

Analiza możliwości zmniejszenia kosztów przesyłania i strat ciepła przez integrację rurociągów preizolowanych tradycyjnych, podwójnych i giętkich

Analysis of Possible Reduction of Costs and Losses Concerning Heat Transfer through Integration of Traditional Pre-insulated Double and Flexible Pipelines

EWA KRĘCIELEWSKA*)
ARTUR ŁEBEK**)
ADAM SMYK***)

Słowa kluczowe: koszty przesyłania, rurociągi preizolowane tradycyjne, podwójne i giętkie

Streszczenie

W artykule porównano nakłady inwestycyjne oraz jednostkowe straty ciepła rurociągów preizolowanych tradycyjnych (z czarną rurą przewodową), podwójnych typu „Twin” (z dwiema rurami przewodowymi o takiej samej średnicy w jednej rurze osłonowej) i giętkich (z cienkościnną karbowaną rurą przewodową ze stali odpornej na korozję).

Keywords: costs and Losses, pre-insulated pipelines of Traditional Pre-insulated Double and Flexible Pipelines

Abstract

The paper presents a comparison of the investment and unitary heat loss of pre-insulated traditional pipelines (with a black line pipe), double of “Twin” type; (two-line pipe of the same diameter in one casing pipe) and flexible (with a thin wall corrugated anti-corrosive steel line pipe).

© 2006-2011 Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.
All right reserved

W SYSTEMACH ciepłowniczych istotną rolę odgrywa ją sieci ciepłownicze. Mają one znaczący wpływ na koszty ciepła loco odbiorca, na straty przesyłania ciepła, ale także na niezawodność jego dostawy do odbiorców, a więc i bezpieczeństwo energetyczne. Od lat 90. XX wieku tradycyjne sieci kanałowe zastępowane są preizolowanymi. Rurociągi preizolowane, odpowiednio wykonane u producenta i starannie zmontowane przez wykonawcę, spowodują obniżenie kosztów przesyłania ciepła, w tym kosztów strat ciepła w rurociągach transportujących nośnik ciepła.

Rozwój technologii sprawił, że na rynku dostępne są obecnie zarówno „tradycyjne” rurociągi preizolowane, składające się z przewodu zasilającego i powrotnego w oddzielnych płaszczach osłonowych, z czarną sztywną rurą przewodową, z izolacją o grubości takiej samej na zasilaniu i powrocie, jak i rurociągi giętkie, z karbowaną, cienkościnną rurą przewodową ze stali nierdzewnej austenitycznej – odpornej na korozję¹⁾ oraz podwójne, składające się z przewodu zasilającego i powrotnego we wspólnym płaszczu osłonowym.

W artykule porównano straty przesyłania ciepła, nakłady inwestycyjne oraz koszty przesyłania ciepła dla ruro-

ciągów preizolowanych: tradycyjnych, podwójnych i giętkich. Informacje te są niezbędne w analizach techniczno-ekonomicznych dotyczących wyboru rodzaju rurociągów w trakcie wymiany lub modernizacji sieci ciepłowniczej.

Przedmiotem analizy nie były rury preizolowane z barierą antydyfuzyjną, ani rury preizolowane wyprodukowane metodą ciągłą tzw. CONTI. Górna granica średnic nominalnych wyrobów preizolowanych wynika z technologii ich produkcji. Rurociągi giętkie porównano z tradycyjnymi i podwójnymi w zakresie DN32 ÷ DN100, natomiast rury podwójne porównano z tradycyjnymi w zakresie DN32÷DN150. Zakres analizy jest następujący:

Typ rurociągu preizolowanego	Oznaczenie	Fotografia
Nowe tradycyjne rurociągi preizolowane DN32 ÷ DN1200, z izolacją o standardowej grubości	nowy preizolat tradycyjny, standard	1
Tradycyjne rurociągi preizolowane DN32 ÷ DN1200, po 10 latach eksploatacji	preizolat >10 lat tradycyjny, standard	-
Nowe tradycyjne rurociągi preizolowane DN32 ÷ DN1200, z pogrubioną izolacją	preizolat tradycyjny, plus	-
Nowe giętkie rurociągi preizolowane DN32 ÷ DN100, z izolacją o standardowej grubości	rury giętkie, standard	2, 3
Nowe rurociągi preizolowane DN32 ÷ DN100 giętkie, z pogrubioną izolacją	rury giętkie, plus	-
Nowe podwójne rury preizolowane 2xDN32/160 ÷ 2xDN150/450 z dwiema rurami przewodowymi o takiej samej średnicy w jednej rurze osłonowej	rury podwójne, standard	4

¹⁾ X5CrNi18-10 (1.4301); X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571); X2CrNi1Mo7-12-2 (1.4404)

