

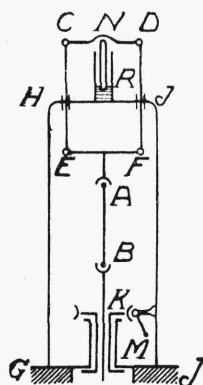
być wywołane warunkami atmosferycznymi, wstrząsami z powodu nagłego zaczepienia do budowli sił zewnętrznych, niejednorodnością materiału budowli, wpływem czasu, w ciągu którego budowla znajduje się pod działaniem sił, i t. d.

Przeciętne wartości współczynników bezpieczeństwa, przyjmowane dla różnych materiałów, wynoszą dla żelaza i stali około  $n = 4$ , dla drzewa, żeliwa i nieuzbrojonego betonu około  $n = 6$ , dla muru około  $n = 10$ .

### 3. Próby materiałów budowlanych na wyciąganie.

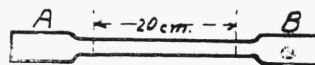
Typy maszyn do badań nad wyciąganiem metali są bardzo liczne<sup>1)</sup>. Jeden z nich przedstawiony jest na rys. 163 i na fotografii 165 (str. 158), przedstawiającej 20-tonnową maszynę fabryki Amsler'a.

Próbka żelazna, przedstawiona na rys. 164, zakłada się końcami w uchwyty  $A$  i  $B$  maszyny. Dolny uchwyt  $B$  pozostaje w czasie próby nieruchomym i może być, co do wysokości swego położenia, regulowany zapomocą korbki  $M$ . Górny uchwyt  $A$  unoszony jest do góry przez tłok  $N$  za pośrednictwem ramy ruchomej  $CDEF$  i w ten sposób wyciąga próbkę. Tłok unosi się do góry przez wpędzanie oleju pod ciśnieniem do zbiornika  $R$ . Zbiornik umieszczony jest na ramie nieruchomej  $GHIJ$ , utwierdzonej w fundamencie. Przenikania ramy ruchomej przez nieruchomą unikamy, w rzeczywistości, przez to, iż ramy te znajdują się w płaszczyznach do siebie prostopadłych. (rys. 163).



Rys. 163.

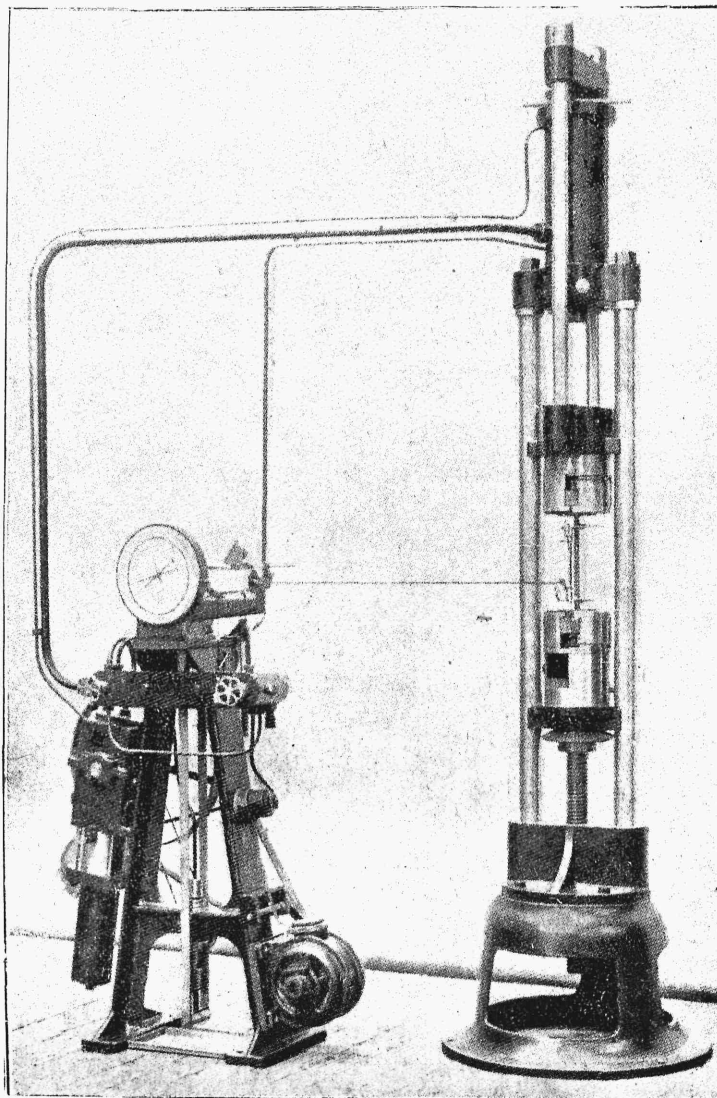
Na fotografii przedstawiona jest pompa, tłocząca ciecz do zbiornika, i dynamometr wahadłowy, służący do mierzenia siły wyciągającej. Na dynametrze umieszczony jest przyrząd do automatycznego wykonywania wykresów prób. Składa się on z bębna, połączonego nitką z górnym uchwytem  $A$  i obracającego się proporcjonalnie do wydłużeń próbki, oraz z ołówka, przesuwającego się wzdłuż osi bębna, proporcjonalnie do ciśnienia cieczy.



