



**AGH**

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE



WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I ROBOTYKI

# **Podstawy konstrukcji maszyn 2**

## **SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA PROJEKTOWEGO**

### **Łożysko ślizgowe tarcia płynnego**

Prowadzący:

dr inż. Dariusz Lepiarczyk

Data wykonania sprawozdania: 12.12.2020

Grupa projektowa nr:

**2**

Wykonawca:

Paweł Bryzek

Dane	Obliczenia	Wyniki
$F = 50 \text{ kN}$ $n = 900 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$ $D = 70 \text{ mm}$ $\lambda = 1$ $L = 70 \text{ mm}$ $t_{\text{ot}} = 20^\circ\text{C}$ $t_{\text{po}} = 50^\circ\text{C}$ $\alpha_p = 9 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$ $\alpha_{\text{cz}} = 11 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$	<p>1. Założenia:</p> <p>Materiał korpusu = Żeliwo</p> <p><math>\lambda = 1</math></p> <p><math>L = \lambda \cdot D = 70 \text{ mm}</math></p> <p>Dobrałem olej ISO VG 100: <math>VI = 100</math></p> <p>temperatura otoczenia: <math>t_{\text{ot}} = 20^\circ\text{C}</math></p> <p>temperatura pracy: <math>t_{\text{po}} = 50^\circ\text{C}</math></p> <p>Przyjmuje materiał łożyska Sn5b17Ev6:</p> <p><math>p_{\text{dop}} = 20 \text{ MPa}</math></p> <p><math>v &lt; 70 \text{ m/s}</math></p> <p><math>p_{\text{v dop}} &lt; 80 \text{ MPa} \cdot \text{m/s}</math></p> <p><math>t &lt; 110^\circ\text{C}</math></p> <p>2. Sprawdzenie warunków pracy stopu łożyskowego:</p> <p><math>v = \pi \cdot D \cdot n = 3,297 \frac{\text{m}}{\text{s}} &lt; 70 \frac{\text{m}}{\text{s}}</math></p> <p><math>p_{\text{sr}} = \frac{F}{L \cdot D} = 10,2 \text{ MPa} &lt; 20 \text{ MPa}</math></p> <p><math>p_{\text{sr}} \cdot v = 33,63 \text{ MPa} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} &lt; 80 \text{ MPa} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}</math></p> <p>Warunki spełnione.</p> <p>3. Wybór pasowania:</p> <p><math>\psi = 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[4]{v} \pm 30\% = 0,809 \div 1,375 \cdot 10^{-3}</math></p> <p>przyjmuje: <math>\psi = 1,3 \cdot 10^{-3}</math></p> <p>Luz względny powinien zawierać się w przedziale:</p> <p><math>\psi_{\text{min}} \leq \psi \leq \psi_{\text{max}}</math></p> <p>przyjeto:</p> <p><math>\psi_{\text{min}} \approx 0,7 \cdot \psi</math></p> <p><math>\psi_{\text{max}} \approx 1,3 \cdot \psi</math></p> <p><math>L_{\text{min}} = \psi_{\text{min}} \cdot D = 63,7 \mu\text{m}</math></p> <p><math>L_{\text{max}} = \psi_{\text{max}} \cdot D = 118,3 \mu\text{m}</math></p> <p><math>L_{\text{sr}} = \frac{L_{\text{min}} + L_{\text{max}}}{2} = 91 \mu\text{m}</math></p> <p>Na podstawie obliczeń luzów granicznych z normy PN-EN ISO 286-1:2017 dobieram pasowania:</p> <p><math>\phi 70 \text{ H8/d9} - L_{\text{max}} = 213, L_{\text{min}} = 100, L_{\text{sr}} = 156,5</math></p> <p>Tolerancje wykonania średnic panewki i łożopa:</p>	<p><math>v = 3,297 \frac{\text{m}}{\text{s}}</math></p> <p><math>p_{\text{sr}} = 10,2 \text{ MPa}</math></p> <p><math>p_{\text{sr}} \cdot v = 33,63 \text{ MPa} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}</math></p>

