტიკალთან $\alpha=30°$.

ამოხსნა: რეზერვუარის ფუძიდან y მანძილის დაშორებით გავატაროთ $m-n$ კვეთი და განვსაზღვროთ ამ კვეთში ნორმალური ძაბვის σ_y-ის მნიშვნელობა.

$m-n$ კვეთში რეზერვუარის წრიულ რგოლზე მოქმედი ძალის ვერტიკალური მდგენელი შემდეგია:

$$2\pi r_y \cdot \delta\sigma'_m = \frac{1}{3}\pi r_y^2 (h+y)\gamma - \frac{1}{3}\pi r_0^2 h\gamma + \pi r^2_y (H-y)\gamma,$$

სადაც $r_y = (h+y)\operatorname{tg}\alpha$, $r_0 = h\cdot\operatorname{tg}\alpha$ და γ არის წყლის მოცულობითი წონა. თუ ზემოთ მიღებულ განტოლებაში შევიტანთ r_y და r_0-ის მნიშვნელობებს და ამოვხსნით σ_m'-ს მიმართ, მივიღებთ:

$$\sigma'_m = \left[(h+y)^2 + 3(h+y)(H-y) - \frac{h^3}{h+y}\right]\frac{\gamma \operatorname{tg}\alpha}{6\delta},$$

$m-n$ კვეთში ნორმალური ძაბვა კონუსის მსახველის გასწვრივ

$$\sigma_m = \frac{\sigma'_m}{\cos\alpha}.$$

ამგვარად

$$\sigma_m = \left[(h+y)^2 + 3(h+y)(H-y) - \frac{h^3}{h+y}\right]\frac{\gamma \operatorname{tg}\alpha}{6\delta\cos\alpha}. \qquad (ა)$$

ძაბვა σ_T, რომელიც მიმართულია $m-n$ კვეთის წრის მხებად, შეიძლება მოიძებნოს ლაპლასის ფორმულით:

$$\sigma_T = \frac{\rho\cdot q}{\delta}.$$

ნახაზიდან ჩანს, რომ

$$\rho = \frac{(h+y)\operatorname{tg}\gamma}{\cos\alpha};$$

სითხის გვერდითი წნევა $m-n$ კვეთის დონეზე $q = (H-y)\cdot\gamma$;
ამგვარად

$$\sigma_T = \frac{(h+y)\operatorname{tg}\alpha\cdot(H-y)\gamma}{\delta\cdot\cos\alpha}; \qquad (ბ)$$

EF კვეთის დონეზე რეზერვუარის კედელში აღძრული σ_m და σ_T ძაბვების სიდიდეთა გამოსათვლელად (ა) და (ბ) ფორმულებში შევიტანოთ მნიშვნელობა $y=2$ მ, მივიღებთ:

$$\sigma_T = \frac{(200+200)\operatorname{tg}30°(400-200)0{,}001}{0{,}5\cdot\cos 30°} = \frac{400\cdot 0{,}5774\cdot 200\cdot 0{,}001}{0{,}5\cdot 0{,}866},$$

$$\sigma_T = +106{,}8 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ხოლო

$$\sigma_m = \left[(200+200)^2+3(200+200)(400-200)-\frac{200^3}{200+200}\right]\frac{0{,}001\cdot tg30^\circ}{6\cdot 0{,}5\cdot\cos 30^\circ} =$$

$$= \left(160000+3\cdot 400\cdot 200-\frac{8000000}{400}\right)\frac{0{,}001\cdot 0{,}5774}{3\cdot 0{,}866},$$

$$\sigma_m = +84{,}4 \text{ კგ/სმ}^2.$$

4.38. წინა ამოცანის პირობებისათვის განვსაზღვროთ σ_T და σ_m-ს მაქსიმალური მნიშვნელობები, თუ რეზერვუარს წაკვეთილი კონუსის ფორმის მაგივრად აქვს კონუსური ფორმა—სიმაღლით $H+h=6$ მ-ს.

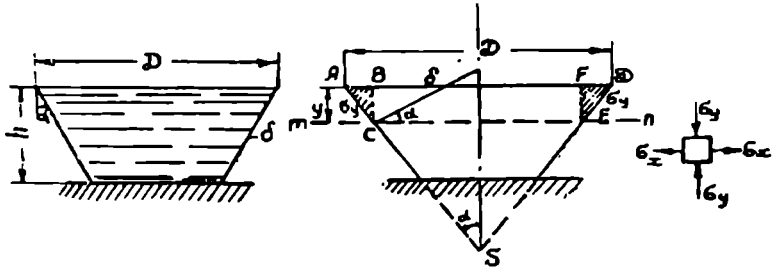
მითითება: იგივე მსჯელობის შედეგად, როგორც წინა ამოცანაში, რეზერვუარის კედლის სიმაღლისათვის ვწერთ σ_T და σ_m-ს ცვალებადობის განტოლებებს, თუ ამ განტოლებების წარმოებულს გავუტოლებთ ნულს და ამოვხსნით y-ის მიმართ, მივიღებთ მანძილებს კონუსური რეზერვუარის წვეროდან იმ კვეთებამდე, სადაც σ_T და σ_m-ს აქვთ უდიდესი მნიშვნელობები.

პასუხი: $|\sigma_T|_{max}=120$ კგ/სმ^2;

$|\sigma_m|_{max}=90$ კგ/სმ^2;

4.39. წაკვეთილი კონუსის ფორმის თხელკედლიანი ჭურჭელი (იხ. ნახაზი) დაყრდნობილია მცირე ფუძეზე. ჭურჭელი h სიმაღლეზე ავსებულია სითხით, რომლის მოცულობითი წონაა γ. კედლის დახრის კუთხე ვერტიკალთან ტოლია α-სი. ჭურჭლის დიდი ფუძის დიამეტრია D და კედლის სისქე δ.

განვსაზღვროთ ჭურჭლის კედლის ნებისმიერ კვეთში σ_y და σ_n ძაბვები.



4.39 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: ჭურჭლის ზედა ბოლოდან ნებისმიერი y მანძილის დაშორებით გავატაროთ $m-n$ კვეთი. კვეთში აღძრული მკუმშავი ძაბვა $\sigma_y=\dfrac{N}{\cos\alpha}:F$, სადაც N არის ABC რგოლის მოცულობის სითხის

წონა, რომელსაც მივიღებთ, თუ ADS კონუსის მოცულობას გამოვაკლებთ CES კონუსის და $CBEF$ ცილინდრის მოცულობებს. F $m-n$ კვეთში ჭურჭლის კედლის ფართობი. ADS კონუსის სიმაღლე, გამოსახული მოცემული D დიამეტრით, ტოლია: $\frac{D}{2\operatorname{tg}\alpha}$. CES კონუსის ფუძის დიამეტრი უდრის $D-2y\operatorname{tg}\alpha$, ხოლო სიმაღლე $\frac{D-2y\operatorname{tg}\alpha}{2\operatorname{tg}\alpha}$.

ამ სიმაღლეთა გათვალისწინებით შეგვიძლია გამოვთვალოთ N-ის მნიშვნელობა:

$$N=\left[\frac{1}{3}\frac{\pi D^2}{4}\cdot\frac{D}{2\operatorname{tg}\alpha}-\frac{1}{3}\frac{\pi(D-2y\operatorname{tg}\alpha)^2}{4}\cdot\frac{D-2y\operatorname{tg}\alpha}{2\operatorname{tg}\alpha}-\right.$$
$$\left.-\frac{\pi(D-2y\operatorname{tg}\alpha)^2}{4}y\right]\gamma.$$

ჭურჭლის კედლის კვეთის ფართობი:

$$F=\pi\cdot(D-2y\operatorname{tg}\alpha)\cdot\delta;$$

თუ N და F სიდიდეებს შევიტანთ σ_y-ის ფორმულაში, მარტივი გარდაქმნის შემდეგ მივიღებთ:

$$\sigma_y=\frac{\gamma y^2\operatorname{tg}\alpha}{2\delta\cos\alpha}\cdot\frac{D-\frac{4}{3}y\operatorname{tg}\alpha}{D-2y\operatorname{tg}\alpha}.$$

$m-n$ კვეთის დონეზე ჭურჭლის კედელში ტანგენსიალური ძაბვა σ_x მოიძებნება ლაპლასის ფორმულის მიხედვით:

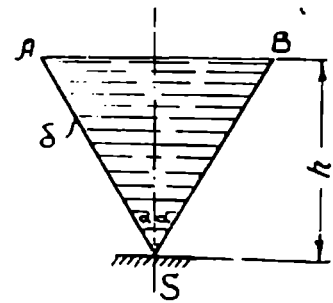
$$\sigma_x=\frac{\rho q}{\delta}.$$

როგორც ნახაზიდან ჩანს,

$$\rho=\frac{D-2y\operatorname{tg}\alpha}{2\cos\alpha},$$

ხოლო Y ღერძზე სითხის ხვედრითი წნევა $q=\gamma y$;
ამგვარად,

$$\sigma_x=\frac{(D-2y\operatorname{tg}\alpha)\gamma\cdot y}{2\delta\cos\alpha}.$$



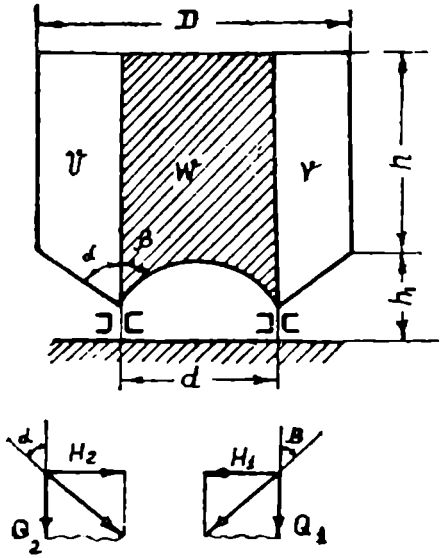
4.40 ამოცანისათვის.

4.40. წყლით სავსე კონუსური ფორმის თხელკედლიანი ჭურჭელი დაყრდნობილია წვეროთი (იხ. ნახაზი). ჭურჭლის სიმაღლე $h=4$მ-ს, კედლის სისქე $\delta=6$ მმ-ს, კედლის დახრის კუთხე ვერტიკალთან $\alpha=22°$-ს.

განვსაზღვროთ ჭურჭლის კედელში აღძრული მაქსიმალური ტანგენსიალური ძაბვა σ_x.

პასუხი. $|\sigma_x|_{max}=29$ კგ/სმ².

4.41. რეზერვუარის საყრდენი რგოლის კონსტრუქციის გასამარტივებლად რეზერვუარის ფორმა იმგვარად შევარჩიოთ, რომ საყრდენ რგოლში გამბრჯენი ძალა უდრიდეს ნულს (იხ. ნახაზი).



4.41 ამოცანისათვის.

შევარჩიოთ რეზერვუარის ზომები D, d, α, და β (იხ. ნახაზი), თუ h_1 იმდენად მცირეა h-ზე, რომ მთელ მოცულობასთან შედარებით რეზერვუარის მოცულობა h_1 სიმაღლეზე შეიძლება არ მივიღოთ მხედველობაში.

გავარჩიოთ ორი შემთხვევა:

ა) მოცემულია: $\alpha=\beta$, ვიპოვოთ D-ს და d-ს ფარდობა.

ბ) მოცემულია: D მეტია d-ზე 3-ჯერ. შევარჩიოთ β-ს სიდიდე, თუ $\alpha=45°$-ს.

ა) ამოხსნა: α და β-ს ტოლობის დროს რომ გამბრჯენი ნულის ტოლი იყოს, საჭიროა რეზერვუარის დაშტრიხული ნაწილის მოცულობა W უდრიდეს დაუშტრიხავი ნაწილის მოცულობას V-ს (იხ. ნახაზი),

ე. ი. $W=V$.

$$W=\frac{\pi d^2}{4}\cdot h; \qquad V=h\frac{\pi}{4}(D^2-d^2),$$

$$h\cdot\frac{\pi d^2}{4}=h\frac{\pi}{4}(D^2-d^2),$$

საიდანაც $$\frac{D}{d}=\sqrt{2}.$$

ბ) მეორე შემთხვევისათვის, როცა $\alpha=45°$ და $D=3d$-ს, β კუთხეს ვიპოვით შემდეგნაირად: აღვნიშნოთ შუა ნაწილის სითხის წონა Q_1-ით და შესაფერისი გამბრჯენი H_1-ით ხოლო დანარჩენი სითხის წონა Q_2-ით და გამბრჯენი H_2-ით. β-ს მნიშვნელობას ვიპოვით პირობიდან

$$H_1 = H_2 \qquad (I)$$

$H_1 = Q_1 \operatorname{tg} \beta$; $H_2 = Q_2 \operatorname{tg} \alpha$; II (იხ. ნახაზი),

$$Q_1 = \gamma h \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{და} \quad Q_2 = \gamma h \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2).$$

თუ შევიტანთ Q_2 გამოსახულებაში $D = 3d$ ბნიშვნელობას მივიღებთ:

$$Q_2 = 8\gamma h \frac{\pi d^2}{2}.$$

II განტოლებაში შევიტანოთ Q_1-ისა და Q_2-ის მნიშვნელობა. გვექნება:

$$\operatorname{tg} \beta = 8 \operatorname{tg} \alpha,$$

საიდანაც $\beta = 82°44$.

თავი მეხუთე

ძვრა

მოკლე ცნობები თეორიიდან

ჭრაზე გაანგარიშებისას ვღებულობთ, რომ მხები ძაბვა ჭრის ფართობზე თანაბრად ნაწილდება და სიმტკიცის პირობას აქვს შემდეგი სახე:

$$\tau = \frac{P}{F} \leqslant [\tau],$$

სადაც P არის მოქმედი მჭრელი ძალა,

F — ჭრის ფართობი,

$[\tau]$ — დასაშვები ძაბვა ჭრაზე.

მოქლონური შეერთების გაანგარიშებისას საჭიროა დავნიშნოთ მოქლონის დიამეტრი და შემდეგ შევარჩიოთ მოქლონების რიცხვი.

ფურცლოვანი რკინის შეერთებისას მოქლონის დიამეტრი $d=(1{,}5 \div 2)\delta$, სადაც δ არის ფურცლის სისქე.

კუთხოვანი რკინის შეერთებისას მოქლონის დიამეტრი

$$d = \left(\frac{b-\delta}{3} \div \frac{b-\delta}{6} \right),$$

სადაც b თაროს სიგანეა.

ჭრის პირობიდან მოქლონების რიცხვს ვსაზღვრავთ ფორმულით:

$$n \geqslant \frac{P}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot [\tau]},$$

სადაც $[\tau]$ არის დასაშვები ძაბვა ჭრაზე,

$\frac{\pi d^2}{4}$ — ერთი მოქლონის განივკვეთის ფართობი,

P — შეერთებაზე მოქმედი ძალა.

თუ მოქლონი ორჭრადია, მოქლონების რიცხვი განისაზღვრება ჭრის პირობიდან:

$$n \geqslant \frac{P}{\frac{\pi d^2}{2}[\tau]},$$

მოქლონების რიცხვს თელვის პირობიდან ვსაზღვრავთ ფორმულით:

$$n \geqslant \frac{P}{[\sigma]_{ო} \cdot \delta \cdot d},$$

სადაც $[\sigma]_{ო}$ არის დასაშვები ძაბვა თელვაზე,

δ—მინიმალური ფურცლის სისქე, რომლითაც ძალა გადაეცემა მოქლონს.

ჭრისა და თელვის პირობიდან მივიღებთ მოქლონების ორ რიცხვს; საჭიროა მიღებული რიცხვები დავამრგვალოთ მთელ რიცხვამდე და შევჩერდეთ უდიდესზე.

მოქლონის ცენტრის დაცილებას ფურცლის ნაპირიდან იღებენ არა ნაკლებს $e_0 = (1{,}5 \div 2)d$-სი, ხოლო მოქლონის ცენტრებს შორის დაცილებას მოქლონურ შეერთებაზე მოქმედი ძალის მიმართულებით და მის მართობულად არა ნაკლებს $l = (3 \div 4)\,d$-სი.

პირაპირი შედუღებისას სიმტკიცის პირობას აქვს შემდეგი სახე:

$$\sigma = \frac{P}{l\delta} \leqslant [\sigma]_{ეღ}.$$

საანგარიშო სიგრძე გამოითვლება ფორმულით:

$$l \geqslant \frac{P}{\delta\,[\sigma]_{ეღ}},$$

სადაც P არის გამჭიმავი ძალა,

l—ნაკერის საანგარიშო სიგრძე, რომელიც ფურცლის სიგანეზე ერთი სანტიმეტრით ნაკლებია,

δ.—ფურცლის სისქე.

ზედდებითი ან ნაფენითი შედუღება განხორციელებულია შუბლა ან გვერდითი ნაკერების საშუალებით. ორივე შემთხვევაში საანგარიში ფორმულას ერთნაირი სახე აქვს. სიმტკიცის პირობა იქნება:

$$[\tau] = \frac{P}{0{,}7\,\delta\,l} \leqslant [\tau]_{ეღ},$$

საიდანაც საანგარიშო სიგრძე ტოლია:

$$l \geqslant \frac{P}{0{,}7\,\delta\,[\tau]_{ეღ}}.$$

აქ P არის მოქმედი ძალა, $0{,}7\delta$—ჭრის ფართობის სიმაღლე, $[\tau]_{ეღ}$ — დასაშვები მხები ძაბვა ელექტროშედუღებაზე.

ხის ჭდობის გაანგარიშებისას საანგარიშო ფორმულები იგივეა, რაც გაჭიმვა-კუმშვის ან ჭრის დროს.

ხის ჭდობის გაანგარიშებისას საჭიროა მთავარი ყურადღება მივაქციოთ დასაშვები ძაბვების სწორად შერჩევას. იმისდა მიხედვით, თუ რა კუთხეს შეადგენს ძალა ხის ბოჭკოების მიმართულებასთან, საკმაოდ დიდ ფარგლებში იცვლება დასაშვები ძაბვები.

მაგალითად, დასაშვები ძაბვა თელვაზე განისაზღვრება ფორმულით:

$$[\sigma]^{\alpha}_{\text{ჭ}} = \frac{[\sigma]''_{\text{ჭ}}}{1 + \left\{\frac{[\sigma]''_{\text{ჭ}}}{[\sigma]^{\perp}_{\text{ჭ}}} - 1\right\}\sin^3\alpha},$$

სადაც $[\sigma]''_{\text{ჭ}}$ არის დასაშვები ძაბვა ბოჭკოების გასწვრივ,

$[\sigma]^{\perp}_{\text{ჭ}}$—დასაშვები ძაბვა ბოჭკოების მართობულად, α ის კუთხეა, რომელსაც შეადგენს ძალა ხის ბოჭკოებთან,

$[\sigma]^{\alpha}_{\text{ჭ}}$—თელვაზე დასაშვები ძაბვა, თუ ძალა მოქმედებს მოცემული α კუთხით.

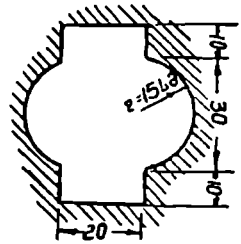
ანალოგიური ფორმულით განვსაზღვრავთ ხეზე დასაშვებ ძაბვას. ხისათვის ნორმალური და მხები დასაშვები ძაბვა ბოჭკოების გასწვრივ და მართობულად მოცემულია ცხრილის სახით.

§ 11. გაანგარიშება ჭრაზე და მოქლონური შეერთება

5.1. ფოლადის ფურცლიდან წნეხის საშუალებით წარმოებს სასურველი ფორმის ნიმუშის ამოჭრა, რომლის ზომები ნახაზზეა ნაჩვენები.

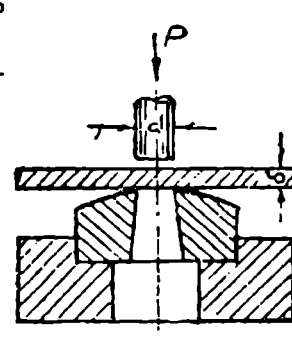
გავიანგარიშოთ წნეხის მიერ საჭრისზე მისაყენებელი ძალა, თუ მასალის ჭრაზე დროებითი წინაღობაა 3400 კგ/სმ², ხოლო ფურცლის სისქე $\delta = 1$ სმ-ს.

პასუხი: $P = 592$ ტ.



5.1 ამოცანისათვის.

5.2. მოქლონების ხვრეტილების ამოსაჭრელად გამოყენებულია 20 ტონიანი წნეხი (იხ. ნახაზი).

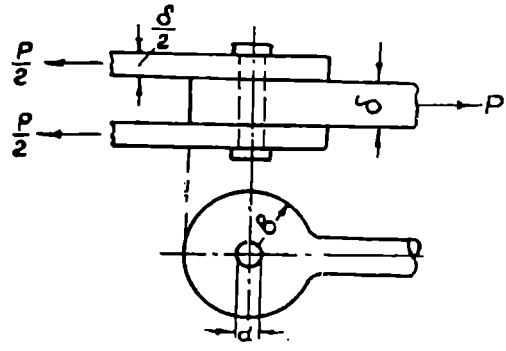


5.2 ამოცანისათვის.

გავიანგარიშოთ ფურცლის მაქსიმალური სისქე, რომლის გაჭრაც წნეხს შეუძლია, თუ საჭრისის დროებითი წინაღობა კუმშვაზე უდრის 10 000 კგ/სმ²-ს. მარაგის კოეფიციენტი 3,5-ს, ხოლო ფურცლის დროებითი წინაღობა ჭრაზე 3200 კგ/სმ²-ს.

პასუხი: $\delta = 6{,}66$ მმ.

5.3. გავიანგარიშოთ ჭანჭიკებით შეერთება (იხ. ნახაზი), თუ მოცემულია: გამჭიმავი ძალა $P=12$ ტ-ს, დასაშვები ძაბვა გაჭიმვაზე $[\sigma]=1400$ კგ/სმ², დასაშვები ძაბვა ჭრაზე $[\tau]=1000$ კგ/სმ², დასაშვები ძაბვა თელვაზე $[\sigma]_თ=2800$ კგ/სმ².



5.3 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: გავიანგარიშოთ ჭანჭიკის დიამეტრი ჭრის პირობიდან, ჭანჭიკმა, რომ ჭრა არ განიცადოს, საჭიროა დავაკმაყოფილოთ სიმტკიცის პირობა ჭრაზე

$$2\frac{\pi d^2}{4}\cdot[\tau]\geqslant P,$$

საიდანაც

$$d\geqslant\sqrt{\frac{4P}{2\pi[\tau]}}=\sqrt{\frac{4\cdot 12\,000}{2\cdot\pi\cdot 1000}}\cong 2{,}8 \text{ სმ}.$$

δ-ს სისქე ისე უნდა შევარჩიოთ, რომ დავაკმაყოფილოთ სიმტკიცის პირობა თელვაზე $\delta\cdot d[\sigma]_თ\geqslant P$.

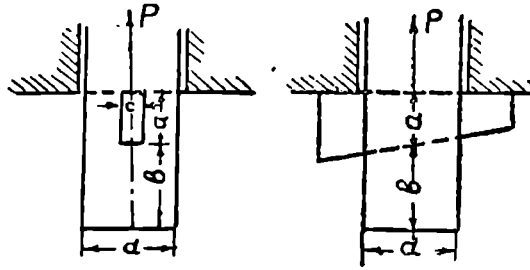
$$\delta\geqslant\frac{P}{d[\sigma]_თ}=\frac{12\,000}{2{,}8\cdot 2800}\cong 1{,}5 \text{ სმ}.$$

b სიგანე განისაზღვრება სიმტკიცის პირობიდან გაჭიმვაზე

$$2b\,\delta\cdot[\sigma]\geqslant P;$$

$$b\geqslant\frac{P}{2\delta[\sigma]}=\frac{12\,000}{2\cdot 1{,}5\cdot 1400}\cong 2{,}9 \text{ სმ}.$$

5.4. საანკერო ჭანჭიკი, რომლის დიამეტრი $d=4{,}2$ სმ-ს, იჭიმება P ძალით. ჭანჭიკი ჩამაგრებულია 10 მმ სისქის სოლის საშუალებით (იხ. ნახაზი).



5.4 ამოცანისათვის.

ვიპოვოთ a და b ზომები და დასაშვები. მაქსიმალური ტვირთი, თუ დასაშვები ძაბვა გაჭიმვაზე $[\sigma]=1400$ კგ/სმ², ჭრაზე $[\tau]_ჭ=800$ კგ/სმ².

პასუხი: $P=7680$ კგ.

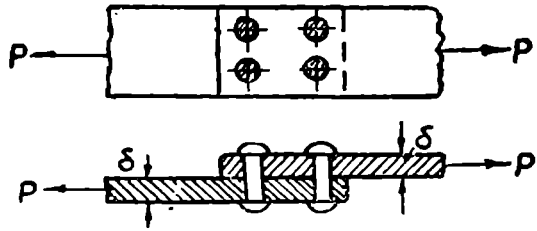
$a=4{,}8$ სმ,

$b=1{,}14$ სმ.

5.5. ფოლადის ორი ფურცელი, რომელთა სისქეა $\delta=10$ მმ, შეერთებულია ზედდებითი (ნასხლეტი) მოქლონური ნაკერით (იხ. ნახაზი).

გავიანგარიშოთ მოქლონების რიცხვი და ფურცლის სიგანე, თუ ძალა $P=11$ ტ-ს.

ხვრეტილები დამზადებულია ჩატეხით. ფურცლისა და მოქლონის მასალა არის ფოლადი 2, დასაშვები ძაბვა გაჭიმვაზე $[\sigma]=1400$ კგ/სმ²; თელვაზე $[\sigma]_{თ}=2400$ კგ/სმ²; ჭრაზე $[\tau]=1\,000$ კგ/სმ².



5.5 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: მოქლონის დიამეტრი აღვნიშნოთ $d=(1{,}5\div 2{,}5)\,\delta$. ჩვენი შემთხვევისათვის მივიღოთ: $d=2\delta=2$ სმ-ს.

საჭირო მოქლონთა რიცხვი შევარჩიოთ ჭრის პირობიდან:

$$n\geqslant\frac{P}{\frac{\pi d^2}{4}\cdot[\tau]}=\frac{11\,000\cdot 4}{\pi\cdot 4\cdot 1000}=3{,}5.$$

მოქლონების რიცხვი თელვის პირობიდან იქნება:

$$n\geqslant\frac{P}{d\delta\,[\sigma]_{თ}}=\frac{11\,000}{2\cdot 1\cdot 2400}=2{,}3,$$

საბოლოოდ ვღებულობთ 4 ცალ მოქლონს.

ფურცლის სიგანეს ვარჩევთ სიმტკიცის პირობიდან გაჭიმვაზე

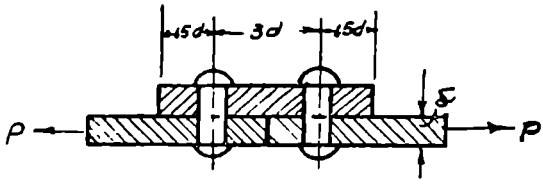
$$\frac{P}{F_{ნეტ}}\leqslant[\sigma[;\qquad F_{ნეტ}=\delta\,[b-2d],$$

$$b=\frac{P}{\delta\,[\sigma]}+2d=\frac{11\,000}{1400}+2\cdot 2\approx 12\text{ სმ}.$$

P ძალის მოქმედების მიმართულებით მოქლონებს შორის მანძილს ვნიშნავთ კონსტრუქციულად.

5 ბ. გავიანგარიშოთ მოქლონების რიცხვი და დიამეტრი მოქლონუ-

რი შეერთებისა, რაც განხორციელებულია ერთი ნაფენის საშუალებით (იხ. ნახაზი), თუ საანგარიშო ძალა $P=10$ ტ-ს, ფურცლის სისქე $\delta=11$ მმ-ს, ხვრეტილები დამზადებულია გაბურღვით, ფურცლისა და მოქლონისათვის მასალად აღებულია ფოლადი 3.

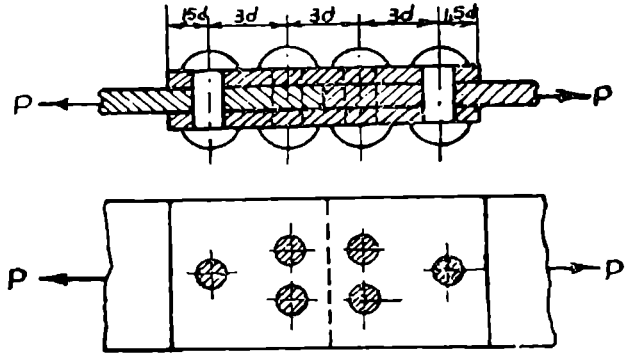


5.6 ამოცანისათვის.

დასაშვებია ძაბვები: გაჭიმვაზე $[\sigma]=1600$ კგ/სმ²; თელვაზე $[\sigma]_{ო}=3200$ კგ/სმ², ჭრაზე $[\tau]=1400$ კგ/სმ².

პასუხი: $n=2$ ც, $d=23$ მმ.

ა.7. ფოლადის ფურცლები მოქლონების საშუალებით შეერთებულია პირაპირ ორი ნაფენით (იხ. ნახაზი).



5.7 ამოცანისათვის.

გავიანგარიშოთ ფურცლის სიგანე b და მოქლონების რიცხვი, თუ ფურცლის სისქე $\delta=10$ მმ-ს, ხვრეტილები დამზადებულია გაბურღვით, მასალა ფოლადი 2.

$$[\sigma]=1400 \text{ კგ/სმ}^2;$$

$$[\sigma]_{ო}=2800 \text{ კგ/სმ}^2;$$

$$[\tau]=1400 \text{ კგ/სმ}^2.$$

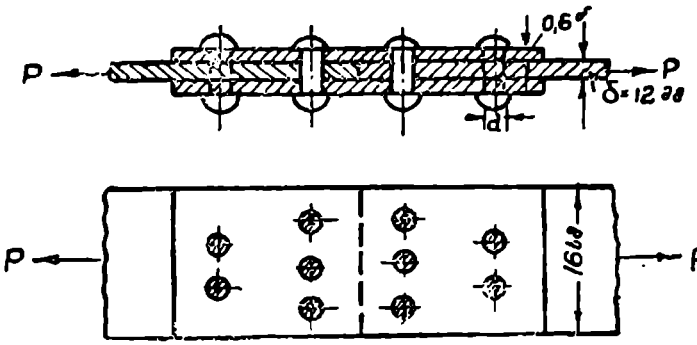
მოქმედი გამჭიმავი ძალა $P=15$ ტ-ს. მოქლონის დიამეტრი $d=20$ მმ.

პასუხი: $n=3$ ც; $b\cong 13$ სმ.

5.8. მოცემული მოქლონური შეერთებისათვის (იხ. ნახაზი) გავიანგარიშოთ მაქსიმალური დასაშვები ძალა, თუ ფურცლისა და მოქლონისათვის მასალაა ფოლადი 3; ხვრეტილები დამზადებულია ჩატეხით

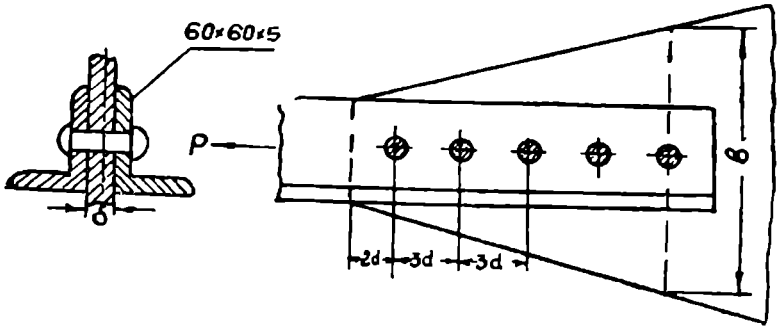
$$[\sigma]=1600 \text{ კგ/სმ}^2;$$
$$[\sigma]_{\text{თ}}=2800 \text{ კგ/სმ}^2;$$
$$[\tau]=1000 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: $P=23{,}8$ ტ.



5.8 ამოცანისათვის.

5.9. შევარჩიოთ განივკვეთი მჭიმისა, რომელიც შედგენილია ორი ტოლთაროიანი კუთხოვანი რკინისაგან.



5.9 ამოცანისათვის.

გავიანგარიშოთ კვანძური ფურცლის სიგანე b და მჭიმის კვანძურ ფურცელზე მისამაგრებლად საჭირო მოქლონთა რიცხვი, თუ მოქმედი გამჭიმავი ძალა $P=15$ ტ-ს ფურცლის მჭიმისა და მოქლონის მასალაა ფოლადი 2. ხვრეტილი დამზადებულია გაბურღვით.

$$[\sigma]=1400 \text{ კგ/სმ}^2; \quad [\sigma[_{\text{თ}}=2800 \text{ კგ/სმ}^2; \quad [\tau]=1400 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ამოხსნა: ორივე კუთხოვანი რკინის ფართობი, თუ მხედველობაში არ მივიღებთ მოქლონებით გამოწვეულ შესუსტებას, იქნება:

$$F_{\text{ნეტ}} \geqslant \frac{P}{[\sigma]} = \frac{15\,000}{1400} = 10{,}7 \text{ სმ}^2.$$

ერთი კუთხოვანი რკინის $f_{\text{ნეტ}} = 5{,}35$ სმ² ს კვეთი დასუსტებულია ერთი მოქლონით. რადგანაც მოქლონის დიამეტრი წინასწარ არ ვიცით, ამიტომ მის მიერ გამოწვეული კვეთის შესუსტება მიიღება $(10 \div 18)\%$-მდე; ჩვენ ავიღოთ 10%, მაშინ გვექნება:

$$f_{\text{ბრ}} = f_{\text{ნეტ}} + 0{,}1 f_{\text{ნეტ}} = 5{,}35 + 0{,}535 = 5{,}885 \text{ სმ}^2.$$

ცხრილიდან ვპოულობთ შესაფერის კუთხოვან რკინას $< 60 \times 60 \times 5$, რომლის $f = 5{,}82$ სმ², მოქლონის დიამეტრი აიღება შემდეგ ფარგლებში:

$$\frac{b-\delta}{6} \div \frac{b-\delta}{3}.$$

ჩვენ ავიღოთ $d = 12$ მმ.

მოქლონის დიამეტრის შერჩევის შემდეგ შეგვიძლია ვიანგარიშოთ მკვიმზე მოსული ძაბვა:

$$\sigma = \frac{P}{(f - d\delta) \cdot 2} = \frac{15\,000}{(5{,}82 - 1{,}2 \cdot 0{,}5) \cdot 2} = 1435 < 1400 + 5\%.$$

შევარჩიოთ მკვიმის კვანძურ ფურცელთან მისამაგრებლად საჭირო მოქლონთა რიცხვი, ჭრის პირობიდან.

ორჭრიანი მოქლონისათვის

$$n \geqslant \frac{2P}{\pi d^2 [\tau]} = \frac{2 \cdot 15\,000}{\pi \cdot 1{,}2^2 \cdot 1400} = 4{,}75.$$

ვღებულობთ: $n = 5$ ცალს.

კვანძური ფურცლის სისქეს ვანგარიშობთ თელვის პირობიდან

$$\delta \geqslant \frac{P}{n \cdot d [\sigma]_{\text{მ}}} = \frac{15\,000}{5 \cdot 1{,}2 \cdot 2800} = 8{,}93$$

ვღებულობთ $\delta = 9$ მმ.ს.

კუთხოვან რკინას თელვაზე არ ვამოწმებთ რადგან მათი საერთო სისქე 9 მმ.ზე მეტია.

საშიშ კვეთს კვანძური ფურცლისათვის მივიღებთ უკანასკნელ მოქლონთან, სადაც სიმტკიცის პირობა გაშიმვაზე იქნება:

$$(b - d)\,\delta \cdot [\sigma] \geqslant P;$$

აქედან

$$b \geqslant \frac{P}{\delta [\sigma]} + d = \frac{15\,000}{0{,}9 \cdot 1400} + 1{,}2 = 13{,}1 \text{ სმ},$$

საბოლოოდ ვღებულობთ: $b = 14$ სმ.

ა.10. $\delta = 14$ მმ სისქის და $b = 30$ სმ სიგანის ფოლადის ფურცლები შეერთებულია პირაპირ, ორი $\delta_1 = 0{,}7\delta$ სისქის ნაფენის საშუალებით.

ვიანგარიშოთ მოქლონთა რიცხვი და მაქსიმალური დასაშვები ძალა, თუ ფურცლისა და მოქლონის მასალაა ფოლადი 3, ხვრეტილები დამზადებულია ჩატეხით, მოქლონის დიამეტრი $d = 20$ მმ-ს.

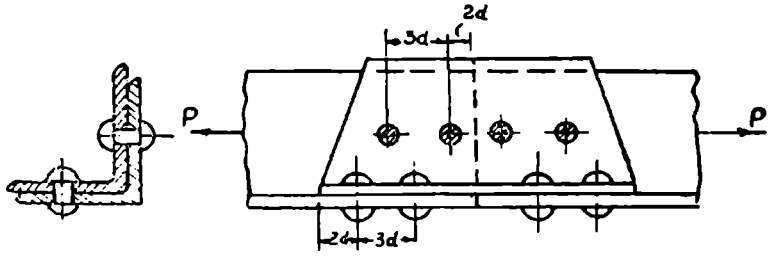
$$[\sigma] = 1600 \text{ კგ/სმ}^2; \quad [\sigma]_{ო} = 2800 \text{ კგ/სმ}^2; \quad [\tau] = 1000 \text{ კგ/სმ}^2.$$

მოქლონთა რიცხვი ერთ განივ მწკრივში 4 ცალია.

პასუხი: $P = 49{,}3$ ტ;

$n = 8$ ც.

ა.11. გავიანგარიშოთ მაქსიმალური დასაშვები ძალა და მოქლონთა რიცხვი, რომელიც საჭიროა ორი $100 \times 100 \times 10$ კუთხოვანი რკინის შე-



5.11 ამოცანისათვის.

საერთებლად, იმავე ზომის კუთხოვანი რკინის ნაფენით (იხ. ნახაზი), თუ მოქლონისა და კუთხოვანი რკინის მასალაა ფოლადი 2, ხვრეტილები დამზადებულია ჩატეხით.

$$[\sigma] = 1400 \text{ კგ/სმ}^2; \quad [\sigma]_{ო} = 2400 \text{ კგ/სმ}^2; \quad [\tau] = 1000 \text{ კგ/სმ}^2.$$

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: მოქლონის დიამეტრს ვარჩევთ პირობიდან:

$$d < \frac{b - \delta}{3} = \frac{100 - 10}{3} = 30 \text{ მმ}.$$

ვღებულობთ $d = 23$ მმ-ს.

პ ა ს უ ხ ი: $P = 23{,}7$ ტ.

$n = 4$ ც.

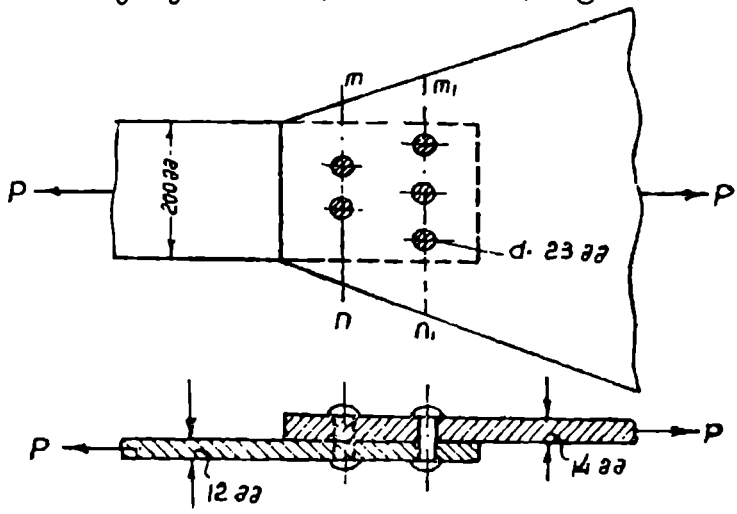
ა.12. მოცემული მოქლონური შეერთებისათვის, რომლის ზომები ნახაზზეა ნაჩვენები განესაზღვროთ ის მაქსიმალური დასაშვები ძალა, რომელიც შეიძლება ფურცელმა მიიღოს, თუ მხედველობაში არ მივიღებთ ფურცლის შესუსტებას მოქლონებით, ფურცლის მასალაა ფოლადი 3, რომლისთვისაც $[\sigma] = 1600$ კგ/სმ.

ვიპოვოთ მაქსიმალური დასაშვები ძალა ფურცელზე, თუ მხედველობა-

ში მივიღებთ მოქლონებით გამოწვეულ შესუსტებას. $m-n$ კვეთში დაყენებულია 2 მოქლონი და m_1n_1 კვეთში 3 მოქლონი.

პასუხი: პირველი შემთხვევისათვის $P=31{,}1$ ტ.

მეორე „ $P=27{,}35$ ტ.



5.12 ამოცანისათვის.

ა.13. მჭიმზე, რომელიც წარმოადგენს ფურცლოვან რკინას $F=15{,}4\times$ $\times 0{,}45=6{,}93$ სმ², მოქმედებს ძალა $P=7770$ კგ. მჭიმი კვანძურ ფურცელზე მიმაგრებულია ორი მოქლონის საშუალებით (იხ. ნახაზი).

შევარჩიოთ მოქლონების დიამეტრი d და d_1, ისე, რომ ფურცლის $m-n$ და m_1-n_1 კვეთებში ძაბვა დასაშვები ძაბვის ტოლი მივიღოთ.

$$[\sigma]=1200 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ამოხსნა: მოქლონის დიამეტრს (d) ვპოულობთ შემდეგი ტოლობიდან: $(F-d\delta)\,[\sigma]=P$

$$(6{,}93-d\cdot 0{,}45)\,1200=7770,$$

საიდანაც $d=10$ მმ. მოქლონების მიერ მიღებული ტვირთი ნაწილდება მოქლონის განივკვეთის ფართობის პროპორციულად, თუ დატვირთვის ნაწილს, რომელსაც იღებს პირველი მოქლონი, აღვნიშნავთ $\frac{1}{K}$, შეიძლება დავწეროთ ფარდობა:

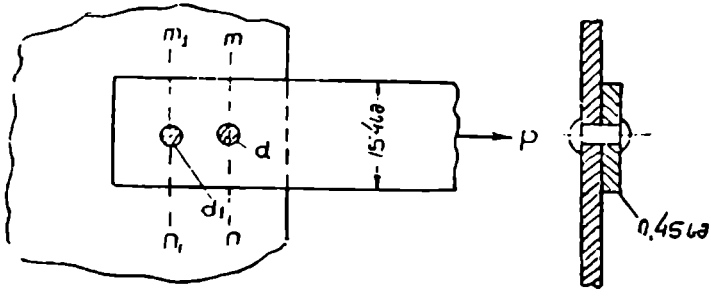
$$\frac{d^2}{d_1^2}=\frac{\frac{1}{K}}{1-\frac{1}{K}}=\frac{1}{K-1}.$$

თუ შევიტანთ d-ს მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$K=d_1^3+1.$$

ანალოგიურად შევადგინოთ სიმტკიცის პირობა m_1n_1 კვეთისათვის

$$(F-d_1\delta)[\sigma]=P\frac{K-1}{K}.$$



5.13 ამოცანისათვის.

თუ შევიტანთ K-ს მნიშვნელობას მივიღებთ შემდეგ კუბურ განტოლებას:

$$d_1^3-d_1^2+d_1=15{,}48.$$

ამ განტოლების თანდათანობითი მიახლოებითი წესით ამოხსნით მივიღებთ:

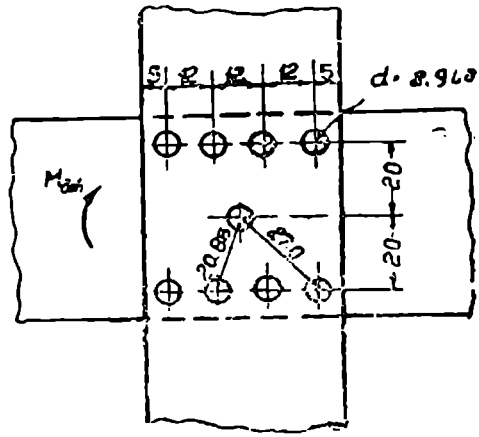
$$d_1=2{,}72 \text{ სმ.}$$

5.14. მოქლონურ შეერთებაზე (იხ. ნახაზი) მოქმედებს მგრეხავი მომენტი.

$$M_{მგ}=100\,000 \text{ კგ. სმ.}$$

ვიანგარიშოთ როგორ განაწილდება მხები ძაბვები მოქლონთა შორის, რომლის დიამეტრი $d=2{,}9$ სმ-ს.

ა მ ო ხ ს ნ ა: ინერციის პოლარული მომენტი მოქლონების განივკვეთის ფართობის სიმძიმის ცენტრის a-ს მიმართ მიახლოებით იქნება:



5.14 ამოცანისათვის.

$$J_p=\Sigma F\cdot\rho^2=\Sigma Fx^2+\Sigma F\cdot Y^2=4F[(20^2+6^2)+(20^2+18^2)]=30\,600 \text{ სმ}^4.$$

ვიანგარიშოთ ძაბვა განაპირა მოქლონებში

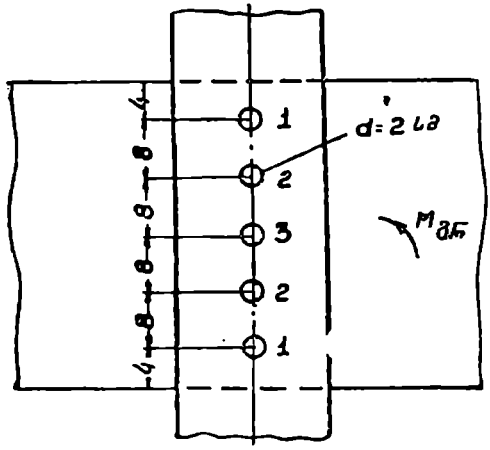
$$\tau_1 = \frac{M_{\text{ბ}}}{J_\rho} \cdot \rho_1 = \frac{100\,000 \cdot 27}{30\,600} = 88{,}4 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ანალოგიურად ძაბვა შუა მოქლონებისათვის იქნება:

$$\tau_2 = \frac{M_{\text{ბ}}}{J_\rho} \cdot \rho_2 = \frac{100\,000}{30\,600} \cdot 20{,}85 = 68{,}3 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ძაბვა ცენტრალურ მოქლონში $\tau_3 = 0$.

5.15. ვიპოვოთ მაქსიმალური დასაშვები მგრეხავი მომენტი დასაშვები ძაბვისა და დასაშვები ტვირთის მეთოდით, გაანგარიშებისას, თუ დენადობის ზღვარი ჭრის დროს $\tau_{\text{ზე}} = 3\,400$ კგ/სმ² და მარაგის კოეფიციენტი $n = 2$. ზომები ნაჩვენებია ნახაზზე.



5.15 ამოცანისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა: დასაშვები ძაბვის მეთოდით გაანგარიშებისას მაქსიმალურ მგრეხავ მომენტს შეეფარდება ძაბვა განაპირა მოქლონში

$$\tau_1 = \frac{\tau_{\text{ზე}}}{2}.$$

თუ ვისარგებლებთ დეფორმაციის პირობით, შე გვიძლია დავწეროთ პროპორცია:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{16}{8} = 2.$$

თუ შევიტანთ $\tau_1 = 1700$ კგ/სმ² მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$\tau_2 = 850 \text{ კგ/სმ}^2.$$

მაქსიმალური დასაშვები მგრეხავი მომენტი

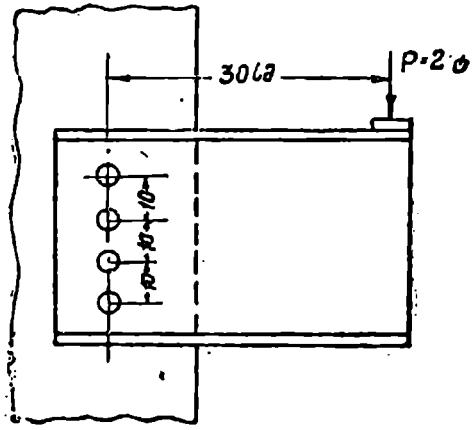
$$M_{\text{ბ}} = 2F(\tau_1 \cdot 16 + \tau_2 \cdot 8) = 2 \cdot 3{,}14 \cdot (1\,700 \cdot 16 + 850 \cdot 8) = 213\,500 \text{ კგ. სმ.}$$

დასაშვები ტვირთის მეთოდით გაანგარიშებისას, სისტემის საშიში მდგომარეობა მაშინ იქნება, როდესაც 1 და 2 მოქლონებში მხები ძაბვა მიაღწევს დენადობის ზღვარს.

დასაშვები მაქსიმალური მგრეხავი მომენტი

$$M_{ან}=\frac{2F\tau_{ექ}(16+8)}{n}=\frac{2\cdot 3{,}14\cdot 3400\cdot 24}{2}=256\,000 \text{ კგ. სმ.}$$

როგორც ჩანს, დასაშვები ტვირთის მეთოდით მიღებული დასაშვები მაქსიმალური მგრეხავი მომენტი 23,6%-ით მეტია დასაშვებ ძაბვათა მეთოდით მიღებულ მგრეხავ მომენტზე.



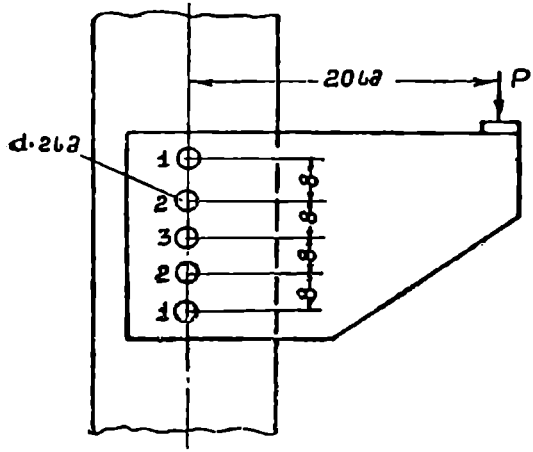
5.16 ამოცანისათვის.

5.16. განსაზღვროთ განაჭირა მოქლონებში აღძრული ძაბვა, თუ მოქლონი დიამეტრით $d=23$ მმ, ერთჭრადია და მოქმედი ძალა $P=2$ ტ-ს (იხ. ნახაზი).

შეერთების გეომეტრიული ზომები ნახაზზეა ნაჩვენები.

მ ი თ ი თ ე ბ ა: მოქმედი ძალა P დაგვყავს ძალთა წყვილამდე და P ძალამდე—რომელიც მოდებულია მოქლონების ვერტიკალურ ღერძზე—პირველი მგრეხავი მომენტის საშუალებით, ხოლო მეორე უშუალოდ ჭრის მოქლონს, რომლისთვისაც მაქსიმალური ძაბვა იქნება ორივე ძაბვის გეომეტრიული ჯამი

$$\tau=\sqrt{\tau_1^2+\tau_2^2},$$



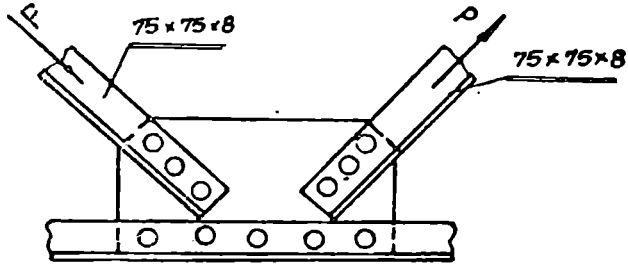
5.17 ამოცანისათვის.

პ ა ს უ ხ ი: $\tau=450$ კგ/სმ^2.

5.17. მოქლონური შეერთებისათვის, რომლის გეომეტრიული ზომები და დატვირთვის სქემა ნახაზზეა ნაჩვენები (იხ. ნახაზი), ვიანგარიშოთ 1, 2 და 3 მოქლონებში აღძრული მხები ძაბვების სიდიდე, თუ $P=1{,}5$ ტ-ს და $d=20$ მმ-ს მოქლონი ერთჭრადია.

პასუხი: $\tau_1 = 257$ კგ/სმ²;
$\tau_2 = 153$ კგ/სმ²;
$\tau_3 = 95{,}5$ კგ/სმ².

5.18. ფერმის ელემენტი წარმოადგენს მოქლონური შეერთებით განხორციელებულ კვანძს (იხ. ნახაზი).



5.18 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ მოქლონზე მოსული ძაბვები თელვაზე და ჭრაზე, თუ $P=6$ ტ-ს, მოქლონის დიამეტრი $d=20$ მმ-ს. მოქლონი ერთჭრადია.

პასუხი: $\tau = 637$ კგ/სმ²;
$[\sigma]_{ო} = 1250$ კგ/სმ².

§ 12. შედუღებით შეერთება

5.19. ორი ფურცლოვანი რკინა ერთმანეთთან შედუღებულია ორი შუბლა და ორი გვერდითი ნაკერით (იხ. ნახაზი).

განვსაზღვროთ ფურცლის სიგანე და შევარჩიოთ ნაკერების სიგრძე, თუ ძალა $P=30$ ტ-ს, ფურცლის სისქე $\delta=1$ სმ-ს, დასაშვები გამჭიმავი ძაბვა ფურცლისათვის $[\sigma]=1\,600$ კგ/სმ² და შედუღებაზე დასაშვები მხები ძაბვა $[\tau]=800$ კგ/სმ².

ამოხსნა: შევარჩიოთ ფურცლის სიგანე b.

$$[\sigma] = \frac{P}{b\delta} \leqslant [\sigma],$$

საიდანაც

$$b = \frac{P}{\delta[\sigma]} = \frac{30000}{1 \cdot 1600} = 18{,}7 \text{ სმ} \approx 19 \text{ სმ}.$$

გავიანგარიშოთ ის დასაშვები მაქსიმალური ძალა, რომელიც შეიძლება მიიღოს შუბლა ნაკერმა.

შუბლა ნაკერის საანგარიშო სიგრძე: $l_ე = 2(b-1) = 2 \cdot 18 = 36$ სმ.

შუბლა ნაკერზე მოსული მაქსიმალური დასაშვები ძალა

$$P_ჭ = F[\tau] = δ \cdot 0{,}7 \cdot l_ჭ [\tau] = 1 \cdot 0{,}7 \cdot 36 \cdot 800 = 20{,}2 \text{ ტ}.$$

ძალა, რომელზედაც უნდა ვიანგარიშოთ გვერდითი შეერთება, ტოლია:

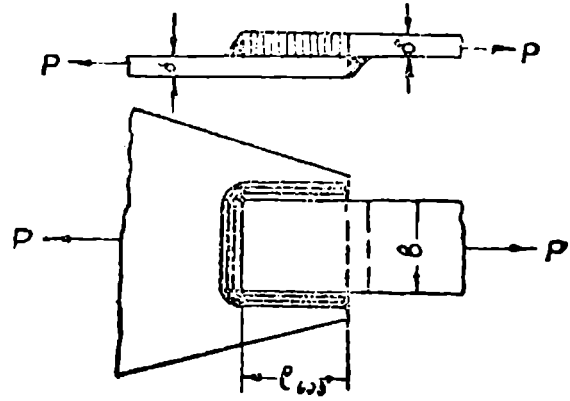
$$P_გ = P - P_ჭ = 30 - 20{,}2 = 9{,}8 \text{ ტ}.$$

გვერდითი შეერთების სიგრძეს ვანგარიშობთ პირობიდან:

$$\tau = \frac{P_გ}{l_გ \cdot 0{,}7\, δ} \leqslant [\tau],$$

საიდანაც

$$l_გ = \frac{P_გ}{0{,}7_გ δ \cdot [\tau]} = \frac{9\,800}{0{,}7 \cdot 1 \cdot 800} = 17{,}5 \text{ სმ}.$$

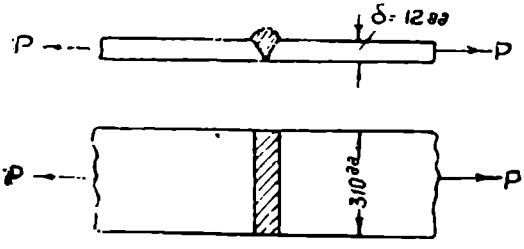


5.19 ამოცანისათვის.

გვერდითი ნაკერის საპროექტო სიგრძე ტოლია:

$$l_{საკ} = \frac{l_გ}{2} + 1 = 8{,}7 + 1 \approx 10 \text{ სმ}.$$

5.20. ფურცლოვანი ფოლადი შედუღებულია პირაპირი შეერთებით (იხ. ნახაზი).



5.20 ამოცანისათვის.

ვიანგარიშოთ ის გამჭიმავი ძალა, რომელიც უშიშრად შეიძლება მივაყენოთ ფურცელს, თუ შედუღება განხორციელებულია პირველ შემთხვევაში თხელკედლიანი ელექტროდით, ხოლო მეორე შემთხვევაში სქელკედლიანი ელექტროდით. ფურცლის მასალაა ფოლადი 3, რომლისთვისაც დასაშვები ძაბვა $[\sigma] = 1600$ კგ/სმ².

დასაშვები ძაბვა გაჭიმვაზე თხელკედლიანი ელექტროდით შედუღებისას $[\sigma]_{თკ} = 1000$ კგ/სმ², სქელკედლიანი ელექტროდით შედუღებისას

$$[\sigma]_{სკ} = 0{,}8\,[\sigma] = 0{,}8 \cdot 1600 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: 1) $P=36$ ტ.
2) $P=46{,}1$ ტ.

5.21. დასაშვები ძაბვა შედუღების დროს ნაკერზე უფრო ნაკლებია, ვიდრე ძირითად მასალაზე (ფურცელზე). იმისათვის, რომ ფურცელი და ნაკერი თანასწორი სიმტკიცის იყოს, ფურცლებს ერთმანეთთან უერთებენ დახრილი კვეთით $\alpha=45^\circ\div60^\circ$.

ვიანგარიშოთ, ჭინა შემთხვევისათვის დასაშვები მაქსიმალური ძალა, თუ ნაკერის დახრა ძალის მიმართულებასთან შეადგენს 45° კუთხეს.

შედუღება შესრულებულია პირველ შემთხვევაში თხელკედლიანი ელექტროდით, რომლისთვისაც

$$[\sigma]_{ეც}=1000 \text{ კგ/სმ}^2; \qquad [\tau]_{ეც}=720 \text{ კგ/სმ}^2.$$

მეორე შემთხვევაში კი სქელკედლიანი ელექტროდით, სადაც

$$[\sigma]_{ეც}=1280 \text{ კგ/სმ}^2; \qquad [\tau]_{ეც}=1120 \text{ კგ/სმ}^2.$$

მ ი თ ი თ ე ბ ა: მაქსიმალურ დასაშვებ ძალას ვარჩევთ სიმტკიცის შემდეგი პირობიდან:

$$\sigma_{ეც}=\frac{P}{l\delta}\sin\alpha\leqslant[\sigma]_{ეც},$$

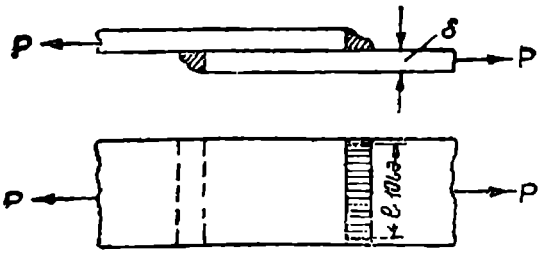
$$\tau_{ეც}=\frac{P}{l\delta}\cos\alpha\leqslant[\tau]_{ეც},$$

სადაც

$l=\dfrac{b}{\sin\alpha}-1$ არის ნაკერის სიგრძე, b — ფურცლის სიგანე.

პასუხი: 1) $P_1=52{,}8$ ტ; 2) $P_2=82$ ტ.

5.22. ვიანგარიშოთ შუბლა შეერთების ნაკერის სიგრძე l (იხ. ნახაზი), თუ ფურცლის სისქე $\delta=10$ მმ-ს, მოქმედი ძალა $P=10$ ტ-ს, და შედუღება გახორციელებულია თხელკედლიანი ელექტროდებით, რომელთათვის დასაშვები მხები ძაბვა $[\tau]_{ეც}=720$ კგ/სმ^2.



5.22 ამოცანისათვის.

პასუხი: შედუღების საანგარიშო სიგრძე

$$l_{საანგ}=10 \text{ სმ.}$$

შედუღების საპროექტო სიგრძე $l_{პრ}\doteq11$ სმ.

5.23. ვიანგარიშოთ გვერდითი შედუღების ნაკერის სიგრძე l და ნაფენის სიგანე b, თუ მოქმედი ძალა $P=15$ ტ-ს, ფურცლის სისქე $\delta=12$ მმ-ს (იხ. ნახაზი).

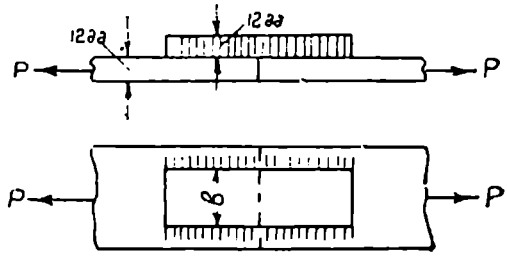
ნაკერი შესრულებულია სქელკედლიანი ელექტროდით, რომლისთვისაც

$$[\tau]_{ე}=0{,}7\,[\sigma], \qquad [\sigma]=1\,400 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: $l=18+1=19$ სმ;

$b=9$ სმ.

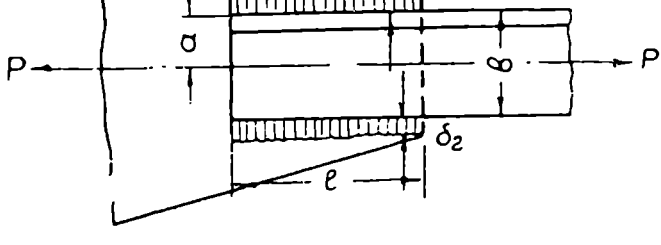
5.24. კუთხოვანი რკინა ზომით $60\times60\times5$ კვანძურ ფურცელთან შეერთებულია შედუღებით (იხ. ნახაზი).



5.23 ამოცანისათვის.

როგორ დამოკიდებულებაში იქნებიან შედუღების სისქეები δ_1 და δ_2 თუ შედუღების სიგრძე ორივე მხარეს თანატოლია.

ამოხსნა: თაროს მხარეს შედუღებაზე მოსული ძალა აღვნიშნოთ P_1-ით, ხოლო თაროს მოწინააღმდეგე მხარეს მოსული ძალა P_2-ით, კუთხედზე მოქმედი P ძალა ნაწილდება შემდეგნაირად:



5,24 ამოცანისათვის.

$$P_1=\frac{b-a}{b}\cdot P=\frac{6-1{,}66}{6}\cdot P=0{,}722\ P;$$

$$P_2=\frac{a}{b}\ P=\frac{1{,}66}{6}P=0{,}278\ P.$$

დავწეროთ ფარდობა:

$$\frac{P_1}{P_2}=\frac{\delta_1}{\delta_2}=2{,}61.$$

5.25. შევარჩიოთ გაჭიმული ირიბანის განივკვეთის ფართობი და კვანძურ ფურცელთან მიდუღების გვერდითი ნაკერის სიგრძე, თუ ირიბანა შედგება ორი ტოლთაროიანი კუთხოვანი რკინისაგან. მოცემულია გამჭიმავი ძალა $P=20$ ტ, კუთხოვანი რკინის მასალაა ფოლადი 2; $[\sigma]=1\,400$ კგ/სმ². შედუღება შესრულებულია თხელკედლიანი ელექტროდებით

$$[\tau]_{ნკ}=720 \text{ კგ/სმ}^2.$$

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: ნაკერის ფართობი, როგორც წინა შემთხვევაში გავანაწილოთ ძალის პროპორციულად იმ განსხვავებით, რომ ნაკერის სისქე უცვლელი დავტოვოთ და ვცვალოთ მისი სიგრძე.

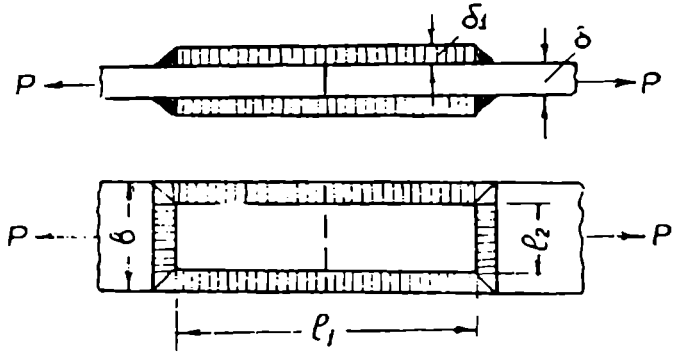
პ ა ს უ ხ ი: $65\times65\times6$;

$l_1=(24+1)$ სმ;

$l_2=(9{,}5+1)$ სმ.

5.26. შედუღებით შეერთება გახორციელებულია შუბლა და გვერდითი ნაკერით (იხ. ნახაზი).

ვიპოვოთ გვერდითი ნაკერის სიგრძე l, იმ პირობით, რომ შედუღებით შეერთება და ფურცელი თანაბარი სიმტკიცის იყოს.



5.26 ამოცანისათვის.

მოცემულია ფურცლის სიგანე $b=50$ სმ-ს, სისქე $\delta=16$ მმ-ს და დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1600$ კგ/სმ²-ს; ნაფენის ფურცლის სისქე $\delta_1=8$ მმ-ს და ელექტროშედუღებაზე მხები დასაშვები ძაბვა

$$[\tau]_{ნკ}=1100 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ა მ ო ხ ს ნ ა: განვსაზღვროთ მაქსიმალური დასაშვები ძალა, რომელიც შეიძლება ფურცელმა მიიღოს.

$$[P]=F[\sigma]=50\cdot1{,}6\cdot1600=128\,000 \text{ კგ}=128 \text{ ტ}.$$

განვსაზღვროთ $[P]$ ძალის ის ნაწილი, რომელიც უნდა მიიღოს შუბლა ნაკერმა:

$$P_ш = 2(l_2 - 1)\,0{,}7\;\delta_1[\tau]_{ც},$$

სადაც $(l_2 - 1)$ არის შუბლა ნაკერის საანგარიშო სიგრძე, ხოლო l_2 საპროექტო სიგრძე

$$l_2 = b - 2\delta_1 = 50 - 1{,}6 = 48{,}4 \text{ სმ}.$$

თუ $P_ш$ გამოსახულებაში შევიტანთ შემავალი წევრების მნიშვნელობებს, გვექნება:

$$P_ш = 2(48{,}4 - 1) \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}8 \cdot 1\,100 = 59\,500 \text{ კგ} = 59{,}5 \text{ ტ}.$$

გვერდითი ნაკერზე მოსული ძალა ტოლია:

$$P_ფ = [P] - P_ш = 128 - 59{,}5 = 68{,}5 \text{ ტ}.$$

გვერდითი ნაკერის საანგარიშო სიგრძე ტოლია:

$$l = \frac{P_ფ}{2 \cdot \delta_1 \cdot 0{,}7\;\;[\tau]} = \frac{68\,500}{2 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}7 \cdot 1\,100} = 56 \text{ სმ}.$$

საპროექტო სიგრძე კი:

$$l_1 = l + 1 = 56 + 1 = 57 \text{ სმ}.$$

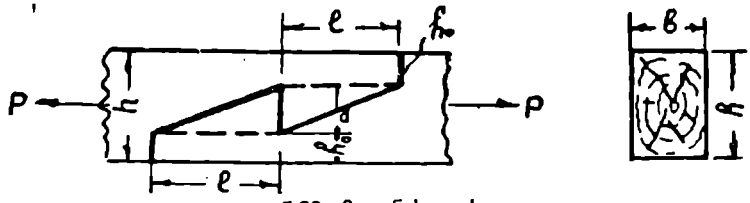
5.27. ვიპოვოთ წინა ამოცანისათვის l_1 გვერდითი ნაკერის სიგრძე (იხ. ნახაზი), თუ ფურცლის სიგანე $b = 100$ სმ.

პასუხი: $l_1 = 109$ სმ.

§ 13. ხის ჭდობა

5.28. სწორკუთხოვანი განივკვეთის ხის ძელზე მოქმედებს $P = 5$ ტ გამჭიმავი ძალა. ძელის სიგანე $b = 10$ სმ-ს.

ვიანგარიშოთ ხის ჭდობის ელემენტების ზომები, რომელიც შეერთე-



5.28 ამოცანისათვის.

ბულია ერთმანეთთან პირაპირ, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები.

ძელისა და ჭდობის ზომებია h, b, h_0, a და l; მოცემული ხის ძელისათვის დასაშვები ძაბვები შემდეგია: გაჭიმვაზე დასაშვები ძაბვა ბოჭ-

კოების გასწვრივ $[\sigma]_ზ = 90$ კგ/სმ², თელვაზე დასაშვები ძაბვა ბოჭკოების გასწვრივ $[\sigma]_თ = 130$ კგ/სმ², ხოლო ახლეჩაზე დასაშვები ძაბვა ბოჭკოების გასწვრივ $[\tau] = 10$ კგ/სმ².

ა მ ო ხ ს ნ ა: ვიცით, რომ ძელის სიგანე $b = 10$ სმ-ს. ვიპოვოთ გაჭიმვის პირობიდან

$$h_0 \geqslant \frac{P}{b\ [\sigma]_ზ} = \frac{5\,000}{10 \cdot 90} = 5{,}55 \approx 5{,}5 \text{ სმ.}$$

a-ს ვიპოვით თელვის პირობიდან:

$$a \geqslant \frac{P}{b[\sigma]_თ} = \frac{5\,000}{10 \quad 130} = 3{,}85 \approx 4 \text{ სმ.}$$

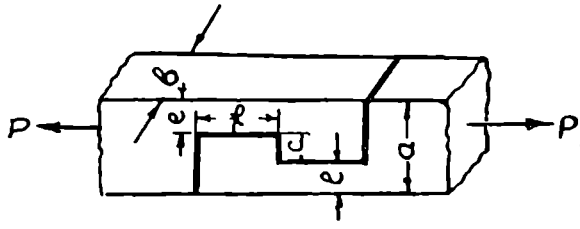
კოჭის სიმაღლე:

$$h = 2h_0 + a = 2 \cdot 5{,}5 + 4 = 15 \text{ სმ.}$$

l-ს ვიპოვით ახლეჩის პირობიდან:

$$l \geqslant \frac{P}{b\,[\tau]_ახ} = \frac{5\,000}{10 \cdot 10} = 50 \text{ სმ.}$$

.29. შევარჩიოთ ხის ჭდობის ზომები, თუ ძალა $P = 10$ ტ-ს და კო-



5.29 ამოცანისათვის.

ჭის სიგანე $b = 20$ სმ-ს (იხ. ნახაზი). კოჭის მასალა მუხაა, რომლისთვისაც დასაშვები ძაბვები შემდეგია:

გაჭიმვაზე ბოჭკოების გასწვრივ 90კგ/სმ²;
კუმშვასა და თელვაზე „ 130 „
ახლეჩაზე „ 10 „

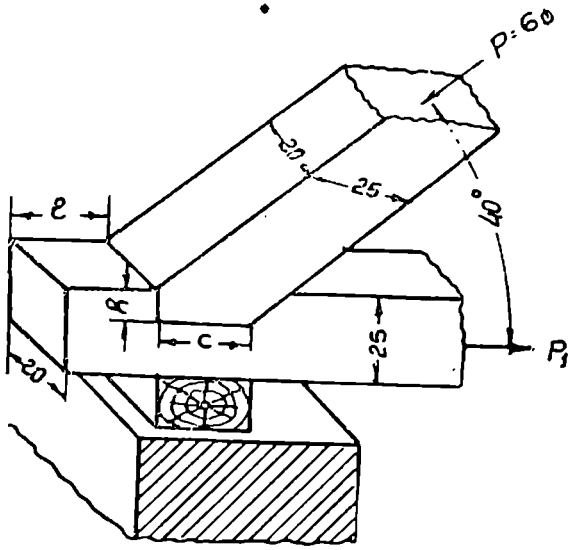
პ ა ს უ ხ ი: $l \cong 5{,}6$ სმ; $c = 3{,}8$ სმ; $f = 50$ სმ; $a = 15$ სმ.

5.30. ნივნივას ფეხი უერთდება მჭიმს კუთხით $\alpha = 40°$; მასზე მოქმედებს ღერძული ძალა $P = 6$ ტ (იხ. ნახაზი). შევარჩიოთ ჭდობის ზომები, თუ შესაერთებელი კოჭის ზომებია 20×25 სმ²; მასალა ფიჭვია, რომლისთვისაც დასაშვები ძაბვები გაჭიმვაზე $[\sigma] = 70$ კგ/სმ².

კუმშვასა და თელვაზე ბოჭკოების გასწვრივ $[\sigma] = 100$ კგ/სმ²; ახლეჩაზე $[\sigma]_ახ = 8$ კგ/სმ².

კუმშვაზე ბოჭკოების მართობულად 24 კგ/სმ²;

მ ი თ ი თ ე ბ ა: ნივნივას ფეხის დახრილი კვეთი ითვლება და α კუთხით დახრილ კვეთში დასაშვები ძაბვა იანგარიშება ფორმულით:



5.30 ამოცანისათვის.

$$[\sigma]_{\text{თეღ. დახ. კვ.}} = \frac{[\sigma]_{\parallel}}{1 + \left\{ \frac{[\sigma]_{\parallel}}{[\sigma]_{\perp}} - 1 \right\} \sin^3 \alpha},$$

სადაც $[\sigma]_{\parallel}$ არის დასაშვები ძაბვა ჭდობაში ბოჭკოების გასწვრივ თელვაზე;

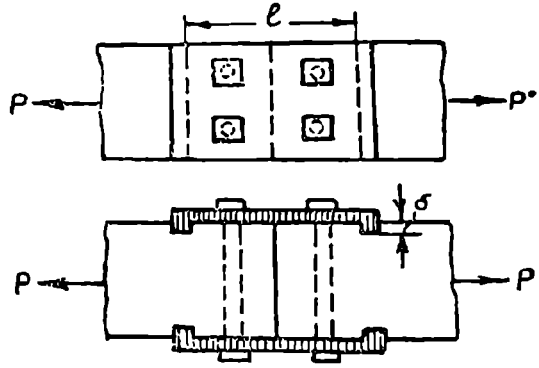
$[\sigma]_{\perp}$ —დასაშვები ძაბვა ბოჭკოების მართობულად კუმშვაზე.

პ ა ს უ ხ ი:

$h=6$ სმ;

$l=32{,}5$ სმ;

$c=8$ სმ.



5.31 ამოცანისათვის.

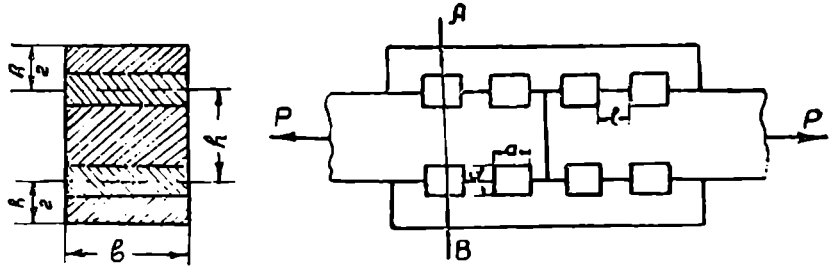
5.31. მოცემულია კვადრატული ფორმის $F=20\times 20$ სმ² ფიჩვის

ლერო, რომელზედაც მოქმედებს გამჭიმავი ძალა $P=8$ ტ. (იხ. ნახაზი).

ვიანგარიშოთ შეერთება, რომელიც განხორციელებულია δ სისქის ფოლადის ორი სოგმანიანი ნაფენით (ჭანჭიკების მუშაობას მხედველობაში არ ვღებულობთ), თუ დასაშვები ძაბვა ბოჭკოების გასწვრივ თელვაზე $[\sigma]_{ე}=160$ კგ/სმ² და დასაშვები ძაბვა ახლეჩვაზე ბოჭკოების გასწვრივ $[\tau]=8$ კგ/სმ².

პასუხი: $\delta=2{,}5$ სმ; $l=50$ სმ.

5.32. ფიცვის ორი ძელი კვეთით 15×10 სმ², შეერთებულია ფიცვის



5.32 ამოცანისათვის.

ნაფენებით და მუხის სოგმანების საშუალებით (იხ. ნახაზი).

ვიანგარიშოთ მუხის სოგმანების ზომები და სოგმანებს შორის მანძილი l, თუ გამჭიმავი ძალა $P=5$ ტ.

დასაშვები ძაბვები მუხისა და ფიცვისათვის იგივეა, რაც წინა ამოცანებში. დასაშვები ძაბვა ახლეჩაზე მუხისათვის ბოჭკოების მართობულად $[\sigma]_{ხე}=8$ კგ/სმ² (მუხის სოგმანები იხლიჩება ბოჭკოების მართობულად).

პასუხი: $a\cong15$ სმ;
$c\cong3$ სმ;
$l\cong16$ სმ.

და შევადგენთ დარჩენილი მარცხენა ნაწილის წონასწორობის პირობას, მივიღებთ:

პირველი უბნისათვის:

$$\Sigma M_x = M_x^{I} - 1200 = 0; \qquad M_x^{I} = 1200 \text{ კგ. მ.}$$

მეორე უბნისათვის:

$$\Sigma M_x = M_x^{II} - 1400 - 1200 = 0; \qquad M_x^{II} = +2600 \text{ კგ. მ.}$$

მესამე უბნისათვის:

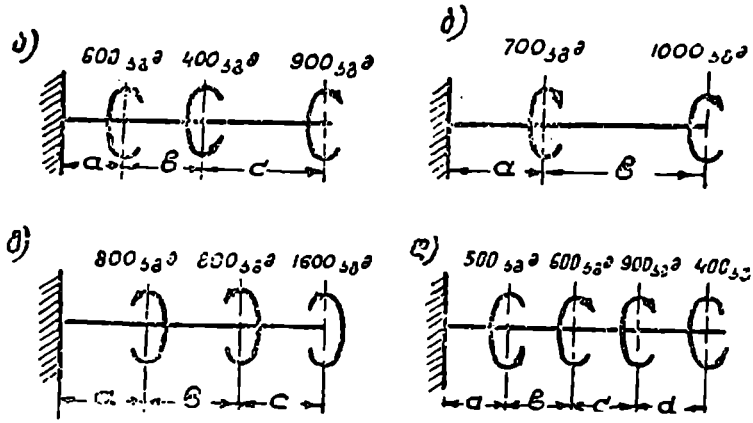
$$\Sigma M_x = M_x^{III} + 900 - 1400 - 1200 = 0; \qquad M_x^{III} = +1700 \text{ კგ. მ.}$$

მეოთხე უბნისათვის:

$$\Sigma M_x = M_x^{IV} - 600 + 900 - 1400 - 1200 = 0; \qquad M_x^{IV} = +2300 \text{ კგ. მ.}$$

ეპიურის სახე ნახაზზეა ნაჩვენები (იხ. ნახაზი ბ).

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: მგრეხავი მომენტების ეპიურის აგება M_e რეაქციის მოძებნის გარეშეც შეიძლება, თუ გაკვეთის შემდეგ შევადგენთ მოკვეთილი მარჯვენა მხარის წონასწორობის პირობას.



6.2 ამოცანისათვის.

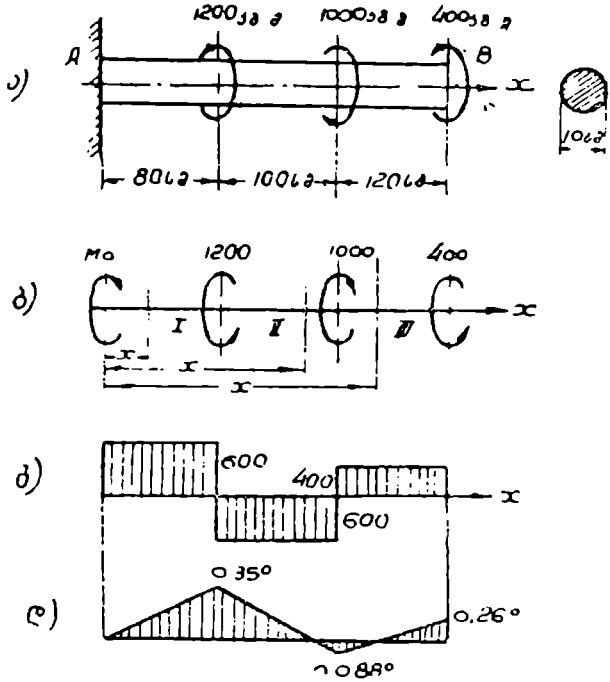
6.2. ქვემომოყვანილი შემთხვევებისათვის ავაგოთ ღეროს მგრეხავი მომენტის ეპიურები (იხ. ნახაზი).

6.3. ავაგოთ მოცემული ფოლადის ღეროს გრეხის კუთხის ეპიურა, თუ დრეკადობის მოდული ძვრისას $G = 8 \cdot 10^5$ კგ/სმ² (ღეროს გეომეტრიული ზომები და მგრეხავი მომენტის მნიშვნელობები მოცემულია ნახაზზე).

ა მ ო ხ ს ნ ა: ავაგოთ მგრეხავი მომენტის ეპიურა, ღეროს წონასწორობის პირობიდან დავწერთ:

$$-M_a+1200-1000+400=0; \qquad M_a=+600 \text{ კგ. მ.}$$

განკვეთის ხერხის გამოყენებით ავაგოთ მგრეხავი მომენტის ეპიურა, საიდანაც მგრეხავი მომენტის მნიშვნელობა:



6.3 ამოცანისათვის.

პირველ უბანში:

$$M_z^{I}=-600 \text{ კგ. მ.}$$

მეორე უბანში:

$$M_z^{II}=+600 \text{ კგ. მ.}$$

მესამე უბანში:

$$M_z^{III}=-400 \text{ კგ. მ. (იხ. ნახ. გ).}$$

პირველი უბნის 1—1 კვეთში გრეხის კუთხე

$$\varphi=\frac{M_z^{I}\cdot x}{J_p\cdot G},$$

სადაც

$$0 \leqslant x \leqslant 80,$$

ხოლო

$$J_p = \frac{\pi r^4}{2} = \frac{\pi \cdot 5^4}{2} = 982 \text{ სმ}^4. \qquad \varphi_a = \frac{60000 \cdot x}{982 \cdot 8 \cdot 10^5},$$

როცა $x=0$, $\varphi=0$; როცა $x=80$, $\varphi=-0{,}0061=-0{,}35°$.

მეორე უბნის 2—2 კვეთში

$$\varphi = -\frac{M_z^{\text{I}} \cdot 80}{J_p \cdot G} + \frac{M_z^{\text{II}}}{J_p G}(x-80);$$

$$\varphi = -\frac{60000 \cdot 80}{982 \cdot 8 \cdot 10^5} + \frac{60000}{982 \cdot 8 \cdot 10^5}(x-80);$$

x იცვლება 80-დან 180 სმ-მდე.

როცა $x=80$ სმ, $\varphi=-0{,}35°$;

როცა $x=180$ სმ, $\varphi=-0{,}00153=+0{,}088°$.

მესამე უბნის 3—3 კვეთის მობრუნების კუთხე

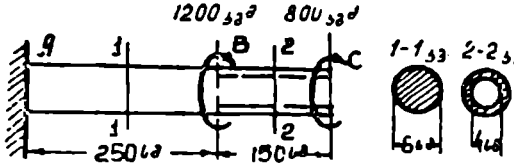
$$\varphi = -\frac{60000 \cdot 80}{982 \cdot 8 \cdot 10^5} + \frac{60000 \cdot 100}{982 \cdot 8 \cdot 10^5} - \frac{40000}{982 \cdot 8 \cdot 10^5}(x-180),$$

სადაც $180 \leqslant x \leqslant 300$.

როცა $x=300$; $\varphi=-0{,}00458=-0{,}26°$.

φ-ს მნიშვნელობიდან ვიცით, რომ მისი სიდიდე თვითეულ უბანში იცვლება სწორი ხაზის კანონით, რის საფუძველზედაც უბნის ბოლოებზე შევზომავთ φ-ს მიღებულ მნიშვნელობებს და შეეაერთებთ სწორი ხაზით, რაც მოგვცემს $\varphi=f(x)$ ეპიურის სახეს (იხ. ნახაზი).

6.4. ფოლადის ცილინდრული ღეროს AB ნაწილი მასიურია, ხოლო BC ღრუ (ზომები იხილეთ ნახაზზე).



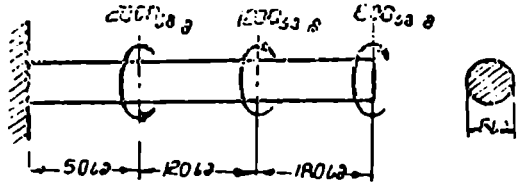
6.4 ამოცანისათვის.

ღეროს A ბოლო ჩამაგრებულია, B და C კვეთებში მოქმედებენ მგრეხავი მომენტები, რომლის სიდიდე და მიმართულება ნახაზზეა ნაჩვენები.

ავაგოთ ღეროს გრეხის კუთხის ეპიურა, თუ $G=8{,}2 \cdot 10^5$ კგ/სმ^2.

6.5. ავაგოთ ნახაზზე მოცემული ფოლადის ცილინდრული ღეროს მგრეხავი მომენტისა და გრეხის კუთხის ეპიურები, რომლისთვისაც საჭირო ზომები და სიდიდეები ნახაზზეა მოცემული. დრეკადობის მოდული ძვრისას

$$G=8\cdot 10^5 \text{ კგ/სმ}^2.$$

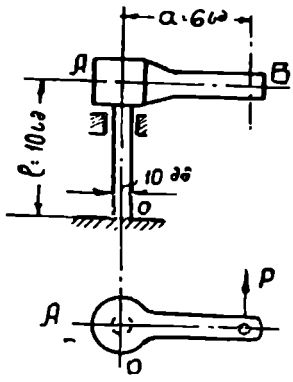


6.5 ამოცანისათვის.

§ 15. ძაბვის და დეფორმაციის განსაზღვრა

6.6. OAB მუხლა ბერკეტის თითზე მოქმედებს $P=7,5$ კგ ძალა (იხ. ნახაზი).

ვიპოვოთ AO ღეროში მაქსიმალური მხები ძაბვა და გრეხის კუთხე, თუ ღეროს სიგრძე $l=10$ სმ-ს, $a=6$ სმ-ს, დიამეტრი $d=10$ მმ, და დრეკადობის მოდული ძვრის დროს $G=8\cdot 10^5$ კგ/სმ^2-ს.



6.6 ამოცანისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა: AB ღეროზე მოქმედი მგრეხავი მომენტი:

$$M_{\text{გრ}}=P\cdot a=7,5\cdot 6=45 \text{ კგ. სმ.}$$

წინაღობის პოლარული მომენტი

$$W_p=\frac{\pi r^3}{2}=\frac{3,14\cdot 0.5^3}{2}=0,196 \text{ სმ}^3;$$

$$\tau_{\text{გრ}}=\frac{M_{\text{გრ}}}{W_p}=\frac{45}{0,196}=229 \text{ კგ/სმ}^2.$$

გრეხის კუთხე φ, A კვეთში ტოლია:

$$\varphi=\frac{M_{\text{გრ}}\cdot l}{G\cdot J_p};\qquad J_p=\frac{\pi r^4}{2}=0,098 \text{ სმ}^4;$$

$$\varphi=\frac{45\cdot 10}{8\ \ 10^5\cdot 0,098}=0,0057_{\text{რად}}=0,327^0.$$

6.7. ლილვი, რომლის დიამეტრი $d=11$ სმ-ს, გადასცემს $N=180$ ცხ. ძ. სიმძლავრეს, როდესაც ლილვის ბრუნთა რიცხვი $n=100$ ბრ/წთ. მოვძებნოთ მაქსიმალური მხები ძაბვა τ_{max}.

ა მ ო ხ ს ნ ა: ლილვზე მოქმედი მგრეხავი მომენტი ტოლია:

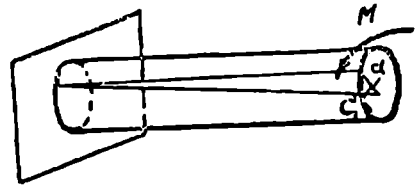
$$M_{\text{მგრ}}=716{,}2\,\frac{N}{n}=\frac{716{,}2\cdot 180}{100}=1290 \text{ კგ. მ}=129\,000 \text{ კგ. სმ};$$

$$\tau_{max}=\frac{M_{\text{მგრ}}}{W_p};$$

$$W_p=\frac{\pi r^3}{2}=\frac{3{,}14\cdot 5{,}5^3}{2}=262 \text{ სმ}^3;$$

$$\tau_{max}=\frac{129000}{262}=493 \text{ კგ/სმ}^2.$$

6.8. ფოლადის ლილვი, რომლის სიგრძეა 6 მ და დიამეტრი 5 სმ, ერთი ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული და მეორე ბოლოზე მოქმედებს მგრეხავი მომენტი. დეფორმაციის შედეგად ბოლო კვეთის წრეხაზზე მდებარე C წერტილი გადაადგილდა C_1 წერტილში და მოხაზა CC_1 რკალი სიგრძით 4 მმ (იხ. ნახაზი).



6.8 ამოცანისათვის.

მოვძებნოთ სრული გრეხის კუთხე φ, ფარდობითი გრეხის კუთხე ϑ, ძვრის კუთხე ზედაპირზე γ და მაქსიმალური მხები ძაბვა, თუ ძვრის დრეკადობის მოდული ფოლადისათვის $G=8\cdot 10^5$ კგ/სმ^2.

პ ა ს უ ხ ი: $\varphi=0{,}16=9^\circ\ 10'\ 48''$; $\vartheta=0{,}00025$;

$\gamma=0{,}00125$; $\tau_{max}=1000$ კგ/სმ^2.

6.9. ფოლადის ლილვზე, რომლის დიამეტრი $d=6$ სმ-ს, მოქმედებს მგრეხავი მომენტი $M=18000$ კგ/სმ.

მოვძებნოთ მაქსიმალური მხები ძაბვა, ძვრის კუთხე γ ლილვის ზედაპირზე და ფარდობითი გრეხის კუთხე ϑ, თუ დრეკადობის მოდული ძვრისას $G=8\cdot 10^5$ კგ/სმ^2.

პ ა ს უ ხ ი: $\tau=420$ კგ/სმ^2;

$\gamma=0{,}000525$;

$\vartheta=0{,}000175$.

6.10. ფოლადის ლილვს, დიამეტრით $d=100$ მმ, სიგრძით $l=3$ მ აქვს $n=1800$ ბრუნვა წუთში.

განვსაზღვროთ რა სიმძლავრეს გადასცემს ლილვი და რას უდრის უდიდესი გრეხის კუთხე, თუ მხები ძაბვა $\tau=200$ კგ/სმ², დრეკადობის მოდული ძვრისას $G=8\cdot 10$ კგ/სმ².

პასუხი: $N=985$ ცხ. ძ.

$\varphi=0{,}015=0{,}86°$.

6.11. მოვძებნოთ ფოლადის ლილვის ბრუნთა რიცხვი n და შესაბამისი ძაბვა, თუ ლილვი გადასცემს 260 ცხ. ძ. სიმძლავრეს. ლილვის დიამეტრია 6 სმ, $G=8\cdot 10^5$ კგ/სმ² და დასაშვები დეფორმაცია 1 გრძივ მეტრზე 1°.

პასუხი: $n=1050$ კგ/წთ; $\tau=418$ კგ/სმ².

6.12. წინა ამოცანის პირობებისათვის განვსაზღვროთ ძვრის მოდულის G-სიდიდე, თუ ძვრის კუთხე ლილვის ზედაპირზე უდრის 0,00051.

პასუხი: $G=8{,}2\cdot 10^5$ კგ/სმ².

6.13. მასალის ძვრის მოდულის გასაგებად გრეხავენ ცილინდრულ ნიმუშს და ოპტიკური ხელსაწყოს საშუალებით ზომავენ ცილინდრული ნიმუშის ორი მეზობელი კვეთის მობრუნების კუთხეს.

განვსაზღვროთ ძვრის მოდული, თუ 2000 კგ. სმ მგრეხავ მომენტს შეესაბამება კვეთის მობრუნების კუთხე $\varphi_1=0{,}0856$ და $\varphi_2=0{,}0743$, კვეთებს შორის მანძილი 15 სმ-ია, ნიმუშის დიამეტრი $d=24$ მმ-ს.

პასუხი: $G=8{,}15\cdot 10^5$ კგ/სმ².

6.14. მოვძებნოთ მგრეხავი მომენტი და უდიდესი მხები ძაბვა, თუ ლილვის სიგრძე $l=2$ მ-ს, დიამეტრი $d=3$ სმ-ს, გრეხის კუთხე $\varphi=0{,}08$-ს და ძვრის მოდული $G=8\cdot 10^5$ კგ/სმ²-ს.

პასუხი: $M_{\text{გრ}}=2550$ კგ/სმ;

$\tau=480$ კგ/სმ².

6.15. ლილვი, რომლის დიამეტრია 8 სმ, იგრიხება ძალით ისე, რომ მხები ძაბვა ცენტრიდან 2 სმ დაშორებულ წერტილში უდრის 280 კგ/სმ²-ს.

მოვძებნოთ რას უდრის ლილვზე მოქმედი მგრეხავი მომენტის სიდიდე.

პასუხი: 740 კგ. მ.

6.16. მრგვალი ფორმის ღეროს სიგრძე, რამდენჯერ უნდა აღემატებოდეს დიამეტრს, რომ ღეროს 45° გრეხის კუთხისას მაქსიმალური ძაბვა კვეთში იყოს 1000 კგ/სმ², დრეკადობის მოდული ძვრაზე მივიღოთ $C=8{,}4\cdot 10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: $\frac{l}{d}=330$.

6.17. 2 მ სიგრძისა და 4 მმ დიამეტრის მქონე ფოლადის მავთულის ერთი ბოლო ჩამაგრებულია და მეორე ბოლოზე მოქმედებს მგრეხავი მომენტი. მავთულის რა სიდიდის გრეხის კუთხეს შეესაბამება $\tau_{max}=800$ კგ/სმ² ძაბვა, თუ დრეკადობის მოდული ძვრისას $G=8\cdot10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: $\varphi=1=57°17'45''$.

6.18. მოვძებნოთ ლილვისათვის დასაშვები გრეხის კუთხე, თუ ლილვის სიგრძე $l=6$ მ-ს, დიამეტრი $d=10$ სმ-ს, დასაშვები მხები ძაბვა $\tau=400$ კგ/სმ²-ს და დრეკადობის მოდული ძვრისას $G=8\cdot10^5$ კგ/სმ²-ს.

პასუხი: $\varphi=0{,}06=3°26'16''$.

6.19. ჰიდროსადგურის გენერატორის ფოლადის ღრუ ლილვის ყველაზე უფრო შესუსტებულ კვეთში გარე დიამეტრია 800 მმ და შიგა დიამეტრი 60 მმ. ლილვი გადასცემს 70 000 ცხ. ძ სიმძლავრეს 160 ბრუნთა რიცხვით წუთში.

როგორია ლილვში მაქსიმალური მხები ძაბვა?

პასუხი: $\tau_{max}=312$ კგ/სმ².

6.20. ფოლადის ღრუ ლილვი, რომლის სიგრძეა 2 მ, შიგა დიამეტრი 40 მმ და გარე დიამეტრი 60 მმ, იგრიხება $M_{გრ}=220$ კგ მ ძალით, ხოლო შესაბამისი ლილვის გრეხის კუთხე $\varphi=3°$.

მოვძებნოთ მაქსიმალური მხები ძაბვა და ძვრის მოდული G.

რა სიდიდის მგრეხავი მომენტი უნდა მოვდოთ მასიურ ლილვზე, რომ მან გამოიწვიოს იგივე მაქსიმალური მხები ძაბვა, და რას უდრის ამ დროს გრეხის კუთხე, თუ ლილვის სიგრძე უცვლელი რჩება.

პასუხი: $\tau_{max}=647$ კგ/სმ²;

$G=8{,}25\cdot10^5$ კგ/სმ²;

$M=274$ კგ. მ.

6.21. ტურბინიდან გენერატორის სიმძლავრე გადაეცემა $l=5$ მ სიგრძის ღრუ ლილვის საშუალებით. ლილვის გრეხის კუთხე $\varphi=1°$-ს, ლილვის გარე დიამეტრი $d_1=22$ სმ-ს, შიგა დიამეტრი $d_2=12$ სმ-ს, ბრუნთა რიცხვი წუთში 200 და $G=8\cdot10^5$ კგ/სმ²-ს.

განვსაზღვროთ რა სიმძლავრე გადაეცემა ტურბინიდან გენერატორს და რას უდრის ლილვში მაქსიმალური მხები ძაბვა.

პასუხი: $N=1635$ ცხ. ძ.,

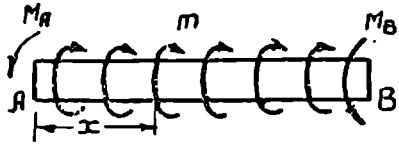
$\tau=308$ კგ/სმ².

