



# Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych z Podstaw Konstrukcji Maszyn

**1. Temat:** Badanie wytrzymałości połączeń rozłącznych (połączenia kołkowe i właczane)

**Część 1: Badanie wytrzymałości na ścinanie połączeń kołkowych**

## 2. Cel ćwiczenia:

- badanie połączeń kołkowych na ścinanie.
- doświadczalne wyznaczanie wytrzymałości doraźnej materiału kołka na ścinanie.

## 3. Opis stanowiska:

- 3.1 Stanowisko pomiarowe składa się z maszyny wytrzymałościowej (zrywarki), z rejestratora, oprogramowania komputerowego. Zdjęcie stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 1.1.
- 3.2 Do badań używa się połączenia kołkowego z kołkami walcowymi wykonanymi ze stali St3, miedzi oraz aluminium, przedstawionego na rys. 1.2.

## 4. Przebieg ćwiczenia

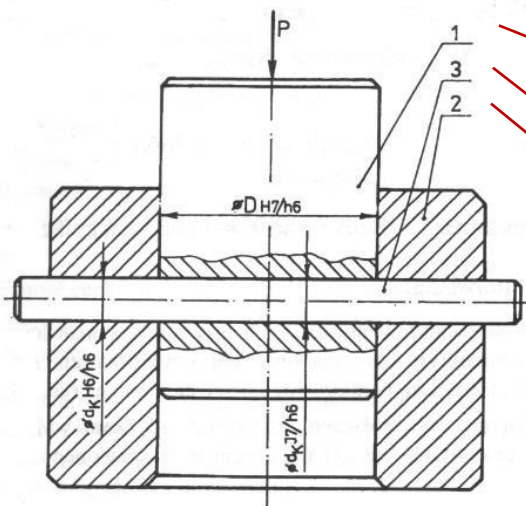
- 4.1 Dokonać pomiaru odpowiednimi sprawdzianami średnicy  $d_k$  kołka (3) oraz średnicy  $D$  sworznia (1) i średnicy otworu w tulei (2) jak na rys. 1.3.
- 4.2 Przed przystąpieniem do badań wykonać po jednym połączeniu kołkowym jak na rys. 1.2 a), stosując kołki z materiału St3, miedzi i aluminium.
- 4.3 Tak wykonane połączenie ustawić na podstawie maszyny wytrzymałościowej centrycznie jak na rys. 1.2 b).
- 4.4 Następnie zbliżyć ruchomą podstawę maszyny wytrzymałościowej, aż do zetknięcia się ze sworzniem.
- 4.5 Założyć osłonę bezpieczeństwa.
- 4.6 Rozpocząć obciążanie, aż do ścięcia kołka.
- 4.7 Odczytać wartość  $P$  siły ścinającej na rejestratorze lub na monitorze komputera.



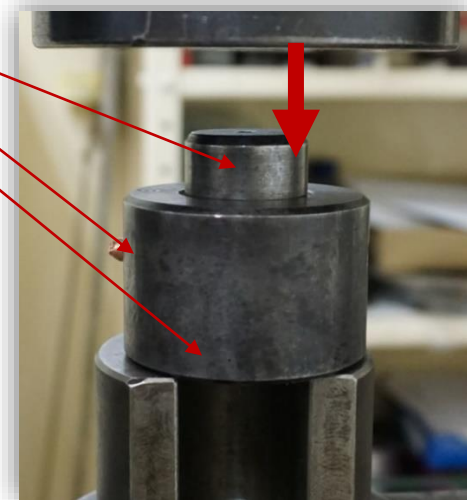
Rysunek 1.1. Stanowisko pomiarowe



Rysunek 1.2 Badane kołki



a)



b)

Rysunek 1.2

a) połączenie kołkowe 1- sworzeń, 2- tuleja, 3-kołek, b) ustawienie próbki



4.8 Czynności powyższe powtórzyć dla każdego materiału kołka, a wartość siły P wpisać do tabeli wyników. Po skończonych badaniach pozostałość kołków wybić z tulei i sworznia.

Nr próbeki	Mierzona siła P [N]		
	Stal St3	Miedź	Aluminium
1			
2			
...			
n			
Wartość średnia siły $\bar{P}$			

## 5. Opracowanie wyników badań

*Uwaga:* Statystycznego opracowania wyników dokonać po przeprowadzeniu ćwiczenia przez wszystkie zespoły lub na podstawie danych podanych przez prowadzącego.