$$D_{min} = 70 \text{ mm} \quad d_{min} = 69,826 \text{ mm}$$

$$D_{max} = 70,039 \text{ mm} \quad d_{max} = 69,9 \text{ mm}$$

3. Średni luz względny:

$$\psi_{min} = \frac{D_{max} - d_{min}}{D} = 1,998 \cdot 10^{-3}, \quad \psi_{max} = \frac{D_{min} - d_{max}}{D} = 1,43 \cdot 10^{-3}$$

$$\psi_{sr} = \frac{\psi_{max} - \psi_{min}}{2} = 1,714 \cdot 10^{-3} \quad \psi_{sr} = 1,714 \cdot 10^{-3}$$

	<p><b>I. Iteracja obliczeń:</b>  z wyk. <math>\eta = 0,055 \text{ Pa} \cdot \text{s}</math></p> <p>4.1. Korekta luzu ze względu na zmianę temperatury łożyska.  Temperatura montażu: <math>t_{mont} = t_{ot}</math>  <math>\Delta \psi = (\alpha_p - \alpha_w) \cdot (t_{B0} - t_{mont}) = -0,6 \cdot 10^{-4}</math></p> <p>5.1. Rzeczywisty luz względny:  <math>\psi_{rz} = \psi_{sr} + \Delta \psi = (1,714 - 0,06) \cdot 10^{-3} = 1,654 \cdot 10^{-3}</math></p> <p>6.1. Obliczenie wartości liczby Sommerfelda:  <math>S = \frac{\eta \cdot n}{p_{sr} \cdot \psi_{rz}^2} = 0,0296</math></p> <p>7.1. Wyznaczenie współczynnika tarcia:  z wykresu: <math>\mu / \psi = 1,25</math>  <math>\mu = \frac{\mu}{\psi} \cdot \psi_{rz} = 2,07 \cdot 10^{-3}</math></p> <p>8.1. Moc tracona w łożysku:  <math>N_T = \mu \cdot F \cdot V = 341,24 \text{ W}</math></p> <p>9.1. Obliczenie rzeczywistej temperatury pracy łożyska na podstawie bilansu mocy:  <math>A_{wym} = A_{korp} + A_{wal} = W_{korp} \cdot L \cdot D + \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 6 \cdot L \cdot D = 0,16 \text{ m}^2</math>  przyjmuje: <math>k = 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}</math>  <math>t_{B1} = \frac{N_T}{k \cdot A_{wym}} + t_{ot} = 126,63 \Delta^\circ \text{C}</math></p> <p>10.1. Obliczenie różnicy temperatury założonej i obliczonej:  <math>t_{B0} - t_{B1} = 76,63 \Delta^\circ \text{C}</math></p> <p>Znacząca różnica temp. przechodzę do kolejnej iteracji:</p> <p>11.1. Obliczenie nowej wartości temperatury założonej:  <math>t_{BONEW} = \frac{t_{B0} + t_{B1}}{2} = 88,315 \Delta^\circ \text{C}</math></p> <p><b>II. Iteracja obliczeń:</b>  z wyk. <math>\eta' = 0,0125 \text{ Pa} \cdot \text{s}</math></p> <p>4.2. Korekta luzu ze względu na zmianę temperatury łożyska.  Temperatura montażu: <math>t_{mont} = t_{ot}</math></p>	<p><math>\eta = 0,055 \text{ Pa} \cdot \text{s}</math>  <math>\Delta \psi = -0,6 \cdot 10^{-4}</math>  <math>\psi_{rz} = 1,654 \text{ ‰}</math></p> <p><math>S = 0,0296</math></p> <p><math>\mu = 2,07 \cdot 10^{-3}</math></p> <p><math>N_T = 341,24 \text{ W}</math></p> <p><math>A_{wym} = 0,16 \text{ m}^2</math>  <math>k = 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}</math></p> <p><math>t_{B1} = 126,63 \Delta^\circ \text{C}</math></p> <p><math>t_{BONEW} = 88,315 \Delta^\circ \text{C}</math></p> <p>II.</p> <p><math>\eta' = 0,0125 \text{ Pa} \cdot \text{s}</math></p>
--	--	--