6.22. AB ლილვი, რომლის სიგრძე $l=100$ სმ-ს და დიამეტრი $d=2$ სმ-ს, A ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული, B ბოლოზე მოქმედებს მგრეხავი მომენტი $M_B=600$ კგ. სმ, გარდა ამისა, ლილვის მთელ სიგრძეზე

მოდებულია თანაბრად განაწილებული მგრეხავი მომენტი ინტენსივობით $m=16$ კგ. სმ/სმ (იხ. ნახაზი).

$$G=8\cdot 10^5 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ვიპოვოთ, რა კანონით იცვლება გრეხის კუთხე ლილვის სიგრძეზე და რას უდრის მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა.



6.22 ამოცანისათვის.

პასუხი:

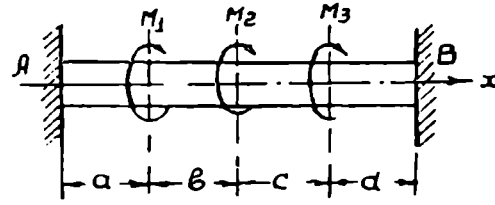
$$\varphi_x=0{,}637\cdot 10^{-5}x^2-0{,}796\ \ 10^{-3}x;$$

$$\max \varphi_{x=02.5}=0{,}0257=1{,}47^\circ.$$

6.23. AB ლილვი ორივე ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული და მასზე მოქმედებენ მგრეხავი მომენტები M_1, M_2 და M_3, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები (იხ. ნახაზი).

ვიპოვოთ რას უდრის საყრდენი მომენტები M_A და M_B.

ამოხსნა: ამ ამოცანაში ვსარგებლობთ წონასწორობის მხოლოდ ერთი განტოლებით, სახელდობრ მომენტების ჯამი ლილვის ღერძის მიმართ უდრის ნულს, ე. ი. $M_A+M_B+M_1+M_2+M_3=0$.



6.23 ამოცანისათვის.

როგორც ვხედავთ, ამ განტოლებაში შედის ორი უცნობი. მაშასადამე, ამოცანა სტატიკურად ურკვეველია, რის გამოც საჭიროა დამატებითი განტოლების შედგენა დეფორმაციის პირობიდან. რადგან ორივე ბოლო ხისტადაა ჩამაგრებული, ამიტომ დეფორმაციის პირობა შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგნაირად:

$$\varphi_a+\varphi_b+\varphi_c+\varphi_d=0,$$

სადაც φ_a, φ_b, φ_c და φ_d შესაბამისად ლილვის უბნებში გრეხის კუთხეებია.

უბნებში მგრეხავი მომენტების გასაგებად მივმართოთ განკვეთის ხერხს და განვიხილოთ მოკვეთილი მარცხენა ნაწილის წონასწორობა, მივიღებთ:

$$M_a=M_A;\quad M_b=M_A+M_1;\quad M_c=M_A+M_1+M_2;\quad M_d=M_A+M_1+M_2+M_3.$$

აქედან შესაბამისი გრეხის კუთხეები:

$$\varphi_a=\frac{M_A\cdot a}{J_p\cdot G};\qquad \varphi_b=\frac{(M_A+M_1)b}{J_p\cdot G};\qquad \varphi_c=\frac{(M_A+M_1+M_2)c}{J_p\cdot G};$$

$$\varphi_d=\frac{(M_A+M_1+M_2+M_3)d}{J_p\cdot G}.$$

თუ ამ მნიშვნელობებს შევიტანთ დამატებით განტოლებაში, მივიღებთ:

$$\frac{M_A\cdot a}{J_p\cdot G}+\frac{(M_A+M_1)b}{J_p\cdot G}+\frac{(M_A+M_1+M_2)c}{J_p\cdot G}+\frac{(M_A+M_1+M_2+M_3)d}{J_p\cdot G}=0;$$

აქედან

$$M_A=-\frac{M_1(b+c+d)+M_2(c+d)+M_3d}{a+b+c+d}.$$

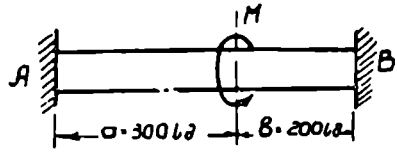
M_A-ს მნიშვნელობა შევიტანოთ წონასწორობის განტოლებაში და ამოვხსნათ M_B.

$$M_B=-\frac{M_1a+M_2(a+b)+M_3(a+b+c)}{a+b+c+d}.$$

6.24. წინა ამოცანის პირობებისათვის ვიპოვოთ საყრდენი მომენტები და მაქსიმალური მხები ძაბვები a, b, c და d უბნებში, თუ $M_1=30000$ კგ. სმ; $M_2=15000$ კგ. სმ; $M_3=20000$ კგ. სმ; $a=d=2$ მ; $b=c=1{,}5$ მ და ლილვის დიამეტრი $D=8$ სმ.

პასუხი: $M_A=-34643$ კგ. სმ. $M_B=-30357$ კგ. სმ;
$\tau_a=345$ კგ/სმ²; $\tau_b=46{,}2$ კგ/სმ²;
$\tau_c=103$ კგ/სმ²; $\tau_d=302$ კგ/სმ².

6.25. ორივე ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებულ AB ლილვზე მოქმედებს მგრეხავი მომენტი $M=25000$ კგ. სმ, რომლის მოქმედების სიბრტყე მარცხენა A საყრდენიდან დაცილებულია $a=3$ მ-ით, ხოლო მარჯვენა B საყრდენიდან $b=2$ მ-ით (იხ. ნახაზი).

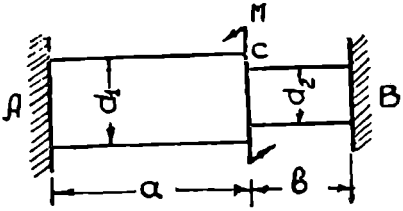


6.25 ამოცანისათვის.

გამოვთვალოთ საყრდენი მომენტის სიდიდე და მგრეხავი მომენტის მოდების კვეთში გრეხის კუთხე, თუ ლილვის დიამეტრი $d=6$ სმ-ს და $G=8\cdot10^5$ კგ/სმ²-ს.

პასუხი: $M_A=10000$ კგ. სმ; $M_B=15000$ კგ. სმ; $\varphi_a=1{,}69°$.

6.26. საფეხურიანი ლილვი ორივე ბოლოთი ჩამაგრებულია და მასზე მოქმედებს მგრეხავი მომენტი $M=40000$ კგ. სმ, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები (იხ. ნახაზი).



6.26 ამოცანისათვის.

ვიპოვოთ რეაქციული მომენტები და მაქსიმალური მხები ძაბვა უბნებში, თუ $a=4$ მ-ს, $b=2$ მ-ს, $d_1=6$ სმ-ს და $d_2=4$ სმ-ს.

პასუხი:

$$M_A=-\frac{M\cdot J'_p b}{aJ''_p+b\cdot J'_p}=$$
$$=-28\,700 \text{ კგ. სმ};$$

$$M_B=-\frac{M\cdot J''_p a}{aJ''_p+bJ'_p}=-11300 \text{ კგ. სმ};$$

$$\tau_a=678 \text{ კგ/სმ}^2;$$

$$\tau_b=900 \text{ კგ/სმ}^2.$$

6.27. რას უდრის წინა ამოცანის შემთხვევისათვის M_A და M_B ლილვის ბოლოების მომენტები, თუ M მგრეხავი მომენტის მოქმედებით მარჯვენა B ბოლო შემობრუნდა $\varphi=10'=0{,}0029$ კუთხით;

$$G=8\cdot 10^5 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: 1) $\dfrac{M_A\cdot a}{G\cdot J''_p}=\dfrac{M_B\cdot b}{G\cdot J'_p}+\varphi;$

2) $M_A+M_B=M;$

აქედან მივიღებთ: $M_A=28900$ კგ. სმ;
$M_B=11100$ კგ. სმ.

§ 16. ტვირთამტანიანობა და კვეთის შერჩევა

6.28. ფოლადის ლილვი, რომლის ბრუნთა რიცხვი წუთში $n=200$, გადასცემს $N=30$ ცხ. ძ. სიმძლავრეს.

ლილვის დიამეტრი შევარჩიოთ იმგვარად, რომ დაცული იყოს პირობა როგორც სიმტკიცეზე, ისე სიხისტეზე. დასაშვები მხები ძაბვა $\tau=540$ კგ/სმ^2; ერთეულ მეტრ სიგრძეზე დასაშვები გრეხის კუთხე $\varphi^\circ=0{,}25^\circ$ და. $G=8\cdot 10^5$ კგ/სმ^2.

ამოხსნა: შევარჩიოთ სიმტკიცის პირობიდან ლილვის დიამეტრი

$$W_p\geqslant\frac{M_{გრ}}{[\tau]},$$

თუ შევიტანთ W_p და $W_{ბრ}$ მნიშვნელობას, გვექნება:

$$\frac{\pi d^3}{16} \geqslant \frac{71620\ \frac{N}{n}}{]\tau]} \text{ ან } d \geqslant \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 71620 \cdot N}{\pi \cdot n \cdot [\tau]}} =$$

$$= \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 71620 \cdot 30}{3{,}14 \cdot 200 \cdot 540}} = 4{,}65 \text{ სმ.}$$

შევარჩიოთ ლილვის დიამეტრი დეფორმაციის ანუ სიხისტის პირობიდან:

$$J_p \geqslant \frac{M_{ბრ} \cdot l}{G \cdot [\varphi]},$$

სადაც

$$J_p = \frac{\pi d^4}{32} \text{ სმ}^4;$$

$$M_{ბრ} = 71620\ \frac{N}{n} \text{ კგ. სმ.}$$

მობრუნების კუთხე რადიანებში

$$\varphi] = \frac{\pi}{180} \cdot [\varphi]^\circ.$$

და l ლილვის ერთი გრძივი მეტრი, ანუ $l = 100$ სმ, თუ შევიტანთ მნიშვნელობებს, მივიღებთ:

$$d = \sqrt[4]{\frac{71620 \cdot 30 \cdot 100 \cdot 180 \cdot 32}{200 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}25 \cdot 3{,}14}} = 7{,}5 \text{ სმ.}$$

$d = 7{,}5$ სმ აკმაყოფილებს როგორც სიმტკიცის, ისე სიხისტის პირობას. ამის გამო შევჩერდებით ამ უკანასკნელზე.

6.29. ვიანგარიშოთ ლილვის დიამეტრი, რომელიც გადასცემს 250 ცხ. ძ. სიმძლავრეს 500 ბრ/წუთში, თუ ლილვის მასალისათვის დასაშვები მხები ძაბვა $[\tau] = 800$ კგ/სმ^2.

პასუხი: $d = 6{,}1$ სმ.

6.30. ვიანგარიშოთ გრეხაზე ორი ცილინდრული ლილვი, რომლიდანაც ერთი გადასცემს 20 ცხ. ძ-ს 800 ბრ/წუთში და მეორე 1 ცხ. ძ-ს 10 ბრ/წთ.

დასაშვები ძაბვა $[\tau] = 200$ კგ/სმ^2.

პასუხი: $d_1 = 35{,}8$ მმ;

$d_2 = 56{,}7$ მმ.

6.31. 80 მმ დიამეტრის ფოლადის ლილვი გადასცემს 50 ცხ. ძ სიმძლავრეს 200 ბრ/წთ.

რამდენი პროცენტით გადიდდება მარაგის კოეფიციენტი, თუ იმავე ლილვით გადასცემენ 100 ცხ. ძ სიმძლავრეს 1000 ბრ/წუთში.

პასუხი: მეორე შემთხვევაში ლილვი მუშაობს 150%-ზე მეტი მარაგით, ვიდრე პირველ შემთხვევაში.

6.32. გრეხაზე მომუშავე ლილვის დიამეტრი უდრის 80 მმ-ს.

რას უდრის ლილვის იმ შიგა ნაწილის დიამეტრი, რომელიც მიიღებს ლილვზე მოქმედი მგრეხავი მომენტის 1/16 ნაწილს.

პასუხი: $d_1=40$ მმ.

6.33. ფოლადის ლილვი სიგრძით 12 მ და დიამეტრით 60 მმ, მუშაობს $\tau=300$ კგ/სმ² ძაბვის ქვეშ. ლილვის ბოლოზე დამაგრებულია მიმყოლი თვალი (შკივი) 400 მმ დიამეტრით.

რამდენი მილიმეტრით ჩამორჩება ლილვის დეფორმაციის გამო მიმყოლი თვალის წრეხაზზე აღებული წერტილი წამყვანი თვალის შესაბამის წერტილს, თუ აღებული მასალისათვის ძვრის მოდული $G=8\cdot10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: 30 მმ.

6.34. რა დიამეტრამდე უნდა ვიანგარიშოთ ლილვი სიმტკიცის პირობიდან, თუ დასაშვები ძაბვა $[\tau]=300$ კგ/სმ².

ლილვის ერთ გრძივ მეტრზე დასაშვები გრეხის კუთხე

$$[\varphi]^\circ=0{,}3^\circ \text{ და } G=8\cdot10^5 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ამოხსნა: სიმტკიცის პირობიდან გვექნება:

$$\frac{16M}{\pi d^3}\leqslant[\tau].$$

სიხისტის პირობაზე შემოწმება კი გვაძლევს:

$$\frac{100M}{G\dfrac{\pi d^4}{32}}\leqslant0{,}00524.$$

ამ ორი პირობიდან უნდა განვსაზღვროთ d დიამეტრის მნიშვნელობა, რომელიც ორივე განტოლებას დააკმაყოფილებს. დიამეტრის ასეთი მნიშვნელობა იქნება $d=14{,}3$ სმ.

6.35. მანქანის სიმძლავრის გასაგებად, რომელსაც აქვს 160 ბრუნვა წუთში, ვზომავთ ლილვის გრეხის კუთხეს.

რას უდრის სიმძლავრე, თუ ლილვის დიამეტრი $d=12$ სმ-ს, ლილვის გრძივი მეტრის გრეხის კუთხე $\varphi=0{,}005$ და $G=8\cdot10^5$ კგ/სმ².

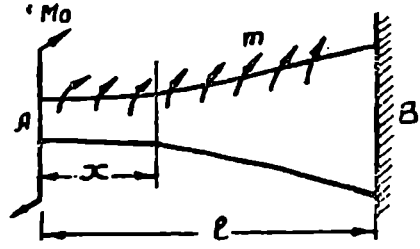
პასუხი: $N=181$ ცხ. ძ.

6.36. რა სიმძლავრეს გადასცემს ლილვი, რომლის დიამეტრია 6 სმ და ბრუნთა რიცხვი წუთში 60, თუ ლილვში აღძრული მაქსიმალური მხები ძაბვა $\tau=280$ კგ/სმ²-ს.

პასუხი: $N\cong 10$ ცხ. ძ.

6.37. ტოლწინაღობიანი წრიული განივკვეთის AB ღერძის A ბოლოზე მოქმედებს მგრეხავი მომენტი $M_0=20000$ კგ. სმ, ხოლო l მალზე თანაბრად განაწილებული მომენტი $M=80\frac{\text{კგ}\cdot\text{სმ}}{\text{სმ}}$ ინტენსივობით (იხ. ნახაზი).

ვიპოვოთ ტოლწინაღობიანი ღეროს ფორმა და დიამეტრი A და B კვეთებში, თუ დასაშვები მხები ძაბვა $[\tau]=500$ კგ/სმ²-ს და ღეროს სიგრძე $l=400$ სმ-ს.



6.37 ამოცანისათვის.

პასუხი:

$$d_x=\sqrt[3]{\frac{16(M_0+M_x)}{\pi[\tau]}};$$

$d_0=5{,}9$ სმ; $d_p=8{,}1$ სმ.

6.38. შევარჩიოთ გადამცემი ლილვის დიამეტრი, თუ უკანასკნელის მიერ გადაცემული სიმძლავრე $N=500$ ცხ. ძ. ბრუნთა რიცხვი წუთში $n=800$, დასაშვები ძაბვა $[\tau]=200$ კგ/სმ², ლილვის ერთ გრძივ მეტრზე დასაშვები გრეხის კუთხე $\varphi_0=0{,}25°$ და $G=8\cdot 10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: 1) დასაშვები ძაბვის პირობიდან $d=106$ მმ;

2) დასაშვები გრეხის კუთხის პირობიდან $d=107$ მმ.

6.39. შევარჩიოთ გადამცემი ლილვის დიამეტრი, თუ უკანასკნელის მიერ გადაცემული სიმძლავრე $N=240$ ცხ. ძ-ას, ბრუნთა რიცხვი წუთში $n=100$; დასაშვები ძაბვა $[\tau]=300$ კგ/სმ²; ლილვის ერთ გრძივ მეტრზე დასაშვები გრეხის კუთხე $\varphi_0=0{,}25°$ და $G=8\cdot 10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: 1) დასაშვები ძაბვის პირობიდან $d=143$ მმ;

2) დასაშვები გრეხის კუთხის პირობიდან $d=150$ მმ.

6.40. განვსაზღვროთ მაქსიმალური მგრეხავი მომენტი, რომელიც შეიძლება ვამოქმედოთ $d=12$ მმ ფოლადის ლილვზე, თუ დასაშვები ძაბვა $[\tau]=1400$ კგ/სმ², $G=8\cdot 10^5$ კგ/სმ².

მოვძებნოთ ამ კვეთებს შორის მანძილი, რომელთა ურთიერთ შემობრუნების კუთხე 60°-ის ტოლია.

პასუხი: $M_{max}=475$ კგ. სმ.

$l=358$ სმ.

6.41. ღრუ ლილვის გარე დიამეტრი $d_1=120$ მმ-ს და შიგა დიამეტრი $d_2=60$ მმ-ს.

რა სიმძლავრის გადაცემა შეუძლია ლილვს და რას უდრის მაქსიმალური მხები ძაბვა, თუ $n=100$ ბრ/წთ. გრეხის კუთხე ერთ გრძივ მეტრზე $\varphi=0,\ 7^\circ$ და ძვრის მოდული $G=8\cdot 10^5$ კგ/სმ².

ა მ ო ხ ს ნ ა: მგრეხავი მომენტი სიმძლავრესთან და გრეხის კუთხესთან დაკავშირებულია შემდეგი ფორმულით:

$$M_{\text{გრ}}=71620\frac{N}{n}\ \text{კგ. სმ. და}\ \varphi=\frac{M_{\text{გრ}}\cdot l}{GJ_p};$$

აქედან

$$M_{\text{გრ}}=\frac{\varphi GJ_p}{l};$$

მაშასადამე, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$71620\,\frac{N}{n}=\frac{\varphi GJ_p}{l};\qquad N=\frac{\varphi GJ_p\cdot n}{71620l}.$$

φ რადიანებში იქნება:

$$\varphi=0,7^\circ=\frac{0,7\cdot\pi}{180}=0,01223\ \text{რადიანი};$$

ინერციის პოლარული მომენტი

$$J_p=\frac{(r_1^4-r_2^4)\pi}{2}=\frac{(6^4-3^4)\pi}{2}=1908\ \text{სმ}^4;$$

$$N=\frac{0,01223\cdot 8\cdot 10^5\cdot 1908\cdot 100}{71620\cdot 100}=260\ \text{ცხ. ძ.}$$

უდიდესი მხები ძაბვა იქნება გარე კონტურზე, რომელიც იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$\tau_{max}=\frac{2M}{\pi r_1^3(1-\alpha^4)},$$

სადაც

$$\alpha=\frac{r_2}{r_1}=\frac{3}{6}=0,5.$$

თუ შევიტანთ მგრეხავი მომენტის მნიშვნელობას, საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\tau_{max}=\frac{2\cdot 71620\cdot N}{n\cdot\pi\cdot r_1^3(1-\alpha^4)}=\frac{2\cdot 71620\cdot 260}{100\cdot\pi\cdot 6^3(1-0,5^4)}=584\ \text{კგ/სმ}^2.$$

6.42. განვსაზღვროთ ფოლადის ლილვის შიგა და გარე დიამეტრი, რომელიც გადასცემს $N=3000$ ცხ. ძ. სიმძლავრეს $n=200$ ბრ/წთ. ლილვის შიგა დიამეტრი შეადგენს გარე დიამეტრის 40%-ს და მაქსიმალური მხები ძაბვა არ უნდა აღემატებოდეს 500 კგ/სმ²-ს.

პასუხი: $d_1=22{,}4$ სმ;

$d_2=9$ სმ.

6.43. განვსაზღვროთ ფოლადის ღრუ ლილვის შიგა და გარე დიამეტრი. თუ ლილვის სიგრძე $l=2{,}6$ მ-ს, მოქმედი მგრეხავი მომენტი $M=11$ ტ. მ, გრეხის კუთხე არ უნდა აღემატებოდეს 2,4°, დასაშვები ძაბვა 600 კგ/სმ² და $G=8\cdot10^5$ კგ/სმ².

მითითება: ამ ამოცანის ამოსახსნელად საჭიროა დავუშვათ შიგა დიამეტრი ან დიამეტრთა ფარდობა.

6.44. თხელკედლიან მილზე, რომლის საშუალო დიამეტრია $d=10$ სმ და სიგრძე 4 მ, მოდებულია მგრეხავი მომენტი $M_{\text{მგ}}=50000$ კგ. სმ.

როგორი უნდა იყოს მილის კედლის სისქე t და რას უდრის გრეხის კუთხე, თუ დასაშვები მხები ძაბვა $[\tau]=600$ კგ/სმ² და $G=8\cdot10^5$ კგ/სმ².

ამოხსნა: თხელკედლიან მილში მხები ძაბვის განაწილება კედლის სისქეში შეიძლება თანაბრად მივიღოთ:

$$\tau=\frac{M_{\text{მგ}}}{W_p};\qquad W_p=\frac{J_p\cdot 2}{d};$$

$$dJ_p=dS\cdot t\cdot\left(\frac{d}{2}\right)^2;\qquad dS=\frac{d}{2}\cdot d\varphi;$$

$$J_p=t\cdot\frac{d^3}{8}\int_0^{2\pi}d\varphi=\frac{\pi d^3 t}{4},$$

თუ შევიტანთ τ-ს გამოსახულებაში J_p-ს მნიშვნელობას, გვექნება

$$\tau=\frac{2M_{\text{მგ}}}{\pi t d^2}.$$

მილის კედლის სისქეს ვიპოვით შემდეგი პირობიდან:

$$\frac{2M_{\text{მგ}}}{\pi t d^2}\leqslant[\tau]\quad\text{ან}\quad t\geqslant\frac{2M_{\text{მგ}}}{\pi d^2[\tau]}.$$

შევიტანოთ მნიშვნელობები, მივიღებთ:

$$t=\frac{2\cdot 50000}{\pi\cdot 100\cdot 600}=0{,}53 \text{ სმ}; \quad J_p=\frac{0{,}53\cdot\pi\cdot 10^3}{4}=417 \text{ სმ}^4.$$

მილის გრეხის კუთხე

$$\varphi=\frac{M\,l}{G\cdot J_p}=\frac{50000\cdot 400}{8\cdot 10^5\cdot 417}=0{,}06=3{,}44^\circ.$$

6.45. შევარჩიოთ ღრუ ლილვის გარე და შიგა დიამეტრი სიმტკიცის და დეფორმაციის პირობიდან, თუ ლილვი გადასცემს $N=500$ ცხ. ძ. სიმძლავრეს $n=100$ ბრ/წთ. ლილვის შიგა დიამეტრის ფარდობა გარე დიამეტრთან $\alpha=\frac{d_0}{d}=0{,}4$, დასაშვები ძაბვა $\tau=450$ კგ/სმ², ერთ გრძივ მეტრ ლილვზე დასაშვები გრეხის კუთხე $0{,}25^\circ$, დრეკადობის მოდული ძვრისას $G=8\cdot 10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: ა) სიმტკიცის პირობიდან

$d=161$ მმ; $d_0=64$ მმ;

ბ) სიხისტის პირობიდან:

$d=188$ მმ; $d_0=75$ მმ.

6.46. შევადაროთ მთლიანი M_1 და ღრუ ლილვის M_2 მგრეხავი მომენტების სიდიდეები, თუ ორივესთვის დასაშვები ძაბვა და სიგრძის ერთეულზე დახარჯული მასალა ტოლია.

ღრუ ლილვის შიგა დიამეტრის ფარდობა გარე დიამეტრთან $\alpha=0{,}5$.

პასუხი: $M_1=0{,}693M_2$.

6.47. შევარჩიოთ ავტომანქანის საჭის, რომელიც წარმოადგენს ღრუ ლილვს, გარე დიამეტრი „d“ სიმტკიცის პირობიდან, თუ საჭის თვლის დიამეტრი $D=60$ სმ-ს და მასზე მოდებული ძალა, რომელსაც მანქანის მძღოლი მიაყენებს მანქანის მართვისას, $P=28$ კგ-ს.

საჭის ლილვის შიგა და გარე დიამეტრთა ფარდობა

$$\alpha=\frac{d_0}{d}=0{,}75;$$

დასაშვები ძაბვა $[\tau]=600$ კგ/სმ².

პასუხი: $d=2{,}31$ სმ.

6.48. შევარჩიოთ ფოლადის ლილვის კვადრატული და სწორკუთხოვანი კვეთები (გვერდების ფარდობა 1 : 2) სიმტკიცის და სიხისტის პი-

რობებიდან, თუ ლილვზე მოქმედებს მგრეხავი მომენტი $M=40000$ კგ. სმ, ერთ გრძივ მეტრ ლილვზე დასაშვები გრეხის კუთხე $[\varphi]^\circ=0{,}25^\circ$; დასაშვები მხები ძაბვა $[\tau[=400$ კგ/სმ^2 და $G=8\cdot10^5$ კგ/სმ^2.

ა მ ო ხ ს ნ ა: 1) სწორკუთხოვანი კვეთისათვის საანგარიშო ფორმულას სიმტკიცის პირობიდან აქვს შემდეგი სახე: $[\tau]=\frac{M_{\text{ბრ}}}{a^2b\beta}$, სადაც β არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია $a:b$ ფარდობაზე.

კვადრატული განივკვეთის ლილვისათვის

$$\tau=\frac{M_{\text{ბრ}}}{a_1^3\beta}.$$

β-ს ვპოულობთ ცხრილიდან: $\beta=0{,}208$;

$$a_1=\sqrt[3]{\frac{M_{\text{ბრ}}}{[\tau]\beta}};\qquad a_1=\sqrt[3]{\frac{40000}{400\cdot0{,}208}}=7{,}82\text{ სმ}.$$

სწორკუთხოვანი კვეთისათვის, რომლის გვერდების ფარდობა

$$\frac{a_2}{b_2}=0{,}5,\ \beta=0{,}246,\ [\tau[=\frac{M_{\text{ბრ}}}{2a_2^3\beta};$$

$$a_2=\sqrt[3]{\frac{M_{\text{ბრ}}}{2[\tau]\beta}}=\sqrt[3]{\frac{40000}{2\cdot400\cdot0{,}246}}=5{,}86\text{ სმ}.$$

$$b_2=11{,}72\text{ სმ}.$$

2) საანგარიშო ფორმულა სიხისტის პირობიდან იქნება:

$$[\varphi]=\frac{M\cdot100\cdot180}{G\cdot\alpha b\cdot a^3\pi},$$

სადაც α მოიძებნება ცხრილიდან სწორკუთხედის გვერდების ფარდობის მიხედვით.

კვადრატული კვეთისათვის $\alpha=0{,}141$ და

$$a_1=\sqrt[4]{\frac{M\cdot100\cdot180}{G\cdot\alpha\cdot[\varphi']^\circ\cdot\pi}}=\sqrt[4]{\frac{40000\cdot100\cdot180}{8\cdot10^5\cdot0{,}141\cdot0{,}25\cdot\pi}}=9{,}5\text{ სმ}.$$

სწორკუთხოვანი კვეთისათვის $\alpha=0{,}229$, $b_2=2a_2$.

$$a_2=\sqrt[4]{\frac{M\cdot100\cdot180}{G\cdot\alpha\cdot2[\varphi']^\circ\pi}}=\sqrt[4]{\frac{40000\cdot100\cdot180}{8\cdot10^5\cdot0{,}229\cdot0{,}25\cdot\pi}}=7{,}07\text{ სმ}.$$

$$b_2=14{,}14\text{ სმ}.$$

როგორც ვხედავთ, ლილვის კვეთი უნდა განხორციელდეს სიხისტის პირობიდან.

კვადრატული განივკვეთის ლილვისათვის $a_1 = 9{,}5$ სმ;
სწორკუთხოვანი " $a_2 \cong 7$ სმ;
ხოლო $b_2 \approx 14$ სმ.

6.49. ლილვი გადასცემს $N = 200$ ცხ. ძ სიმძლავრეს $n = 100$ ბრ/წთ. შევარჩიოთ ლილვის განივკვეთი წრიული, კვადრატული და სწორკუთხოვანი გვერდების ფარდობით $\frac{a_2}{b_2} = 0{,}5$, სიმტკიცის და სიხისტის პირობიდან.

მხები დასაშვები ძაბვა ლილვის მასალაზე $[\tau] = 500$ კგ/სმ², ერთ გრძივ მეტრ ლილვზე დასაშვები გრეხის კუთხე $[\varphi]^\circ = 1^\circ$ და დრეკადობის მოდული ძვრისას $G = 8 \cdot 10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: 1) სიმტკიცის პირობიდან:
$r = 5{,}66$ სმ; $a_1 = 11{,}1$ სმ;
$a_2 = 8{,}35$ სმ; $b_2 = 16{,}70$ სმ.
2) სიხისტის პირობიდან:
$r = 5{,}5$ სმ; $a_1 = 9{,}25$ სმ;
$a_2 = 8{,}16$ სმ; $b_2 = 16{,}32$ სმ.

6.50. გავარკვიოთ რომელი ლილვია უფრო ეკონომიური: წრიული, კვადრატული, თუ სწორკუთხოვანი განივკვეთის სწორკუთხედის გვერდების ფარდობით 1 : 2.

ეკონომიურობა დავადგინოთ სიმტკიცისა და სიხისტის პირობების მიხედვით. შესადარებელ ერთეულად მივიღოთ წრიული კვეთის ლილვი.

პასუხი: 1) სიმტკიცის პირობიდან

$$v_1 : v_2 : v_3 = 1 : 1.22 : 1{,}38;$$

2) სიხისტის პირობიდან

$$v_1 : v_2 : v_3 = 1 : 1{,}06 : 1{,}18,$$

სადაც v_1 არის წრიული კვეთის ლილვის მასალის მოცულობა,
v_2 კვადრატული კვეთის " " "
v_3 სწორკუთხოვანი კვეთის " "

§ 17. ზამბარები

6.51. მოცემული გვაქვს ხრახნული ზამბარა ზომებით — გარე საშუალო დიამეტრი $D = 140$ მმ, ზამბარის ღეროს დიამეტრი $d = 20$ მმ და ძვრის მოდული $G = 8{,}5 \cdot 10^5$ კგ/სმ².

შევარჩიოთ მოცემული ზამბარისათვის ხვიათა რიცხვი n, იმ პირობით, რომ როდესაც ზამბარაზე მოქმედი ძალა $P = 100$ კგ-ს, ჯდენა მივიღოთ $\lambda = 10$ მმ და ვიანგარიშოთ მაქსიმალური მხები ძაბვა.

ამოხსნა: ხვიათა რიცხვი განისაზღვრება ფორმულით:

$$n = \frac{\lambda \cdot \tau^4 \cdot G}{4 \cdot P \cdot R^3} = \frac{1 \cdot 1^4 \cdot 8{,}5 \cdot 10^5}{4 \cdot 100 \cdot 7^3} = 6{,}15.$$

მაქსიმალურ მხებ ძაბვას ვპოულობთ ფორმულით:

$$\tau_{max} = \frac{P}{\pi r^2} + \frac{2RP}{\pi r^3} = \frac{100}{3{,}14 \cdot 1^2} + \frac{2 \cdot 100 \cdot 7}{3{,}14 \cdot 1^3} \approx 478 \text{ კგ/სმ}^2.$$

6.52. ხრახნული ზამბარა დამზადებულია ფოლადის მავთულისაგან— დიამეტრით $d = 10$ მმ, ხვიათა რიცხვით $n = 25$ და საშუალო რადიუსით $R = 4$ სმ.

ვიპოვოთ ზამბარის ჯდენა და მაქსიმალური მხები ძაბვა, თუ მოქმედი ძალა $P = 60$ კგ და $G = 8 \cdot 10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: $\lambda = 7{,}68$ სმ;

$\tau_{max} = 1301{,}5$ კგ/სმ².

6.53. ხრახნული ზამბარა დამზადებულია 12 მმ-იანი ფოლადის მავთულით, ხვიათა რიცხვი $n = 30$, საშუალო რადიუსი $R = 5$ სმ.

ვიანგარიშოთ მაქსიმალური დასაშვები ძალის სიდიდე, რომელიც შეიძლება მივაყენოთ ზამბარას და განვსაზღვროთ შესაფერისი ჯდენა, თუ დასაშვები მხები ძაბვა $[\tau] = 1800$ კგ/სმ² და დრეკადობის მოდული

$$G = 8 \cdot 10^5 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: $[P]_{max} = 115{,}5$ კგ;

$\lambda = 16{,}7$ სმ.

6.54. ხრახნული ზამბარას ღეროს დიამეტრი უდრის 10 მმ-ს, საშუალო დიამეტრი $D = 160$ მმ-ს, ხვიათა რიცხვი $n = 6$.

განვსაზღვროთ ის დატვირთვა P, რომელიც გამოიწვევს ზამბარის ჯდენას $\lambda = 3{,}5$ სმ და ის ჯდენა λ, რომელიც გამოიწვევს ზამბარაში მაქსიმალურ მხებ ძაბვას $\tau_{max} = 2500$ კგ/სმ², თუ $G = 8 \cdot 10$ კგ/სმ².

პასუხი: $P = 14{,}2$ კგ;

$\lambda = 14{,}6$ სმ.

6.55. ხრახნული ზამბარისათვის ხვიათა შორის მანძილი დაუტვირთავ მდგომარეობაში ტოლია $\lambda_0 = 1$ სმ-ისა.

რა ძალა უნდა მივაყენოთ ზამბარას, რომ ღრიჭო ხვიათა შორის გაუტოლდეს ნულს.

მოცემულია: ღეროს დიამეტრი $d = 0{,}8$ სმ-ს, ზამბარის საშუალო დიამეტრი $D = 6$ სმ-ს და $G = 8 \cdot 10^5$ კგ/სმ²-ს.

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: ხვიათა შორის ღრიჯო მაშინ გაუტოლდება ნულს, როდესაც ზამბარის ჯდენა $\lambda = n \cdot \lambda_0$.

პ ა ს უ ხ ი: $P = 189{,}5$ კგ.

6.56. ხრახნული ზამბარის ღეროს დიამეტრი $d = 8$ მმ-ს, საშუალო დიამეტრი $D = 12$ სმ-ს.

განვსაზღვროთ მაქსიმალური დასაშვები ძალა, თუ დასაშვები ძაბვა $[\tau] = 3200$ კგ/სმ².

პ ა ს უ ხ ი: $P_{max} = 51{,}8$ კგ.

6.57. წინა ამოცანაში მოცემული ზამბარისათვის განვსაზღვროთ ხვიათა რიცხვი n, თუ მოქმედი ძალა $P = 30$ კგ და შესაფერისი ჯდენის სიდიდე $\lambda = 8$ სმ, ხოლო $G = 8 \cdot 10^5$ კგ/სმ².

პ ა ს უ ხ ი: $n = 6{,}34$.

6.58. ხრახნულ ზამბარაზე, რომლის ღეროს დიამეტრი $d = 5$ მმ-ს, ხოლო საშუალო დიამეტრი $D = 8$ სმ-ს, მოქმედებს ძალა $P = 10$ კგ.

შევარჩიოთ ხვიათა რიცხვი n ისე, რომ ჯდენის სიდიდე მივიღოთ $\lambda = 3$ სმ. ზამბარისათვის ძვრის მოდული $G = 8 \cdot 10^5$ კგ/სმ².

პ ა ს უ ხ ი: $n = 3{,}66$.

6.59. შევარჩიოთ ხრახნული ზაბარის ღეროს დიამეტრი, თუ მოქმედი ძალა $P = 0{,}5$ ტ, მხები დასაშვები ძაბვა $[\tau] = 1000$ კგ/სმ², ზამბარის საშუალო დიამეტრი $D = 20$ სმ.

განვსაზღვროთ ხვიათა რიცხვი მოცემული შემთხვევისათვის, თუ ჯდენის სიდიდე გვინდა მივიღოთ $\lambda = 3$ სმ, ძვრის დრეკადობის მოდული $G = 8 \cdot 10^5$ კგ/სმ².

პ ა ს უ ხ ი: $d = 3{,}03$ სმ;
$n = 6{,}24$.

6.60. ხრახნული ზამბარისათვის, რომლის ღეროს დიამეტრი $d = 6$ მმ-ს, საშუალო დიამეტრი $D = 4$ სმ-ს, ხვიათა რიცხვი $n = 6$ და $G = 8 \cdot 10^5$ კგ/სმ², განვსაზღვროთ ის P ძალა, რომელიც გამოიწვევს 1 სმ ჯდენას.

პ ა ს უ ხ ი: $P = 33{,}7$ კგ.

6.61. ვიანგარიშოთ ხრახნული ზამბარის ხვიათა რიცხვი n, ზამბარის ღეროს დიამეტრი d და ღრიჯო λ_0 ხვიათა შორის; იმ პირობით, რომ როდესაც ზამბარაზე მოქმედებს ძალა $P = 300$ კგ, ზამბარის ჯდენა ტოლი იყოს $\lambda = 3$ სმ-ის. მხები დასაშვები ძაბვა $[\tau] = 1500$ კგ/სმ² და ხვიათა შორის P ძალის მოქმედების შემდეგ ღრიჯო $\lambda_0 = 0$. მოცემულია ზამბარის საშუალო დიამეტრი $D = 8$ სმ-ს და $G = 8 \cdot 10^5$ კგ/სმ².

ა მ ო ხ ს ნ ა: განვსაზღვროთ ზამბარის ღეროს დიამეტრი სიმტკიცის პირობიდან გრეხაზე (ჭრით გამოწვეულ ძაბვას მხედველობაში არ ვღებულობთ, რადგანაც იგი უმნიშვნელო სიდიდისაა).

$$\tau_{max}=\frac{2PR}{\pi r^3}\leqslant[\tau];$$

$$r=\sqrt[3]{\frac{2PR}{\pi[\tau]}}=\sqrt[3]{\frac{2\cdot 300\cdot 4}{3{,}14\cdot 1500}}\approx 0{,}8;$$

$$d\approx 1{,}6 \text{ სმ}.$$

ვიპოვოთ ზამბარის ხვიათა რიცხვი n

$$n=\frac{\lambda G r^4}{4PR^3}=\frac{3\cdot 8\cdot 10^5\cdot 0{,}8^4}{4\cdot 300\cdot 4^3}=16.$$

განვსაზღვროთ ღრიჯო დეფორმაციამდე. $P=300$ კგ ძალის მოქმედებისას ხვიათა შორის ღრიჯო λ_0 უნდა უდრიდეს ნულს. ღრიჯოთა რიცხვი ტოლია ხვიათა რიცხვის, ხოლო ღრიჯო დეფორმაციამდე ტოლი იქნება:

$$\lambda_0=\frac{3}{16}=0{,}187 \text{ სმ}.$$

6.62. მოცემული გვაქვს ერთნაირი ზომის ორი ხრახნული ზამბარა—ფოლადის $G=8\cdot 10^5$ კგ/სმ² და თითბრის—$G=4\cdot 10^5$ კგ/სმ². ზამბარათა სიმაღლე $h=15{,}16$ სმ, ხვიათა რიცხვი $n=12$, საშუალო დიამეტრი $D=6$ სმ-ს და ღეროს დიამეტრი $d=10{,}8$ მმ-ს.

ვიპოვოთ ძალა P და ის მხები მაქსიმალური ძაბვა τ_{max}, რომელიც აღიძვრება ზამბარაში, როდესაც ხვიათა შორის ღრიჯო λ_0 გაუტოლდება ნულს.

პ ა ს უ ხ ი: ფოლადისათვის $P=116$ კგ;

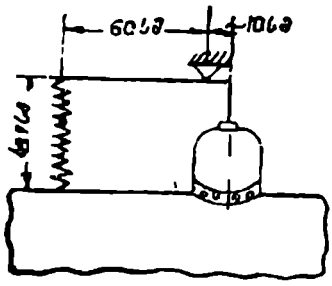
$\tau_{max}=1400$ კგ/სმ²;

თითბრისათვის $P=58$ კგ;

$\tau_{max}=700$ კგ/სმ².

6.63. ცილინდრულ ქვაბში ორთქლის წნევა $P=15$ ატ. ვიანგარიშოთ რამდენი სანტიმეტრით უნდა შევკუმშოთ წინასწარ ზამბარა, რომელიც იკავებს დამცველ სარქველს (იხ. ნახაზი) თუ სარქველის დიამეტრი $d_0=3{,}5$ სმ-ს, ზამბარის ზომებია: საშუალო დიამეტრი $D=12$ სმ-ს, ზამ-

ბარის ღეროს დიამეტრი $d=0{,}5$ სმ-ს, ხვიათა რიცხვი $n=25$, სიმაღლე თავისუფალ მდგომარეობაში $h=60$ სმ-ს, $G=8\cdot10^6$ კგ/სმ².



6.63 ამოცანისათვის.

პასუხი: $\lambda=14{,}3$ სმ.

6.64. ცილინდრული ხრახნული ზამბარის $m-n$ კვეთში მოქმედებს $P=0{,}4$ ტ. ძალა (იხ. ნახაზი).

განესაზღვროთ რეაქციების სიდიდე A და B წერტილებში და $m-n$ კვეთის გადაადგილების სიდიდე. ზამბარის ზომებია: საშუალო დიამეტრი $D=12$ სმ-ს, ზამბარის ღეროს დიამეტრი $d=2{,}5$ სმ-ს, $m-n$ კვეთის ზემოთ ხვიათა რიცხვი $n_1=20$, ქვემოთ კი $n_2=10$ და $G=8\cdot10^5$ კგ/სმ².

ა მ ო ხ ს ნ ა: როგორც ვხედავთ, ამოცანა სტატიკურად ურკვევია. ვისარგებლოთ ჯერ წონასწორობის პირობით:

$$P_A+P_B=P.$$

მივიღეთ წონასწორობის ერთი განტოლება ორი უცნობით P_A და P_B.

შემოვიტანოთ დამატებითი განტოლება დეფორმაციის ერთიანობის პირობიდან.

ზემოთა და ქვემოთა ზამბარებისათვის გადაადგილება $m-n$ კვეთში ტოლია, ე. ი.

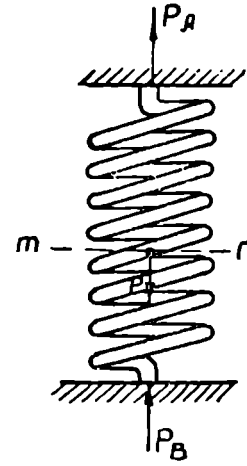
$$\lambda_1=\lambda_2,$$

სადაც

$$\lambda_1=\frac{4P_AR^3n_1}{Gr^4},\quad \text{ხოლო}\quad \lambda_2=\frac{4P_BR^3n_2}{Gr^4}.$$

თუ შევიტანთ λ_1-ისა და λ_2-ის მნიშვნელობებს დეფორმაციის ერთიანობის განტოლებაში, გვექნება:

$$P_An_1=P_Bn_2.$$



6.64 ამოცანისათვის.

წონასწორობის და დეფორმაციის პირობიდან მიღებული განტოლებების ერთად ამოხსნით მივიღებთ:

$$P_A=P\frac{n_2}{n_1+n_2}\quad\text{და}\quad P_B=P\frac{n_1}{n_1+n_2};$$

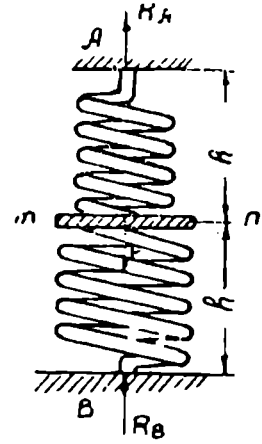
თუ შევიტანთ მნიშვნელობებს, გვექნება:

$$P_A=400\frac{10}{20+10}=133\text{ კგ},\quad P_B=400\frac{20}{20+10}=267\text{ კგ}.$$

$m \cdots n$ კვეთის გადაადგილების სიდიდე სანტიმეტრებში იქნება

$$\lambda_1 = \frac{4P_A \cdot R^3 n_1}{Gr^4} = \frac{4 \cdot 133 \cdot 6^3 \cdot 20}{8 \cdot 10^5 \cdot 1{,}25^4} = 1{,}17 \text{ სმ}.$$

6.65. ორი თანატოლი სიმაღლის ფოლადის ცილინდრული ზამბარა შეერთებულია ერთმანეთთან $m—n$ კვეთში, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები. შეერთების ადგილას მოქმედებს $P = 0{,}5$ ტ ძალა.



6.65 ამოცანისათვის.

როგორ განაწილდება P ძალა A და B საყრდენებს შორის, თუ ზამბარის ზომებია:

ზემოთა ზამბარისათვის

$n_1 = 8$, $R_1 = 2{,}5$ სმ, $r_1 = 1$ სმ;

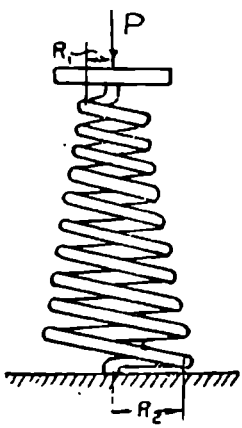
ქვემოთა ზამბარისათვის

$n_2 = 4$, $R_2 = 5$ სმ და $r_2 = 1{,}25$ სმ.

პასუხი: $P_A = 171$ კგ; $P_B = 329$ კგ.

6.66. სხვადასხვა სიმაღლის ფოლადის ცილინდრული ორი ზამბარა, ერთიმეორეშია ჩადგმული.

ვიანგარიშოთ იმ ძალების სიდიდეები, რომელთაც მიიღებს თვითეული ზამბარა, თუ ზამბარებს შევკუმშავთ $h = 40$ სმ სიმაღლემდე.



6.67 ამოცანისათვის.

შიგა ზამბარის ზომებია:

$h_1 = 60$ სმ, $n_1 = 25$, $D_1 = 4$ სმ, $d_1 = 1$ სმ.

გარე ზამბარის ზომებია:

$h_2 = 50$ სმ, $n_2 = 15$, $D = 8$ სმ და $d_2 = 2$ სმ.

ორივე ზამბარისათვის დრეკადობის მოდული $G = 8 \cdot 10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: $P_1 = 1250$ კგ;

$P_2 = 2032$ კგ.

6.67. კონუსური ზამბარა იჭიმება P ძალის გავლენით (იხ. ნახაზი). განვსაზღვროთ მაქსიმალური დასაშვები ძალა, რომელიც შეიძლება ზამბარას მივაყენოთ, და მხები ძაბვა, რომელიც აღიძვრება ზამბარის მცირე რადიუსთან. მოცემულია დასაშვები მხები ძაბვა.

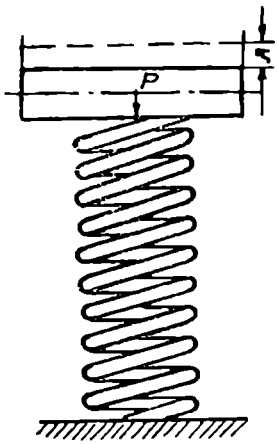
$[\tau] = 2000$ კგ/სმ²-ს, საშუალო მცირე რადიუსი $R_1 = 5$ სმ და დიდი რადიუსი $R_2 = 20$ სმ-ს, ღეროს დიამეტრი $d = 2$ სმ-ს.

პასუხი: მაქსიმალური დასაშვები ძალა $P=157$ კგ-ს, ძაბვა $R_ს$ კვეთში $\tau=500$ კგ/სმ².

6.68. განვსაზღვროთ წინა ამოცანაში მოცემული კონუსური ზამბარისათვის ჯდენის სიდიდე λ, თუ ხვიათა რიცხვი $n=10$ და $G=8\cdot10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: $\lambda=20{,}8$ სმ.

6.69. ცილინდრულ ხრახნულ ზამბარაზე უეცრად მოვდოთ P ტვირთი (იხ. ნახაზი). თუ ზამბარის 1 სმ-ით გადაადგილებას იწვევს P_0 ძალა, ჯდენის სიდიდე P ძალის მოქმედების შედეგად ტოლი იქნება



6.69 ამოცანისათვის.

$$\lambda=\frac{P}{P_0}.$$

გამოვთვალოთ P ტვირთის პოტენციალური ენერგიის შემცირების სიდიდე, ზამბარის დეფორმაციის პოტენციალური ენერგია და შევადაროთ ერთმანეთს.

ამოხსნა: რადგანაც P ტვირთი მოდებულია უეცრად, პოტენციალური ენერგია შემცირდება სიდიდით:

$$P\cdot\lambda=P\frac{P}{P_0}=\frac{P^2}{P_0}.$$

ზამბარის დეფორმაციის პოტენციალური ენერგია:

$$\frac{P\lambda}{2}=\frac{P}{2}\cdot\frac{P}{P_0}=\frac{P^2}{2P_0}.$$

გამოდის, რომ ზამბარის დეფორმაციის პოტენციალური ენერგია ორჯერ ნაკლებია, ვიდრე ტვირთის პოტენციალური ენერგია. ისმება კითხვა, სად წავიდა ტვირთის შემცირებული პოტენციალური ენერგიის ნაწილი? რადგანაც დატვირთვა მოქმედებს უეცრად, გარდა პოტენციალური ენერგიისა, აქ ადგილი აქვს პოტენციალური ენერგიის ნაწილის გადასვლას კინეტიკურ ენერგიაში, რომელიც ზამბარის რხევითი მოძრაობით გამოვლინდება.

§ 18. ლილვის გაანგარიშება ზღვრული დატვირთვის მეთოდით

6.70. შევარჩიოთ ფოლადის ლილვის დიამეტრი დასაშვები ტვირთის მეთოდით და განვსაზღვროთ გრეხის კუთხე ლილვის ერთ გრძივ მეტრზე, თუ მგრეხავი მომენტი $M_{გრ}=24000$ კგ/სმ, დენადობის ზღვარი $\tau_{დენ}=2800$ კგ/სმ², მარაგის კოეფიციენტი $K=5$ და $G=8\cdot10^5$ კგ/სმ².

ა მ ო ხ ს ნ ა: დასაშვები მგრეხავი მომენტი

$$[M_{\text{გრ}}] = \frac{M_{\text{ხღ}}}{K}$$

ვიცით, რომ

$$M_{\text{ხღ}} = \frac{2}{3}\pi r^3 \cdot \tau_{\text{დენ}}.$$

თუ შევიტანთ $M_{\text{ხღ}}$ მნიშვნელობას დასაშვები მგრეხავი მომენტის გამოსახულებაში და ამოვხსნით r-ს, მივიღებთ:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot M_{\text{გრ}} K}{2\pi \cdot \tau_{\text{დენ}}}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 24000 \cdot 5}{2\pi \cdot 2800}} = 2{,}73 \text{ სმ}.$$

ლილვის დასაშვები ტვირთის მეთოდით გაანგარიშებისას გრეხის კუთხე გამოითვლება იმავე ფორმულით, რომლითაც ვითვლით დასაშვები ძაბვების მეთოდით გაანგარიშებისას.

ეს აიხსნება იმით, რომ ექსპლოატაციის პროცესში ლილვის კვეთში მოსული მაქსიმალური ძაბვა ნაკლებია პროპორციულობის ზღვარზე.

$$\varphi = \frac{M_{\text{გრ}} \cdot l}{J_p \cdot G} = \frac{24000 \cdot 100 \cdot 2}{\pi \cdot 2{,}73^4 \cdot 8 \cdot 10^5} = 0{,}0343;$$

$$\varphi = 1{,}97^\circ.$$

6.71. შევარჩიოთ ფოლადის ლილვის დიამეტრი დასაშვები ძაბვისა და დასაშვები ტვირთის მეთოდით და გამოვთვალოთ რამდენი პროცენტით ნაკლები მასალა დაჭირდება ლილვს დასაშვები ტვირთის მეთოდით გაანგარიშების დროს, თუ მოქმედი მგრეხავი მომენტი $M_{\text{გრ}} = 60000$ კგ. სმ, დენადობის ზღვარი ჭრისას $\tau_{\text{დენ}} = 2000$ კგ/სმ^2, მარაგის კოეფიციენტი $K = 4$.

პ ა ს უ ხ ი: დასაშვები ძაბვის მეთოდით გაანგარიშებისას $r \doteq 4{,}24$ სმ; დასაშვები ტვირთის მეთოდით გაანგარიშებისას $r = 3{,}85$ სმ; მასალის ეკონომია — 17,55%.

6.72. ვიანგარიშოთ მრლვევი მგრეხავი მომენტის სიდიდე დასაშვები ძაბვისა და დასაშვები ტვირთის მეთოდით, თუ ლილვის დიამეტრი $d = 6$ სმ-ს და დენადობის ზღვარი $\tau_{\text{დენ}} = 2000$ კგ/სმ^2-ს.

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: დასაშვები ძაბვის მეთოდით გაანგარიშებისას ლილვის მრლვევ მგრეხავ მომენტად მიჩნეულია ის მომენტი, რომლის დროსაც მაქსიმალური ძაბვა ტოლია $\tau_{\text{დენ}}$-ის, ხოლო დასაშვები ტვირთის მეთოდით გაანგარიშების დროს მრლვევ მომენტად მიღებულია ის მგრეხავი მომენტი, რომელიც ლილვის მთელ განივკვეთში აღძრავს $\tau_{\text{დენ}}$ ტოლ ძაბვას.

პ ა ს უ ხ ი: 1) დასაშვები ძაბვის მეთოდით $M_{\text{მრღ}} = 84800$ კგ. სმ;
2) დასაშვები ტვირთის „ $M_{\text{მრღ}} = 113000$ კგ. სმ.

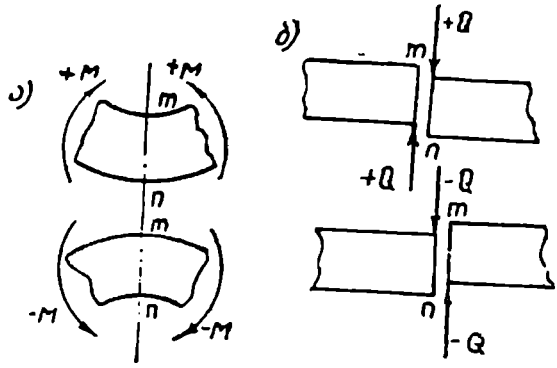
თავი მეშვიდე

მღუნავი მომენტის და განივი ძალის ეპიურების აგება

მოკლე ცნობები თეორიიდან

კოჭის ნებისმიერ კვეთში მღუნავი მომენტი (M) არის ამ კვეთის მარჯვნივ ან მარცხნივ მდებარე ყველა გარე ძალის მომენტების ალგებრული ჯამი, ამავე კვეთის ცენტრის მიმართ.

მღუნავი მომენტი დადებითად ითვლება, თუ იგი მოკვეთილ მარცხენა ნაწილს აბრუნებს საათის ისრის მიმართულებით, ხოლო მოკვეთილ მარჯვენა ნაწილს საათის ისრის საწინააღმდეგოდ; წინააღმდეგ შემთხვევაში მღუნავი მომენტი უარყოფითად ჩაითვლება (იხ. ნახაზი 7).



7.

კოჭის ნებისმიერ კვეთში განივი ძალა (Q) არის ამ კვეთის მარჯვნივ ან მარცხნივ მოქმედი ყველა გარე ძალის გეგმილების ალგებრული ჯამი კოჭის ღერძის ნორმალზე. განივ ძალას დადებითად ვთვლით, თუ იგი კოჭის მოკვეთილ მარცხენა ნაწილზე მოქმედებს ქვევიდან ზევით, ხოლო მარჯვენა ნაწილზე—ზევიდან ქვევით; ძალის შებრუნებული მოქმედებისას განივი ძალის ნიშანი უარყოფითად ითვლება (იხ. ნახ. 7ბ).

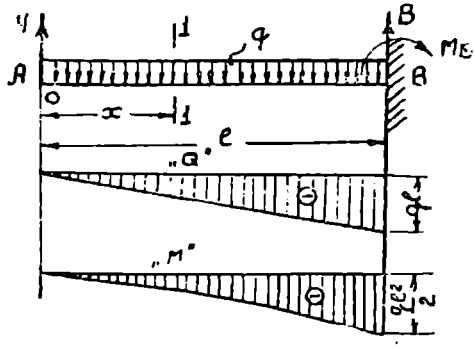
§ 19. მარტივი კოჭებისათვის Q და M ეპიურების აგება

7.1. ავაგოთ განივი ძალის და მღუნავი მომენტის ეპიურები ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული კოჭისათვის, რომელიც დატვირთულია

q ტ/მ ინტენსივობის მქონე თანაბრად განაწილებული ტვირთით (იხ. ნახაზი).

ამოხსნა: კოორდინატთა სათავედ ავირჩიოთ კოჭის მარცხენა ბოლო. OX ღერძი მივმართოთ მარჯვნივ კოჭის ღერძის გასწვრივ; OY ღერძი OX ღერძის მართობულად ზევით.

კოჭის მარცხენა ბოლოდან ნებისმიერ x მანძილზე გავატაროთ 1—1 კვეთი. ამ კვეთში განივი ძალის გამოსათვლელად ავიღოთ მის მარცხნივ მდებარე გარე ძალების გეგმილების ჯამი კოჭის ღერძის მართობულ სიბრტყეზე.



7.1 ამოცანისათვის.

ამგვარად, განივი ძალა $Q_x = -qx$; ნიშანი აიღება უარყოფითი, რადგანაც კვეთის მარცხენა მხარეს მოქმედი ძალა მიმართულია ზევიდან ქვევით. როგორც ჩანს, განივი ძალა კოჭის სიგრძეზე იცვლება სწორი ხაზის კანონით, როცა $x=0$, $Q=0$; როცა $x=l$, $Q_l=-ql$.

1—1 კვეთში მღუნავი მომენტის გასაგებად ავიღოთ კვეთის მარცხნივ მდებარე გარე ძალების მომენტების ალგებრული ჯამი კვეთის ცენტრის მიმართ:

$$M_x = -qx \cdot \frac{x}{2} = -\frac{qx^2}{2}.$$

ნიშანს ვღებულობთ უარყოფითს, რადგანაც კოჭის მოკვეთილ მარცხენა ნაწილზე მოქმედი qx ძალა კვეთს უღლის საათის ისრის საწინააღმდეგოდ.

მღუნავი მომენტი კოჭის სიგრძეზე იცვლება კვადრატული პარაბოლის სახით, ამიტომ ეპიურის ასაგებად x-ს უნდა მივცეთ O-დან l-მდე რამდენიმე მნიშვნელობა:

როცა $x=0$, $M_0=0$;

$x=\frac{l}{4}$, $M_{\frac{l}{4}}=\frac{ql^2}{32}$;

$x=\frac{l}{2}$, $M_{\frac{l}{2}}=-\frac{ql^2}{8}$;

$x=\frac{3l}{4}$, $M_{\frac{3l}{4}}=-\frac{9ql^2}{32}$;

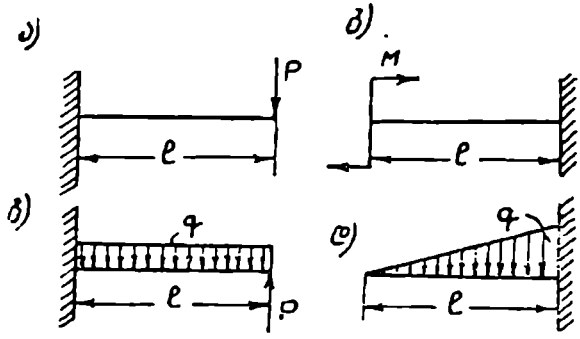
$x=l$, $M_l=-\frac{ql^2}{2}$

განივი ძალის და მღუნავი მომენტის გამოთვლილ მნიშვნელობათა შესაბამისი ეპიურები ნაჩვენებია ნახაზზე.

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: როგორც განხილული ამოცანიდან ჩანს, ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული კოჭის განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურების აგება შესაძლებელია რეაქციის ძალების გამოთვლის გარეშე. Q და M ეპიურების აგებით განვსაზღვრავთ აგრეთვე უცნობი რეაქციის ძალთა სიდიდეებსაც, რადგან საყრდენ კვეთში განივი ძალა უდრის რეაქციის ძალის ვერტიკალურ მდგენელს და ამავე კვეთში მღუნავი მომენტი უდრის საყრდენ მომენტს.

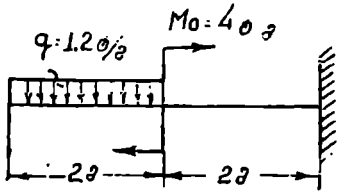
ჩვენს შემთხვევაში $B=ql$ მიმართულია ქვევიდან ზევით და $M_B=\frac{ql^2}{2}$ საყრდენ კვეთს უვლის საათის ისრის მიმართულებით. რეაქცია ძალთა მიმართულებებს ამ კვეთში გვაძლევს Q და M-ის ნიშნები.

7.2. ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული კოჭისათვის, რომლის დატვირთვათა სქემა ნაჩვენებია ნახაზზე (იხ. ნახაზი).



7.2 ამოცანისათვის.

7.3. ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული 4 მ სიგრძის კოჭის თავისუფალი ბოლოდან 2 მ მანძილზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული ტვირთი ინტენსივობით $q=1,2$ ტ/მ და კოჭის შუაში წყვილი ძალა $M_0=4$ ტ. მ. ავაგოთ განივი ძალის და მღუნავი მომენტის ეპიურები და განვსაზღვროთ Q და M ის აბსოლუტურად უდიდესი მნიშვნელობები.



7.3 ამოცანისათვის.

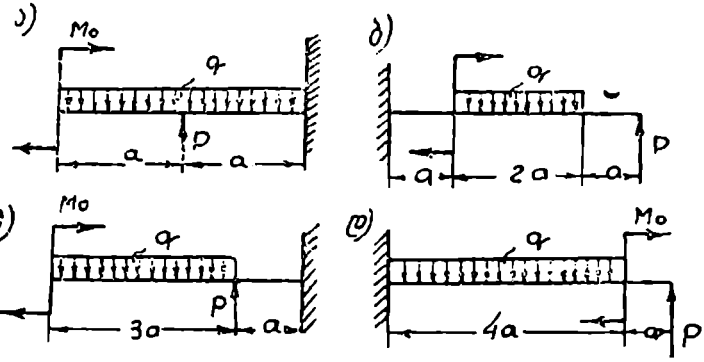
პ ა ს უ ხ ი: $Q=2,4$ ტ;

$M=3,2$ ტ. მ.

7.4. როგორი მნიშვნელობა უნდა ჰქონდეს M_0 და P-ს, რომ ნახაზზე მოცემული კოჭების საყრდენ კვეთში მღუნავი მომენტი და განივი ძალა უდრიდეს ნულს (იხ. ნახაზი).

ძალთა გაბრთელილი მნიშვნელობებისათვის ავაგოთ Q და M ეპიურები.

პასუხი: ა) $p=2qa$; $M_0=0$; ბ) $p=2qa$; $M_0=4qa^2$;
გ) $p=3qa$; $M_0=4{,}5qa^2$; დ) $p=4qa$; $M_0=12qa^2$.

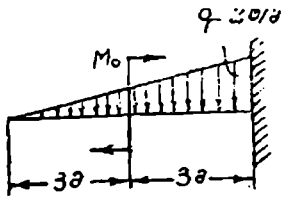


7.4 ამოცანისათვის.

7.5. ნახაზზე მოცემული კონსოლური კოჭის დატვირთვის შემთხვევაში რა მნიშვნელობა უნდა ჰქონდეს M_0-ს, რომ კოჭის საყრდენი მომენტი უდრიდეს ნულს. M_0-ის შესაბამისი მნიშვნელობის გამოთვლის შემდეგ ავაგოთ Q და M ეპიურები.

პასუხი: $M_0=12$ ტ. მ.

7.6. ორ საყრდენზე მდებარე კოჭი, რომლის მალი $l=4a$. დატვირთულია მარცხენა საყრდენიდან $3a$ მანძილზე q ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით; მარჯვენა საყრდენიდან a მანძილის დაცილებით მასზე მოქმედებს შეყურსული ძალა $p=2{,}5qa$ (იხ. ნახაზი).



7.5 ამოცანისათვის.

ავაგოთ განივი ძალის და მღუნავი მომენტის ეპიურები და გამოვთვალოთ Q და M-ის აბსოლუტურად უდიდესი მნიშვნელობები.

ა მ ო ხ ს ნ ა: Q და M ეპიურების ასაგებად საჭიროა ჯერ გამოვთვალოთ საყრდენი რეაქციები.

უძრავი სახსროვანი A საყრდენი რეაქციის ჰორიზონტალური მდგენელი, რადგანაც დატვირთვა ვერტიკალურია, უდრის ნულს. რეაქციების ვერტიკალური მდგენელები მივმართოთ ქვევიდან ზევით და მათი სიდიდეები განვსაზღვროთ წონასწორობის პირობიდან,

$$\Sigma M_B=0,$$

რაც გვაძლევს

$$A \cdot 4a - 3qa \cdot 2{,}5a - pa = 0.$$

$$A = \frac{7{,}5qa^2 + 2{,}5qa^2}{4a} = 2{,}5qa.$$

$\Sigma M_2 = 0$-დან ვღებულობთ:

$$-B \cdot 4a + p \cdot 3a + 3aq \cdot 1{,}5a = 0;$$

$$B = \frac{7{,}5qa^2 + 4{,}5qa^2}{4a} = 3qa.$$

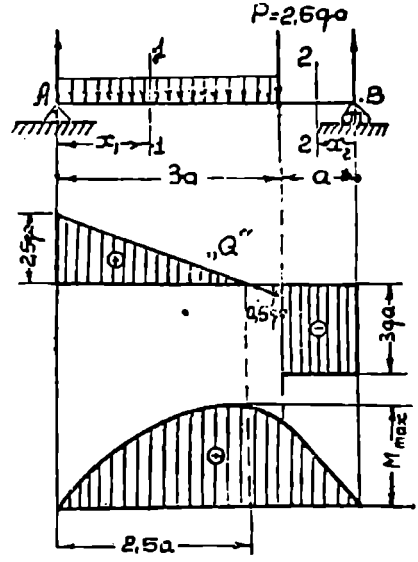
A და B რეაქციების დადებითი ნიშანი გვიჩვენებს, რომ ჩვენს მიერ მათთვის შერჩეული მიმართულება სწორი ყოფილა; რეაქციის გამოთვლილ მნიშვნელობათა სისწორეს ვამოწმებთ წონასწორობის პირობით: $\Sigma y = 0$.

$$A + B - 3qa - 2{,}5qa = 0;$$

$$2{,}5qa + 3qa - 3qa - 2{,}5qa = 0;$$

$$0 \equiv 0.$$

მაშასადამე, რეაქციები გამოთვლილია სწორად.



7.6 ამოცანისათვის.

Q და M ეპიურების ასაგებად კოჭს დატვირთვის სახის მიხედვით ვყოფთ უბნებად; ჩვენს შემთხვევაში გვაქვს ორი AC და CB უბანი.

AC უბანში A საყრდენიდან x_1 მანძილის დაშორებით გავატაროთ 1—1 კვეთი. ამ კვეთში განივი ძალის განსასაზღვრავად განვიხილოთ კოჭის მოკვეთილი მარცხენა ნაწილი, საიდანაც მივიღებთ:

$$Q = A - qx_1 = 2{,}5qa - qx_1;$$

$$0 \leqslant x_1 \leqslant 3a.$$

როგორც ჩანს პირველ უბანში Q_1 იცვლება სწორი ხაზის კანონით, როცა $x_1 = 0$, $Q_1 = 2{,}5qa$,

„ $x_1 = 3a$, $Q_1 = 2{,}5qa - 3qa = -0{,}5qa$.

მეორე უბანში განივი ძალის ეპიურის ასაგებად B საყრდენიდან x_2 მანძილზე გავატაროთ 2—2 კვეთი და განვიხილოთ კოჭის მოკვეთილი მარჯვენა ნაწილი, მივიღებთ: $Q_2 = -B = -3qa$; ე. ი. განივი ძალა მეორე უბნის ფარგლებში მუდმივი სიდიდეა.

კოჭის AC და CB უბნებში მღუნავი მომენტის განტოლების შესადგენად ვიხილავთ იმავე 1—1 და 2—2 კვეთებს; 1—1 კვეთის მარცხნივ მდებარე ძალების მომენტების ალგებრული ჯამი კვეთის ცენტრის მიმართ იქნება:

$$M_1 = A \cdot x - \frac{qx_1^2}{2} = 2{,}5qax_1 - \frac{qx_1^2}{2};$$

$$0 \leqslant x_1 \leqslant 3a.$$

პირველ უბანში მღუნავი მომენტი იცვლება მეორე რიგის წირის კანონით.

როცა $x_1 = 0$, $M_1 = 0$;

$x_1 = a_1$, $M_1 = 2{,}5qa^2 - \frac{qa^2}{2} = 2qa^2$;

$x_1 = 2a$, $M_1 = 5qa^2 - 2qa^2 = 3qa^2$;

„ $x_1 = 3a$, $M_1 = 7{,}5qa^2 - 4{,}5qa^2 = 3qa^2$.

მეორე უბნის 2—2 კვეთში მღუნავი მომენტის გასაგებად განვიხილოთ 2—2 კვეთის მარჯვნივ მოქმედი ძალების მომენტების ალგებრული ჯამი კვეთის ცენტრის მიმართ, მივიღებთ:

$$M_2 = Bx_2 = 3qax_2; \qquad 0 \leqslant x_2 \leqslant a.$$

BC უბანში M იცვლება სწორი ხაზის კანონით.

როცა $x_2 = 0$, $M_2 = 0$;

„ $x_2 = a$, $M_2 = 3qa^2$.

განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ზემოგამოთვლილ მნიშვნელობათა შესაბამისი ეპიურები ნაჩვენებია ნახაზზე.

როგორც ეპიურიდან ჩანს, განივ ძალას აბსოლუტურად უდიდესი მნიშვნელობა აქვს მეორე უბანში და $Q_{max} = 3qa$.

მღუნავი მომენტი მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს იმ კვეთში, სადაც $\frac{dM_1}{dx} = 0$, ე. ი. $2{,}5qa - qx_1 = 0$; აქედან $x_1 = 2{,}5a$.

თუ x_1-ის ამ მნიშვნელობას შევიტანთ M_1-ის განტოლებაში, მივიღებთ:

$$M_{max}=2{,}5qa\cdot 2{,}5a-\frac{q(2{,}5a)^2}{2}=3{,}125qa^2.$$

7.7. ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი კოჭი, რომლის მალია $l=6$ მ, დატვირთულია $q=2$ ტ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით და მარჯვენა საყრდენზე საათის ისრის მიმართულებით მოქმედებს წყვილი ძალა $M_0=6$ ტ. მ.

ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები და განვსაზღვროთ Q და M-ის აბსოლუტურად უდიდესი მნიშვნელობები.

პასუხი: $Q=7$ ტ;

$M=6{,}25$ ტ. მ.

7.8ა. ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი კოჭი, რომლის მალია $l=6$ მ, დატვირთულია სწორკუთხოვანი სამკუთხედის კანონით განაწილებული ტვირთით. განაწილებული ტვირთის ინტენსივობის უდიდესი ორდინატა მოთავსებულია მარჯვენა საყრდენთან და უდრის 3 ტ/მ-ს.

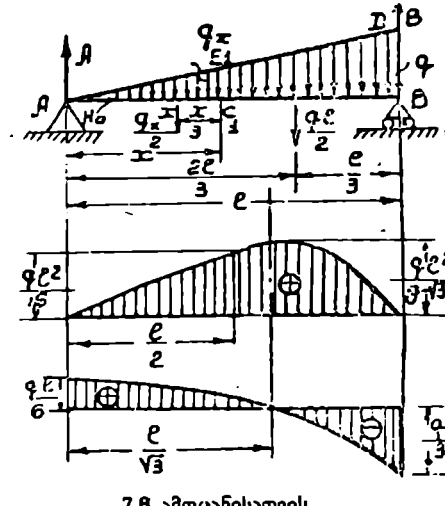
რას უდრის მაქსიმალური მღუნავი მომენტი და რა მანძილითაა დაცილებული მისი შესაბამისი კვეთი მარცხენა საყრდენიდან?

პასუხი: $x=3{,}463$;

$M_{max}=6{,}92$ ტ. მ.

7.8. ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭი დატვირთულია სამკუთხედის კანონით განაწილებული ტვირთით, რომლის მაქსიმალური ინტენსივობა უდრის q (იხ. ნახაზი).

ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები და განვსაზღვროთ Q და M-ის უდიდესი მნიშვნელობები.



7.8 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: რეაქციების მოძებნისას სამკუთხედის კანონით განაწილებული ტვირთი შეიძლება შევცვალოთ მისი ტოლქმედით, რომელიც

სამკუთხედის ფართობის $\omega=\frac{ql}{2}$ ტოლია და მოდებულია სამკუთხედის სიმძიმის ცენტრში.

ამის გათვალისწინებით წონასწორობის განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\Sigma M_B=0; \qquad A\cdot l-\omega\cdot\frac{l}{3}=0; \qquad A=\frac{\omega}{3}=\frac{ql}{6}.$$

$$\Sigma M_A=0; \qquad -Bl+\omega\frac{2l}{3}=0; \qquad B=\frac{2\omega}{3}=\frac{ql}{3}.$$

კოჭის სიგრძეზე განივი ძალის ცვალებადობის კანონის გასაგებად მარცხენა საყრდენიდან ნებისმიერ x-მანძილზე გავატაროთ კვეთი; ავიღოთ კოჭის მოკვეთილ მარცხენა ნაწილზე მოქმედი ყველა გარე ძალის გეგმილების ალგებრული ჯამი კოჭის ღერძის ნორმალზე. დატვირთვის ინტენსივობა x-კვეთში აღვნიშნოთ q_x-ით, მაშინ

$$Q_x=A-\frac{q_x\cdot x}{2}.$$

ACF და ABD სამკუთხედების მსგავსობიდან $q_x=\frac{q\cdot x}{l}$,

და საბოლოოდ

$$Q_x=\frac{ql}{6}-\frac{qx^2}{2l}.$$

როგორც ამ განტოლებიდან ჩანს განივი ძალა კოჭის სიგრძეზე იცვლება კვადრატული პარაბოლის სახით.

ეპიურის ასაგებად საჭიროა x ცვლადს მივცეთ რამდენიმე მნიშვნელობა:

როცა $x=0$, $\quad Q=\frac{ql}{6}$;

„ $x=\frac{l}{4}$, $\quad Q=\frac{ql}{6}-\frac{q}{2l}\left(\frac{l}{4}\right)^2=\frac{13ql}{96}$;

„ $x=\frac{l}{2}$, $\quad Q=\frac{ql}{6}-\frac{q}{2l}\left(\frac{l}{2}\right)^2=\frac{ql}{24}$;

$x=\frac{3l}{4}$, $\quad Q=\frac{ql}{6}-\frac{q}{2l}\left(\frac{3l}{4}\right)^2=-\frac{11ql}{96}$;

$x=l$, $\quad Q=\frac{ql}{6}-\frac{q}{2l}\cdot l^2=-\frac{ql}{3}$.

მღუნავი მომენტი ნებისმიერ x კვეთში იქნება:

$$M = A \cdot x - \frac{q_x \cdot x}{2} \cdot \frac{x}{3},$$

თუ შევიტანთ A და q_x-ის მნიშვნელობებს, მივიღებთ:

$$M = \frac{ql}{6} x - \frac{qx^3}{6l}.$$

მღუნავი მომენტი კოჭის სიგრძეზე იცვლება კუბური პარაბოლის სახით.

ავაგოთ შესაბამისი ეპიურა:

როცა $x = 0$, $M = 0$;

„ $x = \frac{l}{4}$, $M = \frac{ql}{6} \frac{l}{4} - \frac{q}{6l}\left(\frac{l}{4}\right)^3 = \frac{5ql^2}{128}$;

„ $x = \frac{l}{2}$, $M = \frac{ql}{6} \frac{l}{2} - \frac{q}{6l}\left(\frac{l}{2}\right)^3 = \frac{ql^2}{16}$;

„ $x = \frac{3l}{4}$, $M = \frac{ql}{6} \cdot \frac{3l}{4} - \frac{q}{6l}\left(\frac{3l}{4}\right)^3 = \frac{7ql^2}{128}$;

$x = l$, $M = \frac{ql}{6} \cdot l - \frac{q}{6l} \cdot l^3 = 0$.

ზემოგამოთვლილი მნიშვნელობების მიხედვით აგებული განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები ნაჩვენებია ნახაზზე (იხ. ნახაზი).

განვსაზღვროთ აღებული დატვირთვის შემთხვევაში მღუნავი მომენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა.

როგორც ცნობილია, მღუნავ მომენტს მაქსიმალური მნიშვნელობა ექნება იმ კვეთში, სადაც მომენტის წარმოებული x-ით უდრის ნულს; ე. ი.

$$\frac{dM}{dx} = 0.$$

ვიცით, რომ

$$M = \frac{ql}{6} x - \frac{qx^3}{6l},$$

თუ ამ განტოლებას გავაწარმოებთ x-ით, მივიღებთ:

$$\frac{ql}{6} - \frac{qx^2}{2l} = 0;$$

აქედან

$$x=\frac{l}{\sqrt{3}}=0{,}577l.$$

x-ის ეს მნიშვნელობა შევიტანოთ M-ის განტოლებაში, მივიღებთ:

$$M_{max}=\frac{ql}{6}\cdot\frac{l}{\sqrt{3}}-\frac{q}{6l}\left(\frac{l}{\sqrt{3}}\right)^3=\frac{ql^2}{9\sqrt{3}}=\frac{ql^2}{15{,}58}.$$

7.9. ნახაზზე ნაჩვენები ორ საყრდენზე მდებარე კოჭებისათვის ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები და განვსაზღვროთ Q და M-ის აბსოლუტურად უდიდესი მნიშვნელობები (იხ. ნახაზი).

პასუხი: ა) $Q=4$ ტ; $M=8$ ტ. მ;

ბ) $Q=3{,}2$ ტ; $M=3{,}2$ ტ. მ;

გ) $Q=2$ ტ; $M=6$ ტ. მ;

დ) $Q=7$ ტ; $M=12$ ტ. მ;

ე) $Q=2{,}85$ ტ; $M=5{,}56$ ტ. მ;

ვ) $Q=4{,}625$ ტ; $M=3{,}19$ ტ. მ;

ზ) $Q=6$ ტ; $M=9$ ტ. მ;

თ) $Q=4{,}64$ ტ; $M=3{,}53$ ტ. მ;

ი) $R=3{,}33$ ტ; $M=3{,}21$ ტ. მ;

კ) $Q=4$ ტ; $M=8$ ტ. მ;

ლ) $Q=5$ ტ; $M=4$ ტ. მ.

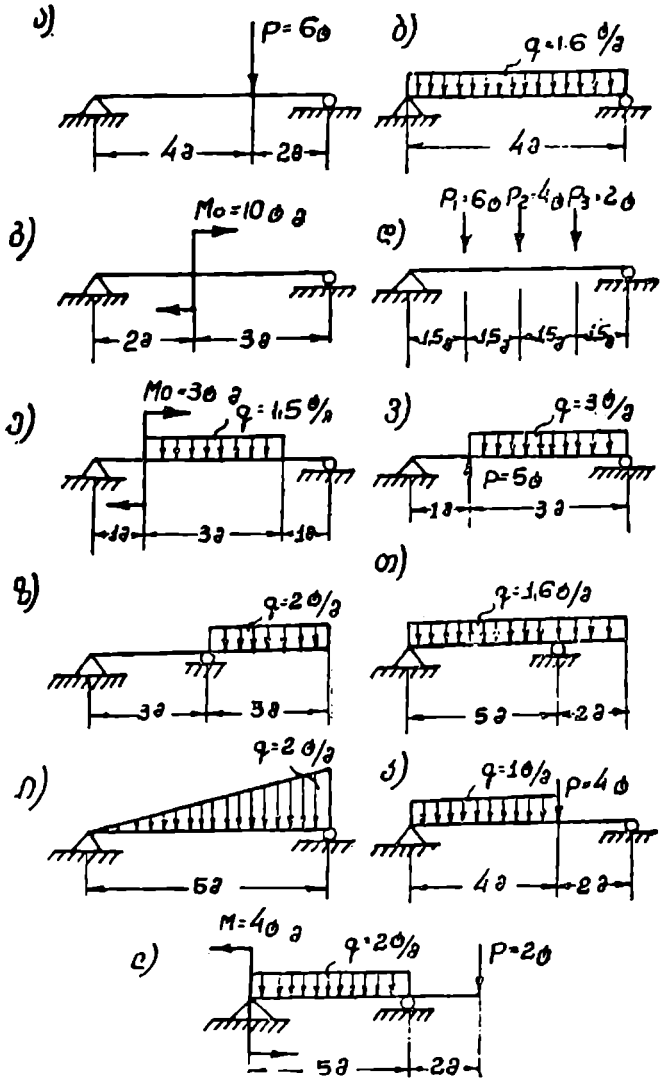
7.10. 6,4 მ სიგრძის კოჭი მოთავსებულია ორ საყრდენზე ისე, რომ მარჯვენა საყრდენიდან კოჭის ბოლომდე დარჩენილია 2 მ. კოჭი საყრდენებს შორის დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით, რომლის ინტენსივობაა $q=1{,}2$ ტ/მ. მარჯვენა ბოლოზე მოქმედებს ქვევიდან ზევით მიმართული შეყურსული ძალა $p=4$ ტ.

გამოვთვალოთ კოჭში აღძრული Q და M-ის აბსოლუტურად უდიდესი მნიშვნელობები.

პასუხი: $Q=4{,}48$ ტ; $M=8$ ტ. მ.

7.11. ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭის ორივე ბოლო საყრდენებს გადაცილებულია a მანძილით. კოჭი, რომლის საყრდენებს შორის მანძილი $l=8$ მ-ს, მთელ სიგრძეზე დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით.

განვსაზღვროთ რას უდრის კონსოლების სიგრძე a უდიდესი მღუნავი მომენტის მინიმალური მნიშვნელობის დროს.



7.9 ამოცანისათვის.

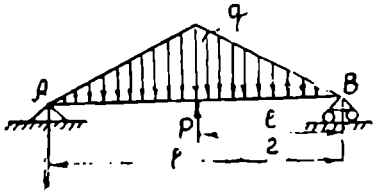
პასუხი: $a=2\cdot\sqrt{2}$ მ.

7.12. ორ საყრდენზე მდებარე კოჭი, რომლის სიგრძე $l=6$ მ დატვირ-

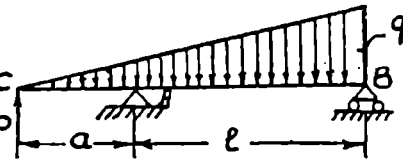
თულია ტოლფერდიანი სამკუთხედის კანონით განაწილებული ტვირთით, რომლის მაქსიმალური ინტენსივობა $q=3$ ტ/მ-ს (იხ. ნახაზი).

რა სიდიდის შეყურსული ძალა უნდა მოვდოთ კოჭის მალის შუაში, ინტენსივობის საწინააღმდეგოდ, რომ ძალის მოდების კვეთში მღუნავი მომენტი გაუტოლდეს ნულს.

პასუხი: $p=6$ ტ.



7.12 ამოცანისათვის



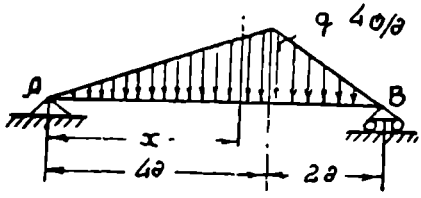
7.13 ამოცანისათვის

7.13. ორ საყრდენზე მდებარე კოჭის მარცხენა ბოლო საყრდენიდან გადაცილებულია $a=2$ მ-ით; საყრდენებს შორის მანძილი $l=4$ მ-ს. კოჭი მთელ სიგრძეზე დატვირთულია სამკუთხედის კანონით განაწილებული ტვირთით, რომლის მაქსიმალური ინტენსივობა $q=3$ ტ/მ-ს; მარცხენა ბოლოზე მოქმედებს ზევით მიმართული შეყურსული ძალა $P=5$ ტ (იხ. ნახაზი).

ვეაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები და გამოვთვალოთ კოჭში მაქსიმალური მღუნავი მომენტის მნიშვნელობა.

პასუხი: $M_{max}=9{,}78$ ტ. მ.

7.14. წყალსაცავი, რომელშიც წყლის სიღრმე 8 მ-ია, შემოფარგლულია ნარიმანდიანი კედლით. კედელი წყლის წნევას გადასცემს ქვედა ბოლოთი ჩამაგრებულ ვერტიკალურ დგარებს, რომელთა შორის მანძილი $a=60$ სმ-ს.



7.15 ამოცანისათვის.

ვიპოვოთ უდიდესი მღუნავი მომენტი და განივი ძალა დგარში.

პასუხი: $M_{max}=51{,}2$ ტ. მ;

$Q_{max}=19{,}2$ ტ.

7.15. ვიპოვოთ საშიში კვეთი და მაქსიმალური მღუნავი მომენტი ნახაზზე მოცემული კოჭისათვის, რომელიც დატვირთულია სამკუთხედის კანონით განაწილებული ტვირთით.

პასუხი: $X=3{,}24$ მ;

$M_{max}=11{,}52$ ტ. მ.

7.16. ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები ორ საყრდენზე მდებარე კოჭისათვის, რომლის დატვირთვის სქემა მოცემულია ნახაზზე.

ვიპოვოთ საშიში კვეთი და უდიდესი მღუნავი მომენტი, თუ $l=6$ მ-ს,

$$q=2 \text{ ტ/მ-ს} \qquad \text{და} \qquad M_0=4 \text{ ტ. მ-ს.}$$

ა მ ო ხ ს ნ ა: განვსაზღვროთ კოჭის საყრდენი რეაქციები:

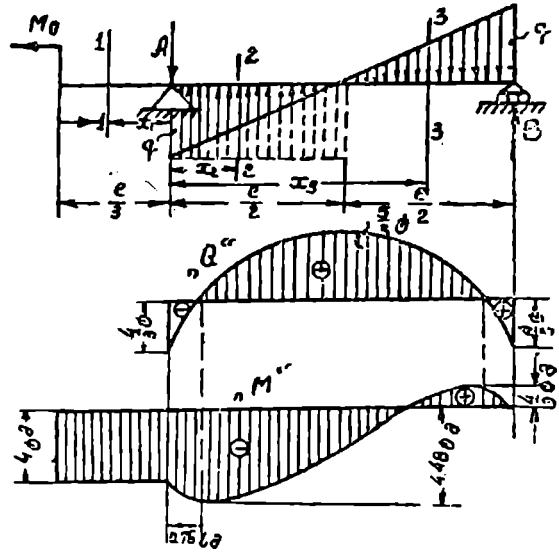
$$A=\frac{6M_0-ql^2}{6l}=\frac{24-2\cdot 6^2}{6\cdot 6}=-\frac{4}{3} \text{ ტ.}$$

უარყოფითი ნიშანი გვიჩვენებს, რომ A რეაქციის ძალა მიმართულია ქვევით

$$B=\frac{ql^2-6M_0}{6l}=\frac{2\cdot 6^2\cdot 24}{6\cdot 6}=\frac{4}{3} \text{ ტ.}$$

კოჭი დატვირთვის სქემის მიხედვით იყოფა სამ უბნად.

განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურების ასაგებად უბნებში გავატაროთ ნებისმიერი კვეთები, რომლებიც A საყრდენიდან დაცილებულია შესაბამისად x_1, x_2 და x_3 მანძილებით და განვიხილოთ კოჭის მოკვეთილი მარცხენა მხარე.



7.16 ამოცანისათვის.

პირველ უბანში $Qx_1=0$ და $Mx_1=-M_0=-4$ ტ. მ.

მეორე უბანში განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის განტოლების შესადგენად, მეორე უბნის დატვირთვა მივიღოთ თანაბრად განაწილებულად q ინტენსივობით და გამოვაკლოთ დამატებული სამკუთხური დატვირთვის გავლენა (დამატებული დატვირთვა ნახაზზე ნაჩვენებია წყვეტილი ხაზებით).

ამგვარად, მეორე უბნის x_2 კვეთში განივი ძალა:

$$Qx_2 = -A + qx_2 - \frac{qx_2^2}{l} = -\frac{4}{3} + 2x_2 - \frac{x_2^2}{3}.$$

განივი ძალა მეორე უბანში იცვლება კვადრატული პარაბოლის კანონით.

მღუნავი მომენტი:

$$Mx_2 = -M_0 - Ax_2 + \frac{qx_2^2}{2} - \frac{qx_2^3}{3l} = -4 - \frac{4}{3}x_2 + x_2^2 - \frac{x_2^3}{9}.$$

მეორე უბანში მღუნავი მომენტი იცვლება კუბური პარაბოლის კანონით.

Q_{x_2} და Mx_2 ეპიურის ასაგებად x_2-ს უნდა მივცეთ რამდენიმე მნიშვნელობა 0-დან 3-მდე.

მესამე უბნისათვის განივი ძალა:

$$Q_{x_3} = -A + \frac{ql}{4} - \frac{q}{l}\left(x_3 - \frac{l}{2}\right)^2 = \frac{5}{3} - \frac{(x_3-3)^2}{3}$$

(მეორე რიგის მრუდი).

მღუნავი მომენტი:

$$Mx_3 = M_0 - Ax_3 + \frac{ql}{4}\left(x_3 - \frac{l}{6}\right) - \frac{q}{3l}\left(x_3 - \frac{l}{2}\right)^3 =$$

$$= -4 - \frac{4}{3}x_3 + 3(x_3 - 1) - \frac{(x_3-3)^3}{9} = -7 + \frac{5}{3}x_3 - \frac{(x_3-3)^3}{9}.$$

(მესამე რიგის მრუდი).

Q_{x_3} და Mx_3 ეპიურების ასაგებად x_3-ს ვაძლევთ რამდენიმე მნიშვნელობას 3-დან 6-მდე.

განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ზემოთ მიღებულ განტოლებათა შესაბამისი ეპიურები ნახაზზეა ნაჩვენები.

როგორც ეპიურიდან ჩანს, მღუნავი მომენტი უდიდეს მნიშვნელობას აღწევს მეორე უბანში.

განვსაზღვროთ x_2-ის ის მნიშვნელობა, სადაც მღუნავი მომენტი აღწევს მაქსიმუმს, ე. ი. ვიპოვოთ კოჭის საშიში კვეთი.

როგორც ცნობილია, მღუნავი მომენტი მაქსიმუმს აღწევს იმ კვეთში, სადაც $\frac{dMx}{dx} = 0$.

ჩვენი შემთხვევისათვის: $\frac{dMx_2}{dx_2} = -\frac{4}{3} + 2x_2 - \frac{x_2^2}{3} = 0$;

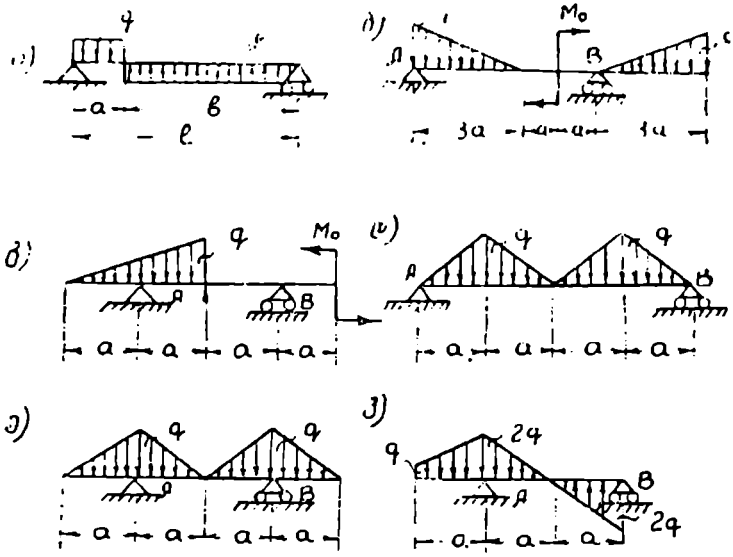
აქედან $x_2 = 0{,}764$ მ.

თუ Mx_2-ის განტოლებაში შევიტანთ x_2-ის ზემოთ მიღებულ მნიშვნელობას, გვექნება:

$$|Mx_2|_{max} = -4 - \frac{4}{3} \cdot 0{,}764 + (0{,}764)^2 - \frac{(0{,}764)^3}{9} = -4{,}48 \text{ ტ. მ.}$$

7.17. ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები კოჭებისათვის, რომელთა დატვირთვის სქემები ნაჩვენებია ნახაზზე (იხ. ნახაზი).

7.18. მარცხენა ბოლოთი ჩამაგრებულ ABC მუხლა კოჭს აქვს B



7.17 ამოცანისათვის.

ხისტი კვანძი და C ბოლოზე მოდებულია ჰორიზონტალური P ძალა (იხ. ნახაზი).

ავაგოთ მოცემული კოჭის განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები.

ა მ ო ხ ს ნ ა: განვიხილოთ კოჭის CB უბანი. C ბოლოდან ნებისმიერ მანძილზე გავატაროთ კვეთი და დავწეროთ ამ კვეთში განივი ძალის და მღუნავი მომენტის მნიშვნელობები.

$Q_y = P$ CB უბანში განივი ძალა მუდმივი სიდიდეა.

$M_y = -P \cdot y$ CB უბანში მღუნავი მომენტი იცვლება სწორი ხაზის კანონით.

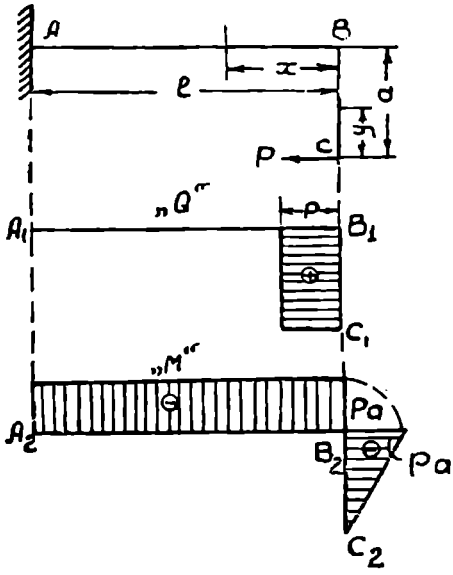
როცა $y=0$, $M_y=0$;

„ $y=a$, $M_y=-Pa$.

კოჭის AB უბნის ნებისმიერ x კვეთში Q და M-ის მნიშვნელობები შემდეგია: $Q_x=0$;

$$M_x=-Pa$$

(მუდმივი სიდიდეა). Q და M-ის გამოთვლილ მნიშვნელობათა შესაბამისი ეპიურები ნახაზზეა ნაჩვენები.

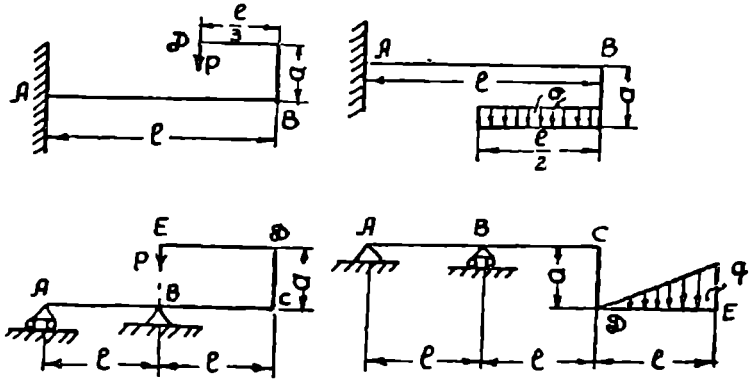


7.18 ამოცანისათვის

7.19. ნახაზზე ნაჩვენებია მუხლა კოჭებისათვის ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები.

7.20. ორ საყრდენზე მდებარე AB კოჭს, რომლის მალია 8 მ, CD კოჭის საშუალებით გადაეცემა $P=10$ ტ ძალა (იხ. ნახაზი).

ვიანგარიშოთ მოცემული დატვირთვის სქემის შემთხვევაში AB კოჭში აღძრული



7.19 ამოცანისათვის.

უდიდესი განივი ძალა და მღუნავი მომენტი.

ა მ ო ხ ს ნ ა: AB კოჭს P ძალის მოქმედება გადაეცემა C და D

წერტილებში P_1 და P_2 ძალების სახით, რომლებიც ტოლია CD კოჭის შესაბამისი რეაქციებისა.

CD კოჭის C საყრდენის რეაქცია

$$P_1=\frac{10\cdot 1}{4}=2{,}5 \text{ ტ.}$$

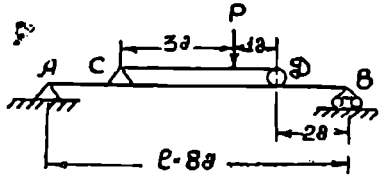
D საყრდენის რეაქცია

$$P_2=\frac{10\cdot 3}{4}=7{,}5 \text{ ტ.}$$

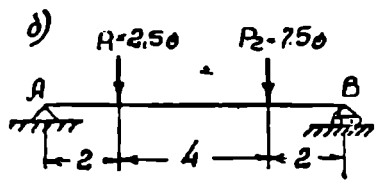
AB კოჭის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახაზზე, რომლისთვისაც

$$|Q|_{max}=6{,}25 \text{ ტ;}$$

$$M_{max}=12{,}5 \text{ ტ. მ.}$$

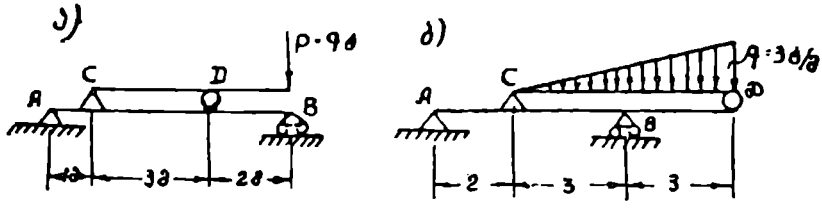


7.20ა ამოცანისათვის.



