

# STATYCZNA PRÓBA ŚCISKANIA

## 1. WSTĘP

Statyczna próba ściskania, obok statycznej próby rozciągania jest jedną z podstawowych prób stosowanych dla określenia właściwości mechanicznych materiałów. Celem próby na ściskanie materiałów jest wyznaczenie charakterystyki (naprężenie – odkształcenie)  $\sigma = f(\varepsilon)$ , na podstawie której określa się: wartości naprężeń powodujących zniszczenie materiału, wartości parametrów mechanicznych takich jak: granica sprężystości lub plastyczności materiału oraz wartość pracy odkształcenia (energia odkształcenia próbki).

Próba ściskania jest niejako „odwróceniem” próby rozciągania - wykres ściskania niektórych metali jest symetryczny do wykresu rozciągania w zakresie ujemnych naprężeń i odkształceń – jego prostoliniowa część jest niemal równa, co do wielkości tej części przy rozciąganiu. Taki stan, jeżeli pominiemy wpływ zamocowania próbki, stanowi o istnieniu jednoosiowego stanu naprężenia w próbce ściskanej jak i rozciąganej. Stąd też, wszystkie wielkości mechaniczne wyznacza się podobnie jak przy próbie rozciągania z tym, że stan odkształcenia próbki w obszarze sprężystym i plastycznym reprezentuje tu względne skrócenie jednostkowe (1):

$$a_c = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \quad (1)$$

gdzie:

- $L_0$  - pierwotna długość pomiarowa próbki, która może pokrywać się z pierwotną wysokością próbki  $h_0$ ,
- $L_1$  - chwilowa długość pomiarowa próbki
- $\Delta L$  - bezwzględne skrócenie próbki, jak również względne rozszerzenie przekroju.

Umowna granica sprężystości przy ściskaniu  $R_{e 0,01}$  jako naprężenie, po osiągnięciu, którego długość pomiarowa próbki doznaje trwałego skrócenia równego 0,01% początkowej długości pomiarowej (2):

$$R_{e 0,01} = \frac{P_{C 0,01}}{A_0} \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad (2)$$

gdzie:

- $P_{C 0,01}$  - siła obciążająca powodująca skrócenie próbki równe 0,01 % początkowej długości pomiarowej,
- $A_0$  - pole powierzchni pierwotnego przekroju poprzecznego próbki.

Wyraźną granicą plastyczności przy ściskaniu  $R_e$  nazywa się naprężenie, po osiągnięciu którego następuje trwałe odkształcenie ściskanej próbki (3):

$$R_e = \frac{P_C}{A_0} \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad (3)$$

gdzie:

- $P_C$  - siła odpowiadająca wyraźnej granicy plastyczności przy ściskaniu,
- $A_0$  - pole powierzchni pierwotnego przekroju poprzecznego próbki.

Dla metali nie wykazujących wyraźnej granicy plastyczności wyznacza się umowną granicę plastyczności (4):

$$R_{e0,2} = \frac{P_{c0,2}}{A_0} \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad (4)$$

Wartość umownej granicy plastyczności przy ściskaniu  $R_{e0,2}$  równa ilorazowi siły  $P_{c0,2}$  która odpowiada trwałemu skróceniu próbki o 0,2 % początkowej długości pomiarowej i pola powierzchni początkowego przekroju poprzecznego próbki.

