

Projektowanie z mechaniki płynów

Józef Kaczmarek

Projektowanie z mechaniki płynów

Włocławek 2019

REDAKCJA WYDAWNICTWA
PAŃSTWOWEJ WYŻSZEJ SZKOŁY ZAWODOWEJ
WE WŁOCŁAWKU

Projektowanie z mechaniki płynów

RECENZENT

dr inż. Konrad Cichocki
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Włocławku

© Copyright by Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Włocławku
Włocławek 2019

ISBN 978-83-60607-88-6

Skład
„Grafika Słowa” Beata Kostrzewska

Druk i oprawa:

exDruk

EXDRUK Spółka Cywilna
Wojciech Żuchowski Adam Filipiak
ul. Rysia 6, 87-800 Włocławek
tel. 501 335 617, 507 832 458
biuroexdruk@gmail.com

Spis treści

Rozdział 1. Ciśnienie hydrostatyczne	9
Rozdział 2. Właściwości cieczy hydraulicznych	23
Rozdział 3. Hydrostatyczne działanie cieczy	38
Rozdział 4. Przepływy płynów, równanie Bernoullego, straty przepływów	58
Rozdział 5. Przepływy cieczy przez szczeliny, wypływy cieczy	73
Rozdział 6. Ruch cieczy w korytach otwartych	85
Literatura	97

Od autora

Niniejszy skrypt zawiera zbiór trzydziestu jeden przykładowych zadań projektowych z nowo wprowadzonego, w roku akademickim 2018/2019 na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej we Włocławku, przedmiotu „Projektowanie z mechanika płynów”. Dotychczas podobny przedmiot realizowany był w formie, mało praktycznych, ćwiczeń audytoryjnych. Materiał przedstawiony w skrypcie obejmuje 15-to godzinny program ćwiczeń projektowych przewidziany programem kształcenia, który jest szczegółowo zawarty w Opisie Przedmiotu przyporządkowanemu przedmiotowi „Mechanika płynów”. Materiał zawarty w skrypcie pokrywa w dużej części praktyczne, dające się przedstawić w formie projektowej, zagadnienia omawiane przez autora na wykładzie z tego przedmiotu. Rozwiązanie każdego zadania projektowego kończy rysunek bardzo zbliżony do wykonawczego danego urządzenia. W oryginale rysunki te wykonane są na formacie A4 i temu formatowi przyporządkowane są zamieszczone na nich podziały. W większości zadań dokonano doboru materiałów z których mogą być wykonane projektowane urządzenia według aktualnych norm z jednocześnie podaniem w nawiasach dawniejszych norm. Ze względu na działania wody lub wilgotnego powietrza materiały te są bardzo odporne na korozję. W tekście skryptu, przy analizie zależności matematycznych, używane jest niekiedy sformułowanie *kompilacja* w oczywistym znaczeniu łącznie, *zestawianie*.

Źródłem treści zadań przedstawionych w skrypcie były odpowiednio dobrane, opracowane i rozwiązane przez autora na zajęciach „Projektowanie z mechaniki płynów” zadania przykładowe wraz ze szkicami projektowanych urządzeń, na podstawie których studenci wykonywali projekty. Te właśnie, najlepiej wykonane projekty studentów, po gruntownej ich poprawie i dostosowaniu przez autora, do potrzeb wydawniczych stanowią treść zadań skryptowych. Rysunki w zadaniach, z wieloma poprawkami wniesionymi przez autora, są wykonane przez studentów przy pomocy dostępnego na Uczelni programu komputerowego AutoCAD. Dlatego też, na tych rysunkach uwzględniono nazwiska studentów jako projektujących i rysujących. Odrębnie zatem bardzo dziękuję następującym studentom II roku naboru 2017/2018 PWSZ we Włocławku: Radosławowi Domowiczowi, Jakubowi Gortychowi, Krzysztofowi Kurkowi, Dawidowi Pogodzińskiemu i Wojciechowi Santysiakowi za pomoc w powstaniu tego skryptu.

Przewiduje się, iż skrypt ten będzie stanowił znaczne ułatwienie w realizacji przedmiotowych zajęć, a przez to osiągnięciu przez studentów w najwyższym stopniu wszystkich, a zwłaszcza umiejętnościowych, efektów uczenia się.

Pomimo, iż niniejszy skrypt dedykowany jest studentom PWSZ we Włocławku, mogą z niego korzystać studenci innych uczelni tego rodzaju o podobnych programach kształcenia.

ROZDZIAŁ 1

Ciśnienie statyczne i hydrostatyczne płynów

Zadanie projektowe nr 1.1.

Zaprojektować manometr rtęciowy otwarty do pomiaru ciśnienia powietrza znajdującego się nad wodą w zbiorniku zamkniętym. Maksymalna wartość ciśnienia p_{max} , wysokość zbiornika $H = 3$ m, a jego średnica $D = 0,5$ m. Woda zajmuje wysokość $h_w \approx 0,6 H$. Obliczyć również wartość 2 mm działki elementarnej. Sporządzić rysunek układu.

Dane: $p_{max} = 1640$ hPa; $\rho_r = 13500$ kg/m³; $\rho_w = 1000$ kg/m³.

Wskazówka: W rozwiązaniu zadania projektowego wskazane jest założenie $h = (0,3 \div 0,5)z$.

gdzie:

h – różnica poziomu rtęci w manometrze,

z – różnica poziomów wody w zbiorniku i manometrze.

Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru na ciśnienie hydrostatyczne [1, 2, 3, 5]:

$$p_h = \rho gh$$

Ciśnienie na poziomie rozdziału cieczy w punktach A (punkt w zbiorniku) i B (punkt w manometrze) jest takie samo, stąd mamy zależność:

$$p_A = p_B$$

Ciśnienie wewnątrz wody w zamkniętym zbiorniku z gazem nad wodą na poziomie A i w otwartym manometrze rtęciowym na poziomie B , określają wzory:

$$p_A = p + \rho_w g z$$

$$p_B = p_a + \rho_r g h$$

gdzie: p_a – ciśnienie atmosferyczne (zakładamy $p_a = 1013 \text{ hPa}$).

Zestawiając ze sobą powyższe wzory otrzymujemy:

$$p + \rho_w g z = p_a + \rho_r g h$$

Wykorzystując wskazówkę $h = 0,4z$ i przekształcając otrzymamy:

$$\rho_r \cdot g \cdot 0,4z - \rho_w \cdot g \cdot z = p - p_a$$

a po następnym przekształceniu otrzymujemy zależność:

$$z = (p - p_a) / [(0,4\rho_r - \rho_w) g]$$

Podstawiamy dane do tej zależności i obliczamy wartość z :

$$z = \frac{1640 \text{ hPa} - 1013 \text{ hPa}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (0,4 \cdot 13500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})} = \frac{627 \text{ hPa}}{44000 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \text{m}^3}} = \frac{62700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}^2}}{44000 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \text{m}^3}} = 1,425 \text{ m}$$

Korzystamy ponownie ze wskazówki do zadania $h = 0,4z$ i obliczamy wartość h :

$$h = 0,4 \cdot z = 0,4 \cdot 1,425 \text{ m} = 0,57 \text{ m} = 570 \text{ mm}$$

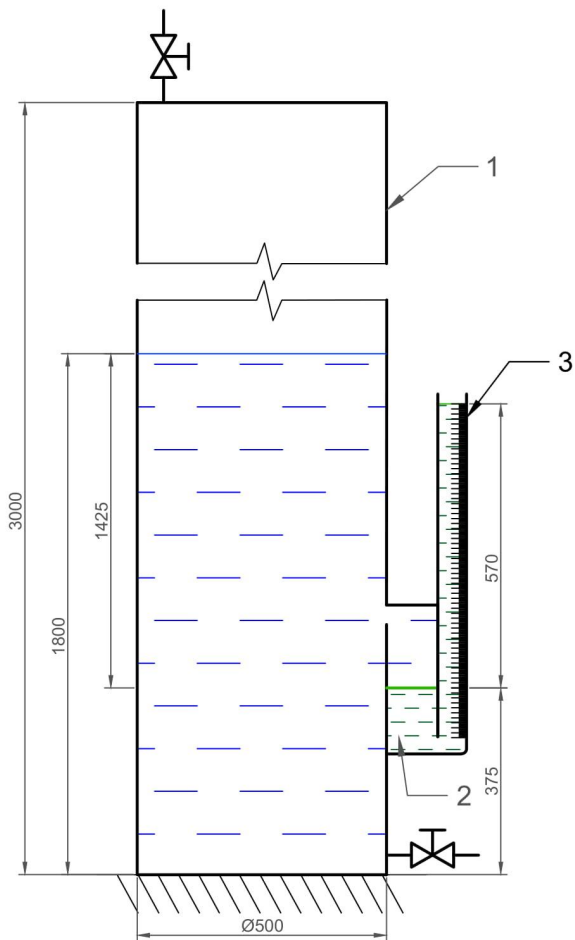
Obliczamy wartość jednej działki elementarnej (2mm) :

$$\text{wartość działki elementarnej}(1\text{mm}) = \frac{p_{\max}}{h} = \frac{1640 \text{ hPa}}{570 \text{ mm}} = 2,88 \text{ hPa/mm}$$

Wartość działki elementarnej (2mm) = $2 \cdot 2,88 \text{ hPa} / 2 \text{ mm} = 5,76 \text{ hPa} / 2 \text{ mm}$

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na zbiornik główny i zbiornik manometru dobrano – stal kwasoodporną o oznaczeniu
1.4301 wg EN 10088 (0H18N9 wg PN),
 - na rurkę manometru dobrano – szkło.



Uwagi:

- Element 1 i 2 spawać spoiną o grubości blachy
- Element 2 i 3 kleić klejem distal siwy

3	Rurka manometru	1	Szkló	grubość 3 mm
2	Zbiornik manometru	1	1.4301	grubość 5 mm
1	Zbiornik główny	1	1.4301	grubość 5 mm
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował	Nazwisko i Imię		Data
	Rysował	Dawid Pogodziński		1
	Sprawdził	Kaczmarek Józef		Nr. arkusza
Podziałka:	Nazwa:	Nr. rysunku:		
1:10	Zbiornik z manometrem rtęciowym	MP-01.01		1

Zadanie projektowe nr 1.2.

Zaprojektować schemat prasy hydraulicznej (średnice cylindrów zadającego D_1 i wykonawczego D_2 oraz ich wysokości h_1 i h_2) umożliwiającej wywołanie nacisku P_2 na drodze S_2 . Nacisk P_1 na tłoczyisko cylindra zadającego jest wywoływany oburącz siłą o wartość P_r . W rozważaniach pominąć różnicę poziomów cieczy w cylindrach mogące wystąpić podczas działania prasy. Dane: $P_2 = 46\ 000\ \text{N}$; $S_2 = 5\ \text{cm}$; $P_r = 200\ \text{N}$; $D_1 = 5\ \text{cm}$.

Rozwiązanie

Wstawiając do zależności wynikających z prawa Pascala [1, 2, 3, 5] (na zasadzie którego działają prasy hydrauliczne), definicyjne zależności na pola przekrojów A_1 i A_2 cylindrów, przekształcając i podstawiając dane obliczamy wartość średnicy D_2 cylindra wykonawczego:

$$\frac{P_1}{A_1} = \frac{P_2}{A_2}$$

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} \qquad A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4}$$

$$D_2 = \frac{D_1}{\sqrt{\frac{P_1}{P_2}}} = \frac{0,05\ \text{m}}{\sqrt{\frac{200\ \text{N}}{46000\ \text{N}}}} = \frac{0,05\ \text{m}}{0,066} = 0,75\ \text{m} = 75\ \text{cm}$$

Następnie obliczamy przemieszczenie tłoka zadającego S_1 wykorzystując zależność wynikającą z prawa zachowania ciągłości przepływu cieczy, przekształcając i podstawiając dane.

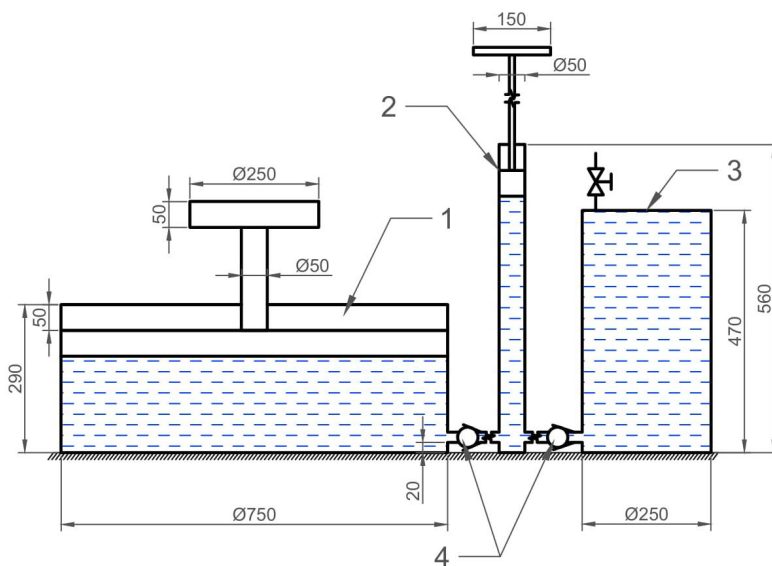
$$S_2 A_2 = S_1 A_1$$
$$S_1 = \frac{S_2 A_2}{A_1} = \frac{0,05\ \text{m} \cdot \frac{\pi(0,75\ \text{m})^2}{4}}{\frac{\pi(0,05\ \text{m})^2}{4}} = 11,25\ \text{m}$$

Widzimy, że S_1 wynosi aż 11,25m, więc stosujemy wielokrotne pompowanie, co wymaga zastosowania zbiornika dodatkowego na ciecz z zaworem zwrotnym.

Zakładamy więc ergonomiczną wysokość cylindra zadającego wynoszącą 0,56 m – skąd wynika, że do spełnienia wymagań treści zadania należy pompować 20 razy.

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na wszystkie elementy (oprócz zaworów zwrotnych) dobrano – stal spawalną na urządzenia ciśnieniowe o oznaczeniu P275N wg PN-EN 100283.



Uwagi:

Elementy zbiornikowe prasy wykonać z blachy o grubości 3mm spawane spoiną o grubości równej grubości blachy

4	Zawór zwrotny	2		Zakup
3	Zbiornik cieczy hydraulicznej	1	P275N	
2	Cylinder zadający	1	P275N	
1	Cylinder wykonawczy	1	P275N	
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Włocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn		Nazwisko i Imię		Data
		Projektował	Dawid Pogodziński	
		Rysował	Dawid Pogodziński	
		Sprawdził	Kaczmarek Józef	
Podziałka:	Nazwa:	Nr. rysunku:		
1:5	Schemat prasy hydraulicznej	MP-01.02		

Zadanie projektowe nr 1.3.

Wyznaczyć wymiary (wysokość H i średnicę d) do projektu cylindrycznego zbiornika zamkniętego zawierającego dwie niemieszające się ciecze o gęstościach ρ_w i ρ_c , których masy są jednakowe. Założyć, że $H \approx d$. Obliczyć również siłę parcia P_p w indeksie na dno zbiornika. Sporządzić rysunek zbiornika.

Dane: $\rho_c = 7\rho_w$; $m_w = m_c = m = 290\text{kg}$

Rozwiązanie

Wykorzystując definicyjne wzory na pole przekroju cylindra A oraz masy cieczy, otrzymujemy kolejno:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$m_w = \rho_w A h_w$$

$$m_c = \rho_c A h_c$$

Przekształcamy wzory i otrzymujemy zależności na wysokości wody h_w i cieczy h_c w zbiorniku:

$$h_w = \frac{m_w}{\rho_w A} = \frac{m}{\rho_w A}$$

$$h_c = \frac{m_c}{\rho_c A} = \frac{m}{\rho_c A} = \frac{m}{7\rho_w A}$$

Wysokość zbiornika H wyznaczamy sumując wysokości poszczególnych cieczy i uwzględniając zależność na A :

$$H = h_w + h_c = \frac{m}{\rho_w A} + \frac{m}{7\rho_w A} = \frac{m}{\rho_w A} \left(1 + \frac{1}{7}\right) = \frac{4m}{\rho_w \pi d^2} \left(1 + \frac{1}{7}\right)$$

Następnie uwzględniamy założenie $H \approx d$ i przekształcając kolejno otrzymujemy:

$$H = \frac{4m}{\rho_w \pi H^2} \left(1 + \frac{1}{7}\right) \quad /* H^2$$

$$H^3 = \frac{4m}{\pi \rho_w} \left(1 + \frac{1}{7}\right)$$

Przekształcając i podstawiając dane obliczamy wysokość zbiornika H :

$$H = \sqrt[3]{\frac{4m}{\rho_w \pi} \left(1 + \frac{1}{7}\right)} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 290\text{kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \pi} \left(1 + \frac{1}{7}\right)} = 0,75 \text{ m}$$

Korzystamy ponownie z założenia z treści zadania i obliczamy średnicę zbiornika:

$$d = H = 0,75 \text{ m}$$

Obliczenie siły parcia na dno zbiornika.

Korzystamy ze wzoru na siłę parcia, uwzględniamy w nim wcześniej wyznaczone wysokości obydwu cieczy, podstawiamy dane i kolejno obliczamy:

$$P_p = (\rho_w g h_w + \rho_c g h_c) \frac{\pi d^2}{4}$$

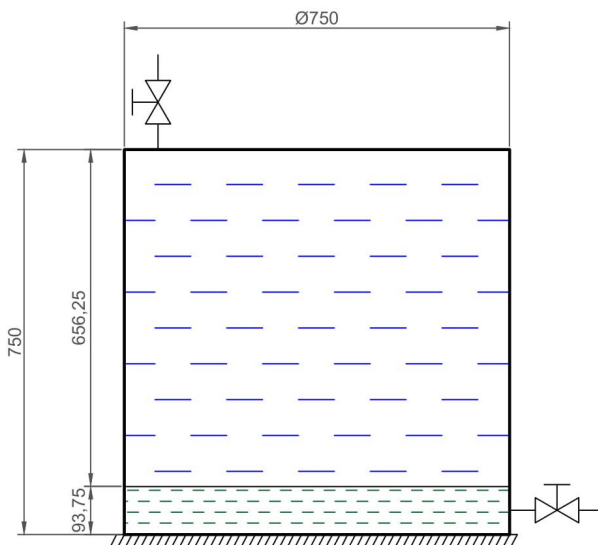
$$P_p = \left(\rho_w g \frac{4m_w}{\rho_w \pi d^2} + \rho_c g \frac{4m_c}{\rho_c \pi d^2} \right) \frac{\pi d^2}{4}$$

$$P_p = \frac{8gm}{\pi d^2} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \frac{8gm}{4} = \frac{8 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{m}^3} \cdot 290 \text{kg}}{4} = 2mg = 5800 \text{ N}$$

Otrzymana wartość siły parcia potwierdza, że w zbiorniku cylindrycznym jest ona równa ciężarowi cieczy zawartej w tym [5] zbiorniku.

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na zbiornik dobrano – stal kwasoodporną o oznaczeniu 1.4301 wg EN 10088 (0H18N9 wg PN).



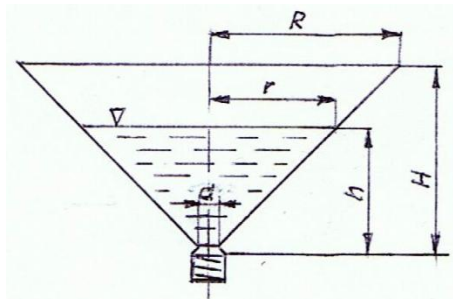
Uwagi:

-Dna zbiornika spawać spoiną o grubości równej grubości blachy

1	Zbiornik	1	1.4301	Zbiornik wykonać z blachy o grubości 2mm. Dna zbiornika spawać spoiną o grubości równej grubości blachy.	
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi	
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował	Nazwisko i Imię		Data	Arkuszy
		Rysował			Nr. arkusza
		Sprawdził			
Podziałka: 1:10		Nazwa: Projekt zbiornika zamkniętego		Nr. rysunku: MP-01.03	

Zadanie projektowe nr 1.4.

Wyznaczyć wartość siły P_s potrzebnej do zaprojektowania sprężyny zaworu regulacyjnego w stożkowym, wodnym zbiorniku otwartym (wg szkicu). Zbiornik o wysokości H jest napełniony wodą do połowy pojemności. Dane: $H = 3,4$ m; $d = 3,4$ cm; $g \approx 10$ m/s²; $\rho_w = 1000$ kg/m³. Sporządzić rysunek zbiornika.



Rozwiązanie

Ze szkicu możemy zauważyć, że zależność między promieniami i wysokościami zbiornika określa wzór:

$$\frac{r}{h} = \frac{R}{H} \rightarrow r = \frac{Rh}{H}$$

Objętość V całego zbiornika stożkowego i objętość V_c zajęta przez ciecz określają wzory:

$$V = \frac{1}{3}\pi R^2 H$$

$$V_c = \frac{1}{3}\pi r^2 h$$

Z treści zadania wiemy że zbiornik jest napełniony wodą do połowy – więc objętość cieczy jest też równa:

$$V_c = 0,5V$$

Kompilując powyższe zależności oraz przekształcając, kolejno otrzymamy:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3}\pi R^2 H = \frac{1}{3}\pi r^2 h$$

$$\frac{1}{2}R^2 H = \frac{R^2 h^2}{H^2} h$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \pi R^2 H = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

$$\frac{1}{2} R^2 H = \frac{r^2 h^2}{H^2} h$$

Podstawiamy dane i obliczamy wysokość h cieczy w zbiorniku:

$$h = \frac{3,4m}{\sqrt{2}} = 2,40 \text{ m}$$

Korzystamy z wzoru na ciśnienie hydrostatyczne, aby wyznaczyć wartość siły P_s działającej na sprężynę zaworu regulacyjnego:

$$p_A = \rho_w g h$$

Podstawiamy dane i obliczamy wartość ciśnienia hydrostatycznego działającego na zawór regulacyjny:

$$p_A = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2,40\text{m} = 24000 \text{ Pa}$$

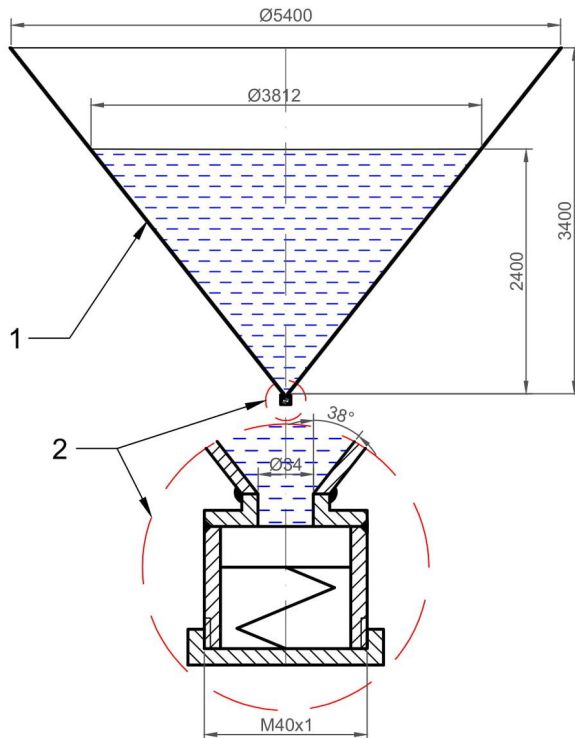
Wartość siły P_s jest iloczynem ciśnienia p_A oraz pola powierzchni zaworu na które działa woda:

$$P_A = p_A \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 24000\text{Pa} \cdot \frac{\pi (0,034\text{m})^2}{4} = 21,8 \text{ N}$$

Siła działająca na sprężynę zaworu wynosi więc 21,8 N
Rozwiązanie zadania jest słuszne niezależnie od wartości R .

