

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP)

Ø 200

Odcinek nr 1 - Kanał w ul. 1-go Maja (od 1S1 do 1S24)

średnica wewnętrzna rury	200 [mm]
minimalna średnica rury	194 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnątrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	3,05 [m]
zewnątrzny słup wody ponad dnem rury	3,25 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	3,05 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	3,25 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0450$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 17,334 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,083 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0,213 \times H_s})$$

$$B' = 0,324$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N = 2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 4,37 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 3,10 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,11$$

$$S = 0,7 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 4,37 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 44,77$$

$$S = 1,95 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{E} \times 100 \%$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{1,5 \times (DR - 1)^3}{1,5 \times (DR - 1)^3 + 0,061 \times E'_s}$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,10 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 1,817$$

$$W = 0,035 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,0173 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 1,14 \% < 5 \%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 3,25 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,0325 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 3,36 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 4,54 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa.}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału Dn200mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości E=2800MPa

wynosi $t = 4,03 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 4,03 \text{ mm}$$

$$D_m/t = 48,61$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3}$$

$$S = 2,03 \text{ kN/m}^2$$

\geq

$$2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 4,37 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP)

Ø 200

Odcinek nr 2 - Kanał w ul. Narutowicza od 1-go Maja do Warszawskiej (od 2S1 do 2S4)

średnica wewnętrzna rury	200 [mm]
minimalna średnica rury	194 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnątrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	3,60 [m]
zewnątrzny słup wody ponad dnem rury	3,80 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	3,60 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	3,80 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0386$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 14,869 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,092 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0,213 \times H_s})$$

$$B' = 0,350$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N = 2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E_s'} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 4,56 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 3,10 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,05$$

$$S = 0,7 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 4,56 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 42,86$$

$$S = 2,22 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{E} \times 100 \%$$

$$1,5 \times (DR - 1)^3 + 0,061 \times E_s'$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,10 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 2,001$$

$$W = 0,038 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,0149 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 1,16\% < 5\%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 3,8 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,038 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 3,54 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 4,79 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału

Dn200mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości $E=2800\text{MPa}$

wynosi $t = 4,03 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 4,03 \text{ mm}$$

$$D_m/t = 48,61$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3}$$

$$S = 2,03 \text{ kN/m}^2$$

\geq

$$2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 4,56 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP)

Ø 300

Odcinek nr 2 - Kanał w ul. Narutowicza od 1-go Maja do Warszawskiej (od 2S4 do 2S7)

średnica wewnętrzna rury	300 [mm]
minimalna średnica rury	291 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnętrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	2,45 [m]
zewnętrzny słup wody ponad dnem rury	2,75 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	2,45 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	2,75 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0544$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 13,97 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,066 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0,213 \times H_s})$$

$$B' = 0,296$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N=2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 5,80 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 4,65 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,27$$

$$S = 0,69 \text{ kN/m}^2 \quad \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 5,8 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 50,72$$

$$S = 1,34 \text{ kN/m}^2 \quad \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{E} \times 100 \%$$

$$\frac{1}{1,5 \times (DR - 1)^3} + 0,061 \times E'_s$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,20 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 1,485$$

$$W = 0,031 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,014 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 1,00 \% < 5 \%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 2,75 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,0275 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 4,77 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 5,12 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału Dn300mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości $E=2800\text{MPa}$

wynosi $t = 6,04 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 6,04 \text{ mm}$$

$$D_m/t = 48,69$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3}$$

$$S = 2,02 \text{ kN/m}^2$$

\geq

$$2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 6,04 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP)

Ø 400

Odcinek nr 2 - Kanał w ul. Narutowicza od 1-go Maja do Warszawskiej (od 2S7 do 2S16)

