

## Projekt z Podstaw Konstrukcji Maszyn

### Temat: Podnośnik uniwersalny z mechanizmem śrubowym.

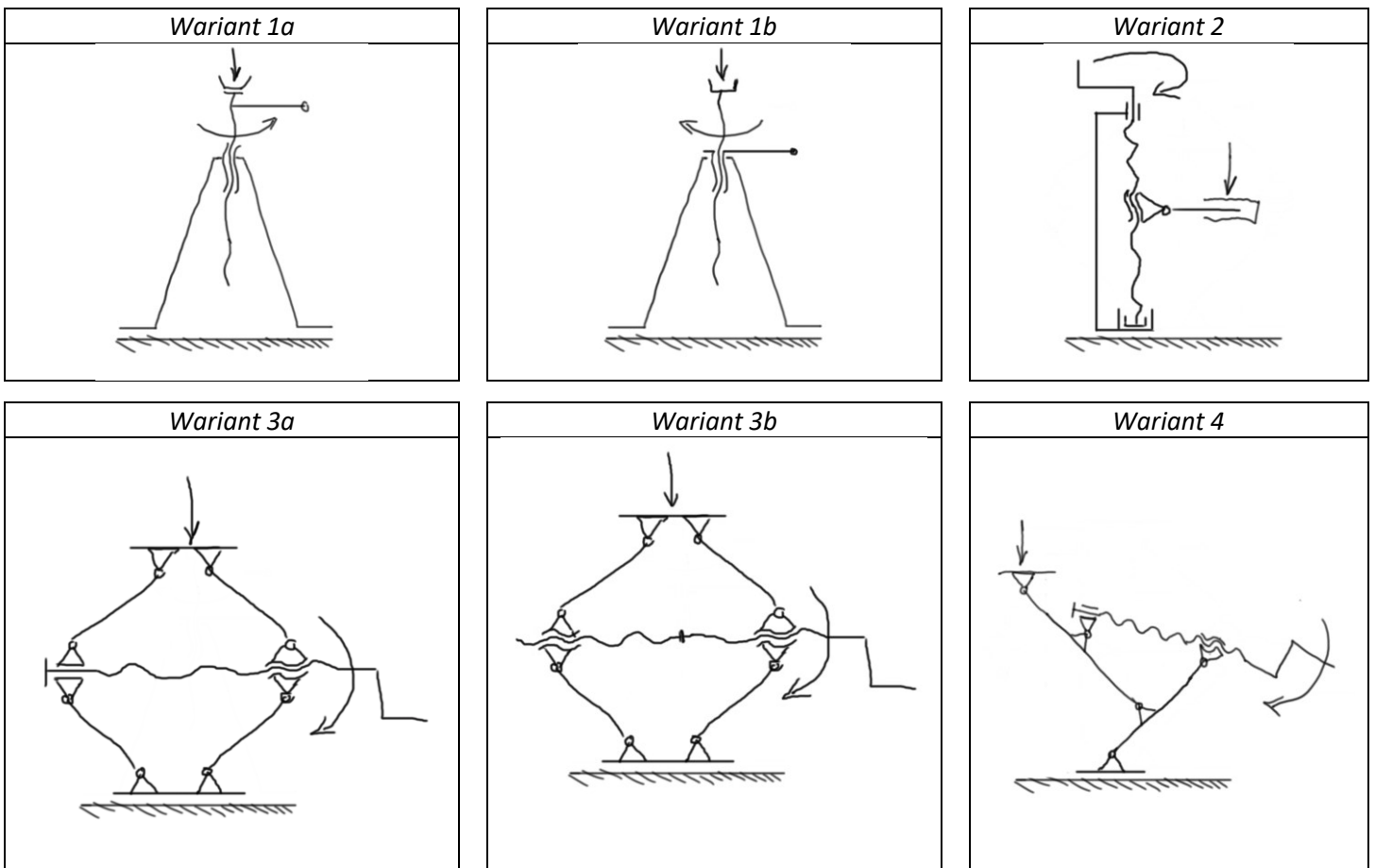
**Zadanie projektowe:** *(treść zadania projektowego otrzymana od prowadzącego)*

- Zaprojektować uniwersalny podnośnik warsztatowy
- Maksymalny ciężar podnoszony  $Q = 15000 \text{ N}$ ,
- Maksymalna wysokość podnoszenia  $\Delta h = 300 \text{ mm}$ ,

**Dodatkowe założenia:** *(założenia uzupełniające otrzymane od prowadzącego lub własne)*

- Produkcja jednostkowa,
- Obsługa jednoosobowa,
- Możliwość wykonania urządzenia z warsztacie bez odlewni (dostępna frezarka, tokarka, spawarka i narzędzia ślusarskie).

**Koncepcje:**



Rys. 1. Warianty konstrukcyjne

Wariant 1a — napęd poprzez obrót śruby,

Wariant 1b — napęd poprzez obrót nakrętki,

Wariant 2 — napęd poprzez obrót śruby, przeniesienie siły wymaga prowadnicy powiązanej z podnoszonym obiektem,

Wariant 3a — napęd poprzez obrót śruby, jedna nakrętka,

Wariant 3b — napęd poprzez obrót śruby, dwie nakrętki — śruba rzymska,

Wariant 4 — napęd poprzez obrót śruby.

**Kryteria wyboru:** *(przyjęte adekwatnie do zaproponowanych wariantów konstrukcyjnych i założeń projektowych)*

Kryterium 1 — koszt wytworzenia

Kryterium 2 — uniwersalność zastosowań

Kryterium 3 — wygoda użytkowania

Kryterium 4 — bezpieczeństwo obsługi

Kryterium 5 — masa

Kryterium 6 — wysokość początkowa

Kryterium 7 — rozmiar urządzenia złożonego (objętość przechowywania)

Kryterium 8 — ... (inne kryteria)

Wybór wariantu optymalnego *(wybór ma być wykonany przy wykorzystaniu jednej z metod optymalizacji wielokryterialnej opisanych w literaturze)*

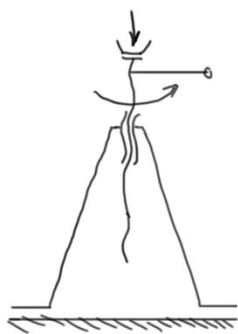
*(metoda wielokryterialnego wyboru wariantu optymalnego opisana jest w pliku umieszczonym na wydziałowej stronie www:*

[http://wm.umg.edu.pl/cwiczenia/PKM-projekt/PKM-projekt\\_wybor\\_koncepcji.pdf](http://wm.umg.edu.pl/cwiczenia/PKM-projekt/PKM-projekt_wybor_koncepcji.pdf)

*lub*

[http://wm.umg.edu.pl/cwiczenia/PKM-projekt/PKM\\_projekt\\_2\\_optimalizacja/index.html](http://wm.umg.edu.pl/cwiczenia/PKM-projekt/PKM_projekt_2_optimalizacja/index.html))

Do dalszych obliczeń wybrano wariant 1a:



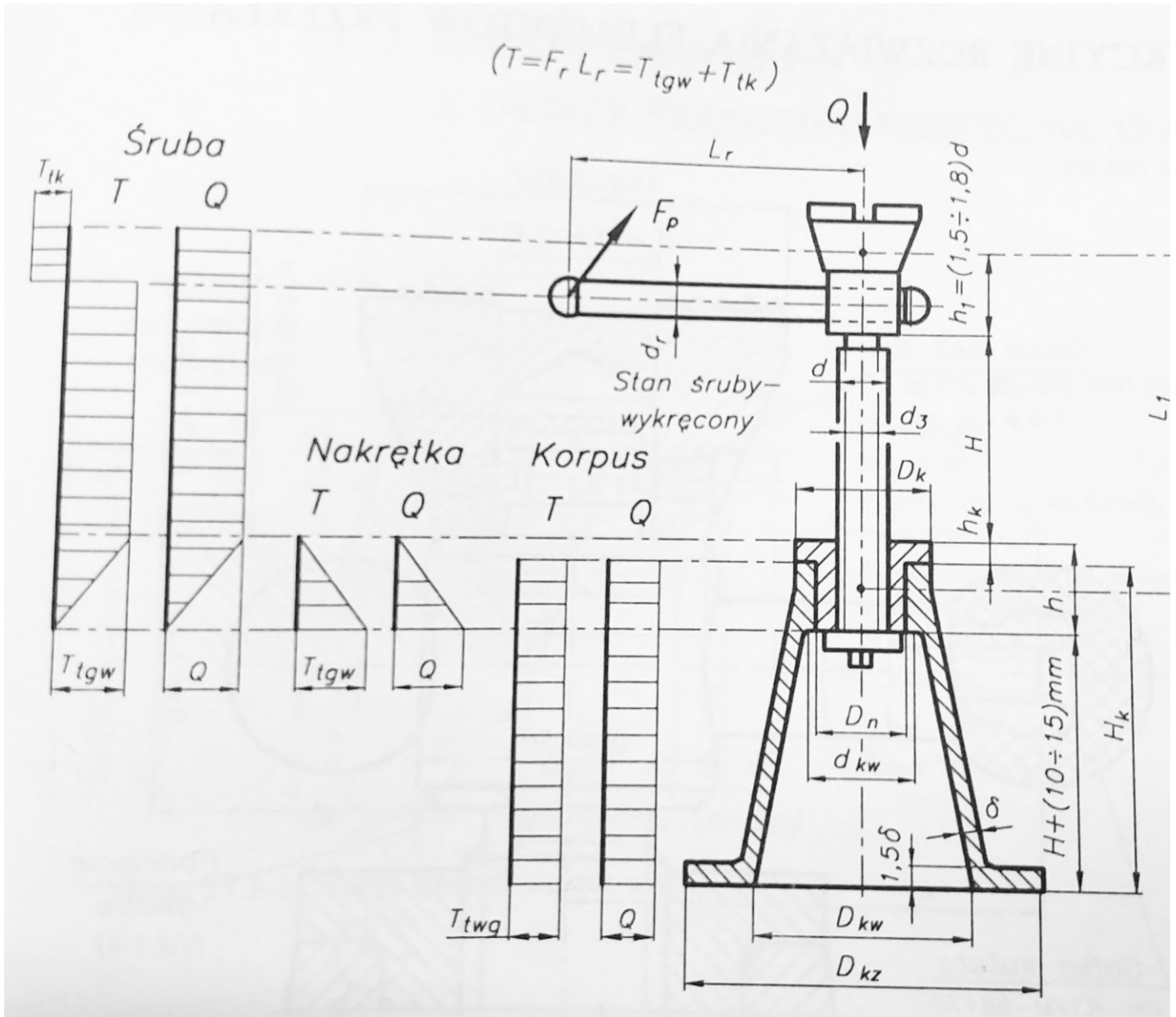
Rys. 2. Wybrana koncepcja

Opis konstrukcji: *(po dokonaniu wyboru dokonać szczegółowego opisu wybranego wariantu z uwzględnieniem planowanych do wykorzystania materiałów i przewidywanej technologii wytwarzania)*

Podstawa podnośnika będzie wykonana z rury grubościenniej z wstawianymi żebkami wzmocniającymi i usztywniającymi połączenie z płytą dolną. Wymienna nakrętka będzie oparta na rurze podstawy (będzie pracowała na ściskanie). Napęd będzie realizowany przez pokrętkę w formie pręta o przekroju kołowym zamocowane w główce śruby z możliwością przesuwania i wyjmowania.

Rozkład sił w podnośniku: *(przedstawić rozkład sił w urządzeniu — jak jest obciążony mechanizm śrubowy — jak przyjęta w założeniach projektowych siła Q przejmowana jest przez śrubę, nakrętkę i korpus urządzenia)*

Siła  $Q$  jest osiowo przekazywana na koronkę śruby. Następnie śruba przekazuje poprzez gwint siłę  $Q$  na nakrętkę a nakrętka na korpus podnośnika (Rys. 3.).



Rys. 3. Siły i momenty działające w podnośniku (śruba wykręcona - w czasie pracy) [

Moment napędowy  $T_{tgw}$  (siła ręki operatora  $F_p$  na ramieniu  $L_r$ ) jest przekazywany na śrubę następnie przejmowany jest przez nakrętkę która przekazuje go na korpus.

Po wyznaczeniu głównych obciążeń występujących w konstrukcji przystępujemy do obliczeń wytrzymałościowych.

| Dane  | Obliczenia  | Wyniki   |
|---|---|--|
| <p><math>Q = 15000 \text{ N}</math><br/><math>k_c = 165 \text{ MPa}</math></p> <p><math>S = 90,91 \text{ mm}^2</math></p> | <p>1. Wyliczenie siły działającej na śrubę mechanizmu napędowego podnośnika<br/><i>(w tym przypadku nie są konieczne dodatkowe obliczenia)</i><br/>Śruba napędowa będzie obciążona siłą ściskającą działającą osiowo o wartości równej podnoszonemu ciężarowi <math>Q = 15000 \text{ N}</math></p> <p>2. Z warunku wytrzymałościowego (ściskanie osiowe) dobieramy wstępnie śrubę <i>(na podstawie przekroju rdzenia śruby wyznaczonego z dopuszczalnych naprężeń ściskających)</i></p> $\sigma = \frac{Q}{S} \leq k_c \quad [\text{N/m}^2]$ <p>gdzie:<br/><math>\sigma</math> — naprężenia ściskające w przekroju <math>S</math> pod działaniem siły <math>Q</math>,<br/><math>S</math> — przekrój poprzeczny ściskanego pręta (przekrój rdzenia śruby),<br/><math>k_c</math> — dopuszczalne naprężenia przy ściskaniu jednokierunkowym stałym dla materiału śruby. <i>(załącznik 1)</i></p> <p>2.1. Przyjmujemy materiał na śrubę – stal konstrukcyjna zwykłej jakości S275 (dawne oznaczenie St5)<br/>Parametry wytrzymałościowe stali:<br/>Moduł Younga <math>E = 210 \text{ GPa}</math><br/>Granica wytrzymałości na rozciąganie <math>R_m = 490 \text{ MPa}</math><br/>Granica plastyczności <math>R_e = 275 \text{ MPa}</math><br/>Maksymalne naprężenia ściskające <math>k_c = k_r = (0,55-0,65) \cdot R_e \quad [1]</math><br/>Przyjmujemy <math>k_c = 0,6R_e = 0,6 \cdot 275 = 165 \text{ MPa}</math></p> <p>2.2. Wyznaczamy przekrój rdzenia śruby <math>S</math><br/>Po przekształceniu wzoru z punktu 2 uzyskujemy:</p> $S \geq \frac{Q}{k_c} \quad [\text{m}^2]$ <p>Po podstawieniu: <i>(we wzorach końcowych podstawiamy wartości liczbowe i podajemy wynik końcowy, ale nie podajemy wyników pośrednich obliczeń)</i></p> $S \geq \frac{15000 \text{ N}}{165 \text{ MPa}} \quad [\text{mm}^2]$ <p><math>S \geq 90,91 \text{ mm}^2</math> <i>(w wyniku końcowym podajemy jednostki)</i></p> <p>2.3. Wyliczamy średnicę <math>d_r</math> rdzenia śruby z przekroju rdzenia</p> $S = \frac{\pi \cdot d_r^2}{4}$ <p>po przekształceniu</p> $d_r = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} \quad [\text{mm}]$ <p>gdzie:<br/><math>d_r</math> — średnica rdzenia śruby [mm]<br/>po podstawieniu otrzymujemy:</p> $d_r = \sqrt{\frac{4 \cdot 90,91}{\pi}} \quad [\text{mm}]$ <p><math>d_r = 10,76 \text{ mm}</math></p> <p>2.4. Dobieramy znormalizowany gwint<br/>W podnośniku mechanizm śrubowy pracuje pod obciążeniem tylko</p> | <p><i>(w tej kolumnie wpisujemy wartości przyjęte i wyniki obliczeń)</i></p> <p><math>Q = 15000 \text{ N}</math></p> <p><math>k_c = 165 \text{ MPa}</math></p> <p><math>S = 90,91 \text{ mm}^2</math></p> <p><math>d_r = 10,76 \text{ mm}</math></p> |

w jednym kierunku więc warto zastosować gwint metryczny trapezowy niesymetryczny w celu uzyskania większej sprawności mechanizmu i dobrej samohamowności.  
Znormalizowany gwint pasujący do wyliczonej średnicy to S14x2  
(średnica rdzenia śruby  $d_3$  ma być większa lub równa wyliczonej  $d_1$ )

