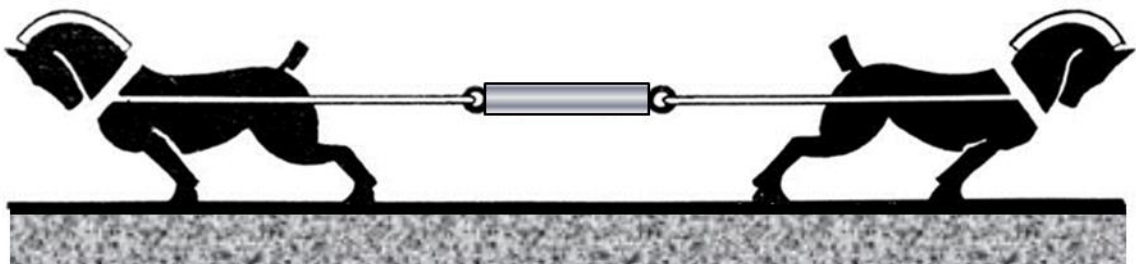


Statyczna próba rozciągania metali



Opracował : dr inż. Konrad Konowski

Szczecin 2015 r

*) za podstawę niniejszego opracowania przyjęto skrypt [1]

1. Cel ćwiczenia

Statyczna próba rozciągania dzięki posiadanym zaletom stała się podstawową i najbardziej rozpowszechnioną próbą w badaniach własności mechanicznych materiałów. Jest próbą łatwą do przeprowadzenia, daje możliwości obserwacji i rejestracji procesu rozciągania od początku obciążenia próbki aż do jej zniszczenia oraz możliwość wyznaczenia szeregu wskaźników charakteryzujących różnorodne własności materiału.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z praktycznym sposobem przeprowadzenia statycznej próby rozciągania metali zgodnie z obowiązującą normą (EN ISO 6892-1:2009), używanymi do tego celu próbkami i maszynami wytrzymałościowymi oraz interpretacją i opracowaniem wyników próby.

W czasie ćwiczenia należy przeprowadzić próbę rozciągania dla kilku próbek wykonanych z różnych metali, zbadać zachowanie się tych materiałów podczas rozciągania oraz wyznaczyć podstawowe wskaźniki, charakteryzujące własności wytrzymałościowe i plastyczne materiału. W szczególności wyznaczyć należy:

- wytrzymałość na rozciąganie R_m ,
- wyraźną granicę plastyczności R_e (jeżeli występuje),
- naprężenie rozrywające R_u ,
- wydłużenie względne A (plastyczne),
- przewężenie względne Z (plastyczne).

2. Opis próby

2.1. Próbki

Do prób rozciągania używa się próbek obrabianych, okrągłych i płaskich oraz próbek w postaci odcinków materiału w stanie nieobrobionym. Próby rozciągania próbek wykonanych z materiałów sprężysto-plastycznych ujęto w normie EN ISO 6892-1:2009, a dla żeliwa szarego - w normie PN-EN 1561:2000.

Próbki okrągłe (rys.1) zakończone mogą być chwytami (główkami) cylindrycznymi, gwintowanymi lub dostosowanymi do uchwytów pierścieniowych. Wielkością podstawową tych próbek jest pole przekroju początkowego S_0 .

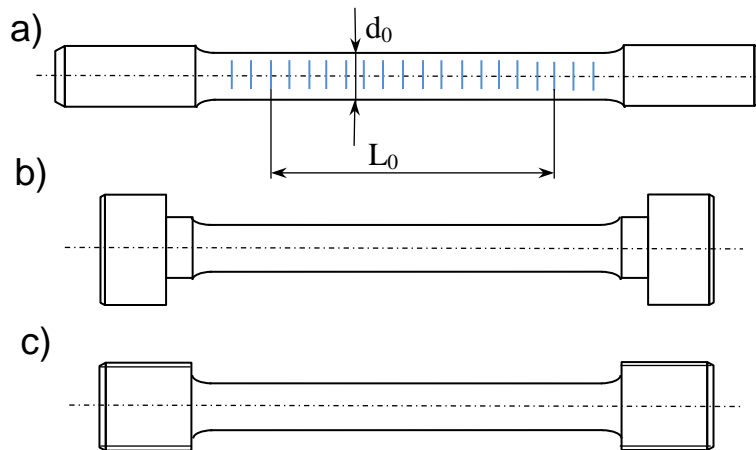
$$S_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} \quad (1)$$

Długość pomiarowa L_0 części środkowej próbki, na której obserwuje się odkształcenia, jest obliczana z zależności:

$$L_0 = k\sqrt{S_0} \quad (2)$$

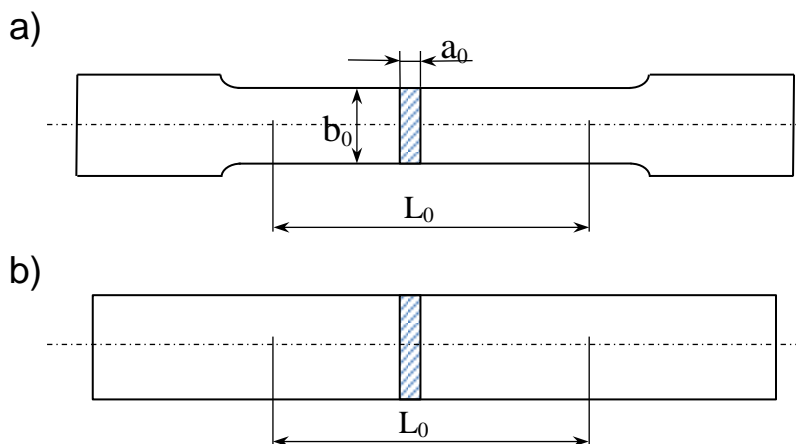
gdzie: k - jest współczynnikiem proporcjonalności.

Takie próbki do badań nazywane są proporcjonalnymi. Na forum międzynarodowym przyjęto, że wartość $k=5.65$. Jeżeli przekrój poprzeczny próbki do badań jest za mały, można przyjąć wyższą wartość $k=11.3$, lub zastosować nieproporcjonalną próbkę do badań.



Rys.1. Próbkę okrągłe na rozciąganie z materiału sprężysto-plastycznego:

- a) z główkami do chwytania w szczękach,
- b) z główkami do pierścieni,
- c) z główkami gwintowanymi.



