II. Wytrzymałość materjałów.

A. Wstęp.

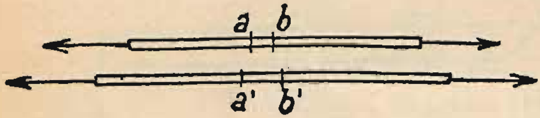
§ 31. Pojęcia ogólne.

Weźmy pod uwagę pręt zrobiony z jakiegoś sprężystego materjału (np. laskę gumową lub sprężynę stalową). Jeśli wywrzemy nań nacisk z pewną siłą, to zmieni on swój kształt; jeśli jednakowoż rękę usuniemy, powróci do swego pierwotnego kształtu prawie zupełnie dokładnie. Podobną własność, choć w mniej widoczny sposób, posiadają i inne ciała: metale, drzewo i t. d., a nazywamy ją sprężystością. Im dokładniej ciało przybierze ten swój pierwotny kształt, tem jest bardziej sprężyste; jednak ciał zupełnie sprężystych, któreby w zupełności powracały do pierwotnej postaci niema wcale; i tę zmianę kształtu pod wpływem sił, czyli t. zw. odkształcenie, nieraz nawet niedostrzegalne dla oka ludzkiego, zauważymy, jeśli będziemy je badać zapomocą specjalnych przyrządów, pozwalających na skontrolowanie bardzo nieznacznych zmian.

Po usunięciu siły zewnętrznej część odkształcenia, t. zw. odkształcenie sprężyste, znika, część przecież pozostaje. Odkształcenie pozostające nazywamy stałem lub niesprężystem.

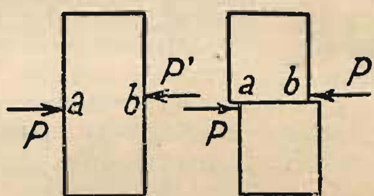
Wielka część materjałów, używanych w budownictwie, ma także własność następującą: Jeśli ciało z nich zrobione pod wpływem pewnej siły odkształci się (np. wydłuży się lub skróci) o pewną długość, to pod wpływem siły 2, 3... razy większej odkształcenie to (t. j. wydłużenie lub skrócenie) będzie 2, 3... razy większe, czyli będzie wprost proporcjonalne do siły. Dzieje się to jednak tylko do pewnej granicy, którą nazywamy granicą proporcjonalności. Jeśli siła wzrastać będzie poza tą granicą, to już nawet stosunkowo małe zwiększenie siły powoduje stosunkowo wielkie odkształcenie, t. j. ciało wydłuża się o wiele prędzej niż z początku. Chwilę, w której występuje takie szybkie wydłużanie, nazywamy **granicą ciastowatości** lub **płynności**. Jeśli siła działająca na ciało, będzie wzrastać jeszcze bardziej, to ostatecznie zwycięży ona spójność ciała, a ciało przerwie się, zgniecie czy złamie. Tę największą spójność, jaką ciało objawia w chwili zniszczenia, nazywamy **wytrzymałością** K. Jest ona oczywiście różna dla różnych nych materjałów.

Wytrzymałość zależy jednak nie tylko od materjału, ale i od sposobu, w jakie siły działają na ciało. Zajść tu mogą następujące rodzaje wytrzymałości:



Rys. 137 i 138.

1. **Wytrzymałość na rozciąganie (ciągnienie).** Siła działa w osi ciała i stara się je wydłużyć, a **ostatecznie** przerwać. Jeśli np. dwóch ludzi ciągnie sznur w przeciwnych kierunkach, to sznur ten rozciąga się; sąsiednie (bardzo blisko obok siebie leżące) przekroje a i b starają się rozsunąć, oddalając się coraz bardziej od siebie (por. rys. 137 i 138); ostatecznie sznur przerwie się, gdy jego wytrzymałość zostanie przezwyciężona Na rozciągnienie są narażone np. podwieszka (słup wiszący) wiązania wiszącego, kotew żelazna i t. d. (por. przykład 15 i 16).



Rys. 139 i 140.

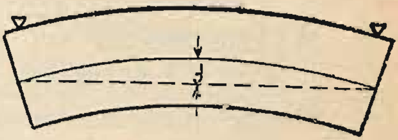
2. **Wytrzymałość na ściskanie (ciśnienie).** Siła działa w osi ciała, starając się sąsiednie przekroje zbliżyć do siebie i zgnieść. Np. słup ceglany, który będzimy obciążać coraz to większym ciężarem. Na ściskanie narażone są wszystkie słupy i filary w budynkach, fundamentach i t. d. (por. rys. 6 i przykłady od 1 do 7 i nast.).

3. **Wytrzymałość na ścinanie.** Siła stara tu się ściąć sąsiednie przekroje, t. j. przesunąć je równoległe do siebie. Siła P działa w kierunku przeciwnym sile P_1 (rys 139) i stara się ściąć ciało w płaszczyźnie ab (rys. 140), przesuwając górną jego część po dolnej. Na ścięcie narażone są np. nity w konstrukcjach żelaznych, czopy połączeń drewnianych i t. d.

4. **Wytrzymałość na zginanie.** Siła działa tu **prostopadle** do osi belki w jej płaszczyźnie, starając się ją wygiąć i ostatecznie złamać. W takiej belce włókna

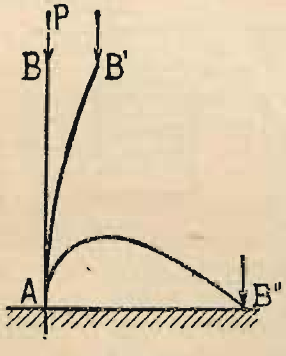
górne skracają się, włókna dolne wydłużają się (rys. 141) albo przeciwnie (rys. 116). Na zginanie działają np. belki stropowe, płatwie i krokwie dachowe i t. d.

5. Wytrzymałość na wyboczenie. Zachodzi tu wypadek taki: Siła ściskająca (cisnąca) działa podobnie, jak w wypadku drugim, w osi pręta, który ma jednakowoż stosunkowo znaczną długość. Ciało

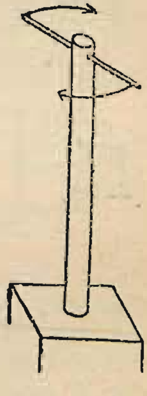


Rys. 141.

zostałoby zgniecione tylko przy małej długości (czy wysokości) ciała i wtedy zaszedłby wypadek wytrzymałości na ściskanie, o jakiej mówiliśmy w przykładzie 2. Przy wysokości większej ciało pod wpływem wzrastającej siły wyboczy się (rys. 142) i ostatecznie złamie. Na wyboczenie narażone są słupy żelazne czy drewniane, jarzma mostów drewnianych i t. d.



Rys. 142.



Rys. 143.

6. Wytrzymałość na skręcenie. Para sił stara się przekroje sąsiednie obrócić względem siebie około osi pręta (rys. 143). Ten rodzaj naprężenia spotykamy bardzo rzadko w konstrukcjach inżynierskich, częściej o wiele w budowie maszyn; nie będziemy go przeto szerzej omawiali.

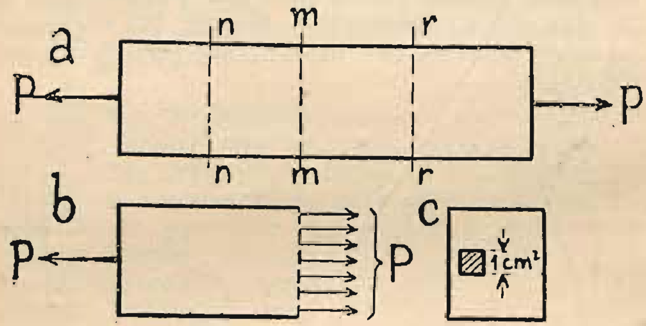
Zdarza się nieraz, że belka pracuje równocześnie na ściskanie i zginanie (np. drabina ukośnie postawiona, na której stanął człowiek, por. przykład 43), zginanie i ściskanie (np. sworzni w konstrukcjach żelaznych i t. p); wtedy mamy do czynienia z t. zw. wytrzymałością złożoną.

Nauka o wytrzymałości ma za zadanie sprawdzić, czy naprężenia (t. j. siły, jakie występują wewnątrz ciała pod wpływem sił zewnętrznych) nie przekraczają dozwolonej wartości. Jaka jest ta dozwolona wartość, od czego zależy i t. d., będziemy mówić w § 33.

B. Wytrzymałość na rozciąganie (ciągnienie) i ściskanie (ciśnienie).

§ 32 Wytrzymałość na rozciąganie (ciągnienie) i ściskanie (ciśnienie).

Weźmy pod uwagę pręt o długości 1 cm i stałej powierzchnip rzekroju F cm², na który działają na obu końcach dwie siły P kg równe i wprost przeciwnie skierowane (por. rys. 137, 138 i 144). Jeżeli siły te działają w środku ciężkości przekroju, to w każdym przekroju ciała np. mm powstaną siły wewnętrzne (rys. 144); które na całej jego powierzchni będą równe. Jeżeli powierzchnia przekroju wynosi więc F cm², to na 1 cm² przypadnie siła



Rys. 144.