5.1. Obliczyć średnią wartość siły ścinającej kołek wzorem:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{n}$$

5.2 Ponieważ próbka statystyczna nie jest generalną odchylenie standardowe siły ścinającej kołek obliczamy według wzoru (ocena dyspersji):

$$S_p = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}$$

5.3 Obliczyć średnią wytrzymałość doraźną materiału kołka na ścinanie:

$$\bar{R}_t = \frac{\bar{P}}{2 \cdot F} = \frac{2 \cdot \bar{P}}{\pi \cdot d_k^2}$$



5.4 Obliczyć odchylenie standardowe wytrzymałości doraźnej materiału kołka na ścinanie:

$$S_{R_t} = \frac{S_p}{2 \cdot F} = \frac{2 \cdot S_p}{\pi \cdot d_k^2}$$

5.5 Obliczyć współczynnik zmienności empirycznej wytrzymałości doraźnej materiału kołka na ścinanie wzorem:

$$V_{R_t} = \frac{S_{R_t}}{R_t}$$

5.6 Obliczyć minimalną i maksymalną wytrzymałość materiału kołka ścinanie według zasady trzech sigma:

$$R_{tmin} = \overline{R_t} - 3 \cdot S_{R_t}$$
$$R_{tmax} = \overline{R_t} + 3 \cdot S_{R_t}$$

**Sprawozdanie z Części 1 musi zawierać:**

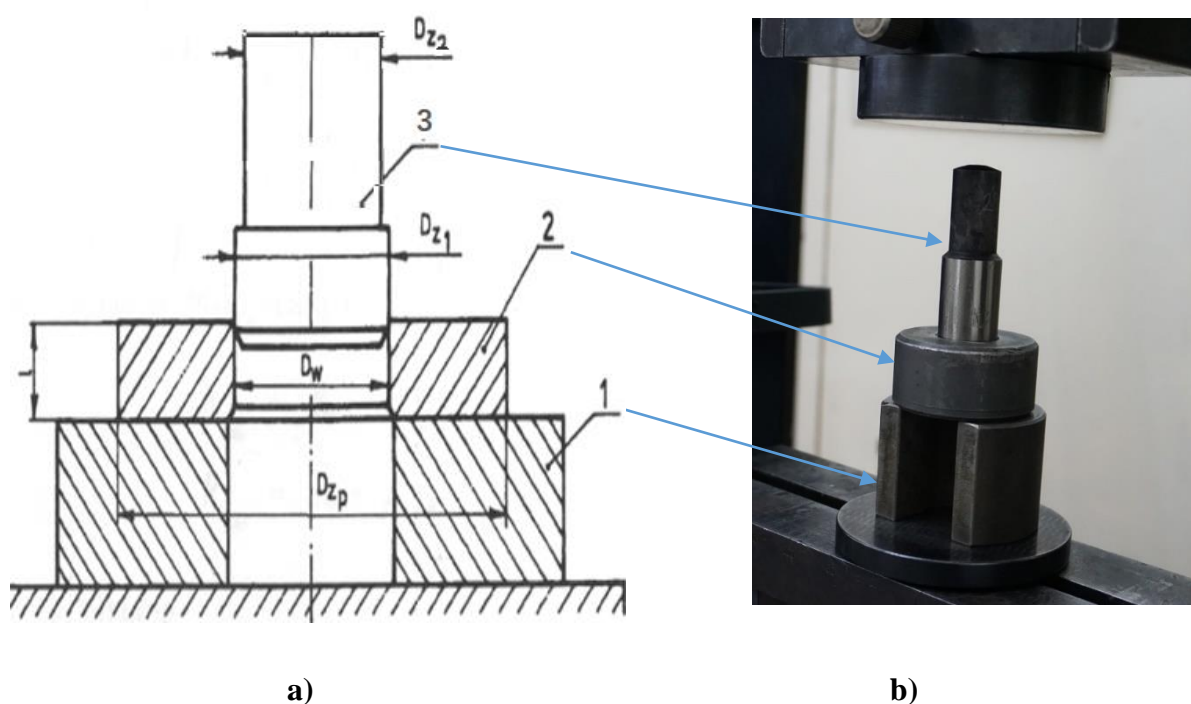
1. Temat ćwiczenia.
2. Cel ćwiczenia.
3. Przebieg ćwiczenia (własnymi słowami opisać co, w jaki sposób i na czym badano).
4. Otrzymane wyniki w postaci tabeli: wartości siły P, średnia wartość siły ścinającej kołek oraz minimalna i maksymalna wytrzymałość materiału kołka na ścinanie dla trzech badanych materiałów.
5. Statystyczne opracowanie wyników badań.
6. Wykres, otrzymany na podstawie otrzymanych danych.
7. Wnioski.