*) Mgr inż. Ewa Kręcielewska – OBRC SPEC SA; Ewa.kręcielewska@spec.waw.pl

**) Mgr inż. Artur Łebek – OBRC SPEC SA

***) Dr inż. Adam Smyk – ITC PW, OBRC SPEC SA



Fot. 1. Montaż tradycyjnych rurociągów preizolowanych



Fot. 2. Giętka rura preizolowana przed montażem



Fot. 3. Giętka rura preizolowana układana w wykopie



Fot. 4. Rury preizolowane podwójne składowane na placu budowy

1. Jednostkowe straty ciepła

Jednostkowe straty ciepła dla wyszczególnionych grup rurociągów wyznaczono dla parametrów nośnika ciepła wg tabeli 1.1. Współczynniki przewodzenia ciepła i po-

TABELA 1.1. Współczynniki przewodzenia ciepła, temperatura zasilania i powrotu oraz parametry gruntu przyjęte do obliczeń

Parametr	Wartość	Jednostka	Uwagi
Współczynnik przewodzenia ciepła gruntu λ_s	1,5	W/m·K	współczynnik przewodzenia ciepła gruntu wilgotnego $\lambda_s = 2$ W/mK; suchego $\lambda_s = 1$ W/mK
Współczynnik przewodzenia ciepła stali λ_{stali}	50	W/m·K	na podstawie normy PN-EN 253:2009
Współczynnik przewodzenia ciepła HDPE λ_{HDPE}	0,4	W/mK	
Współczynnik przewodzenia ciepła pianki PUR λ_{50} (dla pianek spienianych cyklopentanem w nowych rurociągach preizolowanych)	0,029	W/m·K	
Współczynnik przewodzenia ciepła pianki PUR λ_{50} (dla pianek spienianych CO ₂ w rurociągach preizolowanych po 10 latach eksploatacji)	0,038	W/m·K	na podstawie badań OBRC
Średnia temperatura zasilanie w sezonie grzewczym	82	°C	na podstawie danych uzyskanych z Pracowni Węzłów Ciepłych i Regulacji OBRC
Średnia temperatura powrót w sezonie grzewczym	47	°C	
Średnia temperatura zasilanie lato	73	°C	
średnia temperatura powrót lato	45	°C	
Temperatura gruntu w sezonie grzewczym na głębokości 0,5 metra	8	°C	na podstawie danych IMiGW
Temperatura gruntu w lecie na głębokości 0,5 metra	10	°C	

zostałe wartości temperatury przyjęto wg tabeli 1.2. Pozostałe dane wykorzystane w obliczeniach (wymiary rur, wymiary wykopów) przyjęto na podstawie katalogów producentów rur preizolowanych oraz wg [1].

Jednostkowe straty ciepła dla różnych rodzajów rurociągów preizolowanych obliczono na podstawie metodyki opisanej w [2] ÷ [6].

W tabelach 1.2 ÷ 1.3 oraz na wykresach 1.1 ÷ 1.3 przedstawiono jednostkowe straty ciepła w rurociągach preizolowanych wykonanych w różnych technologiach przy średnich parametrach nośnika ciepła w sezonie ogrzewczym i w lecie.

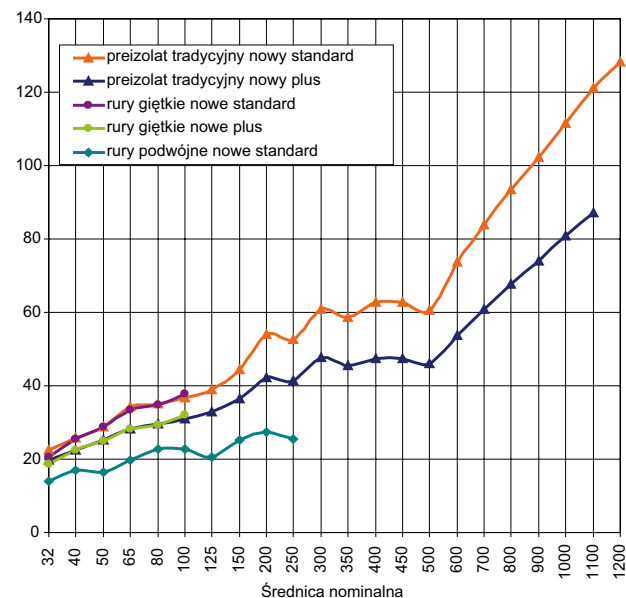
TABELA 1.2. Jednostkowe straty ciepła rurociągów preizolowanych przy średnich parametrach czynnika grzejącego 82/47°C (sezon ogrzewczy)