2.5. Wymiary przyjętego gwintu S14x2

$d = 14 \text{ mm}$  — średnica nominalna  
 $d_3 = 12,26 \text{ mm}$  — średnica rdzenia  
 $d_2 = 13,25 \text{ mm}$  — średnica podziałowa

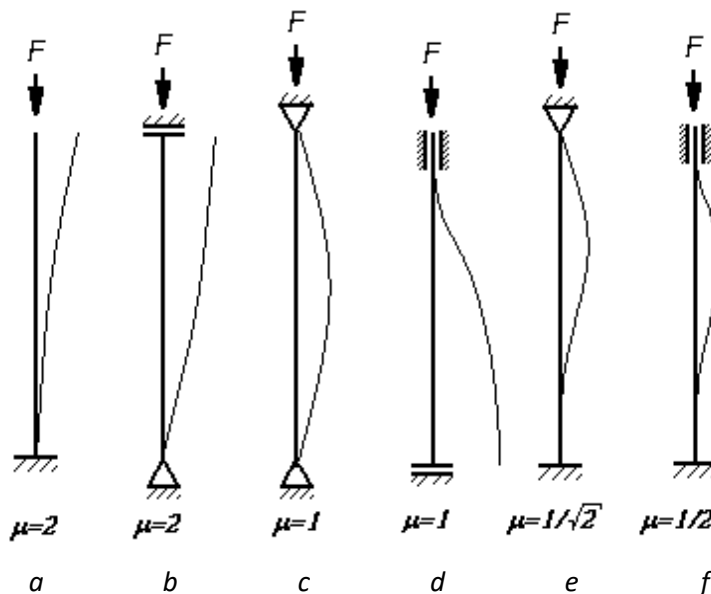
$d_3 = 12,26 \text{ mm}$

3. Sprawdzenie śruby z warunku wyboczeniowego.

Śruba będzie obciążona jak pręt ściskany osiowo, więc należy ją uznać za element wiotki (duża długość w stosunku do średnicy) i będzie narażona na wyboczenie.

3.1. Przyjęcie wyboczeniowego modelu obliczeniowego

W podnośniku tego typu można przyjąć, że śruba jest zamocowana na stałe w nakrętce unieruchomionej w podstawie podnośnika a górny koniec śruby jest swobodny. Przyjmujemy model obliczeniowy „a” dla którego  $\mu = 2$  (rys. 3.1)



$\mu = 2$

Rys. 3.1. Wyboczeniowe modele obliczeniowe.

3.2. Obliczamy smukłość pręta  $\lambda$

$\mu = 2$

$$\lambda = \frac{l_w}{i_{\min}} = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}} \quad (3.2)$$

gdzie:

$\lambda$  — smukłość elementu ściskanego

$l_w$  — długość wyboczeniowa

$i_{\min}$  — promień bezwładności przekroju poprzecznego elementu

$\mu$  — współczynnik zależny od sposobu mocowania elementu

$l$  — długość elementu ściskanego podlegająca wyboczeniu

3.2.1. Długość elementu ściskanego

$$l = \Delta h + l_g \quad (3.2.1)$$

gdzie:

$\Delta h$  — wysokość podnoszenia (podana w założeniach projektowych)

$l_g = 80 \text{ mm}$

|  |  |   |
|--|--|---|
| <p><math>\Delta h = 300 \text{ mm}</math></p> <p><math>d_3 = 12,26 \text{ mm}</math></p> <p><math>i_{min} = 3,07 \text{ mm}</math><br/> <math>l = 380 \text{ mm}</math><br/> <math>\mu = 2</math></p> <p><math>E = 210 \text{ GPa}</math><br/> <math>l = 380 \text{ mm}</math><br/> <math>\mu = 2</math></p> | <p><math>l_g</math> — wysokość „główki” śruby</p> <p>Przyjmujemy wstępnie <math>l_g = 80 \text{ mm}</math> (rys 3.2)</p> $l = 300 + 80 = 380 \text{ mm}$ <p>3.2.2. Promień bezwładności przekroju</p> <p>Dla przekroju kołowego pełnego</p> $i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{S}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot d^4}{64}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}} = \sqrt{\frac{d^2}{16}} = \frac{d}{4} \quad (3.2.2)$ <p>gdzie:</p> <p><math>I_{min}</math> — minimalny moment bezwładności przekroju (<math>I_{min} = \frac{\pi \cdot d^4}{64}</math>)<br/> <math>S</math> — pole przekroju<br/> <math>d</math> — średnica przekroju — dla śruby średnica <math>d = d_3</math></p> $i_{min} = \frac{d_3}{4} = \frac{12,26}{4} = 3,07$ <p>Podstawiając do wzoru z punktu 3.2</p> $\lambda = \frac{l_w}{i_{min}} = \frac{\mu \cdot l}{i_{min}} = \frac{2 \cdot 380}{3,07} = 247,56$ <p>W praktyce inżynierskiej dla materiałów metalowych przyjmuje się zazwyczaj, że jeżeli:</p> <p><math>\lambda &lt; 40</math> — elementu nie trzeba sprawdzać z warunku na wyboczenie,<br/> <math>40 &lt; \lambda &lt; \lambda_{kr}</math> — element może ulec wyboczeniu niesprężystemu,<br/> <math>\lambda \geq \lambda_{kr}</math> — element może ulec wyboczeniu sprężystemu.</p> <p>Dla wyrobów stalowych przyjmuje się wartość smukłości krytycznej (granicznej) <math>\lambda_{kr} = (95 - 105)</math>.</p> <p>(smukłość krytyczną oblicza się ze wzoru: <math>\lambda_{kr} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{R_H}}</math>, gdzie:<br/> <math>E</math> — moduł Younga materiału [MPa], <math>R_H</math> — granica stosowności prawa Hooke’a dla materiału [MPa]. Ponieważ nie zawsze mamy dostępną informację o wartości <math>R_H</math> zwykle dla stali przyjmuje się jak wyżej <math>\lambda_{kr}</math> z przedziału 95 — 105.)</p> <p>Dla obliczanej śruby smukłość, którą uzyskaliśmy przekracza smukłość krytyczną (<math>247,56 &gt; 105</math>), więc mamy przypadek wyboczenia sprężystego i korzystamy ze wzoru Eulera do wyliczenia siły krytycznej.</p> <p>(gdyby wartość uzyskanej smukłości była w przedziale 40 — 95 mielibyśmy przypadek wyboczenia niesprężystego i wówczas siłę krytyczną obliczalibyśmy ze wzoru Tetmajera-Jasińskiego: lub Johnsona-Ostenfelda:</p> <p>3.3. Wzór Eulera na siłę krytyczną <math>P_{kr}</math> przy której element ściskany nie ulegnie wyboczeniu sprężystemu:</p> $P_{kr} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I_{min}}{l_w} \quad (3.3.1)$ <p>Gdzie:<br/> <math>E</math> — moduł Younga materiału elementu ściskanego,<br/> <math>I_{min}</math> — minimalny moment bezwładności przekroju pręta,</p> | <p><math>l = 380 \text{ mm}</math></p> <p><math>i_{min} = 3,07 \text{ mm}</math></p> <p><math>\lambda = 247,56</math></p> <p><math>\lambda &gt; \lambda_{kr}</math></p> |
|--|--|---|