## Część 2: Badanie połączeń wtlaczanych

### 2. Cel ćwiczenia: Badanie nośności połączeń wtlaczanych

#### 1. Opis stanowiska

- 3.1 Stanowisko pomiarowe składa się z maszyny wytrzymałościowej (zrywarki), z rejestratora, oprogramowania komputerowego. Zdjęcie stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 1.1. w części 1 ćwiczenia.
- 3.2 Do badań użyć kompletu składającego się z jednostopniowego sworznia (3) i pierścienia o odpowiedniej średnicy zewnętrznej, przedstawionego na rys. 2.1.



**Rysunek 2.1.**

- a) Złącze wtlaczane: 1- podstawa dystansowa, 2-pierścień, 3- sworznień  
b) ustawienie maszyny i próbki

#### 4. Przebieg ćwiczenia

- 4.1 Zmierzyć średnicówką średnicę wewnętrzną  $D_w$  pierścienia (2) z dokładnością do  $1 \mu m$ , wykonując po trzy pomiary na obwodzie co  $120^\circ$ , powtarzając je trzykrotnie na długości otworu i wyznaczyć średnią wartość średnicy  $D_w$ .
- 4.2 Zmierzyć śrubą mikrometryczną średnicę zewnętrzną  $D_z$  każdego sworznień (3),

przeprowadzając pomiar analogicznie jak pierścienia (2).

- 4.3 Przy użyciu płytek wzorcowych określić klasę chropowatości powierzchni współpracujących sworznia (3) i pierścienia (2) i zapisać  $R_{zz}$ ,  $R_{zw}$ .
- 4.4 Posmarować powierzchnie współpracujące sworznia (3) i pierścienia (2) smarem plastycznym i złożyć złącze i ustawić je na pierścieniu dystansowym (1) na podstawie maszynywytrzymałościowej jak na rys. 2.1 b).
- 4.5 Założyć osłonę bezpieczeństwa.
- 4.6 Tak złożone połączenie obciążać do uzyskania pełnego złączenia sworznia (3) z pierścieniem (2), odczytując wartość siły wtlaczania  $P_w$ , którą następnie należy wpisać do tabeli 2.1
- 4.7 Następnie odczytać maksymalną siłę przy rozłączaniu złącza  $P_r$ , obciążając złączewciąż w tym samym kierunku.
- 4.8 Zmierzyć średnicę zewnętrzną pierścienia  $D_{zp}$ .

**Tabela 2.1**

<i>Parametry</i>	<i>Otrzymane wartości dla sworznia nr:</i>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Średnia średnica otworu $D_w$ [mm]			
Średnia średnica sworznia $D_z$ [mm]			
Wcisk mierzony: $W_m =  D_w - D_z  \cdot 1000$ [ $\mu m$ ]			
Średnia wysokość nierówności powierzchni otworu tulei $R_{zz}$ [ $\mu m$ ]			
Średnia wysokość nierówności powierzchni otworu tulei $R_{zw}$ [ $\mu m$ ]			
Wcisk skuteczny $W_{sk}$ [ $\mu m$ ]			
Nacisk w złączu $p$ [ $N/mm^2$ ]			
Siła wtlaczania $P_w$ [N]			
Siła rozłączania $P_r$ [N]			
Średnica zewnętrzna pierścienia $D_{zp}$ [mm]			
Wysokość złącza $l$ [mm]			
Obliczony współczynnik tarcia wtlaczania $\mu_w$			
Obliczony współczynnik tarcia rozłączania $\mu_r$			

## 5. Opracowanie wyników badań

5.1 Na podstawie rys. 2.1 i wykonanych pomiarów średnic, chropowatości (wysokości nierówności), obliczy wciski mierzone  $W_{m1} < W_{m2} < W_{m3}$  [ $\mu m$ ] następnie określić wciski skuteczne, wpisując ich wartości w tabeli 2.1.

