II. Wytrzymałość materjałów.

A. Wstęp.

§ 30. Pojęcie ogólne.

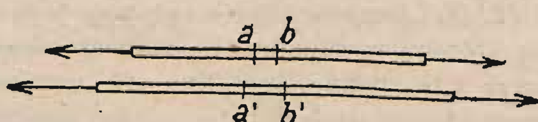
Weźmy pod uwagę pręt zrobiony z jakiegoś sprężystego materjału (np. laskę gumową lub sprężynę stalową). Jeśli wywrzemy nań nacisk z pewną siłą, to zmieni on swój kształt; jeśli jednakowoż rękę usuniemy, powróci do swego pierwotnego kształtu prawie zupełnie dokładnie. Podobną własność, choć w mniej widoczny 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*, nawet niedostrzegalne dla oka ludzkiego, zauważymy, jeśli będziemy je badać zapomocą specjalnych przyrządów, pozwalających na skontrolowanie bardzo nieznacznych zmian.

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

Wielka część materjałów, używanych w konstrukcji, 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 materjałów.

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

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. 117 i 118); ostatecznie sznur przerwie się, gdy

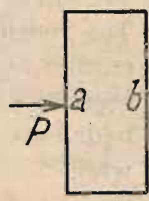


Rys. 117 i 118.

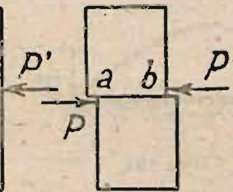
ego wytrzymałość zostanie przezwyciężona. Na ciągnienie są narażone np. słup wiszący wiązania wiszącego, kotew żelazna i t. d. (por. przykl. 15,14).

2. *Wytrzymałość na ściskanie (ciśnienie)*. Siła działa w osi ciała, starając się sąsiednie przekroje zbliżyć do siebie, i zgnieść. Np. słup ceglany, który będziemy obciążać coraz to większym ciężarem. Na ciśnienie narażone są wszystkie słupy i filary w budynkach, fundamentach itd. (por. rys. 119).

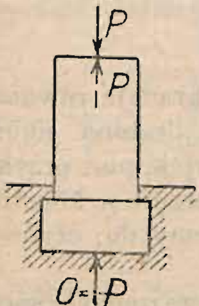
3. *Wytrzymałość na ścinanie.* Siła stara tu się ściąć sąsiednie przekroje t. j. przesunąć je równolegle do siebie. Siła P działa w kierunku przeciwnym sile P_1 (rys. 120) i stara się ściąć ciało w płaszczyźnie a b (rys. 121), przesuwając górną jego część po dolnej. Na ścięcie narażone są np. nity w konstrukcjach żelaznych, czopy połączeń drewnianych i t. d.



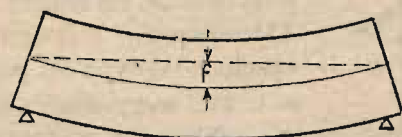
Rys. 120.



Rys. 121.

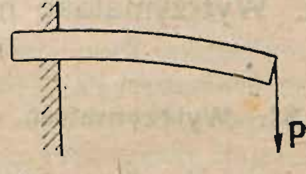


Rys. 119.



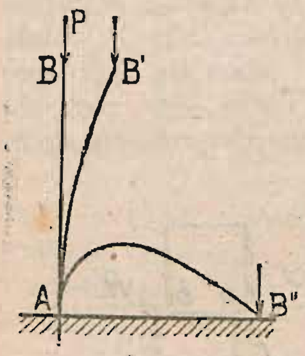
Rys. 122.

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 (rys. 122) albo przeciwnie (rys. 123). Na zginanie działają np. belki stropowe, płatwie i krokwie dachowe i t. d. (por. przykłady 39—54).



Rys. 123.

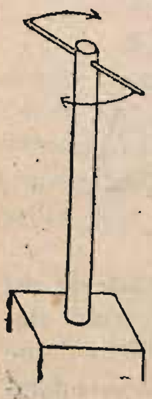
5. *Wytrzymałość na wyboczenie.* Zachodzi tu wypadek taki: Siła *cisnąca* działa podobnie, jak w wypadku drugim, w osi pręta, który ma jednakowoż stosunkowo *znaczną długość*. Ciało zostałoby zgniecione tylko przy małej długości (czy wysokości) ciała i wtedy zaszedłby wypadek wytrzymałości na ciśnienie, o jakiej mówiliśmy w przykł. 2. Przy wysokości *większej* ciało pod wpływem wzrastającej siły wy-



Rys. 124.

boczy się (rys. 124) i ostatecznie złamie. Na wyboczenie narażone są słupy żelazne czy drewniane, jarzma mostów drewnianych i t. d.

6. *Wytrzymałość na skręcenie.* Para sił stara się przekroje sąsiednie obrócić względem siebie około osi pręta (rys. 125). Ten rodzaj natężenia przychodzi bardzo rzadko w konstrukcjach inżynierskich, częściej o wiele w budowie maszyn, nie będziemy go przeto omawiali szczegółowiej.



Rys. 125.

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

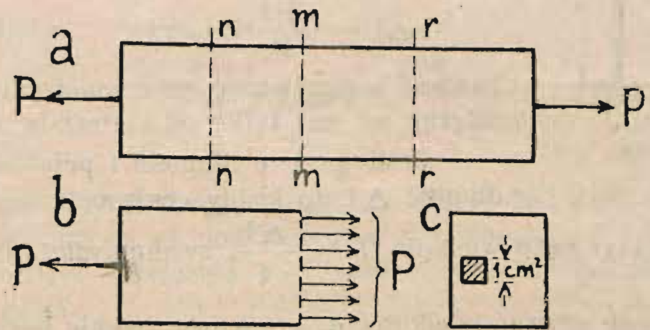
Nauka o wytrzymałości ma za zadanie sprawdzić czy natężenie (t. j. siły, jakie występują *wewnątrz* ciała pod wpływem sił zewnętrznych) nie przekraczają *dozwolonej* wartości. Jaka jest ta dozwolona wartość, od czego zależy i t. d., będziemy mówić w § 32.

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

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

Weźmy pod uwagę pręt o długości l cm i stałej powierzchni przekroju F cm², na który działają na obu końcach dwie siły P kg równe i wprost przeciwnie skierowane (por. rys. 117, 118 i 126). Jeżeli siły te działają *w środku ciężkości* przekroju, to w każdym przekroju ciała, np. mm powstaną siły wewnętrzne (rys. 126), które na całej jego powierzchni będą równe. Jeżeli powierzchnia przekroju wynosi więc F cm.², to na 1 cm² przypadnie siła

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{ kg/cm}_2 \ldots\ldots\ 62.$$



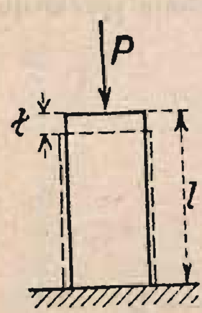
Rys. 126.

