

Ekonomiczna grubość izolacji rurociągu

Określić grubość izolacji rurociągu, dla której suma kosztów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji (straconego ciepła) będzie minimalna.

Im grubsza izolacja tym mniejsze straty ciepła, ale tym większy koszt izolacji.

d_1 - wewnętrzna średnica rury, m

d_2 - zewnętrzna średnica rury, m

d_3 - zewnętrzna średnica izolacji, m

V - objętość izolacji, m^3

T_{f1} - temperatura płynu wewnątrz rury, K

T_{f2} - temperatura płynu (np. powietrza) otaczającego izolację, K

α_1 - współczynnik wnikania ciepła wewnątrz rury, $W/(m^2K)$

α_2 - współczynnik wnikania ciepła na zewnątrz rury, $W/(m^2K)$

λ_1 - współczynnik przewodnictwa cieplnego materiału rury, $W/(mK)$

λ_2 - współczynnik przewodnictwa cieplnego izolacji, $W/(mK)$

Q - strumień ciepła oddawanego do otoczenia, W

t_e - czas eksploatacji rurociągu w roku, s

a - współczynnik kosztów stałych

ju - umowna jednostka pieniężna

z_V - cena $1 m^3$ izolacji, ju/m^3

z_Q - cena jednostki energii cieplnej, ju/J

Z_c - roczny koszt eksploatacji, ju

$ju := \text{□}$

Analizę przeprowadzamy dla odcinka rury o długości 1 m

$L := 1m$

$T_{f1} := 383K$

$T_{f2} := 288K$

$d_1 := 0.2m$

$d_2 := 0.212m$

Wstępnie założona średnica zewnętrzna izolacji - zostanie wyznaczona grubość optymalna

$d_3 := 0.3m$

$$\lambda_1 := 124 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \lambda_2 := 0.039 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha_1 := 8000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad \alpha_2 := 12 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Strumień ciepła oddawany przez jednostkę długości rury

$$Q_1(d_3) := \frac{\pi \cdot L \cdot (T_{f1} - T_{f2})}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_1} \cdot \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_2} \cdot \ln\left(\frac{d_3}{d_2}\right) + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_3}}$$

$$Q_1(d_3) = 63.099 \text{ W}$$

Objętość izolacji dla odcinka rury o długości 1 m

$$V(d_3) := \frac{\pi \cdot (d_3^2 - d_2^2) \cdot L}{4} \quad V(d_3) = 0.0354 \cdot \text{m}^3$$

Współczynnik kosztów stałych (amortyzacji)

$$a := 0.1$$

Jednostkowy koszt izolacji

$$z_V := 120 \cdot \frac{\text{ju}}{\text{m}^3}$$

Jednostkowy koszt energii

$$z_Q := 2 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\text{ju}}{\text{J}}$$

Czas eksploatacji rurociągu w ciągu roku

$$t_e := 2 \cdot 10^7 \cdot \text{s}$$

$$Z_V(d_3) := a \cdot z_V \cdot V(d_3) \qquad Z_V(d_3) = 0.425 \cdot \text{ju}$$

$$Z_Q(d_3) := z_Q \cdot t_e \cdot Q_1(d_3) \qquad Z_Q(d_3) = 25.24 \cdot \text{ju}$$

$$Z_c(d_3) := Z_V(d_3) + Z_Q(d_3)$$

$$Z_c(d_3) = 25.664 \cdot \text{ju}$$

Given

$$d_3 > d_2$$

$$d_3 := \text{Minimize}(Z_c, d_3) = 633.126 \cdot \text{mm}$$

$$Q_1(d_3) = 21.078 \text{ W}$$

$$Z_V(d_3) = 3.354 \cdot \text{ju} \quad Z_Q(d_3) = 8.43 \cdot \text{ju} \quad Z_c(d_3) = 11.79 \cdot \text{ju}$$

Sprawdzenie kosztu całkowitego w otoczeniu minimum

$$Z_c(d_3 - 0.02 \cdot \text{m}) = 11.8 \cdot \text{ju} \qquad Z_c(d_3 + 0.02 \cdot \text{m}) = 11.8 \cdot \text{ju}$$

Grubość izolacji

$$\text{gr} := \frac{d_3 - d_2}{2} = 0.211 \text{ m}$$

$$d_3 := 0.212 \text{ m}, 0.214 \text{ m}.. 1.2 \text{ m}$$