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{ kg/cm}^2 \quad \dots\dots\dots \quad 82$$

Taką siłę działającą na jednostkę przekroju nazywamy **naprężeniem** lub **natężeniem**, a mierzymy je ilością kilogramów, przypadającą na 1 cm², czyli ilością kilogramów na centymetr kwadratowy, co pisze się zwykle kg/cm².

Jeżeli ciało ma stały przekrój, to te same naprężenia działają w każdym przekroju, np. nn, rr i t. d. Przy rozciąganiu lub ściskaniu są one wszędzie prostopadłe, czyli „normalne“ do przekroju nazywamy je naprężeniami lub „natężeniami normalnemi“.

Naprężenia te starają się zmienić odległość sąsiednich przekrojów, a to: jeżeli ciało narażone jest na rozciąganie, starają się je rozsunąć; jeżeli na ściskanie, starają się je do siebie zbliżyć. Najczęściej rozciąganie oznaczamy znakiem „+", ściskunie znakiem „—". Np. $\sigma = -\frac{P}{F}$ oznaczałoby, że siła P wywołuje w przekroju ściskanie.

Ostatecznie pręt rozciągany przerwie się. Jeżeli przerwanie nastąpi przy sile P_r, to najwięksne naprężenie jednostkowe, jakie wystąpiło w chwili przerwania wynosi:

$$K_r = \frac{P_r}{F} \text{ kg/cm}^2 \qquad \ldots\ldots\ldots \quad 83$$

Naprężenie K_r nazywamy **spółczynnikiem wytrzymałości na rozerwanie.**

Analogicznie, gdy ciało zostanie zgniecione pod wpływem siły P_c, to występujące w chwili zgniecenia naprężenie:

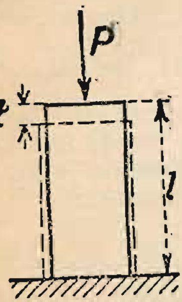
$$K_c = \frac{P_c}{F} \text{ kg/cm}^2 \qquad \ldots\ldots\ldots \quad 84$$

nazywamy **spółczynnikiem wytrzymałości na ściskanie***).

Spółczynniki wytrzymałości najważniejszych materjałów zestawione są w następującej tablicy:

	Spółczynnik wytrzymałości na	
	rozciąganie	ściskanie
Beton	20	150
Cegła wypalona	15	100
Drzewo bukowe ⊥ do włókien	1000	400
„ „ ‖ „ „	70	120
„ dębowe ⊥ „ „	950	400
„ „ ‖ „ „	50	120
„ szpilkowe ⊥ „ „	750	300
„ „ ‖ „ „	50	40
Granit	40	1200
Mur na cemencie	—	90
„ „ wapnie	—	50
Piaskowiec	10	300
Wapień	40	600
Żelazo zlewne	4500	4500
Żeliwo	1400	7000

*) Na ściskanie bada się próbki materjałów budowlanych w kształcie kostek o boku 7 cm, przyczem wedle przepisów M. K. P. należy zrobić co najmniej 5 prób i wziąć z nich średnią. Wytrzymałość, jaką ciało okazuje przy badaniu kostek, nazywamy wytrzymałością kostkową.



Rys 145.

Materjały jednostajne, np. żelazo, zwłaszcza żeliwo, posiadają wytrzymałość jednakową bez względu na kierunek, w którym ją badamy. Natomiast np. drzewo (i inne materjały o niejednostajnej budowie) ma inny spółczynnik wytrzymałości w kierunku włókien, a inny w kierunku prostopadłym do włókien.

Wydłużenie (wzgl. skrócenie) pręta w kierunku jego osi pod wpływem siły P (rys. 144), będzie tem większe, im większa jest siła P, natomiast tem mniejsze im przekrój ciała jest większy. Jeżeli np. pręt o długości 1 cm i przekroju 1 cm^2 przedłuży się pod wpływem siły 1 kg o długość α, to pręt o długości l, a przekroju F przedłuży się pod wpływem siły P o długość Δl, gdzie:

$$\Delta l = \frac{\alpha P l}{F} = \alpha \sigma l \quad \ldots\ldots \quad 85$$

Długość α nazywamy spółczynnikiem wydłużenia; zależny on jest tylko od materjału ciała.

Jeśli pręt o długości l przedłużył się o długość Δl, to każdy centymetr jego długości przedłużył się o wielkość $\lambda = \frac{\Delta l}{l}$, zwaną wydłużeniem jednostkowem.

Zamiast używać wielkości α, która jest zwykle bardzo mała, a więc niewygodna w rachunku, używamy często jej odwrotności E, t. zw. spółczynnika sprężystości:

$$E = \frac{1}{\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 86$$

Wtedy wydłużenie:

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF} = \frac{\sigma l}{E} \quad \ldots\ldots \quad 87$$

zaś wydłużenie jednostkowe:

$$\lambda = \frac{P}{EF} = \frac{\sigma}{E} \quad \ldots\ldots \quad 88$$

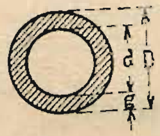
Spółczynniki wydłużenia, a tem samem i współczynniki sprężystości są również dla ciał jednolitych jednakowe, dla niejednolitych różne dla różnych kierunków (por. w tablicach: tablica I).

Przykłady 66—71.

66. Jak wielkie naprężenie na ściskanie powstaje w słupie drewnianym o wymiarach 24 × 18 cm pod wpływem obciążenia $P = 3500$ kg?

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{P}{bh} = \frac{35000}{18 \cdot 24} = 81 \text{ kg/cm}^2$$

67. Jak wielkie naprężenie na ściskanie powstaje w okrągłym pustym słupie żeliwnym, którego średnica zewnętrzna wynosi $D = 140$ mm, wewnętrzna $d = 100$ mm (rys. 146), pod wpływem siły $P = 6980$ kg



Rys. 145.

$$F = \frac{D^2\pi}{4} - \frac{d^2\pi}{4} = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) =$$

$$= \frac{\pi}{4}(14^2 - 10^2) = 76 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{6980}{76} = 92 \text{ kg/cm}^2.$$

68. Płaskownik żelazny o przekroju 70 × 25 mm, a długości 3,60 m przedłużył się pod wpływem siły ciągnącej 18 ton o 1,8 mm. Obliczyć naprężenie σ i spółczynnik sprężystości E materjału płaskownika.

Powierzchnia płaskownika $F = 7{,}0 \times 2{,}5 = 17{,}5$ cm², a stąd

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{18000}{17{,}5} = 1028{,}6 \text{ kg/cm}^2 \text{ (okrągło } \sigma = 1030 \text{ kg/cm}^2).$$

Wydłużenie $\Delta l = 1{,}8$ mm $= 0{,}18$ cm, zatem z wzoru:

$$E = \frac{Pl}{F \cdot \Delta l} = \sigma \frac{l}{\Delta l} = 1030 \frac{350}{0{,}18} = 2{,}000.000 \text{ kg/cm}^2$$

Wydłużenie jednostkowe wynosi:

$$\lambda = \frac{\Delta l}{l} = \frac{0{,}18}{350} = 0{,}00052$$

Zaś spółczynnik wydłużenia α:

$$\alpha = \frac{1}{E} = \frac{1}{2{,}000000} = 0{,}0000005.$$

Rachunek takiemi liczbami jak α jest ogromnie niewygodny i dlatego częściej spotykamy się ze spółczynnikiem sprężystości E.

69. Jak wielkie rozciąganie występuje w ścięgnie z żelaza spawanego, jeżeli długość pręta l wynosi 8 m, zaś wydłużenie $\Delta l = 4$ mm?

Z wzorów 85 i 86 otrzymujemy:

$$\sigma = \frac{\Delta l}{l} E = \frac{0,4}{8000} 2,000000 = 1000 \text{ kg/cm}^2.$$

70. Jak wielka jest siła rozciągająca w zadaniu 28, jeśli ścięgno ma przekrój 15 × 80 mm.

$$P = F\sigma = 1,5 . 8,0 . 1000 = 12000 \text{ kg}.$$

71. Pręt okrągły o długości 7,5 m, a średnicy 4 cm z żelaza zlewnego ($E = 2150000$ kg/cm²) rozciągany jest z siłą 8000 kg; obliczyć jego wydłużenie.

Wedle wzoru 65 wydłużenie Δl wynosi:

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF} = \frac{8000 . 750}{2150000 . {}^1/_4 . 4^2 . 3,14} = 0,23 \text{ cm}.$$

§ 33. Spółczynnik bezpieczeństwa i naprężenia dopuszczalne.