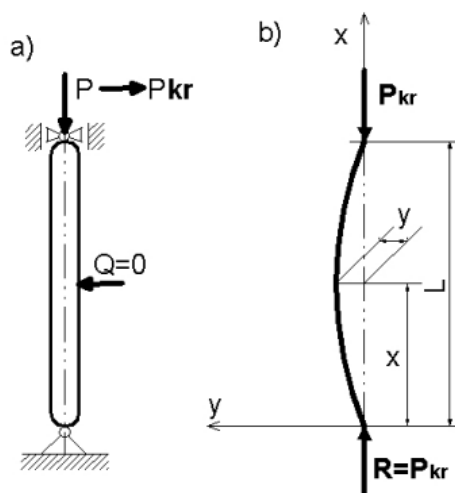
Ponieważ próbki z materiału plastycznego nie ulegają zniszczeniu, najczęściej po przekroczeniu granicy plastyczności próbę przerywa się. Natomiast próbki z materiałów kruchych (żeliwo, kość) nie mają wyraźnej granicy plastyczności i podczas próby ulegają zniszczeniu. W tym przypadku, granica plastyczności co do wartości zbliżona jest do maksymalnej wartości naprężenia przy siły jaką przenosi próbka  $P_c$ . Zatem naprężenie  $R_m$  otrzymane jako stosunek największej siły obciążającej  $P_c$ , powodującej zniszczenie próbki, do pola powierzchni pierwotnego przekroju poprzecznego nazywa się **wytrzymałością na ściskanie**.

$$R_m = \sigma_{max} = \frac{P_c}{A_0} \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad (5)$$

Przez zniszczenie rozumiemy albo złom, albo osiągnięcie odkształceń trwałych niedopuszczalnie wielkich z punktu widzenia konstrukcji.

## 2. RODZAJE PRÓBEK

Wprawdzie oznaczenie wartości naprężeń przy rozciąganiu i ściskaniu różni je tylko znakiem to jednak przeprowadzenie próby ściskania nastęrcza porównaniu z próbą rozciągania wiele trudności, a interpretacja jej wyników – wątpliwości [1].



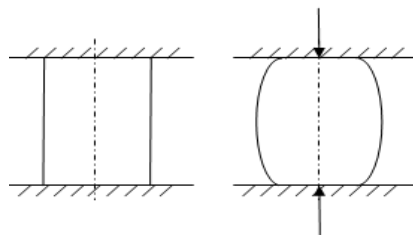
**Rysunek 2-1** Wyboczenie ściskanego pręta

Pręt ściskany musi mieć odpowiednie wymiary długości do przekroju, w przeciwnym może dojść do **wyboczenia** (jest to stan, gdzie oprócz ściskania siłą  $P_{kr}$ , powstaje również

zginanie pręta momentem  $M_g = P_{kr}y$ , co może spowodować zniszczenie pręta nawet przy niewielkim wzroście siły ściskającej) (Rys.2.1b). Zagadnieniu wyboczenia poświęcone zostaną jedne z kolejnych zajęć laboratoryjnych.

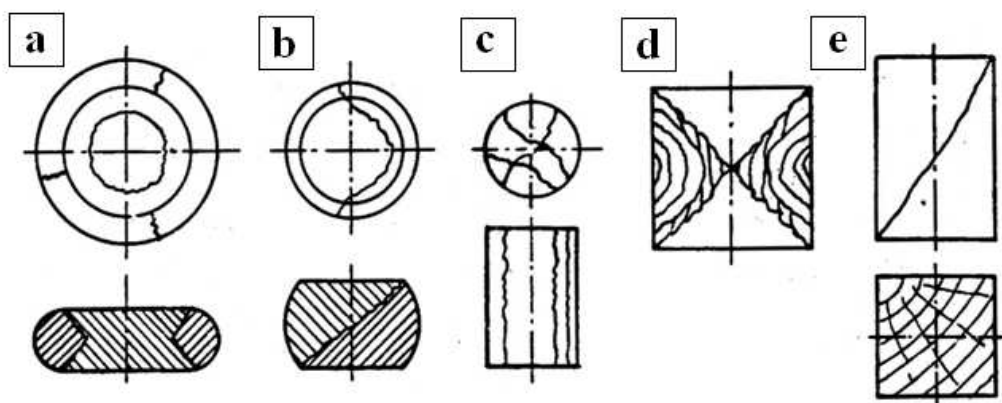
Próba musi być tak przeprowadzona, aby uzyskać osiowe ściskanie, a płaszczyzny ściskające próbkę (uchwyty maszyny wytrzymałościowej) mogły ustawić się równoległe do płaszczyzn podstaw próbki. Ściskając próbkę między płaskimi uchwytami, w przypadku próbek z materiałów wysoko-odkształcalnych można zaobserwować, iż próbka zmienia znacznie swój kształt (np. cylindrycznego na baryłkowaty (Rysunek 2-2).