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na zbiornik i korpus zaworu dobrano – stal kwasoodporną o oznaczeniu 1.4301 wg EN 10088 (0H18N9 wg PN).

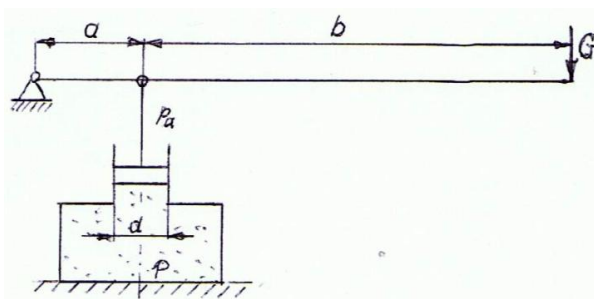


2	Zawór regulacyjny	1		
1	Zbiornik	1	1.4301	Zbiornik wykonać z blach o grubości 3mm, spawany spoiną o grubości 3mm
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował	Dawid Pogodziński		Arkuszy 1
	Rysował	Dawid Pogodziński		Nr. arkusza
	Sprawdził	Kaczmarek Józef		1
Podziałka: 1:50	Nazwa: Zbiornik z zaworem regulacyjnym	Nr. rysunku: MP-01.04		

Zadanie projektowe nr 1.5.

Obliczyć masę m obciążnika grawitacyjnej siły G oraz zaprojektować wymiary przekroju poprzecznego dźwigni: szerokość g i wysokość h dla utrzymania w równowadze tłoka o średnicy d zamykającego cylinder z powietrzem o ciśnieniu p (według szkicu). Sporządzić rysunek układu.

Dane: $p = 3,4 \text{ atm}$. ($1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$); $p_a = 1013 \text{ hPa}$; $a = 22,4 \text{ cm}$; $b = 4a$; $d = 12,4 \text{ cm}$.



Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru na wypadkową siłę parcia na dolną powierzchnię tłoka [5]:

$$P_p = (p - p_a) \frac{\pi d^2}{4}$$

Podstawiamy dane i otrzymujemy wartość siły parcia na dolną powierzchnię tłoka równą:

$$P_p = (344505 \text{ Pa} - 101300 \text{ Pa}) \frac{\pi d^2}{4} = 243205 \text{ Pa} \cdot \frac{\pi (0,124 \text{ m})^2}{4} = 2937 \text{ N}$$

Rozważając równowagę dźwigni, obliczamy z poniższego wzoru i po jego przekształceniu siłę G z jaką musimy działać na prawy koniec dźwigni aby utrzymać tłok w równowadze:

$$P_p \cdot a = G(a+b) \quad /: (a+b)$$

$$G = \frac{P_p \cdot a}{a+b}$$

Podstawiamy wartość siły P_p oraz wymiary dźwigni a i b otrzymując:

$$G = \frac{2937 \text{ N} \cdot 0,224 \text{ m}}{0,224 \text{ m} + 4 \cdot 0,224 \text{ m}} = 587,4 \text{ N}$$

Wartość siły z jaką musimy działać na prawym końcu dźwigni wynosi więc $G = 587,4\text{N}$. Należy zatem na końcu dźwigni zawiesić ciężarek o masie $m \approx 60\text{ kg}$.

Obliczamy wartość średnicy d_s sworznia przegubu łączącego tłoczysko i dźwignię. Zakładamy, iż sworzeń ten będzie obciążony ścinaniem (dwucięty). Wykorzystując warunek na ścinanie [4], podstawiając dane oraz dla przyjętej na sworzeń stali 41Cr4 $k_t = 245\text{ MPa}$ [7] obliczymy średnicę sworznia:

$$\frac{P_p}{\frac{2\pi \cdot d_s^2}{4}} < k_t \quad \rightarrow \quad d_s > \sqrt{\frac{2P_p}{\pi k_t}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2937}{3,14 \cdot 245}} = 2,76\text{ mm}$$

Przyjmujemy $d_s = 4\text{ mm}$.

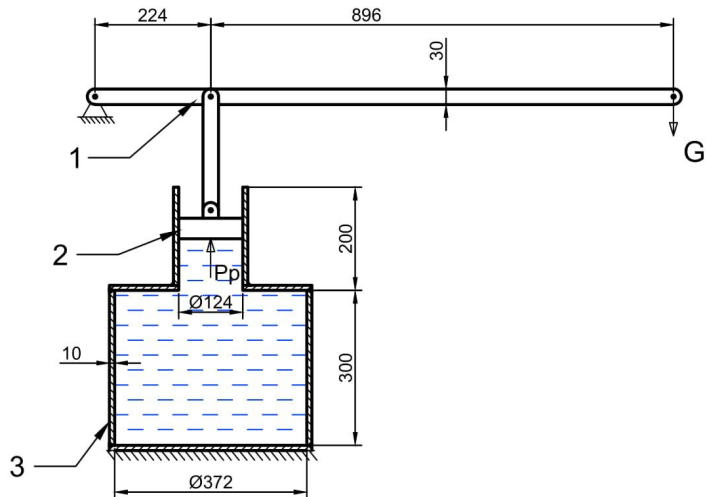
Wymiary przekroju poprzecznego dźwigni: szerokość g i wysokość h określimy metodą sprawdzającą. Założmy zatem $g = 15\text{ mm}$ i $h = 30\text{ mm}$. Największe obciążenie zginające dźwigni (moment) występuje w przekroju przegubu łączącego tłoczysko i dźwignię. Wykorzystując warunek dla tego obciążenia (pomijając chwilowo wymiary otworu na sworzeń) otrzymujemy:

$$\sigma_g = \frac{M_g}{W_g} = \frac{G \cdot b}{\frac{g \cdot h^2}{6}} = \frac{6 \cdot 587,4\text{N} \cdot 896\text{ mm}}{15\text{ mm} \cdot 30^2\text{ mm}^2} = 234\text{ MPa} < k_g = 450\text{ MPa}$$

Pomimo, iż pominięto w obciążonym przekroju wymiary otworu na sworzeń przegubu (moment bezwładności jego przekroju stanowi ok. 0,1% momentu przekroju poprzecznego dźwigni), uzyskana nierówność świadczy o spełnieniu zginającego warunku wytrzymałościowego.

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na zbiornik i tłok dobrano – stal spawalną na urządzenia ciśnieniowe o oznaczeniu P275N wg PN-EN 100283,
- na elementy układu dźwigniowego i tłok dobrano – stal 41Cr4 wg PN-EN 100831 (stal 45)



3	Zbiornik	1	P275N	Elementy zbiornika spawac spoina o grubosci 3mm	
2	Tloek	1	41Cr4		
1	Uklad dzwigniowy	1	41Cr4	grubosc g=15mm	
Lp.	Nazwa czesci	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi	
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Włocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn			Nazwisko i Imię		Data
			Projektował		Dawid Pogodziński
			Rysował		Dawid Pogodziński
		Sprawdził		Kaczmarek Józef	
Podziałka:	Nazwa:		Nr. rysunku:		
1:10	Tloek z dzwignią		MP-01.05		

ROZDZIAŁ 2

Właściwości cieczy hydraulicznych

Zadanie projektowe nr 2.1.

Zaprojektować termometr rtęciowy (średnicę D zbiorniczka, długość L zbiorniczka, średnicę d rurki oraz długość całkowitą L_{tc} listwy i jej szerokość b) o działce międzystopniowej wynoszącej: $\Delta h = 2,2$ mm. Dany jest współczynnik rozszerzalności objętościowej: $\beta_t = 18 \cdot 10^{-5}$ 1/K oraz zakres mierzonych temperatur: -40 °C ÷ $+40$ °C. Sporządzić rysunek termometru.

Rozwiązanie

Stosujemy wzór na współczynnik rozszerzalności objętościowej β_t [5]:

$$\beta_t = \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{\Delta V}{V}$$

Przekształcamy wzór i mamy (ΔV dotyczy przyrostu objętości cieczy w wyniku podgrzewania objętości cieczy V zbiorniczka; ΔV lokalizuje się w rurce):

$$\frac{\Delta V}{V} = \Delta T \cdot \beta_t$$

Wstawiamy za ΔV i V ich wzory definicyjne oraz wartość $\Delta T = 1$ K.

$$\frac{\frac{\pi d^2}{4} \cdot \Delta h}{\frac{\pi D^2}{4} \cdot L} = 1 \cdot \beta_t$$

Podstawiamy wartość Δh oraz przekształcamy, otrzymując:

$$\left(\frac{D}{d}\right)^2 L = \frac{2,2}{\beta_t}$$

Z obserwacji podobnych termometrów przyjmujemy średnicę rurki $d = 0,2$ mm i podstawiając tę wartość oraz wartość β_t oraz przekształcając otrzymujemy kolejno:

$$\left(\frac{D}{0,2}\right)^2 L = 12222$$

$$D^2 L = 488,$$

Z obserwacji podobnych termometrów przyjmujemy średnicę zbiorniczka $D = 7,0$ mm i podstawiając tę wartość oraz przekształcając, obliczamy długość zbiorniczka:

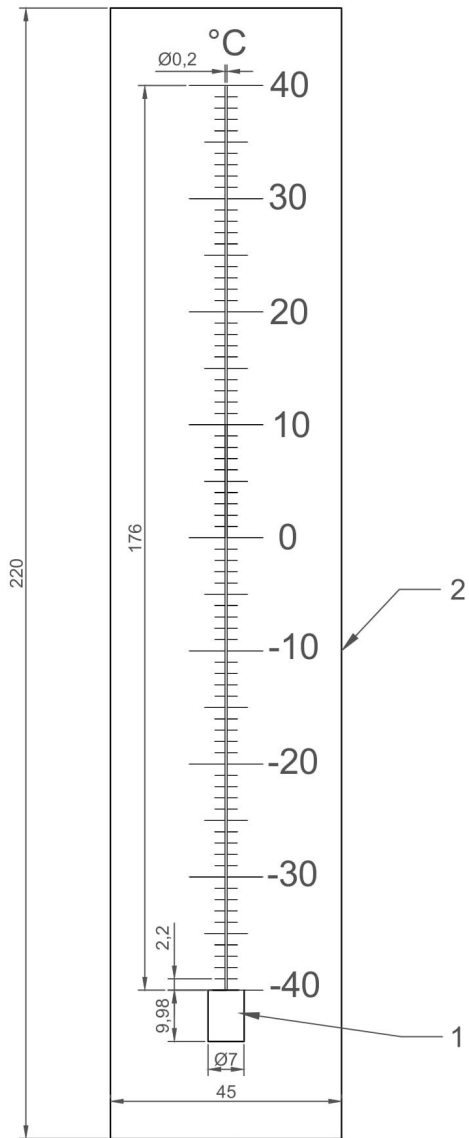
$$L = \frac{488,88}{7^2} = 9,98 \text{ mm}$$

Wykorzystując zakres mierzonych temperatur wynoszący 80°C i wartość działki międzystopniowej wynoszącą $2,2$ mm

Obliczamy minimalną długość listwy:

$$L_T = 80 \cdot 2,2 \text{ mm} + 9,98 \text{ mm} = 185,98 \text{ mm}$$

Przyjmujemy długość całkowitą listwy $L_{TC} = 220$ mm oraz szerokość $b = 45$ mm. Rurka wraz ze zbiorniczkiem są przyklejone do listwy przezroczystym klejem uniwersalnym.



Uwagi:
-Element 1 i 2 skleić klejem typu distal bezbarwny

2	Listwa	1	Polipropylen	
1	Zbiornik z rurką	1	Szkło	
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn			Nazwisko i imię	Data
		Projektował	Dawid Pogodziński	1
		Rysował	Dawid Pogodziński	Nr. arkusza
		Sprawdził	Kaczmarek Józef	1
Podziałka:	Nazwa:	Nr. rysunku:		
1:1	Termometr rtęciowy	MP-02.01		

Zadanie projektowe nr 2.2.

Zaprojektować cylinder siłownika hydraulicznego o skoku s (jego średnicę D , długość l), jeżeli przy całkowitym wypełnieniu olejem o współczynniku ściśliwości β_s , pod działaniem na tłoczyisko siły F , jego tłok o grubości $g = 0,25D$ przesunie się o h . Założyć $s/D \approx 6,25$. Grubość dna siłownika $g_d = g$. Dobrać też wymiary śrub mocujących dna siłownika. Sporządzić rysunek siłownika. Dane: $F = 44 \text{ kN}$; $h = 1,92 \text{ mm}$; $\beta_s = 56 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{N}$.

Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru na współczynnik ściśliwości objętościowej cieczy β_s [1, 5]:

$$\beta_s = \frac{\Delta V}{V \cdot \Delta p}$$

Przekształcamy wzór tak, aby z lewej strony otrzymać zmniejszenie objętości ΔV ściśniętej cieczy oraz podstawiamy definicyjne wzory na V i Δp otrzymując:

$$\Delta V = \beta_s \cdot V \cdot \Delta p = \beta_s \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot s \cdot \frac{F}{\pi D^2}$$

Wykorzystujemy definicyjny wzór na zmianę objętości wywołanej przesuwentłoka:

$$\Delta V = \frac{\pi D^2}{4} h$$

Porównujemy ze sobą prawe strony wzorów na ΔV i po uproszczeniu otrzymujemy:

$$\beta_s s F = \frac{\pi D^2}{4} h$$

Przekształcamy dalej wzór tak, aby z lewej strony otrzymać poszukiwane wartości D oraz s :

$$\frac{D^2}{s} = \frac{\beta_s F 4}{\pi h}$$

Korzystamy z założenia z treści zadania że:

$$s = 6,25D$$

Uwzględniamy wszystkie dane i obliczamy średnicę cylindra siłownika:

$$\frac{D^2}{6,25D} = \frac{56 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mm}^2}{\text{N}} \cdot 44 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 4}{\pi \cdot 1,92 \text{ mm}}$$

$$\frac{D}{6,25} = 16,34 \text{ mm}$$

$$D = 102 \text{ mm}$$

Korzystamy ponownie z założenia w treści zadania i obliczamy przesunięcie tłoka s :

$$s = 6,25D = 6,25 \cdot 102 \text{ mm} = 637,5 \text{ mm}$$

Obliczamy grubość tłoka g i grubość dna siłownika g_d :

$$g = 0,25D = 25,5 \text{ mm}$$

$$g_d = g = 25,5 \text{ mm}$$

Obliczamy długość siłownika:

$$l = s + g + 2g_d = 637,5 + 25,5 + 2 \cdot 25,5 = 711 \text{ mm}$$

Obliczenie średnicy rdzenia d_r śrub podtrzymujących każde dno siłownika po: uwzględnieniu warunku wytrzymałościowego na rozciąganie śrub [4], wartości naprężeń dopuszczalnych dla materiału śrub stali 1.4301 (0H18N9) $k_r = 200 \text{ MPa}$ [7] założeniu ich liczby $n = 8$:

$$F \leq n \cdot \frac{\pi d_r^2}{4} \cdot k_r \rightarrow n \cdot d_r^2 \geq \frac{4F}{\pi \cdot k_r}$$

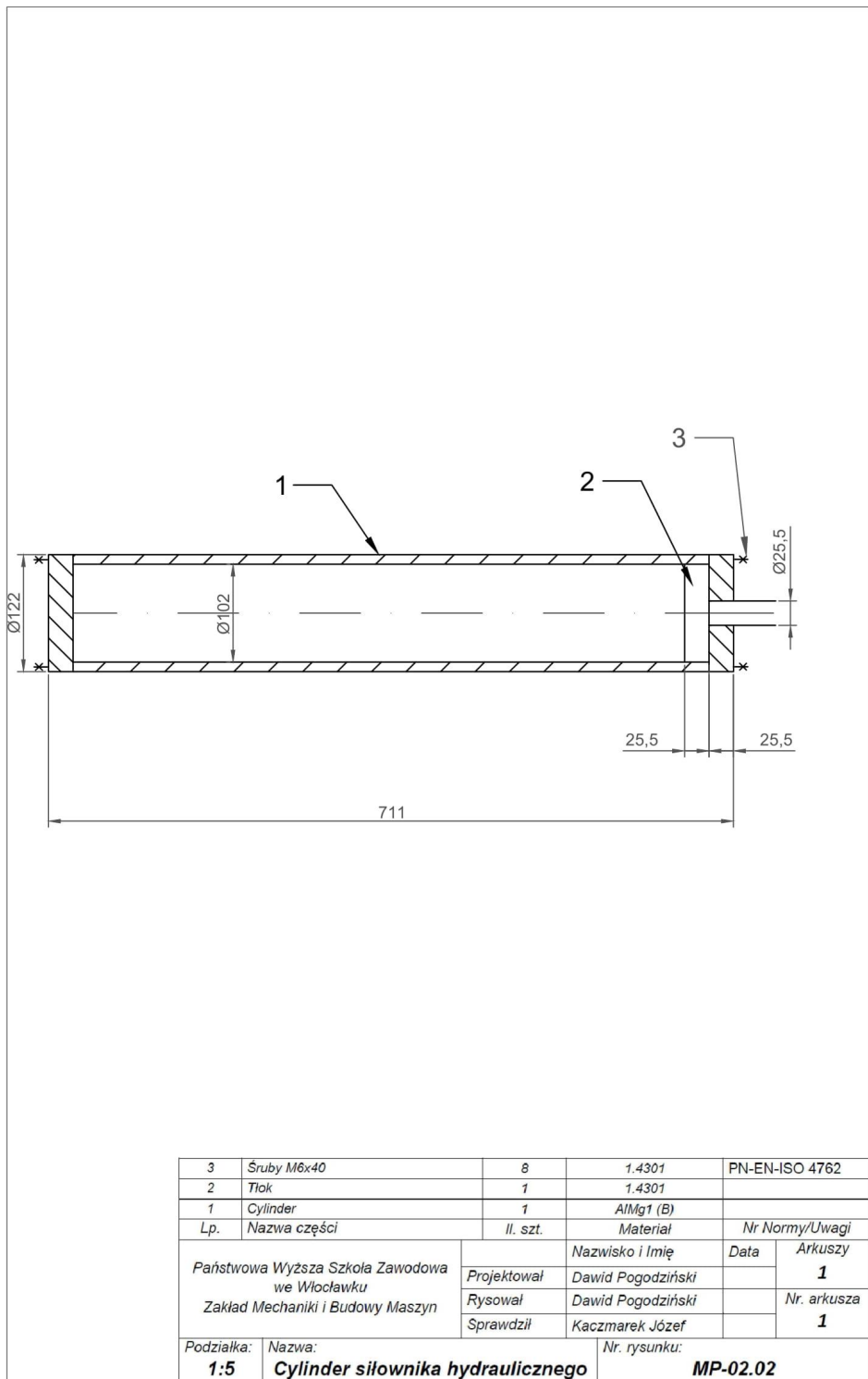
$$n \cdot d_r^2 \geq \frac{4 \cdot 44000}{\pi \cdot 220} \approx 254,65 \text{ mm}^2$$

$$d_r \geq \sqrt{\frac{254,65}{n}} = \sqrt{\frac{254,65}{8}} \approx 5,64 \text{ mm}$$

Przyjmujemy [8] gwint śrub M8 ($d_r = 6,335 \text{ mm}$) a ich liczbę $n = 8$ dla każdego dna cylindra.

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na cylinder dobrano – stop aluminium z magnezem AlMg1 (B) wg ISO 6060 (Pa 43 wg PN),
- na tłok i śruby łączące dobrano – stal kwasoodporną o oznaczeniu 1.4301 wg EN 10088 (0H18N9 wg PN).



Zadanie projektowe nr 2.3.

Zaprojektować prostopadłościenny zbiornik zamknięty o wymiarach $a \times b \times h$ ($b = 1,5 a$; $h = b$), który najpierw napełniono wodą a następnie dopompowywano dodatkową objętością wody ΔV w celu wzrostu ciśnienia o Δp . Sporządzić rysunek zbiornika.

Dane: $\Delta p = 126 \cdot 10^4 \text{ kPa}$; $\beta_s = 4,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/(\text{MN})$; $\Delta V = 0,44 \text{ dm}^3 = 44 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$.

Rozwiązanie

Objętość zbiornika w zależności od wymiaru a , wyrazimy:

$$V = a \cdot b \cdot h = a \cdot 1,5a \cdot 1,5a = 2,25 a^3$$

Korzystamy ze wzoru na współczynnik ścisłości objętościowej cieczy β_s [1, 3, 5] i po jego przekształceniu, obliczamy objętość wody w zbiorniku:

$$V = \frac{\Delta V}{\Delta p \cdot \beta_s} = \frac{44 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}{126 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot 4,7 \cdot 10^{-10} \frac{\text{m}^2}{\text{N}}} = 0,74 \text{ m}^3$$

Porównując prawe strony powyższych wzorów oraz przekształcając obliczamy wymiar a zbiornika:

$$0,74 \text{ m}^3 = 2,25 a^3$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{0,74}{2,25}} \text{ m} = 0,69 \text{ m}$$

Obliczamy pozostałe wymiary zbiornika:

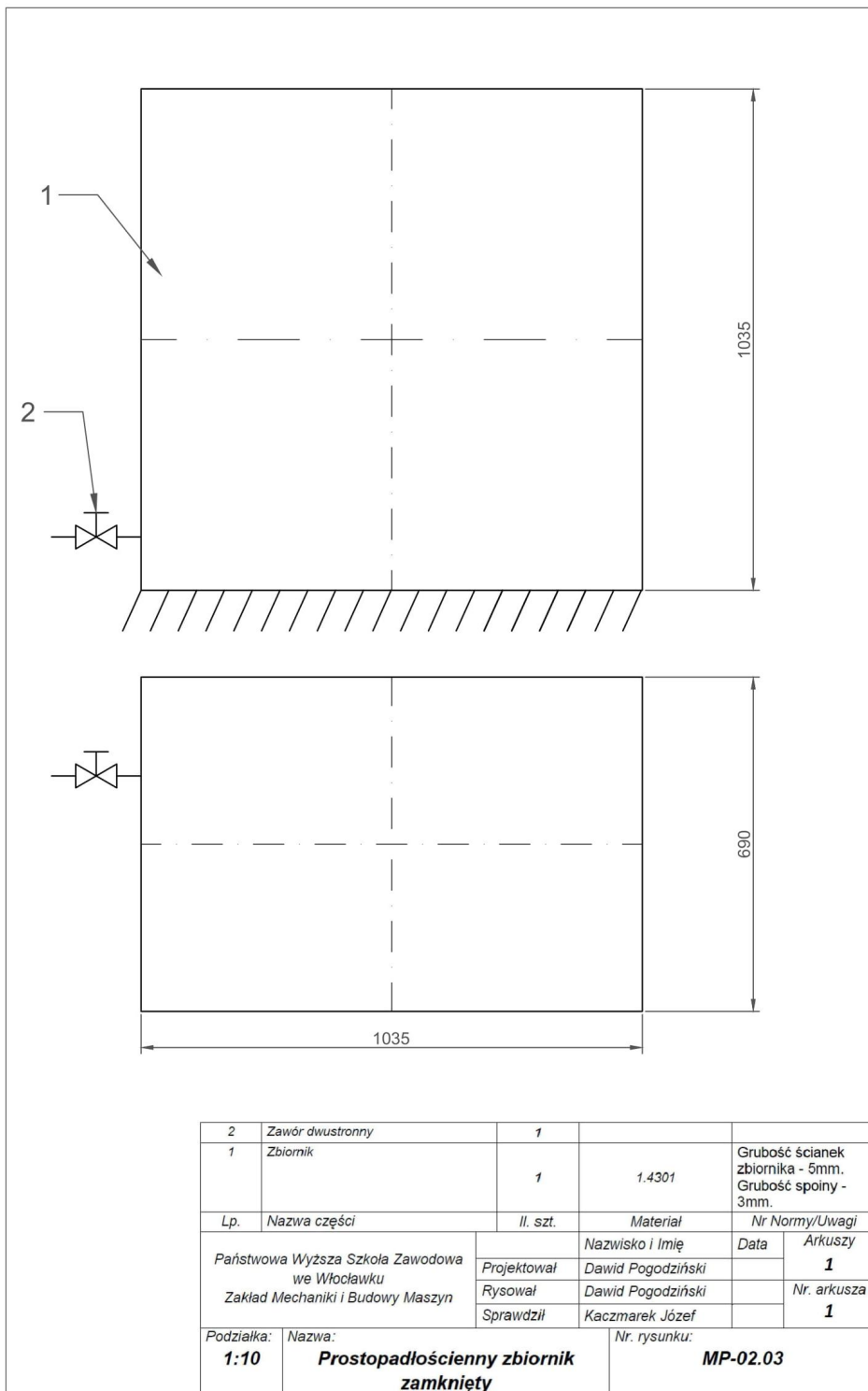
$$b = 1,5a = 1,035 \text{ m}$$

$$h = b = 1,035 \text{ m}$$

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- zbiornik dobrano – stal kwasoodporną o oznaczeniu 1.4301 wg EN 10088 (0H18N9 wg PN).

