

C. Część trzecia.

1. Obliczanie prętów krzywych płaskich. Największe naprężenie N_m cechuje przekrój niebezpieczny: nie może ono przekraczać naprężenia dopuszczalnego tworzywa.

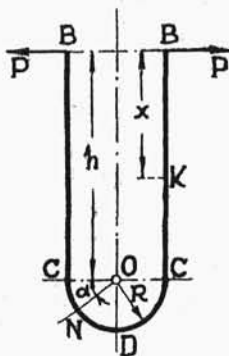
a. Pręt (Rys. 121) stalowy o stałym przekroju kołowym obciążono siłami P . Znaleźć promień r przekroju przy danej długości h ramion prostych, promieniu R pierwotnej osi odcinka CDC i naprężeniu dopuszczalnemu k_g tworzywa:

$$h = 11 \text{ cm} \quad R = 5 \text{ cm} \quad P = 1000 \text{ kg}$$

$$k_g = 1500 \text{ kg/cm}^2$$

W dolnym niebezpiecznym przekroju D panuje siła osiowa P , rozciągająca i moment zginający:

$$-P(h+R) = -16P$$



Rys. 121.

ujemny, bo zmniejszający krzywiznę dolnej części pręta. Najwyższe naprężenie tego przekroju:

$$N_m' = \frac{P}{F} - \frac{P(h+R)}{Fa} \frac{a+y_2}{R+y_2} = k_g$$

gdzie:

$$a = R - \frac{r^2}{2(R - \sqrt{R^2 - r^2})}$$

Po kilku próbach otrzymamy:

$$r = 3 \text{ cm} \quad a = \frac{1}{2} \text{ cm}$$

$$N_m = \frac{1000}{9\pi} - \frac{1000 \times 16}{9\pi \times \frac{1}{2}} \frac{\frac{1}{2} - 3}{5 - 3} = 1450 \text{ kg/cm}^2$$

Wyznamy względne posunięcie p sił P . W bieżącym przekroju K , obranym w odległości x od górnej ścianki B , panuje siła ścinająca P i moment zginający Px ; w przekroju

N , wyodrębnionym pod kątem α ku linii CC — panuje siła osiowa S , ścinająca Q i moment zginający M , przyczem:

$$S = P \sin \alpha \quad Q = -P \cos \alpha \quad M = -P(h + R \sin \alpha)$$

Stąd, pomijając działanie sił ścinających, mamy pracę sprężystą:

$$H = \int_0^h \frac{P^2 x^2}{EJ} dx + \int_0^{\frac{1}{2}\pi} \left[\frac{P^2 \sin^2 \alpha}{EF} - \frac{2P^2 (h \sin \alpha + R \sin^2 \alpha)}{EFR} + \right. \\ \left. + \frac{P^2 (h + R \sin \alpha)^2}{EFRa} \right] R d\alpha$$

gdzie:

$$F = 9\pi \text{ cm}^2 \quad J = \frac{81}{4}\pi \text{ cm}^4 \quad E = 2200000 \text{ kg/cm}^2$$

Drugie twierdzenie Castigliano da posunięcie względne sił P :

$$\frac{\partial H}{\partial P} = \frac{2P}{E} \left(\frac{h^3}{3J} - \frac{2h}{F} - \frac{\pi R}{4F} + \frac{2\pi h^2 + \pi R^2 + 8hR}{4Fa} \right) = 0,026 \text{ cm}$$

Wzór dla prętów o małej krzywiźnie daje tu:

$$N_m = \frac{P}{F} + \frac{P(h + R)}{J} r = 790 \text{ kg/cm}^2$$

a więc o 45,5% mniej!

b. Hak (Rys. 122) stalowy o przekroju AO trapezowym dźwiga siłę osiową P . Wyznaczyć najwyższe naprężenie w tym przekroju przy:

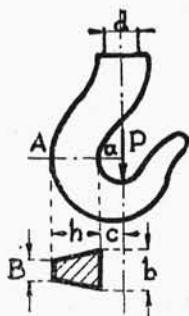
$$b = 6 \text{ cm} \quad B = 2 \text{ cm} \quad c = 4 \text{ cm} \quad h = 9 \text{ cm}$$

Pole przekroju AO :

$$F = \frac{1}{2} h (b + B) = 36 \text{ cm}^2$$

jego moment statyczny względem szerszej podstawy:

$$S_f = \frac{1}{6} h^2 (2B + b) = 135 \text{ cm}^3$$



Rys. 122.

a przeto odległość środka trapezu od osi haka:

$$r_0 = c + \frac{S_f}{F} = 7,75 \text{ cm}$$

Odległość linii obojętnej od tejże osi:

$$v = \frac{36}{2 - 6 + \left[6 - \frac{4}{9} (2 - 6) \right] \lg \left(1 - \frac{9}{4} \right)} = 6,967 \text{ cm}$$

a przeto:

$$a = r_0 - v = 0,783 \text{ cm}$$

Moment zginający:

$$Pr_0$$

zmniejsza krzywiznę pręta, daje więc od strony A skrajne naprężenie N_1 — ściskające, od strony 0 — rozciągające N_2 :

$$N_1 = - \frac{P \times 7,75}{36 \times 0,783} \frac{0,783 + (9 + 4 - 7,75)}{7,75 + (9 + 4 - 7,75)} = -0,12759 P$$

$$N_2 = - \frac{P \times 7,75}{36 \times 0,783} \frac{0,783 + (4 - 7,75)}{7,75 + (4 - 7,75)} = 0,20394 P$$