W sąsiedztwie uchwytów poprzeczne wymiary próbki nie mogą się swobodnie zwiększać. Wywierają tu wpływ siły tarcia na powierzchni styku próbki z uchwytami [1]. Wpływ ten powoduje, że wartość naprężeń nie odpowiada założeniom o jednostajnym rozkładzie naprężeń w materiale. Aby tego uniknąć, należałoby część pomiarową odsunąć od końców (uchwytów) zgodnie z zasadą de Saint-Venanta przynajmniej o 1,5 wymiaru poprzecznego, a takie odsunięcie próbki spowodowałoby jej wydłużenie, co jest niewskazane ze względu na wspomniane wyboczenie.



**Rysunek 2-2** Zmiana kształtu próbki cylindrycznej w baryłkowatą po ścisaniu [1]

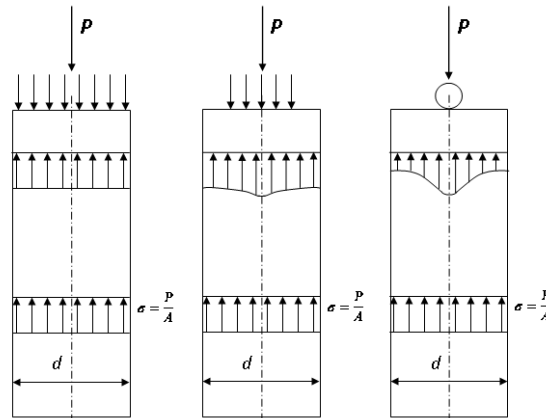
Przy zlikwidowaniu tarcia (również poprzez smarowanie powierzchni uchwytów) dla próbek kruchych powstają złomy rozdzielcze równoległe do kierunku działania siły. Typy złomów dla różnych tworzyw przedstawia rysunek 2-3 [3].



**Rysunek 2-3** Typy złomów dla: a) metal plastyczny, b) metal małowplastyczny – złom poślizgowy, c) metal kruchy przy smarowaniu płaszczyzn czołowych, d) beton – wykruszenie się boków, e) drewno [3]

## Zasada de Saint-Venanta

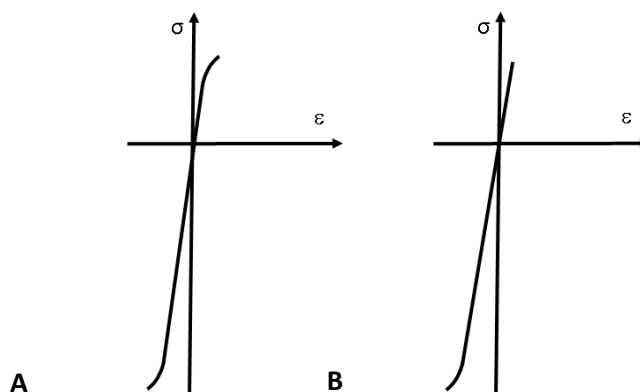
Rozważmy przypadek gdy mamy 3 jednakowe pręty ściskane obciążeniem równym co do wartości sile  $P$ , lecz o różnej realizacji tego obciążenia (Rys 2-3). W pierwszym działaniu siły o wartości  $P$  rozkłada się równomiernie na całym przekroju, w drugim tylko na części, a w trzecim przenosi się za pośrednictwem kulki, a więc rozkłada się na bardzo małą powierzchnię i nierównomiernie. Zatem rozkłady naprężeń w sąsiedztwie obciążonej powierzchni będą różniły się między sobą.