Spoiny zbiornika sprawdzono pod kątem wytrzymałościowym. Obliczenia z tym związane pominięto z uwagi na to, że podobne są zamieszczone w innych zadaniach.

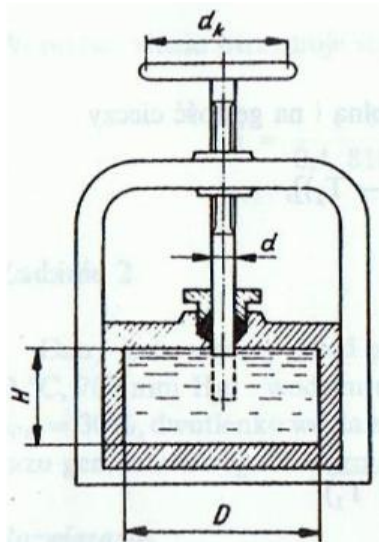


2	Zawór dwustronny	1		
1	Zbiornik	1	1.4301	Grubość ścianek zbiornika - 5mm. Grubość spoiny - 3mm.
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował		Dawid Pogodziński	Data
	Rysował		Dawid Pogodziński	
	Sprawdził		Kaczmarek Józef	
Podziałka: 1:10	Nazwa: Prostopadłościenny zbiornik zamknięty	Nr. rysunku: MP-02.03		Arkuszy 1 Nr. arkusza 1

Zadanie projektowe nr 2.4.

Zaprojektować urządzenie do badania ściśliwości cieczy (jego D , H i d_k – szkic [3]), jeśli po wykonaniu n obrotów śrubą o gwincie $Tr \times h$, ciśnienie w zbiorniku wzrośnie o Δp . Założyć $D = 1,5 H$. Wyznaczyć również wymagany moment M na pokrętle i jego średnicę d_k . Sporządzić rysunek urządzenia.

Dane: $n = 5$; $h = 5 \text{ mm}$; $\Delta p = 8,4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$; $\beta_s = 4,7 \cdot 10^{-10} \text{ 1/(Pa)}$; $\Delta V = 0,44 \text{ dm}^3$; $d = 33 \text{ mm}$.



Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru na objętość cieczy wynikający z przekształcenia wzoru na współczynnik ściśliwości objętościowej cieczy β_s [1, 3, 5] oraz ze wzoru definicyjnego na objętość cylindra:

$$V = \frac{\Delta V}{\Delta p \cdot \beta_s} = \frac{n \cdot h \cdot \frac{\pi d^2}{4}}{\Delta p \cdot \beta_s}$$

$$V = H \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$

Porównujemy ze sobą prawe strony powyższych wzorów, uwzględniamy założenie z treści zadania $D = 1,5 H$ i przekształcamy tak, aby obliczyć wysokość zbiornika urządzenia H :

$$H \cdot \frac{\pi D^2}{4} = \frac{n \cdot h \cdot \frac{\pi d^2}{4}}{\Delta p \cdot \beta_z}$$

$$HD^2 = \frac{5 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot (33 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{8,4 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 4,7 \cdot 10^{-10} \frac{1}{\text{Pa}}} = 6,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$2,25H^3 = 6,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{6,9 \cdot 10^{-3}}{2,25}} = 0,145 \text{ m} = 145 \text{ mm}$$

Mając wysokość zbiornika obliczamy jego średnicę:

$$D = 1,5H = 1,5 \cdot 145 \text{ mm} = 217,5 \text{ mm}$$

Obliczamy moment potrzebny do pokręcania pokrętłem o średnicy d_k uwzględniając porównanie pracy włożonej w pokrętło i włożonej w ściśnięcie cieczy przez trzpień o średnicy d dla jednego obrotu:

$$F \cdot \pi d_k = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \Delta p \cdot h \quad /: 2\pi$$

$$\frac{F \cdot d_k}{2} = M = \frac{\pi d^2 \cdot \Delta p \cdot h}{8\pi} = \frac{(33 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 \cdot 8,4 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{8} = 5,7 \text{ Nm}$$

Obliczamy średnicę kółka napędowego d_k . W tym celu przyjmujemy siłę ręki równą $F = 60 \text{ N}$.

$$d_k = \frac{2M}{F} = \frac{2 \cdot 5,7 \text{ Nm}}{60 \text{ N}} = 0,19 \text{ m} = 190 \text{ mm}$$

Obliczenie średnicy rdzenia d_r śrub podtrzymujących pokrywę dolną zbiornika po: uwzględnieniu warunku wytrzymałościowego na rozciąganie śrub [4], wartości naprężeń dopuszczalnych dla materiału śrub stali 41Cr4 (40H) $k_r = 380 \text{ MPa}$ [7] założeniu ich liczby $n = 18$:

$$\frac{\Delta p \cdot \pi D^2}{4} \leq n \cdot \frac{\pi d_r^2}{4} \cdot k_r \rightarrow d_r \geq D \sqrt{\frac{\Delta p}{n \cdot k_r}}$$

$$d_r \geq 217,5 \sqrt{\frac{8,4}{18 \cdot 380}} \approx 7,62 \text{ mm}$$

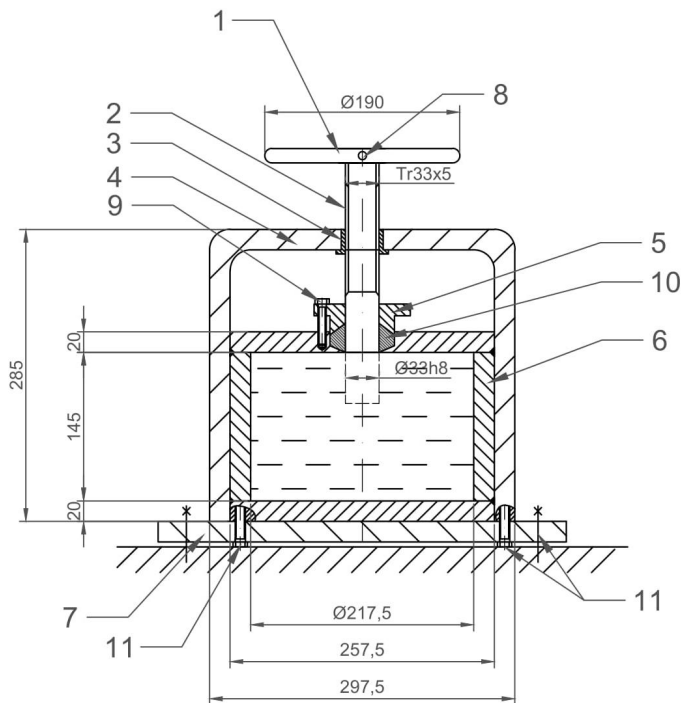
Przyjmujemy [6] gwint śrub M10 ($d_r = 8,026$ mm) a ich liczbę $n = 18$.

Sprawdzenie wytrzymałościowe spoin komory sprężania o grubości $g_{sp} = 5$ mm
i $k_{rsp} = 100$ MPa.

$$\sigma_{rsp} = \frac{\Delta p \cdot \frac{\pi D^3}{4}}{\pi D_{sp} g_{sp}} = \frac{8,4 \cdot 217,5^2}{4 \cdot 257 \cdot 5} \approx 77,3 \text{ MPa} < k_{rsp} = 100 \text{ MPa}$$

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na pokrętło, tuleję i pokrywę dolną dobrano – stal S325 wg EN 10025 (St3 wg PN),
- na komorę sprężania dobrano – stal spawalną na urządzenia ciśnieniowe o oznaczeniu P275N wg PN-EN 100283,
- na korpus dobrano – żeliwo EN-GJL 250 wg PN-EN 1561 (Żł 250 wg PN),
 - na nakrętkę dobrano – brąz CW453 wg EN (B8 wg PN),
 - na śrubę-tłok dobrano – stal C45 wg EN 10083 (45 wg PN).



Uwagi:
Komorę sprężania spawać spoiną o grubości 5mm

11	Śruba M10, l=40	18+8	41Cr4	PN-87/M82408
10	Uszczelka tloka TPM	1	guma	
9	Śruba M8, l=50	3	41Cr4	PN-85/M8
8	Kolek $\phi 5 \times 60$	1	C45	ISO 23382101
7	Pokrywa dolna	1	S235	PN-EN 10035
6	Komora sprężania	1	P275N	
5	Tuleja	1	S235	
4	Korpus	1	EN-GJL 250	
3	Nakrętka	1	CW453	
2	Śruba-tłok	1	C45	
1	Pokrętko	1	S235	
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn		Projektował	Dawid Pogodziński	Data
		Rysował	Dawid Pogodziński	Arkuszy
		Sprawdził	Kaczmarek Józef	Nr. arkusza
Podziałka:	Nazwa:	Nr. rysunku:		
1:5	Urządzenie do badania ścisłości cieczy	MP-02.04		1

Zadanie projektowe nr 2.5.

Zaprojektować wymiary cylindra (D i L) oraz nurnika (d i s – skok) pompy nurnikowej o ciśnieniu tłoczenia Δp , sprawności η i ściśliwości β_s . Założyć $L/D \approx s/d \approx 5$. Sporządzić rysunek pompy.

Dane: $\Delta p = 7,2$ MPa; $\beta_s = 5 \cdot 10^{-4}$ 1/(MPa); $V_c = 360$ cm³; $\eta = 0,974$.

Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru na sprawność objętościową pompy nurnikowej [3] uwzględniając w nim zależność na zmniejszenie objętości ΔV ściśniętej cieczy:

$$\eta = \frac{V_{wyp}}{V_s} = \frac{V_s - \Delta V}{V_s} = 1 - \frac{\Delta V}{V_s} = 1 - \frac{\beta_s \cdot V_c \cdot \Delta p}{V_s}$$

gdzie:

V_{wyp} – objętość wypieranej cieczy podczas jednego skoku nurnika,

V_s – objętość skokowa nurnika,

ΔV – objętość ściśniętej cieczy podczas jednego skoku nurnika,

V_c – objętość pompy.

Przekształcamy wzór względem objętości skokowej nurnika V_s [3] i podstawiając dane obliczamy:

$$V_s = \frac{\beta_s \cdot V_c \cdot \Delta p}{1 - \eta} = \frac{5 \cdot 10^{-10} \frac{1}{\text{Pa}} \cdot 360 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 7,2 \cdot 10^6 \text{ Pa}}{1 - 0,974} \approx 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Uwzględniając pole przekroju poprzecznego nurnika A_n oraz założenia z treści zadania otrzymujemy kolejno:

$$A_n \cdot s = V_s$$

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot s = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$s = 5d$$

$$\frac{5\pi d^3}{4} = 5 \cdot 10^{-5}$$

Przekształcamy otrzymaną zależność i obliczamy średnicę d nurnika:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 5 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot 5}} m = 0,023 m = 23 \text{ mm}$$

Mając średnicę nurnika obliczamy jego skok s :

$$s = 5d = 0,115 \text{ m}$$

Obliczamy wymiary cylindra pompy, korzystając z założenia z treści zadania oraz uwzględniając pole przekroju poprzecznego pompy A_p .

$$L = 5D$$

$$A_p L = Vc$$

$$\frac{\pi D^2}{4} \cdot 5D = 360 \cdot 10^{-6} m^3$$

Przekształcamy otrzymaną zależność i obliczamy średnicę D cylindra pompy nurnikowej:

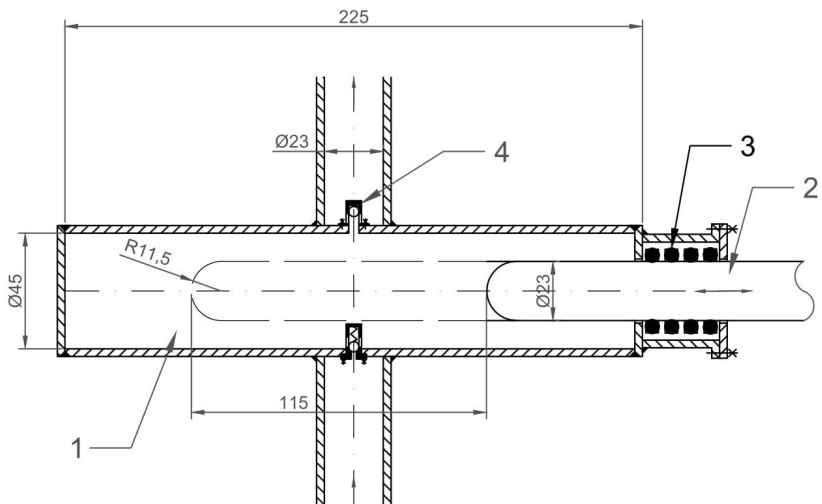
$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 360 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 5}} m = 0,045 m = 45 \text{ mm}$$

Obliczamy długość cylindra pompy:

$$L = 5 \cdot 45 = 225 \text{ mm}$$

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na cylinder dobrano – stop aluminium z krzemem AlSi11 wg PN-EN 1706 (Ak11 wg PN),
- na nurnik dobrano – stal kwasoodporną o oznaczeniu 1.4301 wg EN 10088 (0H18N9 wg PN).



Uwagi:

Elementy pompy spawać spoiną o grubości 3mm

4	Zawór zwrotny	2		zakup
3	Pierścienie uszczelniające typu oring	4	guma	
2	Matka	1	1.4310	
1	Cylinder	1	AC-AISI11	grubość ścianek g=5mm
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn			Nazwisko i Imię	Data
		Projektował	Dawid Pogodziński	
		Rysował	Dawid Pogodziński	
		Sprawdził	Kaczmarek Józef	Nr. arkusza 1
Podziałka:	Nazwa:	Nr. rysunku:		
1:2	Pompa nurnikowa	MP-02.05		

ROZDZIAŁ 3

Hydrostatyczne działanie cieczy

Zadanie projektowe nr 3.1.

Wyznaczyć wysokość h zbiornika wodnego, którego ściany ograniczające jego długość są trapezem symetrycznym o krótszej podstawie dolnej mającej długość a i ramionach rozchylonych do poziomu pod kątem α . Długość zbiornika wynosi b . Obliczyć grubość spoin (zewnątrznie typu V pracujące na rozciąganie) łączących jego ściany, jeśli do tego zbiornika wlewo wodę o masie m . Wyznaczyć również grubość ścian zbiornika większą około 5 razy od grubości spoin i w obliczeniach uwzględnić ciężar tych płyt. Sporządzić rysunek zbiornika.

Dane: $m = 20,6 \cdot 10^3$ kg; $a = 2,3$ m; $b = 2a$; $\alpha = 60^\circ$; $\rho_{stali} = 7800$ kg/m³; $k_{rsp} = 100$ MPa; $g = 9,81$ m/s²; $\rho = 1000$ kg/m³.

Rozwiązanie

Z przekształconej zależności definicyjnej gęstości, po podstawieniu danych, obliczymy objętość wody, czyli wymaganą objętość zbiornika V :

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{20,6 \cdot 10^3}{10^3} = 20,6 \text{ m}^3$$

Z wymiarów geometrycznych zbiornika, objętość V określimy zależnością:

$$V = 0,5 \left(a + a + \frac{2h}{\tan \alpha} \right) \cdot h \cdot b = h \cdot ab + \frac{h^2 b}{\tan \alpha}$$

W celu znalezienia h przekształcamy do postaci:

$$h^2 \cdot \frac{b}{\tan \alpha} + h \cdot ab - V = 0$$

Otrzymane równanie kwadratowe, po podstawieniu danych, rozwiązujemy jak niżej otrzymując wymaganą wysokość h :

$$\Delta = (ab)^2 - 4 \cdot \frac{b}{\tan \alpha} \cdot (-V)$$

$$\Delta = (2,3 \cdot 4,6)^2 - 4 \cdot \frac{4,6}{\sqrt{3}} \cdot (-20,6) = 111,9364 + 218,838846 = 330,775246$$

$$\sqrt{\Delta} = 18,188$$

$$h_1 = \frac{-ab - \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \frac{b}{\tan \alpha}} \rightarrow h_1 < 0; \text{ } h \text{ nie może być mniejsze od zera (} h \neq h_1 \text{)}$$

$$h = h_2 = \frac{-ab + \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \frac{b}{\tan \alpha}} = \frac{-10,58 + 18,188}{2 \cdot \frac{4,6}{\sqrt{3}}} = \frac{7,607}{5,312} \approx 1,43 \text{ m}$$

Ze wzoru na siłę parcia na powierzchnię pochyloną pod kątem α zamieszczonego w [1, 2, 3, 5] i po podstawieniu danych i obliczonej h , obliczamy tę siłę F_{wyp} działającą na pochyloną ścianę zbiornika.

$$F_{wyp} = \frac{\rho \cdot g \cdot b \cdot h^2}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 4,6 \cdot 1,43^2}{2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} \approx 53276,82 \text{ N}$$

Uwzględniając zależność długości spoiny l_{sp} od wysokości h , z warunku wytrzymałościowego rozciągania spoiny, oraz po podstawieniu danych obliczamy i przyjmujemy, z zapasem, grubość spoiny g_{sp} oraz grubość ścian bocznych zbiornika g_{pi} :

$$l_{sp} = \frac{h}{\sin \alpha}$$

$$g_{sp} \geq \frac{F_{wyp}}{l_{sp} \cdot k_{rsp}} = \frac{F_{wyp} \cdot \sin \alpha}{h \cdot k_{rsp}} = \frac{53276,82 \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot 1,43 \cdot 10^8} \approx 3,22651 \cdot 10^{-4} \text{ m} \approx 0,323 \text{ mm}$$

$$g_{sp} = 2 \text{ mm}$$

$$g_{pi} = 5 \cdot 2 = 10 \text{ mm}$$

Obliczamy ciężar płyty z fizycznego wzoru podstawowego i po podstawieniu danych:

$$G_{pl} = \frac{h}{\sin \alpha} \cdot b \cdot \rho_{stali} \cdot g \cdot g_{pl} = \frac{1,43 \cdot 2}{\sqrt{3}} \cdot 4,6 \cdot 7800 \cdot 9,81 \cdot 0,01 \approx 5812 \text{ N}$$

Ze znanego wzoru sumującego wektorowo siły i po podstawieniu danych, obliczamy siłę wypadkową działającą na pochyloną ścianę zbiornika

$$F = \sqrt{G_{pl}^2 + F_{wyp}^2 + 2G_{pl}F_{wyp} \cos \alpha}$$

$$F = \sqrt{5812^2 + 53276,82^2 + 2 \cdot 59,25 \cdot 53276,82 \cdot 0,5} \approx 56407,83 \text{ N}$$

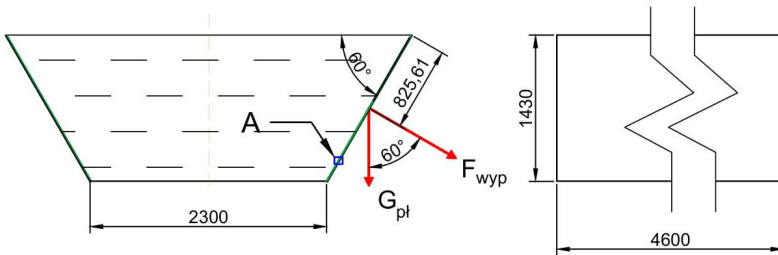
Sprawdzamy wytrzymałość spoiny uwzględniając siłę wypadkową, jej wymiary i k_{rsp} :

$$\frac{F}{l_{sp} \cdot g_{sp}} = \frac{F \cdot \sin \alpha}{h \cdot g_{sp}} \leq k_{rsp}$$

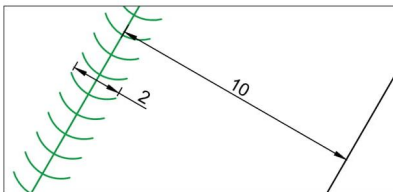
$$\frac{56407,83 \cdot \sqrt{3}}{1430 \cdot 2 \cdot 2} \approx 17 \text{ MPa} \leq 100 \text{ MPa}$$

Spoina z dużym zapasem przenosi działające na nią obciążenie.

Dobór materiału: na zbiornik dobrano materiał 1.4006 wg EN 10088 (1H13 wg PN).



A (5:1)



1	Zbiornik	1	1.4006	EN10088
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
	Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował	Radosław Domowicz	Data
		Rysował	Radosław Domowicz	Arkuszy
		Sprawdził	Kaczmarek Józef	Nr. arkusza
				1
				1
Podziałka:	Nazwa:	Nr. rysunku:		
1:50	Zbiornik V kształtny	MP-03.01		

Zadanie projektowe nr 3.2.

Zaprojektować śruby (rodzaj gwintu i liczbę) podtrzymujące dennicę o ciężarze G zbiornika do którego wiano wodę o objętości V_w . Zbiornik ma średnicę D i wysokość h a do jego górnego czoła jest przyspawana rurka o średnicy wewnętrznej d i wysokości H . Do obciążenia śrub dodać 50% na szczelność dennicy. Sporządzić rysunek zbiornika.

