

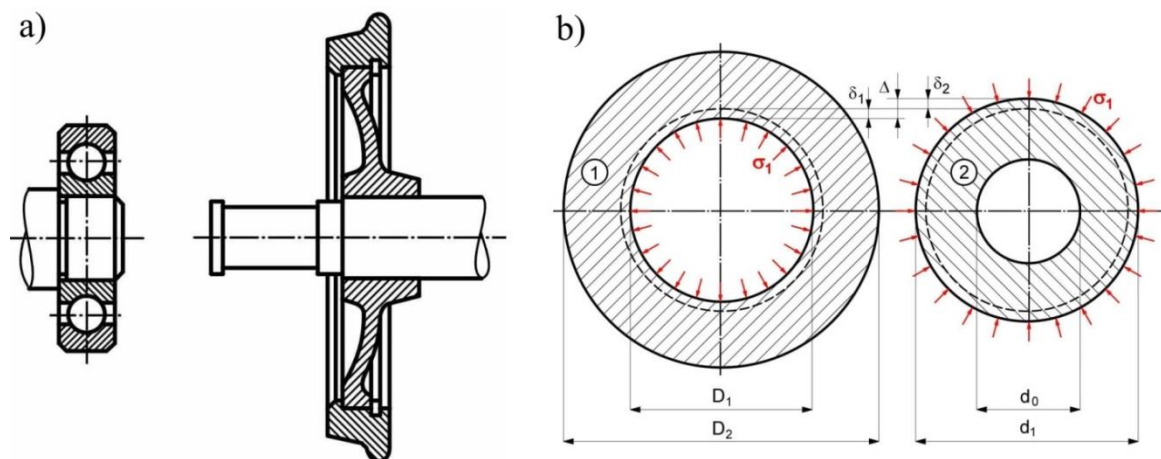
# MODELOWANIE KONTAKTU W MES – POŁĄCZENIE WCISKOWE

## /5/

### Część teoretyczna

#### 1. Połączenia wciskowe

Połączenie wciskowe tworzone jest przez siły sprężyste, wywołane odkształceniem łączonych elementów. Odkształcenie jest efektem różnicy wymiarów łączonych części. Rozróżnia się połączenia wtłaczane i skurczowe. W przypadku tych pierwszych wciskając jeden element w drugi trzeba pokonać siły tarcia a mikrostruktura powierzchni ulega zmianie. W drugim przypadku ogrzewa się pierścień lub chłodzi czop, dzięki czemu uzyskuje się większy luz między elementami. Pozwala to na swobodnie połączenie elementów a pełną nośność uzyskuje się po wyrównaniu temperatur części. Podejście takie nie niszczy mikrostruktury powierzchni.



Rys. 1 Przykłady połączeń wciskowych (a); wymiary łączonych elementów (b)

#### 2. Obliczanie połączeń wciskowych.

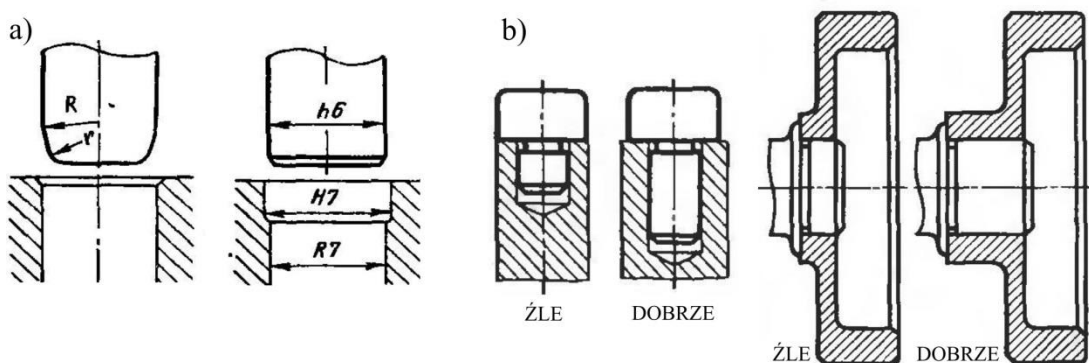
Parametrami wpływającymi na nośność połączenia wciskowego są: średnica połączenia  $d$ , długość połączenia  $l$ , współczynnik tarcia  $\mu$  oraz nacisk jednostkowy na powierzchni osadcej  $p$ . Maksymalne wartości siły osiowej i momentu skręcającego, jakie może przenosić połączenie wyznacza się z zależności

$$F = \pi d l \mu p, \quad M = 0,5 \pi d^2 l \mu p.$$

Czynnikami wpływającymi na nośność połączenia są współczynnik tarcia, który zależy m.in. od materiału, obecności smaru i sposobu montażu, gładkość powierzchni, temperatura pracy i siły działające na połączenie w czasie eksploatacji.