**Rysunek 2-3** Rozkłady naprężeń w prętach obciążonych taką samą wartością siły  $P$ , lecz realizowaną w inny sposób [1]

Wystarczy jednak przesunąć rozpatrywany przekrój nieco dalej (ok.  $1,5d$ ), a zauważalnych różnic w poszczególnych rozkładach nie będzie i do wyznaczenia naprężeń można stosować zależność  $\sigma = \frac{P}{A}$ . Do tych wniosków doszedł de Saint-Venant (1855 rok), formułując jedną z podstawowych zasad, którą przyjmujemy w obliczeniach konstrukcji, zwaną również zasadą sprężystej równoważności:

**„Jeżeli na pewien niewielki obszar ciała sprężystego pozostającego w równowadze działają kolejno rozmaicie rozmieszczone, ale statycznie równowarte obciążenia, to w odległości od obszaru przewyższającej wyraźnie jego rozmiary powstają praktycznie jednakowe stany naprężenia i odkształcenia”** (Rys.2-3).

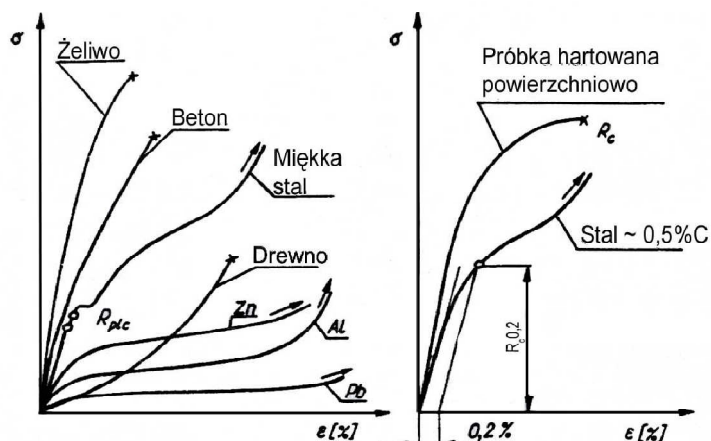


**Rysunek 2-4** Charakterystyki naprężenie- odkształcenie uzyskane w rozciąganiu i ściskaniu dla: A. żeliwa; B. betonu [1]

Przydatność praktyczna tej zasady jest niewątpliwa, pozwala bowiem na pewne idealizacje i uproszczenia w rozwiązywaniu konkretnych zadań. Próbę ściskania stosuje się do celów technicznych do materiałów kruchych; jest to również konieczne ponieważ materiały wykazują dużo większą wytrzymałość na ściskanie niż na rozciąganie (Rys. 2-4).

### 3. PRÓBA NA ŚCISKANIE RÓŻNYCH RODZAJÓW MATERIAŁÓW

Próba statyczna ściskania dla różnych tworzyw przebiega inaczej ze względu na charakter odkształceń i zniszczenia. Charakterystyki naprężenie- odkształcenie uzyskane w statycznej próbie na ściskanie dla różnych tworzyw przedstawiono na Rys. 3-1.



Rysunek 3-1 Typowe charakterystyki naprężenie - odkształcenie uzyskane różnych typów materiałów [4]

Tabela 3-1 Normy dotyczące statycznej próby na ściskanie odnoszące się do różnych materiałów konstrukcyjnych.

Rodzaj i nazwa normy	Przedmiot normy
PN-EN 12290:2007	Techniczna ceramika zaawansowana. Właściwości mechaniczne kompozytów ceramicznych w wysokiej temperaturze, w atmosferze gazów obojętnych. Oznaczanie właściwości przy ściskaniu.
PN-EN ISO 604:2006	Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości przy ściskaniu.
PN-EN ISO 604:2004	Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości podczas ściskania.
PN-EN ISO 7500-1:2002	Metale. Sprawdzanie statycznych jednoosiowych maszyn wytrzymałościowych. Część 1: Maszyny wytrzymałościowe rozciągające/ściskające. Sprawdzanie i kalibracja układu pomiarowego siły.
PN-EN 24506:1997	Węglik spiekane. Próba ściskania.
PN-H-83119:1980	Żeliwo szare. Próba statyczna ściskania.
PN-D-04102:1979	Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien.
PN-D-04229:1977	Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie w poprzek włókien.
PN-D-04115:1958	Fizyczne i mechaniczne własności drewna. Oznaczanie współczynnika sprężystości przy ściskaniu wzdłuż włókien.
PN-H-04320:1957	Próba statyczna ściskania metali.