Przy projektowaniu konstrukcji inżynierskich trzeba zwykle odpowiedzieć na pytanie, jak wielką siłę zdoła unieść pewien pręt. Możemy obliczyć ją z równania 84; wynosi ona mianowicie:

$$P = F\sigma \text{ kg} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 89$$

Chodzi jednak o to, jak wielkie może być naprężenie σ. Otóż dla obliczenia przekrojów nie można brać pod uwagę największego możliwego naprężenia, jakie w materjale może wystąpić, t. zw. spółczynnika wytrzymałości K (por. § 31). Wtedy bowiem najmniejsze zwiększenie obciążenia, mała niejednostajność materjału, dalej powolne niszczenie materjału wskutek wpływów atmosferycznych (gnicie drzewa, rdzewienie żelaza), wreszcie jakikolwiek wpływ uboczny, musiałyby sprowadzić przekroczenie wytrzymałości, a tem samem zawalenie konstrukcji. Dlatego też przy obliczeniach budowli staramy się o większe „bezpieczeństwo", większą „pewność"; obliczamy mianowicie przekroje w ten sposób, aby naprężenia wyniosły tylko pewną np. 3-cią, 4-tą, wogóle jedną n-tą) część spółczynnika wytrzymałości —, a naprężenie w ten sposób przyjęte nazywamy **naprężeniem bezpiecznem, dopuszczalnem** lub **dozwolonem** k. Stosunek zaś spółczynnika wytrzymałości K do naprężenia dopuszczalnego k, nazywamy **spółczynnikiem pewności** lub **bezpieczeństwa**, krótko **pewnością**.

Wynosi ona: $$n = \frac{K}{k} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 90$$

Spółczynnik bezpieczeństwa bierzemy tem większy, im mniej jednostajny jest materjał (gdyż wtedy tem łatwiej znajdzie się jakieś słabsze miejsce materjału, któreby mogło spowodować zniszczenie konstrukcji), im dłużej konstrukcja ma stać (gdyż wtedy tem dłużej narażena jest na wpływy ciężarów i atmosfery), im mniej dokładnie możemy siły obliczyć i im większym ulega wstrząśnieniom, które zawsze bardzo zgubnie oddziałują na materjał (np. dla żelaza użytego do budowy mostów kolejowych, ulegających znacznym wstrząśnieniom przy przyjeździe pociągów musimy przyjąć o wiele większy spółczynnik pewności, niż np. dla dachów).

Zazwyczaj przyjmujemy nast. spółczynniki pewności.

	Budowle stałe	Budowle tymczasowe
Drzewo na rozciąganie	7	6
Drzewo na ściskanie	5	4
Mur, cegła, kamień	20	—
Beton	5	—
Żelazo zlewne	4	3—4
Żeliwo	7	—

Naprężenia dopuszczalne zestawione są w tablicach.

Tabliczka naprężeń dopuszczalnych, podana jest osobno.

Dla siły działającej P wynosi więc t. zw. przekrój potrzebny:

$$F_0 = \frac{nP}{K} = \frac{P}{k} \text{ kg/cm}^2 \qquad \ldots\ldots \quad 91$$

W konstrukcji nie możemy przyjąć jednak zwykle przekroju zupełnie dokładnie o tej samej wielkości F_0, ale musimy zastosować nieco większy F, zwany przekrojem przyjętym. Musi być on tak dobrany, aby powierzchnia jego w miejscu najbardziej osłabionem, po odtrąceniu wszystkich osłabień (dziury na nity i na śruby, zacięcia belek drewnianych i t. d.), czyli t. zw. przekrój użyteczny F_u był większy od przekroju potrzebnego F_0.

Najczęściej wyraża się w obliczeniu siłę działającą w kg (rzadziej w t.); powierzchnię w cm², a naprężenie (tem samem i naprężenie dopuszczalne w kg/cm²).

Przykłady 72—88.

72. Kostka z piaskowca o długości boku 20 cm została zgnieciona pod ciężarem 120 ton. Jak wielki jest spółczynnik wytrzymałości K?

Wedle wzoru 62 $K = \frac{P}{F}$, gdzie $P = 120\ \mathrm{t} = 120000\ \mathrm{kg}$, zaś F jest powierzchnią, na którą rozkłada się ciśnienie, w danym wypadku powierzchnią podstawy $20 \times 20 = 400\ \mathrm{cm}^2$. Zatem:

$$K = \frac{120000}{400} = 300\ \mathrm{kg/cm}^2.$$

Jeślibyśmy kamienia o tej wytrzymałości mieli użyć do konstrukcji budowlanej, to uwzględniając pewność $n = 20$ (por. str. 109), moglibyśmy na kostkę o wymiarach $20 \times 20 = 400\ \mathrm{cm}^2$ dopuścić co najwyżej naprężenie (dopuszczalne) $k = \frac{300}{20} = 15\ \mathrm{kg/cm}^2$, a zatem największe obciążenie:

$$P = Fk = 400 \, . \, 15 = 6000\ \mathrm{kg} = 6\ \mathrm{ton}.$$

73. Jak wielka jest wytrzymałość na rozciąganie pręta z żelaza złewnego jeżeli przy wymiarach 40×10 mm przerwie się przy obciążeniu 17000 kg:

$$K = \frac{P}{F} = \frac{17000}{1{,}0 \, . \, 4{,}0} = 4250\ \mathrm{kg/cm}^2.$$

74. Krótki zastrzał drewniany o przekroju 15/15 cm przenosi siłę 20000 kg. Obliczyć, czy naprężenia w zastrzale nie przekraczają granicy dozwolonej dla budowli tymczasowych $k_c = 90\ \mathrm{kg/cm}^2$.

$$\sigma = \frac{20000}{225} = 89\ \mathrm{kg/cm}^2, \text{ zatem mniej, niż } 90\ \mathrm{kg/cm}^2.$$

Zastrzał ma zatem wymiary dostateczne.

75. Obliczyć, jak wielką siłę ciągnącą przeniesie dźwigar dwuteowy *INP*. 8 przy naprężeniu dopuszczalnem $k_r = 1200\ \mathrm{kg/cm}^2$.

Powierzchnia przekroju $F = 9{,}07\ \mathrm{cm}^2$; zatem:

$$P = Fk_r = 9{,}07 \times 1200 = 10884\ \mathrm{kg} = \text{pr. } 11\ \text{ton}.$$

76. Obliczyć, jak wielkie ściskanie przeniesie niski słup żeliwny o przekroju kołowym, którego średnica zewnętrzna wynosi $D = 120$ mm, zaś grubość 15 mm.

Powierzchnia koła o średnicy $D = 12$ cm wynosi $F_1 = 113{,}1\ \mathrm{cm}^2$, zaś powierzchnia koła o średnicy $D - d = 12 - 2 \times 15 = 9$ cm. $F_2 = 63{,}6\ \mathrm{cm}^2$. Zatem powierzchnia przekroju słupa wynosi $F = F_1 - F_2 = 113{,}1 - 63{,}6 = 49{,}6\ \mathrm{cm}^2$. Przyjmując naprężenie dopuszczalne $k_c = 500\ \mathrm{kg/cm}^2$, otrzymamy:

$$P = Fk_c = 49{,}5 \times 500 = 24750\ \mathrm{kg}.$$

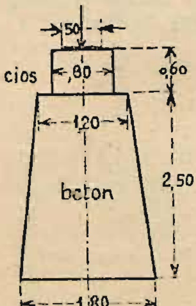
77. Okrągły pręt żelazny ma jako kotew przenieść ciągnienie wynoszące 12,51 t. Jak wielka musi być średnica d, jeżeli $k_r = 1200\ \mathrm{kg/cm}^2$ $\quad P = Fk_r = \frac{d^2\pi}{4} k_r$, a stąd:

$$d = \sqrt{\frac{4P}{k_r \pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 12500}{1200 \times 3{,}14}} \backsim 4\ \mathrm{cm} = 40\ \mathrm{mm}.$$

78. Okrągły słup marmurowy przenieść ma ciężar 40 ton, przy naprężeniu dopuszczalnem 20 kg/cm². Jaką średnicę musi otrzymać?

Ze wzoru 93 otrzymujemy: $F = \frac{40000}{40} = 2000\ \mathrm{cm}^2 = \frac{d^2\pi}{4}$ a stąd: $d = \sqrt{\frac{4\,.\,2000}{\pi}} = 50{,}5\ \mathrm{cm}$, a zamiast czego przyjmiemy okrągło $d = 50$ cm, co wobec bardzo małej różnicy jest dopuszczalne.

79. Słup żelazny spoczywa na płycie żelaznej, przenoszącej ciśnienie na cios. Należy obliczyć wielkość płyty, jeżeli siła przenosząca się na słup wynosi $P = 80{,}850$ kg, zaś naprężenie dopuszczalne na cios $k_c = 35\ \mathrm{kg/cm}^2$ (rys. 147).



Rys. 147.

Otrzymamy wtedy powierzchnię płyty:

$$F = \frac{80850}{35} = 2310\ \mathrm{cm}^2,$$

zatem jeden jej bok $a = \sqrt{2310} = 48{,}1$ cm, zamiast czego przyjmiemy $a = 50$ cm.

80. Znaleźć wymiary ciosu podporowego w zadaniu 79 jeśli spoczywa on na fundamencie betonowym (rys. 147).

Przyjmując cios o wymiarach $80 \times 80 \times 60$ cm, otrzymamy jego ciężar $C = 0{,}8\,.\,0{,}8\,.\,0{,}6\,.\,2700 = 780$ kg.