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

Jeżeli ciało ma stały przekrój, to te same naprężenia działają *w każdym przekroju*, np. n n, r r i t. d. Przy ciśnieniu lub ciągnieniu są one wszędzie *prostopadle*, czyli „*normalne*" do przekroju i dlatego nazywamy je „*natężeniami*" lub „*naprężeniami normalnemi*".

Natężenia te starają się zmienić odległość sąsiednich przekrojów, a to: jeżeli ciało narażone jest na ciągnienie, starają się je rozsunąć; jeżeli na ciśnienie starają się je do siebie zbliżyć. Jeżeli chodzi o rozróżnienie w oznaczeniach, to czynimy to, dając różne znaki. Najczęściej rozciąganie oznaczamy znakiem „+", ściskanie znakiem „—". Np. $\sigma = -\frac{P}{F}$ oznaczałoby, że siła P wywołuje w przekroju ściskanie.

Wydłużenie (wzgl. skrócenie) pręta w kierunku jego osi pod wpływem siły P (rys. 127), będzie tem większe, im większa jest



Rys. 127.

siła P, natomiast tem mniejsze, im przekrój ciała jest większy. Jeżeli np. pręt o długości 1 cm i przekroju 1 cm² 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 $\triangle$ l, gdzie:

$$\triangle l = \frac{\alpha P l}{F} = \alpha \sigma l \quad \ldots\ldots \quad 63$$

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

Jeśli pręt o długości l przedłużył się o długość $\triangle$ l. to każdy centymetr jego długości przedłużył się o wielkość $\lambda = \frac{\triangle l}{l}$, 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.*

$$E = \frac{1}{\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 64$$

Wtedy wydłużenie:

$$\triangle l = \frac{Pl}{EF} = \frac{\sigma l}{E} \quad \ldots\ldots \quad 65$$

zaś wydłużenie jednostkowe:

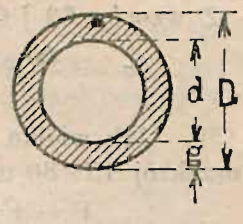
$$\lambda = \frac{P}{EF} = \frac{\sigma}{E} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 66$$

Przykłady 55 — 60.

55. Jak wielkie naprężenie na ściskanie powstaje w słupie drewnianym o wymiarach 24 × 18 cm pod wpływem obciążenia P = 35000 kg

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{P}{b \,.\, h} = \frac{35000}{18 \,.\, 24} = 81 \text{ kg/cm}^2$$

56. Jak wielkie natężenie na *ciśnienie* powstaje w okrągłym pustym słupie z żelaza lanego, którego średnica zewnętrzna wynosi D = 140 mm, wewnętrzna d = 100 mm (rys. 128) pod wpływem siły P = 6980 kg



Rys. 128.

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

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

57. Wstęga żelazna o przekroju 70 × 25 mm, a długości 3,50 m przedłużyła się pod wpływem siły ciągnącej 18 ton o 1,8 mm. Obliczyć natężenie σ i spółczynnik sprężystości E materjału wstęgi.

Powierzchnia wstęgi $F = 7{,}0 \times 2{,}5 = 17{,}5$ 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

$$E = \frac{Pl}{F \cdot \Delta l} = \sigma \frac{l}{\Delta l} = 1028{,}6 \frac{350}{0{,}18} = 2{,}000.000 \text{ kg/cm}^2$$

Wydłużenie jednostkowe wynosi:

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

Zaś spółczynnik wydłużenia α:

$$\alpha = \frac{1}{E} = \frac{1}{2{,}000.000} = 0{,}0000005$$

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

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

Z wzorów 63 i 64 otrzymujemy:

$$\sigma = \frac{\Delta l}{l} E = \frac{0.4}{8000} 2,000.000 = 1000 \text{ kg/cm}^2$$

59. Jak wielka jest siła rozciągająca w zad. 58, jeśli ścięgno ma przekrój 15×80 mm.

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

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

Wedle wzoru 65 wydłużenie Δl wynosi:

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

§ 32. Spółczynnik bezpieczeństwa i natężenie dopuszczczalne.

Przy projektowaniu konstrukcji inżynierskich trzeba zwykle odpowiedzieć na pytanie, jak wielką siłę zdoła unieść pewien pręt. Możemy obliczyć ją z równania 62; wynosi ona mianowicie:

$$P = \sigma F \text{ kg.} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 67$$

Chodzi jednak o to, jak wielkie może być to natężenie σ

Otóż do obliczania przekrojów nie można brać pod uwagę największego możliwego natężenia, jakie w materjale może wystąpić, t. zw. spółczynnika wytrzymałości K (por. § 30). Wtedy bowiem zwiększenie, choćby najmniejsze obciążenie, mała niejednostajność materjału, dalej powolne niszczenie materjału wskutek wpływów atmosferycznych (gnicie drzewa, rdzewienie żelaża), 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 natężenia wyniosły tylko pewną (np. 3-cią, 4-tą, wogóle jedną n-tą) część spółczynnika wytrzymałości — a natężenie w ten sposób przyjęte nazywamy *natężeniem bez-*

piecznem, dopuszczalnem lub *dozwolonem* k. Stosunek zaś spółczynnika wytrzymałości K do natężenia dopuszczalnego k nazywamy *spółczynnikiem pewności* lub *bezpieczeństwa*, krótko *pewnością*. Wynosi ona:

$$n = \frac{K}{k} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 68$$

Spółczynnik bezpieczeństwa bierzemy tem większy, im niejednostajniejszy 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 narażona 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 większy o wiele spółczynnik pewności, niż np. dla dachów). Tabliczka natężeń dopuszczalnych podana jest osobno.

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

$$F_0 = \frac{nP}{K} = \frac{P}{k} \text{ kg/cm}^2 \; . \; . \; . \; . \quad 69.$$

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_n był większy od przekroju potrzebnego F_0.

(Dla materjałów jednostajnych, np. żelaza lanego i t. d. jest wytrzymałość jednakowa bez względu na kierunek. Inaczej rzecz się ma w materjałach niejednostajnych, np. w drzewie. Posiada ono inną wytrzymałość i inny spółczynnik sprężystości w kierunku włókien, a inny w kierunku prostopadłym do włókien i przy obliczaniu konstrukcji drewnianych trzeba o tem pamiętać.)

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

Przykłady 61—77.