W zależności od badanego materiału, zarówno warunki pomiaru jak i rodzaj czy kształt próbek poddawanych statycznej próbie na ściskanie mogą się różnić między sobą i są one określone w poszczególnych normach. W tabeli 3-1 przedstawiono przykładowe normy dotyczące statycznej próby na ściskanie odnoszące się do różnych materiałów konstrukcyjnych.

Statyczna próba ściskania metali jest objęta normą PN-57/H-04320. Według tej normy próba ściskania nazywa się próbą zwykłą, jeżeli jej celem jest wyznaczenie wytrzymałości na ściskanie, wyraźnej granicy plastyczności, skrócenia względnego oraz sporządzenie wykresu ściskania. Celem próby ścisłej jest określenie współczynnika sprężystości wzdłużnej przy ścisaniu  $E_c$ , umownej granicy sprężystości i umownej granicy plastyczności. Do statycznej próby ściskania metali używa się próbek w kształcie walca. Wysokość próbek  $h$  do próby statycznej zwykłej powinna wynosić  $h = 1,5 d_0$ . Stawiane są również pewne wymagania dotyczące wykonania próbek. Jednym z ważniejszych wymagań jest równoległość płaszczyzn czołowych oraz ich prostopadłość do osi próbki. Poza tym wszystkie powierzchnie próbek – szczególnie podstawy - powinny być dokładnie obrobione.

Statyczna próba ściskania drewna jest objęta normą PN-71/D-04102. Celem próby jest wyznaczenie wytrzymałości drewna na ściskanie wzdłuż włókien. Drewno jest materiałem, którego właściwości mechaniczne są silnie anizotropowe, więc próbki wycinane wzdłuż i w poprzek włókien będą charakteryzowały się różnymi właściwościami mechanicznymi. Największą wytrzymałość na ściskanie ( $40 \div 60$  MPa) wykazuje drewno, jeżeli siła działa równoległe do włókien, najmniejszą natomiast, jeżeli działa ona w kierunku promienia przekroju i wynosi  $10 \div 30\%$  wytrzymałości określanej równoległe do kierunku włókien. Dlatego też, biorąc pod uwagę te właściwości istnieją aż dwie normy dotyczące oznaczania wytrzymałości na ściskanie drewna. Badania przeprowadza się na kostkach  $2 \times 2 \times 3$  cm (wysokość równa 3 cm). Dopuszczalne odchyłki wymiarowe przy wykonywaniu próbek wynoszą  $\pm 0,1$  cm. Wilgotność próbek w chwili badania winna wahać się w granicach  $10 \div 20\%$ .