Zatem ciśnienie na fundament betonowy:

$$\sigma = \frac{80850 + 780}{80\,.\,80} = 12{,}8\ \mathrm{kg/cm}^2,$$ co jest ilością dopuszczalną.

81. Obliczyć wielkość ciosu podporowego dźwigara żelaznego I*NP* 25, jeżeli oddziaływanie wynosi 3030 kg. Jakie

ciśnienie wywiera dźwigar na cios, jeśli spoczywa na nim na długości 25 cm?

Cios spoczywa na murze, którego wytrzymałość na ciśnienie wynosi 5 kg/cm². Potrzebna powierzchnia ciosu wynosi zatem:

$$F_p = \frac{3030}{5} = 660 \text{ cm}^2.$$

Przyjmiemy zatem cios o wymiarach podstawy $20 \times 30 = 600$ cm². Powierzchnia jest nieco mniejsza, niż powierzchnia potrzebna F; jednak tak nieznacznie, że śmiało możemy ją pozostawić.

Szerokość stopki dźwigara wynosi $b = 11$ cm; zatem dźwigar spoczywa na podstawie $F_0 = 11{,}1 \, . \, 25 = 277{,}5$ cm. Ciśnienie na cios wynosi zatem $\sigma_c = \frac{3030}{277{,}5} = 10{,}9$ kg/cm².

82. Obliczyć wymiary łożyska (płyty żelaznej i ciosu podporowego) dachu żelaznego, jeśli oddziaływanie wynosi $P = 11220$ kg.

Przyjmując naprężenie dopuszczalne na cios 20 kg/ cm², otrzymamy powierzchnię płyty żelaznej:

$$F = \frac{P}{k_c} = \frac{11220}{20} = 561 \text{ cm}^2.$$

Przyjąć możemy więc płytę 200 . 280 mm; zamiast czego przyjmiemy ze względów konstrukcyjnych 200 . 300 mm. Ciśnienie na cios wynosi wtedy:

$$\sigma_c = \frac{11220}{20 \, . \, 30} = 18{,}7 \text{ kg/cm}^2.$$

Jeśli cios spoczywa na murze wykonanym na zaprawie cementowej (przy $k = 8$ kg/cm²), to powierzchnia ciosu powinna wynosić:

$$F_1 = \frac{11220}{8} = 1403 \text{ cm}^2.$$

Przyjmiemy cios o podstawie 40.40 cm, wysokości 30 cm.

83. Obliczyć szerokość łożyska żeliwnego blachownicy, której oddziaływanie wynosi $O = 28800$ kg, jeżeli długość jego przyjęto $l = 55$ cm, zaś naprężenie dopuszczalne na cios wynosi $k_c = 15$ kg/cm² (rys. 148).

Powierzchnia płyty wynosi $F_p = bl = \frac{k}{k_c}$, a stąd:

$$b = \frac{O}{lk_c} = \frac{28800}{55 \, . \, 15} = 35 \text{ cm}.$$

84. Znaleźć obciążenie gruntu w przykładach 79 i 80, jeśli fundament betonowy ma kształt podany na rys. 147.

Objętość ściętego ostrosłupa o podstawie kwadratowej wynosi: $O = \frac{h}{3}\left[a^2 + b^2 + \sqrt{a^2 + b^2}\right]$

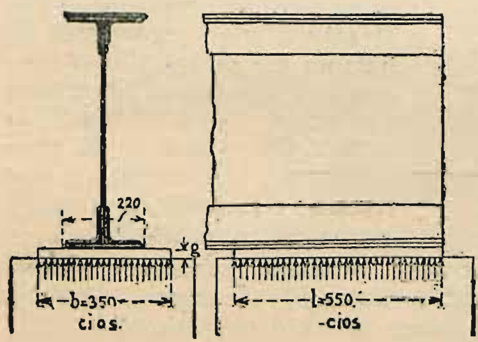
Zatem ciężar fundamentu betonowego:

$$C_1 = \frac{2,5}{3}\left[1,8^2 + 1,2^2 + \sqrt{1,8^2 + 1,2^2}\right] 2200 = 12540 \text{ kg}$$

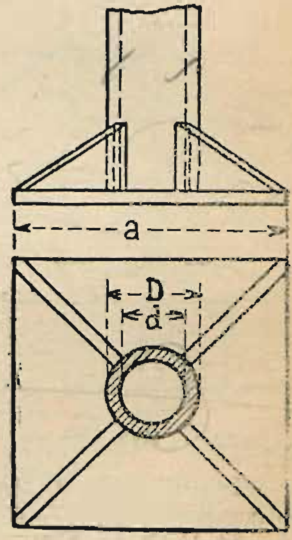
Zaś obciążenie gruntu: $\sigma_g = \frac{80850 + 780 + 12540}{180 . 180} = 2,9 \text{ kg/cm}^2$.

85. Słup okrągły pusty żeliwny o średnicy wewnętrznej 12 cm obciążony jest ciężarem 50 ton. Należy obliczyć wymiary płyty podstawowej o kształcie kwadratowym, jeżeli ciśnienie dopuszczalne na mur (na cemencie) wynosi 10 kg/cm² (rys. 149).

Płyta podstawowa musi otrzymać wymiary takie, aby ciśnienie, rozkładające się przez nią jednostaj-



Rys. 148.



Rys. 149.

nie, było równe naprężeniu dopuszczalnemu na mur. Zatem $P = 10\,a^2$, gdzie a jest bokiem płyty podstawowej.

Stąd: $a = \sqrt{\frac{P}{10}} = \sqrt{\frac{50000}{10}} = 70,7$ cm.

86. Obliczyć płytę podstawową dla tego samego wypadku, jeżeli w niej ma pozostać otwór o średnicy równej wewnętrznej średnicy słupa (d = 12 cm).

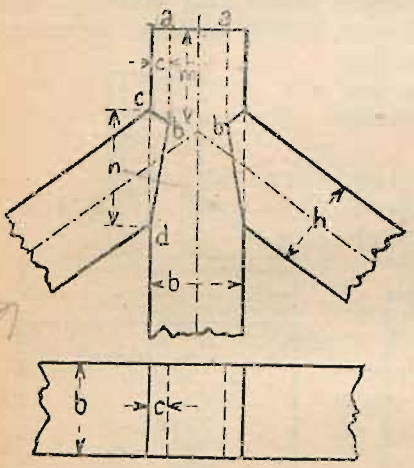
Płyta podstawowa będzie miała wtedy powierzchnię:

$$a^2 - \frac{d^2\pi}{4} = a^2 - \frac{12^2\pi}{4} = a^2 - 113{,}1$$

zatem siła $P = 10\,(a^2 - 113{,}1) = 50000$ kg

$$a = \sqrt{\frac{50000}{10} + 113{,}1} = \sqrt{5113{,}1} = 71{,}5\ \text{cm}.$$

87. Na słup wiszący wiązania przedstawionego na rys. 41, przenosi się siła 6600 kg. (Porównaj przykład 16). Obliczyć, czy wystarczy przekrój słupa 20×20 cm, jeżeli naprężenie dopuszczalne drzewa na rozciąganie wynosi 110 kg/cm² (rys. 150).



Rys. 150.

Wedle równ. 91 wynosi przekrój potrzebny:

$$F_0 = \frac{6600}{110} = 60\ \text{cm}^2.$$

Słup ma przekrój 20×20 cm, tj. $F = 400$ cm²; jednakowoż zacięty jest na zastrzały, a więc jego przekrój osłabia się zacięciami o głębokości $c = 4$ cm. Przekrój użyteczny wynosi zatem $F_u = 20 \times (20 - 2.4) = 20.12 = 240$ cm², t. j. więcej niż potrzeba. Przekrój wystarczy zatem najzupełniej.

Moglibyśmy nawet przyjąć przekrój mniejszy. Jeżeli miałby być też kwadratowy o boku b, a zacięcia miałyby wynosić $^1/_5\ b$, to otrzymalibyśmy przekrój użyteczny

$$F_u = b\left(b - 2\frac{b}{5} = {}^3/_5\right) b^2 = 60\ \text{cm}^2,\ \text{a stąd } b = \sqrt{\frac{5.60}{3}} =$$

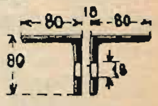
$$= \sqrt{100} = 10\ \text{cm}.$$

Przekrój użyteczny wynosi wtedy rzeczywiście $(10.10 - 2.2) = 60$ cm². Przekroju tego nie użylibyśmy jednak, gdyż ze względów praktycznych jest za mały.

88. Pas dolny wiązara dachowego żelaznego przenosi ciągnienie o wielkości 25000 kg. Należy znaleźć jego przekrój z uwzględnieniem przymocowania nitami o średnicy 10 mm (porównaj rys. 151).

