

Straty przenikania ciepła w wodnych rurociągach ciepłowniczych – część I

Heat transfer losses in the district heating pipelines – part I

EWA KRĘCIELEWSKA

Wstęp

W latach 2013 ÷ 2016 prowadzony był w Heat-Tech Center Veolia Energia Warszawa Projekt Niezawodna Sieć Ciepłownicza. Jednym z celów Projektu było utworzenie bazy danych jednostkowych strat ciepła. Baza stworzona była na podstawie analitycznych metod obliczeniowych oraz badań izolacji prowadzonych w Laboratorium Badawczym HTC. Stworzenie bazy danych miało na celu między innymi ułatwienie porównania strat przenikania ciepła rurociągów nowych i po kilkuletniej eksploatacji.

Straty ciepła są jednym z wielu zjawisk cieplnych zachodzących w sieci ciepłowniczej podczas przesyłu ciepła [1]. Zwiększają one koszty zakupu, obciążają opłatę za przesyłanie i dystrybucję ciepła, powodują potrzebę zamawiania zwiększonej mocy ciepłowniczej.

Straty przesyłania ciepła są sumą strat przenikania ciepła przez izolacje rurociągów i urządzeń oraz strat ciepła w ubytkach wody sieciowej, mogą być powiększone przez straty od powierzchni niez izolowanych i elementów budowlanych.

Straty przenikania ciepła są skutkiem procesów wymiany ciepła między czynnikiem grzewczym w rurach, a otoczeniem zewnętrznym (powietrzem lub gruntem), są zjawiskiem trwale związanym z funkcjonowaniem sieci ciepłowniczej. Można je ograniczyć, jednakże istnieje pewien poziom strat ciepła, którego nie można obniżyć [1].

Wielkość strat przenikania ciepła zależy od jakości i stanu technicznego izolacji, rodzaju i parametrów transportowanego nośnika ciepła, rozległości i sposobu eksploatacji sieci, zastosowanych technologii wykonania rurociągów (tradycyjne, preizolowane).

Nadmierne straty przenikania ciepła spowodowane są między innymi:

- nieodpowiednią jakością materiałów termoizolacyjnych,
- starzeniem się materiału izolacji właściwej, związanym ze wzrostem współczynnika przewodzenia ciepła,
- zawilgoceniem izolacji,
- stosowaniem nazbyt małych, nieuzasadnionych rachunkiem ekonomicznym, grubości izolacji właściwej.

Straty przenikania ciepła rurociągu \dot{Q} można wyrazić wzorem:

$$\dot{Q} = q_L \cdot L$$

gdzie:

- \dot{Q} – straty przenikania ciepła, W
- q_L – liniowa gęstość strumienia ciepła (jednostkowe straty ciepła), W/m
- L – długość rurociągu, m

Jednostkowe straty ciepła w rurociągach tradycyjnych i preizolowanych

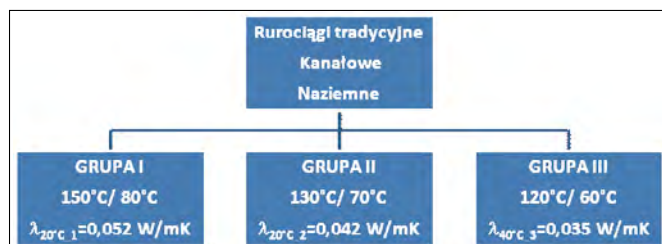
Jednostkowe straty ciepła q_L zależą od temperatury nośnika ciepła, rosną wraz z temperaturą czynnika grzewczego i wieku rurociągu.

W rurociągach tradycyjnych zależą od:

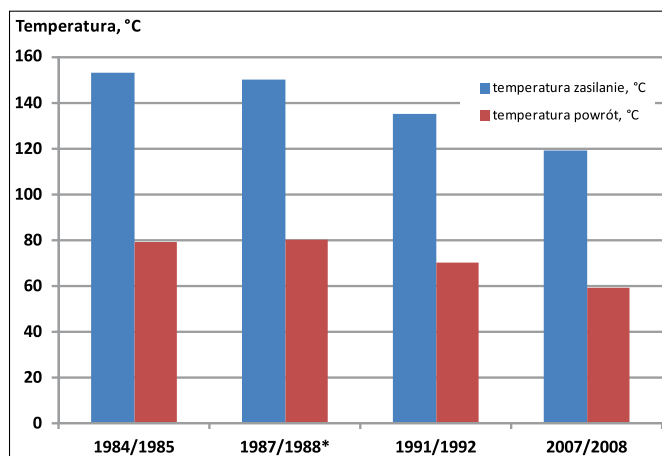
Tabela 1. Grupy izolacji wyodrębnione ze względu na maksymalną obliczeniową temperaturę czynnika, grubość izolacji i współczynnik przewodzenia ciepła

Grupa	Maksymalne obliczeniowe temperatury czynnika (zasilanie/powrót)	Grubość izolacji δ_o , mm	Współczynnik przewodzenia ciepła nowej izolacji włóknistej
I	150°C/ 80°C	Tabela 2 Tabela 3	$\lambda_{20^\circ\text{C}_1}=0,052 \text{ W/mK}$
II	130°C/ 70°C		$\lambda_{20^\circ\text{C}_2}=0,042 \text{ W/mK}$
III	120°C/ 60°C		$\lambda_{40^\circ\text{C}_3}=0,035 \text{ W/mK}$

Rys. 1. Grupy izolacji wyodrębnione ze względu na maksymalną obliczeniową temperaturę czynnika i współczynnik przewodzenia ciepła



Rys. 2. Zmiana temperatury wody sieciowej w w.s.c. w wybranych sezonach grzewczych



mgr inż. Ewa Kręcielewska – Kierownik działu Sieci Ciepłych i Laboratorium Badawczego Veolia Energia Warszawa S.A.

- obliczeniowej temperatury nośnika ciepła i grubości izolacji,
- temperatury otoczenia rurociągu (usytuowania rurociągu),
- wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji,
- sposobu montażu izolacji (z konstrukcją wsporczą lub bez).

Niższa temperatura nośnika ciepła to nie tylko mniejsze straty ciepła, ale również większa trwałość izolacji, armatury, kompensatorów.

Wyznaczane są wg [2] oraz [3].

Jednostkowe straty ciepła zespolonych rurociągów preizolowanych układanych bezpośrednio w gruncie zależą od:

- rodzaju porofora i wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji,
 - głębokości wykopu,
 - odległości od powierzchni do osi rurociągów i pomiędzy osiami rurociągów,
 - temperatury otoczenia rurociągu (temperatury gruntu),
 - współczynnika przewodzenia ciepła gruntu (wilgotności gruntu),
- nie zależą od obliczeniowej temperatury nośnika ciepła.

Jednostkowe straty ciepła w rurociągach preizolowanych pojedynczych wyznaczane są wg metodyki określonej w [4], [5]. W przypadku preizolowanych rurociągów podwójnych – wg metodyki określonej w [6].

Wyznaczenie jednostkowych strat ciepła w nowych rurociągach tradycyjnych

Obliczenia strat ciepła rurociągów tradycyjnych kanałowych i naziemnych przeprowadzono dla trzech grup izolacji opisanych w tabeli 1 i na rysunku 1:

Grupa I: maksymalne obliczeniowe temperatury czynnika – zasilanie/powrót: 150°C/ 80°C

współczynnik przewodzenia ciepła izolacji $\lambda_{20^{\circ}\text{C}_1}=0,052$ W/mK

Grupa II: maksymalne obliczeniowe temperatury czynnika – zasilanie/powrót: 130°C/ 70°C,

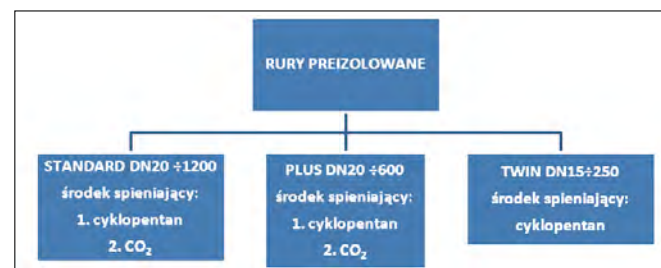
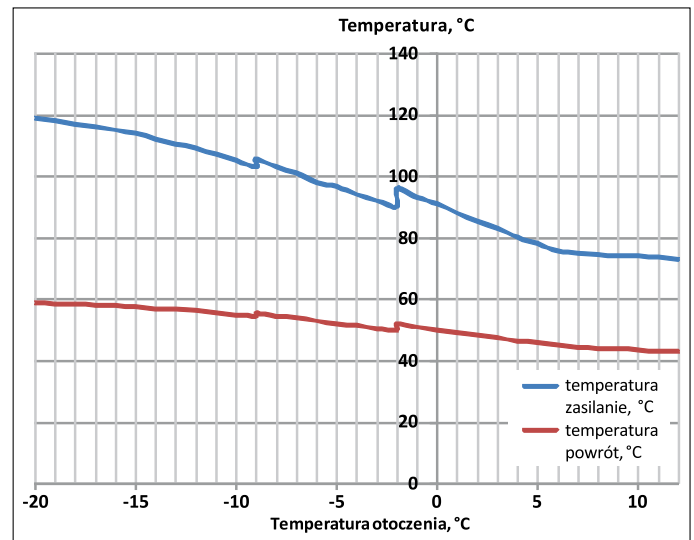
współczynnik przewodzenia ciepła izolacji $\lambda_{20^{\circ}\text{C}_2}=0,042$ W/mK

Grupa III: maksymalne obliczeniowe temperatury czynnika – zasilanie/powrót: 120°C/ 60°C,

współczynnik przewodzenia ciepła izolacji $\lambda_{40^{\circ}\text{C}_3}=0,035$ W/mK.

Takiego podziału dokonano ze względu na:

Rys. 3. Zależność temperatury zasilania i powrotu od temperatury powietrza (Warszawa)



Rys. 4. Grupy rurociągów preizolowanych wyodrębnione ze względu na typ rury oraz środek spieniający

Tabela 2. Grubości izolacji z wełny mineralnej rurociągów kanałowych dla temperatury wody sieciowej 150°C/80°C, 130°C/70°C oraz 120°C/ 60°C

DN	dz, mm	Grubości izolacji δ_o , mm dla temperatury wody sieciowej 150°C/80°C		Grubości izolacji δ_o , mm dla temperatury wody sieciowej 130°C/70°C		Grubości izolacji δ_o , mm dla temperatury wody sieciowej 120°C/60°C	
		zasilanie	powrót	zasilanie	powrót	zasilanie	powrót
20	26,9	60	40	40	30	30	15
25	33,7	60	40	40	30	30	15
32	42,4	70	40	50	30	35	15
40	48,3	70	40	50	30	35	15
50	60,3	80	40	50	30	35	20
65	76,1	80	40	50	30	40	20
80	88,9	90	40	60	30	45	25
100	114,3	90	50	60	30	50	25
125	139,7	100	50	70	40	55	30
150	168,3	100	50	70	40	60	35
200	219,1	110	50	80	40	65	40
250	273,0	110	60	80	40	70	40
300	323,9	120	60	90	50	75	45
350	355,6	120	70	90	50	75	45
400	406,4	130	70	90	50	85	50
450	457,2	130	70	100	50	90	50
500	508,0	140	80	100	60	95	60
600	609,6	150	90	110	60	105	60
700	711,0	150	90	110	70	110	70
800	813,0	150	90	110	70	110	70
900	914,0	160	90	120	70	115	70
1000	1016,0	160	90	120	70	120	75
1100	1118,0	160	90	120	70	120	80
1200	1219,0	160	90	120	70	120	85

- możliwą w ciągu lat zmianę obliczeniowych temperatur czynnika (zasilanie i powrót) w systemie ciepłowniczym,
- różne maksymalne obliczeniowe temperatury nośnika ciepła w systemach ciepłowniczych i stosowanie izolacji

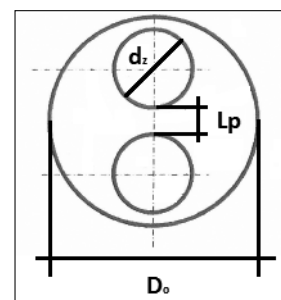
Tabela 3. Grubości izolacji z wełny mineralnej rurociągów naziemnych dla temperatury wody sieciowej 150°C/80°C, 130°C/70°C oraz 120°C/60°C

DN	dz, mm	Grubości izolacji δ_o , mm dla temperatury wody sieciowej 150°C/80°C		Grubości izolacji δ_o , mm dla temperatury wody sieciowej 130°C/70°C		Grubości izolacji δ_o , mm dla temperatury wody sieciowej 120°C/60°C	
		zasilanie	powrót	zasilanie	powrót	zasilanie	powrót
20	26,9	90	70	80	50	50	50
25	33,7	90	70	80	50	60	50
32	42,4	90	70	90	60	70	50
40	48,3	90	70	90	60	70	50
50	60,3	100	70	100	60	70	60
65	76,1	100	80	100	70	80	60
80	88,9	120	80	110	70	80	60
100	114,3	120	90	120	70	90	70
125	139,7	130	100	130	80	100	80
150	168,3	130	100	130	80	100	80
200	219,1	150	120	150	100	110	90
250	273,0	150	120	150	110	110	90
300	323,9	160	130	160	110	120	100
350	355,6	160	130	160	110	120	100
400	406,4	180	140	180	120	130	110
450	457,2	180	150	180	130	140	110
500	508,0	190	160	190	130	140	120
600	609,6	210	170	200	150	160	130
700	711,0	220	190	210	170	160	140
800	813,0	220	190	210	170	160	140
900	914,0	230	190	210	170	160	150
1000	1016,0	230	190	220	170	170	150
1100	1118,0	230	200	220	180	170	160
1200	1219,0	230	200	220	180	170	160

następujące dane – na podstawie [2]:

$m = 0,00023$ W/mk ²	mnożnik
k_1	współczynnik korekcji, zależny od miejsca usytuowania izolowanego rurociągu kanałowego
$k_1=1,93$	przy $t_{cz,max}=150^\circ\text{C}$
$k_1=1,92$	przy $t_{cz,max}=130^\circ\text{C}$
$k_1=1,915$	przy $t_{cz,max}=130^\circ\text{C}$
k_1	współczynnik korekcji, zależny od miejsca usytuowania izolowanego rurociągu naziemnego
$k_1=1,97$	przy $t_{cz,max}=150^\circ\text{C}$
$k_1=1,96$	przy $t_{cz,max}=130^\circ\text{C}$
$k_1=1,955$	przy $t_{cz,max}=120^\circ\text{C}$
$k_2=1,06$	współczynniki korekcji uwzględniające wpływ metalowych konstrukcji wsporczych izolacji na wielkość strat ciepła
$t_o, ^\circ\text{C}$	temperatura otoczenia dla rurociągów kanałowych, tabela 4

Rys. 6. Wymiary przelazowanej rury podwójnej



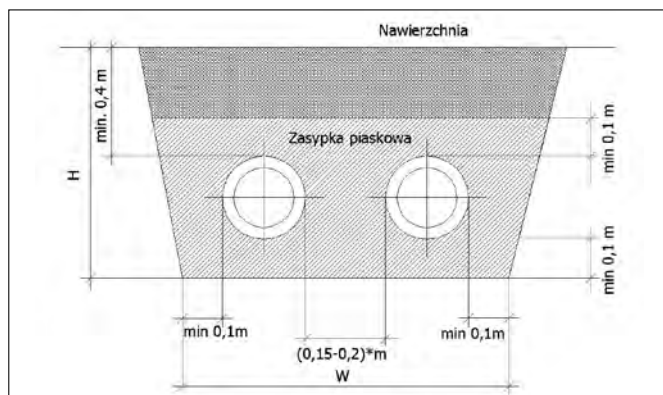
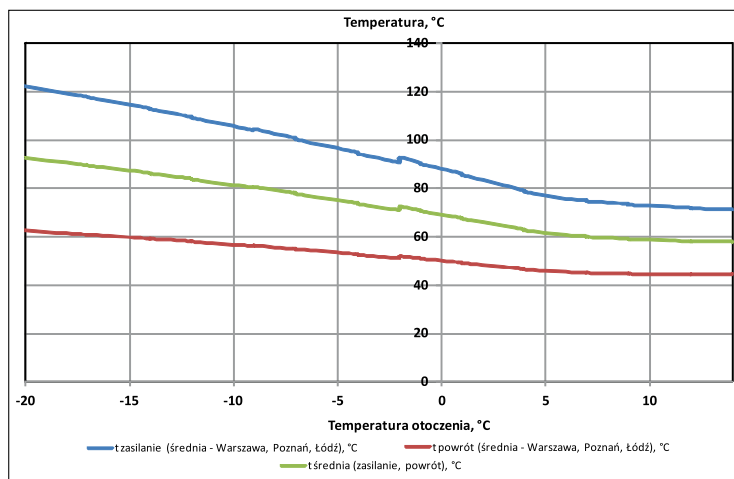
- o różnych grubościach,
- inne wartości współczynnika przewodzenia ciepła nowej izolacji włóknistej (izolacja produkowana obecnie jest lepsza, niż produkowana 30 lat temu).

Na rysunku 2 przedstawiono zmianę temperatury wody sieciowej na przestrzeni ostatnich 30 lat w warszawskim systemie ciepłowniczym (w.s.c.). Od roku 1987 maksymalna obliczeniowa temperatura wody sieciowej zasilającej/ powrotnej zmieniła się ze 150°C/80°C [7] na 119°C/59°C.

W tabeli 2 przedstawiono przyjęte do obliczeń jednostkowych strat ciepła grubości izolacji z wełny mineralnej stosowanych na rurociągach kanałowych, w tabeli 3 grubości izolacji stosowanych na rurociągach naziemnych.

Do obliczeń jednostkowych strat ciepła w rurociągach tradycyjnych przyjęto

Rys. 7. Zależność temperatury zasilania i powrotu od temperatury powietrza (Łódź)



Rys. 5. Przekrój wykopu (* dla rurociągów DN \geq 350 minimalna odległość między rurami wynosi 0,4 m)

Tabela 4. Temperatura powietrza w kanale w zależności od DN oraz obliczeniowych temperatur czynnika t_{cz}/t_{cp}

DN	t_{cz}/t_{cp}		
	150°C/80°C	130°C/70°C	120°C/60°C
	$t_o, ^\circ\text{C}$		
do 50	14	13	12
65 ÷ 150	19	17	16
200 ÷ 350	25	23	21
400 ÷ 600	29	27	25
700 ÷ 900	33	30	27
1000 ÷ 1400	35	32	29

Tabela 5. Wymiary wykopów (w praktyce wymiary wykopu powinny odpowiadać zaleceniom producenta systemu preizolowanego)

DN	Średnica zewnętrzna rury przewodowej d_z , mm	Średnica zewnętrzna rury HDPE D_o , mm	Głębokość wykopu H, m	Szerokość wykopu W, m
32	42,4	110	0,65	0,7
40	48,3	110		
50	60,3	125		
65	76,1	140		
80	88,9	160	0,7	0,8
100	114,3	200	0,75	
125	133	225	0,8	1,0
150	159	250	0,9	1,1
200	219,1	315	1,0	1,2
250	273	400		1,4
300	323,9	450		1,5
350	355,6	500	1,1	1,6
400	406,4	560	1,2	1,8
450	457	630	1,3	2,0
500	508	710	1,4	2,2
600	610	800	1,5	2,4
700	711	900	1,6	2,6
800	813	1000	1,8	2,8
900	914	1100	2,0	3,0
1000	1016	1200	2,2	3,2
1100	1118	1300	2,4	3,4
1200	1219	1400	2,6	3,6

Tabela 6. Wymiary rur preizolowanych typu standard oraz typu plus

DN	Średnica zewnętrzna rury przewodowej d_z	Grubość ścianki rury przewodowej s	Średnica zewnętrzna rury HDPE D_o	Grubość ścianki rury HDPE e	Średnica zewnętrzna rury HDPE D_o	Grubość ścianki rury HDPE e
			Izolacja standard		Izolacja Plus	
-	mm	mm	mm	mm	mm	mm
20	26,9	2,6	90	3,0	110	3,0
25	33,7	2,6	90	3,0	110	3,0
32	42,4	2,9	110	3,0	125	3,0
40	48,3	2,9	110	3,0	125	3,0
50	60,3	2,9	125	3,0	140	3,0
65	76,1	2,9	140	3,0	160	3,0
80	88,9	3,2	160	3,0	180	3,0
100	114,3	3,6	200	3,2	225	3,4
125	139,7	3,6	225	3,4	250	3,6
150	168,3	4,0	250	3,6	280	3,9
200	219,1	4,5	315	4,1	355	4,5
250	273,0	5,0	400	4,8	450	5,2
300	323,9	5,6	450	5,2	500	5,6
350	355,6	5,6	500	5,6	560	5,6
400	406,4	6,3	560	6,0	560	6,0
450	457,0	6,3	630	6,6	630	6,6
500	508,0	6,3	710	7,2	710	7,2
600	610,0	7,1	800	7,9	800	7,9
700	711,0	8,0	900	8,7	-	-
800	813,0	8,8	1000	9,4	-	-
900	914,0	10,0	1100	10,2	-	-
1000	1016,0	11,0	1200	11,0	-	-
1100	1118,0	12,5	1300	12,5	-	-
1200	1219,0	14,2	1400	12,5	-	-

Temperaturę otoczenia dla rurociągów naziemnych t_o , °C przyjęto na podstawie wykresu regulacyjnego dla w.s.c. (rys. 3).

Jednostkowe straty ciepła nowych rurociągów tradycyjnych przedstawiono w postaci funkcji wielomianowej (wielomian drugiego stopnia):

$$q_{L_tradycyjne_nowa_DN,t_c} = a \cdot t_c^2 + b \cdot t_c + c$$

gdzie:

t_c – temperatura nośnika ciepła, °C

a, b, c – współczynniki

W tabelach:

- TK1 ÷ TK3 przedstawiono współczynniki a, b, c do wyznaczenia jednostkowych strat ciepła dla nowych rurociągów tradycyjnych kanałowych,
- TN1 ÷ TN3 przedstawiono współczynniki a, b, c do wyznaczenia jednostkowych strat ciepła dla nowych rurociągów tradycyjnych naziemnych.

Jednostkowe straty ciepła w nowych rurociągach preizolowanych

Obliczenia jednostkowych strat ciepła wykonano dla trzech grup rurociągów preizolowanych, w podziale na rurociągi zasilające i powrotne (rys. 4).

Wymiary wykopu przyjęto wg rysunku 5 i wg tabeli 5, wymiary rur preizolowanych pojedynczych przedstawiono w tabeli 6, wymiary rur preizolowanych podwójnych przedstawiono w tabeli 7.

Jednostkowe straty ciepła nowych rurociągów wyznaczono dla rurociągów z izolacją spienianą CO₂ (współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda_{50} = 0,033$ W/mK [8]) oraz z izolacją spienianą cyklopentanem (współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda_{50} = 0,029$ W/mK [9]). Współczynnik przewodzenia ciepła w zależności od temperatury nośnika ciepła przeliczano przy pomocy mnożnika $m = 0,00012$ W/mK², na podstawie [2].

Do obliczeń przyjęto:

- współczynnik przewodzenia ciepła gruntu $\lambda_g = 1,6$ W/mK (grunt normalny)
- współczynnik przewodzenia ciepła polietylenu $\lambda_{HDPE} = 0,4$ W/mK

Tabela 7. Wymiary podwójnych rur preizolowanych

DN	Średnice zewnętrzne rur przewodowych d_z	Grubość ścianki rury przewodowej s	Średnica zewnętrzna rury HDPE D_o	Grubość ścianki rury HDPE e	Odległość pomiędzy rurami przewodowymi L_p
	mm		mm		
15	21,3	2,6	125	3,0	19
20	26,9	2,6	125	3,0	19
25	33,7	2,6	140	3,0	19
32	42,4	2,9	160	3,0	19
40	48,3	2,9	160	3,0	19
50	60,3	2,9	200	3,2	20
65	76,1	2,9	225	3,4	20
80	88,9	3,2	250	3,6	25
100	114,3	3,6	315	4,1	25
125	139,7	3,6	400	4,8	30
150	168,3	4,0	450	5,2	40
200	219,1	4,5	560	6,0	45
250	273,0	5,0	710	7,2	45

- współczynnik przewodzenia ciepła stali $\lambda_{\text{stali}}=50\text{W/mK}$
- temperatura gruntu $t_g=6^\circ\text{C}$ (w sezonie grzewczym), $t_g=12^\circ\text{C}$ (w sezonie letnim).

Jednostkowe straty ciepła nowych pojedynczych rurociągów preizolowanych przedstawiono w postaci funkcji wielomianowej (wielomian drugiego stopnia):

$$q_{L_preizolowane_nowa_DN,t_c} = d \cdot t_c^2 + e \cdot t_c + f$$

gdzie:

t_c – temperatura nośnika ciepła, $^\circ\text{C}$
 d, e, f – współczynniki

W tabelach PS1 ÷ PS2 przedstawiono współczynniki d, e, f do wyznaczania jednostkowych strat ciepła dla nowych rurociągów tradycyjnych z izolacją standard, w tabelach PP1 ÷ PP2 – dla nowych rurociągów preizolowanych z izolacją plus.

Jednostkowe straty ciepła nowych rurociągów preizolowanych podwójnych przedstawiono w postaci funkcji wielomianowej (wielomian drugiego stopnia):

$$q_{L_preizolowane_nowa_podwójna_DN,t} = g \cdot t^2 + h \cdot t + i$$

gdzie:

g, h, i – współczynniki
 t – temperatura, $^\circ\text{C}$

$$t = \frac{t_{cz} + t_{cp}}{2}$$

t_{cz} – temperatura nośnika ciepła na zasilaniu, $^\circ\text{C}$
 t_{cp} – temperatura nośnika ciepła na powrocie, $^\circ\text{C}$

Średnie temperatury zasilania i powrotu przyjęto na podstawie wykresów regulacyjnych Warszawy, Łodzi i Poznania (rys. 7).

W tabeli PT1 przedstawiono jednostkowe straty ciepła w podwójnych rurociągach preizolowanych z izolacją spienianą cyklopentanem dla średniej temperatury zasilania i powrotu.

Tabela TK1. Współczynniki do wyznaczania jednostkowych strat ciepła NOWYCH RUROCIĄGÓW KANAŁOWYCH
GRUPA I: 150°C/ 80°C, $\lambda_{20^\circ\text{C}_1}=0,052\text{ W/mK}$

DN	zasilanie			powrót		
	a	b	c	a	b	c
20	0,0004	0,1771	-2,56	-0,0010	0,3718	-6,95
25	0,0005	0,1982	-2,87	-0,0011	0,4218	-7,89
32	0,0005	0,2061	-2,98	-0,0013	0,4839	-9,05
40	0,0005	0,2210	-3,20	-0,0014	0,5251	-9,82
50	0,0006	0,2321	-3,36	-0,0016	0,6074	-11,36
65	0,0006	0,2656	-5,28	-0,0019	0,7140	-15,61
80	0,0007	0,2717	-5,40	-0,0021	0,7993	-17,47
100	0,0008	0,3180	-6,32	-0,0022	0,8161	-17,84
125	0,0008	0,3384	-6,72	-0,0029	0,9501	-20,77
150	0,0009	0,3840	-7,63	-0,0029	1,0999	-24,05
200	0,0010	0,4326	-11,46	-0,0037	1,3643	-35,13
250	0,0012	0,5088	-13,48	-0,0038	1,4079	-36,26
300	0,0013	0,5424	-14,37	-0,0044	1,6276	-41,91
350	0,0014	0,5830	-15,45	-0,0041	1,5452	-39,79
400	0,0015	0,6081	-18,86	-0,0046	1,7329	-49,22
450	0,0016	0,6679	-20,72	-0,0051	1,9202	-54,54
500	0,0016	0,6850	-21,25	-0,0050	1,8734	-53,21
600	0,0018	0,7514	-23,31	-0,0053	1,9827	-56,31
700	0,0021	0,8542	-30,43	-0,0061	2,2730	-70,68

DN	zasilanie			powrót		
	a	b	c	a	b	c
800	0,0023	0,9574	-34,10	-0,0069	2,5648	-79,75
900	0,0024	1,0018	-35,68	-0,0077	2,8535	-88,73
1000	0,0026	1,0983	-41,67	-0,0084	3,1449	-102,08
1100	0,0029	1,1947	-45,33	-0,0092	3,4361	-111,53
1200	0,0031	1,2901	-48,95	-0,0100	3,7245	-120,89

Tabela TK2. Współczynniki do wyznaczania jednostkowych strat ciepła NOWYCH RUROCIĄGÓW KANAŁOWYCH
GRUPA II: 130°C/ 70°C, $\lambda_{20^\circ\text{C}_2}=0,042\text{ W/mK}$

DN	zasilanie			powrót		
	a	b	c	a	b	c
20	0,0005	0,1724	-2,33	-0,0009	0,3540	-6,47
25	0,0006	0,1956	-2,64	-0,0010	0,4059	-7,42
32	0,0006	0,1964	-2,65	-0,0012	0,4708	-8,61
40	0,0006	0,2121	-2,87	-0,0013	0,5141	-9,40
50	0,0007	0,2433	-3,29	-0,0015	0,6010	-10,99
65	0,0009	0,2835	-5,07	-0,0018	0,7141	-14,84
80	0,0008	0,2784	-4,98	-0,0020	0,8048	-16,73
100	0,0010	0,3314	-5,93	-0,0024	0,9838	-20,45
125	0,0010	0,3427	-6,13	-0,0023	0,9168	-19,06
150	0,0012	0,3930	-7,03	-0,0026	1,0674	-22,19
200	0,0013	0,4339	-10,68	-0,0033	1,3337	-32,87
250	0,0016	0,5157	-12,69	-0,0040	1,6152	-39,81
300	0,0016	0,5383	-13,25	-0,0038	1,5428	-38,02
350	0,0018	0,5808	-14,29	-0,0042	1,6751	-41,28
400	0,0020	0,6488	-18,95	-0,0047	1,8869	-51,48
450	0,0020	0,6556	-19,15	-0,0052	2,0986	-57,26
500	0,0022	0,7166	-20,94	-0,0049	1,9575	-53,41
600	0,0023	0,7720	-22,55	-0,0057	2,3101	-63,03
700	0,0027	0,8824	-28,88	-0,0057	2,3095	-67,67
800	0,0030	0,9933	-32,51	-0,0065	2,6126	-76,55
900	0,0031	1,0203	-33,40	-0,0072	2,9127	-85,34
1000	0,0034	1,1218	-39,39	-0,0080	3,2156	-98,60
1100	0,0037	1,2232	-42,95	-0,0087	3,5184	-107,88
1200	0,0040	1,3236	-46,47	-0,0095	3,8182	-117,08

Tabela TK3. Współczynniki do wyznaczania jednostkowych strat ciepła NOWYCH RUROCIĄGÓW KANAŁOWYCH
GRUPA III: 120°C/ 60°C, $\lambda_{40^\circ\text{C}_3}=0,035\text{ W/mK}$

DN	zasilanie			powrót		
	a	b	c	a	b	c
20	0,0006	0,1517	-2,42	-0,0012	0,4359	-8,34
25	0,0006	0,1739	-2,77	-0,0014	0,5129	-9,81
32	0,0007	0,1824	-2,90	-0,0044	0,9040	-19,52
40	0,0007	0,1986	-3,16	-0,0018	0,6759	-12,93
50	0,0008	0,2308	-3,68	-0,0017	0,6417	-12,28
65	0,0009	0,2469	-4,95	-0,0020	0,7679	-16,43
80	0,0009	0,2536	-5,09	-0,0019	0,7269	-15,55
100	0,0010	0,2822	-5,66	-0,0024	0,8939	-19,13
125	0,0011	0,3054	-6,13	-0,0024	0,9078	-19,42
150	0,0012	0,3295	-6,61	-0,0025	0,9327	-19,96
200	0,0013	0,4042	-11,16	-0,0033	1,0944	-27,31
250	0,0014	0,4549	-12,56	-0,0040	1,3254	-33,07
300	0,0016	0,4948	-13,67	-0,0042	1,3892	-34,66
350	0,0017	0,5350	-14,78	-0,0045	1,5098	-37,67
400	0,0017	0,5361	-17,06	-0,0045	1,5287	-41,81
450	0,0018	0,5643	-17,96	-0,0050	1,7001	-46,50
500	0,0019	0,5896	-18,76	-0,0046	1,5858	-43,38
600	0,0020	0,6329	-20,14	-0,0055	1,8715	-51,19

DN	zasilanie			powrót		
	a	b	c	a	b	c
700	0,0020	0,7323	-26,05	-0,0062	1,9404	-56,30
800	0,0023	0,8243	-29,32	-0,0070	2,1951	-63,69
900	0,0024	0,8795	-31,29	-0,0078	2,4471	-71,00
1000	0,0026	0,9275	-34,95	-0,0078	2,5090	-75,96
1100	0,0028	1,0114	-38,11	-0,0080	2,5831	-78,20
1200	0,0030	1,0944	-41,23	-0,0082	2,6465	-80,12

Tabela TN1. Współczynniki do wyznaczania jednostkowych strat ciepła NOWYCH RUROCIĄGÓW NAZIEMNYCH
GRUPA I: 150°C/ 80°C, $\lambda_{20^\circ\text{C}_1}=0,052 \text{ W/mK}$.

DN	zasilanie			powrót		
	a	b	c	a	b	c
20	0,0019	-0,0467	4,50	0,0111	-0,6062	11,72
25	0,0021	-0,0516	4,97	0,0124	-0,6747	13,04
32	0,0024	-0,0575	5,54	0,0139	-0,7583	14,66
40	0,0025	-0,0614	5,91	0,0150	-0,8132	15,72
50	0,0027	-0,0652	6,28	0,0169	-0,9216	17,82
65	0,0034	-0,1263	9,42	0,0195	-1,1285	22,57
80	0,0033	-0,1244	9,28	0,0215	-1,2411	24,82
100	0,0038	-0,1439	10,73	0,0234	-1,3510	27,01
125	0,0041	-0,1549	11,55	0,0249	-1,4379	28,75
150	0,0046	-0,1743	12,01	0,0282	-1,6315	32,62
200	0,0056	-0,2865	18,37	0,0328	-2,0167	41,56
250	0,0065	-0,3334	21,37	0,0385	-2,3650	48,74
300	0,0070	-0,3597	23,06	0,0412	-2,5315	52,18
350	0,0075	-0,3851	24,69	0,0442	-2,7184	56,03
400	0,0082	-0,4960	29,65	0,0497	-3,1731	66,60
450	0,0089	-0,5418	32,38	0,0516	-3,2965	69,19
500	0,0093	-0,5634	33,67	0,0533	-3,4043	71,45
600	0,0099	-0,6003	35,88	0,0587	-3,7522	78,75
700	0,0111	-0,7233	42,12	0,0628	-4,0842	86,38
800	0,0124	-0,8054	46,90	0,0702	-4,5600	96,44
900	0,0132	-0,8547	49,77	0,0774	-5,0300	106,38
1000	0,0149	-1,0233	58,29	0,0874	-5,7733	122,94
1100	0,0161	-1,1089	63,17	0,0908	-5,9976	127,72
1200	0,0173	-1,1936	67,99	0,0979	-6,4642	137,66

Tabela TN2. Współczynniki do wyznaczania jednostkowych strat ciepła NOWYCH RUROCIĄGÓW NAZIEMNYCH
GRUPA II: 130°C/ 70°C, $\lambda_{20^\circ\text{C}_2}=0,042 \text{ W/mK}$.

DN	zasilanie			powrót		
	a	b	c	a	b	c
20	0,0020	-0,0911	6,03	0,0119	-0,7058	14,34
25	0,0022	-0,1009	6,69	0,0134	-0,7945	16,14
32	0,0023	-0,1065	7,06	0,0138	-0,8153	16,56
40	0,0025	-0,1136	7,53	0,0148	-0,8771	17,81
50	0,0026	-0,1207	7,99	0,0169	-0,9996	20,30
65	0,0033	-0,1893	11,37	0,0194	-1,2121	25,29
80	0,0034	-0,1959	11,77	0,0214	-1,3387	27,91
100	0,0037	-0,2157	12,95	0,0253	-1,5833	33,07
125	0,0040	-0,2321	13,94	0,0265	-1,6588	34,58
150	0,0045	-0,2612	15,69	0,0303	-1,8949	39,50
200	0,0054	-0,3807	21,28	0,0346	-2,2823	48,71
250	0,0063	-0,4429	24,76	0,0380	-2,5045	53,45
300	0,0068	-0,4779	26,72	0,0433	-2,8558	60,95
350	0,0073	-0,5117	28,61	0,0466	-3,0736	65,60
400	0,0080	-0,624	33,61	0,0521	-3,5587	77,04

DN	zasilanie			powrót		
	a	b	c	a	b	c
450	0,0087	-0,6816	36,71	0,0537	-3,6682	79,41
500	0,0091	-0,7088	38,18	0,0585	-3,9959	86,50
600	0,0100	-0,7847	42,26	0,0604	-4,1268	89,34
700	0,0113	-0,9255	49,12	0,0641	-4,4449	96,80
800	0,0126	-1,0316	54,75	0,0717	-4,9720	108,28
900	0,0139	-1,1362	60,31	0,0792	-5,4929	119,62
1000	0,0151	-1,2878	67,49	0,0898	-6,3147	138,26
1100	0,0164	-1,3963	73,17	0,0929	-6,5300	142,97
1200	0,0177	-1,5035	78,80	0,1002	-7,0445	154,24

Tabela TN3. Współczynniki do wyznaczania jednostkowych strat ciepła NOWYCH RUROCIĄGÓW NAZIEMNYCH
GRUPA III: 120°C/ 60°C, $\lambda_{40^\circ\text{C}_3}=0,035 \text{ W/mK}$.

DN	zasilanie			powrót		
	a	b	c	a	b	c
20	0,0024	-0,1745	9,42	0,0105	-0,6971	14,97
25	0,0024	-0,1784	9,63	0,0119	-0,7847	16,85
32	0,0025	-0,1856	10,01	0,0135	-0,8927	19,17
40	0,0027	-0,1990	10,74	0,0146	-0,9640	20,70
50	0,0031	-0,2255	12,17	0,0149	-0,9874	21,20
65	0,0036	-0,2987	15,52	0,0191	-1,3234	28,92
80	0,0040	-0,3285	17,07	0,0212	-1,4663	32,05
100	0,0043	-0,3576	18,58	0,0226	-1,5665	34,24
125	0,0046	-0,3806	19,78	0,0237	-1,6412	35,87
150	0,0052	-0,4319	22,44	0,0271	-1,8749	40,97
200	0,0066	-0,6079	30,60	0,0338	-2,4460	54,32
250	0,0077	-0,7150	36,00	0,0401	-2,8965	64,33
300	0,0082	-0,7622	38,37	0,0422	-3,0504	67,74
350	0,0088	-0,8194	41,25	0,0455	-3,2871	73,00
400	0,0100	-0,9910	49,01	0,0509	-3,7786	84,91
450	0,0103	-1,0258	50,74	0,0561	-4,1699	93,51
500	0,0112	-1,1163	55,21	0,0569	-4,2338	94,94
600	0,0117	-1,1615	57,44	0,0620	-4,6115	103,41
700	0,0138	-1,4096	69,21	0,0690	-5,1914	116,89
800	0,0154	-1,5783	77,49	0,0774	-5,8245	131,15
900	0,0171	-1,7450	85,68	0,0807	-6,0729	136,74
1000	0,0184	-1,9316	94,21	0,0919	-6,9936	158,06
1100	0,0200	-2,0999	102,44	0,0945	-7,1885	162,46
1200	0,0216	-2,2665	110,57	0,1020	-7,7624	175,43

Tabela PS1. Współczynniki do wyznaczania jednostkowych strat ciepła NOWYCH POJEDYNYCH RUROCIĄGÓW PREIZOLOWANYCH Z IZOLACJĄ STANDARD SPIENIĄĄ CYKLOPENTANEM

DN	zasilanie			powrót		
	d	e	f	d	e	f
20	-0,0005	0,2999	-10,24	-0,0055	0,7570	-18,42
25	-0,0007	0,3687	-12,58	-0,0068	0,9327	-22,69
32	-0,0007	0,3765	-12,85	-0,0069	0,9522	-23,17
40	-0,0008	0,4355	-14,85	-0,0081	1,1034	-26,84
50	-0,0009	0,4884	-16,65	-0,0091	1,2390	-30,14
65	-0,0011	0,5796	-19,75	-0,0108	1,4736	-35,83
80	-0,0011	0,5961	-20,30	-0,0111	1,5166	-36,88
100	-0,0011	0,6226	-21,21	-0,0116	1,5844	-38,52
125	-0,0013	0,7249	-24,67	-0,0137	1,8507	-44,98
150	-0,0016	0,8597	-29,22	-0,0165	2,2073	-53,62
200	-0,0017	0,9321	-31,67	-0,0179	2,3967	-58,21
250	-0,0017	0,8993	-30,60	-0,0170	2,2999	-55,89
300	-0,0019	1,0436	-35,49	-0,0198	2,6717	-64,92
350	-0,0019	1,0070	-34,26	-0,0191	2,5774	-62,63

DN	zasilanie			powrót		
	d	e	f	d	e	f
400	-0,0020	1,0744	-36,58	-0,0202	2,7357	-66,50
450	-0,0020	1,0742	-36,57	-0,0202	2,7356	-66,50
500	-0,0019	1,0259	-34,94	-0,0192	2,6101	-63,46
600	-0,0024	1,2656	-43,06	-0,0239	3,2318	-78,54
700	-0,0027	1,4498	-49,29	-0,0276	3,7110	-90,16
800	-0,0031	1,6282	-55,29	-0,0314	4,1881	-101,69
900	-0,0034	1,7965	-60,93	-0,0350	4,6431	-112,69
1000	-0,0037	1,9727	-66,82	-0,0390	5,1242	-124,30
1100	-0,0041	2,1612	-73,10	-0,0433	5,6439	-136,83
1200	-0,0044	2,3059	-77,91	-0,0467	6,0488	-146,56

Tabela PS2. Współczynniki do wyznaczania jednostkowych strat ciepła NOWYCH POJEDYNCZYCH RUROCIĄGÓW PREIZOLOWANYCH Z IZOLACJĄ STANDARD SPIENIĄĄ CO₂.

DN	zasilanie			powrót		
	d	e	f	d	e	f
20	-0,0007	0,3471	-11,82	-0,0064	0,8759	-21,30
25	-0,0008	0,4256	-14,48	-0,0079	1,0770	-26,18
32	-0,0009	0,4349	-14,80	-0,0081	1,1000	-26,74
40	-0,0010	0,5021	-17,07	-0,0094	1,2725	-30,93
50	-0,0011	0,5626	-19,13	-0,0105	1,4277	-34,69
65	-0,0013	0,6664	-22,64	-0,0126	1,6949	-41,18
80	-0,0014	0,6851	-23,27	-0,0129	1,7441	-42,37
100	-0,0014	0,7158	-24,32	-0,0135	1,8226	-44,28
125	-0,0016	0,8316	-28,23	-0,0158	2,1245	-51,59
150	-0,0019	0,9825	-33,30	-0,0190	2,5249	-61,28
200	-0,0021	1,0647	-36,07	-0,0207	2,7401	-66,49
250	-0,0020	1,0310	-34,98	-0,0197	2,6384	-64,06
300	-0,0024	1,1946	-40,52	-0,0229	3,0608	-74,30
350	-0,0023	1,1538	-39,14	-0,0221	2,9552	-71,75
400	-0,0024	1,2310	-41,79	-0,0233	3,1365	-76,18
450	-0,0024	1,2314	-41,81	-0,0234	3,1379	-76,21
500	-0,0023	1,1778	-40,00	-0,0223	2,9980	-72,82
600	-0,0029	1,4479	-49,12	-0,0277	3,7003	-89,84
700	-0,0033	1,6553	-56,12	-0,0318	4,2405	-102,93
800	-0,0037	1,8528	-62,73	-0,0361	4,7705	-115,73
900	-0,0041	2,0378	-68,91	-0,0402	5,2729	-127,85
1000	-0,0045	2,2304	-75,32	-0,0446	5,8010	-140,58
1100	-0,0049	2,4350	-82,11	-0,0494	6,3677	-154,23
1200	-0,0052	2,5909	-87,25	-0,0531	6,8061	-164,77

Tabela PP1. Współczynniki do wyznaczania jednostkowych strat ciepła NOWYCH POJEDYNCZYCH RUROCIĄGÓW PREIZOLOWANYCH Z IZOLACJĄ PLUS SPIENIĄĄ CYKLOPENTANEM.

DN	zasilanie			powrót		
	d	e	f	d	e	f
20	-0,0005	0,2557	-8,73	-0,0047	0,6442	-15,68
25	-0,0006	0,3041	-10,38	-0,0056	0,7672	-18,67
32	-0,0006	0,3312	-11,31	-0,0061	0,8361	-20,35
40	-0,0007	0,3760	-12,83	-0,0069	0,9504	-23,13
50	-0,0008	0,4224	-14,41	-0,0078	1,0688	-26,01
65	-0,0009	0,4763	-16,24	-0,0088	1,2061	-29,34
80	-0,0009	0,4985	-17,00	-0,0092	1,2635	-30,74

DN	zasilanie			powrót		
	d	e	f	d	e	f
100	-0,0009	0,5188	-17,69	-0,0096	1,3150	-31,99
125	-0,0011	0,6002	-20,45	-0,0112	1,5248	-37,08
150	-0,0013	0,6804	-23,17	-0,0128	1,7344	-42,17
200	-0,0013	0,7168	-24,41	-0,0135	1,8277	-44,43
250	-0,0013	0,6996	-23,85	-0,0130	1,7765	-43,21
300	-0,0015	0,8054	-27,45	-0,0150	2,0463	-49,76
350	-0,0014	0,7678	-26,17	-0,0143	1,9498	-47,42
400	-0,0020	1,0744	-36,58	-0,0202	2,7357	-66,50
450	-0,0020	1,0742	-36,57	-0,0202	2,7356	-66,50
500	-0,0019	1,0259	-34,94	-0,0192	2,6101	-63,46
600	-0,0024	1,2656	-43,06	-0,0239	3,2318	-78,54

Tabela PP2. Współczynniki do wyznaczania jednostkowych strat ciepła NOWYCH POJEDYNCZYCH RUROCIĄGÓW PREIZOLOWANYCH Z IZOLACJĄ PLUS SPIENIĄĄ CO₂.

DN	zasilanie			powrót		
	d	e	f	d	e	f
20	-0,0006	0,2966	-10,10	-0,0054	0,7469	-18,17
25	-0,0007	0,3521	-11,99	-0,0065	0,8882	-21,60
32	-0,0007	0,3834	-13,05	-0,0071	0,9676	-23,53
40	-0,0009	0,4346	-14,79	-0,0081	1,0986	-26,71
50	-0,0010	0,4878	-16,60	-0,0091	1,2345	-30,01
65	-0,0011	0,5496	-18,69	-0,0102	1,3920	-33,84
80	-0,0011	0,5749	-19,55	-0,0107	1,4577	-35,43
100	-0,0012	0,5986	-20,36	-0,0112	1,5176	-36,89
125	-0,0014	0,6913	-23,50	-0,0130	1,7570	-42,69
150	-0,0015	0,7820	-26,56	-0,0148	1,9945	-48,45
200	-0,0016	0,8241	-27,99	-0,0156	2,1023	-51,06
250	-0,0016	0,8064	-27,41	-0,0151	2,0485	-49,78
300	-0,0018	0,9275	-31,52	-0,0174	2,3575	-57,28
350	-0,0017	0,8850	-30,09	-0,0166	2,2481	-54,63
400	-0,0024	1,2310	-41,79	-0,0233	3,1365	-76,18
450	-0,0024	1,2314	-41,81	-0,0234	3,1379	-76,21
500	-0,0023	1,1778	-40,00	-0,0223	2,9980	-72,82
600	-0,0029	1,4479	-49,12	-0,0277	3,7003	-89,84

Tabela PT1. Współczynniki do wyznaczania jednostkowych strat ciepła NOWYCH PODWÓJNYCH RUROCIĄGÓW PREIZOLOWANYCH.

DN	g	h	i
15	-0,0010	0,3385	-10,07
20	-0,0013	0,4261	-12,68
25	-0,0014	0,4668	-13,89
32	-0,0016	0,5006	-14,90
40	-0,0021	0,6810	-20,26
50	-0,0017	0,5580	-16,61
65	-0,0020	0,6553	-19,50
80	-0,0022	0,7162	-21,31
100	-0,0021	0,6726	-20,01
125	-0,0019	0,6091	-18,12
150	-0,0021	0,6831	-20,33
200	-0,0022	0,7180	-21,36
250	-0,0021	0,6765	-20,13

LITERATURA

- [1] Olgierd Niemyjski; *Sieci i węzły ciepłownicze – Przyczyny powstawania strat ciepła i nośnika w systemie ciepłowniczym*; Wydawnictwo Forum; Poznań 2012
- [2] PN-B-02421:1985 *Ogrzewnictwo i ciepłownictwo – Izolacja cieplna rurociągów, armatury i urządzeń – Wymagania i badania*
- [3] PN-M-34030:1977 *Izolacja cieplna urządzeń energetycznych – Wymagania i badania*
- [4] EN 13941+A1:2010 *Projektowanie i budowa sieci ciepłowniczych z systemu preizolowanych rur z rur preizolowanych [Design and installation*

of preinsulated bonded pipe systems for district heating]

- [5] Peter Randløv; *Podręcznik ciepłownictwa system rur preizolowanych*; European District Heating Pipe Manufacturers Association; Fredericia 1998
- [6] PN-EN 15698-1:2009 *Sieci ciepłownicze – System preizolowanych zespolonych rur do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie – Część 1: zespół dwururowy ze stalowej rury przewodowej, izolacji cieplnej z poliuretanu i płaszczu osłonowego z polietylenu*
- [7] Informator Techniczny Pionu Eksploatacji SPEC, Warszawa 1987 rok

- [8] PN-EN 253:2005 *Sieci ciepłownicze – System preizolowanych zespolonych rur do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie – Zespół rurowy ze stalowej rury przewodowej, izolacji cieplnej z poliuretanu i płaszczu osłonowego z polietylenu*
- [9] PN-EN 253:2009 *Sieci ciepłownicze – System preizolowanych zespolonych rur do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie – Zespół rurowy ze stalowej rury przewodowej, izolacji cieplnej z poliuretanu i płaszczu osłonowego z polietylenu*

Odnawiamy zasoby świata



Odkrywamy energię dla miasta

**CIEPŁO
SYSTEMOWE**

Ekologia

Bezpieczeństwo

Komfort