61. 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 $P = 120$ t $= 120000$ kg, zaś F jest powierzchnią; na którą rozkłada się ciśnienie, w danym wypadku powierzchnią podstawy $20 \times 20 = 400$ cm². Zatem:

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

Jak zaznaczyliśmy w § 32, przy obliczeniu konstrukcji budowlanych uwzględniamy zawsze pewność t. j. obliczamy je na natężenie dopuszczalne znacznie mniejsze od spółczynnika wytrzymałości. Przy kamieniach zwykle spółczynnik pewności $n = 20$, więc natężenie dopuszczalne $k = \frac{K}{n} = \frac{K}{20}$. Jeżelibyśmy zatem mieli zastosować kamień o wytrzymałości 300 kg/cm², to na kostkę w danym przykładzie możnaby dopuścić co najwyżej natężenie dopuszczalne $k = \frac{300}{20}$ 15 kg/cm², a zatem największe obciążenie:

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

62. Jak wielka jest wytrzymałość na rozciąganie pręta z żelaza zlewnego, jeżeli przy wymiarach 40×10 m/m przerwie się przy obciążeniu 17000 kg:

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

63. Krótki zastrzał drewniany o przekroju 15/15 przenosi siłę 20000 kg. Obliczyć czy natężenia w zastrzale nie przekra-

czają granicy dozwolonej dla budowli tymczasowej (K_c = 100 kg/cm²):

$$\sigma = \frac{20000}{152} = 89 \text{ kg/cm}^2, \text{ zatem mniej, niż } 100 \text{ kg/cm}^2.$$

Zastrzał ma zatem wymiary dostateczne.

64. Obliczyć, jak wielką siłę ciągnącą przeniesie dźwigar I N P. 8 przy natężeniu dop. k_r = 1000 kg/cm².

Powierzchnia przekroju F = 9,07 cm²; zatem

$$P = Fk_r = 9{,}07 \times 1000 = \infty\ 9000 \text{ kg} = \infty\ 9 \text{ ton.}$$

65. Obliczyć, jak wielkie ściskanie przeniesie niski słup z żeliwa o przekroju kołowym, którego średnica zewnętrzna wynosi D = 120 mm, zaś grubość 15 m/m.

Powierzchnia koła o średnicy D = 12 cm wynosi F_1 = 113,1 cm², zaś powierzchnia koła o średnicy $D—d=12—2\times15=9$ cm. F_2 = 63,6 cm² Zatem powierzchnia przekroju słupa wynosi $F=F_1—F_2=113{,}1 — 63{,}6=49{,}5$ cm². Przyjmując natężenie dopuszczalne k_c = 600 kg/cm², otrzymamy:

$$P=Fk_c = 49{,}5\times600=27700 \text{ kg.}$$

66. Okrągły pręt żelazny ma przenieść ciągnienie wynoszące 12, 5 t. Jak wielka musi być średnica d, jeżeli k_r =1000 kg/cm²

$$P = Fk_r = \frac{d^2\pi}{4} k_r, \text{ a stąd:}$$

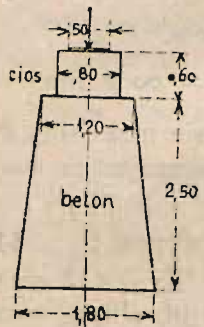
$$d = \sqrt{\frac{4P}{k_r\ \pi}} = \sqrt{\frac{4\times12500}{1000\times3{,}14}} = 4 \text{ cm} = 40 \text{ m/m.}$$

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

Ze wzoru 69 otrzymujemy: $F = \dfrac{40000}{20} = 2000 \text{ cm}^2 =$

$= \dfrac{d^2\pi}{4}$ stąd: $d = \sqrt{\dfrac{4\ .\ 2000}{\pi}} = 50{,}5$ cm, zamiast czego przyjmiemy okrągło $d = 50$ cm, co wobec bardzo małej różnicy jest dopuszczalne.

68. 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 nat. dopuszczalne na cios $k_c = 35$ kg/cm² (rys. 129).



Rys. 129.

Otrzymamy wtedy powierzchnię płyty:

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

zatem jeden jej bok

$$a = \sqrt{2310} = 48{,}1 \text{ cm}$$

zamiast czego przyjmiemy $a = 50$ cm.

69. Znaleźć wymiary ciosu podporowego w zad. 68, jeśli spoczywa on na fundamencie betonowym (rys. 129).

Przyjmując cios o wymiarach $80 \times 80 \times 60$ cm, otrzymamy jego ciężar

$$C = 0{,}8 \,.\, 0{,}8 \,.\, 0{,}6 \,.\, 2700 = 780 \text{ kg}.$$

Zatem ciśnienie na fundament betonowy:

$$\sigma = \frac{80850 + 780}{80 \,.\, 80} = 12{,}8 \text{ kg/cm}^2$$

co jest ilością jeszcze dopuszczalną.

70. 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:

$$F_p = \frac{3030}{5} = 606 \text{ cm}^2$$

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

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

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

Przyjmując natężenie 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 m/m. Ciśnienie na cios wynosi wtedy:

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

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.

72. Obliczyć szerokość łożyska żelaznego lanego blachownicy, której oddziaływanie wynosi $O = 28800$ kg, jeżeli długość jego przyjęto $l = 55$ cm, zaś natężenie dopuszczalne na cios wynosi $k_c = 15$ kg/cm² (rys. 130).

Powierzchnia płyty wynosi $F_p = b\,l = \frac{O}{k_c}$, a stąd:

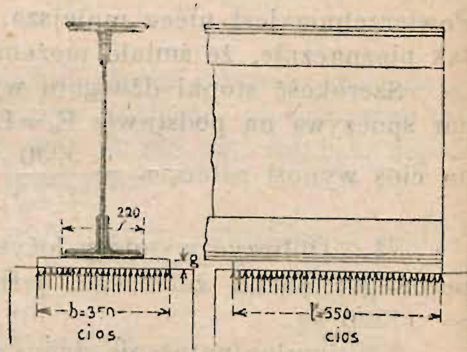
$$b = \frac{O}{l\,k_c} = \frac{28800}{55 \cdot 15} = 35 \text{ cm}.$$

73. Znaleźć obciążenie gruntu w przykładzie 68 i 69, jeśli fundament betonowy ma kształt podany na rys. 129.

Objętość ściętego ostrosłupa o podstawie kwadratowej wynosi:

$$O = \frac{h}{3}[a^2+b^2+\sqrt{a^2+b^2}]$$

Zatem ciężar fundamentu betonowego:



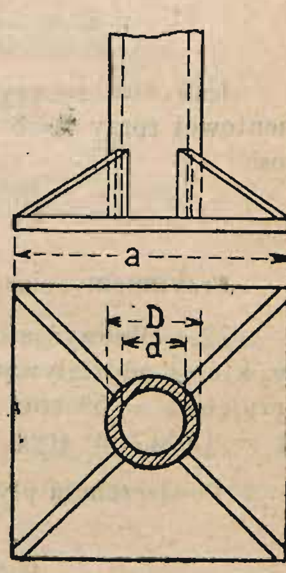
Rys. 130.

$$C_1 = \frac{2.5}{3}\ [1,8^2+1,2^2+\sqrt{1,8^2+1,2^2}]\ 2200 = 12540 \text{ kg}$$

Zaś obciążenie gruntu:

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

74. Słup okrągły pusty z żelaza lanego 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. 131).



Rys. 131.