średnica wewnętrzna rury	400 [mm]
minimalna średnica rury	388 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnątrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	2,35 [m]
zewnątrzny słup wody ponad dnem rury	2,75 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	2,35 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	2,75 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0558$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 10,747 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,061 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0,213 \times H_s})$$

$$B' = 0,292$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N = 2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E_s'} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 7,37 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 6,19 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,43$$

$$S = 0,69 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 7,37 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 53,27$$

$$S = 1,16 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{E} \times 100 \%$$

$$1,5 \times (DR - 1)^3 + 0,061 \times E_s'$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,20 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 1,442$$

$$W = 0,03 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,0107 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 0,92 \% < 5 \%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 2,75 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,0275 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 6,36 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5x(q/100)x(1+q/100)xDR^2 - 0,5x(1+q/100)xDR = \sigma/PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5x(q/100)x(1+q/100)xDR^2 - 0,5x(1+q/100)xDR)$$

$$\sigma = 5,73 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa.}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału Dn400mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości $E=2800\text{MPa}$

wynosi $t = 8,04 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 8,04 \text{ mm}$$

$$D_m/t = 48,73$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3}$$

$$S = 2,02 \text{ kN/m}^2$$

\geq

$$2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 8,04 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP)

Ø 500

Odcinek nr 3 - Kanał w ul. Żeromskiego od Mickiewicza do Konopnickiej (od 3S1 do 3S7)

średnica wewnętrzna rury	500 [mm]
minimalna średnica rury	485 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnętrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	2,60 [m]
zewnętrzny słup wody ponad dnem rury	3,10 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	2,60 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	3,10 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0514$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 7,92 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,064 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0,213 \times H_s})$$

$$B' = 0,303$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N = 2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E_s'} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 9,39 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 7,74 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,39$$

$$S = 0,69 \text{ kN/m}^2 \quad \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 9,39 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 52,25$$

$$S = 1,23 \text{ kN/m}^2 \quad \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{\frac{E}{1,5 \times (DR - 1)^3} + 0,061 \times E_s'} \times 100 \%$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,40 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 1,388$$

$$W = 0,034 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,0079 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 0,96\% < 5\%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 3,1 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,031 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 8,27 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 6,18 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału

Dn500mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości $E=2800\text{MPa}$

wynosi $t = 10,05 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 10,05 \text{ mm}$$

$$D_m/t = 48,76$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3}$$

$$S = 2,01 \text{ kN/m}^2$$

\geq

$$2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 10,05 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP)

Ø 400

Odcinek nr 4 - Kanał w ul. Warszawskiej od Narutowicza do Alei Niepodległości
(od 4S1 do 4S9)

średnica wewnętrzna rury	400 [mm]
minimalna średnica rury	388 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnątrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	3,55 [m]
zewnątrzny słup wody ponad dnem rury	3,95 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	3,55 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	3,95 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0386$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 7,434 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,083 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0.213 \times H_s})$$

$$B' = 0,347$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N=2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E_s'} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 8,54 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 6,19 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,24$$

$$S = 0,69 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 8,54 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 45,84$$

$$S = 1,82 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{E} \times 100 \% \\ \frac{1}{1,5 \times (DR - 1)^3} + 0,061 \times E_s'$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,20 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/Bd)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 1,889$$

$$W = 0,039 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,0074 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 1,05 \% < 5 \%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 3,95 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,0395 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 7,16 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 5,83 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału

Dn400mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości $E=2800\text{MPa}$

wynosi $t = 8,04 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 8,04 \text{ mm}$$

$$D_m/t = 48,73$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3}$$

$$S = 2,02 \text{ kN/m}^2$$

\geq

$$2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 8,54 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP) **Ø 500**

Odcinek nr 4 - Kanał w ul. Warszawskiej od Narutowicza do Alei Niepodległości
(od 4S9 do 4S14)

średnica wewnętrzna rury	500 [mm]
minimalna średnica rury	485 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnątrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	3,65 [m]
zewnątrzny słup wody ponad dnem rury	4,15 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	3,65 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	4,15 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0386$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 5,947 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,084 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0,213 \times H_s})$$

$$B' = 0,352$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N = 2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 10,71 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 7,74 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,22$$

$$S = 0,69 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 10,71 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 45,69$$

$$S = 1,83 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{E} \times 100 \%$$

$$1,5 \times (DR - 1)^3 + 0,061 \times E'_s$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,40 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 1,748$$

$$W = 0,042 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,0059 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 1,09\% < 5\%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 4,15 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,0415 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 9,10 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 6,08 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału Dn500mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości $E=2800\text{MPa}$

wynosi $t = 10,05 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 10,05 \text{ mm}$$

$$D_m/t = 48,76$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3}$$

$$S = 2,01 \text{ kN/m}^2$$

\geq

$$2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 10,71 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP)**Ø 300****Odcinek nr 5 - Kanał w ul. Batorego w stronę Chabrowej (od 4S14 do 5S30)**