Przekrój potrzebny wynosi $F_0 = \frac{25000}{1200} = 20{,}9\ \mathrm{cm}^2$. Przyjąwszy 2 kątowniki 80.80.8, otrzymamy z uwzględnieniem nitów:

powierzchnię przekroju	$2 \times 12{,}27 = 24{,}54\ \mathrm{cm}^2$	
„ nitów	$2.0{,}8.1{,}8 = \ \ 2{,}88$ „	
„ użyteczną	$F_u = 21{,}66\ \mathrm{cm}^2$	



Rys. 151.

Przekrój kątowników bezpośrednio mniejszych nie wystarczyłby; zastosujemy więc 2 kątowniki 80.80.8.

C. Wytrzymałość na ścinanie.

§ 34. Wytrzymałość na ścinanie.

Naprężenia ścinające występują wtedy, gdy siły działające w przekroju *ab* starają się przesunąć go poprzecznie względem sąsiedniego przekroju (patrz rys 139 i 140), jednakowoż nie zmieniając ich odległości. W obliczeniu przyjmujemy, że (jak przy rozciąganiu i ściskaniu) w każdym punkcie przekroju *ab* powstają te same naprężenia; otrzymamy wtedy wzory podobne do wzorów na ściskanie i rozciąganie. Jeśli największą siłą, jaką przekrój *ab* o powierzchni $F\ \mathrm{cm}^2$ zdoła przenieść na ścinanie, jest P, to $1\ \mathrm{cm}^2$ tego przekroju przenosi

$$K_t = \frac{P_t}{F}\ \mathrm{kg/cm}^2 \quad \ldots\ldots \quad 92$$

Siłę tę, wypadającą na $1\ \mathrm{cm}^2$, nazywamy **spółczynnikiem wytrzymałości na ścinanie.**

Ze wzoru 91 otrzymamy największą siłę ścinającą, jaką przenosi przekrój:

$$P = FK_t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 93$$

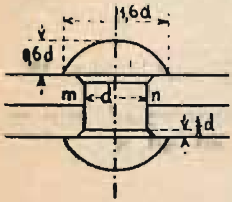
W chwili, w której siła dosięgnie wartości, podanej w tym wzorze, materjał zostanie ścięty. Spółczynnik wytrzymałości na ściskanie ścinanie K_t jest mniejszy od spółczynnika wytrzymałości na ściskanie (por. § 33) i wynosi około $^4/_5\ K_c$ a to samo dotyczy oczywiście **naprężenia dopuszczalnego na ścinanie.** Zwykle wynosi ono dla metali *ok* $^1/_.$, dla drzewa $^1/_{10}$ wytrzymałości na ścinanie.

Największa siła dopuszczalna wynosi:

$$P = Fk_t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 93a$$

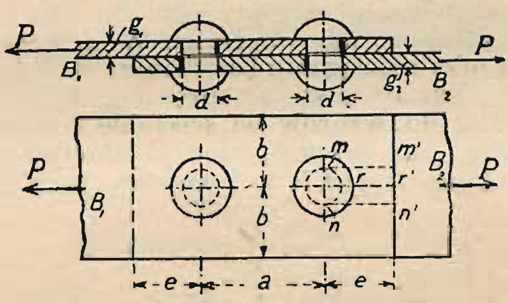
§ 35. Połączenia nitowane.

Do łączenia blach i kształtowników żelaznych używamy nitów. Składają się one ze sworznia, z główki, gotowej przed użyciem nitu, oraz z nakówki, powstającej, po umieszczeniu nita w otworze, przez nakucie nitarką. Główka i nakówka mają najczęściej kształt sferoidalny; czasem używa się jednak nitów wpuszczonych. Zasadnicze wymiary wskazane są na rys. 152. Nit wykonywujemy w temperaturze t. zw. jasno czerwonego żaru; ochładzając się, ściąga się on i przyciska silnie blachy. Dla większej pewności nie uwzględniamy jednak w obliczeniu tego nacisku i powstającego wskutek niego tarcia, ale liczymy nity na ścinanie. Nit może bowiem zostać ścięty w płaszczyźnie mn, a wtedy połączenie zostanie zniszczone.



Rys. 152.

Jeśli blachy B_1 i B_2 (rys. 153 i 154) są rozciągane z siłą P, to siłę tę przenieść muszą łączące ją nity. Niech średnica



Rys. 153 i 154.

nitu wynosi d (więc przekrój $F=\frac{d^2\pi}{4}$), a naprężenie dopuszczalne na ścinanie k_t, to jeden nit przenieść może siłę

$$P \leqq Fk_t = \frac{d^2\pi}{4} k_t = 0{,}78\, d^2 k_t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 94$$

Jeśli nitów jest większa ilość (np. n), to przenoszą one siłę

$$P = n\, \frac{d^2\pi}{4}\, k_t = 0{,}78\, n d^2 k_t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 95$$

Naprężenie dopuszczalne k_t wynosi tu 900 kg/cm², wyjątkowo 1000 kg/cm², zatem na nit o średnicy $d=16$ mm dopuścić można siłę $P=1800$ kg, wyjątkowo 2000 kg. (Por. tablicę nitów.)

Dla $k_t = 900\ \mathrm{kg/cm^2}$ otrzymujemy:

$$P = 706\, d^2 \qquad \text{94a}$$

oraz $$P = 706\, n d^2 \qquad \text{95a}$$

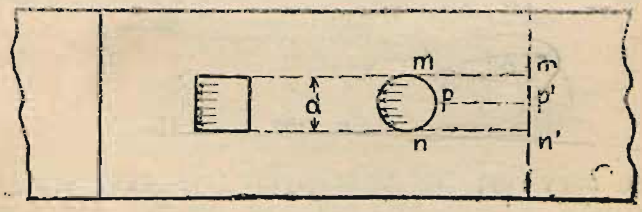
Nit może jednak ulec zniszczeniu i w inny sposób. Ponieważ w blachach istnieją siły, skierowane, jak wskazują strzałki na figurze, przeto sworznie nitów wywierają ciśnienie na ściankę dziury w miejscach, zaznaczonych grubszemi linjami. Ciśnienie to również nie powinno przekroczyć granicy dopuszczalnej na ciśnienie, którą tutaj można przyjąć do $1800\ \mathrm{kg/cm^2}$; o ileby ciśnienie to doszło do zbyt wielkiej wysokości, nit (dwucięty) uległy zniszczeniu wedle rys. 154a. Ciśnienie to rozkłada się właściwie na powierzchnię $d\times g_1$, jednakowoż nierównomiernie. Dlatego też przyjmujemy, że rozdziela się ono jednostajnie na rzut ścianki, t. j. tak, jak gdyby nit miał przekrój kwadratowy (rys. 159).

Rys. 154a.

Otrzymamy wtedy:

$$P \leq d g_1 k_d \qquad \text{96}$$

Oczywiście ściskanie będzie większe dla cieńszej blachy i dlatego tylko cieńszą we wzorze powyższym uwzględniamy ($g_1 < g_2$).



Rys. 155.

Dla n nitów otrzymamy, przyjmując (w przybliżeniu), że siła rozkłada się na nie jednostajnie:

$$P \leq n d g_1 k_d \qquad \text{97}$$

Dla $k_d = 1800\ \mathrm{kg/cm^2}$ otrzymamy:

$$P = 1800\, d g_1 \qquad \text{98}$$

względnie: $$P = 1800\, n d g_1 \qquad \text{98a}$$

Np. nit o średnicy 15 mm przy grubości blachy $g_1 = 10$ mm, a naprężeniu dopuszczalnem $k_d = 1800\ \mathrm{kg/cm^2}$ przeniesie siłę $P = 1{,}5 \times 1{,}0 \times 1800 = 2880$ kg.

Również obliczyć można długość blachy przed nitami e. Blacha pod wpływem siły może się bowiem wyrwać na długości e wzdłuż linji mm' i nn', a zatem na podwójnej powierzchni $g_1 e$. Grubości g_2 jako większej nie uwzględniamy. Musi zatem spełnić się równanie:

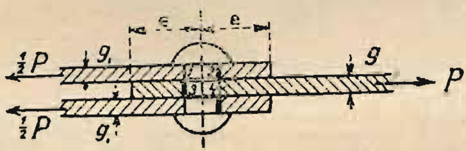
$$P \leqq 2 g_1 e k_t \quad \ldots\ldots\ldots \quad 99$$

z którego można znaleźć e. Zwykle jednak nie obliczamy odległości e, choćby z uwagi na to, że blacha raczej przerwie się w linji środkowej między mm' i nn', t. j. w linji pp'. Również nie obliczamy a, ale ze względów praktycznych przyjmujemy średnio:

$$\left.\begin{array}{lll} a = 3\,d & \text{(conajmniej} & a = 2{,}5\,d) \\ b = 1{,}5\,d & (\quad\text{„} & b = 1{,}25\,d) \\ c = 2\,d & (\quad\text{„} & e = 1{,}5\,d) \end{array}\right\} \quad \ldots \quad 100$$

przyczem do wartości minimalnych, podanych w nawiasie. staramy się nie schodzić, chyba przy zupełnym braku miejsca.