	<p><math>\Delta \Psi' = (\alpha_p - \alpha_w) \cdot (t_{BONEW} - t_{mont}) = -0,14 \cdot 10^{-3}</math></p> <p>5.2.Rzeczywist luz względny:  <math>\Psi_{rz}' = \Psi_{\acute{s}r} + \Delta \Psi' = (1,714 - 0,14) \cdot 10^{-3} = 1,574 \cdot 10^{-3}</math></p> <p>6.2.Obliczanie wartości liczby Sommerfelda:  <math>S' = \frac{\eta' \cdot n}{p_{sr} \cdot \Psi_{rz}'^2} = 0,0074</math></p> <p>7.2.Wyznaczenie współczynnika tarcia:  z wykresu: <math>\mu / \Psi' = 0,7</math>  <math>\mu' = \frac{\mu}{\Psi'} \cdot \Psi_{rz}' = 1,1 \cdot 10^{-3}</math></p> <p>8.2.Moc tracona w łożysku:  <math>N_T' = \mu' \cdot F \cdot V = 181,3 \text{ W}</math></p> <p>9.2.Obliczenie rzeczywistej temperatury pracy łożyska na podstawie bilansu mocy:  <math>t_{B2} = \frac{N_T'}{k \cdot A_{wym}} + t_{ot} = 76,66 \Delta^\circ\text{C}</math></p> <p>10.2.Obliczenie różnicy temperatury założonej i obliczonej:  <math>t_{BONEW} - t_{B2} = 11,655 \Delta^\circ\text{C}</math></p> <p>Znacząca różnica temp. przechodzę do kolejnej iteracji:</p> <p>11.2.Obliczenie nowej wartości temperatury założonej:  <math>t_{BONEW2} = \frac{t_{BONEW} + t_{B2}}{2} = 82,48 \Delta^\circ\text{C}</math></p> <p>III. <u>Iteracja obliczeń:</u>  z wyk. <math>\eta'' = 0,015 \text{ Pa} \cdot s</math></p> <p>4.3. Korekta luzu ze względu na zmianę temperatury łożyska.  Temperatura montażu: <math>t_{mont} = t_{ot}</math>  <math>\Delta \Psi'' = (\alpha_p - \alpha_w) \cdot (t_{BONEW2} - t_{mont}) = -0,125 \cdot 10^{-3}</math></p> <p>5.3.Rzeczywist luz względny:  <math>\Psi_{rz}'' = \Psi_{\acute{s}r} + \Delta \Psi'' = 1,59 \cdot 10^{-3}</math></p> <p>6.3.Obliczanie wartości liczby Sommerfelda:  <math>S'' = \frac{\eta'' \cdot n}{p_{sr} \cdot \Psi_{rz}''^2} = 0,0087</math></p> <p>7.3.Wyznaczenie współczynnika tarcia:  z wykresu: <math>\mu / \Psi'' = 0,8</math>  <math>\mu'' = \frac{\mu}{\Psi''} \cdot \Psi_{rz}'' = 1,272 \cdot 10^{-3}</math></p> <p>8.3.Moc tracona w łożysku:  <math>N_T'' = \mu'' \cdot F \cdot V = 209,7 \text{ W}</math></p> <p>9.3.Obliczenie rzeczywistej temperatury pracy łożyska na podstawie bilansu mocy:</p>	<p><math>\Delta \Psi' = -0,14 \cdot 10^{-3}</math></p> <p><math>\Psi_{rz}' = 1,574 \cdot 10^{-3} \text{ ‰}</math></p> <p><math>S' = 0,0074</math></p> <p><math>\mu' = 1,1 \cdot 10^{-3}</math></p> <p><math>N_T' = 181,3 \text{ W}</math></p> <p><math>t_{B2} = 76,66 \Delta^\circ\text{C}</math></p> <p><math>t_{BONEW2} = 82,48 \Delta^\circ\text{C}</math></p> <p>III.  <math>\eta'' = 0,015 \text{ Pa} \cdot s</math></p> <p><math>\Delta \Psi'' = -0,125 \cdot 10^{-3}</math></p> <p><math>\Psi_{rz}'' = 1,59 \cdot 10^{-3} \text{ ‰}</math></p> <p><math>S'' = 0,0087</math></p> <p><math>\mu'' = 1,272 \cdot 10^{-3}</math></p> <p><math>N_T'' = 209,7 \text{ W}</math></p>
--	---	--