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p><math>P_{kr} = Q = 15000 \text{ N}</math></p> | <p><math>l_w</math> — długość wyboczeniowa (<math>l_w = \mu \cdot l</math>)</p> <p>Ze wzoru Eulera wyznaczamy średnicę rdzenia <math>d_{rk}</math> przy której śruba nie ulegnie wyboczeniu sprężystemu pod obciążeniem roboczym siłą <math>Q</math>. Z równania 3.3.1 wyznaczamy średnicę krytyczną (z momentu bezwładności przekroju <math>I_{min}</math>)</p> $d_{kr} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot P_{kr} \cdot l_w^2}{\pi^3 \cdot E}}$ <p>Siła krytyczna w naszym przypadku to maksymalna siła jaka obciąży śrubę <math>P_{kr} = Q</math>, długość wyboczeniowa <math>l_w = \mu \cdot l</math><br/>Po podstawieniu do wzoru uzyskujemy:</p> $d_{kr} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 15000 \text{ N} \cdot (2 \cdot 380 \text{ mm})^2}{\pi^3 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}}} = 17,08 \text{ mm}$ <p>Uzyskana wartość krytyczna średnicy rdzenia śruby z warunku wyboczeniowego jest większa od wartości przyjętej z warunku ściskania osiowego więc należy zmienić średnicę nominalną gwintu i przyjąć inny większy rozmiar gwintu.</p> <p>3.4. Dobieramy najbliższy pasujący gwint metryczny trapezowy niesymetryczny dla którego średnica rdzenia <math>d_3</math> jest większa od uzyskanej wartości krytycznej <math>d_{kr}</math> [1].</p> <p>Gwint S20x2<br/> <math>d = 20 \text{ mm}</math> — średnica nominalna<br/> <math>d_3 = 18,26 \text{ mm}</math> — średnica rdzenia (większa od <math>d_{kr}</math>)<br/> <math>d_2 = 19,25 \text{ mm}</math> — średnica podziałowa gwintu<br/> <math>p = 2 \text{ mm}</math> — skok gwintu</p> | <p><math>d_{kr} = 17,08 \text{ mm}</math></p> <p><math>d = 20 \text{ mm}</math><br/> <math>d_3 = 18,26 \text{ mm}</math><br/> <math>d_2 = 19,25 \text{ mm}</math><br/> <math>p = 2 \text{ mm}</math></p> |
|  | <p><i>Obliczenia sprawdzające wyboczenie można też przeprowadzić wyliczając wartość naprężeń krytycznych i porównując je z naprężeniami dopuszczalnymi, ale jeżeli będą przekroczone naprężenia dopuszczalne to będziemy musieli wyznaczyć wartość nowej średnicy</i></p> <p>4. Obliczamy nakrętkę śruby roboczej.</p> <p>4.1. Przyjmujemy materiał na nakrętkę<br/> W śrubach roboczych ważna jest sprawność mechanizmu oraz naprawialność (możliwość wymiany lub naprawy zużytego gwintu). W związku z tym nakrętka będzie wykonana jako oddzielny element mocowany w podstawie podnośnika (wymienna) i wykonana z brązu — materiału o dobrych właściwościach ślizgowych.<br/> Wybieramy brąz cynowo ołowiowy B1010 (CuSn10Pb10)<br/> Właściwości wytrzymałościowe brązu:<br/> <math>R_m = 180 - 220 \text{ MPa}</math>,<br/> <math>p_{dop} = 18 \text{ MPa}</math>, (naciski popuszczalne)<br/> <math>R_{0.2} = 80 - 140 \text{ MPa}</math><br/> <math>k_r = k_c = 65 \text{ MPa}</math></p> <p>4.2. Obliczamy minimalną wysokość nakrętki z nacisków powierzchniowych na gwincie:</p> $p = \frac{Q}{F} = \frac{Q}{\left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}\right) \cdot n} \leq p_{dop}$ <p>gdzie:</p>  | <p><math>R_m = 200 \text{ MPa}</math><br/> <math>p_{dop} = 18 \text{ MPa}</math><br/> <math>k_c = 65 \text{ MPa}</math></p>  |



$d = 20 \text{ mm}$   
 $D = 18,50 \text{ mm}$   
 $p_{dop} = 18 \text{ MPa}$

$P = 2 \text{ mm}$   
 $n = 5 \text{ zwojów}$

$d_2 = 19,25 \text{ mm}$   
 $\psi_H = 2$

$F$  — uśredniona powierzchnia nacisku śruby na nakrętkę (rzut powierzchni zarysu gwintu na płaszczyznę prostopadłą do osi śruby)  
 $d$  — średnica nominalna gwintu śruby,  
 $D_1$  — średnica otworu nakrętki,  
 $n$  — liczba zwojów nakrętki,  
 po przekształceniu wzoru otrzymujemy minimalną liczbę zwojów nakrętki:

$$n \geq \frac{Q}{\left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}\right) \cdot p_{dop}}$$

po podstawieniu:

$$n \geq \frac{15000 \text{ N}}{\left(\frac{\pi \cdot 20^2}{4} - \frac{\pi \cdot 18,50^2}{4}\right) \text{ mm}^2 \cdot 18 \text{ MPa}}$$

$n \geq 4,71$

Zalecana liczba zwojów (krotność) dla nakrętek wynosi  $n = 5$   
 Wysokość nakrętki z warunku nacisków powierzchniowych na powierzchni gwintu:

$$H_n = n \cdot P = 5 \cdot 2 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$$

gdzie:

$H_n$  — wysokość nakrętki

$P$  — skok gwintu (podziałka gwintu)

W mechanizmach śrubowych zalecane jest, aby ze względu na prowadzenie i stabilność śruby współczynnik wysokości nakrętki  $\psi_H$  wynosił:

Dla nakrętki rozciąganej  $\psi_H = 2,0 - 3,0$

Dla nakrętki ściskanej  $\psi_H = 1,2 - 2,5$

Współczynnik wysokości nakrętki oblicza się ze wzoru:

$$\psi_H = \frac{H_n}{d_2}$$

gdzie:

$d_2$  — średnica podziałowa gwintu

4.3. Sprawdzamy wysokość nakrętki przyjmując zalecany współczynnik wysokości nakrętki

Dla dobranego gwintu S20  $\rightarrow d_2 = 19,25 \text{ mm}$

Przyjmujemy  $\psi_H = 2$

Po przekształceniu:

$$H_n = \psi_H \cdot d_2 = 2 \cdot 19,25 \text{ mm} = 38,5 \text{ mm}$$

Wysokość nakrętki wyszła większa niż z nacisków powierzchniowych więc ze względu na stabilność śruby w nakrętce przyjmujemy wysokość nakrętki  $H_n = 38,5 \text{ mm}$

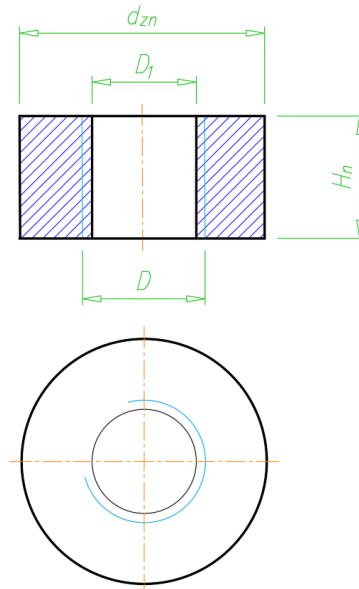
$n = 5 \text{ zwojów}$

$H_n = 10 \text{ mm}$

$\psi_H = 2$

$H_n = 38,5 \text{ mm}$





## 5. Sprawdzamy samohamowność gwintu

 5.1. Zastępczy kąt tarcia dla gwintu trapezowego niesymetrycznego  $\rho'$ 

$$\rho' = \arctg\left(\frac{\mu_T}{\cos(\alpha)}\right)$$

gdzie:

$\mu_T$  – współczynnik tarcia między materiałem śruby i nakrętki (dla pary stal-brąz  $\mu_T = (0,10 \div 0,12)$ , przyjmujemy najmniejszą wartość  
 $\alpha$  – kąt pochylenia oporowej powierzchni gwintu (kąt pochylenia profilu (dla gwintu trapezowego niesymetrycznego  $\alpha=30^\circ$  i  $\alpha=3^\circ$  – w kierunku obciążenia śruby podnośnika  $\alpha=3^\circ$ )

po podstawieniu:

$$\rho' = \arctg\left(\frac{0,1}{\cos(3^\circ)}\right) = 5,718^\circ$$

$$\mu_T = 0,10$$

$$\alpha = 3^\circ$$

$$\rho' = 5,718^\circ$$

 5.2. Kąt wzniosu linii zwoju (pochylenia zwoju) –  $\gamma$ 

$$\gamma = \arctg\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right)$$

gdzie:

$P$  – skok gwintu

$d_2$  – średnica podziałowa gwintu

$$\gamma = \arctg\left(\frac{2}{\pi \cdot 19,25}\right) = 1,895^\circ$$

$$\gamma = 1,895^\circ$$

Warunek samohamowności  $\gamma \leq \rho'$  jest spełniony.

## 6. Obliczamy moment tarcia na powierzchni gwintu w nakrętce

$$T_{gw} = 0,5 \cdot Q \cdot d_2 \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \rho')$$

po podstawieniu:

$$T_{gw} = 0,5 \cdot 15000 \cdot 19,25 \cdot \operatorname{tg}(1,895 + 5,718) = 19297 \text{ Nmm}$$

$$T_{gw} = 19297 \text{ Nmm}$$

## 7. Obliczamy pozostałe wymiary nakrętki

## 7.1. Zewnętrzną średnicę nakrętki

Nakrętka będzie ściskana lub rozciągana (zależnie od sposobu mocowania w podstawie podnośnika) — dobieramy przekrój  $S_{pn}$  (powierzchnię pierścienia materiału nakrętki) z warunku:

$$\sigma = \frac{Q}{S_{pn}} \leq k_c$$

Dla materiału nakrętki (brąz B1010)  $k_c = 65 \text{ MPa}$

Nakrętka będzie oparta na dolnej powierzchni więc obliczamy ją z warunku na ściskanie.

$$S_{pn} \geq \frac{Q}{k_c} = \frac{15000 \text{ N}}{65 \text{ MPa}} = 230,77 \text{ mm}^2$$

$$S_{pn} = \frac{\pi \cdot d_{zn}^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{zn}^2 - D^2)$$

Po przekształceniu i podstawieniu:

$$d_{zn} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi} - D^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 230,77}{\pi} + 20^2} = 26,34 \text{ mm}$$

Przyjmujemy średnicę zewnętrzną nakrętki  $d_{zn} = 27 \text{ mm}$

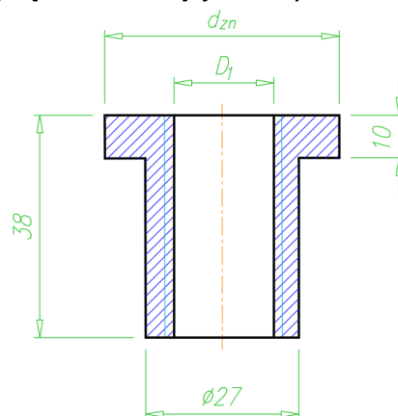
7.2. Sprawdzamy naciski powierzchniowe w podparciu nakrętki:

$$p = \frac{Q}{S_{pn}} \leq p_{dop}$$

$$p = \frac{15000}{\frac{\pi \cdot 27^2}{4}} = 26,2 \text{ MPa}$$

$$p > p_{dop}$$

Naprężenia są przekroczone w związku z tym zwiększamy średnicę zewnętrzną nakrętki. Aby nie zwiększać wymiarów Podstawy stosujemy nakrętkę o konstrukcji jak na rys. 7.2.



$d_{zn} = 27 \text{ mm}$

Rys. 7.2. Nakrętka podparto-wisząca ( $d_{zn}$  do sprawdzenia po przyjęciu średnicy rury podstawy)

7.3. Przyjmujemy mocowanie nakrętki

7.3.1. Wyliczamy moment tarcia nakrętki z korpusem na kołnierzu

$$T_n = 0,5 \cdot Q \cdot d_{skn} \cdot \mu_T$$

$$T_n = 0,5 \cdot 15000 \cdot 38 \cdot 0,1 = 28500 \text{ Nmm}$$

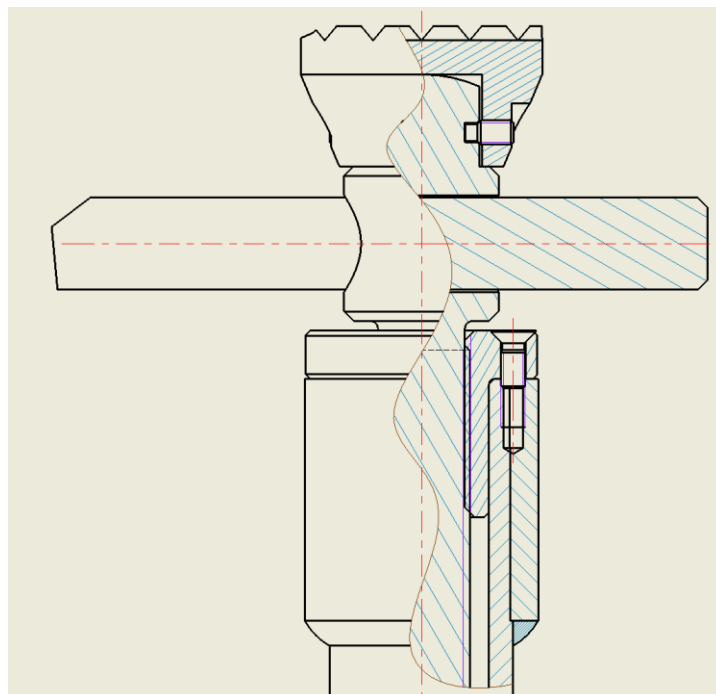
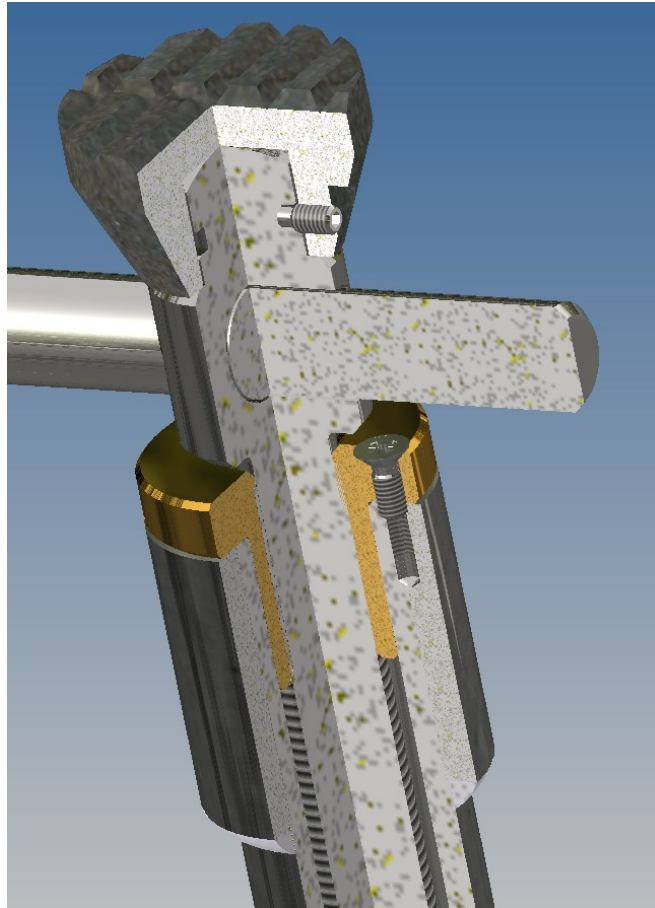
|  |  |  |
|--|--|--|
|  | <p>Gdzie:<br/> <math>d_{skn}</math> – średnia średnica podparcia na kołnierzu nakrętki</p> <p>7.3.2. Sprawdzamy czy nakrętka nie będzie się obracała w korpusie<br/> Moment tarcia na kołnierzu musi być większy niż w gwincie<br/> <math>T_n &gt; T_{gw}</math></p> <p>Warunek jest spełniony, w związku z tym nie jest konieczne dodatkowe mocowanie nakrętki (zastosowany będzie tylko wkręt zabezpieczający nakrętkę przed wypadnięciem z korpusu).</p>  |  |
|  | <p>8. Dobór rury na kolumnę podstawy</p> <p>8.1. Z katalogu wyrobów hutniczych (rury grubościenne bez szwu) wybrano rurę o średnicy zewnętrznej <math>d_{zr1} = 38</math> mm, grubość ścianki <math>g_1 = 5,6</math> mm (średnica wewnętrzna rury <math>D_{wr1} = 26,8</math> mm)<br/> Na nakładkę wzmacniającą i poszerzającą powierzchnię podparcia nakrętki wybrano rurę o wymiarach pozwalających wykonać obróbkę skrawaniem dopasowującą elementy do siebie. Średnica zewnętrzna <math>d_{zr2} = 48,3</math> mm, grubość ścianki <math>g_2 = 7,1</math> mm (średnica wewnętrzna rury <math>D_{wr2} = 34,1</math> mm)</p> <p>8.2. Wymiary przygotówek do spawania</p> <p>8.2.1. Rura podstawy</p> <p>8.2.2. Rura nakładki wzmacniającej</p>  |  |
|  | <p>9. Przyjęte wymiary nakrętki</p> <p>10. Obliczenia napędu</p> <p>Zastosowano napęd ręczny przy pomocy pokrętła przesuwnego przełożonego przez otwór w końcówce śruby</p> <p>10.1. Przyjęta siła ręki operatora <math>F_{ro}</math><br/> Zalecana wartość siły ręki operatora w przypadku czynności wykonywanej wielokrotnie to 200 N do 300 N<br/> Zastosowano <math>F_{ro} = 250</math> N</p> <p>10.2. Obliczenie długości pokrętła<br/> Moment obrotowy uzyskany przez operatora musi pokonać sumę momentów tarcia w podparciu główki podnośnika i momentu tarcia na powierzchni gwintu w nakrętce.</p> <p>10.3. Obliczenie średnicy pokrętła z warunku na zginanie<br/> Przyjmujemy model obliczeniowy belki zginanej jak na rysunku<br/> Na pokrętło zastosowano pręt o przekroju kołowym</p> |  |