O wiele częściej jednak używamy t. zw. **nitowania podwójnego**, t. j. takiego, przy którem dla zniszczenia połączenia nity musiałyby zostać ścięte w dwu płaszczyznach



Rys. 156.

i dlatego nazywają się dwuciętymi (rys. 156). Wtedy każdy z przekrojów 12 i 34 nitu przenosi połowę siły działającej, t. j. $^1/_2\,P$; zatem cała siła przenosząca się przezeń wynosi:

$$P \leqq 2 \frac{d^2 \pi}{4} k_t = 1{,}57\, d^2 k_t \quad \ldots\ldots \quad 101$$

względnie dla n nitów:

$$P \leqq 2\, n \frac{d^2 \pi}{4} k_t = 1{,}57\, n d^2 k_t \quad \ldots\ldots \quad 102$$

Przy obliczaniu ciśnienia na ściankę dziury musimy uwzględnić osobno ciśnienie wywierane przez nit **łącznie** na dwie powierzchnie, zaznaczone linją grubą po prawej stronie nitu, osobno na powierzchnię, zaznaczoną po stronie lewej, t. j. na powierzchnie $2dg_1$, ewentualnie na dg. Ponieważ zwykle $2g_1$ jest równe lub większe niż g, przeto wystarczy liczyć wedle wzoru:

$$P \leq dgk_d \quad \ldots \ldots \ldots \quad 103$$

względnie dla n nitów $P \leq ndgk_d$ 103a

Dla $k_t = 900$ kg/cm², oraz $k_d = 1800$ kg/cm² otrzymujemy na ścinanie

$$P = 1413\, nd^2 \quad \ldots \ldots \ldots \quad 104$$

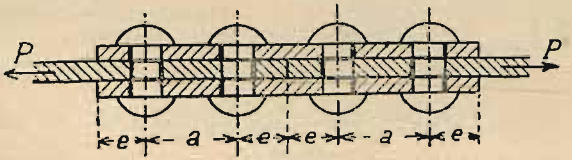
na ciśnienie na ściankę dziury (jak 98a)

$$P = 1800\, ndg \quad \ldots \ldots \ldots \quad 105$$

Często nawet dla blach pojedynczych stosujemy nity dwucięte, co da się uzyskać przez użycie obustronnych przykładek (rys. 157). Grubość tychże daje się nieco większą, niż $\frac{g}{2}$, tak, że prawie zawsze do obliczenia można użyć wzoru 103. Odległości a, e i b pozostają jak we wz. 100.

Przy obliczaniu przekroju prętów ciągnionych musimy uwzględnić t. zw. przekrój użyteczny F_u mniejszy od przekroju normalnego F o powierzchnię nitów F_n (por. przykł. 87).

Jeżeliby szeroki płaskownik lub wysoki kształtownik potrzeba było przytwierdzić znaczniejszą ilością nitów, to F_n mogłoby wypaść bardzo wielkie, a więc F_u stosunkowo



Rys. 157.

małe. Możemy jednak tego uniknąć, rozmieszczając nity tak, aby w pierwszym przekroju był jeden (lub dwa) nit, a w następnych rzędach zwiększając ich ilość. Każdy następujący rząd nie może jednak mieć więcej, niż dwa razy tyle nitów, co poprzedni. Wtedy przekrojem niebezpiecznym jest przekrój przez pierwszy nit. Na rys. 162 widzimy rozkład nitów taki, że każdy płaskownik przytwierdzony jest $1+2+3=6$ nitami, która to ilość wypadła z obliczenia (por. przykł. 91). Nie można jednak zwiększać nitów w następujący sposób: $1+3+5$, lub $1+2+6$, gdyż $3>2\times 1$, $6>2\times 2$.

§ 36. Obliczenie śrub.

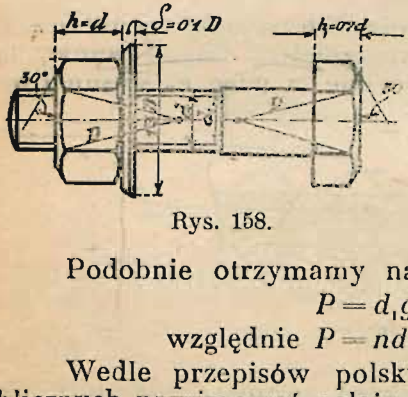
Do połączeń konstrukcji drewnianych, a niekiedy i żelaznych*) używamy śrub. Składają się one ze **sworznia** z naciętemi gwintami czyli skrętami, **głowy** śruby zwykle sześciobocznej i również sześciobocznego **naśrubka**. Najczęściej używane śruby o gwintach systemu Whitforda (por. tablicę śrub) oznacza się wedle średnicy sworznia, podanej w calach angielskich.

Śruba może przenieść siłę odpowiadającą wewnętrznej średnicy gwintu, t. zw. średnicy rdzenia d_1 (rys. 158) i uwzględniając tę średnicę d_1 oblicza się śruby zupełnie tak samo, jak nity. Siła przeniesiona przez jedną śrubę na ścięcie wynosi zatem:

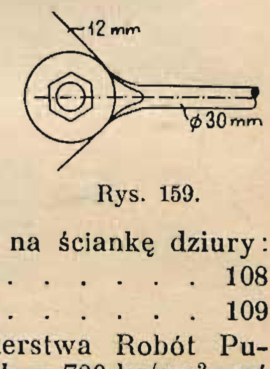
$$P = \frac{d_1^2 \pi}{4} k_t \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 106$$

gdzie k_t jest naprężeniem dopuszczalnem śruby na ścinanie. Ewentualnie n śrub przeniesie:

$$P = n \frac{d_1^2 \pi}{4} k_t \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 107$$



Rys. 158.



Rys. 159.

Podobnie otrzymamy na ciśnienie na ściankę dziury:

$$P = d_1 g k_d \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 108$$

$$\text{względnie } P = n d_1 g k_d \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 109$$

Wedle przepisów polskiego Ministerstwa Robót Publicznych przyjmować należy dla śrub: $k_t = 700$ kg/cm², zaś $k_d = 1400$ kg/cm².

Wtedy otrzymamy wzory powyższe w postaci:

$$\text{na ścinanie } P = 550\, d_1^2 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 110$$

$$\text{na ciśnienie na ściankę dziury } P = 1400\, d_1 g \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 111$$

Śruby mogą działać jednak także na osiowe ciągnienie; wtedy dla siły osiowej P musi spełniać się równanie.

---

*) Do połączeń żelaznych używa się ich zwłaszcza wtedy, gdy mają przenieść zarazem ciągnienie lub też, gdy z powodu braku dostępu nie można w danem miejscu wykonać nitu.

$$P = \frac{d_1{}^2\pi}{4} k_r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 112$$

(gdzie k_r jest naprężeniem dopuszczalnem na ciągnienie), a wtedy najmniejsze możliwe d_1:

$$d_1 = 1{,}13 \sqrt{\frac{P}{k_r}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 113$$

Dla śrub przyjmujemy zwykle naprężenie dopuszczalne na rozciąganie tylko $k_r = 800$ kg/cm² ze względu na to, że już przy naciąganiu naśrubka powstają w śrubie pewne naprężenia skręcające.

Przykłady 89—95.

89. Obliczyć na ścinanie i na ciśnienie na ściankę dziury trzpień okrągły z żelaza zlewnego, jeżeli służy do utwierdzenia ścięgna, przenoszącego 2960 kg. Naprężenie dopuszczalne na ścinanie wynosi $k_t = 800$ kg/cm²; naprężenie dopuszczalne na ciśnienie na ściankę dziury $k_d = 1400$ kg/cm². Grubość blachy 12 mm (fig. 159).

Przekrój trzpienia otrzymamy ze wzoru 93a $P = Fk_t$ gdzie F jest przekrojem trzpienia:

$$F = \frac{P}{k_t} = \frac{2960}{800} = 3{,}7 \text{ cm}^2.$$

Dla $d = 2{,}2$ cm wynosi powierzchnia $F = 3{,}80$ cm²; na ścinanie wystarczyłby zatem ten przekrój. Ponieważ jednak trzpień narażony jest na zginanie wskutek mimośrodkowego działania siły, przeto zastosujemy $d = 30$ mm.

Ciśnienie na ściankę dziury wynosi wtedy:

$$P = g\, d\, \sigma_d$$

$$\sigma_d = \frac{P}{gd} = \frac{2960}{1{,}2 \times 3{,}0} = 823 \text{ kg/cm}^2.$$

Zatem znacznie poniżej naprężenia dopuszczalnego.

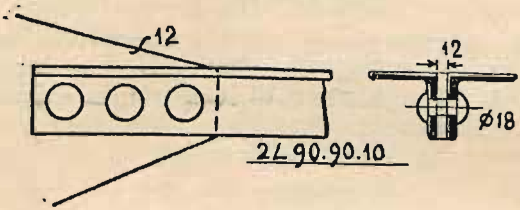
90. Przekrój pręta, przenoszącego siłę $P = 11{,}67$ ton składa się z dwu kątowników 90.90.10, leżących obustronnie na blasze węzłowej. Należy obliczyć ilość nitów, potrzebną, by go przytwierdzić do blachy węzłowej, jeżeli średnica ich $d = 18$ mm (rys. 160 i 161.)