Płyta podstawowa musi otrzymać wymiary takie, aby ciśnienie, rozkładające się przez nią jednostajnie, było równe natężeniu dopuszczalnemu na mur. Zatem $P = 10\ .\ a^2$, gdzie a jest bokiem kwadratu płyty podstawowej. Stąd:

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

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

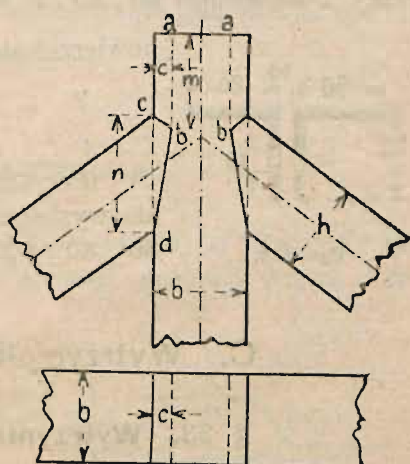
Płyta podstawowa będzie miała wtedy powierzchnię

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

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

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

76. Na słup wiszący wiązania przedstawionego na rys. 41, przenosi się siła 6600 kg. (Por. przykł. 15). Obliczyć, czy wystarczy przekrój słupa $20 \times 20\ cm$, jeżeli natężenie dopuszczalne drzewa na ciągnienie wynosi $100\ kg/cm^2$ (rys. 132).



Rys. 132.

Wedle równ. 69 wynosi przekrój potrzebny

$$F_0 = \frac{6600}{100} = 66\ cm^2$$

Słup ma przekrój $20 \times 20\ cm$, t. j. $F = 400\ cm^2$; jednakowoż zacięty jest na zastrzały, gdzie jego przekrój osłabia się zacięciami o głębokości $c = 4\ cm$. Przekrój użyteczny wynosi zatem $F_u = 20 \times (20 - 2\,.\,4) = 20\,.\,12 = 240\ cm$ t. j. więcej niż potrzeba. Przekrój wystarczy zatem najzupełniej.

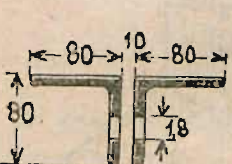
Moglibyśmy przyjąć przekrój mniejszy. Jeżeli miałby być też kwadratowy o boku b, a zacięcia miały wynosić $\frac{b}{5}$, to otrzymalibyśmy przekrój użyteczny

$$F_u = b\left(b - 2\frac{b}{5}\right) = \frac{3}{5}b^2 = 66\ cm^2,\ \text{a stąd}\ b = \sqrt{\frac{5\,.\,66}{3}} = \sqrt{110} = 10{,}5\ cm.$$

Przekrój użyteczny wynosi wtedy rzeczywiście 10,5 . (10,5—
—2 . 2,1)=66 cm². Przekroju tego nie użylibyśmy jednak, gdyż jest za mały; a również obliczenie tak przeprowadzone mijałoby się z celem, gdyż konstrukcje drewniane oblicza się z dokładnością na centymetry, a nie na milimetry.

77. Pas dolny wiązara dachowego żelaznego przenosi ciągnienie o wielkości 20900 kg. Należy znaleść jego przekrój z uwzględnieniem przymocowania nitami o średnicy 18 mm (por. rys. 133).

Przekrój potrzebny wynosi $F_0 = \frac{20900}{1000} = 20{,}9$ cm². Przyjąwszy 2 kątowniki 80 . 80 . 8 otrzymamy przyjmując nity 18 mm



Rys. 133.

powierzchnię	przekroju	$2\times12{,}27=24{,}54$ cm²
,,	nitów	$2 . 0{,}8 . 1{,}8 = 2{,}88$,,
,,	użyteczną	$F_u = 21{,}66$ cm²

Przekrój kątówek bezpośrednio mniejszych nie wystarczyłby, zastosujemy więc 2 kątówki 80 . 80 . 8.

C. Wytrzymałość na ścinanie.

§ 33. Wytrzymałość na ścinanie.

Natężenia ścinające występują wtedy, gdy siły działające w przekroju ab starają się przesunąć go poprzecznie względem sąsiedniego przekroju (patrz rys. 120 i 121), jednakowoż nie zmieniając ich odległości. W obliczeniu przyjmujemy, że (jak przy ciągnieniu i ciśnieniu) w każdym punkcie przekroju ab powstają te same natężenia. Otrzymamy wtedy wzory podobne do wzorów na ściskanie i rozciąganie. Jeśli największą siłę, jaką przekrój ab o powierzchni F cm² zdołał przenieść na ścinanie jest P, to 1 cm² tego przekroju przeniósł

$$K_t = \frac{P}{F} \text{ kg/cm}^2 \quad \dots\dots \quad 70$$

Siłę tę, wypadającą na 1 cm², nazywamy *spółczynnikiem wytrzymałości na ścinanie.*

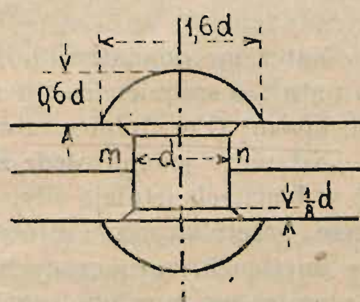
Ze wzoru 70 otrzymamy największą siłę ścinającą, jaką przenosi przekrój:

$$P = FK_t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad , \qquad 71.$$

W chwili, w której siła dosięgnie wartości, podanej na wzorze, materjał zostanie ścięty. Spółczynnik wytrzymałości na ścinanie K_t jest mniejszy od spółczynnika wytrz. na ciśnienie (por. § 32) i wynosi około $\frac{4}{5}$ K_c a to samo dotyczy oczywiście *natężenia dopuszczalnego na ścinanie.* Zwykle wynosi ono dla metali ok $\frac{1}{5}$, dla drzewa $\frac{1}{10}$ wytrzymałości na ścinanie.

§ 34. Połączenie nitowane.

Do łączenia blach i kształtowników żelaznych używamy nitów. Składają się one ze sworznia, główki, gotowej przed użyciem nitu, orz nakówki, pozostającej 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. 134. Nit wykonywujemy w temperaturze t. zw. jasno czerwonego żaru; ochładzając się, ściąga się on i przyciska silnie blachy. Dla większej pewności nie nwzględniamy jednak w obliczeniu tego nacisku i powstającego wskutek niego tarcia, ale liczymy nity na ścinanie. Nit może bowiem zostać ścięty w płaszczyźnie m-n, a wtedy połączenie zostanie zniszczone.