10.3.1. Przyjmujemy materiał na pokrętło

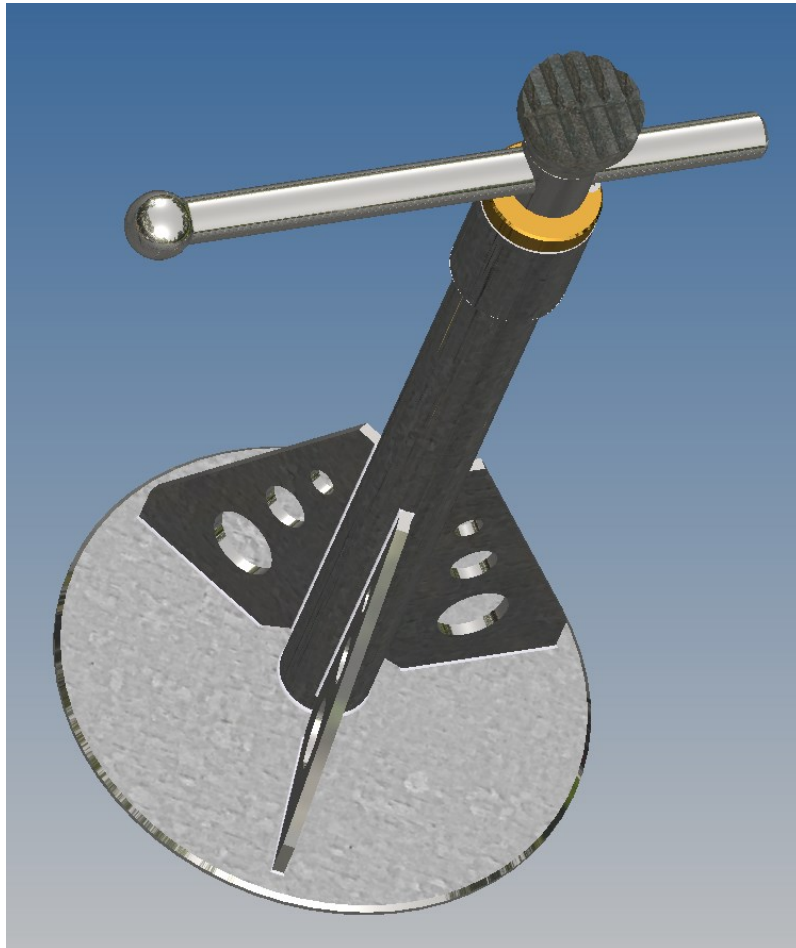
Stal

$k_g =$

11. Zmontowany mechanizm śrubowy



12. Podnośnik po zmontowaniu



**Spis literatury:**

1. Poradnik internetowy PKM, <https://pkm.edu.pl/>, dostęp 10.03.2022,
2. Kurmaz L. W., Kurmaz O. L., *Projektowanie węzłów i części maszyn – Poradnik*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2007,
3. Dobrzański T., *Rysunek techniczny maszynowy, wydanie dwudzieste szóste*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017,
4. *Wyroby hutnicze – rury grubościenne*, <https://www.rurystalowe.sk/zelpo/vyrobky.nsf/Tab1POL?OpenPage>, dostęp 10.03.2022

## Załącznik 1. Dopuszczalne naprężenia dla stali konstrukcyjnych (przybliżone określenie wartości)

|                                 |                               |            |                  |
|---------------------------------|-------------------------------|------------|------------------|
| <b>na ściskanie</b>             | <b>stałe</b>                  | $k_c =$    | $(0,55-0,65) Re$ |
|                                 | <b>jednostronnie tętniące</b> | $k_{cj} =$ | $(0,35-0,45) Re$ |
| <b>na skręcanie i ściskanie</b> | <b>stałe</b>                  | $k_s =$    | $(0,33-0,40) Re$ |
|                                 | <b>jednostronnie tętniące</b> | $k_{sj} =$ | $(0,21-0,27) Re$ |
|                                 | <b>obustronnie tętniące</b>   | $k_{so} =$ | $(0,12-0,21) Re$ |
| <b>na ścinanie</b>              | <b>stałe</b>                  | $k_t =$    | $(0,33-0,40) Re$ |
|                                 | <b>jednostronnie tętniące</b> | $k_{tj} =$ | $(0,21-0,27) Re$ |
|                                 | <b>obustronnie tętniące</b>   | $k_{to} =$ | $(0,12-0,21) Re$ |
| <b>na zginanie</b>              | <b>stałe</b>                  | $k_g =$    | $(0,55-0,65) Re$ |
|                                 | <b>jednostronnie tętniące</b> | $k_{gj} =$ | $(0,35-0,45) Re$ |
|                                 | <b>obustronnie tętniące</b>   | $k_{go} =$ | $(0,20-0,35) Re$ |
| <b>naciski powierzchniowe</b>   |                               | $k_d =$    | $0,5 Re$         |