$$W_{sk1} = W_{m1} - 1,2 (R_{zz} + R_{zw}),$$

$$W_{sk2} = W_{m2} - 1,2 (R_{ZZ} + R_{ZW}),$$

$$W_{sk3} = W_{m3} - 1,2 (R_{zz} + R_{zw}),$$

gdzie:

$R_{zw}$  - średnia wysokość nierówności dla klasy chropowatości, powierzchni wewnętrznej pierścienia (2), [ $\mu m$ ];

$R_{zz}$  - średnia wysokość nierówności dla klasy chropowatości, powierzchni zewnętrznej sworznia (3), [ $\mu m$ ].

5.2 Obliczyć odpowiednią wartość nacisku  $p$  [ $N/mm^2$ ] w złączu dla każdego wcisku skutecznego ze wzoru:

$$p_i = \frac{W_{sk i}}{D \left\{ \frac{\delta_{zi} + \nu_z}{E_1} + \frac{\delta_{wi} - \nu_w}{E_2} \right\} 10^3} \quad \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

gdzie

$\delta_z$  - współczynnik wydrążenia pierścienia (2) - części zewnętrznej połączenia,

$\delta_{wi}$  - współczynnik wydrążenia części wewnętrznej (sworznia (3)), gdy sworznień jest pełny wówczas  $\delta_w = 1$  ponieważ  $D_o = 0$ ,

$$\delta_z = \frac{\left[ \frac{D_{zp}}{D_w} \right]^2 + 1}{\left[ \frac{D_{zp}}{D_w} \right]^2 - 1} ; \quad \delta_{wi} = \frac{\left[ \frac{D_{zi}}{D_o} \right]^2 + 1}{\left[ \frac{D_{zi}}{D_o} \right]^2 - 1}$$

$D_w = D$  - średnica złącza, [mm],

$D_{zi}$  — średnica zewnętrzna kolejnego  $i$ -tego stopnia sworznia, [mm],

$D_{zp}$  — średnica zewnętrzna pierścienia (2), [mm],

$D_o$  — średnica wydrążenia sworznia (3), [mm], ( $D_o = 0$  - dla sworznia pełnego),

$\nu_z = \nu_w = 0,3$  - współczynnik Poissona dla stali,

$E_1 = E_2 = 2,05 \cdot 10^5 N/mm^2$  - moduł sprężystości podłużnej,

$W_{ski}$  - wcisk skuteczny dla  $i$ -tego stopnia złącza w  $\mu\text{m}$ .

- 5.3 Obliczyć współczynnik tarcia przy wtlaczaniu i rozlaczaniu  $\mu_w$  i  $\mu_r$ , wyniki zapisać w tabeli 2.1

$$\mu_{w(r)i} = \frac{P_{w(r)i}}{\pi \cdot D \cdot l \cdot p_i}$$

gdzie

$P_{wi}$  — siła wtlaczania, [N]

$P_{ri}$  — maksymalna siła przy rozlaczaniu, [N]

$l$  — wysokość złącza, [mm]

$p_i$  - obliczeniowy nacisk w złączu [N/mm<sup>2</sup>] dla wcisku skutecznego  $W_{ski}$ , występujący przy połączeniu  $i$ -tego stopnia sworznia (3) z pierścieniem (2).

- 5.4 Po przeprowadzeniu wyliczeń przez wszystkie zespoły wykonać zestawienie obliczeniowych współczynników tarcia  $\mu_w$  i  $\mu_r$  w tab. 2.2.

**Tabela 2.2**

Nr zespołu	Obliczeniowe wartości współczynników tarcia $\mu_w$ oraz $\mu_r$ dla połączenia wtlaczanego kolejnych stopni sworznia					
	1		2		3	
	$\mu_w$	$\mu_r$	$\mu_w$	$\mu_r$	$\mu_w$	$\mu_r$
1						
2						
...						
n						
Wartości średnie $\mu$						
Odchyl. standardowe $S_\mu$						
Współcz. zmienn. $V_\mu$						

- 5.5. Obliczyć wartości średnie współczynników tarcia przy wtlaczaniu  $\bar{\mu}_w$  i rozlaczaniu  $\bar{\mu}_r$  na podstawie wzoru:

$$\bar{\mu}_w = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{wi}}{n} ; \quad \bar{\mu}_r = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{ri}}{n}$$