7.20ბ ამოცანისათვის.

7.21. ავაგოთ ნახაზზე ნაჩვენები დატვირთვის სქემის შემთხვევისათვის AB კოჭის Q და M ეპიურები და განვსაზღვროთ მათი აბსოლუტურად უდიდესი მნიშვნელობები.



7.21 ამოცანისათვის.

პასუხი: ა) $Q=9$ ტ; ბ) $Q=6$ ტ;

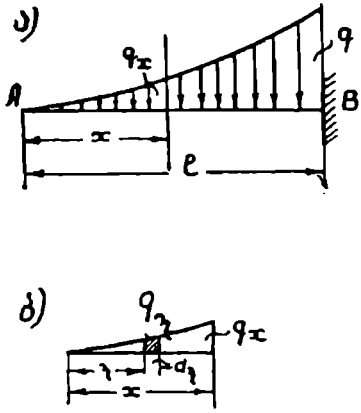
$M=18$ ტ. მ. $M=-18$ ტ. მ.

7.22. ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული კოჭი, მთელ სიგრძეზე დატვირთულია განაწილებული ტვირთით, რომლის ინტენსივობა ნებისმიერ x კვეთში

$$q_x = \frac{q}{l^2}x^2.$$

კოორდინატთა სათავედ არჩეულია კოჭის თავისუფალი ბოლო (იხ. ნახაზი ა).

შეეადგინოთ მოცემული კოჭისათვის განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ცვალებადობის განტოლებები.



7.22 ამოცანისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა: კოჭის x კვეთში Q_x და M_x-ის მნიშვნელობათა გამოსათვლელად მოვიქცეთ შემდეგნაირად:

კოორდინატთა სათავიდან η და $\eta+d\eta$ მანძილების დაცილებით გავატაროთ ახალი კვეთები, სადაც η იცვლება 0-დან x-მდე.

კოჭის მცირე $d\eta$ სიგრძეზე მოსული განაწილებული ტვირთის სიდიდე შეგვიძლია მივიღოთ $q_\eta d\eta$-ს ტოლად, მაშინ განივი ძალა x კვეთში იქნება:

$$Q_x = -\int_0^x q_\eta\, d\eta = -\int_0^x \frac{q}{l^2}\eta^2 d\eta,$$

აქედან

$$Q_x = -\frac{qx^3}{3l^2};$$

მღუნავი მომენტი

$$M_x = \int_0^x q_\eta d\eta(x-\eta) = -\int_0^x \frac{q\eta^3 x}{l^2}\,d\eta + \int_0^x \frac{q\eta^3}{l^2}\,d\eta.$$

საბოლოოდ

$$M_x = -\frac{qx^4}{3l^2} + \frac{qx^4}{4l^2} = -\frac{qx^4}{12l^2}.$$

7.23. ორ საყრდენზე მდებარე კოჭი დატვირთულია განაწილებული ტვირთით (იხ. ნახაზი), რომელიც იცვლება მეორე რიგის პარაბოლის კანონით, სადაც

$$q_x = \frac{4qx}{l^2}(l-x).$$

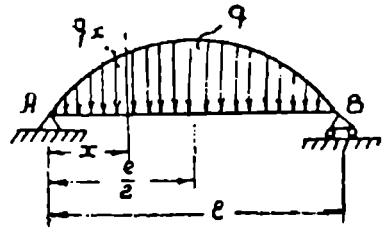
ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურა და გამოვთვალოთ მათი მაქსიმალური მნიშვნელობები, თუ

$$q=2 \text{ ტ/მ} \text{ და } l=6 \text{ მ}.$$

პასუხი: $Q_{max}=4$ ტ; $M_{max}=7{,}5$ ტ. მ.

7.24. ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული კოჭი დატვირთულია განაწილებული ტვირთით, რომლის ინტენსივობა $q_x=q\left(1-\frac{x^2}{l^2}\right)$; (კორდინატთა სათაედ მიღებულია კოჭის თავისუფალი ბოლო).

შეადგინოთ მოცემული კოჭისათვის განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის განტოლებები.



7.23 ამოცანისათვის.

პასუხი:

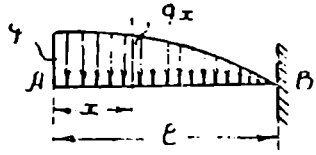
$$Q_x=-qx+\frac{qx^2}{3l^2};$$

$$M_x=-\frac{qx^2}{2}\left(1-\frac{x^2}{6l^2}\right).$$

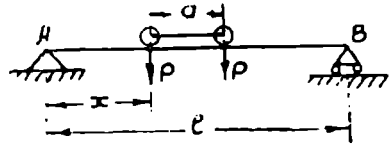
7.25. ორ საყრდენზე მდებარე AB კოჭზე მოძრაობს ამწე მექანიზმის ორბორბლიანი ურიკა (იხ. ნახაზი).

მოვძებნოთ ურიკის ის მდებარეობა, როდესაც კოჭში აღიძვრება მაქსიმალური მღუნავი მომენტი და განვსაზღვროთ M_{max}-ის სიდიდე, თუ ურიკის ბორბლებს ამწე მექანიზმიდან გადაეცემა თანატოლი P ძალა.

ამოხსნა: კოჭზე შეყურსული ძალების მოქმედებისას მღუნავი მო-



7.24 ამოცანისათვის.



7.25 ამოცანისათვის.

მენტის ეპიურას აქვს ტეხილი ხაზის სახე. გადატეხის ადგილები მდებარეობენ ძალის მოქმედების ვერტიკალზე, ამიტომ M-ის მაქსიმალური მნიშვნელობა აუცილებლად უნდა მდებარეობდეს ერთ-ერთი ძალის ქვეშ.

განვსაზღვროთ სად უნდა იდგეს ურიკის მარცხენა ბორბალი, რომ მის ვერტიკალზე იყოს მაქსიმალური მღუნავი მომენტი; ვთქვათ, ამ მდე-

ბარეობის დროს აღნიშნული ბორბალი მარცხენა საყრდენიდან დაცილებულია x მანძილით.

ურიკის აღნიშნული მდებარეობისას კოჭის A საყრდენის რეაქცია

$$A=P\cdot\frac{2(l-x)-a}{l}.$$

მღუნავი მომენტი x კვეთში იქნება:

$$M_x=P\frac{2(l-x)-a}{l}\cdot x.$$

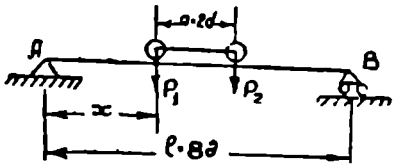
თუ M_x-ის წარმოებულს გავუტოლებთ ნულს და მიღებული განტოლებიდან ამოვხსნით x-ს, მივიღებთ x-ის საძებნ მნიშვნელობას:

$$\frac{dMx}{dx}=P\frac{2l-4x-a}{l}=0;$$

აქედან

$$x=\frac{l}{2}-\frac{a}{4}.$$

მაშასადამე, კოჭში მაქსიმალური მღუნავი მომენტი აღიძვრება მაშინ, როცა ურიკის ბორბალი უახლოესი საყრდენიდან დაცილებულია $\frac{l}{2}-\frac{a}{4}$ მანძილით.



7.26 ამოცანისათვის.

თუ M_x-ის განტოლებაში x-ის მაგივრად შევიტანთ $\left(\frac{l}{2}-\frac{a}{4}\right)$, მივიღებთ:

$$M_{max}=\frac{P}{8l}\left(2l-a\right)^2$$

7.26. AB ამწეზე მოძრაობს ორბორბლიანი ურიკა (იხ. ნახაზი). ამწი მექანიზმიდან ურიკას მარცხენა ბორბალს გადაეცემა $P_1=4$ ტ, ხოლო მარჯვენა ბორბალს $P_2=2$ ტ ძალა.

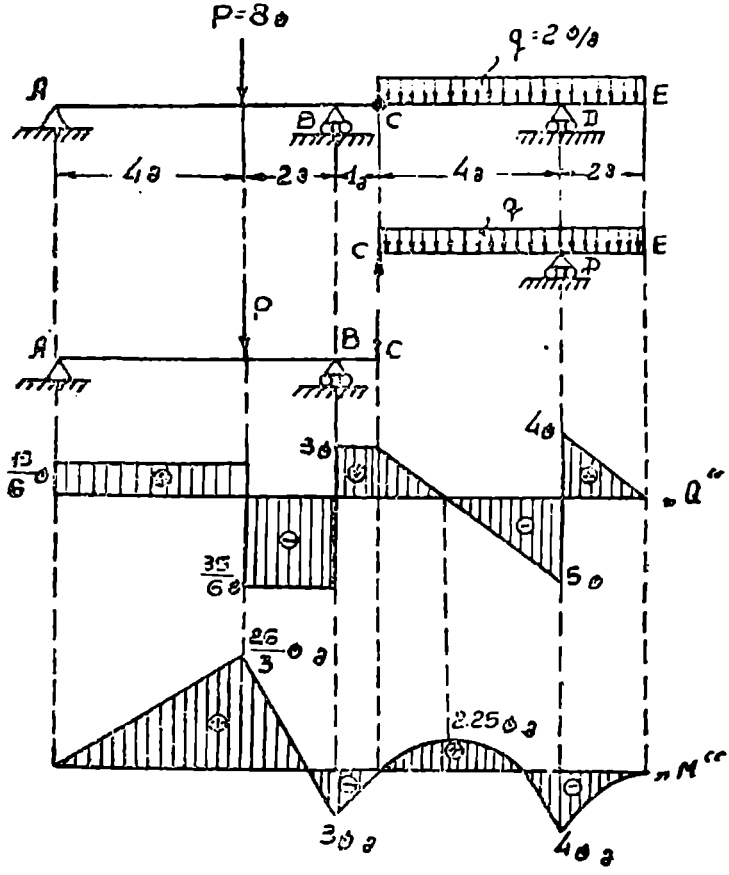
მოვძებნოთ ურიკის საშიში მდებარეობა და განვსაზღვროთ კოჭში აღძრული მაქსიმალური მღუნავი მომენტი, თუ კოჭის მალი $l=8$ მ-ს და ურიკის ბორბლებს შორის მანძილი $a=2$ მ-ს.

პასუხი: $x=\frac{11}{3}$ მ;

$$M_{max}=\frac{121}{12}\text{ ტ}\cdot\text{მ}.$$

§ 20. Q და M ეპიურების აგება სტატიკურად რაოდენადი მრავალმალიანი კოჭებისა და ჩარჩოებისათვის

7.27. სამ საყრდენზე მდებარე კოჭს აქვს ერთი შუალედი სახსარი (იხ. ნახაზი). კოჭის დატვირთვის სქემა ნაჩვენებია ნახაზზე.



7.27 ამოცანისათვის.

ავაგოთ მოცემული კოჭისათვის განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები.

ა მ ო ხ ს ნ ა: განსახილველი კოჭი შეიძლება დავყოთ ორ დამოუკიდებელ კოჭად: ერთი ძირითადი AC კოჭი, რომლის კონსოლის ბოლოზე იმოქმედებს CE კოჭის გაელენა C რეაქციის სახით და მეორე CE კოჭი,

რომელიც მოთავსებულია D საყრდენზე და C ბოლოთი ეყრდნობა AC ძირითად კოჭს.

პირველად განვსაზღვროთ CE კოჭიდან C რეაქცია, როგორც ორ საყრდენზე მდებარე კოჭისათვის

$$\Sigma M_D = C \cdot 4 - q \cdot 6 \cdot 1 = 0;$$

აქედან

$$C = \frac{2 \quad 6}{4} = 3 \text{ ტ},$$

ხოლო

$$D = q \cdot 6 - C = 9 \text{ ტ}.$$

AC კოჭის კონსოლზე მოქმედი C ძალის განსაზღვრის შემდეგ ადვილად ვიპოვით A და B რეაქციებს.

$$A = \frac{13}{6} \text{ ტ} \quad \text{და} \quad B = \frac{53}{6} \text{ ტ}.$$

განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები AC და CE კოჭებისათვის ავაგოთ ცალ-ცალკე და დავხაზოთ ერთმანეთის გაგრძელებაზე.

ამგვარად, მივიღებთ მოცემულ სამ საყრდენზე მდებარე კოჭის Q და M ეპიურებს.

Q და M ეპიურების საბოლოო სახე და მათი მნიშვნელობა მახასიათებელ კვეთებში ნახაზზეა ნაჩვენები (იხ. ნახაზი).

7.28. სახსრიანი კოჭების დატვირთვის სქემა და კოჭის სიგრძითი ზომები მოცემულია ნახაზზე.

ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები და განვსაზღვროთ Q და M-ის აბსოლუტურად უდიდესი მნიშვნელობები.

პასუხი:

ა) $Q = 4$ ტ; $M = 6{,}4$ ტ. მ;

ბ) $Q = -7$ ტ; $M = -10$ ტ. მ;

გ) $Q = 3{,}75$; $M = -5$ ტ. მ;

დ) $Q = -4$ ტ; $M = -4$ ტ. მ.

7.29. ავაგოთ ნორმალური ძალის, განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები ნახაზზე მოცემული ჩარჩოსათვის (იხ. ნახაზი).

ამოხსნა: საყრდენი რეაქციები განვსაზღვროთ წონასწორობის პირობებით.

ჩარჩოზე მოქმედი ყველა ძალის ჰორიზონტალურ ღერძზე გეგმილების ჯამი გვაძლევს:

$$q \cdot h - H_B = 0; \text{ აქედან } H_B = qh = 4 \quad 6 = 24 \text{ ტ};$$

ვერტიკალურ ღერძზე გეგმილების ჯამი მოგვცემს:

$$-A+B=0, \quad \text{მაშასადამე,} \quad A=B.$$

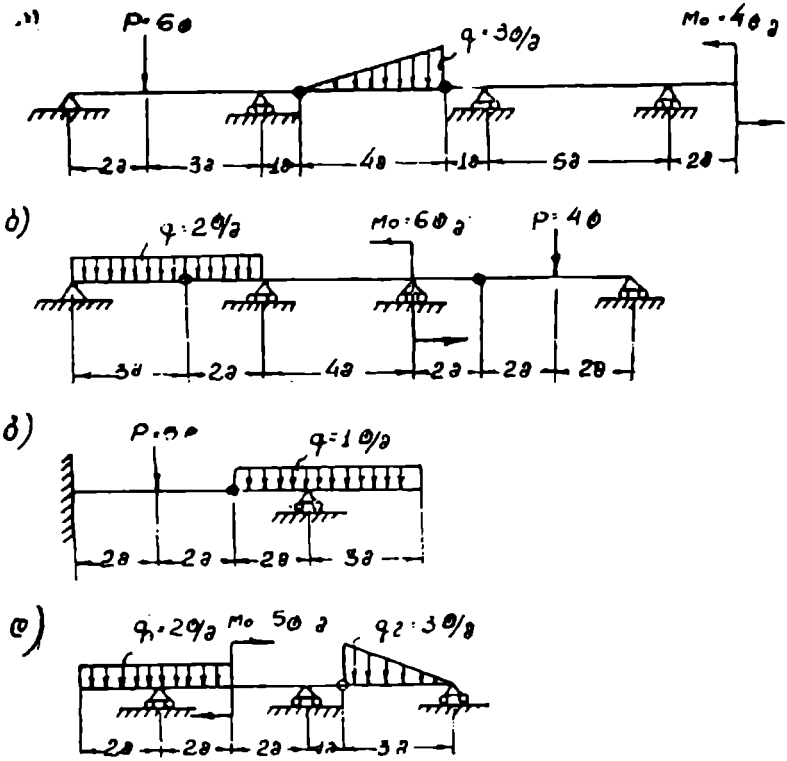
ჩარჩოზე მოქმედი ყველა ძალის მომენტების ჯამი B სახსრის მიმართ იქნება:

$$-A\cdot l+qh\cdot\frac{h}{2}=0;$$

აქედან

$$A=\frac{qh^2}{2l}=\frac{4\cdot 36}{2\cdot 4}=18 \text{ ტ}.$$

შიგა ძალების N, Q და M ეპიურების ასაგებად მოცემული სისტემა



7.28 ამოცანისათვის.

უნდა გაყოთ სამ—AC, CD და DB უბნად. AC უბანი წარმოდგენით გავკვეთოთ 1—1 კვეთით და ერთ-ერთი ნაწილი მოვაშოროთ, დარჩენილი ნაწილი რომ წონასწორობაში იყოს, საჭიროა კვეთაში მოვდოთ

მოშორებული ნაწილის გავლენა N_1, Q_1 და M_1 შიგა ძალების სახით, რომლის შესაბამისი სქემა მოცემულია ნახაზზე (ნახ. ე), სადაც უცნობი შიგა ძალებიდან ნორმალური ძალა მიმართულია გამჭიმავად და მღუნავ მომენტს აქვს დადებითი მიმართულება. წონასწორობის პირობიდან ეღებულობთ:

$$N_1 - 18 = 0; \quad \text{აქედან} \quad N_1 = 18 \text{ ტ};$$

$$Q_1 - qx_1 = 0; \quad \text{აქედან} \quad Q_1 = 4x_1; \text{ (სწორი ხაზი)},$$

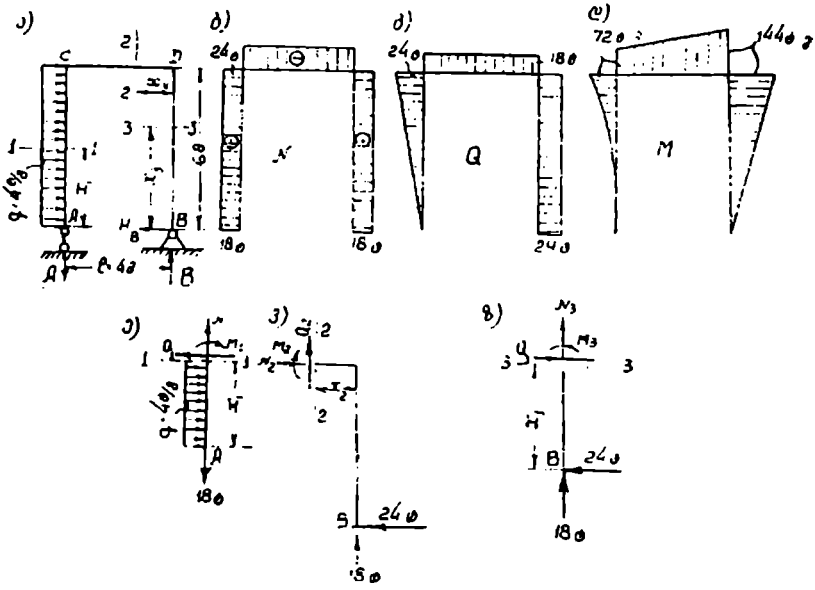
$$M_1 - qx_1\frac{x_1}{2} = 0; \quad \text{აქედან} \quad M_1 = 2x_1^2 \text{ (მეორე რიგის მრუდი)},$$

სადაც x იცვლება 0-დან 6-მდე;

როცა $x_1 = 0$, $Q_1 = 0$ და $M_1 = 0$;

„ $x_1 = 6$ მ, $Q_1 = 24$ ტ და $M_1 = 72$ ტ. მ.

ნორმალური ძალა AC უბანში მუდმივია.



7.29 ამოცანისათვის.

მეორე CD უბანში გავატაროთ 2—2 კვეთი და განვიხილოთ მოკვეთილი მარჯვენა ნაწილის წონასწორობა (ნახ. ვ), მივიღებთ:

$$N_2 + 24 = 0; \quad \text{აქედან} \quad N_2 = -24 \text{ ტ};$$

$$Q_2 + 18 = 0; \quad \text{„} \quad Q_2 = -18 \text{ ტ};$$

$$M_2 + 24 \cdot 6 - 18 \cdot x_2 = 0; \quad \text{„} \quad M_2 = 18x_2 - 144,$$

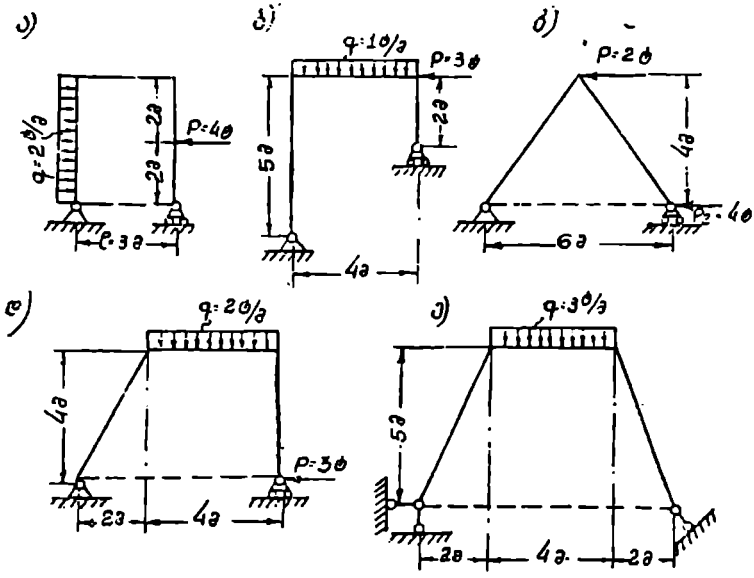
სადაც x_2 იცვლება 0-დან 4-მდე:

როცა $x_2=0$: $M_2=-144$ ტ. მ.;

„ $x_2=4$: $M_2=-72$ ტ. მ.

N_2 და Q_2 CD უბანში მუდმივია.

მესამე BD უბანში გავატაროთ 3—3 კვეთი და წარმოდგენით მოვაშოროთ მოკვეთილი ზედა ნაწილი, ხოლო დარჩენილ ქვედა ნაწილზე



7.30 ამოცანისათვის.

მოვდოთ მოშორებული ნაწილის გავლენა უცნობი N_3, Q_3 და M_3 ძალების სახით (ნახ. ზ), რომელთა მნიშვნელობებს ესაზღვრავთ წონასწორობის პირობებიდან.

$N_3+18=0$: აქედან $N_3=-18$ ტ:

$Q_3+24=0$: $Q=-24$ ტ:

$M_3+24\cdot x_3=0$: $M_3=-24x_3$,

სადაც x_3 იცვლება 0-დან 6-მდე

როცა $x_3=0$, $M_3=0$;

„ $x_3=6$, $M_3=-144$ ტ. მ.

მოცემული ჩარჩოსათვის N, Q და M-ის ზემოთ გამოთვლილ მნიშვნელობათა შესაბამისი ეპიურები ნაჩვენებია ნახაზზე (ნახ. ბ, გ და დ).

7.30. ავაგოთ ნორმალური და განივი ძალების და მღუნავი მომენტის ეპიურები ნახაზზე ნაჩვენები სტატიკურად რკვევადი ჩარჩოებისათვის (იხ. ნახაზი).

§ 21. Q და M ეპიურების აგების გრაფიკული ხერხი

7.31. ორ საყრდენზე მდებარე კოჭი დატვირთულია $P_1=12$ ტ, $P_2=6$ ტ და $P_3=9$ ტ შეყურსული ძალებით და $M_0=6$ ტ მ წყვილი ძალით (იხ. ნახაზი).

ავაგოთ გრაფიკული ხერხის გამოყენებით განივი ძალის და მღუნავი მომენტის ეპიურები.

ა მ ო ხ ს ნ ა: ავირჩიოთ სიგრძის და ძალის მასშტაბები. მივიღოთ სიგრძე 0,5 სმ—1 მ.

ძალა 1 სმ—6 ტ.

Q და M-ის მნიშვნელობათა გრაფიკულად განსაზღვრისათვის საჭიროა ავაგოთ ძალთა და თოკის მრავალკუთხედი ნებისმიერად აღებული საპოლუსო მანძილით, რომელიც გადაიზომება იმავე მასშტაბით, რითაც ძალა.

რადგანაც კოჭი მასზე მოდებული აქტიური და რეაქციის ძალების მოქმედებით წონასწორობაშია, ამიტომ მისთვის აგებული ძალთა და თოკის მრავალკუთხედი ჩაკეტილი უნდა იყოს.

თეორიიდან ვიცით, რომ გრაფიკული ხერხით გაანგარიშებისას კოჭის ნებისმიერ კვეთში მღუნავი მომენტი უდრის ამავე კვეთის ვერტიკალზე თოკის მრავალკუთხედის ორდინატის η_x-ის (აღებული სიგრძითი მასშტაბში) ნამრავლს საპოლუსო მანძილ H-ზე (აღებული ძალის მასშტაბში).

ამგვარად $M_x=H\eta_x$.

ავირჩიოთ საპოლუსო მანძილი $H=2,5$ სმ, მაშასადამე, ძალთა მასშტაბზე გადაყვანით:

$$H=2,5\cdot 6=15 \text{ ტ}.$$

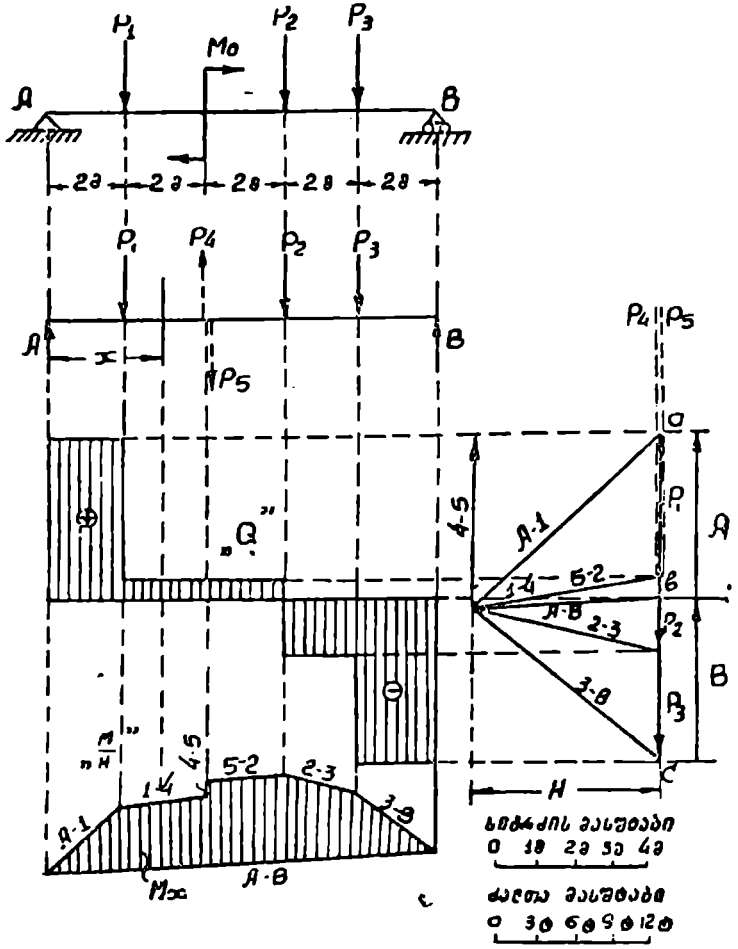
ძალთა და თოკის მრავალკუთხედის ასაგებად წყვილი ძალა M_0 შევცვალოთ ორი ვერტიკალური უსასრულოდ დიდი P_4 და P_5 ძალებით, რომელთა მხარი უსასრულოდ მცირეა (იხ. ნახაზი).

სიგრძითი და ძალთა მასშტაბის და საპოლუსო მანძილის არჩევის შემდეგ თეორიული მექანიკიდან ცნობილი ხერხით ვაგებთ ძალთა და თოკის მრავალკუთხედებს.

ძალთა მრავალკუთხედში სხივი 4—5 ძალების პარალელურია, რად-

განაც 0 პოლუსის შემაერთებელი ხაზი P_4 ძალის ბოლოსთან ძალთა მიმართულებას კვეთს უსასრულობაში. თოკის მრავალკუთხედის აგების დროს 4—5 სხივის შესაბამისი გვერდი იქნება ვერტიკალური და სიდიდით $M_0=6$ ტ. მ ტოლი.

რადგანაც $M=H\eta=6$ ტ. მ, ხოლო საპოლუსო მანძილი აღებული

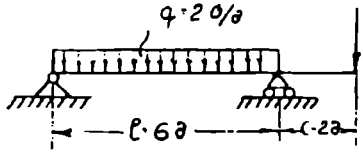


7.31 ამოცანისათვის.

გვაქვს $H=15$ ტ. მ, ამიტომ 4—5 სხივის შესაბამისი გვერდი თოკის მრავალკუთხედში $\eta=\frac{6}{15}=0{,}4$ სმ და როგორც დადებითი მომენტის შესაბამისი სიდიდე გადაიზომება ზევით.

თუ ძალთა მრავალკუთხედზე გავატარებთ თოკის მრავალგვერდის ჩამკეტი AB გვერდის პარალელურ სხივს—მივიღებთ ab და bc მონაკვეთებს, რომლებიც წარმოადგენენ ძალთა მასშტაბში გამოსახულ A და B რეაქციებს.

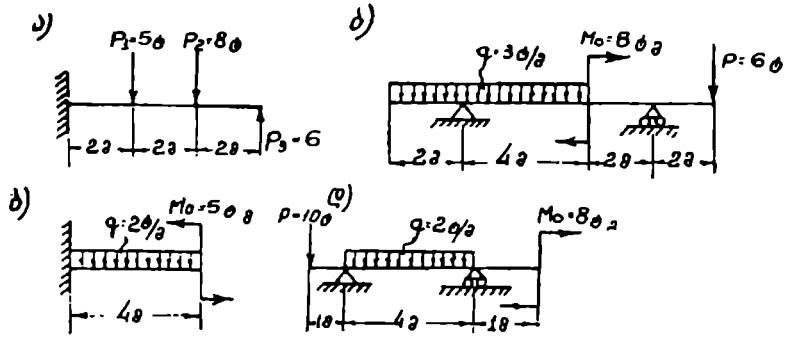
თოკის მრავალკუთხედის აგების შემდეგ ვსაზღვრავთ კოჭის ნების-მიერ კვეთში მღუნავ მომენტს შემდეგნაირად: განსახილავი კვეთის ვერტიკალზე ვიღებთ თოკის მრავალკუთხედის შესაბამის ორდინატს სიგრძითი მასშტაბებით და ვამრავლებთ ძალთა მასშტაბში აღებულ საპოლუსო მანძილზე. მაქსიმალური მღუნავი მომენტი იქნება კოჭის იმ კვეთში, რომელსაც შეესაბამება თოკის მრავალკუთხედის უდიდესი ორდინატა $M_{max}=\eta_{max}\cdot H$.



7.32 ამოცანისათვის.

გრაფიკულად განივი ძალის ეპიურის აგება ძალთა მრავალკუთხედის დახმარებით ნაჩვენებია ნახაზზე.

7.32. ორ საყრდენზე მდებარე კონსოლიანი კოჭი, რომლის მალი $l=6$ მ-ს და კონსოლის სიგრძე $c=2$ მ-ს, საყრდენებს შორის დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით ინტენსივობით $q=2$ ტ/მ:



7.33 ამოცანისათვის.

კონსოლის ბოლოზე მოქმედებს შეყურსული ძალა $P=6$ ტ (იხ. ნახაზი).

ავაგოთ გრაფიკული ხერხით განივი ძალის და მღუნავი მომენტის ეპიურები.

მ ი თ ი თ ე ბ ა: თანაბრად განაწილებული ტვირთი უნდა დავყოთ რამდენიმე ნაწილად და თვითეულ ნაწილში მოსული ტვირთი შევცვალოთ

მის ტოლქმედ შეყურსულ ძალად, შემდეგ ავაგოთ ძალთა და თოკის მრავალკუთხედები, ისე როგორც ვაგებდით კოჭზე შეყურსული ძალების მოქმედების დროს. მიღებული შედეგი მით უფრო ზუსტი იქნება, რაც უფრო მეტ ნაწილად დავყოფთ განაწილებულ ტვირთს ტოლქმედ შეყურსულ ძალებად.

7.35. გრაფიკული ხერხით ავაგოთ ნახაზზე მოცემული კოჭებისათვის Q და M ეპიურები და შევადაროთ ანალიზური ხერხით აგებულ ეპიურებს (იხ. ნახაზი)

თავი მეოთხე

ბრტყელი კვეთების გეომეტრიული მახასიათებლები

მოკლე ცნობები თეორიიდან

უბრალო ღუნვის ან კუმშვის შესწავლისას ჩვენ ვკმაყოფილდებოდით ისეთი გეომეტრიული ელემენტის განსაზღვრით, როგორიცაა განიკვეთის ფართობი. როდესაც ადგილი აქვს ღუნვას ანუ ისეთ დეფორმაციას, რომლის დროსაც ძაბვების განაწილება კვეთში არათანაბრად ხდება, მასალათა გამძლეობაში შემოგვყავს გეომეტრიული მახასიათებლები, როგორიცაა სტატიკური მომენტი, ინერციის ღერძული მომენტი და ცენტრიდანული მომენტი. ეს უკანასკნელი სიდიდეები დამოკიდებულია, როგორც კვეთის ფართობის სიდიდეზე, ისე მის ფორმაზე.

სტატიკური მომენტი ღერძის მიმართ გამოისახება ფორმულებით:

$$S_x = \int_F y\,dF \quad \text{და} \quad S_y = \int_F x\,dF,$$

სადაც dF არის ელემენტარული ფართობი, ხოლო x და y დაცილება ელემენტარული ფართობის სიმძიმის ცენტრიდან ღერძამდე. ფართობის სიმძიმის ცენტრის კოორდინატებს ვპოულობთ ფორმულებით:

$$x_c = \frac{S_y}{F} \quad \text{და} \quad y_c = \frac{S_x}{F},$$

ანალოგიურად განისაზღვრება ინერციის მომენტები ღერძის მიმართ

$$J_x = \int_F y^2\,dF \quad \text{და} \quad J_y = \int_F x^2\,dF,$$

ხოლო ცენტრიდანული მომენტი

$$J_{xy} = \int_F xy\,dF.$$

თუ ცნობილია სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძების მიმართ ინერციის მომენტის J_{x_0} და J_{y_0} სიდიდეები, მაშინ მისი პარალელური ღერძის მიმართ ინერციის მომენტის მოსაძებნად ვსარგებლობთ ფორმულებით:

$$J_{x_1} = J_{x_0} + b^2F; \quad J_{y_1} = J_{y_0} + a^2F.$$

მთავარი ინერციის ღერძები ეწოდება ისეთ ღერძებს, რომელთა მიმართ ცენტრიდანული მომენტი ნულის ტოლია. თუ მთავარი ღერძები გადის სიმძიმის ცენტრზე, უკანასკნელს მთავარი ცენტრალური ღერძები ეწოდება.

მთავარი ცენტრალური ღერძების მიმართულებას განვსაზღვრავთ ფორმულით:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2Jx_0y_0}{Jy_0 - Jx_0},$$

სადაც Jx_0y_0, Jx_0, Jy_0 წარმოადგენენ ინერციის მომენტებს სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ.

მთავარი ცენტრალური ინერციის მომენტებს, როდესაც ვიცით კუთხე α_0, Jx_0y_0, Jx_0 და Jy_0 განვსაზღვრავთ ფორმულით:

$$Jx = Jx_0 \cos^2\alpha_0 + Jy_0 \sin^2\alpha_0 - Jx_0y_0 \sin 2\alpha_0;$$

$$Jy = Jx_0 \sin^2\alpha_0 + Jy_0 \cos^2\alpha_0 + Jx_0y_0 \sin 2\alpha_0.$$

მთავარი ღერძების მიმართულებისა და ინერციის მომენტების სწორად განსაზღვრას ვამოწმებთ ფორმულებით:

$$Jx + Jy = Jx_0 + Jy_0$$

და

$$Jxy = \frac{1}{2}\left(Jx_0 - Jy_0\right)\sin 2\alpha_0 + Jx_0y_0 \cos 2\alpha_0 = 0.$$

ინერციის ელიფსის რადიუსებს ვპოულობთ ფორმულებით:

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}}; \qquad i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}}.$$

რადიუსებს გადავზომავთ შემდეგნაირად: x ღერძზე i_y-ს და y ღერძზე i_x-ს.

§ 22. ბრტყელი კვეთების სიმძიმის ცენტრის მოძებნა

8.1. განვსაზღვროთ სიმძიმის ცენტრის კოორდინატები ნახაზზე მოცემული ბრტყელი კვეთისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა: კვეთის სიმძიმის ცენტრი მდებარეობს სიმეტრიის ღერძზე. თუ ფართობს აქვს ორი სიმეტრიის ღერძი, სიმძიმის ცენტრს განვსაზღვრავთ სიმეტრიის ღერძების გადაკვეთის წერტილით, ნახაზზე მოცემული კვეთის სიმძიმის ცენტრი მდებარეობს $a-a$ სიმეტრიის ღერძზე, საჭიროა განვსაზღვროთ სიმძიმის ცენტრის მდებარეობა $a-a$ ღერძზე.

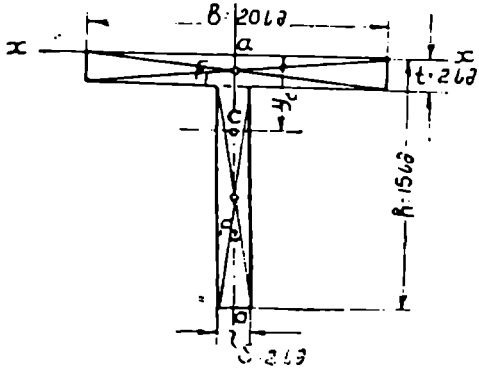
იმისათვის, რომ ვიპოვოთ სიმძიმის ცენტრის დაცილება $x-x$ ღერძიდან, ვსარგებლობთ პირობით:

$$F \cdot y_c = S_x,$$

საიდანაც

$$y_c = \frac{S_x}{F};$$

აქ S_x არის მთელი ფართობის სტატიკური მომენტი $x-x$ ღერძის მიმართ და ტოლია ცალ-ცალკე ელემენტარული ფართობების სტატიკური მომენტების ჯამისა. თუ მოცემულ ფართობს წარმოვიდგენთ F_1 და F_2 ფართობებისაგან შემდგარს, გვექნება:



8.1 ამოცანისათვის.

$$S_x = F_1 y_1 + F_2 y_2 = 2 \cdot 20 \cdot 1 + 2 \cdot 13(6{,}5+2) = 261 \text{სმ}^3.$$

მთელი ფართობი

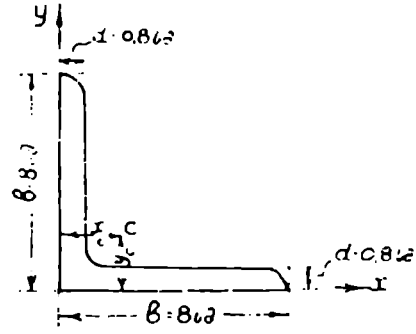
$$F = 2 \cdot 20 + 2 \cdot 13 = 66 \text{ სმ}^2.$$

თუ შევიტანთ მნიშვნელობებს, გვექნება:

$$y_c = \frac{261}{66} = 3{,}95 \text{ სმ}.$$

8.2. ტოლთაროიანი კუთხოვანი რკინისათვის, რომლის ზომებია 80×80×8 მმ, ვიპოვოთ სიმძიმის ცენტრის კოორდინატები y_c და x_c და შემდეგ შევადაროთ სორტამენტის მიხედვით მოცემულ სიმძიმის ცენტრის კოორდინატებს y_c და x_c-ს.

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: სიმძიმის ცენტრის გაანგარიშებისას ტოლთაროიან კუთხოვან რკინას ვაძლევთ სქემატურ სახეს. უკანასკნელს ვყოფთ სწორკუთხედებად. სტატიკური მომენტები უმჯობესია ვიანგარიშოთ y და x ღერძების მიმართ.



8.2 ამოცანისათვის.

პ ა ს უ ხ ი: გაანგარიშების მიხედვით $y_c = x_c = 2{,}29$ სმ;
სორტამენტის მიხედვით $y_c = x_c = 2{,}27$ სმ;
განსხვავება %-ით 0,875 %.

8.3. არატოლთაროიანი კუთხოვანი რკინისათვის, რომლის ნომერია № $\frac{15}{10}$ და ზომები $150 \times 100 \times 10$ მმ, ვიპოვოთ სიმძიმის ცენტრის კოორდინატები უშუალო გამოთვლით და სორტამენტის მიხედვით, შემდეგ კი შევადაროთ ერთმანეთს.

უშუალო გაანგარიშებისას, გამარტივების მიზნით კუთხოვანი რკინის ფართობს ვაძლევთ სქემატურ სახეს, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები.

პასუხი:

გაანგარიშების მიხედვით

$y_c = 4{,}88$ სმ, $x_c = 2{,}37$ სმ.

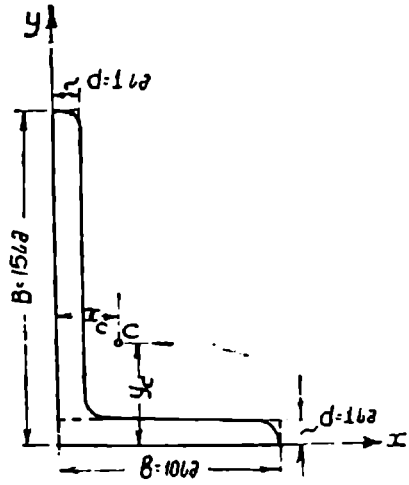
სორტამენტის მიხედვით

$y_c = 4{,}81$ სმ, $x_c = 2{,}35$ სმ.

განსხვავება

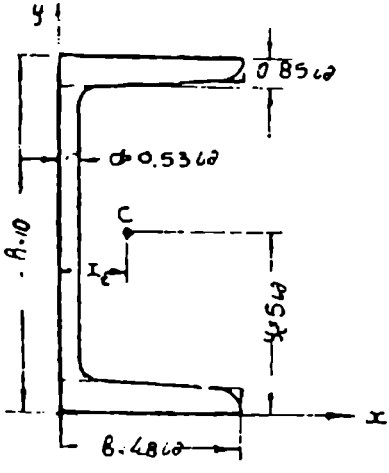
y_c —— 1,43%.

x_c —— 0,89%.



8.3 ამოცანისათვის.

8.4. №10 შველერისათვის, რომლის სქემატური ნახაზი და ზომები მოცემულია, ვიპოვოთ სიმძიმის ცენტრის კოორდინატები და შემდეგ შევადაროთ სორტამენტის მიხედვით მოცემულს.



8.4 ამოცანისათვის.

გაანგარიშების მიხედვით

$y_c = 5$ სმ; $x_c = 1{,}65$;

სორტამენტის მიხედვით

$y_c = 5$ სმ; $x_c = 1{,}52$;

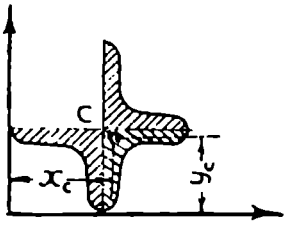
განსხვავება

y —— 0%, x —— 8,5%.

8.5. სამი ერთნაირი ტოლგვერდა კუთხოვანი რკინისაგან $45 \times 45 \times 4$ მმ შედგენილია კვეთი, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები.

ვიპოვოთ შედგენილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის კოორდინატები x_c და y_c.

მითითება: გაანგარიშების გასაადვილებლად ვისარგებლოთ სორტამენტით; სახელდობრ, სორტამენტის დახმარებით განვსაზღვროთ როგორც თვითეული კუთხოვანი რკინის განივკვეთის ფართობი, ისე სიმძიმის ცენტრის კოორდინატები.

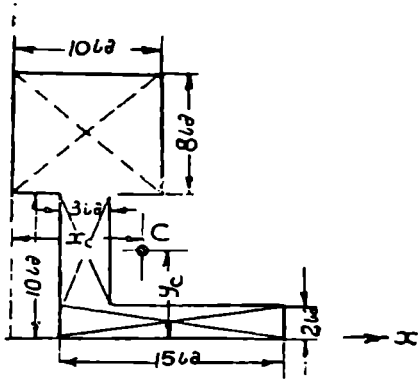


8.5 ამოცანისათვის.

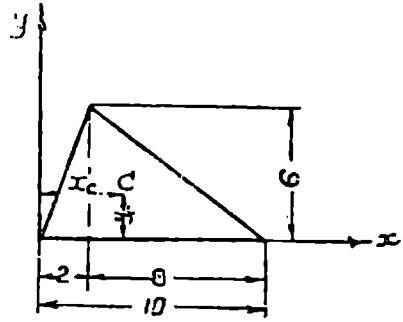
პასუხი: $x_c = 4{,}9$ სმ;
$y_c = 4{,}08$ სმ.

8.6. ვიპოვოთ ნახაზზე მოცემული ფართობის სიმძიმის ცენტრის კოორდინატები x_c და y_c.

პასუხი: $y_c = 9{,}66$ სმ;
$x_c = 6{,}54$ სმ.



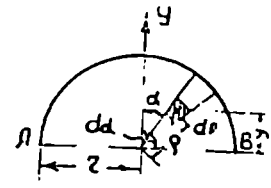
8.6 ამოცანისათვის.



8.7 ამოცანისათვის.

8.7. მოცემული სამკუთხედისათვის ვიპოვოთ სიმძიმის ცენტრის კოორდინატები x_c და y_c.

მითითება: სწორკუთხოვანი სამკუთხედის სიმძიმის ცენტრი ფუძიდან დაცილებულია $\frac{1}{3}h$-ით, ხოლო წვეროდან $\frac{2}{3}h$-ით.



8.8 ამოცანისათვის.

პასუხი: $y_c = 2$ სმ;
$x_c = 4$ სმ.

8.8. ვიპოვოთ ნახევარი წრის ფართობის სიმძიმის ცენტრის დაცილება დიამეტრიდან.

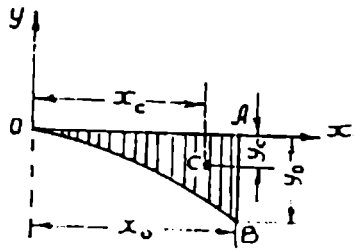
მითითება: ელემენტარული ფართობი $dF=\rho d\alpha \cdot d\rho$, ხოლო სტატიკური მომენტი ელემენტარული ფართობის AB დიამეტრის მიმართ ტოლია:

$$dS=ydF=\rho \cdot \cos\alpha \cdot (\rho d\alpha d\rho).$$

თუ გავაინტეგრალებთ dS ზღვრებში $\left(-\frac{\pi}{2}\right)$-დან $\left(+\frac{\pi}{2}\right)$-მდე, მივიღებთ S-ის მნიშვნელობას.

პასუხი: $y_c=0{,}424r$.

8.9. ვიპოვოთ პარაბოლით შემოსაზღვრული OAB ფართობის სიმძიმის ცენტრის კოორდინატები x_c და y_c, თუ პარაბოლის განტოლება მოცემულია შემდეგი სახით: $y=\frac{qx^2}{2}$ (იხ. ნახაზი). ასეთ განტოლებას ვღებულობთ ღუნვის შესწავლისას, და უკანასკნელი გამოსახავს კონსოლური კოჭის მღუნავი მომენტების ეპიურას, როდესაც კოჭი დატვირთულია q ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით.



8.9 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: ვიცით, რომ $x_c=\frac{S_y}{F}$,

სადაც $$S_y=\int_0^{x_0} xdF=\int_0^{x_0} xydx=\int_0^{x_0} x\,\frac{qx^2}{2}\,dx=\frac{qx_0^4}{8},$$

ხოლო $$F=\int_0^{x_0} ydx=\int_0^{x_0}\frac{qx^2}{2}\cdot dx=\frac{qx_0^3}{6}.$$

თუ შევიტანთ მნიშვნელობებს მივიღებთ:

$$x_c=\frac{qx_0^4 6}{8qx_0^3}=\frac{3}{4}x_0.$$

ანალოგიურად ვიპოვით y_c-ს;

$$y_c=\frac{Sx}{F};$$

$$S_x=\int_0^{x_0}-\frac{y}{2}\cdot dF=-\int_0^{x_0}\frac{qx^2}{4}\cdot y\cdot dx=-\int_0^{x_0}\frac{q^2x^4}{8}\cdot dx=-\frac{q^2\cdot x_0^5}{40}.$$

თუ შევიტანთ F და Sx-ის მნიშვნელობებს, მივიღებთ:

$$y_c = -\frac{q^2 x_0^5 \cdot 6}{40 q x_0^3} = -\frac{3}{10} \cdot \frac{q x_0^2}{2} = -\frac{3}{10} y_0 ;$$

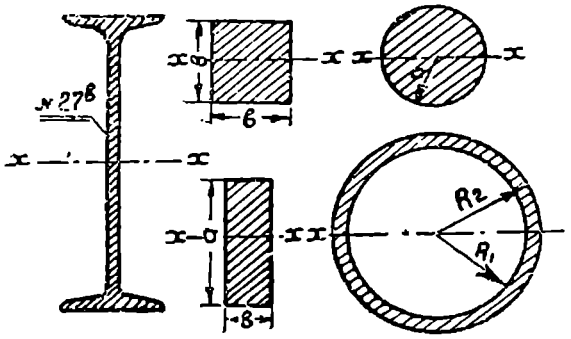
$$y_c = \frac{3}{10} y_0 .$$

§ 23. ბრტყელი კვეთის ღერძული და ცენტრიდანული ინერციის მომენტების და წინაღობის მომენტის გამოთვლა

8.10. № 27[ბ] ორტესებრი ფორმის განივკვეთის ფართობი და ინერციის მომენტი სიმძიმის ცენტრზე გამავალი $x-x$ ღერძის მიმართ სორტამენტის მიხედვით ტოლია:

$$F = 60 \text{ სმ}^2 \quad \text{და} \quad J_x = 6870 \text{ სმ}^4 .$$

ვიპოვოთ ინერციის მომენტები სიმძიმის ცენტრზე გამავალი $x-x$ ღერძის მიმართ სხვადასხვა ფორმის კვეთებისათვის და შევადაროთ ორტესებრივს თუ მათი ფართობები ტოლია. ფართობების ფორმებს ვიღებთ კვადრატულს, სწორკუთხოვანს გვერდების ფარდობით $\frac{h}{b} = 3$, წრიულს და რგოლისებრს რადიუსების ფარდობით $\frac{R_1}{R_2} = 0{,}9$.



8.10 ამოცანისათვის.

პასუხი: კვადრატული კვეთისათვის $J_x = 300$ სმ^4, რაც შეადგენს ორტესებრი კვეთის 4,37%;

სწორკუთხოვანი კვეთისათვის $J_x = 900$ სმ^4, რაც შეადგენს ორტესებრი კვეთის 13,1%;

წრიული კვეთისათვის $J_x = 286$ სმ^4, რაც შეადგენს ორტესებრი კვეთის 4,17%;

რგოლისებრი კვეთისათვის $J_x = 2700$ სმ^4, რაც შეადგენს ორტესებრი კვეთის 39,3%.

8.11. წინა ამოცანაში მოცემული ორტესებრი კვეთისათვის ვიპოვოთ წინაღობის მომენტი $x-x$ ღერძების მიმართ სორტამენტის მიხედვით

და შემდეგ შევადაროთ ამავე ამოცანაში აღებულ კვადრატული, სწორკუთხოვანი, წრიული და რგოლისებრი კვეთების წინაღობის მომენტებს.

პასუხი: ორტესებრი კვეთისათვის სორტამენტის მიხედვით $W_z = 509$ სმ³;

კვადრატული კვეთისათვის $W_z = 77{,}4$ სმ³, რაც შეადგენს ორტესებრი კვეთის 15,2%,

სწორკუთხოვანი კვეთისათვის $W_z = 134$ სმ³, რაც შეადგენს ორტესებრი კვეთის 26,4%.

წრიული კვეთისათვის $W_z = 65{,}7$, რაც შეადგენს ორტესებრი კვეთის 12,9%.

რგოლისებრი კვეთისათვის $W_z = 270$, რაც შეადგენს ორტესებრი კვეთის 53%.

8.12. მოცემული გვაქვს ტოლფერდიანი სამკუთხედი და სწორკუთხედი, რომელთა სიმაღლეები და განივკვეთის ფართობები თანატოლია.

ვიპოვოთ სწორკუთხედის და სამკუთხედის ინერციის მომენტები, სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძების მიმართ, თუ ფართობები $F = 300$ სმ², ხოლო სწორკუთხედის ფუძის სიმაღლესთან ფარდობა $\frac{b}{h} = \frac{1}{3}$.

ამოხსნა: ვიპოვოთ სწორკუთხედის ზომები $b \cdot h = F$.

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ $\frac{b}{h} = \frac{1}{3}$

გვექნება: $\frac{h^2}{3} = F$, $h = \sqrt{3 \cdot 300} = 30$ სმ და $b = 10$ სმ.

სამკუთხედის ფართობი ტოლი იქნება:

$$\frac{bh}{2} = F; \qquad \frac{b \cdot 30}{2} = 300 \text{ სმ}^2; \qquad b = \frac{300 \cdot 2}{30} = 20 \text{ სმ}.$$

სწორკუთხედის ინერციის მომენტი ტოლია

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{10 \cdot 30^3}{12} = 22\,500 \text{ სმ}^4.$$

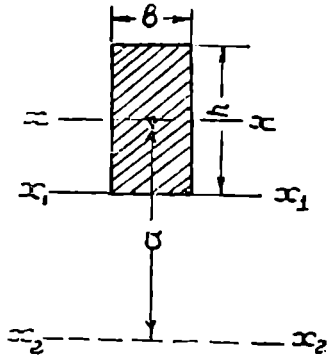
სამკუთხედის ინერციის მომენტი

$$J = \frac{bh^3}{36} = \frac{20 \cdot 30^3}{36} = 15\,000 \text{ სმ}^4.$$

განსხვავება პროცენტობით

$$\frac{22500 - 15\,000}{22500} 100 = 33{,}4\%.$$

8.13. ვიპოვოთ ინერციის ღერძული მომენტები სწორკუთხოვანი კვეთისათვის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი $x-x$ ღერძის პარალელური ღერძების x_1-x_1 და x_2-x_2 მიმართ, თუ კვეთის ზომებია: $h=20$ სმ, $b=10$ სმ და x_2-x_2; ღერძის დაცილება $x-x$ ღერძიდან ტოლია $a=30$ სმ.



8.13 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: $x-x$ ღერძის მიმართ ინერციის ღერძული მომენტი იანგარიშება ფორმულით:

$$J_{x-x}=\frac{bh^3}{12}=\frac{10\cdot 20^3}{12}=6670 \text{ სმ}^4.$$

x_1-x_1, ანუ ფუძეზე გამავალი ღერძის მიმართ ინერციის მომენტი ტოლია:

$$J_{x_1-x_1}=\frac{bh^3}{3}=\frac{10\ \ 20^3}{3}=26700 \text{ სმ}^4,$$

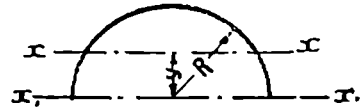
ხოლო x_2-x_2 ღერძის მიმართ:

$$J_{x_2-x_2}=J_{x-x}+a^2F=6670+30^2\ \ 200=186\,670 \text{ სმ}^4.$$

8.14. განვსაზღვროთ ნახევარი წრისათვის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ ინერციის მომენტი (იხ. ნახაზი).

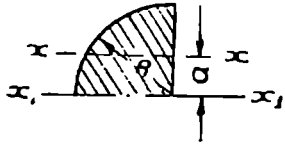
ამოხსნა: ჩვენთვის ცნობილია ინერციის მომენტი დიამიტრზე გამავალი ღერძის მიმართ

$$J_{x_1-x_1}=\frac{\pi R^4}{8}.$$



8.14 ამოცანისათვის.

მეორეს მხრივ ვიცით პარალელურ ღერძებს შორის დამოკიდებულება



8.15 ამოცანისათვის.

$$J_{x_1-x_1}=J_{x-x}+a^2F, \text{ სადაც } a=y=0{,}424R.$$

თუ განვსაზღვრავთ J_{x-x} და შევიტანთ a და F-ს მნიშვნელობებს, გვექნება:

$$J_{x-x}=J_{x_1-x_1}-a^2F=\frac{\pi R^4}{8}-(0{,}424R)^2\cdot\frac{\pi R^2}{2}$$

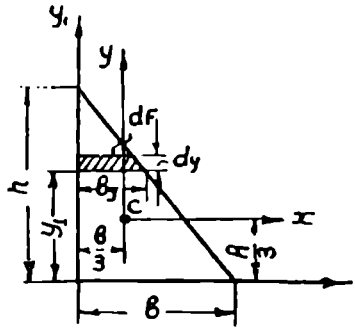
$$J_{x-x}=0{,}11R^4.$$

8.15. განვსაზღვროთ წრის მეოთხედისათვის ღერძული ინერციის მომენტი სიმძიმის ცენტრზე გამავალი $x-x$ ღერძის მიმართ.

მ ი თ ი თ ე ბ ა: ინერციის მომენტი მეოთხედი წრის x_1-x_1, ღერძის მიმართ ტოლია $\frac{\pi R^4}{16}$, ხოლო ღერძებს შორის დაცილება $a=0{,}424\ R$.

პ ა ს უ ხ ი: $J_{x-x}=0{,}0549\ R^4$.

8.16. განსაზღვროთ სწორკუთხოვანი სამკუთხედისათვის, რომლის სიმაღლეა h, ხოლო ფუძე b, ცენტრიდანული ინერციის მომენტი x_1, y_1 ღერძების მიმართ, და x, y ღერძების მიმართ, რომელთა სათავე მდებარეობს კვეთის სიმძიმის ცენტრში.



8.16 ამოცანისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა: ინერციის ცენტრიდანული მომენტი x_1, y_1 ღერძების მიმართ ტოლია:

$$J_{x_1-y_1}=\int Fx_1y_1dF.$$

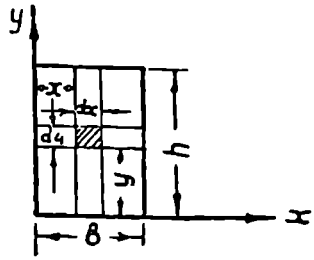
თუ ინტეგრალის ნიშნის ქვეშ მყოფ ყველა ელემენტს გამოვსახავთ y_1-ის საშუალებით გვექნება:

$$dF=by\quad dy=\frac{b}{h}(h-y_1)\,dy;$$

$$x_1=\frac{b_y}{2}=\frac{b(h-y_1)}{2h}.$$

თუ შევიტანთ მნიშვნელობებს, მივიღებთ:

$$J_{x_1y_1}=\int_0^h\frac{b}{h}\left(h-y_1\right)y_1\frac{b(h-y_1)}{2h}\,dy=\frac{b^2}{2h^2}\int_0^h(h-y_1)^2y_1dy=\frac{b^2h^2}{24}.$$



8.17 ამოცანისათვის.

ვისარგებლოთ პარალელურ ღერძებს შორის დამოკიდებულებით, რომელსაც ერთი მათგანი ცენტრალურია, გვექნება:

$$J_{x_1y_1}=J_{xy}+F\left(\frac{h}{3}\right)\left(\frac{b}{3}\right),$$

საიდანაც

$$J_{xy}=\frac{b^2h^2}{24}-\frac{b^2h^2}{18}=-\frac{b^2h^2}{72}\text{ სმ}^4.$$

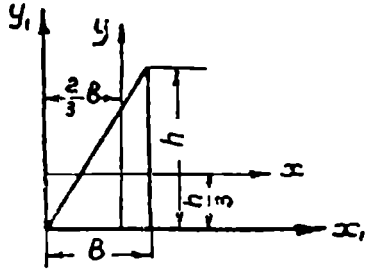
8.17. განსაზღვროთ გაინტეგრალების საშუალებით სწორკუთხოვანი კვეთის (ზომებით b და h) ცენტრიდანული მომენტი x, y ღეროების მიმართ.

პასუხი: $J_{xy}=\frac{b^3h^2}{4}$.

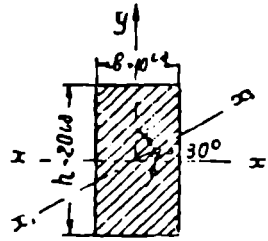
8.18. განვსაზღვროთ საშკუთხედის ინერციის ცენტრიდანული მომენტი y და x ღერძების მიმართ, რომელსაც აქვს ნახაზზე ნაჩვენები მდებარეობა.

პასუხი: $J_{xy}=\frac{b^2h^2}{72}$.

8.19. მოცემულია სწორკუთხოვანი კვეთი, რომლის ზომებია 10×20 სმ, განვსაზღვროთ ინერციის მომენტი x_1—x_1 ღერძის მიმართ, რომელიც გადის სიმძიმის ცენტრში და x—x ღერძთან შეადგენს $\alpha=30°$ კუთხეს.



8.18 ამოცანისათვის.



8.19 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: ინერციის მომენტი x—x ღერძის მიმართ ტოლია:

$$J_x=\frac{bh^3}{12}=\frac{10\cdot 20^3}{12}=6670\ \text{სმ}^4,$$

ხოლო x_1—x_1 ღერძის მიმართ $J_{x_1}=J_x\cos^2\alpha+J_y\sin^2\alpha-J_{xy}\sin^2\alpha$.

ჩვენ ვიცით J_y-ის მნიშვნელობა

$$J_y=\frac{hb^3}{12}=\frac{20\cdot 10^3}{12}=1670\ \text{სმ}^4.$$

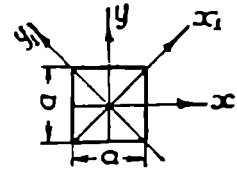
ცენტრიდანული მომენტი J_{xy}, თუ ერთ-ერთი ღერძი მაინც სიმეტრიის ღერძს წარმოადგენს ნულის ტოლია, ე. ი. $J_{xy}=0$. თუ შევიტანთ მნიშვნელობებს J_{x_1} გამოსახულებაში, გვექნება:

$$J_{x_1}=6670\cdot 0{,}75+1670\cdot 0{,}25=5420\ \text{სმ}^4.$$

8.20. ვიპოვოთ კვადრატული კვეთის ინერციის მომენტი სიმძიმის ცენტრზე გამავალი x და y ღერძების და x_1 და y_1 დიაგონალების მიმართ.

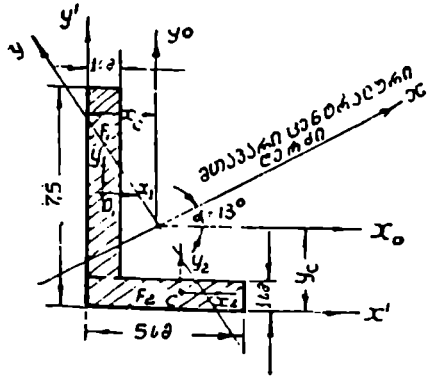
პასუხი: $J_x=J_y=J_{x_1}=J_{y_1}=\frac{a^4}{12}$.

8.21. განივკვეთისათვის, რომელიც შედგება ორი სწორკუთხედისაგან (არატოლთაროიანი კუთხოვანი რკინა—ზომები მოცემულია ნახაზზე), განსაზღვროთ: ა) სიმძიმის ცენტრის კოორდინატები, ბ) ინერციის ღერძული და ცენტრიდანული მომენტები ცენტრალური ღერძების მიმართ, რომელნიც მიმართული არიან სწორკუთხედის გვერდების პარალელურად, გ) მთავარი ღერძების მიმართულება და მთავარი ცენტრალური ინერციის მომენტების მნიშვნელობა, დ) ინერციის ელიფსის რადიუსების მნიშვნელობა, და ააგოთ ინერციის ელიფსი.



8.20 ამოცანისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა: განივკვეთის ფართობი დავყოთ ორ ელემენტარულ სწორკუთხოვან ფართობად და სიმძიმის ცენტრის მოსაძებნად შევარჩიოთ კოორდინატთა სისტემა $x'y'$.



8.21ა ამოცანისათვის.

კვეთის ფართობი ტოლია:

$$F=F_1+F_2=6{,}5\times 1+5\cdot 1=$$
$$=11{,}5 \text{ სმ}^2.$$

სტატიკური მომენტები x' და y' ღერძების მიმართ ტოლია:

$$S_{x'}=F_1\cdot y_1+F_2y_2=6{,}5\times 1(1+$$
$$+3{,}25)+5\times 1\times 0{,}5=30{,}1 \text{ სმ}^3;$$

$$S_{y'}=F_1x_1+F_2x_2=6{,}5\times 1\times 0{,}5+$$
$$+5\cdot 2{,}5=15{,}75 \text{ სმ}^3.$$

სიმძიმის ცენტრის კოორდინატები იქნება:

$$x_c=\frac{S_{y'}}{F}=\frac{15{,}75}{11{,}5}=1{,}37 \text{ სმ};$$

$$y_c=\frac{S_{x'}}{F}=\frac{30{,}1}{11{,}5}=2{,}61 \text{ სმ}.$$

ინერციის მომენტების სიდიდეები x, y ცენტრალური ღერძების მიმართ იქნება:

$$J_{x_0}=J^{\text{I}}_{x_0}+J^{\text{II}}_{x_0}.$$

$$J^{\text{I}}_{x_0}=\frac{b_1h_1^3}{12}+y^2_{c_1}F_1=\frac{1\cdot 6{,}5^3}{12}+(4{,}25-2{,}61)^2 6{,}5=40{,}4 \text{ სმ}^4;$$

$$J^{\text{II}}_{x_0}=\frac{b_2h_2^3}{12}+y^2_{c_2}F_2=\frac{5\cdot 1^3}{12}+(2{,}61-0{,}5)^2\cdot 5=22{,}62 \text{ სმ}^4;$$

$$J_{x_0} = J^{I}_{x_0} + J^{II}_{x_0} = 40{,}4 + 22{,}62 = 63{,}02 \text{ სმ}^4;$$

$$J_{y_0} = J^{I}_{y_0} + J^{II}_{y_0}.$$

$$J^{I}_{y_0} = \frac{h_1 b_1^3}{12} + x^2_{c_1} \cdot F_1 = \frac{6{,}5 \cdot 1^3}{12} + (1{,}37 - 0{,}5)^2 \cdot 6{,}5 = 5{,}48 \text{ სმ}^4;$$

$$J^{II}_{y_0} = \frac{h_2 b_2^3}{12} + x^2_{c_2} F_2 = \frac{1 \cdot 5^3}{12} + (2{,}5 - 1{,}37)^2 \cdot 5 = 16{,}76 \text{ სმ}^4;$$

$$J_{y_0} = J^{I}_{y_0} + J^{II}_{y_0} = 5{,}48 + 16{,}76 = 22{,}24 \text{ სმ}^4;$$

$$J_{x_0 y_0} = J^{I}_{x_0 y_0} + J^{II}_{x_0 y_0} = x_{c_1} y_{c_1} F_1 + x_{c_2} y_{c_2} F_2 = (-0{,}87) \cdot 1{,}64 \cdot 6{,}5 + 1{,}13(-$$
$$-2{,}11) \cdot 5 = -21{,}18 \text{ სმ}^4.$$

მთავარი ცენტრალური ღერძის მიმართულება

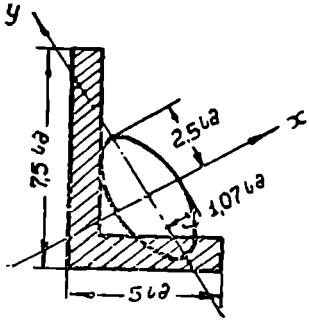
$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2J_{x_0 y_0}}{J_{y_0} - J_{x_0}} = -\frac{2 \cdot 21{,}18}{22{,}24 - 63{,}02} = 1{,}035;$$

$$2\alpha_0 = 46^\circ; \qquad \alpha_0 = 23^\circ.$$

განვსაზღვროთ მთავარი ცენტრალური ინერციის მომენტები:

$$J_x = J_{x_0} \cos^2 \alpha_0 + J_{y_0} \cdot \sin^2 \alpha_0 - J_{x_0 y_0} \cdot \sin 2\alpha_0 = 63{,}02 \cdot 0{,}92^2 + 22{,}24 \cdot 0{,}391^2 +$$
$$+ 21{,}18 \cdot 0{,}72 = 71{,}9 \text{ სმ}^4.$$

$$J_y = J_{x_0} \cdot \sin^2 \alpha_0 + J_{y_0} \cdot \cos^2 \alpha_0 + J_{x_0 y_0} \sin 2\alpha_0 = 63{,}02 \cdot 0{,}391^2 +$$
$$+ 22{,}24 \cdot 0{,}92^2 - 21{,}18 \cdot 0{,}72 = 13{,}25 \text{ სმ}^4.$$



ნახ. 8.21ბ ამოცანისათვის.

შ ე მ ო წ მ ე ბ ა:

ა) $I_{x_0} + J_{y_0} = J_x + J_y$;

$63{,}02 + 22{,}24 \approx 71{,}9 + 13{,}25.$

ბ) $J_{xy} = \frac{1}{2}\left(J_{x_0} - J_{y_0}\right) \sin 2\alpha_0 +$

$$+ J_{x_0 y_0} \cos 2\alpha = \frac{1}{2}\left(63{,}02 - 22{,}24\right) 0{,}72 -$$
$$- 21{,}18 \cdot 0{,}695 \approx 0.$$

ვიპოვოთ ინერციის ელიფსის რადიუსები ინერციის ელიფსის ასაგებად

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}} = \sqrt{\frac{71,9}{11,5}} = 2,5 \text{ სმ};$$

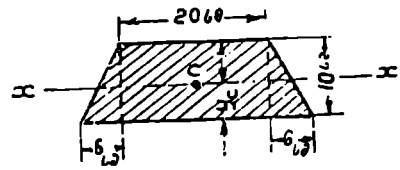
$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}} = \sqrt{\frac{13,25}{11,5}} = 1,07 \text{ სმ}.$$

გადავზომოთ $\pm i_x$ y ღერძზე, ხოლო $\pm i_y$ x ღერძზე და შემოვხაზოთ ელიფსი.

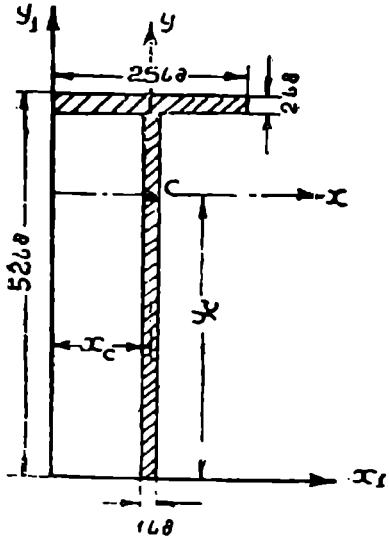
8.22. ტოლფერდიანი ტრაპეციისათვის (იხ. ნახაზი) ვიპოვოთ სიმძიმის ცენტრის მდებარეობა და სიმძიმის ცენტრზე გამავალი $X-X$ ღერძის მიმართ ინერციის ღერძული მომენტი.

პასუხი: $y_c = 4,62$ სმ;

$J_x = 2130$ სმ⁴.



8.22 ამოცანისათვის.



8.23 ამოცანისათვის.

8.23. ტესებრი კვეთისათვის, რომლის ზომები მოცემულია ნახაზზე, განვსაზღვროთ ინერციის მთავარი ცენტრალური ღერძების მიმართულება და ვიპოვოთ მთავარი ცენტრალური ინერციის მომენტი.

პასუხი:

$y_c = 38$ სმ; $x_c = 12,5$ სმ;

$J_x = 27330$ სმ⁴. $J_y = 2608$ სმ⁴.

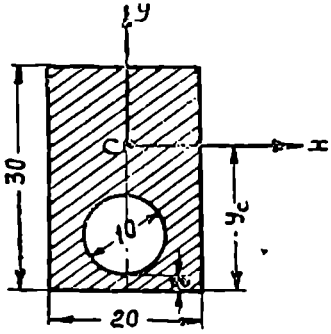
8.24. განვსაზღვროთ ინერციის მთავარი ცენტრალური ღერძების მდებარეობა სწორკუთხოვანი კვეთისათვის, რომელსაც აქვს წრიული ფორმის ამონაჭერი და ვიანგარიშოთ მთავარი ცენტრალური ინერციის მომენტები. ზომები ნახაზზეა მოცემული. ამონაჭერის ცენტრის დაცილება სწორკუთხედის ფუძიდან მივიღოთ 7,5 სმ ტოლი.

პასუხი: $y_c = 16,15$ სმ;

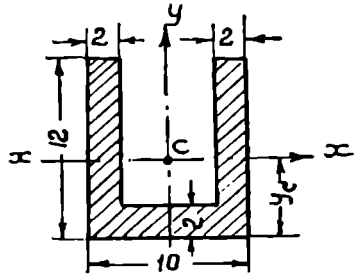
$J_y = 19510$ სმ⁴;

$J_x = 39930$ სმ⁴.

8.25. ვიპოვოთ ინერციის მთავარი ცენტრალური ღერძების მდებარეობა და ღერძული მომენტი ამ ღერძების მიმართ. კვეთის, ზომები და ფორმა მოცემულია ნახაზზე.



8.24 ამოცანისათვის.



8.25 ამოცანისათვის.

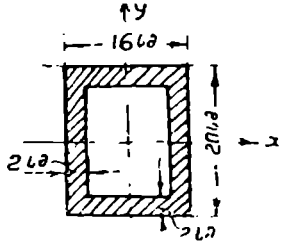
პასუხი: $y_c = 5$ სმ;

$J_x = 820$ სმ^4;

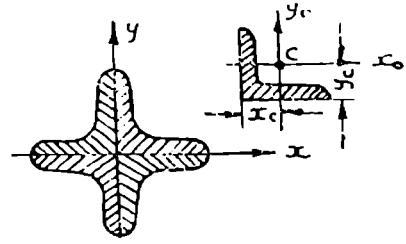
$J_y = 820$ სმ^4.

8.26. ვიპოვოთ მთავარი ცენტრალური ინერციის ღერძული მომენტი კვეთისათვის, რომლის ზომებიც მოცემულია ნახაზზე.

პასუხი: $J_x = 6565$ სმ^4; $J_y = 4520$ სმ.



8.26 ამოცანისათვის.



8.27 ამოცანისათვის.

8.27. მოცემული გვაქვს ოთხი კუთხოვანი რკინისაგან (№ 200×200×20 მმ) შედგენილი კვეთი ნახაზზე ნაჩვენები სახით.

ვიპოვოთ ინერციის მთავარი ღერძების მიმართულება და მთავარი ინერციის მომენტის მნიშვნელობა.

მითითება: საჭიროა სორტამენტის საშუალებით ვიპოვოთ თვითეული რკინის სიმძიმის ცენტრის კოორდინატები, რის შემდეგაც განვსაზღვრავთ ინერციის მთავარ მომენტს.

პასუხი: $J_x = J_y = 21400$ სმ^4.

თავი მეცხრე

ნორმალური ძაბვების გაანგარიშება კოჭში. კვეთის შერჩევა დასაშვები ძაბვის და დასაშვები ტვირთის მეთოდით

მოკლე ცნობები თეორიიდან

დასაშვები ძაბვის მეთოდით გაანგარიშებისას საშიშ მდგომარეობად მიჩნეულია ისეთი დატვირთვა, რომელიც კვეთის ერთ წერტილში მაინც გამოიწვევს საშიშ ძაბვას (დენადობის ზღვარი ან დროებითი წინაღობა); ელემენტის ზომები მტკიცე იქნება იმ შემთხვევაში, თუ მაქსიმალური ძაბვა კვეთის არც ერთ წერტილში არ აღემატება დასაშვებ ძაბვას [σ]. სიმტკიცის პირობას ღუნვისას აქვს შემდეგი სახე:

$$\sigma_{max}=\frac{M_{max}}{W}\leqslant[\sigma].$$

კვეთის ნებისმიერ წერტილში ნორმალური ძაბვა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma=\frac{M\cdot z}{J}.$$

დასაშვები მაქსიმალური მღუნავი მომენტის სიდიდე, რომელიც შეიძლება კვეთს მივაყენოთ, განისაზღვრება. ფორმულით:

$$[M]\leqslant W\cdot[\sigma].$$

კვეთის ზომებს ვადგენთ წინაღობის მომენტის განსაზღვრით (გეომეტრიული მახასიათებელი, რომელიც გამოსახავს კვეთის ფორმას და ზომებს).

$$W\geqslant\frac{M_{max}}{[\sigma]}.$$

განვსაზღვრავთ რა წინაღობის მომენტს, კვეთის ზომებს ვპოულობთ შემდეგნაირად: I აგალითად, წრიული კვეთისათვის რადიუსს ვპოულობთ შემდეგი ფორმულით:

$$R=\sqrt[3]{\frac{4M_{max}}{\pi}},$$

ხოლო თუ გვაქვს კვეთი, რომლის მახასიათებლებიც მოცემულია სორტამენტში, ზომებს და სხვა მახასიათებლებს, როდესაც ცნობილია წინაღობის მომენტი, ვეძებთ სორტამენტის მიხედვით.

ზემოთ მოყვანილი ფორმულებით ჩვენ დავადგენთ კვეთის ზომებს ბრტყელი ღუნვისას, თუ მასალა ერთნაირად მუშაობს გაჭიმვაზე და კუმშვაზე და კვეთი სიმეტრიულია ნეიტრალური ღერძის მიმართ.

იმ შემთხვევაში, თუ კვეთი არ არის სიმეტრიული ნეიტრალური ღერძის მიმართ, მაგრამ მასალა ერთნაირად მუშაობს კუმშვაზე და გაჭიმვაზე, სიმტკიცის პირობას ექნება სახე:

$$\sigma_{max}=\frac{M_{max}}{W_0}\leqslant[\sigma],$$

სადაც W_0 არის მინიმალური წინაღობის მომენტი, რომელსაც შეიძლება ადგილი ჰქონდეს გაჭიმულ ან შეკუმშულ ზონაში.

თუ კვეთი არ არის სიმეტრიული ნეიტრალური ღერძის მიმართ და ამავე დროს მასალაც არ მუშაობს ერთნაირად გაჭიმვაზე და კუმშვაზე, გვექნება ორი სიმტკიცის პირობა გაჭიმული და შეკუმშული ზონებისათვის ცალ-ცალკე

$$\sigma_{max}=\frac{M_{max}}{W_1}\leqslant[\sigma]_{\text{გ}};$$

$$\sigma_{max}=\frac{M_{max}}{W_2}\leqslant[\sigma]_{\text{კ}}.$$

კვეთის ზომები ისე უნდა შევარჩიოთ, რომ ორივე პირობა დაკმაყოფილდეს.

ზღვრული ტვირთის ან დასაშვები ტვირთის მეთოდით ანგარიშობენ პლასტიკურ მასალას. საში მდგომარეობად მიჩნეულია ის დატვირთვა, რომელიც კვეთის გაჭიმულ და შეკუმშულ ზონაში გამოიწვევს გამჭიმავ და შემკუმშავ ძაბვას, რომელიც მთელ მის ზონაში თანაბრად არის განაწილებული და დენადობის ზღვარის ტოლია.

თუკი წინა მეთოდით გაანგარიშებისას ნეიტრალური შრე გადიოდა სიმძიმის ცენტრში, დასაშვები ტვირთის მეთოდით გაანგარიშების დროს ნეიტრალური შრე ფართობს ჰყოფს ორ თანატოლ ფართობად. სიმეტრიული კვეთებისათვის ნეიტრალური შრე გადის ისევ სიმძიმის ცენტრში, ხოლო არასიმეტრიული კვეთებისათვის ჩვენ გვიხდება მათი განსაზღვრა.

ზღვრული ტვირთის მეთოდით ზღვრული დატვირთვით გამოწვეული მომენტი

$$M=\sigma_{\text{ზ}}(S_1+S_2),$$

სადაც $\sigma_ე$ არის მასალის დენადობის ზღვარი, ხოლო S_1 და S_2—ზედა და ქვედა ფართობების სტატიკური მომენტი ნეიტრალური შრის მიმართ.

თუ ქვეთი სიმეტრიულია

$$S_1 = S_2 \qquad \text{და} \qquad M = 2\sigma_ე S.$$

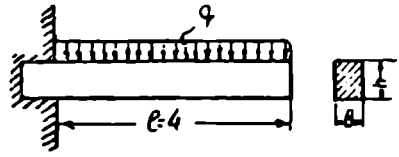
დასაშვები ტვირთი კი ტოლია

$$[M] = \frac{2\sigma_ე S}{n_ე},$$

სადაც $n_ე$ მარაგის კოეფიციენტია.

§ 24. ნორმალური ძაბვის და დასაშვები მაძსიმალური დატვირთვის განსაზღვრა

9.1. ხის კონსოლური კოჭი, რომლის განივკვეთის ზომებია 18×36 სმ და მალი $l = 4$ მ, დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით, ინტენსივობით $q = 0{,}5$ ტ/მ. ვიპოვოთ მაქსიმალური ძაბვა ჩამაგრების კვეთში და მალის შუა ადგილას (იხ. ნახაზი).



9.1 ამოცანისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა: მაქსიმალურ ძაბვას ჩამაგრების კვეთში განვსაზღვრავთ ფორმულით:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W}.$$

ჩამაგრების კვეთისათვის

$$M_{max} = \frac{ql^2}{2} = \frac{500 \cdot 4^2}{2} = 4\,000 \text{ კგ. მ} = 400\,000 \text{ კგ. სმ.}$$

წინაღობის მომენტი კი ტოლია:

$$W = \frac{bh^3}{6} = \frac{18 \cdot 36^2}{6} = 3\,900 \text{ სმ}^3.$$

თუ შევიტანთ მღუნავი მომენტის და წინაღობის მომენტის მნიშვნელობებს, გვექნება:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W} = \frac{400\,000}{3\,900} = 102{,}5 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ანალოგიურად ვიპოვით მაქსიმალურ ნორმალურ ძაბვას მალის შუა კვეთში:

$$\sigma = \frac{M_{\frac{l}{2}}}{W} \cdot M_{\frac{l}{2}} = \frac{ql^2}{8} = \frac{500 \cdot 4^2}{8} = 1\,000 \text{ კგ. მ} = 100\,000 \text{ კგ. სმ.}$$

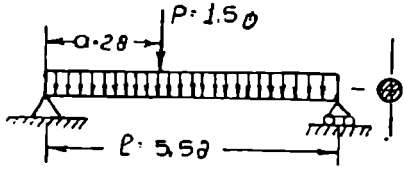
წინაღობის მომენტი იგივეა, რადგანაც კვეთის ზომები მალის სიგრძეზე უცვლელი რჩება. თუ შევიტანთ მნიშვნელობებს, ვიპოვით მაქსიმალურ ძაბვას

$$\sigma = \frac{100\,000}{3\,900} = 25{,}6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

9.2. წინა ამოცანაში მოცემული კოჭისათვის ვიპოვოთ ჩამაგრების კვეთში ნორმალური ძაბვა ნეიტრალური შრიდან 9 სანტიმეტრის დაშორებით.

პასუხი: $\sigma = 51{,}25$ კგ/სმ^2.

9.3. წრიული კვეთის ძელზე, რომლის მალია $l = 5{,}5$ მ დიამეტრი $d = 28{,}4$ სმ, მოქმედებს თანაბრად განაწილებული ტვირთი ინტენსივობით $q = 226$ კგ/მ და ძალა $P = 1{,}5$ ტ, მარცხენა საყრდენიდან 2 მეტრის მანძილზე.



9.3 ამოცანისათვის.

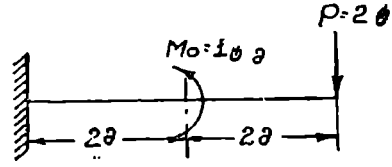
განსაზღვროთ საშიში კვეთი და ამ კვეთში მაქსიმალური ძაბვა.

პასუხი: $\sigma = 120$ კგ/სმ^2.

9.4. ორტესებრი ფოლადის № 27^b კონსოლურ კოჭზე მოქმედებს ძალა $P = 2$ ტ და წყვილი ძალა $M_0 = 1$ ტ. მ, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები.

განვსაზღვროთ საშიში კვეთი და ამ კვეთში მაქსიმალური ძაბვა.

მითითება: წინაღობის მომენტს № 27b კოჭისათვის ვიპოვით სორტამენტის მიხედვით. ●



9.4 ამოცანისათვის.

პასუხი: $\sigma = 1\,375$ კგ/სმ^2.

9.5. წყლით სავსე თუჯის მილი, რომლის გარე დიამეტრი $D = 1$ მ-ს და კედლის სისქე $\delta = 3$ სმ-ს, ბოლოებით დაყრდნობილია საყრდენებზე.

ვიპოვოთ საშიში კვეთი და მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა ამ კვეთში, თუ საყრდენებს შორის მანძილი 4 მ-ია. ამოცანის გადაწყვეტისას მხედველობაში მივიღოთ როგორც წყლის, ისე თუჯის მილის საკუთარი წონა, თუ თუჯის მოცულობითი წონა $\gamma_2 = 7{,}2$ გ/სმ^3.

ამოხსნა: წყლის წონით გამოწვეული დატვირთვა ერთ გრძივ მეტრზე ტოლია:

$$q_1=\frac{\pi(D-2\delta)^2}{4}\gamma\cdot 100=\frac{3{,}14\cdot(100-2\cdot 3)^2}{4}\cdot 1\times 100=695\,000\ \text{გ/მ}.$$

$$q_1=695\ \text{კგ/მ}.$$

თუჯის მილის საკუთარი წონით გამოწვეული დატვირთვა ერთ გრძივ მეტრზე ტოლია:

$$q_2=\frac{\pi}{4}(D^2-d^2)\cdot\gamma_2\cdot 100=\frac{3{,}14}{4}(100^2-94^2)\cdot 7{,}2\cdot 100=$$

$$=650\,000\ \text{გრ/მ}=650\ \text{კგ/მ}.$$

წყლისა და მილის საკუთარი წონით გამოწვეული ინტენსივობა ერთად:

$$q=q_1+q_2=695+650=1\,345\ \text{კგ/მ}.$$

მილის შუა კვეთში მაქსიმალური მღუნავი მომენტი

$$M_{max}=\frac{ql^2}{8}=\frac{1\,345\cdot 4^2}{8}=2\,690\ \text{კგ}\cdot\text{მ}=269\,000\ \text{კგ სმ}.$$

მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა:

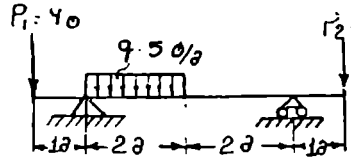
$$\sigma_{max}=\frac{M_{max}}{W},$$

სადაც

$$W=\frac{\pi}{4}R^3\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^4\right]=\frac{3{,}14}{4}\cdot 50^3\left[1-\left(\frac{47}{50}\right)^4\right]=21400\ \text{სმ}^3;$$

$$\sigma_{max}=\frac{269\,000}{21400}=12{,}6\ \text{კგ/სმ}^2.$$

9.6. მოცემული № 22ᵃ ორტესებრი ფოლადის კოჭზე მოქმედებს დატვირთვა, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები, ავაგოთ მღუნავი მომენტის და განივი ძალის ეპიურები.



9.6 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ მაქსიმალური მღუნავი მომენტის სიდიდე და ამ კვეთში მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა.

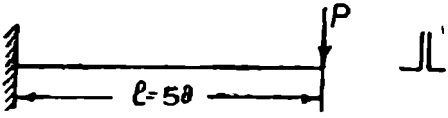
პასუხი: $\sigma_{max}=1\,290$ კგ/სმ².

9.7. ორ საყრდენზე სახსრულად დაყრდნობილ ხის კოჭზე, რომლის მალი $l=6$ მ-ს და განივკვეთის ზომები 15×35 სმ, მოქმედებს თანაბრად განაწილებული ტვირთი q ინტენსიობით.

ვიპოვოთ მაქსიმალური დასაშვები ინტენსივობის სიდიდე q, რომელიც შეიძლება უშიშრად მივაყენოთ კოჭს, თუ დასაშვები ნორმალური ძაბვა ღუნვისას ხის მასალისათვის $[\sigma]=100$ კგ/სმ².

პასუხი: $q=0{,}684$ ტ/მ.

9.8. კონსოლური კოჭის ბოლოზე, რომელიც შედგება ორი ტოლთაროიანი № 10 კუთხოვანი რკინისაგან, რომლის ზომებია 100×100×10 მმ, მოქმედებს P ძალა.



9.8 ამოცანისათვის.

ვიპოვოთ მაქსიმალური P ძალის სიდიდე, რომელიც შეიძლება უშიშრად მივაყენოთ კოჭს ბოლოზე, თუ კოჭის მალი $l=5$ მ-ს და დასაშვები ნორმალური ძაბვა

$$[\sigma]=1\,400 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ამოხსნა: დასაშვები მაქსიმალური მღუნავი მომენტი

$$]M]=[\sigma]\cdot W.$$

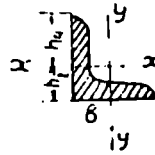
თუ შევიტანთ მღუნავი მომენტის მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$[M]=[\mathrm{P}]l;$$

$$[\mathrm{P}]=\frac{[\sigma]W}{l}.$$

წინაღობის მომენტი თვითეული კუთხოვანი რკინისათვის, რადგანაც საკანასკნელი არ არის სიმეტრიული, $x-x$ ღერძის მიმართ გვექნება ორი W_a და W_b. გაანგარიშებისას უნდა შევჩერდეთ უმცირესზე ანუ W_a-ზე. სორტამენტის მიხედვით

$$W_a=\frac{J_x}{h_1}=\frac{179}{7{,}17}=25 \text{ სმ}^3;$$



9.8 ამოცანისათვის.

რადგანაც გვაქვს ორი კუთხოვანი რკინა $W=2W_a=50$ სმ³.

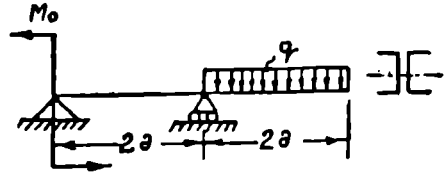
საბოლოოდ გვექნება

$$[\mathrm{P}]=\frac{1\,400\cdot 50}{500}=140 \text{ კგ}.$$

9.9. ვიპოვოთ ნორმალური მაქსიმალური და მინიმალური ძაბვები ჭამაგრების კვეთში, მალის შუაში და ძალის მიყენების კვეთში წინა ამოცანაში მოცემული ორი კუთხოვანი რკინისაგან შედგენილი კონსოლური კოჭისათვის, რომლის ბოლოზეც მოქმედებს ძალა $\mathrm{P}=140$ კგ.

პასუხი: ჩამაგრების კვეთში $\sigma_{max}=1\,400$ კგ/სმ², $\sigma_{min}=552$ კგ/სმ²;
მალის შუა კვეთში $\sigma_{max}=700$ კგ/სმ², $\sigma_{min}=276$ კგ/სმ²;
ძალის მიყენების კვეთში $\sigma_{max}=0$, $\sigma_{min}=0$.

9.10. ორ საყრდენზე დაყრდნობილი კონსოლური კოჭი შედგება ორი № 14ª შველერისაგან. კოჭის მარცხენა ბოლოზე მოქმედებს წყვილი ძალა M_0, რომელიც ტოლია 2 ტ.მ.



9.10 ამოცანისათვის.

განსაზღვროთ მაქსიმალური თანაბრად განაწილებული ტვირთის მნიშვნელობა, რომლითაც შეიძლება დავტვირთოთ კოჭის კონსოლური ნაწილი, თუ შველერისათვის დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1600$ კგ/სმ². კოჭის სიგრძითი ზომები მოცემულია ნახაზზე.

პასუხი: $q_{max}=1\,290$ კგ/მ.

9.11. ვიპოვოთ მაქსიმალური ნორმალური ძაბვები საყრდენ კვეთებში წინა ამოცანაში მოცემული კოჭისათვის, როდესაც უკანასკნელის მარცხენა საყრდენზე მოქმედებს წყვილი ძალა $M_0=2$ ტ. მ, და კოჭის კონსოლური ნაწილი დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით, რომლის ინტენსივობა $q=1\,290$ კგ/მ.

პასუხი: მარცხენა საყრდენ კვეთში $\sigma_{max}=1\,240$ კგ/სმ²;
მარჯვენა საყრდენ კოჭში $\sigma_{max}=1\,600$ კგ/სმ².

9.12. მოცემულია ორ საყრდენზე მდებარე ხის კოჭი, რომლის ფუძე $b=10$ სმ.ს და სიმაღლე $h=25$ სმ-ს. კოჭის შუა მალზე მოქმედებს შეყურსული P ძალა.

ვიპოვოთ ძალის უდიდესი მნიშვნელობა, რომელიც შეიძლება კოჭს მივაყენოთ, როდესაც კოჭი ეყრდნობა საყრდენებს ფუძით ან სიმაღლით, თუ დასაშვები ნორმალური ძაბვა ღუნვისას $\sigma=120$ კგ/სმ² და მალი $l=6$ მ.

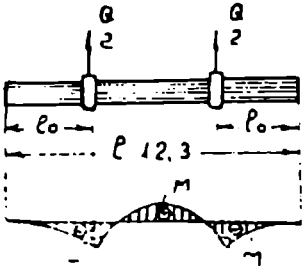
პასუხი: თუ კოჭი ფუძითაა დაყრდნობილი P=830 კგ.
თუ სიმაღლით არის დაყრდნობილი P=330 კგ.

9.13. არმატურა, რომლის დიამეტრი $d=1{,}2$ სმ-ს და სიგრძე $l=12{,}3$ მ-ს, აეწიოთ ამწით.

გამოვთვალოთ ბოლოებიდან რა მანძილზე უნდა მოვდოთ ვერტიკალური ძალა, რომ მივიღოთ ყველაზე უფრო ნაკლები მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა საშიშ კვეთში, არმატურის მოცულობითი წონა $\gamma=7{,}85$ გ/სმ³-ს.

მითითება: ყველაზე ნაკლები ნორმალური მაქსიმალური ძაბვა საშიშ კვეთში მაშინ იქნება, როდესაც ისე შევარჩევთ მოდების წერტილს,

რომ მღუნავი მომენტი საყრდენებთან გაუტოლდება მღუნავ მომენტს შალის შუა კვეთში (იხ. ნახაზი).



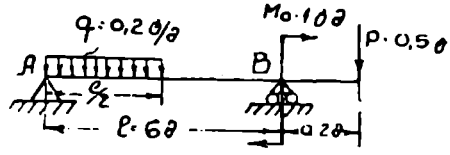
9.13 ამოცანისათვის.

პასუხი: მანძილები კოპის ბოლოებიდან, რომელზედაც უნდა მოვდოთ ძალა, რომ მივიღოთ ყველაზე ნაკლები მაქსიმალური ძაბვა საშიშ კვეთში, $l_0 = 255$ სმ, სადაც შესაფერისი მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა $\sigma = 1\,700$ კგ/სმ².

§ 25. კოჭის კვეთის შერჩევა

9.14. ხის კოპი, რომლის განივკვეთის გვერდების ფარდობაა $\frac{h}{b} = 2$, დატვირთულია ისე, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები.

შევარჩიოთ კოპისათვის კვეთის ზომები ისე, რომ კოჭმა იმუშაოს საიმედოდ. მოცემული ხის მასალისათვის დასაშვები ნორმალური ძაბვა ღუნვისას $[\sigma] = 100$ კგ/სმ².



9.14 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: იმისათვის, რომ კოჭმა იმედიანად იმუშაოს, საჭიროა მისი განივკვეთის ზომები ისე შევარჩიოთ, რომ საშიშ კვეთში მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა არ აღემატებოდეს დასაშვებს $[\sigma]$.

საშიში კვეთი იქნება ის, სადაც მღუნავი მომენტი აღწევს თავის მაქსიმალურ სიდიდეს. თუ ავაგებთ მღუნავი მომენტების ეპიურას B საყრდენთან მივიღებთ მაქსიმალურ მღუნავ მომენტს.

$$M_{max} = -Pa - M_0 = -0{,}5 \cdot 2 - 1 = -2 \text{ ტ. მ.} = -200\,000 \text{ კგ. სმ.}$$

სიმტკიცის პირობა ღუნვაზე დაიწერება შემდეგნაირად:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W} \leq [\sigma],$$

საიდანაც ვიპოვით კვეთის წინაღობის მომენტს W (გეომეტრიულ მახასიათებელს). მომენტის ნიშანს ყურადღებას არ ვაქცევთ, რადგანაც კვეთი სიმეტრიულია და მასალაც ერთნაირად მუშაობს როგორც კუმშვაზე, ასევე გაჭიმვაზე.

$$W \geq \frac{M_{max}}{[\sigma]} = \frac{200\,000}{100} = 2\,000 \text{ სმ}^3.$$

სწორკუთხიანი კვეთისათვის წინაღობის მომენტი $W=\frac{bh^2}{6}$.