DN	Preizolat tradycyjny			Rury giętke		rury TWIN
	>10 lat standard	nowy standard	nowy plus	nowe standard	nowe plus	nowe standard
	q (W/m)					
32	28,9	22,4	19,8	20,6	18,5	14,0
40	33,1	25,8	22,4	25,5	22,3	17,1
50	36,9	28,9	25,2	28,7	24,9	16,3
65	43,6	34,1	28,3	33,5	28,1	19,7
80	44,8	35,1	29,6	34,8	29,4	22,8
100	46,9	36,7	30,9	37,7	32,0	22,6
125	54,1	38,8	32,9	-	-	20,4
150	62,9	44,3	36,3	-	-	25,3
200	68,6	54,0	42,2	-	-	27,5
250	67,9	52,5	41,4	-	-	25,5
300	78,6	60,7	47,6	-	-	-
350	76,4	58,7	45,5	-	-	-
400	82,0	62,6	47,3	-	-	-
450	118,3	62,9	47,3	-	-	-
500	113,7	60,6	46,1	-	-	-
600	96,8	73,6	53,6	-	-	-
700	102,0	83,9	60,8	-	-	-
800	112,7	93,5	67,6	-	-	-
900	122,5	102,3	74,1	-	-	-
1000	132,6	111,4	81,0	-	-	-
1100	143,1	121,0	87,0	-	-	-
1200	151,0	128,2	-	-	-	-

TABELA 1.3. Jednostkowe straty ciepła rurociągów preizolowanych przy średnich parametrach czynnika grzejącego 73/45°C (lato)

DN	Preizolat tradycyjny			Rury giętkie		Rury TWIN
	>10 lat standard	nowy standard	nowy plus	nowe standard	nowe plus	nowe standard
	q (W/m)					
32	24,7	19,0	16,8	17,5	15,7	12,2
40	28,2	21,9	19,0	21,6	18,9	14,8
50	31,5	24,5	21,3	24,3	21,1	14,2
65	37,1	28,9	24,0	28,4	23,8	17,1
80	38,2	29,7	25,1	29,4	24,9	19,8
100	40,0	31,1	26,1	31,9	27,0	19,6
125	46,1	32,9	27,9	-	-	17,7
150	53,7	37,5	30,8	-	-	21,9
200	58,6	45,8	35,7	-	-	23,9
250	58,0	44,5	35,1	-	-	22,1
300	67,1	51,5	40,3	-	-	-
350	65,2	49,7	38,5	-	-	-
400	70,0	53,1	40,1	-	-	-
450	101,2	53,3	40,0	-	-	-
500	97,1	51,3	39,0	-	-	-
600	82,6	62,4	45,4	-	-	-
700	87,0	71,1	51,5	-	-	-
800	96,1	79,3	57,3	-	-	-
900	104,5	86,8	62,8	-	-	-
1000	113,2	94,6	68,6	-	-	-
1100	122,2	102,8	73,8	-	-	-
1200	129,0	109,0	-	-	-	-

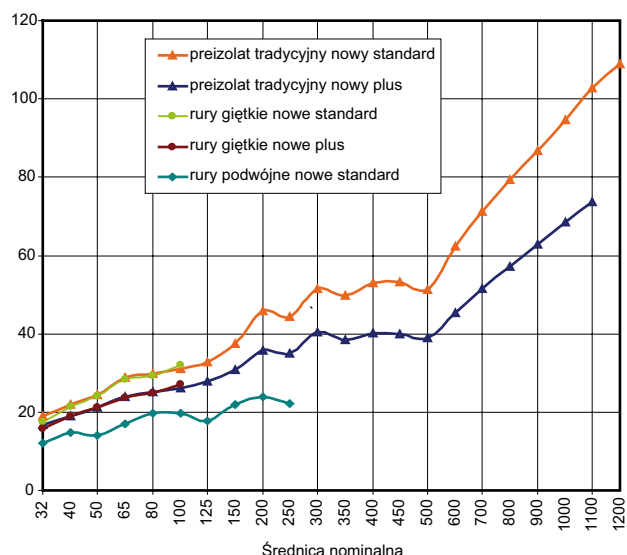
Jednostkowe straty ciepła q [W/m]



Wykres 1.1. Jednostkowe straty ciepła preizolowanych sieci ciepłowniczych wykonanych w różnych technologiach dla średnich parametrów pracy w sezonie ogrzewczym

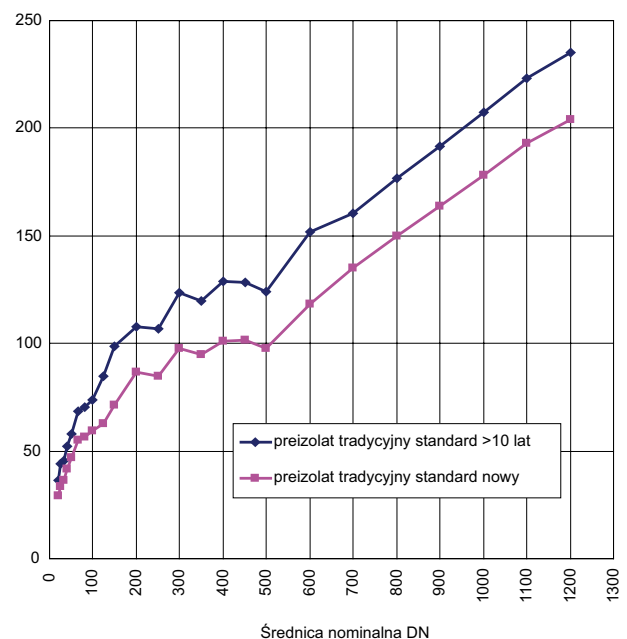
Na podstawie analizy wykresów 1.1 oraz 1.2 można stwierdzić, że zarówno w sezonie ogrzewczym, jak i w okresie letnim, jednostkowe straty ciepła w tradycyjnych rurociągach preizolowanych standard są porówny-

Jednostkowe straty ciepła q [W/m]



Wykres 1.2. Jednostkowe straty ciepła preizolowanych sieci ciepłowniczych wykonanych w różnych technologiach dla średnich parametrów pracy w sezonie letnim

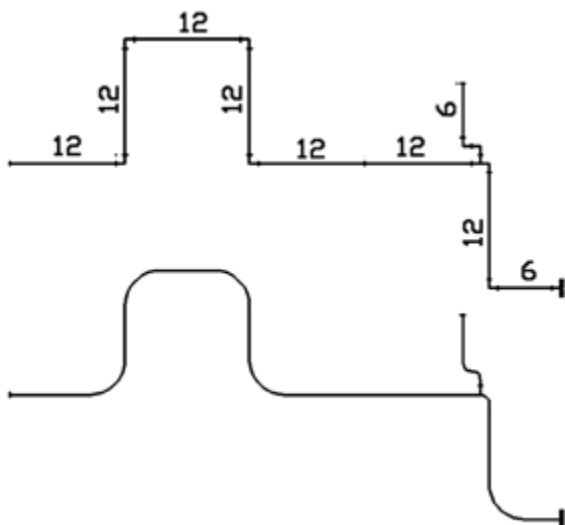
Jednostkowe straty ciepła q , W/m



Wykres 1.3. Jednostkowe straty ciepła w funkcji średnicy nominalnej DN w nowym rurociągu preizolowanym z izolacją standard oraz po 10 latach eksploatacji

walne ze stratami w giętkich rurociągach preizolowanych z izolacją standard i wyższe, niż w rurociągach tradycyjnych i giętkich z izolacją plus. **Najmniejszymi jednostkowymi stratami ciepła charakteryzują się rury podwójne.**

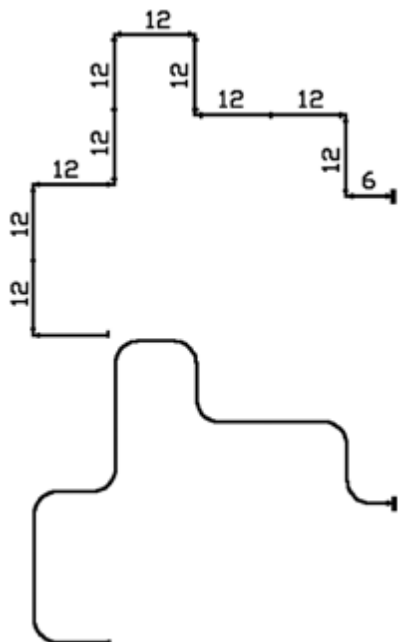
Izolacja w rurach preizolowanych ulega starzeniu. Na skutek wymiany gazów w komórkach pianki PUR (na zewnątrz dyfundują porofory – cyklopentan, dwutlenek węgla, do wewnątrz – powietrze) zmienia się (rośnie) współczynnik przewodzenia ciepła izolacji. Na wykresie 1.3. przedstawiono jednostkowe straty ciepła w nowym rurociągu preizolowanym z izolacją standard oraz po 10 latach eksploatacji.



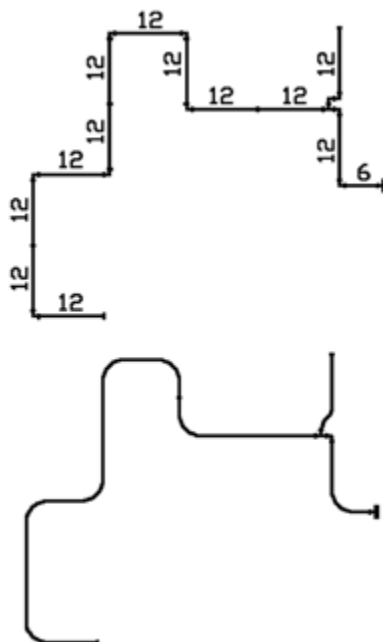
Schemat 4. Przyłącze $L = 2 \times 100$ m, z jednym odgałęzieniem (na górze – rurociąg preizolowany tradycyjny i podwójny, na dole – rurociąg giętki)

TABELA 2.4. Straty ciepła przez przenikanie oraz ich koszt – rurociągi ułożone wg schematu 4

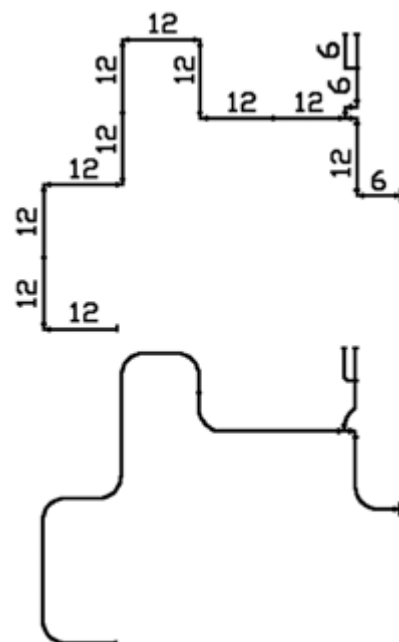
DN	Straty ciepła przez przenikanie									
	preizolat tradycyjny standard		preizolat tradycyjny plus		rury giętkie standard		rury giętkie plus		rury podwójne	
	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok
32	69,8	2512	61,7	2221	64,2	2311	57,6	2074	44,1	1588
40	80,3	2891	69,8	2512	79,2	2852	69,4	2500	53,6	1930
50	89,9	3236	78,3	2817	89,2	3211	77,6	2793	51,3	1847
65	106,2	3822	88,1	3170	104,3	3755	87,4	3146	62,0	2233
80	109,2	3930	92,1	3316	108,1	3893	91,6	3297	71,6	2579
100	114,2	4111	96,0	3455	117,4	4225	99,4	3579	71,1	2559
125	120,8	4349	102,5	3689	-	-	-	-	64,2	2312
150	137,7	4958	113,0	4070	-	-	-	-	79,5	2862
200	168,0	6049	131,3	4727	-	-	-	-	86,4	3112
250	163,3	5880	128,9	4639	-	-	-	-	80,2	2887



Schemat 5. Przyłącze $L = 2 \times 150$ m (na górze – rurociąg preizolowany tradycyjny i podwójny, na dole – rurociąg giętki)



Schemat 6. Przyłącze $L = 2 \times 150$ m, z jednym odgałęzieniem (na górze – rurociąg preizolowany tradycyjny i podwójny, na dole – rurociąg giętki)



Schemat 7. Przyłącze $L = 2 \times 150$ m, z dwoma odgałęzieniami (na górze – rurociąg preizolowany tradycyjny i podwójny, na dole – rurociąg giętki)

TABELA 2.5. Straty ciepła przez przenikanie oraz ich koszt – rurociągi ułożone wg schematu 5

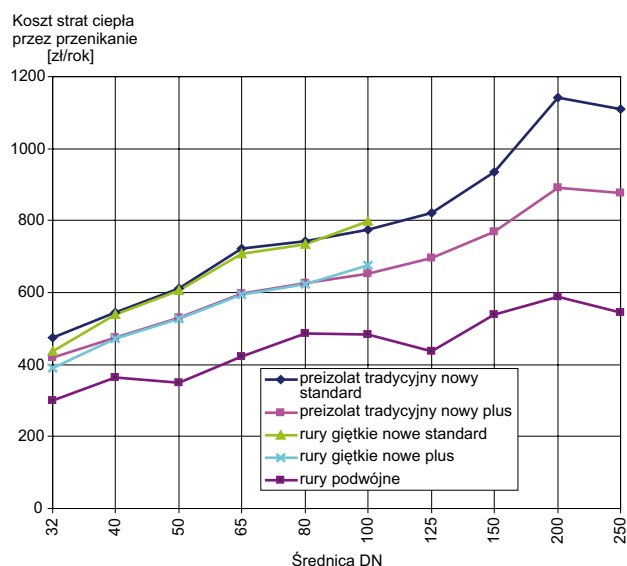
DN	Straty ciepła przez przenikanie									
	preizolat tradycyjny standard		preizolat tradycyjny plus		rury giętkie standard		rury giętkie plus		rury podwójne	
	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok
32	98,7	3554	87,3	3143	90,8	3270	81,5	2935	62,4	2248
40	113,7	4092	98,8	3555	112,1	4036	98,3	3538	75,9	2731
50	127,2	4579	110,7	3986	126,2	4543	109,8	3953	72,6	2614
65	150,2	5408	124,6	4486	147,6	5314	123,7	4452	87,8	3160
80	154,5	5562	130,3	4692	153,0	5509	129,6	4665	101,4	3649
100	161,6	5817	135,8	4890	166,1	5978	140,7	5065	100,6	3621
125	171,0	6155	145,0	5220	-	-	-	-	90,9	3272
150	194,9	7016	160,0	5759	-	-	-	-	112,5	4050
200	237,8	8559	185,8	6689	-	-	-	-	122,3	4404
250	231,1	8321	182,4	6565	-	-	-	-	113,5	4085