Naprężenie N_2 , łącznie z naprężeniem rozciągającym:

$$N_r = \frac{P}{36} = 0,02778 P$$

da skrajne naprężenie przekroju:

$$N_m = 0,23172 P = k_g$$

Biorąc:

$$k_g = 1200 \text{ kg/cm}^2$$

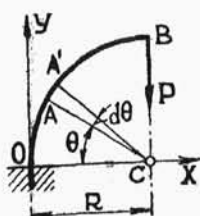
otrzymamy siłę nośną haka:

$$P = 5178 \text{ kg}$$

2. Odkształcenia prętów krzywych płaskich:

a. Żółraw (Rys. 123) o stałym przekroju, osadzony u podstawy. Jego pierwotna oś stanowi ćwiartkę koła. Wyznaczyć składowe: przemieszczenia punktu B przyłożenia pionowej siły P .

W układzie osi X, Y , wyprowadzonych ze środka O podstawy, współrzędne środka A przekroju bieżącego będą:



Rys. 123.

$$x = R(1 - \cos \theta) \quad y = R \sin \theta$$

Przyłóżmy do środka B pionowej ścianki czołowej — poziomą siłę U i moment prawoskrętny N , zwiększający krzywiznę pręta. Posunięcia środka B : poziome u i pionowe v przynależą odpowiednio siłom U i P . Kąt w pochylecia czołowej ścianki pręta ku osi X — stanowi posunięcie momentu N . Chcąc znaleźć te posunięcia, sprowadzamy do środka A przekroju bieżącego — obciążenie części AB pręta. Da ono wypadkowe: siłę osiową S , siłę ścinającą Q i moment zginający M :

$$S = -P \cos \theta + U \sin \theta \quad Q = P \sin \theta + Q \cos \theta$$

$$M = N + PR \cos \theta + QR(1 - \sin \theta)$$

zatem, jak dla pręta o małej krzywiznie, pomijając siły ścinające:

$$H = \int_0^{\frac{1}{2}\pi} \left(\frac{S^2}{2EF} + \frac{M^2}{2EJ} \right) R d\theta$$

stąd, na mocy drugiego twierdzenia Castigliano:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial H}{\partial U} \right)_0 = u &= \int_0^{\frac{1}{2}\pi} \left[-\frac{P \sin \theta \cos \theta}{EF} + \frac{PR^2 \cos \theta}{EJ} (1 - \sin \theta) \right] R d\theta = \\ &= \frac{PR^3}{2EJ} \left(1 - \frac{J}{FR^2} \right) \end{aligned}$$

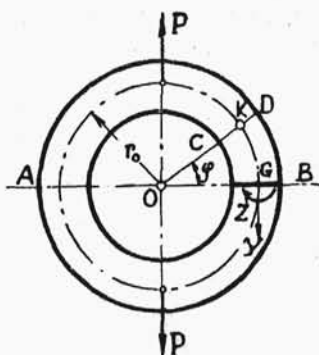
$$\left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_0 = v = \int_0^{\frac{1}{2}\pi} \left(\frac{P \cos^2 \theta}{EF} + \frac{PR^2 \cos^2 \theta}{EJ} \right) R d\theta = \frac{\pi PR^3}{4EJ} \left(1 + \frac{J}{FR^2} \right)$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial N}\right)_0 = w = \int_0^{\frac{1}{2}\pi} \frac{PR^3 \cos \theta}{EJ} d\theta = \frac{PR^2}{EJ}$$

gdzie nawiasami z dolnym zerowym wskaźnikiem zaznaczono konieczność ostatecznego uwzględnienia istotnych zerowych wielkości sił U, N .

b. Ogniwio (Rys. 124) kołowe obciążono siłami P rozciągającymi, średnicowo przeciwnymi. Poprowadźmy przekrój AB prostopadły do ich osi i chcąc utrzymać równowagę obu połów ogniwa, przyłożmy do środków G przekrojów siły osiowe Y rozciągające i momenty zginające Z . Siły ścinające są tu równe zero: wymaga tego zupełna symetria obciążenia. Nadto, ze względu na symetrię, równania statyki jednej połowy ogniwa dają:

$$Y = -\frac{1}{2} P$$



Rys. 124.

a przeto pozostaje tylko jedna hyperstatyczna: moment Z . Chcąc ją wyznaczyć, wyodrębniamy przekrój bieżący CD pod kątem φ ku średnicy AB i sprowadzamy do jego środka K obciążenie zewnętrzne części KG ogniwa. To obciążenie da siłę osiową S , ścinającą Q i moment zginający M , przyczem:

$$S = \frac{1}{2} P \cos \varphi \quad Q = \frac{1}{2} P \sin \varphi \quad M = Z + \frac{1}{2} P r_0 (1 - \cos \varphi)$$

Zatem, wobec zupełnej symetrii czterech ćwiartek ogniwa jako pręta o znacznej krzywiźnie:

$$H = 4 \int_0^{\frac{1}{2}\pi} \left(\frac{S^2}{2EF} + \frac{MS}{EFr_0} + \frac{M^2}{2EFr_0 a} + t \frac{Q^2}{2GF} \right) r_0 d\varphi$$