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ $\frac{h}{b}=2$, გვექნება:

$$W=\frac{h}{2}\,\frac{h^2}{6}=\frac{h^3}{12}.$$

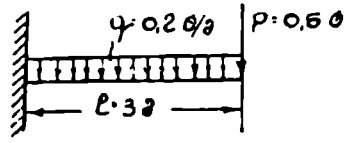
კოჭის ზომები ისე უნდა შევარჩიოთ, რომ $\frac{h^3}{12}\geq 2\,000$,

საიდანაც $h\geq\sqrt[3]{12\cdot 2\,000}=28{,}8$ სმ.

$$b=\frac{h}{2};\qquad b=14{,}4,$$

ე. ი. $h=28{,}8$ სმ და $b=14{,}4$ სმ.

9.15. მუხის კონსოლური კოჭი, რომლის განივკვეთის გვერდების ფარდობაა $\frac{h}{b}=3$, ბოლოზე დატვირთულია $P=0{,}5$ ტ ძალით და მთელს სიგრძეზე თანაბრად განაწილებული ტვირთით, ინტენსივობით $q=0{,}2$ ტ/მ.

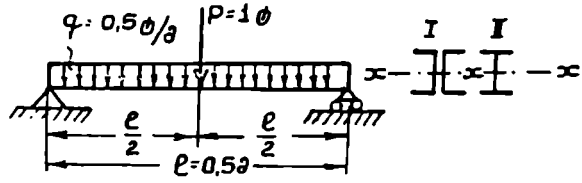


9.15 ამოცანისათვის.

შეეარჩიოთ მუხის კოჭის მტკიცე განივკვეთის ზომები, თუ დასაშვები ნორმალური ძაბვა მოცემული მასალისათვის ღუნვისას $[\sigma]=120$ კგ/სმ².

პასუხი: $h=33$ სმ; $b=11$ სმ.

9.16. ორ საყრდენზე მდებარე კოჭისათვის, რომელზეც მოქმედებს



9.16 ამოცანისათვის.

თანაბრად განაწილებული ტვირთი, ინტენსივობით $q=0{,}5$ ტ/მ და შეყურსული ძალა $P=1$ ტ, შეეარჩიოთ კვეთის ზომები სორტამენტის მიხედვით: 1) თუ კვეთი შედგება ორი შველერისაგან და 2) თუ კვეთს აქვს ორტესებრი ფორმა. დასაშვები ძაბვა ორივე შემთხვევისათვის მივიღოთ $[\sigma]=1\,400$ კგ/სმ². კოჭის მალი $l=6{,}5$.

ამოხსნა: კოჭის შუა მალში ადგილი ექნება მაქსიმალურ მღუნავ მომენტს

$$M_{max}=\frac{ql^2}{8}+\frac{Pl}{4}=\frac{0{,}5\cdot 6{,}5^2}{8}+\frac{1\cdot 6.5}{4}\approx 4{,}3 \text{ ტ.მ.}=430\,000 \text{ კგ. სმ.}$$

სიმტკიცის პირობიდან განვსაზღვრავთ წინაღობის მომენტს

$$W\geqslant\frac{M_{max}}{[\sigma]}=\frac{430\,000}{1\,400}=306 \text{ სმ}^3.$$

თუ კვეთი შედგება ორი შველერისაგან

$$2W_0=W; \qquad W_0\geqslant\frac{306}{2}=153 \text{ სმ}^3.$$

სორტამენტის მიხედვით ვარჩევთ შველერს № 18ᵇ, რომლის წინაღობის მომენტიც ტოლია $W_0'=152{,}2$ სმ³.

თუ კოჭი შედგება ორტესებრი ფორმის კვეთისაგან, წინაღობის მომენტი ტოლი უნდა იყოს $W=335$ სმ³. სორტამენტის მიხედვით ვეძებთ უახლოესს. მივიღებთ № 22ᵃ, რომლისთვისაც $W=309$ სმ³.

9.17. ორ საყრდენზე მდებარე ორტესებრი ფოლადის კოჭის თავისუფალი ბოლოებიდან ორი მეტრის მანძილზე მოქმედებს შეყურსული ძალები $P=2$ ტონას.

შევარჩიოთ ორტესებრი პროფილის ნომერი, თუ დასაშვები მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა ღუნვისას $[\sigma]=1\,400$ კგ/სმ².

პასუხი: № 22ᵃ.

9.18. ორ საყრდენზე მდებარე კოჭი დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით, ინტენსიობით $q=0{,}5$ ტ/მ და შეყურსული $P=1$ ტ ძალებით, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები.

შევარჩიოთ კუთხოვანი რკინის ნომერი, თუ კოჭის კვეთი შედგება ორი ტოლფერდა კუთხოვანი რკინისაგან და დასაშვები მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა აღებული მასალისათვის ტოლია:

$$[\sigma]=1\,600 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ამოხსნა: კოჭის შუა კვეთში ადგილი ექნება მაქსიმალურ მღუნავ მომენტს, რომელიც ტოლია:

$$M_{max}=\frac{ql^2}{8}+P\cdot a=\frac{0{,}5\cdot 5^2}{8}+1\cdot 1{,}5=3{,}06 \text{ ტ.მ.}=306\,000 \text{ კგ. სმ.}$$

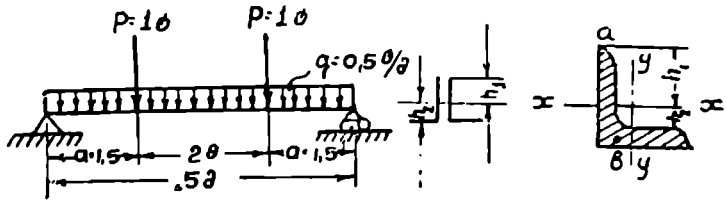
წინაღობის მომენტს ვიპოვით სიმტკიცის პირობიდან:

$$W\geqslant\frac{M_{max}}{[\sigma]}=\frac{306\,000}{1\,600}=191 \text{ სმ}^3.$$

რადგანაც ჩვენი კვეთი შედგება ორი ერთნაირი პროფილის კვეთისაგან, თვითეულის წინაღობის მომენტი ტოლი იქნება:

$$W_0 = \frac{W}{2} = 95{,}5 \text{ სმ}^3.$$

კუთხოვანი რკინა არის არასიმეტრიული კვეთი სიმძიმის ცენტრზე



9.18 ამოცანისათვის.

გამავალი $x-x$ ღერძის მიმართ. ამისათვის ჩვენ გვექნება ორი წინაღობის მომენტი

$$W_a = \frac{J_x}{h_1} \qquad \text{და} \qquad W_b = \frac{J_x}{h_2};$$

შევჩერდებით უმცირესზე, ე. ი. W_a-ზე, რის მიხედვითაც ვეძებთ სორტამენტში შესაფერისი კუთხოვანი რკინის ნომერს, რომლის ზომებია 150×150×16 მმ (№ 15).

$$J_x = 961 \text{ სმ}^4; \qquad W_a = \frac{961}{15-4{,}3} = 89{,}6 \text{ სმ}^3$$

განსხვავება არის 6%-მდე, რაც მისაღებია.

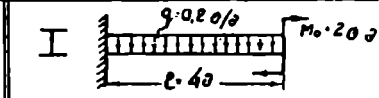
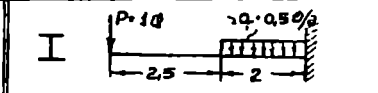
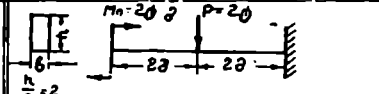
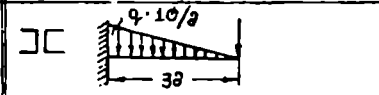
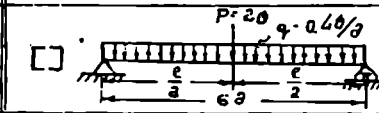
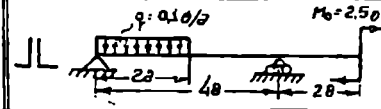
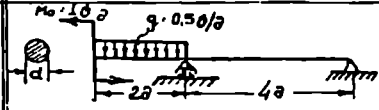
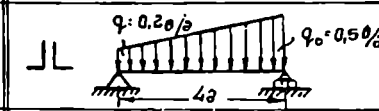
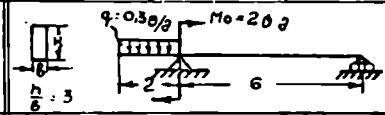
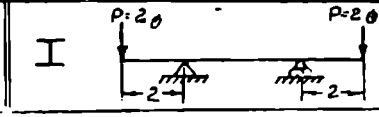
9.19. ავაგოთ მღუნავი მომენტების და განივი ძალების ეპიურები კონსოლური და ორ საყრდენზე მდებარე კოჭებისათვის, რომელთა დატვირთვის ხასიათი, მასალა და კვეთის პროფილი მოცემულია ცხრილში. დავადგინოთ კვეთის ზომები, თუ ხის მასალისათვის დასაშვები ნორმალური ძაბვა ღუნვისას ტოლია $[\sigma] = 100$ კგ/სმ² და ფოლადისათვის $[\sigma] = 1400$ კგ/სმ².

პასუხი მოცემულია იმავე ცხრილში.

9.20. თუჯის ტესებრი კვეთის კოჭზე, რომლის განივკვეთის ზომები მოცემულია ნახაზზე, მოქმედებს შეყურსული P ძალა.

ვიპოვოთ P ძალის ის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომელიც შეიძლება მივაყენოთ კოჭს უშიშრად, თუ გაჭიმულ ზონაში დასაშვები ნორმალური ძაბვა $[\sigma]_ჭ = 150$კგ/სმ² და შეკუმშულ ზონაში $[\sigma]_კ = 500$ კგ/სმ².

ამოხსნა: ვიპოვოთ კვეთის სიმძიმის ცენტრის დაცილება ფუძიდან.

№№	დატვირთვის სქემა და ჯვრის ფორმა	მასალა	ჯასუსი		
			Mmax	Qmax	ჯვრის ზომები
			ტ.მ	ტ	
1		ფოლადი	3,6	0 8	№20 ᵍ
2		ფოლადი	5,5	2,0	№24 ᵍ
3		ბე	2,0	2,0	h = 13 სმ b = 6,5 სმ
4		ფოლადი	3,0	2,0	№16 ᵍ
5		ფოლადი	4,8	2,2	№20 ᵍ
6		ფოლადი	2,5	0,675	№15 150×150×16
7		ბე	2,0	1,0	d=10სმ
8		ფოლადი	0,7	0,8	№10/2,5 100×75×10
9		ბე	2,6	0,6	h=18,2სმ b=6,1სმ
10		ფოლადი	4,0	2,0	22 ᵍ

თუ კვეთს დავყოფთ ორ სწორკუთხოვან ფართობად, კვეთის სტატიკური მომენტი ფუძის მიმართ იქნება:

$$S = F_1 \cdot y_1 + F_2 y_2 = 4 \times 12 \times 10 + 12 \times 4 \times 2 = 576 \text{ სმ}^3;$$

სიმძიმის ცენტრის დაცილება ფუძიდან

$$y_c = \frac{S}{F} = \frac{S}{F_1 + F_2} = \frac{576}{96} = 6 \text{ სმ}.$$

განვსაზღვროთ ინერციის ღერძული მომენტი სიმძიმის ცენტრზე გამავალი $y-y$ ღერძის მიმართ

$$J_y = J_{y'} + J_{y''} = \frac{b_1 h_1^3}{12} + a_1^2 F_1 + \frac{b_2 h_2^3}{12} + a_2^2 F_2 = \frac{4 \cdot 12^3}{12} +$$

$$+ (10-6)^2 \cdot 48 + \frac{12 \cdot 4^3}{12} + (6-2)^2 \cdot 48 = 2\,176 \text{ სმ}^4.$$

რადგანაც კვეთი არასიმეტრიულია, $y-y$ ღერძის მიმართ გვექნება ორი წინაღობის მომენტი:

შეკუმშული ზონისათვის

$$W_a = \frac{J_y}{h_1} = \frac{2\,176}{10} = 217{,}6 \text{ სმ}^3;$$

გაჭიმული ზონისათვის

$$W_b = \frac{J_y}{J_c} = \frac{2\,176}{6} = 362 \text{ სმ}^3.$$

საშიში კვეთი გვექნება კოჭის შუა მალში, სადაც მღუნავი მომენტი

$$M_{max} = \frac{Pl}{4}.$$

გაჭიმული ზონისათვის სიმტკიცის პირობა იქნება:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_b} \leqslant [\sigma]_ბ,$$

ხოლო შეკუმშული ზონისათვის

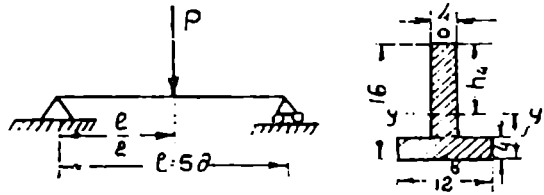
$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_a} \leqslant [\sigma]_კ.$$

გაჭიმული ზონისათვის სიმტკიცის პირობიდან ვიპოვით დასაშვებ მაქსიმალურ ძალას, რომელიც შეიძლება უშიშრად მივაყენოთ კოჭს

$$M_{max} = W_b[\sigma]_გ .$$

$$\frac{Pl}{4} = W_b[\sigma]_გ \qquad \text{ან} \qquad P = \frac{4\ W_b\ [\sigma]_გ}{l};$$

$$P = \frac{4\,W_b \cdot [\sigma]_გ}{l} = \frac{4 \cdot 362\ \ 150}{500} = 435 \text{ კგ}.$$



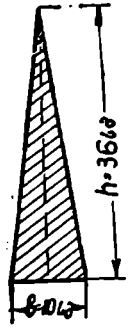
9.20 ამოცანისათვის.

ანალოგიურად ვიპოვით დასაშვებ მაქსიმალურ ძალას, რომელიც უშიშრად შეიძლება მივაყენოთ კოჭს შეკუმშული ზონის სიმტკიცის პირობიდან:

$$P = \frac{4W_a[\sigma]_ა}{l} = \frac{4 \cdot 217{,}6 \cdot 500}{500} = 870 \text{ კგ}.$$

იმისათვის, რომ სიმტკიცის ორივე პირობა დავაკმაყოფილოთ ერთდროულად დასაშვებ მაქსიმალურ ძალად უნდა მივიჩნიოთ $P = 435$ კგ.

9.21. ვიპოვოთ დასაშვები მაქსიმალური ძალა P წინა ამოცანაში მოცემული კოჭისათვის, თუ ძალას მივაყენებთ იმავე კვეთში, მხოლოდ მივმართავთ ქვევიდან ზევით.



9.22 ამოცანისათვის.

პასუხი: $P = 260$ კგ.

9.22. განვსაზღვროთ დასაშვები მღუნავი მომენტის სიდიდე, რომელიც შეიძლება უშიშრად მივაყენოთ თუჯის ტოლფერდა სამკუთხედის ფორმის კვეთს, რომლის სიმაღლეა 36 სმ და ფუძე 10 სმ, თუ ქვემოთა ზონა გაჭიმულია, ხოლო ზემოთა შეკუმშული. გაჭიმულ ზონაში დასაშვები ძაბვა $[\sigma]_გ = 120$ კგ/სმ²; შეკუმშული—

$$[\sigma]_ა = 400 \text{ კგ/სმ}^2.$$

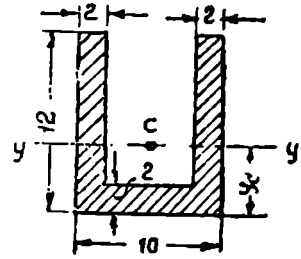
პასუხი: $[M] = 1{,}3$ ტ. მ.

9.23. განვსაზღვროთ დასაშვები მაქსიმალური მო-

მენტი წინა ამოცანაში მოცემული კოჭისათვის, თუ ზემოთა ზონა გაჭიმულია და ქვემოთა შეკუმშული.

პასუხი: $[M]=0{,}65$ ტ. მ.

9.24. ნახაზზე მოცემული თუჯის კვეთისათვის ვიპოვოთ სიმძიმის ცენტრის დაცილება ფუძიდან, ინერციის მომენტი სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ, მაქსიმალური დასაშვები მღუნავი მომენტი და ნორმალური ძაბვები ნეიტრალური შრიდან ყველაზე უფრო დაცილებულ წერტილებში (გაჭიმულ და შეკუმშულ ზონაში), თუ მღუნავ მომენტს აქვს დადებითი მიმართულება (ე. ი. გაჭიმულია ქვემოთა ზონა), დასაშვები ძაბვა გაჭიმვაზე $[\sigma]_გ=150$ კგ/სმ², კუმშვაზე $[\sigma]_კ=500$ კგ/სმ².



9.24 ამოცანისათვის.

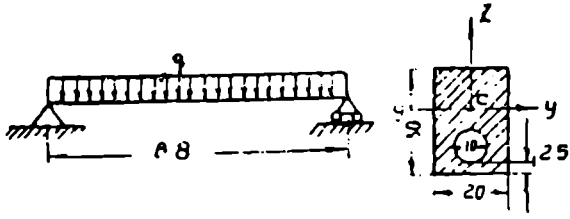
პასუხი: $y_c=5$ სმ, $J_y=820$ სმ⁴;

$[M]=0{,}246$ ტ. მ. $\sigma_გ=150$ კგ/სმ²;

$\sigma_კ=210$ კგ/სმ².

9.25. ორ საყრდენზე მდებარე ფოლადის კოჭზე, რომლის განივკვეთის ფორმა და ზომები მოცემულია ნახაზზე, მოქმედებს თანაბრად განაწილებული ტვირთი q ინტენსივობით.

განსაზღვროთ ინტენსივობის მაქსიმალური დასაშვები მნიშვნელობა, რომლითაც შეიძლება კოჭი უშიშრად დაიტვირთოს, და ძაბვების მაქსი-



9.25 ამოცანისათვის.

მალური და მინიმალური მნიშვნელობები საშიშ კვეთში, თუ კოჭის მალის სიდიდე $l=8$ მ-ს, ღუნვისას დასაშვები ნორმალური ძაბვა

$$[\sigma]=1600 \text{ კგ/სმ}^2;$$

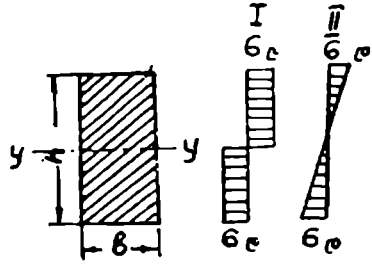
პასუხი: $[q]=4{,}94$ ტ/მ;

$\sigma_{max}=1\,600$ კგ/სმ²;

$\sigma_{min}=1\,370$ კგ/სმ².

§ 26. კოჭის კვეთის შერჩევა დასაშვები ტვირთის მეთოდით

9.26. პლასტიკური მასალისაგან დამზადებული ფოლადის კოჭისათვის, რომლის ზომებია 10×20 სმ, დასაშვები ძაბვის და დასაშვები ტვირთის მეთოდით განსაზღვროთ საშიში მდგომარეობის დროს მღუნავი მომენტის მაქსიმალური სიდიდეები, თუ აღებული მასალისათვის დენადობის ზღვარი $\sigma_ღ = 2\,400$ კგ/სმ².



9.26 ამოცანისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა: დასაშვები ძაბვის მეთოდით გაანგარიშებისას საშიშ მდგომარეობად მიჩნეულია ის დატვირთვა, რომელიც კვეთის ერთ წერტილში მაინც აღძრავს დენადობის ზღვარის ტოლ ძაბვას (ნახ. II).

თუ მივიღებთ, რომ ჰუკის კანონი სამართლიანია თითქმის დენადობის ზღვრამდე, შეგვიძლია ვისარგებლოთ მღუნავი მომენტის და ნორმალური ძაბვის იმ დამოკიდებულებით, რომლითაც ვსარგებლობდით წინა შემთხვევებში.

დასაშვები ძაბვის მეთოდით საშიშ მდგომარეობას შეეფარდება მღუნავი მომენტი

$$M = W\sigma_ღ = \frac{bh^2}{6} \cdot \sigma_ღ = \frac{10 \cdot 20^2}{6} \cdot 2\,400 = 1\,600\,000 \text{ კგ. სმ} = 16 \text{ ტ. მ.}$$

დასაშვები ტვირთის მეთოდით გაანგარიშებისას საშიშ მდგომარეობად მიჩნეულია ის დატვირთვა, რომელიც მთელ კვეთში აღძრავს დენადობის ზღვარის ტოლ ძაბვას.

ამ მეთოდით საშიშ დატვირთვას შეეფარდება მღუნავი მომენტის სიდიდე (ნახ. I):

$$M = 2S_y \cdot \sigma_ღ = 2 \cdot \frac{bh^2}{8} \cdot \sigma_ღ = \frac{bh^2}{4}\sigma_ღ = \frac{10 \cdot 20^2}{4} \cdot 2\,400 =$$

$$= 2\,400\,000 \text{ კგ. სმ} = 24 \text{ ტ. მ.}$$

S_y წარმოადგენს ზედა ან ქვედა ნახევარფართობის სტატიკურ მომენტს $y-y$ ღერძის მიმართ.

9.27. ზემოთ მოყვანილი კვეთისათვის განვსაზღვროთ რამდენჯერ იზრდება დასაშვები ტვირთამატანიანობა დასაშვები ტვირთის მეთოდით გაანგარიშებისას დასაშვები ძაბვის მეთოდთან შედარებით, თუ მარაგის კოეფიციენტი $n_ღ = 1{,}6$.

დასაშვები ძაბვის მეთოდით დასაშვები ტვირთით გამოწვეული მღუნავი მომენტი

$$[M]_ა = W \cdot \frac{\sigma_ა}{n_ღ} = \frac{bh^2}{6} \cdot [\sigma] \cdot$$

დასაშვები ტვირთის მეთოდით დასაშვები ტვირთით გამოწვეული მღუნავი მომენტი

$$[M]_{\text{ტ}} = \frac{2S_y\sigma_{\text{ღ}}}{n_{\text{ღ}}} = \frac{bh^2}{4} \cdot [\sigma] .$$

ტვირთამტანიანობა გაზრდილია

$$\mu = \frac{[M]_{\text{ტ}}}{[M]_{\text{ძ}}} = \frac{bh^2[\sigma]6}{4bh^2[\sigma]} = \frac{3}{2} = 1{,}5,$$

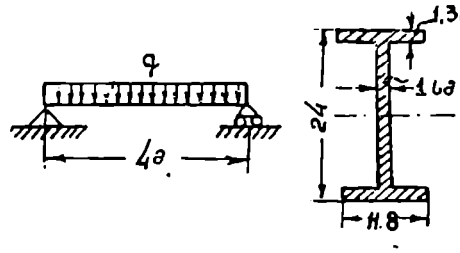
ე. ი. დასაშვები ტვირთის მეთოდით გაანგარიშებული ტვირთამტანიანობა დასაშვები ძაბვის მეთოდით გაანგარიშებულთან შედარებით სწორკუთხოვანი კვეთისათვის გაიზარდა 1,5-ჯერ.

9.28. განსაზღვროთ დასაშვები მღუნავი მომენტი, რომელიც შეიძლება უშიშრად ვამოქმედოთ წრიულ კვეთზე, დასაშვები ძაბვის და დასაშვები ტვირთის მეთოდით და შემდეგ შევადაროთ ერთმანეთს, თუ კოჭის კვეთი არის წრიული, რომლის დიამეტრია—4 სმ, და დასაშვები ძაბვა მოცემული პლასტიკური მასალისათვის $[\sigma] = 1\,400$ კგ/სმ².

პასუხი: დასაშვები ძაბვის მეთოდით $[M] = 8\,800$ კგ. სმ.
დასაშვები ტვირთის მეთოდით $[M] = 14\,960$ კგ. სმ.

დასაშვები ტვირთის მეთოდით გაანგარიშებისას ტვირთამტანიანობა გაიზარდა $M = 1{,}7$.

9.29. ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე კოჭისათვის, რომელზეც მოქმედებს თანაბრად განაწილებული დატვირთვა, q ინტენსივობით ვიპოვოთ დასაშვები მაქსიმალური ინტენსივობა, რომელიც შეიძლება ვამოქმედოთ უშიშრად დასაშვები ტვირთის მეთოდით.



9.29 ამოცანისათვის.

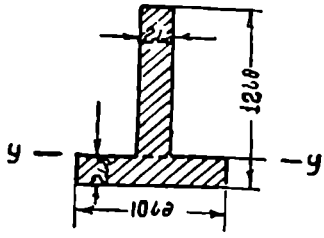
კოჭის განივკვეთის პროფილი ორტესებრია № 24ᵇ, რომლის სქემატური ნახაზი და ზომები მოცემულია ნახაზზე, კოჭის მალი $l = 4$ მ.ს და დასაშვები ძაბვა მოცემული პლასტიკური მასალისათვის $[\sigma] = 1\,600$ კგ/სმ².

პასუხი: $[q] = 3{,}76$ ტ/მ.

9.30. ვიპოვოთ დასაშვები მღუნავი მომენტი ზღვრული ტვირთის მეთოდით გაანგარიშებისას, რომელიც შეიძლება უშიშრად მიიღოს ტესებრმა კვეთმა, რომლის ზომებიც ნახაზზეა მოცემული, თუ მოცემული

პლასტიკური მასალისათვის დასაშვები ნორმალური ძაბვა $[\sigma]=1400$ კგ/სმ².

ა მ ო ხ ს ნ ა: რადგანაც ზღვრული დატვირთვის მეთოდით გაანგარიშებისას, ეთვლით, რომ კვეთის გაჭიმულ და შეკუმშულ ზონაში ძაბვა თანაბრად ნაწილდება და ტოლია σ_t, ამისათვის ნეიტრალური შრე გადის კვეთის იმ წერტილში, რომელიც ფართობს ჰყოფს ორ თანაბარ ნაწილად. წინააღმდეგ შემთხვევაში წონასწორობის პირობა $\Sigma x=0$ არ იქნება დაკმაყოფილებული. სიმეტრიული კვეთებისათვის ნეიტრალური შრე გადის სიმძიმის ცენტრში, ხოლო არასიმეტრიული კვეთებისათვის ნეიტრალური შრე და სიმძიმის ცენტრი აღარ ემთხვევა ერთმანეთს. ჩვენ შემთხვევაში ნეიტრალური შრე ზღვრული ტვირთის მეთოდით გაანგარიშებისას გადის თაროს და კედლის შეერთების კვეთში $F_1=F_2$ და დასაშვებ მღუნავ მომენტს ვანგარიშობთ ფორმულით:



9.30 ამოცანისათვის.

$$[M]=[\sigma](S_1+S_2)=1\,400(10\cdot 2\cdot 1+10\cdot 2\cdot 5)=$$
$$=168\,000 \text{ კგ.სმ}=1{,}68 \text{ ტ.მ},$$

სადაც S_1 და S_2 არის ზევითა და ქვევითა ფართების სტატიკური მომენტები ნეიტრალური შრის მიმართ.

თავი მეათე

კოჭის მთლიანი შემოწმება სიმტკიცეზე. შედგენილი კოჭების გაანგარიშება

მოკლე ცნობები თეორიიდან

ჩვეულებრივად კოჭის ზომებს ნიშნავენ ნორმალური ძაბვების მიხედვით

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W} \leqslant [\sigma]$$

და ამოწმებენ მხები ძაბვების მიხედვით

$$\tau_{max} = \frac{Q_{max} \cdot S_{max}}{J_y \cdot b(z)}.$$

იმ შემთხვევაში, თუ კვეთში ნორმალური და მხები ძაბვები ერთდროულად დიდ სიდიდეებს აღწევენ ან თუ კოჭის სისქე მის სიმაღლეზე მკვეთრად იცვლება (ორტესებრი პროფილი), საჭიროა კოჭის მთლიანი შემოწმება სიმტკიცეზე.

კოჭის სიმტკიცეზე შემოწმება შეიძლება სხვადასხვა სიმტკიცის თეორიების მიხედვით.

I თეორიის მიხედვით:

$$\sigma_r^{I} = \frac{1}{2}[\sigma + \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}] \leqslant [\sigma];$$

II თეორიის მიხედვით:

$$\sigma_r^{II} = [0{,}35\sigma + 0{,}65\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}] \leqslant [\sigma];$$

III თეორიის მიხედვით:

$$\sigma_r^{III} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leqslant [\sigma];$$

IV თეორიის მიხედვით:

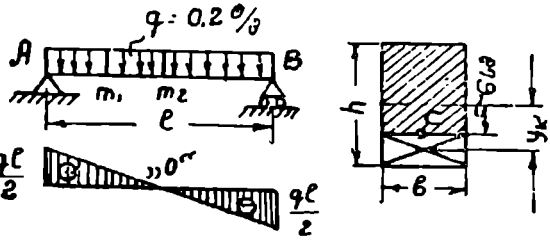
$$\sigma_r^{IV} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leqslant [\sigma].$$

მოცემულ ფორმულებში σ, საანგარიშო ძაბვაა, ხოლო σ და τ ნორმალური და მხები ძაბვებია კოჭის კვეთის შესამოწმებელ წერტილში.

შედგენილი კოჭის დაწვრილებითი გაანგარიშების მსვლელობა მოცემულია ქვემოთ განხილულ მაგალითში.

§ 27. მხები და მთავარი ძაბვების განსაზღვრა, კოჭის მთლიანი შემოწმება სიმტკიცეზე

10.1. სწორკუთხოვანი კვეთის კოჭი, რომლის ზომებია 30×10 სმ და მალი $l=6$ მ, დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით, ინტენსივობით $q=0{,}2$ ტ/მ, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები.



10.1 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ მხები ძაბვა A საყრდენი კვეთის C წერტილში, რომელიც ნეიტრალური შრიდან დაცილებულია 6 სმ-ით. განვსაზღვროთ აგრეთვე მხები ძაბვების მაქსიმალური სიდიდეები m_1 და m_2 კვეთებში, რომლებიც მარცხენა საყრდენიდან დაცილებული არიან $\frac{1}{4}l$ და $\frac{1}{2}l$ მანძილებით. მოვძებნოთ მაქსიმალური მხები ძაბვა, რომელიც აღიძვრება კოჭში.

ა მ ო ხ ს ნ ა: იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ ნებისმიერი კვეთში მხები ძაბვის სიდიდე, საჭიროა ვიცოდეთ ამ კვეთებში განივი ძალის სიდიდე. ამისათვის ავაგოთ განივი ძალის ეპიურა.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, განივი ძალა მაქსიმალურ სიდიდეს აღწევს საყრდენებთან

$$Q_{max}=\frac{ql}{2}=\frac{0{,}2\ .\ 6}{2}=0{,}6\ \text{ტ}.$$

მაქსიმალურ მხებ ძაბვას ადგილი აქვს კოჭში, საყრდენი კვეთის ნეიტრალურ შრეში და ტოლია:

$$\tau_{max}=\frac{3}{2}\frac{Q_{max}}{F}=\frac{3}{2}\frac{600}{10\ .\ 30}=3\ \text{კგ/სმ}^2;$$

მაქსიმალური ძაბვა m_1 კვეთში:

$$\tau^1_{max}=\frac{3}{2}\frac{0{,}5Q_{max}}{F}=1{,}5\ \text{კგ/სმ}^2.$$

m_2 კვეთში კი $\tau_{max}=0$, რადგანაც $Q=0$. საყრდენი კვეთის C წერტილში მხები ძაბვას ვპოულობთ ფორმულით:

$$\tau_c=\frac{Q\cdot S_y}{J_y\cdot b},$$

სადაც S_y არის C წერტილის ქვეით მდებარე ფართობის სტატიკური მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ, J_y—ინერციის მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ. b—კვეთის სიგანე c წერტილში.

განვსაზღვროთ S_y-ის მნიშვნელობა:

$$S_y=F_k\cdot y_k=10\times 9\times 10{,}5=945\ \text{სმ}^3$$

თუ შევიტანთ S_y-ის მნიშვნელობას τ_c გამოთქმაში გვექნება:

$$\tau_c=\frac{600\cdot 945}{22500\quad 10}=2{,}52\ \text{კგ/სმ}^2.$$

10.2. ორ საყრდენზე მდებარე კოჭის თავისუფალი ბოლოებიდან ორი მეტრის მანძილზე მოქმედებს ტოლი ძალები, რომლებიც უდრის $P=2$ ტ.

განვსაზღვროთ მაქსიმალური განივი ძალა Q_{max} და მაქსიმალური მხები ძაბვა τ_{max}, თუ კვეთის დიამეტრია $d=26$ სმ.

პასუხი: $\tau_{max}=5$ კგ/სმ^2.

10.3. ორ საყრდენზე მდებარე რგოლისებრი განივკვეთის ძელზე, რომლის გარე დიამეტრი $D=1$ მ და შიგა დიამეტრი $d=0{,}94$ მ, მოქმედებს თანაბრად განაწილებული ტვირთი, ინტენსივობით $q=1{,}3$ ტ/მ.

მოვძებნოთ მაქსიმალური მხები ძაბვა, თუ კოჭის მალი $l=4$ მ.

პასუხი: $\tau_{max}=5{,}7$ კგ/სმ^2.

10.4. ნახაზზე ნაჩვენები კოჭი, რომლის განივკვეთის ზომები და დატვირთვის სახე ნახაზზეა მოცემული, შევამოწმოთ სიმტკიცეზე, ნორმალური და მხები ძაბვების მიხედვით, თუ მასალა გაჭიმვაზე და კუმშვაზე ერთნაირად მუშაობს და დასაშვები ნორმალური ძაბვა

$$[\sigma]=180\ \text{კგ/სმ}^2,$$

ხოლო მხები დასაშვები ძაბვა

$$[\tau]=10\ \text{კგ/სმ}^2.$$

ამოხსნა: A კვეთში ადგილი ექნება მაქსიმალურ მღუნავ მომენტსა და მაქსიმალურ განივ ძალას

$$M_{max}=-Fa-\frac{q a^2}{2}=-1\quad 3-\frac{0.2\quad 3^2}{2}=-3{,}9\ \text{ტ. მ},$$

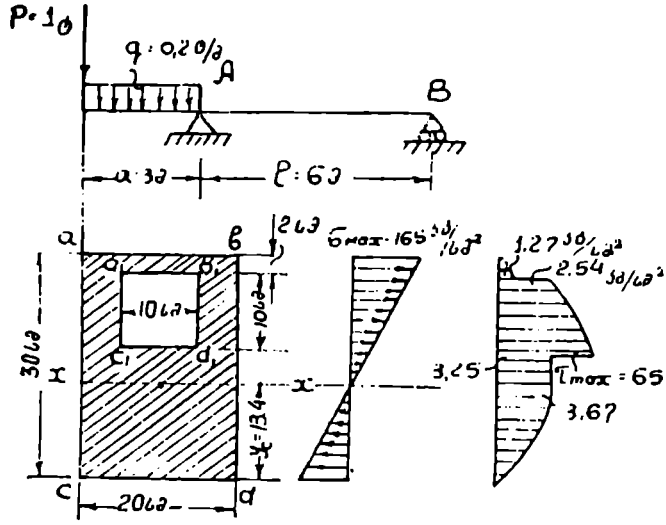
$$Q_{max}=-P-q\cdot a=-1-0{,}2\cdot 3=-1{,}6\ \text{ტ}.$$

რადგანაც მასალა გაჭიმვასა და კუმშვაზე ერთნაირად მუშაობს, მღუნავი მომენტის ნიშანს მნიშვნელობა არა აქვს.

$$M_{max}=3{,}9 \text{ ტ.მ},$$

$$Q_{max}=1{,}6 \text{ ტ}.$$

მაქსიმალური ნორმალური σ_{max} და მხები τ_{max} ძაბვების მოსაძებნად განვსაზღვროთ ჯერ ნეიტრალური ღერძის მდებარეობა.



10.4 ამოცანისათვის.

განვიკვეთის $c-d$ ფუძის მიმართ სტატიკური მომენტი:

$$S_{cd}=20\times30\times15-10\times10\times23=6700 \text{ სმ}^3;$$

სიმძიმის ცენტრის დაცილება ფუძიდან:

$$y_c=\frac{Scd}{F}=\frac{6700}{30\times20-10\times10}=13{,}4 \text{ სმ};$$

სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ ინერციის მომენტი:

$$J_x=\frac{20\times30^3}{12}+(15-13{,}4)^2\cdot 20\times30-\frac{10^4}{12}-(23-13{,}4)^2\cdot10^2=39300 \text{ სმ}^4;$$

განვსაზღვროთ მინიმალური წინაღობის მომენტი:

$$W_x=\frac{J_x}{h_{max}}=\frac{39300}{30-13{,}4}=2360 \text{ სმ}^3.$$

მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა:

$$\sigma_{max}=\frac{M_{max}}{W_x}=\frac{390000}{2360}=165 \text{ კგ/სმ}^2.$$

მაქსიმალური მხები ძაბვის მოსაძებნად საჭიროა ავაგოთ მხები ძაბვების ეპიურა.

კვეთის $a-b$ და $c-d$ შრეებში მხები ძაბვები ნულის ტოლია.

ნეიტრალურ შრეში მხები ძაბვა

$$\tau_x=\frac{Q_{max}\cdot S_x}{J_x\cdot b}.$$

ნეიტრალური შრის ზემოთ ან ქვემოთ მდებარე ფართობის სტატიკური მომენტი:

$$S_x=13,4\ .20\ .\frac{13,4}{2}=1800 \text{ სმ}^3.$$

თუ შევიტანთ მნიშვნელობებს, გვექნება:

$$\tau_x=\frac{1600\ \ 1800}{39300\ \ 20}=3,67 \text{ კგ/სმ}^2.$$

მოვძებნოთ მხები ძაბვა c_1-d_1 კვეთში; ამისათვის ჯერ ვიპოვოთ სტატიკური მომენტი ამ კვეთის ზემოთ მდებარე ფართობის, ნეიტრალური შრის მიმართ:

$$S_{c_1-d_1}=12\cdot 20\cdot 10,6-10\cdot 10\cdot 9,6=1580 \text{ სმ}^3.$$

მხები ძაბვა c_1-d_1 შრის ზედა ნაწილში

$$\tau_{c_1-d_1}=\frac{1600\ .\ 1580}{39300\cdot 10}=6,5 \text{ კგ/სმ}^2;$$

მხები ძაბვის სიდიდე c_1-d_1 შრის ქვედა ნაწილში

$$\tau_{c_1-d_1}=\frac{1600\cdot 1580}{39300\ .\ 20}=3,25 \text{ კგ/სმ}^2;$$

მხები ძაბვის სიდიდის განსასაზღვრავად a_1-b_1 კვეთში ჯერ მოვძებნოთ ამ შრის ზემოთ მდებარე ფარდობის სტატიკური მომენტი:

$$S_{a_1-b_1}=20\times 2\times 15,6=625 \text{ სმ}^3,$$

მხები ძაბვა a_1-b_1 შრის ქვედა ნაწილში

$$\tau_{a_1-b_1}=\frac{1600\ \ 625}{39300\cdot 10}=2,54 \text{ კგ/სმ}^2,$$

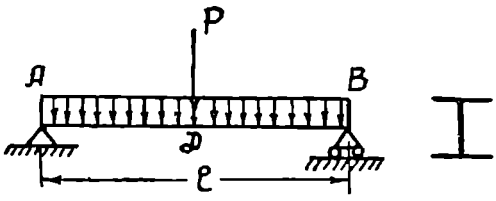
მხები ძაბვა a_1—b_1 შრის ზედა ნაწილში

$$\tau_{a_1-b_1}=\frac{1600\cdot 625}{39300\cdot 20}=1{,}27 \text{ კგ/სმ}^2.$$

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: როგორც ნახაზიდან ჩანს, მაქსიმალურ ძაბვას $\tau_{max}=6{,}5$ კგ/სმ² ადგილი აქვს შრეში, რომელიც ნეიტრალური ღერძიდან დაცილებულია 4,6 სმ-ით

$$\tau_{max}=6{,}5<[\tau].$$

10.5. ბოცემულია ორ საყრდენზე მდებარე კოჭი, რომელიც დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით $q=0.2$ ტ/მ და ძალა $P=1$ ტ. კოჭის მალი $l=6$ მ.



10.5 ამოცანისათვის.

მოვძებნოთ კოჭის ზომები ნორმალური ძაბვებით და უკანასკნელი შევამოწმოთ მხები ძაბვების მიხედვით, თუ კოჭის განივკვეთი ორტესებრი ფორმისაა, დასაშვები ნორმალური ძაბვა $[\sigma]=1600$ კგ/სმ² და მხები დასაშვები ძაბვა $[\tau]=1000$ კგ/სმ².

ა მ ო ხ ს ნ ა: მოვძებნოთ მაქსიმალური მღუნავი მომენტი და მაქსიმალური განივი ძალა.

მაქსიმალური მღუნავი მომენტი D კვეთში იქნება

$$M_D^{max}=\frac{Pl}{4}+\frac{ql^2}{8}=\frac{1\cdot 6}{4}+\frac{0.2\cdot 6^2}{8}=2{,}4 \text{ ტ. მ.}$$

A და B საყრდენებთან მაქსიმალური განივი ძალა

$$Q_{max}=\frac{P}{2}+\frac{ql}{2}=\frac{1}{2}+\frac{0{,}2\cdot 6}{2}=1{,}1 \text{ ტ.}$$

შევარჩიოთ ზომები ანუ ორტესებრი განივკვეთის ფორმის კოჭის ნომერი სორტამენტის მიხედვით.

სიმტკიცის პირობა ნორმალური ძაბვის მიხედვით შემდეგნაირად დაიწერება:

$$\sigma_{max}=\frac{M_{max}}{W}\leqslant[\sigma],$$

საიდანაც

$$W\geqslant\frac{M_{max}}{[\sigma]}=\frac{240000}{1600}=150 \text{ სმ}^3.$$

თუ ვისარგებლებთ სორტამენტით, შესაფერისი ორტესებრი ფოლადის კოჭის ნომერი იქნება № 18, $W=185$ სმ³. კოჭის განიკვეთის ყველა ზომა მოცემულია სორტამენტში. მაქსიმალური მხები ძაბვა კოჭში მოიძებნება ფორმულით:

$$\tau_{max}=\frac{Q_{max}\cdot S_{max}}{J_x\cdot b}.$$

სორტამენტში მოცემულია რიცხვი $\frac{J_x}{S_{max}}$ და ჩვენი ორტესებრი № 18 კვეთის კოჭისათვის ტოლია:

$$\frac{J_x}{S_{max}}=15{,}4 \text{ და } b=0{,}65 \text{ სმ}.$$

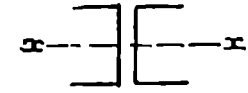
თუ შევიტანთ მნიშვნელობებს, გვექნება:

$$\tau_{max}=\frac{1100}{15{,}4\quad 0{,}65}=110 \text{ კგ/სმ}^2,$$

$$\tau_{max}<[\tau],$$

ე. ი. დაკმაყოფილებულია სიმტკიცის პირობა მხები ძაბვების მიხედვითაც.

10.6. შევარჩიოთ წინა ამოცანაში მოცემული კოჭის ზომები ნორმალური ძაბვის მიხედვით და შევამოწმოთ მხებ ძაბვებზე, თუ კოჭის კვეთი შედგება ორი შველერისაგან, რომლებიც ერთმანეთს კედლებით ეხებიან (იხ. ნახაზი).

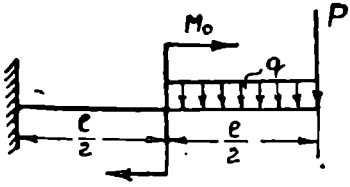


10.6 ამოცანისათვის.

დასაშვები ნორმალური ძაბვა $[\sigma]=1490$ კგ/სმ².

და $[\tau]=800$ კგ/სმ²

მ ი თ ი თ ე ბ ა: შველერის ნომრის დანიშვნისას მხედველობაში უნდა გვქონდეს, რომ სორტამენტში მოცემულია წინაღობის მომენტი ერთი შველერისათვის x—x ღერძის მიმართ, ორი შველერისათვის იგი ორჯერ მეტი იქნება.



10.7. ამოცანისათვის.

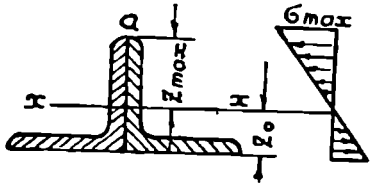
პ ა ს უ ხ ი: 2×№14ª.

10.7. კონსოლურ კოჭზე, რომლის განიკვეთის ფორმა ორტესებრია და მალი $l=6$ მ, მოქმედებს ინტენსივობა $q=0{,}2$ ტ/მ, ძალა $P=0{,}4$ ტ და წყვილი ძალა $M_0=1$ ტ. მ.

შევარჩიოთ კოჭის ზომები ნორმალური ძაბვების მიხედვით და შევამოწმოთ მხები ძაბვების მიხედვით, თუ დასაშვები ნორმალური ძაბვა მასალისათვის $[\sigma]=1600$ კგ/სმ² და დასაშვები მხები ძაბვა $[\tau]=1000$ კგ/სმ².

პ ა ს უ ხ ი: № 24ª.

10.8. წინა ამოცანისათვის დავნიშნოთ კოჭის კვეთის ზომები ნორმალური ძაბვის მიხედვით და შევამოწმოთ მხები ძაბვის მიხედვით, თუ კოჭის განივკვეთი შედგება ორი თანატოლთაროიანი კუთხოვანი რკინისაგან, რომლისათვისაც $[\sigma]=1600$ კგ/სმ² და $[\tau]=1000$ კგ/სმ².



10.8 ამოცანისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა: რადგანაც კოჭის კვეთი $x-x$ ღერძის მიმართ არასიმეტრიულია, სიმტკიცის პირობა ნორმალური ძაბვების მიხედვით დაიწერება შემდეგი სახით:

$$\sigma_{max}=\frac{M_{max}}{2W_a}\leqslant[\sigma],$$

საიდანაც

$$2W_a=\frac{M_{max}}{[\sigma]}=\frac{610000}{1600}=382 \text{ სმ}^3.$$

W_a წარმოადგენს a წერტილის წინაღობის მომენტს და ასე გამოითვლება (იხ. ნახაზი):

$$W_a=\frac{J_x}{Z_{max}}=191 \text{ სმ}^3.$$

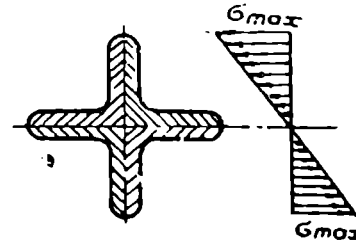
სორტამენტში მოცემულია J_x-ის მნიშვნელობა და შესაფერისი ზომები, ე. ი. Z_{max}-იც. W_a-ს მნიშვნელობას ვეძებთ შერჩევით. ჩვენი შემთხვევისათვის ვიღებთ:

2 № 20 200×200×20,

რომლის $W_a=200$ სმ³.

10.9. მოცემულია ორ საყრდენზე მდებარე კოჭი, რომლის მალი $l=4$ მ და რომელიც დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით $q=2{,}22$ ტ/მ.

შევარჩიოთ კოჭის ზომები ნორმალური ძაბვის მიხედვით და უკანასკნელი შევამოწმოთ მხები ძაბვების მიხედვით. კოჭის კვეთი (იხ. ნახაზი) შედგება ოთხი ტოლთაროიანი კუთხოვანი რკინისაგან, რომლისთვისაც $[\sigma]=1400$ კგ/სმ² და $[\tau]=800$ კგ/სმ².



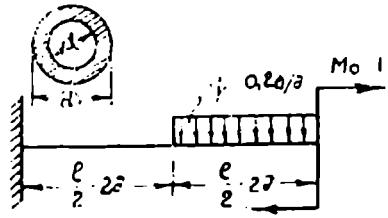
10.9 ამოცანისათვის.

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: რადგანაც მოცემული კვეთის განივკვეთის ფართობის დიდი ნაწილი მოთავსებულია ნეიტრალური შრის გასწვრივ, ასეთი ფორმის კოჭი არაეკონომიურია.

პ ა ს უ ხ ი: 4×№ 13 130×130×14.

10.10. მოცემული კონსოლური კოჭის კვეთი რგოლისებრი ფორმისაა, დიამეტრების ფარდობით $\frac{d}{D}=0{,}8$.

ვიანგარიშოთ კოჭის ზომები ნორმალური ძაბვების მიხედვით და შევამოწმოთ მხები ძაბვების მიხედვით, თუ ნორმალური დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1600$ კგ/სმ² და მხები დასაშვები ძაბვა $[\tau]=1000$ კგ/სმ².



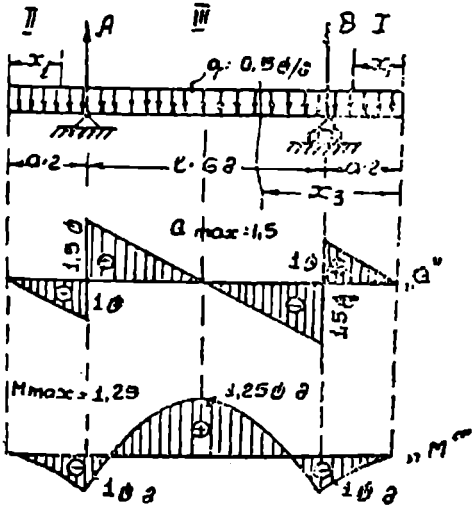
10.10 ამოცანისათვის.

პასუხი: $D=13{,}3$ სმ,
$d=10{,}6$ სმ.

10.11. დავნიშნოთ წინა ამოცანაში მოცემული კოჭის ზომები, თუ კოჭის ფორმა ორტესებრიაა.

პასუხი: ორტესებრი კოჭი № 16.

10.12. მოცემული გვაქვს ორ საყრდენზე მდებარე კონსოლური კოჭი, რომლის განივკვეთის ფორმა ორტესებრია. შევარჩიოთ მოცემული კოჭის ზომები ნორმალური ძაბვების მიხედვით და შევამოწმოთ უკანასკნელი მხები ძაბვისა და სიმტკიცის მეოთხე თეორიის მიხედვით, თუ კოჭი დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით, ინტენსივობით $q=0{,}5$ ტ/მ; კოჭის მასალაზე დასაშვები ნორმალური ძაბვა $[\sigma]=1600$ კგ/სმ² და დასაშვები მხები ძაბვა $[\tau]=1000$ კგ/სმ².



10.12 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები. A და B რეაქციები ტოლია და უდრის: $A=B=2{,}5$ ტ. განივი ძალა:

I უბანში $Q_1=qx_1$,
II „ $Q_2=-qx_2$,
III „ $Q_3=qx_3-B$;

მღუნავი მომენტი:

I უბანში $M_1=-\frac{qx_1^2}{2}$,

II უბანში $M_2=-\frac{qx_2^2}{2}$, III უბანში $M_3=-\frac{qx_3^2}{2}+B(x_3-a)$.

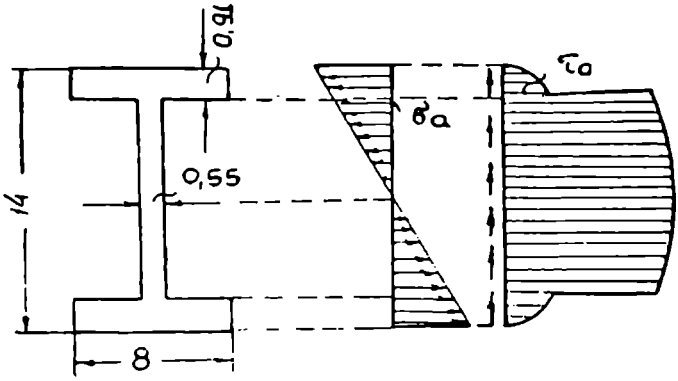
შევარჩიოთ კოჭის ზომები ნორმალური ძაბვების მიხედვით.

სიმტკიცის პირობა—ნორმალური ძაბვების მიხედვით დაიწერება შემდეგი სახით:

$$\sigma_{max}=\frac{M_{max}}{W}\leqslant[\sigma],$$

საიდანაც

$$W=\frac{M_{max}}{[\sigma]}=\frac{125000}{1600}=78\ \text{სმ}^3.$$



10.12 ამოცანისათვის.

შესაფერისი ორტესებრი კვეთის ნომერია 14, რომლის ზომებიც ნაჩვენებია სქემატურ ნახაზზე.

შევამოწმოთ სიმტკიცეზე შერჩეული კვეთი მხები ძაბვების მიხედვით:

$$\tau_{max}=\frac{Q_{max}\cdot S_{max}}{J\cdot b}=\frac{1500}{12\cdot 0{,}55},$$

$$\tau_{max}<[\tau],$$

სადაც $\frac{J}{S_{max}}=12{,}0$ და მოცემულია ცხრილში, შევამოწმოთ კოჭი სიმტკიცის IV თეორიის მიხედვით. სიმტკიცის IV თეორიის მიხედვით სიმტკიცის პირობას ღუნვისას აქვს შემდეგი სახე:

$$\sigma_r^{IV}=\sqrt{\sigma^2+3\tau^2}\leqslant[\sigma].$$

σ_r^{IV} საანგარიშო ძაბვა უდიდესი იქნება იმ კვეთში, სადაც ერთდროულად σ და τ ძაბვებიც იქნებიან დიდი რიცხვები, კერძოდ იმ კვეთში, სადაც M და Q იქნება დიდი. ჩვენს შემთხვევაში A ან B საყრდენთან.

საჭიროა მოცემულ კვეთში ავაგოთ ნორმალური და მხები ძაბვების ეპიურები და მოვძებნოთ კვეთში ის წერტილი, სადაც ორივე ძაბვა ერთდროულად იქნება დიდი სიდიდეების. ასეთი წერტილი იქნება ტესებრი რკინის თაროდან კედელში, გადასვლის საზღვართან, კედლის სფეროში, სადაც

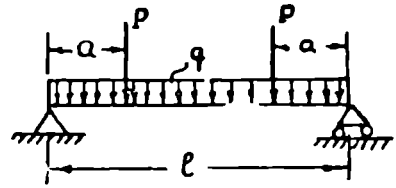
$$\sigma=\frac{M\cdot Z}{J}=\frac{100000\cdot 6{,}09}{712}=855 \text{ კგ/სმ}^2$$

და

$$\tau=\frac{Q\cdot S}{J\cdot b}=\frac{1500\cdot 47{,}6}{712\cdot 0{,}55}=182 \text{ კგ/სმ}^2.$$

$$\sigma_{\text{ე}}^{IV}=\sqrt{855^2+3\cdot 182^2}=911 \text{ კგ/სმ}^2; \qquad \sigma_{\text{ე}}^{IV}\leqslant[\sigma]$$

10.13. მოცემული გვაქვს ორ საყრდენზე მდებარე ორტესებრი კოჭი, რომლის მალი $l=6$ მ, და რომელზედაც მოქმედებს $P=1$ ტ ძალა, $a=1{,}5$ მეტრის დაცილებით საყრდენებიდან, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები. გარდა ამისა კოჭი დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით, ინტენსივობით $q=0{,}2$ ტ/მ.



10.13 ამოცანისათვის.

შევარჩიოთ კოჭის ზომები ნორმალური ძაბვის მიხედვით და შევამოწმოთ სიმტკიცის II, III და IV თეორიების მიხედვით, თუ დასაშვები ძაბვა მოცემული ორტესებრი კოჭის მასალისათვის ტოლია:

$$[\sigma]=1600 \text{ კგ/სმ}^2.$$

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: სიმტკიცის პირობას II თეორიის მიხედვით ექნება შემდეგი სახე:

$$\sigma_{\text{ე}}^{II}=[0{,}35\sigma+0{,}65\sqrt{\sigma^2+4\tau^2}]\leqslant[\sigma].$$

III თეორიის მიხედვით

$$\sigma_{\text{ე}}^{III}=\sqrt{\sigma^2+4\tau^2}\leqslant[\sigma],$$

ხოლო IV თეორიის მიხედვით

$$\sigma_{\text{ე}}^{IV}=\sqrt{\sigma^2+3\tau^2}\leqslant[\sigma].$$

პ ა ს უ ხ ი: № 18.

§ 28. შედგენილი კოჭის გაანგარიშება

10.14. გავიანგარიშოთ შედგენილი ორტესებრი ფორმის კოჭი, რომლის ნაწილები შეერთებულია მოქლონების საშუალებით, თუ უკანასკნე-

ლი დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით, ინტენსივობით $q=10$ ტ/მ, საყრდენებს შორის მანძილი $l=20$ მ და კონსოლის სიდიდე $l_0=7$ მ. მასალაზე, რომელიც გამოყენებულია კოჭისათვის, დასაშვები ძაბვები შემდეგია:

გაჭიმვასა და კუმშვაზე

$$[\sigma]=1600 \text{ კგ/სმ}^2,$$

ჭრაზე

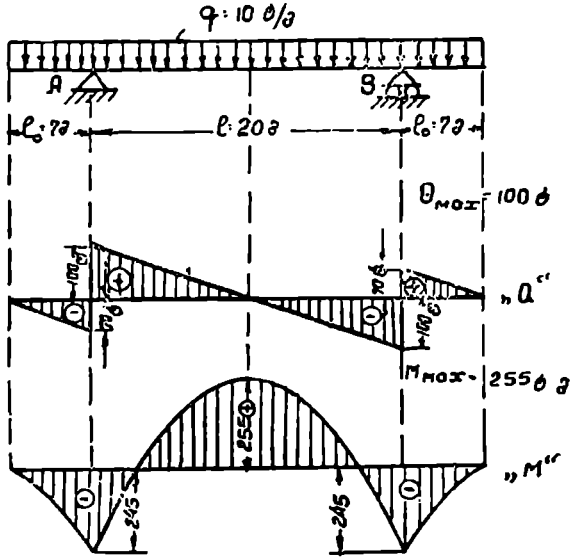
$$[\tau]=1000 \text{ კგ/სმ}^2,$$

მოქლონების თელვაზე

$$[\sigma]_a=2800 \text{ კგ/სმ}^2,$$

მოქლონების ჭრაზე

$$[\tau]=1000 \text{ კგ/სმ}^2.$$



10.14ა ამოცანისათვის.

ამოხსნა: ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები. როგორც ეპიურებიდან ჩანს, მაქსიმალური მღუნავი მომენტი $M_{max}=255$ ტმ და მაქსიმალური განივი ძალა $Q_{max}=100$ ტ.

წინაღობის მომენტს ვიპოვით პირობით:

$$W=\frac{M_{max}}{[\sigma]}=\frac{25\,500\,000}{1600}\approx 16000 \text{ სმ}^3.$$

სორტამენტში მოიძებნება ორტესებრი ფორმის კოჭის უდიდესი წინაღობის მომენტით $W' = 3040$ სმ³, რომლის ნომერია № 60ª.

რადგანაც სორტამენტში არ არის კოჭი შესაფერისი წინაღობის მომენტით, ამისათვის საჭიროა დაპროექტდეს შედგენილი კოჭი.

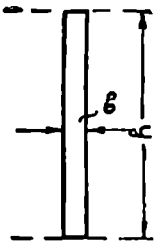
შედგენილი კოჭის გაანგარიშება

ა) განვსაზღვროთ შედგენილი კოჭის კედლის სიმაღლე „h“. კოჭის კედლის სიმაღლეს საზღვრავენ ფორმულით:

$$h = 1{,}2\sqrt{W}, \qquad \text{თუ } W \leqslant 10\,000 \text{ სმ}^3;$$

$$h = 1{,}0\sqrt{W}, \qquad \text{თუ } W \leqslant 30\,000 \text{ სმ}^3.$$

ჩვენი შემთხვევისათვის $W = 16\,000$ სმ³.



10.14ბ ამოცანისათვის.

მოცემული ემპირიული ფორმულის ინტერპოლაციის საშუალებით. მივიღებთ, რომ ვერტიკალური ფურცლის სიმაღლე $h = 126$ სმ.

ბ) განვსაზღვროთ ვერტიკალური კედლის სისქე b (ნახ. ბ). მხებიძაბვების სიმტკიცის პირობიდან გვექნება:

$$b = \frac{3Q_{max}}{2h[\tau]} = \frac{3 \cdot 100\,000}{2 \cdot 126 \cdot 1000} = 1{,}19 \text{ სმ};$$

მდგრადობის პირობიდან მინიმალური კედლის სისქე:

$$b = \frac{1}{12{,}5}\sqrt{h} = \frac{1}{12{,}5}\sqrt{126} = 0{,}9 \text{ სმ}.$$

ორივე პირობა რომ დავაკმაყოფილოთ, მივიღოთ, რომ $b = 1{,}2$ სმ.

გ) იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ სარტყულების ზომები, ჯერ მოვძებნოთ შედგენილი კოჭის ბრუტო ინერციის მომენტი. ამისათვის საჭიროა ჯერ მოვძებნოთ ნეტო ინერციის მომენტი.

$$J_{\text{ნეტ}} = W_{\text{ნეტ}} \cdot Z_{max}.$$

Z_{max} წარმოადგენს მანძილს კოჭის ნეიტრალური შრიდან ყველაზე უფრო დაცილებულ წერტილამდე. თუ მივიღებთ, რომ სარტყლის ფურცლების სისქე მთლიანად იცვლება 1-დან 3 სანტიმეტრამდე, გვექნება:

$$Z_{max} = \frac{h}{2} + (1 \div 3);$$

ჩვენი შემთხვევისათვის გვაქვს:

$$Z_{max}=\frac{126}{2}+2=65 \text{ სმ};$$

შედგენილი კოჭის ნეტო ინერციის მომენტი ტოლი იქნება:

$$J_{ნეტ}=16\,000\cdot 65=1\,040\,000 \text{ სმ}^4.$$

რადგანაც შედგენილი კოჭის ნაწილებს ვაერთებთ მოქლონების საშუალებით, უკანასკნელი შესუსტებული იქნება, და ეს შესუსტება, როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა, შეადგენს 12÷18% ინერციის მომენტისას. ბრუტო ინერციის მომენტს განვსაზღვრავთ შემდეგნაირად:

$$J_{ბრუტ}=1{,}15\ J_{ნეტ}=1{,}15\cdot 1\,040\,000=1\,195\,000 \text{ სმ}^4.$$

დ) განვსაზღვროთ სარტყელების ინერციის მომენტი:

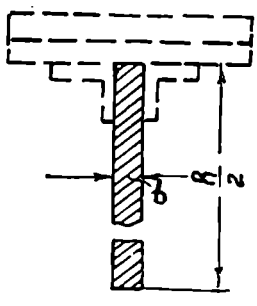
$$J_{სარტ}=J_{ბრუტ}-J_{კედ},$$

$$J_{კედ}=\frac{bh^3}{12}=\frac{1{,}2\cdot 126^3}{12}=200\,000 \text{ სმ}^3.$$

ორივე სარტყელზე მოსული ინერციის მომენტი:

$$J_{სარტ}=1195000-200000=995000 \text{ სმ}^3.$$

ე) თუ მხედველობაში არ მივიღებთ სარტყლის ინერციის მომენტს თავისი სიმძიმის ცენტრის მიმართ, და ამასთან მივიღებთ, რომ $\frac{h}{2}$ არის მანძილი ნეიტრალური შრიდან სარტყელის სიმძიმის ცენტრამდე, გვექნება:



10.14ბ ამოცანისათვის.

$$J_{სარტ}=2F_{სარტ}\ \frac{h^2}{4}$$

და მიახლოებითი სარტყლის ფართობს ეპოვით ფორმულით:

$$F_{სარტ}=\frac{2J_{სარტ}}{h^2}=\frac{2\cdot 995000}{126^2}=125 \text{ სმ}^2.$$

როგორც ჩანს (ნახ. 6), სარტყელი შედგება ორი კუთხოვანი რკინისა და ფურცლებისაგან.

საერთოდ კუთხოვანი რკინის ფართობი შეადგენს მთლიანი ფართობის 30÷50%.

მივიღოთ კუთხოვანი რკინა 120×120×12. ორი კუთხოვანი რკინის ფართობი იქნება 27,6×2≈55 სმ².

ფურცლების ფართობი ტოლი იქნება:

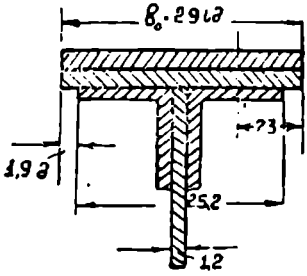
$$F_ფ=125-55=70 \text{ სმ}^2.$$

თუ მივიღებთ, რომ ფურცლების სისქე $\delta=1{,}2$ სმ და ავიღებთ ორ ფურცელს, მაშინ ფურცლების სიგანე ტოლი იქნება:

$$b_0=\frac{70}{2\cdot 1{,}2}\approx 29 \text{ სმ.}$$

ფურცლის გადაშვება მივიღოთ არაუმეტესი 0,5÷3,0 სანტიმეტრი.

უდიდესი მანძილი ფურცლის ნაპირიდან მოქლონის ღერძამდე არ უნდა აღემატებოდეს 8 ფურცლის სისქეს. ჩვენს შემთხვევაში ორივე პირობა დაკმაყოფილებულია.

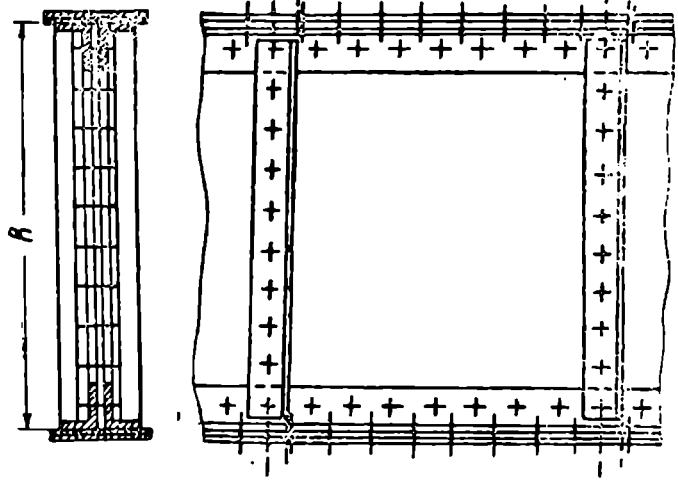


10.14ე ამოცანისათვის.

ვ) ძირითადი ზომების დანიშვნის შემდეგ საჭიროა შედგენილი კოჭის სიმტკიცე შევამოწმოთ ნორმალური ძაბვების მიხედვით, თუ მხედველობაში მივიღებთ მოქლონებით გამოწვეულ შესუსტებას.

მოქლონის დიამეტრს ვიღებთ გაორკეცებული ფურცლის სისქის ტოლს.

ჩვენს შემთხვევაში, რადგანაც ფურცლის სისქე $\delta=1{,}2$ სმ, მოქლონის დიამეტრს ვიღებთ $d=2{,}3$ სმ. კუთხოვანი რკინა ვერტიკალურ კედელ-



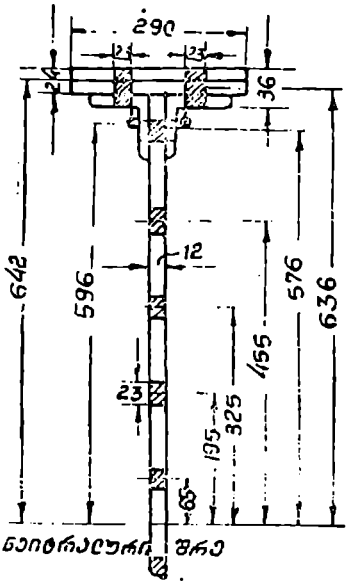
10.14ე ამოცანისათვის,

თან და ჰორიზონტალურ ფურცლებთან დაკავშირებულია მოქლონების საშუალებით. მოქლონები, რომლებიც აერთებენ კედელს და ჰორიზონ-

ტალურ ფურცლებს კუთხოვან რკინასთან, ურთიერთ განლაგებულნი ორიან პადრაკისებურად, როგორც ეს ე ნახაზზეა ნაჩვენები.

რადგანაც შედგენილი კოჭის ვერტიკალური კედელი საკმაოდ დიდი სიმაღლისაა, მას უკეთდება სიხისტის წიბოები ანუ სიხისტის კუთხურები. სიხისტის წიბოების დაშორების მანძილი დაახლოებით კოჭის სიმაღლის ტოლია. სიხისტის წიბოები კედელთან მაგრდება ნაფენის საშუალებით, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები (ნახ. ე). მანძილი მოქლონებს შორის, რომლითაც მაგრდება სიხისტის კუთხურა კედელთან აიღება კონსტრუქციულად და ტოლია:

$$a=(5\div 7)d.$$



10.14ე ამოცანისათვის.

პირობით იღებენ, რომ შედგენილი კოჭის კედელი შესუსტებულია იმ ხვრელებით, რომელთა საშუალებითაც მაგრდება სიხისტის წიბო, ხოლო კუთხოვანი რკინა და ფურცელი იმ ხვრელებით, რომელთა საშუალებით მაგრდება კუთხოვანი რკინა ჰორიზონტალურ ფურცლებთან (ნახ. ვ, დაშტრიხულია საანგარიშო შესუსტებული ფართობი).

შესუსტებული ფართობების ინერციის მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ ტოლია:

$$J_{\text{შესუსტ}}=2(2\times 2{,}3\times 3{,}6\times 63{,}6^2+2{,}3\cdot 1{,}2\cdot 57{,}6^2+2{,}3\cdot 1{,}2\times 45{,}5^2+$$
$$+2{,}3\cdot 1{,}2\cdot 32{,}5^2+2{,}3\cdot 1{,}2\cdot 19{,}5^2+2{,}3\cdot 1{,}2\cdot 6{,}5^2)=172400\ \text{სმ}^4.$$

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: შესუსტებული ფართობის ინერციის მომენტს თავისივე სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ სიმცირის გამო მხედველობაში არ ვღებულობთ.

გავიანგარიშოთ კოჭის კვეთის ფაქტიური ნეტო ინერციის მომენტი:

$$J_{\text{ნეტ}}=J_{\text{ბრუტ}}-J_{\text{შესუსტ}}=1\,195\,000-172\,400=1\,022\,600\ \text{სმ}^4.$$

საჭირო ინერციის ნეტო მომენტი

$$J_{\text{ნეტ}}=1\,040\,000\ \text{სმ}^4.$$

ფაქტიური ინერციის მომენტსა და საჭირო ინერციის მომენტს შო-

რის განსხვავება $\frac{1\,040\,000-1\,022\,600}{1\,040\,000}\cdot 100=1{,}67\%$, ე. ი. შესუსტება მოქლონის ხვრეტილებით ჩვენს შემთხვევაში 15 პროცენტზე მეტია.

ფაქტიური წინაღობის ნეტო მომენტი ტოლია:

$$W_{ნეტ}=\frac{J_{ნეტ}}{Z_{max}}=\frac{1\,022\,600}{65{,}4}=15\,600 \text{ სმ}^3.$$

ფაქტიური მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა:

$$\sigma_{max}=\frac{M_{max}}{W_{ნეტ}}=\frac{25\,500\,000}{15\,600}=1{,}635 \text{ კგ/სმ}^2.$$

გადაძაბვა:

$$\frac{1\,635-1\,600}{1\,600}\cdot 100\%\approx 2{,}2\%,$$

ე. ი. აღებული კვეთი შეიძლება უცვლელი დავტოვოთ.

ზ) შევამოწმოთ კოჭი სიმტკიცეზე მხები ძაბვების მიხედვით:

$$\tau_{max}=\frac{Q_{max}\cdot S_{ბრუტ}}{J_{ბრუტ}\cdot b}\leqslant[\tau].$$

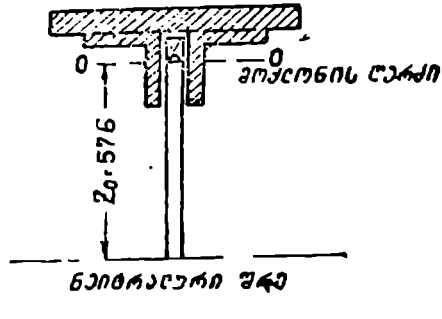
ვიანგარიშოთ $S_{ბრუტ}$ (ნახ. f^{II}).

$$S=F_1y_1+F_2y_2+F_3y_3=2{,}4\times 29\times 64{,}2+2\times 27{,}6\times 59{,}6+1{,}2\times 63\times 31{,}5=10250 \text{ სმ}^3$$

$$\tau_{max}=\frac{100\,000\cdot 10\,250}{1\,195\,000\cdot 1{,}2}=713 \text{ კგ/სმ}^2,$$

$$713<1\,000,$$

ე. ი. სიმტკიცის პირობა დაკმაყოფილებულია მხები ძაბვების მიხედვითაც.



10.14ბ ამოცანისათვის.

თ) მთავარი ძაბვების მიხედვით ჩვენ ვამოწმებთ შედგენილი კოჭის იმ კვეთს, სადაც უდიდეს მნიშვნელობას აღწევს ერთდროულად Q და M და ამ კვეთში იმ წერტილს, სადაც ერთდროულად დიდია σ და τ; ჩვენი შემთხვევისათვის ასეთი კვეთი იქნება საყრდენებთან, ხოლო წერტილი იქ, სადაც კოჭის ქედელი უერთდება კუთხოვან რკინას (ნახ. ზ).

ვიანგარიშოთ 0—0 კვეთში ნორმალური და მხები ძაბვები

$$\sigma=\frac{MZ_0}{J_{ნეტ}}=\frac{24\,500\,000\cdot 57{,}6}{1\,022\,600}=1\,380\ \text{კგ/სმ}^2,$$

$$\tau=\frac{QS^0_{ბრუტ}}{J_{ბრუტ}\cdot b^0},$$

სადაც $S^0_{ბრუტ}$ არის დაშტრიხული ფართობის სტატიკური მომენტი ნეიტრალური შრის მიმართ.

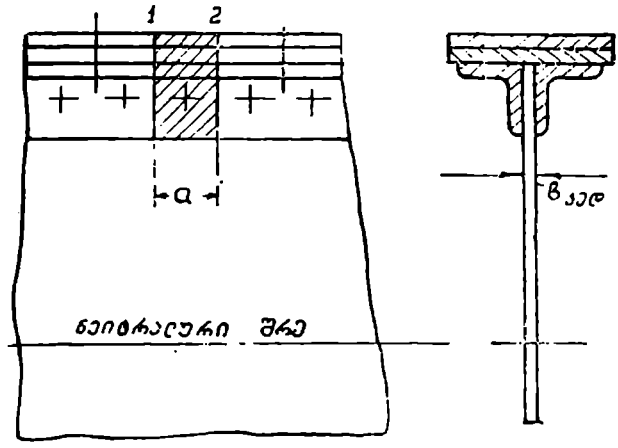
$$S^0_{ბრუტ}=F_1\cdot y_1+F_2y_2+F_3y_3=2{,}4\cdot 29\cdot 64{,}2+2\cdot 27{,}6\cdot 59{,}6+$$
$$+1{,}2\cdot 6{,}7\cdot 60{,}8=8257,$$

$$\tau=\frac{100\,000\cdot 8257}{1195000\cdot 1{,}2}=575\ \text{კგ/სმ}^2$$

თუ შევამოწმებთ სიმტკიცის 1 თეორიის მიხედვით, გვექნება:

$$\sigma_2{}^{I}=\frac{1}{2}\left[\sigma+\sqrt{\sigma^2+4\tau^2}\right]\leqslant[\sigma],$$

$$\sigma_2{}^{I}=\frac{1}{2}\left[1380+\sqrt{1380^2+4\cdot 575^2}\right]\approx 1590;$$



10.14ო ამოცანისათვის.

დაუძაბველობა პროცენტობით ტოლია: $\frac{1\,590-1\,600}{1\,600}\cdot 100\%=0{,}63\%$.

ი) მანძილს „a“ ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ მოქლონებს შორის ვანგარიშობთ სიმტკიცის პირობიდან თელვასა და ჭრაზე.

ჭრის პირობიდან

$$a \leqslant \frac{[\tau] J \pi d^2}{2 Q S_{\text{საჭ}}},$$

თელვის პირობიდან

$$a \leqslant \frac{[\sigma]_{\text{თ}} \cdot J \cdot b_{\text{ყუე}} \cdot d}{Q \cdot S_{\text{საჭ}}},$$

სადაც d არის მოქლონის დიამეტრი ($d=2{,}3$ სმ).

$b_{\text{ყ}}$ — კედლის სისქე $b_{\text{ყ}} = 1{,}2$ სმ;

J — ბრუტო ინერციის მომენტი $J = 1\,195\,000$ სმ⁴;

$S_{\text{საჭ}}$ — სარტყლის სტატიკური მომენტი

$$S = 2{,}4 \times 29 \times 64{,}2 + 2 \times 27{,}6 \times 59{,}6 = 7\,770 \text{ სმ}^3$$

Q — მაქსიმალური განივი ძალა $Q = 100$ ტ;

$[\tau]$ — დასაშვები ძაბვა მოქლონისათვის ჭრაზე $[\tau] = 1000$ კგ/სმ²;

$[\sigma]_{\text{თ}}$ — დასაშვები ძაბვა თელვაზე $[\sigma]_{\text{თ}} = 2\,800$ კგ/სმ².

ჭრის პირობიდან მოქლონებს შორის მანძილი ტოლია:

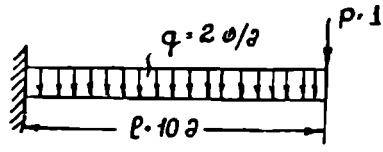
$$a \leqslant \frac{1\,000 \cdot 1\,195\,000 \cdot 3{,}14 \cdot 2{,}3^2}{2 \cdot 100\,000 \cdot 7\,770} = 12{,}8 \text{ სმ},$$

თელვის პირობიდან

$$a \leqslant \frac{2\,800 \cdot 1\,195\,000 \cdot 1{,}2 \cdot 2{,}3}{100\,000 \cdot 7\,770} = 11{,}9.$$

ორივე პირობა რომ დავაკმაყოფილოთ მოქლონებს შორის მანძილი უნდა ავიღოთ $a = 12$ სმ.

10.15. გავიანგარიშოთ ორტესებრი ფორმის შედგენილი კოჭი, რომელიც შეერთებულია მოქლონებით, ნახაზზე მოცემული დატვირთვის შემთხვევაში, თუ ძირითადი მასალისათვის დასაშვები ძაბვა $[\sigma] = 1\,600$ კგ/სმ², მოქლონისათვის $[\sigma]_{\text{ა}} = 2\,800$ კგ/სმ² და $[\tau]_{\text{ა}} = 1\,000$ კგ/სმ².



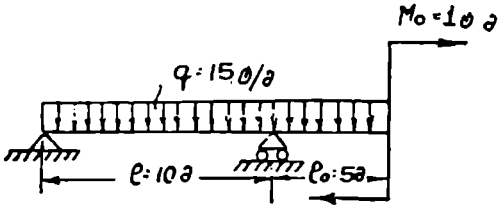
10.15 ამოცანისათვის.

10.16. ნახაზზე მოცემული დატვირთვისათვის გავიანგარიშოთ შედგენილი ორტესებრი ფორმის კოჭი, რომელიც შეერთებულია მოქლონების საშუალებით, თუ ძირითადი მასალისათვის დასაშვები ძაბვა $[\sigma] = 1\,400$ კგ/სმ²; მოქლონისათვის $[\sigma]_{\text{ა}} = 3\,200$ კგ/სმ²; $[\tau] = 1\,400$ კგ/სმ².

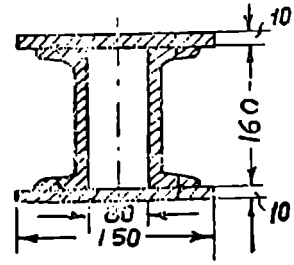
10.17. ორი შველერისაგან № 16ª და ორი ჰორიზონტალური ფურცლისაგან 150×10 შედგენილია კოჭი, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები.

განვსაზღვროთ იმ მაქსიმალური თანაბრად განაწილებული ტვირთის ინტენსივობა „q_{max}“, რომელიც შეიძლება მიიღოს კოჭმა, თუ შედგენილი კოჭი მდებარეობს ორ საყრდენზე და საყრდენებს შორის მანძილი $l=10$ მ.

განვსაზღვროთ აგრეთვე მოქლონებს შორის ბიჯი, თუ მოქლონის დიამეტრი $d=20$ მმ.



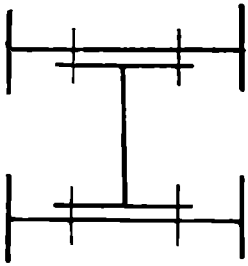
10.16 ამოცანისათვის.



10.17 ამოცანისათვის.

დასაშვები ძაბვებია: ძირითადი მასალისათვის $[\sigma]=1\,600$ კგ/სმ², მოქლონისათვის $[\sigma]_ა=2\,800$ კგ/სმ² და $[\tau]=1\,000$ კგ/სმ²

10.18. შედგენილი კოჭის განივკვეთის ფართობი შედგება სამი ორტესებრი ფორმის პროფილისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან მოქლონების საშუალებით (იხ. ნახაზი). შუათანა ორტესებრი წიბოს ნომერი 30ª, ხოლო განაპირების № 20ª.



10.18 ამოცანისათვის.

გავიანგარიშოთ კონსოლური კოჭის თავისუფალ ბოლოზე მაქსიმალური დასაშვები ძალის სიდიდე, თუ მეორე ბოლო ხისტადაა ჩამაგრებული და მალი $l=10$ მ.

განესაზღვროთ ჟურავსკის ფორმულებით ბიჯი „a“ მოქლონებს შორის.

გაანგარიშებისას დასაშვები ძაბვების სიდიდეები მივიღოთ იგივე, რაც წინა ამოცანაშია.

10.19. ორ საყრდენზე მდებარე შედგენილი კოჭი, რომლის მალი $l=10$ მ, დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით $q=25{,}6$ ტ/მ.

შევარჩიოთ შედგენილი ორტესებრი ფორმის კოჭის ზომები, რომელიც შეერთებულია ელექტროშედუღების საშუალებით. დასაშვები ძაბვა ძირითადი მასალისათვის: გაჭიმვა-კუმშვაზე $[\sigma]=1\,600$ კგ/სმ²; ჭრაზე $[\tau]=1\,000$; ჭრაზე ელექტროშედუღებისათვის $[\tau]_ა=1\,100$ კგ/სმ².

ამოხსნა: განვსაზღვროთ მაქსიმალური მღუნავი მომენტისა და განივი ძალის სიდიდეები:

$$M_{max}=\frac{ql^2}{8}=\frac{25{,}6\cdot 10^2}{8}=320 \text{ ტ მ},$$

$$Q_{max}=\frac{ql}{2}=\frac{25{,}6\cdot 10}{2}=128 \text{ტ}.$$

საჭირო წინაღობის მომენტი ტოლია:

$$W=\frac{M_{max}}{[\sigma]}=\frac{32000000}{1600}=20000 \text{ სმ}^3.$$

შედგენილი კოჭის ზომებს შედუღებითი შეერთებისას დავნიშნავთ ისევე, როგორც მოქლონური შეერთების დროს, იმ განსხვავებით, რომ აქ კვეთის შესუსტებას ადგილი არა აქვს.

ა) განვსაზღვროთ ვერტიკალური ფურცლის სიმაღლე

$$h=1{,}1\sqrt{W}=1{,}1\sqrt{20000}\approx 156 \text{ სმ},$$

ბ) განვსაზღვროთ ვერტიკალური კედლის სისქე

$$b=\frac{3\cdot Q_{max}}{2\cdot h[\tau]}=\frac{3\cdot 128000}{2\cdot 156\cdot 1000}=1{,}23 \text{ სმ}.$$

განვსაზღვროთ მინიმალური კედლის სისქე მდგრადობის პირობიდან

$$b=\frac{1}{12.5}\sqrt{156}=1 \text{ სმ}.$$

კედლის სისქე ავიღოთ $b=1{,}2$ სმ.

გ) განვსაზღვროთ სარტყლის ჰორიზონტალური ფურცლის ფართობები.

გამოვთვალოთ შედგენილი კოჭის ინერციის მომენტი:

$$J=W\cdot Z_{max}.$$

თუ მივიღებთ, რომ სარტყლის სისქე δ იცვლება $1\div 3$ სმ-მდე გვექნება:

$$Z_{max}=\frac{h}{2}+2=\frac{156}{2}+2=80 \text{სმ},$$

$$J=20000\cdot 80=1600000 \text{ სმ}^4.$$

გამოვთვალოთ სარტყლების ინერციის მომენტი:

$$J_{\text{სარტ}} = J - J_{\text{კედ}} = 1600000 - 380000 = 1220000 \text{ სმ}^4,$$

$$J_{\text{კედ}} = \frac{bh^3}{12} = \frac{1{,}2 \cdot 156^3}{12} = 380000 \text{ სმ}^4.$$

განვსაზღვროთ თვითეული სარტყლის ფართობი:

$$F_{\text{სარტ}} = \frac{2 \cdot J_{\text{სარტ}}}{(h+\delta)^2} = \frac{2 \cdot 1220000}{(156+2)^2} = 97{,}6 \text{ სმ}^2.$$

სარტყელი კეთდება ერთი ფურცლისაგან. სარტყლის სიგანეს ვსაზღვრავთ ფორმულით:

$$b_0 \cong (0{,}2 \div 0{,}3)h,$$

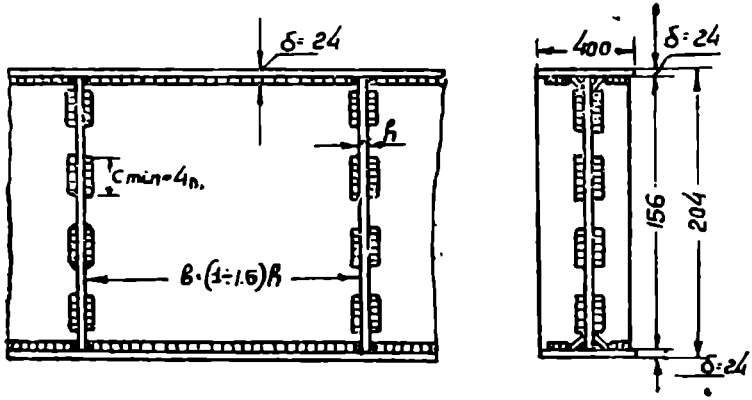
$$b_0 < 30\delta;$$

თუ მივიღებთ, რომ

$$b_0 = 0{,}25h \cong 0{,}25 \cdot 156 \approx 40 \text{ სმ},$$

მაშინ ფურცლის სისქე

$$\delta = \frac{F_{\text{სარტ}}}{b_0} = \frac{97{,}6}{40} \cong 2{,}4 \text{ სმ}.$$



10.19 ამოცანისათვის.

შევამოწმოთ შედგენილი კოჭი ნორმალური ძაბვების მიხედვით.

მოვძებნოთ სარტყლის ინერციის მომენტი:

$$J_{\text{სარტ}} = 2\left[\frac{40 \cdot 2{,}4^3}{12} + 2{,}4 \times 40 \cdot 79{,}2^2\right] = 1200096 \text{ სმ}^4,$$

$$J = J_{\text{სარტ}} + J_{\text{კედ}} = 1200096 + 380000 = 1580096 \text{ სმ}^4;$$

წინაღობის მომენტი

$$W = \frac{J}{Z_{max}} = \frac{1580096}{80,4} = 19650 \text{ სმ}^3;$$

ფაქტიური ნორმალური მაქსიმალური ძაბვა

$$\sigma_{max} = \frac{32000000}{19650} = 1630 \text{ კგ/სმ}^2;$$

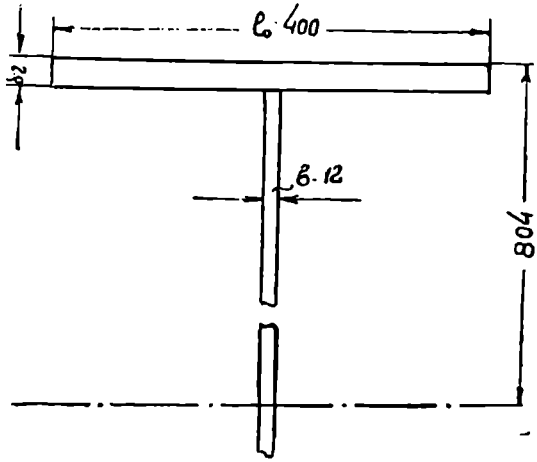
ადაძაბვა ტოლია

$$\frac{1630 - 1600}{1600} \cdot 100\% = 1,87\%,$$

რაც დასაშვებია.

დ) ელექტროშედუღების ნაკერის გაანგარიშება

სიხისტის წიბოების დანიშნა ხდება კონსტრუქციულად. მანძილი წიბოებს შორის იცვლება ზღვრებში $l = (1 \div 1,5)h$. ნაკერებს შორის მანძილი $a - c$ უნდა იყოს არაუმეტეს 16 δ, სადაც δ არის ფურცლის მინიმალური სისქე; ნაკერის სიგრძე $c_{min} \geqslant 4m$, სადაც m ნაკერის საანგარიშო სისქეა და ყოველ შემთხვევაში $c_{min} \geqslant 40$ მმ. სარტყლის და ვერტიკალური კედლის დამაკავშირებელი ნაკერის სიგრძეს ვპოულობთ ფორმულით:



14.19 ამოცანისათვის.

$$\frac{a}{c} = \frac{2Jm[\tau]_ə}{QS_{საბ}}.$$

თუ წინასწარ დავნიშნავთ m-ის მნიშვნელობას, მივიღებთ C ფარდობის მნიშვნელობას. როდესაც ნაკერი მთლიანია $a = c$, მაშინ განვსაზღვრავთ m-ს.

m უნდა მივიღოთ 4 მმ-ზე მეტი.

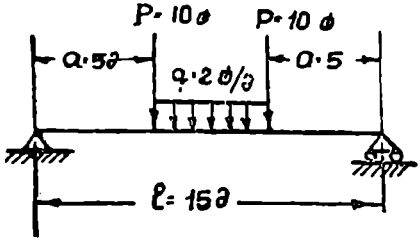
დავნიშნოთ ნაკერის სისქე $m = 10$ მმ.

$$S_{საბ} = 2,4 \times 40 \times 90 = 8650 \text{ სმ}^3,$$

$$\frac{a}{c} = \frac{2 \times 1580096 \cdot 1 \times 1100}{128000 \cdot 8650} = 3,14.$$

თუ მივიღებთ, რომ $c=20$ სმ, მაშინ $a=3{,}14\times 20=62{,}8$ სმ.

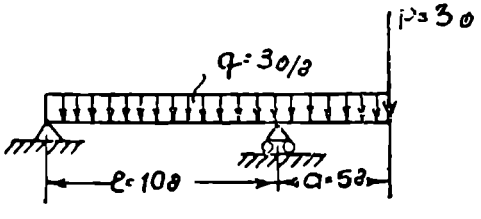
10.20. ნახაზზე მოცემულია ორ საყრდენზე მდებარე შედგენილი ორტესებრი ფორმის კოჭი, რომელიც შეერთებულია ელექტროშედუღების საშუალებით. შევარჩიოთ კოჭის კეეთისა და ელექტრონაკერის ზომები, თუ ძირითადი მასალისათვის დასაშვები ნორმალური ძაბვა $[\sigma]=1600$ კგ/სმ²; მხები ძაბვა $[\tau]=1000$ კგ/სმ²; და ელექტროშედუღებისათვის $[\tau]_ə=11000$ კგ/სმ².



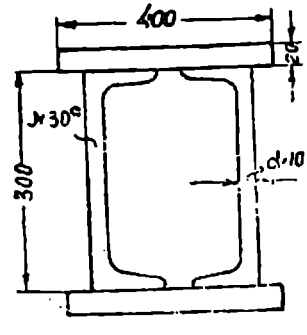
10.20 ამოცანისათვის.

10.21. შედგენილი ორტესებრი ფორმის განიკვეთი კოჭისათვის, რომლის დატვირთვა მოცემულია ნახაზზე, ვიანგარიშოთ ზომები ნაკერის სიგრძე, თუ დასაშვები ძაბვები იგივეა, რაც წინა მაგალითში.

10.22. ვიანგარიშოთ ნახაზზე მოცემული შედგენილი კოჭის მთლიანი ნაკერის სისქე m,



10.21 ამოცანისათვის.



10.22 ამოცანისათვის.

თუ კოჭისათვის მაქსიმალური განივი ძალა $Q_{max}=10$ ტ და დასაშვები მხები ძაბვა ელექტროშედუღებისათვის $[\tau]_ə=800$ კგ/სმ²; შველერის ნომერია 30, ფურცლის ზომა 40×2 სმ.

მ ი თ ი თ ე ბ ა: ნაკერის სისქეს, როდესაც უკანასკნელი უწყვეტია, ვპოულობთ ფორმულით:

$$m=\frac{Q_{max}\cdot S_{საჭ}}{J\cdot 2\cdot [\tau]_ə}.$$

თავი მეთერთმეტე

დეფორმაციების განსაზღვრა ღუნვის დროს

მოკლე ცნობები თეორიიდან

გაჭიმვა-კუმშვის დროს ადგილი აქვს განივკვეთის გადაადგილებას ხაზობრივად, გრეხის დროს ხდება კვეთის მხოლოდ მობრუნება, ღუნვისას კი ადგილი აქვს კვეთის როგორც გადაადგილებას (ჩაღუნვას), ისე მის მობრუნებას ნეიტრალური ღერძის გარშემო. მობრუნების კუთხეს და გადაადგილებას განვსაზღვრავთ, თუ გაღუნული კოჭის ღერძის დიფერენციალურ განტოლებას $EJ\frac{d^2y}{dx^2}=M(x)$ გავაინტეგრალებთ.

ერთხელ გაინტეგრალებით მივიღებთ მობრუნების კუთხის განტოლებას:

$$\Theta=\frac{dy}{dx}=\frac{1}{EJ}\left[\int M(x)\,dx+C\right],$$

ხოლო მეორეჯერ გაინტეგრალებით ჩაღუნვის ისრის განტოლებას:

$$y=\frac{1}{EJ}\left[\int dx\int M(x)dx+Cx+D\right].$$

ინტეგრების მუდმივებს მოვძებნით სასაზღვრო პირობებიდან. იმ შემთხვევაში, როდესაც გვაქვს რამდენიმე უბანი, ჩაღუნვის ისრისა და მობრუნების კუთხის მოსაძებნად ვსარგებლობთ ჩაღუნვის ისრის უნივერსალური განტოლებით, რომელიც მაგალითის სახით ქვემოთ არის მოცემული. როდესაც საჭიროა მოიძებნოს ჩაღუნვის ისარი ან მობრუნების კუთხე ერთ გარკვეულ კვეთში, უმჯობესია ამ შემთხვევაში ვისარგებლოთ გრაფოანალიზური ხერხით.

ჩაღუნვის ისარს გრაფოანალიზური ხერხით ვპოულობთ ფორმულით:

$$y=\frac{M_f}{EJ},$$

ხოლო მობრუნების კუთხეს

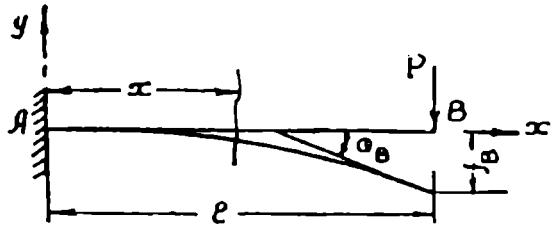
$$\Theta=\frac{Q_f}{EJ}.$$

ფორმულებში M_f და Θ_f წარმოადგენენ ფიქტიურ მღუნავ მომენტს და ფიქტიურ განივ ძალას, EJ კი ნამდვილი კოჭის სიხისტეა.

§ 29. დეფორმაციების განსაზღვრა ანალიზური ხერხით

11.1. ფოლადის კონსოლური კოჭის ბოლოზე მოქმედებს $P=1{,}6$ ტ ძალა. განვსაზღვროთ ჩაღუნვის ისარი და მობრუნების კუთხე B კვეთში, თუ კონსოლური კოჭის მალი $l=6$ მ, კოჭის განივკვეთის ფორმა ორტესებრია და დასაშვები ნორმალური ძაბვა

$$[\sigma]=1600 \text{ კგ/სმ}^2.$$



11.1 ამოცანისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა: განვსაზღვროთ კოჭის განივკვეთის ზომები:

$$W=\frac{M_{max}}{[\sigma]}=\frac{P\cdot l}{[\sigma]}=\frac{1600\cdot 600}{1600}=600 \text{ სმ}^3;$$

სორტამენტის მიხედვით ვარჩევთ ზომებს № 30ᵇ

$$W=627 \text{ სმ}^3, \qquad J=9400 \text{ სმ}^4.$$

განვსაზღვროთ ჩაღუნვის ისარი და მობრუნების კუთხე B კვეთში. გაღუნული ღერძის დიფერენციალურ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$EJy''=-P(l-x).$$

ერთხელ გაინტეგრალებით მივიღებთ:

$$EJy'=-P\left(lx-\frac{x^2}{2}\right)+C, \tag{1}$$

მეორედ გაინტეგრალების შედეგად გვექნება:

$$EJy=-P\left(l\,\frac{x^2}{2}-\frac{x^3}{6}\right)+Cx+D, \tag{2}$$

C და D ინტეგრების მუდმივებს განესაზღვრავთ პირობით: როდესაც $x=0$ მაშინ $y=0$, და Y'-იც ნულის ტოლია. თუ (1) და (2) ფორმულებში შევიტანთ შესაფერის მნიშვნელობებს, გვექნება:

$$\Theta = Y' = -\frac{P}{EJ}\left(lx - \frac{x^2}{2}\right), \qquad (1)$$

$$Y = -\frac{P}{EJ}\left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right). \qquad (2)$$

თუ x-ის მაგივრად შევიტანთ $x=l$, მივიღებთ ჩაღუნვის ისრისა და შობრუნების კუთხის მნიშვნელობებს B კვეთში:

$$\Theta_B = -\frac{Pl^2}{2EJ}; \qquad f_B = -\frac{Pl^3}{3EJ}.$$

თუ შევიტანთ ფორმულაში შემავალი წევრების რიცხვით მნიშვნელობებს, გვექნება:

$$\Theta_B = -\frac{1600 \cdot 600^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 9400} = -0{,}0153_{\text{რად}} = -0{,}879^\circ = -52'44'',$$

$$f_B = -\frac{1600 \cdot 600^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 9400} = -6{,}13 \text{ სმ}.$$

11.2. ორტესებრი ფორმის ფოლადის კონსოლური კოჭის ბოლოზე, რომლის მალი $l=6$ მ, მოქმედებს $P=1{,}4$ ტ ძალა, შევარჩიოთ კონსოლური კოჭის ზომები ისე, რომ მაქსიმალური ძაბვა კვეთში არ აღემატებოდეს $[\sigma]=1400$ კგ/სმ² და მაქსიმალური ჩაღუნვის ისარი არ აღემატებოდეს $f_B=4$ სმ, თუ $E=2 \cdot 10^6$ კგ/სმ².