Rys. 164.

<sup>1)</sup> O badaniach materiałów budowlanych np. vid: K. Memmler, „Das Materialprüfungswesen“, 1924. Mitinskij, „Straitielnaja miechanika“, 1905. A. Mesnager, „Les matériaux de construction“.

Próbka ma na powierzchni podziałki oraz zaopatrzona jest w linijkę, która nie wydłuża się wraz z próbką. Porównanie podziałek na próbce z podziałkami na linijce pozwala zmierzyć wydłużenie próbki.

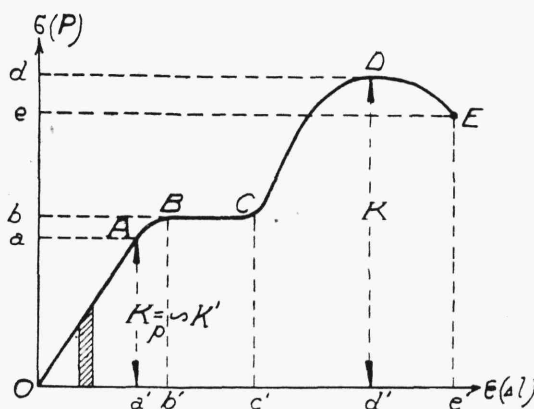


Rys. 165.

Przebieg próby żelaza na wyciąganie przedstawiony jest na rysunku w formie wykresu schematycznego, wyrażającego zależność między naprężeniami wyciągającymi  $\sigma$  a wydłużeniami  $\epsilon$  (rys. 166).

Przebieg ten jest następujący:

Okres I. Przy wzrastaniu naprężeń od  $O$  do wielkości  $Oa$  (do punktu  $A$ ) odkształcenia wzrastają proporcjonalnie do naprężeń, czyli że zachowuje tu swą moc prawo Hooke'a. Naprężenie, przy którym wydłużenia przestają być proporcjonalne do naprężeń, nazywamy granicą proporcjonalności  $K_p$  (często poprostu granicą sprężystości  $K'$ , gdyż dwie te granice dla żelaza prawie nie różnią się od siebie).



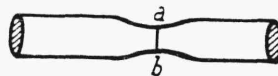
Rys. 166.

Okres II. Część  $AB$  wykresu odpowiada takiemu przebiegowi odkształcenia, przy którym wydłużenia wzrastają szybciej, niż naprężenia.

Okres III. Poczynając od punktu  $B$ , wydłużenia wzrastają prawie bez jednoczesnego przyrostu naprężeń. Punkt  $B$  nazywamy punktem krytycznym (granica plastyczności lub płynności), a odcinek  $BC$ , któremu odpowiada wzrastanie wydłużeń prawie bez odpowiedniego wzrostu naprężeń, nazywamy okresem krytycznym. W tym okresie pręt jakgdyby traci zdolność opierania się działaniu sił, odzyskuje ją jednak stopniowo w miarę dalszego wzrastania naprężeń. Gdy przebieg doświadczenia zbliża się do punktu krytycznego, na powierzchni próbki wyciąganej w okolicy jej środka pokazują się linie (drobne pęknięcia), nachylone do osi podłużnej próbki i noszące nazwę linii Lüders'a.

Okres IV. Od punktu  $C$  do punktu  $D$  wydłużenia wzrastają szybciej, niż naprężenia.

Okres V. Od punktu  $D$  do punktu  $E$  naprężenia wzrastają wprawdzie w tym przekroju próbki, który uległ zwężeniu (rys. 167, przekroj  $ab$ ), w pozostałych jednak przekrojach maleją. W punkcie  $E$  następuje rozerwanie pręta, a odcinek  $Od$  w podziałce naprężeń wyraża wytrzymałość materiału (w danym wypadku  $K_w$ ).



Rys. 167.

W niektórych wypadkach punkty  $D$  i  $E$  się pokrywają, wobec czego okres  $V$  odpada. Ma to miejsce w przypadku materiałów kruchych, gdy na próbce nie tworzy się szyjki, t. j. wspomnianego wyżej znacznego zwężenia, poprzedzającego jej rozerwanie (rys. 167).

