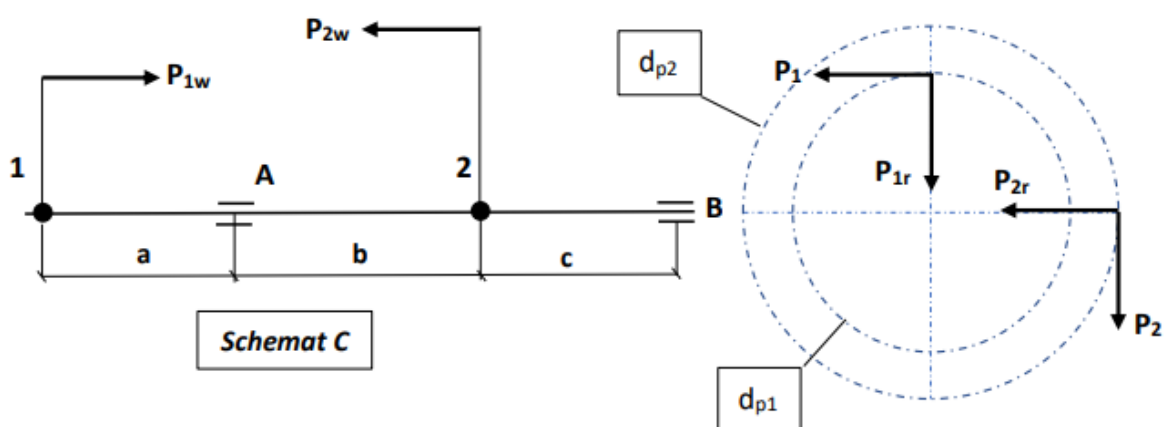


POLITECHNIKA WROCŁAWSKA			
PROJEKTOWANIE ELEMENTÓW I ZESPOŁÓW MECHANICZNYCH			
Autor		Grupa M01-39a	
Imię i nazwisko:	Numer indeksu:	Numer projektu:	Data oddania:
Patryk Olearczyk	261089	IV	25.05.2022
Temat projektu:			
Projekt wstępny wału wraz z łożyskowaniem			

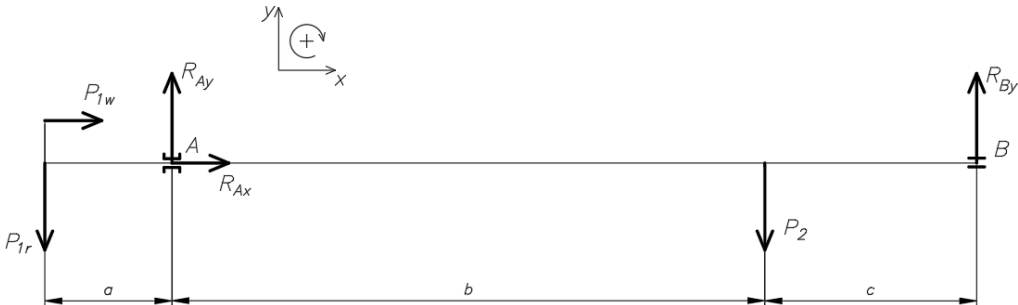
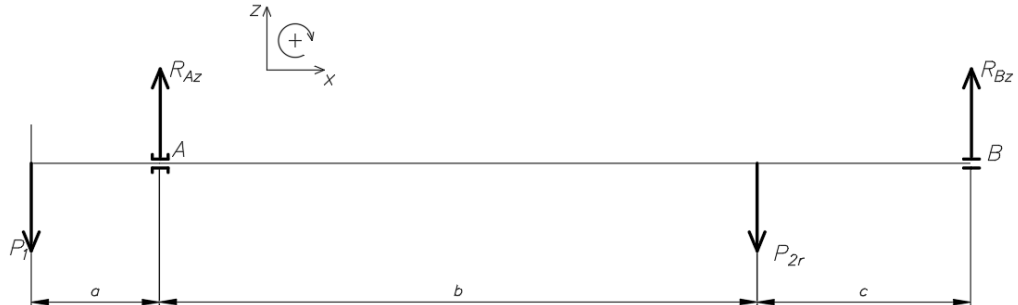
Projekt 4/C/2:

Zaprojektować wał pośredni przekładni zębatej wraz z łożyskowaniem, o wymiarach i obciążeniu jak na schematach poniżej. W ramach projektu należy:

- przeprowadzić obliczenia statyczne wału, a w tym: wyznaczyć reakcje podpór, wyznaczyć rozkłady momentów zginających w poszczególnych płaszczyznach i sporządzić wykresy M_g ,
- wyznaczyć wypadkowy moment zginający (+ wykres), obliczyć moment skręcający i sporządzić jego wykres, wyznaczyć moment zastępczy i sporządzić jego wykres,
- dobrać materiał wału i przeprowadzić obliczenia wytrzymałościowe,
- wykreślić teoretyczny zarys wału, dobrać łożyska i uszczelnienia,
- ustalić kształt konstrukcyjny,
- wykonać rysunek złożeniowy wału z łożyskowaniem i zaznaczonymi piastami kół osadzonych na wale, - wykonać rysunek wykonawczy wału,
- przeprowadzić obliczenia prędkości krytycznej i dynamicznej strzałki ugięcia zaprojektowanego wału, - wskazać niebezpieczny przekrój wału i przeprowadzić niezbędne obliczenia zmęczeniowe (sprawdzić zmęczeniowy współczynnik bezpieczeństwa).



Dane: $a = 30 \text{ mm}$, $b = 140 \text{ mm}$, $c = 50 \text{ mm}$, $d_{p1} = 200 \text{ mm}$, $d_{p2} = 250 \text{ mm}$, $P_1 = 5 \text{ kN}$, $P_{1r} = 1,82 \text{ kN}$, $P_{1w} = 0,6 \text{ kN}$, $P_2 = 4 \text{ kN}$, $P_{2r} = 1,45 \text{ kN}$. $R = 0$, $\kappa = 1$