ა მ ო ხ ს ნ ა: შევარჩიოთ კოჭის ზომები სიმტკიცის პირობიდან

$$W = \frac{M_{max}}{[\sigma]} = \frac{1400 \cdot 600}{1400} = 600 \text{ სმ}^3.$$

კოჭის ზომები სორტამენტის მიხედვით შემდეგია:

№ 30ᵇ, $W=627$ სმ³, $J=9400$ სმ⁴.

შევარჩიოთ კოჭის ზომები სიხისტის პირობის მიხედვით

$$f_B = \frac{Pl^3}{3EJ},$$

$$J = \frac{Pl^3}{3E \cdot f_B} = \frac{1400 \cdot 600^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 4} = 12600 \text{ სმ}^4.$$

სიხისტის პირობიდან საჭიროა კოჭი № 33ᵇ, რომლისთვისაც

$$J = 12500 \text{ სმ}^3.$$

11.3. გავარკვიოთ რა ფორმა უნდა მივცეთ კონსოლური კოჭის ღერძს, რომლის მალია l, სიხისტე EJ და რომლის ბოლოზე მოქმედებს P ძალა, თუ გვინდა რომ კოჭის ღერძმა P ძალის მოქმედების შედეგად მიიღოს სწორი ფორმა.

პასუხი: $y = -\frac{P}{EJ}\left(\frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right)$.

11.4. მოცემულია კონსოლური ხის კოჭი, რომლის მალი $l = 2$ მ, კოჭის ბოლოზე მოქმედებს $P = 0{,}5$ ტ ძალა. განსაზღვროთ განივკვეთის მტკიცე ზომები და მოვძებნოთ მაქსიმალური ჩაღუნვის ისარი, თუ კოჭის განივკვეთის ფორმა კვადრატულია.

დასაშვები ნორმალური ძაბვა $[\sigma] = 100$ კგ/სმ² და დრეკადობის მოდული $E = 10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: $F = 18{,}1 \times 18{,}1$ სმ²;
$f_B = 1{,}47$ სმ.

11.5. კონსოლური კოჭის მალი $l = 4$ მ, განივკვეთის ფორმა ორტესებრია. კოჭის ბოლოზე მოქმედი ძალა $P = 1$ ტ.

გავიანგარიშოთ კოჭის მტკიცე ზომები და ჩაღუნვის ისრის მაქსიმალური სიდიდე, თუ კოჭი დამზადებულია სხვადასხვა სიმტკიცის ფოლადისაგან; პირველ შემთხვევაში დასაშვები ნორმალური ძაბვა

$$[\sigma] = 1\,000 \text{ კგ/სმ}^2,$$

ხოლო მეორე შემთხვევაში

$$[\sigma] = 1\,600 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: პირველ შემთხვევაში № 24ᵇ, $F = 52{,}6$, $f_B = 2{,}22$ სმ;
მეორე შემთხვევაში № 20ᵇ, $F = 39{,}5$, $f_B = 4{,}27$ სმ.

11.6. მოცემულია კონსოლური კოჭი, რომლის მალია l და მასზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული q ტვირთი.

მოვძებნოთ ჩაღუნვის ისარი და მობრუნების კუთხე B კვეთისათვის, თუ კოჭის სიხისტე მუდმივი სიდიდისაა და ტოლია $EJ = \text{cost}$.

ა მ ო ხ ს ნ ა: დრეკადი წირის დიფერენციალური განტოლება დაიწერება შემდეგნაირად: $EJy'' = M(x)$, სადაც $M(x) = -q\frac{x^2}{2}$.

თუ შევიტანთ $M(x)$ მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$EJy'' = -\frac{q}{2}x^2;$$

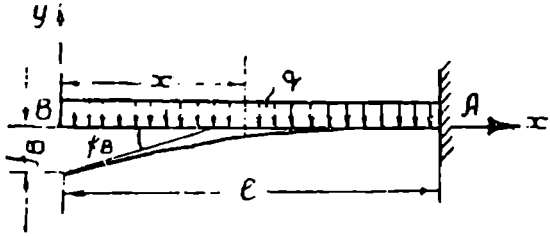
ერთხელ გაინტეგრალების შედეგად მივიღებთ

$$EJy' = -\frac{q}{6}x^3 + C;$$

მეორეთ გაინტეგრალებით გვექნება:

$$EJy = -\frac{q}{24}x^4 + Cx + D.$$

ვისარგებლებთ რა სასაზღვრო პირობებით, განვსაზღვრავთ C და D ინტეგრების მუდმივებს.



11.6 ამოცანისათვის.

როცა $x=l$, $y'=0$ და მივიღებთ

$$0 = -\frac{q}{6}l^3 + C; \qquad C = \frac{q}{6}l^3.$$

თუ „C“ მნიშვნელობას შევიტანთ ჩაღუნვის ისრის განტოლებაში, კვეთისათვის $x=l$ და $y=0$, მივიღებთ:

$$0 = -\frac{q}{24}l^4 + \frac{q}{6}l^4 + D,$$

$$D = -\frac{1}{8}ql^4.$$

ჩაღუნვისა და მობრუნების კუთხის განტოლება საბოლოოდ ასე დაიწერება:

$$\Theta = y' = \frac{1}{EJ}\left(-\frac{1}{6}qx^3 + \frac{1}{6}ql^3\right),$$

$$y = \frac{1}{EJ}\left(-\frac{1}{24}x^4 + \frac{1}{6}ql^3x - \frac{1}{8}ql^4\right).$$

„B“ კვეთში, ე.ი. როდესაც $x=0$ მობრუნების კუთხე და ჩაღუნვის ისარი ტოლია

$$Q_B=-\frac{ql^3}{6EJ} \quad \text{და} \quad f_B=-\frac{ql^4}{8EJ}$$

11.7. ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული ორტესებრი პროფილის № 33ª ფოლადის კოჭი, რომლის მალი $l=4$ მ, დატვირთულია $q=1,6$ ტ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით.

განვსაზღვროთ კოჭის თავისუფალი ბოლოს ჩაღუნვა და მობრუნების კუთხე.

პასუხი: $\Theta_B=0,00717_{\text{რად}}=0,412°=24'39''$,
ჩაღუნვის ისარი $f=2,15$ სმ.

11.8. კონსოლური კოჭი, რომლის მალი $l=4$ მ, დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით, ინტენსივობით $q=0,4$ ტ/მ.

გავიანგარიშოთ კოჭის კვეთი და განვსაზღვროთ მაქსიმალური ჩაღუნვის ისარი, თუ განივკვეთის ფორმა კვადრატულია, ხოლო მასალა ერთ შემთხვევაში ხეა, მეორეში ალუმინი, ხოლო მესამეში ფოლადი, დასაშვები ნორმალური ძაბვები:

ხისათვის . . . . . $[\sigma]=100$ კგ/სმ²,
ალუმინისათვის . . . . . $[\sigma]=600$ კგ/სმ²,
და ფოლადისათვის . . . . $[\sigma]=1600$ კგ/სმ².

დრეკადობის მოდული:

ხისათვის . . . . . $E=10^5$ კგ/სმ²,
ალუმინისათვის . . . $E=0,7\cdot 10^6$ კგ/სმ²,
და ფოლადისათვის . . . $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: ხის კოჭისათვის $F=718$ სმ², $f_{max}=-3$ სმ,
ალუმინისათვის $F=216$ სმ², $f_{max}=-4,7$ სმ,
ფოლადისათვის $F=113$ სმ², $f_{max}=-6,03$ სმ.

11.9. კონსოლური კოჭი, რომლის მალია $l=6$ მ, დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით, ინტენსივობით $q=0,8$ ტ/მ. განვსაზღვროთ კოჭის განივკვეთის ზომები და მაქსიმალური ჩაღუნვის ისარი, თუ გვაქვს ერთ შემთხვევაში კვადრატული განივკვეთის ფორმის კოჭი, ხოლო მეორე შემთხვევაში ორტესებრი ფორმისა—ორივე შემთხვევაში მასალად ავიღოთ ფოლადი ნორმალური დასაშვები ძაბვით

$$[\sigma]=1400 \text{ კგ/სმ}^2$$

და დრეკადობის მოდული

$$E=2\cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: კვადრატულისათვის $F=18{,}35\times18{,}35=337$ სმ², $f_{max}=-6{,}85$ სმ. ორტესებრისათვის № 40ª $F=86{,}1$ სმ², $f_{max}=-5{,}98$ სმ.

11.10. ორ საყრდენზე მდებარე კოჭი, რომლის მალი $l=5$ მ, იღუნება მალის შუაზე მოქმედი $P=4$ ტ შეყურსული ძალით.

შევარჩიოთ კოჭისათვის ნაგლინი ფოლადის პროფილი, რომლის ფორმა ორტესებრია ისე, რომ ძაბვა საშიშ კვეთში არ აღემატებოდეს 1600 კგ/სმ² და მალის მაქსიმალური ჩაღუნვა იყოს არა უმეტესი $l/400$-სა. კოჭის მასალის დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ².

ამოხსნა: სიმტკიცის პირობიდან კვეთის შერჩევა ხდება შემდეგი ფორმულით:

$$W\geqslant\frac{M_{max}}{[\sigma]},$$

დატვირთვის სქემის თანახმად

$$M_{max}=-\frac{Pl}{4}-=\frac{4\cdot5}{4}=5\text{ ტ}\cdot\text{მ}=500\,000\text{ კგ მ},$$

საჭირო წინაღობის მომენტი

$$W\geqslant\frac{500\,000}{1\,600}=312\text{ სმ}^3.$$

წინაღობის მომენტს, თუ ვისარგებლებთ გოსტ 10016—39-ით შევარჩევთ ორტესებრ პროფილს № 22ª, რომლისთვისაც $W=309$ სმ³, საიდანაც კოჭის საშიშ კვეთში უდიდესი ძაბვა

$$\sigma_{max}=\frac{M_{max}}{W}-=\frac{500\,000}{309}=1618{,}1\text{ კგ/სმ}^2<1600+5\%;$$

მაშასადამე, შერჩეული პროფილი აკმაყოფილებს სიმტკიცის პირობას. ახლა კოჭი შევამოწმოთ სიხისტეზე.

ორ საყრდენზე მდებარე კოჭზე მალის შუაში შეყურსული ძალის მოქმედების დროს მაქსიმალური ჩაღუნვა გაიანგარიშება ფორმულით

$$f_{max}=\frac{Pl^3}{48EJ}.$$

პირობის თანახმად f_{max} არ უნდა აღემატებოდეს $\frac{l}{400}$-ს, ე. ი. კოჭისათვის დაცული უნდა იყოს სიხისტის პირობა, რომელსაც ექნება შემდეგი სახე

$$\frac{Pl^3}{48EJ}\leqslant\frac{l}{400}\quad\text{ან}\quad\frac{4000\cdot500^3}{48\cdot2\cdot10\cdot J^6}\leqslant\frac{500}{400},$$

საიდანაც. სიხისტის პირობიდან კოჭის განივკვეთის ინერციის მომენტი

$$J \geqslant 4170 \text{ სმ}^4.$$

სიმტკიცის პირობიდან ჩვენ მიერ შერჩეული კვეთისათვის $J=3400$ სმ^4, რომელიც სიხისტის პირობას არ აკმაყოფილებს; სიხისტის პირობის დაცვის მიზნით ცხრილიდან ვიღებთ ორტესებრ პროფილს № 24^a, რომლისთვისაც $J=4570$ სმ^3.

11.11. ორ საყრდენზე მდებარე ორტესებრი ფორმის განივკვეთის კოჭი, რომლის მალი $l=6$ მ დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით, ინტენსივობით $q=1$ ტ/მ.

შევარჩიოთ კოჭის ზომები ისე, რომ მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა საშიშ კვეთში არ აღემატებოდეს 1400 კგ/სმ^2 და მაქსიმალური ჩაღუნვის ისარი არ აღემატებოდეს $\frac{l}{500}$.

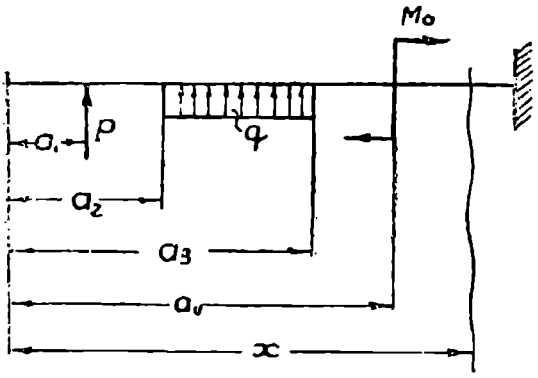
მ ი თ ი თ ე ბ ა: მაქსიმალურ ჩაღუნვის ისარს გავიანგარიშებთ ფორმულით:

$$f=\frac{5ql^4}{384EJ}.$$

11.12 შევადგინოთ მოცემული დატვირთვისათვის ჩაღუნვის ისრის უნივერსალური განტოლება:

$$EJy=EJy_0+EJ\Theta_0 x+P\frac{(x-a_1)^3}{6}+q\frac{(x-a_2)^4}{24}-q\frac{(x-a_3)^4}{24}+$$

$$+M_0\frac{(x-a_4)^2}{2}.$$



11.12 ამოცანისათვის.

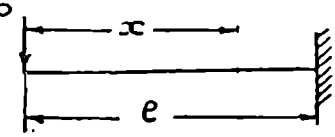
მოცემულ ფორმულაში y_0 და Θ_0 წარმოადგენენ ჩაღუნვის ისარს და მობრუნების კუთხეს კოორდინატთა სათავეში და განისაზღვრებიან საწყისი პირობებიდან.

თუ მოცემულ უნივერსალურ განტოლებას ერთხელ გავაწარმოებთ, მივიღებთ მობრუნების კუთხის განტოლებას.

შევნიშნავთ, რომ ჩაღუნვის ისარის უნივერსალური განტოლება შედგენილია დადებითმომენტიანი ძალებისათვის. საწინააღმდეგოდ მიმარ-

თული ძალებისათვის საჭიროა განტოლებაში ნიშნების შეცვლა. კოორდინატთა სათავედ კი მიჩნეულია კოჭის თავისუფალი ბოლო.

11.13. უნივერსალური განტოლების დახმარებით ვიანგარიშოთ ჩაღუნვის ისარი და მობრუნების კუთხე ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული კოჭის თავისუფალ ბოლოსი, რომელზედაც მოქმედებს P ძალა. ჩვენი კვეთისათვის უნივერსალურ ფორმულას ექნება შემდეგი სახე:



11.13 ამოცანისათვის.

$$EJy = EJy_0 + EJ\Theta_0 x - P\frac{(x-o)^3}{6}; \quad (1)$$

y_0 და Θ_0 მოვძებნოთ საწყისი პირობებიდან. მიღებული ფორმულის ერთჯერ გაწარმოებით გვექნება:

$$EJy' = EJ\Theta_0 - \frac{Px^2}{2}. \qquad (2)$$

როდესაც $x=l$ მობრუნების კუთხე ჩამაგრების კვეთში ნულის ტოლია, $y'=0$ და (2) გამოსახულებიდან მივიღებთ:

$$\Theta_0 = \frac{Pl^2}{2EJ}.$$

შევიტანოთ მიღებული მნიშვნელობა (1) გამოსახულებაში, გვექნება:

$$EJy = EJy_0 + \frac{Pl^2}{2}x - \frac{Px^3}{6}. \qquad (3)$$

როდესაც $x=l$ ჩაღუნვის ისარი ჩამაგრების კვეთში ნულის ტოლია, $y=0$ და (3) გამოსახულებიდან მივიღებთ:

$$y_0 = -\frac{Pl^3}{3EJ}.$$

თუ ამ მნიშვნელობას შევიტანთ (1) გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$y = \frac{1}{EJ}\left[-\frac{Pl^3}{3} + \frac{Pl^2}{2}x - \frac{Px^3}{6}\right].$$

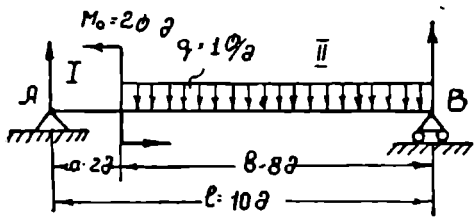
ერთჯერ გაწარმოებით მივიღებთ მობრუნების კუთხის განტოლებას:

$$\Theta = \frac{1}{EJ}\left[-\frac{Pl^2}{2} - \frac{Px^2}{2}\right];$$

ჩაღუნვის ისარი და მობრუნების კუთხე ხისტად ჩამაგრებული კოჭის ბოლოზე, ე. ი. როდესაც $x=0$, ტოლია:

$$f = -\frac{Pl^3}{3EJ}; \qquad \Theta = -\frac{Pl^2}{2EJ}.$$

11.14. ნახაზზე მოცემული ორტესებრი კოჭასათვის გამოვთვალოთ ჩაღუნვის ისარი და მობრუნების კუთხე კვეთში, სადაც მოქმედებს ძალთა წყვილი, თუ მასალის დრეკადობის მოდული $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ² და კვეთის ინერციის მომენტი $J=11900$ სმ⁴.



11.14 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: განვსაზღვროთ ჯერ საყრდენი A რეაქცია

$$\Sigma M_B = A\cdot l - M_0 - \frac{qb^2}{2} = 0,$$

$$A = \frac{M_0}{l} + \frac{qb^2}{2l} = \frac{2}{10} + \frac{1\cdot 8^2}{2\cdot 10} = 3{,}4 \text{ ტ}.$$

ამოცანის გადასაწყვეტად ვისარგებლოთ უნივერსალური განტოლებით. შევადგინოთ უნივერსალური განტოლება I უბნისათვის

$$EJy = EJy_0 + EJ\Theta_0 x + 3{,}4\frac{(x-0)^3}{6};$$

როდესაც $x=0$, ე. ი. საყრდენთან $y=0$ და გვექნება:

$$0 = EJy_0 + 0 + 0, \text{ ანუ } y_0 = 0$$

ანალოგიურად შევადგინოთ უნივერსალური განტოლება II უბნისათვის:

$$EJy = EJ\Theta_0 x + A\frac{(x-0)^3}{6} - M_0\frac{(x-a)^2}{2} - q\frac{(x-a)^4}{24}.$$

მარჯვენა საყრდენთან ჩაღუნვის ისარი ნულის ტოლია, როდესაც $x=l$, მაშინ $y=0$.

$$0 = EJ\Theta_0 l + A\frac{l^3}{6} - M_0\frac{(l-a)^2}{2} - q\frac{(l-a)^4}{24},$$

$$EJ\Theta_0 l = -3{,}4\frac{10^3}{6} + 2\frac{8^2}{2} + 1\frac{8^4}{24},$$

$$\Theta_0 = -\frac{46}{EJ}.$$

საბოლოოდ ჩაღუნვის ისრის განტოლება I უბნისათვის იქნება:

$$EJy = -46x + 3{,}4\frac{x^3}{6};$$

ჩაღუნვის ისარი კვეთში, სადაც მოქმედებს ძალთა წყვილი, ტოლია

$$EJy = -46 \cdot 2 + 3{,}4 \cdot \frac{2^3}{6} = -87{,}5 \text{ ტმ}^3 = -87{,}5 \cdot 10^9 \text{ კგ სმ}^3,$$

$$y = -\frac{-87{,}5 \cdot 10^9}{2 \cdot 10^6 \cdot 11900} = -3{,}68 \text{ სმ}.$$

მობრუნების კუთხის მოსაძებნად იმავე კვეთში საჭიროა ჩაღუნვის ისრის განტოლება გავაწარმოოთ ერთხელ და შემდეგ შევიტანოთ მნიშვნელობა $x = a = 2$ მ.

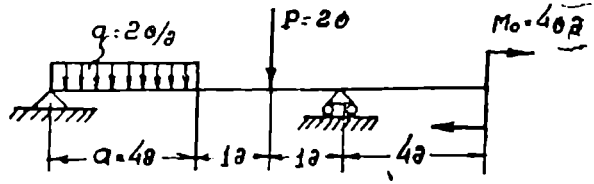
$$EJ\Theta = -46 + 3{,}4\,\frac{3 \cdot x^2}{6},$$

$$EJ\Theta = -46 + 3{,}4\,\frac{x^2}{2},$$

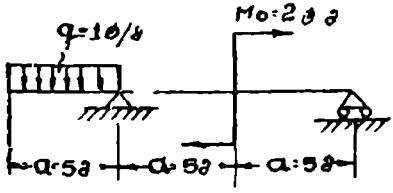
$$EJ\Theta = -46 + 3{,}4\,\frac{2^2}{2} = -39{,}2 \text{ ტმ}^2 = -39{,}2 \cdot 10^7 \text{ კგ სმ}^2,$$

$$\Theta = -\frac{39{,}2 \cdot 10^7}{2 \cdot 10^6 \cdot 11900} = -0{,}0165_{\text{რად}} = 0{,}94°.$$

11.15. ორტესებრი განივკვეთის ფოლადის კოჭისათვის, რომლის ზომები და დატვირთვა ნახაზზეა მოცემული, შეეარჩიოთ კვეთის ზომები და განესაზღვროთ ჩაღუნვის ისარი კვეთებში, სადაც მოქმედებს ძალა P და ძალთა წყვილი M_0. გაანგარიშებისას ეისარგებლოთ ჩაღუნვის ისრის უნივერსალური ფორმულით. მიეიღოთ, რომ დრეკადობის მოდული ფოლადის კოჭისათვის $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ², და დასაშვები ძაბვა $[\sigma] = 1600$ კგ/სმ².



11.15 ამოცანისათვის.



11.16 ამოცანისათვის.

11.16 წრიული კვეთის ხის კოჭზე მოქმედებს დატვირთვა, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები.

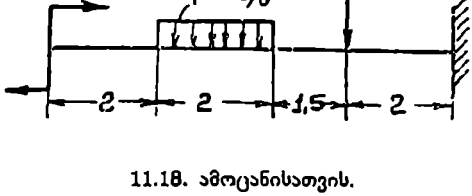
დაენიშნოთ კოჭის მტკიცე ზომები.

განესაზღვროთ მარჯვენა საყრდენთან მობრუნების კუთხე და ჩაღუნვის ისარი მარცხენა კონსოლის ბოლოზე, თუ დასაშვები ძაბვა ხისათვის

$[\sigma]=100$ კგ/სმ² და დრეკადობის მოდული $E=10^5$ კგ/სმ².

11.17. წინა მაგალითში მოცემული კოჭისათვის განვსაზღვროთ დეფორმაციები იმავე კვეთებში, მასალად ავიღოთ ფოლადი.

დასაშვები ძაბვა ფოლადისათვის $[\sigma]=1400$ კგ/სმ² და დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ².



11.18. ამოცანისათვის.

11.18. სწორკუთხიანი განივკვეთის ხის კოჭისათვის, რომლის გვერდების ფარდობა $\frac{h}{b}=2$, შევარჩიოთ კვეთის ზომები და განვსაზღვროთ მაქსიმალური ჩაღუნვის ისარი და მობრუნების კუთხე, თუ დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=120$ კგ/სმ² და დრეკადობის მოდული $E=10^5$ კგ/სმ².

§ 30. დეფორმაციების განსაზღვრა გრაფოანალიზური ხერხით

11.19. მოვძებნოთ ფოლადის ორტესებრი ფორმის კოჭის ჩაღუნვის ისარი და მობრუნების კუთხე C კვეთში, თუ დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ² და ინერციის მომენტი ორტესებრი კოჭისათვის $J=9400$ სმ⁴. კოჭის ზომები და დატვირთვის სახე მოცემულია ნახაზზე.

ამოხსნა: ავაგოთ ჯერ მღუნავი მომენტის ეპიურა ნამდვილი კოჭისათვის. აგების შემდეგ ეს ეპიურა მივიღოთ როგორც ფიქტიური დატვირთვა. რადგანაც ეპიურა უარყოფითი ნიშნით არის, მივმართოთ დატვირთვა ზემოდან ქვემოთ. შევარჩიოთ ფიქტიური კოჭის საყრდენები: A საყრდენის გასწვრივ გვექნება მოძრავი სახსრული დამაგრება ფიქტიური კოჭისათვის, B საყრდენის გასწვრივ გვექნება სახსარი, ხოლო C თავისუფალი ბოლოს გასწვრივ ხისტი ჩამაგრება. C კვეთში მობრუნების კუთხისა და ჩაღუნვის ისრის საპოვნელად მოვძებნოთ ამავე კვეთში ფიქტიური კოჭისათვის ფიქტიური განივი ძალა და მღუნავი მომენტი. ამისათვის ჯერ განვსაზღვროთ $B_ფ$ რეაქცია

$$B_ფ=\frac{2}{3}\omega_1=\frac{2}{3}\frac{Pa\cdot l}{2}=\frac{2\cdot2\cdot5\cdot10}{3\cdot2}=33{,}3 \text{ ტ}\cdot\text{მ}^2.$$

განვსაზღვროთ განივი ძალა ფიქტიური კოჭის C კვეთში:

$$\Theta^c_ფ=-B_ფ-\omega_2=-33{,}3-\frac{Pa^2}{2}=-33{,}3-\frac{2\cdot5^2}{2}=-58{,}3 \text{ ტ}\cdot\text{მ}^2.$$

განვსაზღვროთ ამავე კვეთში ფიქტიური მღუნავი მომენტი:

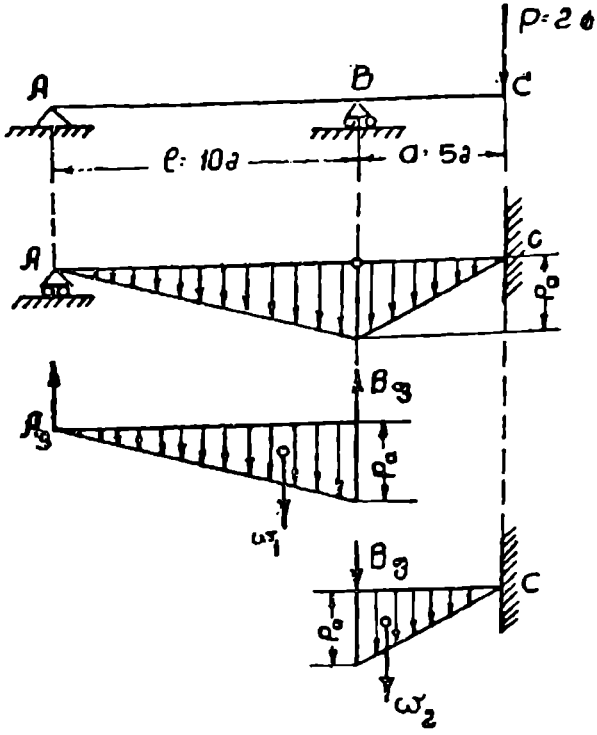
$$M_{\text{ფ}}^{c} = -B_{\text{ფ}} a - \frac{2}{3} a \cdot \frac{Pa \cdot a}{2} = -33{,}3 \cdot 5 - \frac{2 \cdot 2 \cdot 5^{3}}{3 \cdot 2} = 249 \text{ ტ. მ}^{3},$$

ნამდვილი კოჭის მობრუნების კუთხე C კვეთში:

$$\Theta_{c} = \frac{\Theta_{\text{ფ}}}{EJ} = -\frac{58{,}3 \cdot 10^{7}}{2 \cdot 10^{6} \cdot 9400} = -0{,}031_{\text{რად}} = 1{,}78^{\circ}$$

ნამდვილი კოჭის ჩაღუნვის ისარი C კვეთში იქნება:

$$f_{c} = \frac{M_{\text{ფ}}^{c}}{EJ} = -\frac{249 \cdot 10^{9}}{2 \cdot 10^{6} \cdot 9400} = 13{,}25 \text{ სმ}.$$



11.19 ამოცანისათვის.

11.20. ვიანგარიშოთ ჩაღუნვის ისარი და მობრუნების კუთხე იმავე კოჭისათვის იმავე კვეთში, თუ კოჭი ხისაა. დრეკადობის მოდული $E = 10^{3}$ კგ/სმ^{2} და ინერციის მომენტი $J = 200\,000$ სმ^{4}.

11.21. ფოლადის კონსოლური კოჭის ბოლოზე მოქმედებს $P=1$ ტ ძალა, კოჭის მალი $l=4$ მ.

მოვძებნოთ ჩაღუნვის ისარი და მობრუნების კუთხე კოჭის ბოლო და შუა კვეთში, თუ ინერციის მომენტი $J=4800$ კგ/სმ², $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ².

11.22. ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებულ კოჭზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული ტვირთი, ინტენსივობით $q=0{,}5$ ტ/მ.

განვსაზღვროთ ჩაღუნვის ისარი კოჭის ბოლო კვეთში, თუ კოჭი ხისაა დრეკადობის მოდული $E=10^6$ კგ/სმ², $J=120\,000$ კგ/სმ² და მალი $l=5$ მ.

11.23. ორ საყრდენზე მდებარე ორტესებრ კოჭზე, რომლის მალი $l=8$ მ, მოქმედებს ორი თანატოლი $P=2$ ტ ძალა. ძალები საყრდენებიდან დაცილებულია თანატოლი მანძილით $a=2$ მ.

შევარჩიოთ კოჭის მტკიცე ზომები და განვსაზღვროთ ჩაღუნვის ისარი ძალებთან და მობრუნების კუთხე საყრდენებთან. მასალის დრეკადობის მოდული $E=2\cdot 10^6$ და დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1\,400$ კგ/სმ².

თავი მეთოთრმეტე

სტატიკურად ურკვევი კოჭის გაანგარიშება

მოკლე ცნობები თეორიიდან

სტატიკურად ურკვევი ეწოდება ისეთ კოჭს, რომლის საყრდენი ბმათა რიცხვი მეტია სტატიკის წონასწორობის პირობათა რიცხვზე.

წონასწორობის პირობათა რიცხვზე მეტ უცნობებს პირობით „ზედმეტ უცნობებს“ უწოდებენ.

ზედმეტ უცნობებად არჩეული უნდა იქნეს ისეთი საყრდენი ბმების შესაბამისი რეაქციები, რომელთა მოხსნის შემდეგ კოჭი დარჩება სტატიკურად რკვევადი და გეომეტრიულად უცვლელი; ასეთ კოჭს ურკვევი კოჭის ძირითად სისტემას უწოდებენ.

სტატიკურად ურკვევი კოჭის რეაქციათა განსასაზღვრავად წონასწორობის განტოლებათა გარდა უნდა დაიწეროს იმდენი დამატებითი განტოლება, რამდენი ზედმეტი უცნობიცაა. დამატებითი განტოლება დაიწერება კოჭის დეფორმაციის უწყვეტობის პირობიდან.

ერთჯერ სტატიკურად ურკვევი კოჭებისათვის დამატებითი განტოლების შედგენა უფრო ეფექტურია დეფორმაციის შედარების ხერხით ან კასტილიანოს თეორემის გამოყენებით.

კოჭს, რომელიც გაუჩერელად ხურავს ერთზე მეტ მალს უჩრი კოჭი ეწოდება.

უჩრ კოჭში ზედმეტ უცნობად ვირჩევთ საყრდენ მომენტებს, რომელთა განსასაზღვრავად ვწერთ ეგრეთწოდებულ სამ მომენტთა განტოლებას. სამმომენტთა განტოლება იწერება ყოველი ორი მილისათვის და მისი ზოგადი სახე ასეთია:

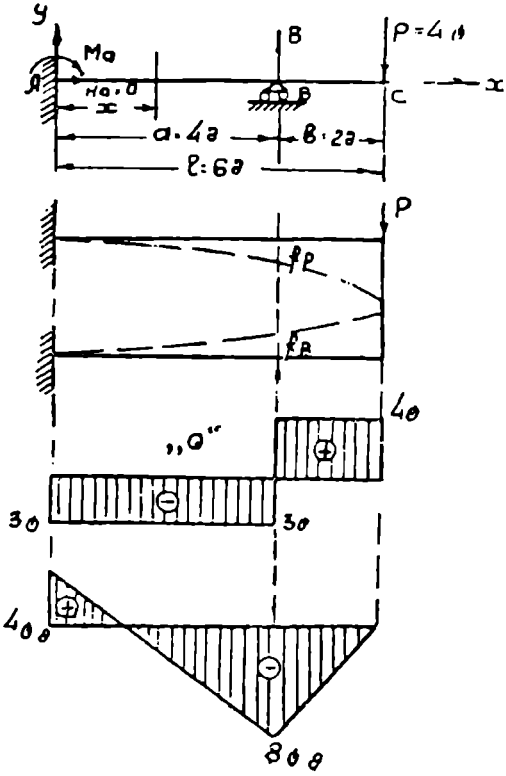
$$M_{n-1}l_n+2M_n(l_n+l_{n+1})+M_{n+1}l_{n+1}=-6\left(\frac{\omega_n a_n}{l_n}+\frac{\omega_{n+1}b_{n+1}}{l_{n+1}}\right).$$

ამ განტოლებაში M_{n-1}, M_n და M_{n+1} შესაბამისად $n-1$, n და $n+1$ საყრდენების საყრდენი მომენტებია, ხოლო განტოლების მარჯვენა მხარეს ფრჩხილში მოთავსებული სიდიდეებიდან პირველი შესაკრები არის მარცხენა კოჭის მარჯვენა საყრდენის ფიქტიური რეაქცია (კოჭი წარმოდგენილია როგორც ორ საყრდენზე მდებარე), ხოლო მეორე შესაკრები მარჯვენა კოჭის მარცხენა საყრდენის ფიქტიური რეაქცია.

§ 31. სტატიკურად შრკვევი კოჭი

12.1. კოჭი, რომლის სიგრძეა $l=6$ მ, მარცხენა ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული და მარჯვენა ბოლოდან 2 მ მანძილზე მოწყობილი აქვს მოძრავი სახსროვანი საყრდენი.

კოჭის თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს შეყურსული ძალა $P=4$ ტ (იხ. ნახ.), განვსაზღვროთ საყრდენის რეაქციები და ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები.



12.1 ამოცანისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა: რეაქციების განსასაზღვრავად ვწერთ სტატიკის წონასწორობის პირობებს:

$\Sigma X=0$ გვაძლევს, რომ $H_a=0$;

$\Sigma Y=0$ მოგვცემს

$$A+B-P=0; \qquad (1)$$

$\Sigma M_A=0$ მოგვცემს

$$M_a-B\cdot a+P\cdot l=0. \qquad (2)$$

სტატიკის წონასწორობის პირობებმა მოგვცა ორი განტოლება, რომლებიც შეიცავენ სამ უცნობს A, B და M_a; მაშასადამე, კოჭი ერთჯერ სტატიკურად ურკვევია.

ა) საჭიროა ერთი დამატებითი განტოლების შედგენა კოჭის დეფორმაციის პირობიდან. ზედმეტ უცნობად ავირჩიოთ B საყრდენის რეაქცია; მაშინ დეფორმაციის შედარების ხერხით მიღებულ განტოლებას ექნება შემდეგი სახე:

$$f_B=f_{BP}+f_{BB}=0,$$

ე. ი. თუ წარმოვიდგენთ B საყრდენს მოშორებულად, მაშინ P ძალის მოქმედებით B კვეთის ჩაღუნვისა და B უცნობი ძალის მოქმედებით B კვეთის ჩაღუნვის ალგებრული ჯამი უნდა უდრიდეს ნულს (იხ. ნახ.).

ერთი ბოლოთი ხისტად დამაგრებული კოჭის თავისუფალ ბოლოზე P ძალის მოქმედებით ნებისმიერი x კვეთის ჩაღუნვა ტოლია:

$$y=-\frac{Plx^2}{6EJ}\left(3-\frac{x}{l}\right),$$

თუ აქ x-ის მაგივრად შევიტანთ B კვეთის a აბსცისას, მივიღებთ:

$$f_{BP}=-\frac{Pla^2}{6EJ}\left(3-\frac{a}{l}\right).$$

B ძალის მოქმედებით B კვეთის აღუნვა

$$f_{BB}=\frac{Ba^3}{3EJ}.$$

შევიტანოთ f_{BP} და f_{BB}-ს მნიშვნელობები დეფორმაციის განტოლებაში.

$$-\frac{Pla^2}{6EJ}\left(3-\frac{a}{l}\right)+\frac{Ba^3}{3EJ}=0; \qquad (3)$$

აქედან

$$B=P+\frac{3Pb}{2a}=4+\frac{3\cdot 4\cdot 2}{2\cdot 4}=7\ \text{ტ}.$$

ბ) ოგივე ამოცანა დეფორმაციის შედარების ხერხის ნაცვლად შეიძლება ამოიხსნას კასტილიანოს თეორემის გამოყენებით. დეფორმაციის პირობა $f_B=0$ გავშალოთ კასტილიანოს თეორემის მიხედვით:

$$f_B=\frac{\partial U}{\partial B}=\frac{1}{EJ}\left\{\int_0^a M_1\frac{\partial M_1}{\partial B}\,dx+\int_0^b M_2\frac{\partial M_2}{\partial B}\,dx\right\}=0,$$

სადაც M_1 და M_2 კოჭის პირველ და მეორე უბნებში მღუნავი მომენტის მნიშვნელობაა. სიხისტე EJ კოჭის მთელ სიგრძეზე მიღებული გვაქვს მუდმივად, ამიტომ საერთო მამრავლი $\frac{1}{EJ}$-ზე შეიძლება უკუვაგდოთ.

გამოვთვალოთ ინტეგრალქვეშა სიდიდეები:

$$M_1=-P(l-x_1)+B(a-x_1); \qquad \frac{\partial M_1}{\partial B}=a-x_1;$$

$$M_2=-P(b-x_2); \qquad \frac{\partial M_2}{\partial B}=0;$$

თუ ამ მნიშვნელობებს შევიტანთ დეფორმაციის განტოლებაში, მივიღებთ:

$$f_B = \int_0^a (-Pl + Px_1 + Ba - Bx_1)(a - x_1)\,dx = 0.$$

ამ განტოლების გაინტეგრალების და B-ს მიმართ ამოხსნის შემდეგ მივიღებთ:

$$B = \frac{3Pl - Pa}{2a},$$

თუ P, l და a-ს რიცხვით მნიშვნელობებს შევიტანთ წინა გამოსახულებაში, გვექნება:

$$B = \frac{3 \cdot 4 \cdot 6 - 4 \cdot 4}{2 \cdot 4} = 7 \text{ ტ}.$$

დანარჩენი უცნობი რეაქციების გასაგებად B-ს მიღებული მნიშვნელობა შევიტანოთ წონასწორობის განტოლებებში.

წონასწორობის (1) განტოლებიდან

$$A = P - B = 4 - 7 = -3 \text{ ტ}.$$

მაშასადამე, A რეაქცია მიმართულია არა ქვევიდან ზევით, როგორც ჩვენ ავირჩიეთ, არამედ, პირიქით, ზევიდან ქვევით.

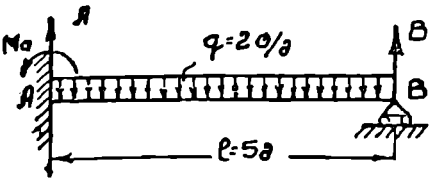
წონასწორობის (2) განტოლებიდან $Ma = B \cdot a - Pl$,

$$Ma = 7 \cdot 4 - 4 \cdot 6 = 4 \text{ ტ}. \text{ მ}.$$

რეაქციის განსაზღვრის შემდეგ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურებს ისევე ვაგებთ როგორც სტატიკურად რკვევად კოჭებში.

ჩვენი ამოცანისათვის Q და M-ის ეპიურები ნაჩვენებია ნახაზზე.

12.2. AB კოჭი, რომლის სიგრძეა 5 მ, A ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული და B ბოლოზე მოწყობილია მოძრავი სახსროვანი საყრდენი. კოჭი მთელ სიგრძეზე დატვირთულია $q = 2$ ტ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით (იხ. ნახ.).



12.2 ამოცანისათვის.

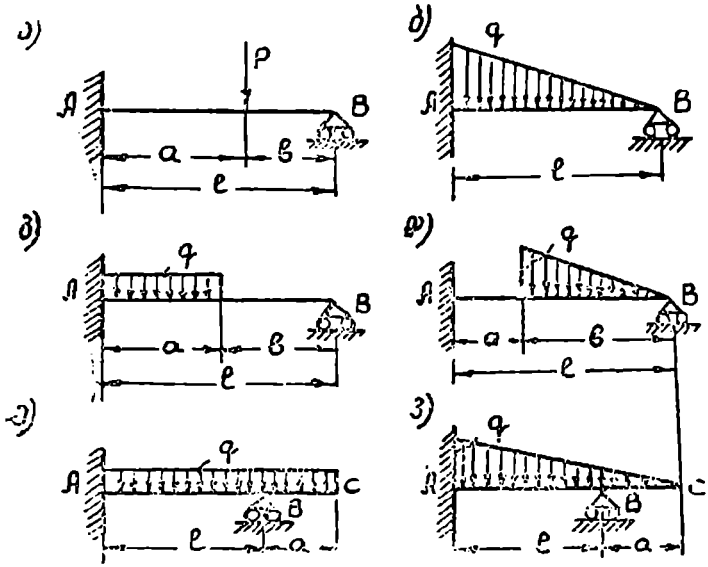
განვსაზღვროთ საყრდენი რეაქციები (A, B და Ma) და განივი ძალისა და მალში მღუნავი მომენტის უდიდესი მნიშვნელობები.

პასუხი: $B = 3{,}75$ ტ, $A = 6{,}25$ ტ, $Ma = 6{,}25$ ტ. მ;

$$Q_{max} = +6.25 \text{ ტ},$$

$$M_{max} = +\frac{9}{128} ql^2 \cong +3{,}55 \text{ ტ}. \text{ მ}.$$

12.3. განვსაზღვროთ სტატიკურად ურკვევი კოჭის რეაქციები (A, B და M_a) მაქსველ-მორის ან ვერეშაგინის ხერხის გამოყენებით და ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები ნახაზზე მოცემული სტატიკურად ურკვევი კოჭებისათვის (იხ. ნახ.).



12.3 ამოცანისათვის.

პ ა ს უ ხ ი:

ა) $B=P\dfrac{a^3}{l^3}\left[1+\dfrac{3}{2}\dfrac{b}{a}\right]$; $A=P-B$; $Ma=\dfrac{Pab}{2l^2}(a+2b)$;

ბ) $B=\dfrac{ql}{10}$; $A=\dfrac{2ql}{5}$; $Ma=-\dfrac{ql^2}{15}$;

გ) $B=\dfrac{q}{8l^3}[l^4-b^4+2la^2(l-3b)]$; $A=qa-B$; $Ma=B\cdot l-\dfrac{qa^2}{2}$;

დ) $B=\dfrac{qb}{10}\left[\left(\dfrac{b}{l}\right)^3+5\dfrac{a}{l}\right]$; $A=\dfrac{qb}{2}-B$; $Ma=-\dfrac{qb^2}{30}\left[5-3\left(\dfrac{b}{l}\right)^2\right]$;

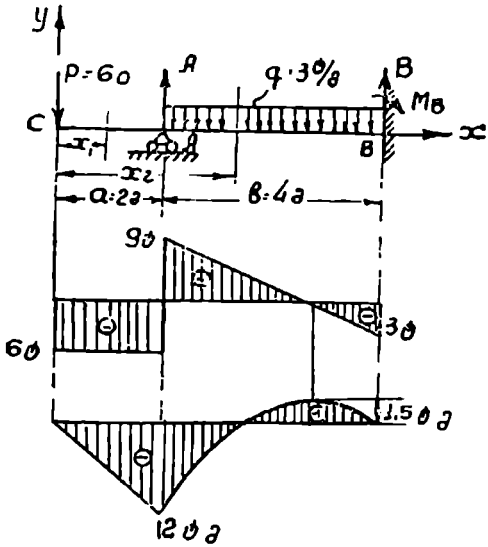
ე) $B=\dfrac{ql}{8}\left[6\dfrac{(l+a)^2}{l^2}-4\dfrac{l+a}{l}+1\right]$; $A=q(l+a)-B$;

$$Ma=B\cdot l-\frac{q(l+a)^2}{2};$$

3) $B=\frac{ql}{2(l+a)}\left(\frac{l}{5}-\frac{a}{4}\right)$; $A=\frac{q(l+a)}{2}-B$;

$$M_A=B\cdot l-\frac{q(l+a)^2}{6}.$$

12.4. ნახაზზე მოცემული კოჭისათვის განვსაზღვროთ რეაქციის ძალები, კოჭის გაღუნული ღერძის დიფერენციალური განტოლების უშუალო ინტეგრების მეთოდით და ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები.



12.4 ამოცანისათვის.

მიღებული პასუხი შევამოწმოთ მაქსველ-მორის ხერხის გამოყენებით.

ა მ ო ხ ს ნ ა: კოორდინატთა სათავედ ავირჩიოთ კოჭის C ბოლო, y ღერძი მივმართოთ ზევით და x—მარჯვნივ. შევადგინოთ I და II უბნებისათვის კოჭის გაღუნული ღერძის განტოლება.

I უბანი:

$$EJy_1''=-Px_1;$$

$$EJy_1'=-P\frac{x_1^2}{2}+C_1;$$

$$EJy_1=-P\frac{x_1^3}{6}+C_1x_1+D_1.$$

II უბანი:

$$EJy_2''=-Px_2+A(x_2-a)-\frac{q(x_2-a)^2}{2};$$

$$EJy_2'=-P\frac{x_2^2}{2}+A\frac{(x_2-a)^2}{2}-q\frac{(x_2-a)^3}{6}+C_2;$$

$$EJy_2=-P\frac{x_2^3}{6}+A\frac{(x_2-a)^3}{6}-q\frac{(x_2-a)^4}{24}+C_2x_2+D_2.$$

სათანადო განტოლებებში სასაზღვრო პირობების შეტანით მივიღებთ:

$$C_1=C_2=P\frac{(a+b)^2}{2}-A\frac{b^2}{2}+q\frac{b^3}{6};$$

$$D_1 = D_2 = -Pa\left(\frac{a^2}{3} + ab + \frac{b^2}{2}\right) + A\frac{ab^2}{2} - q\frac{ab^3}{6}.$$

თუ ჩავსვამთ რიცხვით მნიშვნელობებს, გვექნება:

$$C = 140 - 8A;$$

$$D = 16A - 272.$$

Y_2-ის განტოლებაში შევიტანოთ C და D-ს მნიშვნელობები და x_2-ის მაგიერად $a+b$, მაშინ მივიღებთ:

$$0 = -6\frac{6^2}{6} + A \cdot \frac{4^3}{6} - 3\frac{4^4}{24} + (140 - 8A)\cdot 6 + 16A - 272;$$

აქედან $A = 15$ ტ.

დანარჩენი უცნობი რეაქციების გასაგებად ვწერთ წონასწორობის პირობებს:

$$A + B - P - qb = 0, \text{ საიდანაც } B = 3 \text{ ტ.}$$

$$-P(a+b) + A\cdot b - q\frac{b^2}{2} + M_B = 0; \quad M_B = 0.$$

გამოთვლილი რეაქციების სისწორე შევამოწმოთ მაქსველ-მორის ხერხით.

მოცემულ სტატიკურად ერთჯერ ურკვევად კოჭში ზედმეტ უცნობად მივიღოთ A საყრდენის რეაქცია, მაშინ დეფორმაციის პირობიდან მიღებულ დამატებით განტოლებას ექნება შემდეგი სახე: $f_A = 0$.

გავშალოთ ეს განტოლება მაქსველ-მორის მიხედვით

$$f_A = \frac{1}{EJ}\left\{\int_0^a M_1 M_1^\circ\, dx + \int_0^a M_2 M_2^\circ\, dx\right\} = 0,$$

სადაც

$$M_1 = -Px_1 \quad \text{და} \quad M_2 = -P(a+x_2) + Ax_2 - q\frac{x_2^2}{2}$$

(სიმარტივისათვის x_2-ს ვითვლით A საყრდენიდან), ხოლო M_1° და M_2° არის I და II უბნებში A კეთში მოდებული P_0-1 ძალით გამოწვეული მღუნავი მომენტი. ამგვარად, $M_1^\circ = 0$; $M_2^\circ = x_2$.

თუ შევიტანთ M_1, M_2, M_1° და M_2°-ს გამოთვლილ მნიშვნელობებს $f_A = 0$ განტოლებაში, მივიღებთ:

$$\int_0^b \left(Ax - Pa - Px - q\frac{x^2}{2}\right) x\,dx = 0.$$

გაინტეგრალების შემდეგ გვექნება:

$$\frac{Ab^3}{3} - \frac{Pab^2}{2} - P\frac{b^3}{3} - q\frac{b^4}{8} = 0,$$

აქედან

$$A = \frac{4P(3a+2b) + 3qb^2}{8b};$$

P, a და b-ს რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ ვღებულობთ:

$$A = 15 \text{ ტ}.$$

მაშასადამე, რეაქციის ძალები გამოთვლილია სწორად; განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურების აგება კოჭის მახასიათებელ კვეთებში მათი მნიშვნელობის ჩვენებით მოცემულია—ნახაზზე.

12.5. მარცხენა A ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული კოჭი მარჯვენა ბოლოდან $a=3$ მ მანძილის დაცილებით ეყრდნობა მოძრავ სახსროვან საყრდენს. კოჭის საყრდენებს შორის მანძილი უდრის 6 მ-ს და დატვირთულია $q_1=1{,}8$ ტ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით; კონსოლზე კი მოქმედებს სამკუთხედის კანონით განაწილებული ტვირთი ისე, რომ მისი მაქსიმალური ინტენსივობა—$q_2=2{,}4$ ტ/მ მოდის კონსოლის თავისუფალ ბოლოზე.

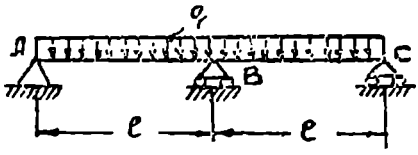
განვსაზღვროთ რეაქციის ძალები მაქსველ-მორის ხერხის გამოყენებით და გამოვთვალოთ კოჭისათვის Q და M-ის უდიდესი მნიშვნელობები.

პასუხი:

$$A = 4{,}95 \text{ ტ}; \quad B = 9{,}45 \text{ ტ}; \quad M_A = 4{,}6 \text{ ტ. მ}.$$

$$Q = -5{,}85 \text{ ტ}; \quad M = -7{,}2 \text{ ტ.მ}.$$

12.6. სამ სახსროვან საყრდენზე მდებარე ტოლმალიანი კოჭი მთელ სიგრძეზე დატვირთულია q ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით (იხ. ნახ.).



12.6 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ რეაქციის ძალები (A, B და C) და ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები.

მითითება: ამოცანა ერთჯერ სტატიკურად ურკვევია. ზედმეტ უცნობად ჩავთვალოთ შუა საყრდენის რეაქცია.

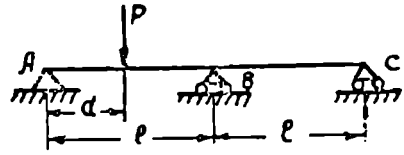
თუ კოჭს მოვაშორებთ არჩეული ზედმეტი უცნობის შესაბამის ბმას—B საყრდენს, მაშინ მივიღებთ სტატიკურად რკვევად ერთმალიან კოჭს,

რომლის სიგრძეა $2l$. ეს კოჭი გარე დატვირთვის და უცნობი E ძალის მოქმედებით, რომ იყოს სტატიკურად ეკვივალენტური საანგარიშო კოჭის, ამისათვის საჭიროა B ძალის სიდიდე შევარჩიოთ ისე, რომ კოჭის ჩაღუნვა $2l$ მალის შუაში გარე დატვირთვის და B ძალის მოქმედებით ნულს უდრიდეს, ე. ი. $f_q + f_B = 0$.

ეს არის კოჭის დეფორმაციის პირობიდან მიღებული დამატებითი განტოლება.

პასუხი: $B = \frac{5ql}{4}$; $A = C = \frac{3ql}{8}$; $M_B = -\frac{ql^2}{8}$.

12.7. სამ სახსროვან საყრდენზე მდებარე ტოლმალიან ABC კოჭზე მოქმედებს მარცხენა A საყრდენიდან d მანძილის დაცილებით შეყურსული P ძალა (იხ. ნახ.).



12.7 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ კოჭის საყრდენებში აღძრული რეაქციის ძალები.

პასუხი:

$$B = \frac{Pd}{2l}\left[3 - \left(\frac{d}{l}\right)^2\right]; \qquad A = P - \frac{Pd}{4l}\left[5 - \left(\frac{d}{l}\right)^2\right];$$

$$C = -\frac{Pd}{4l}\left[1 - \left(\frac{d}{l}\right)^2\right]; \qquad M_B = -\frac{Pd}{4}\left[1 - \left(\frac{d}{l}\right)^2\right].$$

12.8. ნახაზზე ნაჩვენები (იხ. ნახ.) ორ საყრდენზე მდებარე უკრი კოჭის ზედმეტი უცნობები, გამოვთვალოთ სამ მომენტთა განტოლების გამოყენებით.

უკრი კოჭისათვის ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები და განვსაზღვროთ რეაქციის ძალთა მნიშვნელობები.

კოჭის სიხისტე მთელ სიგრძეზე მივიღოთ მუდმივად.

ამოხსნა: სამ მომენტთა განტოლების გამოყენების დროს სტატიკურად ურკვევი კოჭის ზედმეტ უცნობებად ვირჩევთ საყრდენ მომენტებს. ჩვენს შემთხვევაში ოთხი საყრდენი მომენტიდან ორი ცნობილია, სახელდობრ: $M_0 = M_3 = 0$, ხოლო უცნობებია M_1 და M_2. ამათ, გასაგებად უნდა შევადგინოთ ორი განტოლება:

პირველი განტოლება:

$$M_0 l_1 + 2M_1(l_1 + l_2) + M_2 l_2 = -6\left(\frac{\omega_1 a_1}{l_1} + \frac{\omega_2 b_2}{l_2}\right);$$

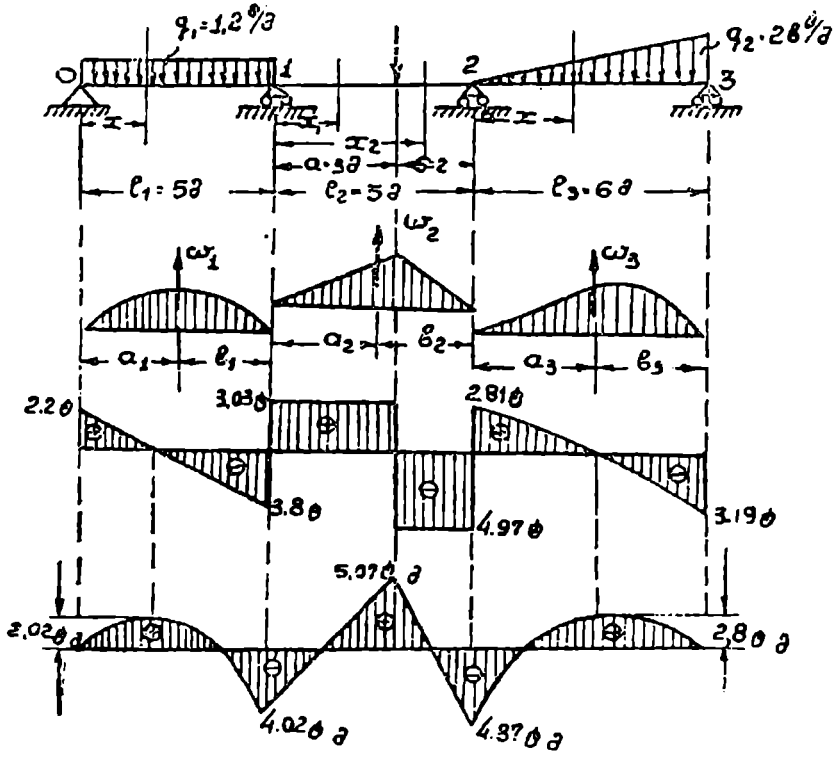
მეორე განტოლება

$$M_1 l_2 + 2M_2(l_2 + l_3) + M_3 l_3 = -6\left(\frac{\omega_2 a_2}{l_2} + \frac{\omega_3 b_3}{l_3}\right),$$

$$\omega_1 = \frac{q_1 l_1^3}{12} = \frac{1{,}2 \cdot 5^3}{12} = 12{,}5 \text{ ტ}\cdot\text{მ}^2;$$

$$\omega_2 = \frac{Pab}{2} = \frac{8 \cdot 3 \cdot 2}{2} = 24 \text{ ტ}\cdot\text{მ}^2;$$

$$\omega_3 = \frac{q_3 l_3^3}{24} = \frac{2 \cdot 6^3}{24} = 18 \text{ ტ}\cdot\text{მ}^2;$$



12.8 ამოცანისათვის.

$$a_1 = \frac{l_1}{2} = 2{,}5 \text{ მ}; \qquad a_2 = \frac{a + l_2}{3} = \frac{8}{3} \text{ მ};$$

$$b_2 = \frac{b + l_2}{3} = \frac{7}{3} \text{ მ}; \qquad b_3 = \frac{7}{15} l_3 = 2{,}8 \text{ მ}.$$

თუ შევიტანთ ამ მნიშვნელობებს პირველ და მეორე განტოლებებში, მაშინ მარტივი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ:

$$4M_1+M_2=-20{,}94, \tag{1}$$

$$M_1+4{,}4M_2=-25{,}44. \tag{2}$$

ამ განტოლებათა ამოხსნით გვექნება:

$$M_1=-4{,}02 \text{ ტ. მ}; \qquad M_2=-4{,}87 \text{ ტ. მ}.$$

საყრდენი მომენტების გამოთვლის შემდეგ ვითვლით უკრი კოჭის რეაქციის ძალებს შემდეგი ფორმულით:

$$R_n=B_n^0+A_n^0+\frac{M_{n-1}-M_n}{l_n}+\frac{M_{n+1}-M_n}{l_{n+1}}.$$

ჩვენს შემთხვევაში

$$R_0=A_0^0+\frac{M_1-M_0}{l_1}=\frac{q_1l_1}{2}+\frac{M_1-M_0}{l_1}=\frac{1{,}2\cdot 5}{2}-\frac{4{,}02}{5}=2{,}20 \text{ ტ};$$

$$R_1=B_1^0+A_1^0+\frac{M_0-M_1}{l_1}+\frac{M_2-M_1}{l_2}=\frac{1{,}2\cdot 5}{2}+\frac{8\cdot 2}{5}+$$
$$+\frac{4{,}02}{5}+\frac{-4{,}87+4{,}02}{5};$$
$$R_1=6{,}83 \text{ ტ}.$$

$$R_2=B_2^0+A_2^0+\frac{M_1-M_2}{l_2}+\frac{M_3-M_2}{l_3}=\frac{8\cdot 3}{5}+\frac{2\cdot 6}{6}+$$
$$+\frac{-4{,}02+4{,}87}{5}+\frac{4{,}87}{6};$$
$$R_2=7{,}78 \text{ ტ}.$$

$$R_3=B_3^0+\frac{M_2-M_3}{l_3}=\frac{2\cdot 6}{3}-\frac{4{,}87}{6}=3{,}19 \text{ ტ}.$$

თუ რეაქციის ძალები სწორადაა გამოთვლილი, მაშინ უკრ კოჭზე მოქმედი აქტიური და რეაქციის ძალების გეგმილების ჯამი ვერტიკალურ ღერძზე უნდა უდრიდეს ნულს, რაც ჩვენს შემთხვევაში დაკმაყოფილებულია. მართლაც

$$R_0+R_1+R_2+R_3-q_1l_1-P-\frac{q_2l_2}{2}=0$$

გვაძლევს, რომ $0=0$.

უჭრი კოჭის ნებისმიერ მალში განივ ძალასა და მღუნავ მომენტს ვანგარიშობთ შემდეგი ფორმულებით:

$$Q_x = Q^0 + \frac{M_n - M_{n-1}}{l_n} \text{ და } M_x = M_x^0 + M_{n-1} + \frac{M_n - M_{n-1}}{l_n} x.$$

ჩვენს მიერ განსახილავი უჭრი კოჭის პირველ მალში Q_x-ისა და M_x-ის განტოლებებს ექნება შემდეგი სახე:

$$Q_x = \frac{q_1 l_1}{2} - q \cdot x + \frac{M_1 - M_0}{l_1} = 2{,}2 - 1{,}2x;$$

$$M_x = \frac{q_1 l_1}{2} x - \frac{q_1 x^2}{2} + M_0 + \frac{M_1 - M_0}{l_1} x = 2{,}2x - 0{,}6x^2;$$

აქ x იცვლება 0-დან 6-მდე.

მეორე მალში გვაქვს ორი უბანი.

პირველ უბანში:

$$Qx_1 = \frac{Pb}{l_2} + \frac{M_2 - M_1}{l_2} = \frac{8 \cdot 2}{5} + \frac{-4{,}87 + 4{,}02}{5} = 3{,}03 \text{ ტ};$$

$$Mx_1 = \frac{Pb}{l_2} x_1 + M_1 + \frac{M_2 - M_1}{l_2} x_1 = 3{,}03x_1 - 4{,}02,$$

$$0 \leqslant x_1 \leqslant 3.$$

მეორე უბანში:

$$Qx_2 = \frac{Pb}{l_2} - P + \frac{M_2 - M_1}{l_2} = 3{,}03 - 8 = -4{,}97 \text{ ტ};$$

$$Mx_2 = \frac{Pb}{l_2} x_2 - P(x_2 - 3) + M_1 + \frac{M_2 - M_1}{l_2} x_2 = -4{,}97x_2 + 19{,}98,$$

სადაც

$$3 \leqslant x_2 \leqslant 5.$$

უჭრი კოჭის მესამე მალში:

$$Q_x = \frac{q_2 l_3}{6} - \frac{q_2 x^2}{2l_3} + \frac{M_3 - M_2}{l} = \frac{2 \cdot 6}{6} - \frac{2x^2}{2 \cdot 6} + \frac{4{,}87}{6} = 2{,}81 - \frac{x^2}{6};$$

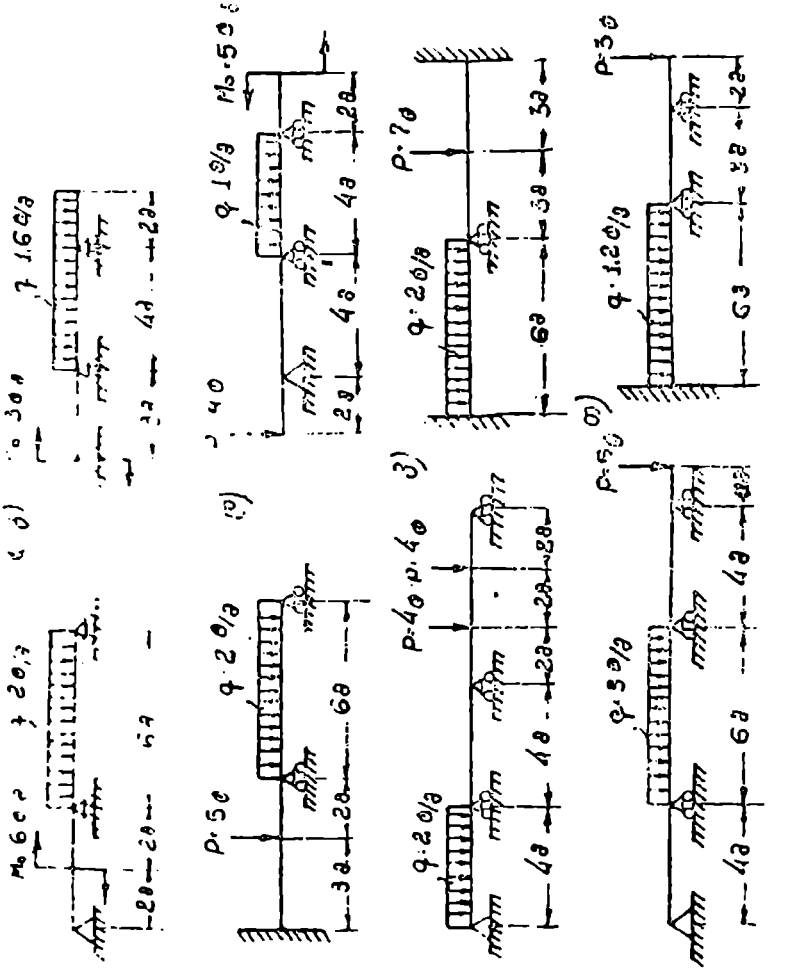
$$M_x = \frac{q_2 l_3}{6} x - \frac{q_2 x^3}{6l_3} + M_2 + \frac{M_3 - M_2}{l_3} x = 2{,}81\,x - \frac{x^3}{18} - 4{,}87,$$

სადაც

$$0 \leqslant x \leqslant 6.$$

ამ განტოლებებიდან მიღებული განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის მნიშვნელობათა შესაბამისი ეპიურები ნაჩვენებია ნახაზზე.

12.9. ნახაზზე ნაჩვენებ უკრ კოჭებში სტატიკურად ურკვევადობა გავ-



12.9 ამოცანისთვის.

ხსნათ სამ მომენტთა განტოლების გამოყენებით და ავაგოთ განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები მათი უდიდესი მნიშვნელობების ჩვენებით.

პასუხი:

ა) $Q=6{,}95$ ტ; $M=6{,}37$ ტ. მ; ბ) $Q=-3{,}61$ ტ; $M=-3{,}2$ ტ. მ;

გ) $Q=7{,}15$ ტ; $M=-6{,}93$ ტ. მ; დ) $Q=-4$ ტ; $M=-8$ ტ. მ;

ე) $Q=4{,}77$ ტ; $M=6{,}46$ ტ. მ; ვ) $Q=6{,}09$ ტ; $M=-6{,}18$ ტ. მ;

ზ) $Q=9{,}28$ ტ; $M=7{,}75$ ტ. მ; თ) $Q=4{,}25$ ტ; $M=-6$ ტ. მ.

12.10. სამსახსროვან საყრდენზე დაყრდნობილი AC კოჭის მარცხენა AB მალის სიგრძეა l და მარჯვენა BC მალისა $1{,}5\,l$. კოჭის შუა B საყრდენ კვეთზე მოქმედებს M_0 წყვილი ძალა, რომელიც მიმართულია საათის ისრის მიმართულებით. სამ-მომენტთა განტოლების გამოყენებით განვსაზღვროთ საყრდენი მომენტი და კოჭის რეაქციები.

ამოხსნა: M_0 მომენტი შეიძლება მივიღოთ სურვილისამებრ, ან მარცხენა მალის დატვირთვად ან მარჯვენა მალისა ანდა ნაწილი მარცხენა მალის, ხოლო დანარჩენი ნაწილი მარჯვენა მალის დატვირთვად. ეს გამომდინარეობს იქიდან, რომ კოჭის მარცხენა და მარჯვენა მალები უწყვეტად არიან ერთმანეთთან დაკავშირებული და ერთი მალის გაღუნვა იწვევს, სათანადოდ, მეორე მალის გაღუნვას.

თუ M_0 მომენტს მარცხენა მალს მივაკუთვნებთ, მაშინ სამ მომენტთა განტოლებას ექნება შემდეგი სახე:

$$2M_{\text{B}}\,(l+1{,}5l)=-6\left(\frac{-M_0 l\cdot 2l}{2l\cdot 3}\right),$$

აქედან

$$M_{\text{B}}=+\frac{2M_0}{5}.$$

ვიპოვოთ რეაქციის ძალები:

$$A=-\frac{M_0}{l}+\frac{M_{\text{B}}}{l},\ \text{საიდანაც}\ A=-\frac{3M_0}{5l}\ (\text{მიმართულია ქვევით});$$

$$B=\frac{M_0}{l}-\frac{M_{\text{B}}}{l}-\frac{M_{\text{B}}}{1{,}5l},\ \text{საიდანაც}\ B=+\frac{M_0}{3l};$$

$$C=\frac{M_{\text{B}}}{1{,}5l},\ \text{საიდანაც}\ C=+\frac{4M_0}{15l}.$$

თუ M_0-ს მივაკუთვნებთ მარჯვენა მალს, მაშინ სამ მომენტთა განტოლება დაიწერება შემდეგნაირად:

$$2M_{\text{B}}\,(l+1{,}5l)=-6\,\frac{M_0\cdot 1{,}5l\cdot l}{2\cdot 1{,}5l},$$

აქედან

$$M_{\text{B}}=-\frac{3M_0}{5};$$

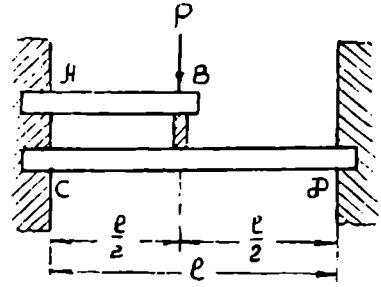
როგორც ვხედავთ, საყრდენი მომენტი შეიცვალა, მაგრამ რეაქციების სიდიდეები იგივე დარჩა, მართლაც

$$A=-\frac{M_B}{l}=-\frac{3M_0}{5l};\qquad B=\frac{M_B}{l}-\frac{M_0}{1{,}5l}+\frac{M_B}{1{,}5l}=\frac{M_0}{3l};$$

$$C=\frac{M_0}{1{,}5l}-\frac{M_B}{1{,}5l}=\frac{4M_0}{15l}.$$

მაშასადამე, მოცუნავი მომენტისა და განივი ძალის ეპიურებიც იგივე იქნება, რაც წინა შემთხვევაში.

12.11. AB კოჭი A ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული და B ბოლოთი თავისუფლად ეყრდნობა ორივე ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებულ CD კოჭს (იხ. ნახ.).



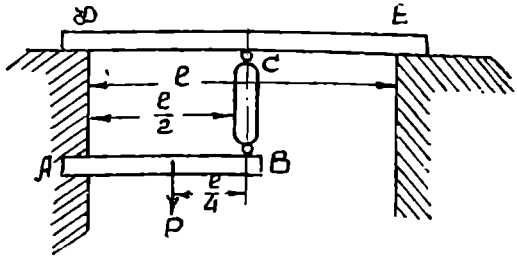
12.11 ამოცანისათვის.

AB და CD კოჭებს, რომელთა სიგრძეებია შესაბამისად $\frac{l}{2}$ და l, აქვთ თანატოლი სიხისტე. AB კოჭის B ბოლოზე მოქმედებს შეყურსული P ძალა.

გავიგოთ როგორ განაწილდება P ძალის მოქმედება AB და CD კოჭებზე.

პასუხი: $P_{AB}=\frac{1}{9}P;\ P_{CD}=\frac{8}{9}P.$

12.12. AB კოჭი, რომლის სიგრძეა $\frac{l}{2}$, A ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული და B ბოლოთი BC აბსოლუტურად ხისტი ღეროს საშუალებით მიმაგრებულია l სიგრძის DE კოჭზე (იხ. ნახ.). AB ღეროს შუაზე მოდებულია შეყურსული P ძალა.



12.12 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ რა ძალა აღიძვრება BC ღეროში, თუ DE კოჭი ორივე ბოლოთი თავისუფლადაა დაყრდნობილი და AB და DE კოჭების სიხისტე თანატოლია.

პასუხი: $P_{BC}=\frac{5}{24}P.$

12.13. წინა ამოცანის შემთხვევაში როგორ შეიცვლება BC ღეროს ძალა, თუ DE კოჭი ორიენ ბოლოთი ხისტად იქნება ჩამაგრებული.

პასუხი: $P_{BC}=\frac{5}{18}P$.

12.14. სწორკუთხოვანი განივკვეთის ხის კოჭი AB, რომლის სიგრძეა 4 მ და განივკვეთის ზომები 12×24 სმ ერთი ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული და მეორე ბოლოთი ეყრდნობა ორ საყრდენზე მდებარე იმავე სიგრძისა და განივკვეთის CD კოჭს მალის შუაში. AB კოჭზე ხისტად ჩამაგრებულ ბოლოდან 3 მ დაცილებით, მოქმედებს შეყურსული ძალა $P=2$ ტ.

განვსაზღვროთ რა ძალა გადაეცემა CD კოჭს AB კოჭისაგან და რას უდრის AB კოჭში მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა.

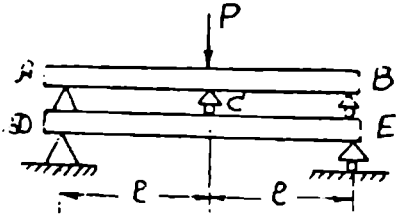
პასუხი: 1,19 ტ. $\sigma_{max}=107{,}5$ კგ/სმ^2

12.15. მალი გადახურულია პარალელური და სწორკუთხოვანი განივკვეთის სამი კოჭით. კოჭების მასალა და კვეთის სიგანე ერთი და იგივეა. შუა კოჭის სიმაღლე განაპირა კოჭების სიმაღლეზე $\frac{2}{3}$-ჯერ მეტია. კოჭების ზედა წახნაგი დატვირთვამდე ერთ დონეზეა და მალის შუაში კოჭების სიგანეზე გადადებულია აბსოლუტურად ხისტი ძელი, რომლისგანაც კოჭებს გადაეცემა ძელის შუაზე მოქმედი შეყურსული P ძალა.

განვსაზღვროთ ძალის რა ნაწილს მიიღებს თვითეული კოჭი.

პასუხი: 1 : 4,63 : 1.

12.16. სამ საყრდენზე მდებარე AB კოჭი დადგმულია იმავე სიგრძის ორ საყრდენზე მდებარე DE კოჭზე (იხ. ნახაზი). AB კოჭზე შუა საყრდენთან მოდებულია შეყურსული P ძალა.



12.16 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ ზედა კოჭის საყრდენი რეაქციების სიდიდეები, თუ ქვედა კოჭის სიხისტე ოთხჯერ მეტია ზედა კოჭის სიხისტეზე.

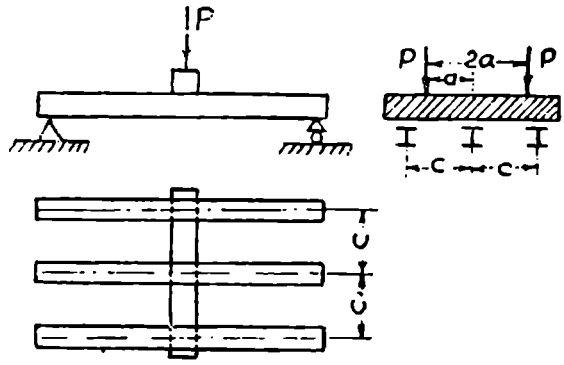
პასუხი: $A=\frac{1}{10}P$; $C=\frac{4}{5}P$.

12.17. ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე ერთიდაიგივე განივკვეთის ფოლადის სამი კოჭი დალაგებულია ერთმანეთის პარალელურად; გრძივ კოჭებზე მალის შუაში დევს განივი კოჭი, რომელზედაც მოქმედებს ორი თანატოლი შეყურსული P ძალა.

ძალების მოღების წერტილები შუა კოჭიდან დაცილებულია a მანძილით (იხ. ნახაზი).

განვსაზღვროთ რა მანძილით უნდა იყვნენ დაცილებული განაპირა კოჭები შუა კოჭიდან, რომ აღნიშნული დატვირთვით გამოწვეული დაწოლა სამივე კოჭზე თანაბარი იყოს.

პასუხი: $C=1{,}3a$.



12.17 ამოცანისათვის.

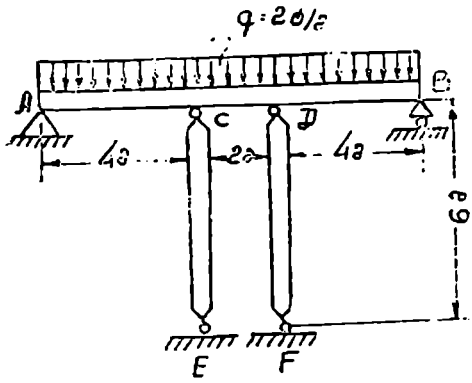
12.18. ორ საყრდენზე მდებარე AB ხის კოჭი, რომლის განივკვეთის ზომებია 24×30 სმ, C და D სახსრებით ეყრდნობა CE და DF ხის დგარებს (იხ. ნახაზი). დგარის სიმაღლე უდრის 6 მ-ს და განივკვეთის ფართობი $F=300$ სმ²-ს. სხვა საჭირო ზომები და დატვირთვის სქემა ნახაზზეა ნაჩვენები.

განვსაზღვროთ დგარებში აღძრული ძალა.

პასუხი: ორივე დგარში ძალები ტოლია და უდრის 5480 კგ-ს.

12.19. ნახაზზე ნაჩვენებია ერთჯერ სტატიკურად ურკვევი ჩარჩოს სქემა (იხ. ნახაზი).

მაქსველ-მორის ხერხის გამოყენებით განვსაზღვროთ სტატიკურად ურკვევი ჩარჩოს საყრდენი რეაქციები და ავაგოთ ნორმალური ძალის, განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები.



12.18 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: ზედმეტ უცნობად მივიღოთ B საყრდენის რეაქცია, მაშინ დეფორმაციის პირობიდან დაწერილ დამატებით განტოლებას ექნება შემდეგი სახე: $f_B=0$.

გავშალოთ ეს განტოლება მაქსველ-მორის ხერხის მიხედვით (ნახ. ბ და გ):

$$f_B = \int_0^h M_1 M_1^\circ dx + \int_0^a M_2 M_2^\circ dx + \int_0^h M_3 M_3^\circ dx = 0,$$

სადაც $M_1 = 0; \quad M_1^\circ = 0;$

$$M_2 = Bx_2; \quad M_2^\circ = x_2, \quad 0 \leqslant x_2 \leqslant a,$$

$$M_3 = B \cdot a + P \cdot x_3 - \frac{qx_3^2}{2} = 4B + 3x_3 - x_3^2,$$

$$M_3^\circ = a = 4; \quad 0 \leqslant x_3 \leqslant h;$$

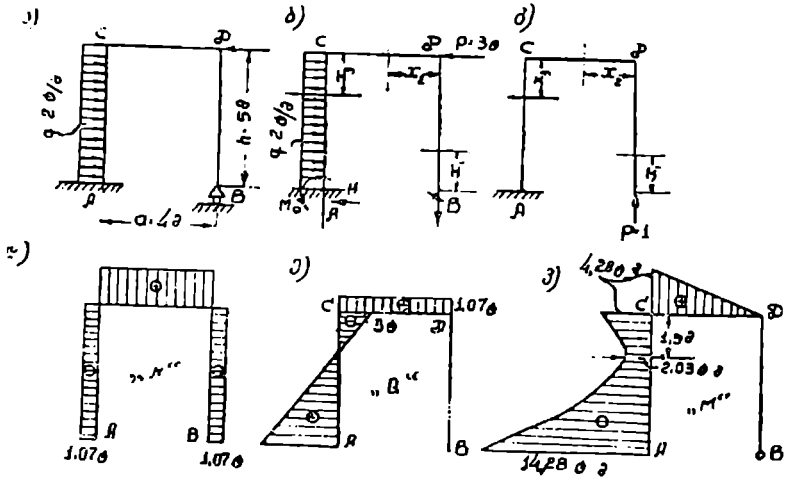
შევიტანოთ ეს მნიშვნელობები დეფორმაციის განტოლებაში, მივიღებთ-

$$\int_0^4 Bx_2^2 dx + \int_0^5 (4B + 3x_3 - x_3^2) 4 \cdot dx = 0,$$

საიდანაც, მარტივი მოქმედებების ჩატარების შემდეგ, მივიღებთ:

$$B = -1{,}07 \text{ ტ}.$$

B რეაქციის ძალა მივიღეთ უარყოფითი ნიშნის, მაშასადამე, სინამ-



12.19 ამოცანისათვის.

დვილეში B რეაქცია მიმართული ყოფილა არა ქვევიდან ზევით, როგორც ჩვენ დაეუშვით, არამედ ზევიდან ქვევით.

ჩარჩოს დანარჩენ საყრდენ რეაქციებს ვპოულობთ სტატიკის პირობებიდან:

$$A - B = 0; \quad \text{აქედან} \quad A = 1{,}07 \text{ ტ};$$

$$H_a + qh - P = 0;$$

$$H_a = P - qh = 3 - 25 = -7 \text{ ტ}.$$

ე. ი. H_a მიმართულია არა მარცხნიდან მარჯვნივ, როგორც დავუშვით, არამედ მარჯვნიდან მარცხნივ.

$$-M_A+\frac{qh^2}{2}-P\cdot h+B\cdot a=0;$$

აქედან

$$M_A=14{,}28 \text{ ტ}\cdot\text{მ}.$$

განვსაზღვროთ ნორმალური ძალა ჩარჩოს ღეროებში:

$N_1-B=0;\quad N_1=1{,}07$ ტ; (გაჭიმულია)

$N_2+P=0;\quad N_2=-3$ ტ; (შეკუმშულია)

$N_3+B=0;\quad N_3=-1{,}07$ ტ; (შეკუმშულია)

შესაბამისი ეპიურა ნაჩვენებია დ ნახაზზე.

განივი ძალა:

$$Q_1=0;$$

$$Q_2=B=1{,}07 \text{ ტ};$$

$$Q_3=-P+qx=-3+2x_3.$$

მღუნავი მომენტი:

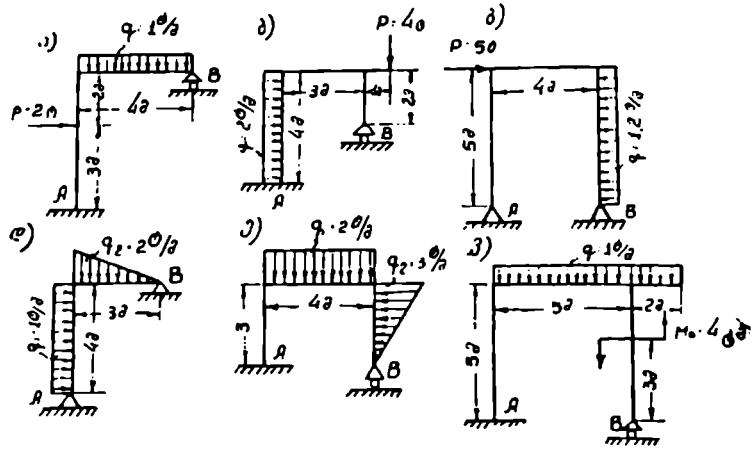
$$M_1=0;$$

$$M_2=-B\cdot x_2=-1{,}07x_2;$$

$$M_3=-B\cdot a+Px_3-\frac{qx_3^2}{2}=-4{,}28+3x_3-x_3^2.$$

Q და M-ის შესაბამისი ეპიურები ნაჩვენებია ე და ვ ნახაზებზე.

12.20. ჩარჩოსთვის, რომლის დატვირთვის სქემა ნახაზზეა ნაჩვენები (იხ. ნახაზი), განვსაზღვროთ საყრდენი რეაქციები, სტატიკურად ურკვე-



12.19 ამოცანისათვის.

ვადობის გასაბსნელად გამოვიყენოთ კასტილიანოს, მაქსველ-მორის ან ვერეშაგინის ხერხი.

ავაგოთ ნორმალური ძალის, განივი ძალისა და მღუნავი მომენტის ეპიურები.

სიხისტე ჩარჩოს ყველა ღეროში მიღებულია თანატოლი.

პასუხი:

ა) $B=2{,}35$ ტ $\quad Q=-2{,}35$ ტ $\quad M=-4{,}6$ ტ·მ

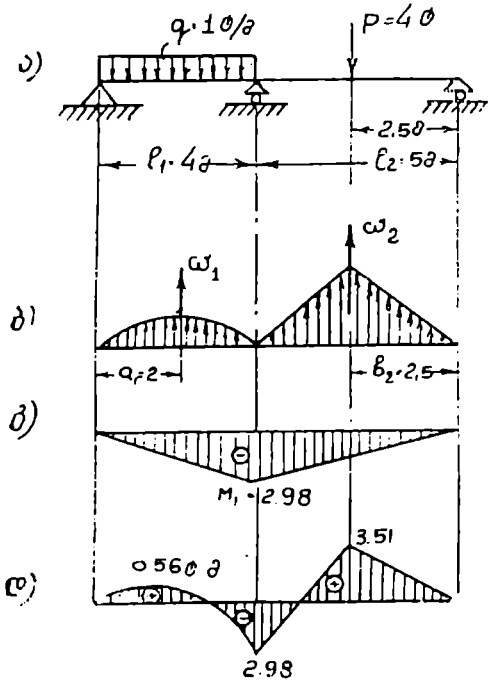
ბ) $B=6{,}84$ ტ $\quad Q=8$ ტ $\quad M=-11{,}48$ ტ·მ

გ) $H_A=0{,}17$ ტ $\quad Q=5{,}17$ ტ $\quad M=-10{,}84$ ტ·მ

დ) $H_B=3$ ტ $\quad Q=-3$ ტ $\quad M=-4$ ტ·მ

ე) $B=2{,}01$ ტ $\quad Q=5{,}99$ ტ $\quad M=-12{,}46$ ტ·მ

ვ) $B=3{,}9$ ტ $\quad Q=3{,}1$ ტ $\quad M=4$ ტ·მ



12.21 ამოცანისათვის.

12.21. ორმალიანი უჯრი კოჭის მარცხენა მალი დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით, ინტენსივობით $q=1$ ტ/მ და მარჯვენა მალის შუაში მოქმედებს შეყურსული ძალა $P=4$ ტ, მარცხენა მალის სიგრძე $l_1=4$ მ მარჯვენასი—$l_2=5$ მ (იხ. ნახაზი).

ავაგოთ მღუნავი მომენტის ეპიურა და შევარჩიოთ ორტესებრი პროფილის ფოლადის კოჭის განივკვეთი, თუ კოჭის მასალისათვის დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1600$ კგ/სმ².

ამოხსნა: სტატიკურად ურკვევადობის გასახსნელად გამოვიყენოთ სამ მომენტთა განტოლება:

$$M_0 l_1+2M_1(l_1+l_2)+M_2 l_2=-6\left(\frac{\omega_1 a_1}{l_1}+\frac{\omega_2 b_2}{l_2}\right),$$

სადაც $M_0 = M_2 = 0$

$$\omega_1 = \frac{ql_1^3}{12} \quad \text{და} \quad \omega_2 = \frac{Pl_2^2}{8};$$

$$\text{ე. ი.} \quad 2M_1(l_1+l_2) = -6\left(\frac{ql_1^3}{2\cdot 12} + \frac{Pl_2^2}{2\cdot 8}\right),$$

საიდანაც $M_1 = -2{,}98$ ტ. მ.

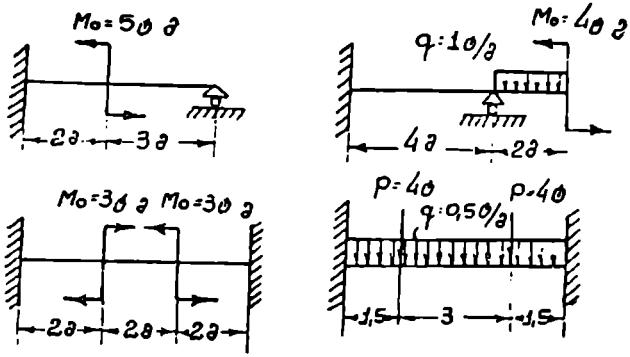
ავაგოთ საყრდენი მომენტების ეპიურა (ნახ. გ) და ამ ეპიურას დაეუშატოთ მარცხენა და მარჯვენა უბრალო კოჭების ეპიურები (ნახ. ბ), მივიღებთ მღუნავი მომენტის შეჯამებულ ეპიურას (ნახ. დ), საიდანაც ჩანს, რომ მოცემული კოჭისათვის $M_{max} = 3{,}51$ ტ. მ.
საჭირო წინაღობის მომენტი

$$W = \frac{M_{max}}{[\sigma]} = \frac{351000}{1600} = 219 \text{ სმ}^3.$$

შესაბამისად სორტამენტის ცხრილიდან ვარჩევთ ორტესებრ პროფილს № 20ª, რომლისთვისაც $W = 237$ სმ³. შერჩეულ კოჭზე მოსული მაქსიმალური ძაბვა

$$\sigma_{max} = \frac{351000}{237} = 1480 \text{ კგ/სმ}^2 < 1600.$$

როგორც ეხედავთ, მასალა მთლიანად არ არის გამოყენებული. მაგრამ თუ ავიღებთ 20ª ქვედა ნომერს, მაშინ მასალა გადაძაბული იქნება 5%-ზე მეტად, რაც დაუშვებელია; ამიტომ ვჩერდებით № 20ª-ზე.



12.22 ამოცანისათვის.

12.22. ნახაზზე მოცემული სტატიკურად ურკვევი კოჭებისათვის შეარჩიოთ ნაგლინი ორტესებრი პროფილის ნომერი, თუ კოჭის მასალისათვის დასაშვები ძაბვა $[\sigma] = 1600$ კგ/სმ².

სტატიკურად ურკვევი ამოცანის ზედმეტი უცნობი განვსაზღვროთ ნებისმიერი ხერხით.

პასუხი:

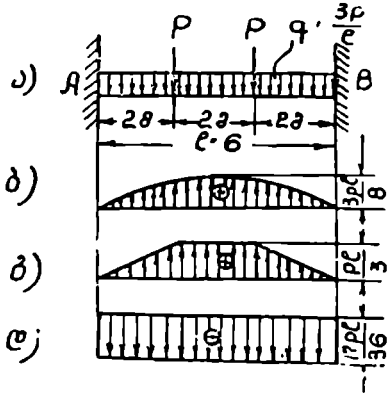
ა) $M=-2{,}88$ ტ. მ; I № 18;
ბ) $M=4$ ტ. მ; I № 20ᵇ;
გ) $M=2$ ტ. მ; I № 16;
დ) $M=-6$ ტ. მ; I № 24ᵃ.

12.23. სამი თანატოლმალიანი უჯრი კოჭი, რომელთაგან თვითეული მალის სიგრძე $l=3$ მ-ს, მთელ სიგრძეზე დატვირთულია $q=0{,}5$ ტ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით.

შეეარჩიოთ კოჭის სწორკუთხოვანი განივკვეთის ზომები b და h, თუ მოცემულია, რომ $h=2b$ და $[\sigma]=80$ კგ/სმ².

პასუხი: $b=9{,}5$ სმ;
$h=19$ სმ.

12.24. განვსაზღვროთ ტვირთამტანიანობა ორტესებრი განივკვეთის ფოლადის კოჭისა № 24ᵇ, მალით 6 მ, რომლის ორივე ბოლო ხისტადაა ჩამაგრებული და დატვირთულია ორი თანატოლი P ძალით, რომლებიც მოდებულია მალის მესამედზე, და მთელ სიგრძეზე თანაბრად განაწილებული ტვირთით, რომლის ინტენსივობა $q=\frac{3P}{l}$.



12.24 ამოცანისათვის.

გამოვთვალოთ აგრეთვე მალის შუაში ჩაღუნვის ისარი. მოცემულია კოჭის მასალისათვის $[\sigma]=1400$ კგ/სმ² და $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ².

ა მ ო ხ ს ნ ა: დატვირთვის სიმეტრიულობის გამო საყრდენი მომენტები თანატოლია:

$$M_A=M_B=-\frac{ql^2}{12}-\frac{2Pl}{9}=-\frac{3Pl^2}{l\cdot12}-\frac{2Pl}{9}=-\frac{17Pl}{36}.$$

მალის შუაში უდიდესი დადებითი მღუნავი მომენტი $M_{\frac{l}{2}}=\frac{17Pl}{72}$, რაც ნაკლებია საყრდენ მომენტზე.

საშიში კვეთისათვის სიმტკიცის პირობა იქნება: $\frac{17}{36}Pl:W=[\sigma]$, თუ

შევიტანთ მნიშვნელობებს $l=6$ მ, $W=400$ სმ³ და $[\sigma]=1400$ კგ/სმ², მივიღებთ:

$$P=\frac{36\cdot 1400\cdot 400}{17\cdot 600}=1975 \text{ კგ}.$$

მალის შუაში ჩაღუნვის ისარი გამოვთვალოთ გრაფოანალიზური ხერხით. ავაგოთ ცალ-ცალკე დატვირთვებისათვის მღუნავი მომენტის ეპიურები: q-თი (ნახ, ბ), P-თი (ნახ. გ), M_A და M_B -თი (ნახ. დ), რომლებიც მივიღოთ ფიქტიურ დატვირთვებად. რადგანაც მოცემული კოჭი ორივე ბოლოთი ხისტად არის ჩამაგრებული, ამიტომ ფიქტიურ კოჭს საყრდენი არ ექნება.

ვიანგარიშოთ ფიქტიური მღუნავი მომენტი კოჭის მალის შუაში:

$$M=\frac{2}{3}\cdot\frac{3Pl}{8}\cdot\frac{l}{2}\cdot\frac{3}{8}\cdot\frac{l}{2}+\frac{1}{2}\cdot\frac{Pl}{3}\cdot\frac{l}{3}\cdot\frac{1}{3}\cdot\frac{l}{3}+$$
$$+\frac{Pl}{3}\cdot\frac{l}{6}\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{l}{6}-\frac{17Pl}{36}\cdot\frac{l}{2}\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{l}{2}$$

$$M_{ფ}=Pl^3\left(\frac{3}{128}+\frac{1}{162}+\frac{1}{216}-\frac{17}{288}\right)=-\frac{257\,Pl^3}{10368}.$$

ჩაღუნვა მალის შუაში

$$f_{\frac{l}{2}}=-\frac{257Pl^3}{10368EJ}=-\frac{257\cdot 1975\cdot 600^2}{10368\cdot 2\cdot 10^6\cdot 4800}=-1{,}1 \text{ სმ}.$$

12.25. 7 მ სიგრძის ორტესებრი განივკვეთის ფოლადის კოჭი № 27ª ორივე ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული და მასზე მარცხენა საყრდენიდან 2 მ და 5 მეტრის დაცილებით მოდებულია თანატოლი შეყურსულო ძალები.

განვსაზღვროთ კოჭის ტვირთამტანიანობა, ჩაღუნვის ისარი და მობრუნების კუთხე, ძალის მოდების კვეთში, თუ კოჭის მასალისათვის $[\sigma]=1600$ კგ/სმ² და $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: $P=5430$ კგ;
$f=-0{,}63$ სმ;
$\Theta=\pm 0{,}00355=\pm 0{,}204°$.

12.26. 6 მ სიგრძის კოჭი ორივე ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული და დატვირთულია ერთი შეყურსული ძალით. ამ ძალის მოქმედებით მარცხენა საყრდენზე აღძრული მომენტი უდრის 4 ტ. მ-ს და მარჯვენაზე 2 ტ. მ-ს.

განვსაზღვროთ კოჭზე მოქმედი ძალის სიდიდე და მისი მოდების წერტილის დაშორება მარცხენა საყრდენიდან.

პასუხი: $P=4{,}5$ ტ; $a=2$ მ.

12.27. ორივე ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებულ სწორკუთხოვანი განივკვეთის ხის კოჭზე მალის შუაში მოდებულია შეყურსული P ძალა. კოჭის სიგრძე $l=4$ მ-ს. კვეთის სიგანე 12 სმ-ია, სიმაღლე 24 სმ.

განვსაზღვროთ კოჭის ტვირთამტანიანობა და მალის შუაში ჩაღუნვის ისარი, თუ კოჭის მასალისათვის $[\sigma]=80$ კგ/სმ² და $E=10^5$ კგ/სმ².

პასუხი: $P=1843$ კგ; $f=0{,}445$ სმ.

12.28. l სიგრძის კოჭი ორივე ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული და დატვირთულია სამკუთხედის კანონით განაწილებული ტვირთით, რომლის ინტენსივობა მარცხენა საყრდენთან არის ნული და მარჯვენა საყრდენთან უდრის q-ს.

განვსაზღვროთ კოჭის მალში უდიდესი მღუნავი მომენტი და მისი შესაბამისი კვეთის დაცილება მარცხენა საყრდენიდან.

პასუხი:
$$M=\frac{1{,}48\,ql^2}{30},$$
$$x=0{,}547l.$$

12.29. სამ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე AC კოჭს აქვს თანატოლი მალები, სიგრძით $l=2$ მ, და მთელ სიგრძეზე დატვირთულია $q=0{,}6$ ტ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით.

განვსაზღვროთ შუა B საყრდენი რეაქციის ძალის სიდიდე, თუ B საყრდენი 0,0006 l-ით დაბლაა განაპირა საყრდენების დონიდან.