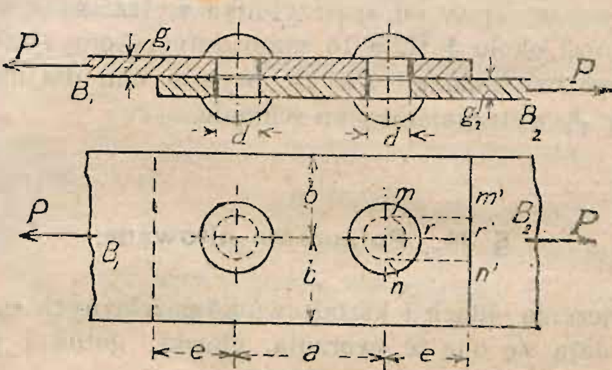
Rys. 134.

Jeśli blachy B_1 i B_2 (rys. 135) są rozciągane z siłą P, to siłę tę przenieść muszą łączące ją nity. Niech średnica nitu wynosi d (więc przekrój $F = \frac{d^2\pi}{4}$), a natężenie dopuszczalne na ścinanie k_t, to jeden nit przenieść może siłę

$$P \leq Fk_t = \frac{d^2\pi}{4} k_t \quad \ldots\ldots \quad 72.$$

Jeśli nitów jest większa ilość (pn. n); to przeniosą one siłę

$$P = n \frac{d^2\pi}{4} k_t \quad \ldots\ldots\ldots \quad 73.$$



Rys. 135 i 136.

Natężenie dopuszczalne k_t wynosi tu 800—1000 kg/cm², zatem na nit o średnicy d=16 mm przypaść może siła P = 1200 do 1600 kg/cm² (Por. tablicę nitów).

Nit może jednak uledz 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. Otóż to ciśnienie również nie powinno przekroczyć granicy dopuszczalnej na ciśnienie, którą tutaj można przyjąć do 1200, a nawet do 1600 kg/cm². Ciśnienie to rozkłada się właściwie na powierzchnię $d\pi g_1$, jednakowoż nierównomiernie. Dlatego też przyjmujemy, że rozdziela się ono jednostajnie *na rzut ścianki*, t. j. tak, jak gdyby nit miał przekrój kwadratowy (rys. 137). Otrzymamy wtedy:

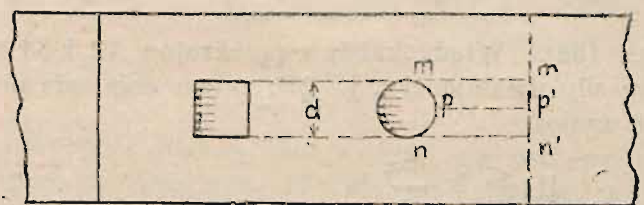
$$P \leq d g_1 k_d \quad \ldots\ldots \quad 73.$$

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

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

$$P \leqq n d g_1 k_d \ldots\ldots\ldots 75.$$

Np. nit o średnicy 16 mm przy grubości blachy $g_1 = 10$ mm, a natężeniu dopuszczalnem $k_d = 1400$ kg/cm przeniesie siłę $P = 1{,}6 \times 1{,}0 \times 1400 = 2240$ kg.



Rys. 137.

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:

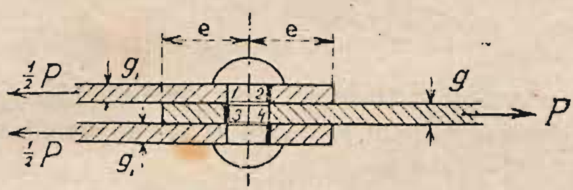
$$P \leqq 2 g_1 e k_t \ldots\ldots 76.$$

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:

$$\left.\begin{array}{llll} a = 3d & (\text{conajmniej } a = 2{,}5d) \\ b = 1{,}5d & (\quad ,, \quad b = 1{,}25d) \\ e = 2d & (\quad ,, \quad e = 1{,}5d) \end{array}\right| \quad 77$$

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 i dlatego nazywają się *dwuciętymi* (rys. 138).



Rys. 138.

Wtedy każdy z przekrojów 12 i 34 nitu przenosi połowę siły działającej t. j. $\frac{1}{2}$P; zatem cała siła przenosząca się przezeń wynosi:

$$P \leqq 2 \frac{d^2\pi}{4} k_t \ldots \ldots . \quad 78$$

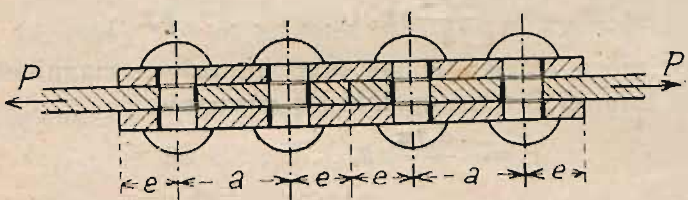
Przy obliczaniu ciśnienia na ściankę dziury musimy uwzględnić osobno ciśnienie wywierane przez nit na dwie powierzchnie, zaznaczone linją grubą po prawej stronie nitu *łącznie*, osobno ciśnienie na powierzchnię, zaznaczoną po stronie lewej t. j. na powierzchnię $2 d g_1$, ewentualnie na dg. Ponieważ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

$$P \leqq d g k_d \ldots \ldots \quad 79.$$

Często nawet dla blach pojedynczych stosujemy nity dwucięte, co da się uzyskać przez użycie obustronnych przykładek (rys. 139). Grubość tychże daje się nieco większą, niż $\frac{g}{2}$, tak, że prawie zawsze do obliczenia można użyć wzoru 79. Odległość a, e i b pozostają jak we wzorze 77.

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. 76).

Jeżeliby szeroką wstęgę potrzeba było przytwierdzić znaczniejszą ilością nitów, to F_n mogłoby wypaść bardzo wielkie, a więc F_u stosunkowo małe. Możemy jednak tego uniknąć, rozmieszczając nity tak, aby w pierwszym przekroju był jeden (lub dwa) nity, a w następnych rzędach zwiększając ich ilość. Każdy następu-



Rys. 139.

jący rząd nie może jednak mieć więcej, niż dwa razy tyle nitów, co poprzedni. Na rys. 144 widzimy rozkład nitów taki, że każda wstęga przytwierdzona jest $1 + 2 + 3 = 6$ nitami, która to ilość wypadła z obliczenia (por. przykład 80). Nie można jednak zwiększać nitów w następujący sposób: $1+3+4$, lub $1+2+6$, gdyż $3>2\times 1$, $6>2\times 2$.

§ 35. Obliczenie śrub.