Zdolność do pracy połączenia wciskowego oblicza się na podstawie wcisku minimalnego, natomiast naprężenia powstające w łączonych elementach oblicza się na podstawie wcisku maksymalnego.

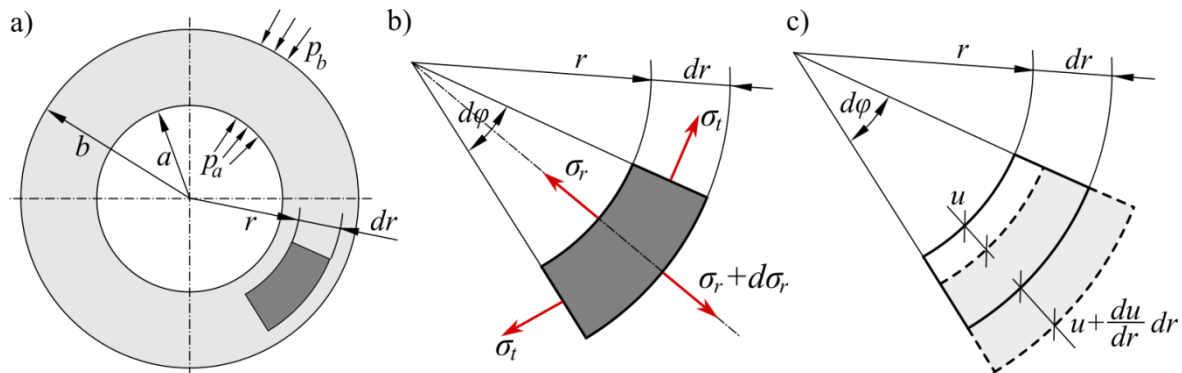
Poprawny montaż i praca połączenia wciskowego zależą od ukształtowania łączonych elementów. Przykłady poprawnego kształtowania przedstawiono na Rys. 2. Przyjmuje się:  $l_{\min} = d^{2/3}$ .



Rys. 2 Przykłady połączeń wciskowych

### 3. Naprężenia w połączeniu wciskowym; zagadnienie Lamé

Zagadnienie Lamé pozwala wyznaczyć zależności opisujące naprężenia obwodowe i promieniowe w rurach i pierścieniach grubościennych. Są to takie elementy, dla których różnica między średnicą zewnętrzną a wewnętrzną jest większa niż 10%. Równania opisujące naprężenia otrzymuje się analizując równowagę elementarnego wycinka pierścienia oraz jego odkształcenie (Rys. 3)



Rys. 3 Zagadnienie Lamé

Równanie równowagi ma postać

$$\sigma_r - \sigma_t + \frac{d\sigma_r}{dr}r = 0 \quad (1)$$

Odształcenia wyrażają się zależnościami

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr}, \varepsilon_t = \frac{u}{r} \quad (2)$$

Podstawiając powyższe do prawa Hooke'a dla płaskiego stanu naprężeń otrzymuje się równanie różniczkowe pozwalające wyznaczyć przemieszczenie  $u$ . Wracając do prawa Hooke'a otrzymuje się dwa równania pozwalające wyznaczyć naprężenia dla różnych przypadków warunków brzegowych. Szczegóły rozwiązania można znaleźć w [1]

Ogólne rozwiązanie, w którym zawiera się ciśnienie zewnętrzne i wewnętrzne, jest następujące

$$\sigma_t = \frac{p_a a^2}{b^2 - a^2} \left( 1 + \frac{b^2}{r^2} \right) - \frac{p_b b^2}{b^2 - a^2} \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right) \quad (3)$$

$$\sigma_r = \frac{p_a a^2}{b^2 - a^2} \left( 1 - \frac{b^2}{r^2} \right) - \frac{p_b b^2}{b^2 - a^2} \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right) \quad (4)$$

Przypadki szczególne otrzymuje się podstawiając zerowe wartości bądź ciśnienia zewnętrznego bądź wewnętrznego.