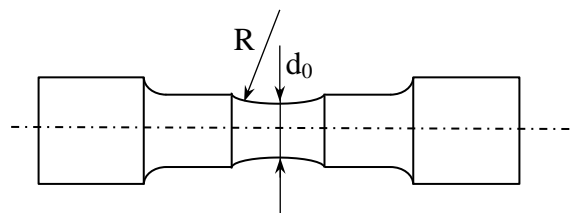
Rys.2. Próbkę płaskie na rozciąganie: a) z główkami, b) bez główek

Próbki płaskie (rys. 2) mogą być z główkami lub bez główek. Wielkością podstawową tych próbek jest ich grubość a_0 , czyli odległość pomiędzy powierzchniami walcowanymi, które nie podlegają obróbce. Pole przekroju poprzecznego próbki przed obciążeniem wynosi:

$$S_0 = a_0 b_0 \quad (3)$$

Długość pomiarową L_0 próbki płaskiej ustala się z zależności (1),

W przypadku rozciągania próbek z żeliwa rezygnuje się zazwyczaj z pomiaru odkształceń po zerwaniu. Nie wprowadza się zatem długości pomiarowej L_0 . Kształty próbek normalnych z żeliwa szarego pokazano na rys.3. Główki tych próbek dostosowuje się do możliwości uchwytowych zrywarki. Oprócz próbek normalnych norma przewiduje jeszcze próbki specjalne do badań naukowych, które podobnie jak próbki z materiałów sprężysto-plastycznych mają odcinek L_0 , na którym bada się wydłużenia.



Rys.3. Próбка na rozciąganie z żeliwa szarego



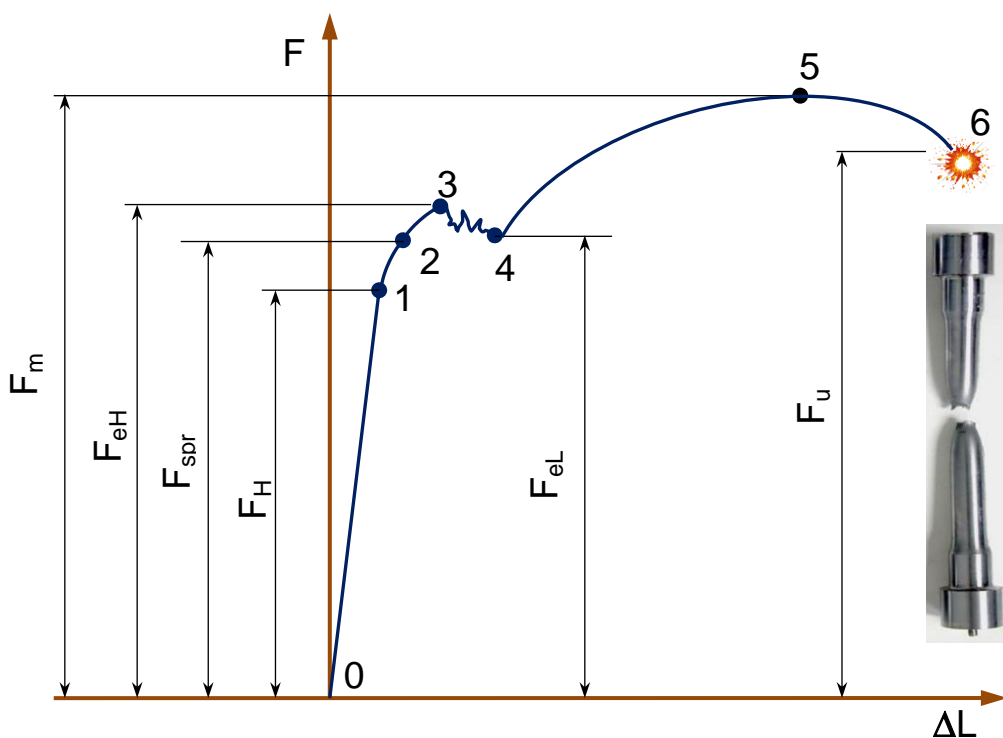
Rys.4. Widok próbek z materiałów sprężysto-plastycznych przygotowanych do prób rozciągania [6].



Rys.5. Widok próbki z materiału kruchego do próby rozciągania [6]

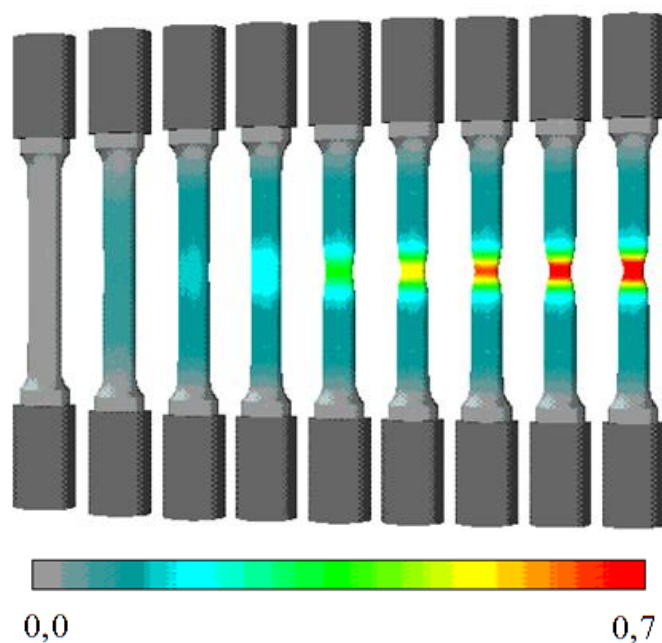
2.2. Rozciąganie próbek z materiałów sprężysto-plastycznych

Przebieg próby rozciągania najlepiej charakteryzuje wykres rozciągania uzyskany z maszyny wytrzymałościowej, wyrażający zależność pomiędzy obciążeniem a towarzyszącym mu wydłużeniem próbki. Wykres ten powstaje w układzie współrzędnych: obciążenie F – wydłużenie całkowite ΔL . Przykładowy wykres rozciągania dla materiału sprężysto-plastycznego, wykazującego wyraźną granicę plastyczności (stal miękka), przedstawiono na rys.6.