Dane: $V_w = 52 \text{ dm}^3$; $D = 0,613 \text{ m}$; $d = 15 \text{ mm}$; $G = 400 \text{ N}$; $h = 170 \text{ mm}$; $H = 10 \text{ m}$; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$; $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

Rozwiązanie

Ze wzoru definicyjnego obliczamy objętość V_{zb} zbiornika:

$$V_{zb} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 6,15^2}{4} \cdot 1,7 = \frac{\pi}{4} \cdot 37,8225 \cdot 1,7 \approx 50,5 \text{ dm}^3$$

Obliczamy objętość ΔV wody w rurce:

$$\Delta V = V_w - V_{zb} = 52 - 50,5 = 1,5 \text{ dm}^3$$

Obliczamy wysokości wody w rurce x_2 :

$$\Delta V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot x_2 \rightarrow x_2 = \frac{4\Delta V}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 1,5}{\pi \cdot 0,15^2} \approx 84,88 \text{ dm} \approx 8,49 \text{ m}$$

Obliczamy siłę parcia wody F_{wp} działającej na dennicę [1, 3, 5]:

$$F_{wp} = \rho \cdot g \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot (h + x_2)$$

$$F_{wp} = 1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{\pi \cdot 0,615^2}{4} \cdot (0,17 + 8,49) = 9810 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,378225 \cdot 8,66 \\ \approx 25236,38 \text{ N}$$

Obliczenie średnicy rdzenia d_r śrub podtrzymujących dennicę zbiornika po: uwzględnieniu warunku wytrzymałościowego na rozciąganie śrub [4], wartości naprężeń dopuszczalnych dla materiału śrub stali C35 (35) $k_r = 155 \text{ MPa}$ [7] oraz założeniu ich liczby $n = 10$:

$$1,5(G + F_{wp}) \leq n \cdot \frac{\pi d_r^2}{4} \cdot k_r \rightarrow n \cdot d_r^2 \geq \frac{6(G + F_{wp})}{\pi \cdot k_r}$$

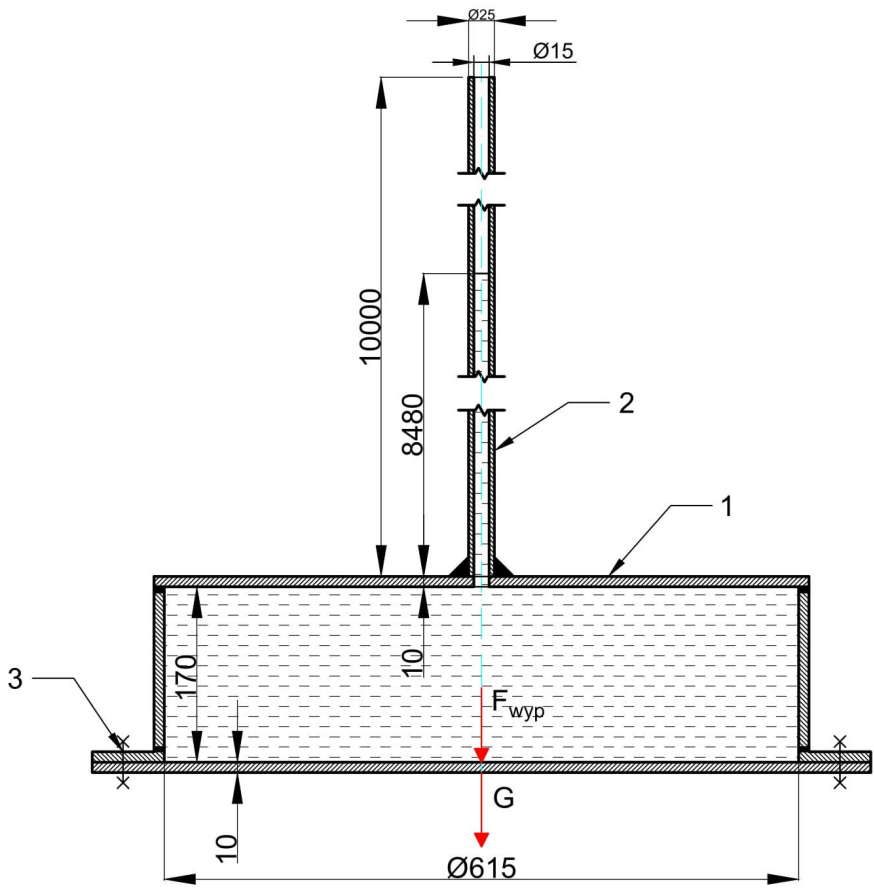
$$n \cdot d_r^2 \geq \frac{6 \cdot 25236,38}{\pi \cdot 155} \approx 310,95 \text{ mm}^2$$

$$d_r \geq \sqrt{\frac{310,95}{n}} = \sqrt{\frac{310,95}{10}} \approx 5,58 \text{ mm}$$

Przyjmujemy [6] gwint śrub M8 ($d_r = 6,335 \text{ mm}$) a ich liczbę $n = 10$.

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na zbiornik, dennicę i rurkę – stal kwasoodporną o oznaczeniu 1.4310 wg EN 10088 (1H18N9 wg PN),
 - na śruby dobrano – stal C35 wg EN 10083 (35 wg PN).



3	Śruba	10	C35	M10
2	Rurka	1	1.4310	EN10088 Spawać spoiną o grubości 10mm
1	Zbiornik	1	1.4310	EN10088 Spawać spoiną o grubości 5mm
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował	Radosław Domowicz	Data	Arkuszy 1
	Rysował	Radosław Domowicz		Nr. arkusza
	Sprawdził	Kaczmarek Józef		1
Podziałka: 1:5	Nazwa: Zbiornik	Nr. rysunku: MP-03.02		

Zadanie projektowe nr 3.3.

Zaprojektować grubość ścianki g_s rozdzielającej dwa zbiorniki wodne w których wysokości wody wynoszą h_1 i h_2 oraz grubość betonowego fundamentu tej ścianki g_f . Dopuszczalny liniowy nacisk na beton w miejscu utwierdzenia ścianki p_{idop} . Założyć szerokość ścianki $b = h_1$. Sporządzić rysunek ścianki.

Dane: $h_1 = 4,6$ m; $h_2 = 2$ m; $p_{idop} = 60$ N/mm; $k_g = 120$ MPa.

Rozwiązanie

Siły parcia na ściankę: z lewej strony Fp_1 i z prawej strony Fp_2 obliczymy [1, 3, 5]:

$$Fp_1 = 0,5\rho h_1^2 b g \quad b = h_1$$

$$Fp_1 = 0,5 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (4,6\text{m})^2 \cdot 4,6\text{m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 477433 \text{ N}$$

$$Fp_2 = 0,5\rho h_2^2 b g$$

$$Fp_2 = 0,5 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (2\text{m})^2 \cdot 4,6\text{m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 90252 \text{ N}$$

Punkty przyłożenia Zf_1 i Zf_2 tych sił od lustra wody obliczymy [1, 3, 5]:

$$Zf_1 = \frac{2}{3} h_1 = \frac{2}{3} \cdot 4,6\text{m} = 3,07\text{m}$$

$$Zf_2 = \frac{2}{3} h_2 = \frac{2}{3} \cdot 2\text{m} = 1,34\text{m}$$

Obliczamy moment Mo próbujący przechylić ściankę przez obustronnie działającą wodę (moment gnący) względem punktu określającego górne utwierdzenie ścianki w betonie:

$$\begin{aligned} Mo &= Fp_1(h_1 - Zf_1) - Fp_2(h_2 - Zf_2) = \\ &= 477433\text{N} \cdot (4,6\text{m} - 3,07\text{m}) - 90252\text{N} \cdot (2\text{m} - 1,34\text{m}) = 670906 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Z warunku zginania przegrody [4], po uwzględnieniu $k_g = 120$ MPa [6] i po podstawieniu danych obliczymy grubość ścianki:

$$\sigma_g = \frac{M_o}{W} = \frac{6M_o}{b \cdot g_s^2} \leq k_g \quad g_s \geq \sqrt{\frac{6M_o}{b \cdot k_g}}$$

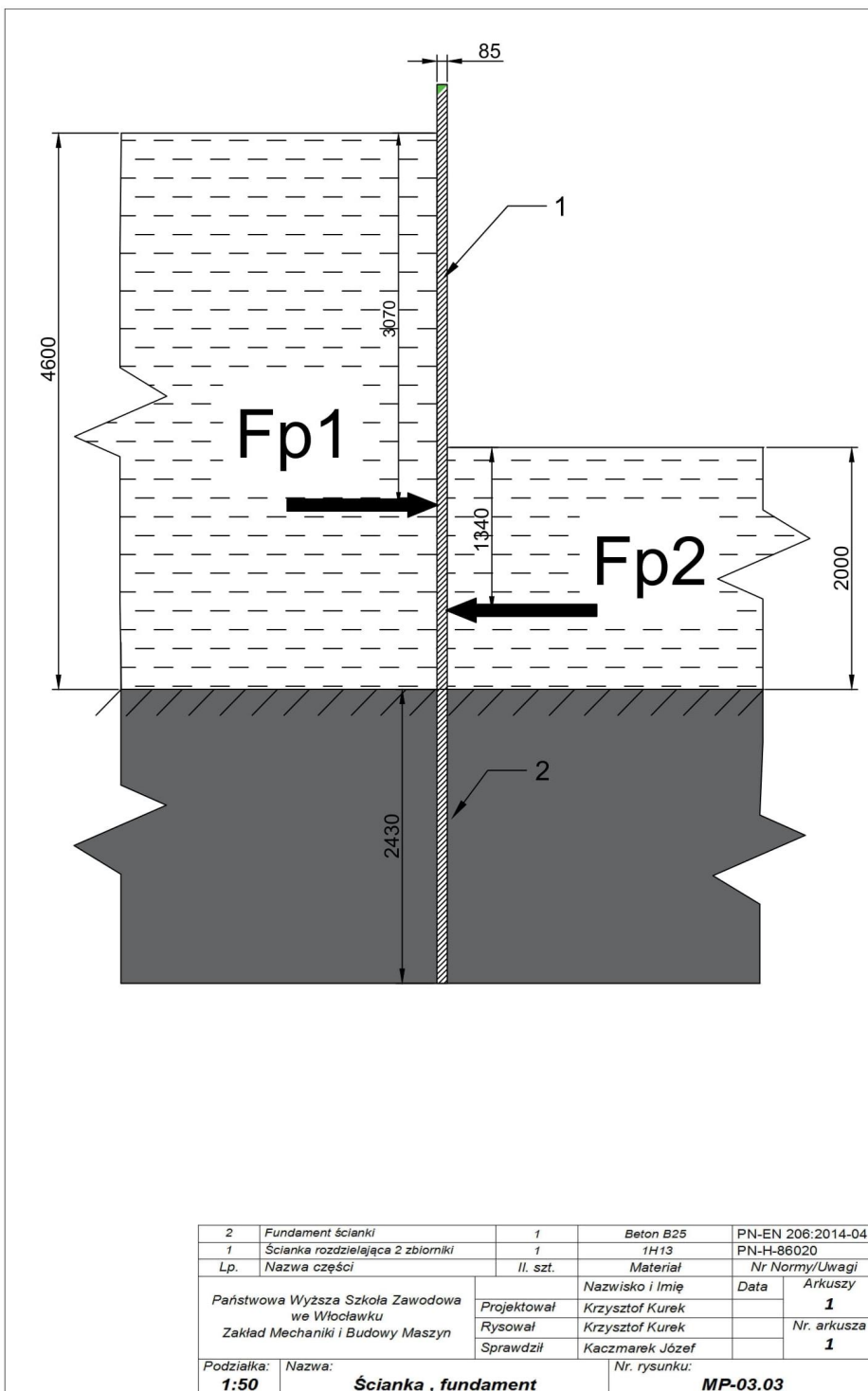
$$g_s \geq \sqrt{\frac{6 \cdot 670906}{4,6 \cdot 120 \cdot 10^6}} = \sqrt{7292,456 \cdot 10^6} = 0,085 \text{ m} = 85 \text{ mm}$$

Z uproszczonego warunku przenoszenia nacisków liniowych przez górną krawędź fundamentu betonowego obliczymy wymaganą grubość tego fundamentu:

$$M_o = F_b \cdot g_f = p_{ldop} \cdot b \cdot x \cdot g_f$$
$$g_f = \frac{M_o}{p_{ldop} \cdot b} = \frac{670906 Nm}{60 \frac{N}{mm} \cdot 4,6 m} = 2,43 m$$

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na ściankę rozdzielającą dobrano – stal nierdzewną 1.4006 wg EN 10088 (1H13 wg PN),
- na utwierdzenie ścianki rozdzielającej dobrano – beton konstrukcyjny B25 wg PN-EN 206.



2	Fundament ścianki	1	Beton B25	PN-EN 206:2014-04
1	Ścianka rozdzielająca 2 zbiorniki	1	1H13	PN-H-86020
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował		Nazwisko i Imię	Data
	Rysował		Krzysztof Kurek	1
	Sprawił		Kaczmarek Józef	Nr. arkusza
				1
Podziałka: 1:50	Nazwa: Ścianka , fundament	Nr. rysunku: MP-03.03		

Zadanie projektowe nr 3.4.

Zaprojektować wielkość gwintu dwóch śrub podtrzymujących na dolnym skraju kwadratową klapę zamykającą zbiornik wodny, której płaska powierzchnia jest usytuowana pod kątem α do lustra wody. Do obciążenia śrub dodać 50% na szczelność kłapy. Sporządzić rysunek kłapy. Dane: $a = 2,8$ m; $g_{pt} = 16$ mm; $\alpha = 60^\circ$, $\rho_{stali} = 7800$ kg/m³; $k_{r\acute{s}rub} = 145$ MPa.

Rozwiązanie

Siłę parcia działającą na klapę o środku S obliczymy z poniższej zależności [1, 2, 3, 5] podstawiając w niej dane:

$$P_s = p_{hs} A = \rho g h_s a^2 = \rho g \frac{a^3 \sin \alpha}{2}$$
$$P_s = 1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{2,8^3 \cdot \sqrt{3}}{4} = 93246,17 \text{ N} = 93246 \text{ N}$$

Punkt przyłożenia tej siły od osi obrotu kłapy określa zależność:

$$l_s = \frac{2}{3} a$$

Ciężar płyty obliczymy z poniższej zależności podstawiając w niej dane:

$$G_{pt} = a^2 g_{pt} \rho_{stali} g$$
$$G_{pt} = 2,8^2 \cdot 0,016 \cdot 7800 \cdot 9,81 = 9598 \text{ N}$$

Wykorzystując zależność określającą moment sił względem osi obrotu kłapy [4], po jej przekształceniu i podstawieniu danych, obliczymy wartość siły działającej na śruby podtrzymujące $F_{\acute{s}r}$:

$$M_o = P_s \cdot l_s + G_{pt} \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha - F_{\acute{s}r} \cdot a = 0$$
$$F_{\acute{s}r} = P_s \cdot \frac{2}{3} + G_{pt} \cdot \frac{1}{2} \cos \alpha = 93246 \text{ N} \cdot \frac{2}{3} + 9598 \text{ N} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = 64563,5 \text{ N}$$

Z warunku rozciągania śrub [4], po dodaniu 50% zapasu obciążenia, po przyjęciu dla materiału śrub E335 (St6) $k_r = 160$ MPa [6] i podstawieniu danych obliczamy średnicę rdzenia śrub:

$$2 \frac{\pi d_r^2}{4} k r_{\text{śrub}} = 1,5 F_{\text{śr}}$$

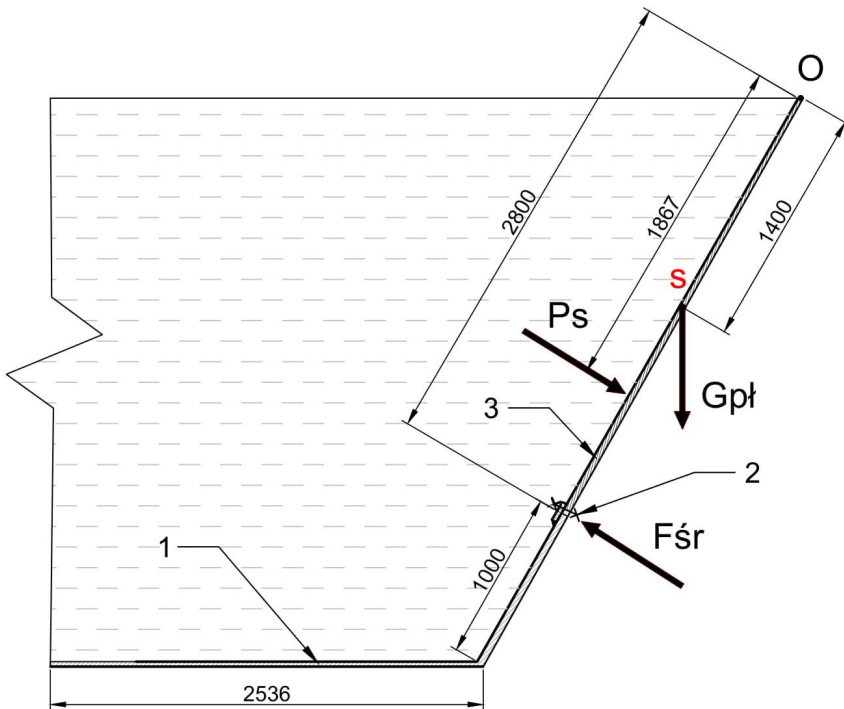
$$d_r = \sqrt{\frac{3 F_{\text{śr}}}{\pi \cdot k r_{\text{śrub}}}}$$

$$d_r = \sqrt{\frac{3 \cdot 64563,5 N}{\pi \cdot 160 \cdot 10^6 Pa}} = \sqrt{385,335 \cdot 10^{-6}} \text{ m} = 0,0196 \text{ m} = 19,6 \text{ mm}$$

Z tablic gwintów [6] dobieramy śruby M24x2 ($d_r = 21,0$) w liczbie 2 sztuk

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na zbiornik i klapę dobrano – stal nierdzewną 1.4016 wg EN 10088 (H17 wg PN),
- na śruby dobrano – stal E335 wg EN 10025 (St6 wg PN).



3	Kwadratowa kłapa	1	Stal nierdzewna H17	PN-H-86020
2	Śruba podtrzymująca M24	2		Zakup
1	Zbiornik	1	Stal nierdzewna H17	PN-H-86020
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował	Nazwisko i Imię		Data
	Rysował	Krzysztof Kurek		Arkuszy 1
	Sprawdził	Kaczmarek Józef		Nr. arkusza
				1
Podziałka:	Nazwa:		Nr. rysunku:	
1:25	Kłapa , śruby podtrzymujące		MP-03.04	

Zadanie projektowe nr 3.5.

Dobrać przełożenie oraz liczby zębów przekładni ślimakowej (z_1 – ślimaka i z_2 – ślimacznicy) dla przypadku osiągnięcia przez wirującą ciecz o objętości V_c górnej krawędzi zbiornika o średnicy D i wysokości h_2 . Wirówka napędzana jest silnikiem o prędkości obrotowej n_s .

Dane: $V_c = 2,9 \text{ m}^3$; $D = 1,6 \text{ m}$; $h_2 = 2 \text{ m}$; $n_s = 1450 \text{ obr/min}$.

Rozwiązanie

Ze wzoru definicyjnego na objętość V_c cylindra i jego przekształcenia względem wysokości cieczy h_c nieruchomego naczynia i podstawieniu danych obliczymy tę wysokość:

$$V_c = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h_c \quad \rightarrow \quad h_c = \frac{4V_c}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 2,9 \text{ m}^3}{\pi \cdot (1,6 \text{ m})^2} = 1,44 \text{ m}$$

Potrzebne do wyznaczenia prędkości kątowej ω cylindra wirówki wysokości h i ΔH obliczymy kolejno:

$$\Delta h = h_2 - h_c = 2 \text{ m} - 1,44 \text{ m} = 0,56 \text{ m}$$

$$\Delta H = 2 \cdot \Delta h = 2 \cdot 0,56 \text{ m} = 1,12 \text{ m}$$

Ze wzoru wiążącego wartość ΔH i prędkość kątową ω cylindra wirówki [1, 2, 3, 5] i po jego przekształceniu oraz podstawieniu znanych wartości obliczymy tę prędkość:

$$\Delta H = \frac{\omega^2 \cdot D^2}{8g} \quad \rightarrow \quad \omega = \frac{\sqrt{8 \cdot g \cdot \Delta H}}{D} = \frac{\sqrt{8 \cdot 9,81 \cdot 1,12}}{1,6} = 5,86 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Ze wzoru wiążącego prędkość kątową ω cylindra z prędkością obrotową ślimacznicy n i po jego przekształceniu oraz podstawieniu znanych wartości obliczymy tę prędkość:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad \rightarrow \quad n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 5,86}{\pi} = 55,96 \frac{\text{obr}}{\text{min}} \approx 56 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$$

Wymagane przełożenie i przekładni ślimakowej obliczymy:

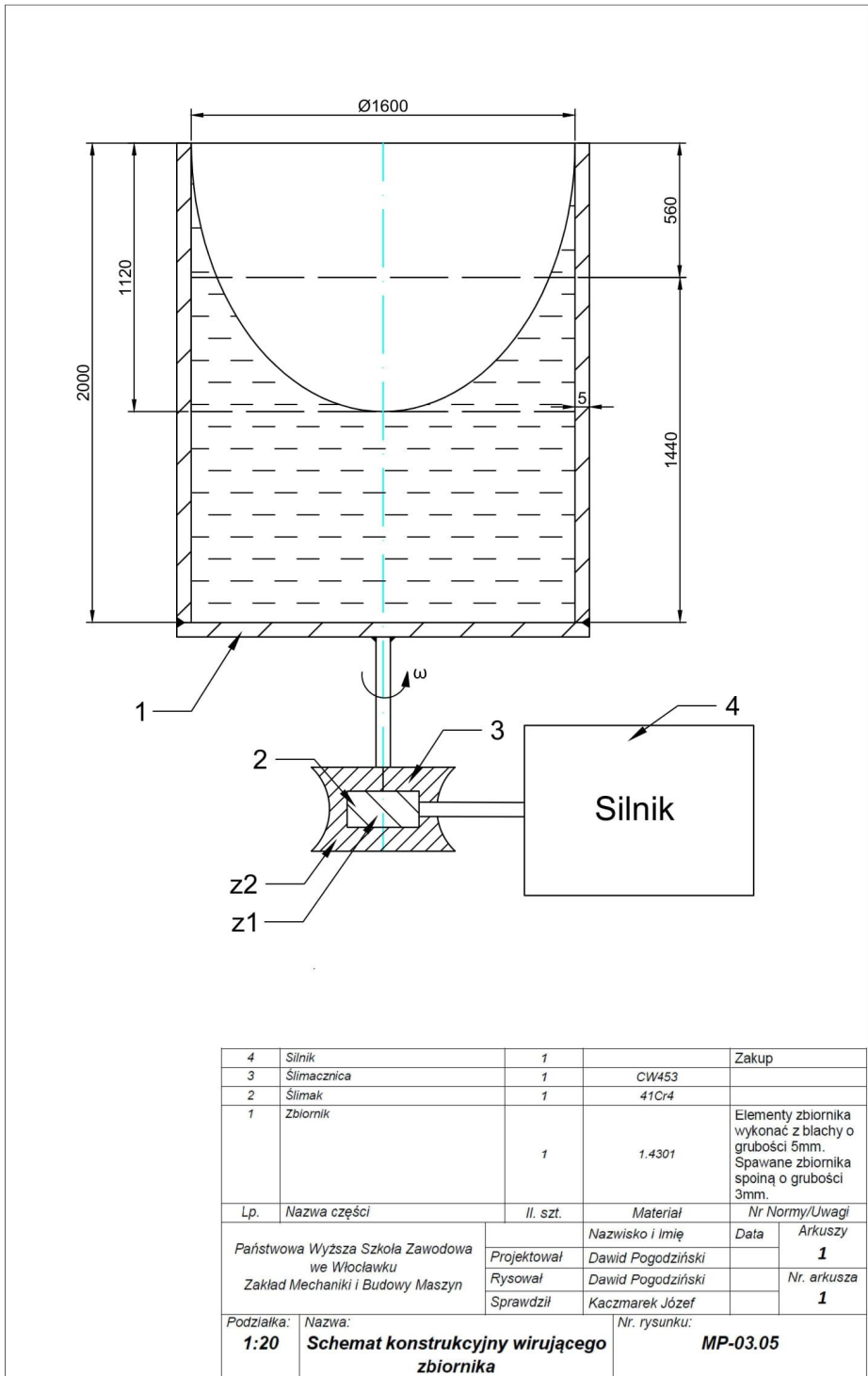
$$i = \frac{n_s}{n} = \frac{1450}{56} = 26$$

Jednocześnie przełożenie przekładni ślimakowej określić można za pośrednictwem liczby zębów ślimaka z_1 i ślimacznicy z_2 :

$$i = \frac{z_2}{z_1}$$

Przyjmując dla najłatwiejszego technologicznie ślimaka $z_1 = 1$, łatwo obliczymy liczbę zębów ślimacznicy $z_2 = 26$

Poszczególne elementy urządzenia wykonano z następujących materiałów:
zbiornik – stal kwasoodporna o oznaczeniu 1.4301 wg EN 10088 (0H18N9 wg PN), ślimak – stal 41Cr4 wg EN 10083 (40H wg PN), ślimacznica – brąz CW 453 wg EN (B8 wg PN).