### 4. Modelowanie kontaktu w MES

Analizując w MES złożenie dwóch lub więcej komponentów należy zdefiniować kontakt między nimi. W zależności od charakteru współpracy może to być kontakt ruchowy lub stały. Ze względu na zachowanie się kontaktu można wyróżnić:

- połączenie trwałe (*bonded*) – brak możliwości poślizgu lub rozdzielenia; skleina
- połączenie bez możliwości rozłączenia (*no separation*) – brak możliwości rozłączenia; możliwy niewielki poślizg beztarciowy
- połączenie beztarciowe (*frictionless*) – możliwość rozłączenia i poślizgu beztarciowego
- połączenie szorstkie (*rough*) – brak możliwości poślizgu (nieskończony współczynnik tarcia)
- połączenie tarciove (*frictional*) – przenoszone jest obciążenie styczne aż do pokonania siły tarcia

Kontakt jest nieliniowością, wynikającą ze zmiany statusu; kontakt może zmieniać się w czasie analizy. Powierzchnie będące w kontakcie nie przenikają się wzajemnie i mogą przenosić tylko siły normalne ściskające i styczne wynikające z tarcia. Nie mogą przenosić sił normalnych rozciągających (mogą się rozdzielać i oddalać od siebie).

Trudności w modelowaniu kontaktu to:

- silna nieliniowość, która wydłuża czas obliczeń i wymagania sprzętowe
- często powierzchnie styku nie są znane na początku analizy; zmieniają się w czasie
- kontakt dwóch elementów związany jest z tarciem, którego model należy przyjąć

## Literatura

1. Timoshenko S. *Strength of materials, part II: advanced theory and problems*, D. Van Nostrand Company, Inc., New York, 1947.

# Omówienie ćwiczenia

## Przedmiot badań i cel ćwiczenia

Przedmiotem badań jest połączenie wciskowe typu czop-tuleja. Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze sposobami modelowania kontakt w MES oraz badanie naprężeń w cylindrach grubościennych.