DANE:	OBLICZENIA:	WYNIKI:
<p> $a = 30 \text{ mm}$ $b = 140 \text{ mm}$ $c = 50 \text{ mm}$ $d_{p1} = 200 \text{ mm}$ $d_{p2} = 250 \text{ mm}$ $P_1 = 5 \text{ kN}$ $P_{1r} = 1,82 \text{ kN}$ $P_{1w} = 0,6 \text{ kN}$ $P_{2w} = 0 \text{ kN}$ $P_2 = 4 \text{ kN}$ $P_{2r} = 1,45 \text{ kN}$ $R = 0$ $\kappa = 1$ </p>	<p>1. Wyznaczenie reakcji podpór:</p> <p>1.1. Wyznaczenie reakcji podpór w płaszczyźnie XY:</p>  <p>Rys. 1.1. Stan obciążeń wału w płaszczyźnie XY.</p> $\begin{cases} \sum P_x \equiv 0 = P_{1w} - P_{2w} + R_{Ax} \\ \sum P_y \equiv 0 = -P_{1r} + R_{Ay} - P_2 + R_{By} \\ \sum M_A \equiv 0 = P_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot d_{p1} - P_{1r} \cdot a - R_{By}(b + c) + P_2 \end{cases}$ $\begin{cases} R_{Ax} = -P_{1w} \\ R_{Ay} = -R_{By} + P_{1r} + P_2 = 2,84 \text{ kN} \\ R_{By} = \frac{P_{1r} \cdot a - P_2 \cdot b - P_{1w} \cdot \frac{d_{p1}}{2}}{b + c} = 2,98 \text{ kN} \end{cases}$ $\begin{cases} R_{Ax} = -0,6 \text{ kN} \\ R_{Ay} = -1,82 + 2,98 - 4 = 2,84 \text{ kN} \\ R_{By} = \frac{1,82 \cdot 30 - 4 \cdot 140 - 0,6 \cdot 100}{190} = 2,98 \text{ kN} \end{cases}$ <p>1.2. Wyznaczenie reakcji podpór w płaszczyźnie XZ:</p>  <p>Rys. 1.2. Stan obciążeń wału w płaszczyźnie XZ.</p> $\begin{cases} \sum P_z \equiv 0 = -P_1 + R_{Az} - P_{2r} + R_{Bz} \\ \sum M_A \equiv 0 = -P_1 \cdot a + P_{2r} \cdot b - R_{Bz} \cdot (b + c) \end{cases}$ $\begin{cases} R_{Bz} = \frac{-P_1 \cdot a + P_{2r} \cdot b}{b + c} = \frac{-5 \cdot 30 + 1,45 \cdot 140}{190} = 0,28 \text{ kN} \\ R_{Az} = P_1 + P_{2r} - R_{Bz} = 5 + 1,45 - 0,28 = 6,17 \text{ kN} \end{cases}$	<p> $R_{Ax} = -0,6 \text{ kN}$ $R_{Ay} = 2,84 \text{ kN}$ $R_{By} = 2,98 \text{ kN}$ </p> <p> $R_{Bz} = 0,28 \text{ kN}$ $R_{Az} = 6,17 \text{ kN}$ </p>

2. Obliczanie momentów gnących na wale:

2.1. Momenty gnące w płaszczyźnie XY:

I. $0 \leq x_1 \leq a$

$$Mg(x_1) = P_{1w} \cdot \frac{1}{2} d_{p1} - P_{1r} \cdot x_1$$

$$Mg(0) = P_{1w} \cdot \frac{1}{2} d_{p1} - P_{1r} \cdot 0 = 60 - 1,82 \cdot 0 \text{ [kN} \cdot \text{mm]} = 60 \text{ Nm}$$

$$Mg(a) = P_{1w} \cdot \frac{1}{2} d_{p1} - P_{1r} \cdot a = 60 - 1,82 \cdot 30 = 5,4 \text{ Nm}$$

II. $a \leq x_2 \leq a + b$

$$Mg(x_2) = P_{1w} \cdot \frac{1}{2} d_{p1} - P_{1r} \cdot x_1 + R_{Ay}(x_2 - a)$$

$$Mg(a) = P_{1w} \cdot \frac{1}{2} d_{p1} - P_{1r} \cdot a + R_{Ay}(a - a) = 60 - 1,82 \cdot 30 + 2,84 \cdot 0 = 5,4 \text{ Nm}$$

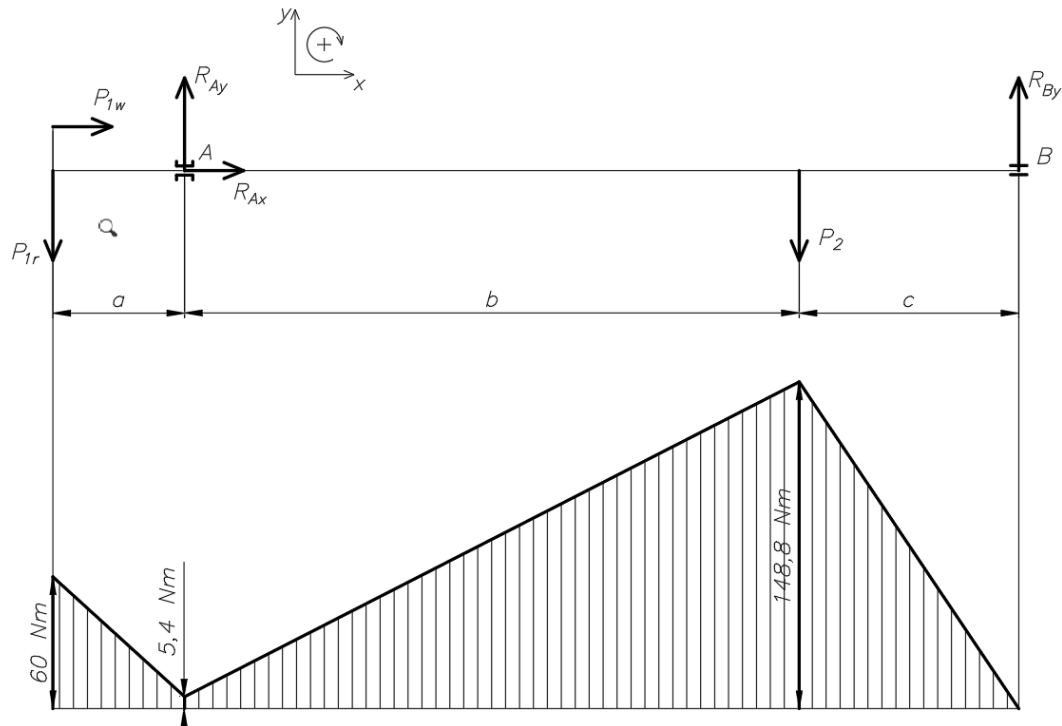
$$Mg(a + b) = P_{1w} \cdot \frac{1}{2} d_{p1} - P_{1r} \cdot (a + b) + R_{Ay} \cdot b = 60 - 1,82 \cdot 170 + 2,84 \cdot 140 = 148,8 \text{ Nm}$$