Rys.6. Wykres rozciągania próbki z materiału sprężysto-plastycznego z wyraźną granicą plastyczności

Próbie rozciągania próbki ze stali niskowęglowej charakteryzuje wykres pokazany na rys. 6. Początkowo powstające odkształcenia są proporcjonalne (0-1) i sprężyste (0-2). Wykres przebiega zazwyczaj stromo, gdyż odkształcenia sprężyste są niewielkie. W tym zakresie obowiązuje praktycznie prawo Hooke'a. Dopiero po zjawieniu się odkształceń plastycznych, bezwzględna wartość wydłużenia zaczyna rosnać szybciej. Początkowo odkształcenia plastyczne są nieznaczne (2-3), po czym następuje zaburzenie równowagi sił wewnętrznych i materiał zaczyna „płynąć” (3-4). Próbka wydłuża się plastycznie na całej długości, przy czym obciążenie F nie wzrasta, a nawet maleje. Obserwując gładko szlifowaną powierzchnię próbki można zauważyć, że z chwilą rozpoczęcia płynięcia materiału, tzn. przy obciążeniu F_e , w pewnym miejscu pojawiają się charakterystyczne linie nachylone do osi próbki pod kątem około 45° . Linie te, zwane liniami Lüdersa - Czernowa, rozszerzają się następnie na całą długość pomiarową próbki. Są to ślady wzajemnych przesunięć części kryształów po płaszczyznach krystalograficznych. Przy dalszym trwaniu próby płynięcie ustaje i następuje umocnienie materiału. Odbywa to się przy dalszym wzroście siły obciążającej i znacznych wydłużeniach trwałych (4-5). Po osiągnięciu przez siłę wartości F_m (5), na próbce zaczyna tworzyć się w najslabszym miejscu lokalne przewężenie, czyli tzw. „szyjka”. Narastanie odkształceń plastycznych w „szyjce” pokazano na rys.7.



Rys.7. Narastanie odkształceń plastycznych w „szyjce” [7]

Krzywa rozciągania zaczyna opadać (rys.6), po czym następuje rozerwanie próbki (6).

Na rys.8. pokazano wykres rozciągania próbki ze stali konstrukcyjnej stopowej. Materiał ten nie ma wyraźnej granicy plastyczności i nie występuje tutaj płynięcie materiału, charakterystyczne dla stali niskowęglowej.

Stosowanie układu współrzędnych $F-\Delta L$ do opisu próby jest niewygodne, ponieważ porównywanie wyników uzyskanych dla dwóch różnych materiałów wymagałoby stosowania próbek o takich samych przekrojach. Aby uniezależnić wyniki od przekroju próbki stosuje się układ współrzędnych: naprężenie σ – wydłużenie jednostkowe ϵ , przy czym

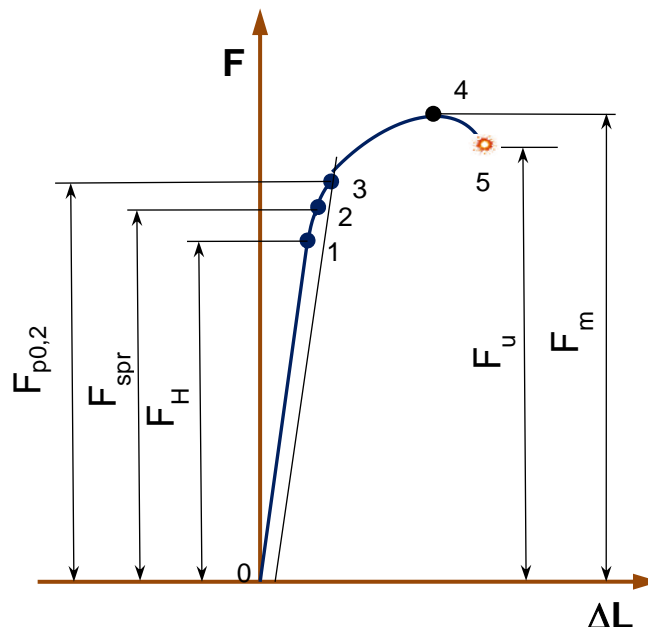
$$\sigma = \frac{F}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (4)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (5)$$

gdzie: S_0 - pole pierwotnego przekroju próbki,
 L_0 - pierwotna długość części pomiarowej próbki

Wartość wydłużenia jednostkowego ϵ podaje się niekiedy w procentach.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} 100\% \quad (6)$$



Rys.8. Wykres rozciągania próbki z materiału sprężysto-plastycznego, bez wyraźnej granicy plastyczności

Układ σ - ϵ jest niezależny od wymiarów próbki. Ponieważ σ jest wprost proporcjonalne do F , a ϵ – do ΔL , przy czym S_0 i L_0 są wielkościami stałymi, zatem wykres rozciągania w układzie σ - ϵ można otrzymać wprost z wykresu maszynowego poprzez zmianę skali rzędnych i odciętych.

Wykres rozciągania w układzie σ - ϵ dla stali niskowęglowej przedstawiono na rys.9. Należy zaznaczyć, że wykres ten (krzywa ciągła) wykonany został dla naprężeń umownych, obliczanych według wzoru (4). Istota umowności tkwi w pominięciu ciągłej zmiany pola przekroju poprzecznego próbki podczas rozciągania. Pole to w miarę wzrostu naprężenia maleje, znikomo w zakresie sprężystym, dość znacznie po przejściu materiału w zakres dużych odkształceń plastycznych, szczególnie zaś przy tworzeniu się szyjki. Rzeczywiste naprężenie R_u rozrywające próbkę jest większe od największego naprężenia umownego R_m , zwanego wytrzymałością na rozciąganie. Wykres rzeczywistych naprężeń ilustruje krzywa przerywana na rys.9. Naprężenia te zdefiniowane są następująco:

$$\sigma_{rz} = \frac{F}{S} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (7)$$

gdzie: F - aktualna wartość siły obciążającej,

S - pole chwilowego przekroju próbki, odpowiadającego sile F .

Naprężenia te wywołują odkształcenia rzeczywiste ϵ_{rz} :

$$\epsilon_{rz} = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \left(\frac{L}{L_0} \right) \quad (8)$$

gdzie: L - aktualna wartość długości pomiarowej próbki, odpowiadająca sile F ,

L_0 - początkowa długość pomiarowa próbki.

Pomiędzy odkształceniem rzeczywistym ϵ_{rz} i względnym odkształceniem umownym ϵ zachodzi zależność:

$$\epsilon_{rz} = \ln(1 + \epsilon) \quad (9)$$

Odkształcenie rzeczywiste, w odróżnieniu od odkształcenia względnego umownego, odtwarza sens fizyczny odkształcenia. Przy znacznych odkształceniach, wartości odkształceń rzeczywistych i umownych istotnie się różnią. Tylko przy małych odkształceniach są one prawie jednakowe, ponieważ:

$$\epsilon_{rz} = \ln(1 + \epsilon) = \epsilon - \frac{\epsilon^2}{2} + \frac{\epsilon^3}{3} - \dots \quad (10)$$

Łatwo można uzasadnić, że krzywa (4, 6') nie ma większego znaczenia praktycznego.

Na wykresie rozciągania (rys.9.) można wyróżnić szereg punktów charakterystycznych, stanowiących podstawę dla określenia pewnych wskaźników wytrzymałościowych. Naprężenia odpowiadające tym punktom na wykresie mają specjalne oznaczenia i charakteryzują określone własności materiału:

- R_H – granica proporcjonalności (granica stosowalności prawa Hooke'a),
- R_{spr} – granica sprężystości,
- R_{eH} – wyraźna granica plastyczności (górna),
- R_{eL} – dolna granica plastyczności,
- R_m – granica wytrzymałości na rozciąganie,
- R_u – rzeczywiste naprężenie rozrywające.