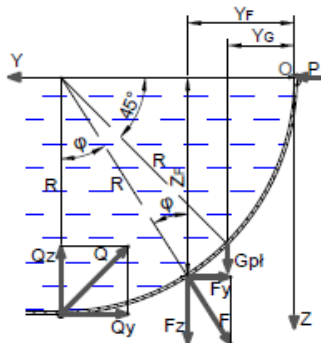


4	Silnik	1		Zakup
3	Ślimacznica	1	CW453	
2	Ślimak	1	41Cr4	
1	Zbiornik	1	1.4301	Elementy zbiornika wykonać z blachy o grubości 5mm. Spawane zbiornika spoiną o grubości 3mm.
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował		Dawid Pogodziński	Data
	Rysował		Dawid Pogodziński	
	Sprawił		Kaczmarek Józef	
Podziałka:	Nazwa:		Nr. rysunku:	
1:20	Schemat konstrukcyjny wirującego zbiornika		MP-03.05	1 Nr. arkusza 1

Zadanie projektowe nr 3.6.

Zaprojektować średnice d i długości czynne l_z trzpieni zawiasów (2 szt.) pokrywy o promieniu wewnętrznym R , długości l i grubości ścianki g_{pt} , zamykającej zbiornik wodny (szkic). Przyjąć dla uproszczenia, że trzpień zawiasów są obciążone dociskiem i ścinaniem (są dwucięte). Sporządzić rysunek zbiornika.

Dane: $R = 0,7 \text{ m}$; $l = 1,76 \text{ m}$; $\rho_{stali} = 7800 \text{ kg/m}^3$; $k_t = 90 \text{ MPa}$; $p_{dop} = 72 \text{ MPa}$; $g_{pt} = 10 \text{ mm}$.



Rozwiązanie

Składowe siły parcia wody F_y i F_z na pokrywę obliczymy według wzorów podanych w [1, 3, 5], oraz wypadkową F tych sił po podstawieniu danych:

$$F_y = 0,5 \cdot \rho \cdot g \cdot R^2 \cdot l = 0,5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,7^2 \text{m}^2 \cdot 1,76 \text{m} = 4230 \text{N}$$

$$F_z = \frac{1}{4} \pi R^2 \cdot l \cdot g \cdot \rho = \frac{\pi}{4} \cdot 0,7^2 \text{m}^2 \cdot 1,76 \text{m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 6645 \text{N}$$

$$F = \sqrt{F_y^2 + F_z^2} = 7877 \text{N}$$

Współrzedną pionową Z_F i poziomą Y_F punktu przyłożenia wypadkowej F wyrazimy z wykorzystaniem poniższych zależności geometrycznych i danych:

$$\text{tg} \varphi = \frac{F_y}{F_z} = 0,6366 \quad \rightarrow \quad \varphi = 32,5^\circ$$

$$Z_F = R \cdot \cos \varphi$$

$$Y_F = R - R \cdot \sin \varphi = R (1 - \sin \varphi)$$

Ciężar pokrywy obliczymy ze wzoru definicyjnego:

$$G_{pt} = 0,5 \cdot \pi \cdot R \cdot l \cdot g_{pt} \cdot \rho_{stali} \cdot g = 0,5 \cdot \pi \cdot 0,7m \cdot 1,76m \cdot 10^{-2}m \cdot 7800 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$$

Współrzedną i poziomą Y_G punktu przyłożenia siły G_{pt} wyrazimy z wykorzystaniem poniższej zależności geometrycznej:

$$Y_G = R - R \cdot \cos 45^\circ \approx 0,293R$$

Równowagę pokrywy określają dwie poniższe zależności z pomocą których obliczymy składowe siły oraz ich wypadkową działające na zawiasy:

$$\Sigma F_x: Q_x = G_{pt} + F_x = 1481,3 + 6645 = 8126,3N$$

$$\Sigma M_o: G_{pt} \cdot Y_G + F_x \cdot Y_x + F_y \cdot Z_F - Q_x \cdot R + Q_y \cdot R = 0 \quad \rightarrow$$

$$\rightarrow Q_y = Q_x - F_y \cdot \cos \varphi - F_x \cdot (1 - \sin \varphi) - 0,293 \cdot G_{pt} =$$

$$= 8126,3 - 4230 \cdot \cos(32,5^\circ) - 6645 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) - 0,293 \cdot 1481,3 = 1050,1 N$$

$$Q = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} = \sqrt{8126,3^2 + 1050,1^2} \approx 8194 N$$

Wartość siły działającej na każdy z zawias wyniesie:

$$Q_1 = 0,5 \cdot Q = 4097 N$$

Z warunku ścinania (dwa przekroje) [4], jego przekształceniu i przyjęciu naprężeń dopuszczalnych śrub $k_t = 90$ MPa, obliczymy wymaganą średnicę d trzpienia zawiasu:

$$\frac{Q_1}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} \leq k_t \quad \rightarrow \quad d \geq \sqrt{\frac{2 \cdot Q_1}{\pi \cdot k_t}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4097}{\pi \cdot 90}} = 5,38 \text{ mm}$$

Przyjmujemy średnicę $d = 6$ mm

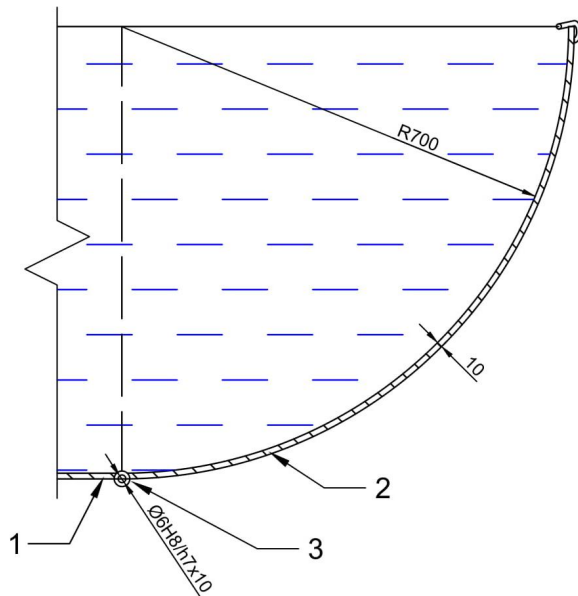
Z warunku nacisków powierzchniowych [4], jego przekształcenia i przyjęciu nacisków dopuszczalnych $p_{dop} = 72$ MPa, obliczymy wymaganą długość l_z trzpienia zawiasu:

$$\frac{Q_1}{l_z \cdot d} \leq p_{dop} \quad \rightarrow \quad l_z \geq \frac{Q_1}{d \cdot p_{dop}} = \frac{4097}{6 \cdot 72} = 9,48 \text{ mm}$$

Przyjmujemy długość $l_z = 10$ mm.

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na pokrywę i trzpień zawiasu dobrano – stal nierdzewną 1.4301 wg EN 10088 (0H18N9 wg PN),



3	Zawias	2	1.4301			
2	Pokrywa	1	1.4301	Elementy zbiornika i kłapy wykonać z blachy o grubości 10 mm, spawane spoiną o grubości 5 mm		
1	Zbiornik	1	1.4301			
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi		
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn			Nazwisko i Imię	Data	Arkuszy	
			Projektował	Dawid Pogodziński	1	
			Rysował	Dawid Pogodziński		Nr. arkusza
			Sprawił	Kaczmarek Józef		1
Podziałka: 1:10	Nazwa: Pokrywa zbiornika z zawiasami podtrzymującymi	Nr. rysunku: MP-03.06				

ROZDZIAŁ 4

Przepływy płynów, równanie Bernoulliego, straty przepływów

Zadanie projektowe nr 4.1.

Zaprojektować wymiary poziomej rury zwężkowej dostarczającej powietrze o gęstości ρ i objętościowym wydatku Q i współpracującego z nią manometru wodnego, jeśli manometr ten wykazuje różnicę poziomów H .

Dane: $Q = 0,29 \text{ m}^3/\text{s}$; $H = 143,1 \text{ mm}$; $D = 2d$; $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$; $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Sporządzić rysunek tej rury z manometrem.

Rozwiązanie

Stosując równanie Bernoulliego dla ciśnień mamy [1, 3, 5]:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g z_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g z_2$$

Uwzględniając dla rury poziomej $z_1 = z_2$, przekształcając i zastępując różnicę ciśnień powietrza ciśnieniem hydrostatycznym manometru otrzymujemy:

$$\rho \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} = p_1 - p_2 = \rho_w g H$$

Stosując prawo ciągłości przepływu oraz dokonując wymaganych podstawień i przekształceń otrzymujemy kolejno:

$$v_1 \frac{\pi D^2}{4} = v_2 \frac{\pi d^2}{4} \rightarrow v_1 = v_2 \frac{d^2}{D^2}$$

$$\frac{\rho}{2} * (v_2^2 - v_2^2 \frac{d^4}{D^4}) = \rho_w g H \rightarrow v_2 = \sqrt{\frac{2\rho_w g H}{\rho(1 - \frac{d^4}{D^4})}}$$

$$Q = v_2 \cdot A_2 = \sqrt{\frac{2\rho_w g H}{\rho(1 - \frac{d^4}{D^4})}} \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

Podstawiając dane: $D = 2d$, $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$, $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
i przekształcając otrzymamy:

$$Q = 103,67\sqrt{H} \cdot d^2 \rightarrow d = 0,09821 \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H}}$$

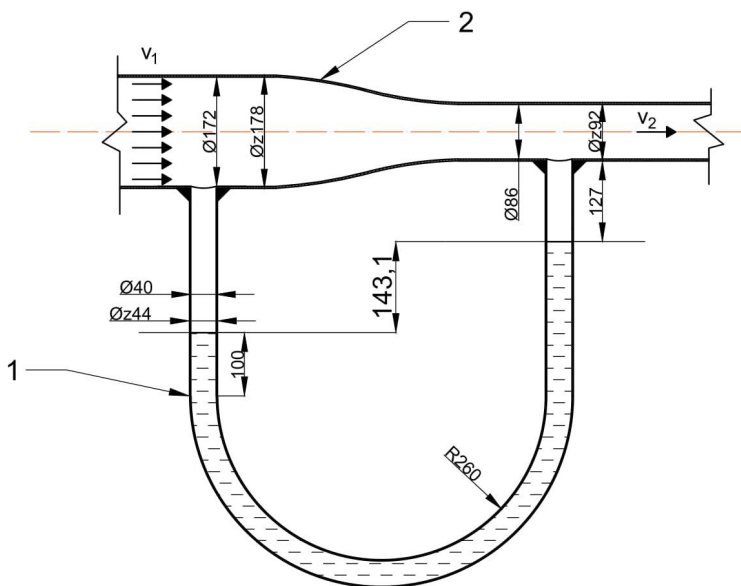
Podstawiając dane podstawowe obliczymy wymagane średnice d i D rury:

$$d = 0,09821 \frac{\sqrt{0,29}}{\sqrt[4]{0,1431}} \approx 0,085989 \text{ m} \approx 86 \text{ mm}$$

$$D = 2 \cdot 86 = 172 \text{ mm}$$

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na rurę dobrano stal nierdzewną 1.4310 wg EN 10088 (1H18N9 wg PN)
 - na manometr wodny dobrano – szkło.



2	Manometr wodny	1	Szkło	EN10088
1	Rura zwężkowa	1	1.4310	Skleić klejem epoksydowym
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował		Nazwisko i Imię	Data
	Rysował		Radosław Domowicz	
	Sprawdził		Radosław Domowicz	
			Kaczmarek Józef	
Podziałka:	Nazwa:	Nr. rysunku:		Arkuszy
1:8	Rura zwężkowa	MP-04.01		1

Zadanie projektowe nr 4.2.

Opracować krzywą rozkładu prędkości $y/r = f(v)$ cieczy o lepkości ν w rurce o promieniu r , jeśli prędkość średnia cieczy wynosi v_s . Sporządzić rysunek tej krzywej oraz rysunek rurki.

Dane: $\nu = 1,59 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; $d = 2r = 21,8 \text{ mm}$; $v_{sr} = 0,106 \text{ m/s}$.

Rozwiązanie

Stosujemy wzór określający liczbę Reynoldsa R_e [1, 3, 5] do którego po podstawieniu danych, sprawdzamy czy w rurce jest przepływ laminarny

$$R_e = \frac{v_{sr} \cdot d}{\nu} = \frac{0,106 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,0218 \text{ m}}{1,59 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 1456,33 < 2300$$

Otrzymana nierówność określa, iż przepływ jest laminarny.

Dla takiego przepływu słuszna jest zależność [1, 3, 5]:

$$v_{max} = 2v_{sr}$$

Rozkład prędkości w warunkach zadania przedstawia zależność [5]:

$$\frac{v}{v_{max}} = 1 - \left(\frac{y}{r}\right)^2$$

Po prostym przekształceniu otrzymujemy:

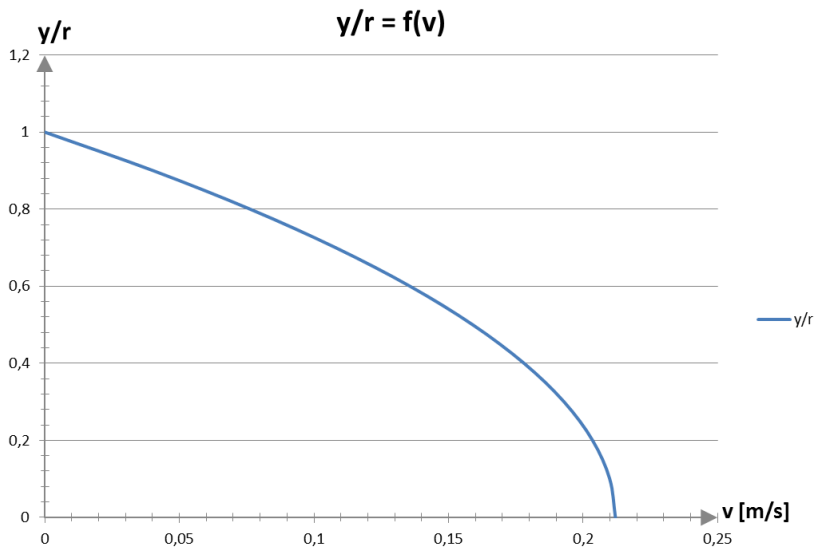
$$v = v_{max} \left[1 - \left(\frac{y}{r}\right)^2 \right]$$

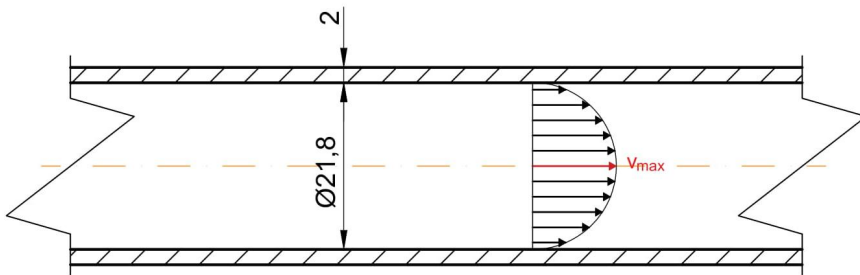
Powyższa zależność świadczy o parabolicznym charakterze zależności funkcji $y/r = f(v)$. W celu wykonania wykresu tej funkcji budujemy tabelę dla przykładowych 11- stu wartości zmiennej niezależnej.

y/r	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
v [m/s]	0,212	0,20988	0,20352	0,19292	0,17808	0,159
y/r	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
v [m/s]	0,13568	0,10812	0,07632	0,04028	0	

Na podstawie uzyskanych w tabeli wartości sporządzamy poszukiwany wykres.

Powyższa zależność pozwala również stwierdzić, że średnia wartość prędkości jest równa prędkości warstewki cieczy położonej w odległości $y = 0,707 r = 7,707 \text{ mm}$ od osi rurki.





1	Rurka	1	Szkło	Nr Normy/Uwagi	
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Data	Arkuszy
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Włocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował	Radosław Domowicz			1
	Rysował	Radosław Domowicz			Nr. arkusza
	Sprawdził	Kaczmarek Józef			1
Podziałka: 2:1	Nazwa: Rurka		Nr. rysunku: MP-04.02		

Zadanie projektowe nr 4.3.

Zaprojektować układ zbiorników połączonych rurką (syfonem) o średnicy d i długości l do badania laminarności przepływu wody o $t = 20^{\circ}\text{C}$, ($v_{20} = 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 1,01 \text{ mm}^2/\text{s}$) mając dane: $Re_{kr} = 2260$; $l = 5,24 \text{ m} = 5240 \text{ mm}$; $d = 5,2 \text{ mm}$; $D \approx 50 \text{ d}$ (z zaokrągleniem do 10 mm), $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Sporządzić rysunek układu zbiorników uwzględniając w nich wymaganą różnicę poziomów z .

Rozwiązanie

Stosujemy kolejno zależności na [1, 3, 5]:

- stratę ciśnienia Δp_p przy przepływie cieczy lepkiej przez długi i o niewielkim przekroju przewód hydrauliczny (syfon),
- ciśnienie hydrostatyczne Δp_p ,
- krytyczną liczbę Reynoldsa Re_{kr} :

$$\Delta p_p = \frac{32 \cdot \rho \cdot v_{20} \cdot l \cdot v_{sr}}{d^2}$$

$$\Delta p_p = \rho g z$$

$$Re_{kr} = \frac{v_{sr} \cdot d}{v_{20}}$$

Kompilując powyższe zależności i po przekształceniach uzyskujemy zależność na poszukiwaną różnicę poziomów z :

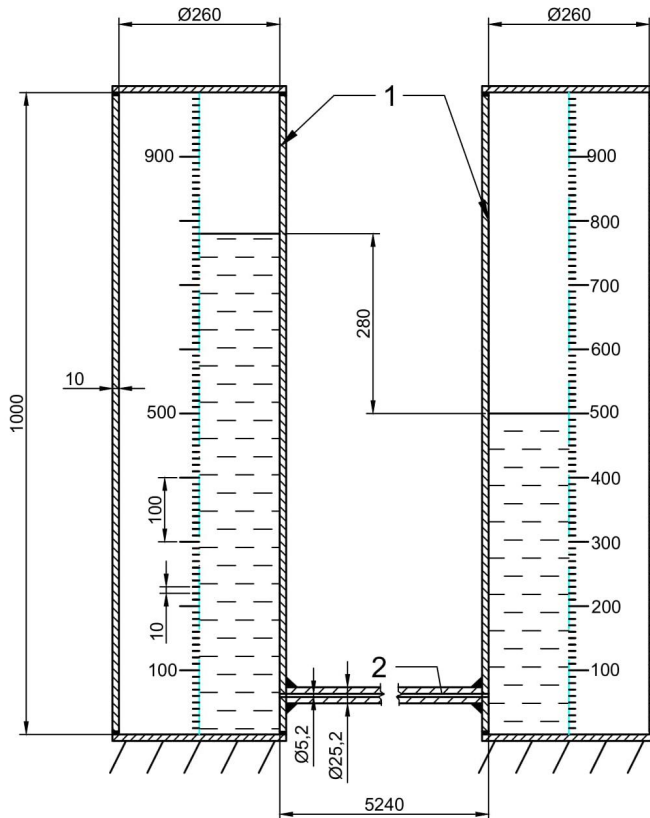
$$z = \frac{32 \cdot v_{20}^2 \cdot l \cdot Re_{kr}}{g \cdot d^3}$$

Podstawiając następnie unormowane dane (w odpowiednich jednostkach), ostatecznie otrzymujemy wartość z .

$$z = \frac{32 \cdot 1,01^2 \cdot 5240 \cdot 2260}{9,81 \cdot 10^3 \cdot 5,2^3} \approx 280 \text{ mm}$$

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na zbiornik i rurkę łączącą dobrano – stal nierdzewną 1.4310 wg EN 10088 (1H18N9 wg PN),



2	Rurka	1	1H18N9T	Spawać spoiną o grubości 5mm
1	Zbiornik	2	1H18N9T	
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn			Nazwisko i Imię	Data
		Projektował	Jakub Gortych	1
		Rysował	Jakub Gortych	Nr. arkusza
		Sprawdził	Kaczmarek Józef	1
Podziałka:	Nazwa:	Nr. rysunku:		
1:50	Zbiorniki połączone rurką	MP-04.03		

Zadanie projektowe nr 4.4.

Zaprojektować zbiornik z rurą wypływową o średnicy d i długości l , aby ciecz o lepkości ν wypływała w objętości V w ciągu czasu t przy różnicy poziomów lustra cieczy i osi rurki H . Obliczyć również zapotrzebowanie na wodę Q . Dane: $V = 360 \text{ cm}^3$; $t = 1 \text{ min}$; $H = 1 \text{ m}$; $\nu = 117 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; $D \approx 50 d$ (z zaokrągleniem do 10 mm); założyć $l/d = 150 \div 200$. Zawór górny zbiornika jest otwarty i służy do uzupełnienia cieczy. Sporządzić rysunek zbiornika z rurką.