**Oznaczenia w tabeli:**

$R_e$  – granica plastyczności w [MPa],



## Załącznik 2. Stale konstrukcyjne zwykłej jakości – właściwości wytrzymałościowe

| <b>Oznaczenie stali nowe</b> | <b>Oznaczenie stali stare</b> | <b><math>R_e</math></b> | <b><math>R_m</math></b> | <b>HB</b> | <b><math>A_5</math></b> | <b>C</b> |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------|----------|
| S185                         | St0                           | 185                     | 315                     |           | 20 – 23                 | 0,23     |
| S195                         | St2                           | 195                     | 335                     | 110       | 29 – 32                 | 0,15     |
| S215                         | St3                           | 215                     | 375                     | 120       | 23 – 26                 | 0,22     |
| S235                         | St4                           | 235                     | 410                     | 140       | 21 – 24                 | 0,25     |
| S275                         | St5                           | 275                     | 490                     | 160       | 17 – 20                 | 0,35     |
| S315                         | St6                           | 315                     | 590                     | 180       | 12 – 15                 | 0,45     |
| S345                         | St7                           | 345                     | 690                     | 200       | 9 – 10                  | 0,55     |

**Ocenia w tabeli:**

$R_e$  – granica plastyczności w [MPa],

$R_m$  – granica doraźnej wytrzymałości w [MPa],

HB – twardość według skali Brinella,

$A_5$  – wydłużenie względne próbki 5-ciokrotnej w [%],

C – zawartość węgla w [%].

Załącznik 3. Wymiary rur stalowych

Legenda:

- ciągnięte na zimno
- walcowane na gorąco
- normalne grubości ścian dla danej średnicy zewnętrznej wg normy DIN 2448
- średnica wg normy EN 10 210-2