Granica proporcjonalności R_H - jest synonimem granicy stosowalności prawa Hooke'a. Wyznaczenie R_H jest przedmiotem innego ćwiczenia.

Granica sprężystości R_{spr} - jest podobnie jak granica proporcjonalności wielkością umowną. Praktycznie przez granicę sprężystości rozumie się taką wartość naprężenia normalnego, które powoduje wydłużenie trwałe próbki równe pewnej umownej wartości. W Polsce przyjmuje się przeważnie wydłużenie trwałe równe 0,02%. Przy podaniu zatem wartości granicy sprężystości należy podawać również wartość umownego wydłużenia trwałego.

$$R_{spr} = R_{0,02} = \frac{F_{0,02}}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (11)$$

Wyraźna górna granica plastyczności R_{eH} - jest to maksymalna wartość naprężenia normalnego [obliczonego według wzoru (4)] przed pierwszym spadkiem siły F

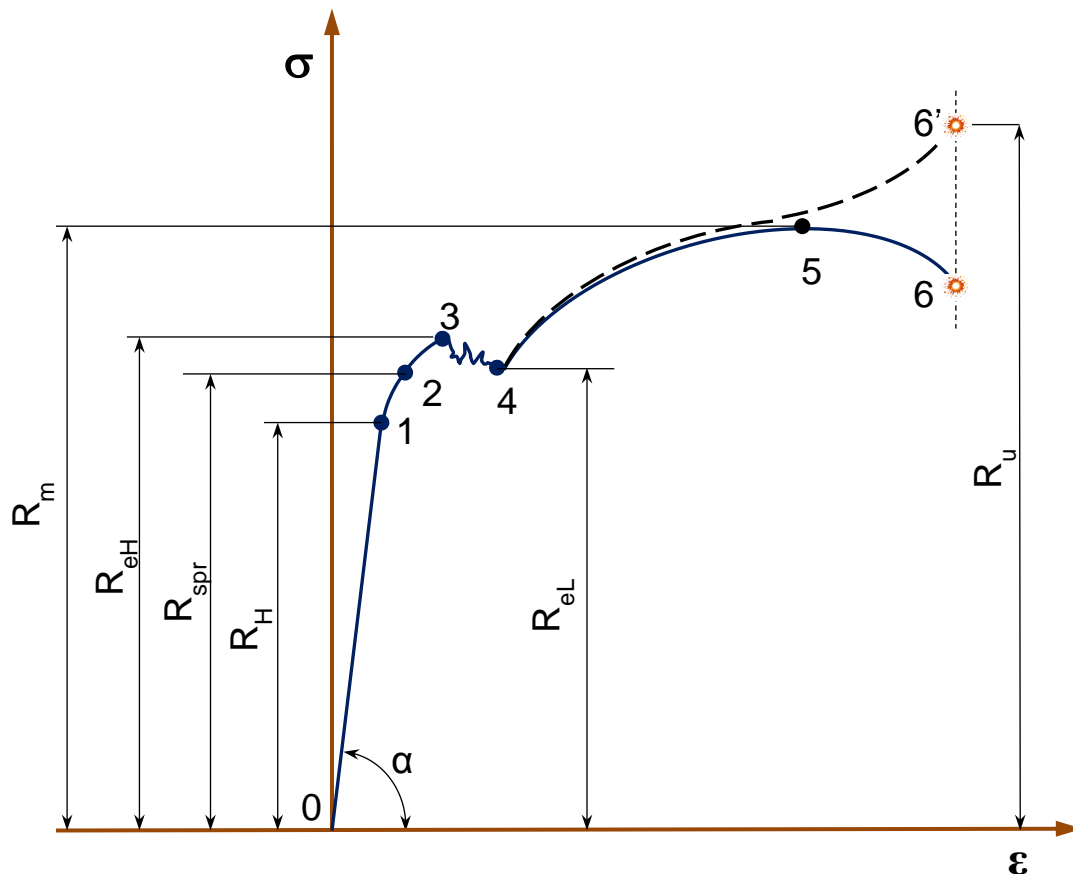
$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (12)$$

Wyraźna dolna granica plastyczności R_{eL} - jest to najmniejsza wartość naprężenia normalnego [obliczonego według wzoru (4)] podczas plastycznego płynięcia, z pominięciem ewentualnego początkowego efektu przejściowego.

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (13)$$

Umowna granica plastyczności R_p - jest to naprężenie [obliczone według wzoru (4)], odpowiadające sile F , wywołującej w próbce trwałe wydłużenie równe określonemu procentowi długości pomiarowej L_0 , np. $R_{p0,2}$.

$$R_{p0,2} = \frac{F_{0,2}}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (14)$$



Rys.9. Wykres rozciągania stali miękkiej w układzie σ - ϵ

Wytrzymałość na rozciąganie R_m - jest to naprężenie odpowiadające największej sile obciążającej F_m uzyskanej w czasie prowadzenia próby rozciągania, odniesionej do pierwotnego pola przekroju poprzecznego próbki

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (15)$$

Napężenie rozrywające - R_u jest to napężenie występujące w przekroju poprzecznym próbki w miejscu przewężenia bezpośrednio przed rozerwaniem, obliczone z ilorazu siły w chwili rozerwania F_u i najmniejszego przekroju próbki S_u po rozerwaniu

$$R_u = \frac{F_u}{S_u} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad (16)$$

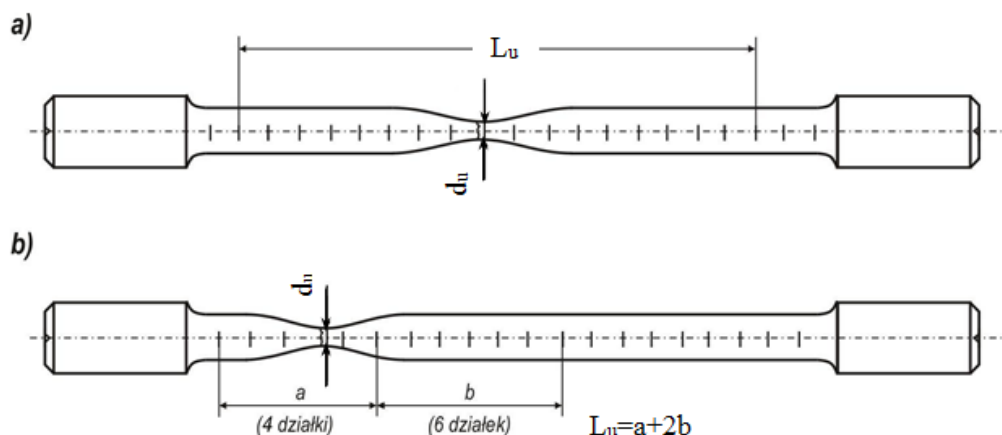
Oprócz wskaźników charakteryzujących własności wytrzymałościowe materiału norma przewiduje również wyznaczenie wskaźników charakteryzujących własności plastyczne badanego materiału. Wskaźnikami tymi są wydłużenie i przewężenie plastyczności próbki.