<p>Rzc = 1,25 μm</p> <p>Rzp = 1,25 μm</p>	<p><math>t_{B3} = \frac{N_{T''}}{k \cdot A_{wym}} + t_{ot} = 85,5 \Delta^{\circ}\text{C}</math></p> <p>10.3.Obliczenie różnicy temperatury założonej i obliczonej:  <math>t_{BONEW2} - t_{B3} = 3,02 \Delta^{\circ}\text{C}</math></p> <p>Dla pewności wykonuję jeszcze jedną iterację:</p> <p>11.3.Obliczenie nowej wartości temperatury założonej:  <math>t_{BONEW3} = \frac{t_{BONEW2} + t_{B3}}{2} = 84 \Delta^{\circ}\text{C}</math></p> <p>IV. <u>Iteracja obliczeń:</u>  z wyk. <math>\eta''' = 0,014 \text{ Pa} \cdot \text{s}</math></p> <p>4.4. Korekta luzu ze względu na zmianę temperatury łożyska.  Temperatura montażu: <math>t_{mont} = t_{ot}</math>  <math>\Delta \Psi''' = (\alpha_p - \alpha_w) \cdot (t_{BONEW3} - t_{mont}) = -0,128 \cdot 10^{-3}</math></p> <p>5.4.Rzeczywist luz względny:  <math>\Psi_{rz}''' = \Psi_{sr} + \Delta \Psi''' = 1,586 \cdot 10^{-3}</math></p> <p>6.4.Obliczanie wartości liczby Sommerfelda:  <math>S''' = \frac{\eta''' \cdot n}{p_{sr} \cdot \Psi_{rz}'''^2} = 0,0082</math></p> <p>7.4.Wyznaczenie współczynnika tarcia:  z wykresu: <math>\mu / \Psi''' = 0,78</math>  <math>\mu''' = \frac{\mu}{\Psi} \cdot \Psi_{rz}''' = 1,237 \cdot 10^{-3}</math></p> <p>8.4.Moc tracona w łożysku:  <math>N_T''' = \mu''' \cdot F \cdot V = 203,9 \text{ W}</math></p> <p>9.4.Obliczenie rzeczywistej temperatury pracy łożyska na podstawie bilansu mocy:  <math>t_{B4} = \frac{N_{T'''}}{k \cdot A_{wym}} + t_{ot} = 83,72 \Delta^{\circ}\text{C}</math></p> <p>10.4.Obliczenie różnicy temperatury założonej i obliczonej:  <math>t_{BONEW3} - t_{B4} = 0,28 \Delta^{\circ}\text{C}</math>  <u>Mała różnica temp. iteracja zakończona.</u>  Pozostałe parametry wyznaczamy dla <math>S=0,0082</math></p> <p>12.Obliczenie minimalnej grubości filmu smarnego:  z wykresu: <math>h_0 / \delta = 0,08</math>  <math>\delta_{sr} = \Psi_{sr} \cdot R = 0,06</math>  <math>h_0 = \frac{h_0}{\delta} \cdot \delta_{sr} = 4,8 \mu\text{m}</math>  Wysokość chropowatości czopa: Rzc = 1,25 μm - Frezowanie cylindryczne dokładne.  Wysokość chropowatości panwi: Rzp = 1,25 μm - Toczenie i wytłaczanie dokładne.</p>	<p><math>t_{B3} = 85,5 \Delta^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>t_{BONEW3} = 84 \Delta^{\circ}\text{C}</math></p> <p>IV.  <math>\eta''' = 0,014 \text{ Pa} \cdot \text{s}</math></p> <p><math>\Delta \Psi''' = -0,128 \cdot 10^{-3}</math></p> <p><math>\Psi_{rz}''' = 1,586 \cdot 10^{-3} \text{ } \mu\text{m}</math></p> <p><math>S''' = 0,0082</math></p> <p><math>\mu''' = 1,237 \cdot 10^{-3}</math></p> <p><math>N_T''' = 203,9 \text{ W}</math></p> <p><math>t_{B4} = 83,72 \Delta^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>h_0 / \delta = 0,08</math>  <math>\delta_{sr} = 0,06</math>  <math>h_0 = 4,8 \mu\text{m}</math></p>
---	--	---

