

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

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

EWA KRĘCIELEWSKA, ARTUR STAROBRAT, IRENEUSZ IWKO

DOI 10.36119/15.2024.9.1

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 a 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*

## Symbole

A	odległość między osłonami rur w systemie rur preizolowanych pojedynczych	m	$R_{cr}$	opór cieplny rur w modelu antysymetrycznym, rurociąg powrotny	mK/W
C	odległość między osiami rur przewodowych	m	$R_s$	opór cieplny rur w modelu symetrycznym	mK/W
$D_c$	średnica zewnętrzna osłony	m	$R_{sf}$	opór cieplny rur w modelu symetrycznym, rurociąg zasilający	mK/W
$D_{cf}$	średnica zewnętrzna osłony, rurociąg zasilający	m	$R_{sr}$	opór cieplny rur w modelu symetrycznym, rurociąg powrotny	mK/W
$D_{cr}$	średnica zewnętrzna osłony, rurociąg powrotny	m	$T_a$	temperatura w modelu antysymetrycznym	°C
$D_i$	średnica zewnętrzna izolacji	m	$T_{aG}$	temperatura w modelu antysymetrycznym, sezon grzewczy	°C
$D_{if}$	średnica zewnętrzna izolacji rurociąg zasilający	m	$T_{al}$	temperatura w modelu antysymetrycznym, okres poza sezonem grzewczym	°C
$D_{ir}$	średnica zewnętrzna izolacji rurociąg powrotny	m	$T_s$	temperatura w modelu symetrycznym	°C
H	przykrycie gruntem do wierzchu osłony	m	$T_{sG}$	temperatura w modelu symetrycznym, sezon grzewczy	°C
$H_f$	przykrycie gruntem do wierzchu osłony rurociągu zasilającego	m	$T_{sl}$	temperatura w modelu symetrycznym, okres poza sezonem grzewczym	°C
$H_r$	przykrycie gruntem do wierzchu osłony rurociągu powrotnego	m	Z	zagłębienie osi rurociągu	m
L	długość odcinka sieci ciepłej	m	$Z_f$	zagłębienie osi rurociągu zasilającego	m
$L_p$	odległość między rurami przewodowymi w systemie rur preizolowanych podwójnych	m	$Z_r$	zagłębienie osi rurociągu powrotnego	m
$Q_a$	straty ciepła w ciągu jednego roku eksploatacji s.c.	GJ	$Z_c$	skorygowane zagłębienie osi rurociągu	m
$R_a$	opór cieplny rur w modelu antysymetrycznym	mK/W	$Z_{cf}$	skorygowane zagłębienie osi rurociągu zasilającego	m
$R_{af}$	opór cieplny rur w modelu antysymetrycznym, rurociąg zasilający	mK/W	$Z_{cr}$	skorygowane zagłębienie osi rurociągu powrotnego	m
			$d_o$	średnica zewnętrzna rury przewodowej	m

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

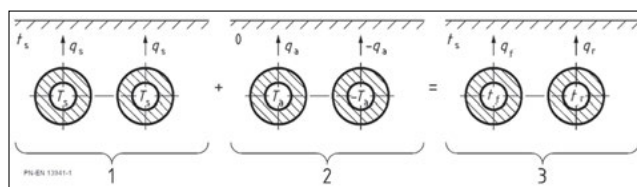
mgr inż. Artur Starobrat – LPEC Lublin arturstary@gmail.com,

mgr inż. Ireneusz Iwko – Logstor Polska.

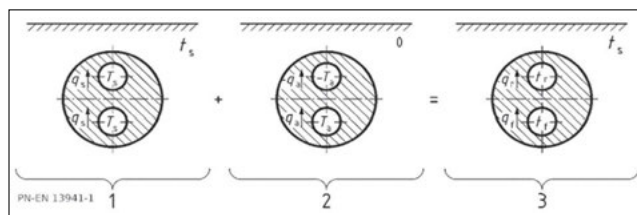
$d_{of}$	średnica zewnętrzna rury przewodowej, zasilanie	m	$t_{rL}$	temperatura nośnika ciepła powrót, okres poza sezonem grzewczym	°C
$d_{or}$	średnica zewnętrzna rury przewodowej, powrót	m	$t_s$	temperatura gruntu	°C
$h_s$	współczynnik strat ciepła w modelu symetrycznym (rury podwójne)	mK/W	$t_{sG}$	temperatura gruntu, sezon grzewczy	°C
$h_a$	współczynnik strat ciepła w modelu antysymetrycznym (rury podwójne)	mK/W	$t_{sL}$	temperatura gruntu, okres poza sezonem grzewczym	°C
$q_a$	składowa jednostkowych strat ciepła w modelu antysymetrycznym	W/m	$\beta$	bezwymiarowy współczynnik oporu ciepła	
$q_{aG}$	składowa jednostkowych strat ciepła w modelu antysymetrycznym, sezon grzewczy (rury podwójne)	W/m	$\beta_f$	bezwymiarowy współczynnik oporu ciepła – rurociąg zasilający	
$q_{aL}$	składowa jednostkowych strat ciepła w modelu antysymetrycznym, okres poza sezonem grzewczym (rury podwójne)	W/m	$\beta_r$	bezwymiarowy współczynnik oporu ciepła – rurociąg powrotny	
$q_{afG}$	składowa jednostkowych strat ciepła w modelu antysymetrycznym, rurociąg zasilający, sezon grzewczy	W/m	$\gamma$	parametr bezwymiarowy (rury podwójne)	
$q_{afL}$	składowa jednostkowych strat ciepła w modelu antysymetrycznym, rurociąg zasilający, okres poza sezonem grzewczym,	W/m	$\lambda_i$	współczynnik przewodzenia ciepła izolacji	W/mK
$q_{arG}$	składowa jednostkowych strat ciepła w modelu antysymetrycznym, rurociąg powrotny, sezon grzewczy	W/m	$\lambda_s$	współczynnik przewodzenia ciepła gruntu	W/mK
$q_{arL}$	składowa jednostkowych strat ciepła w modelu antysymetrycznym, rurociąg powrotny, okres poza sezonem grzewczym	W/m	$\sigma$	współczynnik relacji między $\lambda_i$ oraz $\lambda_s$ (rury podwójne)	
$q_f$	jednostkowe straty ciepła, rurociąg zasilający	W/m			
$q_{fG}$	jednostkowe straty ciepła, rurociąg zasilający, sezon grzewczy	W/m			
$q_{fL}$	jednostkowe straty ciepła, rurociąg zasilający, okres poza sezonem grzewczym	W/m			
$q_G$	sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur, sezon grzewczy	W/m			
$q_L$	sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur, okres poza sezonem grzewczym	W/m			
$q_r$	jednostkowe straty ciepła, rurociąg powrotny	W/m			
$q_{rG}$	jednostkowe straty ciepła, rurociąg powrotny, sezon grzewczy	W/m			
$q_{rL}$	jednostkowe straty ciepła, rurociąg powrotny, okres poza sezonem grzewczym	W/m			
$q_s$	składowa jednostkowych strat ciepła w modelu symetrycznym	W/m			
$q_{sG}$	składowa jednostkowych strat ciepła w modelu symetrycznym w sezonie grzewczym (rury podwójne)	W/m			
$q_{sL}$	składowa jednostkowych strat ciepła w modelu symetrycznym, okres poza sezonem grzewczym (rury podwójne)	W/m			
$q_{sfG}$	składowa jednostkowych strat ciepła w modelu symetrycznym, rurociąg zasilający, sezon grzewczy	W/m			
$q_{sfL}$	składowa jednostkowych strat ciepła w modelu symetrycznym, rurociąg zasilający, okres poza sezonem grzewczym	W/m			
$q_{srG}$	składowa jednostkowych strat ciepła w modelu symetrycznym, rurociąg powrotny, sezon grzewczy	W/m			
$q_{srL}$	składowa jednostkowych strat ciepła w modelu symetrycznym, rurociąg powrotny, okres poza sezonem grzewczym	W/m			
$t$	temperatura nośnika ciepła	°C			
$t_c$	grubość ścianki osłony	m			
$t_{cf}$	grubość ścianki osłony rurociąg zasilając	m			
$t_{cr}$	grubość ścianki osłony rurociąg powrotny	m			
$t_e$	temperatura na zewnętrznej powierzchni izolacji	°C			
$t_f$	temperatura nośnika ciepła zasilanie	°C			
$t_{fG}$	temperatura nośnika ciepła zasilanie, sezon grzewczy	°C			
$t_{fL}$	temperatura nośnika ciepła zasilanie, okres poza sezonem grzewczym	°C			
$t_m$	średnia temperatura izolacji	°C			
$t_o$	temperatura otoczenia	°C			
$t_r$	temperatura nośnika ciepła powrót	°C			
$t_{rG}$	temperatura nośnika ciepła powrót, sezon grzewczy	°C			

## Wprowadzenie do obliczeń strat ciepła

Metoda obliczeniowa jednostkowych strat ciepła w systemach preizolowanych pojedynczych i podwójnych przedstawiona w PN-EN 13941-1+A1:2022-05 została oparta na metodzie multipolowej [1], w której straty ciepła definiuje się jako superpozycję modeli symetrycznego i antysymetrycznego.



**Rys. 1**  
Rozwiązanie problemu (3) dla rurociągów pojedynczych, będące sumą symetrycznego (1) i antysymetrycznego (2) przypadku obliczeniowego:  $t_s$  – temperatura gruntu,  $t_f$  – temperatura nośnika ciepła zasilanie,  $t_r$  – temperatura nośnika ciepła powrót,  $q_s$  – jednostkowe straty ciepła w modelu symetrycznym,  $q_a$  – jednostkowe straty ciepła w modelu antysymetrycznym,  $T_s$  – temperatura w modelu symetrycznym,  $T_a$  – temperatura w modelu antysymetrycznym,  $q_f$  – jednostkowe straty ciepła rurociągu zasilającego,  $q_r$  – jednostkowe straty ciepła rurociągu powrotnego



**Rys. 2**  
Rozwiązanie problemu (3) dla rurociągów podwójnych, będące sumą symetrycznego (1) i antysymetrycznego (2) przypadku obliczeniowego:  $t_s$  – temperatura gruntu,  $t_f$  – temperatura nośnika ciepła zasilanie,  $t_r$  – temperatura nośnika ciepła powrót,  $q_s$  – składowa strat ciepła w modelu symetrycznym,  $q_a$  – składowa strat ciepła w modelu antysymetrycznym,  $T_s$  – temperatura w modelu symetrycznym,  $T_a$  – temperatura w modelu antysymetrycznym,  $q_f$  – jednostkowe straty ciepła w rurze zasilającej,  $q_r$  – jednostkowe straty ciepła w rurze powrotnej

Metoda ta może być wykorzystywana do obliczania jednostkowych strat ciepła rurociągów preizolowanych ułożonych bezpośrednio w gruncie, pozwala też uwzględnić różne średnice rur przewodowych oraz różne średnice osłon rur preizolowanych. Ponadto pozwala obliczyć jednostkowe straty ciepła pary rurociągów o zróżnicowanym (w niewielkim zakresie) zagłębieniu osi.

Z uwagi na ich znikomy wpływ na wynik obliczeń w metodzie tej pomijane są właściwości izolacyjne rury stalowej i osłony polietylenowej.

Pomimo różnic pojawiających się w zastosowanych wzorach tok postępowania podczas obliczania strat ciepła w systemach rurociągów preizolowanych pojedynczych i podwójnych jest taki sam i sprowadza się do kilkunastu prostych kroków.

**Krok 1.** Określenie parametrów charakteryzujących zastosowane rurociągi preizolowane:

- typ szeregu rurociągów,
- średnice rur przewodowych,
- średnice osłon,
- grubości ścianek osłon,
- współczynnik przewodzenia ciepła izolacji PUR,
- długość rozpatrywanego odcinka sieci cieplnej.

**Krok 2.** Określenie warunków klimatycznych w przypadku obliczeń start ciepła w okresie sezonu grzewczego:

- średnia temperatura powietrza zewnętrznego.

**Krok 3.** Określenie temperatury nośnika ciepła w sezonie grzewczym i w okresie poza sezonem grzewczym

- temperatura nośnika ciepła (zasilanie i powrót) w sezonie grzewczym według wykresu regulacyjnego przy średniej temperaturze powietrza zewnętrznego,

lub

- temperatura nośnika ciepła (zasilanie i powrót) w sezonie grzewczym według pomiarów telemetrycznych,
- temperatura nośnika ciepła w okresie poza sezonem grzewczym.

**Krok 4.** Określenie wielkości charakteryzujących ułożenie rurociągów w wykopie:

- przykrycie gruntem,
- odległość między osłonami rur w przypadku rur preizolowanych pojedynczych.

**Krok 5.** Założenie właściwości gruntu otaczającego rurociągi:

- stan gruntu,
- współczynnik przewodzenia ciepła,
- temperatura nienaruszonego gruntu na poziomie ułożenia osi rurociągów.

**Krok 6.** Wyznaczenie wielkości pomocniczych charakteryzujących ułożenie rurociągów w wykopie:

- zagłębienie osi rurociągów,
- skorygowane zagłębienie osi rurociągów,
- odległość między osiami rur przewodowych,
- średnice zewnętrzne izolacji rurociągów.

**Krok 7.** Obliczenie wartości pomocniczych uwzględniających współczynniki przewodzenia ciepła izolacji i gruntu:

- bezwymiarowy współczynnik oporu ciepła – w przypadku rurociągów preizolowanych pojedynczych,
- współczynnik relacji między współczynnikami przewodzenia ciepła – w przypadku rurociągów preizolowanych podwójnych.

**Krok 8.** Obliczenie oporu cieplnego (w przypadku rurociągów pojedynczych) lub współczynnika strat ciepła (w przypadku rurociągów podwójnych) w modelu symetrycznym:

- wartości wspólne dla wszystkich rozpatrywanych okresów eksploatacyjnych.

**Krok 9.** Obliczenie oporu cieplnego (w przypadku rurociągów pojedynczych) lub współczynnika strat ciepła (w przypadku rurociągów podwójnych) w modelu antysymetrycznym:

- wartości wspólne dla wszystkich rozpatrywanych okresów eksploatacyjnych.

**Krok 10.** Wyznaczenie temperatury w modelu symetrycznym w sezonie grzewczym i poza sezonem.

**Krok 11.** Wyznaczenie temperatury w modelu antysymetrycznym w sezonie grzewczym i poza sezonem.

**Krok 12.** Obliczenie składowych jednostkowych strat ciepła w modelu symetrycznym w sezonie grzewczym i poza sezonem.

**Krok 13.** Obliczenie składowych jednostkowych strat ciepła w modelu antysymetrycznym w sezonie grzewczym i poza sezonem.

**Krok 14.** Obliczenie jednostkowych strat ciepła w rurociągu zasilającym i w rurociągu powrotnym w sezonie grzewczym i poza sezonem.

**Krok 15.** Obliczenie sumarycznych jednostkowych strat ciepła pary rur w sezonie grzewczym i poza sezonem.

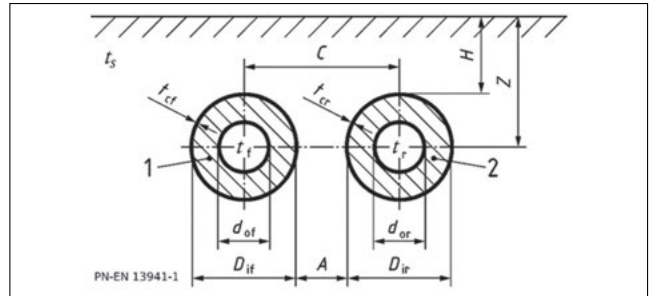
**Krok 16.** Obliczenie strat ciepła<sup>1</sup> na eksploatowanym odcinku s.c. w ciągu roku.

**PODPOWIEDŹ:**

- w przypadku obliczania maksymalnych jednostkowych strat ciepła należy posługiwać się obliczeniową wartością temperatury na zasilaniu i powrocie,
- z punktu widzenia przejrzystości obliczeń wskazane jest, aby obliczenia jednostkowych strat ciepła dla sezonu grzewczego i okresu poza sezonem grzewczym w częściach od kroku 10 do kroku 15 wykonywać oddzielnie.

## Straty ciepła w systemie preizolowanych rurociągów pojedynczych

Na rysunku 3 przedstawione zostały podstawowe informacje związane z ułożeniem rurociągów sieci cieplnej wykonanej z elementów systemu zespolonych preizolowanych rur pojedynczych.



**Rys. 3**

Ułożenie rurociągów w wykopie – system preizolowanych rur pojedynczych: 1 – rurociąg zasilający, 2 – rurociąg powrotny,  $D_{if}$ ,  $D_{ir}$  – średnice zewnętrzne izolacji,  $t_{cf}$ ,  $t_{cr}$  – grubości ścianek osłon,  $d_{of}$ ,  $d_{or}$  – średnice zewnętrzne rur przewodowych,  $A$  – odległość między osłonami,  $C$  – odległość między osiami rur,  $H$  – przykrycie rurociągu,  $Z$  – zagłębienie osi rur,  $t_s$  – temperatura gruntu,  $t_f$  – temperatura nośnika ciepła – zasilanie,  $t_r$  – temperatura nośnika ciepła – powrót

**Krok 1. Parametry charakteryzujące zastosowane rurociągi preizolowane**

W tym kroku należy określić:

$d_{of}$ ,  $d_{or}$  – średnice zewnętrzne  $d_o$  rur przewodowych zasilania i powrotu, [m]

$D_{cf}$ ,  $D_{cr}$  – średnice zewnętrzne  $D_{C_{oslon}}$  rurociągów zasilającego i powrotnego, [m]

$t_{cf}$ ,  $t_{cr}$  – grubości ścianek  $t_c$  osłon rurociągów zasilającego i powrotnego, [m]

$\lambda_i$  – przyjęty do obliczeń współczynnik przewodzenia ciepła izolacji w temperaturze 50°C, [W/mK]

$L$  – długość rozpatrywanego odcinka sieci cieplnej, [m]

**Krok 2. Warunki klimatyczne w czasie trwania sezonu grzewczego**

Na podstawie [2] istnieje możliwość określenia średniej temperatury powietrza zewnętrznego występującej w okresie sezonu grzewczego.

**Krok 3. Temperatura nośnika ciepła w sezonie grzewczym i w okresie poza sezonem grzewczym**

Niezbędne do prowadzenia dalszych obliczeń strat ciepła jest określenie temperatury nośnika ciepła  $t$ :

- w sezonie grzewczym w rurociągu zasilającym i powrotnym  $t_{fG}$ ,  $t_{rG}$  – według wykresu regulacyjnego przy średniej temperaturze powietrza zewnętrznego lub na podstawie odczytów telemetrycznych, [°C]

- poza sezonem grzewczym w rurociągu zasilającym i powrotnym:  $t_{fL}$ ,  $t_{rL}$  – zwykle stałej określonej przez gestora sieci lub na podstawie odczytów telemetrycznych, [°C]

**Krok 4. Wielkości charakteryzujące ułożenie rurociągów w wykopie**

Z założeń projektowych analizowanego odcinka sieci cieplnej (dla inwestycji projektowanych) lub z inwentaryzacji powykonawczej (dla rurociągów istniejących) należy określić:

<sup>1</sup> straty ciepła – ilość traconego ciepła w czasie, w którym wystąpiły dane parametry wody

$H_f, H_r$  – przykrycie gruntem do wierzchu osłon rurociągów, zasilania i powrotu, [m]

A – minimalną odległość między osłonami rur (przyjmowaną z tabeli 1 dla rurociągu preizolowanego o większej średnicy osłony), [m]

**Tabela 1 Odległości rurociągów wg PN-EN 13941-1**

Średnica osłony $D_{cr}$ , [mm]	Odległość między osłonami, A, [m]
$D_c \leq 225$	0,15
$225 < D_c \leq 560$	0,25
$D_c > 560$	0,30

### Krok 5. Właściwości gruntu otaczającego rurociągi

Dla potrzeb prowadzonych obliczeń istotne są:

$\lambda_s$  – współczynnik przewodzenia ciepła gruntu, którego wartość przyjmowana jest na podstawie stanu gruntu (tabela 2), [W/mK]

$t_{sG}, t_{sL}$  – temperatura nienaruszonego gruntu  $t_s$  na poziomie osi rurociągów [3], odpowiednio w trakcie sezonu grzewczego (G) i w okresie poza sezonem grzewczym (L), [°C]

**Tabela 2 Współczynnik przewodzenia ciepła gruntu wg PN-EN 13941-1**

Stan gruntu w otoczeniu rurociągu	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda_s$ , [W/mK]
suchy	1,0
średnio wilgotny	1,6
wilgotny	2,0

Dla potrzeb większości obliczeń wystarczającą dokładność osiąga się przyjmując dla całego okresu rocznej eksploatacji temperaturę równą  $t_s = t_{sG} = t_{sL} = 8^\circ\text{C}$ .

### Krok 6. Wielkości pomocnicze charakteryzujące ułożenie rurociągów w wykopie

Dla potrzeb prowadzonych obliczeń wartości poszczególnych zmiennych należy wyznaczyć stosując przedstawione wzory:

$Z_f, Z_r$  – zagłębienie osi rurociągów zasilania i powrotu, [m]

$$Z_f = H_f + \frac{D_{cf}}{2} \quad (1a)$$

$$Z_r = H_r + \frac{D_{cr}}{2} \quad (1b)$$

$Z_{Cf}, Z_{Cr}$  – skorygowane zagłębienie osi poszczególnych rurociągów – liczone z uwzględnieniem przejściowej zdolności izolacyjnej powierzchni gruntu  $R_0 = 0,0685 \text{ m}^2\text{K/W}$  i współczynnika przewodzenia ciepła gruntu  $\lambda_s$  W/mK, [m]

$$Z_{Cf} = Z_f + 0,0685 \cdot \lambda_s \quad (2a)$$

$$Z_{Cr} = Z_r + 0,0685 \cdot \lambda_s \quad (2b)$$

C – odległość między osiami rur przewodowych, [m]

$$C = A + \frac{D_{cf} + D_{cr}}{2} \quad (3)$$

$D_{if}, D_{ir}$  – średnice zewnętrzne  $D_i$  izolacji rurociągów zasilania i powrotu, [m]

$$D_{if} = D_{Cf} - 2 \cdot t_{Cf} \quad (4a)$$

$$D_{ir} = D_{Cr} - 2 \cdot t_{Cr} \quad (4b)$$

### Krok 7. Wartości pomocnicze uwzględniające przyjęte współczynniki przewodzenia ciepła

$\beta_f, \beta_r$  – bezwymiarowy współczynnik oporu ciepła obliczony dla rurociągów zasilania i powrotu obliczany jako:

$$\beta_f = \frac{\lambda_s}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{D_{if}}{d_{of}} \quad (5a)$$

$$\beta_r = \frac{\lambda_s}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{D_{ir}}{d_{or}} \quad (5b)$$

### Krok 8. Opór cieplny w modelu symetrycznym

Opór cieplny rur w modelu symetrycznym wyznacza się osobno dla rurociągu zasilania i osobno dla rurociągu powrotu na podstawie wzorów:

$$R_{sf} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \left( \ln \left( \frac{4 \cdot Z_{cf}}{D_{if}} \right) + \beta_f + \ln \left( \sqrt{1 + \left( \frac{2 \cdot Z_{cf}}{C} \right)^2} \right) \right) \quad (6a)$$

$$R_{sr} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \left( \ln \left( \frac{4 \cdot Z_{cr}}{D_{ir}} \right) + \beta_r + \ln \left( \sqrt{1 + \left( \frac{2 \cdot Z_{cr}}{C} \right)^2} \right) \right) \quad (6b)$$

### Krok 9. Opór cieplny w modelu antysymetrycznym

Opór cieplny rur w modelu antysymetrycznym wyznacza się osobno dla rurociągu zasilania i osobno dla rurociągu powrotu na podstawie wzorów:

$$R_{af} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \left( \ln \left( \frac{4 \cdot Z_{cf}}{D_{if}} \right) + \beta_f - \ln \left( \sqrt{1 + \left( \frac{2 \cdot Z_{cf}}{C} \right)^2} \right) \right) \quad (7a)$$

$$R_{or} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \left( \ln \left( \frac{4 \cdot Z_{cr}}{D_{ir}} \right) + \beta_r - \ln \left( \sqrt{1 + \left( \frac{2 \cdot Z_{cr}}{C} \right)^2} \right) \right) \quad (7b)$$

### Krok 10. Temperatura obliczeniowa w modelu symetrycznym

$T_{sG}, T_{sL}$  – temperatura obliczeniowa  $T_s$  w modelu symetrycznym odpowiednio dla sezonu grzewczego (G) i okresu poza sezonem grzewczym (L), [°C] wynosi:

$$T_{sG} = \frac{t_{fG} + t_{rG}}{2} \quad (8a)$$

$$T_{sL} = \frac{t_{fL} + t_{rL}}{2} \quad (8b)$$

### Krok 11. Temperatura obliczeniowa w modelu antysymetrycznym

$T_{aG}, T_{aL}$  – temperatura obliczeniowa  $T_a$  w modelu antysymetrycznym odpowiednio dla sezonu grzewczego (G) i okresu poza sezonem grzewczym (L), [°C] wynosi:

$$T_{aG} = \frac{t_{fG} - t_{rG}}{2} \quad (9a)$$

$$T_{aL} = \frac{t_{fL} - t_{rL}}{2} \quad (9b)$$

### Krok 12. Składowe jednostkowych strat ciepła w modelu symetrycznym

$q_{sfG}, q_{srG}$  – składowe jednostkowych strat ciepła  $q_s$  w modelu symetrycznym odpowiednio dla rurociągów zasilania i powrotu w czasie trwania sezonu grzewczego, [W/m]

$q_{sfl}, q_{srl}$  – składowe jednostkowych strat ciepła  $q_s$  w modelu symetrycznym odpowiednio dla rurociągów zasilania i powrotu w okresie poza sezonem grzewczym, [W/m]

Składowe te dla okresu grzewczego liczone są według wzorów:

$$q_{sfG} = \frac{T_{sG} - t_s}{R_{sf}} \quad (10a)$$

$$q_{srG} = \frac{T_{sG} - t_s}{R_{sr}} \quad (10b)$$

natomiast dla okresu poza sezonem grzewczym:

$$q_{sfl} = \frac{T_{sL} - t_s}{R_{sf}} \quad (10c)$$

$$q_{srl} = \frac{T_{sL} - t_s}{R_{sr}} \quad (10d)$$

### Krok 13. Składowe jednostkowych strat ciepła w modelu antysymetrycznym

$q_{afG}$ ,  $q_{arG}$  – składowe jednostkowych strat ciepła  $q_a$  w modelu antysymetrycznym odpowiednio dla rurociągów zasilania i powrotu w czasie trwania sezonu grzewczego, [W/m]

$q_{aft}$ ,  $q_{art}$  – składowe jednostkowych strat ciepła  $q_a$  w modelu antysymetrycznym odpowiednio dla rurociągów zasilania i powrotu w okresie poza sezonem grzewczym, [W/m]

Składowe jednostkowych strat ciepła w czasie sezonu grzewczego liczone są według wzorów:

$$q_{afG} = \frac{T_{aG}}{R_{af}} \quad (11a)$$

$$q_{arG} = \frac{T_{aG}}{R_{ar}} \quad (11b)$$

natomiast w okresie poza sezonem grzewczym:

$$q_{aft} = \frac{T_{aL}}{R_{af}} \quad (11c)$$

$$q_{art} = \frac{T_{aL}}{R_{ar}} \quad (11d)$$

### Krok 14. Jednostkowe straty ciepła w rurociągu zasilającym i w rurociągu powrotnym

Bazując na obliczonych składowych jednostkowych strat ciepła w poszczególnych modelach symetrycznym i antysymetrycznym należy obliczyć jednostkowe straty ciepła w poszczególnych rurociągach:

$q_{fG}$ ,  $q_{fL}$  – jednostkowe straty ciepła  $q_f$  w rurociągu zasilającym w czasie trwania sezonu grzewczego i w okresie poza sezonem grzewczym, [W/m]

$q_{rG}$ ,  $q_{rL}$  – jednostkowe straty ciepła  $q_r$  w rurociągu powrotnym w czasie trwania sezonu grzewczego i w okresie poza sezonem grzewczym, [W/m]

Jednostkowe straty ciepła w rurociągu zasilającym wynoszą:

– w sezonie grzewczym:

$$q_{fG} = q_{sfG} + q_{afG} \quad (12a)$$

– w okresie poza sezonem grzewczym:

$$q_{fL} = q_{sfl} + q_{aft} \quad (12b)$$

Jednostkowe straty ciepła w rurociągu powrotnym wynoszą:

– w okresie grzewczym:

$$q_{rG} = q_{srG} + q_{arG} \quad (13a)$$

– poza sezonem grzewczym:

$$q_{rL} = q_{srl} + q_{art} \quad (13b)$$

### Krok 15. Sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur w sezonie grzewczym i poza sezonem

$q_G$  – sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur, sezon grzewczy, [W/m]

$q_L$  – sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur, okres poza sezonem grzewczym, [W/m]

Sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur w sezonie grzewczym i poza sezonem wynoszą:

$$q_G = q_{fG} + q_{rG} \quad (14a)$$

$$q_L = q_{fL} + q_{rL} \quad (14b)$$

### Obliczenia dla rurociągów o jednakowych grubościach izolacji

Najczęściej występującą sytuacją jest stosowanie pojedynczych rur preizolowanych ułożonych na wspólnej podsypce reprezentujących na zasilaniu i powrocie ten sam typoszereg (takie same średnice nominalne rur przewodowych oraz takie same średnice osłony).

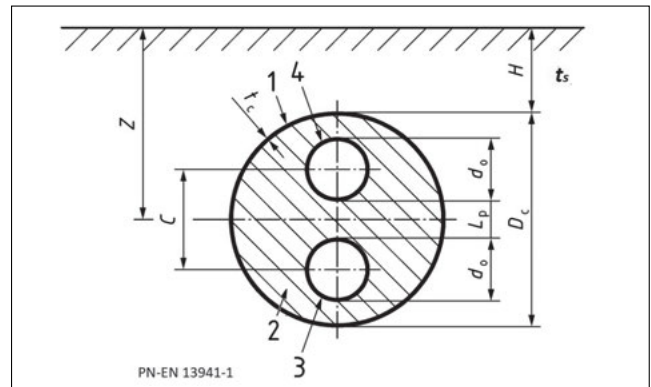
W zakresie obliczeń strat ciepła wiąże się to z szeregiem uproszczeń i przekształceń wzorów podanych w tabeli 3.

Tabela 3 Tabela wzorów zamiennych

wzory (1a), (1b)	zastępuje wzór $Z = H + \frac{D_c}{2}$	(15)
wzory (2a), (2b)	zastępuje wzór $Z_c = Z + 0,0685 \cdot \lambda_s$	(16)
wzór (3)	zastępuje wzór $C = A + \frac{D_c}{2}$	(17)
wzory (4a), (4b)	zastępuje wzór $D_i = D_c - 2 \cdot t_c$	(18)
wzory (5a), (5b)	zastępuje wzór $\beta = \frac{\lambda_s}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{D_i}{d_o}$	(19)
wzory (6a), (6b)	zastępuje wzór $R_s = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \left( \ln \left( \frac{4 \cdot Z_c}{D_i} \right) + \beta + \ln \left( \sqrt{1 + \left( \frac{2 \cdot Z_c}{C} \right)^2} \right) \right)$	(20)
wzory (7a), (7b)	zastępuje wzór $R_o = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s} \cdot \left( \ln \left( \frac{4 \cdot Z_c}{D_i} \right) + \beta - \ln \left( \sqrt{1 + \left( \frac{2 \cdot Z_c}{C} \right)^2} \right) \right)$	(21)

### Straty ciepła w systemie rur preizolowanych podwójnych

Na rysunku 4 przedstawione zostały podstawowe informacje związane z ułożeniem rurociągów sieci ciepłej wykonanej z elementów systemu preizolowanych rur pojedynczych.



Rys. 4

Ułożenie rurociągu w wykopie – system preizolowanych rur podwójnych: 1 – osłona, 2 – pianka PUR, 3 – rura zasilająca, 4 – rura powrotna,  $d_o$  – średnica zewnętrzna rury przewodowej,  $L_p$  – odległość między rurami przewodowymi,  $C$  – odległość między osiami rur przewodowych,  $D_c$  – średnica zewnętrzna osłony,  $t_c$  – grubość ścianki osłony,  $t_s$  – temperatura gruntu,  $H$  – przykrycie rurociągu,  $Z$  – zagłębienie osi zespołu dwururowego

### Krok 1. Parametry charakteryzujące zastosowany rurociąg preizolowany

Analogicznie, jak w przypadku rur preizolowanych pojedynczych, po dokonaniu wyboru typoszeregu podwójnego rurociągu preizolowanego należy określić:

$d_o$  – średnice zewnętrzne rur przewodowych, [m]

$D_c$  – średnicę zewnętrzną  $D_c$  osłony, [m]

$t_c$  – grubość ścianki osłony, [m]

$\lambda_i$  – przyjęty do obliczeń współczynnik przewodzenia ciepła izolacji w temperaturze 50°C, [W/mK]

$L$  – długości analizowanego odcinka sieci ciepłej, [m]

oraz dodatkowo

$L_p$  – odległość między rurami przewodowymi (według tabeli 4), [m]

Tabela 4 Odległości między rurami przewodowymi w zespolonym systemie dwururowym wg PN-EN 15698-1

Średnica rury przewodowej DN	Odległość między rurami $L_p$ [m]
15, 20, 25, 32, 40	0,019
50, 65	0,020
80, 100	0,025
125	0,030
150	0,040
200, 250	0,045

### Krok 2. Warunki klimatyczne w czasie trwania sezonu grzewczego

Średnią temperaturę powietrza zewnętrznego w czasie trwania sezonu grzewczego można określić na podstawie [2].

### Krok 3. Temperatura nośnika ciepła w sezonie grzewczym i w okresie poza sezonem grzewczym

Podobnie jak w przypadku rur preizolowanych pojedynczych dla analizowanych okresów należy określić:

temperaturę nośnika ciepła  $t$ :

- w sezonie grzewczym w rurze zasilającej i powrotnej:  $t_{fG}$ ,  $t_{rG}$  – według wykresu regulacyjnego przy średniej temperaturze powietrza zewnętrznego lub na podstawie odczytów telemetrycznych, [°C]
- w okresie poza sezonem grzewczym w rurze zasilającej i powrotnej:  $t_{fL}$ ,  $t_{rL}$  – zwykle stała określona przez gestora sieci lub na podstawie odczytów telemetrycznych, [°C]

### Krok 4. Wielkości charakteryzujące ułożenie rurociągu w wykopie

W przypadku systemu preizolowanych rur podwójnych wielkością charakteryzującą ułożenie rurociągów jest:

$H_f$  – przykrycie gruntem do wierzchu osłony rurociągu, [m]

### Krok 5. Parametry gruntu otaczającego rurociągi

$\lambda_s$  – współczynnik przewodzenia ciepła gruntu, którego wartość przyjmowana jest na podstawie stanu gruntu (tabela 2), [W/mK]  
 $t_{sG}$ ,  $t_{sL}$  – temperatura nienaruszonego gruntu  $t_s$  na poziomie osi rurociągu [3], odpowiednio w trakcie sezonu grzewczego i w okresie poza sezonem grzewczym, [°C]

Dla potrzeb większości obliczeń wystarczającą dokładność osiąga się przyjmując dla całego okresu rocznej eksploatacji temperaturę równą  $t_s = t_{sG} = t_{sL} = 8^\circ\text{C}$ .

### Krok 6. Wielkości pomocnicze charakteryzujące ułożenie rurociągu w wykopie

Wyszczególnione wartości należy wyznaczyć stosując przedstawione wzory:

$Z$  – zagłębienie osi zespołu rurowego, [m]

$$Z = H + \frac{D_c}{2} \quad (22)$$

$Z_C$  – skorygowane zagłębienie osi zespołu rurowego – liczone z uwzględnieniem przejściowej zdolności izolacyjnej powierzchni gruntu  $R_O = 0,0685 \text{ m}^2\text{K/W}$  i współczynnika przewodzenia ciepła gruntu  $\lambda_s$  W/mK, [m]

$$Z_C = Z + 0,0685 \cdot \lambda_s \quad (23)$$

$C$  – odległość między osiami rur przewodowych, [m]

$$C = L_p + d_o \quad (24)$$

$D_i$  – średnica zewnętrzna izolacji, [m]

$$D_i = D_C - 2 \cdot t_c \quad (25)$$

### Krok 7. Wartości pomocnicze uwzględniające przyjęte współczynniki przewodzenia ciepła

W tym przypadku są to:

$\sigma$  – współczynnik relacji między współczynnikami przewodzenia ciepła w systemie rur preizolowanych podwójnych

$$\sigma = \frac{\lambda_i - \lambda_s}{\lambda_i + \lambda_s} \quad (26)$$

oraz

$\gamma$  – parametr bezwymiarowy

$$\gamma = \frac{2 \cdot (1 - \sigma^2)}{1 - \sigma \cdot \left(\frac{D_i}{4 \cdot Z_c}\right)^2} \quad (27)$$

### Krok 8. Współczynnik strat ciepła w modelu symetrycznym

$h_s$  – współczynnik strat ciepła zespołu dwururowego w modelu symetrycznym

$$h_s^{-1} = \frac{2 \cdot \lambda_i}{\lambda_s} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot Z_C}{D_i}\right) + \ln\left(\frac{D_i^2}{2 \cdot C \cdot d_o}\right) + \sigma \cdot \ln\left(\frac{D_i^4}{D_i^4 - C^4}\right) - \frac{\left(\frac{d_o}{2 \cdot C} - \frac{2 \cdot \sigma \cdot d_o \cdot C^3}{D_i^4 - C^4}\right)^2}{1 + \left(\frac{d_o}{2 \cdot C}\right)^2 + \sigma \cdot \left(\frac{2 \cdot d_o \cdot D_i^2 \cdot C}{D_i^4 - C^4}\right)^2} \quad (28)$$

### Krok 9. Współczynnik strat ciepła w modelu antysymetrycznym

$h_a$  – współczynnik strat ciepła zespołu dwururowego w modelu antysymetrycznym

$$h_a^{-1} = \ln\left(\frac{2 \cdot C}{d_o}\right) + \sigma \cdot \ln\left(\frac{D_i^2 + C^2}{D_i^2 - C^2}\right) - \frac{\left(\frac{d_o}{2 \cdot C} - \gamma \cdot \frac{C \cdot d_o}{16 \cdot Z_C^2} + \frac{2 \cdot \sigma \cdot d_o \cdot D_i^2 \cdot C}{D_i^4 - C^4}\right)^2}{1 + \left(\frac{d_o}{2 \cdot C}\right)^2 - \gamma \cdot \frac{d_o}{4 \cdot Z_C} + 2 \cdot \sigma \cdot d_o^2 \cdot D_i^2 \cdot \frac{D_i^4 - C^4}{(D_i^4 - C^4)^2} - \gamma \cdot \left(\frac{C}{4 \cdot Z_C}\right)^2} \quad (29)$$

### Krok 10. Temperatura obliczeniowa w modelu symetrycznym

$T_{sG}$  – temperatura obliczeniowa  $T_S$  w modelu symetrycznym, sezon grzewczy, [°C]

$T_{sL}$  – temperatura obliczeniowa  $T_S$  w modelu symetrycznym, okres poza sezonem grzewczym, [°C]

wynosi:

$$T_{sG} = \frac{t_{fG} + t_{rG}}{2} \quad (8a)$$

$$T_{sL} = \frac{t_{fL} + t_{rL}}{2} \quad (8b)$$

### Krok 11. Temperatura obliczeniowa w modelu antysymetrycznym

$T_{aG}$  – temperatura obliczeniowa  $T_a$  w modelu antysymetrycznym, sezon grzewczy, [°C]

$T_{aL}$  – temperatura obliczeniowa  $T_a$  w modelu antysymetrycznym, okres poza sezonem grzewczym, [°C]

wynosi:

$$T_{\alpha G} = \frac{t_{rG} - t_{rL}}{2} \quad (9a)$$

$$T_{\alpha L} = \frac{t_{rL} - t_{rI}}{2} \quad (9b)$$

### Krok 12. Składowe jednostkowych strat ciepła w modelu symetrycznym

$q_{sG}$  – składowa jednostkowych strat ciepła  $q_s$  w modelu symetrycznym, sezon grzewczy, [W/m]

$q_{sL}$  – składowa jednostkowych strat ciepła  $q_s$  w modelu antysymetrycznym, okres poza sezonem grzewczym, [W/m]

wynoszą:

$$q_{sG} = (T_{sG} - t_s) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_i \cdot h_s \quad (30a)$$

$$q_{sL} = (T_{sL} - t_s) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_i \cdot h_s \quad (30b)$$

### Krok 13. Składowe jednostkowych strat ciepła w modelu antysymetrycznym

$q_{\alpha G}$  – składowa jednostkowych strat ciepła  $q_\alpha$  w modelu antysymetrycznym, sezon grzewczy [W/m]

$q_{\alpha L}$  – składowa jednostkowych strat ciepła  $q_\alpha$  w modelu antysymetrycznym okres poza sezonem grzewczym, [W/m]

wynoszą:

$$q_{\alpha G} = T_{\alpha G} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_i \cdot h_\alpha \quad (31a)$$

$$q_{\alpha L} = T_{\alpha L} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_i \cdot h_\alpha \quad (31b)$$

### Krok 14. Jednostkowe straty ciepła w rurze zasilającej i rurze powrotnej

Bazując na obliczonych składowych jednostkowych strat ciepła w modelach symetrycznym i antysymetrycznym należy obliczyć straty ciepła w poszczególnych rurach:

$q_{fG}$  – jednostkowe straty ciepła  $q_f$  w rurze zasilającej, sezon grzewczy, [W/m]

$q_{fL}$  – jednostkowe straty ciepła  $q_f$  w rurze zasilającej, okres poza sezonem grzewczym, [W/m]

$q_{rG}$  – jednostkowe straty ciepła  $q_r$  w rurociągu powrotnym, sezon grzewczy, [W/m]

$q_{rL}$  – jednostkowe straty ciepła  $q_r$  w rurociągu powrotnym, okres poza sezonem grzewczym, [W/m]

Straty ciepła w rurze zasilającej wyniosą:

- w sezonie grzewczym

$$q_{fG} = q_{sG} + q_{\alpha G} \quad (32a)$$

- poza sezonem grzewczym

$$q_{fL} = q_{sL} + q_{\alpha L} \quad (32b)$$

Jednostkowe straty ciepła w rurze powrotnej wyniosą:

- w sezonie grzewczym

$$q_{rG} = q_{sG} - q_{\alpha G} \quad (33a)$$

- poza sezonem grzewczym

$$q_{rL} = q_{sL} - q_{\alpha L} \quad (33b)$$

### Krok 15. Sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur w sezonie grzewczym i poza sezonem

$q_G$  – sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur, sezon grzewczy, [W/m]

$q_L$  – sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur, okres poza sezonem grzewczym, [W/m]

obliczane są z wzorów:

$$q_G = q_{fG} + q_{rG} \quad (14a)$$

$$q_L = q_{fL} + q_{rL} \quad (14b)$$

Podstawiając wzory (32a),(32b) i (33a),(33b) do wzorów (14a) i (14b) otrzymano:

$$q_G = 2 \cdot q_{sG} \quad (34a)$$

$$q_L = 2 \cdot q_{sL} \quad (34a)$$

### Straty ciepła w ciągu jednego roku eksploatacji s.c.

Straty ciepła w ciągu jednego roku eksploatacji w systemie rury preizolowanych pojedynczych i podwójnych liczy się tak samo.

Straty ciepła w ciągu jednego roku eksploatacji  $Q_\alpha$  [GJ] należy obliczyć z wzoru:

$$Q_\alpha = (q_G \cdot S + q_L \cdot (365 - S)) \cdot L \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-9} \quad (35)$$

gdzie:

$L$  – długość analizowanego odcinka sieci ciepłej, [m]

$S$  – długość sezonu grzewczego, [dni]

$q_G$  – sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur w sezonie grzewczym, [W/m]

$q_L$  – sumaryczne jednostkowe straty ciepła pary rur w okresie poza sezonem grzewczym, [W/m]

### Założenia do obliczeń strat ciepła

(1) Zgodnie z PN-EN 253 stosowana do obliczeń jednostkowych strat ciepła wartość współczynnika przewodzenia ciepła izolacji  $\lambda_{50}$  powinna być zaokrąglona do 0,001 W/mK.

(2) Współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda_{50}$  nowej izolacji spienianej cyklopentanem przy średniej gęstości izolacji  $\rho \cong 60 \text{ kg/m}^3$  wynosi:

- $(0,026 \div 0,029) \text{ W/mK}$  (metoda tradycyjna, średnica komórek  $\varnothing = (0,25 \div 0,30) \text{ mm}$ ),

- $(0,021 \div 0,026) \text{ W/mK}$  (metoda CONTI, średnica komórek  $\varnothing = (0,10 \div 0,20) \text{ mm}$ ) [4].

(3) Opierając się na wynikach badań nowego współczynnika przewodzenia ciepła izolacji z tego samego systemu surowcowego z rur wyprodukowanych tą samą metodą oraz rachunku prawdopodobieństwa i przyjęciu najbardziej prawdopodobnej wartości wg rozkładu Gaussa, można uznać, że pojedynczy wynik badania współczynnika przewodzenia ciepła izolacji  $\lambda_{50}$  może nie być reprezentatywny dla wyrobów produkowanych seryjnie – rys. 5, 6 [4], [5].

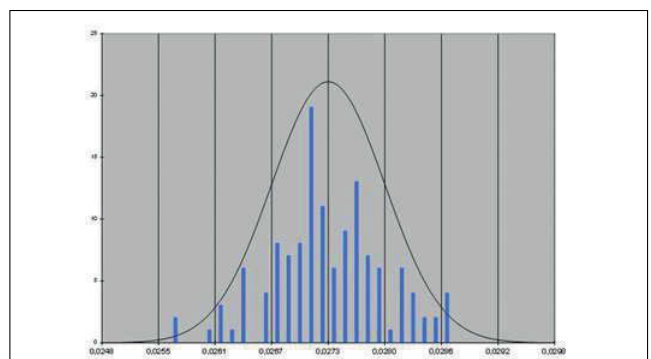
Oznaczenia na rysunkach 5 oraz 6:

$\lambda_{50}$  – współczynnik przewodzenia ciepła izolacji wyznaczony przy średniej temperaturze izolacji  $50^\circ\text{C}$ , [W/mK]

$\lambda_{50-sr}$  – średni współczynnik przewodzenia ciepła izolacji w temperaturze  $50^\circ\text{C}$ , [W/mK]

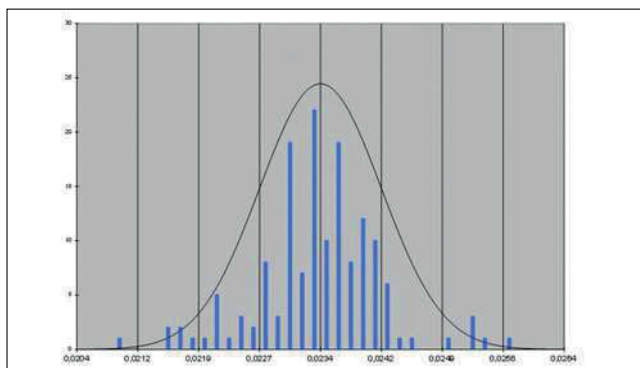
$\lambda_{50-D}$  – deklarowany współczynnik przewodzenia ciepła w temperaturze  $50^\circ\text{C}$ , [W/mK]

Oznacza to, że do obliczeń jednostkowych strat ciepła nowych izolacji zaleca się przyjmowanie wartości przewodności cieplnej zadeklarowanej przez producenta rur preizolowanych w KDWU, a nie minimalnej wartości otrzymanej z badań.



Rys. 5

Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji w nowych rurach preizolowanych wyprodukowanych metodą tradycyjną Rozkład normalny:  $\lambda_{50-sr} = 0,0273 \text{ W/mK}$ ,  $\lambda_{50} = (0,0256 \div 0,0286) \text{ W/mK}$ ,  $\lambda_{50-D} = 0,029 \text{ W/mK}$



Rys. 6

Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji w nowych rurach preizolowanych wyprodukowanych metodą CONTI Rozkład normalny:  $\lambda_{50, \text{sr}} = 0,0234 \text{ W/mK}$ ,  $\lambda_{50} = (0,0210 \pm 0,0257) \text{ W/mK}$ ,  $\lambda_{50-D} = 0,026 \text{ W/mK}$

(4) Do obliczeń jednostkowych strat ciepła można przyjmować różne wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji na zasilaniu i powrocie, korzystając z zależności określonej w PN-B-02421:1985

$$\lambda_{tm} = \lambda_{50} + 0,00012 \cdot (t_m - 50) \quad (36)$$

gdzie:

$\lambda_{tm}$  – współczynnik przewodzenia izolacji w średniej temperaturze  $t_m$ , [W/mK]

$\lambda_{50}$  – współczynnik przewodzenia ciepła izolacji w temperaturze 50°C, [W/mK]

$t_m$  – średnia temperatura izolacji,  $t_m = t + t_e/2$ , [°C]

$t$  – temperatura nośnika ciepła, [°C]

$t_e$  – temperatura na zewnętrznej powierzchni izolacji,  $t_e = t_o + 4$ , [°C]

$t_o$  – temperatura otoczenia, [°C]

Problemem może być w tym przypadku określenie temperatury na zewnętrznej powierzchni izolacji.

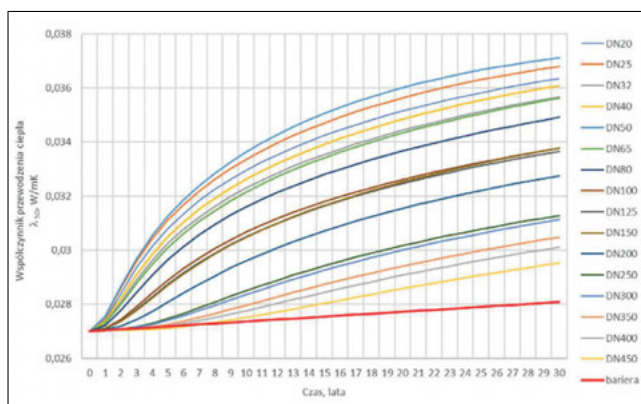
(5) Wg aktualnego stanu wiedzy minimalna grubość ścianki osłony PE-HD  $e_{\text{min}} = 7,2 \text{ mm}$ , stanowi skuteczną i trudną do pokonania barierę dla gazów, a zjawisko dyfuzji staje się w praktyce pomijalne [6].

(6) Wyniki badań prowadzonych przez duńskie, niemieckie i norweskie laboratoria były podstawą opracowania przez Ireneusza Iwko z firmy LOGSTOR teoretycznego modelu zmiany w czasie współczynnika przewodzenia ciepła izolacji PUR w rurach preizolowanych DN 20 ÷ DN 450 [6].

Model opracowano przy założonym współczynniku przewodzenia ciepła nowej izolacji  $\lambda_{50} = 0,027 \text{ W/mK}$  oraz, zależnej od DN rury przewodowej, grubości izolacji termicznej określonej w PN-EN 253 jako seria I.

W tabeli 5 przedstawiono wartości współczynnika przewodzenia izolacji ciepła w funkcji DN w kolejnych latach eksploatacji.

Na wykresie 7 przedstawiono zmianę wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji w czasie w funkcji DN rur preizolowanych.



Rys. 7

Zmiana w czasie współczynnika przewodzenia ciepła izolacji rur preizolowanych DN 20 ÷ DN 450 w osłonie bez bariery dyfuzyjnej i w osłonie z warstwą antydyfuzyjną (linia czerwona – bariera)

W tabeli 6 przedstawiono iloraz  $\lambda_{50} \text{ po eksploatacji} / \lambda_{50} \text{ nowej izolacji}$  w funkcji DN w kolejnych latach eksploatacji.

W zależności od DN przewodności cieplna izolacji po 30 latach eksploatacji jest większa niż przed starzeniem o 9 ÷ 36 % (tabela 6).

Zastosowanie bariery dyfuzyjnej powoduje wzrost współczynnika przewodzenia ciepła izolacji w ciągu 30 lat o ok. 4% (tabela 6, kolumna 17 – Bariera, ostatni wiersz).

(7) W przypadku rur preizolowanych DN 20/90 ÷ DN 450/630 dla zadanych warunków oraz konkretnego materiału osłony:

- współczynnik przewodzenia ciepła izolacji po starzeniu jest wyższy w przypadku rur preizolowanych z osłoną bez bariery dyfuzyjnej niż dla rur z osłoną z warstwą antydyfuzyjną (bez względu na grubość osłony),

- zastosowanie pogrubionej ścianki osłony nie zabezpiecza w takim samym stopniu izolacji przed dyfuzją gazów, jak zastosowanie osłony z barierą dyfuzyjną [6].

(8) Utrzymanie właściwości termoizolacyjnych pianki na niewiele zmienionym poziomie przez pełen okres eksploatacji zapewnia stosowanie warstwy antydyfuzyjnej, niezależnie od jej rodzaju i metody produkcji rur preizolowanych [6].

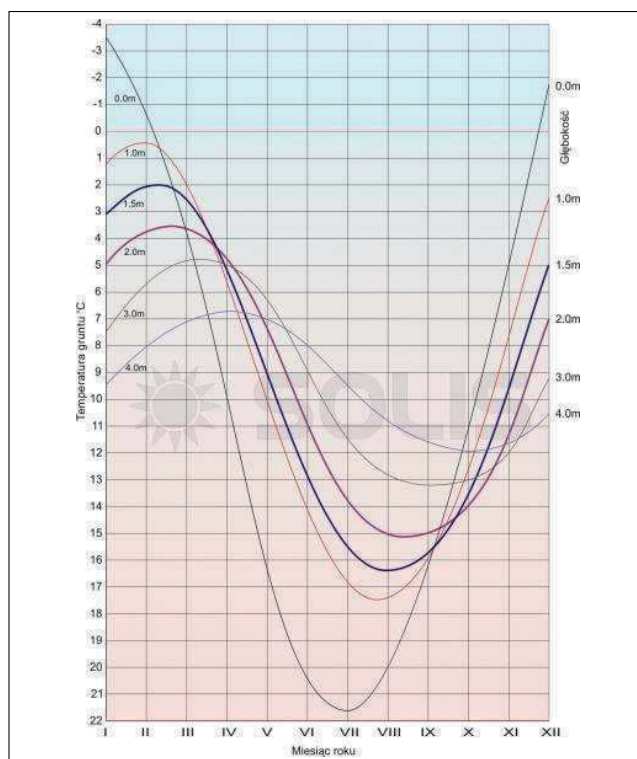
(9) Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji po sztucznym starzeniu wg warunków określonych w PN-EN 253 (temperatura 90°C przez 150 dni) rur preizolowanych DN 50/125 z osłoną bez bariery dyfuzyjnej jest wyższy, niż przed starzeniem od 2% do 18 % (dane na podstawie badań laboratoryjnych izolacji z różnych systemów surowcowych, prowadzonych w dwóch akredytowanych laboratoriach badawczych, próbki z rur preizolowanych różnych producentów) [5], [6], [7].

(10) Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji po naturalnym starzeniu rur preizolowanych DN 50/125 oraz DN 80/160 z osłoną bez bariery dyfuzyjnej różnych producentów jest wyższy, niż przed starzeniem o ok. 32 % [8] i wyższy, niż po sztucznym starzeniu.

(11) Różnica wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji po przyspieszonym starzeniu i po starzeniu w rzeczywistych warunkach pracy może oznaczać konieczność weryfikacji parametrów przyspieszonego starzenia określonych w PN-EN 253 [8].

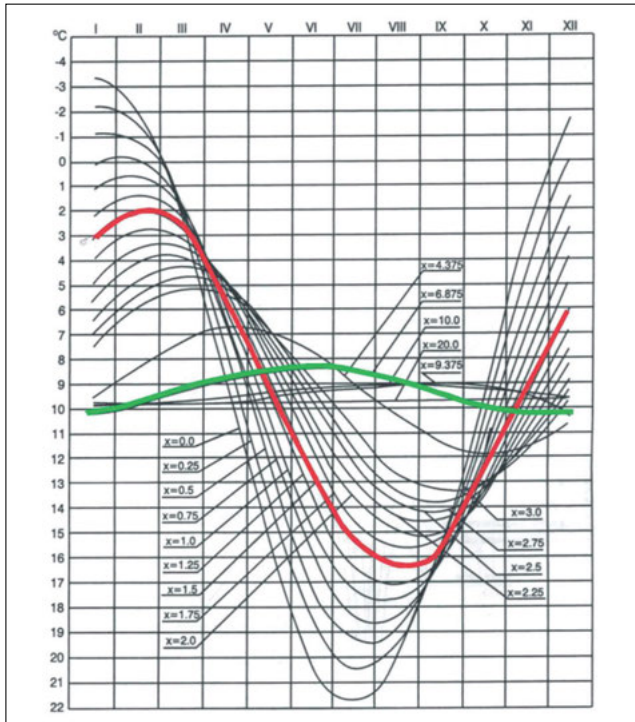
(12) Wzrost wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji z rury preizolowanej DN 50/125:

- po naturalnym starzeniu oraz wyznaczonego w modelu teoretycznym są do siebie zbliżone (~ 30%),



Rys.8

Przykładowy wykres temperatury gruntu w zależności od głębokości i pory roku [9]



Rys.9  
Przykładowy wykres temperatury gruntu na różnych głębokościach [10]

Tabela 5 Wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji po starzeniu wyznaczone wg teoretycznego modelu opracowanego na podstawie badań duńskich, niemieckich i norweskich laboratoriów przez Ireneusz Iwko z firmy LOGSTOR

LATA	Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji $\lambda_{50}$ , W/mK																
	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200	DN250	DN300	DN350	DN400	DN450	BARIERA
0	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270
1	0,0274	0,0275	0,0273	0,0274	0,0273	0,0273	0,0272	0,0271	0,0271	0,0271	0,0271	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270
2	0,0284	0,0286	0,0281	0,0282	0,0280	0,0280	0,0278	0,0274	0,0274	0,0274	0,0272	0,0271	0,0271	0,0270	0,0270	0,0270	0,0271
3	0,0294	0,0296	0,0289	0,0291	0,0289	0,0288	0,0284	0,0279	0,0278	0,0278	0,0274	0,0272	0,0271	0,0271	0,0271	0,0270	0,0271
4	0,0301	0,0304	0,0296	0,0299	0,0296	0,0295	0,0291	0,0284	0,0283	0,0282	0,0277	0,0273	0,0273	0,0272	0,0271	0,0271	0,0271
5	0,0308	0,0311	0,0302	0,0305	0,0302	0,0301	0,0296	0,0289	0,0287	0,0287	0,0281	0,0275	0,0274	0,0273	0,0272	0,0271	0,0272
6	0,0314	0,0317	0,0308	0,0310	0,0307	0,0306	0,0301	0,0293	0,0292	0,0291	0,0284	0,0277	0,0276	0,0274	0,0273	0,0272	0,0272
7	0,0318	0,0322	0,0312	0,0315	0,0312	0,0311	0,0306	0,0297	0,0295	0,0295	0,0287	0,0279	0,0278	0,0275	0,0274	0,0272	0,0273
8	0,0322	0,0326	0,0316	0,0319	0,0316	0,0315	0,0309	0,0301	0,0299	0,0299	0,0290	0,0281	0,0280	0,0277	0,0275	0,0273	0,0273
9	0,0326	0,0330	0,0320	0,0323	0,0319	0,0318	0,0313	0,0304	0,0302	0,0302	0,0293	0,0283	0,0282	0,0278	0,0276	0,0274	0,0273
10	0,0330	0,0334	0,0323	0,0326	0,0322	0,0322	0,0316	0,0307	0,0305	0,0305	0,0296	0,0285	0,0284	0,0280	0,0278	0,0275	0,0274
11	0,0333	0,0337	0,0326	0,0329	0,0325	0,0324	0,0319	0,0309	0,0308	0,0307	0,0299	0,0287	0,0285	0,0281	0,0279	0,0276	0,0274
12	0,0335	0,0340	0,0329	0,0332	0,0328	0,0327	0,0321	0,0312	0,0310	0,0310	0,0301	0,0289	0,0287	0,0283	0,0280	0,0277	0,0274
13	0,0338	0,0342	0,0331	0,0335	0,0331	0,0330	0,0324	0,0314	0,0312	0,0312	0,0303	0,0291	0,0289	0,0284	0,0282	0,0278	0,0275
14	0,0340	0,0345	0,0333	0,0337	0,0333	0,0332	0,0326	0,0316	0,0314	0,0315	0,0305	0,0293	0,0291	0,0286	0,0283	0,0279	0,0275
15	0,0342	0,0347	0,0335	0,0339	0,0335	0,0334	0,0328	0,0318	0,0316	0,0317	0,0307	0,0294	0,0293	0,0287	0,0284	0,0280	0,0275
16	0,0344	0,0349	0,0337	0,0341	0,0337	0,0336	0,0330	0,0320	0,0318	0,0318	0,0309	0,0296	0,0294	0,0289	0,0286	0,0281	0,0276
17	0,0346	0,0351	0,0339	0,0343	0,0339	0,0338	0,0332	0,0321	0,0320	0,0320	0,0311	0,0297	0,0296	0,0290	0,0287	0,0283	0,0276
18	0,0348	0,0353	0,0341	0,0345	0,0341	0,0340	0,0333	0,0323	0,0322	0,0322	0,0312	0,0299	0,0297	0,0292	0,0288	0,0284	0,0276
19	0,0350	0,0355	0,0343	0,0347	0,0343	0,0342	0,0335	0,0325	0,0323	0,0324	0,0314	0,0300	0,0299	0,0293	0,0290	0,0285	0,0277
20	0,0351	0,0356	0,0344	0,0348	0,0344	0,0343	0,0337	0,0326	0,0325	0,0325	0,0315	0,0302	0,0300	0,0294	0,0291	0,0286	0,0277
21	0,0353	0,0358	0,0346	0,0350	0,0346	0,0345	0,0338	0,0327	0,0326	0,0327	0,0317	0,0303	0,0301	0,0295	0,0292	0,0287	0,0278
22	0,0354	0,0359	0,0347	0,0351	0,0347	0,0346	0,0340	0,0329	0,0327	0,0328	0,0318	0,0304	0,0303	0,0297	0,0293	0,0288	0,0278
23	0,0356	0,0361	0,0349	0,0353	0,0349	0,0348	0,0341	0,0330	0,0329	0,0329	0,0320	0,0305	0,0304	0,0298	0,0294	0,0289	0,0278
24	0,0357	0,0362	0,0350	0,0354	0,0350	0,0349	0,0342	0,0331	0,0330	0,0331	0,0321	0,0307	0,0305	0,0299	0,0295	0,0290	0,0279
25	0,0358	0,0363	0,0351	0,0355	0,0351	0,0351	0,0344	0,0332	0,0331	0,0332	0,0322	0,0308	0,0306	0,0300	0,0296	0,0291	0,0279
26	0,0359	0,0364	0,0352	0,0357	0,0352	0,0352	0,0345	0,0334	0,0332	0,0333	0,0323	0,0309	0,0307	0,0301	0,0297	0,0292	0,0279
27	0,0361	0,0365	0,0354	0,0358	0,0354	0,0353	0,0346	0,0335	0,0333	0,0334	0,0324	0,0310	0,0308	0,0302	0,0298	0,0293	0,0280
28	0,0362	0,0366	0,0355	0,0359	0,0355	0,0354	0,0347	0,0336	0,0335	0,0336	0,0325	0,0311	0,0309	0,0303	0,0299	0,0293	0,0280
29	0,0363	0,0367	0,0356	0,0360	0,0356	0,0355	0,0348	0,0337	0,0336	0,0337	0,0327	0,0312	0,0310	0,0304	0,0300	0,0294	0,0280
30	0,0363	0,0368	0,0357	0,0361	0,0357	0,0356	0,0349	0,0338	0,0337	0,0338	0,0328	0,0313	0,0311	0,0305	0,0301	0,0295	0,0281

– po sztucznym starzeniu jest niższy (2 ÷ 18)%, niż po starzeniu naturalnym i wyznaczony w modelu teoretycznym.

Oznacza to, że do obliczeń strat ciepła w rurociągach po eksploatacji zalecanie jest przyjmowanie wartości współczynnika ciepła nowej izolacji zadeklarowanej przez producenta rur preizolowanych po-

mnożonej przez współczynniki (zależny od DN i czasu eksploatacji) podany w tabeli 6, zamiast wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji po sztucznym starzeniu (uzyskanej w wyniku badań laboratoryjnych).

PRZYKŁAD:

- rozpatrywany jest rurociąg preizolowany DN 100/200 (grubość izolacji seria 1),
- zadeklarowana w KDwu wartość współczynnika przewodzenia ciepła nowej izolacji  $\lambda_{50\text{ nowa}} = 0,028$  W/mK, wartość współczynnika przewodzenia ciepła po 30 letniej eksploatacji  $\lambda_{50\text{ po eksploatacji}} = 0,028 \cdot 1,2507 = 0,035$  W/mK, gdzie 1,2507 – współczynnik wyznaczony w modelu teoretycznym – tabela 6, kolumna 8, wiersz „30 lat”,

Do obliczeń jednostkowych strat ciepła:

- nowego rurociągu należy przyjąć zadeklarowaną w KDwu wartość współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda_{50\text{ nowa}} = 0,028$  W/mK,
- rurociągu po 30 letniej eksploatacji należy przyjąć wartość współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda_{50\text{ po eksploatacji}} = 0,035$  W/mK.

(13) Temperaturę gruntu na poziomie ułożenia rurociągów można przyjmować:

– bazując na badaniach dla potrzeb gruntowych wymienników ciepła i pomp ciepła (rys. 8 i 9) uśredniając jej wielkość dla rozpatrywanego okresu,

lub

– ujednolicając ją dla rozpatrywanych okresów przyjmując wartość 8°C.

Należy zwrócić uwagę, że przyjmując temperaturę gruntu na poziomie 8°C we wszystkich rozpatrywanych przypadkach błąd obliczeniowy dla okresu rocznego nie przekracza 5% (zanizanie w okresie sezonu grzewczego i zawyżanie w okresie poza sezonem grzewczym).

Tabela 6 Iloraz  $\lambda_{50}$  po eksploatacji/ $\lambda_{50}$  nowej izolacji w kolejnych latach eksploatacji wyznaczony wg teoretycznego modelu opracowanego na podstawie badań duńskich, niemieckich i norweskich laboratoriów przez Ireneusza Iwko z firmy LOGSTOR

Iloraz $\lambda_{50}$ po eksploatacji/ $\lambda_{50}$ nowej izolacji																	
LATA	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200	DN250	DN300	DN350	DN400	DN450	BARIERA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
1	1,0166	1,0194	1,0117	1,0137	1,0111	1,0104	1,0075	1,0038	1,0034	1,0036	1,0021	1,0012	1,0013	1,0011	1,0011	1,0011	1,0013
2	1,0521	1,0588	1,0400	1,0451	1,0385	1,0366	1,0283	1,0160	1,0139	1,0135	1,0071	1,0026	1,0024	1,0016	1,0014	1,0011	1,0026
3	1,0871	1,0961	1,0706	1,0777	1,0685	1,0657	1,0534	1,0336	1,0297	1,0288	1,0160	1,0059	1,0053	1,0032	1,0025	1,0017	1,0040
4	1,1164	1,1268	1,0974	1,1057	1,0951	1,0919	1,0771	1,0523	1,0471	1,0459	1,0274	1,0110	1,0096	1,0059	1,0044	1,0027	1,0053
5	1,1407	1,1522	1,1201	1,1294	1,1178	1,1144	1,0980	1,0699	1,0640	1,0627	1,0398	1,0173	1,0151	1,0094	1,0070	1,0043	1,0066
6	1,1612	1,1736	1,1396	1,1495	1,1372	1,1337	1,1162	1,0860	1,0797	1,0783	1,0523	1,0244	1,0214	1,0138	1,0104	1,0064	1,0080
7	1,1789	1,1920	1,1564	1,1669	1,1541	1,1505	1,1321	1,1004	1,0939	1,0927	1,0643	1,0321	1,0284	1,0188	1,0143	1,0089	1,0093
8	1,1944	1,2082	1,1712	1,1823	1,1690	1,1654	1,1462	1,1133	1,1068	1,1058	1,0757	1,0399	1,0356	1,0241	1,0186	1,0119	1,0106
9	1,2081	1,2225	1,1844	1,1959	1,1823	1,1787	1,1588	1,1250	1,1185	1,1177	1,0864	1,0477	1,0429	1,0298	1,0232	1,0151	1,0120
10	1,2204	1,2355	1,1962	1,2082	1,1943	1,1907	1,1702	1,1357	1,1292	1,1286	1,0964	1,0553	1,0501	1,0356	1,0281	1,0186	1,0133
11	1,2315	1,2472	1,2070	1,2194	1,2052	1,2017	1,1805	1,1454	1,1390	1,1387	1,1057	1,0627	1,0573	1,0414	1,0331	1,0223	1,0146
12	1,2418	1,2579	1,2168	1,2297	1,2152	1,2117	1,1901	1,1544	1,1480	1,1480	1,1144	1,0699	1,0642	1,0472	1,0382	1,0262	1,0160
13	1,2512	1,2678	1,2259	1,2392	1,2244	1,2210	1,1988	1,1626	1,1564	1,1567	1,1226	1,0768	1,0709	1,0530	1,0433	1,0302	1,0173
14	1,2599	1,2769	1,2343	1,2480	1,2330	1,2296	1,2070	1,1703	1,1643	1,1648	1,1303	1,0834	1,0773	1,0586	1,0483	1,0342	1,0186
15	1,2680	1,2853	1,2422	1,2562	1,2411	1,2377	1,2147	1,1775	1,1716	1,1724	1,1375	1,0897	1,0836	1,0641	1,0533	1,0383	1,0200
16	1,2756	1,2932	1,2496	1,2639	1,2486	1,2453	1,2218	1,1842	1,1784	1,1795	1,1443	1,0957	1,0895	1,0694	1,0582	1,0424	1,0213
17	1,2827	1,3005	1,2565	1,2711	1,2557	1,2525	1,2286	1,1905	1,1849	1,1862	1,1508	1,1014	1,0953	1,0746	1,0630	1,0464	1,0226
18	1,2894	1,3074	1,2631	1,2779	1,2624	1,2592	1,2350	1,1965	1,1911	1,1926	1,1569	1,1069	1,1007	1,0796	1,0677	1,0504	1,0240
19	1,2957	1,3138	1,2692	1,2843	1,2687	1,2656	1,2411	1,2022	1,1969	1,1987	1,1628	1,1122	1,1060	1,0845	1,0723	1,0544	1,0253
20	1,3016	1,3197	1,2751	1,2904	1,2748	1,2717	1,2469	1,2076	1,2024	1,2044	1,1683	1,1173	1,1111	1,0892	1,0767	1,0583	1,0266
21	1,3072	1,3254	1,2807	1,2962	1,2805	1,2775	1,2524	1,2127	1,2077	1,2100	1,1736	1,1221	1,1160	1,0937	1,0810	1,0622	1,0280
22	1,3125	1,3306	1,2861	1,3017	1,2860	1,2830	1,2577	1,2176	1,2127	1,2153	1,1787	1,1268	1,1207	1,0981	1,0853	1,0659	1,0293
23	1,3175	1,3356	1,2912	1,3068	1,2911	1,2882	1,2627	1,2223	1,2175	1,2203	1,1836	1,1313	1,1252	1,1024	1,0893	1,0696	1,0306
24	1,3223	1,3402	1,2960	1,3118	1,2961	1,2933	1,2675	1,2268	1,2222	1,2251	1,1883	1,1356	1,1296	1,1065	1,0933	1,0733	1,0320
25	1,3268	1,3446	1,3007	1,3165	1,3009	1,2981	1,2722	1,2312	1,2266	1,2298	1,1928	1,1397	1,1338	1,1105	1,0971	1,0768	1,0333
26	1,3311	1,3487	1,3051	1,3210	1,3054	1,3027	1,2767	1,2353	1,2309	1,2343	1,1971	1,1437	1,1379	1,1143	1,1009	1,0803	1,0346
27	1,3351	1,3525	1,3094	1,3252	1,3097	1,3071	1,2810	1,2394	1,2350	1,2387	1,2013	1,1476	1,1418	1,1181	1,1046	1,0836	1,0360
28	1,3390	1,3561	1,3134	1,3293	1,3139	1,3113	1,2851	1,2433	1,2390	1,2429	1,2054	1,1513	1,1457	1,1217	1,1081	1,0870	1,0373
29	1,3427	1,3595	1,3174	1,3331	1,3179	1,3154	1,2891	1,2470	1,2429	1,2470	1,2093	1,1549	1,1493	1,1253	1,1115	1,0902	1,0386
30	1,3461	1,3627	1,3211	1,3368	1,3217	1,3192	1,2930	1,2507	1,2467	1,2509	1,2131	1,1584	1,1529	1,1287	1,1149	1,0933	1,0400
$\lambda_{50}$ po eksploatacji – $\lambda_{50}$ nowej izolacji/ $\lambda_{50}$ nowej izolacji, [%]																	
30	35%	36%	32%	34%	32%	32%	29%	25%	25%	25%	21%	16%	15%	13%	11%	9%	4%

- (14) Średnią temperaturę nośnika ciepła w rurociągu zasilającym i powrotnym w sezonie grzewczym i poza sezonem można wyznaczyć:
- wykorzystując pomiary telemetryczne temperatury i automatyczną transmisję danych. Z kilkunastu komór równomiernie rozłożonych w systemie ciepłowniczym należy zebrać średnie godzinowe wartości temperatury nośnika ciepła zasilania i powrotu w sezonie grzewczym i poza sezonem, a następnie obliczyć średnie z danych godzinowych ze wszystkich komór dla zasilania i powrotu w sezonie grzewczym i poza sezonem,
  - wyznaczając temperaturę nośnika ciepła w rurociągu zasilającym i powrotnym w okresie sezonu grzewczego określoną według wykresu regulacyjnego dla średniej temperatury powietrza zewnętrznego, natomiast średnią temperaturę powietrza zewnętrznego – na podstawie [2]. W przypadku braku na prezentowanej liście miejscowości, dla której dokonywane są analizy cieplne można posłużyć się danymi dla miejscowości położonych najbliżej lub uzyskać informację w najbliższej stacji meteorologicznej.

#### 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\\_ciepła/projektowanie\\_instalacji/instalacje\\_zrodła/temperatury\\_gruntu\\_w\\_zależności\\_od\\_pory\\_roku\\_i\\_głębokości](http://solis.pl/index.php/pompy_ciepła/projektowanie_instalacji/instalacje_zrodła/temperatury_gruntu_w_zależności_od_pory_roku_i_głębokości) – 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