განვსაზღვროთ რამდენი პროცენტით განსხვავდება ეს რეაქცია იმ რეაქციიდან, რომელსაც მივიღებთ, თუ სამივე საყრდენი ერთ დონეზე იქნებოდა.

კოჭის სიხისტე $EJ=10^{10}$ კგ·სმ².

ა მ ო ხ ს ნ ა: პირველად გავარჩიოთ ის შემთხვევა, როდესაც სამივე საყრდენი ერთ დონეზეა. ზედმეტ უცნობად მივიღოთ B რეაქცია და მის განსასაზღვრავად გამოვიყენოთ დეფორმაციის შედარების ხერხი. დამატებითი განტოლებები იქნება $f_{BB}+f_{B1}=0$.

$$f_{B1}=-\frac{5}{384}\cdot\frac{q(2l)^4}{EJ}=-\frac{5}{24}\cdot\frac{ql^4}{EJ},$$
$$f_{BB}=\frac{B(2l)^3}{48EJ}=\frac{Bl^3}{6EJ}.$$

თუ შევიტანთ ამ მნიშვნელობებს დეფორმაციის პირობიდან მიღებულ დამატებით განტოლებაში, გვექნება:

$$\frac{Bl^3}{6EJ}=\frac{5}{24}\frac{ql^4}{EJ};$$

აქედან

$$B=\frac{5ql}{4}=\frac{5\cdot 600\cdot 2}{4}=1500 \text{ კგ.}$$

ხოლო დატვირთვის სიმეტრიულობის თანახმად $A=C=450$ კგ. როდესაც შუა საყრდენი განაპირა საყრდენების დონიდან დაბლაა 0,0006 l, მაშინ დამატებითი განტოლებას ექნება შემდეგი სახე:

$$f_{B1}+f_{BB}+0{,}0006\,l=0$$

ან

$$\frac{B^1l^3}{6EJ}=\frac{5}{24}\,\frac{ql^4}{EJ}-0{,}0006l;$$

აქედან

$$B^1=\frac{5ql^3-24\cdot 0{,}0006EJ}{4l^3}=600 \text{ კგ.}$$

შესაბამისად $A'=C'=900$კგ.

B და B'-ს შორის განსხვავება გამოვსახოთ პროცენტობით:

$$100\frac{1500-600}{1500}=60\%.$$

12.30. ორმალიანი კოჭი, რომლის მალები თანატოლია და უდრის 4 მ-ს, დატვირთულია $q=200$ კგ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით. კოჭის დატვირთვის დროს შუა საყრდენმა განაპირა საყრდენების დონიდან ჩაიწია 0,0003 l მანძილით.

გავიგოთ: 1) რას უდრის კოჭში აღძრული მაქსიმალური მღუნავი მომენტი და რა მანძილითაა დაცილებული შესაბამისი კვეთი განაპირა საყრდენიდან;

2) როგორ და რომელ კვეთში იქნებოდა მაქსიმალური მღუნავი მომენტი, რომ შუა საყრდენი დარჩენილიყო განაპირა საყრდენების დონეზე.

კოჭის სიხისტე $EJ=10^{10}$ კგ.სმ^2.

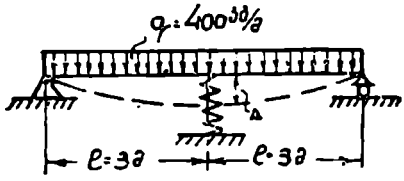
პასუხი: 1) $M=+317$ კგ.მ; $x=1{,}78$ მ;

2) $M=-400$ კგ.მ; $x=l=4$ მ.

12.31. ორი თანატოლმალიანი ორტესებრი განივკვეთის № 24^b ფოლადის კოჭის შუა საყრდენი მოწყობილია დრეკად ფუძეზე. კოჭს დატვირთავად აქვს ჰორიზონტალური მდებარეობა, ხოლო $q=400$ კგ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით დატვირთვის შემდეგ დრეკადი საყრდენი დაეშვა $\Delta=0{,}0009\,l$.

რას უდრის კოჭში აღძრული მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა, თუ $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: $\sigma_{max}=170$ კგ/სმ².



12.31 ამოცანისათვის.

12.32. ორივე ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული მუდმივგანივკვეთიანი კოჭი, რომლის სიგრძეა 6 მ დატვირთულია $q=2$ ტ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით და $P=5$ ტ შეყურსული ძალით, რომლის მოდების წერტილი მარცხენა საყრდენიდან დაცილებულია 4 მ-ით.

განვსაზღვროთ კოჭის უდიდესი ჩაღუნვის შესაბამისი კვეთის დაცილება მარცხენა საყრდენიდან.

პასუხი: $x=3{,}21$ მ.

12.33. ბოლოებით ხისტად ჩამაგრებული AB კოჭის მალის მარცხენა ნახევარი დატვირთულია $q=1{,}6$ ტ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით. კოჭის საყრდენებს შორის მანძილი $l=8$ მ-ს.

განვსაზღვროთ საყრდენი რეაქციები, მალში მაქსიმალური მღუნავი მომენტი და ამ მომენტის შესაბამისი კვეთის დაცილება A საყრდენიდან.

პასუხი: $A=5{,}2$ ტ; $B=1{,}2$ ტ;

$M_{max}=2{,}84$ ტ. მ; $x=3{,}25$ მ.

12.34. ორტესებრი ფოლადის კოჭი № 30ᵇ, რომლის სიგრძეა 12 მ, ბოლოებით ხისტადაა ჩამაგრებული და დატვირთულია $q=1{,}2$ ტ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით. მალის შუაში კოჭი ეყრდნობა ზამბარას, რომელიც ყოველი 1000 კგ ძალის მოქმედების დროს იკუმშება 2 მმ-ით.

განვსაზღვროთ ზამბარაზე მოსული ძალა, თუ კოჭის მასალისათვის $E=2\ 10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: $P\cong 4900$ კგ.

12.35. ორმალიანი ფოლადის კოჭის ორივე ბოლო ხისტადაა ჩამაგრებული. პირველი მალი, რომლის სიგრძეა 6 მ, დატვირთულია მალის შუაზე მოქმედი შეყურსული P ძალით. მეორე მალზე, რომლის სიგრძეა 5 მ, მოქმედებს $q=0{,}6\frac{P}{l}$ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთი.

გავიანგარიშოთ რას უდრის კოჭის აღნიშნული სქემით დატვირთვის დროს P-ს მაქსიმალური მნიშვნელობა, სიმტკიცის პირობის დაცვით, თუ

კოჭის კვეთია ნაგლინი ორტესებრი პროფილის № 36ᵃ, რომლისთვისაც $[\sigma]=1200$ კგ/სმ².

პასუხი: $P=9340$ კგ.

12.36. ორმალიანი კოჭი, რომლის მალები თანატოლია და უდრის 5 მ-ს, მთელ სიგრძეზე დატვირთულია $q=1$ ტ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით, და ერთ-ერთ მალზე მოქმედებს შეყურსული ძალა $P=5$ ტ.

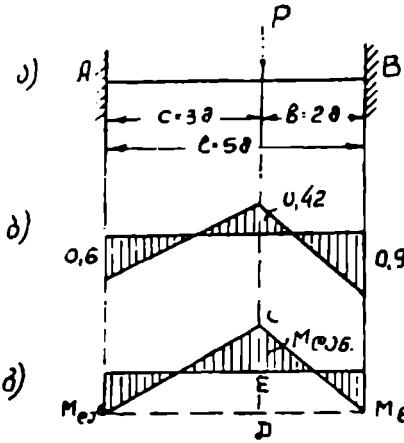
რა მანძილით უნდა იყოს დაცილებული P ძალა განაპირა საყრდენებიდან, რომ მისი მოქმედების კვეთში აღძრულმა მღუნავმა მომენტმა მიაღწიოს მაქსიმუმს, და რას უდრის ამ კვეთში ძაბვა, თუ კოჭი არის ორტესებრი კვეთის № 27ᵃ.

პასუხი: $x=2{,}05$ მ;

$\sigma_{max}=1424$ კგ/სმ².

§ 32. დასაშვები ძალის მეთოდით გაანგარიშება

12.37. ორტესებრი განივკვეთის ფოლადის კოჭი № 24ᵇ ორივე ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული; მასზე საყრდენებიდან $q=3$ მ და $b=2$ მ დაცილებით მოქმედებს შეყურსული P ძალა (იხ. ნახაზი).



12.37 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ კოჭის ტვირთამტანიანობა $[P_p]$ დასაშვები ტვირთით გაანგარიშებისას და შევადაროთ იმავე კოჭის დასაშვები ძაბვით გაანგარიშებისას მიღებულ $[P\sigma]$ ტვირთამტანიანობას, თუ $[\sigma]=1200$ კგ/სმ², და კოჭის ბოლოების ჩამაგრება ისეა განხორციელებული, რომ საყრდენი რეაქციის ჰორიზონტალური მდგენელი ნულის ტოლია.

ამოხსნა: მღუნავი მომენტის ეპიურას კოჭის დრეკადობის ფარგლებში გაანგარიშებისას, როცა $P=1$ ტ-ს, აქვს ბ ნახაზზე ნაჩვენები სახე. როგორც აქედან ჩანს, ძალის გაზრდის შემთხვევაში პლასტიკური სახსარი პირველად გაჩნდება მარჯვენა საყრდენ კვეთში, შემდეგ მარცხენა საყრდენ კვეთში და ბოლოს ძალის მოდების კვეთში. შესაბამისი ეპიურა ნაჩვენებია ნახაზზე (ნახ. გ) (პლასტიკური სახსრის წარმომშობი მღუნავი მომენტი აღნიშნულია $M_{\text{ღუნ}}$-ით).

ძალის მოდების კვეთში მღუნავი მომენტი შესაძლებელია შემდეგნაირად გამოისახოს:

$$M_{დენ} = DC - DE = \frac{P_{დენ} \cdot ab}{l} - M_{დენ}$$

აქედან

$$P_{დენ} = \frac{2M_{დენ} \cdot l}{ab}.$$

კოჭის დარღვევის მომენტში P ძალის მნიშვნელობა აღნიშნულია $P_{დენ}$-ით.

თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ მრღვევი მომენტი $M_{დენ} = 2S\sigma_{დენ}$, სადაც S არის კოჭის კვეთის ნეიტრალური ღერძის ცალმხრივ მდებარე ფართობის სტატიკური მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ, მაშინ მივიღებთ:

$$P_{დენ} = \frac{4S\sigma_{დენ} \cdot l}{ab}.$$

დასაშვები დატვირთვის მისაღებად საჭიროა მრღვევი ტვირთი გავყოთ მარაგის კოეფიციენტ K-ზე

$$[P_p] = \frac{P_{დენ}}{K} = \frac{4S\sigma_{დენ} \cdot l}{K \cdot ab};$$

თუ მივიღებთ, რომ $\frac{\sigma_{დენ}}{K} = [\sigma]$, საბოლოოდ გვექნება:

$$[P_p] = \frac{4S[\sigma]l}{ab}.$$

შევიტანოთ რიცხვითი მნიშვნელობები: № 24^b — ორტესებრი პროფილისათვის სორტამენტის ცხრილიდან ვღებულობთ:

$$J = 4800 \text{ სმ}^4 \quad \text{და} \quad \frac{J}{S} = 20{,}4;$$

აქედან

$$S = \frac{4800}{20{,}4} = 235 \text{ სმ}^3.$$

ამგვარად

$$[P_p] = \frac{4 \cdot 235 \cdot 1200 \cdot 500}{300 \cdot 200} = 9400 \text{ კგ}.$$

დასაშვებ ძაბვაზე კოჭის საანგარიშოდ ვწერთ (იხ. ნახ. ბ):

$$[P\sigma] \cdot 90 = W[\sigma],$$

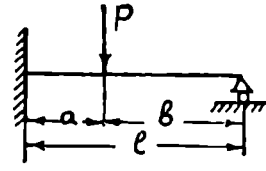
აქედან

$$[P\sigma]=\frac{W[\sigma]}{90}=\frac{400\cdot 1200}{90}=5333 \text{ კგ}$$

$[P_\sigma]$-სთან შედარებით შემცირდა 43,2%-ით.

12.38. განვსაზღვროთ რა ძალის ატანა შეუძლია დასაშვებ ტვირთზე გაანგარიშებით ნახაზზე ნაჩვენებ ორტესებრი განივკვეთის № 18 კოჭს, თუ $a=2$ მ, $b=4$ და $[\sigma]=1400$ კგ/სმ².

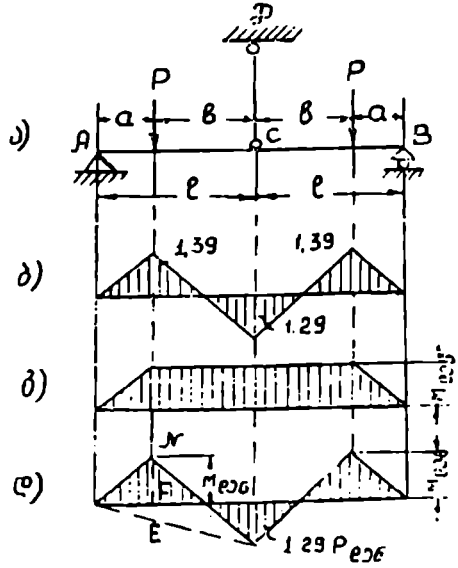
სად უნდა იდგეს P ძალა, რომ დასაშვები ტვირთი იყოს მინიმალური და რას უდრის ამ შემთხვევაში $[P]'$.



12.39 ამოცანისათვის.

პასუხი: $[P]=3770$ კგ;
$a=351{,}6$ სმ;
$[P]'=2925$ კგ.

12.39. ფოლადის კოჭი, რომლის სიგრძეა 4 მ და განივკვეთი ორტესებრი პროფილის № 12, ერთი ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული, მეორე ბოლო კი დაყრდნობილია სახსროვან საყრდენზე. კოჭი მთელ სიგრძეზე დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით.



12.40 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ ტვირთის ინტენსივობის დასაშვები მნიშვნელობა $[q]$ კოჭის დასაშვებ ტვირთზე გაანგარიშების გამოყენებით $[\sigma]=1600$ კგ/სმ².

პასუხი: $[q]=986$ კგ/მ.

12.40. AB კოჭი ორივე ბოლოთი დაყრდნობილია ხისტ სახსროვან საყრდენებზე, და მალის შუა წერტილი სახსრით დაკავშირებულია CD ღეროსთან.

განვსაზღვროთ მრღვევი ძალის სიდიდე $P_{დენ}$, თუ AB კოჭი და CD ღერო ერთი და იგივე მასალისაა, რომლის დენადობის ზღვარი $\sigma_{დენ}=2600$ კგ/სმ², კოჭის ორტესებრი კვეთი № 22ᵃ, ღეროს განივკვეთის ფართობი $F=4$ სმ², $l=8$ მ და $a=3$ მ.

ა მ ო ხ ს ნ ა: დრეკადობის ფარგლებში გაანგარიშების შემთხვევაში, მაგალითად, როცა P=1 ტ, მღუნავი მომენტის ეპიურას ექნება ბ ნახაზზე ნაჩვენები სახე. კოჭის დარღვევა შეიძლება მოხდეს ორი სხვადასხვა სქემით, პირველი, როცა ღერო იწყებს დენადობას კოჭში პლასტიკური სახსრის გაჩენამდე (იხ. ნახ. გ) და მეორე, როცა ღეროს დენადობის დაწყებამდე კოჭში ჩნდება პლასტიკური სახსარი (იხ. ნახ. დ).

ამოცანის ამოსახსნელად საჭიროა გავარჩიოთ ორივე შემთხვევა.

პირველი შემთხვევისათვის:

$$M_{დენ} = P_{დენ} \cdot a - \frac{R_{დენ}}{2} \cdot a,$$

სადაც $R_{დენ}$ არის CD ღეროს ძალა დენადობის დაწყებისას. ვიცით, რომ $M_{დენ} = 2S\sigma_{დენ}; R_{დენ} = F\sigma_{დენ}$.

თუ ამ მნიშვნელობებს შევიტანთ ზემოთ მიღებულ განტოლებაში, გვექნება:

$$P_{დენ} = \frac{2 \cdot S\sigma_{დენ}}{a} + \frac{F\sigma_{დენ}}{2}.$$

სორტამენტიდან გვაქვს

$$S = \frac{3400}{18{,}9} = 180 \text{ სმ}^2.$$

ამგვარად,

$$P_{დენ} = \frac{2 \cdot 180 \cdot 2600}{300} + \frac{4 \cdot 2600}{2} = 8320 \text{ კგ}.$$

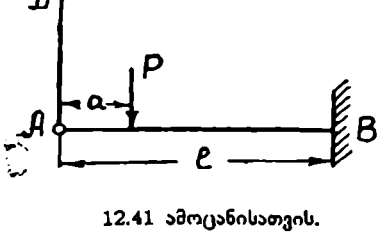
მეორე შემთხვევისათვის (ნახ. დ):

$$M_{დენ} = EN - EF = \frac{P_{დენ} \cdot a \cdot b}{l} - \frac{1{,}29 P_{დენ} \cdot a}{l} = \frac{P_{დენ} a}{l}(b - 1{,}29),$$

აქედან

$$P_{დენ} = \frac{M_{დენ} \cdot l}{a(b - 1{,}29)} = \frac{2 \cdot 180 \cdot 2800 \cdot 800}{300\,(500 - 129)} = 7240 \text{ კგ}.$$

მიღებული $P_{დენ}$-ის ორი მნიშვნელობიდან კოჭის მრღვევი ტვირთი იქნება უმცირესი, ე. ი. 7240 კგ.



12.41 ამოცანისათვის.

12.41. ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული AB კოჭის თავისუფალი ბოლო სახსრით მიმაგრებულია AD ღეროზე (იხ. ნახაზი).

განვსაზღვროთ კოჭის მრღვევი ძალა $P_{დენ}$, თუ კოჭს და ღეროს აქვს ერთი და იგივე დენადობის ზღვარი

$$\sigma_{დენ} = 2800 \text{ კგ/სმ}^2;$$

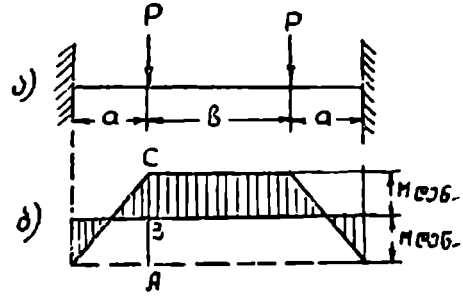
$l=6$ მ; $a=1{,}5$ მ. კოჭის ორტესებრი კვეთი № 16, ღეროს განივკვეთის ფართობი $F=2$ სმ².

პასუხი: $P_{დენ}=5100$ კგ.

12.42. ნახაზზე ნაჩვენები კოჭისათვის (იხ. ნახ. ა) შეარჩიოთ ორტესებრი კვეთი სორტამენტის ცხრილიდან, თუ

$$P=6\ \text{ტ},\quad l=8\ \text{მ},\quad a=2\ \text{მ},\quad [\sigma]=1400\ \text{კგ/სმ}^2.$$

კოჭის ბოლოების ჩამაგრება ისეა მოწყობილი, რომ რეაქციის ჰორიზონტალური მდგენელი ნულის ტოლია.



12.42 ამოცანისათვის.

ამოხსნა: მღუნავი მომენტის ეპიურას პლასტიკური სახსრების წარმოშობის მომენტში, კოჭისა და დატვირთვის სიმეტრიულობის გამო, ექნება ბ ნახაზზე ნაჩვენები სახე.

ამგვარად,

$$M_{დენ}=AC-AB=P_{დენ}\cdot a-M_{დენ};$$

აქედან

$$M_{დენ}=\frac{P_{დენ}\cdot a}{2}.$$

ვიცით, რომ

$$M_{დენ}=\sigma_{დენ}\cdot 2S;$$

ამგვარად,

$$\sigma_{დენ}2S=\frac{P_{დენ}\cdot a}{2}.$$

თუ ამ ტოლობის ორივე მხარეს გავყოფთ მარაგის კოეფიციენტ K-ზე, მივიღებთ

$$[\sigma]2S=\frac{Pa}{2},$$

საიდანაც

$$S=\frac{P\cdot a}{4[\sigma]}=\frac{6000\cdot 200}{4\cdot 1400}=214\ \text{სმ}^3.$$

სორტამენტში მოცემულია ფარდობა

$$\frac{J}{S}=n;$$

ამგვარად,

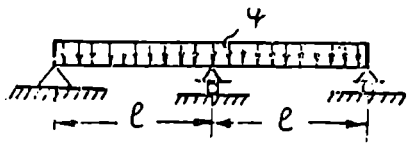
$$S=\frac{J}{\ }.$$

№ 24ᵃ ორტესებრი კვეთისათვის $J=4570$ სმ⁴, და $n=20{,}7$ შესაბამისად

$$S=\frac{4570}{20{,}7}=221 \text{ სმ}^3.$$

რაც პასუხობს S-ის მოთხოვნილ სიდიდეს.

12.43. ნახაზზე ნაჩვენები ფოლადის კოჭისათვის შეევარჩიოთ სწორკუთხოვანი განივკვეთის ზომები, რომლის სიმაღლის ფარდობა სიგანესთან $\frac{h}{b}=2$;



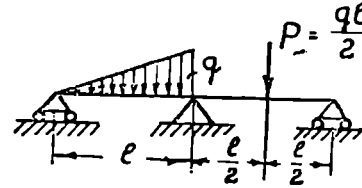
12.43 ამოცანისათვის.

$q=0{,}4$ ტ/მ, $[\sigma]=1600$ კგ/სმ², $l=2$ მ

გაანგარიშება ჩავატაროთ დასაშვები ძალის მეთოდით.

პასუხი: $b=2{,}7$ სმ, $h=5{,}4$ სმ.

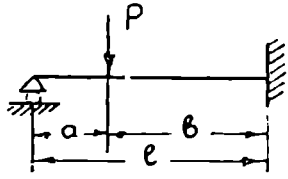
12.44. ორივე ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული ფოლადის კოჭი, რომლის სიგრძეა 6 მ დატვირთულია $q=2{,}2$ ტ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით. დასაშვები ტვირთის მეთოდით შეევარჩიოთ კოჭის ორტესებრი პროფილის ნომერი, თუ $[\sigma]=1400$ კგ/სმ² და კოჭის ბოლოების ჩამაგრება მოწყობილია ისე, რომ რეაქციის ჰორიზონტალური მდგენელი ნულის ტოლია.



12.45 ამოცანისათვის.

პასუხი: № 22ᵃ.

12.45. ნახაზზე ნაჩვენები სქემით დატვირთული ორმალიანი ფოლადის კოჭისთვის შეევარჩიოთ წრიული კვეთი დასაშვები ტვირთის მეთოდით, თუ



12.46 ამოცანისათვის.

$q=0{,}6$ ტ/მ, $l=3$ მ, $[\sigma]=1600$ კგ/სმ².

პასუხი: $d=5{,}52$ სმ.

12.46. ნახაზზე ნაჩვენები ფოლადის კოჭისათვის დასაშვები ტვირთით გაანგარიშების გამოყენებით ვიპოვოთ შარაგის კოეფიციენტი, თუ კოჭის ორტესებრი კვეთია № 18;

$$P=4 \text{ ტ}, \quad l=6 \text{ მ}, \quad a=2 \text{ მ}, \quad \sigma_{\text{ღვ}}=2800 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: $K=1{,}51$.

თავი მეცამეტე

ძაბვებისა და დეფორმაციების განსაზღვრა რთული წინაღობის დროს

მოკლე ცნობები თეორიიდან

რთული წინაღობის დროს ძაბვებისა და დეფორმაციების საანგარიშო ფორმულები შემდეგია:

1) ირიბი ღუნვისას ნორმალური ძაბვა

$$\sigma = -\frac{M_y \cdot z}{J_y} - \frac{M_x \cdot y}{J_x} = -M\left(\frac{z\cos\varphi}{J_y} + \frac{y\sin\varphi}{J_x}\right).$$

სიმტკიცის პირობა:

$$|\sigma_{max}| = M_{max}\left[\frac{\cos\varphi}{J_y} z_1 + \frac{\sin\varphi}{J_x} y_1\right] \leq [\sigma]$$

ან

$$|\sigma_{max}| = \frac{M_{max}}{W_y}\left[\cos\varphi + \frac{W_y}{W_x}\cdot\sin\varphi\right] \leq [\sigma].$$

ნეიტრალური ღერძის სიმეტრიის ღერძთან დახრის კუთხის ტანგენსი

$$\operatorname{tg}\alpha = \operatorname{tg}\varphi\frac{J_y}{J_x}.$$

ჩაღუნვის ისარი:

$$f = \sqrt{f_y^2 + f_x^2}$$

2) ღუნვა და გაჭიმვა ან კუმშვის ერთდროული მოქმედებისას სიმტკიცის პირობა

$$\sigma_{max} = \pm\left[\frac{N}{F} + \frac{M_{max}}{W}\right] \leq [\sigma].$$

3) ექსცენტრული კუმშვა ან გაჭიმვა.

ძაბვა კვეთის ნებისმიერ წერტილში

$$\sigma = \pm\frac{P}{F}\left[1 + \frac{y_p y}{i_x^2} + \frac{z_p z}{i_y^2}\right].$$

სიმტკიცის პირობა

$$|\sigma_{max}| = P\left[\frac{1}{F} + \frac{y_p}{W_z} + \frac{z_p}{W_y}\right] \leqslant [\sigma].$$

4. გრეხისა და ღუნვის ერთდროული მოქმედება.
სიმტკიცის პირობა

$$\frac{M_{\text{საანგ}}}{W} \leqslant [\sigma].$$

საანგარიშო მომენტი $M_{\text{საანგ}}$ იანგარიშება სიმტკიცის რომელიმე თეორიით:

უდიდესი ნორმალური ძაბვის თეორიიდან (I თეორია):

$$M^{\text{I}}_{\text{საანგ}} = \frac{1}{2}\left[M_{\text{ღუნ}} + \sqrt{M^2_{\text{ღ}} + M^2_{\text{გრ}}}\right];$$

უდიდესი გრძივი დეფორმაციის თეორიიდან (II თეორია):

$$M^{\text{II}}_{\text{საანგ}} = 0{,}35M_{\text{ღ}} + 0{,}65\sqrt{M^2_{\text{ღ}} + M^2_{\text{გრ}}};$$

უდიდესი მხები ძაბვის თეორიიდან (III თეორია):

$$M^{\text{III}}_{\text{საანგ}} = \sqrt{M^2_{\text{ღ}} + M^2_{\text{გრ}}};$$

ენერგეტიკული თეორიიდან (IV თეორია):

$$M^{\text{IV}}_{\text{საანგ}} = \sqrt{M^2_{\text{ღ}} + 0{,}75M^2_{\text{გრ}}}.$$

გრეხასა და ღუნვაზე მომუშავე წრიული კვეთის ღეროს რადიუსი

$$r \geqslant \sqrt[3]{\frac{4M_{\text{საანგ}}}{\pi[\sigma]}}.$$

§ 33. ᲘᲠᲘᲑᲘ ᲦᲣᲜᲕᲐ

13.1. სწორკუთხოვანი განივკვეთის ხის კოჭი, რომლის კვეთის სიგანე $b = 18$ სმ სიმაღლე, $h = 24$ სმ და მალის სიგრძე $l = 2$ მ ერთი ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული. კოჭის თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს კვეთის ცენტრზე გამავალი $P = 0{,}6$ ტ ძალა, რომლის მოქმედების სიბრტყე კოჭის სიმეტრიის შვეულ სიბრტყესთან ადგენს $\varphi = 20°$ კუთხეს (იხ. ნახაზი).

განვსაზღვროთ ნეიტრალური ღერძის მდებარეობა, უდიდესი ნორმალური ძაბვა საშიშ კვეთში და კოჭის თავისუფალი B ბოლოს ჩაღუნვის ისრის სიდიდე და მიმართულება, თუ კოჭის მასალისათვის $E = 10^3$ კგ/სმ².

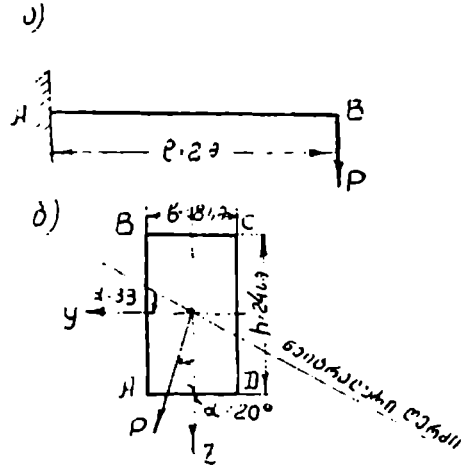
ა მ ო ხ ს ნ ა : ჰორიზონტთან, ნეიტრალური ღერძის დახრის კუთხეს ვსაზღვრავთ შემდეგი ფორმულით:

$$\operatorname{tg}\alpha=\frac{J_y}{J_z}\operatorname{tg}\varphi=\frac{h^2}{b^2}\operatorname{tg}\varphi=\frac{24^2}{18^2}\cdot 0{,}364=0{,}648;$$

$$\alpha=\operatorname{arctg}0{,}648=33^\circ.$$

კვეთში ნეიტრალური ღერძის მდებარეობა ნაჩვენებია ნახაზზე (იხ. ნახ. ბ).

უდიდესი ნორმალური ძაბვები აღიძვრება კოჭის საშიში კვეთის ნეიტრალური ღერძიდან უშორეს A და C წერტილებში. ეს ძაბვები იქნება სიდიდით ტოლი და ნიშნით სხვადასხვა: A წერტილში—მკუმშავი, C წერტილში კი გამჭიმავი, რომლებიც მოიძებნება შემდეგი ფორმულით:



13.1 ამოცანისათვის.

$$\sigma_A=-\sigma_C=-\frac{M_{max}}{W_y}\left(\cos\varphi+\frac{W_y}{W_z}\sin\varphi\right).$$

ვიცით, რომ $|M_{max}|=Pl$;

$$W_y=\frac{bh^2}{6};\qquad W_z=\frac{hb^2}{6}.$$

ამგვარად,

$$\sigma_A=-\sigma_C=-\frac{6Pl}{bh^2}\left(\cos\varphi+\frac{h}{b}\sin\varphi\right)=$$

$$=\frac{6\cdot 600\cdot 200}{18\cdot 24^2}\left(0{,}94+\frac{24}{18}\cdot 0{,}343\right)=-97\ \text{კგ/სმ}^2.$$

კოჭის კვეთის ჩაღუნვა მიიღება ირიბი ღუნვის მდგენელით, რომელიც ორი ბრტყელი ღუნვით გამოწვეული ჩაღუნვათა გეომეტრიული ჯამია, ე. ი. $f=\sqrt{f_y^2+f_z^2}$ ჩვენს შემთხვევაში:

$$f_y=\frac{P_y l^3}{3EJ_z}$$

და

$$f_x = \frac{P_x l^3}{3EJ_y}.$$

ვიცით, რომ $P_y = P\sin\varphi$ და $P_x = P\cos\varphi$; ამგვარად,

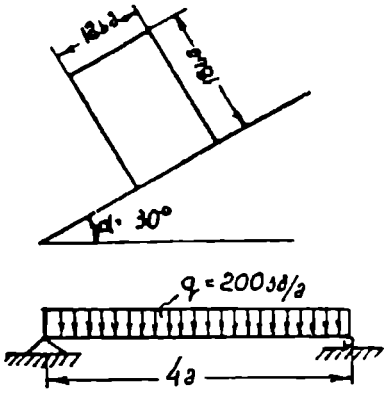
$$f = \sqrt{\left(\frac{Pl^3\sin\varphi}{3EJ_x}\right)^2 + \left(\frac{Pl^3\cos\varphi}{3EJ}\right)^2} =$$

$$= \frac{Pl^3}{3E}\sqrt{\left(\frac{12\sin\varphi}{hb^3}\right)^2 + \left(\frac{12\cos}{bh^3}\right)^2} = \frac{4Pl^3}{Ebh}\sqrt{\frac{\sin^2\varphi}{b^4} + \frac{\cos^2\varphi}{h^4}} =$$

$$= \frac{4.600\cdot 200^3}{10^5\cdot 18\cdot 24}\sqrt{\frac{0{,}343^2}{18^4} + \frac{0{,}94^2}{24^4}} = 0{,}863 \text{ სმ}.$$

კოჭის ღერძის სრული ჩაღუნვის მიმართულება მართობია ნეიტრალური ღერძის და ვერტიკალურ „z" ღერძთან ადგენს $\alpha = 33°$ კუთხეს.

13.2. სწორკუთხოვანი კვეთის ხის მარდული, რომლის განივკვეთის ზომებია 12×18 სმ², თავისუფლად ეყრდნობა სამკუთხურ ფერმებს, რომელთა შორის მანძილი 4 მ-ია და ფერმის ზედა სარტყლის დახრის კუთხე ჰორიზონტთან $\varphi = 30°$. მარდულს გადაეცემა მასზე მოწყობილი სახურავის წონა თანაბრად განაწილებული ტვირთის სახით, რომლის ინტენსივობა ტოლია 200 კგ/მ.



13.2 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ მარდულში აღძრული უდიდესი ნორმალური ძაბვა და სრული მაქსიმალური ჩაღუნვის ისარი, თუ $E = 10^5$ კგ/სმ².

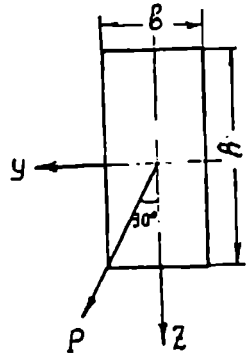
პასუხი: $\sigma = 100$ კგ/სმ²; $f = 1{,}59$ სმ.

13.3. ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული ხის კოჭის განივკვეთის ზომებია $h = 39$ სმ, $b = 13$ სმ, მალის სიგრძე $l = 3$ მ. კოჭის თავისუფალ ბოლოზე მოდებულია წყვილი—ძალა $M_0 = 1{,}8$ ტ. მ, რომლის მოქმედების სიბრტყე გადის კოჭის ღერძზე და მისი სიმეტრიის Z სიბრტყესთან ადგენს $\varphi = 15°$ კუთხეს. ვიპოვოთ კოჭის საშიშ კვეთში აღძრული უდიდესი ნორმალური ძაბვა.

პასუხი: $\sigma_{max} = 94{,}5$ კგ/სმ².

13.4. ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე მართკუთხა განივკვეთის

ხის კოჭის მალის შუაში მოდებულია შეყურსული ძალა $P=1$ ტ. შეეარჩიოთ კოჭის განივკვეთის ზომები, თუ P ძალა გადის კოჭის ღერძზე და სიმეტრიის Z სიბრტყესთან ადგენს $\varphi=30°$ კუთხეს (იხ. ნახაზი), კოჭის მალი $l=6$ მ, განივკვეთის ზომების ფარდობა $h:b=2$ და დასაშვები ძაბვა ღუნვისას $|\sigma|_ღ=125$ კგ/სმ².

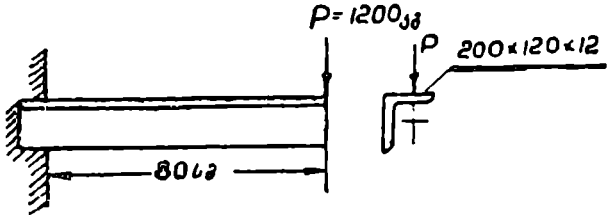


13.4 ამოცანისათვის.

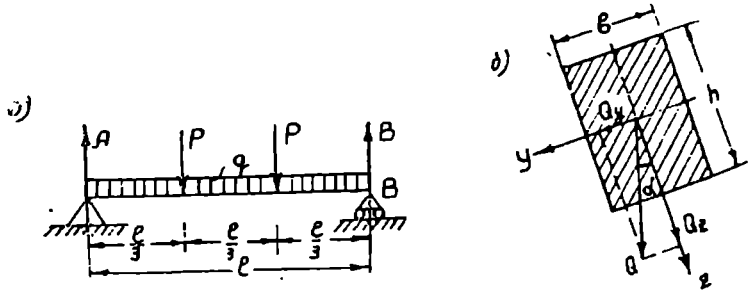
პასუხი: $b=15$ სმ;
$h=30$ სმ.

13.5. ავაგოთ ნახაზზე ნაჩვენები კუთხოვანი პროფილის განივკვეთის მქონე კოჭის მთავარი სიბრტყეების მიმართულებაზე მღუნავი მომენტის ეპიურები.

13.6. შეეარჩიოთ ირიბ ღუნვაზე მომუშავე ორ საყრდენზე მდებარე ხის კოჭის მართკუთხა ფორმის განივკვეთის ზომები, თუ კოჭის მალია $l=4{,}5$ მ, დატვირთული $q=$



13.5 ამოცანისათვის.



13.6 ამოცანისათვის.

$=200$ კგ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთით და ორი შეყურსული $P=100$ კგ ძალით, რომლებიც საყრდენებიდან და-

შორებულია $\frac{l}{3}$ მანძილით (იხ. ნახაზი). განაწილებული ტვირთის და შეყურსულ ძალთა მოქმედების სიბრტყე კოჭის სიმეტრიის სიბრტყესთან ადგენს $\alpha=15°$ კუთხეს.

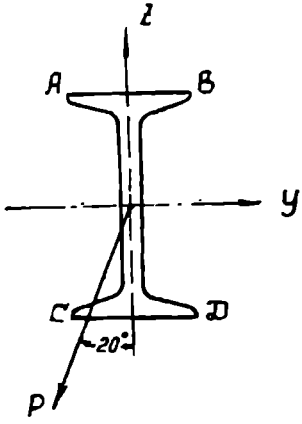
კოჭის განივკვეთის სიმაღლის შეფარდება სიგანესთან $h:b=1{,}5$; დასაშვები ნორმალური ძაბვა ღუნვაზე $[\sigma]_ღ=100$ კგ/სმ².

პასუხი: $h=20$ სმ; $b=13$ სმ.

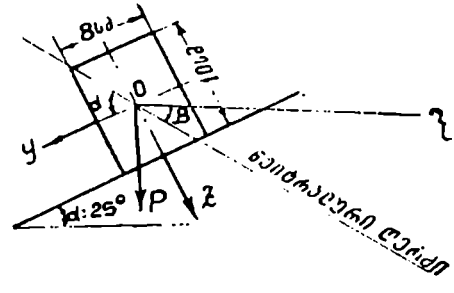
13.7. ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე ორტესებრი განივკვეთის № 40ª ფოლადის კოჭზე მოქმედებს ორი ტოლი შეყურსული ძალა $P=800$ კგ, რომლებიც საყრდენებიდან დაცილებული არიან თანატოლი მანძილით $a=2$ მ.

მოვძებნოთ კოჭის საშიში კვეთის A, B, C და D წერტილებში ნორმალური ძაბვების სიდიდეები (იხ. ნახაზი), თუ P ძალა კოჭის ღერძის მართობია და სიმეტრიის ღერძთან ადგენს $\varphi=20°$ კუთხეს.

პასუხი: $\sigma_A=-450$ კგ/სმ²;
$\sigma_B=-727$ კგ/სმ²;
$\sigma_C=+727$ კგ/სმ²;
$\sigma_D=+450$ კგ/სმ²;



13.7 ამოცანისათვის.



13.8 ამოცანისათვის.

13.8. ძელი, რომლის განზომილებაა 8×10 სმ, იღუნება ღერძის მართობი ვერტიკალური P ძალით, ისე როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები (იხ. ნახაზი).

განვსაზღვროთ ნეიტრალურ ღერძსა და ძალის მოქმედების სიბრტყის მართობ $O\eta$ ღერძს შორის კუთხე β.

ამოხსნა: როგორც ნახაზიდან ჩანს, $\beta=\alpha-\varphi$, ხოლო

$$\operatorname{tg}\alpha=\frac{J_y}{J_z}\operatorname{tg}\varphi=\frac{12bh^3}{12hb^3}\operatorname{tg}\varphi=\frac{h^2}{b^2}\operatorname{tg}\varphi=\frac{10^2}{8^2}\cdot 0{,}466=0{,}728;$$

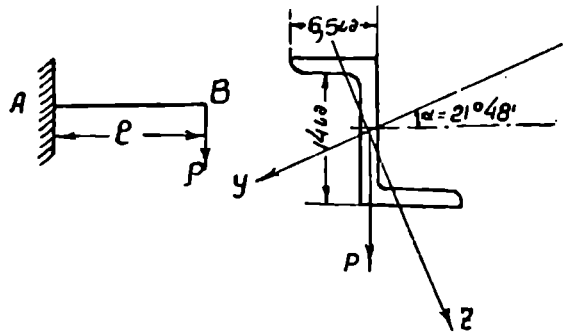
აქედან $\alpha=36°\ 5'$.

ამგვარად $\beta=36°5'-25°=11°5'$.

13.9. განვსაზღვროთ როგორი მდებარეობა ექნება სწორკუთხოვანი განივკვეთის კოჭში ნეიტრალურ შრეს, თუ მღუნავი ძალის მოქმედების სიბრტყე ემთხვევა ერთ-ერთ დიაგონალურ სიბრტყეს.

პ ა ს უ ხ ი: ნეიტრალური შრე დაემთხვევა მეორე დიაგონალურ სიბრტყეს.

13.10. Z-სებრი განივკვეთის კოჭი ერთი ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული ისე, რომ კოჭის თაროებს აქვთ ჰორიზონტალური მდებარეობა (იხ. ნახ.). კოჭის თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს ვერტიკალური ძალა $P=160$ კგ.



13.10 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ თავისუფალი B ბოლოს სრული ჩაღუნვის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელები, თუ $l=2$ მ, y და z მთავარი ღერძებია, რომელთათვის

$$J_y=847 \text{ სმ}^4; \qquad J_z=61{,}4 \text{ სმ}^4 \quad \text{და} \quad E=2\cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პ ა ს უ ხ ი: ჰორიზონტალური მდგენელი $f_1=1{,}118$ სმ;

ვერტიკალური მდგენელი $f_2=0.701$ სმ.

13.11. ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე ორტესებრი განივკვეთის კოჭზე. რომლის მალია $l=5$ მ, მთელ სიგრძეზე მოქმედებს $q=0{,}4$ ტ/მ ინტენსივობის თანაბრად განაწილებული ტვირთი. ორტესებრი კოჭის კედლის სიბრტყესა და ძალის მოქმედების სიბრტყეს შორის კუთხე $\varphi=30°$-ს (იხ. ნახაზი).

შევარჩიოთ კოჭის კვეთი სორტამენტის ცხრილებიდან და განვსაზღვროთ მალის შუაში სრული ჩაღუნვა, თუ $[\sigma]=1\,600$ კგ/სმ^2 და $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ^2.

ა მ ო ხ ს ნ ა: ირიბი ღუნვის დროს სიმტკიცის პირობას აქვს შემდეგი

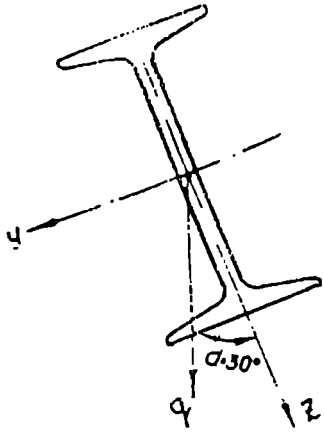
საბე:

$$\sigma_{max}=\frac{M_{max}}{W_y}\left(\cos\varphi+\frac{W_y}{W_x}\sin\varphi\right)\leqslant[\sigma];$$

აქედან

$$W_y\geqslant\frac{ql^2}{8[\sigma]}\cdot\left(\cos\varphi+\frac{W_y}{W_x}\sin\varphi\right)=\frac{4\cdot250\,000}{8\cdot1\,600}\left(0{,}866+\right.$$

$$\left.+\frac{W_y}{W_x}\cdot0{,}5\right)=67{,}6+39{,}1\,\frac{W_y}{W_x}.$$



13.11 ამოცანისათვის.

საჭირო კვეთი უნდა შევარჩიოთ თანდათანობითი მიახლოების წესით. სორტამენტში მოცემული ორტესებრი კვეთებისათვის ფარდობა $\frac{W_y}{W_x}$ იცვლება 6-დან 15-მდე, თუ მივიღებთ, რომ $\frac{W_y}{W_x}=6$, მაშინ $W_y\geqslant67{,}6+39{,}1\cdot6=$ $=302{,}2$ სმ³; ხოლო, თუ $\frac{W_y}{W_x}=15$, მაშინ $W_y\geqslant67{,}6+39{,}1\cdot15=653{,}6$ სმ³.

№ 22ª ორტესებრ კვეთს შეესაბამება $W_y=309$ სმ³, N 30ᶜ-ს კი $W_y=657$ სმ³. მაშასადამე, ორტესებრი პროფილის საძებნი ნომერი უნდა მდებარეობდეს № 22ª—და № 30ᶜ—შორის.

გავსინჯოთ ორტესებრი კვეთი №24ᵇ, რომლისთვისაც $W_y=400$ სმ³,

$$W_x=50{,}4\text{ სმ}^3\quad\text{და}\quad\frac{W_y}{W_x}=\frac{400}{50{,}4}=7{,}94.$$

აღებული კვეთისათვის.

$$\sigma_{max}=\frac{ql^2}{8W_y}\left(\cos\varphi+\frac{W_y}{W_x}\sin\varphi\right)=\frac{4\cdot250\,000}{8\cdot4000}(0{,}866+7{,}94\cdot0{,}5)=$$

$$=1\,508\text{ კგ/სმ}^2.$$

უდიდესი ძაბვა 5,75% ნაკლებია დასაშვებ ძაბვაზე.

ავიღოთ უფრო მცირე კვეთი, ვთქვათ, № 24ª, რომლისთვისაც

$$W_y=381\text{ სმ}^3;$$
$$W_x=48{,}4\text{ სმ}^3;$$
$$\frac{W_y}{W_x}=8{,}04.$$

მაქსიმალური ძაბვა

$$\sigma_{max} = \frac{4 \cdot 250\,000}{8 \cdot 381} (0{,}866 + 8{,}04 \cdot 0{,}5) \cong 1\,600 \text{ კგ/სმ}^2.$$

მაშასადამე, საბოლოოდ მივიღებთ № 24ª ორტესებრ კეთს.

მალის შუაში სრული ჩაღუნვა $f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$;
სადაც

$$f_y = \frac{5ql^4 \sin\varphi}{384EJ_x} = 2{,}9 \text{ სმ};$$

$$f_x = \frac{5ql^4 \cos\varphi}{384EJ_y} = 0{,}308 \text{ სმ}.$$

ამგვარად,

$$f = \sqrt{2{,}9^2 + 0{,}308^2} = 2{,}92 \text{ სმ}.$$

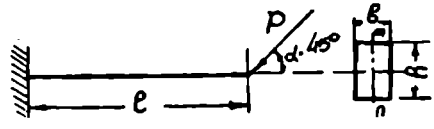
13.12. ორტესებრი განივკვეთის ფოლადის კოჭი ერთი ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული; მის თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს შეყურსული ძალა $P = 1{,}6$ ტ, რომელიც კოჭის კედლის სიბრტყესთან ადგენს $\varphi = 16°$ კუთხეს.

შევარჩიოთ სორტამენტის ცხრილიდან საჭირო ორტესებრი პროფილი და განესაზღვროთ კოჭის თავისუფალი ბოლოს სრული ჩაღუნვა, თუ კოჭის სიგრძე $l = 2$ მ; $[\sigma] = 1\,400$ კგ/სმ² და $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: I № 18; $f = 4{,}98$ სმ.

§ 34. ღუნვა და გაჭიმვა ან კუმშვა

13.13. კონსოლური სწორკუთხა კვეთის კოჭის თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს $P = 500$ კგ ძალა (იხ. ნახაზი).



13.13 ამოცანისათვის.

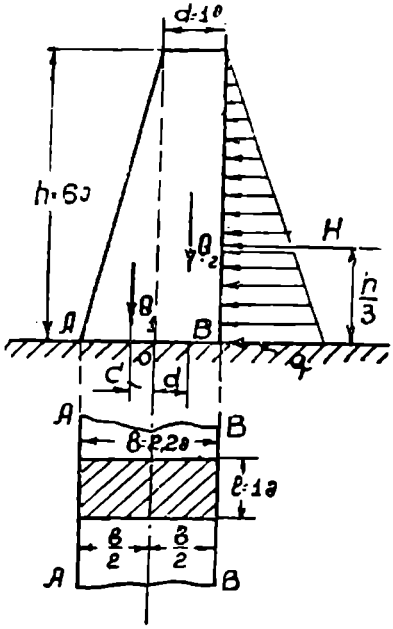
მოვძებნოთ საშიში კვეთი და ამ კვეთის ზედა m და ქვედა n შრეში ნორმალური ძაბვები, თუ კოჭის მალი $l = 3$ მ, განივკვეთის ზომები $h = 30$ სმ, $b = 10$ სმ, ხოლო P ძალა მდებარეობს სიმეტრიის სიბრტყეში და კოჭის ღერძთან ადგენს $\varphi = 45°$ კუთხეს.

მითითება: საჭიროა P ძალა დაიშალოს ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ მდგენელებად; ვერტიკალური მდგენელი იწვევს კოჭის ბრტყელ ღუნვას, ჰორიზონტალური მდგენელი კი ცენტრალურ კუმშვას.

პასუხი: $\sigma_m = +69{,}32$ კგ/სმ²
$\sigma_n = -71{,}68$ კგ/სმ².

13.14. ქვის საყრდენი კედელი, რომლის ზომები ნახაზზეა ნაჩვენები (იხ. ნახაზი), აკავებს მიწის ყრილის დაწოლას. კედლის წყობის მოცულობითი წონა $\gamma = 1{,}6$ ტ/მ³.

მიწის დაწოლა კედელზე ნაწილდება სამკუთხედის კანონით, რომლის მაქსიმალური ინტენსივობა კედლის ფუძეზე $q = 1{,}2$ ტ/მ².



13.14 ამოცანისათვის

განესაზღვროთ მაქსიმალური და მინიმალური ძაბვები საყრდენი კედლის ჩამაგრების $A-B$ კვეთში.

ა მ ო ხ ს ნ ა: კედლიდან წარმოდგენით გამოვყოთ $l = 1$ მ. უბანი; კედლის ეს უბანი შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც ქვედა ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული ძელი, რომელიც განიცდის ღუნვას მიწის დაწოლით და კუმშვას საკუთარი წონით.

კედლის ყველაზე დაძაბული ადგილია ჩამაგრების კვეთი; ამ კვეთში მაქსიმალური და მინიმალური ძაბვები გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{min}} = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{W},$$

სადაც N არის გამოყოფილი უბნის საკუთარი წონა და $N = Q_1 + Q_2$. Q_1 სამკუთხა და Q_2 მართკუთხა პრიზმების წონაა:

$$Q_1 = \frac{b-a}{2} hl\gamma = \frac{2{,}2-1}{2} \cdot 6 \cdot 1 \cdot 1{,}6 = 5{,}76 \text{ ტ};$$

$$Q_2 = hal\gamma = 6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1{,}6 = 9{,}6 \text{ ტ};$$

მაშინ

$$N = 5{,}76 + 9{,}6 = 15{,}36 \text{ ტ}.$$

მღუნავი M მომენტს AB კვეთის მიმართ მივიღებთ როგორც Q_1 და Q_2 ძალებისა და მიწის დაწოლის H ტოლქმედის მომენტების ალგებრულ ჯამს კედლის ჩამაგრების კვეთის ცენტრის მიმართ:

$$M = Q_1\left(a + \frac{b-a}{3} - \frac{b}{2}\right) - Q_2\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) + \frac{qh}{2} \quad \frac{h}{3} =$$

$$= 5{,}76 \cdot 0{,}3 - 9{,}6 \cdot 0{,}6 + \frac{1{,}2 \cdot 6}{2} \quad \frac{6}{3} = 3{,}168 \text{ ტ. მ}.$$

კედლის ჩამაგრების კვეთის ფართობი:

$$F=b\cdot l=2{,}2\cdot 1=2{,}2\ მ^2;$$

და

$$W_x=\frac{lb^2}{6}=\frac{1\cdot 2{,}2^2}{6}=0{,}807\ მ^3.$$

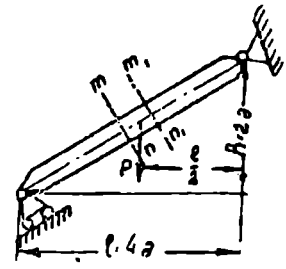
თუ ამ მნიშვნელობებს ძაბვის განტოლებაში შევიტანთ, მივიღებთ:

$$\sigma_{max}=\frac{15{,}36}{2{,}2}+\frac{3{,}168}{0{,}807}=6{,}98+3{,}92=10{,}9\ ტ/მ^2;$$

$$\sigma_{min}=6{,}98-3{,}92=3{,}06\ ტ/მ^2,$$

13.15. სწორკუთხოვანი განივკვეთის ორ საყრდენზე მდებარე კოჭის მოძრავი საყრდენიდან 2 მეტრის დაცილებით მოქმედებს სიმეტრიის სიბრტყეზე მდებარე კოჭის ღერძისადმი 30° კუთხით დახრილი $P=8$ ტ ძალა.

განვსაზღვროთ კოჭის მალის შუაში აბსოლუტურად უდიდესი ძაბვა, თუ კოჭის მალი $l=6$ მ. განივკვეთის ზომებია $b=10$ სმ, $h=20$ სმ.



13.16 ამოცანისათვის.

პასუხი: $\sigma=637{,}3$ კგ/სმ².

13.16. სწორკუთხოვანი განივკვეთის დახრილი კოჭის მალის შუაში შეეულად მოქმედებს $P=1$ ტ. ძალა (იხ. ნახაზი).

ვიპოვოთ ძალის მოქმედების კვეთის მარცხნივ და მის მარჯვნივ ახლო მდებარე $m-n$ და m_1-n_1 კვეთებში, განივი ძალის Q, მღუნავი მომენტის M, ნორმალური N ძალის სიდიდეები და მაქსიმალური ძაბვა, თუ კოჭის განივკვეთის ზომებია 30×10 სმ, კოჭის მალის თარზული გეგმილი $l=4$ მ. და შეეული $h=2$ მ.

პასუხი: $Q=0{,}447$ ტ; $Q_1=-0{,}447$ ტ;

$M=1$ ტ. მ; $M_1=1$ ტ. მ;

$N=0$; $N_1=0{,}448$ ტ;

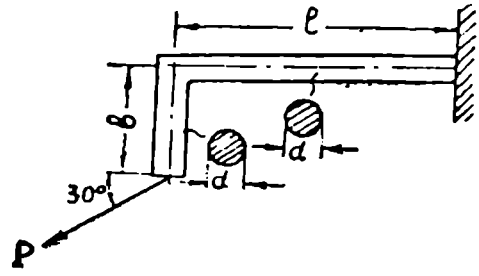
$\sigma_{max}=65{,}6$ კგ/სმ². $\sigma_{max}=68{,}1$ კგ/სმ².

13.17. წრიული განივკვეთის მუხლა ღეროს ერთი ღეროს სიმეტრიის სიბრტყეში მდებარე ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული და თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს ჰორიზონტიდან 30° დახრით $P=2$ ტ ძალა (იხ. ნახაზი).

რას უდრის ღეროში აღძრული უდიდესი ძაბვა, თუ $l=100$ სმ, $b=40$ სმ და $d=8$ სმ.

პასუხი: $\sigma=1\,420$ კგ/სმ².

13.18. ამწის სვეტს, რომლის სიგრძეა $h=30$ მ, აქვს წაკვეთილი კონუსის ფორმა, რომლის ზედა კვეთის დიამეტრი $d_0=20$ სმ და ქვედა დიამეტრი $d=30$ სმ. სვეტზე მოქმედებს $P=500$ კგ ძალა ისე როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები.

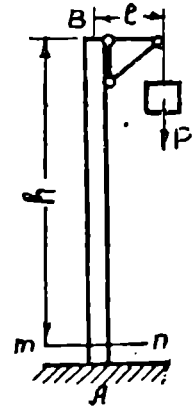


13.17 ამოცანისათვის.

ვიპოვოთ ჩამაგრების $m-n$ კვეთში P ძალით და სვეტის საკუთარი წონით გამოწვეული უდიდესი ნორმალური ძაბვა, თუ სვეტის მასალის მოცულობითი წონა $\gamma=0{,}5$ ტ/მ³ და P ძალა სვეტის ღერძიდან დაშორებულია $l=3$ მ-ით.

პასუხი: $\sigma=-58{,}4$ კგ/სმ².

13.19. ბაგირი ერთი ბოლოთი მიმაგრებულია ხისტად ჩამაგრებულ ორტესებრი განივკვეთის № 30ª ფოლადის ბოძზე.

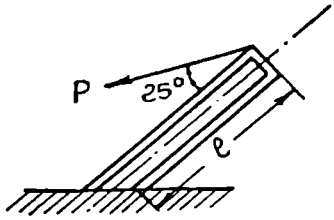


13.18 ამოცანისათვის.

გავიგოთ ბოძის ჩამაგრების კვეთში უდიდესი ნორმალური ძაბვა, თუ ბოძის სიგრძე $l=1{,}2$ მ. ბაგირის დაჭიმულობა $P=10$ ტ და P ძალის დაბრის კუთხე ბოძის ღერძთან $\alpha=25°$.

პასუხი: $\sigma=998$ კგ/სმ².

13.20. ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებულ მუდმივკვეთიან ABC მუხლა ღეროს თავისუფალ C ბოლოზე მოქმედებს ღეროს სიმეტრიის სიბრტყეზე მდებარე P ძალა (იხ. ნახაზი).



13.19 ამოცანისათვის.

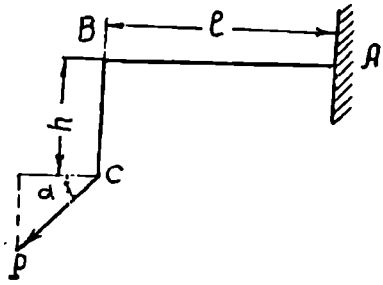
რა კუთხით უნდა დავხაროთ P ძალა ჰორიზონტიდან, რომ A და B კვეთებში მღუნავ მომენტთა აბსოლუტური სიდიდეები თანატოლი იყოს, თუ მოცემულია, რომ $l=3$ მ და $h=2$ მ.

პასუხი: $\alpha=53°\ 10'$.

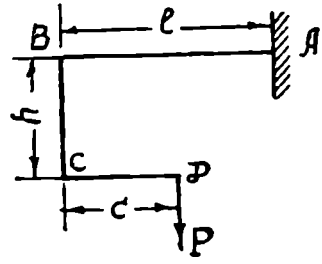
13.21. განესაზღვროთ რას უდრის წონა ამოცანის პირობის დაცვით უდიდესი ნორმალური ძაბვები ღეროს A

და B კვეთებში, თუ ღეროს განივკვეთი წარმოადგენს სწორკუთხედს ზომით 12×24 სმ და ძალა $P=400$ კგ.

პასუხი: $\sigma_A=42{,}5$ კგ/სმ²;
$\sigma_B=42{,}78$ კგ/სმ².



13.20 ამოცანისათვის.



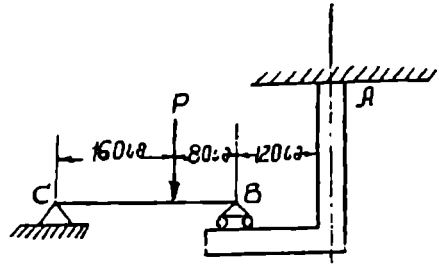
13.22 ამოცანისათვის.

13.22. ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებულ $ABCD$ მუხლა ღეროს თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს შვეული ძალა $P=1$ ტ (იხ. ნახაზი).

განესაზღვროთ D ბოლოს ჩაღუნვის ისარი f და მობრუნების კუთხე φ (ღეროს BC ნაწილის გაჭიმვის მხედველობაში არ მიღებით), თუ ღეროს განივკვეთის ზომებია 2×4 სმ, $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ², $l=30$ სმ, $h=20$ სმ და $c=10$ სმ.

პასუხი: $f=2{,}5$ სმ.
$\varphi=16'\ 9''$.

13.23. მუხლა ღეროს ერთი ბოლო ხისტადაა ჩამაგრებული და მის თავისუფალ ბოლოზე ეყრდნობა BC კოჭი ისე, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები (იხ. ნახაზი).



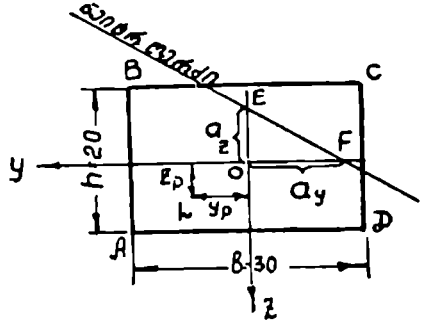
13.23 ამოცანისათვის.

რას უნდა უდრიდეს P ძალის სიდიდე, რომ მუხლა ღეროს ჩამაგრების კვეთში უდიდესი ნორმალური ძაბვა არ აღემატოს $\sigma=1\,200$ კგ/სმ². მუხლა ღეროს აქვს წრიული განივკვეთი, რომლის დიამეტრი უდრის 8 სმ-ს.

პასუხი: $P=748$ კგ.

§ 35. ექსცენტრული გაჭიმვა ან კუმშვა

13.24. სწორკუთხოვანი განივკვეთის სვეტზე, რომლის ზომებია 20×30 სმ, მოქმედებს ღერძის პარალელურად მიმართული მკუმშავი $P=12$ ტ ძალა. ძალის მოდების წერტილის კოორდინატები ინერციის მთავარი ღერძების მიმართ $y_p=6$ სმ $z_p=4$ სმ.



13.24 ამოცანისათვის.

განესაზღვროთ კვეთში მაქსიმალური მკუმშავი და გამჭიმავი ძაბვები და ვიპოვოთ ნეიტრალური ღერძის ინერციის მთავარ ღერძებთან გადაკვეთის E და F წერტილების მდებარეობა.

ა მ ო ხ ს ნ ა: ექსცენტრული კუმშვის შემთხვევაში სვეტის განივკვეთის ნებისმიერ წერტილში ძაბვას ვანგარიშობთ შემდეგი ფორმულით:

$$\sigma=\frac{P}{F}\left(1+\frac{y_p y}{i_z^2}+\frac{z_p z}{i_y^2}\right);$$

აქ y და z იმ წერტილის კოორდინატებია, სადაც ვეძებთ ძაბვას.

როგორც ძაბვის ფორმულიდან ჩანს, მაქსიმალური მკუმშავი ძაბვა იქნება იმ წერტილში, რომლის y-სა და z-ს აქვს უდიდესი დადებითი მნიშვნელობები. ჩვენი მაგალითისათვის შესაბამისი წერტილი იქნება A, რომლის კოორდინატებია $y=15$ სმ, $z=10$ სმ.

თუ ყველა მოცემულ მნიშვნელობას შევიტანთ ძაბვის ფორმულაში, მივიღებთ:

$$_{max}\sigma_{კუმშ}=-\frac{12\,000}{20\cdot30}\left(1+\frac{6\cdot15\cdot12}{30^2}+\frac{4\cdot10\cdot12}{20^2}\right)=$$

$$=-20(1+1{,}2+1{,}2)$$

$$_{max}\sigma_{კუმშ}=-68\ \text{კგ/სმ}^2$$

უდიდესი გამჭიმავი ძაბვა იქნება C წერტილში, რომლის კოორდინატებია $y=-15$ სმ, $z=-10$ სმ.

ამგვარად $_{max}\sigma_{გაჭ}=+28$ კგ/სმ^2.

თუ ძაბვის განტოლებაში $\sigma=-20(1+0{,}08y+0{,}12z)$ შევიტანთ $\sigma=0$, მივიღებთ ნეიტრალური ღერძის განტოლებას:

$$0=1+0{,}08\,y_0+0{,}12z_0;$$

იქ. სადაც ნეიტრალური ღერძი კვეთს y ღერძს $z_0=0$, მაშინ $y_0=$ $=a_y=-\frac{1}{0{,}08}=-12{,}5$; თუ შევიტანთ $y_0=0$, მივიღებთ:

$$z_0=a_z=-\frac{1}{0{,}12}=-8{,}33 \text{ სმ.}$$

ამგვარად E წერტილის კოორდინატებია:

$$y=0 \quad z=-8{,}33 \text{ სმ.}$$

F—წერტილისა:

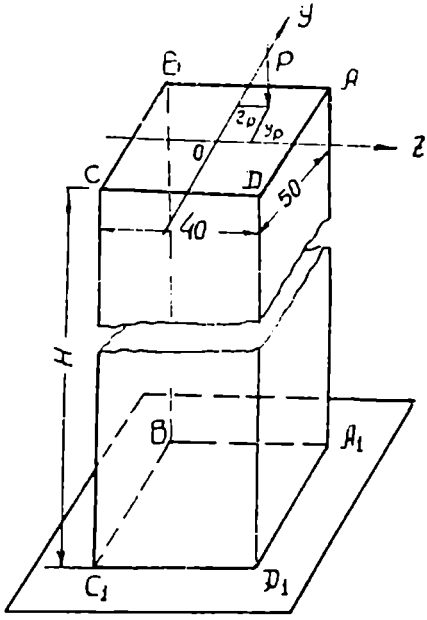
$$y=-12{,}5 \quad \text{და} \quad z=0.$$

13.25. წრიული განივკვეთის სვეტის კონტურზე მოქმედებს ღერძის პარალელურად მკუმშავი $P=8$ ტ ძალა.

რას უდრის უდიდესი გამჭიმავი ძაბვა კვეთში და რა მანძილითაა დაშორებული ნეიტრალური ღერძი ძალის მოდების წერტილიდან, თუ სვეტის დიამეტრი $d=20$ სმ.

პასუხი: $_{max}\sigma_{გაჭ}=$
$=+76{,}4$ კგ/სმ²;
$C=12{,}5$ სმ.

13.26. სწორკუთხოვანი განივკვეთის 40×50 სმ ბეტონის სვეტზე მოქმედებს ექსცენტრულად მკუმშავი $P=30$ ტ ძალა, რომლის მოდების წერტილის კოორდინატებია $y_p=10$ სმ, $z_p=$ $=6$ სმ. (იხ. ნახაზი).

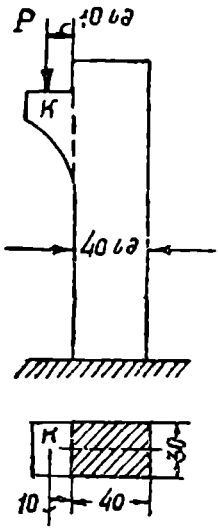


13.26 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ ძაბვები ძალის მოდების კვეთის A, B, C, და D წერტილებში და სვეტის ჩამაგრების კვეთის A_1, B_1, C_1 და D_1 წერტილებში საკუთარი წონის მხედველობაში მიღებით, თუ სვეტის მასალისათვის $\gamma=2{,}2$ ტ/მ³ და სვეტის სიმაღლე $H=8$ მ.

პასუხი: $\sigma_A=-46{,}5$ კგ/სმ²; $\sigma_{A_1}=-48{,}26$ კგ/სმ²;
$\sigma_C=+16{,}5$ კგ/სმ²; $\sigma_{C_1}=+14{,}74$ კგ/სმ²;
$\sigma_B=-19{,}5$ კგ/სმ²; $\sigma_{B_1}=-21{,}26$ კგ/სმ²;
$\sigma_D=-10{,}5$ კგ/სმ²; $\sigma_{D_1}=-12{,}26$ კგ/სმ².

13.27. ბეტონის სვეტზე მოქმედებს მკუმშავი ძალა, $P=3\,000$ კგ სვეტს აქვს სწორკუთხოვანი განივკვეთი ზომით 30×40 სმ.



13.27 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ უდიდესი მკუმშავი და გამჭიმავი ძაბვები სვეტის ჩამაგრების კვეთში და ნეიტრალური შრის დაშორება კვეთის ცენტრიდან.

პასუხი: $\sigma_{კვ}=-13{,}75$ კგ/სმ²;

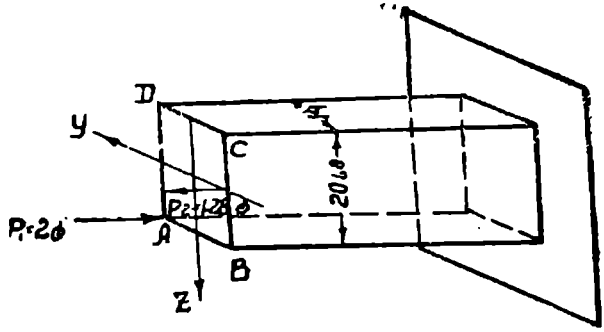
$\sigma_{გაჭ}=+8{,}75$ კგ/სმ²:

$$e=\frac{40}{9}\text{ სმ.}$$

13.28. განვსაზღვროთ რას უდრის წინა ამოცანის პირობებისათვის ექსცენტრულად მკუმშავი P ძალა, თუ სვეტის მასალისათვის დასაშვები გამჭიმავი ძაბვა $[\sigma]_{გაჭ}=5$ კგ/სმ².

პასუხი: $P=1\,715$ კგ.

13.29. ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებულ ძელის თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს მკუმშავი $P=2$ ტ და გამჭიმავი $P_2=1{,}2$ ტ ძალები, ისე როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები (იხ. ნახაზი).



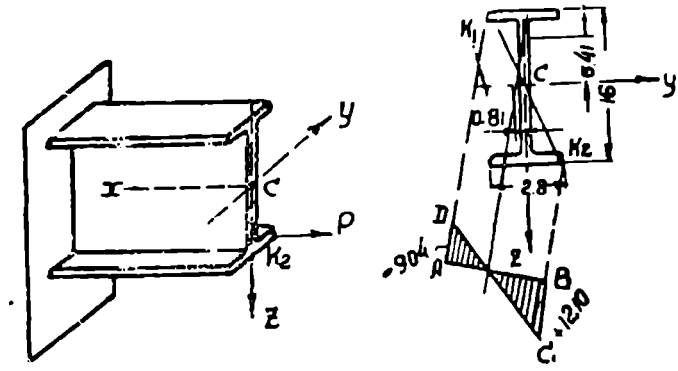
13.29 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ ძაბვები განივკვეთის A, B, C და D წერტილებში თუ ძელს აქვს სწორკუთხოვანი განივკვეთი ზომით 14×20 სმ.

პასუხი: $\sigma_A=-58{,}57$ კგ/სმ²; $\sigma_B=+10$ კგ/სმ²;

$\sigma_C=+52{,}86$ კგ/სმ²; $\sigma_D=-15{,}72$ კგ/სმ².

13.30. ერთი ბოლოთი ჩამაგრებულ კოჭის თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს ექსცენტრულად გამჭიმავი $P=4$ ტ ძალა (იხ. ნახაზი).



13.30 ამოცანისათვის.

ვიპოვოთ უდიდესი გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვები, თუ კოჭის კვეთი ორტესებრია № 16.

ა მ ო ხ ს ნ ა: სორტამენტის ცხრილებიდან № 16 ორტესებრი პროფილისათვის ამოვწეროთ საჭირო მნიშვნელობები:

კვეთის სიმაღლე $h=16$ სმ, თაროს სიგანე $b=8,8$ სმ, კვეთის ფართობი $F=26,1$ სმ^2, ინერციის ელიფსის რადიუსები $i_y=6,58$ სმ, $i_x=1,89$ სმ.

კოჭის განივკვეთის ნებისმიერ წერტილში ძაბვას ვანგარიშობთ შემდეგი ფორმულით:

$$\sigma=\frac{P}{F}\left(1+\frac{y_p y}{i_x^2}+\frac{z_p z}{i_y^2}\right).$$

უდიდესი გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვების გასაგებად საჭიროა σ-ს განტოლებაში y და z-ს მაგივრად შევიტანოთ ნეიტრალური ღერძიდან უშორესი წერტილის კოორდინატები. ნეიტრალური ღერძის მდებარეობის გასაგებად ვწერთ ნეიტრალური ღერძის განტოლებას

$$1+\frac{y_p y_0}{i_x^2}+\frac{z_p z_0}{i_y^2}=0;$$

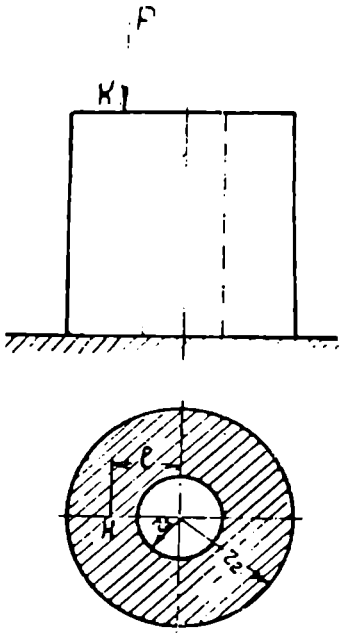
შევიტანოთ შემავალ წევრთა მნიშვნელობები

$$1+\frac{4,4\cdot y_0}{1,89^2}+\frac{8\cdot z_0}{6,58^2}=0; \qquad 1+1,235y_0+0,185z_0=0.$$

განვსაზღვროთ ნეიტრალური ღერძის მიერ y და z ღერძებზე მოკვეთილი ნაწილების სიგრძეები:

$$\text{როცა } z_0 = 0; \qquad y_0 = -0{,}81 \text{ სმ};$$
$$\text{როცა } y_0 = 0; \qquad z_0 = -5{,}41 \text{ სმ}.$$

მოძებნილი მონაკვეთების საშუალებით ვატარებთ ნეიტრალურ ღერძს და ვპოულობთ ნეიტრალური ღერძიდან ყველაზე უფრო დაშორებულ K_1 და K_2 წერტილებს. კვეთში აღძრული უდიდესი გამჭიმავი ძაბვის σ-ს გასაგებად ფორმულაში y-სა და z-ის მაგივრად უნდა შევიტანოთ K_2 წერტილის კოორდინატები $y = 4{,}4$ სმ და $z = 8$ სმ,



13.31 ამოცანისათვის.

$$\sigma_{\text{გაჭ}} = \frac{4\,000}{26{,}1}\left(1 + \frac{4{,}4 \cdot 4{,}4}{1{,}89^2} + \frac{8 \cdot 8}{6{,}59^2}\right) =$$
$$= +1\,210 \text{ კგ/სმ}^2.$$

უდიდესი მკუმშავი ძაბვა იქნება K_1 წერტილში, რომლის კოორდინატებია $Y = -4{,}4$ სმ, $Z = -8$ სმ.

$$\sigma_{\text{კუმშ}} = \frac{4\,000}{26{,}1}\left(1 - \frac{4{,}4 \cdot 4{,}4}{1{,}89^2} - \frac{8 \cdot 8}{6{,}58^2}\right) =$$
$$= -904 \text{ კგ/სმ}^2$$

13.31. ღრუ ცილინდრი, რომლის შიგა რადიუსი $r_1 = 12$ სმ და გარე რადიუსი $r_2 = 48$ სმ, დატვირთულია ექსცენტრული P ძალით, ისე როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები (იხ. ნახაზი).

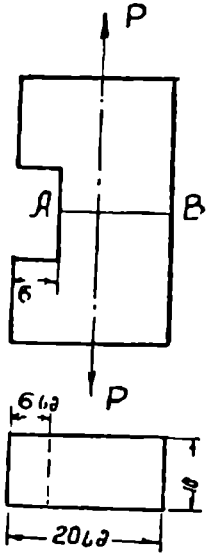
რა ფარგლებში უნდა იცვლებოდეს ექსცენტრისიტეტი, რომ ღრუ ცილინდრის კვეთში არ აღიძრას გამჭიმავი ძაბვა.

პასუხი: $e = 0 \div 12{,}75$ სმ.

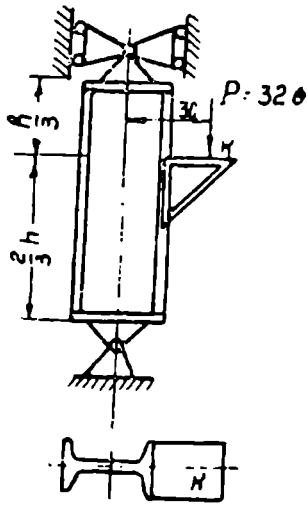
13.32. სწორკუთხოვანი 10×20 სმ განივკვეთის ღეროს იჭიმება $P = 3{,}5$ ტ ღერძული ძალით. ღეროს ერთი მხრიდან შესუსტებულია 6 სმ სიღრმის ჩანაჭერით (იხ. ნახაზი). გავიგოთ მაქსიმალური ძაბვის სიდიდე ღეროს შესუსტებულ AB კვეთში.

პასუხი: $\sigma_{max} = \sigma_A = 57{,}2$ კგ/სმ^2.

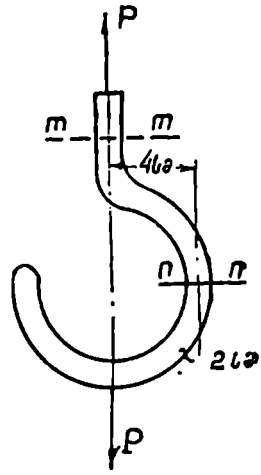
13.33. ორტესებრი განივკვეთის მოკლე სვეტი ბოლოებით სახსრულადაა ჩამაგრებული; ზედა ბოლოდან $\frac{h}{3}$ მანძილის დაშორებით მოწყობილია კონსოლი, რომლის საშუალებითაც სვეტს გადაეცემა $P=32$ ტ ტვირთი, ძალის მოდების K წერტილი სვეტის ღერძიდან დაშორებულია 30 სმ-ით (იხ. ნახაზი).



13.32 ამოცანისათვის.



13.33 ამოცანისათვის.



13.34 ამოცანისათვის.

შევარჩიოთ სვეტის ორტესებრი კვეთის ნომერი თუ დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1\,600$ კგ/სმ².

პასუხი: № 30ª.

13.34. ფოლადის კავზე დაკიდებულია $P=200$ კგ ტვირთი (იხ. ნახაზი). განვსაზღვროთ რა ძაბვებზე მუშაობს კავი $m—m$ და $n—n$ კვეთებში, თუ კავის კვეთი წრიულია, დიამეტრით $d=2$ სმ.

პასუხი: $\sigma_{m-n}=53{,}7$ კგ/სმ²;

$\sigma_{n+n}=1\,084$ კგ/სმ².

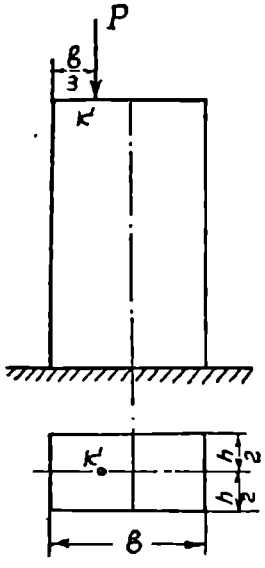
13.35. განვსაზღვროთ რა ძალის ატანა შეუძლია წინა ამოცანის პირობების დროს კავს, თუ კავის მასალაზე დასაშვები ძაბვა $n—n$ კვეთში $[\sigma]=1\,200$ კგ/სმ².

პასუხი: $P=222$ კგ.

13.36. სწორკუთხოვანი განივკვეთის სვეტის K წერტილში, რომელიც ნაპირიდან კვეთის სიგანის მესამედითაა დაცილებული, მოქმედებს P ძალა (იხ. ნახაზი).

როგორი ცენტრალური ძალა უნდა მოვდოთ სვეტზე ექსცენტრული P ძალის მაგივრად, რომ სვეტმა იმავე მაქსიმალურ ძაბვაზე იმუშაოს.

პასუხი: $2P$.



13.36 ამოცანისათვის.

13.37. განვსაზღვროთ რა უდიდესი მანძილის დაშორებით უნდა მოვდოთ მკუმშავი ალა კვეთის ცენტრიდან ორტესებრი განივკვეთის სვეტის y და z ღერძებზე, რომ სვეტში არ აღიძრას გამჭიმავი ძაბვა, თუ ორტესებრი პროფილის ნომერია 40[ა].

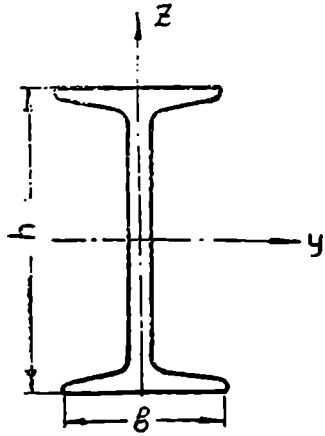
პასუხი: y ღერძზე—1,08 სმ;

z ღერძზე—12,65 სმ:

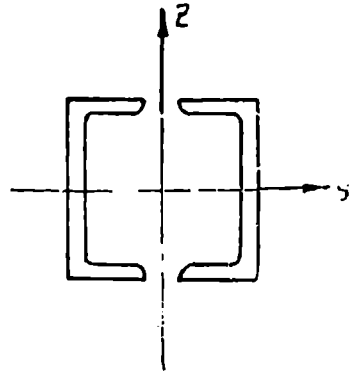
13.38. სვეტი შედგენილია ორი შველერისაგან ისე, რომ შველერის თაროები მიდებულია ერთმანეთთან(იხ. ნახაზი).

ა) ავაგოთ მოცემული განივკვეთისათვის კვეთის გული, თუ შველერის ნომერია 30[ა];

ბ) როგორ შეიცვლება კვეთის გული, თუ შველერები ერთმანეთს ეხებიან კედლებით.



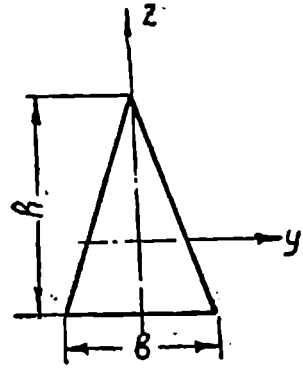
13.37 ამოცანისათვის.



13.38 ამოცანისათვის.

პასუხი: *ა*) $z_{ბაც}=0$; $y_{ბაც}=\pm 5{,}4$ სმ; $y_{ბაც}=0$ $z_{ბაც}=\pm 9{,}17$ სმ
ბ) $lz_{ბაც}=0$; $y_{ბაც}=\pm 1{,}25$ სმ; $y_{ბაც}=0$; $z_{ბაც}=\pm 9{,}17$ სმ.

13.39. მოცემულია ტოლფერდა სამკუთხედის ფორმის კვეთი, რომლის ზომებია $b=32$ სმ და $h=60$ სმ (იხ. ნახაზი).



13.39 ამოცანისათვის.

ავაგოთ მოცემული ფართობის კვეთის გული.

პასუხი: $y_{ბაც}=0$; $z_{ბაც}=0$

$$z_{ბაც}=\begin{cases}+10 \text{ სმ}\\ -5 \text{ სმ}\end{cases};$$

$$y_{ბაც}=\pm 1{,}33 \text{ სმ}.$$

§ 36. ღუნვა და გრეხა

13.40. საკისრებზე დაყრდნობილი ლილვი დატვირთულია ღვედურ გადაცემაზე მომუშავე ორი ბორბლით, რომელთა დიამეტრია $D_1=100$ სმ; $D_2=50$ სმ.

წონა $Q_1=300$ კგ, $Q_2=200$ კგ

ღვედების დაჭიმულობა $T_1=400$ კგ, $t_1=200$ კგ,

და $T_2=800$ კგ, $t_2=400$ კგ.

პირველი ბორბლის ღვედები მიმართულია ჰორიზონტალურად, ხოლო მეორე ბორბლის ღვედები ჰორიზონტთან ადგენენ 45° კუთხეს. ბორბლებს შორის მანძილი $b=40$ სმ და საკისრებიდან ბორბლამდე მანძილი $a=20$ სმ (იხ: ნახაზი).

განვსაზღვროთ ფოლადის ლილვის საჭირო დიამეტრი, თუ დასაშვები ძაბვა ლილვის მასალაზე $[\sigma]_ღ=800$ კგ/სმ²,

$$[\tau]=400 \text{ კგ/სმ}^2.$$

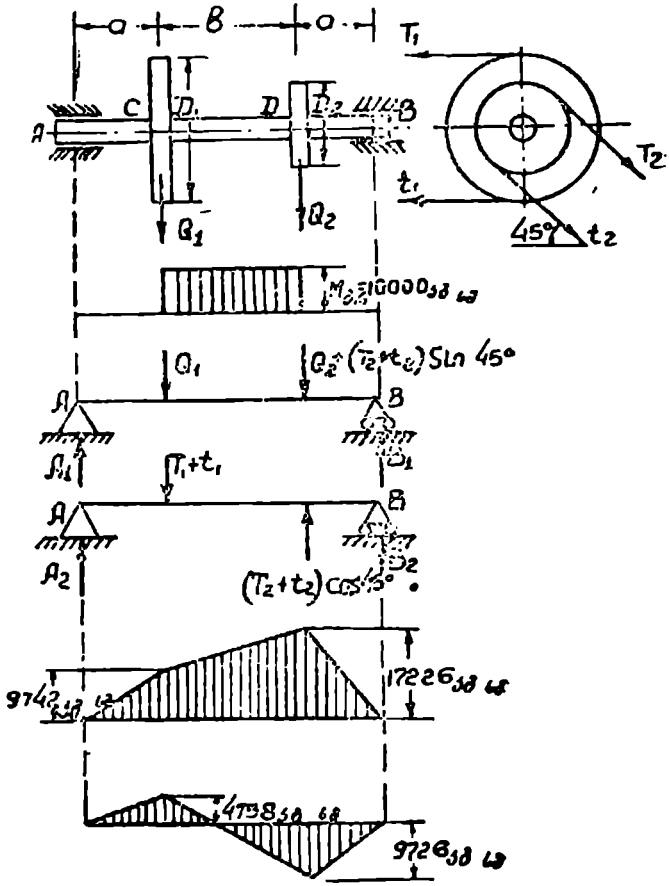
ამოხსნა: ორივე ბორბლის ღვედების დაჭიმულობა ერთმანეთს აწონასწორებენ და გრეხავენ ლილვის CD უბანს, აღნიშნულ უბანში მგრეხავი მომენტი

$$M_{მგრ}=(T_1-t_1)\frac{D_1}{2}=(T_2-t_2)\frac{D_2}{2}.$$

შევიტანოთ რიცხვითი მნიშვნელობები:

$$M_{მგრ}=(400-200)\frac{100}{2}=10\,000 \text{ კგ სმ}.$$

ბორბლის წონა და ღვედების დაჭიმულობის ძალა ლილვს სხვადასხვა სიბრტყეში ღუნავს. ლილვზე მოქმედი ძალების შესწავლის გაადვილების მიზნით, ეს ძალები დავშალოთ ორ გარკვეულ ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ მდგენელებად.



13.40 ამოცანისათვის.

პირველი ბორბლიდან ლილვზე გადაცემული ძალის ვერტიკალური მდგენელი იქნება ბორბლის წონა $Q_1 = 300$ კგ.

ჰორიზონტალური მდგენელი

$$T_1 + t_1 = 400 + 200 = 600 \text{ კგ.}$$

მეორე ბორბლიდან გადაცემული ძალის ვერტიკალური მდგენელი ჯამდება ბორბლის წონისა და ღერძის დაჭიმულობის სათანადო მდგენელისაგან:

$$Q_2+(T_2+t_2)\sin 45^\circ=200+(800+400)\,0{,}707=1\,048 \text{ კგ}.$$

ჰორიზონტალური მდგენელი ტოლია:

$$(T_2+t_2)\cos 45^\circ=(800+400)0{,}707=848{,}4 \text{ კგ}.$$

მდგენელებად დაშლილი ძალებით ლილვის დატვირთვის სქემა და მათ მიერ გამოწვეული მღუნავი მომენტების ეპიურები ნაჩვენებია ნახაზზე (იხ. ნახაზი).

როგორც ამ ეპიურებიდან ჩანს, ლილვის საშიშ კვეთს წარმოადგენს D კვეთი, სადაც გარდა მგრეხავი მომენტისა მოქმედებს აგრეთვე აბსოლუტურად უდიდესი მღუნავი, მომენტიც.

საშიშ კვეთში სრული მღუნავი მომენტი ტოლია ლილვის დატვირთვის ვერტიკალური და ჰორიზონტალური მდგენელი ძალებით ამავე კვეთში გამოწვეული მღუნავი მომენტების გეომეტრიული ჯამისა

$$M_ღ=\sqrt{M_{ვერ}{}^2+M_{ჰორ}{}^2}=\sqrt{17\,226^2+9\,726^2}=19\,750 \text{ კგ. სმ}.$$

საჭირო წინაღობის მომენტი ნორმალური ძაბვის პირობიდან:

$$W\geqslant\frac{19\,750+\sqrt{19\,750^2+10\,000^2}}{2\cdot 800}=26{,}2 \text{ სმ}^3.$$

შხები ძაბვის პირობიდან:

$$W\geqslant\frac{\sqrt{19\,750^2+10\,000^2}}{800}=27{,}68 \text{ სმ}^3.$$

ლილვის დიამეტრი უნდა შევარჩიოთ უდიდესი წინაღობის მომენტის მიხედვით, ე. ი. $W=27,\ 68$ სმ^3-ზე

საჭირო წინაღობის მომენტის გამოთვლის შემდეგ ლილვის დიამეტრს გავიანგარიშებთ შემდეგი ფორმულით:

$$W=\frac{\pi d^3}{32}\geqslant 27{,}68;$$

აქედან

$$d\geqslant\sqrt[3]{\frac{32\cdot 27{,}68}{3{,}14}}=6{,}52 \text{ სმ}.$$

18.41. ლილვი, რომელიც ბრუნვით მოძრაობაში მოჰყავს ძრავს და წარმოადგენს მისი ღერძის გაგრძელებას, ეყრდნობა ორ საკისარს, რო-

მელთა შორის მანძილი უდრის 160 სმ. ლილვის შუაში დასმულია ბორბალი, რომლის წონა $Q=800$ კგ-ს და დიამეტრი $D=180$ სმ-ს. ბორბალზე გადადებული ჰორიზონტალურად მიმართული ღვედის დაჭიმულობა:

$$T=600 \text{ კგ}. \quad \text{და} \quad t=300 \text{ კგ}.$$

განვსაზღვროთ ლილვის დიამეტრი სიმტკიცის მეოთხე თეორიით, თუ დასაშვები ძაბვა ლილვის მასალაზე $[\sigma]=800$ კგ/სმ².

პასუხი: $d=8{,}7$ სმ.

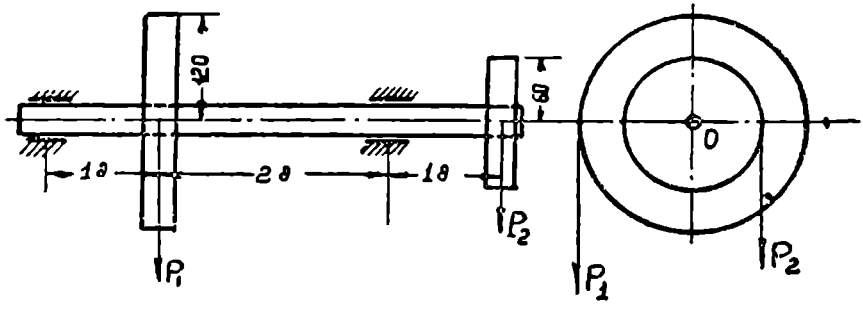
13.42. წრიული განივკვეთის ფოლადის ლილვზე მოქმედებს მგრეხავი და მღუნავი ძალები. ლილვის საშიშ კვეთში მღუნავი მომენტი $M_ღ=96\,000$ კგ სმ და მგრეხავი მომენტი $M_{გრ}=120000$ კგ სმ.

განვსაზღვროთ ლილვის დიამეტრი სიმტკიცის II და IV თეორიით, თუ დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1\,000$ კგ/სმ².

პასუხი: $d_{II}=110$ მმ; $d_{IV}=112$ მმ.

13.43. ფოლადის ღრუ ლილვის საშიშ კვეთში მღუნავი მომენტი $M_ღ=6$ ტ მ და მგრეხავი მომენტი $M_{გრ}=8$ ტ მ.

განვსაზღვროთ ლილვის გარე და შიგა დიამეტრი სიმტკიცის მეოთხე



13.44 ამოცანისათვის.

თეორიის მიხედვით, თუ შიგა დიამეტრი 2/3 გარე დიამეტრის ტოლია და დასაშვები ძაბვა ლილვის მასალისათვის $[\sigma]=1\,200$ კგ/სმ².

პასუხი: 220 მმ და 146,5 მმ.

13.44. ლილვზე დასმულია ორი თვალი, რომელთა ზომები ნაჩვენებია ნახაზზე (იხ. ნახაზი).

პირველ თვალზე მოქმედი $P_1=400$ კგ ძალა და მეორე თვალზე მოქმედი P_2 ძალა წონასწორობაში არიან, პირველი თვალის წონა $Q_1=200$ კგ, მეორე თვალის წონა $Q_2=80$ კგ.

განვსაზღვროთ ლილვის დიამეტრი სიმტკიცის მეორე თეორიის მიხედვით, თუ დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=800$ კგ/სმ².

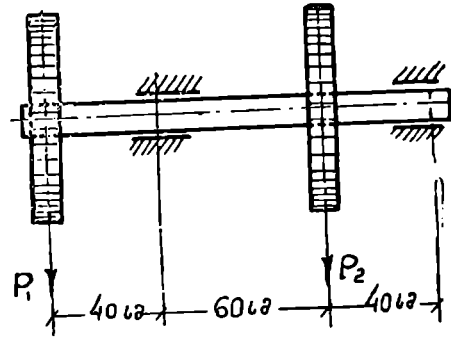
პასუხი: $d=106$ მმ.

13.45. წრიული განივკვეთის ფოლადის ლილვზე დასმულია ორი კბილათვალი (იხ. ნახაზი). თვალზე კბილის დაწოლა და თვალის საკუთარი წონა მიმართულია ვერტიკალურად და ტოლია $P_1=400$ კგ და $P_2=500$ კგ.

წამყვანი თვალიდან მიმყოლ თვალს გადაეცემა 16 ცხ ძ სიმძლავრე 100 ბრ/წთ.

განვსაზღვროთ ლილვის დიამეტრი სიმტკიცის III თეორიით.

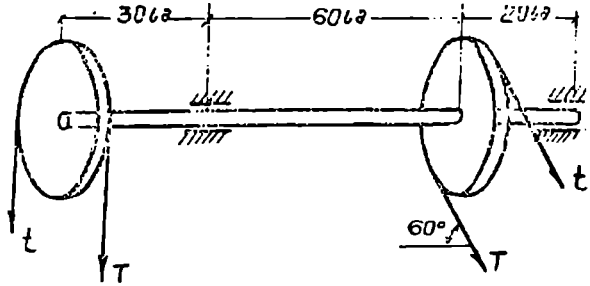
თუ დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=600$ კგ/სმ².



13.45 ამოცანისათვის.

პასუხი: $d=69$ მმ.

13.46. წრიული განივკვეთის ფოლადის ლილვზე დასმულია ორი A და B ბორბალი (იხ. ნახაზი). წამყვანი A ბორბალი 24 ცხ ძ სიმძლავრეს გადასცემს 200 ბრ/წთ. A ბორბლის ღვედს აქვს ვერტიკალური მიმართულება, B ბორბლის ღვედი კი ჰორიზონტთან დახრილია 60°.



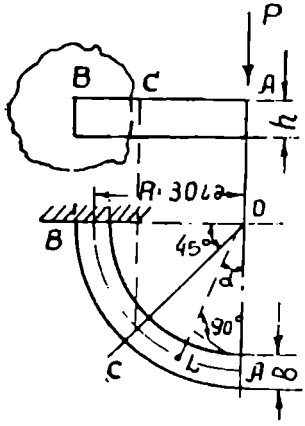
13.46 ამოცანისათვის.

ბორბლების დიამეტრი თანატოლია და უდრის 80 სმ. ღვედის დაჭიმულობა $T=340$ კგ, ბორბლის წონა $Q_A=Q_B=120$ კგ.

შევარჩიოთ ლილვის დიამეტრი სიმტკიცის IV თეორიის მიხედვით, თუ დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1\,000$ კგ/სმ².

პასუხი: $d=63$ მმ

13.47. სწორკუთხოვანი განივკვეთის $b=4$ სმ და $h=8$ სმ ფოლადის AB მრუდ ძელს აქვს მეოთხედი წრის ფორმა. ძელი B ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული და თავისუფალ A ბოლოზე მოქმედებს ვერტიკალური $P=300$ კგ ძალა (იხ. ნახაზი).



13.47 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ ძელის C და B კვეთებში საანგარიშო ძაბვები სიმტკიცის IV თეორიის მიხედვით.

ამოხსნა: P ძალის მოქმედება იწვევს AB მრუდი ძელის ღუნვას და გრეხას. A კვეთიდან ნებისმიერი α კუთხით დახრილ კვეთში (იხ. ნახაზი) მღუნავი მომენტი

$$M_ღ = PA \cdot K = PR \sin \alpha;$$

მგრეხავი მომენტი

$$M_{გრ} = P \cdot K \cdot L = PR(1 - \cos \alpha).$$

C კვეთში $\alpha = 45°$ და შესაბამისად

$$M_ღ = 300 \cdot 30 \cdot 0{,}707 = 6\,363 \text{ კგ სმ};$$

$M_{გრ} = 300 \cdot 30(1 - 0{,}707) = 2\,637$ კგ სმ.