| Średnica zewnętrzna [mm] | Grubość ściany [mm] |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      | D [mm] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                          | 0,5                 | 0,6   | 0,8   | 1,0   | 1,2   | 1,4   | 1,6   | 1,8   | 2,0   | 2,3   | 2,6   | 2,9   | 3,2   | 3,6   | 4,0  | 4,5  |        | 5,0  | 5,4  | 5,6  | 6,3  | 7,1  | 8,0  | 8,8  | 10,0 | 11,0 | 12,5 | 14,2 | 16,0  |
| 10,2                     | 0,120               | 0,142 | 0,185 | 0,227 | 0,266 | 0,304 | 0,339 | 0,373 | 0,404 | 0,448 | 0,487 |       |       |       |      |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 10,2  |
| 12,0                     | 0,142               | 0,169 | 0,221 | 0,271 | 0,320 | 0,366 | 0,410 | 0,453 | 0,493 | 0,550 | 0,603 | 0,651 | 0,694 |       |      |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 12,0  |
| 12,7                     | 0,150               | 0,179 | 0,235 | 0,289 | 0,340 | 0,390 | 0,438 | 0,484 | 0,528 | 0,590 | 0,648 | 0,701 | 0,750 |       |      |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 12,7  |
| 13,5                     | 0,160               | 0,191 | 0,251 | 0,308 | 0,364 | 0,418 | 0,470 | 0,519 | 0,567 | 0,635 | 0,699 | 0,758 | 0,813 | 0,879 |      |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 13,5  |
| 14,0                     | 0,166               | 0,198 | 0,260 | 0,321 | 0,379 | 0,435 | 0,489 | 0,542 | 0,592 | 0,664 | 0,731 | 0,794 | 0,852 | 0,923 |      |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 14,0  |
| 16,0                     | 0,191               | 0,228 | 0,300 | 0,370 | 0,438 | 0,504 | 0,568 | 0,630 | 0,691 | 0,777 | 0,859 | 0,937 | 1,01  | 1,10  | 1,18 |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 16,0  |
| 17,2                     | 0,206               | 0,246 | 0,324 | 0,400 | 0,474 | 0,546 | 0,616 | 0,684 | 0,750 | 0,845 | 0,936 | 1,02  | 1,10  | 1,21  | 1,30 | 1,41 |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 17,2  |
| 18,0                     | 0,216               | 0,257 | 0,339 | 0,419 | 0,497 | 0,573 | 0,647 | 0,719 | 0,789 | 0,891 | 0,987 | 1,08  | 1,17  | 1,28  | 1,38 | 1,50 |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 18,0  |
| 19,0                     | 0,228               | 0,272 | 0,359 | 0,444 | 0,527 | 0,608 | 0,687 | 0,764 | 0,838 | 0,947 | 1,05  | 1,15  | 1,25  | 1,37  | 1,48 | 1,61 | 1,73   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 19,0  |
| 20,0                     | 0,240               | 0,287 | 0,379 | 0,469 | 0,556 | 0,642 | 0,726 | 0,808 | 0,888 | 1,00  | 1,12  | 1,22  | 1,33  | 1,46  | 1,58 | 1,72 | 1,85   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 20,0  |
| 21,3                     | 0,256               | 0,306 | 0,404 | 0,501 | 0,595 | 0,687 | 0,777 | 0,866 | 0,952 | 1,08  | 1,20  | 1,32  | 1,43  | 1,57  | 1,71 | 1,86 | 2,01   | 2,12 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 21,3  |
| 22,0                     | 0,265               | 0,317 | 0,418 | 0,518 | 0,616 | 0,711 | 0,805 | 0,897 | 0,986 | 1,12  | 1,24  | 1,37  | 1,48  | 1,63  | 1,78 | 1,94 | 2,10   | 2,21 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 22,0  |
| 25,0                     | 0,361               | 0,477 | 0,592 | 0,704 | 0,815 | 0,923 | 1,03  | 1,13  | 1,29  | 1,44  | 1,58  | 1,72  | 1,90  | 2,07  | 2,28 | 2,47 | 2,61   | 2,68 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 25,0  |
| 25,4                     |                     | 0,485 | 0,602 | 0,716 | 0,829 | 0,939 | 1,05  | 1,15  | 1,31  | 1,46  | 1,61  | 1,75  | 1,94  | 2,11  | 2,32 | 2,52 | 2,66   | 2,73 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 25,4  |
| 26,9                     |                     | 0,515 | 0,639 | 0,761 | 0,880 | 0,998 | 1,11  | 1,23  | 1,40  | 1,56  | 1,72  | 1,87  | 2,07  | 2,26  | 2,49 | 2,70 | 2,86   | 2,94 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 26,9  |
| 30,0                     |                     | 0,576 | 0,715 | 0,852 | 0,987 | 1,12  | 1,25  | 1,38  | 1,57  | 1,76  | 1,94  | 2,11  | 2,34  | 2,56  | 2,83 | 3,08 | 3,28   | 3,37 | 3,68 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 30,0  |
| 31,8                     |                     | 0,760 | 0,906 | 1,05  | 1,19  | 1,33  | 1,47  | 1,67  | 1,87  | 2,07  | 2,26  | 2,50  | 2,74  | 3,03  | 3,30 | 3,52 | 3,62   | 3,96 | 4,33 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 31,8  |
| 32,0                     |                     | 0,765 | 0,911 | 1,06  | 1,20  | 1,34  | 1,48  | 1,68  | 1,89  | 2,08  | 2,27  | 2,52  | 2,76  | 3,05  | 3,33 | 3,54 | 3,65   | 3,99 | 4,36 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 32,0  |
| 33,7                     |                     | 0,806 | 0,962 | 1,12  | 1,27  | 1,42  | 1,56  | 1,78  | 1,99  | 2,20  | 2,41  | 2,67  | 2,93  | 3,24  | 3,54 | 3,77 | 3,88   | 4,26 | 4,66 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 33,7  |
| 35,0                     |                     | 0,838 | 1,00  | 1,16  | 1,32  | 1,47  | 1,63  | 1,85  | 2,08  | 2,30  | 2,51  | 2,79  | 3,06  | 3,38  | 3,70 | 3,94 | 4,06   | 4,46 | 4,89 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 35,0  |
| 38,0                     |                     | 0,912 | 1,09  | 1,26  | 1,44  | 1,61  | 1,78  | 2,02  | 2,27  | 2,51  | 2,75  | 3,05  | 3,35  | 3,72  | 4,07 | 4,34 | 4,47   | 4,93 | 5,41 | 5,92 |      |      |      |      |      |      |      |      | 38,0  |
| 40,0                     |                     | 0,962 | 1,15  | 1,33  | 1,52  | 1,70  | 1,87  | 2,14  | 2,40  | 2,65  | 2,90  | 3,23  | 3,55  | 3,94  | 4,32 | 4,61 | 4,75   | 5,24 | 5,76 | 6,31 |      |      |      |      |      |      |      |      | 40,0  |
| 42,4                     |                     |       | 1,61  | 1,80  | 1,99  | 2,27  | 2,55  | 2,82  | 3,09  | 3,44  | 3,79  | 4,21  | 4,61  | 4,93  | 5,08 | 5,61 | 6,18   | 6,79 | 7,29 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 42,4  |
| 44,5                     |                     |       | 1,69  | 1,90  | 2,10  | 2,39  | 2,69  | 2,98  | 3,26  | 3,63  | 4,00  | 4,44  | 4,87  | 5,21  | 5,37 | 5,94 | 6,55   | 7,20 | 7,75 | 8,51 |      |      |      |      |      |      |      |      | 44,5  |
| 48,3                     |                     |       | 1,84  | 2,06  | 2,28  | 2,61  | 2,93  | 3,25  | 3,56  | 3,97  | 4,37  | 4,86  | 5,34  | 5,71  | 5,90 | 6,53 | 7,21   | 7,95 | 8,57 | 9,45 |      |      |      |      |      |      |      |      | 48,3  |
| 51,0                     |                     |       | 1,95  | 2,18  | 2,42  | 2,76  | 3,10  | 3,44  | 3,77  | 4,21  | 4,64  | 5,16  | 5,67  | 6,07  | 6,27 | 6,94 | 7,69   | 8,48 | 9,16 | 10,1 |      |      |      |      |      |      |      |      | 51,0  |
| 54,0                     |                     |       | 2,07  | 2,32  | 2,56  | 2,93  | 3,30  | 3,65  | 4,01  | 4,47  | 4,93  | 5,49  | 6,04  | 6,47  | 6,68 | 7,41 | 8,21   | 9,08 | 9,81 | 10,9 |      |      |      |      |      |      |      |      | 54,0  |
| 57,0                     |                     |       | 2,19  | 2,45  | 2,71  | 3,10  | 3,49  | 3,87  | 4,25  | 4,74  | 5,23  | 5,83  | 6,41  | 6,87  | 7,10 | 7,88 | 8,74   | 9,67 | 10,5 | 11,6 | 12,5 | 13,7 |      |      |      |      |      |      | 57,0  |
| 60,3                     |                     |       | 2,32  | 2,60  | 2,88  | 3,29  | 3,70  | 4,11  | 4,51  | 5,03  | 5,55  | 6,19  | 6,82  | 7,31  | 7,55 | 8,39 | 9,32   | 10,3 | 11,2 | 12,4 | 13,4 | 14,7 |      |      |      |      |      |      | 60,3  |
| 63,5                     |                     |       | 2,44  | 2,74  | 3,03  | 3,47  | 3,90  | 4,33  | 4,76  | 5,32  | 5,87  | 6,55  | 7,21  | 7,74  | 8,00 | 8,89 | 9,88   | 11,0 | 11,9 | 13,2 | 14,2 | 15,7 |      |      |      |      |      |      | 63,5  |
| 70,0                     |                     |       | 2,70  | 3,03  | 3,35  | 3,84  | 4,32  | 4,80  | 5,27  | 5,90  | 6,51  | 7,27  | 8,01  | 8,60  | 8,89 | 9,90 | 11,0   | 12,2 | 13,3 | 14,8 | 16,0 | 17,7 | 19,3 |      |      |      |      |      | 70,0  |
| 73,0                     |                     |       | 2,82  | 3,16  | 3,50  | 4,01  | 4,51  | 5,01  | 5,51  | 6,16  | 6,81  | 7,60  | 8,38  | 9,00  | 9,31 | 10,4 | 11,5   | 12,8 | 13,9 | 15,5 | 16,8 | 18,7 | 20,4 |      |      |      |      |      | 73,0  |
| 76,1                     |                     |       | 2,94  | 3,30  | 3,65  | 4,19  | 4,71  | 5,24  | 5,75  | 6,44  | 7,11  | 7,95  | 8,77  | 9,42  | 9,74 | 10,8 | 12,1   | 13,4 | 14,6 | 16,3 | 17,7 | 19,6 | 21,4 | 23,7 |      |      |      |      | 76,1  |
| 82,5                     |                     |       | 3,97  | 4,55  | 5,12  | 5,69  | 6,26  | 7,00  | 7,74  | 8,66  | 9,56  | 10,3  | 10,6  | 11,8  | 13,2 | 14,7 | 16,0   | 17,9 | 19,4 | 21,6 | 23,7 | 26,2 | 28,7 | 31,6 |      |      |      |      | 82,5  |
| 88,9                     |                     |       | 4,29  | 4,91  | 5,53  | 6,15  | 6,76  | 7,57  | 8,38  | 9,37  | 10,3  | 11,1  | 11,5  | 12,8  | 14,3 | 16,0 | 17,4   | 19,5 | 21,1 | 23,6 | 25,9 | 28,8 | 31,9 | 35,4 |      |      |      |      | 88,9  |
| 101,6                    |                     |       | 4,91  | 5,63  | 6,35  | 7,06  | 7,77  | 8,70  | 9,63  | 10,8  | 11,9  | 12,8  | 13,3  | 14,8  | 16,5 | 18,5 | 20,1   | 22,6 | 24,6 | 27,5 | 30,2 | 33,8 | 37,6 | 41,6 |      |      |      |      | 101,6 |
| 108,0                    |                     |       | 5,23  | 6,00  | 6,76  | 7,52  | 8,27  | 9,27  | 10,3  | 11,5  | 12,7  | 13,7  | 14,1  | 15,8  | 17,7 | 19,7 | 21,5   | 24,2 | 26,3 | 29,4 | 32,6 | 36,3 | 40,2 | 44,4 |      |      |      |      | 108,0 |
| 114,3                    |                     |       |       |       |       | 7,16  | 7,97  | 8,77  | 9,83  | 10,9  | 12,2  | 13,5  | 14,5  | 15,0  | 16,8 | 18,8 | 21,0   | 22,9 | 25,7 | 28,0 | 31,4 | 34,6 | 38,8 | 43,2 |      |      |      |      | 114,3 |
| 121,0                    |                     |       |       |       |       | 7,6   | 8,5   | 9,3   | 10,4  | 11,5  | 12,9  | 14,3  | 15,4  | 15,9  | 17,8 | 19,9 | 22,3   | 24,4 | 27,4 | 29,8 | 33,4 | 36,9 | 41,4 | 46,1 |      |      |      |      | 121,0 |
| 127,0                    |                     |       |       |       |       |       |       |       |       | 12,1  | 13,6  | 15,0  | 16,2  | 16,8  | 18,8 | 21,0 | 23,5   | 25,7 | 28,9 | 31,5 | 35,3 | 39,0 | 43,8 | 48,8 |      |      |      |      | 127,0 |
| 133,0                    |                     |       |       |       |       |       |       |       |       | 12,7  | 14,3  | 15,8  | 17,0  | 17,6  | 19,7 | 22,0 | 24,7   | 27,0 | 30,3 | 33,1 | 37,1 | 41,1 | 46,2 | 51,5 |      |      |      |      | 133,0 |
| 139,7                    |                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 17,9 | 18,5 | 20,7   | 23,2 | 26,0 | 28,4 | 32,0 | 34,9 | 39,2 | 43,4 | 48,2 |      |      |      | 139,7 |