Do połączeń konstrukcji drewnianych, a niekiedy i żelaznych*) używamy śrub. Składają się one ze *sworznia* z naciętymi gwintami czyli skrętami, *głowy* śruby zwykle sześciobocznej i również sześciobocznego *naśrubka*. Najczęściej używane śruby o gwintach systemu Whitforda (p. tabl. 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. 140) i uwzględniając te

*) 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.

średnicę d_1 oblicza się śruby zupełnie tak samo, jak nity. Siła przeniesiona przez jaką śrubę na ścięcie wynosi zatem:

$$P = \frac{d_1^2 \pi}{4} k_t \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 81.$$

(gdzie k_t jest natężeniem dopuszczalnem na ścinanie). Ewentualnie n śrub przeniesie:

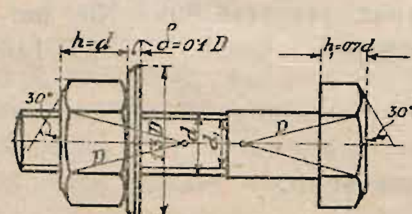
$$P = n \frac{d_1^2 \pi}{4} k_t \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 82.$$

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

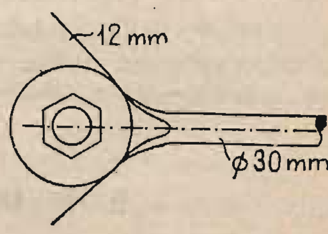
$$P = \frac{d_1^2 \pi}{4} k_r \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 83$$

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

$$d_1 = 1{,}13 \sqrt{\frac{P}{k_r}} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 84.$$



Rys. 140.



Rys. 141.

Dla śrub przyjmujemy zwykle natężenie dopuszczalne *na rozciąganie* tylko $k_r = 600$ kg/cm² ze względu na to, że już przy naciąganiu naśrubka powstają w śrubie pewne naprężenia skręcające.

Przykłady 78—85.

78. Obliczyć na ścinanie i na ciśnienie na ściankę dziury trzpień okrągły z żelaza zlewnego, jeżeli służy do utwierdzenia ściegna przenoszącego 2240 kg. Natężenie dopuszczalne na ścinanie wynosi $k_t = 600$ kg/cm i nat. dop. na ciśnienie na ściankę dziury $k_d = 1400$ kg/cm; grubość blachy 12 m/m (rys. 141).

Ze wzoru 72 otrzymujemy:

$$P = Fk_t, \text{ gdzie } F \text{ jest przekrojem trzpienia}$$

$$F = \frac{P}{k_t} = \frac{2240}{600} = 3{,}7 \text{ cm}^2.$$

W tablicach znajdujemy dla d=2,2 cm powierzchnię F=3,80 cm²; na ścinanie wystarczy zatem ten przekrój. Ponieważ jednak trzpień narażony jest na zginanie wskutek mimośrodkowego działania siły, przeto zastosujemy d=30 m/m.

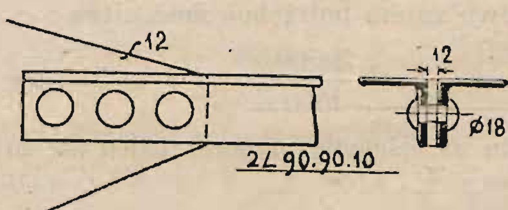
Ciśnienie na ściankę dziury wynosi wtedy:

$$P = 1 \text{ g. d } \sigma^d, \text{ a stąd}$$

$$\sigma_d = \frac{P}{gd} = \frac{2240}{1{,}2 \, . \, 3{,}0} = 615 \text{ kg/cm}^2,$$

zatem znacznie poniżej natężenia dopuszczalnego.

79. Przekrój pręta, przenoszącego siłę P = 10,0 ton składa się z dwu kątówek 90 . 90 . 9, leżących obustronnie na blasze węzłowej. Należy obliczyć ilość nitów, potrzebną, by go przytwierdzić do blachy węzłowej, jeśli średnica ich d = 18 m/m (rysunek 142 i 143).



Rys. 142 i 143.

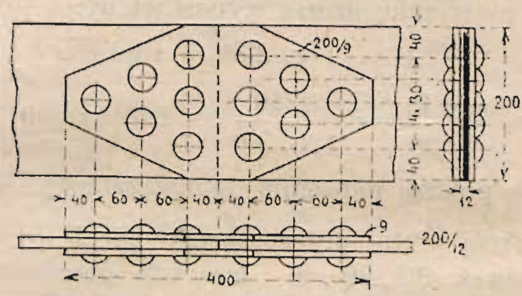
Wszystkie nity są dwucięte, gdyż kątówki obejmują blachę węzłową. Jeden nit przenosi tedy na ścinanie siłę $P' = 2\frac{d^2\pi}{4}k_t =$
$= 2\frac{1{,}8^2 \, . \, 3{,}14}{4} \times 800 = 4060$ kg.

Na ciśnienie przenieść może jeden nit siłę $P'' = d \, g \, k_d =$
$= 1{,}8 \, . \, 1{,}2 \, . \, 1600 = 3456$ kg, gdzie za g przyjęliśmy grubość bla-

chy węzłowej g=12 m/m. Musimy liczyć zatem na ciśnienie na ściankę dziury.

Trzy nity przenoszą siłę 3P″ = 3 . 3456 = 10368 kg; tej więc ilości nitów potrzeba dla przymocowania. (Te same wartości otrzymamy z tablicy nitów).

80. Wstęga żelazna 200 . 12 przenosi siłę osiową P = 20,0 ton; należy obliczyć, jakiej ilości nitów (d=18 m/m) wymaga styk kryty obustronnymi przykładkami 200×9 (rys. 144).



Rys. 144.

Ze względu na ścinanie przenosi jeden nit siłę P′ = 4060 kg (por. tabl. nitów); zatem potrzebna ilość nitów

$$n' = \frac{P}{P'} = \frac{20000}{4060} = 4,9 = 5 \text{ nitów.}$$

Ze względu na ciśnienie przenosi jeden nit siłę P″ = 3460 kg; zatem potrzebna ilość nitów:

$$n'' = \frac{P}{P''} = \frac{20000}{3460} = 5,8 = 6 \text{ nitów.}$$

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

81. Dźwigar I NP 20 należy przytwierdzić do dźwigara I NP 24 zapomocą nitów i kątowników 80×80×8. Oddziaływanie dźwigara NP 20 wynosi P=4500 kg. Należy obliczyć ilość nitów o średnicy d=18 m/m (rys. 145).

a) Nity łączące dźwigar NP 20 z kątówką 80×80×8.