III. $0 \leq x_3 \leq c$ (od lewej)

$$Mg(x_3) = R_{By} \cdot x_3$$

$$Mg(0) = 0 \text{ Nm}$$

$$Mg(c) = R_{By} \cdot c = 2,98 \cdot 50 = 148,8 \text{ Nm}$$



Rys. 2.1. Wykres momentów gnących w płaszczyźnie XY

2.2. Momenty gnące w płaszczyźnie XZ:

I. $0 \leq x_1 \leq a$ (od lewej)

$$Mg(x_1) = -P_1 \cdot x_1$$

$$Mg(0) = 0 \text{ Nm}$$

$$Mg(a) = -P_1 \cdot a = 5 \cdot 30 = 150 \text{ Nm}$$

II. $a \leq x_2 \leq a + b$ (od lewej)

$$Mg(x_2) = -P_1 \cdot x_1 + R_{Az} \cdot (x_2 - a)$$

$$Mg(a) = -P_1 \cdot a + R_{Az} \cdot 0 = 150 \text{ Nm}$$

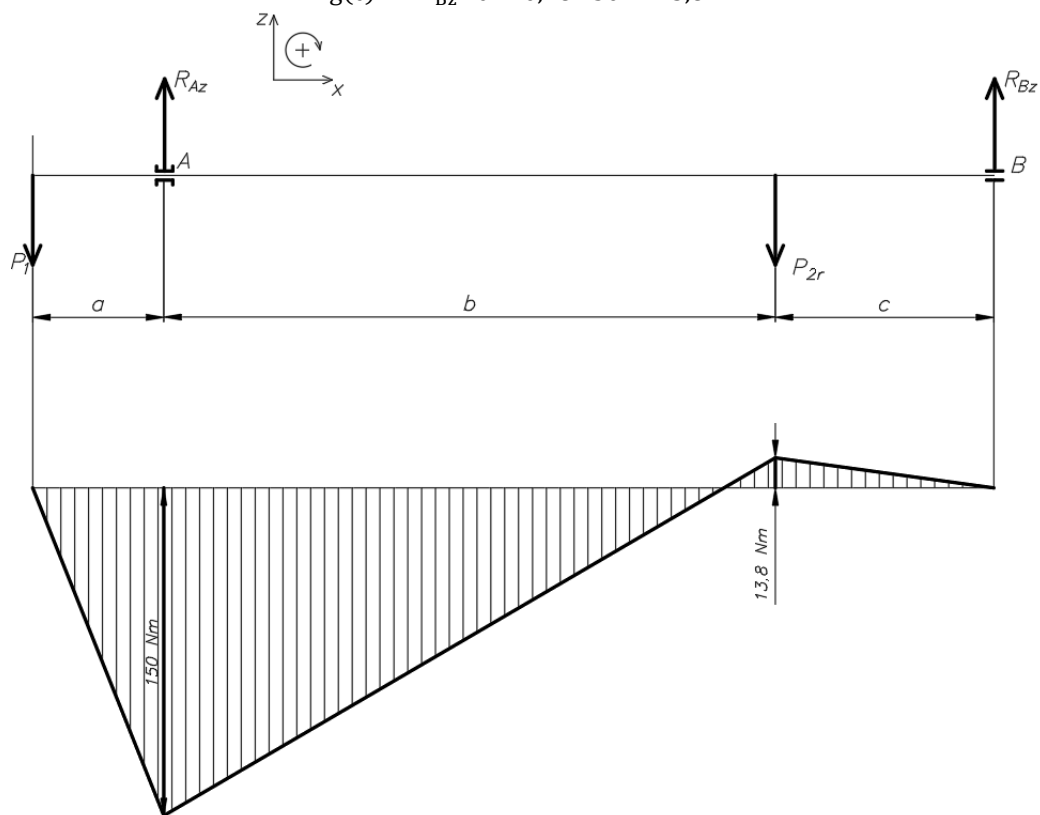
$$Mg(a + b) = -P_1 \cdot (a + b) + R_{Az} \cdot b = -5 \cdot 170 + 6,17 \cdot 140 = 13,8 \text{ Nm}$$

III. $0 \leq x_3 \leq c$ (od prawej)

$$Mg(x_3) = R_{Bz} \cdot x_3$$

$$Mg(0) = 0 \text{ Nm}$$

$$Mg(c) = R_{Bz} \cdot c = 0,28 \cdot 50 = 13,8 \text{ Nm}$$



Rys. 2.1. Wykres momentów gnących w płaszczyźnie XY

3. Momenty skręcające na wale:

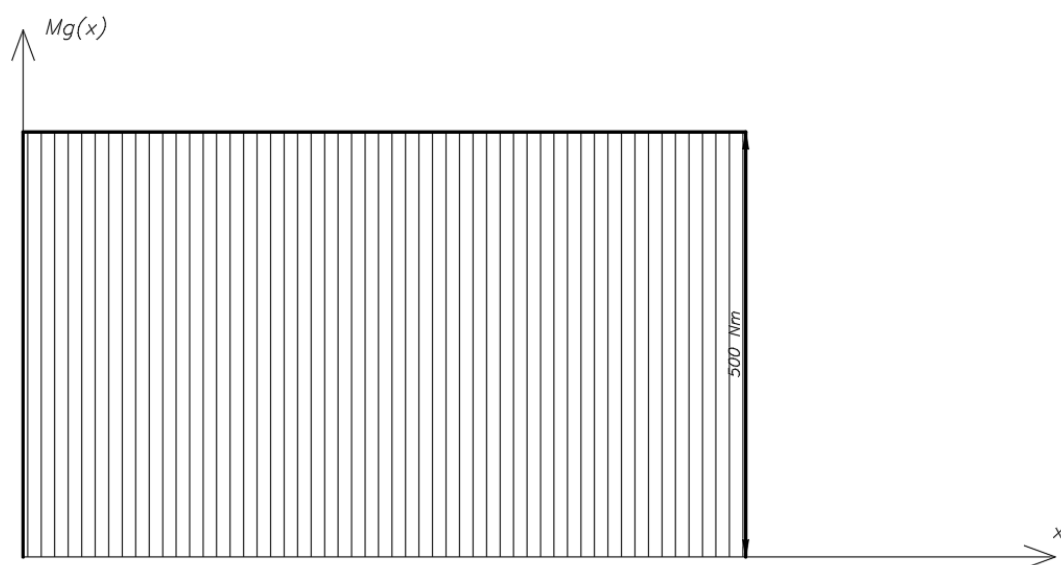
$$M_{s1} = \frac{1}{2} d_{p1} \cdot P_1 = 100 \cdot 5 = 500 \text{ Nm}$$

$$M_{s2} = \frac{1}{2} d_{p2} \cdot P_2 = 125 \cdot 4 = 500 \text{ Nm}$$

Momenty skręcające występują tylko na odcinku między kołami.