Rozwiązanie

Stosujemy równanie Bernoulliego dla ciśnień ze stratami (indeksy „1” dotyczą lustra cieczy, indeksy „2” dotyczą wypływającej z rurki cieczy) [1, 2, 3, 5]:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 + \Delta p_c$$

Uwzględniając w równaniu następujące warunki zadania:

- dla otwartego górnego zaworu (zbiornik otwarty):

$$p_1 = p_a = p_2$$

- uzupełnienie zbiornika cieczą powoduje stały jej poziom lustra:

$$v_1 = 0$$

- dla przyjętego poziomu odniesienia w osi rurki:

$$h_1 = H; h_2 = 0$$

otrzymujemy po uproszczeniach:

$$\rho g H = \frac{\rho v_2^2}{2} + \Delta p_c$$

Ze związku prędkości wypływu v_2 , przekroju otworu wypływowego o średnicy d , objętości wypływu V i jego czasu t wiemy, że:

$$v_2 = \frac{4V}{t \cdot \pi d^2}$$

Stosujemy zależność na stratę ciśnienia Δp_c przy przepływie cieczy lepkiej przez długi i o niewielkim przekroju przewód hydrauliczny [1, 3, 5]:

$$\Delta p_c = \frac{32 \rho \nu l v_2}{d^2}$$

Kompilując ze sobą trzy ostatnie zależności otrzymujemy:

$$gH = \frac{8V^2}{t^2\pi^2d^4} + \frac{128vIV}{t\pi d^4}$$

Podstawiając unormowane (w jednostkach podstawowych układu SI) dane: $V = 360 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$, $t = 60 \text{ s}$, $H = 1 \text{ m}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $l = 200 \text{ d}$ oraz odpowiednio przekształcając obliczymy:

$$\frac{v}{d^3} = 2,006 \cdot 10^2 \frac{1}{\text{s} \cdot \text{m}}$$

Dokonując ostatniego przekształcenia i podstawiając $v = 117 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ obliczamy średnicę rury wypływowej:

$$d = \sqrt[3]{\frac{v}{2,006 \cdot 10^2}} = \sqrt[3]{\frac{117 \cdot 10^{-6}}{2,006 \cdot 10^2}} \approx 0,00836 \text{ m} = 8,36 \text{ mm}$$

Średnicę zbiornika D i długość rury wypływowej l już łatwo obliczymy

$$D \approx 50 \cdot d \approx 417,76 \text{ mm} = 420 \text{ mm}$$

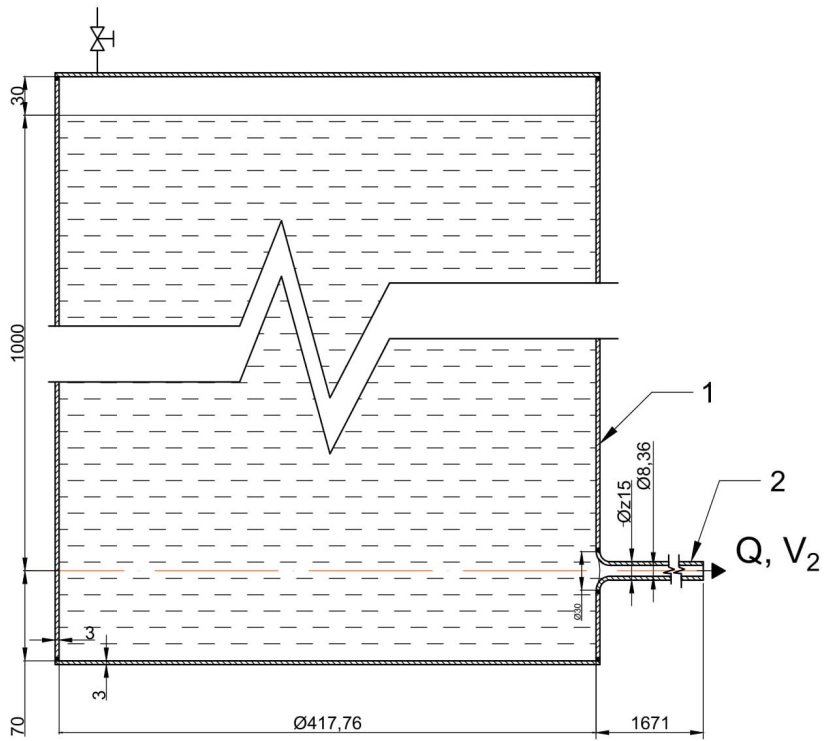
$$l \approx 200 \cdot d \approx 1671 \text{ mm}$$

Zapotrzebowanie na wodę, którą należy dostarczać do zbiornika w sposób ciągły przez górny zawór zasilający, obliczymy:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{360}{60} = 6 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na zbiornik i rurkę dobrano – stal nierdzewną 1.4310 wg EN 10088 (1H18N9 wg PN),



2	Rurka	1	1.4310	EN10088	
1	Zbiornik	1	1.4310	Spawac spoina o grubosci 2,5mm	
Lp.	Nazwa czesci	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi	
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn			Nazwisko i Imię	Data	Arkuszy
	Projektował		Radosław Domowicz		1
	Rysował		Radosław Domowicz		Nr. arkusza
	Sprawił		Kaczmarek Józef		1
Podziałka:	Nazwa:	Nr. rysunku:			
1:4	Zbiornik z wpływem	MP-04.04			

Zadanie projektowe nr 4.5.

Zaprojektować wymiary naczynia (wysokość H i średnicę D) konieczne do uzyskania przepływu Q w poziomym przewodzie wodociągowym o zmiennych wymiarach l_1, d_1 oraz l_2, d_2 , jeśli współczynnik chropowatości wynosi $\varepsilon = 0,16$ mm. $D \approx 50 d_2$ (z zaokrągleniem do 10 mm). Pozostałe dane: $Q = 5,35$ dm³/s; $l_1 = 108$ m; $d_1 = 138$ mm; $l_2 = 86,4$ m; $d_2 = 108$ mm; $v_{20} = 1,01 \cdot 10^{-6}$ m²/s. Sporządzić rysunek zbiornika z przewodem.

Rozwiązanie

Obliczamy średnicę naczynia

$$D = 50d_2 = 5640 \text{ mm}$$

Z przekształconych wzorów wiążących wydatek objętościowy, prędkość i przekrój oraz podstawiając w nich dane, obliczamy prędkości cieczy w obydwu przekrojach przewodu wodociągowego:

$$v_1 = \frac{4Q}{\pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 5,35 \cdot 10^6}{\pi \cdot 138^2} \approx 361 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 0,361 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = \frac{4Q}{\pi d_2^2} = \frac{4 \cdot 5,35 \cdot 10^6}{\pi \cdot 108^2} \approx 584 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 0,584 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Obliczenie strat liniowych [1, 3, 5]

a) obliczenie chropowatości względnej w obydwu odcinkach przewodu wodociągowego:

$$\frac{\varepsilon}{d_1} = \frac{0,16}{138} = 0,001159$$

$$\frac{\varepsilon}{d_2} = \frac{0,16}{108} = 0,001481$$

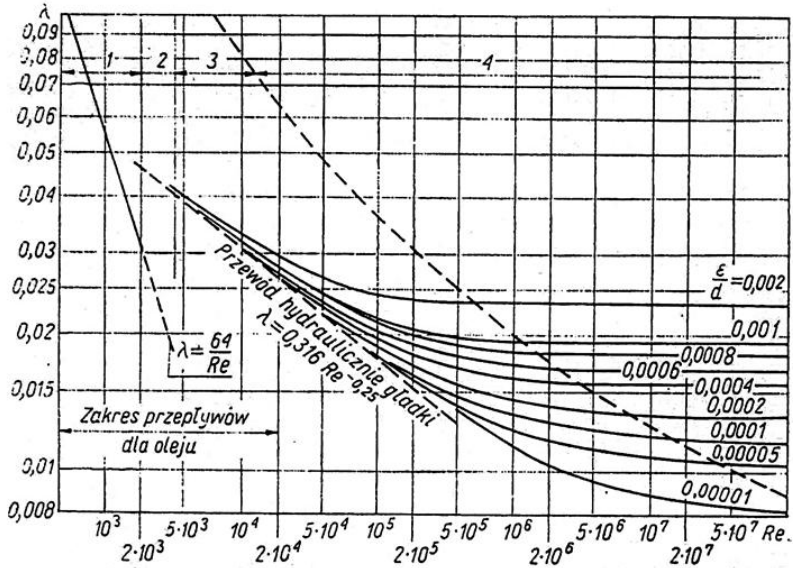
b) obliczenie liczby Reynoldsa w obydwu odcinkach przewodu wodociągowego

$$R_{\varepsilon 1} = \frac{v_1 \cdot d_1}{v_{20}} = \frac{361 \cdot 138}{1,01} \approx 49283$$

$$R_{\varepsilon 2} = \frac{v_2 \cdot d_2}{v_{20}} = \frac{584 \cdot 108}{1,01} = 62448$$

c) mając wartości ε/d i R_e , z wykresu Nikuradsego (zwanym również wykresem Moodiego) szacujemy współczynniki straty liniowej w obydwu odcinkach przewodu wodociągowego - wynoszą one:

$$\lambda_1 = 0,022 \text{ i } \lambda_2 = 0,023$$



Zależność współczynnika oporów liniowych od liczby Reynoldsa i chropowości względnej - wykres (harfa) Nikuradsego

d) obliczenie strat liniowych w ujęciu wysokościowym w obydwu odcinkach przewodu wodociągowego wg zależności i po podstawieniu danych [5]:

$$h_{11} = \lambda_1 \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 0,022 \cdot \frac{108}{0,138} \cdot \frac{0,358^2}{2 \cdot 9,81} \approx 0,112 \text{ m} = 112 \text{ mm}$$

$$h_{12} = \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 0,023 \cdot \frac{86,4}{0,108} \cdot \frac{0,584^2}{2 \cdot 9,81} \approx 0,32 = 320 \text{ mm}$$

Obliczenie strat miejscowych [1, 3, 5]

a) określenie współczynnika strat miejscowych w obydwu miejscach (z tabeli):

	d_1/d_2	1	1,1	1,25	1,5	2
	ζ	0	0,1	0,19	0,28	0,37
	d_1/d_2	2,5	3	3,5	4	10
	ζ	0,4	0,42	0,43	0,45	0,5

$$\text{dla } D/d_1 > 10 \quad \xi = 0,5$$

$$\text{dla } d_1/d_2 = 1,25 \quad \xi = 0,19$$

b) obliczenie strat miejscowych w ujęciu wysokościowym w obydwu odcinkach przewodu wodociągowego wg zależności i po podstawieniu danych:

$$h_{m1} = \xi \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 0,5 \cdot \frac{0,358^2}{2 \cdot 9,81} \approx 0,033 \text{ m} = 3,3 \text{ mm}$$

$$h_{m2} = \xi \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 0,19 \cdot \frac{0,584^2}{2 \cdot 9,81} \approx 0,033 \text{ m} = 3,3 \text{ mm}$$

Obliczenie różnicy poziomów w zbiorniku w stosunku do osi przewodu

Stosując równanie Bernoulliego w ujęciu wysokościowym

$$z_1 + \frac{p_\alpha}{\rho g} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_\alpha}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_{str}$$

Uwzględniając warunki zadania i po prostym przekształceniu oraz po podstawieniu wcześniej obliczonych wartości obliczymy szukaną wartość H :

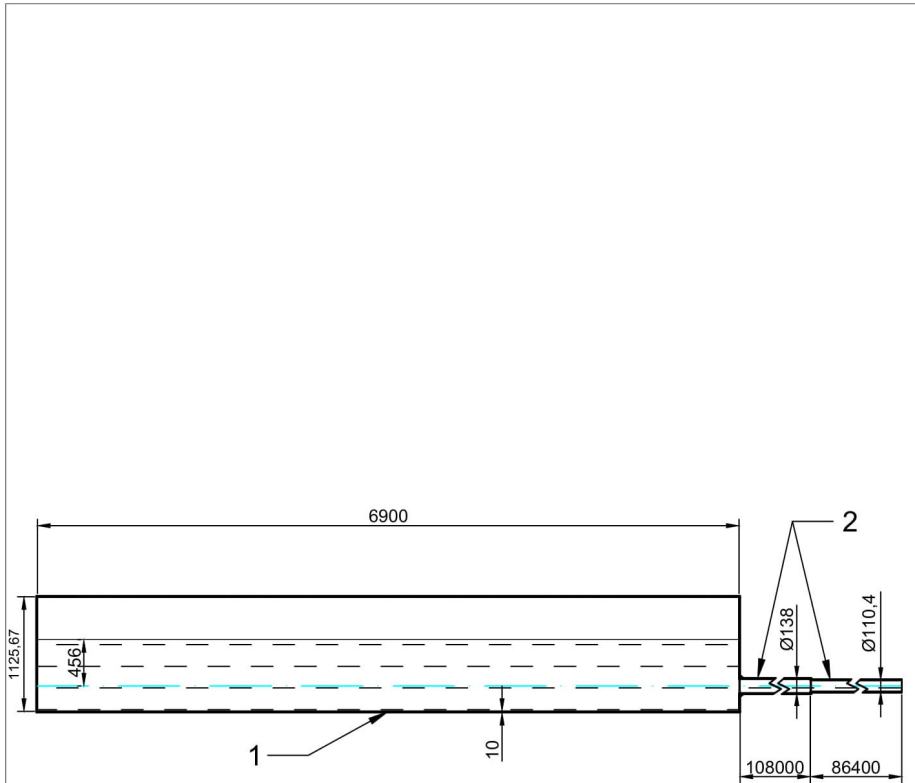
$$H = z_1; \quad z_2 = 0; \quad v_0 \approx 0; \quad h_{str} = h_{m1} + h_{m2} + h_{i1} + h_{i2}$$

$$H = \frac{v_2^2}{2g} + h_{m1} + h_{m2} + h_{i1} + h_{i2}$$

$$H = \frac{584^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 10^8} + 3,3 + 3,3 + 112 + 320 \approx 456 \text{ mm}$$

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na zbiornik i rurkę łączącą dobrano – stal nierdzewną 1.4541 wg EN 10088 (1H18N9T wg PN),



2	Rurka	1	1H18N9T	Spawać spoiną o grubości 5mm
1	Zbiornik	2	1H18N9T	
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Włocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował		Nazwisko i Imię Jakub Gortych	Arkuszy 1
	Rysował		Jakub Gortych	Nr. arkusza 1
	Sprawdził		Kaczmarek Józef	
Podziałka: 1:50	Nazwa: Naczynie			Nr. rysunku: MP-04.05

ROZDZIAŁ 5

Przepływ cieczy przez szczeliny, wypływy cieczy

Zadanie projektowe nr 5.1.

Zaprojektować wymiary dławika kapilarnego (średnicę d_k i długość $l_k \approx 40 d_k$) oraz diafragmowego (średnicę d_d ; dla współczynnika oporów $k = 0,7$) pozwalających na przepływy odpowiednio Q_k i Q_d przy spadku ciśnienia Δp oleju o gęstości $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ i lepkości ν . Sporządzić rysunki dławików (na jednym formacie A4).

Pozostałe dane: $Q_k = 1,16 \text{ dm}^3/\text{s}$; $\nu = 43,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; $\Delta p = 185,6 \text{ bar}$; $Q_d = 0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Rozwiązanie

1. Obliczenia wymiarów dławika kapilarnego:

Korzystamy w obliczeniach ze wzoru na przepływ przez dławik kapilarny [2]:

$$Q_k = \frac{\pi \Delta p d_k^4}{128 \nu \rho l_k}$$

Przekształcamy wzór tak aby z jednej strony równania mieć średnicę d_k oraz długość l_k kapilary:

$$\frac{d_k^4}{l_k} = \frac{128 Q_k \nu \rho}{\pi \Delta p}$$

Korzystamy z założenia z treści zadania, że $l_k = 40 d_k$ i podstawiamy dane:

$$\frac{d_k^4}{40 d_k} = \frac{128 \cdot 0,00116 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 43,2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\pi \cdot 185,6 \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}} = 9,90 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3$$

Wyliczamy wymiary średnicę d_k i długość l_k dławika kapilarnego:

$$d_k^3 = 40 \cdot 9,90 \cdot 10^{-11} m^3 = 396 \cdot 10^{-11} m^3$$

$$d_k = \sqrt[3]{396 \cdot 10^{-11} m^3} = 0,00158 m = 1,58 mm$$

$$l_k = 40 \cdot d_k = 40 \cdot 1,58 mm = 63,20 mm$$

2. Obliczenia wymiarów dławika diafragmowego

Korzystamy z wzoru na przepływ przez dławik diafragmowy [1]:

$$Q_d = k \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} = k \cdot \frac{\pi d_d^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$

Przekształcamy powyższy wzór aby wyznaczyć średnicę d_d dławika:

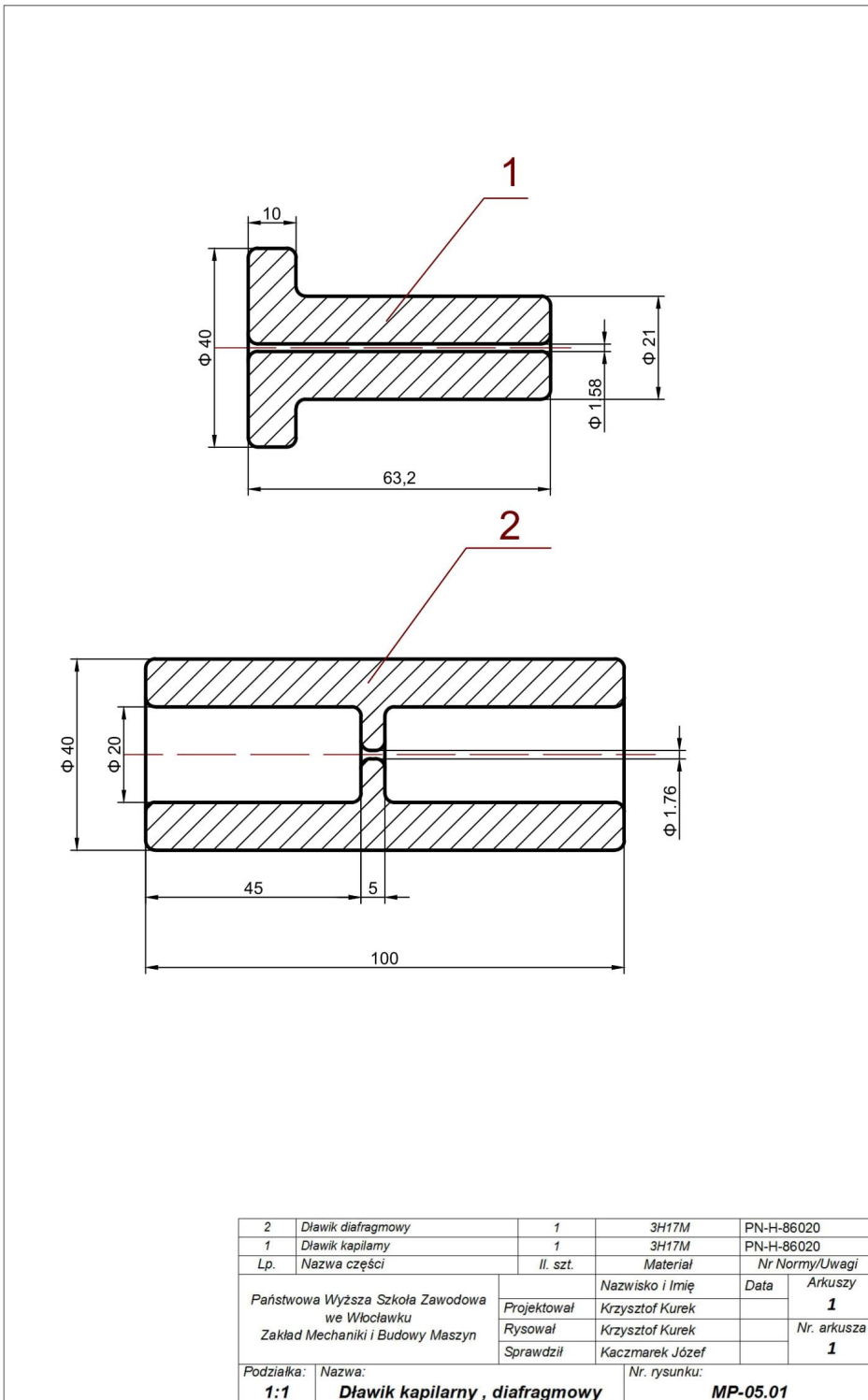
$$d_d = \sqrt{\frac{4Q_d}{k\pi}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{2\Delta p}} \approx 6,2 \cdot \frac{\sqrt{Q_d}}{\sqrt[4]{\Delta p}}$$

Podstawiamy dane i obliczamy średnicę d_d dławika diafragmowego:

$$d_d = 6,2 \cdot \frac{\sqrt{0,00035 \frac{m^3}{s}}}{\sqrt[4]{185,6 \cdot 10^3 \frac{kg}{m \cdot s^2}}} = 0,00176 m = 1,76 mm$$

Dobór materiałów na projektowane elementy:

- na dławiki dobrano – stal nierdzewną 1.4122 wg EN 10088 (3H17M wg PN).



Zadanie projektowe nr 5.2.

Zaprojektować wymiary prostokątnej szczeliny płaskiej (wysokość h , szerokość b i długość l) dla przepływu Q , spadku ciśnienia Δp , lepkości cieczy ν i jej gęstości $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$. Obliczyć także wartości Re_{kr} oraz współczynnik λ . Założyć: $b = 1000h$ oraz $b = l$. Sporządzić rysunek szczeliny w obudowie.

Pozostałe dane: $Q = 2,52 \text{ cm}^3/\text{min} = 4,2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$; $\nu = 42 \text{ cSt} = 42 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; $\Delta p = 14 \text{ MPa}$.

Rozwiązanie

Korzystamy z wzoru na przepływ Q przez szczelinę płaską [1]:

$$Q = \frac{\Delta p \cdot b \cdot h^3}{12 \cdot \nu \cdot \rho \cdot l}$$

Przekształcamy wzór tak, aby z jednej strony równania były szukane wymiary szczeliny:

$$\frac{b \cdot h^3}{l} = \frac{12 \cdot Q \cdot \nu \cdot \rho}{\Delta p}$$

Zakładamy zgodnie z treścią zadania $b = l$, podstawiamy dane i obliczamy wysokość szczeliny h :

$$h^3 = \frac{12 \cdot 4,2 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 42 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{14 \cdot 10^6 \text{ Pa}} = 1,36 \cdot 10^{-15} \text{ m}^3$$

$$h = \sqrt[3]{1,36 \cdot 10^{-15} \text{ m}^3} = 1,11 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,011 \text{ mm}$$

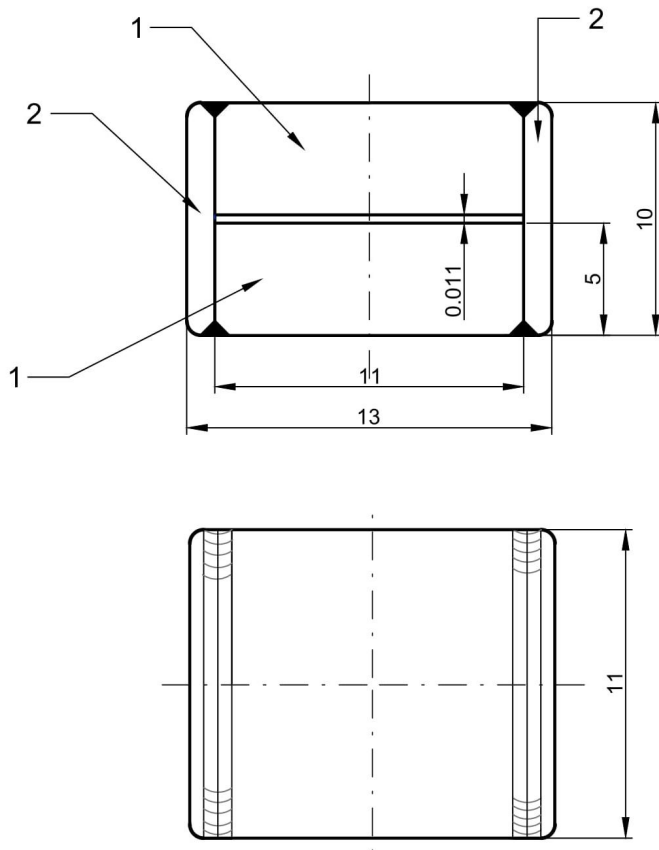
Mając policzoną wysokość szczeliny i wykorzystując założenia treści zadania $b = 1000h$ oraz $l = b$ liczymy jej szerokość b oraz długość l :

$$b = 1000 \cdot 0,011 \text{ mm} = 11 \text{ mm}$$

$$l = b = 11 \text{ mm}$$

Dobór materiałów na projektowany element:

- na szczelinę dobrano – stal nierdzewną 1.4301 wg EN 10088 (0H18N9 wg PN).