O ile na rys. 166 zmienimy odpowiednio skalę, to otrzymamy wykres zależności między siłą  $P$ , a całkowitem wydłużeniem  $\Delta l$ . Wynika to stąd, że  $\sigma = \frac{P}{A}$ , a  $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$ , przyczem  $A$  i  $\Delta l$  są to wielkości stałe.

Weźmy, w dalszym ciągu, na osi poziomej wykresu, przedstawionego na rys. 166 nieskończenie mały odcinek  $\Delta(\Delta l)$  i przeprowadźmy przez końce tego odcinka proste równoległe do osi pionowej (osi  $P$ ) aż do przecięcia się ich z krzywą wykresu. Otrzymamy tą drogą trapez, zacieniony na rysunku, którego pole możemy uważać za równe polu  $P\Delta(\Delta l)$ , t. j. polu nieskończenie małego prostokąta. Pole to wyraża pracę siły wyciągającej na nieskończenie małym odcinku  $\Delta(\Delta l)$ , wobec czego całe pole wykresu  $OABCDEe'O$ , jako suma nieskończenie małych pól  $P\Delta(\Delta l)$ , wyrazi pracę, którą trzeba było zużyć, aby wywołać rozerwanie pręta. Praca ta równać się będzie

$$L = \eta \cdot \overline{Od} \cdot \overline{Oe'}$$

gdzie współczynnik  $\eta$  oznacza stosunek rzeczywistego pola wykresu do pola prostokąta  $\overline{Od} \cdot \overline{Oe'}$ . Podzieliwszy równanie poprzednie przez iloczyn  $A \cdot l$ , dochodzimy do następującego wzoru dla pracy jednostkowej:

$$L_1 = \eta \cdot \frac{\overline{Od}}{A} \cdot \frac{\overline{Oe'}}{l} = \eta \cdot \epsilon \cdot \sigma$$

gdyż  $\frac{\overline{Od}}{A} = \sigma$ , a  $\frac{\overline{Oe'}}{l} = \epsilon$ . Z doświadczeń wiadomo, że im większa jest wielkość  $L_1$ , tem lepiej dany materiał znosi uderzenia i wstrząsy. Dla średniego gatunku żelaza liczba ta waha się około 6 k. m/cm<sup>3</sup>.

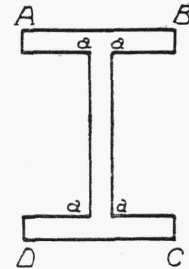
Poza wytrzymałością, dla danego gatunku metalu, jako materiału budowlanego, jest charakterystycznym jeszcze jego procentowe wydłużenie w chwili rozerwania. Metale, dla których wydłużenie takie jest znaczne, nazywamy miękkimi (plastycznymi). Mają one znaczne wielkości  $L_1$  i pomyślnie znoszą zarówno uderzenia i wstrząsy, których dana budowla doznaje, jak i wszelkie miejscowe nagłe zmiany w naprężeniach. Przeciwnie, materiały, dające małe wydłużenie w chwili rozerwania, czyli materiały twarde (kruche) bywają w tych wypadkach powodem katastrofy. Weźmy np. przekrój dwuteowy żelaznej belki

zginanej, przedstawiony na rys. 168. W punktach  $a$ , powstają tu, mianowicie, wskutek zmiany szerokości przekroju bardzo wielkie naprężenia, które tylko dzięki plastyczności żelaza nie wywołują pęknięcia belki. Powstawanie wspomnianych naprężeń może być uzasadnione na podstawie równania (250) z rozdz. VIII. 1, a dla uniknięcia ich zwykle stosujemy w punktach  $a$  zaokrąglenia.

Plastyczność w znacznym stopniu ułatwia też montowanie budowli, mianowicie, dopasowanie ich części. Pręt żelazny, wyciągnięty przy montowaniu poza granicę plastyczności, po odciążeniu go staje się ponownie sprężystym, przyczem jego wytrzymałość wzrasta, a zdolność do plastycznego wydłużania się maleje.

Wreszcie, materiały plastyczne mają i tę zaletę, że niejako uprzedzają o zbliżającej się katastrofie budowli przez swe znaczne odształcenia.

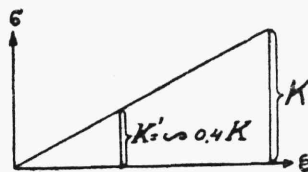
Obecnie metalurgia dąży do stworzenia takich gatunków żelaza, któreby łączyły dużą wytrzymałość ze znaczną plastycznością. W ten sposób powstały takie odmiany stali, jak nikłowa, chromo-nikłowa i inne. Domieszka węgla podnosi wprawdzie wytrzymałość żelaza, lecz zmniejsza plastyczność.



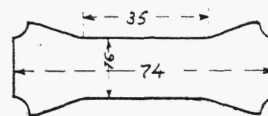
Rys. 168.