Na ścinanie przenosi jeden nit (dwucięty) siłę 4060 kg, (p. tabl. nitów); przeto potrzebna ilość nitów:

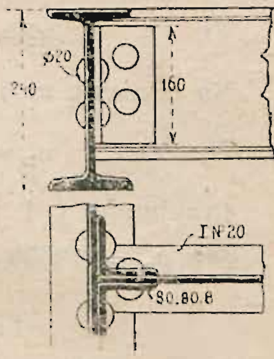
$$n = \frac{4500}{4060} = 1,1.$$

Na ciśnienie na ściankę dziury dla grubości ścianki dźwigara g=8 mm przeniesie jeden nit 2300 kg; zatem

$$n = \frac{4500}{2300} = 2 \text{ nity}.$$

Przyjmiemy 2 nity d=18 m/m.

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



Rys. 145.

Na ścinanie przenosi jeden nit (raz cięty) siłę 2030 kg; zatem potrzebna ilość nitów wynosi:

$$n = \frac{4500}{2030} = 2,23 \text{ t. j. } 3.$$

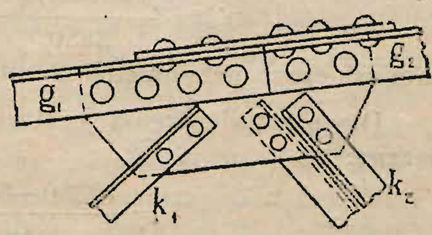
Przyjmiemy oczywiście 4 nity.

Na ciśnienie na ściankę dziury dla grubości ramienia kątówki 8 m/m, otrzymamy j. w.:

$$n = \frac{4500}{2300} \text{prz. } 2.$$

Zatem pozostawimy 4 nity d=18 m/m.

82. Obliczyć ilość nitów, potrzebnych do utwierdzenia pasu górnego dachu żelaznego, jeżeli siły wewnętrzne wynoszą: g_1=9560 kg, g_2=19330 kg, k_1=3240 kg, k_2=4050 kg; zaś przekroje: g_1 i g_2 = 80×80×10. k_1=k_2=50×50×5. Blacha węzłowa ma grubość 10 m/m.



Rys. 146.

Wszystkie kątówki w węźle zetknięte. Nity g_1 i g_2 mają średnicę d'=18 m/m; k_1 i k_2 średnicę 14 mm (rys. 146).

Pręt $g_1 = 9580$ kg. Na ścinanie otrzymujemy dla d=18 m/m

$$n_1 = \frac{9580}{4060} = 2{,}1 \text{ przyjmujemy 3 nity.}$$

Na ciśnienie na ściankę dziury:

$$n_2 = \frac{9580}{2880} = 3{,}3 \text{ prz. 4 nity.}$$

Przyjmujemy 4 nity.

Pręt $g_2 = 19330$ kg. Na ścinanie:

$$n_1 = \frac{19330}{4060} = 5 \text{ nitów.}$$

Na ciśnienie na ściankę dziury:

$$n_2 = \frac{19330}{2880} = 7 \text{ nitów (por. przykł. 83).}$$

Zwykle staramy się tak znacznej ilości nitów nie stawiać w jednym rzędzie; dlatego też umieszczamy na kątówkach przykładkę, która część siły przenosi. Niech jej grubość wynosi 10 m/m, to przytwierdzając ją 4 nitami (razciętymi) do obu kątówek, otrzymujemy siłę przez nie przeniesioną

na ciśnienie $P' = 4 \times 2880 = 11520$ kg
na ścinanie $P'' = 4 \times 2030 = 8120$ kg

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

$$n' = \frac{9580-8120}{2880} = 0{,}5$$

(zamiast czego przyjmiemy 2 nity).

Dla przytwierdzenia pręta g_2 otrzymujemy ilość nitów konieczną:

$$n'' = \frac{19330-8120}{2880} = 4 \text{ nity.}$$

Pręt $k_1 = 3240$ kg: Na ścinanie dla d=14 m/m:

$$n_1 = \frac{3240}{2460} = 1{,}3 \text{ prz. 2 nity.}$$

Na ciśnienie na ściankę dziury:

$$n_2 = \frac{3240}{2240} = 1{,}5 \text{ prz. } 2 \text{ nity.}$$

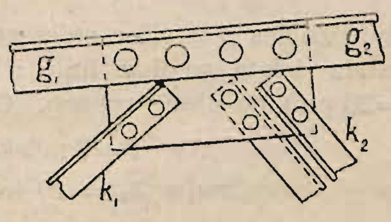
Pręt $k_2 = 4050$ kg: Na ścinanie dla d = 14 m/m

$$n_1 = \frac{4030}{1230} = 3{,}3 \text{ prz. } 4 \text{ nity.}$$

Na ciśnienie na ściankę dziury:

$$n_2 = \frac{4030}{1120} = 3{,}9 \text{ prz. } 4 \text{ nity.}$$

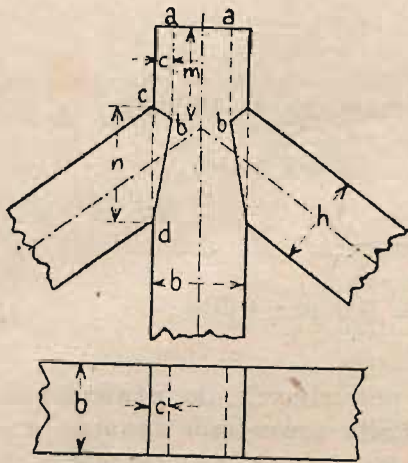
83. Obliczyć ilość nitów potrzebnych do utwierdzenia pasa górnego dachu żelaznego, jeżeli siły wewnętrzne wynoszą: $g_1 = 9580$ kg, $g_2 = 20330$ kg, a kątowniki 80 . 80 . 10 *przeprowadzamy bez zetknięcia* (rys: 147).



Rys. 147.

Jeżeli kątówki 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 20330 — 9580 = 10750 kg. Na tę więc siłę trzeba przytwierdzić pręt. Jeżeli przyjmiemy nity d = 18 m/m, to wedle tablicy niesie jeden taki nit dwucięty na ścinanie 4060 kg, na ciśnienie na ściankę dziury przy blasze węzłowej 10 m/m 3200 kg. Uwzględniając mniejszą z tych sił, otrzymamy potrzebną ilość nitów n = 4, gdyż P = 4 × 3200 = 12800 kg. Dla n = 3 otrzymalibyśmy P = 3 . 3200 = 9600 kg, co nie wystarcza.

Porównując z zad. 82, widzimy, jaką oszczędność możemy uzyskać przez przeprowadzenie kątówek wskroś bez zetknięcia.



Rys. 148.

84. Należy obliczyć połączenie belek wiązania wiszącego (rys. 41), którego siły wewnętrzne wyznaczono w przykładzie 15, jeżeli przekrój słupa wiszącego i zastrzałów wynosi 20×20 cm, zaś przekrój belki poziomej 24×20 cm (por. też przykł. 76).

a) połączenie słupa wiszącego z zastrzałami (rys. 148).