$$M_{s1} = 500 \text{ Nm}$$

$$M_{s2} = 500 \text{ Nm}$$



Rys. 3.1. Wykres sił skręcających działających na wale

4. Dobór materiału na wał:

Na materiał do wykonania wału wybrano stal 30H/~34Cr4, czyli stal stopową, konstrukcyjną do ulepszania cieplnego i hartowania

5. Wyznaczenie momentu zastępczego:

Tab. 5.1. Zestawienie momentów wypadkowych, zastępczych i teoretycznych średnic wału na odcinku $0 \leq x \leq a$.

x [mm]	Mg – XY [Nm]	Mg – XZ [Nm]	Mg_wyp [Nm]	Moment zastępczy [Nm]	teoretyczna średnica wału [mm]
0	60	0	60,0	247,4	28,2
5	50,9	-25	56,7	246,6	28,2
10	41,8	-50	65,2	248,7	28,3
15	32,7	-75	81,8	253,6	28,5
20	23,6	-100	102,7	261,1	28,7
25	14,5	-125	125,8	271,0	29,1
30	5,4	-150	150,1	283,1	29,5

Tab. 5.2. Zestawienie momentów wypadkowych, zastępczych i teoretycznych średnic wału na odcinku $a \leq x \leq a + b$.

x [mm]	Mg – XY [Nm]	Mg – XZ [Nm]	Moment wypadkowy [Nm]	Moment zastępczy [Nm]	Teoretyczna średnica wału [mm]
30	5,4	-150	150,1	283,1	29,5
40	15,6	-138,3	139,2	277,4	29,3
50	25,9	-126,6	129,2	272,6	29,2
60	36,1	-114,9	120,4	268,5	29,0
70	46,4	-103,2	113,1	265,3	28,9
80	56,6	-91,5	107,6	263,0	28,8
90	66,9	-79,8	104,1	261,6	28,8
100	77,1	-68,1	102,9	261,1	28,7
110	87,3	-56,4	104,0	261,6	28,8
120	97,6	-44,7	107,3	262,9	28,8
130	107,8	-33,0	112,8	265,2	28,9
140	118,1	-21,3	120,0	268,3	29,0
150	128,3	-9,6	128,7	272,3	29,1
160	138,6	2,1	138,6	277,1	29,3
170	148,8	13,8	149,4	282,7	29,5

Tab. 5.3. Zestawienie momentów wypadkowych, zastępczych i teoretycznych średnic wału na odcinku $0 \leq x \leq c$ od lewej strony

x	Mg - XY	Mg - XZ	Mg_wyp	Moment zastępczy	teoretyczna średnica wału
50	148,8	13,8	149,4	149,4	23,9
45	133,9	12,4	134,5	134,5	23,0
40	119,0	11,0	119,6	119,6	22,2
35	104,2	9,7	104,6	104,6	21,2
30	89,3	8,3	89,7	89,7	20,1
25	74,4	6,9	74,7	74,7	18,9
20	59,5	5,5	59,8	59,8	17,6
15	44,6	4,1	44,8	44,8	16,0
10	29,8	2,8	29,9	29,9	14,0
5	14,9	1,4	14,9	14,9	11,1
0	0	0	0,0	0,0	0,0

Przykładowe obliczenia:

Do przykładowych obliczeń przyjęto dane z pierwszego wiersza tabeli 4.2.:

$x = 30 \text{ mm}$

$M_{g_{XY}} = 5,4 \text{ Nm}$

$M_{g_{XZ}} = -150 \text{ Nm}$

$M_s = 500 \text{ Nm}$

$k_{go} = 110 \text{ MPa}$

$k_{sj} = 115 \text{ MPa}$

Obliczenia momentu wypadkowego M_w :

$$M_w = \sqrt{M_{XY}^2 + M_{XZ}^2} = \sqrt{5,4^2 + (-150)^2} = 150,1 \text{ Nm}$$

Współczynnik redukcyjny α :

$$\alpha = \frac{k_{go}}{k_{sj}} = \frac{110}{115} = 0,96$$

Obliczenia momentu zastępczego M_z :

$$M_z = \sqrt{M_w^2 + \left(\frac{\alpha}{2} M_s\right)^2} = \sqrt{150,1^2 + \left(\frac{0,96}{2} \cdot 500\right)^2} = 283,1 \text{ Nm}$$

Obliczanie teoretycznej średnicy wału na podstawie momentu zastępczego:

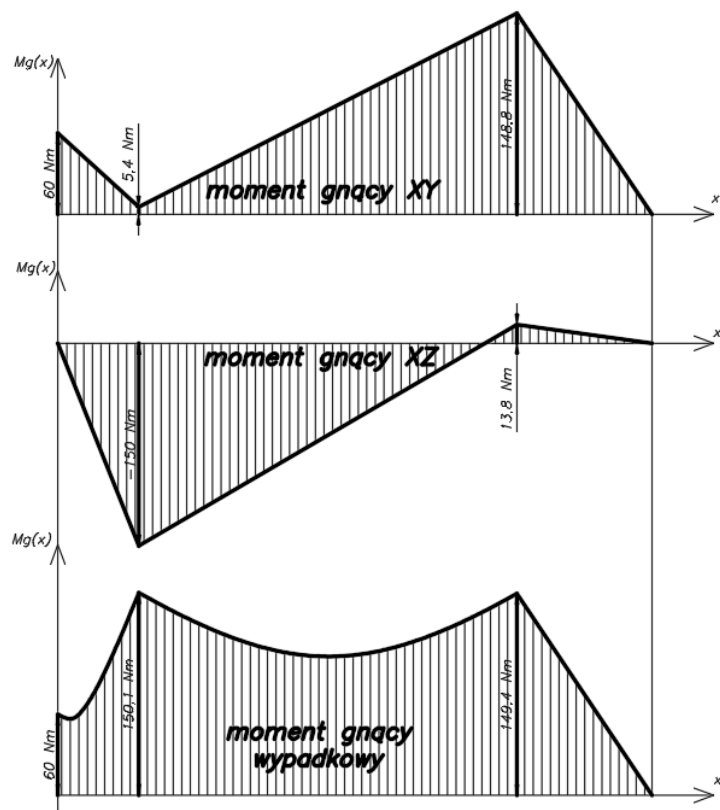
$$\sigma_g = \frac{M_z}{W_x} \leq k_{go} \Rightarrow \frac{M_z}{k_{go}} \leq W_x$$