średnica wewnętrzna rury	300 [mm]
minimalna średnica rury	291 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnątrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	2,90 [m]
zewnątrzny słup wody ponad dnem rury	3,20 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	2,90 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	3,20 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0466$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 11,967 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,074 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0,213 \times H_s})$$

$$B' = 0,317$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N= 2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 6,11 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 4,65 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,2$$

$$S = 0,69 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 6,11 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 48,1$$

$$S = 1,57 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{\frac{E}{1,5 \times (DR - 1)^3} + 0,061 \times E'_s} \times 100 \%$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,20 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 1,665$$

$$W = 0,034 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,012 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 1,03\% < 5\%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 3,2 \text{ m ponad dnem rury}$$

$$\text{czyli, } 0,032 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 5,01 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 5,28 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa.}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału

Dn300mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości $E=2800\text{MPa}$

wynosi $t = 6,04 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 6,04 \text{ mm}$$

$$D_m/t = 48,69$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3}$$

$$S = 2,02 \text{ kN/m}^2$$

\geq

$$2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 6,11 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP) **Ø 300**

Odcinek nr 6 - Kanał w ul. Chabrowej od Batorego do Orzeszkowej (od 5S30 do 6S6)

średnica wewnętrzna rury	300 [mm]
minimalna średnica rury	291 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnątrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	3,67 [m]
zewnątrzny słup wody ponad dnem rury	3,97 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	3,67 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	3,97 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0370$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 9,502 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,088 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0,213 \times H_s})$$

$$B' = 0,353$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N= 2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 6,62 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 4,65 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,09$$

$$S = 0,7 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 6,62 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 44,32$$

$$S = 2,01 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{\frac{E}{1,5 \times (DR - 1)^3} + 0,061 \times E'_s} \times 100 \%$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,20 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 1,926$$

$$W = 0,04 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,0095 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 1,11\% < 5\%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 3,97 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,0397 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

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

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 5,42 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa.}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału

Dn300mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości $E=2800\text{MPa}$

wynosi $t = 6,04 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 6,04 \text{ mm}$$

$$D_m/t = 48,69$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3}$$

$$S = 2,02 \text{ kN/m}^2$$

\geq

$$2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 6,62 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP)**Ø 200****Odcinek nr 7 - Kanał w ul. Kosynierów, Jana Pawła II, Curie Skłodowskiej
od Wróblewskiego do Warszawskiej (od 7S1 do 7S26)**

średnica wewnętrzna rury	200 [mm]
minimalna średnica rury	194 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnątrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	2,90 [m]
zewnątrzny słup wody ponad dnem rury	3,10 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	2,90 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	3,10 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0466$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 17,95 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,080 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0,213 \times H_s})$$

$$B' = 0,317$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N = 2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B^3 \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 4,29 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 3,10 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,13$$

$$S = 0,7 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 4,29 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 45,62$$

$$S = 1,84 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{E} \times 100\% \\ \frac{1}{1,5 \times (DR - 1)^3} + 0,061 \times E'_s$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,10 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 1,761$$

$$W = 0,033 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,018 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 1,11\% < 5\%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 3,1 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,031 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 3,31 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 4,52 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa.}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału

Dn200mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości E=2800MPa

wynosi $t = 4,03 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 4,03 \text{ mm}$$

$$Dm/t = 48,61$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m / t)^3}$$

$$S = 2,03 \text{ kN/m}^2 \geq 2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 4,29 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP)

Ø 250

Odcinek nr 7 - Kanał w ul. Kosynierów, Jana Pawła II, Curie Skłodowskiej
od Wróblewskiego do Warszawskiej (od 7S30 do 7S33)