Wydłużenie względne (plastyczne) po rozerwaniu - A jest to przyrost długości pomiarowej próbki mierzonej po rozerwaniu w odniesieniu do pierwotnej długości pomiarowej próbki, wyrażony w procentach

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} 100\% \quad (17)$$

W wypadku proporcjonalnych próbek do badań dla których współczynnik proporcjonalności $k \neq 5.65$ oznaczenie A należy uzupełnić indeksem, który jest współczynnikiem proporcjonalności np. $A_{11,3}$. W przypadku próbek nieproporcjonalnych symbol A należy uzupełnić indeksem, który jest początkową długością pomiarową, wyrażoną w milimetrach np. $A_{80\text{mm}}$.

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} 100\% \quad (18)$$

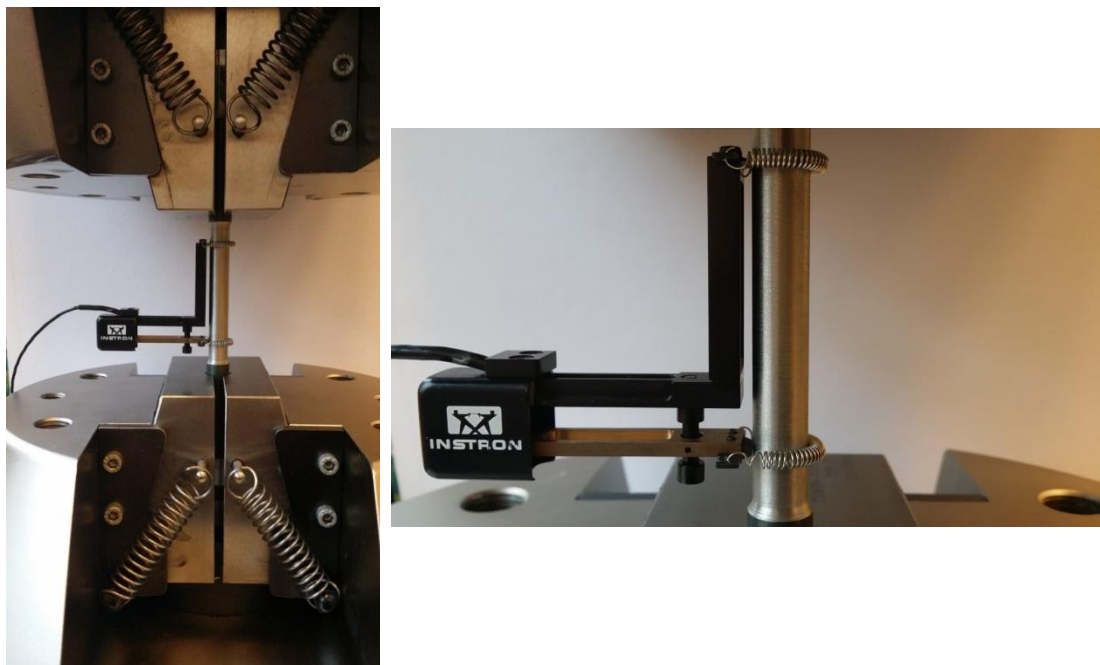


Rys.10. Wyznaczenie długości pomiarowej L_u próbki po rozerwaniu

Przewężenie względne (plastyczne) po rozerwaniu Z - jest to zmniejszenie powierzchni przekroju poprzecznego próbki w miejscu zerwania w odniesieniu do powierzchni jej pierwotnego przekroju, wyrażone w procentach.

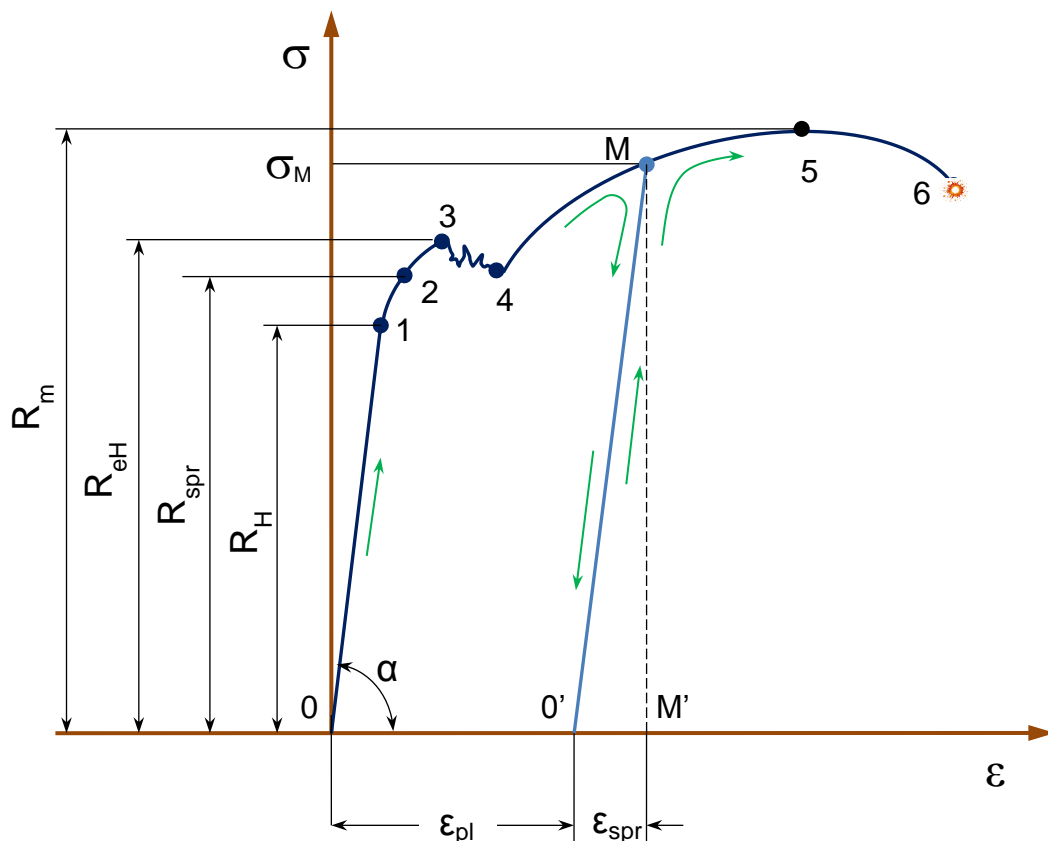
Na rys.10. przedstawiono ponownie złożone obie części rozerwanej próbki. Początkowa długość L_0 odpowiadała pewnej liczbie działek o wartości 5 mm naniesionych na próbce. Długość pomiarowa próbki o średnicy np. $d_0=8$ mm, przy współczynniku $k=11.3$, będzie wynosiła $L_0=80$ mm, czyli 16 działek po 5mm. Dla ustalenia długości L_u odlicza się taką samą liczbę działek na próbce po rozerwaniu i mierzy suwmiarką długość odcinka L_u . Odcinek L_u należy tak dobierać, aby szyjka była jak najbliżej jego środka. Jeżeli próbka rozerwie się w pobliżu jednej z główek, wtedy długość L_u ustala się w sposób następujący. W obszarze szyjki (rys.10b) przyjmuje się odcinek a, położony symetrycznie i odpowiadający paru działkom. Połowie brakującej jeszcze liczbie działek odpowiada odcinek b. Gdyby z lewej strony zamiast główki rozciągała się dalej cylindryczna część próbki, rozkład wydłużeń z obu stron szyjki byłby symetryczny.