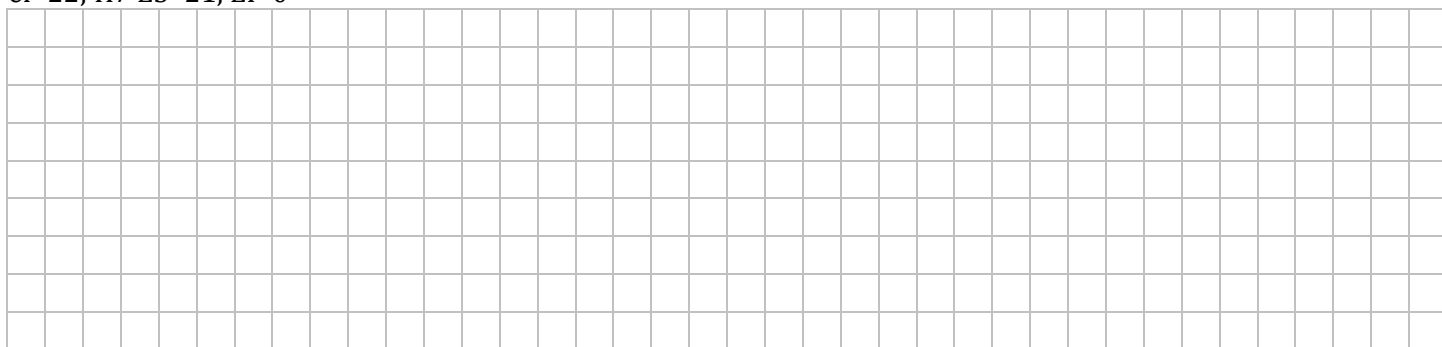
## Przebieg ćwiczenia

1. Przygotować rysunek wykonawczy połączenia z uwzględnieniem odchyłek
2. Na podstawie rozwiązania analitycznego:
  - wyznaczyć ciśnienie panujące między częściami po wykonaniu połączenia
  - wyznaczyć rozkład naprężeń obwodowych i promieniowych w wale i pierścieniu (rozwiązanie dla trzech punktów na kierunku promieniowym)
3. Zaproponować model MES połączenia wciskowego:
  - wybrać typ analizy,
  - przygotować model materiału wału i pierścienia
  - zaproponować model geometryczny (3D; 2D; symetria),
  - wybrać element skończony dla obu części,
  - zaproponować sposób obciążenia i podparcia
  - wybrać rodzaj kontaktu.
4. Przygotować wykresy naprężeń obwodowych i promieniowych w funkcji promienia dla rozwiązania analitycznego i numerycznego.
5. Przygotować porównanie rozkładów naprężeń obwodowych i promieniowych w pierścieniu dla różnych wartości wcisku.
6. Omówić otrzymane wyniki:
  - różnice między wynikami otrzymanymi obiema metodami
  - przyjmując granicę plastyczności na poziomie 200 MPa, omówić zachowanie się materiału (połączenia) dla różnych wartości wcisku

MODELOWANIE WSPOMAGAJĄCE PROJEKTOWANIE MASZYN LABORATORIUM			
Osoby wykonujące ćwiczenie:		Tytuł ćwiczenia	5
..... ..... ..... ..... .....		<b>MODELOWANIE KONTAKTU W MES – POŁĄCZENIE WCISKOWE</b>	
Wydział/kierunek/semestr/typ studiów	Grupa lab.	Data wykonania ćwiczenia	Podpis prowadzącego
.....	.....	.....	.....

## 1. Geometria połączenia wciskowego

Przedmiotem badań jest połączenie wciskowe wał-tuleja. Średnica wału  $d = 20$  mm, średnica zewnętrzna tulei  $d_2 = 32$  mm, długość tulei  $l = 7$  mm, pasowanie p6/H7, materiał – stal. Odchyłki dla wymiaru 20 mm: p6 es=35, ei=22; H7 ES=21, EI=0



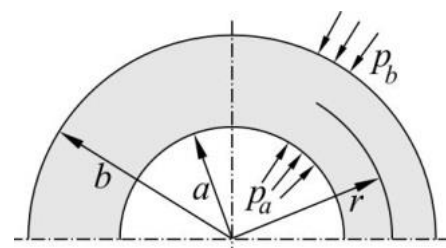
Rys. 1 Połączenie wał-tuleja

## 2. Wyznaczanie naprężeń w elementach łączonych – rozwiązanie analityczne.

Naprężenia w elementach łączonych wyznaczamy z zagadnienia Lamego. Ogólne rozwiązanie ma postać (oznaczenia jak na Rys. 2):

$$\sigma_t = \frac{p_a a^2}{b^2 - a^2} \left( 1 + \frac{b^2}{r^2} \right) - \frac{p_b b^2}{b^2 - a^2} \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right) \quad (1)$$

$$\sigma_r = \frac{p_a a^2}{b^2 - a^2} \left( 1 - \frac{b^2}{r^2} \right) - \frac{p_b b^2}{b^2 - a^2} \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right) \quad (2)$$



Rys. 2. Rura grubościenna

### 2.1. Ciśnienie (nacisk) między elementami

a) wcisk maksymalny

$$N_{max} = -(EI - es) = \dots \dots \dots$$

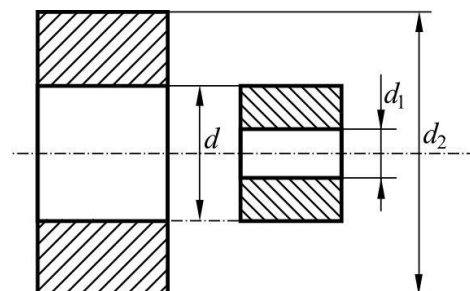
b) wskaźniki średnicowe (oznaczenia wg Rys. 3)

dla czopa:

$$\delta_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} = \dots \dots \dots$$

dla tulei:

$$\delta_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} = \dots \dots \dots$$