średnica wewnętrzna rury	250 [mm]
minimalna średnica rury	243 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnątrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	2,45 [m]
zewnątrzny słup wody ponad dnem rury	2,70 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	2,45 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	2,70 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0544$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 16,764 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,069 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0,213 \times H_s})$$

$$B' = 0,296$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N = 2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E_s'} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 4,98 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 3,87 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,31$$

$$S = 0,69 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 4,98 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 49,2$$

$$S = 1,47 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{\frac{E}{1,5 \times (DR - 1)^3} + 0,061 \times E_s'} \times 100 \%$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,10 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 1,577$$

$$W = 0,03 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,0168 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 1,03\% < 5\%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 2,7 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,027 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 3,95 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 4,69 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału

Dn250mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości $E=2800\text{MPa}$

wynosi $t = 5,05 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 5,05 \text{ mm}$$

$$Dm/t = 48,46$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m / t)^3}$$

$$S = 2,05 \text{ kN/m}^2$$

\geq

$$2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 5,05 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP)**Ø 300****Odcinek nr 7 - Kanał w ul. Kosynierów, Jana Pawła II, Curie Skłodowskiej****od Wróblewskiego do Warszawskiej (od 7S26 do 7S30 oraz od 7S33 do 4S8)**

średnica wewnętrzna rury	300 [mm]
minimalna średnica rury	291 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnątrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	2,95 [m]
zewnątrzny słup wody ponad dnem rury	3,25 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	2,95 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	3,25 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0450$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 11,556 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,075 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0.213 \times H_s})$$

$$B' = 0,319$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N = 2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 6,16 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 4,65 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,19$$

$$S = 0,69 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 6,16 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 47,7$$

$$S = 1,61 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{\frac{E}{1,5 \times (DR - 1)^3} + 0,061 \times E'_s} \times 100 \%$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,10 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 1,78$$

$$W = 0,034 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,0116 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 1,02\% < 5\%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 3,25 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,0325 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 5,04 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 5,26 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa.}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału Dn300mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości $E=2800\text{MPa}$

wynosi $t = 6,04 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 6,04 \text{ mm}$$

$$D_m/t = 48,69$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3}$$

$$S = 2,02 \text{ kN/m}^2$$

\geq

$$2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 6,16 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP)

Ø 300

Odcinek nr 8 - Kanał od Armii Krajowej do bocznicy kolejowej, a następnie w stronę ul. Warszawskiej wraz z ul. Przemysłową (od 8S8 do 8S32)

średnica wewnętrzna rury	300 [mm]
minimalna średnica rury	291 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnętrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	1,90 [m]
zewnętrzny słup wody ponad dnem rury	2,20 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	1,90 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	2,20 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0656$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 16,846 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,057 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0.213 \times H_s})$$

$$B' = 0,273$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N = 2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_{L'} \times R_w \times B' \times E_s'} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 5,40 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 4,65 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,35$$

$$S = 0,69 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 5,4 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 54,56$$

$$S = 1,08 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{\frac{E}{1,5 \times (DR - 1)^3} + 0,061 \times E_s'} \times 100 \%$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,10 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 1,317$$

$$W = 0,025 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,0168 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 0,91\% < 5\%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 2,2 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,022 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 4,43 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 4,83 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa.}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału Dn300mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości $E=2800\text{MPa}$

wynosi $t = 6,04 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 6,04 \text{ mm}$$

$$D_m/t = 48,69$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m / t)^3}$$

$$S = 2,02 \text{ kN/m}^2$$

$$\geq 2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 6,04 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP)**Ø 400****Odcinek nr 8 - Kanał od Armii Krajowej do bocznicy kolejowej, a następnie w stronę ul. Warszawskiej wraz z ul. Przemysłową (od 8S4 do 8S31)**

średnica wewnętrzna rury	400 [mm]
minimalna średnica rury	388 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnętrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	2,60 [m]
zewnętrzny słup wody ponad dnem rury	3,00 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	2,85 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	3,25 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,70$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0466$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 8,975 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,069 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0.213 \times H_s})$$

$$B' = 0,314$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N = 2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E_s'} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 7,70 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 6,19 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,38$$

$$S = 0,69 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 7,7 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 50,95$$

$$S = 1,32 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{E} \times 100\% \\ \frac{1}{1,5 \times (DR - 1)^3} + 0,061 \times E_s'$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,10 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 1,742$$

$$W = 0,033 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,009 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 0,95\% < 5\%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 3 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,03 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 6,55 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 5,64 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa.}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału Dn400mm nie mniej niż: **2 kN/m²**