	<p> <math>R_{zc} + R_{zp} = 2,5 \mu m</math>  Sprawdzenie podstawowego warunku tarcia płynnego:  <math>h_0 &gt; R_{zc} + R_{zp}</math>  <math>4,8 &gt; 2,5</math>  Warunek spełniony. </p> <p> 13. Wyznaczenie wartości ekscentryczności względnej:  <math>\varepsilon = 1 - \frac{h_0}{\delta} = 0,92</math>  Wartość ekscentryczności względnej mieści się w zalecanych zakresie. </p> <p> 14. Obliczenie zapotrzebowania na środek smarny:  z wykresu: <math>Q/R \delta n L = 4,8</math>  <math>Q = Q_{R \delta n L} \cdot R \cdot \delta s r \cdot n \cdot L = 635 \frac{mL}{min}</math> </p> <p> 15. Obliczenie natężenia wypływów bocznych:  z wykresu: <math>Q_s/Q = 0,96</math>  <math>Q_s = \frac{Q_s}{Q} \cdot Q = 609,6 \frac{mL}{min}</math> </p> <p> 16. Wyznaczenie kąta minimalnej grubości filmu smarnego:  z wykresu: <math>\phi_{min} = 19 \text{ deg}</math> </p> <p> 17. Ciśnienie maksymalne:  z wykresu: <math>P/P_{max} = 0,39</math>  <math>P_{max} = \frac{1}{P/P_{max}} \cdot F = 128205,13 Pa</math> </p> <p> 18. Sposób smarowania łożyska ślizgowego:  Zastosuje pierścień smarujący luźny.  dla oleju o gęstości: <math>875 \text{ kg/m}^3</math>  Orientacyjne proporcje pierścienia luźnego o przekroju prostokątnym:  średnica pierścienia - <math>D_p \approx 1,5 \div 1,75 D = 112 \text{ mm}</math>  szerokość pierścienia - <math>a \approx 0,1 D_p = 11,2 \text{ mm}</math>  grubość - <math>s \approx (0,3 \div 0,4) \cdot a = 4 \text{ mm}</math>  Głębokość zanurzenia pierścienia - <math>t \approx D_p^{0,6} = 17 \text{ mm}</math>  prędkość przejścia dla oleju:  <math>v_p = 0,47 \cdot D_p^{1,5} \cdot \eta^{-0,67} = 0,3 \text{ m/s}</math>  natężenie przepływu oleju w granicznym przypadku:  <math>q_p = 1,67 \cdot 10^{-2} \cdot a \cdot D_p^{2,25} \cdot \eta^{-0,35} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}</math> </p>	<p><math>\varepsilon = 0,92</math></p> <p><math>Q = 635 \frac{mL}{min}</math></p> <p><math>Q_s/Q = 0,96</math></p> <p><math>Q_s = 609,6 \frac{mL}{min}</math></p> <p><math>\phi_{min} = 19 \text{ deg}</math></p> <p> <math>P_{max} =</math>  <math>128205,13 Pa</math> </p> <p> <math>D_p = 112 \text{ mm}</math>  <math>a = 11,2 \text{ mm}</math>  <math>s = 4 \text{ mm}</math>  <math>t = 17 \text{ mm}</math> </p> <p><math>v_p = 0,3 \text{ m/s}</math></p> <p><math>q_p = 6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}</math></p>
--	---	---

Rozkład ciśnienia:

