

# Sposoby obliczania strat ciepła wg PN-EN 13941-1 w systemach rur preizolowanych pojedynczych i podwójnych. Część 2: Przykłady

The calculation of heat losses of single and twin preinsulated pipe systems in accordance with PN-EN 13941-1. Part 2: Examples

EWA KRĘCIELEWSKA, ARTUR STAROBRAĆ, IRENEUSZ IWKO

DOI 10.36119/15.2024.10.1

W artykule opisano metodę obliczania strat ciepła w systemach rur preizolowanych pojedynczych i podwójnych przedstawioną w PN-EN 13941-1.

Podjęto próbę usystematyzowania działań podczas prowadzenia obliczeń oraz wskazano możliwe źródła pochodzenia istotnych danych.

Zawarto przykłady obliczeń strat ciepła w rurociągach pojedynczych o takiej samej lub innej grubości izolacji na zasilaniu i powrocie oraz w rurociągach podwójnych. Na koniec przedstawiono zestawienie porównawcze przeprowadzonych obliczeń.

Słowa kluczowe: rury preizolowane dla ciepłownictwa, straty ciepła

The article describes the method for calculating heat losses of single and twin preinsulated pipe systems as presented in PN-EN 13941-1. An attempt was made to systematize the actions during the calculations, and possible sources of essential data were identified. Examples of heat loss calculations in single pipelines with the same or different insulation thicknesses on supply and return, as well as in twin pipelines, are included. Finally, a comparative summary of the calculations performed is presented.

Keywords: District Heating preinsulated pipes, heat losses

## Przykłady

Przykłady zawierają obliczenia jednostkowych strat ciepła oraz strat ciepła w ciągu jednego roku eksploatacji na odcinkach s.c. ułożonych w systemach rur preizolowanych pojedynczych i podwójnych.

### UWAGI:

- wyniki w obliczeniach cząstkowych zaokrąglano do czwartego miejsca po przecinku (0,0001),
- temperaturę w modelu symetrycznym i antysymetrycznym zaokrąglano do drugiego miejsca po przecinku (0,01),
- składowe jednostkowych strat ciepła oraz jednostkowe straty ciepła zaokrąglano do drugiego miejsca po przecinku (0,01),
- straty ciepła w okresie rocznym zaokrąglano do jedności.

### Dane ogólne

DN	średnica nominalna rur przewodowych	250
H	przykrycie gruntem do wierzchu rurociągów	1,0 m
$t_{rG}$	średnia temperatura nośnika ciepła zasilania w sezonie grzewczym	78,5°C
$t_{rG}$	średnia temperatura nośnika ciepła powrotu w sezonie grzewczym	42,0°C
$t_{rL}$	średnia temperatura nośnika ciepła zasilania poza sezonem grzewczym	70,0°C
$t_{rL}$	średnia temperatura nośnika ciepła powrotu poza sezonem grzewczym	40,0°C

$t_s$	przyjęta do obliczeń średnia temperatura gruntu w ciągu roku	8,0°C
$\lambda_s$	współczynnik przewodzenia ciepła gruntu	1,6 W/mK
$\lambda_i$	współczynnik przewodzenia ciepła nowej izolacji w temperaturze 50°C	0,027 W/mK
L	długość odcinka sieci ciepłej	500 m
S	długość sezonu grzewczego	dni

### Przykład 1

#### – rurociągi pojedyncze, typoszereg podstawowy – równa grubość izolacji

W przykładzie przedstawiono obliczenia strat ciepła w rurociągach pojedynczych o równej grubości izolacji (seria 1 wg PN-EN 253).

#### Dane rurociągów preizolowanych

$d_o$	średnica zewnętrzna rur przewodowych	273,0 mm	0,2730 m
$D_{cf}$	średnica zewnętrzna osłony rurociągu zasilającego	400 mm	0,4000 m
$t_{cf}$	grubość ścianki osłony rurociągu zasilającego	4,8 mm	0,0048 m
$D_{cr}$	średnica zewnętrzna osłony rurociągu powrotnego	400 mm	0,4000 m
$t_{cr}$	grubość ścianki osłony rurociągu powrotnego	4,8 mm	0,0048 m

mgr inż. Ewa Kręcielewska – Veolia Energia Warszawa S.A. ewa.kręcielewska@veolia.com;

mgr inż. Artur Starobrat – LPEC Lublin arturstary@gmail.com,

mgr inż. Ireneusz Iwko – Logstor Polska.

### Obliczenia zmiennych niezależnych od pory roku

1. średnica izolacji – zasilanie

$$D_{if} = D_{cf} - 2 \cdot t_{cf} = 0,400 - 2 \cdot 0,0048 = 0,3904 \text{ m}$$

2. średnica izolacji – powrót

$$D_{ir} = D_{cr} - 2 \cdot t_{cr} = 0,400 - 2 \cdot 0,0048 = 0,3904 \text{ m}$$

3. parametr oporu cieplnego – zasilanie

$$\beta_f = \frac{\lambda_s}{\lambda_i} \cdot \ln\left(\frac{D_{if}}{d_{of}}\right) = \frac{1,6}{0,027} \cdot \ln\left(\frac{0,3904}{0,273}\right) = 21,1970$$

4. parametr oporu cieplnego – powrót

$$\beta_f = \frac{\lambda_s}{\lambda_i} \cdot \ln\left(\frac{D_{if}}{d_{of}}\right) = \frac{1,6}{0,027} \cdot \ln\left(\frac{0,3904}{0,273}\right) = 21,1970$$

5. średnie zagłębienie osi rurociągu zasilającego

$$Z_f = H + \frac{D_{cf}}{2} = 1 + \frac{0,400}{2} = 1,200 \text{ m}$$

6. średnie zagłębienie osi rurociągu powrotnego

$$Z_r = H + \frac{D_{cr}}{2} = 1 + \frac{0,400}{2} = 1,200 \text{ m}$$

7. skorygowane zagłębienie osi rurociągu zasilającego

$$Z_{cf} = Z_f + R_o \cdot \lambda_s = 1,200 + 0,0685 \cdot 1,6 = 1,3096 \text{ m}$$

8. skorygowane zagłębienie osi rurociągu powrotnego

$$Z_{cr} = Z_r + R_o \cdot \lambda_s = 1,200 + 0,0685 \cdot 1,6 = 1,3096 \text{ m}$$

9. odległość między osiami rurociągów

$$C = A + \frac{D_{cf} + D_{cr}}{2} = 0,25 + \frac{0,400 + 0,400}{2} = 0,6500 \text{ m}$$

10. składowa symetryczna oporu cieplnego – zasilanie

$$\begin{aligned} R_{sf} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \left( \ln\left(\frac{4 \cdot Z_{cf}}{D_i}\right) + \beta_f + \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{4 \cdot Z_{cf}}{C}\right)^2}\right) \right) = \\ &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,6} \cdot \left( \ln\left(\frac{4 \cdot 1,3096}{0,3904}\right) + 21,1970 + \right. \\ &\quad \left. + \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot 1,3096}{0,6500}\right)^2}\right) \right) = \\ &= 0,0995 \cdot (2,5966 + 21,1970 + 1,4235) = 2,5091 \text{ mK/W} \end{aligned}$$

11. składowa symetryczna oporu cieplnego – powrót

$$\begin{aligned} R_{sr} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \left( \ln\left(\frac{4 \cdot Z_{cr}}{D_i}\right) + \beta_r + \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{4 \cdot Z_{cr}}{C}\right)^2}\right) \right) = \\ &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,6} \cdot \left( \ln\left(\frac{4 \cdot 1,3096}{0,3904}\right) + 21,1970 + \right. \\ &\quad \left. + \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot 1,3096}{0,6500}\right)^2}\right) \right) = \\ &= 0,0995 \cdot (2,5966 + 21,1970 + 1,4235) = 2,5091 \text{ mK/W} \end{aligned}$$

12. składowa antysymetryczna oporu cieplnego – zasilanie

$$\begin{aligned} R_{af} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \left( \ln\left(\frac{4 \cdot Z_{cf}}{D_i}\right) + \beta_f - \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot Z_{cf}}{C}\right)^2}\right) \right) = \\ &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,6} \cdot \left( \ln\left(\frac{4 \cdot 1,3096}{0,3904}\right) + 21,1970 - \right. \\ &\quad \left. - \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot 1,3096}{0,6500}\right)^2}\right) \right) = \\ &= 0,0995 \cdot (2,5966 + 21,1970 - 1,4235) = 2,2258 \text{ mK/W} \end{aligned}$$

13. składowa antysymetryczna oporu cieplnego – powrót

$$\begin{aligned} R_{ar} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \left( \ln\left(\frac{4 \cdot Z_{cr}}{D_i}\right) + \beta_r - \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot Z_{cr}}{C}\right)^2}\right) \right) = \\ &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,6} \cdot \left( \ln\left(\frac{4 \cdot 1,3096}{0,3904}\right) + 21,1970 - \right. \\ &\quad \left. - \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot 1,3096}{0,6500}\right)^2}\right) \right) = \\ &= 0,0995 \cdot (2,5966 + 21,1970 - 1,4235) = 2,2258 \text{ mK/W} \end{aligned}$$

### OBLICZENIA DLA SEZONU GRZEWCZEGO

14. temperatura w modelu symetrycznym

$$T_s = \frac{t_f + t_r}{2} = \frac{78,5 + 42}{2} = 60,25^\circ\text{C}$$

15. temperatura w modelu antysymetrycznym

$$T_a = \frac{t_f - t_r}{2} = \frac{78,5 - 42}{2} = 18,25^\circ\text{C}$$

16. składowa symetryczna jednostkowych strat ciepła – zasilanie

$$q_{sf} = \frac{T_s - t_s}{R_{sf}} = \frac{60,25 - 8}{2,5091} = 20,82 \text{ W/m}$$

17. składowa symetryczna jednostkowych strat ciepła – powrót

$$q_{sr} = \frac{T_s - t_s}{R_{sr}} = \frac{60,25 - 8}{2,5091} = 20,82 \text{ W/m}$$

18. składowa antysymetryczna jednostkowych strat ciepła – zasilanie

$$q_{af} = \frac{T_a}{R_{af}} = \frac{18,25}{2,2258} = 8,20 \text{ W/m}$$

19. składowa antysymetryczna jednostkowych strat ciepła – powrót

$$q_{ar} = \frac{T_a}{R_{ar}} = \frac{18,25}{2,2258} = 8,20 \text{ W/m}$$

20. jednostkowe straty ciepła – zasilanie

$$q_f = q_{sf} + q_{af} = 20,82 + 8,20 = 29,02 \text{ W/m}$$

21. jednostkowe straty ciepła – powrót

$$q_r = q_{sr} - q_{ar} = 20,82 - 8,20 = 12,62 \text{ W/m}$$

22. sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur – sezon grzewczy

$$q_G = q_f + q_r = 29,02 + 12,62 = 41,64 \text{ W/m}$$

## OBLICZENIA DLA OKRESU POZA SEZONEM GRZEWCZYM

23. temperatura w modelu symetrycznym

$$T_s = \frac{t_f + t_r}{2} = \frac{70,0 + 40,0}{2} = 55,00^\circ\text{C}$$

24. temperatura w modelu antysymetrycznym

$$T_a = \frac{T_s - t_s}{2} = \frac{70 - 40}{2} = 15,00^\circ\text{C}$$

25. składowa symetryczna jednostkowych strat ciepła – zasilanie

$$q_{sf} = \frac{T_s - t_s}{R_{sf}} = \frac{55 - 8}{2,5091} = 18,73 \text{ W/m}$$

26. składowa symetryczna jednostkowych strat ciepła – powrót

$$q_{sr} = \frac{T_s - t_s}{R_{sr}} = \frac{55 - 8}{2,5091} = 18,73 \text{ W/m}$$

27. składowa antysymetryczna jednostkowych strat ciepła – zasilanie

$$q_{af} = \frac{T_a}{R_{af}} = \frac{15}{2,2258} = 6,74 \text{ W/m}$$

28. składowa antysymetryczna jednostkowych strat ciepła – powrót

$$q_{ar} = \frac{T_a}{R_{ar}} = \frac{15}{2,2258} = 6,74 \text{ W/m}$$

29. jednostkowe straty ciepła – zasilanie

$$q_f = q_{sf} + q_{af} = 18,73 + 6,74 = 25,47 \text{ W/m}$$

30. jednostkowe straty ciepła – powrót

$$q_r = q_{sr} - q_{ar} = 18,73 - 6,74 = 11,99 \text{ W/m}$$

31. sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur – okres poza sezonem grzewczym

$$q_L = q_f + q_r = 25,47 + 11,99 = 37,46 \text{ W/m}$$

## OBLICZENIA STRAT CIEPŁA W CIĄGU JEDNEGO ROKU EKSPLOATACJI – PRZYPADEK 1

$$Q_{o1} = (q_G \cdot S + q_L \cdot (365 - S)) \cdot L \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-9} = (41,64 \cdot 255 + 37,46 \cdot (365 - 255)) \cdot 500 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-9} = 636 \text{ GJ}$$

## PRZYKŁAD 2 – RUROCIĄGI POJEDYNCZE Z RÓŻNYMI GRUBOŚCIAMI IZOLACJI

W przykładzie przedstawiono obliczenia strat ciepła w rurociągach pojedynczych o różnych grubościach izolacji (zasilanie – seria 1 wg PN-EN 253, powrót – seria 2).

## DANE RUROCIĄGÓW PREIZOLOWANYCH

$d_o$	– średnica zewnętrzna rur przewodowych	273,0 mm	0,2730 m
$D_{cf}$	– średnica zewnętrzna osłony rurociągu zasilającego	450 mm	0,4500 m
$t_{cf}$	– grubość ścianki osłony rurociągu zasilającego	5,2 mm	0,0052 m
$D_{cr}$	– średnica zewnętrzna osłony rurociągu powrotnego	400 mm	0,4000 m
$t_{cr}$	– grubość ścianki osłony rurociągu powrotnego	4,8 mm	0,0048 m

## OBLICZENIA ZMIENNYCH NIEZALEŻNYCH OD PORY ROKU

1. średnica izolacji – zasilanie

$$D_{if} = D_{cf} - 2 \cdot t_{cf} = 0,450 - 2 \cdot 0,0052 = 0,4396 \text{ m}$$

2. średnica izolacji – powrót

$$D_{ir} = D_{cr} - 2 \cdot t_{cr} = 0,400 - 2 \cdot 0,0048 = 0,3904 \text{ m}$$

3. parametr oporu cieplnego – zasilanie

$$\beta_f = \frac{\lambda_s}{\lambda_i} \cdot \ln\left(\frac{D_{if}}{d_{of}}\right) = \frac{1,6}{0,027} \cdot \ln\left(\frac{0,4396}{0,273}\right) = 28,2307$$

4. parametr oporu cieplnego – powrót

$$\beta_r = \frac{\lambda_s}{\lambda_i} \cdot \ln\left(\frac{D_{ir}}{d_{or}}\right) = \frac{1,6}{0,027} \cdot \ln\left(\frac{0,3904}{0,273}\right) = 21,1970$$

4. średnie zagłębienie osi rurociągu zasilającego

$$Z_f = H + \frac{D_{cf}}{2} = 1 + \frac{0,450}{2} = 1,225 \text{ m}$$

6. średnie zagłębienie osi rurociągu powrotnego

$$Z_r = H + \frac{D_{cr}}{2} = 1 + \frac{0,400}{2} = 1,200 \text{ m}$$

7. skorygowane zagłębienie osi rurociągu zasilającego

$$Z_{cf} = Z_f + R_o \cdot \lambda_s = 1,225 + 0,0685 \cdot 1,6 = 1,3346 \text{ m}$$

8. skorygowane zagłębienie osi rurociągu powrotnego

$$Z_{cr} = Z_r + R_o \cdot \lambda_s = 1,200 + 0,0685 \cdot 1,6 = 1,3096 \text{ m}$$

9. odległość między osiami rurociągów

$$C = A + \frac{D_{cf} + D_{cr}}{2} = 0,25 + \frac{0,450 + 0,400}{2} = 0,6750 \text{ m}$$

10. składowa symetryczna oporu cieplnego – zasilanie

$$R_{sf} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \left( \ln\left(\frac{4 \cdot Z_{cf}}{D_i}\right) + \beta_f + \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot Z_{cf}}{C}\right)^2}\right) \right) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,6} \cdot \left( \ln\left(\frac{4 \cdot 1,3346}{0,4396}\right) + 28,231 + \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot 1,3346}{0,675}\right)^2}\right) \right) =$$

$$= 0,0995 \cdot (2,4968 + 28,2307 + 1,4058) = 3,1973 \text{ mK/W}$$

11. składowa symetryczna oporu cieplnego – powrót

$$R_{sr} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \left( \ln\left(\frac{4 \cdot Z_{cr}}{D_i}\right) + \beta_r + \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot Z_{cr}}{C}\right)^2}\right) \right) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,6} \cdot \left( \ln\left(\frac{4 \cdot 1,3096}{0,3904}\right) + 21,197 + \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot 1,3096}{0,675}\right)^2}\right) \right) =$$

$$= 0,0995 \cdot (2,5966 + 21,197 + 1,3881) = 2,5056 \text{ mK/W}$$

12. składowa antysymetryczna oporu cieplnego – zasilanie

$$R_{af} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \left( \ln\left(\frac{4 \cdot Z_{cf}}{D_i}\right) + \beta_f - \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot Z_{cf}}{C}\right)^2}\right) \right) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,6} \cdot \left( \ln\left(\frac{4 \cdot 1,3346}{0,4396}\right) + 28,231 - \ln\left(\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot 1,3346}{0,675}\right)^2}\right) \right) =$$

$$= 0,0995 \cdot (2,4968 + 28,231 - 1,4058) = 2,9175 \text{ mK/W}$$

13. składowa antysymetryczna oporu cieplnego – powrót

$$R_{ar} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \left( \ln \left( \frac{4 \cdot Z_{cr}}{D_i} \right) \right) + \beta_r - \ln \left( \sqrt{1 + \left( \frac{2 \cdot Z_{cr}}{C} \right)^2} \right) =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,6} \cdot \left( \ln \left( \frac{4 \cdot 1,3096}{0,3904} \right) + 21,197 - \right.$$

$$\left. - \ln \left( \sqrt{1 + \left( \frac{2 \cdot 1,3096}{0,675} \right)^2} \right) \right) =$$

$$= 0,0995 \cdot (2,5966 + 21,197 - 1,3881) = 2,2293 \text{ mK/W}$$

## OBLICZENIA DLA SEZONU GRZEWCZEGO

14. temperatura w modelu symetrycznym

$$T_s = \frac{t_f + t_r}{2} = \frac{78,5 + 42}{2} = 60,25^\circ\text{C}$$

15. temperatura w modelu antysymetrycznym

$$T_a = \frac{t_f - t_r}{2} = \frac{78,5 - 42}{2} = 18,25^\circ\text{C}$$

16. składowa symetryczna jednostkowych strat ciepła – zasilanie

$$q_{sf} = \frac{T_s - t_s}{R_{sf}} = \frac{60,25 - 8}{3,1973} = 16,34 \text{ W/m}$$

17. składowa symetryczna jednostkowych strat ciepła – powrót

$$q_{sr} = \frac{T_s - t_s}{R_{sr}} = \frac{60,25 - 8}{2,5056} = 20,85 \text{ W/m}$$

18. składowa antysymetryczna jednostkowych strat ciepła – zasilanie

$$q_{af} = \frac{T_a}{R_{af}} = \frac{18,25}{2,9175} = 6,26 \text{ W/m}$$

19. składowa antysymetryczna jednostkowych strat ciepła – powrót

$$q_{ar} = \frac{T_a}{R_{ar}} = \frac{18,25}{2,2293} = 8,19 \text{ W/m}$$

20. jednostkowe straty ciepła – zasilanie

$$q_f = q_{sf} + q_{af} = 16,34 + 6,26 = 22,60 \text{ W/m}$$

21. jednostkowe straty ciepła – powrót

$$q_r = q_{sr} - q_{ar} = 20,86 - 8,19 = 12,67 \text{ W/m}$$

22. sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur – sezon grzewczy

$$q_G = q_f + q_r = 22,60 + 12,67 = 35,27 \text{ W/m}$$

## OBLICZENIA DLA OKRESU POZA SEZONEM GRZEWCZYM

23. temperatura w modelu symetrycznym

$$T_s = \frac{t_f + t_r}{2} = \frac{70,0 + 40,0}{2} = 55,00^\circ\text{C}$$

24. temperatura w modelu antysymetrycznym

$$T_a = \frac{T_s - t_s}{2} = \frac{70 - 40}{2} = 15,00^\circ\text{C}$$

25. składowa symetryczna jednostkowych strat ciepła – zasilanie

$$q_{sf} = \frac{T_s - t_s}{R_{sf}} = \frac{55 - 8}{3,1973} = 14,70 \text{ W/m}$$

26. składowa symetryczna jednostkowych strat ciepła – powrót

$$q_{sr} = \frac{T_s - t_s}{R_{sr}} = \frac{55 - 8}{2,5056} = 18,76 \text{ W/m}$$

27. składowa antysymetryczna jednostkowych strat ciepła – zasilanie

$$q_{af} = \frac{T_a}{R_{af}} = \frac{15}{2,9175} = 5,14 \text{ W/m}$$

28. składowa antysymetryczna jednostkowych strat ciepła – powrót

$$q_{ar} = \frac{T_a}{R_{ar}} = \frac{15}{2,2293} = 6,73 \text{ W/m}$$

29. jednostkowe straty ciepła – zasilanie

$$q_f = q_{sf} + q_{af} = 14,70 + 5,14 = 19,84 \text{ W/m}$$

30. jednostkowe straty ciepła – powrót

$$q_r = q_{sr} - q_{ar} = 18,73 - 6,74 = 12,03 \text{ W/m}$$

31. sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur – okres poza sezonem grzewczym

$$q_L = q_f + q_r = 19,84 + 12,03 = 31,87 \text{ W/m}$$

## OBLICZENIA STRAT CIEPŁA W CIĄGU JEDNEGO ROKU

## EKSPLOATACJI – PRZYPADK 2

$$Q_{a2} = (q_G \cdot S + q_L \cdot (365 - S)) \cdot L \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-9} =$$

$$= (35,27 \cdot 255 + 31,87 \cdot (365 - 255)) \cdot 500 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-9} = 540 \text{ GJ}$$

**Pogrubienie izolacji na zasilaniu (grubość izolacji seria 2 – zamiast seria 1) na odcinku s.c. preizolowanej L = 500 m ułożonej w systemie preizolowanych rur pojedynczych 2xDN250 powoduje obniżenie strat ciepła w ciągu roku o  $\Delta Q = Q_{a1} - Q_{a2} = 636 - 540 = 96 \text{ GJ}$ .**

## PRZYKŁAD 3 – RUROCIĄG PODWÓJNY

W przykładzie przedstawiono obliczenia strat ciepła w rurociągu podwójnym (grubość izolacji seria 1).

## DANE RUROCIĄGÓW PREIZOLOWANYCH

$d_o$	– średnice zewnętrzne rur przewodowych	273,0 mm 0,2730 m
$D_c$	– średnica zewnętrzna osłony	710 mm 0,7100 m
$t_c$	– grubość ścianki osłony	7,2 mm 0,0072 m
$L_p$	– odległość pomiędzy rurami przewodowymi	45 mm 0,0450 m

## OBLICZENIA ZMIENNYCH NIEZALEŻNYCH OD PORY ROKU

1. średnica zewnętrzna izolacji

$$D_i = D_c - 2 \cdot e = 0,710 - 2 \cdot 0,0072 = 0,6956 \text{ m}$$

2. zagłębienie osi zespołu rurowego

$$Z = H + \frac{D_c}{2} = 1 + \frac{0,710}{2} = 1,355 \text{ m}$$

3. skorygowane zagłębienie osi zespołu rurowego

$$Z_c = Z + R_o \cdot \lambda_s = 1,355 + 0,0685 \cdot 1,6 = 1,4646 \text{ m}$$

4. odległość między osiami rur przewodowych

$$C = L_p + d_o = 0,045 + 0,273 = 0,3180 \text{ m}$$

5. parametr relacji między współczynnikami przewodzenia ciepła

$$\sigma = \frac{\lambda_i - \lambda_s}{\lambda_i + \lambda_s} = \frac{0,027 - 1,6}{0,027 + 1,6} = -0,9668$$

6. parametr bezwymiarowy

$$\gamma = \frac{2 \cdot (1 - \sigma^2)}{1 - \sigma \cdot \left( \frac{D_i}{4 \cdot Z_c} \right)^2} = \frac{2 \cdot (1 - (-0,9668)^2)}{1 - (-0,9668) \cdot \left( \frac{0,6956}{4 \cdot 1,4646} \right)^2} =$$

$$= \frac{2 \cdot (1 - 0,9347)}{1 - (-0,9668) \cdot 0,0141} = \frac{0,1306}{1,0136} = 0,1288$$

7. współczynnik strat ciepła w modelu symetrycznym

$$h_s^{-1} = \frac{2 \cdot \lambda_i}{\lambda_s} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot Z_C}{D_i}\right) + \ln\left(\frac{D_i^2}{2 \cdot C \cdot d_o}\right) + \sigma \cdot \ln\left(\frac{D_i^4}{D_i^4 - C^4}\right) - \frac{\left(\frac{d_o}{2 \cdot C} - \frac{2 \cdot \sigma \cdot d_o \cdot C^3}{D_i^4 - C^4}\right)^2}{1 + \left(\frac{d_o}{2 \cdot C}\right)^2 + \sigma \cdot \left(\frac{2 \cdot d_o \cdot D_i^2 \cdot C}{D_i^4 - C^4}\right)^2} = \frac{2 \cdot 0,027}{1,6} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 1,4646}{0,6956}\right) + \ln\left(\frac{0,6956^2}{2 \cdot 0,3180 \cdot 0,273}\right) + (-0,9668) \cdot \ln\left(\frac{0,6956^4}{0,6956^4 - 0,3180^4}\right) - \frac{\left(\frac{0,273}{2 \cdot 0,318} - \frac{2 \cdot (-0,9668) \cdot 0,273 \cdot 0,318^3}{0,6956^4 - 0,318^4}\right)^2}{1 + \left(\frac{0,273}{2 \cdot 0,318}\right)^2 + (-0,9668) \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,273 \cdot 0,6956^2 \cdot 0,318}{0,6956^4 - 0,318^4}\right)^2} = 0,0719 + 1,0249 - 0,0432 - 0,2434 = 0,8102 \text{ mK} / \text{W}$$

8. współczynnik strat ciepła w modelu antysymetrycznym

$$h_a^{-1} = \ln\left(\frac{2 \cdot C}{d_o}\right) + \sigma \cdot \ln\left(\frac{D_i^2 + C^2}{D_i^2 - C^2}\right) - \frac{\left(\frac{d_o}{2 \cdot C} - \gamma \cdot \frac{C \cdot d_o}{16 \cdot Z_C^2} + \frac{2 \cdot \sigma \cdot d_o \cdot D_i^2 \cdot C}{D_i^4 - C^4}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_o}{2 \cdot C}\right)^2 - \gamma \cdot \frac{d_o}{4 \cdot Z_C} + 2 \cdot \sigma \cdot d_o^2 \cdot D_i^2 \cdot \frac{D_i^4 + C^4}{(D_i^4 - C^4)^2}} - \gamma \cdot \left(\frac{C}{4 \cdot Z_C}\right)^2 = \ln\left(\frac{2 \cdot 0,3180}{0,273}\right) + (-0,9668) \cdot \ln\left(\frac{0,6956^2 + 0,3180^2}{0,6956^2 - 0,3180^2}\right) - \frac{\left(\frac{0,273}{2 \cdot 0,3180} - 0,1288 \cdot \frac{0,3180 \cdot 0,273}{16 \cdot 1,4646^2} + \frac{2 \cdot (-0,9668) \cdot 0,3180 \cdot 0,273 \cdot 0,6956^2 \cdot 0,3180}{0,6956^4 - 0,3180^4}\right)^2}{1 - \left(\frac{0,273}{2 \cdot 0,3180}\right)^2 - 0,1288 \cdot \frac{0,273}{4 \cdot 1,4646} + \frac{2 \cdot (-0,9668) \cdot 0,3180 \cdot 0,273 \cdot 0,6956^2 \cdot 0,3180}{0,6956^4 - 0,3180^4}} + \frac{2 \cdot 0,9668 \cdot 0,273^2 \cdot \frac{0,6956^4 + 0,3180^4}{(0,6956^4 - 0,3180^4)^2}}{-0,1288 \cdot \left(\frac{0,318}{4 \cdot 1,4646}\right)^2} = 0,8457 - 0,4101 - 0,0093 - 0,0004 = 0,4259 \text{ mK} / \text{W}$$

OBLICZENIA – SEZON GRZEWCZY

9. temperatura w modelu symetrycznym

$$T_s = \frac{t_f + t_r}{2} = \frac{78,5 + 42}{2} = 60,25^\circ\text{C}$$

10. składowa symetryczna jednostkowych strat ciepła

$$q_s = (T_s - t_s) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_i \cdot h_s = (60,25 - 8) \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,027 \cdot \frac{1}{0,8102} = 10,94 \text{ W} / \text{m}$$

11. temperatura w modelu antysymetrycznym

$$T_s = \frac{t_f - t_r}{2} = \frac{78,5 - 42,0}{2} = 18,25^\circ\text{C}$$

12. składowa antysymetryczna jednostkowych strat ciepła

$$q_a = T_a \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_i \cdot h_a = 18,25 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,027 \cdot \frac{1}{0,4259} = 7,27 \text{ W} / \text{m}$$

13. jednostkowe straty ciepła – zasilanie

$$q_f = q_s + q_a = 10,94 + 7,27 = 18,21 \text{ W} / \text{m}$$

14. jednostkowe straty ciepła – powrót

$$q_r = q_s - q_a = 10,94 - 7,27 = 3,67 \text{ W} / \text{m}$$

15. sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur – sezon grzewczy

$$q_G = q_f + q_r = 18,21 + 4,57 = 21,88 \text{ W} / \text{m}$$

OBLICZENIA DLA OKRESU POZA SEZONEM GRZEWCZYM

16. temperatura w modelu symetrycznym

$$T_s = \frac{t_f + t_r}{2} = \frac{70 + 40}{2} = 55,00^\circ\text{C}$$

17. składowa symetryczna jednostkowych strat ciepła

$$q_s = (T_s - t_s) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_i \cdot h_s = (55 - 8) \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,027 \cdot \frac{1}{0,8102} = 9,84 \text{ W} / \text{m}$$

18. temperatura w modelu antysymetrycznym

$$T_a = \frac{t_f - t_r}{2} = \frac{70,0 - 40,0}{2} = 15,00^\circ\text{C}$$

19. składowa antysymetryczna jednostkowych strat ciepła

$$q_a = T_a \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_i \cdot h_a = 15 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,027 \cdot \frac{1}{0,4259} = 5,98 \text{ W} / \text{m}$$

20. jednostkowe straty ciepła – zasilanie

$$q_f = q_s + q_a = 9,84 + 5,98 = 15,82 \text{ W} / \text{m}$$

21. jednostkowe straty ciepła – powrót

$$q_r = q_s - q_a = 9,84 - 5,9874 = 3,87 \text{ W} / \text{m}$$

22. sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur – poza sezonem grzewczym

$$q_L = q_f + q_r = 15,82 + 3,87 = 19,68 \text{ W} / \text{m}$$

OBLICZENIA STRAT CIEPŁA W CIĄGU JEDNEGO ROKU EKSPLOATACJI – PRZYPADEK 3

$$Q_{a3} = (q_G \cdot S + q_L \cdot (365 - S)) \cdot L \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-9} = (21,88 \cdot 255 + 19,68 \cdot (365 - 255)) \cdot 500 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-9} = 335 \text{ GJ}$$

**Zastosowanie podwójnej rury preizolowanej DN (2x250)/710 zamiast pojedynczych rur preizolowanych 2xDN 250/400 na odcinku s.c. preizolowanej L = 500 m powoduje obniżenie strat ciepła w ciągu roku o  $\Delta Q = Q_{a1} - Q_{a3} = 636 - 335 = 301 \text{ GJ}$ .**

**ZESTAWIENIE PORÓWNAWCZE**

W tabeli 9 zestawiono, obliczone w przedstawionych przykładach, straty ciepła w systemach rur preizolowanych:

- pojedynczych – o takich samych średnicach nominalnych rur przewodowych (rury przewodowe DN250) oraz takich samych średnicach osłon PE-HD (osłona  $D_c=400 \text{ mm}$ ),
- pojedynczych o takich samych średnicach zewnętrznych rur przewodowych (rury przewodowe DN250) i różnych średnicach osłon PE-HD (osłona  $D_{c1}=400 \text{ mm}$ , osłona  $D_{c2}=450 \text{ mm}$ ),
- podwójnych (rury przewodowe DN250, osłona  $D_c=710 \text{ mm}$ ).

Tabela 9 Zestawienie strat ciepła wyznaczonych w Przykładach 1, 2, 3

Przykład	Rurociągi	Jednostkowe straty ciepła, W/m						Q, GJ
		Sezon grzewczy			Poza sezonem			
		zasilanie	powrót	zasilanie + powrót	zasilanie	powrót	zasilanie + powrót	
1.	2 x DN 250/400	29,02	12,62	41,64	25,47	11,99	37,46	636
2.	DN 250/450 (z) DN 250/400 (p)	22,60	12,67	35,27	19,84	12,03	31,87	540
3.	DN (2x250)/710	18,21	3,67	21,88	15,82	3,87	19,68	335

Pogrubienie izolacji na zasilaniu (grubość izolacji seria 2 – zamiast seria 1) na odcinku s.c. preizolowanej  $L = 500$  m ułożonej w systemie preizolowanych rur pojedynczych 2xDN 250 powoduje obniżenie strat ciepła w ciągu roku o  $\Delta Q = Q_{a1} - Q_{a2} = 636 - 540 = 96$  GJ.

Zastosowanie podwójnej rury preizolowanej DN (2x250)/710 zamiast systemu rur pojedynczych 2xDN 250/400 na odcinku s.c. preizolowanej  $L = 500$  m powoduje obniżenie strat ciepła w ciągu roku o  $\Delta Q = Q_{a1} - Q_{a3} = 636 - 335 = 301$  GJ.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Ireneusz Iwko, Sposób obliczenia strat ciepła podziemnych rurociągów preizolowanych w świetle przyszłych zmian w normie EN 13941:2009+A1:2010 „Projektowanie i budowa sieci ciepłowniczych z systemu preizolowanych rur zespolonych”, Instal 11/2015, str. 10 ÷ 14
- [2] <https://klimat.imgw.pl/pl/climate-normals/> – dostęp z dnia 26 lipca 2024 roku
- [3] A.P. Weber, Centralne ogrzewania wodne, Arkady 1975
- [4] Ewa Kręcielewska, Ireneusz Iwko, Fakty i mity dotyczące rur preizolowanych stosowanych w ciepłownictwie – Część I, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 52/12 2021, str. 17 ÷ 25

- [5] Materiały archiwalne LOGSTOR
- [6] Ewa Kręcielewska, Ireneusz Iwko, Wpływ grubości osłony PE-HD i bariery dyfuzyjnej na przewodność cieplną, jednostkowe straty ciepła oraz skład gazów w izolacji PUR w rurach preizolowanych produkowanych metodą tradycyjną, Instal 9/22, str. 11 ÷ 15
- [7] Materiały archiwalne LB SPEC/ LB Veolia
- [8] Ewa Kręcielewska, Damen Menard, Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji w rurach preizolowanych po naturalnym i sztucznym starzeniu, Instal 11/2014, str. 14 ÷ 20
- [9] [http://solis.pl/index.php/pompy\\_ciepla/projektowanie\\_instalacji/instalacje\\_zrodla/temperatury\\_gruntu\\_w\\_zalezności\\_od\\_pory\\_roku\\_i\\_glebkości](http://solis.pl/index.php/pompy_ciepla/projektowanie_instalacji/instalacje_zrodla/temperatury_gruntu_w_zalezności_od_pory_roku_i_glebkości) – dostęp z dnia 26 lipca 2024 roku
- [10] <https://www.wymiennikgruntowy.pl/gwc-glikolowy-czy-powietrzny/> – dostęp z dnia 26 lipca 2024 roku

## NORMY PRZYWOŁANE

- PN-EN 13941-1:2019-06 Sieci ciepłownicze – Projektowanie i montaż systemu izolowanych termicznie zespołów rur pojedynczych i podwójnych do sieci wody gorącej układanych bezpośrednio w gruncie – Część 1: Projektowanie
- PN-B-02421:1985 Ogrzewnictwo i ciepłownictwo – Izolacja cieplna rurociągów, armatury i urządzeń – Wymagania badania
- PN-EN 253+A1:2024-06 Sieci ciepłownicze – System pojedynczych rur zespolonych do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie – Fabrycznie wykonany zespół rurowy ze stalowej rury przewodowej, izolacji cieplnej z poliuretanu i osłony z polietylenu
- PN-EN 15698-1:2020-01 Sieci ciepłownicze – Zespolony system dwururowy do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie – Część 1: Wykonany fabrycznie zespół dwururowy ze stalowej rury przewodowej, izolacji cieplnej z poliuretanu i jednej osłony z polietylenu