Rys. 3. Oznaczenie średnic

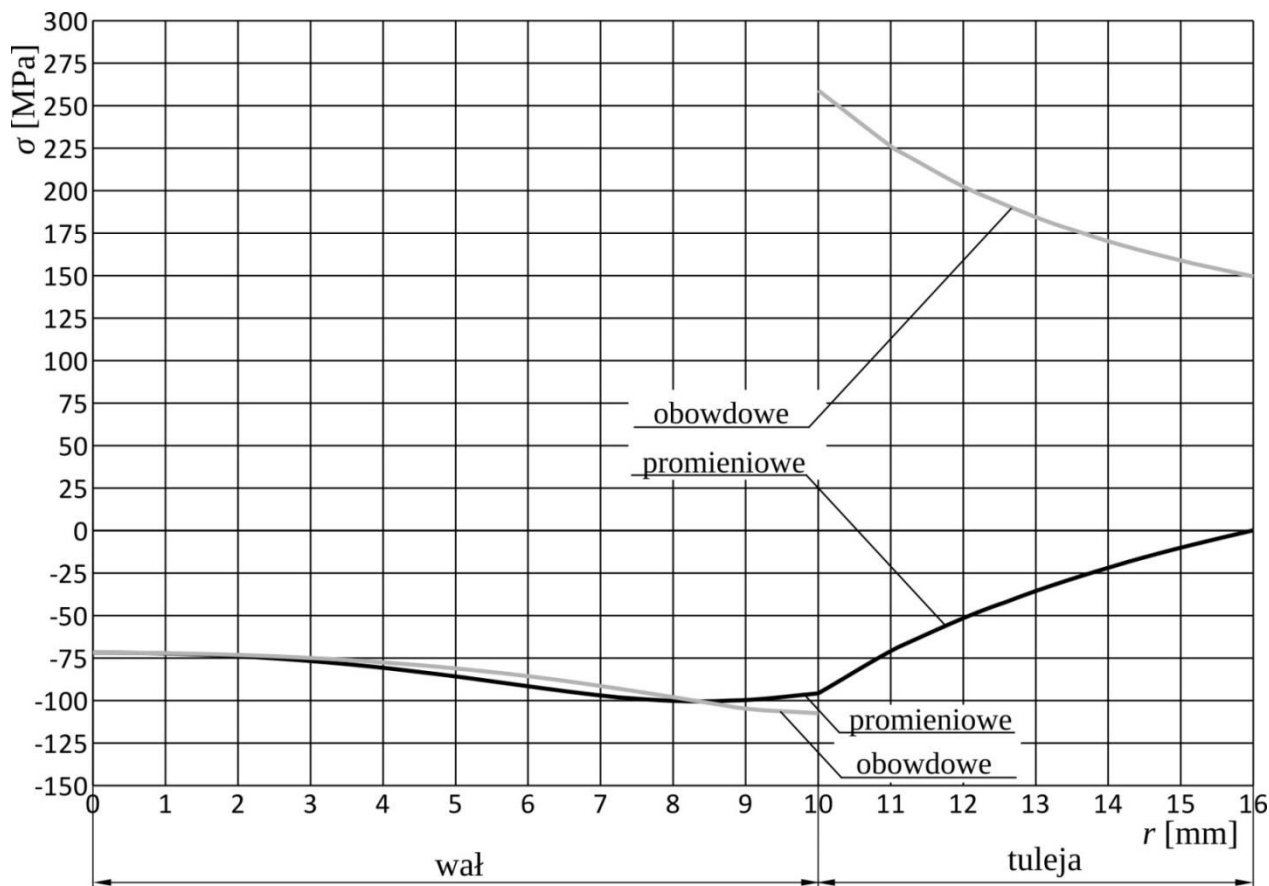
$$\delta_0 = \frac{\delta_2 + v_2}{E_2} + \frac{\delta_1 - v_1}{E_1} = \dots\dots\dots$$
$$\gamma = 2a(R_{z1} + R_{z1}) = \dots\dots\dots$$
$$p_{max} = \frac{N_{max} - \gamma}{\delta_0 d} = \dots\dots\dots$$

A large rectangular area filled with a uniform grid of small squares, typical of graph paper used for technical drawing or mathematics. The grid consists of approximately 30 columns and 15 rows of squares.

[illegible]

#### 4. Porównanie wyników

Na poniższy wykres naprężeń otrzymanych metodą elementów skończonych nanieść wartości obliczone w punktach 2.2 i 2.3.



#### 5. Wpływ wartości wcisku na rozkład naprężeń w pierścieniu

Zmieniając wartość wcisku przygotować wykres porównawczy naprężeń w pierścieniu; rozważyć trzy różne pasowania: p6/H7, n6/H7, k6/H7.



6. **Wnioski** (omówić różnice między rozwiązaniem analitycznym i numerycznym; opisać zachowanie się elementów połączenia dla różnych pasowań przyjmując granicę plastyczności na poziomie 200 MPa).

[illegible]