Stąd na mocy twierdzenia Menabrea:

$$\frac{\partial H}{\partial Z} = 4 \int_0^{\frac{1}{2}\pi} \left[\frac{P \cos \varphi}{2 E F r_0} + \frac{2 Z + P r_0 (1 - \cos \varphi)}{2 E F r_0 a} \right] r_0 d\varphi = 0$$

i ostatecznie:

$$Z = -\frac{1}{2} P r_0 \left[1 - \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{a}{r_0} \right) \right]$$

Ujemny znak wskazuje, że momenty Z zmniejszają krzywiznę ogniwa w przekroju AB . Wyznamy posunięcie względne p sił P . Po podstawieniu:

$$M = P r_0 \left(\frac{1 - \frac{a}{r_0}}{\pi} - \frac{\cos \varphi}{2} \right)$$

otrzymamy na mocy drugiego twierdzenia Castigliano:

$$p = \frac{\partial H}{\partial P} = \frac{P r_0^2}{E F a} \left[\frac{\pi}{4} - \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{a^2}{r_0^2} \right) \right] + \frac{P r_0}{E F} \left[\frac{4}{\pi} \left(1 - \frac{a}{r_0} \right) - \frac{\pi}{4} \right] + \frac{\pi}{4} \frac{P r_0}{G F}$$

Chcąc dalej znaleźć spłaszczenie u ogniwa w kierunku AB , przykładamy do środków G dwie średnicowo przeciwległe siły U , skierowane ku sobie. Zatem w przekroju bieżącym panować będą wypadkowe:

$$S = \frac{1}{2} P \cos \varphi - U \sin \varphi \qquad Q = \frac{1}{2} P \sin \varphi + U \cos \varphi$$

$$M = Z + \frac{1}{2} P r_0 (1 - \cos \varphi) + U r_0 \sin \varphi$$

Stąd, po podstawieniu we wzór dla pracy sprężystej, przeróżniczkowaniu względem Z i uwzględnieniu istotnej zerowej wielkości dodatkowej siły U otrzymamy:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial Z} \right)_0 = 4 \int_0^{\frac{1}{2}\pi} \left[\frac{P \cos \varphi}{2 E F} + \frac{2 Z + P r_0 (1 - \cos \varphi)}{2 E F a} \right] d\varphi = 0$$

a przeto:

$$M = Pr_0 \left(\frac{1 - \frac{a}{r_0}}{\pi} - \frac{\cos \varphi}{2} \right) + Ur_0 \sin \varphi$$

i ostatecznie:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial H}{\partial U} \right)_0 = u &= 4 \int_0^{\frac{1}{2}\pi} \left[\frac{M \sin \varphi}{EF a} \left(1 - \frac{a}{r_0} \right) + t \frac{Q \cos \varphi}{GF} \right] r_0 d\varphi = \\ &= \frac{Pr_0^2}{EF a} \left(1 - \frac{a}{r_0} \right) \left[\frac{4}{\pi} \left(1 - \frac{a}{r_0} \right) - 1 \right] + t \frac{\pi Pr_0}{2 GF} \end{aligned}$$

Tak samo, lecz dla ogniwa, jako pręta o małej krzywiźnie:

$$H = 4 \int_0^{\frac{1}{2}\pi} \left(\frac{S^2}{2EF} + \frac{M^2}{2EJ} \right) r_0 d\varphi$$

oraz na mocy twierdzenia Menabrea:

$$\frac{\partial H}{\partial Z} = 4 \int_0^{\frac{1}{2}\pi} \frac{Z + \frac{1}{2} Pr_0 (1 - \cos \varphi)}{EJ} r_0 d\varphi = 0$$

skąd:

$$Z = -\frac{1}{2} Pr_0 \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) \quad M = Pr_0 \left(\frac{1}{\pi} - \frac{\cos \varphi}{2} \right)$$

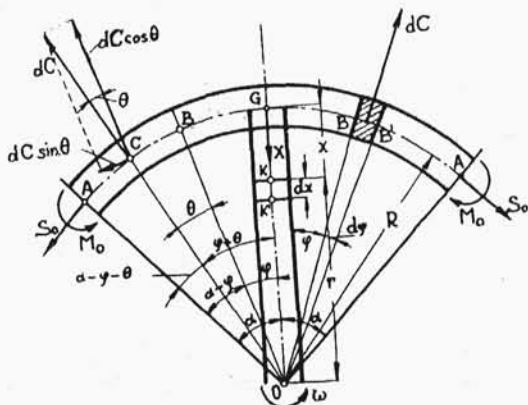
i ostatecznie:

$$p = \frac{\partial H}{\partial P} = \frac{Pr_0^3}{EJ} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2}{\pi} \right) + \frac{\pi}{4} \frac{Pr_0}{EF}$$

oraz:

$$u = \left(\frac{\partial H}{\partial U} \right)_0 = \frac{Pr_0^3}{EJ} \left(\frac{4}{\pi} - 1 \right) - \frac{Pr_0}{EF}$$

3. Koło zamachowe o ciężkim wieńcu obraca się na wale z szybkością kątową ω *stałą*. Ramiona koła, hamując rozszerzanie się wieńca, działają nań siłami środkowymi, naodwrot — wieniec pociąga ramiona siłą X (Rys. 125).



Rys. 125.

Oznaczmy przez i liczbę ramion koła zamachowego i poprowadźmy tyleż przekrojów średnicowych płaskich, pośrodku, pomiędzy ramionami. Naprężenia tych przekrojów dadzą wypadkowe: siłę osiową S_0 i moment zginający M_0 . Siła ścinająca jest niewątpliwie równa zero: wymaga tego symetria wycinków koła i obciążenia.

