

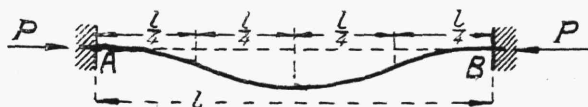
Z porównania wzorów (330) i (331) wynika, że oba te wzory można przedstawić pod jedną postacią, a mianowicie pod postacią następującą:

$$P_k = \frac{\pi^2 E I}{(\mu l)^2} \quad (332)$$

gdzie μ w pierwszym wypadku jest równe 1, a w drugim 2. Współczynnik μ nosi nazwę współczynnika długości.

Wzorem (332) można objąć i inne wypadki podłużnego obciążenia pręta, więc np. wypadek pręta przedstawionego na rys. 199, t.j. pręta utwierdzonego w dwóch końcach i ściskanego siłami P ; mamy wówczas $\mu = 0,5$.

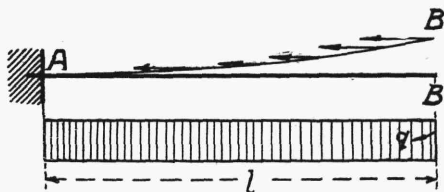
Dla pręta utwierdzonego w jednym końcu i obciążonego siłami podłużnymi, zaczepionymi w sposób ciągły i równomierny wzdłuż pręta (rys. 200), mamy:



Rys. 199.

$\mu = 1,2$, przyczem w tym wypadku $P = ql$, gdzie q oznacza zmienne jednostkowe podłużne obciążenie pręta. Ten rodzaj obciążenia odpowiada obciążeniu słupa ciężarem własnym.

Wypadek obciążenia podłużnego, przedstawionego na rys. 201, znajduje zastosowanie w obliczeniu pasów ściskanych w mostach otwartych¹⁾.



Rys. 200.



Rys. 201.

6. Doświadczalne wyznaczenie siły krytycznej.

Rachunkowe wyznaczenie siły krytycznej stosowane jest na razie tylko w granicach sprężystości, natomiast doświadczalne jej wyznaczenie możliwym jest również i poza temi granicami, oczywiście ze ścisłością, zależną od aparatury doświadczeń.

¹⁾ Por. pracę autora „O stateczności pasów ściskanych w mostach otwartych”, 1923 Prace Warszawskiego Tow. Politechnicznego.

Doświadczenia powinny się odbywać w następujących warunkach:

1^o, pręt ściśkany powinien być doskonale jednorodny, co do własności sprężystych;

2^o, końce pręta powinny być w ten sposób podparte, aby siła podłużna, działająca na pręt, była skierowana ściśle osiowo.

W tych warunkach, zwiększając stopniowo siły podłużne, moglibyśmy pręt doprowadzić do stanu równowagi niestatecznej, przy której mogłoby powstać, a z punktu widzenia fizycznego nawet musiałoby powstać wyboczenie.

W rzeczywistości tak rozumiany przebieg zjawiska nie może mieć miejsca, gdyż praktycznie pręt nie może być badany w takich warunkach, aby siła podłużna zaczepiona była ściśle osiowo.

Wobec tego mamy tu do czynienia nie z wyboczeniem we właściwym tego słowa znaczeniu, lecz raczej z jednoczesnym ściśkaniem i zginaniem.

Wobec niemożności ścisłej centracji pręta, siła łamiąca, otrzymana z doświadczeń, nie jest więc właściwą siłą krytyczną, zaś różni się od niej tem mniej, im większa jest doskonałość warunków doświadczenia. Siłę tę uważamy jednak naogół za siłę krytyczną i, podzieliwszy ją przez pole przekroju pręta, dochodzimy do naprężenia krytycznego.

Dla naprężeń krytycznych otrzymujemy z doświadczeń wzory typu:

$$K_k = a - b \cdot \frac{l}{r} \quad (333)$$

gdzie l oznacza długość pręta, zaś r promień bezwładności przekroju.

Wzór powyższy nazywamy wzorem Tetmajera-Jasińskiego. Przybiera on dla średniego gatunku żelaza zlewnego postać następującą:

$$K_k = 3387 - 14,83 \frac{l}{r} \text{ (k/cm}^2\text{)} \quad (334)$$

zaś dla drzewa postać:

$$K_k = 293 - 1,94 \frac{l}{r} \text{ (k/cm}^2\text{)} \quad (335)$$

Naprężenia krytyczne wyrażamy niekiedy wzorem:

$$K_k = \frac{K}{1 + a \left(\frac{l}{r} \right)^2} \quad (336)$$

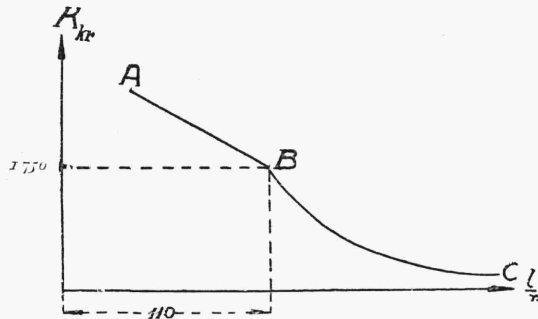
gdzie a dla żelaza zlewego równa się 0,00008. Wzór ten nazywamy wzorem Navier'a.