$$\frac{\pi}{32} d^3 \geq \frac{M_z}{k_{go}}$$

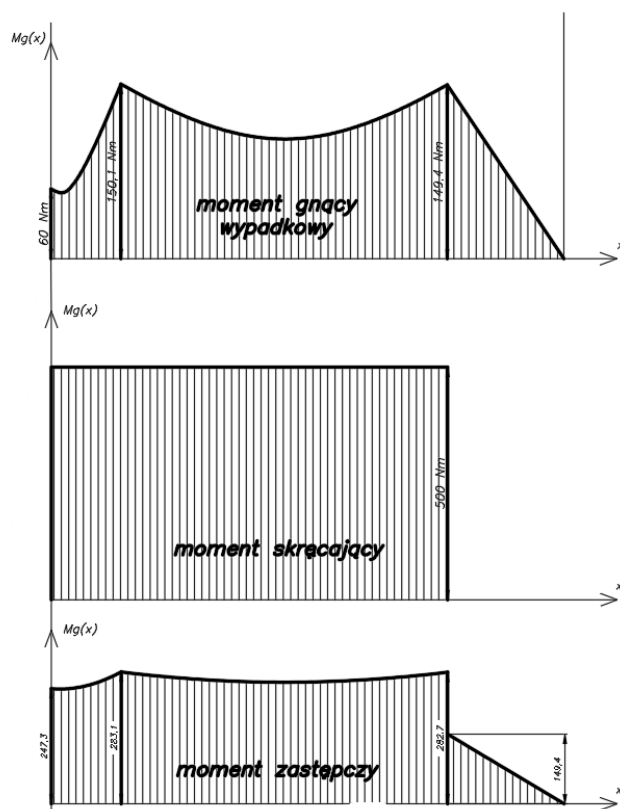
$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_z \cdot 32}{k_{go} \cdot \pi}} \left[\sqrt[3]{\frac{\text{Nm}}{\text{MPa}}} \right]$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{283,1 \cdot 32}{110 \cdot \pi}} \cdot 10 [\text{mm}]$$

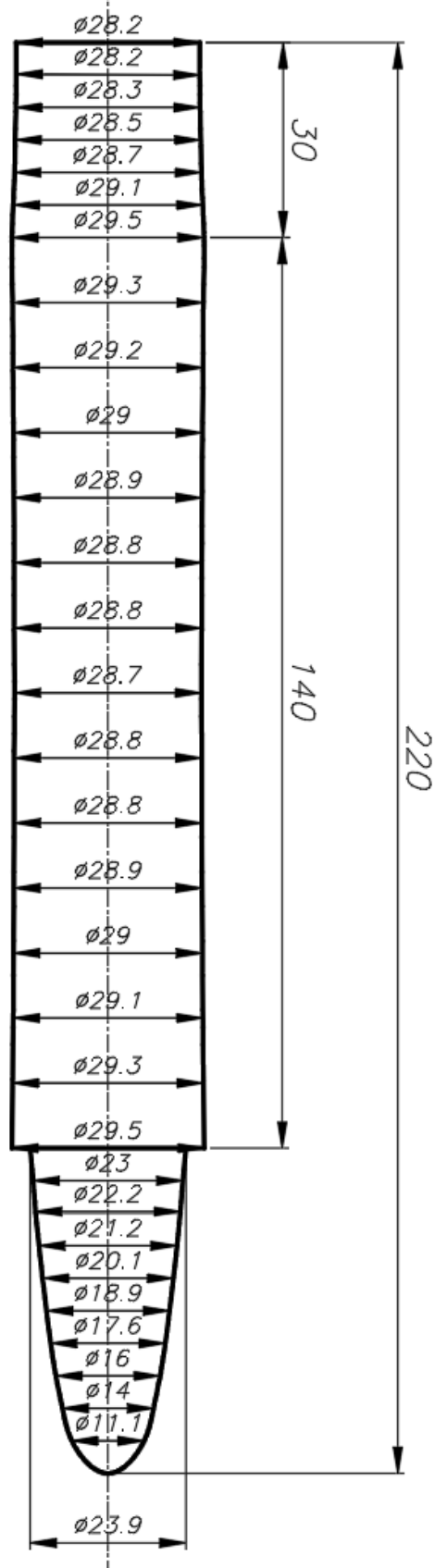
$$d \geq 29,5 \text{ mm}$$



Rys 5.1. Wykres momentu wypadkowego działającego na wale.



Rys 5.2. Wykres momentu zastępczego działającego na wale.



Rys 5.3. Zarys teoretyczny wału.