- 5.6. Obliczyć odchylenie standardowe wartości współczynników tarcia przy wtlaczaniu  $S_{\mu_w}$  i rozlaczaniu  $S_{\mu_r}$  na podstawie wzoru:

$$S_{\mu_w} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\mu_{wi} - \bar{\mu}_w)^2}$$

$$S_{\mu_r} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\mu_{ri} - \bar{\mu}_r)^2}$$

- 5.7. Obliczyć współczynniki zmienności współczynników tarcia przy wtlaczaniu i rozlaczaniu  $V_{\mu_w}$  i rozlaczaniu  $V_{\mu_r}$

$$V_{\mu_w} = \frac{S_{\mu_w}}{\bar{\mu}_w}; \quad V_{\mu_r} = \frac{S_{\mu_r}}{\bar{\mu}_r}.$$

- 5.8. Obliczyć minimalną i maksymalną wartość współczynnika tarcia przy wtlaczaniu i rozlaczaniu

$$\mu_{w \min} = \bar{\mu}_w - 3 S_{\mu_w}$$

$$\mu_{w \max} = \bar{\mu}_w + 3 S_{\mu_w}$$

$$\mu_{r \min} = \bar{\mu}_r - 3 S_{\mu_r}$$

$$\mu_{r \max} = \bar{\mu}_r + 3 S_{\mu_r}$$

- 5.9. Obliczyć naprężenia zastępcze dla pierścienia (2)

$$\sigma_{zast i} = p_i \sqrt{\delta_z^2 + \delta_z + 1} \leq k_r$$

dla każdego  $i$ -tego stopnia połączenia.

**Sprawozdanie z Części 2 musi zawierać:**

1. Temat ćwiczenia
2. Cel ćwiczenia
3. Przebieg ćwiczenia (własnymi słowami opisać co, w jaki sposób i na czym badano)
4. Wypełnione tabele 2.1 i 2.2
5. Opracowanie wyników badań
6. Rysunek sworzni i pierścienia (wykonać ręcznie zgodnie z zasadami wykonania rysunku technicznego na arkuszu A4)



7. Wykres, otrzymany na podstawie przesłanych danych
8. Wnioski

## 6. Uwagi odnośnie BHP

Należy postępować według szkolenia udzielonego przez opiekuna przedmiotu, prowadzącego laboratorium oraz stosować się do OGÓLNEJ INSTRUKCJI BHP UŻYTKOWANIA.

## 7. Przykładowe pytania kontrolne

1. *Rodzaje pasowań w połączeniach kołkowych i wciskowych – układ pól tolerancji.*
2. *Jakie są rodzaje połączeń wciskowych, na czym polegają różnice między nimi.*
3. *Jakie czynniki mają wpływ na nośność połączeń wciskowych.*
4. *Jak kształtuje się rozkład naprężeń w połączeniach wciskowych.*
5. *Przykłady zastosowania połączeń wciskowych.*
6. *Przykłady zastosowania połączeń kołkowych.*
7. *Rodzaje kołków stosowane w połączeniach.*
8. *Wady i zalety połączeń wciskowych.*
9. *Warunki montażu połączeń wciskowych, przygotowanie połączenia wtlaczanego.*
10. *Znaczenie pasowania w połączeniach kołkowych.*
11. *Obliczanie połączeń wciskowych i kołkowych*

## 8. Literatura

- Z. Osiński: Podstawy konstrukcji maszyn, t1, PWN Warszawa 2000
- E. Mazanek: Przykłady obliczeń z podstaw konstrukcji maszyn, WNT 2005
- Red. M. Porębska, M. Warszński: Laboratorium z podstaw konstrukcji maszyn, SU1630, SU1414
- M. Dietrich: Podstawy konstrukcji maszyn, t 2, WNT Warszawa 1999
- E. Mazanek Przykłady obliczeń podstaw konstrukcji maszyn, t 2, WNT Warszawa 2008
- Z. Osiński, W. Bajon, T. Szucki Podstawy konstrukcji maszyn, PWN Warszawa 1980
- W. Korewa, K. Zygmunt Podstawy konstrukcji maszyn, t.2, WNT Warszawa 1975

*Opracowanie: Yuliia Tarasevych*