Wszystkie nity są dwucięte, gdyż kątowniki obejmują blachę węzłową. Jeden nit przenosi tedy na ścinanie siłę

$$P' = 2\,\frac{d^2\pi}{4}\,k_t = 2\,\frac{1{,}8^2 \,.\, 3{,}14}{4} \cdot 900 = 4560 \text{ kg}.$$

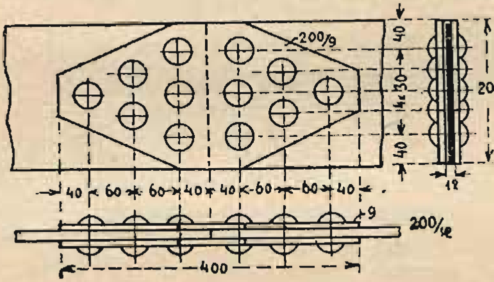
Na ciśnienie przenieść może jeden nit siłę $P'' = dgk_d =$ $= 1{,}8 \,.\, 1{,}2 \,.\, 1800 = 3880$ kg, gdzie za g przyjęliśmy grubość blachy węzłowej $g = 12$ mm. Musimy liczyć zatem na ciśnienie na ściankę dziury.

Trzy nity przenoszą siłę $3P'' = 3 \,.\, 3880 = 11640$ kg; tej więc ilości nitów potrzeba dla przymocowania. (Te same wartości otrzymamy z tablicy nitów.)



Rys. 160 i 161.

91. Płaskownik żelazny 200 . 12 przenosi siłę osiową $P = 23{,}0$ ton; należy obliczyć, jakiej ilości nitów ($d = 18$ mm) wymaga styk, kryty obustronnemi przykładkami 200 . 9 (rys. 162).



Rys. 162.

Ze względu na ścinanie przenosi jeden nit siłę $P' = 4560$ kg (por. tablicę nitów); zatem potrzebna ilość nitów

$$n' = \frac{P}{P'} = \frac{23000}{4560} = 5 \text{ nitów.}$$

Ze względu na ściskanie przenosi jeden nit siłę $P'' =$ $= 3880$ kg, zatem potrzebna ilość nitów:

$$n'' = \frac{P}{P''} \frac{23000}{3880} = 5{,}9 = 6 \text{ nitów.}$$

Przyjmiemy oczywiście ilość większą, t. j. 6 nitów.

Przekrojem niebezpiecznym jest przekrój przez pierwszy nit, a przekrój użyteczny płaskownika wynosi $20{,}0 \,.\, 1{,}2 - 1{,}8 \times$ $\times 1{,}2 = 21{,}84$ cm^2.

92. Dźwigar I*NP* 20 należy przytwierdzić do dźwigara I*NP* 24 zapomocą nitów i kątowników 80 × 80 × 8. Oddziaływanie dźwigara I*NP* 20 wynosi $P = 5000$ kg. Należy obliczyć ilość nitów o średnicy $d = 18$ mm (rys. 163).

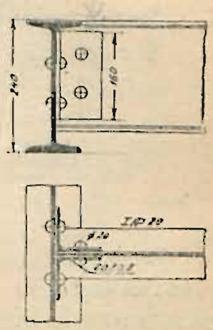
a) Nity, łączące dźwigar *INP* 20 z kątownikiem 80 × 80 × 8.

Na ścinanie przenosi jeden nit (dwucięty) siłę 4560 kg (por. tablicę nitów); przeto potrzebna ilość nitów:

$$n = \frac{5000}{4560} = 1{,}1 \text{ (tj. 2 nity).}$$

Na ciśnienie na ściankę dziury dla grubości ścianki dźwigara $g = 8$ mm przeniesie jeden nit 2590 kg; zatem:

$$n = \frac{5000}{2590} = 2 \text{ nity.}$$



Rys. 163.

Przyjmujemy 2 nity $d = 18$ mm.

b) Nity, łączące kątownik 80×80×8 z dźwigarem *NP* 24.

Na ścinanie przenosi jeden nit (raz cięty) siłę 2280 kg; zatem potrzebna ilość nitów wynosi:

$$n = \frac{5000}{2280} = 2{,}2 \text{ t. j. } 3.$$

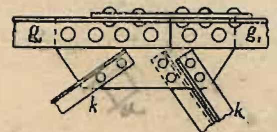
Przyjmiemy oczywiście 4 nity.

Na ciśnienie na ściankę dziury dla grubości ramienia kątownika 8 mm, otrzymamy j. w.

$$n = \frac{5000}{2590} = \text{pr. } 2.$$

Zatem pozostawimy 4 nity $n = 18$ mm.

93. Obliczyć ilość nitów, potrzebnych do utwierdzenia pasu górnego dachu żelaznego, jeżeli siły wewnętrzne wynoszą: $g_1 = 9580$ kg, $g_2 = 22000$ kg, $k_1 = 3600$ kg, $k_2 = 4500$ kg; zaś przekroje: g_1 i g_2 = 80×80×10; $k_1 = k_2$ = 50×50×5. Blacha węzłowa ma grubość 10 mm. Wszystkie kątowniki zetknięte w węźle. Nity g_1 i g_2 mają średnicę $d' = 18$ mm; k_1 i k_2 średnicę 14 mm (rys 164).



Rys. 164.

P r ę t $g_1 = 9580$ kg.

Na ścinanie otrzymujemy dla $d = 18$ mm.

$$n_1 = \frac{9580}{4560} = 2{,}1 \text{, przyjmujemy 3 nity}$$

Na ciśnienie na ściankę dziury:

$$n_2 = \frac{9580}{3240} = 3{,}1, \text{ prz. 4 nity.}$$

Przyjmujemy 4 nity.

P r ę t g_2 = 19330 kg. Na ścinanie:

$$n_1 = \frac{22000}{4560} = 5 \text{ nitów.}$$

Na ciśnienie na ściankę dziury:

$$n_2 = \frac{22000}{3240} = 7 \text{ nitów.}$$

Zwykle staramy się tak znacznej ilości nitów nie stawiać w jednym rzędzie; dlatego też umieszczamy na kątownikach przykładkę, która część siły przenosi. Niech jej grubość wynosi 10 mm, to przytwierdzając ją 4 nitami (raz ciętymi) do obu kątowników, otrzymujemy siłę przez nie przeniesioną:

na ściskanie $P' = 4 \times 3240 = 12960$ kg;

na ścinanie $P'' = 4 \times 2280 = 9120$ kg.

Uwzględniając siłę P'' jako mniejszą, otrzymujemy konieczną ilość nitów dla przytwierdzenia pręta g_1 (na ciśnienie)

$$n' = \frac{9580-9120}{3240} = 0{,}13,$$

(zamiast czego przyjmiemy 2 nity).

Dla przytwierdzenia pręta g_2 otrzymujemy konieczną ilość nitów:

$$n'' = \frac{22000-8120}{3240} \backsim 4 \text{ nity.}$$

P r ę t k_1 = 3600 kg. Na ścinanie dla $d = 14$ mm:

$$n_1 = \frac{3600}{2700} = 1{,}3, \text{ prz. 2 nity.}$$

Na ściskanie na ściankę dziury:

$$n_2 = \frac{3600}{2520} = 1{,}43, \text{ prz. 2 nity.}$$

P r ę t k_2 = 4550 kg. Na ścinanie dla $d = 14$ mm.

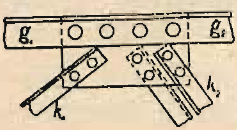
$$n_1 = \frac{4500}{1380} = 3{,}3, \text{ prz. 4 nity.}$$

Na ściskanie na ściankę dziury:

$$n_2 = \frac{4500}{1260} = 3{,}6, \text{ prz. 4 nity.}$$

94. Obliczyć ilość nitów, potrzebną do utwierdzenia pasa górnego dachu żelaznego, jeżeli siły wewnętrzne wynoszą: $g_1 = 9580$ kg, $g_2 = 22000$ kg, a kątowniki 80.80.10 przeprowadzamy bez zetknięcia (rys. 165).

Jeżeli kątowniki pasu nie są zetknięte, to nie byłoby potrzeba żadnych nitów, gdyby obustronnie działały równe siły (np. $g_1 = g_2 = 9580$ kg); potrzeba natomiast przenieść nitami tę część siły, która nie jest zrównoważona siłą, działającą w tym samym kierunku po drugiej stronie węzła. Tutaj obustronnie równoważą się siły równe mniejszej z sił g_1 i g_2, t. j. 9580 kg; natomiast nie pozostaje zrównoważona siła $22000 - 9580 = 12420$ kg Na tę więc siłę trzeba przytwierdzić pręt. Jeżeli przyjmiemy nity $d = 18$ mm, to wedle tablicy niesie jeden taki nit dwucięty na ścinanie 4560 kg, na ciśnienie na ściankę dziury przy blasze węzłowej 10 mm 3240 kg. Uwzględniając mniejszą z tych sił, otrzymamy potrzebną ilość nitów $n = 4$, gdyż $P = 4 \times 3240 = 12960$ kg. Dla $n = 3$ otrzymalibyśmy $P = 3.3200 = 9600$ kg, co nie wystarcza.