<p> $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ $a = 30 \text{ mm}$ $b = 140 \text{ mm}$ $c = 50 \text{ mm}$ $d_{p1} = 200 \text{ mm}$ $d_{p2} = 250 \text{ mm}$ $P_1 = 5 \text{ kN}$ $P_{1r} = 1,82 \text{ kN}$ $P_{1w} = 0,6 \text{ kN}$ $P_{2w} = 0 \text{ kN}$ $P_2 = 4 \text{ kN}$ $P_{2r} = 1,45 \text{ kN}$ $R_{Ax} = -0,6 \text{ kN}$ $R_{Ay} = 2,84 \text{ kN}$ $R_{By} = 2,98 \text{ kN}$ $R_{Bz} = 0,28 \text{ kN}$ $R_{Az} = 6,17 \text{ kN}$ </p>	<p>6. Obliczenia strzałki ugięcia:</p> <p>Strzałka ugięcia metodą Clebscha:</p> <p>6.1. Strzałka ugięcia w płaszczyźnie XY</p> $EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -P_{1w} \cdot \frac{1}{2} \cdot d_{p1} + P_{1r} \cdot x ^a - R_{Ay}(x-a) ^{a+b} + P_2(x-a-b) ^{a+b+c}$ $EI \frac{dy}{dx} = -P_{1w} \cdot \frac{1}{2} \cdot d_{p1} \cdot x + P_{1r} \cdot \frac{x^2}{2} ^a - R_{Ay} \frac{(x-a)^2}{2} ^{a+b} + P_2 \frac{(x-a-b)^2}{2} ^{a+b+c} + C_1$ $EI \cdot y = -P_{1w} \cdot \frac{1}{4} \cdot d_{p1} x^2 + P_{1r} \cdot \frac{x^3}{6} ^a - R_{Ay} \frac{(x-a)^3}{6} ^{a+b} + P_2 \frac{(x-a-b)^3}{6} ^{a+b+c} + C_1 x + D_1$ <p>Warunki brzegowe: $y(x=a) = 0$:</p> $-P_{1w} \cdot \frac{1}{4} \cdot d_{p1} a^2 + P_{1r} \cdot \frac{a^3}{6} + C_1 a + D_1 = 0$ $-0,6 \cdot \frac{1}{4} \cdot 200 \cdot 30^2 + 1,82 \cdot \frac{30^3}{6} - 0 + 4 \frac{(-140)^3}{6} + C_1 \cdot 30 + D_1 = 0$ $C_1 \cdot 30 + D_1 = 18810$ <p>$y(x=a+b+c) = 0$:</p> $-P_{1w} \cdot \frac{1}{4} \cdot d_{p1} (a+b+c)^2 + P_{1r} \cdot \frac{(a+b+c)^3}{6} - R_{Ay} \frac{(b+c)^3}{6} + P_2 \frac{(c)^3}{6} + C_1 (a+b+c) + D_1 = 0$ $C_1 \cdot 220 + D_2 = 1385367$ $\begin{cases} C_1 \cdot 30 + D_1 = 18810 \\ C_1 \cdot 220 + D_2 = 1385367 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = 7192,4 \\ D_1 = -196962 \end{cases}$ $EI \cdot y = -P_{1w} \cdot \frac{1}{4} \cdot d_{p1} x^2 + P_{1r} \cdot \frac{x^3}{6} - R_{Ay} \frac{(x-a)^3}{6} + P_2 \frac{(x-a-b)^3}{6} + 7192,4x - 196962$ <p>Ugięcie statyczne w płaszczyźnie XY:</p> $y(0) = \frac{1}{EI} \cdot \left(-P_{1w} \cdot \frac{1}{4} \cdot d_{p1} 0^2 + P_{1r} \cdot \frac{0^3}{6} + 7192,4 \cdot 0 - 196962 \right)$ $y(0) = \frac{-196962}{EI} = \frac{-196962}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,1 \cdot 30^4} = 0,01158 \text{ mm}$ <p>6.2. Strzałka ugięcia w płaszczyźnie XZ:</p> $EI \cdot \frac{d^2 z}{dx^2} = P_1 x ^a - R_{Az}(x-a) ^{a+b} + P_{2r}(x-a-b) ^{a+b+c}$ $EI \cdot z = P_1 \frac{x^3}{6} ^a - R_{Az} \frac{(x-a)^3}{6} ^{a+b} + P_{2r} \frac{(x-a-b)^3}{6} ^{a+b+c} + C_2 x + D_2$ <p>Warunki brzegowe: $y(x=a) = 0$:</p> $P_1 \frac{a^3}{6} + C_2 a + D_2 = 0$ $30C_2 + D_2 = -22500$	<p>$y(0) = 0,01158 \text{ mm}$</p>
--	---	---

$$y(x = a + b + c) = 0:$$

$$P_1 \frac{(a + b + c)^3}{6} - R_{Az} \frac{(b + c)^3}{6} + P_{2r} \frac{(c)^3}{6} + C_2 x + D_2 = 0$$

$$220C_2 + D_2 = -1850203$$

$$\begin{cases} C_1 \cdot 30 + D_1 = -22500 \\ C_1 \cdot 220 + D_2 = -1850203 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = -9619,5 \\ D_1 = 226084,7 \end{cases}$$

$$EI \cdot z = P_1 \frac{x^3}{6} - R_{Az} \frac{(x - a)^3}{6} + P_{2r} \frac{(x - a - b)^3}{6} - 9619,5x + 226084,7$$

Ugięcie statyczne w płaszczyźnie XZ:

$$z(0) = \frac{1}{EI} (P_1 \frac{0^3}{6} - 9619,5 \cdot 0 + 226084,7)$$

$$z(0) = \frac{226084,7}{EI} = \frac{226084,7}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,1 \cdot 30^4} = 0,01564 \text{ mm}$$

$$z(0) = 0,01564 \text{ mm}$$

6.3. Ugięcie statyczne:

$$f_{stat} = \sqrt{y(0)^2 + z(0)^2} = \sqrt{0,01158^2 + 0,01564^2} = 0,0195 \text{ mm}$$

$$f_{stat} = 0,0195 \text{ mm}$$

7. Obliczenia prędkości krytycznej metodą inżynierską:

Prędkość krytyczna:

$$\omega_k = \sqrt{\beta \frac{g}{f_{stat}}} = \sqrt{1 \cdot \frac{9,81 \cdot 10^3}{0,0195}} \left[\sqrt{\frac{\text{mm}}{\text{s}^2 \cdot \text{mm}}} \right] = 710 \frac{\text{obr}}{\text{s}}$$

$$\omega_k = 710 \frac{\text{obr}}{\text{s}}$$

Prędkość obrotowa:

$$n_k = 30 \cdot \frac{\omega}{\pi} = 30 \cdot \frac{710}{\pi} = 6780 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$$

$$n_k = 6780 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$$

8. Obliczenia nośności łożysk:

Na podstawie działających sił oraz średnic czopów wału dobrano łożysko kulkowe 7007 oraz łożysko walcowe NU1005.

Przyjęto prędkość obrotową równą $n = 360 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$

8.1. Obliczanie nośności łożyska kulkowego 7208:

$$R_r = R_{Az}^2 + R_{Ay}^2 = 6,8 \text{ kN}$$

$$F_z = X_0 \cdot R_{Ay} + Y_0 \cdot R_{Ax} = 0,39 \cdot 6,8 + 0,76 \cdot 0,6 = 3,1 \text{ kN}$$

$$F_z \leq C_k$$

$$L_{10k} = \left(\frac{C_k}{F_z} \right)^{p_k} = \left(\frac{25,1}{3,6} \right)^3 = 338,9 \text{ obrotów}$$

$$L_{10hk} = \frac{10^6 \cdot L_{10}}{60 \cdot n} = 10^6 \cdot \frac{338,9}{60 \cdot 360} = 15689 \text{ godz}$$

$$L_{10k} = 338,9 \text{ obr}$$

$$L_{10hk} = 15689 \text{ godz}$$

8.2. Obliczanie nośności łożyska walcowego NU1005:

$$R_r = R_{Az}^2 + R_{Ay}^2 = 6,8 \text{ kN}$$

$$R_r \leq C_w$$

$$L_{10w} = \left(\frac{C_w}{F_z} \right)^{p_w} = \left(\frac{14,1}{3,6} \right)^{\frac{10}{3}} = 94,78 \text{ obrotów}$$

$$L_{10hw} = \frac{10^6 \cdot L_{10}}{60 \cdot n} = 10^6 \cdot \frac{194,6}{60 \cdot 360} = 4385 \text{ godz}$$

$$L_{10w} = 94,78 \text{ obr}$$

$$L_{10hw} = 4385 \text{ godz}$$

$$C_k = 25,1 \text{ kN}$$

$$C_w = 14,1 \text{ kN}$$

$$n = 360 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$$

$$p_k = 3$$

$$p_w = \frac{10}{3}$$

$$X_0 = 0,5$$

$$Y_0 = 0,33$$

$$R_{Ax} = 0,6 \text{ kN}$$

$$R_{Ay} = 6,17 \text{ kN}$$

$$R_{Az} = 2,84 \text{ kN}$$

9. Obliczanie długości wpustów:

Wpusty:

Materiał na wpusty – stal C45

$$p = k_o \geq \frac{4M_s}{h \cdot d \cdot l_o} = 0,8 \cdot 170 = 136 \text{ MPa}$$

$$l_o \geq \frac{4M_s}{h \cdot d \cdot k_o}$$

$$l_o \geq \frac{4 \cdot 500}{7 \cdot 30 \cdot 136} \Rightarrow l_o \geq 70,1 \text{ mm}$$

Długość wpustu jest zbyt długa by zastosować pojedynczy wpust.

Dla koła o średnicy $d_{p2} = 250 \text{ mm}$ należy zastosować dwa wpusty, stąd długość rowków na wpusty na drugim kole jest równa $l_2 = \frac{70,1}{2} + b = 35,05 + b = 35,05 + 8 = 43,05$.

Przyjęto $l_2 = 43,1 \text{ mm}$.

W przypadku koła zębatego o średnicy $d_{p1} = 200 \text{ mm}$ również dwa wpusty nie wystarczą do przeniesienia obciążenia. Należy zastosować połączenie wielowpustowe:

$$l_1 \geq \frac{8M}{(D-d) \cdot (D+d) \cdot z \cdot \varphi \cdot k_o} = \frac{8 \cdot 500}{(34-28) \cdot (34+28) \cdot 6 \cdot 0,75 \cdot 136} = 17,6 \text{ mm}$$

10. Obliczenia zmęczenia:

10.1. Wymagany współczynnik bezpieczeństwa:

$$x_{wym} = x_1 x_2 x_3 x_4$$

Przyjęto:

$$x_1 = 1,3$$

$$x_2 = 1,1$$

$$x_3 = 1,1$$

$$x_4 = 1,1$$

Stąd:

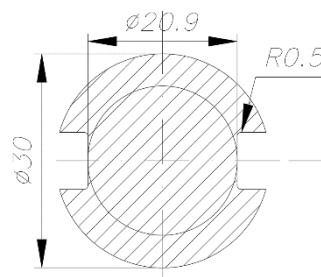
$$x_{wym} = 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 1,73$$

10.2. Obliczanie współczynnika bezpieczeństwa w niebezpiecznym przekroju:

$$\kappa = 1 = \frac{\sigma_m}{\sigma_a} \Rightarrow \sigma_a = \sigma_m$$

$$R = 0 = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_a} \Rightarrow \sigma_{max} = 0$$

$$x_z = \frac{R_e}{\beta \gamma \sigma_a + \sigma_m}$$



Rys 10.2.1. Przekrój niebezpieczny wału

10.2.1. Obliczenia naprężeń nominalnych spowodowanych skręcaniem:

$$\sigma_a = \frac{M}{W_o} = \frac{16 \cdot M}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 282,7}{\pi \cdot 30^3} = 53,33 \text{ MPa}$$

10.2.2. Obliczenia współczynnika wrażliwości na działanie karbu:

$$\beta_k = 1 + \eta_k(\alpha_k - 1)$$

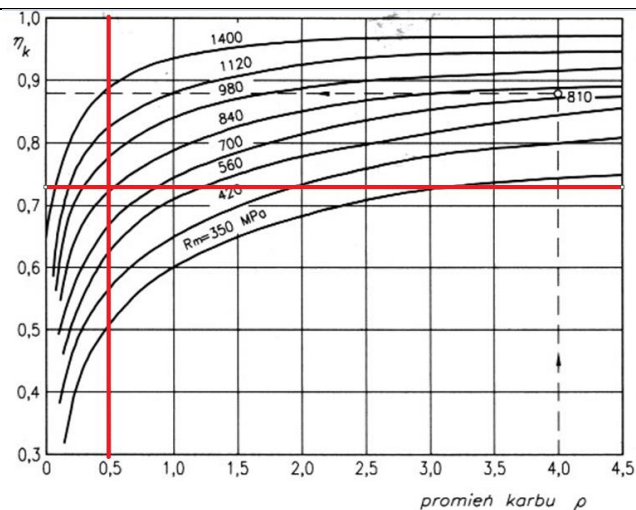
$M_s = 500 \text{ Nm}$
 $k_o = 136 \text{ MPa}$
 $P_1 = 5 \text{ kN}$
 $P_2 = 4 \text{ kN}$
 $h = 7 \text{ mm}$
 $b = 8 \text{ mm}$
 $\varphi = 0.75$
 $z = 6$

$R_m = 880 \text{ MPa}$
 $R_e = 740 \text{ MPa}$
 $Z_{go} = 370 \text{ MPa}$
 $R = 0$
 $\kappa = 1$

$$l_2 = 43,1 \text{ mm}$$

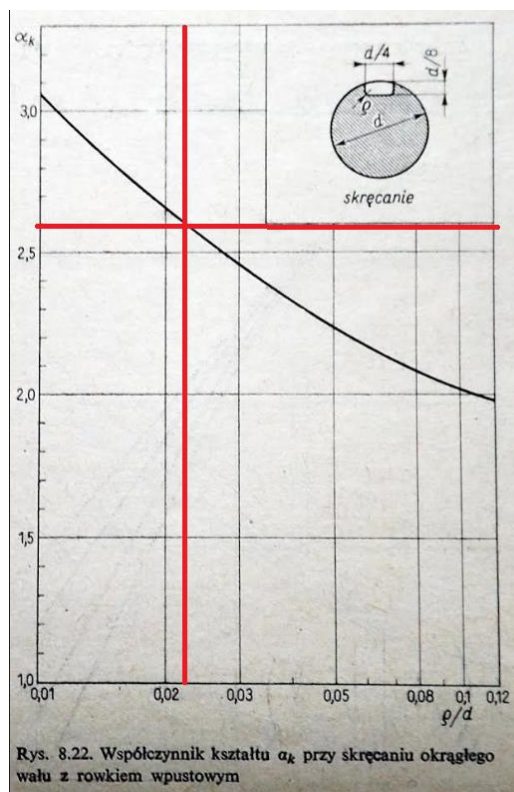
$$l_1 \geq 17,6 \text{ mm}$$

$$\sigma_a = 53,33 \text{ MPa}$$



Rys. 10.2.2. Wykres zależności promienia karbu od współczynnika wrażliwości materiału na działanie karbu dla materiałów o znanej wytrzymałości na rozciąganie

Przyjęto $\eta_k = 0,72$



Rys. 10.2.2. Współczynnik kształtu przy skręcaniu okrągłego wału z rowkiem wpustowym.