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości E=2800MPa

wynosi **t = 8,08 mm**

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 8,08 \text{ mm}$$

$$Dm/t = 48,48$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m / t)^3}$$

$$S = 2,05 \text{ kN/m}^2$$

≥

$$2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 8,08 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP)

Ø 500

Odcinek nr 8 - Kanał od Armii Krajowej do bocznic kolejowej, a następnie w stronę ul. Warszawskiej wraz z ul. Przemysłową (od 8S1 do 8S4)

średnica wewnętrzna rury	500 [mm]
minimalna średnica rury	485 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnętrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	1,20 [m]
zewnętrzny słup wody ponad dnem rury	1,70 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	1,20 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	1,70 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenia eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,1865$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 28,737 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,054 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0.213 \times H_s})$$

$$B' = 0,244$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N = 2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E_s'} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 9,01 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 7,74 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,44$$

$$S = 0,69 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 9,01 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 54,49$$

$$S = 1,08 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{E} \times 100 \%$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{E}{1,5 \times (DR - 1)^3} + 0,061 \times E_s'$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,10 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 0,916$$

$$W = 0,017 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,0287 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 0,95\% < 5\%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 1,7 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,017 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 6,79 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 3,72 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału Dn500mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości $E=2800\text{MPa}$

wynosi $t = 10,13 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 10,13 \text{ mm}$$

$$D_m/t = 48,36$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3}$$

$$S = 2,06 \text{ kN/m}^2$$

\geq

$$2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 10,13 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.

OBLICZENIE GRUBOŚCI ŚCIANKI RĘKAWA POLIESTROWEGO (CIPP)

Ø 400

Odcinek nr 9 - Kanał w ul. Armii Krajowej od Warszawskiej do Źródlanej(od 4S9 do 9S19)

średnica wewnętrzna rury	400 [mm]
minimalna średnica rury	388 [mm]
schemat obliczeń dla rury	całkowicie zniszczona
zewnątrzny słup wody (H_w) ponad szczytem rury	2,40 [m]
zewnątrzny słup wody ponad dnem rury	2,80 [m]
miąższość warstwy gruntu (H_s)	2,40 [m]
miąższość warstwy gruntu ponad dnem rury	2,80 [m]
rodzaj gruntu	piasek, żwir, glina
moduł reakcji gruntu	7 [MPa]
minimalny moduł sprężystości rękawa	2100 [MPa]
wytrzymałość na ściskanie przy zginaniu rękawa	35 [MPa]
moduł sprężystości przy zginaniu rękawa	1100 [MPa]
pomniejszony o poprawkę na oddziaływania długotrwałe skupione obciążenie eksploatacyjne	7200 kG

1. Analiza stateczności na wyboczenie wg. równania AWWA

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

a) obliczenie obciążenia

$$q_t = 9,81 \times 10^{-3} \times H_w + 9,81 \times 10^{-3} \times w \times H_s \times R_w + W_s$$

$$R_w = 1 - 0,33 \times H_w / H_s$$

$$R_w = 0,67$$

$$w = 1,76 \quad [\text{g/cm}^3]$$

$$W_s = W_{sc} = 0,0107 \times (C_s \times P \times F / D)$$

$$C_s = 0,0544$$

$$F = 1,0$$

$$W_{sc} = 10,477 \times 10^{-3} \quad [\text{MPa}]$$

$$q_t = 0,062 \quad [\text{MPa}]$$

b) obliczenie współczynnika podparcia sprężystego

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0,213 \times H_s})$$

$$B' = 0,294$$

c) obliczenie współczynnika odstępstwa od przekroju kołowego

$$q = 100 \times (D - D_{\min}) / D$$

$$q = 3,0$$

$$C = 0,77$$

d) wyznaczenie minimalnej grubości ścianki rękawa z warunku na wyboczenie

$$N = 2$$

$$t = 0.721 \times D \times \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_{L'} \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t = 7,43 \text{ mm}$$

e) obliczenie sztywności

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3} \geq 0,64 \times 10^{-3}$$