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 linii a b (na długości m, zaś szerokości b=20 cm) po obu stronach. Otrzymamy stąd równanie:

$$P = 2\, m\, b\, k_t \ldots\ldots\ldots\ldots\ 85$$

a więc, przyjmując $k_t = 10$ kg/cm²

$$m = \frac{P}{2\, b\, k_t} = \frac{6600}{2.20.10} = 16{,}5 \text{ cm}$$

zamiast czego przyjmiemy 20 cm.

Zniszczenie połączenia mogłoby nastąpić także w ten sposób, że siła $\frac{P}{2}$ ścięłaby zastrzał wzdłuż linii c d, o długości n, zatem na powierzchni bn. Wtedy $\frac{1}{2} P = b\, n\, \tau_t \ldots\ldots$ 86

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

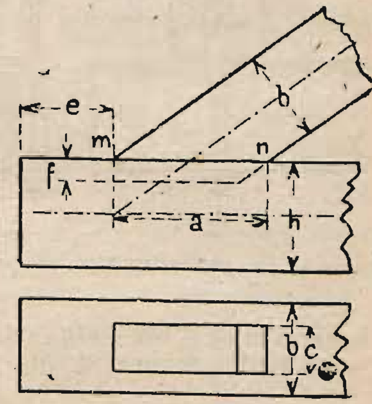
$$\frac{1}{2} P = \frac{b^2}{\cos\alpha}\, \tau_t \ldots\ldots\ 86a$$

a stąd

$$\sigma_t = \frac{P \cos \alpha}{2 b^2} = \frac{6600 . 0{,}8}{2 . 20^2} = 6{,}6 \text{ kg/cm}^2,$$

zatem mniej niż wynosi natężenie dopuszczalne $k_t = 10$ kg/cm².

b) Połączenie zastrzałów z belką poziomą (rys. 149).



Rys. 149.

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 nast. sposób:

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:

$$H = a c k_t = \frac{bc}{\sin \alpha} k_t \, \ldots \ldots \ldots \quad 87$$

czyli:

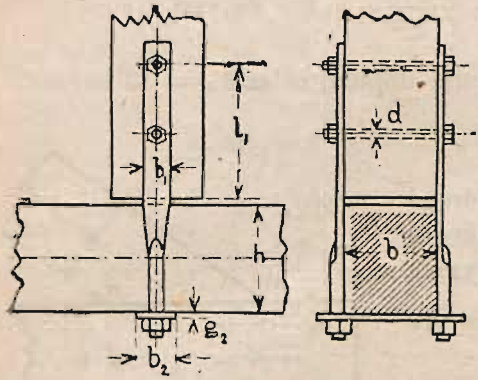
$$c = \frac{H \sin \alpha}{b t_k} = \frac{4400 . 0{,}6}{20 . 10} = 13{,}2 \text{ cm.}$$

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 płaszczyzn pionowych o wysokości f, i jednej poziomej o szerokości równej szerokości czopu c, t. j. wzdłuż sumarycznej powierzchni: $2 fe + ce = (2 f + c) e$. Natężenia ścinające wzdłuż tej powierzchni muszą więc być mniejsze od dopuszczalnego, czyli:

$$H = (2 f + c) e k_t \, \ldots \ldots \ldots \quad 88$$

a stąd:

$$e = \frac{H}{(2 f + c) k_t} = \frac{4400}{(2 . 5 + 13) 10} = 19{,}1 \text{ przyjmiemy } 20 \text{ cm.}$$



Rys. 150.

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

c) Połączenie słupa wiszącego z belką poziomą (rys. 150). Wytrzymałość połączenia tego 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 82 dla dwu śrub dwuciętych:

$$P = 2 \cdot 2 \frac{d^2 \pi}{4} \cdot 800 = 800 \cdot d^2 \pi,$$

$$\text{a stąd: } d = \sqrt{\frac{P}{800 \pi}} = \sqrt{\frac{6\,600}{800 \cdot 3{,}14}} = 1{,}62 \text{ cm}$$

zamiast tego przyjmiemy śrubę o średnicy $^7/_8{}'' = 18{,}6$ m/m o przekroju rdzenia $2{,}72 \text{ cm}^2$.

Ciśnienie na ściankę dziury (więc na drzewo) nie powinno przekraczać natężenia $k_d = 100 \text{ kg/cm}^2$. Otrzymamy więc dla dwu otworów:

$$P = 2\, d\, b\, k_d \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 89,$$

a stąd:

$$d = \frac{P}{2bk_d} = \frac{6600}{2 \cdot 20 \cdot 100} = 1{,}65 \text{ cm.}$$

Zatrzymamy więc śrubę poprzednio obraną.

Tę samą siłę P przenoszą na słup dwie przykładki u góry płaskie, u dołu przechodzące w śruby o średnicy d_1. Jeżeli grubością górnej części przykładki jest $g = 1$ cm, to jej szerokość użyteczna wynosi $b_1 - d$, zatem:

$$P = 2\,(b_1 - d)\,g\,k_r \;\ldots\ldots\ldots\; 90$$

a stąd:

$$b_1 = \frac{P}{2\,g\,k_r} + d = \frac{6600}{2 \times 1 \times 1000} + 1{,}86 = 3{,}3 + 1{,}86 = 5{,}16 \text{ cm}$$

zamiast czego przyjmujemy 6 cm.

Średnicę d_1 śruby, w którą u dołu przechodzi przykładka, obliczymy na ciągnienie. Jedną śruba ma przenieść siłę $\frac{P}{2} = 3300$ kg, a więc z tablicy śrub otrzymamy potrzebną średnicę $1\frac{1}{4}''$, przy której śruba przenosi 3460 kg. Zewnętrzna średnica śruby wynosi wtedy 31,5 mm.

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.

$P = 2\,b_1\,g_2\,k_t'$ (gdzie k_t' dla żelaza wynosi 800 kg/cm²): 91

$$g_2 = \frac{6600}{2 \times 6 \times 800} = 0{,}69 \text{ cm}$$

zamiast czego przyjmiemy $g_2 = 1$ cm.

Połączenie mogłoby wreszcie uledz 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:

$$P = 2\,b\,l_1\,k_t \;\ldots\ldots\ldots\; 92$$

a stąd

$$l_1 = \frac{P}{2\,b\,k_t} = \frac{6600}{2 \times 20 \times 10} = 16{,}5 \text{ cm.}$$

W rzeczywistości jednakowoż ten dolny koniec słupa nie zostałby ścięty wzdłuż takich dwu płaszczyzn, ale wyrwany w samym środku, należałoby więc obliczać długość l_1 ze wzoru

$$P = b\,l_1\,k_t \;\ldots\ldots\ldots\; 93$$

czyli

$$l_1 = \frac{P}{b\,k_t} = \frac{6600}{20 \times 10} = 33 \text{ cm.}$$

Tę też długość należy zastosować w wykonaniu.