ღუნვით გამოწვეული უდიდესი ნორმალური ძაბვა C კვეთში

$$\sigma_0 = \frac{M_ღ}{W_ღ} = \frac{PR \sin 45° \cdot 6}{b \cdot h^2} = \frac{6\,363 \cdot 6}{4 \cdot 8^2} = 150 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ამავე კვეთში მგრეხავი მომენტისაგან გამოწვეული უდიდესი მხები ძაბვა

$$\tau = \frac{M_{გრ}}{W_{გრ}} = \frac{PR(1 - \cos \alpha)}{\beta b^3}.$$

სწორკუთხოვანი კუთხისათვის, როცა $\frac{h}{b} = 2$, მაშინ $\beta = 0{,}493$ (იხ. ცხრილი 5).

$$\tau_C = \frac{2\,637}{0{,}493 \cdot 4^3} = 83{,}5 \text{ კგ/სმ}^2.$$

საანგარიშო ძაბვა C კვეთში სიმტკიცის IV თეორიის მიხედვით

$$\sigma = \sqrt{\sigma_C^2 + 3 \cdot \tau_C^2} = \sqrt{150^2 + 3 \cdot 83{,}5^2} = 208 \text{ კგ/სმ}^2$$

B კვეთში, სადაც $\alpha = 90°$,

$M_ღ = M_{გრ} = PR$ და შესაბამისად

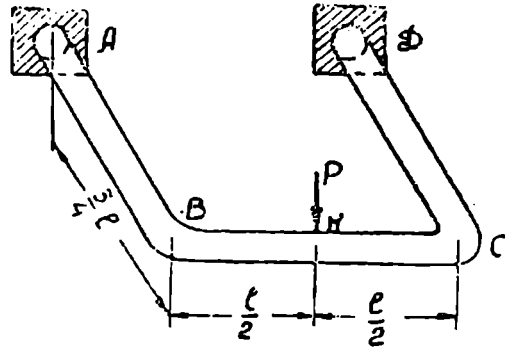
$$\sigma_B = \frac{M_ღ}{W_ღ} = \frac{6PR}{bh^2} = \frac{6 \cdot 300 \cdot 30}{4 \cdot 8^2} = 211 \text{ კგ/სმ}^2;$$

$$\tau_B = \frac{M_{გრ}}{W_{გრ}} = \frac{PR}{\beta b^3} = \frac{300 \cdot 30}{0{,}493 \cdot 4^3} = 285 \text{ კგ/სმ}^2.$$

საანგარიშო ძაბვა B კვეთში

$$\sigma = \sqrt{\sigma_B^2 + 3\tau_B^2} = \sqrt{211^2 + 285^2} = 354 \text{ კგ/სმ}^2.$$

13.48. ფოლადის ღეროს, რომელსაც გეგმაზე აქვს სწორკუთხედის ფორმა (იხ. ნახაზი), ზომებით l და $\frac{3}{4}l$, ორივე A და D ბოლოთი ხისტად არის ჩამაგრებული; ღეროს BC ნაწილის შუაში მოქმედებს P ძალა. ღეროს აქვს წრიული განივკვეთი, რომლის $d = 4$ სმ. რას უდრის უდიდესი დასაშვები P ძალა სიმტკიცის მეოთხე თეორიის მიხედვით, თუ $l = 46$ სმ,



13.48 ამოცანისათვის.

$$[\sigma] = 1\,000 \text{ კგ/სმ}^2 \text{ და } G = 0{,}4 \cdot E.$$

ა მ ო ხ ს ნ ა: ღეროს AB და DC ნაწილები განიცდიან გრეხას და ღუნვას, ხოლო BC ნაწილი წარმოადგენს უბრალო კოჭს, რომელიც იღუნება P ძალით და საყრდენი მომენტებით ეს უკანასკნელი ტოლია AB (ან DC) ნაწილის მგრეხავი მომენტისა.

AB (ან CD) ნაწილზე მოქმედი მგრეხავი მომენტი შეიძლება ვიპოვოთ შემდეგი პირობიდან: B (ან C) კვეთის გრეხის კუთხე ტოლი უნდა იყოს BC კოჭის ბოლოების მობრუნების კუთხისა,

ე. ი.

$$\frac{M_{გრ} \cdot \frac{3}{4} l}{GJ_p} = \frac{Pl^2}{16EJ} - \frac{M_{გრ} \cdot l}{2EJ};$$

თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ მოცემულია $G=0{,}4E$ და წრიული კვეთისათვის $J_\rho=2J$, გვექნება

$$M_{\text{გ}}=\frac{Pl}{23}=\frac{46}{23}P=2P.$$

უდიდესი მღუნავი მომენტი აღიძვრება A და D კვეთებში და ტოლია:

$$M_{\text{ღ}}=\frac{P}{2}\cdot\frac{3}{4}l=\frac{3\cdot 46}{8}P=\frac{69}{8}P.$$

სიმტკიცის მეოთხე თეორიის თანახმად

$$[\sigma]=\frac{1}{W}\sqrt{M_{\text{ღ}}^2+0{,}75M_{\text{გ}}^2}$$

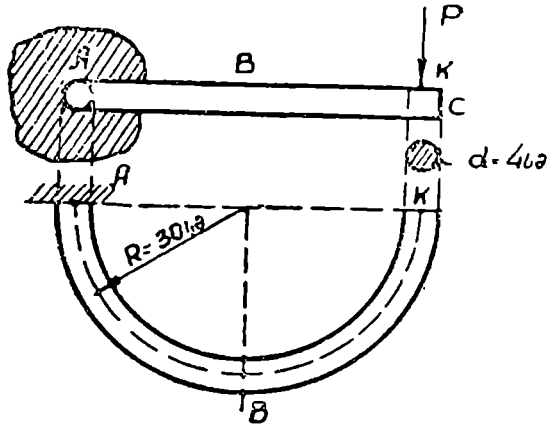
ან

$$[\sigma]=\frac{1}{0{,}1\,d^3}\sqrt{\left(\frac{69}{8}P\right)^2+0{,}75(2P)^2};$$

აქედან

$$P=\frac{0{,}1d^3[\sigma]}{\sqrt{\left(\frac{69}{8}\right)^2+0{,}75\cdot 4}}=\frac{0{,}1\cdot 4^3\cdot 1\,000}{\sqrt{\frac{4\,761}{64}+3}}$$

$$P=726\ \text{კგ}.$$



13.49 ამოცანისათვის.

13.49. წრიული განივკვეთის $d=4$ სმ. ფოლადის ABC მრუდ ღეროს გეგმაზე აქვს ნახევარი წრის ფორმა (იხ. ნახაზი). ღეროს A ბოლო ხისტადაა ჩამაგრებული და თავისუფალ C ბოლოზე მოქმედებს $P=120$ კგ ძალა.

გავიგოთ A და B კვეთებში აღძრული უდიდესი საანგარიშო ძაბვები სიმტკიცის მესამე თეორიის მიხედვით, თუ მრუდი ღეროს სიმრუდის რადიუსი $R=30$ სმ.

პასუხი: $\sigma_B=810$ კგ/სმ²;

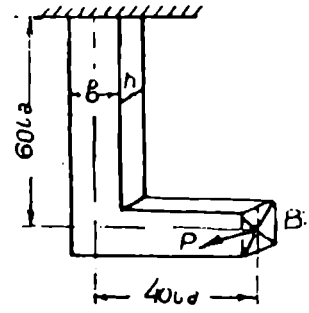
$\sigma_A=1\,148$ კგ/სმ².

13.50. სწორკუთხოვანი განივკვეთის ტეხილი ძელი ერთი ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული და თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს $P=200$ კგ. ძალა (იხ. ნახაზი).

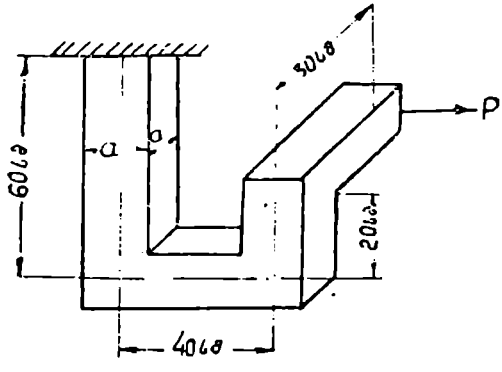
განვსაზღვროთ ძელის ჩამაგრების კვეთის გვერდების შუა წერტილებში საანგარიშო ძაბვები სიმტკიცის მეოთხე თეორიის მიხედვით, თუ ძელის კვეთის ზომებია:

$$b=4 \text{ სმ}; \quad h=6 \text{ სმ}.$$

პასუხი: $\sigma_{საანგ}=800{,}6$ კგ/სმ².



13.50 ამოცანისათვის.



13.51 ამოცანისათვის.

13.51. ნახაზზე ნაჩვენებია მუდმივგანივკვეთიანი ტეხილი ძელისათვის ვიპოვოთ საშიში კვეთი და განვსაზღვროთ ამ კვეთში საანგარიშო ძაბვა სიმტკიცის მესამე თეორიის მიხედვით (იხ. ნახაზი).

ძელის განივკვეთი წარმოადგენს კვადრატს ზომით $a=4$ სმ და ძელზე მოქმედი ძალა

$$P=160 \text{ კგ}.$$

ძელის სიგრძითი ზომები ნაჩვენებია ნახაზზე.

პასუხი: $\sigma_{საანგ}=1\,089$ კგ/სმ².

თავი მეთოთხმეტე

მრუდე ძელი

მოკლე ცნობები თეორიიდან

ა) ძაბვების საანგარიშო ფორმულები:

მრუდე ძელში მხები ძაბვის გაანგარიშების დროს ძელის სიმრუდეს, როგორც მცირე გავლენის მქონეს მხები ძაბვის სიდიდეზე, მხედველობაში არ ღებულობენ და ანგარიშობენ, როგორც სწორღერძიან ძელში.

ამგვარად $$\tau=\frac{Q\,S(z)}{Jb}.$$

მრუდე ძელისათვის სიმტკიცის პირობა მხები ძაბვის მიხედვით შემდეგია:

$$\tau_{max}=\frac{Q_{max}S'_{max}}{Jb}\leqslant[\tau].$$

ნორმალური ძაბვა მრუდე ძელში აღიძვრება ნორმალური ძალისა და მღუნავი მომენტისაგან. ნორმალური ძალა N-ით აღძრული ძაბვა იქნება:

$$\sigma=\frac{N}{F}.$$

მღუნავი მომენტი M-ით აღძრული ნორმალური ძაბვის საანგარიშო ფორმულა შემდეგია:

$$\sigma=\frac{M}{S}\cdot\frac{z}{\rho},$$

სადაც z არის ნეიტრალური ღერძიდან იმ წერტილის დაშორება, სადაც ვეძებთ ნორმალურ ძაბვას;

S—განივკვეთის ფართობის სტატიკური მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ;

ρ—ნეიტრალური შრიდან z მანძილით დაშორებული შრის სიმრუდის რადიუსი

$$\rho=r+z$$

r არის ნეიტრალური შრის სიმრუდის რადიუსი, რომელიც იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$r=\frac{F}{\int_F \frac{dF}{\rho}}$$

ამგვარად, მრუდე ძელში ნორმალური ძაბვის საანგარიშო ფორმულას საბოლოოდ შემდეგი სახე აქვს:

$$\sigma=\frac{N}{F}+\frac{M}{S}\cdot\frac{z}{\rho}$$

კვეთში უდიდესი ძაბვა აღიძვრება ნეიტრალური ღერძიდან უშორეს წერტილებში—თუ ამ წერტილების დაშორებას ნეიტრალური შრიდან აღვნიშნავთ z_1 და z_2 და განაპირა შრეების სიმრუდის რადიუს R_1 და R_2-ით, მაშინ სიმტკიცის პირობას ნორმალური ძაბვის მიხედვით შემდეგი სახე ექნება:

$$\sigma_1=\frac{N}{F}+\frac{M}{S}\frac{z_1}{R_1}\leqslant[\sigma$$

$$\sigma_2=\frac{N}{F}-\frac{M}{S}\frac{z_2}{R_2}\leqslant[\sigma].$$

არჩევენ დიდი სიმრუდის და მცირე სიმრუდის ძელებს.

ძელი დიდი სიმრუდისაა, თუ $\frac{R_0}{h}\leqslant 5$, სადაც R_0 არის ძელის გეომეტრიული ღერძის სიმრუდის რადიუსი h კი ძელის კვეთის სიმაღლე. ძელი მცირე სიმრუდისაა, თუ $\frac{R_0}{h}>5$.

მცირე სიმრუდის ძელში ნორმალური ძაბვა, როგორც სწორღერძიან ძელში იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$\sigma=\frac{N}{J}\pm\frac{M\cdot z}{J}.$$

ბ) მრუდე ძელის დეფორმაცია

მრუდე ძელის ნებისმიერი კვეთის ჩაღუნვის ისრის და მობრუნების კუთხის გაანგარიშების დროს, უმრავლეს შემთხვევაში, ძელის სიმრუდეს, როგორც უმნიშვნელო გავლენის მქონეს f და Θ სიდიდეებზე მხედველობაში არ ღებულობენ და ანგარიშობენ სწორღერძიანი ძელის მსგავსად.

$$f=\frac{\partial U}{\partial P}=\int_s \frac{MdS}{EJ}\cdot\frac{\partial M}{\partial P}+\int_s \frac{NdS}{EF}\cdot\frac{\partial N}{\partial P},$$

$$\Theta=\frac{\partial U}{\partial M_0}=\int_s \frac{MdS}{EJ}\cdot\frac{\partial M}{\partial M_0}+\int_s \frac{NdS}{EF}\cdot\frac{\partial N}{\partial M_0};$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ მრუდე ძელის სიმრუდეს, მაშინ დრეკადი დეფორმაციის პოტენციალური ენერგია შეჯამდება სამი ინტეგრალისაგან-და f და Θ-ს საანგარიშო ფორმულაში U-ს მაგივრად უნდა ჩაისვას შემდეგი სიდიდე:

$$U=\int_s \frac{M^2dS}{2ESR_0}+\int_s \frac{N^2dS}{2EF}+\int_s \frac{MNdS}{EFR_0}.$$

გ) სქელკედლიანი ცილინდრი

სქელკედლიან ცილინდრში ძაბვა რადიალური მიმართულებით σ_r და რადიალური კვეთის მართობულად σ_t. როცა ცილინდრზე მოქმედებს გარე P_1 და შიგა P_2 წნევა შემდეგია:

$$\sigma_r=\frac{P_2r_2^2-P_1r_1^2}{r_1^2-r_2^2}-\frac{(P_2-P_1)r_1^2r_2^2}{r^2(r_1^2-r_2^2)},$$

$$\sigma_t=\frac{P_2r_2^2-P_1r_1^2}{r_1^2-r_2^2}+\frac{(P_2-P_1)r_1^2r_2^2}{r^2(r_1^2-r_2^2)}$$

სადაც r_1 არის სქელკედლიანი ცილინდრის გარე რადიუსი;

r_2—შიგა რადიუსი;

r—იმ შრის რადიუსი, სადაც ვეძებთ ძაბვას.

თუ სქელკედლიან ცილინდრზე მოქმედებს შიგა წნევა P_2 და გარე წნევა $P_1=0$, მაშინ:

$$\sigma_r=\frac{P_2r_2^2}{r_1^2-r_2^2}\left[1-\frac{r_1^2}{r^2}\right]$$

$$\sigma_t=\frac{P_2r_2^2}{r_1^2-r_2^2}\left[1+\frac{r_1^2}{r^2}\right].$$

დ) სფეროსებური სქელკედლიანი ჰურჭელი

ძაბვები სფეროსებურ სქელკედლიან ჰურჭელში კედლის ნებისმიერ წერტილში შემდეგია:

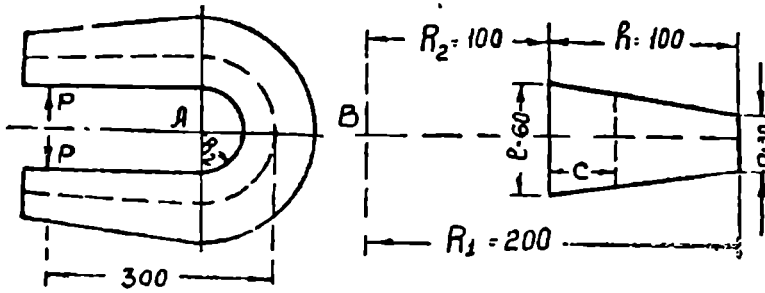
$$\sigma_r=\frac{P_2r_2^3-P_1r_1^3}{r_1^3-r_2^3}-(P_2-P_1)\frac{r_1^3r_2^3}{r^3(r_1^3-r_2^3)}\cdot$$

$$\sigma_t=\frac{P_2r_2^3-P_1r_1^3}{r_1^3-r_2^3}+(P_2-P_1)\frac{r_1^3r_2^3}{2r^3(r_1^3-r_2^3)}\cdot$$

§ 37. ძაბვის და დეფორმაციის გაანგარიშება

14.1. მანქანის ერთ-ერთ ნაწილს აქვს მრუდე ძელის ფორმა (იხ. ნახაზი), რომლის ბოლოებზე მოქმედებს ორი თანატოლი $P=4{,}5$ ტონა ძალა.

განვსაზღვროთ უდიდესი გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვა AB კვეთში, თუ ამ კვეთს აქვს ტრაპეციის ფორმა.



14.1 ამოცანისათვის.

მრუდე ძელისა და განსახილავი განივი კვეთის საჭირო გეომეტრიული ზომები ნაჩვენებია ნახაზზე მილიმეტრობით.

ა მ ო ხ ს ნ ა. გავიგოთ მრუდე ძელის გეომეტრიული ღერძის სიმრუდის რადიუსი R_0; ვიცით $R_0=R_2+c$,
ხოლო

$$c=\frac{h(2a+b)}{3(a+b)}=\frac{10\cdot 12}{3\cdot 9}=4{,}44 \text{ სმ.}$$

$$R_0=10+4{,}44=14{,}44 \text{ სმ.}$$

რადგანაც $\frac{R_0}{h}<5$, ამიტომ ნორმალური ძაბვა უნდა ვიანგარიშოთ დიდი სიმრუდის ძელისთვის მიღებული ფორმულით

$$\sigma=\frac{N}{F}+\frac{M}{S}\cdot\frac{\zeta}{\rho}.$$

ნეიტრალური შრის სიმრუდის რადიუსი $r=\dfrac{F}{\int\limits_F \dfrac{dF}{\rho}}$, ტრაპეციული

კვეთის შემთხვევაში ეს გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$r=\frac{h\cdot\dfrac{a+b}{2}}{\left(a+R_1\cdot\dfrac{b-a}{n}\right)l_n\dfrac{R_1}{R_2}-(b-a)}=\frac{10\cdot 4{,}5}{\left(3+20\cdot\dfrac{3}{10}\right)l_n\dfrac{20}{10}-3}=$$

$$=\frac{45}{9\cdot 0{,}703-3}=13{,}55 \text{ სმ.}$$

ნეიტრალური ღერძის დაცილება კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან

$$z_0=R_0-r=14{,}44-13{,}55=0{,}89 \text{ სმ}$$

ხოლო

$$S=F\cdot z_0=4{,}5\cdot 10\cdot 0{,}89=40 \text{ სმ}^3$$

უშორესი ბოჭკოების დაცილება ნეიტრალური ღერძიდან

$$Z_A=c-z_0=4{,}44-0{,}89=3{,}55 \text{ სმ}$$

$$Z_B=h-c+z_0=10-4{,}44+0{,}89=6{,}45 \text{ სმ.}$$

ამ სიდიდეების გამოთვლის შემდეგ შეგვიძლია ვიანგარიშოთ უდიდესი ძაბვები AB კვეთში.

$$\sigma_A=+\frac{4500}{45}+\frac{4500\cdot 30}{40}\cdot\frac{3{,}55}{10}=100+1198=1298 \text{ კგ/სმ}^2$$

$$\sigma_B=+\frac{4500}{45}-\frac{4500\cdot 30}{40}\cdot\frac{6{,}45}{20}=100-1088=-988 \text{ კგ/სმ}^2.$$

14.2. მრუდე ძელის გეომეტრიული ღერძის სიმრუდის რადიუსი $R_0=16$ სმ.

ძელს აქვს სწორკუთხოვანი განივკვეთი, რომლის ზომებია $h=10$ სმ, $b=4$ სმ.

განვსაზღვროთ ძელის ნეიტრალური შრის სიმრუდის რადიუსი.

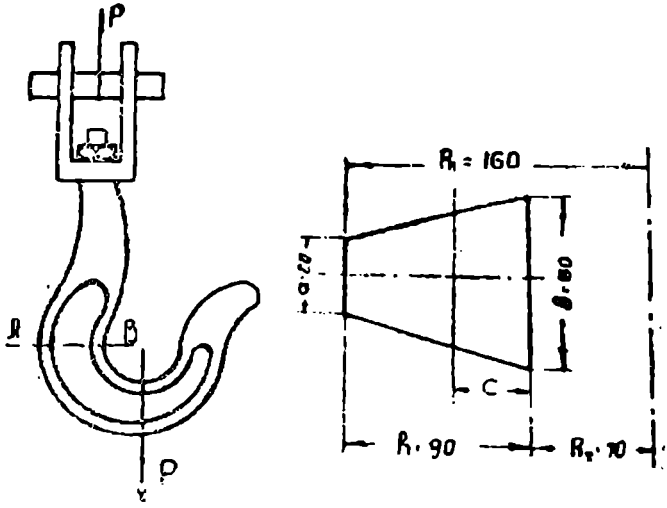
პასუხი: $r=15{,}45$ სმ.

14.3. განვსაზღვროთ კაკვის საშიშ კვეთში, რომელსაც აქვს ტრაპეციის ფორმა, მაქსიმალური გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვები, როცა კაკვი ეწევა $P=5$ ტონა ტვირთს.

კაკვის ზომები ნაჩვენებია ნახაზზე.

პასუხი: $\sigma_A = +1469$ კგ/სმ²

$\sigma_B = -841$ კგ/სმ²



14.3 ამოცანისათვის.

14.4. განსაზღვროთ სწორკუთხოვანი განივკვეთის კაკვის ტვირთამტანიანობა, თუ კაკვის შიგა დიამეტრი $R_2 = 8$ სმ, კაკვის განივკვეთის სისქე $b = 6$ სმ, სიმაღლე $h = 12$ სმ. ძალის მოქმედების ხაზი გადის ვერტიკალურად კაკვის სიმრუდის ცენტრში. დასაშვები ძაბვა კაკვის მასალისათვის $[\sigma] = 900$ კგ/სმ².

პასუხი: $P = 5{,}86$ ტ.

14.5. სწორკუთხოვანი განივკვეთის გაპრილი რგოლის გარე ზედაპირზე მოქმედებს თანაბარი წნევა ინტენსივობით $q = 30$ კგ/სმ² (იხ. ნახაზი).

განსაზღვროთ უდიდესი გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვა საშიშ კვეთში, თუ $R_2 = 2$ სმ, $b = 1$ სმ და $h = 4$ სმ.

ამოხსნა: განსახილავ რგოლში უდიდესი ნორმალური ძალა და მღუნავი მომენტი აღიძვრება AB კვეთში (ნახაზზე პუნქტირით არის ნაჩვენები).

$$N = qb2R_1 = 30 \cdot 1 \quad 2 \cdot 6 = 360 \text{ კგ}$$

$$M = qb \cdot 2R_1 \left(R_2 + \frac{h}{2} \right) = 360 \cdot 4 = 1440 \text{ კგ სმ.}$$

ნეიტრალური შრის სიმრუდის რადიუსი

$$r=\frac{h}{\ln\frac{R_1}{R_2}}=\frac{4}{\ln\frac{6}{2}}=\frac{4}{2{,}303\cdot 0{,}477}=3{,}64 \text{ სმ},$$

$$Z_0=R_0-r=4-3{,}64=0{,}36 \text{ სმ},$$

$$S=FZ_0=1\ \ 4\cdot 0{,}36=1{,}44 \text{ სმ}^3,$$

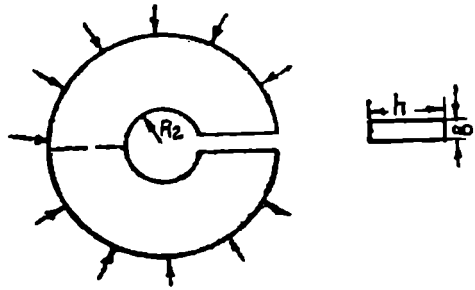
$$Z_A=\frac{h}{2}+Z_0=2+0{,}36=2{,}36 \text{ სმ},$$

$$Z_B=\frac{h}{2}-Z_0=2-0{,}36=1{,}64 \text{ სმ}.$$

ახლა ვიანგარიშოთ ძაბვები A და B წერტილებში

$$\sigma_A=-\frac{360}{1\cdot 4}+\frac{1440}{1{,}44}\ \ \frac{2{,}36}{6}=-90+393=+303 \text{ კგ/სმ}^2,$$

$$\sigma_B=-\frac{360}{1\cdot 4}-\frac{1440}{1{,}44}\ \ \frac{1{,}64}{2}=-90-820=-910 \text{ კგ/სმ}^2.$$



14.5 ამოცანისათვის.

14.6. წრიული განივკვეთის გაჭრილი რგოლის შიგა რადიუსი $R_2=40$ მმ, რგოლის განივკვეთის დიამეტრი $d=80$ მმ, რგოლზე მოქმედებს მკუმშავი ძალა $P=4$ ტ (იხ. ნახაზი). განვსაზღვროთ რგოლის AB კვეთში უდიდესი გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვები.

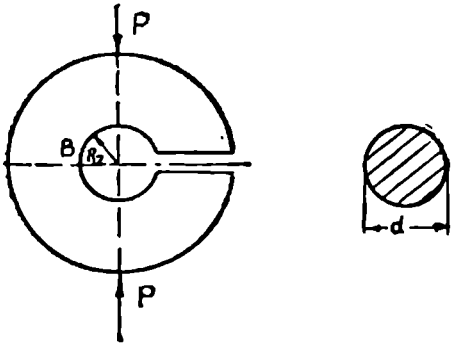
პასუხი: $\sigma_A=+391$ კგ/სმ^2,

$\sigma_B=-983$ კგ/სმ^2.

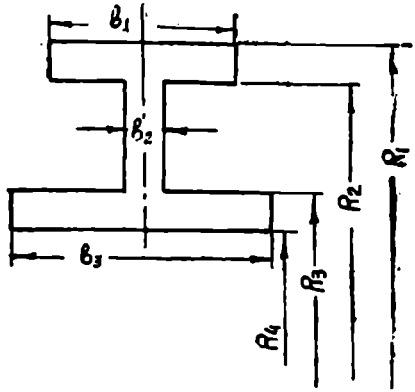
14.7. მოცემულია სამი სწორკუთხედისაგან შედგენილი განივკვეთის მრუდე ძელი (იხ. ნახაზი). გასაგებია მრუდე ძელის ნეიტრალური შრის სიმრუდის რადიუსის სიდიდის განმსაზღვრელი ფორმულა.

პასუხი:

$$r=\frac{F_1+F_2+F_3}{b_1\ln\frac{R_1}{R_2}+b_2\ln\frac{R_2}{R_3}+b_3\ln\frac{R_3}{R_3}}.$$



14.6 ამოცანისათვის.



14.7 ამოცანისათვის.

14.8. განესაზღვროთ წრიული განივკვეთის რგოლის AB კვეთის გაწაპირა ბოჭკოებში ძაბვები, როცა რგოლზე მოქმედებს ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო $P=5$ ტ გამჭიმავი ძალა (იხ. ნახაზი).

რგოლის ზომები ნაჩვენებია ნახაზზე.

მითითება: მღუნავი მომენტი AB კვეთში გამოითვლება ფორმულით

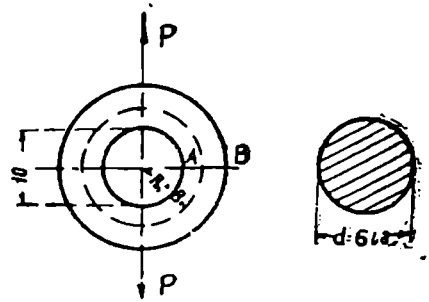
$$M=0{,}182PR_0,$$

სადაც R_0 არის რგოლის გეომეტრიული ღერძის სიმრუდის რადიუსი.

პასუხი:

$\sigma_A=+552$ კგ/სმ²,

$\sigma_B=-169$ კგ/სმ².



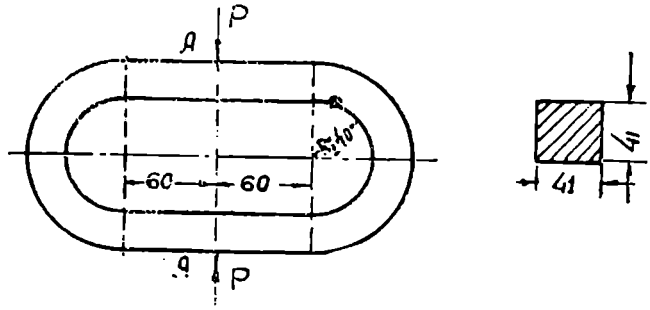
14.8 ამოცანისათვის.

14.9. კვადრატული განივკვეთის დინამომეტრის რგოლზე მოქმედებს მკუმშავი ძალა $P=2$ ტ (იხ. ნახაზი). განესაზღვროთ რგოლში უდიდესი

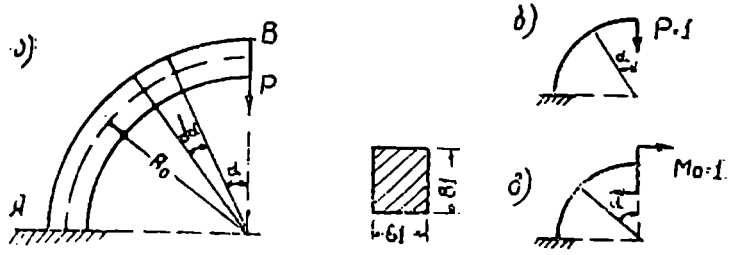
ძაბვა და ძალების მოდების წერტილების ურთიერთმიახლოება, თუ რგოლის მასალის დრეკადობის მოდული

$$E=2{,}2\cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

პასუხი: $\sigma_{max}=673$ კგ/სმ²
$\delta_A=2{,}23$ მმ.



14.9 ამოცანისათვის.



14.10 ამოცანისათვის.

14.10. მგოთხედი წრეხაზის მოხაზულობის ფოლადის მრუდე ძელი, რომელსაც აქვს სწორკუთხოვანი განივკვეთი ზომებით $b=6$ სმ და $h=8$ სმ იღუნება $P=0{,}8$ ტ ძალით (იხ. ნახაზი).

გაანგარიშოთ ძელის B ბოლოს ვერტიკალური გადაადგილება და მობრუნების კუთხე, თუ ძელის ცენტრალური ღერძის სიმრუდის რადიუსი $R_0=1{,}6$ მ და დრეკადობის მოდული $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ².

ა მ ო ხ ს ნ ა: მრუდე ძელის დეფორმაციების გასაგებად გამოვიყენოთ მორის ფორმულა:

$$\delta=\frac{1}{EJ}\int_S M(\varphi)M^\circ dS+\frac{4}{EF}\int_S N(\varphi)N^\circ dS.$$

პირველად განესაზღვროთ B წერტილის ვერტიკალური გადაადგილება f_B

$$_B=\frac{1}{FJ}\int_s M(\varphi)M^\circ dS+\frac{1}{EF}\int_s N(\varphi)N^\circ dS,$$

სადაც

$$M(\varphi)=+PR_0\sin\varphi;\quad M^\circ=+R_0\sin\varphi;\ \text{(იხ. ნახ 2)}$$

$$N(\varphi)=-P\sin\varphi;\qquad N^\circ=-\sin\varphi;\quad dS=R_0d\varphi.$$

ამრიგად

$$f_B=\frac{1}{EJ}\int_0^{\frac{\pi}{2}} PR_0^3\sin^2\varphi d\varphi+\frac{1}{EF}\int_0^{\frac{\pi}{2}} P\sin^2\varphi R_0d\varphi=$$

$$=\left[\frac{PR_0^3}{EJ}+\frac{PR_0}{EF}\right]\int_0^{\frac{\pi}{2}}\sin^2\varphi d\varphi=\left[\frac{PR_0^3}{EJ}+\frac{PR_0}{EF}\right]\frac{\pi}{4},$$

სადაც

$$F=b\cdot h=6\times 8=48\ \text{სმ}^2;$$

$$J=\frac{bh^3}{12}=\frac{6\cdot 8^3}{12}=256\ \text{სმ}^4.$$

f_B-ს გამოსახულებაში შევიტანოთ რიცხვითი მნიშვნელობები

$$f_B=\frac{P\cdot R_0\cdot\pi}{4\cdot E}\left(\frac{R_0^2}{J}+\frac{1}{F}\right)=\frac{800\cdot 160\cdot 3{,}14}{4\cdot 2\cdot 10^6}\left(\frac{160^2}{256}+\frac{1}{48}\right)=5{,}03\ \text{სმ}.$$

ახლა გავიგოთ B კვეთის მობრუნების კუთხე Θ_B,

$$\Theta_B=\frac{1}{EJ}\int_s M(\varphi)M^\circ dS+\frac{1}{EF}\int_s N(\varphi)N^\circ dS,$$

სადაც—ნახაზ (გ)-ზე ნაჩვენები მრუდე ძელის დატვირთვის სქემის თანახმად

$$M^\circ=+1,\ N^\circ=0.$$

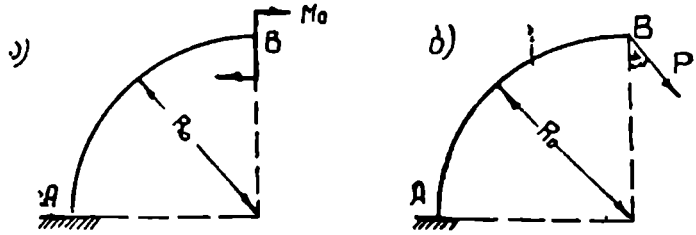
ამგვარად

$$\Theta_B=\frac{1}{EJ}\int_s^{\frac{\pi}{2}} PR_0^2\sin\varphi d\varphi=\frac{PR_0^2}{EJ}\int_s^{\frac{\pi}{2}}\sin\varphi d\varphi=\frac{PR_0^2}{EJ}$$

შევიტანოთ რიცხვითი მნიშვნელობები:

$$\Theta_B = \frac{800 \cdot 160^2}{2 \cdot 10^6 \cdot 256} = 0{,}04 \text{ რადიანი ან } \Theta_B = 2°17'30''.$$

14.11. წრიული მოხაზულობის, მუდმივგანივკვეთიანი მრუდე ძელის თვითეული დატვირთვის სქემისათვის (იხ. ნახაზი) განვსაზღვროთ ძელის



14.11 ამოცანისათვის.

თავისუფალი B ბოლოს მობრუნების კუთხე Θ_B, ვერტიკალური გადაადგილება f_y და ჰორიზონტალური გადაადგილება f_x.

პასუხი:

ა) $$\Theta_B = \frac{\pi M_0 R_0}{2EJ}; \quad f_y = -\frac{M_0 R_0^2}{EJ}; \quad f_x = 0{,}571 \frac{M_0 R_0^2}{EJ},$$

ბ) $$\Theta_B = \frac{PR_0^2}{EJ}(\cos\alpha + 0{,}571 \sin\alpha),$$

$$f_y = \frac{PR_0^3}{2EJ}\left(\frac{\pi}{2}\cos\alpha + \sin\alpha\right) + \frac{PR_0}{2EF}\left(\frac{\pi}{2}\cos\alpha - \sin\alpha\right),$$

$$f_x = \frac{PR_0^3}{EJ}\left((0{,}5\cos\alpha + 0{,}356\sin\alpha\right) + \frac{PR_0}{2EF}\left(\frac{\pi}{2}\sin\alpha - \cos\alpha\right).$$

14.12. სწორკუთხოვანი განივკვეთის გაპრილ რგოლზე ვერტიკალური დიამეტრის გასწვრივ მოქმედებს გამჭიმავი ძალა (იხ. ნახაზი), რომელიც საშიშ კვეთში აღძრავს 1600 კგ/სმ² ძაბვას.

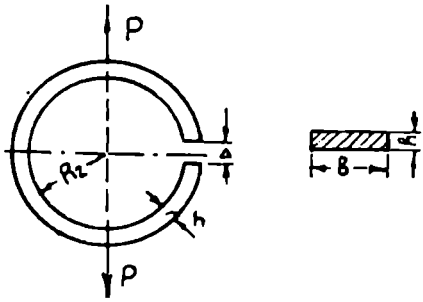
რა სიდიდით დაცილდებიან რგოლის ბოლოები ერთმანეთს, თუ რგოლის კვეთის ზომებია $b=6$ სმ, $h=2$ სმ, შიგა რადიუსი $R_1=20$ სმ და დრეკადობის მოდული $E=2 \cdot 10^6$ კგ/სმ².

პასუხი: $P=300$ კგ; $\Delta=1{,}24$ სმ.

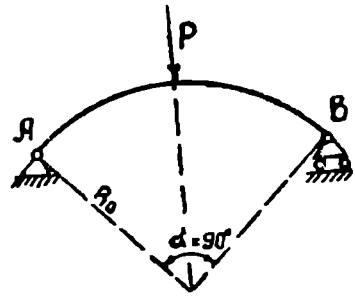
14.18. წრიული რკალით მოხაზული მუდმივგანივკვეთიანი მრუდე ძელი A და B ბოლოებით ეყრდნობა უძრავ და მოძრავ სახსროვან

საყრდენებს (იხ. ნახაზი). რა მანძილით დაშორდებიან საყრდენები ერთმანეთს, თუ მრუდე ძელზე მალის შუაში მოქმედებს ვერტიკალური P ძალა.

პასუხი: $\Delta = 0{,}065\frac{PR_0^3}{EJ}$.



14.12 ამოცანისათვის.



14.13 ამოცანისათვის.

14.14. ნახაზზე ნაჩვენები მუდმივი განივკვეთის მრუდე ძელისათვის განსაზღვროთ B საყრდენში რეაქციის სიდიდე და ავაგოთ მღუნავი მომენტის და ნორმალური ძალის ეპიურები მათი მაქსიმალური მნიშვნელობების გამოთვლით.

ამოხსნა: B საყრდენში რეაქცია განვსაზღვროთ დეფორმაციათა შედარების ხერხით. მრუდე ძელის B ბოლოს ვერტიკალური გადაადგილება P ძალით f_p და უცნობი B ძალით f_B-ს ალგებრული ჯამი უნდა უდრიდეს ნულს.

$$f_p + f_B = 0$$

ნორმალური ძალით გამოწვეულ დეფორმაციას თუ არ მივიღებთ მხედველობაში, როგორც მცირე სიდიდეს მომენტით გამოწვეულ დეფორმაციასთან შედარებით და ქვევით ჩაღუნვას მივიღებთ დადებითად, ხოლო B რეაქციას მივმართავთ ქვეშიდან ზევით, მაშინ გვექნება

$$f_p = \frac{PR^3}{2EJ} \text{ და } f_B = -\frac{BR^3}{EJ}\frac{\pi}{4}$$

ამრიგად

$$\frac{PR^3}{2EJ} = \frac{BR^3}{FJ}\frac{\pi}{4}, \quad \text{აქედან} \quad B = \frac{2P}{\pi}.$$

ახლა შეგვიძლია შევადგინოთ ნებისმიერ mn კვეთში მღუნავი მომენტის და ნორმალური ძალის განტოლება

$$M(\varphi)=P\cdot(R-R\cos\varphi)-BR\sin\varphi=PR(1-\cos\varphi)-\frac{2PR}{\pi}\sin\varphi$$

$$N(\varphi)=P\cos\varphi+B\sin\varphi=P\cos\varphi+\frac{2P}{\pi}\sin\varphi\,.$$

ამ ფუნქციათა შესაბამისი ეპიურები ნაჩვენებია ნახაზზე.

ახლა განვსაზღვროთ მრუდე ძელის მალში მომენტის და ნორმალური ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობები

$$\frac{dM(\varphi)}{d\varphi}=0;\quad \sin\varphi-\frac{2}{\pi}\cos\varphi=0;\quad \operatorname{tg}\varphi=\frac{2}{\pi}=0{,}637;$$

$$\varphi=\operatorname{arc\,tg}0{,}637=32^\circ\,30'$$

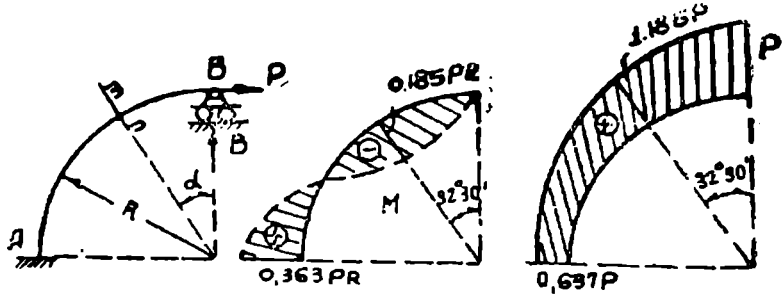
$$M_{max}=PR(1-\cos 32^\circ 30')-\frac{2PR}{\pi}\sin 32^\circ\,30';$$

$$M_{max}=-0{,}185PR,$$

ნორმალური ძალაც მაქსიმუმს აღწევს იგივე კვეთში, ე. ი. როცა $\varphi=32^\circ 30'$

$$N_{max}=P\cos 30^\circ 30'+\frac{2P}{\pi}\sin 32^\circ 30',$$

$$N_{max}=1{,}185P.$$



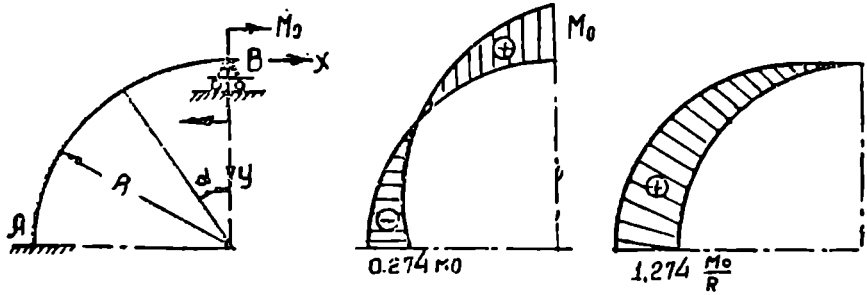
14.14 ამოცანისათვის.

14.15. მრუდე ძელი წარმოადგენს ნახევარწრეს, რომელსაც აქვს მუდმივი განივკვეთი და ბოლოებით დაყრდნობილია უძრავ სახსროვან საყრდენებზე. მრუდე ძელის შუაში მოქმედებს ზევიდან ქვევით მიმართული შეყურსული ძალა P.

განვსაზღვროთ რეაქციის ჰორიზონტალური მდგენელი H და მღუნავი მომენტის და ნორმალური ძალის აბსოლუტურად უდიდესი მნიშვნელობები.

პასუხი: $H=\frac{P}{\pi}$, $M_{max}=-0{,}181\ PR$, $N_{max}=-0{,}593P$.

14.16. ნახაზზე ნაჩვენებ მუდმივგანივკვეთიან მრუდე ძელის B ბოლოზე მოქმედებს M_0 წყვილი ძალა. საჭიროა განისაზღვროს B საყრდენის რეაქცია, აიგოს მღუნავი მომენტის და ნორმალური ძალის ეპიურები და გამოთვლილ იქნეს B წერტილის ჰორიზონტალური გადაადგილება.



14.16 ამოცანისათვის.

მითითება: რეაქციის გამოთვლის დროს და გადაადგილების განსაზღვრისას ნორმალური ძალის გავლენას მხედველობაში არ ვღებულობთ.

პასუხი:

$$B=\frac{4}{\pi}\ \frac{M_0}{R},\qquad M(\varphi)=M_0\left(1-\frac{4}{\pi}\sin\varphi\right),$$

$$N(\varphi)=\frac{4}{\pi}\ \frac{M_0}{R}\sin\varphi,$$

$$\Delta_x=-0{,}066\,\frac{M_0R^2}{EJ}.$$

§ 38. ხქელკედლიანი ცურაველი

14.17. დაბურულბოლოებიანი ფოლადის ღრუ ცილინდრში შიგა წნევა $P_3=320$ ატმოსფეროს.

განესაზღვროთ კედლის სისქე სიმტკიცის მეოთხე თეორიის საფუძველზე, თუ ღრუ ცილინდრის შიგა რადიუსი $r_3=16$ სმ და დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1600$ კგ/სმ².

ამოხსნა: ცილინდრის კედლიდან ამოკვეთილი ცირე ელემენტი (იხ. ნახაზი) იმყოფება მოცულობით დაძაბულ მდგომარეობაში, სადაც:

$$\sigma_r = \frac{P_2 r_2^2}{r_1^2 - r_2^2}\left(1 - \frac{r_1^2}{r^2}\right), \qquad \sigma_t = \frac{P_2 r_2^2}{r_1^2 - r_2^2}\left(1 + \frac{r_1^2}{r^2}\right)$$

და

$$\sigma_z = \frac{P_2 r_2^2}{r_1^2 - r_2^2} = \text{const};$$

როგორც ამ ფორმულიდან ჩანს უდიდესი ძაბვები აღიძვრება ცილინდრის შიგა ზედაპირზე, ე. ი. როცა $r = r_2$-ს. ამგვარად, საშიშ წერტილში ძაბვები იქნება:

$$\sigma_1 = \sigma_t = P_2 \frac{r_1^2 + r_2^2}{r_1^2 - r_2^2},$$

$$\sigma_2 = \sigma_z = P_2 \frac{r_2^2}{r_1^2 - r_2^2},$$

$$\sigma_3 = \sigma_r = -P_2.$$

მთავარი ძაბვების მნიშვნელობა შევიტანოთ სიმტკიცის მეოთხე თეორიაში

$$\sigma_{\text{სად}} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]} \leq [\sigma]$$

მივიღებთ:

$$\sigma_{\text{სად}} = \frac{P_2}{r_1^2 - r_2^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{2}[(r_1^2 + r_2^2 - r_2^2)_2 + (r_1^2 + r_2^2 + r_1^2 - r_2^2)^2 + (r_2^2 + r_1^2 - r_2^2)^2]} = [\sigma],$$

აქედან

$$\frac{P_2 r_1^2}{r_1^2 - r_2^2}\sqrt{3} = [\sigma].$$

თუ საბოლოოდ მიღებულ განტოლებას ამოვხსნით r_1-ის მიმართ, მივიღებთ:

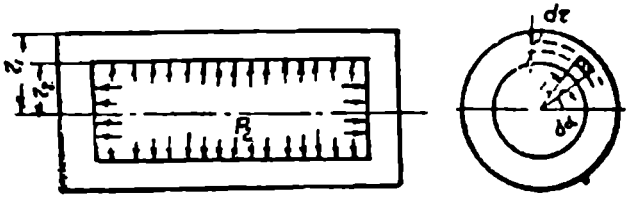
$$r_1 = r_2\sqrt{\frac{[\sigma]}{[\sigma] - 1{,}73P_2}},$$

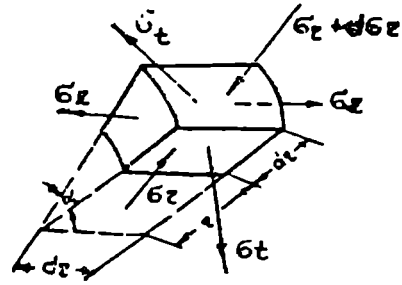
შევიტანოთ რიცხვითი მნიშვნელობები

$$r_1 = 16\sqrt{\frac{1600}{1600 - 1{,}73 \cdot 320}} = 19{,}75 \text{ სმ} \approx 20 \text{სმ}.$$

კედლის სისქე ტოლია $r_1 - r_2 = 20 - 16 = 4$ სმ.

14.18. გრძელი ბეტონის მილის შიგა დიამეტრი უდრის 80 სმ და მის გარე ზედაპირზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული წნევა $P_1 = 5$ კგ/სმ². განვსაზღვროთ მილის კედლის საჭირო სისქე δ სიმტკიცის პირველი და მეორე თეორიის მიხედვით.





14.17 ამოცანისათვის.

მივიღოთ ბეტონზე დასაშვები ძაბვა კუმშვაზე $[\sigma] = 20$ კგ/სმ² და განივი დეფორმაციის კოეფიციენტი $\mu = 0{,}16$.

მ ი თ ი თ ე ბ ა: რადგანაც მოცემულია გრძელი მილი, ამიტომ მისი ბოლოებიდან დაშორებულ კვეთში მილის ღერძის გასწვრივ დეფორმაცია (ε_z) შეიძლება მილებულ იქნეს ნულის ტოლად, ე. ი.

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}[\sigma_z - \mu(\sigma_r + \sigma_t)] = 0,$$

აქედან

$$\sigma_z = \mu(\sigma_r + \sigma_t)$$

პ ა ს უ ხ ი: I თეორიიდან $\delta = 16{,}5$ სმ;

II თეორიიდან $\delta = 15{,}8$ სმ.

14.19. დახურულბოლოებიანი ფოლადის ღრუ ცილინდრის შიგა დიამეტრია 20 სმ, კედლის სისქე 4 სმ. ცილინდრის გარე ზედაპირზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული $P_1 = 120$ კგ/სმ² წნევა და შიგა ზედაპირზე $P_2 = 400$ კგ/სმ² წნევა.

განვსაზღვროთ ცილინდრის მასალის უდიდესი საანგარიშო ძაბვა სიმტკიცის პირველი და მეოთხე თეორიით, მიღებულია, რომ ცილინდრის ღერძის გასწვრივ ნორმალური ძაბვა განაწილებულია თანაბრად.

პასუხი: I თეორიით $\sigma_{საან} = 743$ კგ/სმ²;

IV თეორიით $\sigma_{საან} = 900$ კგ/სმ².

14.20. ფოლადის ცილინდრის შიგა დიამეტრი უდრის 30 სმ, გარე დიამეტრი 50 სმ; ცილინდრი მუშაობს $P_2 = 1200$ ატმოსფერო შიგა წნევის და $P_1 = 200$ ატმოსფერო გარე წნევის ქვეშ.

განვსაზღვროთ უდიდესი გამჭიმავი ძაბვები ცილინდრის შიგა ზედაპირზე, გარე ზედაპირზე და კედლის სისქის შუაში.

პასუხი: 1925 კგ/სმ²; 825 კგ/სმ²; 1241,4 კგ/სმ².

14.21. თანატოლი კედლის სისქის ფოლადის ორი მილი გაყრილია ერთმანეთში გარეთა მილის გაცხელების შემდეგ. აღნიშნული წესით შედგენილი ღრუ ცილინდრის შიგა დიამეტრი უდრის 16 სმ, გარე დიამეტრი 36 სმ. ნორმალური ტემპერატურის დროს შიგა მილის გარე დიამეტრი 0,28 მმ მეტია გარე მილის შიგა დიამეტრზე.

განვსაზღვროთ რა სიდიდის ძაბვები აღიძვრება შედგენილკედლიან ცილინდრის შიგა და გარე ზედაპირზე გარეთა მილის გაცივების შემდეგ, თუ $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ².

მითითება: მილების შეხების ზედაპირზე აღძრული წნევა q გარე მილის გაცივების შემდეგ იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$q = \frac{\delta}{r} \cdot E \cdot \frac{(r^2 - r_2^2)(r_1^2 - r^2)}{2r^2(r_1^2 - r_2^2)},$$

სადაც r_1 არის ღრუ ცილინდრის გარე რადიუსი,

r_2 — „ „ „ შიგა რადიუსი,

r — მილების შეხების ზედაპირის რადიუსი,

δ — შიგა მილის გარე რადიუსის და გარეთა მილის შიგა რადიუსის სხვაობა.

პასუხი: — 1288 კგ/სმ²; + 872 კგ/სმ².

14.22. ფოლადის სფერულ ღრუ ჭურჭელში, შიგა დიამეტრით 80 სმ, მოთავსებულია შეკუმშული გაზი, რომელიც სფეროს შიგა ზედაპირზე იწვევს 600 ატმ. წნევას.

განვსაზღვროთ სფერული ჭურჭლის კედლის საჭირო სისქე სიმტკიცის პირობიდან, სიმტკიცის მეოთხე თეორიის მიხედვით, თუ დასაშვები ძაბვა სფეროს მასალისათვის $[\sigma] = 2000$ კგ/სმ².

პასუხი: 88 მმ.

თავი მეთხუთმეტე

მდგრადობაზე გაანგარიშების მარტივი შემთხვევები

მოკლე ცნობები თეორიიდან

კრიტიკულ ძალას ვუწოდებთ იმ ძალას, რომელიც ძელს შეაკავებს ოდნავ გაღუნულ მდგომარეობაში, P_k, განსაზღვრავენ ეილერის ფორმულით, იმ შემთხვევაში, თუ შესაბამისი კრიტიკული ძაბვა σ_k არ აღემატება ძაბვას პროპორციულობის საზღვარზე.

ეილერის ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$P_k = \frac{\pi^2 E J_{min}}{(\mu l)^2},$$

და

$$\sigma_k = \frac{P_k}{F_{ბრ}},$$

სადაც J_{min} არის მინიმალური ინერციის მომენტი;

μ—სიგრძის კოეფიციენტი და იცვლება შემდეგნაირად:

ა) თუ ორივე ბოლო სახსრულად არის ჩამაგრებული $\mu = 1$,

ბ) თუ ორივე ბოლო ხისტად არის ჩამაგრებული $\mu = 0{,}5$,

გ) თუ ერთი ბოლო ხისტად და მეორე სახსრულად არის ჩამაგრებული $\mu = 0{,}7$,

დ) ხოლო თუ ერთი ბოლო ხისტად, ხოლო მეორე თავისუფლად $\mu = 2$.

თუ შეკუმშულ ღეროში კრიტიკული ძაბვა σ_k აღემატება ძაბვას პროპორციულობის საზღვარზე, ეილერის ფორმულით სარგებლობა აღარ შეიძლება. ასეთი შემთხვევებისათვის პროფ. იასინსკიმ მოგვცა ემპირიული ფორმულა, რომელიც გვაძლევს კრიტიკული ძაბვის მნიშვნელობას.

პროფ. იასინსკის ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$\sigma_k = a - b\lambda,$$

სადაც a და b დამოკიდებულია მასალაზე და დადგენილია ცდების საშუალებით, ხოლო λ წარმოადგენს შეკუმშული ძელის მოქნილობის მაჩვენებელს

$$\lambda = \frac{\mu l}{i} \quad \text{სადაც} \quad i = \sqrt{\frac{J_{min}}{F}}$$

დასაშვები ძაბვის სიდიდეს მდგრადობაზე მივიღებთ, თუ კრიტიკულს გავყოფთ მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტზე

$$[\sigma]_{\text{ც}} = \frac{\sigma_{\text{კ}}}{K_{\text{მდგრ.}}}.$$

იმ შემთხვევაში, თუ იასინსკის ფორმულით გამოთვლილი კრიტიკული ძაბვა $\sigma_{\text{კ}}$, მეტი მივიღეთ დენადობის ზღვარზე, კრიტიკულ ძაბვად მივიღებთ დენადობის ზღვარს $\sigma_{\text{ტ}}$.

შეკუმშულ ღეროებს ანგარიშობენ სამშენებლო გეგმარებში მოცემული ნორმების მიხედვით. დასაშვებ ძაბვას მდგრადობაზე $[\sigma]_{\text{მდ}}$ განსაზღვრავენ ფორმულით

$$[\sigma]_{\text{მდ}} = \varphi\,[\sigma],$$

სადაც φ-ს ეწოდება ძირითადი ძაბვის შემცირების კოეფიციენტი. φ მოცემულია ცხრილებში მოქნილობის მაჩვენებლის მიხედვით

$$\varphi = f(\lambda).$$

აქ გვხვდება ორი სახის ამოცანა.

ა) როდესაც მოცემულია კვეთის ფორმა და ზომები და მოსაძებნია დასაშვები ძალა;

ბ) როდესაც მოცემულია დასაშვები ძალა და კვეთის ფორმა, მოსაძებნია კვეთის ზომები.

პირველ შემთხვევაში ამოცანის გადაწყვეტა არ არის რთული, სახელდობრ: მოცემული კვეთის მიხედვით გამოვთვლით მოქნილობის მახასიათებელს λ, შემდეგ ცხრილის მიხედვით განვსაზღვრავთ φ-ს. φ-ს მოძებნის შემდეგ მოვძებნით დასაშვებ ძაბვას და დასაშვებ ძალასაც მდგრადობაზე.

იმ შემთხვევაში, როდესაც შესარჩევია კვეთის ზომები ამოცანის გადაწყვეტა გართულებულია იმით, რომ დასაშვები ძაბვის მოსაძებნად მდგრადობისას საჭიროა განვსაზღვროთ φ · φ-ს კი წინასწარ ცხრილის მიხედვით ვერ განვსაზღვრავთ, იმიტომ, რომ მოქნილობის მახასიათებელი არ ვიცით (λ-ს ვერ მოვძებნით, რადგანაც წინასწარ არ ვიცით კვეთის ზომები).

ამიტომ ამოცანის გადაწყვეტას ვაბდენთ თანდათანობით მიახლოების წესით, რაც ნიშნავს შემდეგს.

დავნიშნავთ წინასწარ კვეთს, გამოვთვლით λ-ს და ვიპოვით ცხრილში φ-ს, რის შემდეგ მოვძებნით $[\sigma]_{\text{ც}}$.

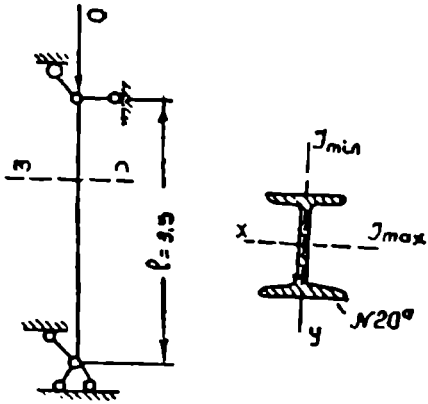
$$[\sigma]_{\text{ც}} = \varphi\,[\sigma];$$

თუ $[\sigma]_{\text{მდ}}$ და ძაბვა, რომელსაც იწვევს კვეთში მოქმედი ძალა $\sigma = \frac{P}{F}$

ახლოს არიან ერთმანეთთან ამოცანა გადაწყვეტილია, თუ არა კვეთის ზომებს ვადიდებთ ან ვამცირებთ შესაბამისად.

§ 39. მდგრადობაზე გაანგარიშება ეილერის ფორმულის გამოყენებით

15.1. ფოლადის ორტესებრი განივკვეთის ფორმის სვეტზე, რომლის სიმაღლეა $l=3{,}5$მ და ნომერი N 20ª მოქმედებს ცენტრალური შემკუმშავი ძალა P.



15.1 ამოცანისათვის

განვსაზღვროთ P-ძალის ის მნიშვნელობა, რომელიც სვეტს ოდნავ გაღუნულ მდგომარეობაში შეაკავებს (P_k), თუ სვეტის ორივე ბოლო ჩამაგრებულია სახსრულად. ფოლადის პროპორციულობის ზღვარი $\sigma_{პრ}=2\,200$ კგ/სმ² და დრეკადობის მოდული

$$E=1{,}9\cdot 10_6 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ამოხსნა: დავრწმუნდეთ შეიძლება თუ არა ეილერის ფორმულით სარგებლობა. კრიტიკული ძალის განსაზღვრა შეიძლება ეილერის ფორმულით, თუ $\lambda \geqslant \lambda_0$, სადაც

$$\lambda_0 \geqslant \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{პრ}}} = \sqrt{\frac{3{,}14^2\cdot 1{,}9\cdot 10_6}{2200}} = 92$$

ვიანგარიშოთ მოცემული სვეტის მოქნილობა

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{min}}$$

ჩვენი შემთხვევისათვის $\mu=1$, $l=3{,}5$ მ.
ინერციის რადიუსი

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{F}} = \sqrt{\frac{158}{35{,}5}} = 2{,}11 \text{ სმ.}$$

თუ შევიტანთ μ, l და i-ს მნიშვნელობებს გვექნება

$$\lambda = \frac{1\cdot 350}{2{,}11} = 166,$$

რადგანაც $\lambda \geqslant \lambda_0$ ჩვენ შეიძლება ვისარგებლოთ ეილერის ფორმულით, საიდანაც განვსაზღვრავთ კრიტიკულ ძალას

$$P_k=\frac{\pi^2 EJ_{min}}{(\mu l)^2}=\frac{3{,}14^2\cdot 1{,}9\cdot 10^6\cdot 158}{(1\times 350)^2}=24\,000\ \text{კგ}=24\ \text{ტ}.$$

15.2. განვსაზღვროთ მოქნილობის ზღვარი, რომლის ზევით შეიძლება სხვადასხვა მასალისათვის ეილერის ფორმულით სარგებლობა, თუ ცნობილია პროპორციულობის ზღვარი $\sigma_{პრ}$ და დრეკადობის მოდული (E):

1. ნიკელოვანი ფოლადი . $\sigma_{პრ}=4\,900$ კგ/სმ^2—$E=2{,}15\cdot 10^6$ კგ/სმ^2
2. დურალუმინი $\sigma_{პრ}=1\,770$ კგ/სმ^2—$E=0{,}7\cdot 10^6$ კგ/სმ^2
3. თითბერი . $\sigma_{პრ}=910$ კგ/სმ^2—$E=1.1\cdot 10^6$ კგ/სმ^2
4. ფიქვი . . $\sigma_{პრ}=200$ კგ/სმ^2—$E=1{,}1\cdot 10^6$ კგ/სმ^2

პასუხი: ეილერის ფორმულით სარგებლობა შეიძლება თუ λ—მეტია,

ნიკელოვანი ფოლადისათვის . $\lambda\geqslant 65{,}8$
დურალიუმინისათვის $\lambda\geqslant 62.5$
თითბერისათვის . . $\lambda\geqslant 109$
ფიქვისათვის . . . . . $\lambda\geqslant 73{,}7$

15.3. განვსაზღვროთ წრიული განივკვეთის ფიქვის ხის სვეტისათვის კრიტიკული ძალა P_k, რომლის დიამეტრი $d=20$ სმ და სიმაღლე $l=10$ მ, თუ დრეკადობის მოდული $E=1\cdot 10^5$ კგ/სმ^2 და ჩაბაგრების პირობები შემდეგია:

1. ორივე ბოლო სახსრულად არის ჩამაგრებული,
2. ერთი ბოლო ხისტად არის, მეორე თავისუფალია,
3. ერთი ბოლო ხისტად არის, მეორე ბოლო სახსრულად,
4. ორივე ბოლო ხისტად არის ჩამაგრებული.

პასუხი: 1. $P_k=7\,750$ კგ,
2. $P_k=1\,940$ კგ,
3. $P_k=15\,800$ კგ,
4. $P_k=31\,000$ კგ.

15.4. ფოლადის სვეტი, რომლის განივკვეთის ფართობი $F=42$ სმ^2 და სიმაღლე უდრის 4 მეტრს იკუმშება ცენტრალური ძალით P-თი. სვეტის ორივე ბოლო ჩამაგრებულია სახსრულად, დრეკადობის მოდული $E=2\cdot 10^6$ და პროპორციულობის ზღვარი $\sigma_{პრ}=2\,200$ კგ/სმ^2.

განვსაზღვროთ სვეტისათვის კრიტიკული ძალა თუ განივკვეთის ფართობი რჩება მუდმივი, ხოლო მისი ფორმა იღებს შემდეგ სახეს:

1. ორტესებრს,
2. წრიულს,
3. სწორკუთხოვანს, გვერდების ფარდობით $\frac{h}{b}=2$ და
4. მილისებრს, დიამეტრების ფარდობით $\frac{d}{D}=0{,}8$.

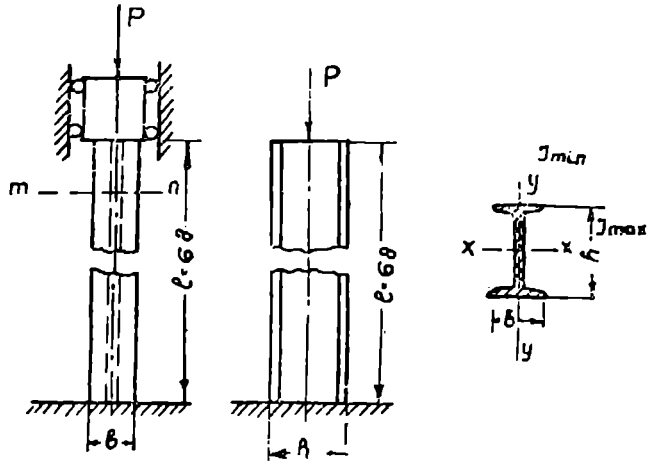
პასუხი: 1) $P_{kp}=27{,}7$ ტ, 3) $P_k=8{,}9$ ტ,
2) $P_{kp}=17{,}2$ ტ, 4) $P_k=79$ ტ.

15.5. ორტესებრი განივკვეთის ფორმის სვეტზე, რომლის სიმაღლე $l=6$ მ, დრეკადობის მოდული $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ², პროპორციულობის ზღვარი $\sigma_{პრ}=2\,000$ კგ/სმ², განივკვეთის ფართობი $F=61{,}2$ სმ², ინერციის მაქსიმალური და მინიმალური მომენტები

$$J_{max}=8\,950 \text{ სმ}^4 \qquad J_{min}=400 \text{ სმ}^4$$

მოქმედებს ცენტრალური შემკუმშავი ძალა P, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები.

განვსაზღვროთ კრიტიკული ძალა და ძაბვა, თუ მინიმალური სიხის-



15.5 ამოცანისათვის.

ტის სიბრტყეში $(X-X)$ სვეტი ორივე ბოლოთი ხისტადაა ჩამაგრებული, ხოლო მართობულ სიბრტყეში ერთი ბოლო ხისტადაა ჩამაგრებული და მეორე თავისუფალია.

მ ი თ ი თ ე ბ ა. მინიმალური სიხისტის სიბრტყეში კრიტიკულ ძალას ვიანგარიშებთ ფორმულით:

$$P_k=\frac{\pi^2 EJ_{min}}{(\mu l)^2},$$

სადაც

$$\mu=0{,}5.$$

მაქსიმალური სიხისტის სიბრტყეში კრიტიკულ ძალას ვიანგარიშებთ

$$P_k=\frac{\pi^2 EJ_{max}}{(\mu l)^2},$$

სადაც

$$\mu=2.$$

პასუხი: კრიტიკული ძალა და ძაბვა აღიძვრება მინიმალური სიხისტის სიბრტყეში

$$P_k = 87{,}5 \text{ ტ}, \qquad \sigma_{kp} = 1\,430 \text{ კგ/სმ}^2.$$

15.6. სწორკუთხოვანი განივკვეთის ფოლადის სვეტი, რომლის სიმაღლეა 5 მეტრი, ორივე ბოლოთი დამაგრებულია სახსრულად და იკუმშება ცენტრალური შემკუმშავი ძალით $P = 10$ ტ.

დავნიშნოთ სვეტის განივკვეთის მტკიცე ზომები, თუ განივკვეთის გვერდების ფარდობა $\frac{h}{b} = 2$, მარაგის კოეფიციენტი მდგრადობაზე $K_{მდ} = 2{,}5$ და დრეკადობის მოდული $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ².

ამოხსნა:

$$P \leqslant \frac{P_k}{K_{მდ}} = \frac{\pi^2 E J_{min}}{K_{მდ}(\mu l)^2},$$

საიდანაც

$$J_{min} \geqslant \frac{P \cdot K_{მდ} (\mu l)^2}{\pi^2 E} = \frac{10\,000 \cdot 2{,}5 \cdot (1 \cdot 500)^2}{3{,}14^2 \cdot 2 \cdot 10^6} = 317 \text{ სმ}^4$$

$$J_{min} = \frac{hb^3}{12} = \frac{2 \cdot b \cdot b^3}{12} = \frac{b^4}{6}$$

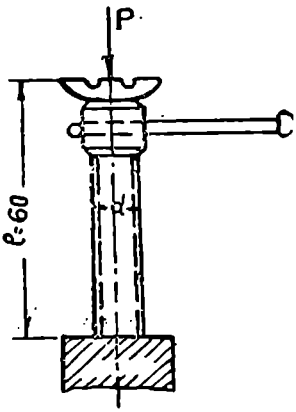
აქედან

$$b = \sqrt[4]{6 \cdot J_{min}} = \sqrt[4]{6 \cdot 317} = 6{,}6 \text{ სმ}.$$

ხოლო

$$h = 2b = 2 \cdot 6{,}6 = 13{,}2 \text{ სმ}.$$

15.7. განვსაზღვროთ ამწის საშუალო დიამეტრი d მდგრადობის პირობიდან, თუ მარაგის კოეფიციენტი მდგრადობაზე $K_{მდ} = 3{,}5$, ამწის ტვირთამტანიანობა $P = 8$ ტ, ღეროს სიგრძე $l = 60$ სმ, პროპორციულობის ზღვარი $\sigma_{პრ} = 2\,400$ და დრეკადობის მოდული $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ².



15.7 ამოცანისათვის.

ღეროს გაანგარიშებისას მივიღოთ ერთი ბოლო თავისუფალი, ხოლო მეორე ხისტად ჩამაგრებული.

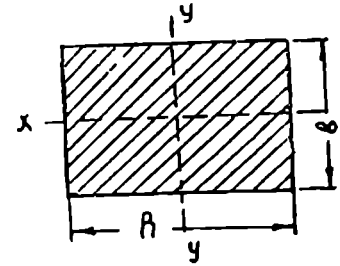
პასუხი: $d = 4{,}52$ სმ.

15.8. შიგაწვის ძრავში მაქსიმალური შემკუმშავი ძალის სიდიდე, რომელსაც დგუში გადასცემს ბარბაცას (აფეთქების მომენტში) ტოლია P_{max}-ის. შევარჩიოთ ბარბაცას სწორკუთხოვანი განივკვეთის გვერდების ფარდო-

ბა $\frac{h}{b}=n$, იმ პირობით, რომ უკანასკნელი თანაბრად მდგრადი იყოს, როგორც მცირე სიხისტის სიბრტყეში, ისე მის მართობულ სიბრტყეში.

ა მ ო ხ ს ნ ა:

თუ მივიღებთ, რომ ბარბაცა თავის მოძრაობის სიბრტყეში $(X—X)$ ორივე ბოლოთი სახსრულად არის ჩამაგრებული, ხოლო მის მართობულ $(Y—Y)$ სიბრტყეში ორივე ბოლოთი—ხისტად, კრიტიკული ძალების სიდიდეს განვსაზღვრავთ შემდეგნაირად.



15.8 ამოცანისათვის.

უმცირესი სიხისტის სიბრტყისათვის

$$P_k=\frac{\pi^2 EJ_{min}}{(\lambda_0 l)^2}=\frac{\pi^2 EJ_{min}}{(0{,}5\,l)^2}$$

უდიდესი სიხისტის სიბრტყისათვის

$$P_k=\frac{\pi^2 EJ_{max}}{(\lambda l)^2}=\frac{\pi^2 EJ_{max}}{(1\cdot l)^2}$$

თუ გავუტოლებთ კრიტიკული ძალების სიდიდეებს ერთმანეთს, მივიღებთ:

$$\frac{J_{max}}{J_{min}}=\frac{1}{0{,}25}=4$$

თუ შევიტანთ J_{max} მნიშვნელობას $J_{max}=\frac{bh^3}{12}$ და J_{min} მნიშვნელობას

$$J_{min}=\frac{hb^3}{12},\ \text{მივიღებთ}\ \frac{h}{b}=2.$$

15.9. შიგაწვის ძრავის დგუში, ბარბაცას გადასცემს აფეთქების მოშენტში ძალას $P=10$ ტ. შევარჩიოთ ბარბაცას განივკვეთი, მდგრადობის პირობიდან, თუ ერთ შემთხვევაში მისი განივკვეთი მილისებრია, დიამეტრის ფარდობით $\frac{d}{D}=0{,}6$, ხოლო მეორე შემთხვევაში სწორკუთხოვანი გეერდების ფარდობით $\frac{h}{b}=2$.

განივკვეთის ფართობების გამოთვლის შემდეგ შევადაროთ ისინი ერთმანეთს და განსხვავება გავიანგარიშოთ პროცენტებში.

ბარბაცას სიგრძე მივიღოთ $l=1$ მ, დრეკადობის მოდული $E=2\cdot 10^6$ კგ/სმ², პროპორციულობის ზღვარი $\sigma_{პ}=5\,400$ კგ/სმ², მარაგის კოეფიციენტი მდგრადობაზე $K_{მდ}=3{,}5$.

მივიღოთ აგრეთვე, რომ ბარბაცა მისი მოძრაობის სიბრტყეში ჩამაგრებულია ორივე ბოლოთი სახსრულად, ხოლო მის მართობულ სიბრტყეში ორივე ბოლო ჩამაგრებულია ხისტად.

პასუხი: $h=4{,}54$ სმ, $D=4{,}52$ სმ,
$b=2{,}27$ სმ, $d=2{,}7$ სმ

განივკვეთის ფართობების განსხვავება პროცენტობით ტოლია 15,2%.

შენიშვნა: განსხვავება განივკვეთის ფართობების პროცენტებში შედარებით მცირეა, ეს იმიტომ მოხდა რომ სწორკუთხოვანი კვეთის გვერდების ფარდობა მივიღეთ ოპტიმალური.

15.10. კედლებში ორივე ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებულია ორტესებრი ფოლადის ღერო № 30ª, სიგრძით $l=4$ მ, 20° ტემპერატურის დროს.

განვსაზღვროთ ის ტემპერატურა, რომლის დროსაც ფოლადის ღერო დაკარგავს მდგრად ფორმას თუ მივიღებთ, რომ კედლები აბსოლუტურად ხისტია. დრეკადობის მოდული ფოლადის ღეროსათვის $E=5{,}10^6$ კგ/სმ², პროპორციულობის ზღვარი $\sigma_{პ}=2\,000$ კგ/სმ² და ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი ფოლადისათვის $\alpha=125\cdot10^{-7}$.

ამოხსნა. განვსაზღვროთ კრიტიკული ძალა აღებული ღეროსათვის

$$P_k=\frac{\pi^2EJ_{min}}{(\mu l)^2}=\frac{3{,}14^2\cdot2\cdot10^6\cdot400}{(0{,}5\cdot400)^2}=197\,000 \text{ კგ}=197 \text{ ტ}.$$

ტემპერატურას, რომლის დროსაც აღიძვრება ღეროში კრიტიკული ძალა განვსაზღვრავთ ფორმულით:

$$P_k=\alpha EF(t_2^\circ-t_1^\circ),$$

საიდანაც

$$t_2-t_1=\frac{F_k}{\alpha EF}=\frac{197\,000}{125\cdot10^{-7}\cdot2\cdot10^6\cdot61{,}2}=129^\circ$$

$$t_2^\circ-t_1^\circ=129^\circ$$

ტემპერატურას, რომლის დროსაც ღერო დაკარგავს მდგრად ფორმას მივიღებთ:

$$t_2=129^\circ+t_1=129^\circ+20^\circ=149^\circ$$

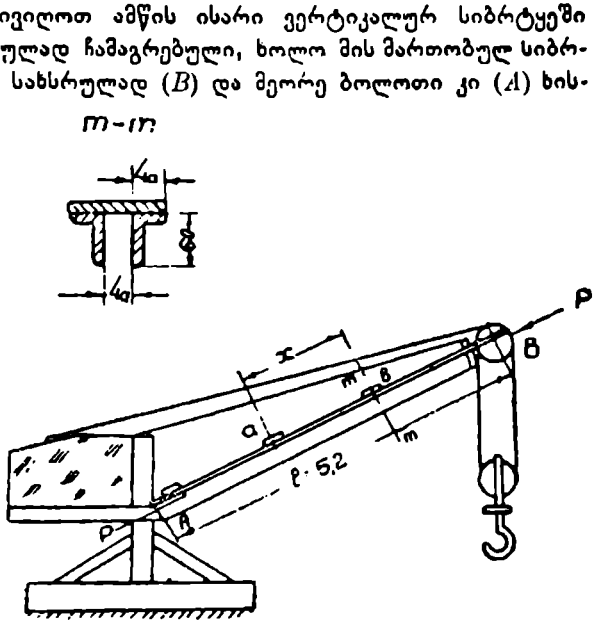
15.11. სამშენებლო გადასატანი ამწის ისრის სიგრძე ტოლია 5,2 მ, განივკვეთის ფართობი შედგება ორი არატოლთაროიანი კუთხურა რკინისაგან, ზომებით $60\times40\times5$, რომლებიც ერთმანეთთან დაცილებული არიან 40 მმ მანძილით.

ნაფენების საშუალებით კუთხურა რკინები ისე არიან დაკავშირებული, რომ შეიძლება მივიღოთ—ამწის ისარი მუშაობს მდგრადობაზე, როგორც მთლიანი კვეთი.

განვსაზღვროთ ნაფენებს შორის მანძილი x იმ პირობიდან, რომ კრიტიკული ძალა ისრისათვის, როგორც ერთიანი კონსტრუქციისათვის

ტოლი იყოს კრიტიკული ძალის, რომელიც მოდის ნაფენებს შორის ორ კუთხურა რკინაზე.

გაანგარიშებისას მივიღოთ ამწის ისარი ვერტიკალურ სიბრტყეში ორივე ბოლოთი სახსრულად ჩამაგრებული, ხოლო მის მართობულ სიბრტყეში ერთი ბოლოთი სახსრულად (B) და მეორე ბოლოთი კი (A) ხისტად ჩამაგრებული. ნაფენებს შორის x მანძილზე კუთხურა რკინები მივიღოთ ორივე ბოლოთი სახსრულად ჩამაგრებული. მასალა არის ფოლადი — 3, დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ².



15.11 ამოცანისათვის.

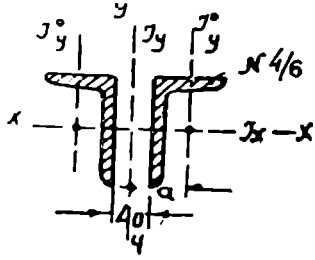
ა მ ო ხ ს ნ ა: განვსაზღვროთ კრიტიკული ძალა P_k — ამწის ისრისათვის, როგორც ერთიანი კონსტრუქციისათვის.

ინერციის მომენტი $x-x$ ღერძის მიმართ ტოლია

$$J_x=2\times17{,}4=34{,}8\ \text{სმ}^4;$$

ინერციის მომენტი $y-y$ ღერძის მიმართ ტოლია

$$J_y=2(J^\circ_y+\alpha^2F)=2(6{,}19+3^2\cdot4{,}83)=99{,}4\ \text{სმ}^4.$$



15.11ა ამოცანისათვის.

თუ შევადარებთ $x-x$ და $y-y$ ღერძების მიმართ ინერციის მომენტებს, დავრწმუნდებით, რომ მინიმალური სიხისტის სიბრტყე დაემთხვევა ვერტიკალურ სიბრტყეს. განვსაზღვროთ მოქნილობა ამ სიბრტყეში.

$$\lambda=\frac{\mu l}{i_{min}}=\frac{\mu l}{\sqrt{\frac{J_{min}}{F}}}=\frac{1\cdot520}{\sqrt{\frac{34{,}8}{9{,}66}}}=273$$

რადგანაც $\lambda > 100$ ვისარგებლოთ ეილერის ფორმულით

$$P_k = \frac{\pi^2 E J_{min}}{(\mu l)^2} = \frac{3{,}14^2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 34{,}8}{(1 \cdot 520)^2} = 2\,540 \text{ კგ.}$$

ვიანგარიშოთ კრიტიკული ძალა მოსული კუთხურა რკინებზე; თუ კუთხურა რკინებს დავაკავშირებთ ერთმანეთთან ნაფენის საშუალებით შუა კვეთში, ნაფენებს შორის მანძილი იქნება

$$l = \frac{520}{2} = 260 \text{ სმ.}$$

გაანგარიშება ვაწარმოოთ ერთ კუთხურა რკინაზე.
განვსაზღვროთ მოქნილობა

$$\lambda = \frac{\mu l}{i} = \frac{\mu l}{\sqrt{\frac{J_{min}}{F}}} = \frac{1 \cdot 260}{\sqrt{\frac{6{,}19}{4{,}83}}} = 228$$

ვისარგებლოთ ეილერის ფორმულით და განვსაზღვროთ კრიტიკული ძალა მოსული ერთ კუთხურა რკინაზე

$$P^0_k = \frac{\pi^2 E J_{min}}{(\mu l)^2} = \frac{3{,}14^2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 6{,}19}{(1 \cdot 260)^2} = 1\,830 \text{ კგ.}$$

ორი კუთხურა რკინა მიიღებს

$$P_k = 2P_k^0 = 3\,660 \text{ კგ.}$$

როგორც ირკვევა, ორი ნაფენით შეერთება სრულიად საკმარისია, ე. ი. $X = 173$ სმ.

§ 40. მდგრადობაზე გაანგარიშება ცხრილების და ემპირიული ფორმულების დახმარებით

15.12. მრგვალი კვეთის სვეტი, რომლის სიმაღლეა $l = 1{,}5$ მ და დიამეტრია $d = 10$ სმ განიცდის გრძივ ღუნვას.

განვსაზღვროთ კრიტიკული ძალა P_k ემპირიული ფორმულით, თუ მასალა გვაქვს: ხე, ფოლადი—3, სხმული ფოლადი და დურალუმინი. მივიღოთ, რომ სვეტის ორივე ბოლო ჩამაგრებულია სახსრულად.

გ ა ნ მ ა რ ტ ე ბ ა: საშუალო და მცირე მოქნილობის სვეტებისათვის, რომელთა მოქნილობის მაჩვენებელი λ ნაკლებია დაახლოებით 100-ზე, კრიტიკული ძაბვის განსასაზღვრავად აღარ გამოდგება ეილერის ფორმულა.

კრიტიკულ ძაბვას მცირე და საშუალო მოქნილობის სვეტებისათვის განვსაზღვრავთ ქვემოთ მოცემული ემპირიული ფორმულებით:

ხისათვის . . . . . $\sigma_k = 293 - 1{,}94\ \lambda$,

ფოლადი 3-ისათვის . $\sigma_k = 3360 - 14{,}7\ \lambda$,

სხმული ფოლადისათვის . $\sigma_k = 3380 - 14{,}8\ \lambda$,

დურალიუმინისათვის $\sigma_k = 4000 - 33{,}3\ \lambda$.

იმ შემთხვევაში, თუ ემპირიული ფორმულით σ_k მივიღეთ მეტი, ვიდრე დენადობის ზღვარი $\sigma_ე$, კრიტიკულ ძაბვად უნდა მივიჩნიოთ დენადობის ზღვარი $\sigma_ე$.

პასუხი:

ხისათვის . . . $\sigma_k = 177$ კგ/სმ²,

ფოლადი 3-თვის . . . $\sigma_k = 2400$ კგ/სმ² დენადობის ზღვარი

ფოლადი 3-თვის ტოლია . $\sigma_ე = 2400$ კგ/სმ²,

სხმული ფოლადისათვის . $\sigma_k = 2\,492$ კგ/სმ²,

დურალიუმინისათვის . . $\sigma_k = 2\,000$ კგ/სმ².

15.13. ბოლოებით სახსრულად ჩამაგრებული ფოლადის მრგვალი კვეთის სვეტზე მოქმედებს ცენტრალურად შემკუმშავი ძალა P.

განვსაზღვროთ დასაშვები ძალა მდგრადობის პირობიდან, თუ კვეთის დიამეტრია $d = 5$ სმ და სვეტის სიმაღლე $l = 1$ მ. სვეტის მასალაა ფოლადი—3, ხოლო მარაგის კოეფიციენტად მდგრადობაზე მივიღოთ $K_{მდ} = 3$.

მითითება. ამოცანის გადასაწყვეტად ვისარგებლოთ წინა ამოცანაში მოცემული ემპირიული ფორმულით, და, თუ $\sigma_k > \sigma_ე$ კრიტიკული ძაბვა უნდა გავუტოლოთ დენადობის ზღვარს.

პასუხი. დასაშვები ძალა $P = 14{,}3$ ტ.

15.14. სამშენებლო გეგმარებაში მოცემული ცხრილის მიხედვით შევარჩიოთ დასაშვები შემკუმშავი ძალის სიდიდე, რომელიც შეიძლება ვამოქმედოთ ფიქვის სვეტზე. სვეტის სიმაღლე $l = 10$ მ, დიამეტრი $d = 20$ სმ. მივიღოთ სვეტი ორივე ბოლოთი სახსრულად ჩამაგრებული და დასაშვები ძაბვა $[\sigma] = 100$ კგ/სმ².

ამოხსნა:

განვსაზღვროთ სვეტის მოქნილობა λ.

$$\lambda = \frac{l}{\sqrt{\frac{J}{F}}} = \frac{l}{\sqrt{\frac{\pi R^4}{4\pi R^2}}} = \frac{2l}{R} = \frac{2 \cdot 1\,000}{10} = 200$$

შესაფერის ძირითად ძაბვის შემცირების კოეფიციენტს φ-ს, ვიპოვით დამატებაში მოცემული ცხრილის საშუალებით. $\varphi = 0{,}19$

სვეტზე დასაშვებ ძაბვას განვსაზღვრავთ

$$[\sigma]_{მდ} = \varphi\,[\sigma] = 0{,}19 \cdot 100 = 19 \text{ კგ/სმ}^2$$

დასაშვებ ძალას განვსაზღვრავთ

$$P=[\sigma]_{ჭ}\cdot F=19\cdot 314=5\,960 \text{ კგ}.$$

15.15. შევირჩიოთ ორტესებრი ფოლადის ღეროს კვეთი, თუ მოქმედი შემკუმშავი ძალა $P=50$ ტ, სიმაღლე $l=2$ მ და დასაშვები ძირითადი ძაბვა ფოლადისათვის $[\sigma]=1\,400$ კგ/სმ². ღეროს ორივე ბოლო სახსრულადაა ჩამაგრებული.

ა მ ო ხ ს ნ ა: მდგრადობის პირობას აქვს შემდეგი სახე

$$\sigma=\frac{P}{F}\leqslant[\sigma]\varphi$$

ჩვენთვის უცნობია როგორც F, ისე φ.

იმისათვის, რომ მიახლოებით დავნიშნოთ კვეთის ზომები, მივიღოთ $\varphi=0{,}7$ და განვსაზღვროთ განივკვეთის ფართობი

$$F\geqslant\frac{P}{\varphi[\sigma]}=\frac{50\,000}{0{,}7\cdot 1\,400}=51 \text{ სმ}^2.$$

სორტამენტის საშუალებით შევირჩევთ შესაფერის ორტესებრივ ფორმის ძელს № 24ᵇ, განივკვეთის ფართობი $F=52{,}6$ სმ², რომლის მინიმალური ინერციის მომენტი $i_{min}=2{,}38$ სმ.

ღეროს მოქნილობას განვსაზღვრავთ

$$\lambda=\frac{\mu l}{i}=\frac{1\cdot 200}{2{,}38}=84$$

აღებული კვეთისათვის ვეძებთ დამატებაში მოცემული ცხრილით φ-ს სიდიდეს. განვსაზღვროთ ინტერპოლაციით $\varphi=0{,}726$.

შევამოწმოთ შერჩეული ორტესებრი კვეთი მდგრადობის პირობის მიხედვით

$$\sigma=\frac{P}{F}\leqslant\varphi[\sigma]$$

$$\frac{P}{F}=\frac{50\,000}{52{,}6}=950 \text{ კგ/სმ}^2$$

$$\varphi[\sigma]=0{,}726\cdot 1\,400=1\,015 \text{ კგ/სმ}^2$$

თუ შევიტანთ მნიშვნელობებს, გვექნება

$$950<1\,015.$$

მდგრადობის პირობა მართალია, დაკმაყოფილებულია, მაგრამ საკმაოდ დიდი მარაგით, კვეთი დაუტვირთავია.

$$\frac{1\,015-950}{1\,015}\cdot 100=6{,}4\%.$$

ამიტომ მოგვიხდება კვეთის შემცირება და მდგრადობის პირობით ხელახლა შემოწმება.

ახლა ვცადოთ ორტესებრი ფოლადის ღერო № 24ª

$$F=47{,}7\ \text{სმ}^2, \qquad i_{min}=2{,}42\ \text{სმ}.$$

$$\lambda=\frac{\mu l}{J_{min}}=\frac{200}{2{,}42}=82{,}6$$

ცხრილიდან შესაბამისი $\varphi=0{,}735$ და შევამოწმებთ მდგრადობის პირობით

$$\sigma=\frac{P}{F}\leqslant[\sigma]\varphi$$

სადაც

$$\frac{P}{F}=\frac{50\,000}{47{,}7}=1\,050\ \text{კგ/სმ}^2$$

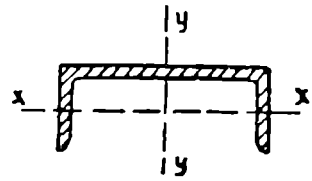
და

$$[\sigma]\varphi=1\,400\cdot 0.735=1\,030\ \text{კგ/სმ}^2$$

ძელი გადატვირთულია მხოლოდ,

$$\frac{1\,030-1050}{1030}\cdot 100=1{,}94\%,\ \text{რაც მისაღებია.}$$

15.16. შეეარჩიოთ შველერის სვეტის მტკიცე ზომები მდგრადობის პირობიდან, თუ მოქმედი შემკუმშავი ძალა $P=40{,}3$ ტ, სვეტის სიმაღლე $l=5$ მ, ბოლოები $Y-Y$ სიბრტყეში ჩამაგრებულია ხისტად, ხოლო $X-X$ სიბრტყეში სახსრულად. მასალა მივიღოთ ფოლადი 3, დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1\,600$ კგ/სმ².



15.16 ამოცანისათვის.

გაანგარიშება ვაწარმოოთ სამშენებლო გეგმარებაში მოცემული φ-ს ცხრილის მიხედვით.



15.17 ამოცანისათვის.

პასუხი: № 30ª

15.17. შეეირჩიოთ ფიქვის ხის სვეტის საშუალო დიამეტრი, რომელზედაც მოქმედებს ცენტრალური შემკუმშავი ძალა $P=18{,}2$ ტ, რომლის სიმაღლეა $l=3$ მ, თუ სვეტის ერთი ბოლო ხისტად არის ჩამაგრებული, ხოლო მეორე თავისუფალია.

მივიღოთ ხისათვის დასაშვები ძირითადი ნორმალური ძაბვა ტოლი $[\sigma]=110$ კგ/სმ².

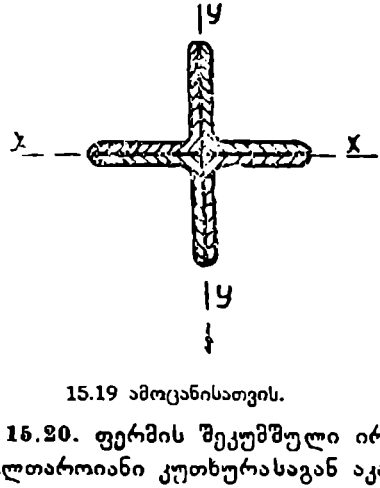
პასუხი: $D=25$ სმ.

15.18. ორტესებრი ფოლადის ღერო, რომლის სიგრძეა $l=5$ მ იკუმშება ცენტრალური ძალით $P=18{,}85$ ტ. შევირჩიოთ კვეთის ზომები, თუ მასალაა ფოლადი —2, დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1\,500$ კგ/სმ² და ღეროს ორივე ბოლო ჩამაგრებულია სახსრულად.

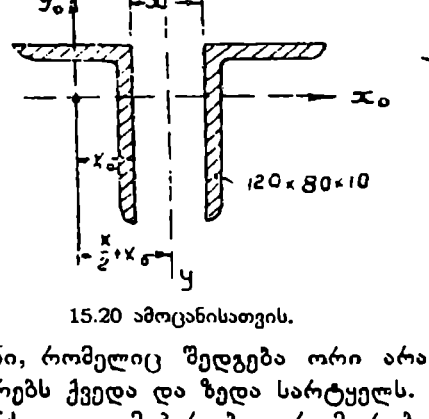
პასუხი: № 30ª.

15.19. შეკუმშული ფოლადის ღერო შედგება ოთხი ფოლადის ტოლთაროიანი კუთხურასაგან, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები. შევირჩიოთ კუთხურას ზომები, თუ ღეროს სიგრძე $l=3$ მ, ძალა, რომელიც მოქმედებს $P=73{,}5$ ტ. ნორმალური დასაშვები ძაბვა მივიღოთ $[\sigma]=1\,200$ კგ/სმ², მასალაა ფოლადი 3. გაანგარიშებისას მივიღოთ, რომ ღეროს ორივე ბოლო სახსრულად არის ჩამაგრებული და ღერო მუშაობს, როგორც ერთი მთლიანი კონსტრუქცია.

პასუხი. $100\times100\times10$.



15.19 ამოცანისათვის.



15.20 ამოცანისათვის.

15.20. ფერმის შეკუმშული ირიბანი, რომელიც შედგება ორი არათოლთაროიანი კუთხურასაგან აკავშირებს ქვედა და ზედა სარტყელს.

შევირჩიოთ კუთხედებს შორის მანძილი a, იმ პირობით, რომ ირიბანას სიხისტე $X-X$ და $Y-Y$ სიბრტყეებში იყოს თანატოლი. გაანგარიშებისას მივიღოთ, რომ ირიბანას ორივე ბოლო ნახევრად ხისტადაა ჩამაგრებული (სიგრძის კოეფიციენტი $\mu=0{,}7$), კუთხურას ზომებია $120\times80\times10$.

მივიღოთ აგრეთვე, რომ კუთხურა რკინები დაკავშირებულ არიან ერთმანეთთან ისე, რომ უზრუნველყოფილია მათი მუშაობა როგორც ერთიანი კვეთის.

ა მ ო ხ ს ნ ა. იმისათვის, რომ სიხისტე $X-X$ და $Y-Y$ სიბრტყეში ტოლი იყოს, საჭიროა ცალკე აღებული ერთი კუთხურა რკინისათვის დაკმაყოფილებული იყოს პირობა

$$J_x=J_y \qquad \text{ან} \qquad J_x=J_{y_0}+\left(x_0+\frac{x}{2}\right)^2F$$

საიდანაც მივიღებთ

$$x^3+4x_0x+4\left(x_0^2+\frac{J_{y_0}-J_x)}{F}\right)=0$$

თუ აღვნიშნავთ

$$P=4x_0 \text{ და } q=4\left(x_0^2+\frac{J_{y_0}-J_z}{F}\right)$$

გვექნება

$$x^2+Px+q=0$$

საიდანაც განვსაზღვრავთ

$$\left.\begin{matrix}x_1\\x_2\end{matrix}\right\}=-\frac{P}{2}\pm\sqrt{\frac{P^2}{4}-q}$$

განვსაზღვროთ P, q შევიტანოთ მათი მნიშვნელობები წინა გამოთქმაში

$$P=4\cdot 1{,}96 \qquad q=4\left(1{,}96^2+\frac{99{,}6-279}{19{,}2}\right)=-21{,}9$$

$$\left.\begin{matrix}x_1\\x_2\end{matrix}\right\}=-\frac{7{,}84}{2}\pm\sqrt{\frac{7{,}84^2}{4}+21{,}9}$$

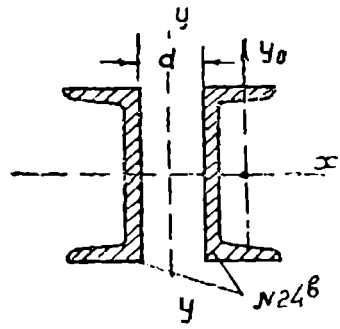
$$x_1=2{,}2 \text{ სმ}; \qquad x_2=-10 \text{ სმ}.$$

დავტოვებთ პირველ ფესვს $a=x_1=2{,}2$ სმ.

15.21. ორი შველერისაგან შედგენილი ძელი დაკავშირებულია ერთმანეთთან ისე, რომ მათი ერთიანი მუშაობა უზრუნველყოფილია.

გამოვთვალოთ დასაშვები შემკუმშავი ძალა, რომელიც შეიძლება მივაყენოთ უშიშრად ძელს, თუ მისი ორივე ბოლო ჩამაგრებულია სახსრულად.

ძელის სიმაღლე მივიღოთ $l=4$ მ, შველერის ნომერი № 24ბ, მასალა ფოლადი—3, დასაშვები ნორმალური ძაბვა $[\sigma]=1\,600$ კგ/სმ² და შველერებს შორის მანძილი $a=10$ სმ.



15.21 ამოცანისათვის.

პასუხი: $P=109$ ტ.

თავი. მეთექვსმეტე

რთული შემთხვევების დრტს მდგრადობაზე გაანგარიშება

მოკლე ცნობები თეორიიდან

ბრტყელი ღუნვის დროს მდგრადობაზე ვამოწმებთ სწორკუთხოვანი განივკვეთის კოჭს შემდეგი ფორმულებით.

თუ ძალა მოქმედებს ბოლოზე კონსოლური კოჭისათვის

$$P_{\text{К}} = \frac{4{,}01}{l^2} \sqrt{C_1 C_2}\,.$$

თუ ძალა მოქმედებს მის შუაში ორ საყრდენზე მდებარე კოჭისათვის

$$P_{\text{К}} = \frac{17{,}2}{l^2} \sqrt{C_1 C_2}\,,$$

ხოლო ორ საყრდენზე მდებარე კოჭისათვის, რომელიც დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით

$$(ql)_{\text{К}} = \frac{28{,}3}{l^2} \sqrt{C_1 C_2}\,,$$

სადაც $C_1 = EI_z$ და $C_2 = GI_{\text{К}}$. $I_{\text{К}}$ წარმოადგენს გრეხვითი ინერციის მომენტს და გამოითვლება იმისდა მიხედვით, თუ როგორია განივკვეთის ფორმა და ზომები.

ორი ტესებრი ფორმის კოჭისათვის ფორმულას აქვს იგივე სახე

$$P_{\text{К}} = \frac{\beta}{l^2} \sqrt{C_1 C_2} \quad \text{ან} \quad (ql)_{\text{К}} = \frac{\beta}{l^2} \sqrt{C_1 C_2}\,.$$

β-ს ვეძებთ ცხრილების საშუალებით (ცხრილი მოცემულია დამატებაში). β ცვალებადი სიდიდეა და დამოკიდებულია სიდიდეზე

$$\alpha = \frac{C_2}{C_1} \left(\frac{l}{h} \right)^2.$$

დასაშვები ძალის მოსაძებნად საჭიროა ვიცოდეთ მარაგის კოეფიციენტი მდგრადობაზე K მდ.

ძაბვების და დეფორმაციების გამოთვლა, როდესაც ერთდროულად მოქმედებს განივი და გრძივი ძალები

მღუნავი მომენტი გამოითვლება ფორმულით

$$M_{\text{ღ}} = M' + Ny, \tag{1}$$

სადაც M' წარმოადგენს მღუნავ მომენტს გამოწვეულს მხოლოდ განივი ძალებით და $N \cdot y$ კი გრძივი ძალით გამოწვეული მღუნავი მომენტია.

მაქსიმალურ ძაბვას გამოვთვლით ფორმულით

$$\sigma_{max} = \frac{N}{F} + \frac{M' + Ny}{W}, \tag{2}$$

გაღუნული ღერძის დიფერენციალური განტოლება დაიწერება

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M_{\text{ღ}}}{EI}. \tag{3}$$

მივიღოთ მიახლოებით, რომ ორ საყრდენზე მდებარე კოჭის ფორმა იცვლება $y = y_{0,5l} \cdot \sin\frac{\pi x}{l}$ კანონით, სადაც $y_{0,5l}$ წარმოადგენს მაქსიმალური ჩაღუნვის ისარს ძალის შუა კვეთში, როდესაც $x = 0,5l$.

თუ y-ს გავაწარმოებთ ორჯერ და შემდეგ შევიტანთ მის მნიშვნელობას დიფერენციალურ განტოლებაში, როდესაც $x = 0,5l$, გვექნება

$$y''_{0,5l}\frac{\pi^2}{l^2} = \frac{M'_{0,5l} + Ny_{0,5l}}{EI}, \tag{4}$$

სადაც $M'_{0,5l}$ წარმოადგენს მღუნავ მომენტს განივი ძალით გამოწვეულს კოჭის შუა კვეთში.

მე-(4) ფორმულა შეიძლება გადაეწეროთ შემდეგნაირად

$$y_{0,5l}\left(\frac{\pi^2 EI}{l^2} - N\right) = M'_{0,5l} \tag{5}$$

$$\text{სადაც} \quad \frac{\pi^2 EI}{l^2} = P_{\text{კ}}$$

წარმოადგენს კრიტიკულ ძალას და საბოლოოდ გვექნება

$$y_{0,5l} = \frac{M'_{0,5l}}{P_{\text{კ}} - N} \quad \text{ან} \quad y_{0,5l} = \frac{\dfrac{M'_{0,5l}}{P_{\text{კ}}}}{1 - \dfrac{N}{P_{\text{კ}}}} \tag{6}$$

თუ $N=0$ ჩვენ მივიღებთ ჩაღუნვის მიახლოებით მნიშვნელობას კოჭის შუა კვეთში გამოწვეულს განივი ძალებით.

$$y'_{0,5l}=\frac{M'_{0,5l}}{P_{\text{К}}} \tag{7}$$

ე-(6) ფორმულა შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირადაც

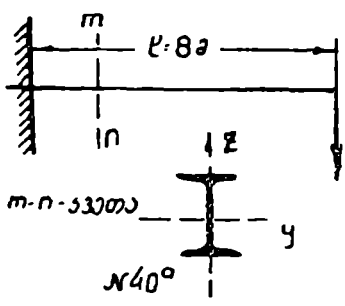
$$y_{0,5l}=\frac{y'_{0,5l}}{1-\dfrac{N}{P_{\text{К}}}} \tag{8}$$

ნებისმიერი კვეთისათვის ჩაღუნვის ისარს გამოვთვლით ფორმულით

$$y=y_{0,5l}\cdot\sin\frac{\pi x}{l}=\frac{y'_{0,5l}}{1-\dfrac{N}{P_{\text{К}}}}\cdot\sin\frac{\pi x}{l} \tag{9}$$

§ 41. ბრტყელი ღუნვის დროს კოჭის მდგრადობაზე გაანგარიშება

16.1. ერთი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული ორტესებრი კოჭის თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს ძალა P. განვსაზღვროთ დასაშვები ძალა სიმტკიცის პირობიდან და მდგრადობის პირობიდან, თუ ძირითადი დასაშვები ძაბვა $[\sigma]=1600$ კგ/სმ², მარაგის კოეფიციენტი მდგრადობაზე $K_{\text{მდ}}=1,7$, კოჭის მალი $l=8$ მ, № 40ª, დრეკადობის მოდული $E=2\cdot10^6$ კგ/სმ², ძვრის მოდული $G=8\cdot10^5$ კგ/სმ².



16.1 ამოცანისათვის.

ა მ ო ხ ს ნ ა. განვსაზღვროთ დასაშვები ძალა სიმტკიცის პირობიდან

$$[M]_{max}=[\sigma]W_y,\ \text{სადაც}\ [M]_{max}=[P]l,$$

საიდანაც

$$[P]=\frac{W_y[\sigma]}{l}=\frac{1090\cdot1600}{800}=2180\ \text{კგ}$$

სიმტკიცის პირობიდან, დასაშვები ძალა $P=2180$ კგ.

განვსაზღვროთ დასაშვები ძალა მდგრადობის პირობიდან

$$[P]_{\text{მდ}}=\frac{P_{\text{К}}}{K_{\text{მდ}}}=\frac{\beta_1}{l^2K_{\text{მდ}}}\sqrt{C_1C_2}$$

გამოვთვალოთ ზემოთ მოყვანილ ფორმულაში შემავალი წევრები C_1, C_2 და β_1.

$$C_1 = EI_x = 2 \cdot 10^6 \cdot 855 = 171 \cdot 10^7 \text{ კგ/სმ}^2$$

$$C_2 = GI_t = G\frac{\eta}{3}[(h-2t)a^3 + 2bt^3],$$

სადაც d და t არის კედლის და თაროს განივკვეთის მოკლე გვერდების სიგანე, ხოლო $(h-2t)$ და b კი კედლის და თაროს განიეკვეთის დიდი გვერდების ზომა.

η — დამოკიდებულია განივკვეთის ფორმაზე და ორტესებრი კვეთისათვის $\eta = 1{,}2$. თუ შევიტანთ ცნობილ სიდიდეებს, გვექნება

$$C_2 = 8 \cdot 10^5 \frac{1{,}2}{3}[(40 - 2 \cdot 1{,}65)1{,}05^3 + 2 \cdot 14{,}2 \cdot 1{,}65^3] = 545 \cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2$$

β_1-ს მოსაძებნად ჯერ უნდა განესაზღვროთ ფარდობა

$$\alpha = \frac{C_2}{C_1}\left(\frac{l}{h}\right)^2 = \frac{545 \cdot 10^5}{171 \cdot 10^7}\left(\frac{800}{40}\right)^2 = 12{,}8$$

როდესაც ვიცით α დამატებაში მოცემული ცხრილის საშუალებით განვსაზღვრავთ β_1-ს ინტერპოლაციის საშუალებით

$$\beta_1 = 5{,}26,$$

$$[P]_{\text{ზღ}} = \frac{\beta_1}{l^3 K_{\text{ზღ}}}\sqrt{C_1 C_2} = \frac{5{,}26}{800^2 \cdot 1{,}7}\sqrt{171 \cdot 545 \cdot 10^{13}} \approx 1470 \text{ კგ},$$

ე. ი. დასაშვები ძალა, რომელიც დააკმაყოფილებს მდგრადობის პირობას, ტოლია $[P]_{\text{ზღ}} = 1470$ კგ. შესაფერისი მაქსიმალური დასაშვები ძაბვა მდგრადობის პირობიდან

$$[\sigma]_{\text{ზღ}} = \frac{[P]_{\text{ზღ}} \cdot l}{W} = \frac{1470 \cdot 800}{1090} = 1080 \text{ კგ/სმ}^2$$

16.2. ცალი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული სწორკუთხოვანი განივკვეთის ფორმის ფოლადის კოჭი, რომლის ზომებია $24 \times 2{,}4$ და მალია $l = 7$ მ დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით, ინტენსიობით q.

განვსაზღვროთ ინტენსიობის მაქსიმალური დასაშვები მნიშვნელობა, სიმტკიცის პირობიდან და მდგრადობის პირობიდან. კოჭის მასალაა ფოლადი 3, რომლისთვისაც: ძირითადი დასაშვები ძაბვა $[\sigma] = 1600$ კგ/სმ^2, დრეკადობის მოდული $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ^2, ძვრის მოდული $G = 8 \cdot 10^5$ კგ/სმ^2 და მარაგის კოეფიციენტი მდგრადობაზე $K = 1{,}8$.

ა მ ო ხ ს ნ ა: განვსაზღვროთ მაქსიმალური დასაშვები ინტენსივობის სიდიდე სიმტკიცის პირობიდან.

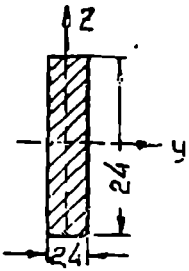
$M_{max}=W[\sigma]$. თუ შევიტანთ მნიშვნელობებს

$$M_{max}=\frac{ql^2}{2}, \qquad W=\frac{bh^2}{6}$$

გვექნება

$$q=\frac{b\cdot h^2[\sigma]}{3\cdot l^2}=\frac{2{,}4\cdot 24^2\cdot 1600}{3\cdot 700^2}=1{,}5 \text{ კგ/სმ}=150 \text{ კგ/მ}.$$

მდგრადობის პირობიდან დასაშვებ მაქსიმალურ ინტენსივობას განვსაზღვრავთ ფორმულით



2.16 ამოცანისათვის.

$$[ql]_k=\frac{12{,}85}{l^2}\sqrt{C_1C_2}$$

საიდანაც

$$[q]=\frac{12{,}85}{l^3K_{ad}}\sqrt{C_1C_2}$$

განვსაზღვროთ ფორმულაში შემავალი წევრები ცალ-ცალკე

$$C_1=EI_z=2\cdot 10^6\,\frac{24\cdot 2{,}4^3}{12}=55{,}2\cdot 10^6$$

$$C_2=GI_k=G\cdot ab^4=8\cdot 10^5\cdot 3{,}12\cdot 2{,}4^4=83\cdot 10^6$$

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: „a“ განვსაზღვრავთ დამატებაში მოცემული ცხრილის მიხედვით, თუ ცნობილია ფარდობა $m=\frac{h}{b}$ ან თუ $m>4$ მოვძებნით უშუალოდ

$$I_k=\frac{(m-0{,}63)b^4}{3}$$

დასაშვები მაქსიმალური ინტენსივობა მდგრადობის პირობიდან ტოლია

$$[q]=\frac{12{,}85}{l^3K_{ad}}\sqrt{C_1C_2}=\frac{12{,}85}{700^3\cdot 1{,}8}\sqrt{83\cdot 55{,}2\cdot 10^6}=1{,}4 \text{ კგ/სმ}=140 \text{ კგ/მ}.$$

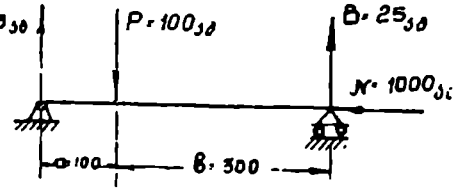
16.3. ორტესებრი ფორმის კოჭზე, რომლის ნომერია № 60^c და რომელიც დაყრდნობილია ორ საყრდენზე, მალის შუაში მოქმედებს ძალა P. მოვძებნოთ მაქსიმალური დასაშვები ძალის სიდიდე სიმტკიცის და მდგრადობის პირობიდან, თუ კოჭის მალია $l=20$ მ, დრეკადობის მოდული $E=2\cdot 10$ კგ/სმ^2, ძვრის მოდული $G=8\cdot 10^5$ კგ/სმ^2, ძირითადი დასაშვები ძაბვა $(\sigma)=1600$ კგ/სმ^2 და მარაგის კოეფიციენტი მდგრადობაზე $K_{ad}=1{,}7$.

პ ა ს უ ხ ი: სიმტკიცის პირობიდან $[P]=9750$ კგ $=9{,}75$ ტ.
მდგრადობის პირობიდან $[P]_{ad}=3800=3{,}8$ ტ.

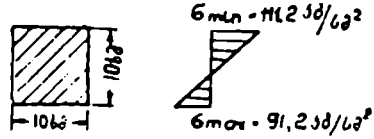
§ 42. ძაბვის და დეფორმაციის გამოთვლა განივი და გრძივი ძალის ერთდროული მოქმედებით

16.4. ნახაზზე მოცემული ორ საყრდენზე მდებარე ხის კოჭისათვის უნდა განვსაზღვროთ მაქსიმალური ძაბვა σ_{max}, თუ გრძივი ძალა $N=1000$ კგ და განივი ძალა $P=100$ კგ. დრეკადობის მოდული ხისათვის მივიღოთ $E=10^3$ კგ/სმ².

ამოხსნა: განვსაზღვროთ კვეთის ინერციის მომენტი.



$$J=\frac{bh^3}{12}=\frac{10^4}{12}=834 \text{ სმ}^4$$



16.4 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ ეილერის ფორმულით კრიტიკული ძალა

$$P_k=\frac{\pi^2 EJ}{(\mu l)^2}=\frac{3{,}14^2\cdot 10^3\cdot 834}{(400)^2}=5130 \text{ კგ}.$$

განვსაზღვროთ მღუნავი $M'_{0.5l}$ მომენტი კოჭის შუა კვეთში, რომელიც გამოწვეულია მხოლოდ განივი დატვირთვით.

A რეაქციას განვსაზღვრავთ:

$$A=\frac{Pb}{l}=\frac{100\cdot 300}{400}=75 \text{ კგ}.$$

$$B=\frac{P_a}{l}=\frac{100\cdot 100}{400}=25 \text{ კგ}.$$

და მღუნავი მომენტი

$$M'_{0,5l}=25\cdot 200=5000 \text{ კგ სმ}.$$

მოვძებნოთ ჩაღუნვის ისარი $y'_{0,5l}$ კოჭის შუა კვეთში, რომელიც გამოწვეულია მხოლოდ განივი ძალებით.

$$y'_{0.5l}=\frac{M'_{0,5l}}{P_k}=\frac{5000}{5130}=0{,}975 \text{ სმ},$$

კოჭის შუა კვეთში ჩაღუნვა $y_{0,5l}$, როდესაც მასზედ მოქმედებენ ერთდროულად განივი და გრძივი ძალები განისაზღვრება

$$y_{0,5l} = \frac{y'_{0,5l}}{1 - \frac{N}{P_k}} = \frac{0,975}{1 - \frac{1\,000}{5\,130}} = 1,21 \text{ სმ.}$$

ისმის კითხვა, რომელი კვეთი წარმოადგენს საშიშს?

მარტო განივი ძალებით გამოწვეული მღუნავი მომენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა გვექნება იმ კვეთში, სადაც მოქმედებს ძალა P, ხოლო გრძივი ძალებით გამოწვეული მღუნავი მომენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა „$N \cdot y$" გვექნება, როდესაც $y = y_{max}$ ანუ კოჭის შუა კვეთში.

რომ განვსაზღვროთ საშიში კვეთი, საჭიროა შევამოწმოთ ძაბვები, როგორც კოჭის შუა მალში, ისე P ძალის მოქმედების კვეთში. უდიდესი ძაბვა კი იქნება იმ კვეთში, სადაც უფრო დიდია მღუნავი მომენტი.

მოვძებნოთ მაქსიმალური მღუნავი მომენტი კოჭის შუა მალში. მღუნავი მომენტი კოჭის შუა მალში გამოწვეული განივი ძალებით ტოლია

$$M'_{0,5l} = 5000 \text{ კგ სმ.}$$

მღუნავი მომენტი კოჭის შუა მალში გამოწვეული გრძივი ძალებით ტოლია

$$N \cdot S_{0,5l} = 1000 \cdot 1,21 = 1210 \text{ კგ სმ.}$$

მღუნავი მომენტი კოჭის შუა კვეთში გამოწვეული განივი და გრძივი ძალებით ტოლია

$$M_{\Sigma} = 5000 + 1210 = 6210 \text{ კგ სმ.}$$

მოვძებნოთ მღუნავი მომენტის სიდიდე იმ კვეთში, სადაც მოქმედებს ძალა P.

განივი დატვირთვით გამოწვეული მღუნავი მომენტი

$$M'_p = B \cdot b = 25 \cdot 300 = 7500 \text{ კგ სმ.}$$

გრძივი ძალით გამოწვეული მღუნავი მომენტი, რომ გავიანგარიშოთ, ამისათვის საჭიროა ჯერ მოვძებნოთ ჩაღუნვის ისარი გამოწვეული განივი და გრძივი ძალით P ძალის მოქმედების კვეთში.

$$y_p = y_{0,5l} \cdot \sin\frac{\pi_x}{l} = 1,21 \cdot \sin\frac{3,14 \cdot 100}{400} = 1,21 \cdot \sin 45^\circ = 0,856 \text{ სმ.}$$

გრძივი ძალით გამოწვეული მომენტი P-ს მოქმედების კვეთში ტოლია

$$y_p \cdot N = 0,85 \cdot 1000 = 850 \text{ კგ სმ,}$$

მღუნავი მომენტი გრძივი და განივი ძალით გამოწვეული P-ს მოქმედების კვეთში ტოლია

$$M_{\Sigma} = 7500 + 850 = 8350 \text{ კგ სმ.}$$

ე. ი. კვეთი, სადაც მოქმედებს ძალა P-წარმოადგენს საშიშ კვეთს.

მაქსიმალური და მინიმალური ძაბვები ამ კვეთში გამოითვლება ფორმულით

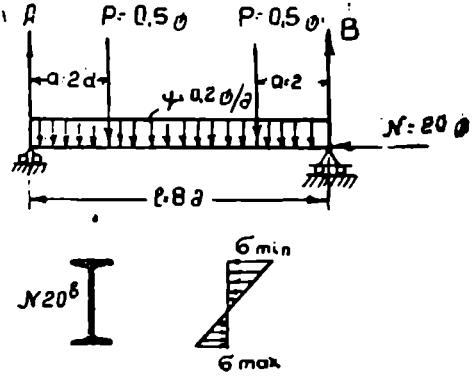
$$\sigma_{\substack{max\\min}} = -\frac{N}{F} \pm \frac{M'}{W} \pm \frac{Ny}{W}$$

$$F = 10 \cdot 10 = 100 \text{ სმ}^2, \qquad W = \frac{bh^2}{6} = \frac{10^3}{6} = 166 \text{ სმ}^3$$

$$\sigma_{min} = -\frac{1000}{100} - \frac{8350}{166} - \frac{850}{166} = -111{,}2 \text{ კგ/სმ}^2$$

$$\sigma_{max} = -\frac{1000}{100} + \frac{8350}{160} + \frac{850}{160} = +91{,}2 \text{ კგ/სმ}^2.$$

16.5. ორ საყრდენზე მდებარე ფოლადის ორტესებრი კოჭი დატვირთულია განივი ძალებით და გძივი ძალით, როგორც ეს ნახაზზეა მოცემული.



16.5 ამოცანისათვის.

განვსაზღვროთ კოჭის შუა მალში ნორმალური, მაქსიმალური და მინიმალური ძაბვა. თუ მივიღებთ, რომ კოჭის განივკვეთის ფართობი

$$F = 39{,}5 \text{ სმ}^2,$$

ინერციის მომენტი

$$J_{max} = 2500 \text{ სმ}^4$$

და წინაღობის მომენტი $W_{max} = 250$ სმ^3. დრეკადობის მოდული მივიღოთ ფოლადისათვის $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ^2.

პასუხი: $\sigma_{min} = -1895$ კგ/სმ^2.

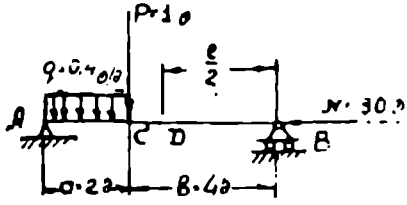
$\sigma_{max} = 885$ კგ/სმ^2.

16.6. ნახაზზე მოცემული ფოლადის კოჭისათვის განვსაზღვროთ მაქსიმალური და მინიმალური ძაბვები C და D წერტილებში. თუ კოჭის ინერციის მომენტი $I_{max} = 4800$ სმ^4, განივკვეთის ფართობი $F = 52{,}6$ სმ^2 და წინაღობის მომენტი $W_{max} = 400$ სმ^3, დრეკადობის მოდული მივიღოთ $E = 2 \cdot 10^6$ კგ/სმ^2.

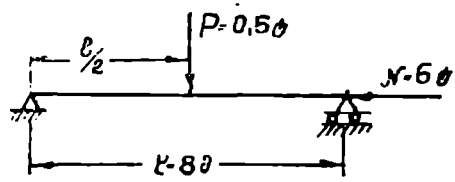
პასუხი:

$\sigma^{C}_{min} = -1094$ კგ/სმ², $\sigma^{D}_{min} = -971$ კგ/სმ²

$\sigma^{C}_{max} = -50$ კგ/სმ², $\sigma^{D}_{max} = -171$ კგ/სმ².



16.6 ამოცანისათვის.



16.7 ამოცანისათვის.

16.7. მოცემული გვაქვს ხის კოჭი, რომლის განივკვეთის ზომებია 12×20 და რომელზედაც მოქმედებს განივი $P = 0{,}5$ ტ და გრძივი $N = 5$ ტ ძალები ისე, როგორც ეს ნახაზზეა მოცემული.

განსაზღვროთ მაქსიმალური ძაბვა კოჭში და მოვძებნოთ სიმტკიცის მარაგი K დროებითი ძაბვის მიხედვით თუ დროებითი ნორმალური ძაბვა მოცემული ხის კოჭისათვის ტოლია $\sigma_{ზღ} = 500$ კგ/სმ², ხისათვის დრეკადობის მოდული მივიღოთ $E = 10^5$ კგ/სმ².

ა მ ო ხ ს ნ ა. განსაზღვროთ ჯერ მაქსიმალური ძაბვა კოჭში.

განივი ძალით გამოწვეული მღუნავი მომენტი კოჭის შუა კვეთში ტოლია

$$M'_{\frac{l}{2}} = \frac{Pl}{4} = \frac{0{,}5 \cdot 8}{4} = 1 \text{ ტ.მ.}$$

კრიტიკული ძალა ტოლია

$$P_k = \frac{\pi^2 EJ}{l^2} = \frac{3{,}14 \cdot 10^5 \cdot 8000}{800^2} = 12300 \text{ კგ} = 12{,}3 \text{ ტ.}$$

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{12 \cdot 20^3}{12} = 8000 \text{ სმ}^4$$

განივი ძალებით გამოწვეული ჩაღუნვის ისარი კოჭის შუა მალში

$$y'_{\frac{l}{2}} = \frac{100}{12{,}3} = 8{,}13 \text{ სმ.}$$

შუა კვეთში გამოწვეული ჩაღუნვა განივი და გრძივი ძალებით გამოწვეული ტოლია

$$y_{\frac{l}{2}} = \frac{y'_{\frac{l}{2}}}{1-\frac{N}{P_k}} = \frac{8{,}13}{1-\frac{5}{12{,}3}} = 13{,}7 \text{ სმ.}$$

განივი და გრძივი ძალებით გამოწვეული მღუნავი მაქსიმალური მომენტი

$$M_{max} = M'_{\frac{l}{2}} + N y_{\frac{l}{2}} = 100000 + 13{,}7 \cdot 5000 = 168500 \text{ კგ სმ.}$$

და მაქსიმალური ძაბვა

$$\sigma_{max} = -\frac{N}{F} - \frac{M_{max}}{W} = -\frac{5000}{240} - \frac{168500}{800} = -20{,}8 - 210 \cdot 6 \approx 231 \text{ კგ/სმ}^2.$$

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{12 \cdot 20^2}{6} = 800 \text{ სმ}^3.$$

$$F = 12 \cdot 20 = 240 \text{ სმ}^2.$$

ახლა განვსაზღვროთ სიმტკიცის მარაგი K, თუ ძაბვა და მისი გამომწვევი ძალები პროპორციულ დამოკიდებულებაშია, სიმტკიცის მარაგი იქნება

$$K = \frac{500}{231} = 2{,}16,$$

მაგრამ, როგორც ვიცით განივი და გრძივი ძალების ერთდროულად მოქმედებისას ძაბვა და მისი გამომწვევი ძალები აღარ არიან, პროპორციულ დამოკიდებულებაში

$$M_{max} = M'_{\frac{l}{2}} + N y_{\frac{l}{2}} = M'_{\frac{l}{2}} + N \frac{y'_{\frac{l}{2}}}{1-\frac{N}{P_k}} = M'_{\frac{l}{2}} + N \frac{\frac{M_{\frac{l}{2}}}{P_k}}{1-\frac{N}{P_k}},$$

ხოლო ძაბვა

$$\sigma_{max} = \frac{N}{F} + \frac{M_{max}}{W} = \frac{N}{F} + \frac{M'_{\frac{l}{2}}}{W} + \frac{N}{W} \cdot \frac{\frac{M'_{\frac{l}{2}}}{P_k}}{1-\frac{N}{P_k}}.$$

დასაშვები ძაბვის მეთოდით გაანგარიშების დროს მარაგის კოეფიციენტი K გვიჩვენებს იმას თუ რამდენჯერ არის საჭირო გავადიდოთ გარე დატვირთვა, რომ მაქსიმალური ძაბვა გაუტოლდეს საშიშს.

ჩვენ შემთხვევაში საშიშ ძაბვად თუ მივიჩნევთ $\sigma_{ღ\acute{ნ}} = 500$ კგ/სმ² გვექნება

$$\sigma_{ღ\acute{ნ}} = \frac{K \cdot N}{F} + \frac{K \cdot M'_{\frac{l}{2}}}{W} + \frac{K \cdot N}{W} \cdot \frac{\frac{KM_{\frac{l}{2}}}{P_k}}{1 - \frac{KN}{P_k}}.$$

თუ შევიტანთ გამოთქმაში, ყველა წევრების რიცხვით მნიშვნელობას, ჩვენ მივიღებთ K-ს მიმართ კვადრატულ განტოლებას, რომლის ამოხსნაც მოგვცემს მარაგის კოეფიციენტის მნიშვნელობას.

$$500 = \frac{K \cdot 5000}{240} + \frac{K \cdot 100\,000}{800} + \frac{K \cdot 5000}{800} \cdot \frac{\frac{K \cdot 100000}{12300}}{1 - \frac{K \cdot 5000}{12300}}$$

ამ განტოლების ამოხსნა მოგვცემს ორ ფესვს

$$K_1 = 6{,}47 \quad \text{და} \quad K_2 = 1{,}83$$

K_1 — ფესვი მოკლებულია ფიზიკურ არსს და ამისათვის არ გამოდგება, K_2 კი გვიჩვენებს სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტის მნიშვნელობას. როგორც ჩანს

$$K = \frac{500}{231} = 2{,}16 > K_2 = 1{,}83.$$

ეს მოხდა იმისათვის, რომ ძაბვა და მისი გამომწვევი ძალა არ არიან ამ შემთხვევაში ერთმანეთის პროპორციული. ძალთა დამოკიდებულების პრინციპით ამ შემთხვევაში სარგებლობა არ შეიძლება.

16.8. ორ საყრდენზე მდებარე კოჭი, რომლის მალია $l = 6$ მ დატვირთულია თანაბრად განაწილებული ტვირთით, $q = 0{,}2$ ტ/მ ინტენსიობით და განიცდის ცენტრალურ კუმშვას $N = 25$ ტ.

განვსაზღვროთ მაქსიმალური ძაბვა და მოვძებნოთ სიმტკიცის მარაგი K, თუ საშიში ძაბვა აღემატება მაქსიმალურ დასაშვებს 3-ჯერ. გაანგარიშების დროს მივიღოთ ინერციის მომენტი $J = 2500$ სმ⁴, წინაღობის მომენტი $W = 250$ სმ³, განივკვეთის ფართობი $F = 40$ სმ² და დრეკადობის მოდული $E = 2 \cdot 10$ კგ/სმ².

დ ა მ ა ტ ე ბ ა

ტრიგონომეტრიული ფუნქციები ცხრილი 1

ა) სინუსი და კოსინუსი

კუთხე	sin	cos		კუთხე	sin	cos		კუთხე	sin	cos	
0°0′	0.000	1.000	90° 0′	7°30′	0.131	0.991	82°30′	15°0′	0.259	0.966	75° 0′
10	0.003	1.000	89°50	40	0 133	0.991	20	10	0.262	0.965	74°50
20	0.006	1.000	40	50	0.136	0.991	10	20	0.264	0.964	40
30	0.009	1.000	30					30	0.267	0.964	30
40	0.012	1.000	20	8°0′	0.139	0.990	82° 0′	40	0.270	0.963	20
50	0.015	1.000	10	10	0.142	0 990	81°50	50	0.273	0.962	10
				20	0.145	0.989	40				
1°0′	0.017	1.000	89° 0′	30	0.148	0.989	30	16°0′	0.276	0.961	74° 0′
10	0.020	1.000	88°50	40	0.151	0.989	20	10	0.278	0.960	73°50
20	0.023	1.000	40	50	0.154	0.988	10	20	0.281	0.960	40
30	0.026	1.000	30					30	0.284	0.959	30
40	0.029	1.000	20	9°0′	0.156	0.988	81° 0′	40	0.287	0.958	20
50	0.032	0.999	10	10	0.159	0.987	80°50	50	0.290	0.957	10
				20	0.162	0.987	40				
2°0′	0.035	0.999	88° 0′	30	0.165	0.986	30	17°0′	0.292	0.956	73° 0′
10	0.038	0.999	87°50	40	0.168	0.986	20	10	0.295	0.955	72°50
20	0.041	0.999	40	50	0.171	0.985	10	20	0.298	0.955	40
30	0.044	0.999	30					30	0.301	0.954	30
40	0.047	0.999	20	10°0′	0.174	0.985	80° 0′	40	0.303	0.953	20
50	0.049	0.999	10	10	0.177	0.984	79°50	50	0.306	0.952	10
				20	0.179	0.984	40				
3°0′	0.052	0.999	87° 0′	30	0.182	0.983	30	18°0′	0.309	0.951	72° 0′
10	0.055	0.998	86°50	40	0.185	0.983	20	10	0.312	0.950	71°50
20	0.058	0.998	40	50	0.188	0.982	10	20	0.315	0.949	40
30	0.061	0.998	30					30	0.317	0.948	30
40	0.064	0.998	20	11°0′	0.191	0.982	79° 0′	40	0.320	0.947	20
50	0.067	0.998	10	10	0.194	0.981	78°50	50	0.323	0.946	10
				20	0.197	0.981	40				
4°0′	0.070	0.998	86° 0′	30	0.199	0.980	30	19°0′	0.326	0.946	71° 0′
10	0.073	0.997	85°50	40	0.202	0.979	20	10	0.328	0.945	70°50
20	0.076	0.997	40	50	0.205	0.979	10	20	0.331	0.944	40
30	0.078	0.997	30					30	0.334	0.943	30
40	0.081	0.997	20	12°0′	0.208	0.978	78° 0′	40	0.337	0.942	20
50	0.084	0.996	10	10	0.211	0.978	77° 0	50	0.339	0.941	10
				20	0.244	0.977	40				
5°0′	0.087	0.996	85° 0′	30	0.211	0.976	30	20°0′	0.342	0.940	70° 0′
10	0.090	0.996	84°50	40	0.219	0.979	20	10	0.345	0.939	69°50
20	0.093	0.996	40	50	0.222	0.675	10	20	0.347	0.938	40
30	0.096	0.995	30					30	0.350	0.937	30
40	0.099	0.995	20	13°0′	0.225	0.974	77° 0′	40	0.353	0.936	20
50	0.102	0.995	10	10	0.228	0.974	76°50	50	0.356	0.935	10
				20	0.231	0.973	40				
6°0′	0.105	0.995	84° 0′	30	0.233	0.972	30	21°0′	0,358	0.934	69° 0′
10	0.107	0.994	83°50	40	0.236	0.972	20	10	0.361	0.933	68°50
20	0.110	0.994	40	50	0.239	0.971	10	20	0.364	0.931	40
30	0.113	0.994	30					30	0.367	0.930	30
40	0.116	0.993	20	14°0′	0.242	0 970	76° 0′	40	0.369	0.929	20
50	0.119	0.993	10	10	0.245	0.970	75°50	50	0.372	0.928	10
				20	0.248	0.969	40				
7°0,	0.122	0 993	83° 0′	30	0.250	0.968	30	22°0′	0.375	0.927	68° 0′
10	0.125	0.992	82°50	40	0.253	0.967	20	10	0.377	0.926	67°50
20	0.128	0.992	40	50	0.256	0.967	10	20	0.380	0.925	40
	cos	sin	კუთხე		cos	sin	კუთხე		cos	sin	კუთხე

სინუსი და კოსინუსი

კუთხე	sin	cos		კუთხე	sin	cos		კუთხე	sin	cos	
22°30′	0.383	0.924	67°30	30° 0′	0.500	0.866	60° 0′	37°30′	0.609	0.793	52°30
40	0.385	0.923	20	10	0.503	0.865	59°50	40	0.611	0.792	20
50	0.388	0.922	10	20	0.505	0.863	40	50	0.613	0.790	10
23° 0′	0.391	0.921	67° 0′	30	0.508	0.862	30	38° 0′	0.616	0.788	52° 0′
10	0.393	0.919	66°50	40	0.510	0.860	20	10	0.618	0.786	51°50
20	0.396	0.918	40	50	0.513	0.859	10	20	0.620	0.784	40
30	0.399	0.017	30	31° 0′	0.515	0.857	59° 0′	30	0.623	0.783	30
40	0.401	0.916	20	10	0.518	0.856	58°50	40	0.625	0.781	20
50	0.404	0.915	10	20	0.520	0.854	40	50	0.627	0.779	10
24° 0′	0.407	0.914	66° 0′	30	0.522	0.853	30	39° 0′	0.629	0.777	51° 0′
10	0.409	0.912	65°50	40	0.525	0.851	20	10	0.632	0.775	50°50
20	0.412	0.911	40	50	0.527	0.850	10	20	0.634	0.773	40
30	0.415	0.910	30	32° 0′	0.530	0.848	58° 0′	30	0.636	0.772	30
40	0.417	0.909	20	10	0.532	0.847	57°50	40	0.638	0.770	20
50	0.420	0.908	10	20	0.535	0.845	40	50	0.641	0.768	10
25° 0′	0.423	0.906	65° 0′	30	0.537	0.843	30	40° 0′	0.643	0.766	50° 0′
10	0.425	0.905	64°50	40	0.540	0.842	20	10	0·645	0.764	49°50
20	0.428	0.904	40	50	0.542	0.840	10	20	0.647	0.762	40
30	0.431	0.903	30	33° 0′	0.545	0.839	57° 0′	30	0.649	0.760	30
40	0.433	0.901	20	10	0.547	0.837	56°50	40	0.652	0.759	20
50	0.436	0.900	10	20	0.550	0.835	40	50	0.654	0.757	10
26° 0′	0.438	0.899	64° 0′	30	0.552	0 834	30	41° 0′	0.656	0.755	49° 0′
10	0.441	0.898	63°50	40	0.554	0.832	20	10	0.658	0.753	48°50
20	0.444	0.896	40	50	0.557	0.831	10	20	0.660	0.751	40
30	0.446	0.895	30	34° 0′	0.559	0.829	56° 0′	30	0.663	0.749	30
40	0.449	0.894	20	10	0.562	0.827	55°50	40	0.665	0.747	20
50	0.451	0.892	10	20	0.564	0.826	40	50	0.667	0.745	10
27° 0′	0.454	0.891	63° 0′	30	0.566	0.824	30	42° 0′	0.669	0.743	48° 0′
10	0.457	0.890	62°50	40	0.569	0.822	20	10	0.671	0.741	47°50
20	0.459	0.888	40	50	0.571	0.821	10	20	0.673	0.739	40
30	0.462	0.887	30	35° 0′	0.574	0.819	55° 0′	30	0.676	0.737	30
40	0.464	0.886	20	10	0.576	0.817	54°50	40	0.678	0.735	20
50	0 467	0.884	10	20	0.578	0.816	40	50	0.680	0.733	10
28° 0′	0.469	0.883	62° 0′	30	0.581	0.814	30	43° 0′	0.682	0.731	47° 0′
10	0.472	0.882	61°50	40	0.588	0.812	20	10	0.684	0.729	46°50
20	0.475	0.880	40	50	0.585	0.811	10	20	0.686	0.727	40
30	0.477	0.879	30	36° 0′	0.588	0.809	54° 0′	30	0.688	0,725	30
40	0.480	0.877	20	10	0.590	0.807	53°50	40	0.690	0.723	20
50	0.482	0.876	10	20	0.592	0.806	40	50	0.693	0.721	10
29° 0′	0.485	0.875	61° 0′	30	0.595	0.804	30	44° 0′	0.695	0.719	46° 0′
10	0.487	0.873	60°50	40	0.597	0.802	20	10	0.697	0.717	45°50
20	0.490	0.872	40	50	0.599	0.800	10	20	0.699	0.715	40
30	0.492	0.870	30	37° 0′	0.602	0.799	53° 0′	30	0.701	0.713	30
40	0.495	0.869	20	10	0.604	0.797	52°50	40	0.703	0.711	20
50	0.497	0.867	10	20	0.606	0.795	40	50	0,705	0.709	10
								45° 0′	0.707	0.707	45° 0
	cos	sin	კუთხე		cos	sin	კუთხე		cos	sin	კუთხე

ტანგენსი და კოტანგენსი

კუთხე	tg	ctg		კუთხე	tg	ctg		კუთხე	tg	ctg	
° 0′	0.000	∞	90° 0′	7°30	0.132	7.596	82°30	15° 0,	0.268	3.732	75 °0′
10	0.003	343.8	89°50	40	0.135	7.429	20	10	0.271	3.689	74°50
20	0.006	171.9	40	50	0.138	7.269	10	20	0.274	3.647	40
30	0.009	114.1	30	8° 0′	0.141	7.115	82° 0′	30	0.277	3.606	30
40	0.012	85.94	20	10	0.144	6.968	81°50	40	0 280	3.566	20
50	0.015	68.75	10	20	0.146	6.827	40	50	0.284	3.526	10
1° 0′	0.017	57.29	89° 0′	30	0.149	6.691	30	16° 0′	0.287	3.487	74° 0′
10	0.020	49.10	88°50	40	0.152	6.561	20	10	0.290	3.450	73°50
20	0.023	42.96	40	50	0.155	6.435	10	20	0.293	3.412	40
30	0.026	38.19	30	9° 0′	0.158	6.314	81° 0′	30	0.296	3.376	30
40	0.029	34.37	20	10	0.161	6 197	80°50	40	0.299	3.340	20
50	0.032	31.24	10	20	0.164	6.084	40	50	0.303	3.305	10
2° 0′	0.035	28.64	88° 0′	30	0.167	5.976	30	17° 0′	0.306	3.271	73° 0′
10	0.038	26.43	87°50	40	0.170	5.871	20	10	0.309	3.237	72°50
20	0.041	24.54	40	50	0.173	5.769	10	20	0.312	3.204	40
30	0,044	22.90	30	10° 0′	0.176	5.671	80° 0′	30	0.315	3.172	30
40	0.047	21.47	20	10	0.179	5.576	79°50	40	0.319	3.140	20
50	0.049	20.21	10	20	0.182	5.485	40	50	0.322	3.108	10
3° 0′	0.052	19.08	87° 0′	30	0.185	5.396	30	18° 0′	0.325	3.078	72° 0′
10	0.055	18.07	86°50	40	0.188	5.309	20	10	0.328	3.047	71°50
20	0,058	17.17	40	50	0.191	5.226	10	20	0.331	3.018	40
30	0.061	16.35	30	11° 0′	0.194	5.145	79° 0′	30	0.335	2.989	30
40	0.064	15.60	20	10	0.197	5.066	78°50	40	0.338	2.960	20
50	0.067	14.92	10	20	0.200	4.989	40	50	0.341	2.932	10
4° 0′	0.070	14.30	86° 0′	30	0.203	4.915	30	19° 0′	0.344	2.904	71° 0′
10	0 073	13.73	85°50	40	0.206	4.843	20	10	0.348	2.877	70°50
20	0.076	13.20	40	50	0.210	4 773	10	20	0.351	2.850	40
30	0.079	12.71	30	12° 0′	0.213	4.705	78° 0′	30	0.354	2.824	30
40	0.082	12.25	20	10	0.216	4.638	77°50	40	0.357	2.798	20
50	0.085	11.83	10	20	0.219	4.574	40	50	0.361	2.773	10
5° 0	0.087	11.43	85° 0′	30	0.222	4.511	30	20° 0′	0.364	2.747	70° 0′
10	0.090	11.06	84°50	40	0.225	4.449	20	10	0.367	2.723	69°50
20	0.093	10.71	40	50	0.228	4.390	10	20	0.371	2.699	40
30	0.096	10.39	30	13° 0′	0.231	4.331	77° 0′	30	0.374	2.675	30
40	0.099	10.08	20	10	0.234	4.275	76°50	40	0.377	2.651	20
50	0.102	9.788	10	20	0.237	4.219	40	50	0.381	2.628	10
6° 0′	0.105	9.514	84° 0′	30	0.240	4.165	30	21° 0′	0.384	2.605	69° 0′
10	0.108	9.255	83°50	40	0.243	4.113	20	10	0.387	2.583	68°50
20	0.111	9.010	40	50	0.246	4.061	10	20	0.391	2.560	40
30	0.114	8.777	30	14° 0′	0.249	4.011	76° 0′	30	0.394	2.539	30
40	0.117	8.556	20	10	0.252	3.962	75°50	40	0.397	2.517	20
50	0.120	8.345	10	20	0.256	3.914	40	50	0.401	2.496	10
7° 0′	0.123	8.144	83° 0′	30	0.259	3.867	30	22° 0′	0.404	2.475	68° 0′
10	0.126	7.953	82°50	40	0.262	3.821	20	10	0.407	2.455	67°50
20	0.129	7.770	40	5υ	0.265	3.776	10	20	0.411	2.434	40
	ctg	tg	კუთხე		ctg	tg		კუთხე	ctg	tg	კუთხე

ტანგენსი და კოტანგენსი

კუთხე	tg	ctg		კუთხე	tg	ctg		კუთხე	tg	ctg	
22° 30	0.414	2.414	67°30	30° 0′	0.577	1.732	60° 0′	37°30	0.767	1.303	52°30
40	0.418	2.394	20	10	0.581	1.720	59°50	40	0.772	1.295	20
50	0.421	2.375	10	20	0.585	1.709	40	50	0.777	1.288	10
				30	0.589	1.698	30				
23° 0′	0.424	2.356	67° 0′	40	0.593	1.686	20	38° 0′	0.781	1.280	52° 0′
10	0.428	2.337	66°50	50	0.597	1.675	20	10	0.786	1.272	51°50
20	0.431	2.318	40					20	0.791	1.265	40
30	0.435	2.300	30	31° 0′	0.601	1.664	59° 0′	30	0.795	1.257	30
40	0.438	2,282	20	10	0·605	1.653	58°50	40	0.800	1.250	20
50	0.442	2.264	10	20	0.609	1.643	40	50	0.805	1.242	10
				30	0.613	1.632	30				
24° 0′	0.445	2.246	66° 0′	40	0.617	1.621	20	39° 0′	0.810	1.235	51° 0′
10	0.449	2.229	65°50	50	0.621	1.611	10	10	0.815	1.228	50°50
20	0.452	2.211	40					20	0.819	1.220	40
30	0.456	2 194	30	32° 0′	0.625	1.600	58° 0′	30	0.824	1.213	30
40	0.459	2.177	20	10	0.629	1.590	57°50	40	0.829	1.206	20
50	0.463	2.161	10	20	0.633	1.580	40	50	0.834	1.199	10
				30	0.637	1.570	30				
25° 0′	0.466	2.145	65° 0′	40	0.641	1.560	20	40° 0′	0.839	1.192	50° 0′
10	0.470	2.128	64°50	50	0.645	1.550	10	10	0.844	1.185	49°50
20	0.473	2 112	40					20	0.849	1.178	40
30	0.477	2.097	30	33° 0′	0.649	1.540	57° 0′	30	0.854	1.171	30
40	0.481	2.081	20	10	0.654	1.530	56°50	40	0.859	1.164	20
50	0.484	2.066	10	20	0.658	1.520	40	50	0.864	1.157	10
				30	0.662	1.511	30				
26° 0′	0.488	2.050	64° 0′	40	0.666	1.501	20	41° 0′	0.869	1.150	49° 0′
10	0.491	2.035	63°50	50	0.670	1.492	10	10	0.874	1.144	48°50
20	0.495	2.020	40					20	0.880	1.137	40
30	0.499	2.006	30	34° 0′	0.675	1.483	56° 0′	30	0 885	1.130	30
40	0.502	1.991	20	10	0 679	1.473	55°50	40	0.890	1.124	20
50	0.506	1.977	10	20	0.683	1.464	40	50	0.895	1.117	10
				30	0.687	1.455	30	42° 0	0.900	1.111	48° 0′
27° 0′	0.510	1.963	63° 0′	40	0.692	1.446	20	10	0.906	1.104	47°50
10	0.513	1.949	62°50	50	0.696	1.437	10	20	0.911	1.098	40
20	0.517	1.935	40					30	0.916	1.091	30
30	0.521	1.921	30	35° 0′	0.700	1.428	55° 0′	40	0.922	1.085	20
40	0.524	1.907	20	10	0.705	1.419	54°50	50	0.927	1.079	10
50	0.528	1.894	10	20	0.709	1.411	40				
				30	0.713	1.402	30	43° 0′	0.933	1.072	47° 0′
28° 0′	0.532	1.881	62° 0′	40	0.718	1.393	20	10	0.938	1.066	46°50
10	0.535	1.868	61°50	50	0,722	1.385	10	20	0.943	1.060	40
20	0.539	1.855	40					30	0.949	1.054	30
30	0.543	1.842	30	36° 0′	0.727	1.376	54° 0′	40	0.955	1.048	20
40	0.547	1.829	20	10	0.731	1.368	53°50	50	0.960	1.042	10
50	0.551	1.816	10	20	0.735	1.360	40				
				30	0.740	1.351	30	44° 0′	0.966	1.036	46° 0′
29° 0′	0.554	1.804	61° 0′	40	0.744	1.343	20	10	0.971	1.030	45°50
10	0.558	1.792	60°50	50	0.749	1.335	10	20	0.977	1.024	40
20	0.562	1.780	40					30	0.983	1.018	30
30	0.566	1.767	30	37° 0′	0.754	1.327	53° 0′	40	0.988	1.012	20
40	0.570	1.756	20	10	0.758	1.319	52°50	50	0.994	1.006	10
50	0.573	1.744	10	20	0.763	1.311	40	45° 0′	1.000	1.000	45° 0′
	ctg	tg	კუთხე		ctg	tg	კუთხე		ctg	tg	კუთხე

ცხრილი 2

დრეკადობის მოდული და პუასონის კოეფიციენტი

მასალის დასახელება	დრეკადობის მოდული E კგ/სმ²-ში	დრეკადობის მოდული G კგ/სმ²-ში	პუასონის კოეფიციენტი μ
თუჯი რუხი, თეთრი . .	$1{,}15 \div 1{,}6 \cdot 10^6$	$4.5 \cdot 10^5$	$0{,}23 \div 0{,}27$
ჭედადი თუჯი . .	$1{,}55 \cdot 10^6$	—	—
ნახშირბადიანი ფოლადი .	$2.0 \div 21, \cdot 10^6$	$8{,}1 \cdot 10^5$	$0{,}24 \div 0{,}28$
ფოლადი სხმული	$1{,}75 \cdot 10^6$	—	—
ნაგლინი სპილენძი . .	$1, 1 \cdot 10^6$	$4{,}0 \cdot 10^5$	$0{,}31 \div 0{,}34$
ცივადწევადი სპილენძი	$1, 3 \cdot 10^6$	$4{,}9 \cdot 10^5$	—
სპილენძი სხმული	$0{,}84 \cdot 10^6$	—	—
ნაგლინი ფოსფორიანი ბრინჯაო	$1{,}15 \cdot 10^6$	$4{,}2 \cdot 10^5$	$0{,}32 \div 0{,}35$
ცივადწევადი თითბერი .	$0.91 \div 0{,}99 \cdot 10^6$	$3{,}5 \div 3{,}7 \cdot 10^5$	$0{,}32 \div 0{,}42$
საგემო ნაგლინი თითბერი . .	$1, 0 \cdot 10^6$	—	$0{,}36$
ნაგლინი მარგანეციანი ბრინჯაო .	$1. 1 \cdot 10^6$	$4{,}0 \cdot 10^5$	$0{,}35$
ნაგლინი ალუმინი	$0.69 \cdot 10^6$	$2{,}6 \div 2{,}7 \cdot 10^5$	$0{,}32 \div 0{,}36$
წევადი ალუმინის მავთული . . .	$0, 7 \cdot 10^6$	—	—
სხმული ალუმინიანი ბრინჯაო .	$1{,}05 \cdot 10^6$	$4{,}2 \cdot 10^5$	—
ნაგლინი დურალუმინი .	$0{,}71 \cdot 10^6$	$2{,}7 \cdot 10^5$	—
ნაგლინი თუთია . .	$0{,}84 \cdot 10^6$	$3{,}2 \cdot 10^5$	$0{,}27$
ტყვია .	$0{,}17 \cdot 10^6$	$0{,}70 \cdot 10^5$	$0{,}42$
ყინული .	$0, 1 \cdot 10^6$	$(0{,}28 \div 0{,}3) 10^5$	—
შუშა .	$0{,}56 \cdot 10^6$	$2{,}2 \cdot 10^5$	$0{,}25$
გრანიტი .	$0{,}49 \cdot 10^6$	—	—
კირქვა . .	$0{,}42 \cdot 10^6$	—	—
მარმარილო .	$0{,}56 \cdot 10^6$	—	—
სილნარი .	$0{,}18 \cdot 10^6$	—	—
ქვის წყობა			
ა) გრანიტისაგან .	$0{,}09 \div 0{,}1 \cdot 10^6$	—	—
ბ) კირქვისაგან . .	$0{,}06 \cdot 10^6$	—	—
გ) აგურისაგან	$0{,}027 \div 0{,}030 \cdot 10^6$	—	—
ბეტონი, როცა სიმტკიცის ზღვარია	—	—	$0{,}16 \div 0{,}18$
100 კგ/სმ²-ზე .	$0{,}196 \div 0{,}146 \cdot 10^6$	—	—
150 „ .	$0{,}214 \div 0{,}164 \cdot 10^6$	—	—
200 „	$0{,}232 \div 0{,}182 \cdot 10^6$	—	—
ხე ბოჭკოების გასწვრივ .	$0{,}1 \div 0{,}12 \cdot 10^6$	$0{,}055 \cdot 10^5$	—
ხე ბოჭკოების განივ .	$0{,}005 \div 0{,}01 \cdot 10^6$	—	—
კაუჩუკი .	$0{,}00008 \cdot 10^6$	—	$0{,}47$
ბაკელიტი .	$0{,}02 \div 0{,}03 \cdot 10^6$	—	—
ტექსტოლიტი .	$0{,}06 \div 0{,}1 \cdot 10^6$	—	—
გეტინაქსი .	$0{,}1 \div 0{,}17 \cdot 10^6$	—	—

ცხრილი 3

ზოგიერთი მახალის ხიმტკიცის ზღვარი (კგ/სმ²-ში)

მასალა			გაპიმვაზე	კუმშვაზე
თუჯები				
ჩვეულებრივი რუხი თუჯი		.	1400÷1800	6000÷10000
წვრილმარცვლიანი რუხი თუჯი		.	2100÷2500	14000-მდე
თეთრი თუჯი		.	—	17500-მდე
პლასტმასები				
ბაკელიტი		. .	200÷300	800÷1000
ცელულოიდი		. .	500÷700	—
ტექსტოლიტი		.	850÷1000	1300÷2500
გეტინაქსი		.	1500÷1700	1500÷1800
ბაკელიზებული ფანერა		.	1300	1150
ხე (15% ტენიანობის დროს)				
ფიჭვი	ბოჭკოების გასწვრივ	.	800	400
	ბოჭკოების განივ	.	—	50
ნაძვი	ბოჭკოების გასწვრივ	.	650	350
	ბოჭკოების განივ	.	—	40
მუხა	ბოჭკოების გასწვრივ	.	950	500
	ბოჭკოების განივ	.	—	150
ბუნებრივი ქვები (საშუალოდ)				
გრანიტი		.	30	1200÷2600
დიაბაზი		.	50	1300÷2100
გნეისი		.	—	1400÷2400
კვარციტი		.	—	1400÷2600
სილნარი		.	20	400÷1500
კირნარი		.	—	500÷1500
აგური		.	—	74÷300
ბეტონი		.	—	50÷350
ყინული (საშუალოდ)	დატვირთვის მცირე სიჩქარეების დროს, $t=0^\circ$	.	≈10	10÷20
	დატვირთვის მცირე სიჩქარეების დროს, $t=-12^\circ \div -15^\circ$	.	—	57÷70
	დატვირთვის დიდი სიჩქარეების დროს, $t=0^\circ$	.	—	5÷10
	დატვირთვის დიდი სიჩქარეების დროს, $t=-12^\circ \div -15^\circ$	.	—	15÷48

ცხრილი 4

ხაზობრივი გაფართოების α კოეფიციენტი 1° C დროს

მასალის დასახელება	α	მასალის დასახელება	α
ალუმინი .	$255 \cdot 10^{-7}$	ყინული .	$507 \cdot 10^{-7}$
მაგნიუმი . .	$255 \cdot 10^{-7}$	ფოლადი . .	$(100 \div 130) \cdot 10^{-7}$
სპილენძი	$167 \cdot 10^{-7}$	ქვის წყობა . .	$(40 \div 70) \cdot 10^{-7}$
ბრინჯაო და თითბერი	$(170 \div 220) \cdot 10^{-7}$	ხე . . .	$(20 \div 50)\ 10^{-7}$
ბეტონი	$(100 \div 140) \cdot 10^{-7}$		

ცხრილი 5

α, β და γ კოეფიციენტების მნიშვნელობა სწორკუთხოვანი კვეთის გრეხისას

$m = \frac{h}{b}$	α	β	γ
1.0	0.140	0,208	1,0
1,5	0.294	0,346	0,859
2.0	0,457	0,493	0.795
3,0	0,790	0,801	0,753
4.0	1.123	1,150	0,745
6,0	1,789	1,789	0.743
8,0	2.456	2,456	0.742
10,0	3,123	3,123	0,742

ცხრილი 6

კოეფიციენტი φ

მოქნილობა $\lambda = \frac{\mu l}{i}$	φ-ის მნიშვნელობა სხვადასხვა მასალისათვის				
	ფოლადი 4, 3, 2, ОС მარკის	ფოლადი 5	ფოლადი СПК	თუჯი	ხე
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1.00
10	0,99	0,98	0,97	0,97	0,99
20	0,96	0,95	0,95	0,91	0,97
30	0,94	0,92	0.91	0.81	0,93
40	0,92	0.89	0,87	0,69	0.87
50	0,89	0,86	0,83	0,57	0,80
60	0.86	0,82	0.79	0,44	0.71
70	0,81	0,76	0,72	0,34	0,60
80	0.75	0,70	0,65	0,26	0,48
90	0.69	0,62	0,55	0,20	0,38
100	0,60	0,51	0,43	0,16	0,31
110	0,52	0,43	0,35	—	0,25
120	0,45	0,36	0,30	—	0,22
130	0,40	0,33	0,26	—	0,18
140	0,36	0,29	0,23	—	0,16
150	0,32	0,26	0,21	—	0,14
160	0.29	0,24	0,19	—	0,12
170	0,26	0,21	0,17	—	0,11
180	0,23	0,19	0,15	—	0,10
190	0,21	0,17	0,14	—	0,09
200	0,19	0,16	0,13	—	0,08

ცხრილი 7

β-მნიშვნელობებისათვის

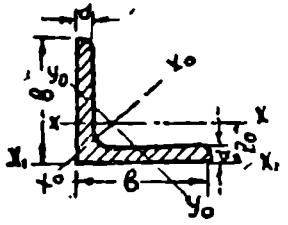
$\alpha = \frac{C_2}{C_1}\left(\frac{l}{h}\right)^2$	β_1	β_2	β_3	$\alpha = \frac{C_2}{C_1}\left(\frac{l}{h}\right)^2$	β_1	β_2	β_3
1	2	3	4	1	2	3	4
0,1	31,6	86,4	143,0	16	5.08	18,3	30,5
1,0	9,76	31,9	53,0	20	—	18,1	30,1
2,0	8,03	25,6	42,6	32	—	17,9	29,4
4,0	6,73	21,8	36,3	50	—	17,5	29,0
6,0	6,19	20,3	33,8	70	—	17,4	28,8
8,0	5,87	19.6	32,6	90	4,04	17,2	28.6
12,0	5,36	18,8	31,5	100	4,04	17,2	28.6

2 სვეტში მოცემულია კონსოლური კოჭისათვის, თუ ძალა მოქმედებს მის ბოლოზე,

3 „ „ ორ საყრდენზე მდებარე კოჭისათვის, თუ ძალა მოქმედებს შუა კვეთში;

4 ორ საყრდენზე მდებარე კოჭისათვის, თუ მასზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული ტვირთი.

ცხრილი 8



ნაგლინი ფოლადის სორტიმენტი ОСТ 10014-39, ОСТ 10017-39-ის შესაბამისად

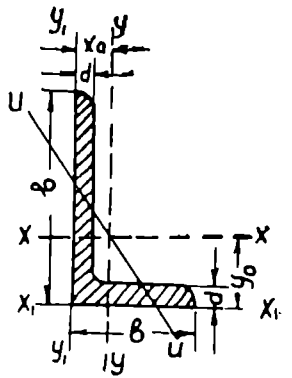
ტოლგვერდა კუთხედები

პროფილების ნომრები	1 გრძ. მეტრის წონა კგ-ობით	ზომები, მმ-ობით				ფარ-თობი სმ²-ში	xx ღერძი		x_0x_0 ღერძი		y_0y_0 ღერძი		x_1x_1 ღერძი	სიმძიმის ცენტრის z_0 დაშორება სმ-ობით
		b	d	R	r		J_x სმ⁴-ში	i_x სმ-ში	მაქს. J_{x_0} სმ⁴-ში	მაქს. i_{x_0} სმ-ში	მინ J_{y_0} სმ⁴-ში	i_{y_0} სმ-ში	J_{x_1} სმ⁴-ში	
2	0,89	20	3	3,5	1,2	1,13	0,40	0,60	0,63	0,75	0,17	0,39	0,81	0,60
	1,15		4			1,46	0,49	0,58	0,78	0,73	0,21	0,38	1,09	0,64
2,5	1,12	25	3	3,5	1,2	1,43	0,80	0,75	1,28	0,95	0,32	0,47	1,56	0,73
	1,46		4			1,86	1,02	0,74	1,63	0,94	0,41	0,47	2,12	0,77

პროფილების ნომრები	1 გრძ. მეტრის წონა კგ-ობით	ზომები, მმ-ობით				ფართ. F პროფილის სმ²-ობით	xx ღერძი		x_0x_0 ღერძი		y_0y_0 ღერძი		x_1x_1 ღერძი	სიმძიმის ცენტრის z_0 დაშორება სმ-ობით
		b	d	R	r		J_x სმ⁴-ში	i_x სმ-ში	მაქს. J_{x_0} სმ⁴-ში	მაქს i_{x_0} სმ-ში	მინ J_{y_0} სმ⁴-ში	i_{y_0} სმ-ში	J_{x_1} სმ⁴-ში	
3	1,78	30	4	4,5	1,5	2,27	1,82	0,90	2,90	1,13	0,75	0,58	3,62	0,89
	2,18		5			2,78	2,20	0,89	3,47	1,12	0,93	0,58	4,58	0,93
3,5	2,10	35	4	4,5	1,5	2,67	3,02	1,06	4,47	1,34	1,27	0,69	5,74	1,01
	2,57		5			3,28	3,61	1,05	5,71	1,32	1,51	0,68	7,23	1,05
4	2.42	40	4	5,0	1,7	3,08	4,60	1,22	7,26	1,53	1,93	0,79	8,53	1,13
	2,97		5			3,79	5,54	1,21	8,75	1,52	2,34	0,78	10,7	1,17
	3,52		6			4,48	6,41	1,20	1,01	1,50	2,70	0,78	1,30	1,21
4,5	2,73	45	4	5,0	1,7	3,48	6,60	1,38	1.05	1,74	2.68	0,88	12,1	1,26
	3,37		5			4,29	8,00	1,37	1,27	1,72	3,26	0,87	15 3	1,30
	3,99		6			5,08	9,29	1,35	1,48	1,71	3,78	0,86	18,4	1,34
5	3,77	50	5	5,5	1,8	4,80	11,2	1,53	17,8	1,92	4,61	0.98	20.9	1,42
	4,47		6			5,69	13,1	1,52	20.7	1,91	5,39	0,97	25,2	1,46
6	4,57	60	5	6,5	2,2	5,82	19,9	1,85	31,4	2.32	8,29	1,19	35.9	1,66
	5,42		6			6,91	23,3	1,84	36,8	2,31	9.76	1.19	43,3	1,70
	7,09		8			9,03	29,6	1,81	46,8	2,28	12,4	1,17	58.2	1,78
6,5	5,93	65	6	8,0	2,7	7,55	29,8	1,98	47,2	2,50	12,3	1,28	54,8	1,82
	7,75		8			9,87	38,1	1,96	60,3	2,48	15,8	1,27	73,7	1,90
	9,51		10			12,1	45,4	1,94	72,0	2,44	18,8	1,25	92,9	1,98
7,5	6,89	75	6	9,0	3,0	8,78	46,7	2,31	73,3	2,89	20,1	1,51	83,9	2,06
	9,03		8			11,5	60,1	2.28	94,9	2,87	25,3	1,48	113	2,14
	11,1		10			14,1	72,2	2,26	114	2,84	30,3	1,47	142	2,22
	13,1		12			16,7	83,3	2,24	132	2.81	34,9	1,45	172	2,30

პროფილების ნომრები	1 გრძ. მეტრის წონა კგ-ობით	ზომები. მმ-ობით				პროფილის F ფართობი სმ²-ში	xx ღერძი		x_0x_0 ღერძი		y_0y_0 ღერძი		x_1x_1 ღერძი	სიმძიმის ცენტრის z_0 დაშორება სმ-ობით
		b	d	k	r		Jx სმ⁴-ში	ix სმ-ობით	მაქს. Jx_0 სმ⁴-ში	მაქს. ix_0 სმ-ობით	მინ. Jy_0 სმ⁴-ში	მინ. iy_0 სმ-ობით	Jx_1 სმ⁴-ში	
8	7.36	80	6	90	3.0	9,38	57,0	2.47	90	3.11	23,5	1,58	102	2,19
	9,66		8			12,3	73.3	2,44	116	3,07	30,3	1,57	137	2,27
	11,9		10			15,1	88,4	2.42	140	3,05	36.5	1.56	172	2,35
9	11,0	90	8	11	3,7	14,0	106	2,76	168	3,46	43.6	1,77	194	2,51
	13,5		10			17,2	128	2,74	204	3,44	53,1	1,76	244	2,59
	16,0		12			20,4	149	2.71	237	3.41	61,7	1,75	294	2,67
	18,4		14			23,4	169	2,69	267	3,38	71,9	1.75	345	2,74
10	12.3	100	8	12	4,0	15,6	147	3.07	233	3,87	61,0	1,98	265	2,75
	15,1		10			19.2	179	3,05	284	3,85	74,9	1,97	333	2,83
	17,9		12			22.8	209	3,03	331	3,81	87,6	1,96	402	2,91
	20,6		14			26.3	237	3,01	375	3,78	99,1	1.95	472	2,99
	23,3		16			29,7	265	2.99	416	3,75	113	1,95	542	3,06
12	18,3	120	10	13	4.3	23.3	316	3.68	503	4,64	130	2,36	575	3,33
	21.7		12			27,6	371	3,66	590	4,62	153	2,35	693	3,41
	25.1		14			31,9	423	3,64	671	4,59	174	2,34	811	3,49
	28,4		16			36.1	474	3,62	749	4,56	199	2,34	931	3,56
	31.6		18			40,3	520	3,60	822	4,54	219	2,33	1052	3,64
13	19,8	139	10	13	4,3	25,3	409	4,01	646	5,05	166	2,56	730	3,58
	23,6		12			30,0	477	3,99	759	5,03	196	2,55	880	3,66
	27,3		14			34,7	545	3,96	866	5,00	223	2,54	1030	3.74
	30,9		16			39,3	608	3,93	967	4,96	249	2.52	1182	3.82

პროფილების ნომრები	1 გრძ. მეტრის წონა კგ-ობით	ზომები, მმ-ობით				პროფილის F ფართობი სმ²-ში	xx ღერძი		x_0x_0 ღერძი		y_0y_0 ღერძი		x_1x_1 ღერძი	სიმძიმის ცენტრისაგან დაშორება სმ-ობით
		b	d	R	r		J_x სმ⁴-ში	i_x სმ-ობით	მაქს. J_{x_0} სმ⁴-ში	მაქს i_{x_0} სმ-ობით	მინ. J_{y_0} სმ⁴-ში	მინ. i_{y_0} სმ-ობით	J_{x_1} სმ⁴-ში	
15	27,4	150	12	15	5,0	34,9	745	4.62	1186	5,83	305	2,95	1347	4,15
	31.7		14			40,4	857	4.60	1358	5.80	356	2,97	1577	4,22
	36,0		16			45,8	961	4,58	1522	5,77	399	2,95	1808	4,30
	40,1		18			51.1	1060	4,56	1679	5,73	440	2,94	2041	4.38
	44,3		20			56.4	1154	4.52	1830	5,70	478	2,91	2275	4,46
18	38,3	180	14	15	5,0	48.8	1515	5.57	2405	7,03	625	3,58	2721	4,97
	43,5		16			55,4	1704	5,55	2705	7,00	703	3,56	3117	5,05
	48,6		18			61,9	1885	5,52	2994	6,94	775	3.54	3515	5,13
20	48,7	200	16	18	6,0	62,0	2355	6,17	3755	7,79	954	3,93	4264	5,55
	54,4		18			69,3	2619	6,15	4165	7,77	1074	3,93	4808	5,62
	60,1		20			76,5	2868	6,13	4560	7,74	1175	3,92	5355	5,70
	71,3		24			90.8	3349	6,07	5313	7,66	1384	3,90	6456	5,85
	88,3		30			111,5	3999	5,96	6373	7,49	1685	3,87	8093	6,03
22	53,7	220	16	21	7,0	68,4	3168	6,80	5046	8,59	1307	4,37	5661	6,04
	66,4		20			84,5	3859	6,75	6120	8,51	1592	4,34	7003	6,20
	78,8		24			100,4	5414	6,71	7148	8,44	1870	4,32	8560	6,35
	91,0		28			116,0	5135	6,66	8130	8,37	2141	4,30	10029	6,50
23	82,6	230	24	20	7,0	105,8	5207	7,03	8266	8,86	2144	4,51	9780	6,59

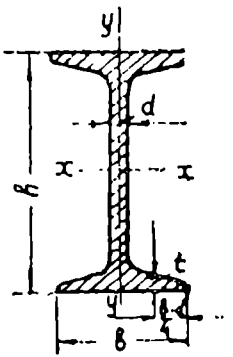


არატოლფერდა კუთხედები

პროფილის ნომერი	ზომები მმ-ობით					ჭრილის F ფართობი სმ²-ში	წონა 1 მ-ის კგ-ობით	ღერძების მიმართ სიდიდეები										
								ღერძი x—x		ღერძი y—y		ღერძი x_1—x_1		ღერძი y_1—y_1		ღერძი u—u		
	B	b	d	R	r			J_x სმ⁴	i_x სმ	J_y სმ⁴	i_y სმ	J_{x_1} სმ⁴	სიმძიმის ცენტრის დაშორება y_0-სმ.	მინიმალური J_{y_1} სმ⁴	სიმძიმის ცენტრის დაცილება x_0 სმ.	მინიმალური J_u სმ⁴	მინიმალური i_u სმ.	ღერძის დახრის კუთხე tg α.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
3/2	30	20	3	3,5	1,2	1,43	1,12	1,27	0,94	0,45	0,56	2,69	1,00	0,82	0,51	0,26	0,43	0,430
			4			1,86	1,46	1,61	0,93	0,56	0,55	3,61	1,04	1,12	0,55	0,34	0,43	0,422
3,5/2	35	20	4	3,5	1,2	2,06	1,62	2,48	1,10	0,53	0,53	5,62	1,25	1,11	0,51	0,37	0,42	0,320
			5			2,52	1,98	2,98	1,09	0,70	0,53	7,15	1,29	1,45	0,55	0,45	0,42	0,310
4,5/3	45	30	4	5,0	1,7	2,88	2,26	5,81	1,42	2,06	0,84	12,1	1,48	3,65	0,72	1,21	0,65	0,432
			6			4,18	3,28	8,15	1,40	2,85	0,83	18,3	1,56	5,65	0,82	1,69	0,64	0,423

პროფილის ნომერი	ზომები მმ-ობით					ფართობი სმ²-ობით	წონა 1 მ სმ-ობით	ღერძების მიმართ სიდიდეები											
								ღერძი $x-x$		ღერძი $y-y$		ღერძი x_1-x_1		ღერძი y_1-y_1		ღერძი $u-u$			
	B	b	d	R	r	F		J_x სმ⁴	i_x სმ	J_y სმ⁴	i_y სმ	J_{x_1} სმ⁴	სიმძიმის ცენტრის დაშორება y_0-სმ.	მინიმალური J_{y_1} სმ⁴	სიმძიმის ცენტრის დაშორება x_0 სმ.	მინიმალური J_u სმ⁴	მინიმალური i_u სმ.	ღერძის დახრის კუთხე tg α
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
6 / 4	60	40	5	7,0	2,3	4,83	3,79	17,4	1,90	6,19	1,13	35,8	1.95	10,8	0.97	3.62	0.87	0,432
			6			5,72	4,49	20,3	1,88	7.20	1,12	43,1	2,0	13,1	1,01	4,20	0.86	0.430
			8			7,44	5,84	25,8	1,86	9,04	1,10	57.9	2.08	17,9	1,09	5.39	0,85	0,420
7,5 / 5	75	50	5	8,0	2,7	6,11	4,80	34,9	2,39	12,5	1.43	69,9	2,39	20,9	1,17	7,24	1,09	0.435
			6			7,25	5,69	41,0	2,37	14,6	1,42	81,0	2,44	25,3	1,21	8,48	1,08	0,434
			8			9,47	7,43	52,4	2,35	18.6	1,40	113	2,52	34,3	1.29	10,9	1.07	0,428
			10			11,6	9,11	63,0	2,33	22,1	1,38	141	2.60	43.7	1,36	13.2	1,07	0,423
8 / 5,5	80	55	6	8,0	2,7	7,85	6,16	50,6	2,53	19,6	1.58	102	2.56	33,4	1,33	11,1	1,19	0.462
			8			10.3	8,06	64,9	2,51	24,9	1,56	136	2.64	45,3	1,41	14,3	1.19	0,458
			10			12,6	9,90	78,2	2,49	29,8	1,54	171	2,72	57,5	1,48	17,4	1,18	0,452
9 / 6	90	60	6	9	3	8,78	6,90	72,4	2.87	26.0	1,72	145	2.88	43.4	1,41	14,7	1.30	0,437
			8			11,5	9,08	93,2	2,85	33,2	1,70	194	2,96	58,6	1.49	19.3	1,29	0,433
			10			14,1	11,10	113,0	2,82	39,8	1,68	244	3,05	74.4	1.56	23.5	1,29	0,429
10 / 7,5	100	75	8	10	3,3	13,5	10,6	135	3,16	65,0	2,19	266	3,11	113	1,88	35,4	1,62	0.548
			10			16,7	13,1	163	3,13	78,5	2,17	333	3,20	143	1.96	42.6	1,60	0.545
			12			19,7	15,5	190	3,11	91.1	2,15	402	3,27	173	2,04	49.8	1.59	0,541
12 / 8	120	80	8	11	3,7	15,6	12,2	229	3,83	82,3	2,30	459	3,85	137	1.88	47,6	1,75	0,438
			10			19,2	15,1	279	3,81	99,6	2.27	575	3,93	178	1,96	57.7	1,73	0,436
			12			22,8	17,9	326	3,79	116	2,25	692	4,01	210	2,04	66,6	1,71	0,432

პროფილის ნომერი	ზომები მმ-ობით					ჭრილის ფართობი F სმ²-ობით	წონა 1 მ-ზე კგ-ობით	ღერძების მიმართ სიდიდეები										
								ღერძი x—x		ღერძი y—y		ღერძი x_1—x_1		ღერძი y_1—y_1		ღერძი u—u		
	B	b	d	R	r			J_x სმ⁴	i_x სმ	J_y სმ⁴	i_y სმ	J_{x_1} სმ⁴	სიმძიმის ცენტრის დაშორება x_0 სმ	მინიმალური J_{y_1} სმ⁴	სიმძიმის ცენტრის დაშორება x_0 სმ	მინიმალური J_u სმ⁴	მინიმალური i_u სმ.	ღერძის დახრის კუთხე tg α.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
13/9	130	90	8	12	4,0	17,2	13,5	297	4,15	118	2,62	583	4,08	195	2,11	66,5	1,97	0,471
			10			21,3	16,7	362	4,12	143	2,59	731	4,16	245	2,19	81,4	1,95	0,469
			12			25,2	19,8	424	4,10	167	2,57	879	4,25	297	2,27	94,8	1,94	0,467
			14			29,1	22,8	484	4,08	189	2,55	1028	4,33	349	2,35	109	1,93	0,464
15/10	150	100	10	13	4,3	24,3	19,1	557	4,78	201	2,87	1120	4,81	335	2,35	115	2,18	0,439
			12			28,8	22,6	695	4,76	235	2,85	1347	4,90	405	2,43	137	2,18	0,437
			14			33,3	26,2	749	4,73	267	2,83	1575	4,98	476	2,51	156	2,16	0,434
			16			37,7	29,6	839	4,71	297	2,81	1804	5,06	549	2,59	175	2,15	0,430
18/12	180	120	12	14	4,7	34,9	27,4	1156	5,75	417	3,46	2325	5,79	695	2,82	240	2,62	0,440
			14			40,4	31,7	1326	5,73	476	3,44	2717	5,87	816	2,90	279	2,62	0,438
			16			45,8	35,9	1490	5,71	532	3,41	3111	5,95	939	2,98	309	2,60	0,436
20/12	200	120	12	14	4,7	37,3	29,2	1546	6,45	428	3,39	3188	6,64	696	2,68	259	2,64	0,364
			14			43,2	33,9	1776	6,42	489	3,36	3725	6,72	818	2,76	295	2,61	0,362
			16			4 ,0	38,4	1997	6,38	547	3,34	4264	6,80	941	2,84	331	2,60	0,360
20/15	200	150	12	17	5,7	41,0	32,2	1666	6,37	810	4,44	4181	6,08	1347	3,62	436	3,26	0,552
			16			53,9	42,3	2155	6,32	1043	4,40	4272	6,27	1812	3,78	562	3,23	0,549
			18			60,3	47,3	2388	6,30	1153	4,38	4800	6,33	2048	3,85	623	3,21	0,548
			20			66,5	52,2	2614	6,27	1258	4,35	5344	6,41	2285	3,93	683	3,21	0,546

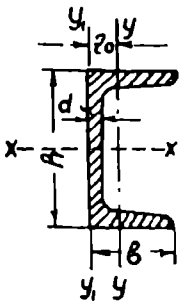


ორტესებრი კოჭები

პროფილების ნომრები	1 გრძ. მ წონა კგ-ობით	ზომები მმ-ობით						ფართობი F სმ²-ში	ღერძებისათვის						პროფილების ნომრები
									x-x				y-y		
		h	b	d	t	r	r_1		J_x სმ⁴-ში	W_x სმ³-ში	i_x სმ-ობით	$J_x : S_x$	J_y სმ⁴-ში	W_y სმ³-ში	i_y სმ-ობით	
10	11,2	100	68	4,5	7,6	6,5	3,3	14,3	245	49	4,14	8.59	33,0	9,72	1,52	10
12	14,0	120	74	5,0	8,4	7,0	3,5	17,8	436	72,7	4,95	10,3	46,9	12,7	1,62	12
14	16,9	140	80	5,5	9,1	7,5	3,8	21,5	712	102	5,76	12,0	64,4	16,1	1,73	14
16	20,5	160	88	6,0	9,9	8,0	4.0	26,1	1130	141	6,58	13,8	93,1	21,2	1,89	16
18	24,1	180	94	6,5	10,7	8,5	4,3	30,6	1660	185	7,36	15,4	122	26,0	2,00	18
20 $\frac{a}{b}$	27,9 31,1	200 200	100 102	7,0 9,0	11,4 11,4	9,0 9,0	4,5 4,5	35,5 39,5	2370 2500	237 250	8,15 7,96	17,2 16,9	158 169	31,5 33,1	2,12 2,06	$\frac{a}{b}$ 20
22 $\frac{a}{b}$	33,0 36,4	220 220	110 112	7,5 9,5	12,3 12,3	9,5 9,5	4,8 4,8	42,0 46,4	3400 3570	309 325	8,99 8,78	18,9 18,7	225 239	40,9 42,7	2,31 2,27	$\frac{a}{b}$ 22

პროფილების ნომრები	1 გრძ. მ წონა კგ-ობით	ზომები მმ-ობით						ფართობი F სმ²-ში	ღერძებისათვის							პროფილების ნომრები
									xx				yy			
		h	b	d	t	r	r_1		J_x სმ⁴-ში	W_x სმ³-ში	i_x სმ-ობით	$J_x : S_x$	J_y სმ⁴-ში	W_y სმ³-ში	i_y სმ-ობით	
24 $\frac{a}{b}$	37,4 41,2	240 240	116 118	8,0 10,0	13,0 13,0	10,0 10,0	5,0 5,0	47,7 52,6	4570 4800	381 400	9,77 9,57	20,7 20,4	280 297	48,4 50,4	2,42 2,38	$\frac{a}{b}$ 24
27 $\frac{a}{b}$	42,8 47,1	270 270	122 124	8,5 10,5	13,7 13,7	10,5 10,5	5,3 5,3	54,6 60,0	6550 6870	485 509	10,9 10,7	23,8 22,9	345 366	56,6 58,9	2,51 2,47	$\frac{a}{b}$ 27
30 $\frac{a}{b}$ $\frac{}{c}$	48,0 52,7 57,4	300 300 300	126 128 130	9,0 11,0 13,0	14,4 14,4 14,4	11,0 11,0 11,0	5,5 5,5 5,5	61,2 67,2 73,4	8950 9400 9850	597 627 657	12.1 11,8 11.6	25,7 25,4 25,0	400 422 445	63,5 65,9 68,5	2,55 2,50 2,46	$\frac{a}{b}$ 30 $\frac{}{c}$
33 $\frac{a}{b}$ $\frac{}{c}$	53,4 58,6 63,8	330 330 330	130 132 134	9,5 11,5 13,5	15,0 15,0 15,0	11,5 11,5 11,5	5,8 5,8 5,8	68,1 74,7 81,3	11900 12500 13100	721 757 794	13,2 12,9 12,7	28,3 27,9 27,5	460 484 510	70,7 73,4 76,1	2,60 2,55 2,51	$\frac{a}{b}$ 33 $\frac{}{c}$
36 $\frac{a}{b}$ $\frac{}{c}$	59,9 65,6 71,2	360 360 360	136 138 140	10,0 12,0 14,0	15,8 15,8 15,8	12,0 12,0 12,0	6,0 6,0 6,0	76,3 83,5 90,7	15760 16530 17310	875 919 962	14.4 14.1 13,8	30,7 30,3 29.9	552 582 612	81.2 84.3 87.4	2,69 2,64 2,60	$\frac{a}{b}$ 36 $\frac{}{c}$
40 $\frac{a}{b}$ $\frac{}{c}$	67.6 73,8 80.1	400 400 400	142 144 146	10,5 12,5 14,5	16,5 16,5 16.5	12,5 12.5 12,5	6,3 6.3 6,3	8,61 94.1 102	21720 22780 23850	1090 1140 1190	15.9 15.6 15,2	34.1 33,6 33,2	660 692 727	93.2 96.2 99,6	2,77 2,71 2,65	$\frac{a}{b}$ 40 $\frac{}{c}$

პროფილების ნომრები	1 გრძ. მ წონა კგ-ობით	ზომები მმ-ობით						ჯვრის F ფართობი სმ²-ში	ღერძებისათვის							პროფილური ნომრები
									xx				yy			
		h	b	d	t	r	r_1		J_x სმ⁴-ში	W_x სმ³-ში	i_x სმ-ობით	$J_x : S_x$	J_y სმ⁴-ში	W_y სმ³-ში	i_y სმ-ობით	
45 a	80,4	450	150	11,5	18	13,5	6,8	102	32240	1430	17,7	38,6	855	114	2,89	a
b	87,4	450	152	13,5	18	13,5	6,8	111	33760	1500	17,4	38,0	894	116	2,84	b 45
c	94,5	450	154	15,5	18	13,5	6,8	120	35280	1570	17,1	37,6	938	122	2,79	c
50 a	93,6	500	158	12	20	14	7,0	119	46470	1860	19,7	42,8	1120	142	3,07	a
b	101	500	160	14	20	14	7,0	129	48560	1940	19,4	42,4	1170	146	3,01	b 50
c	109	500	162	16	20	14	7,0	139	50640	2080	19,0	41,8	1220	151	2,96	c
55 a	105	550	166	12,5	21	14,5	7,3	134	62870	2290	21,6	46,9	1370	164	3,19	a
b	114	550	168	14,5	21	14,5	7,3	145	65640	2390	21,2	46,5	1420	170	3,14	b 55
c	123	550	170	16,5	21	14,5	7,3	156	68410	2490	20,9	45,8	1480	175	3,08	c
60 a	118	600	176	13	22	15	7,5	151	83860	2800	23,5	51,8	1700	193	3,36	a
b	128	600	178	15	22	15	7,5	163	87460	2920	23,2	50,7	1770	199	3,30	b 60
c	137	600	180	17	22	15	7,5	175	91060	3040	22,8	50,2	1840	205	3,24	c



ვარცლისებრები (შველერები)

პროფილების ნომრები	1 გრძ. მ წონა კგ-ობით	ზომები მმ-ობით						ჭრილის F ფართობი სმ²-ში	ღერძების მიმართ							
									xx			yy			y_1y_1	
		h	b	d	t	r	r_1		J_x სმ⁴-ში	W_x სმ³-ში	i_x სმ-ობით	J_y სმ⁴-ში	W_y სმ³-ში	i_y სმ-ობით	J_{y_1} სმ⁴-ში	z_0 სმ
5	5,44	50	37	4,5	7,0	7,0	3,5	6,93	26,0	10,4	1,94	8,3	3,55	1,10	20,9	1,35
6,5	6,70	65	40	4,8	7,5	7,5	3,75	8,54	55,2	17,0	2,54	12,0	4,59	1,19	28,3	1,38
8	8,04	80	43	5,0	8,0	8,0	4,00	10,24	101,3	25,3	3,15	16,6	5,79	1,27	37,4	1,43
10	10,00	100	48	5,3	8,5	8,5	4,25	12,74	198,3	39,7	3,95	25,6	7,80	1,41	54,9	1,52
12	12,06	120	53	5,5	9,0	9,0	4,50	15,36	346,3	57,7	4,75	37,4	10,17	1,56	77,7	1,62
$14\frac{a}{b}$	14,53	140	58	6,0	9,5	9,5	4,75	18,51	563,7	80,5	5,52	53,2	13,01	1,70	107,1	1,71
	16,73	140	60	8,0	9,5	9,5	4,75	21,31	609,4	87,1	5,35	61,1	14,12	1,69	120,6	1,67
$16\frac{a}{b}$	17,23	160	63	6,5	10,0	10,0	5,0	21,95	866,2	108,3	6,28	73,3	16,30	1,83	144,1	1,80
	19,74	160	65	8,5	10,0	10,0	5,0	25,15	934,5	116,8	6,10	83,4	17,55	1,82	160,8	1,75

პროფილების ნომრები	1 გრძ. მ წონა კგ-ობით	ზომები, მმ-ობით						ჯვრის F ფართობი სმ²-ში	ღერძებისათვის							
									xx			yy			y_1y_1	
		h	b	d	t	r	r_1		J_x სმ⁴-ში	W_x სმ³-ში	i_x-სმ-ობით	J_y სმ⁴-ში	W_y სმ³-ში	i_y სმ-ობით	J_{y_1} სმ⁴-ში	z_0 სმ
18 a	20,17	180	68	7,0	10,5	10,5	5,25	25,69	1272,7	141,4	7,04	98,6	20,03	1,96	189,7	1,88
b	22,99	180	70	9,0	10,5	10,5	5,25	29,29	1369,9	152,2	6,84	111,0	21,52	1,96	210,1	1,84
20 a	22,63	200	73	7,0	11,0	11,0	5,5	28,83	1780,4	178,0	7,86	128,0	24,20	2.11	244,0	2,01
b	25,77	200	75	9,0	11,0	11,0	5,5	32,83	1913,7	191,4	7,64	143,6	25,88	2,09	268,4	1,95
22 a	24,99	220	77	7,0	11,5	11,5	5,75	31,84	2393,9	217,6	8,67	157,8	28,17	2,23	298,2	2,10
b	28,45	220	79	9,0	11,5	11,5	5,75	36,24	2571,4	233,8	8,42	176,4	30,05	2,21	326,3	2,03
24 a	26,55	240	78	7,0	12,0	12,0	6.0	34,21	3052,2	254,3	9,45	173,8	30.47	2,25	324,6	2,10
b	30,62	240	80	9,0	12,0	12,0	6,0	39,00	3282,6	273,5	9,17	194,1	32,51	2.23	354,8	2,03
c	34,39	240	82	11,0	12,0	12,0	6,0	43,81	3513,0	292,7	8,96	213,4	34,42	2,21	388,1	2,00
27 a	30,83	270	82	7,5	12,5	12,5	6,25	39,27	4362,0	323,1	10,54	215,6	35,52	2,34	393.1	2,13
b	35,07	270	84	9,5	12,5	12,5	6,25	44,67	4690,1	347,4	10,25	239,2	37,72	2,31	428,2	2,06
c	39,30	270	86	11,5	12,5	12,5	6,25	50,07	5018,1	371,7	10,10	264.4	39,79	2,28	466.8	2.03

პროფილების ნომრები	1 გრძ. მ. წონა კგ-ობით	ზომები, მმ-ობით						ჭრილის F ფართობი სმ²-ში	ღერძებისათვის								
									xx			yy			y_1y_1	z_0 სმ
		h	b	d	t	r	r_1		J_x სმ⁴-ში	W_x სმ³-ში	i_x სმ-ობით	J_y სმ⁴-ში	W_y სმ³-ში	i_y სმ-ობით	J_{y_1} სმ⁴-ში	
30 *a*	34,45	300	85	7,5	13,5	13,5	6,75	43,89	6047,9	403,2	11,72	259,5	41,10	2,43	466,5	2,17
30 *b*	39,16	300	87	9,5	13,5	13,5	6,75	49,59	6497,9	433,2	11,41	289,2	44,03	2,41	515,2	2,13
30 *c*	43,87	300	89	11,5	13,5	13,5	6,75	55,89	6947,9	463,2	11,15	315,8	46,38	2,38	559,7	2,09
33 *a*	38,70	330	88	8,0	14,0	14,0	7,0	49,50	8076,8	589,5	12,80	307,5	46,65	2,50	547,6	2,21
33 *b*	43,88	330	90	10,0	14,0	14,0	7,0	55,90	8675,7	525,8	12,46	338,4	49,32	2,46	593,2	2,14
33 *c*	49,06	330	92	12,0	14,0	14,0	7,0	62,50	9274,7	562,1	12,18	367,9	51,81	2,43	643,4	2,10
36 *a*	47,80	360	96	9,0	16,0	16,0	8,0	60,89	11874,2	659,7	13,97	455,0	63,54	2,73	818,4	2,44
36 *b*	53,45	360	98	11,0	16,0	16,0	8,0	68,09	12651,8	702,9	13,63	496,7	66,85	2,70	880,4	2,37
36 *c*	59,10	360	100	13,0	16,0	16,0	8,0	75,29	13429,4	746,1	13,36	536,4	70,02	2,67	947,9	2,34
40 *a*	58,91	400	100	10,5	18,0	18,0	9,0	75,05	17577,9	878,9	15,30	592,0	78,83	2,81	1067,7	2,49
40 *b*	65,19	400	102	12,5	18,0	18,0	9,0	83,05	18644,5	932,2	14,98	640,0	82,52	2,78	1135,6	2,44
40 *c*	71,47	400	104	14,5	18,0	18,0	9,0	91,05	19711,2	985,6	14,71	687,8	86,19	2,75	1220,7	2,42

შ ი ნ ა ა რ ს ი

წინასიტყვაობა . გვ. 3

ნაწილი I

გაჭიმვა და კუმშვა

თ ა ვ ი პ ი რ ვ ე ლ ი. **სტატიკურად რკვევადი სისტემები** 5
მოკლე ცნობები თეორიიდან 5
§ 1. სისტემის ელემენტებში აღძრული ძალების განსაზღვრა . 7
§ 2. ძაბვების და დეფორმაციების განსაზღვრა 28
§ 3. ტვირთამტანიანობის განსაზღვრა და კვეთის შერჩევა . 47
თ ა ვ ი მ ე ო რ ე. **სტატიკურად ურკვევი სისტემები** 57
მოკლე ცნობები თეორიიდან 57
§ 4. ძაბვების და დეფორმაციების განსაზღვრა . 57
§ 5. ტვირთამტანიანობა და კვეთის შერჩევა . . . 88
§ 6. ხღვრული დატვირთვის მეთოდით გაანგარიშება . . 94
თ ა ვ ი მ ე ს ა მ ე. **საკუთარი წონის გავლენა. მოქნილი ძაფი** 102
მოკლე ცნობები თეორიიდან 102
§ 7. ძაბვების და დეფორმაციების გამოთვლა საკუთარი წონის მხედველობაში მიღებით . . 104
§ 8. მოქნილი ძაფი 110
თ ა ვ ი მ ე ო თ ხ ე. **რთული დაჭაბული მდგომარეობა** . 115
მოკლე ცნობები თეორიიდან 115
§ 9. ხაზოვანი, ბრტყელი და მოცულობითი დაძაბული მდგომარეობა 117
§ 10. თხელკედლიანი ჭურჭლის გაანგარიშება . . 127

ნაწილი II

ძვრა და გრეხა

თ ა ვ ი მ ე ხ უ თ ე. **ძვრა** . 135
მოკლე ცნობები თეორიიდან 135
§ 11. გაანგარიშება პრაზე და მოკლონური შეერთება 137
§ 12. შედუღებით შეერთება 147
§ 13. ხის კდრბა . . 153
თ ა ვ ი მ ე ე ქ ვ ს ე. **გრეხა** . . . 157
მოკლე ცნობები თეორიიდან . . 157
§ 14. მგრეხავი მომენტის ეპიურის აგება 160

§ 15. ძაბვის და დეფორმაციის განსაზღვრა . 164
§ 16. ტვირთამტანიანობა და კვეთის შერჩევა 170
§ 17. ზამბარები 178
§ 18. ლილვის გაანგარიშება ზღვრული დატვირთვის მეთოდით . 184

ნაწილი III

ღუნვა

თავი მეშვიდე. მღუნავი მომენტის და განივი ძალის ეპიურების აგება . 187
მოკლე ცნობები თეორიიდან 187
§ 19. მარტივი კოჭებისათვის Q და M ეპიურების აგება 187
§ 20. Q და M ეპიურების აგება სტატიკურად რკვევადი მრავალმალიანი კოჭებისა და ჩარჩოებისათვის 207
§ 21. Q და M ეპიურების აგების გრაფიკული ხერხი 212
თავი მერვე. ბრტყელი კვეთების გეომეტრიული მახასიათებლები . 216
მოკლე ცნობები თეორიიდან 216
§ 22. ბრტყელი კვეთების სიმძიმის ცენტრის მოძებნა 217
§ 23. ბრტყელი კვეთის ღერძული და ცენტრიდანული ინერციის მომენტების და წინაღობის მომენტის-გამოთვლა 222
თავი მეცხრე ნორმალური ძაბვის გაანგარიშება კოჭში. კვეთის შერჩევა დასაშვები ძაბვის და დასაშვები ტვირთის მეთოდით 231
მოკლე ცნობები თეორიიდან 231
§ 24. ნორმალური ძაბვის და დასაშვები მაქსიმალური დატვირთვის განსაზღვრა 233
§ 25. კოჭის კვეთის შერჩევა 238
§ 26. კოჭის კვეთის შერჩევა დასაშვები ტვირთის მეთოდით 245
თავი მეათე. კოჭის მთლიანი შემოწმება სიმტკიცეზე. შედგენილი კოჭების გაანგარიშება . . 249
მოკლე ცნობები თეორიიდან 249
§ 27. მხები და მთავარი ძაბვების განსაზღვრა. კოჭის მთლიანი შემოწმება სიმტკიცეზე 250
§ 28. შედგენილი კოჭის გაანგარიშება 259
თავი მეთერთმეტე. დეფორმაციების განსაზღვრა ღუნვის დროს . 273
მოკლე ცნობები თეორიიდან 273
§ 29. დეფორმაციების განსაზღვრა ანალიზური ხერხით . 274
§ 30. დეფორმაციების განსაზღვრა გრაფოანალიზური ხერხით . . . 284
თავი მეთორმეტე. სტატიკურად ურკვევი კოჭის გაანგარიშება . 287
მოკლე ცნობები თეორიიდან 287
§ 31. სტატიკურად ურკვევი კოჭი 288
§ 32. დასაშვები ძალის მეთოდით გაანგარიშება 313

ნაწილი IV

რთული წინაღობა

თავი მეცამეტე. ძაბვებისა და დეფორმაციების განსაზღვრა რთული წინაღობის დროს . . 319
მოკლე ცნობები თეორიიდან 319

§ 33. ირიბი ღუნვა 320
§ 34. ღუნვა და გაჭიმვა ან კუმშვა 327
§ 35. ექსცენტრული გაჭიმვა ან კუმშვა . 332
§ 36. ღუნვა და გრეხა . . 339
თავი მეთოთხმეტე. მრუდე ძელი 348
მოკლე ცნობები თეორიიდან 348
§ 37. ძაბვის და დეფორმაციის გაანგარიშება . 351
§ 38. სქელკედლიანი კურკელი 361

ნაწილი V

კონსტრუქციის ელემენტების მდგრადობა

თავი მეხუთმეტე. მდგრადობაზე გაანგარიშების მარტივი შემთხვევები 365
მოკლე ცნობები თეორიიდან . 365
§ 39. მდგრადობაზე გაანგარიშება ეილერის ფორმულის გამოყენებით 367
§ 40. მდგრადობაზე გაანგარიშება ცხრილების და ემპირიული ფორმულების დახმარებით 374
თავი მეთექვსმეტე. რთული შემთხვევების დროს მდგრადობაზე გაანგარიშება 380
მოკლე ცნობები თეორიიდან 380
§ 41. ბრტყელი ღუნვის დროს კოჭის მდგრადობაზე გაანგარიშება 382
§ 42. ძაბვის და დეფორმაციის გამოთვლა განიეი და გრძივი ძალის ერთდროული მოქმედებით . 385
დამატება . 391

რედაქტორი დოც. ა. მ. ქაქუშაძე
რეცენზენტი დოც. გ. კ. ცქიფურიშვილი

გამომც. რედაქტორი მ. ახათიანი
ტექრედაქტორი ა. მეგრელაძე

კორექტორი ნ. აბდუშელიშვილი
გამომშვები გ. აბდალაძე

გადაეცა ასაწყობად 24/XI-55 წ., ხელმოწერილია დასაბეჭდად 2/II-56 წ., ანაწყობის ზომა 6½×10, ქაღალდის ზომა 60×92, სასტამბო ფურცელთა რაოდენობა 26.

უე 00433. ტირაჟი 1000. შეკვ. № 2153.

საქართველოს სსრ კულტურის სამინისტროს გამომცემლობისა და პოლიგრაფიული მრეწველობის მთავარი სამმართველოს სტამბა № 2. თბილისი, ფურცელაძის ქ. № 5.

Типография № 2 Главного управления издательств и полиграфической промышленности Министерства культуры Грузинской ССР. Тбилиси, ул. Пурцеладзе № 5.