W przypadku przeprowadzania prób rozciągania na maszynach wytrzymałościowych sterowanych komputerowo np. INSTRON 8501 lub INSTRON 8850, do pomiaru wydłużenia na długości pomiarowej stosuje się ekstensometry. Umożliwiają one znacznie dokładniejszy pomiar tego wydłużenia. Na rys.11 pokazano przykładowy sposób mocowania ekstensometru na długości pomiarowej próbki na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8850.



Rys.11. Sposób mocowania ekstensometru na długości pomiarowej próbki.

Omawiając podstawowe zagadnienia związane z próbą rozciągania należy zwrócić uwagę na pewne towarzyszące jej charakterystyczne zjawiska. Jeżeli np. w procesie rozciągania dojdzie się do pewnego punktu M na wykresie σ - ϵ (rys.12), a następnie rozpocznie się odciążenie próbki, to zależność pomiędzy naprężeniem i odkształceniem w ujęciu uproszczonym charakteryzuje odcinek prosty (M0'), równoległy do odcinka (0,1) wyrażającego prawo Hooke'a przy obciążaniu. Po całkowitym odciążeniu, w próbce pozostanie odkształcenie trwałe, odpowiadające odcinkowi (00'). Jeżeli ponownie obciąży się próbkę, to do wartości naprężenia, od którego zostało rozpoczęte odciążanie, zależność pomiędzy naprężeniem i odkształceniem będzie się wyrażać odcinkiem prostym (0'M), a przy dalszym zwiększaniu obciążenia zależność ta będzie przebiegać po krzywej (M,5,6), wzdłuż której przebiegałaby, gdyby nie było odciążania. To zjawisko podwyższania granicy plastyczności nosi nazwę zjawiska Gerstnera.

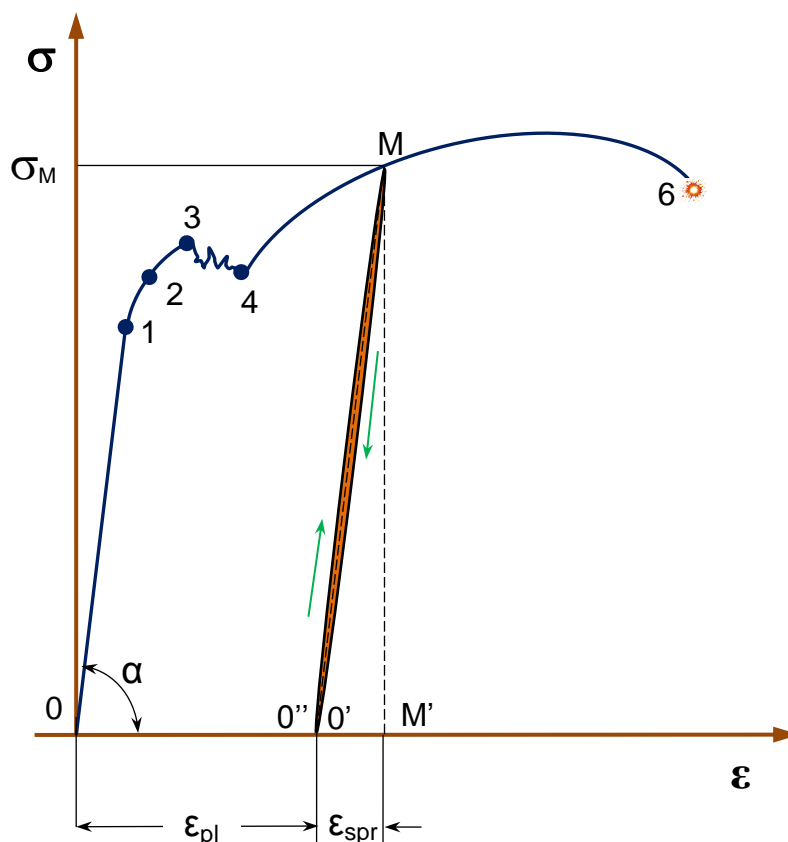


Rys.12. Wykres obciążania i odciążania próbki

Każde odkształcenie po przekroczeniu granicy plastyczności składa się z dwóch części: sprężystej - ϵ_{spr} , która zanika po całkowitym odciążeniu, oraz plastycznej - ϵ_{pl} , która pozostaje po odciążeniu (rys.12).

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{spr}} + \varepsilon_{\text{pl}} \quad (19)$$

Odształcenia mają więc charakter sprężysto-plastyczny. Praca siły odkształcającej próbkę, odniesiona do jednostki objętości, wyraża się polem $(0,1,M, M')$ leżącym poniżej krzywej σ - ε . Obszar $(0', M, M')$ wyraża energię odwracalnej (sprężystej) części procesu odkształcenia, obszar zaś $(0,1,M,0')$ – części nieodwracalnej. Pole zawarte pod krzywą rozciągania, aż do rozerwania się próbki, wyraża tzw. pracę rozerwania. Praca ta przyjmuje różne wartości dla różnych materiałów i może stanowić pewien istotny wskaźnik ich własności mechanicznych. Na przykład materiały kruche charakteryzują się małą pracą rozerwania.