Na wytrzymałość metali przy wyciąganiu wywiera pewien wpływ temperatura i czas trwania obciążenia. Jednak budowle, poza katastrofą pożaru, nie znajdują się normalnie w warunkach termicznych, któreby wpływały na zmianę wytrzymałości żelaza, zaś czas trwania obciążenia wywiera poważniejszy wpływ tylko na materiały, mało stosowane w budownictwie, jak cynk lub ołów.

Metoda stosowana do badania na wyciąganie drzewa mało różni się od metody opisaney wyżej dla żelaza. Próby odbywać się mogą na tych samych maszynach, co i próby metali, próbki zaś drewniane mają kształt podobny do żelaznych.



Rys. 169.



Rys. 170.

Wykres próby na wyciąganie drzewa jest przedstawiony schematycznie na rys. 169 i ma kształt prawie prostoliniowy<sup>1)</sup>, przyczem naprężenie  $K'$  na granicy sprężystości stanowi około 0,4 wytrzymałości drzewa  $K$ .

<sup>1)</sup> Mitinskij, „Straitielnaja miechanika“, 1905, str. 366.

Próbki do badań nad rozrywaniem kamieni i betonu mają kształt przedstawiony na rys. 170 na str. 161. Próby cementu na wyciąganie odbywają się zapomocą przyrządu przedstawionego na rys. 173 (lewa strona) na str. 164, przyczem próbki mają kształt ósemek.

Poszczególne materiały budowlane wykazują następujące średnie wartości wytrzymałości na wyciąganie i procentowe wydłużenia:

Żelazo zlipne . . .	$K = 3\,300 - 4\,000 \text{ k/cm}^2$	$100 \varepsilon = 8 - 20$
„ zlewne . . .	$K = 3\,300 - 4\,500$	„ $100 \varepsilon = 25 - 28$
Stal zlewna . . .	$K = 4\,400 - 6\,500$	„ $100 \varepsilon = 23 - 27$
„ niklowa . . .	$K = 5\,500 - 6\,500$	„ $100 \varepsilon = 22 - 27$
Twarda stal chromo-		
wo-niklowa . . .	$K = 11\,000 - 13\,000$	„ $100 \varepsilon = 8 - 10$
Beton i cement (zawartość piasku 1:3)	$K = \infty$	$20 \text{ kg/cm}^2$
Sosna wzdłuż włókien . . . . .	$K = \infty$	$700$ „
Dąb „ „ . . . . .	$K = \infty$	$950$ „

Wytrzymałość drzewa wpoprzek włókien jest 10 razy mniejsza.

Znając dla pierwszego okresu prób na wyciąganie naprężenia  $\sigma$  i wydłużenia jednostkowe  $\varepsilon$ , możemy ze wzoru  $\sigma = \varepsilon \cdot E$  wyznaczyć dla danego materiału współczynnik sprężystości  $E$  (vid. str. 159).

Znając wytrzymałość wyciąganych prętów i przyjąwszy w myśl § 2 niniejszego rozdziału pewien współczynnik bezpieczeństwa, odpowiedni dla danego wypadku, możemy ze wzoru (283) ustalić bezpieczne naprężenia w poszczególnych wypadkach wyciągania.

Poniżej podajemy naprężenia bezpieczne  $R_w$  dla pewnych przeciętnych warunków oraz współczynniki sprężystości  $E$  przy wyciąganiu:

żelazo (zlewne) w budyn-			
kach . . . . .	$R_w = 900 - 1\,200 \text{ kg/cm}^2$	$E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ k/cm}^2$	
„ w mostach . . . . .	$R_w = 750 - 1\,100$	„ $E = 2,1 \cdot 10^6$	„
sosna . . . . .	$R_w = 80 - 110$	„ $E = 9,2 \cdot 10^4$	„
dąb . . . . .	$R_w = 100 - 130$	„ $E = 10,8 \cdot 10^4$	„
beton . . . . .	$R_w = 0 - 4$	„ $E = 5,6 \cdot 10^4$	„

#### 4. Próby materiałów budowlanych na ściskanie.

Próby na ściskanie bywają wykonywane zapomocą pras różnych typów, z których jeden (prasa Amsler'a na 30 tonn) jest przedstawiony w schemacie na rys. 171 i na fotografii na rys. 173 (str. 164).

Na rysunku 171  $R$  oznacza zbiornik, do którego wpuszczamy płyn pod ciśnieniem,  $N$  tłok,  $B$  i  $A$  płyty, między które wstawiamy próbkę. Zapomocą korby  $C$  ustawiamy prasę w ten sposób, aby płyty szczelnie przylegały do próbki. Po należytem ustawieniu prasy puszczamy w ruch pompę, która