Powyższe wzory dotyczą podstawowego wypadku wyboczenia, dla innych wypadków należy w nie wstawić zamiast l wartość $L = \mu \cdot l$ (długość swobodna), gdzie μ oznacza współczynnik długości.

Aby ustalić, kiedy należy zastosować wzór Tetmajera-Jasińskiego lub też wzór Navier'a, a kiedy teoretyczny wzór Euler'a, przekształcamy ten ostatni w ten sposób, aby można było z niego obliczyć naprężenia, odpowiadające sile krytycznej. Mamy więc:

$$K_k = \frac{P_k}{A} = \frac{E \cdot J \pi^2}{A l^2} = \frac{E \cdot J \pi^2}{\left(\frac{J}{r^2}\right) l^2} = \frac{E \pi^2}{\left(\frac{l}{r}\right)^2} = E \pi^2 \left(\frac{r}{l}\right)^2 \quad (337)$$

Wstawiając w równanie (337) zamiast K_k naprężenie, odpowiadające granicy sprężystości, otrzymujemy tę wartość stosunku $\frac{l}{r}$, przy której wzór Euler'a (332) nie może już być stosowany. Przy $K_k = K' = 1750 \text{ k/cm}^2$ otrzymujemy dla żelaza zlewego stosunek $\frac{l}{r} = 110$. Dla drzewa również stosunek ten wynosi $\frac{l}{r} = 110$. Poniżej podanych wartości stosunku $\frac{l}{r}$ naprężenia krytyczne zmieniają się w sposób linjowy według wzoru Tetmajera-Jasińskiego.



Rys. 202.

Odpowiedni wykres naprężeń krytycznych dla żelaza zlewego w zależności od stosunku $\frac{l}{r}$ (smukłość słupa) przedstawiony jest na rys 202.

7. Obliczenie statyczne słupów i prętów ściskanych.

Jeżeli nie znamy mimośrodru siły podłużnej w pręcie ściskanym, przypuszczamy zaś, że jest niewielki, wówczas przyjmujemy go zwykle za równy zeru i obliczamy słup, jako ściskany ściśle osiowo. Naprężenia normalne, działające w słupie, obliczamy tu ze wzorów na ściskanie, a naprężenia bezpieczne ustalamy na podstawie wzorów (333) - (337) w sposób następujący.

Stosując do wytrzymałości na wyboczenie (naprężenie krytyczne) te same współczynniki bezpieczeństwa n , co dla innych rodzajów wytrzymałości (rozdz. IX, 2), otrzymujemy dla naprężeń bezpiecznych przy wyboczeniu wzór:

$$R_b = \frac{1}{n} K_k \quad (338)$$

Dla bezpiecznych naprężeń wyciągających mamy odpowiednio:

$$R = \frac{1}{n} K \quad (339)$$

Na podstawie ostatnich dwóch wzorów możemy napisać, że

$$R_b = R \cdot \frac{K_k}{K} = \kappa \cdot R \quad (340)$$

gdzie κ nazywamy współczynnikiem zmniejszającym (t.j. zmniejszającym, ze względu na wyboczenie, dopuszczalne naprężenie wyciągające, lub pole przekroju pręta); dla materiałów, dla których R przy wyciąganiu i ściskaniu nie są sobie równe, wstawiamy we wzór (340) R_s zamiast R .

Zamiast stosować przy obliczeniu naprężeń ściskających wzór:

$$\sigma = \frac{P}{A} < R_b = \kappa \cdot R \quad (341)$$

możemy zastosować tu wzór następujący:

$$\sigma = \frac{P}{\kappa A} < R \quad (342)$$

W przepisach budowlanych niektórych urzędów ¹⁾ podane są współczynniki zmniejszające κ dla różnych stosunków $\frac{l}{r}$, wobec czego obliczenie słupa odbywać się może ze wzoru (342), analogicznego do wzorów na zwykłe ściskanie lub wyciąganie.

¹⁾ Vid. np. Przepisy Min. Kom. z r. 1922, lub M. R. P. z r. 1926.