#### **4. OPIS STANOWISKA POMIAROWEGO**

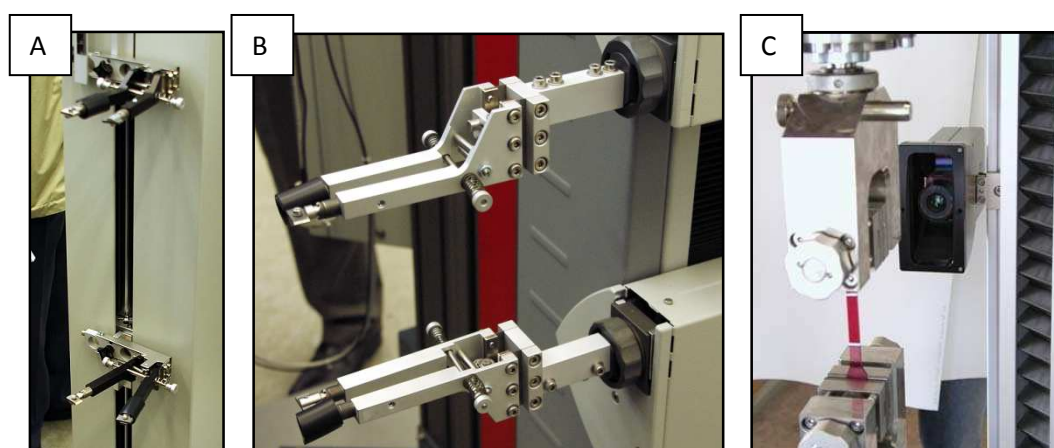
Właściwości sprężyste i plastyczne materiałów wyznacza się doświadczalnie na odpowiednich próbkach za pomocą uniwersalnych maszyn wytrzymałościowych. W przypadku naszego laboratorium dysponujemy maszynami wytrzymałościowymi MTS MiniBionix 858 o maksymalnym obciążeniu  $\pm 15$  kN, oraz MTS Synergie 100 o maksymalnym obciążeniu  $\pm 0,5$  kN lub  $\pm 0,01$  kN.

Maszyna wytrzymałościowa Mini Bionix wyposażona jest w uchwyty hydrauliczne pozwalające na badanie próbek płaskich i o przekroju kołowym. Wyposażenie maszyny pozwala na wyznaczanie charakterystyk: siła - przemieszczenie, naprężenie - odkształcenie w przypadku różnych stanów obciążenia: ściskanie, rozciąganie, zginanie trójpunktowe i czteropunktowe.



**Rysunek 4-1.** Maszyna wytrzymałościowa MTS 858 Mini Bionix

Pomiar przemieszczeń możliwy jest na dwa sposoby: pomiar przemieszczenia stempla i górnej belki poprzecznej oraz pomiar przemieszczenia względnego ramion ekstensometru mechanicznego, sprzęgniętego z układem pomiarowym maszyny. Pierwszy sposób pozwala na pomiar całkowitego przemieszczenia próbki (w zakresie od 0 do 100mm), drugi natomiast mierzy przemieszczenia na wybranym odcinku pomiarowym (tzw. bazie), którego długość może być zmieniane w zakresie bazy pomiarowej ekstensometru.



**Rysunek 4-2.** A i B Ekstensometry mechaniczne; C. Video-ekstensometr.

Wybór sposobu pomiaru przemieszczania musi uwzględniać rodzaj obciążenia próbki (ściskanie, rozciąganie, zginanie), rodzaj testu (badanie niszczące, nieniszczące) a także zakres mierzonych przemieszczeń.

## 5. Cel i zakres laboratorium

Celem pomiarów prowadzonych w ramach zajęć laboratoryjnych jest wyznaczenie charakterystyk naprężenie – odkształcenie dla przykładowych grup materiałów, w próbie jednoosiowego ściskania. Próbki, przygotowane zgodnie z odpowiednimi normami, stanowią 3 grupy materiałów: stop aluminium, polietylen oraz drewno. Na podstawie otrzymanych charakterystyk naprężenie – odkształcenia wyznaczyć, i porównać między sobą, należy parametry mechaniczne: moduł sprężystości wzdłużnej, umowną granicę sprężystości i plastyczność oraz wytrzymałość na ściskanie.

**Literatura:**

- [1] Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłóś Z.: Wytrzymałość materiałów. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2007;
- [2] Jastrzebski P., Mutermilch J., Orłóś W.: Wytrzymałość materiałów. Warszawa 1985;
- [3] Instrukcja do laboratorium z Wytrzymałości Materiałów: Próba statyczna ściskania materiałów sprężysto – plastycznych i kruchych. Politechnika Białostocka;
- [4] Strawarski E., Jakubowski J., Bystrowski Janusz.: Wytrzymałość materiałów. Ćwiczenia laboratoryjne. Wydawnictwa AGH, Kraków 1999.