2	Łącznik	2	0H18N9	PN-H-86020
1	Element szczeliny	2	0H18N9	Spawać spoiną o grubości 1 mm
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował	Krzysztof Kurek		Data
	Rysował	Krzysztof Kurek		Arkuszy
	Sprawdził	Kaczmarek Józef		Nr. arkusza
Podziałka:	Nazwa:	Nr. rysunku:		
5:1	Szczelina płaska prostokątna	MP-05.02		1

Zadanie projektowe nr 5.3.

Zaprojektować wymiary szczeliny płaskiej promieniowej (promień zewnętrzny r_z , promień wewnętrzny r_w , wysokość h) dla przepływu Q i spadku ciśnienia Δp , lepkości cieczy ν i jej gęstości $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$. Założyć $r_z = 2r_w = 1000h$. Sporządzić rysunek szczeliny w obudowie.

Pozostałe dane: $Q = 0,2088 \text{ dm}^3/\text{min} = 3,48 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$; $\nu = 34,8 \text{ cSt} = 34,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; $\Delta p = 0,81 \text{ MPa}$.

Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru na spadek ciśnienia Δp [2]:

$$\Delta p = \frac{6Q\nu\rho}{\pi h^3} \ln \frac{r_z}{r_w}$$

Przekształcamy wzór względem wysokości szczeliny h :

$$h = \sqrt[3]{\frac{6Q\nu\rho \ln \frac{r_z}{r_w}}{\pi \Delta p}}$$

Podstawiamy dane i obliczymy wysokość szczeliny :

$$h = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 3,48 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 34,8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \ln \frac{1000h}{500h}}{\pi \cdot 0,81 \cdot 10^6 \text{ Pa}}} = 5,64 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,0564 \text{ mm}$$

Korzystamy z założeń z treści zadania:

$$r_z = 2r_w = 1000h$$

$$r_w = 500h$$

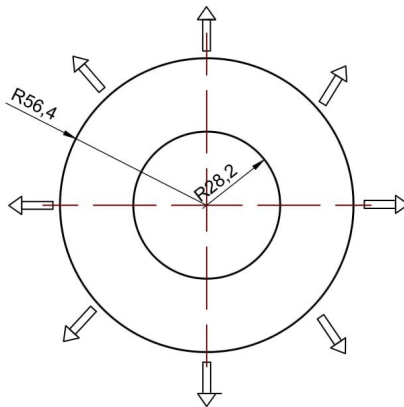
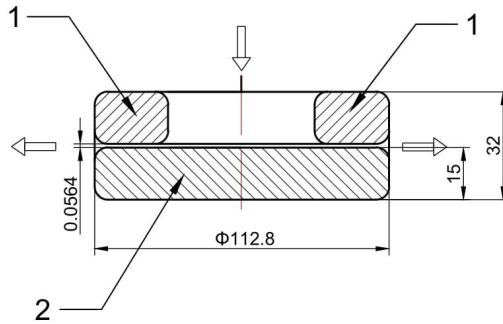
Podstawiając obliczoną wartość h , obliczamy promienie (średnice) szczeliny promieniowej:

$$r_z = 1000 \cdot 0,0564 \text{ mm} = 56,4 \text{ mm} \quad (\Phi_1 = 112,8 \text{ mm})$$

$$r_w = 500 \cdot 0,0564 \text{ mm} = 28,2 \text{ mm} \quad (\Phi_2 = 56,4 \text{ mm})$$

Dobór materiału na projektowany element:

- na szczelinę dobrano – stal nierdzewną 1.4016 wg EN 10088 (H17 wg PN).



2	Dolna część szczeliny	1	H17	PN-H-86020
1	Górna część szczeliny	1	H17	PN-H-86020
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Włocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował		Nazwisko i Imię Krzysztof Kurek	Data 1
	Rysował		Krzysztof Kurek	Nr. arkusza 1
	Sprawdził		Kaczmarek Józef	
	Podziałka:	Nazwa:	Nr. rysunku:	
1:2	Szczelina płaska promieniowa	MP-05.03		

Zadanie projektowe nr 5.4.

Wyznaczyć maksymalny i minimalny luz średnicowy (l_{dmin} i l_{dmax}) w suwaku cylindrycznym o średnicy nominalnej $d = 25$ mm i długości $L = 3d$ przez który przepływa olej o lepkości ν , gęstości $\rho = 900$ kg/m³, jeśli występuje w nim spadek ciśnienia Δp a wydatki wynoszą odpowiednio Q_{max} i Q_{min} . Suwak pracuje w cylindrze o długości $L_c > 4d$. Sporządzić rysunek suwaka w cylindrze.

Pozostałe dane: $Q_{min} = 9,048 \cdot 10^{-7}$ m³/s; $Q_{max} = 1,624 \cdot 10^{-5}$ m³/s; $\nu = 34,8$ cSt = $34,8 \cdot 10^{-6}$ m²/s; $\Delta p = 43,2$ MPa.

Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru na przepływ przez szczelinę pierścieniową [1]:

$$Q_{min} = \frac{\Delta p \pi d h_{min}^3}{12 \nu \rho L}$$

Przekształcamy wzór względem szczeliny minimalnej h_{min} :

$$h_{min}^3 = \frac{12 Q_{min} \nu \rho L}{\Delta p \pi d}$$

$$h_{min} = \sqrt[3]{\frac{12 Q_{min} \nu \rho L}{\Delta p \pi d}}$$

Podstawiamy dane i obliczymy wartość szczeliny minimalnej h_{min} :

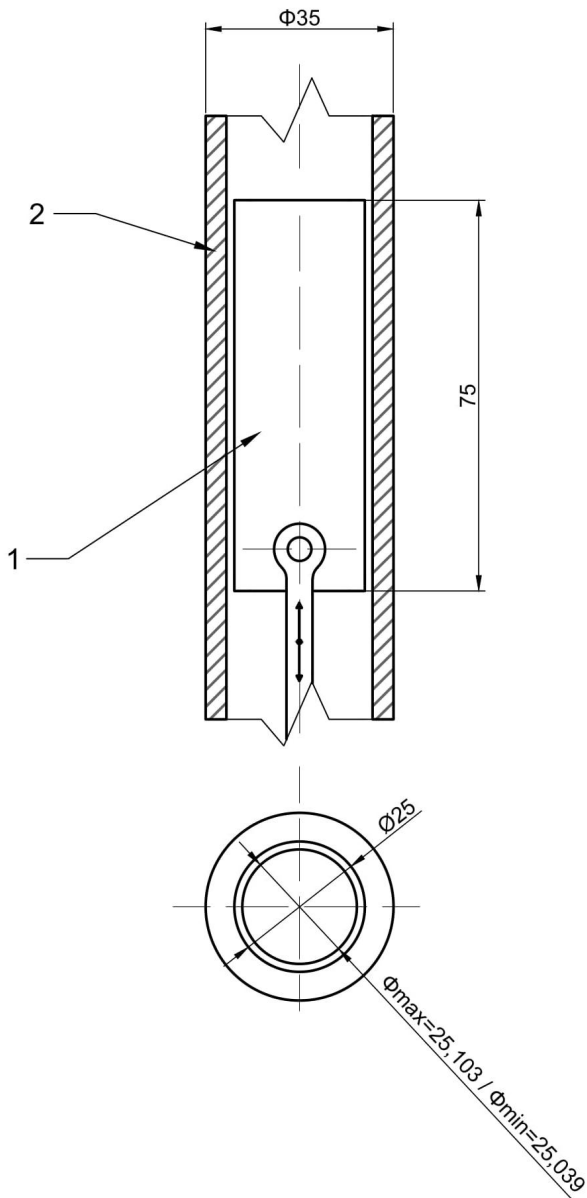
$$h_{min} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 9,048 \cdot 10^{-7} \frac{m^3}{s} \cdot 34,8 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \cdot 900 \frac{kg}{m^3} \cdot 3 \cdot 0,025m}{43,2 \cdot 10^6 Pa \cdot \pi \cdot 0,025m}} = 19,6 \cdot 10^{-6} m$$
$$= 0,0196 \text{ mm}$$

Podobnie (zamiast Q_{min} podstawiamy Q_{max}) obliczymy wartość szczeliny maksymalnej h_{max} :

$$h_{max} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 1,624 \cdot 10^{-5} \frac{m^3}{s} \cdot 34,8 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \cdot 900 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,075m}{43,2 \cdot 10^6 Pa \cdot \pi \cdot 0,025m}} = 51,3 \cdot 10^{-6} m$$
$$= 0,0513 \text{ mm}$$

Wartość luzów średnicowych wyniesie odpowiednio: $l_{dmin} = 2h_{min} \approx 0,039$ mm
i $l_{dmax} = 2h_{max} \approx 0,103$ mm

Dobór materiałów na projektowany element:
na tłok i cylinder dobrano – stal nierdzewną 1.4016 wg EN 10088 (H17 wg PN).



2	Cylinder	1	H17	PN-H-86020
1	Tłok	1	H17	PN-H-86020
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Włocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn	Projektował		Nazwisko i Imię	Data
	Rysował		Krzysztof Kurek	
	Sprawdził		Kaczmarek Józef	
				Arkuszy
Podziałka:	Nazwa:		Nr. rysunku:	
1:1	Suwak cylindryczny		MP-05.04	1

Zadanie projektowe nr 5.5.

Zaprojektować prostopadłościenny zbiornik o podstawie kwadratowej z którego woda wypływa okrągłym przewodem o średnicy d umieszczonym w dnie w czasie t . Założyć stosunek przekrojów zbiornika do przewodu $k_a = 1000$. Obliczyć czas opróżniania górnej połowy zbiornika. Sporządzić rysunek zbiornika.

Dane: $t = 16,12 \text{ min} = 967,2 \text{ s}$; $d = 99,2 \text{ mm}$.

Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru na czas t_z wypływu cieczy ze zbiornika przez mały otwór [2]:

$$t_z = \frac{2k_a}{\sqrt{2g}} \cdot \sqrt{z}$$

Przekształcamy wzór względem wysokości zbiornika z i obliczamy tę wysokość:

$$z = \frac{2gt_z^2}{4k_a^2} = \frac{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (967,2\text{s})^2}{4 \cdot 1000^2} = 4,59 \text{ m}$$

Korzystamy ze wzoru na stosunek przekrojów zbiornika do przewodu, zakładając bok podstawy zbiornika jako a .

$$k_a = \frac{4a^2}{\pi d^2}$$

Przekształcamy wzór, podstawiamy dane i obliczamy wartość boku podstawy zbiornika a :

$$a = \sqrt{\frac{k_a \pi d^2}{4}} = \frac{d}{2} \sqrt{\pi k_a} = \frac{0,0992\text{m}}{2} \sqrt{1000\pi} = 2,78 \text{ m}$$

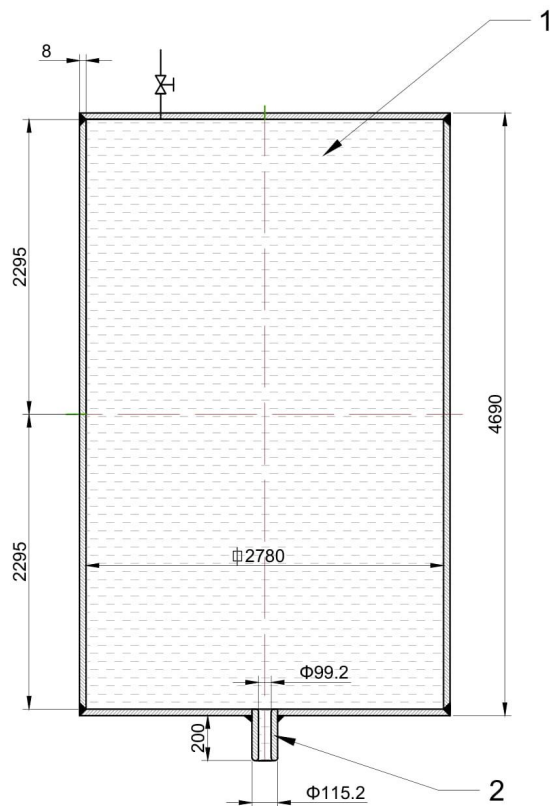
Ponownie korzystamy ze wzoru na czas wypływu cieczy ze zbiornika przez mały otwór i obliczamy czas opróżniania górnej połowy zbiornika:

$$t_{0,5g} = \frac{2k_a}{\sqrt{2g}} \sqrt{(z_1 - z_g)}$$
$$t_{0,5g} = \frac{2 \cdot 1000}{\sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \cdot \sqrt{(4,59\text{m} - 2,295\text{m})} = 684,0 \text{ s} \approx 11,4 \text{ min}$$

Zakładamy grubość ścianek zbiornika 8 mm.

Dobór materiałów na projektowany element:

- na zbiornik i króciec dobrano – stal nierdzewną 1.4031 wg EN 10088 (4H13 wg PN).



2	Króciec	1	4H13	PN-H-86020 Krawędź otworu spustowego od wewnątrz zaokrąglić na R=5mm
1	Zbiornik prostopadłościenny	1	4H13	PN-H-86020 Elementy zbiornika spawać spoiną o grubości 4mm
Lp.	Nazwa części	Il. szt.	Materiał	Nr Normy/Uwagi
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn			Nazwisko i Imię	Data
	Projektował		Krzysztof Kurek	
	Rysował		Krzysztof Kurek	
	Sprawdził		Kaczmarek Józef	
Podziałka: 1:50	Nazwa: Zbiornik prostopadłościenny	Nr. rysunku: MP-05.05		Arkuszy 1 Nr. arkusza 1

ROZDZIAŁ 6

Ruch cieczy w korytach otwartych

Zadanie projektowe nr 6.1.

Zaprojektować wymiary przekroju otwartego kanału ziemnego w kształcie trapezu prostokątnego (szerokość dna b , głębokość wody h) o pochyleniu m , szorstkości dna n_d , szorstkości każdej skarpy n_s , spadku hydraulicznym I równym spadkowi dna S_o , przez który ma płynąć woda o natężeniu Q , dla danych: $Q = 24,5 \text{ m}^3/\text{s}$; $b = 5,3h$; $S_o = 1\text{‰}$; $m = 1,5$; $n_d = 0,03$; $n_s = 0,025$. Sporządzić rysunek przekroju kanału uwzględniając w jego całkowitej wysokości H ok. 24% pionowego zabezpieczenia przed rozlaniem wody.

Rozwiązanie

Wartość współczynnika szorstkości dla całego kanału obliczamy jako średnią wartość ważoną jego lokalnych wartości [1, 5]:

$$n = \frac{\sum n_i U_i}{U}$$

gdzie:

$n_1 = n_d$, $n_2 = n_s$ - współczynniki szorstkości odpowiednio dna i skarp,

$U_1 = U_d$, $U_2 = U_s$, U - obwody zwilżania odpowiednio dna, skarp, całego kanału.

Uwzględniając powyższe oznaczenia oraz nachylenie skarp dla przekroju trapezowego prostokątnego: ukośnej $m_1 = m$, pionowej $m_2 = 0$ określonych jako ($m = x/h$, gdzie x - jest rzutem tej skarpy na kierunek poziomy) otrzymujemy kolejno:

$$n = \frac{n_d U_d + n_s U_s}{U} = \frac{n_d b + n_s (h + h\sqrt{1 + m^2})}{b + h + h\sqrt{1 + m^2}}$$

Po podstawieniu wymaganych danych obliczymy wartość współczynnika szorstkości kanału n :

$$n = \frac{0,03 \cdot 5,3h + 0,025 \left(h + h\sqrt{1 + 1,5^2} \right)}{5,3h + h + h\sqrt{1 + 1,5^2}} = \frac{0,229h}{8,1h} \approx 0,0283$$

Pole czynnego przekroju koryta A (wypełniona wodą część koryta zawarta pomiędzy dnem, a zwierciadłem wody), obwód U oraz promień hydrauliczny kanału R , wyrazimy teraz kolejno w zależności od głębokości h :

$$A = bh + 0,5mh^2 = 5,3h \cdot h + 0,5 \cdot 1,5h^2 = 5,3h^2 + 0,75h^2 = 6,05h^2$$

$$U = b + h + h\sqrt{1 + m^2} = 5,3h + h + 1,8h = 8,1h$$

$$R = \frac{A}{U} = \frac{6,05h^2}{8,1h} \approx 0,75h$$

Wykorzystując, w równaniu na natężenie przepływu, zależność określającą średnią prędkość wody w korycie (formuła Manninga [1, 2]) oraz uwzględniając dane i wyniki powyższych obliczeń otrzymujemy:

$$Q = v \cdot A = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2} \cdot A = \left(\frac{1}{0,0283} \right) \cdot (0,75h)^{2/3} \cdot 0,001^{1/2} \cdot 6,05h^2 \approx 5,57h^{2,66(6)}$$

Przekształcając powyższą zależność obliczamy kolejno głębokość wody h a następnie pozostałe wymiary przekroju poprzecznego koryta b , x oraz szerokość lustra wody w kanale B :

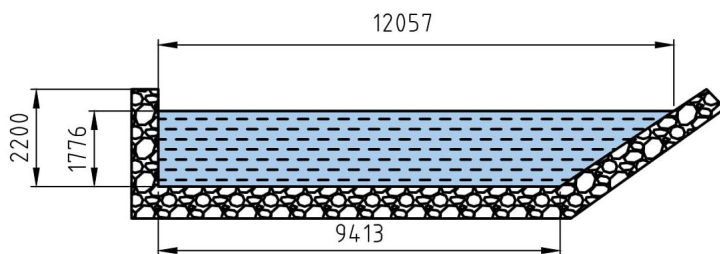
$$h = \frac{Q^{0,375}}{1,868} = \frac{24,5^{0,375}}{1,868} \approx 1,776m$$

$$b = 5,3h = 5,3 \cdot 1,776 = 9,413m$$

$$x = mh = 1,5 \cdot 1,776 = 2,644m$$

$$B = b + x = 9,413 + 2,644 = 12,057 m$$

$$H = 1,24h = 1,24 \cdot 1,776 = 2,2 m$$



Spadek kanału $l = 1\text{‰}$

Szorstkość kanału wynoszą; dna $nd = 0,03$; skarp $ns = 0,025$

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn		Nazwisko i Imię	Data	Arkuszy
	Projektował	Wojciech Santysiak		1
	Rysował	Wojciech Santysiak		Nr. arkusza
	Sprawdził	Kaczmarek Józef		1
Podziałka: 1:125	Nazwa: Kanał ziemny otwarty	Nr. rysunku: MP-06.01		

Zadanie projektowe nr 6.2.

Zaprojektować spadek S_0 dna koryta otwartego, prostokątnego kanału ziemnego o wypełnieniu (głębokości wody) h , szerokości $b = B$ i jednakowej szorstkości na całym obwodzie $n = 0,043$, w którym powinna płynąć woda z prędkością v . Sporządzić rysunek przekroju kanału uwzględniając w jego całkowitej wysokości H ok. 10% pionowego zabezpieczenia przed rozlaniem wody. Dane: $h = 4,6$ m; $b = B = 5,3h$; $n = 0,043$; $v = 3,45$ m/s

Rozwiązanie

Wykorzystując zależność wiążącą pole czynnego przekroju koryta A z obwodem zwilżanym oraz głębokością wody h oraz promieniem hydraulicznym R oraz podstawiając dane, obliczamy ten promień dla kanału o przekroju prostokątnym:

$$R = \frac{A}{U} = \frac{bh}{2h + b} = \frac{5,3 \cdot 4,6 \cdot 4,6}{2 \cdot 4,6 + 5,3 \cdot 4,6} \approx 3,34 \text{ m}$$

W celu obliczenia spadku hydraulicznego koryta wykorzystujemy zależność Manninga [1, 5]:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

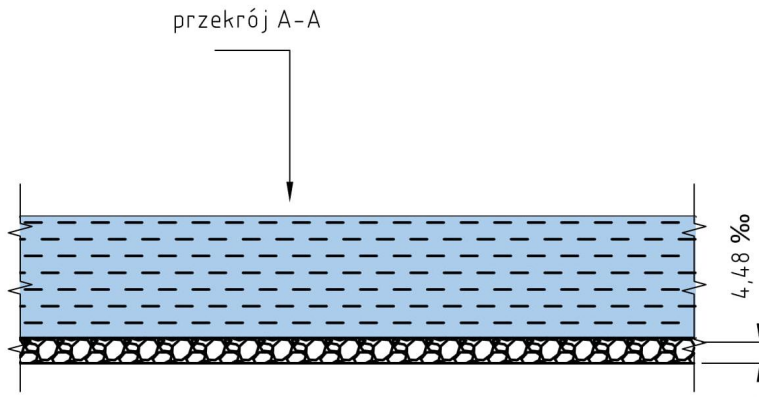
Po przekształceniu powyższej zależności i podstawieniu danych kolejno otrzymujemy:

$$S_0 = I = \left(\frac{n \cdot v}{R^{2/3}} \right)^2 = \left(\frac{0,043 \cdot 3,45}{3,34^{2/3}} \right)^2 = 0,00448 = 4,48\%$$

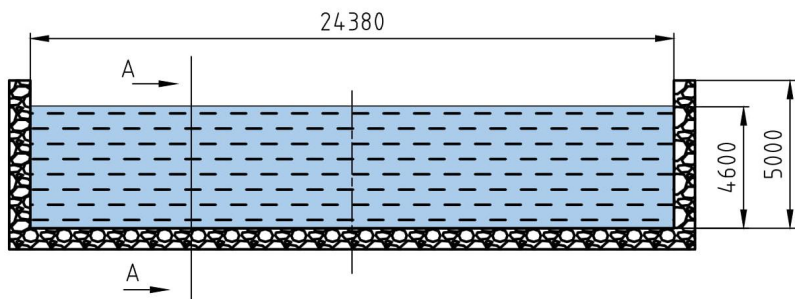
Szerokość kanału wyniesie:

$$B = b = 5,3h = 5,3 \cdot 4,6 = 24,38 \text{ m}$$

$$H = 1,1h = 1,1 \cdot 4,6 \approx 5 \text{ m}$$



Spadek kanału wynosi $S_0 \approx 4,48\text{‰}$



Szorstkości dna i skarp kanału wynoszą $n=0,043$

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Włocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn		Nazwisko i Imię	Data	Arkuszy
	Projektował	Wojciech Santysiak		1
	Rysował	Wojciech Santysiak		Nr. arkusza
	Sprawdził	Kaczmarek Józef		1
Podziałka: 1:200	Nazwa: Kanał ziemny otwarty	Nr. rysunku: MP-06.02		

Zadanie projektowe nr 6.3.