Przyjęto $\alpha_k = 2,6$

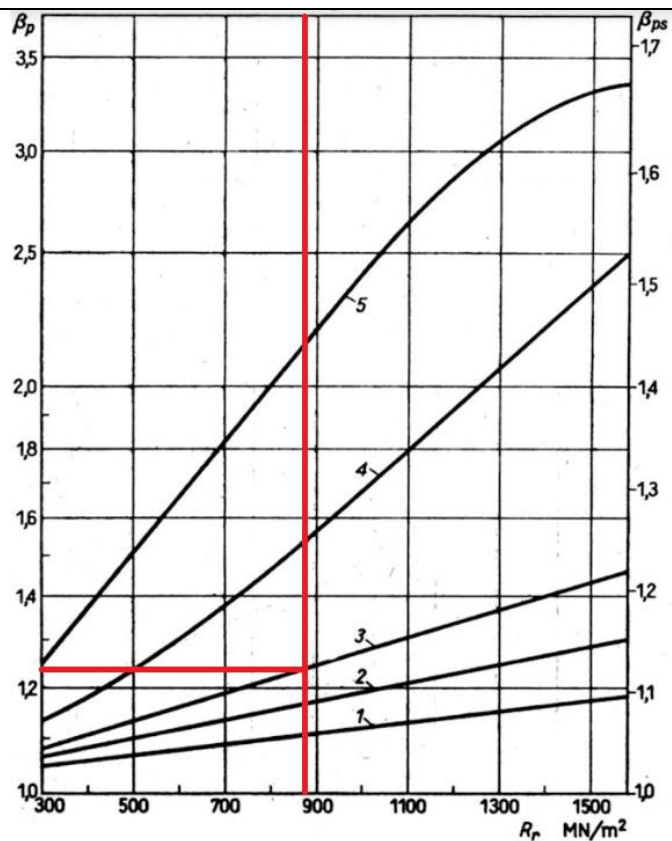
$$\beta_k = 1 + \eta_k(\alpha_k - 1) = 1 + 0,72 \cdot (2,6 - 1) = 2,15$$

$$\eta_k = 0,72$$

$$\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{20,9} = 0,024$$

$$\alpha_k = 2,6$$

$$\beta_k = 2,15$$

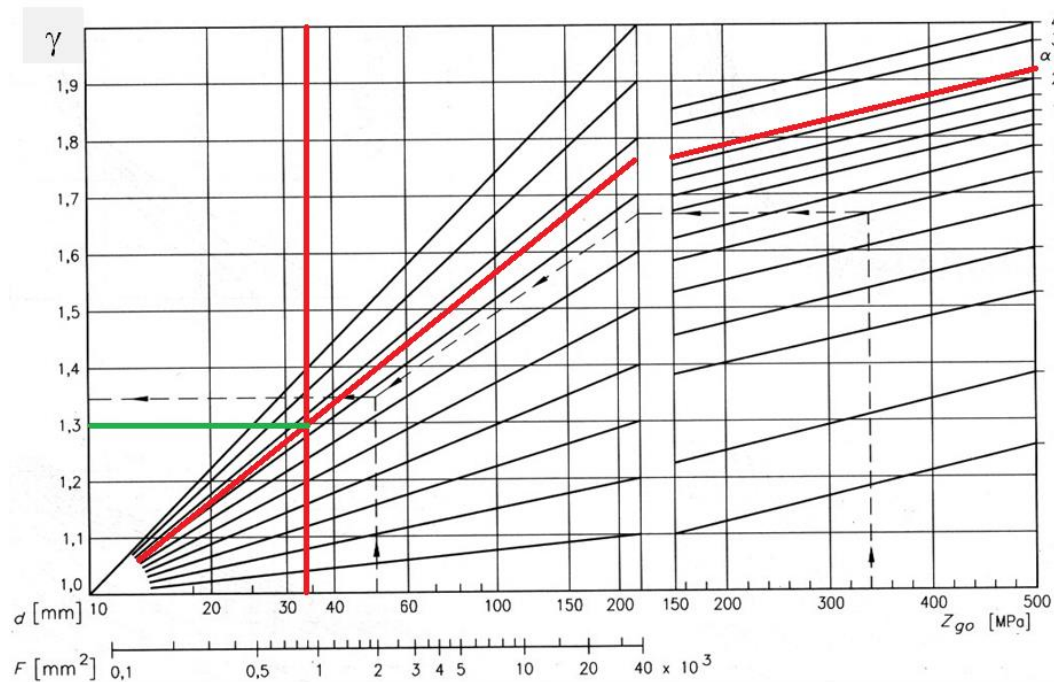


Rys 10.2.3. Współczynnik stanu powierzchni dla części rozciąganych
Przyjęto $\beta_p = 1,23$

$$\beta = \beta_p \cdot \beta_k = 2,15 \cdot 1,23 = 2,65$$

$$\beta_p = 1,23$$

$$\beta = 2,65$$



Rys 10.2.4. Współczynnik wielkości przedmiotu dla elementów stalowych
Przyjęto $\gamma = 1,36$

$$\gamma = 1,36$$

10.2.3. Obliczenia współczynnika bezpieczeństwa:

$$x_z = \frac{R_e}{\beta \gamma \sigma_a + \sigma_m} = \frac{740}{2,65 \cdot 1,36 \cdot 53,33 + 53,33} = 3,02 \geq x_{wym} = 1,73$$

Warunek $x_z \geq x_{wym}$ jest spełniony.

[1] <https://www.flt.krasnik.pl/baza-wiedzy/12-zasady-doboru-i-obliczania-trwalosci-lozysk-w-wezlach-lozyskowych>

[2] <https://pkm.edu.pl>

[3] Materiały udostępnione w ramach wykładów.