Nadto wyodrębniona część wieńca ulega dośrodkowemu oddziaływaniu X ramienia — oraz — siłom odśrodkowym mas. Oznaczmy przez F poprzeczny stały przekrój wieńca, przez R promień jego osi pierwotnej, przez φ — kąt pomiędzy osią OG ramienia i promieniem OB przekroju bieżącego. Dwa sąsiednie przekroje B i B' tworzą płytkę — wycinek wieńca. Oznaczmy przez m — masę tworzywa wieńca na jednostkę objętości; masa wycinka BB' — równa:

$$mFRd\varphi$$

da siłę odśrodkową:

$$dC = mFR^2\omega^2d\varphi$$

Wobec symetrii obciążenia dwa równania statyki rozpatrywanej części koła zamachowego spełniają się tożsamościowo; pozostały warunek równowagi rzutów sił na oś ramienia daje:

$$2S_0 \sin \alpha + X = 2 \int_0^\alpha mFR^2\omega^2 \cos \varphi d\varphi = 2mFR^2\omega^2 \sin \alpha$$

gdzie przez α oznaczyliśmy połowę kąta pomiędzy sąsiednimi ramionami. Zatem:

$$S_0 = mFR^2\omega^2 - \frac{X}{2\sin \alpha}$$

Dla wieńca, wirującego swobodnie, bez ramion:

$$X=0, \quad S_0 = mFR^2\omega^2, \quad M_0=0$$

a przeto w bieżącym przekroju wieńca panuje stałe naprężenie rozciągające:

$$N_x = mR^2\omega^2$$

Bezwzględne wydłużenie obwodu:

$$2\pi R \frac{N_x}{E} = \frac{2\pi mR^3\omega^2}{E}$$

daje przyrost promienia R wieńca wirującego swobodnie, bez ramion:

$$\frac{mR^3\omega^2}{E}$$

Ten przyrost jest trzykrotnie większy od przyrostu długości teoretycznej R ramienia samopas wirującego bez wieńca (V. C. p. 5). Istotnie więc ramiona dośrodkowo działają na wieńiec i naodwrot, jakśmy to zaznaczyli na wstępie. Zatem — dla koła zamachowego M_0 jest różne od zera.

Chcąc tę hyperstatyczną wyznaczyć, uważamy wieńiec za pręt o małej krzywiznie i nazywamy przez S — siłę osiową, przez Q — siłę ścinającą, przez M — moment zginający bieżącego przekroju B wieńca. Nadto — nie uwzględniamy piasty, utożsamiając wzajemian długość ramion z promieniem R pierwotnej osi wieńca.

Wreszcie przez O_x oznaczamy siłę osiową bieżącego przekroju K ramienia. Zatem praca sprężysta koła zamachowego:

$$H = i \int_0^\alpha \frac{S^2 R}{EF} d\varphi + i \int_0^\alpha \frac{M^2 R}{EJ} d\varphi + i \int_0^R \frac{O_x^2 dx}{2E_1 F_1}$$

gdzie przez J oznaczono moment bezwładności przekroju wieńca względem osi głównej, równoległej do osi obrotowej, przez F_1 — stały przekrój ramienia, przez E i E_1 współczynniki sprężystości podłużnej odpowiednich tworzyw: wieńca i ramion. W tym wzorze:

$$S = S_0 \cos(\alpha - \varphi) + \int_0^{\alpha - \varphi} mFR^2\omega^2 \sin \Theta d\Theta = mFR^2\omega^2 \cos(\alpha - \varphi) -$$



$$-\frac{1}{2} X \frac{\cos(\alpha - \varphi)}{\sin \alpha} + m F R^2 \omega^2 [1 - \cos(\alpha - \varphi)] =$$

$$= m F R^2 \omega^2 - \frac{1}{2} X \frac{\cos(\alpha - \varphi)}{\sin \alpha}$$

$$M = M_0 + S_0 R [1 - \cos(\alpha - \varphi)] - \int_0^{\alpha - \varphi} m F R^2 \omega^2 \sin \Theta d\Theta =$$

$$= M_0 + m F R^2 \omega^2 [1 - \cos(\alpha - \varphi)] - \frac{1}{2} X \frac{1 - \cos(\alpha - \varphi)}{\sin \alpha} -$$

$$- m F R^2 \omega^2 [1 - \cos(\alpha - \varphi)] = M_0 - \frac{1}{2} X R \frac{1 - \cos(\alpha - \varphi)}{\sin \alpha}$$

Nadto dwa sąsiednie przekroje K i K' ramienia, poprowadzone w odległości x i $x + dx$ od pierwotnej osi wieńca — tworzą płytkę bieżącą. Jej masa:

$$m_1 F_1 dx$$

daje siłę odśrodkową:

$$dC_1 = m_1 F_1 (R - x) \omega^2 dx$$

gdzie przez m_1 oznaczono masę tworzywa ramion na jednostkę objętości. Stąd siła osiowa bieżącego przekroju K :

$$O_x = X + \int_0^x m_1 F_1 \omega^2 (R - x) dx = X + \frac{1}{2} m_1 F_1 \omega^2 (2 R x - x^2)$$

Zatem, na mocy twierdzenia Menabrea:

$$\frac{\partial H}{\partial M_0} = 0$$

skąd:

$$\int_0^{\alpha} M d\varphi = M_0 \int_0^{\alpha} d\varphi - \frac{X R}{2 \sin \alpha} \int_0^{\alpha} [1 - \cos(\alpha - \varphi)] d\varphi$$

i ostatecznie:

$$M_0 = \frac{1}{2} XR \left(\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{1}{\alpha} \right)$$

$$M = -\frac{1}{2} XR \left[\frac{1}{\alpha} - \frac{\cos(\alpha - \varphi)}{\sin \alpha} \right]$$

Dalej na mocy tego samego twierdzenia mamy:

$$\frac{\partial H}{\partial X} = \frac{2iR}{EF} \int_0^\alpha S \frac{\partial S}{\partial X} d\varphi + \frac{2iR}{EJ} \int_0^\alpha M \frac{\partial M}{\partial X} d\varphi + \frac{i}{E_1 F_1} \int_0^R O_x \frac{\partial O_x}{\partial X} dx = 0$$

inaczej jeszcze: po skróceniu:

$$\begin{aligned} & \frac{XR^3}{2EJ} \int_0^\alpha \left[\frac{1}{\alpha} - \frac{\cos(\alpha - \varphi)}{\sin \alpha} \right]^2 d\varphi - \\ & - \frac{R}{EF} \int_0^\alpha \left[mFR^2\omega^2 - \frac{X}{2} \frac{\cos(\alpha - \varphi)}{\sin \alpha} \right] \frac{\cos(\alpha - \varphi)}{\sin \alpha} d\varphi + \\ & + \frac{1}{E_1 F_1} \int_0^R \left[X + \frac{1}{2} m_1 F_1 \omega^2 (2Rx - x^2) \right] dx = \\ & = \frac{XR^3}{2EJ} \left(-\frac{1}{\alpha} + \frac{\alpha}{2\sin^2 \alpha} + \frac{\sin 2\alpha}{4\sin^2 \alpha} \right) - \frac{mR^3\omega^2}{E} + \\ & + \frac{XR}{2EF\sin^2 \alpha} \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\sin 2\alpha}{4} \right) + \frac{XR}{E_1 F_1} + \frac{m_1 R^3\omega^2}{3E_1} = 0 \end{aligned}$$

Stąd ostatecznie:

$$X = \frac{\left(m - \frac{m_1 E}{3E_1} \right) R^2 \omega^2}{\frac{2\alpha + \sin 2\alpha}{8\sin^2 \alpha} \left(\frac{1}{F} + \frac{R^2}{J} \right) - \frac{R^2}{2\alpha J} + \frac{E}{E_1 F_1}}$$

Ten wzór może być stosowany również i przy zmiennym przekroju ramienia, trzeba jednak brać wtedy *średni przekrój* F_1 ramienia.

Dalej obliczamy ramiona, jak pręty proste, a wieniec, jak pręt o małej krzywiznie. W zależności od liczby ramion stałe współczynniki wzoru powyższego są równe:

$i =$	4	6	8	10	12
$2\alpha =$	1,5707963	1,0471976	0,7853982	0,6283185	0,5235988
$\beta =$	0,6427004	0,9566222	1,2739308	1,5918995	1,9100612

$$\beta = \frac{2\alpha + \sin 2\alpha}{8 \sin^2 \alpha}$$



KONIEC TOMU PIERWSZEGO.

Warszawa, d. 1 grudnia 1929 r.



nr. 29

SPIS RZECZY.

ROZDZIAŁ I.

ODKSZTAŁCENIA.

A. CZĘŚĆ PIERWSZA	<i>Str.</i> 5—12
1. Odkształcenia ciał stałych. 2. Wydłużenia, przesunięcia i skręcenia osiowe. 3. Kierunki główne. 4. Równania warunkowe. 5. Wzory ścisłe.	
B. CZĘŚĆ DRUGA	12—20
1. Układy odkształceń. 2. Równomierna rozszerzalność. 3. Odkształcenia płaskie. 4. Odkształcenia prętów. 5. Momenty przekrojów płaskich. 6. Momenty względem osi środkowych. 7. Oś główne bezwładności. 8. Wzory przejścia. 9. Środkowa elipsa bezwładności. 10. Rodzaje prętów.	
C. CZĘŚĆ TRZECIA	20—33
1. Prostokąt. 2. Trójkąt prostokątny. 3. Trapez równoboczny. 4. Wielobok prawidłowy. 5. Koło. 6. Połowa koła. 7. Czwórć koła. 8. Wycinek koła. 9. Odcinek koła. 10. Przekrój eliptyczny. 11. Przekrój pierścieniowy kołowy. 12. Odcinek paraboli. 13. Przekrój dwuceownikowy. 14. Przekrój złożony. Przykład I. 15. Przekrój złożony. Przykład II. 16. Przekrój złożony. Przykład III. 17. Przekrój złożony. Przykład IV. 18. Przekrój kwadratowy. 19. Blachownica. Przykład I. 20. Blachownica. Przykład II.	

ROZDZIAŁ II.

NAPRĘŻENIA

A. CZĘŚĆ PIERWSZA	34—40
1. Naprężenia normalne i styczne. 2. Znakowanie naprężeń. 3. Składowe naprężenia. 4. Układ naprężeń. 5. Naprężenia główne. 6. Elipsoida naprężeń. 7. Skrajne naprężenia styczne.	
B. CZĘŚĆ DRUGA	40—48
1. Układ normalnych naprężeń. 2. Płaski układ naprężeń. 3. Wykres Mohr'a. 4. Równowaga płytki. 5. Układ osi. 6. Warunki równowagi. 7. Rodzaje obciążeń. 8. Warunki brzegowe. 9. Założenie Barré de Saint-Venant'a. 10. Naprężenia osiowe.	
C. CZĘŚĆ TRZECIA	48—59
1. Odkształcenia podłużne. 2. Odkształcenia kątowe. 3. Płaski układ odkształceń. 4. Układ naprężeń osiowych. 5. Układ naprężeń stycznych. 6. Płaski układ naprężeń. 7. Układ de Saint Venant'a. 8. Wykres Mohr'a. 9. Składowe naprężenia stycznych. 10. Niezmiennik. 11. Funkcje naprężeń.	

ROZDZIAŁ III.

SPRĘŻYSTOŚĆ.

A. CZĘŚĆ PIERWSZA	60—67
1. Rodzaje odkształceń. 2. obciążenia zewnętrzne. 3. Równowaga odkształcenia. 4. Praca sił zewnętrznych. 5. Praca sił sprężystości. 6. Energia sprężystości. 7. Prawo Hooke'a. 8. Współczynnik sprężystości. 9. Ciało równokierunkowo-sprężyste. 10. Składowe naprężenia i odkształcenia.	

B. CZĘŚĆ DRUGA	Str. 68—75
1. Odkształcenia samorodne i cieplne. 2. Kierunki główne. 3. Skrajne naprężenia stycznne i przesunięcia. 4. Inne zmienne. 5. Spółczynnik E. 6. Granica sprężystości. 7. Granica proporcjonalności. 8. Liczba Poisson'a.	
C. CZĘŚĆ TRZECIA	75—85
1. Maszyny probiercze. 2. Stosunek L : D. 3. Ekstensometr. 4. Pomiar E. 5. Sprężystość przy ściskaniu. 6. Sprężystość równokierunkowa. 7. Rozszerzalność cieplna.	

ROZDZIAŁ IV. NIESPRĘŻYSTOŚĆ.

A. CZĘŚĆ PIERWSZA	86—91
1. Rodzaje obciążeń. 2. Obszar niesprężystości. 3. Granica podatności. 4. Obciążenie dopuszczalne. 5. Zmienność granic. 6. Wytrzymałość i odkształcalność. 7. Uporność odkształceń. 8. Wpływ czasu. 9. Wpływ zmienności obciążenia.	
B. CZĘŚĆ DRUGA	91—98
1. Próba na rozciąganie. 2. Cechy wytrzymałościowe. 3. Próba na ściskanie. 4. Naprężenia dopuszczalne.	
C. CZĘŚĆ TRZECIA	99—107
1. Cechy wytrzymałościowe. 2. Wpływ rozciągnięcia. 3. Wpływy cieplne.	

ROZDZIAŁ V. ROZCIĄGANIE I ŚCISKANIE.

A. CZĘŚĆ PIERWSZA	108—113
1. Wzory podstawowe. 2. Pręt niejednorodny. 3. Wzorcowanie tworzyw. 4. Ocena tworzyw. 5. Miara stanu K.	
B. CZĘŚĆ DRUGA	113—120
1. Wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie. 2. Tworzywa. 3. Naprężenia dopuszczalne.	
C. CZĘŚĆ TRZECIA	121—130
1. Siły niszczące. 2. Pręt nieważki. 3. Pręt ważki. 4. Pręt prosty. 5. Pręt obracający się. 6. Dynamiczne naprężenia osiowe. 7. Ciepłone naprężenia osiowe. 8. Słup żelazobetonowy.	

ROZDZIAŁ VI. ŚCINANIE.

A. CZĘŚĆ PIERWSZA	131—140
1. Wzory podstawowe. 2. Wyznaczanie naprężeń. 3. Wzory ostateczne. 4. Sposób przybliżony. 5. Wzory przybliżone.	
B. CZĘŚĆ DRUGA	140—147
1. Średnie naprężenie ścinające. 2. Praca sprężysta. 3. Wytrzymałość na ścinanie. 4. Spółczynnik sprężystości poprzecznej. 5. Naprężenia dopuszczalne. 6. Odkształcenia. 7. Średnie posunięcie.	
C. CZĘŚĆ TRZECIA	148—156
1. Siły niszczące. 2. Przegub. 3. Nit. 4. Sprzęgło przegubowe. 5. Blachownica dwuteowa. 6. Klin. 7. Półkole. 8. Przekrój eliptyczny. 9. Rura. 10. Dwuteownik. 11. Łączenie dwóch dyli. 12. Wal.	

ROZDZIAŁ VII. SKRĘCANIE.

	<i>Str.</i>
A. CZĘŚĆ PIERWSZA	157—164
1. Wzory podstawowe. 2. Skręcenie jednostkowe. 3. Wyznaczanie naprężeń. 4. Wzory ostateczne. 5. Bezpośrednie wyznaczanie naprężeń. 6. Wzór St. Vénant'a. 7. Przykłady.	
B. CZĘŚĆ DRUGA	165—172
1. Skręcenie jednostkowe. 2. Naprężenia skręcające. 3. Wzory. 4. Praca sprężysta. 5. Granice S_0 , P_0 . 6. Próba na skręcanie. 7. Naprężenia dopuszczalne.	
C. CZĘŚĆ TRZECIA	173—183
1. Siły niszczące. 2. Pręt. 3. Walki pędziane. 4. Sprężyny śrubowe. 5. Trójkąt prawidłowy. 6. Porównanie przekrojów.	

ROZDZIAŁ VIII. ZGINANIE.

A. CZĘŚĆ PIERWSZA	174—197
1. Wzory podstawowe. 2. Naprężenia zginające. 3. Zginanie właściwe i mimośrodkowe. 4. Linja obojętna. 5. Środek naprężeń. 6. Rdzeń przekroju. 7. Własności rdzenia. 8. Skrajne naprężenia zginające. 9. Odkształcenia. 10. Odkształcona. 11. Wzory ogólne.	
B. CZĘŚĆ DRUGA	198—205
1. Zginanie płaskie. 2. Momenty wytrzymałości. 3. Praca sprężysta. 4. Wygięcie Lamarle'a. 5. Granice S_g , P_g . 6. Próba na zginanie. 7. Naprężenia dopuszczalne. 8. Przekrój niejednorodny.	
C. CZĘŚĆ TRZECIA	206—216
1. Obciążenia niszczące. 2. Pręt zginany. 3. Pręt o stałej wytrzymałości na zginanie. 4. Wyzyskanie wytrzymałościowe przekroju. 5. Rdzeń dwuteownika. 6. Drut. 7. Pręt pionowy. 8. Mur oporowy. 9. Narożnik. 10. Walek.	

ROZDZIAŁ IX. ODKSZTAŁCONE.

A. CZĘŚĆ PIERWSZA	217—225
1. Układ osi. 2. Obciążenie zginające. 3. Obciążenia płaskie. 4. Kierunek. 5. Zmiana kierunku. 6. Pochodne składowych. 7. Znak składowych. 8. Równania różniczkowe odkształconej. 9. Wpływ sił ścinających. 10. Całkowe równania odkształconych. 11. Łańcuchowe równanie odkształconej. 12. Moment łańcuchowy.	
B. CZĘŚĆ DRUGA	225—240
1. Belki. 2. Odpory. 3. Odpory. 4. Pionowe obciążenie płaskie. 5. Wzór Bresse'a. 6. Wzory Clerc'a i Clapeyron'a. 7. Wzory uproszczone. 8. Belka pozioma. 9. Równania statyki. 10. Wzory ostateczne. 11. Belki na podporach. 12. Wyznaczanie odkształconej. 13. Wzór Lévy. 14. Wpływ sił ścinających. 15. Belka na sprężystym podłożu.	
C. CZĘŚĆ TRZECIA	241—294
1. Pojęcia ogólne. 2. Wspornik. 3. Belka izostaticzna pozioma. 4. Wpływ sił ścinających. 5. Belka jednoprzęsłowa hyper-	

statyczna. 6. Belka dwuprzęsłowa. 7. Belka trójpłaszczyznowa. 8. Belka czteropłaszczyznowa. 9. Belki wielopłaszczyznowe na podporach niesprężystych. 10. Belki wielopłaszczyznowe na podporach sprężystych. 11. Belki na sprężystym podłożu. 12. Przykłady liczbowe.

ROZDZIAŁ X.

W Y B A C Z A N I E.

- | | | |
|-------------------|--|---------|
| A. CZĘŚĆ PIERWSZA | 1. Zginanie płaskie mimośrodowe. 2. Równanie odkształconej. 3. Momenty zginające. 4. Wzory dla siły rozciągającej. 5. Wzory dla siły ściskającej. 6. Wyboczenie. 7. Słup. 8. Mimośród zerowy. 9. Ugięcia znikome. 10. Wpływ sił osiowych i ścinających. 11. Siła rozciągająca. 12. Mimośród znikomy. | 295—309 |
| B. CZĘŚĆ DRUGA | 1. Zginanie mimośrodowe słupa. 2. Wzory Euler'a. 3. Obszar słuszności wzorów Euler'a. 4. Wzór L. K. 5. Wzory Przerwy-Tetmajer'a. 6. Stopień pewności. 7. Pręt osadzony sprężysto. | 310—324 |
| C. CZĘŚĆ TRZECIA | 1. Zginanie mimośrodowe. 2. Wzór Jasińskiego. 3. Złożone wyboczenie słupa. 4. Obliczanie prętów wiotkich ściskanych. 5. Tablice Przerwy-Tetmajer'a. 6. Wzory L. K. 7. Przykłady. | 324—338 |

ROZDZIAŁ XI.

P R A C A S P R E Ż Y S T A.

- | | | |
|-------------------|--|---------|
| A. CZĘŚĆ PIERWSZA | 1. Ustrój parametralnie zmienny. 2. Siły zewnętrzne ustroju. 3. Siły sprężystości ustroju. 4. Równowaga ustroju. 5. Równania warunkowe. 6. Ustrój sprężysty. 7. Twierdzenie Castigliano. 8. Twierdzenia Menabrea. 9. Dalsze twierdzenia. 10. Ustrój przegubowo-prętowy. 11. Twierdzenie Clapeyron'a. 12. Twierdzenia Betti i Mohr'a. | 339—348 |
| B. CZĘŚĆ DRUGA | 1. Ustrój prętowy. 2. Ustrój prętowy płaski. 3. Obliczanie ustrojów prętowych. 4. Twierdzenia Castigliano i Menabrea. 5. Twierdzenia Betti i Mohr'a. 6. Ustrój prętowy izostatyczny. 7. Odkształcenia pierwotne i cieplne. | 349—373 |
| C. CZĘŚĆ TRZECIA | 1. Belki proste hyperstatyczne. 2. Ustroje prętowe hyperstatyczne. 3. Przykład liczbowy. 4. Łamana. 5. Wpływ sił osiowych. | 373—389 |

ROZDZIAŁ XII.

P R E T Y K R Z Y W E.

- | | | |
|-------------------|--|---------|
| A. CZĘŚĆ PIERWSZA | 1. Pręty krzywe płaskie. 2. Obciążenie osiowe. 3. Obciążenie ścinające. 4. Obciążenie zginające. 5. Naprężenia zginające. 6. Pręty o znacznej krzywiznie. 7. Linja obojętna. | 390—398 |
| B. CZĘŚĆ DRUGA | 1. Równanie odkształconej. 2. Praca sprężysta. 3. Odkształcenia. 4. Łuki. | 399—408 |
| C. CZĘŚĆ TRZECIA | 1. Obliczenia prętów. 2. Odkształcenia prętów. 3. Koło zamachowe. | 409—420 |



KOMISJA WYDAWNICZA

Tow. Bratniej Pomocy Studentów
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

WARSZAWA, POLNA 3. TELEFON 182-10.

GMACH POLITECHNIKI

Godziny urzędowe między 13 — 14 $\frac{1}{2}$

P O L E C A :

Dr. W. Wierzbicki

MECHANIKA BUDOWLI

Wykreślne sposoby składania i rozkładania sił. Momenty statyczne i momenty bezwładności. Momenty zginające i siły poprzeczne w belkach prostych statycznie wyznaczalnych. Naprężenia i odkształcenia przy wyciąganiu i ściskaniu. Naprężenia i odkształcenia przy przesuwaniu, ściskaniu i skręcaniu. Naprężenia i odkształcenia przy zginaniu w płaszczyźnie sił. Równania równowagi sprężystej w płaszczyźnie i wykresy naprężeń. Wyznaczenie naprężeń bezpiecznych. Uogólnienie zjawisk zginania i ściskania. Belki statyczne niewyznaczalne. Układy ramowo-kratowe. Praca sprężysta. Wytrzymałość na wpływy dynamiczne. Równowaga mas ziemnych. Mury podporowe i tamy. Układy przestrzenne pełne (płyty, zbiorniki, kopuły). Przestrzenne układy kratowe.

Prof. A. Wasiutyński

DROGI ŻELAZNE

Powstanie, charakterystyka i historia dróg żelaznych. Polityka kolejowa. Administracja dróg żelaznych. Ustawodawstwo kolejowe. Tabor i technika ruchu kolejowego. Wagony. Parowozy. Ruch pociągów i praca taboru. Projektowanie drogi żelaznej. Typy dróg żelaznych parowozowych. Poszukiwania techniczne. Budowa spodnia i wierzchnia. Podkłady. Szyny. Budowa i utrzymanie toru. Połączenie toru. Stacje.

Prof. Cz. Skotnicki

TECHNIKA ODWADNIANIA BAGIEN

Woda, jako czynnik zabagnienia i gleba bagien. Studja terenowe. Urządzenia odwadniające i ich rozplanowanie. Obliczanie rozmiarów urządzeń odwadniających. Odwadnianie mechaniczne. Roboty wykonawcze. Kolmatacja bagien. Nawadnianie bagien odwodnionych. Wykorzystanie rolnicze bagien.

Na żądanie wysyłamy bezpłatnie obszerne opisowe katalogi.

NAKŁADEM KOMISJI WYDAWNICZEJ TOW. BRATNIEJ POMOCY STUDENTÓW POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

WARSZAWA, POLNA 3. TELEFON 182-10.

GMACH POLITECHNIKI

ukazą się w najbliższej przyszłości następujące wydawnictwa:

D R U K I E M:

1. *Prof. S. Miklaszewski* — „Gleby Polski” (wyd. jubileuszowe).
2. *Prof. M. Pożaryski* — „Maszyny elektryczne i prostowniki”.
3. *Prof. A. Pszenicki* — „Obliczanie mostów drewnianych”.

LITOGRAFIOWANE:

1. *Prof. S. Straszewicz* — „Matematyka II”.
2. *Prof. E. Leja* — „Matematyka”.
3. *Dr. S. Bóbr* — „Geometria analityczna”.
4. *Prof. W. Paszkowski* — „Żelbetnictwo”
i inne.

KOMISJA WYDAWNICZA

posiada na składzie wszelkie obce wydawnictwa krajowe i zagraniczne ze wszystkich dziedzin techniki.

ANTYKWARIAT KOMISJI WYDAWNICZEJ

posiada na składzie cyrkle, suwaki rachunkowe, pióra wieczne, kierownice, ekierki i t. p. przybory kreślarskie, wyrobu wszystkich firm, oraz

Przyjmuje do oprawy książki po cenach bardzo przystępnych.

Wydawnictwa zamówione listownie wysyłamy za pobraniem poczt., doliczając koszt przesyłki; do odbiorców stałych ekspedujemy bez pobrania z warunkiem wpłaty należności zaraz po otrzymaniu przesyłki na konto nasze w P. K. O. Nr. 7670.

Na żądanie wysyłamy bezpłatnie obszerne, opisowe katalogi.