TABELA 2.6. Straty ciepła przez przenikanie oraz ich koszt – rurociągi ułożone wg schematu 6

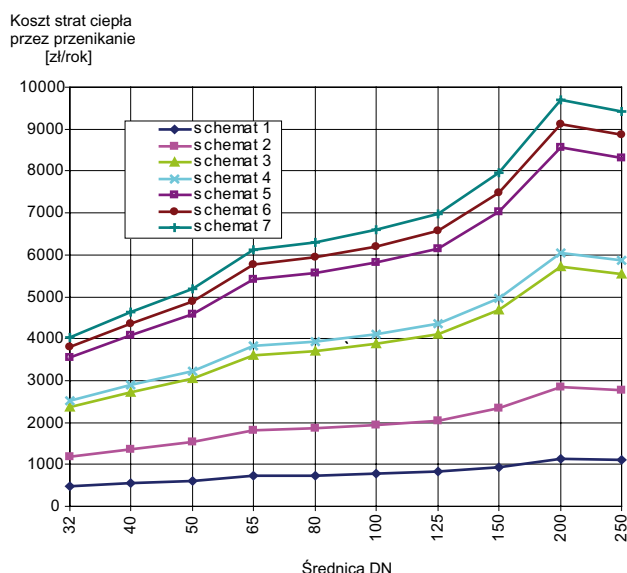
DN	Straty ciepła przez przenikanie									
	preizolat tradycyjny standard		preizolat tradycyjny plus		rury giętkie standard		rury giętkie plus		rury podwójne	
	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok
32	105,3	3791	93,1	3352	96,9	3488	87,0	3131	66,6	2398
40	121,2	4364	105,3	3792	119,6	4305	104,8	3774	80,9	2913
50	135,7	4884	118,1	4252	134,6	4846	117,1	4216	77,5	2788
65	160,2	5769	132,9	4785	157,5	5669	131,9	4749	93,6	3370
80	164,8	5933	139,0	5005	163,2	5876	138,2	4976	108,1	3893
100	172,4	6205	144,9	5216	177,1	6377	150,1	5402	107,3	3863
125	182,4	6565	154,7	5568	-	-	-	-	97,0	3490
150	207,9	7484	170,6	6143	-	-	-	-	120,0	4320
200	253,6	9130	198,2	7135	-	-	-	-	130,5	4697
250	246,6	8876	194,5	7003	-	-	-	-	121,0	4358

TABELA 2.7. Straty ciepła przez przenikanie oraz ich koszt – rurociągi ułożone wg schematu 7

DN	Straty ciepła przez przenikanie									
	preizolat tradycyjny standard		preizolat tradycyjny plus		rury giętkie standard		rury giętkie plus		rury podwójne	
	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok	GJ/rok	zł/rok
32	111,9	4028	98,9	3562	102,9	3706	92,4	3327	70,8	2547
40	128,8	4637	111,9	4029	127,1	4574	111,4	4010	86,0	3095
50	144,1	5189	125,5	4518	143,0	5149	124,4	4480	82,3	2963
65	170,3	6129	141,2	5084	167,3	6023	140,2	5046	99,5	3581
80	175,1	6303	147,7	5317	173,4	6243	146,9	5287	114,9	4136
100	183,1	6593	153,9	5542	188,2	6775	159,4	5740	114,0	4104
125	193,8	6975	164,3	5916	-	-	-	-	103,0	3708
150	220,9	7952	181,3	6527	-	-	-	-	127,5	4590
200	269,5	9701	210,6	7581	-	-	-	-	138,6	4991
250	262,0	9431	206,7	7441	-	-	-	-	128,6	4630



Wykres 2.1. Koszt strat ciepła przez przenikanie przy zastosowaniu różnych rur preizolowanych (dla schematu 1)



Wykres 2.2. Koszt strat ciepła przez przenikanie przy zastosowaniu rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard (dla schematów 1 ÷ 7)

Na wykresie 2.1 pokazano, jak zmienia się koszt strat ciepła przez przenikanie przy zastosowaniu różnych rur preizolowanych, dla rurociągów ułożonych wg schematu 1. Na wykresie 2.2. pokazano, jak zmienia się koszt strat ciepła przez przenikanie przy zastosowaniu tradycyjnych nowych rur preizolowanych, o standardowej grubości izolacji, dla schematów 1 ÷ 7.

Straty ciepła przez przenikanie i koszt strat ciepła przez przenikanie są:

- najniższe w przypadku rur preizolowanych podwójnych.
- porównywane dla rur preizolowanych tradycyjnych i giętkich,
- większe dla rur preizolowanych z izolacją standard, niż dla rur preizolowanych z izolacją plus.

3. Nakłady inwestycyjne

W celu określenia całkowitych nakładów inwestycyjnych na budowę rurociągów preizolowanych wykonanych w różnych technologiach zebrano dane od producentów rur.

Całkowite nakłady inwestycyjne I_C obliczono wg formuły:

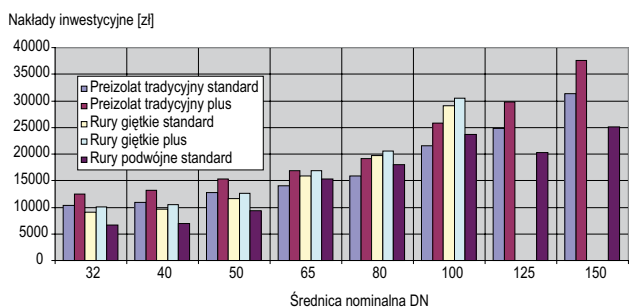
$$I_C = I_z + I_m$$

gdzie:

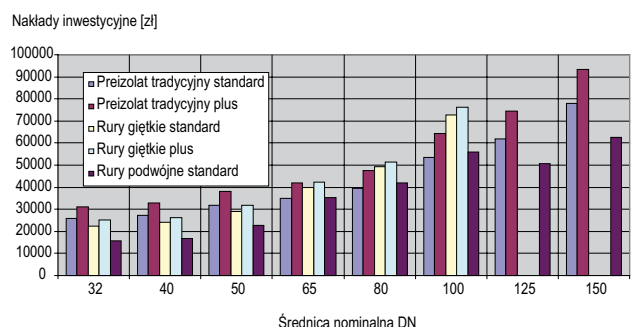
I_z – koszt materiałów, zł,

I_m – koszt montażu, zł.

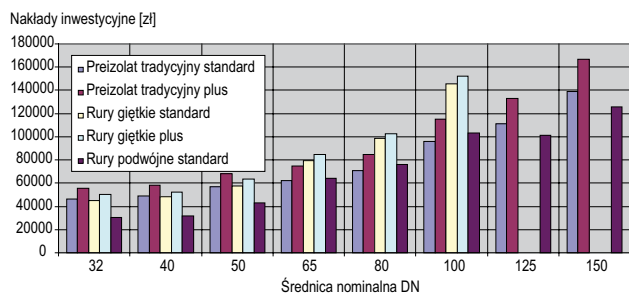
Na wykresach 3.1 ÷ 3.7 przedstawiono nakłady inwestycyjne na budowę rurociągów preizolowanych (zasilanie + powrót) wykonanych w różnych technologiach.



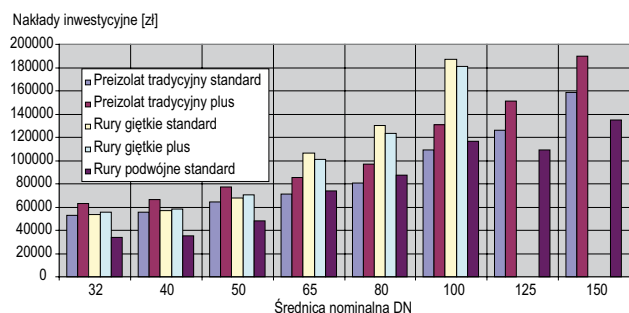
Wykres 3.1. Porównanie nakładów inwestycyjnych na budowę rurociągów preizolowanych wykonanych w różnych technologiach wg schematu 1



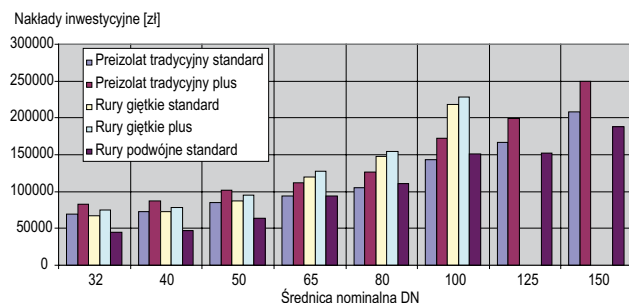
Wykres 3.2. Porównanie nakładów inwestycyjnych na budowę rurociągów preizolowanych wykonanych w różnych technologiach wg schematu 2