Dla spełnienia warunku minimalnej sztywności wynoszącej $0,64 \times 10^{-3}$ MPa zawartej w normie ASTM minimalna grubość rękawa wynosi

$$t_{\min} = 6,19 \text{ mm}$$

$$DR = D_m/t \quad DR = 63,42$$

$$S = 0,69 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Sztywność rękawa o grubości

$$t = 7,43 \text{ mm}$$

spełniającej warunek na wyboczenie oraz warunek minimalnej sztywności wynosi:

$$DR = D_m/t$$

$$DR = 52,84$$

$$S = 1,19 \text{ kN/m}^2 \geq 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Rękaw spełnia warunek sztywności zgodnie z wartością ustaloną przez Komitet C950 Stowarzyszenia AWWA wynoszący $0,64 \times 10^{-3}$ MPa oraz warunek minimalnej sztywności zawarty w polskiej normie PN-EN ISO 11296-4 i wynoszący $0,25 \times 10^{-3}$ MPa.

2. Ugięcie (wzór Spanglera)

$$K = 0,083$$

$$L = 1,25$$

$$\frac{Y}{D} = \frac{K \times (L \times W + W_s)}{\frac{E}{1,5 \times (DR - 1)^3} + 0,061 \times E'_s} \times 100 \%$$

a) obliczenie obciążenia

$$W = 9,81 \times 10^{-3} \times C \times w \times B_d$$

$$B_d = 1,20 \text{ m}$$

$$C = [1 - e^{(-2ku'H/B_d)}] / 2ku'$$

$$ku' = 0,165$$

$$C = 1,464$$

$$W = 0,03 \text{ [MPa]}$$

$$W_s = 0,0105 \text{ [MPa]}$$

b) obliczenie ugięcia

$$Y/D = 0,91\% < 5\%$$

3. Wyboczenie spowodowane przez ciśnienie wody z zewnątrz

a) obliczenie obciążenia

$$P = 2,8 \text{ m ponad dnem rury}$$
$$\text{czyli, } 0,028 \text{ MPa}$$

b) obliczenia grubości

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2 \times K \times E_L \times C}{P \times N \times (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

K – współczynnik wpływu usztywnienia

$$K = 7$$

N – współczynnik bezpieczeństwa

$$N = 2$$

$$t = 6,40 \text{ mm}$$

4. Ograniczenie ciśnienia w związku z naprężeniami

$$1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR = \sigma / PN$$

$$q = 3,0\%$$

$$\sigma = P \times N \times (1,5 \times (q/100) \times (1 + q/100) \times DR^2 - 0,5 \times (1 + q/100) \times DR)$$

$$\sigma = 5,72 \text{ MPa}$$

$$\sigma < 35 \text{ MPa}$$

warunek spełniony

Do niniejszych obliczeń przyjęto średnią wartość modułu sprężystości rękawa na poziomie:

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

Przy przyjęciu modułu sprężystości na tym poziomie oraz w związku z minimalnymi wymaganiami dotyczącymi sztywności obwodowej określonymi w specyfikacji i wynoszącymi dla tego kanału

Dn400mm nie mniej niż:

$$2 \text{ kN/m}^2$$

minimalna grubość rękawa dla modułu sprężystości $E=2800\text{MPa}$

wynosi $t = 8,04 \text{ mm}$

$$E = 2800 \text{ MPa}$$

$$t = 8,04 \text{ mm}$$

$$D_m/t = 48,73$$

$$S = \frac{E}{12 \times (D_m/t)^3}$$

$$S = 2,02 \text{ kN/m}^2$$

\geq

$$2 \text{ kN/m}^2$$

Na podstawie powyższego przyjęto rękaw o grubości po utwardzeniu nie mniejszej niż:

$$t = 8,04 \text{ mm}$$

zgodny z powyższymi obliczeniami i wymaganiami technicznymi Zamawiającego.