Rys.13. Pętla histerezy przy próbie rozciągania

Dokładne badania procesu obciążania i odciążania wykazują, że nie przebiega on ściśle po prostej $(M0')$, równoległej do odcinka sprężystego, lecz opisuje pewną krzywą zamkniętą, zwaną pętlą histerezy (rys.13). Zjawisko to obserwuje się również przy odkształceniach sprężystych. Pole zawarte wewnątrz pętli histerezy jest proporcjonalne do tej części energii mechanicznej, która została zamieniona na ciepło, w czasie zamkniętego cyklu odciążanie – obciążanie. Zachodzące tu rozproszenie energii jest jedną z przyczyn tłumienia swobodnych drgań ciał sprężystych.

2.3. Rozciąganie próbek z żeliwa i innych materiałów kruchych

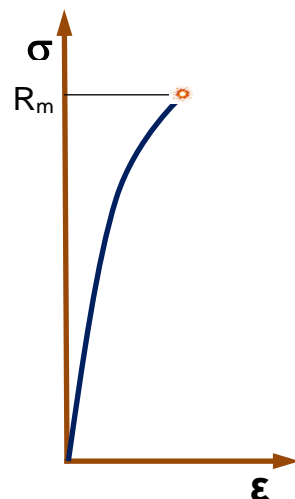
Próba statyczna rozciągania jest podstawową próbą wytrzymałościową żeliwa szarego i ma na celu określenie przede wszystkim jego wytrzymałości na rozciąganie R_m . Poniżej przedstawiono przykładowe oznaczenia żeliwa szarego i sferoidalnego według odpowiadających im norm.

Oznaczenia żeliwa szarego wg PN-EN 1561:2012:

- EN-GJL 200
- EN-GJL 250
- EN-GJL 300
- EN-GJL 350

Oznaczenia żeliwa sferoidalnego wg PN-EN 1563:2012:

- EN-GJS 400-18
- EN-GJS 400-15
- EN-GJS 400-12
- EN-GJS 500-7
- EN-GJS 600-3
- EN-GJS 700-2



Rys.14. Wykres rozciągania żeliwa

W zwykłej próbie rozciągania żeliwa i innych materiałów kruchych często rezygnuje się z pomiaru odkształceń po rozerwaniu próbki, gdyż są one

praktycznie biorąc równe zero. Średnica próbki normalnej (rys.5.) jest zmienna w części pomiarowej i najmniejsza w środku, co gwarantuje, że w tym miejscu nastąpi rozerwanie.

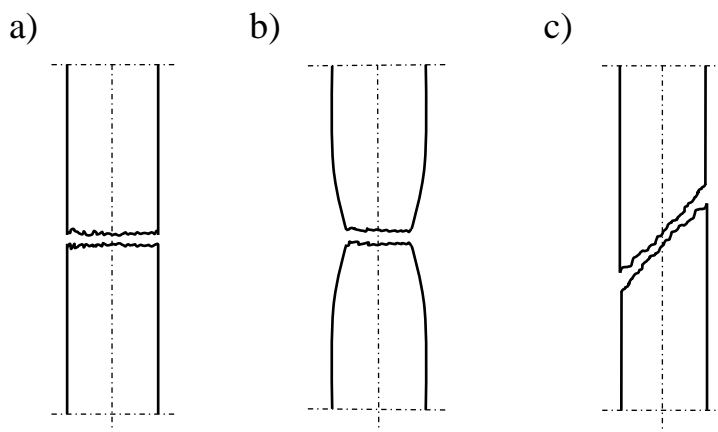
W protokole próby oprócz R_m podaje się jeszcze uwagi dotyczące wyglądu zewnętrznego powierzchni oraz przełomu próbki (naderwanie, pęknięcie, porowatość, wtrącenia niemetaliczne itp.).

Badania o charakterze naukowym wykazują, że wykresy rozciągania próbek wykonanych z żeliwa i innych materiałów kruchych mają zupełnie inny charakter niż wykresy otrzymywane dla materiałów sprężysto-plastycznych. W czasie przeprowadzania prób rozciągania w materiałach kruchych nie daje się zauważyć jakiegokolwiek granicy proporcjonalności lub plastyczności. Wykresem jest wtedy linia krzywa bez żadnych charakterystycznych punktów, kończąca się nagle w chwili rozerwania próbki. Rozerwanie zachodzi przy nieznacznym wydłużeniu trwałym.

2.4. Przełom próbki

Przełomem (złomem) nazywa się powierzchnię powstałą w wyniku całkowitego rozdzielenia na części próbki obciążonej w dowolny sposób. Ze względu na mikrostrukturę przełomy podzielić można na:

- mędzyziarniste, gdy rozdzielenie materiału nastąpiło na granicy ziarn krystalicznych; rozróżnia się przełomy gruboziarniste, drobnoziarniste i jedwabiste,
- wśródziarniste, przechodzące przez ziarna krystaliczne.



Rys. 15. Podstawowe rodzaje przełomów próbek rozciąganych: a) przełom rozdzielczy kruchy, b) przełom rozdzielczy wiązki, c) przełom poślizgowy

Ze względu na makroskopowy charakter pęknięcia rozróżnia się przełomy rozdzielcze i poślizgowe.

Przełom rozdzielczy powstaje w wyniku oderwania się jednej części próbki od drugiej i jest zorientowany prostopadle do kierunku największego naprężenia rozciągającego lub największego wydłużenia. Jeżeli przełom rozdzielczy nastąpi bez poprzedzających odkształceń plastycznych, lub jeżeli odkształcenia te są bardzo małe, to nazywa się przełomem rozdzielczym kruchym (rys.15a)



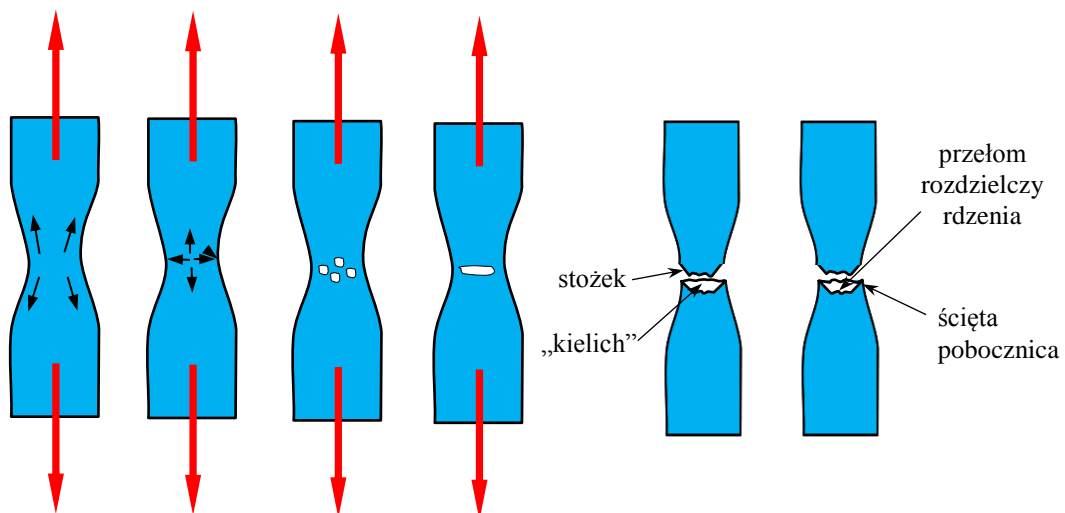
Rys. 16 . Przykłady przełomów próbek po próbach rozciągania [7,8,9]