Rys. 165.

Porównując z zad. 93 widzimy, jaką oszczędność możemy uzyskać przez przeprowadzenie kątowników wskróś bez zetknięcia.

95. Należy obliczyć połączenie belek wiązania wiszącego (rys. 42), którego siły wewnętrzne wyznaczono w przykładzie 16, jeżeli przekrój słupa wiszącego i zastrzałów wynosi 20 × 20 cm, zaś przekrój belki poziomej 24 × 20 cm (por. też przykł. 87).

a) Połączenie słupa wiszącego z zastrzałami (rys. 150).

Ciągnienie $P = 6600$ kg w słupie wiszącym przenosi się na zastrzały w ten sposób, że każdy zacios przenosi połowę tej siły. Zacios zostałby zniszczony, gdyby wystająca część słupa została ścięta wzdłuż linji ab (na długości m, zaś szerokości $b = 20$ cm) po obu stronach. Otrzymamy stąd równanie:

$$P = 2\,mbk_t \quad \ldots\ldots\ldots \quad 114$$

a więc, przyjmując $k_t = 15$ kg/cm^2 (dla drzewa miękkiego),

$$m = \frac{P}{2\,bk_t} = \frac{6600}{2.20.15} = 11{,}0 \text{ cm},$$

zamiast czego przyjęliśmy 20 cm.

Zniszczenie połączenia mogłoby nastąpić także w ten sposób, że siła $^1/_2\,P$ ściełaby zastrzał wzdłuż linji cd o długości n, zatem na powierzchni bn.

Wtedy $$^1/_2\,P = bn\sigma_t \quad \ldots\ldots\ldots \quad 115$$

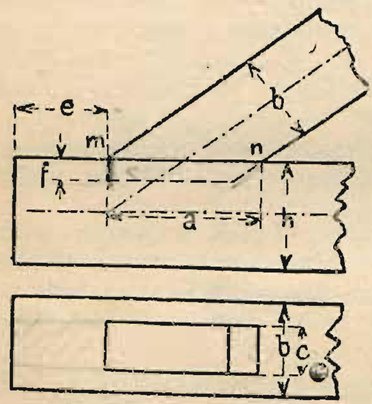
a uwzględniwszy, że $n = \frac{h}{\cos\alpha} = \frac{b}{\cos\alpha}$

$$\tfrac{1}{2} P = \frac{b^2}{\cos\alpha}\,\sigma_t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 115a$$

a stąd: $\sigma_t = \frac{P\cos\alpha}{2\,b^2} = \frac{6600\,.\,0{,}8}{2\,.\,20^2}$, zatem mniej, niż wynosi naprężenie dopuszczalne $k_t = 15$ kg/cm^2.

b) Połączenie zastrzałów z belką poziomą (rys. 166).

Wykonano je na czop, którego długość a zależna jest od przekroju i nachylenia zastrzału i wynosi $a = \frac{b}{\sin\alpha}$, zaś szerokość obliczymy na ścięcie w następujący sposób:



Rys. 166.

Składowa pozioma siły w zastrzale, wynosząca H, stara się czop ściąć wzdłuż płaszczyzny mn. Jeżeli więc połączenie ma być wytrzymałe, to musi się spełnić równanie:

$$H = ack_t = \frac{bc}{\sin\alpha}\,k_t \quad . \quad . \quad 116$$

czyli:

$$c = \frac{H\sin\alpha}{bk_t} = \frac{4400\,.\,0{,}6}{20\,.\,15} = 8{,}3 \text{ cm.}$$

Należy obliczyć także długość e belki poziomej przed zastrzałem. Połączenie uległoby zniszczeniu, jeżeliby ta wystająca część została przez czop wysunięta, t. j. ścięta wzdłuż dwu płaszczyn pionowych o wysokości f, i jednej poziomej o szerokości, równej szerokości czopu c, t. j. wzdłuż sumarycznej powierzchni: $2fe + ce = (2f + c)\,e$. Naprężenia ścinające wzdłuż tej powierzchni muszą więc być mniejsze od dopuszczalnego, czyli:

$$H = (2f + c)\,ek_t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 117$$

a stąd:

$$e = \frac{H}{(2f + c)k_t} = \frac{4400}{(2\,.\,5 + 13)\,15} = 12{,}7, \text{ przyjmiemy } 20 \text{ cm.}$$

(W wykonaniu dalibyśmy prawdopodobnie nie czop, ale zacios na całą szerokość belki.)

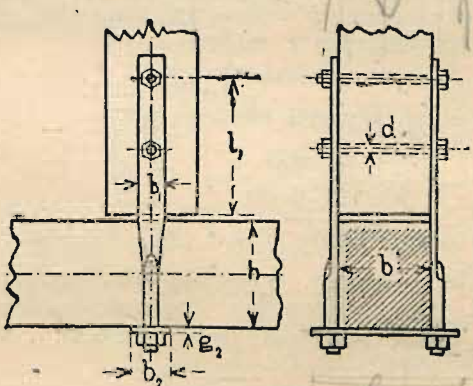
c) Połączenie słupa wiszącego z belką poziomą (rys. 167). Wytrzymałość tego połączenia zależy od wytrzymałości śrub poziomych o średnicy d_1, pionowych o średnicy d_2 i przykładek.

Śruby d_1 obliczymy na ścinanie i ciśnienie na ściankę dziury. Przenoszą one siłę $P = 6600$ kg. Na ścinanie otrzymamy wedle wzoru 110 dla dwu śrub dwuciętych:

$$P = 2 . 2 . 550\, d_1^2 = 2200\, d_1^2$$

$$\text{a stąd: } d = \sqrt{\frac{P}{2200}} = \sqrt{\frac{6600}{2200}} = 1{,}72 \text{ cm},$$

zamiast czego przyjmiemy śrubę o średnicy $^7/_8$" = 18,6 mm o przekroju rdzenia 2,72 cm².



Rys. 167.

Ciśnienie na ściankę dziury (więc na drzewo) nie powinno przekraczać naprężenia $k_d = 120$ kg/cm². Otrzymamy więc dla dwu otworów:

$$P = 2\, dbk_d \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 118$$

a stąd:

$$d = \frac{P}{2\, bk_d} = \frac{6600}{2 . 20 . 120} = 1{,}38 \text{ cm}.$$

Zatrzymamy więc śrubę poprzednio obraną.

Tę samę siłę P przenoszą na słup dwie przykładki u góry płaskie, u dołu przechodzące w śruby o średnicy d_2. Jeżeli grubością górnej części przykładki jest $g = 1$ cm, to jej szerokość użyteczna wynosi $(b_1 - d)$, zatem:

$$P = 2\,(b_1 - d)\,g k_r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 119$$

a stąd:

$$b_1 = \frac{P}{2\,g k_r} + d = \frac{6600}{2.1.1200} + 1{,}86 = 2{,}75 + 1{,}86 = 4{,}61 \text{ cm},$$

zamiast czego przyjmujemy 5 cm.

Średnicę d_2 śruby, w którą u dołu przechodzi przykładka, obliczymy na rozciąganie. Jedna śruba ma przenieść siłę $^1/_2\,P = 3300$ kg, a więc otrzymamy potrzebną średnicę z wzoru:

$$\frac{d^2 \pi}{4} k_r = {}^1/_2\,P \qquad d = \sqrt{\frac{2\,P}{k_r\,\pi}} = \sqrt{\frac{2.6600}{1200.\pi}} = 1{,}4 \text{ cm},$$

przyjmiemy $^3/_4$".

Podkładkę przyjmiemy o szerokości $b_2 = 8$ cm, więc o szerokości użytecznej $b' = 8 - 3{,}2 = 4{,}8$ cm, zaś grubość jej g_2 obliczymy na ścinanie z wzoru:

$$P = 2\,b_1 g_2 k_t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 120$$

(gdzie k_t dla żelaza wynosi 800 kg/cm^2):

$$g_2 = \frac{6600}{2.6.80} = 0{,}69 \text{ cm},$$

zamiast czego przyjmiemy $g_2 = 1$ cm $= 10$ mm.

Połączenie mogłoby wreszcie ulec zniszczeniu, gdyby obie poziome śruby wysunęły część dolną słupa wiszącego o długości l_1, t. j. ścięły jego dolny koniec wzdłuż dwu powierzchni $b l_1$, zatem:

$$P = 2\,b l_1 k_t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 121$$

a stąd:

$$l_1 = \frac{P}{2\,b k_t} = \frac{6600}{2.20.15} = 11{,}0 \text{ cm}.$$

W rzeczywistości jednakowoż ten dolny koniec słupa nie zostanie ścięty wzdłuż takich dwu płaszczyzn, ale wyrwany w samym środku, należy więc obliczać długość l_1 z wzoru:

$$P = b l_1 k_t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 122$$

czyli:

$$l_1 = \frac{P}{b k_t} = \frac{6600}{20.15} = 22 \text{ cm}.$$

Tę też długość należy zastosować w wykonaniu.