Wyznaczyć napełnienie (głębokość wody) h do projektu otwartego kanału ziemnego o przekroju prostokątnym, szerokości $b = B$, spadku S_o , i szorstkości n na całym obwodzie zwilżanym, w którym płynie woda o natężeniu Q . W rozwiązaniu sporządzić i wykorzystać krzywą konsumcyjną. Sporządzić rysunek przekroju kanału uwzględniając w jego całkowitej wysokości H ok. 25% pionowego zabezpieczenia przed rozlaniem wody. Dane: $b = B = 22$ m, $S_o = 0,09\%$, $n = 0,035$, $Q = 34,5$ m³/s.

Rozwiązanie

Uzależnimy promień hydrauliczny kanału od głębokości h :

$$R = \frac{A}{U} = \frac{bh}{2h + b} = \frac{22h}{2h + 22}$$

Wykorzystując, w równaniu na natężenie przepływu, zależność określającą średnią prędkość wody w korycie (formuła Manninga [1, 5]) oraz uwzględniając dane i wyniki powyższego obliczenia otrzymujemy:

$$\begin{aligned} Q &= v \cdot A = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_o^{1/2} \cdot A = \\ &= \left(\frac{1}{0,035} \right) \cdot \left(\frac{22 \cdot h}{2 \cdot h + 22} \right)^{2/3} \cdot 0,0009^{1/2} \cdot b \cdot h \approx \\ &\approx 0,857 \cdot \frac{(22h)^{5/3}}{(2h + 22)^{2/3}} \end{aligned}$$

h [m]	$Q = f(h)$ [m ³ /s]
0,1	0,404
0,25	1,844
0,5	5,768
0,75	11,172
1,0	17,791
1,25	25,451
1,5	34,024
1,75	43,41
2,0	53,53
2,25	64,315
2,5	75,707
2,75	87,657
3,0	100,121

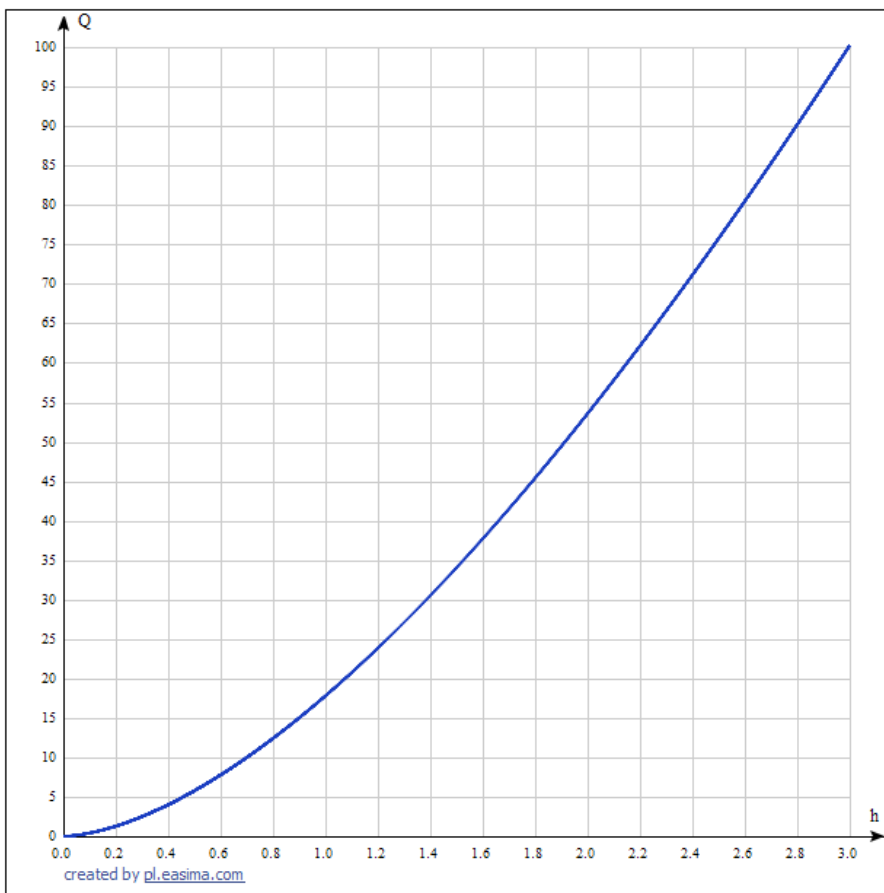
Jednym z przybliżonych i łatwiejszych sposobów rozwiązania powyższego równania względem h jest wykorzystanie tzw. krzywej konsumcyjnej sporządzonej na podstawie tabeli obok, w której kolumnach zawarte są podstawiane do powyższego równania kolejne wartości h i obliczone odpowiadające im wartości Q .

Ze sporządzonego wykresu $Q = f(h)$ łatwo odczytujemy, iż wymagane napełnienie h kanału dla zadanego przepływu Q wyniesie:

$$Q = 34,5 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow h \approx 1,5 \text{ m}$$

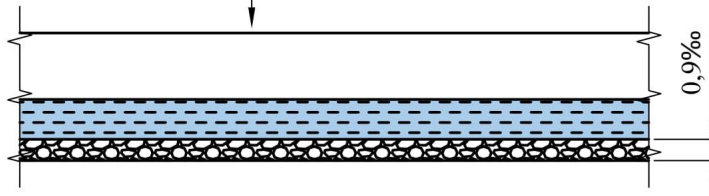
Dokonując jeszcze kilku podstawień wartości h w otoczeniu $h = 1,5$ m do wzoru $Q = f(h)$ można, w razie potrzeby, wartość h wyznaczyć dokładniej – przykładowo, po trzech podstawieniach otrzymano $h = 1,513$ m.

$$H = 1,25h = 1,25 \cdot 1,513 \approx 1,9 \text{ m}$$

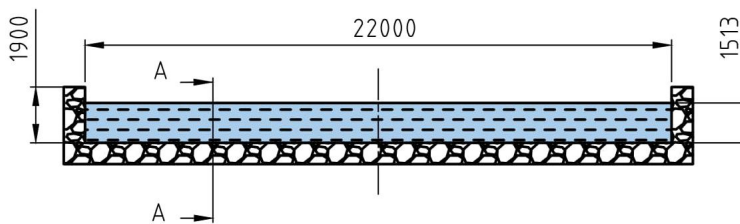


Krzywa konsumpcja dla warunków zadania

przekrój A-A



Spadek kanału wynosi $S_0=0,9\%$



Szorstkości dna i skarp kanału wynoszą $n=0,035$

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn		Nazwisko i Imię	Data	Arkuszy
	Projektował	Wojciech Santysiak		1
	Rysował	Wojciech Santysiak		Nr. arkusza
	Sprawdził	Kaczmarek Józef		1
Podziałka: 1:200	Nazwa: Kanał ziemny otwarty	Nr. rysunku: MP-06.03		

Zadanie projektowe nr 6.4.

Wyznaczyć napełnienie h do projektu otwartego kanału ziemnego o przekroju trapezowym symetrycznym o szerokości dna b dla przypadku ruchu krytycznego wody o natężeniu Q , nachyleniach skarp $m_1 = m_2 = m$ oraz współczynnika Sainta-Venanta α . Liczba Froude'a dla ruchu krytycznego wody $F_r = 1$. Sporządzić rysunek przekroju kanału uwzględniając w jego całkowitej wysokości H ok. 20% pionowe zabezpieczenie przed rozlaniem wody.

Dane: $b = 22h$; $Q = 46 \text{ m}^3/\text{s}$, $m = 1,5$; $\alpha = 1$.

Rozwiązanie

Pole czynnego przekroju koryta wyrażone w napełnieniu h wynosi;

$$A = bh + mh^2 = (b + mh)h = (22h + 1,5h)h = 23,5h^2$$

Wyznaczamy średnią głębokość wody h_{sr} wyrażoną w napełnieniu h , uwzględniając szerokość lustra wody B_{zw} :

$$h_{sr} = \frac{A}{B_{zw}} = \frac{A}{2hm + b} = \frac{23,5 \cdot h^2}{3h + 22h} = 0,94h$$

Z warunku ruchu krytycznego: $\frac{\alpha v_{sr}^2}{gh_{sr}} = F_r [1, 5]$, po podstawieniu $\alpha = 1$ i przekształceniu, obliczymy wartość średniej prędkości ruchu wody w kanale v_{sr} :

$$\frac{v_{sr}^2}{gh_{sr}} = 1 \rightarrow v_{sr} = \sqrt{gh_{sr}} = \sqrt{g} \cdot h_{sr}^{0,5}$$

$$v_{sr} = \sqrt{9,81}h^{0,5} = 3,13h^{0,5}$$

Natężenie przepływu wyrażone w napełnieniu h określimy:

$$Q = A \cdot v_{sr} = 23,5 h^2 \cdot 3,13h^{0,5} = 73,555 \cdot h^{2,5}$$

a po przekształceniu i podstawieniu $Q = 46 \text{ m}^3/\text{s}$ obliczymy napełnienie h :

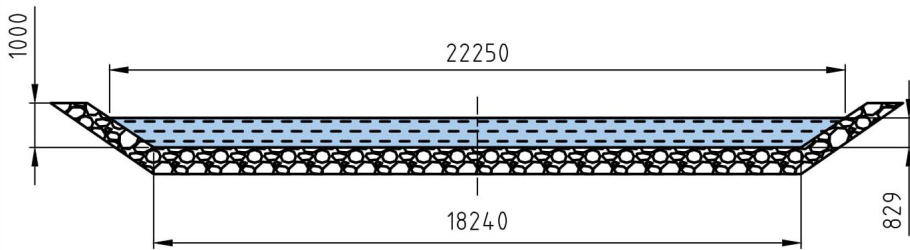
$$h = \left(\frac{Q}{73,555} \right)^{0,4} = \left(\frac{46}{73,555} \right)^{0,4} = 0,829 \text{ m}$$

Szerokości przekroju kanału wyniosą odpowiednio:

$$b = 22h = 22 \cdot 0,89 = 18,24 \text{ m}$$

$$B = 2hm + b = 25h = 25 \cdot 0,89 = 22,25 \text{ m}$$

$$H = 1,2h = 1,2 \cdot 0,89 \approx 1 \text{ m}$$



Współczynnik Sainta-Venanta $\alpha=1$.

Liczba Froude'a dla ruchu krytycznego wody $Fr=1$

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn		Nazwisko i Imię	Data	Arkuszy
	Projektował	Wojciech Santysiak		1
	Rysował	Wojciech Santysiak		Nr. arkusza
	Sprawdził	Kaczmarek Józef		1
Podziałka: 1:150	Nazwa: Kanał ziemny otwarty	Nr. rysunku: MP-06.04		

Zadanie projektowe nr 6.5.

Zaprojektować najkorzystniejszy kształt otwartego kanału ziemnego o przekroju trapezowym symetrycznym o pochyleniu skarp m , szorstkości (jednakowej w całym kanale) n , spadku S_0 , przez który ma płynąć woda o natężeniu Q . Sporządzić rysunek przekroju kanału uwzględniając w jego całkowitej wysokości H ok. 10% pionowe zabezpieczenie przed rozlaniem wody.

Dane: $m = 2,8$; $n = 0,033$; $S_0 = 2,8 \text{ ‰}$; $Q = 23 \text{ m}^3/\text{s}$.

Rozwiązanie

Znaną w literaturze [1] głębokość wody (napętnienie) h najkorzystniejszego kanału trapezowego symetrycznego przedstawia zależność:

$$h = \left(\frac{Q \cdot n \cdot 2^{2/3}}{S_0^{0,5} \cdot 2(\sqrt{1+m^2} - m)} \right)^{3/8}$$

Podstawiając dane obliczamy napętnienie h :

$$h = \left(\frac{23 \cdot 0,033 \cdot 2^{0,66(6)}}{0,0028^{0,5} \cdot 2(\sqrt{1+2,8^2} - 2,8)} \right)^{3/8} = \left(\frac{1,205}{0,01833} \right)^{3/8} = 4,8 \text{ m}$$

Maksymalne pole czynnego przekroju kanału A obliczymy:

$$A = h^2 (2\sqrt{1+m^2} - m) = 4,8^2 \cdot (2\sqrt{1+2,8^2} - 2,8) = 23,04 \cdot 3,1464 = 72,493 \text{ m}^2$$

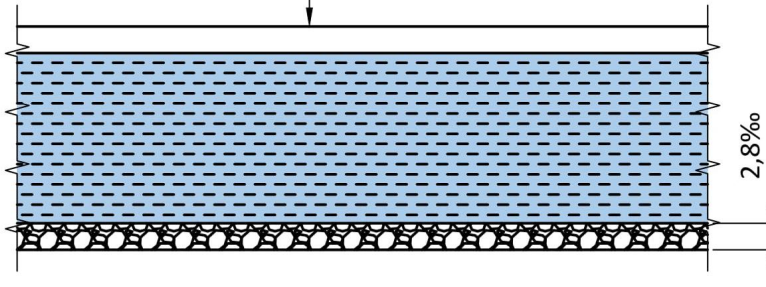
Szerokości przekroju kanału obliczymy:

$$b = \frac{A}{h} - mh = \frac{72,493}{4,8} - 2,8 \cdot 4,8 = 15,1 - 13,44 = 1,66 \text{ m}$$

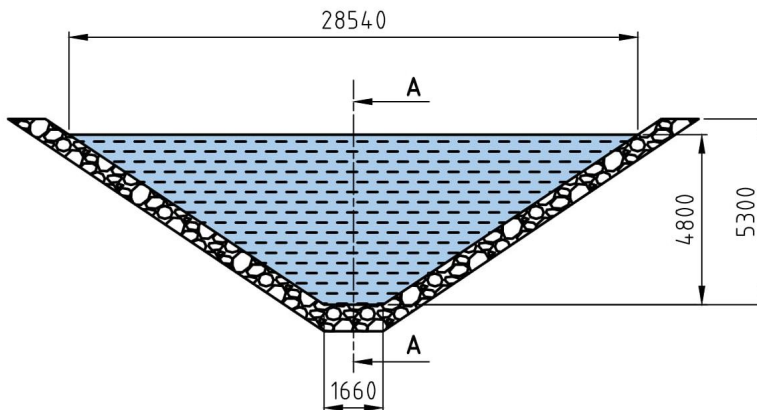
$$B = 2hm + b = 2 \cdot 4,8 \cdot 2,8 + 1,66 = 28,54 \text{ m}$$

$$H = 1,1h = 1,1 \cdot 4,8 \approx 5,3 \text{ m}$$

przekrój A-A



Spaadek kanału wynosi $S_o=2,8\text{‰}$



Szorstkości dna i skarp kanału wynoszą $n=0,033$

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa we Wrocławku Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn			Nazwisko i Imię	Data	Arkuszy
		Projektował	Wojciech Santysiak		1
		Rysował	Wojciech Santysiak		Nr. arkusza
		Sprawdził	Kaczmarek Józef		1
Podziałka: 1:150	Nazwa: Kanał ziemny otwarty	Nr. rysunku: MP-06.05			

Literatura:

- [1] Baran – Gurgul K.: Zbiór zadań z hydrauliki z rozwiązaniami. Kraków, 2005. https://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i3/i6/i8/i5/i8/r36858/BaranGurgulK_ZbiorZadan.pdf (dostęp 14.04.2019).
- [2] Kazimierski Z.: Podstawy mechaniki płynów i metod komputerowej symulacji przepływów. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2004.
- [3] Orzechowski Z., Wiewiórski P. Ćwiczenia audytoryjne z mechaniki płynów. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. Łódź, 1999.
- [4] Osiński Z. i inni: Podstawy konstrukcji maszyn, PWN Warszawa, 2010.
- [5] Tomczyk J., Kaczmarek J.: Materiały wykładowe do przedmiotu Mechanika płynów w Państwowej Wyższej Szkole zawodowej we Włocławku (nie publikowane).
- [6] Gwinty metryczne (International Standard Thread). http://www.pg.gda.pl/~wlitwin/pkm/3_gwinty%20metryczne.pdf. (dostęp 20.05.2019).
- [7] Własności wytrzymałościowe niektórych gatunków stali oraz naprężenia dopuszczalne. http://www.samochodowka-wejherowo.pl/dokumenty/tablice_naprezen_dopuszczalnych.pdf (dostęp 15.05.2019).

str., wiersz	Jest	Powinno być
str.13 rys.	brak średnicy cylindra pompki; średnica tłoczyska pompki $\phi 50$	średnica cylindra pompki $\phi 50$; średnica tłoczyska pompki $\phi 15$
str. 15 po wierszu 10g		$h_c = \frac{1}{7} h_w = \frac{1}{7} (H - h_c) = \frac{1}{7} H - \frac{1}{7} h_c \rightarrow \frac{8}{7} h_c = \frac{1}{7} H \rightarrow$ $\rightarrow h_c = \frac{1}{8} H = 93,75; \quad h_w = \frac{7}{8} H = 656,25$
str. 18, 4g	$h = \frac{3,4m}{\sqrt{2}} = 2,40 \text{ m}$	$h = \frac{3,4m}{\sqrt{2}} \approx 2,70 \text{ m}$
str. 18, 10g	$p_A = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 2,40m = 24000 \text{ Pa}$	$p_A = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 2,70m = 27000 \text{ Pa}$
str. 18, 6d	$P_A = p_A \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 24000Pa \cdot \frac{\pi(0,034m)^2}{4} = 21,8 \text{ N}$	$P_s = p_A \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 27000Pa \cdot \frac{\pi(0,034m)^2}{4} = 24,5 \text{ N}$
str. 18, 5d	Siła działająca na sprężynę zaworu wynosi więc 21,8 N	Siła działająca na sprężynę zaworu wynosi więc 24,5 N.
str. 23, 8i9g temperatur: $-40^\circ\text{C} \div +40^\circ\text{C}$ temperatur: $-30^\circ\text{C} \div +50^\circ\text{C}$
str. 25 rys.	temperatury są od -40° do $+40^\circ$	temperatury powinny być od -30° do $+50^\circ$
str. 27, 12d	$k_r = 200 \text{ MPa}$	$k_r = 220 \text{ MPa}$
str.27, 7d	Przyjmujemy [8] gwint śrub M8 ($d_r = 6,335 \text{ mm}$).....	Przyjmujemy [6] gwint śrub M8 ($d_r = 6,466 \text{ mm}$).....
str. 31, 6g	$\Delta V = 0,44 \text{ dm}^3$	
str. 34, rys.	257,5 oraz 297,5	$\phi 257,5$ oraz $\phi 297,5$
str. 40, 5g	$F = \sqrt{5812^2 + 53276,82^2 + 2 \cdot 59,25 \cdot 53276,82 \cdot 0,5} \approx 56407,83 \text{ N}$	$F = \sqrt{5812^2 + 53276,82^2 + 2 \cdot 5812 \cdot 53276,82 \cdot 0,5} \approx 56407,83 \text{ N}$
str. 40, 8g	$\frac{F}{l_{sp} \cdot g_{sp}} = \frac{F \cdot \sin \alpha}{h \cdot g_{sp}} \leq k_{rsp}$	$\sigma_r = \frac{F}{l_{sp} \cdot g_{sp}} = \frac{F \cdot \sin \alpha}{h \cdot g_{sp}} \leq k_{rsp}$
str. 40, 9g	$\frac{56407,83 \cdot \sqrt{3}}{1430 \cdot 2 \cdot 2} \approx 17 \text{ MPa} \leq 100 \text{ MPa}$	$\sigma_r = \frac{56407,83 \cdot \sqrt{3}}{1430 \cdot 2 \cdot 2} \approx 17 \text{ MPa} \leq k_{rsp} = 100 \text{ MPa}$
str. 43, 2g	$n \cdot d_r^2 \geq \frac{6 \cdot 25236,38}{\pi \cdot 155} \approx 310,95 \text{ mm}^2$	$n \cdot d_r^2 \geq \frac{6(400 + 25236,38)}{\pi \cdot 155} \approx 316 \text{ mm}^2$
str. 43, 3g	$d_r \geq \sqrt{\frac{310,95}{n}} = \sqrt{\frac{310,95}{10}} \approx 5,58 \text{ mm}$	$d_r \geq \sqrt{\frac{316}{n}} = \sqrt{\frac{316}{10}} \approx 5,62 \text{ mm}$
str. 43, 4g	... M8 ($d_r = 6,335 \text{ mm}$) a ich liczbę $n = 10$ M8 ($d_r = 6,466 \text{ mm}$) a ich liczbę $n = 10$.
str. 50, rys.	brak kąta α	wrysować kąt α
str. 55, 2g	$G_{pl} = 0,5 \cdot \pi \cdot R \cdot l \cdot \rho_{stali} \cdot g$ $= 0,5 \cdot \pi \cdot 0,7m \cdot 1,76m$ $\cdot 10^{-2}m \cdot 7800 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$	$G_{pl} = 0,5 \cdot \pi \cdot R \cdot l \cdot \rho_{stali} \cdot g$ $= 0,5 \cdot \pi \cdot 0,7m \cdot 1,76m$ $\cdot 10^{-2}m \cdot 7800 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$ $= 1481,3 \text{ N}$
str. 67 po wierszu 2g		Wykazać można, iż wartość pierwszego wyrazu prawej strony powyższego wyrażenia w warunkach zadania (m.in. dla $d = 8 \text{ mm}$) jest znacznie mniejsza niż drugiego i można ją pominąć.
str. 69, 2g(wysokość H i średnicę D).....(wysokość H_n i średnicę D).....
str. 69, 6g dodać zdanie		Założyć, iż górna krawędź naczynia jest położona wyżej nad poziomem wody w przybliżeniu o $2d_1$, a oś przewodów odległa od dna naczynia też w przybliżeniu o $2d_1$.
str. 71, przed 3g		Wysokość naczynia wyniesie: $H_n = H + 4d_1 = 456 + 4 \cdot 138 \approx 1000 \text{ mm}$
str. 72, rys.	6900; 1125,67	5640; 1000
str. 81, rys.	$\Phi_{max}=25,101$; $\Phi_{min}=25,039$	$\Phi_{max} = 24,961$; $\Phi_{min}=24,897$

str. 90,7g	$S_o = 0,09\%$,	$S_o = 0,9\%$,
str. 97, 5i6d	[6] Gwinty metryczne (International Standard Thread). http://www.pg.gda.pl/~wlitwin/pkm/3_gwinty%20metryczne.pdf . (dostęp 20.05.2019).	[6] Wymiary gwintów metrycznych od 0,25 do 9 mm http://www.pkm.edu.pl/index.php/poloczednia-obl/51-01010002 (dostęp 06.12.2022).