- a) przełom rozdzielczy kruchy,
- b) przełom rozdzielczy wiązki
- c) przełomy rozdzielczy wiązki i poślizgowy
- d) przełom poślizgowy

W przypadku, gdy poprzedzony jest większymi odkształceniami plastycznymi – to nosi nazwę przełomu rozdzielczego wiązki (rys.15b).

Przełom poślizgowy (rys.15c) powstaje w płaszczyznach największych poślizgów (w płaszczyznach występowania największych naprężeń stycznych). Ważną czynnością po rozerwaniu próbki jest obserwacja przełomu. Zwykła obserwacja jego powierzchni pozwala na określenie budowy krystalicznej materiału (gruba, drobna, warstwowa), może stanowić przybliżoną ocenę jego czystości i jednorodności, umożliwia wykrycie różnych wad, takich jak wtrącenia niemetaliczne, pęcherze gazowe itp. W próbkach specjalnych np. spawanych, przełomy mogą stanowić podstawę do oceny jakości spawania, wykazując jego ewentualne braki.

Sama powierzchnia i ukształtowanie się przełomu próbki świadczą o plastycznych własnościach materiału oraz o czynnikach powodujących pęknięcia (np. rodzaj naprężenia). Typowy przełom próbek okrągłych zrywających się po utworzeniu szyjki to przełom, w którym występuje ścięcie pobocznic i przełom rozdzielczy rdzenia (rys.17). Przy tworzeniu się szyjki jednoosiowy stan naprężenia powstaje tylko w warstwie zewnętrznej, która ulega ścięciu, a wewnątrz próbki panuje trójosiowe nierównomierne rozciąganie, powodujące przełom rozdzielczy. Ulepszenie cieplne próbek ze stali węglowej powoduje występowanie ostrych krawędzi i nieregularność przełomu. Nieregularny przełom próbki ze stali pospolitej jakości świadczy o miejscowych zanieczyszczeniach. Wygląd przełomu próbki zmienia się w miarę wzrostu zawartości węgla, przechodząc z „kielichowatego” na typowy przełom rozdzielczy kruchy. Na podstawie przełomów próbek żeliwnych można określić wielkość ziarn struktury, a także wykryć różne wady odlewnicze.



Rys.17. Schemat powstawania przełomu w próbce rozciąganej ze stali niskowęglowej

3. Przebieg ćwiczenia

- 3.1. Przygotować 5 arkuszy protokółów pomiarów według podanego wzoru,
- 3.2. Narysować w protokóle schemat próbki i zapisać dane: numer kolejny próbki, materiał, wymiary. Zmierzyć średnicę i oznaczyć długość pomiarową próbki. Średnicę próbki należy zmierzyć w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach z dokładnością do 0,01 mm. Do obliczeń przyjmując wartość średnią,
- 3.3. Ustalić zakres siłomierza. Skala powinna być tak dobrana, aby największa siła F_m , potrzebna przy rozciąganiu próbki, przekraczała 40% pełnego zakresu obciążenia. Orientacyjną wartość siły zrywającej oblicza się ze wzoru $F_m = S_0 R_m$, gdzie R_m przyjmuje się na podstawie tablic lub szacunkowo,
- 3.4. Umocować próbkę w uchwytach maszyny i obserwować przebieg rozciągania,
- 3.5. Zmierzyć za pomocą suwmiarki średnicę d_u (względnie a_u i b_u dla próbek płaskich) w miejscu szyjki, oraz długość pomiarową L_u po rozerwaniu i zapisać wyniki w protokóle. Narysować próbkę po rozerwaniu i złożeniu,
- 3.6. Wykonać obliczenia R_e , R_m , R_u , A , Z według wzorów (12,15,16,17,18),
- 3.7. Narysować w protokóle wykres rozciągania i zapisać uwagi dotyczące przełomów.

4. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- określenie celu próby,
- definicje wyznaczanych wskaźników R_e , R_m , R_u , A , Z ,
- protokoły pomiarów,
- zestawienie wyników próby w postaci tablicy 1,
- dyskusję otrzymanych wyników zawierającą:
 - omówienie własności wytrzymałościowych i plastycznych badanych materiałów ujawnionych w czasie próby,
 - porównanie wyznaczonych wartości wskaźników z analogicznymi wielkościami wziętymi z norm dla tych materiałów,
 - charakterystykę otrzymanych przełomów,
 - uwagi i wnioski.

Tablica 1

Numer próbki	Materiał	Własności mechaniczne									
		R _e [MPa]		R _m [MPa]		R _u [MPa]		A[%]		Z[%]	
		Z pomiaru	Z norm	Z pomiaru	Z norm	Z pomiaru	Z norm	Z pomiaru	Z norm	Z pomiaru	Z norm

Literatura:

1. Grudziński Karol: **Ćwiczenia laboratoryjne z Wytrzymałości Materiałów**. Politechnika Szczecińska. Szczecin 1972 r.
2. Kowalewski Zbigniew: **Ćwiczenia laboratoryjne z Wytrzymałości Materiałów**. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2000 r
3. Katarzyński Stefan, Kocańda Stanisław, Zakrzewski Marek: **Badanie własności mechanicznych metali**. WNT Warszawa 1969
4. M. E Niezgodziński, T. Niezgodziński: **Wzory wykresy i tablice wytrzymałościowe**. WNT 1996r.
5. Wyrzykowski Jerzy W., Pleszakow Edward, Sieniawski Jan.: **Odkształcanie i pękanie metali**. WNT Warszawa 1999r.
6. <http://www.imrtest.com/mechanical-testing>
7. http://www.ara.com/Projects/SVO/popups/weld_geometry
8. <http://oregonstate.edu/instruct/engr322/Homework/AllHomework/S10/ENGR322HW7.html>
9. <http://en.wikipedia.org/wiki/Ductility>

Dodatek A

Poniżej przedstawiono wykresy rozciągania próbek ze stali nisko-węglowej na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8850 otrzymane w programie BLUEHILL 2