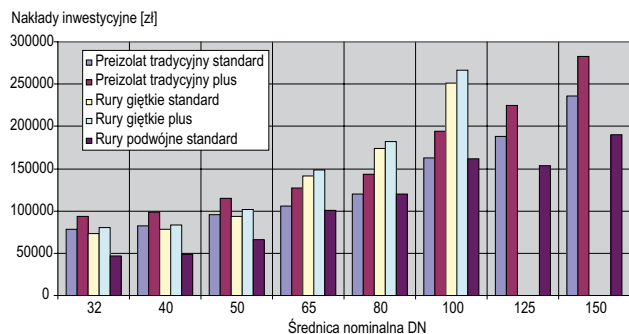
Wykres 3.3. Porównanie nakładów inwestycyjnych na budowę rurociągów preizolowanych wykonanych w różnych technologiach wg schematu 3



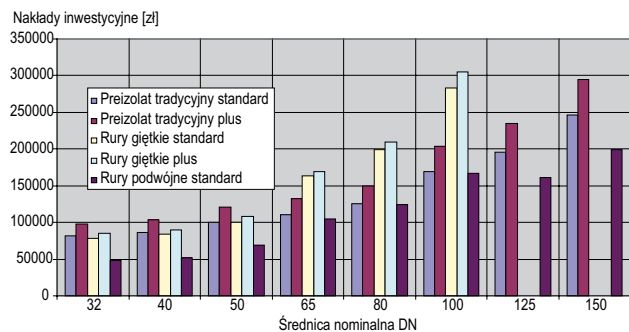
Wykres 3.4. Porównanie nakładów inwestycyjnych na budowę rurociągów preizolowanych wykonanych w różnych technologiach wg schematu 4



Wykres 3.5. Porównanie nakładów inwestycyjnych na budowę rurociągów preizolowanych wykonanych w różnych technologiach wg schematu 5



Wykres 3.6. Porównanie nakładów inwestycyjnych na budowę rurociągów preizolowanych wykonanych w różnych technologiach wg schematu 6



Wykres 3.7. Porównanie nakładów inwestycyjnych na budowę rurociągów preizolowanych wykonanych w różnych technologiach wg schematu 7

Ocena przyłączy s.c. w zakresie przewidywanych nakładów inwestycyjnych

Schemat odcinka s.c.	Opis odcinka s.c.	Porównanie nakładów inwestycyjnych
1	$L = 2 \times 20 \text{ m}$ (bez odgałęzień)	– DN32, DN40, DN50, DN125 oraz DN150 z rur podwójnych są najniższe, – DN 65, DN80 oraz DN100 z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard są najniższe, – DN32, DN40 oraz DN50 z rur giętkich z izolacją standard są niższe, niż nakłady na budowę z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard.
2	$L = 2 \times 50 \text{ m}$ (bez odgałęzień)	– DN32, DN40, DN50, DN125 oraz DN150 z rur podwójnych są najniższe, – DN 65 z rur podwójnych są porównywalne do nakładów na budowę rurociągów z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard, – DN80 oraz DN100 z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard są najniższe, – DN32, DN40 oraz DN50 z rur giętkich z izolacją standard są niższe, niż nakłady na budowę z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard.
3	$L = 2 \times 100 \text{ m}$ (bez odgałęzień)	– DN32, DN40, DN50, DN125 oraz DN150 z rur podwójnych są najniższe, – DN65, DN80 oraz DN100 z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard są najniższe, – DN32, DN40 oraz DN50 z rur giętkich z izolacją standard są porównywalne do nakładów na budowę z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard.
4	$L = 2 \times 100 \text{ m}$ (z jednym odgałęzieniem)	– DN32, DN40, DN50, DN125 oraz DN150 z rur podwójnych są najniższe, – DN 65 z rur podwójnych są porównywalne do nakładów na budowę rurociągów z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard, – DN80 oraz DN100 z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard są najniższe, – DN32, DN40 z rur giętkich z izolacją standard są nieco wyższe od nakładów na budowę rurociągów z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard.
5	$L = 2 \times 150 \text{ m}$ (bez odgałęzień)	– DN32, DN40, DN50, DN125 oraz DN150 z rur podwójnych są najniższe, – DN 65 z rur podwójnych są porównywalne do nakładów na budowę rurociągów z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard, – DN80 oraz DN100 z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard są najniższe, – DN32, DN40, DN50 z rur giętkich z izolacją standard są porównywalne z nakładami na budowę rurociągów z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard.
6	$L = 2 \times 150 \text{ m}$ (z jednym odgałęzieniem)	– DN32, DN40, DN50, DN125 oraz DN150 z rur podwójnych są najniższe, – DN 65, DN80 oraz DN100 z rur podwójnych są porównywalne do nakładów na budowę rurociągów z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard, – DN32, DN40, DN50 z rur giętkich z izolacją standard są porównywalne z nakładami na budowę rurociągów z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard.
7	$L = 2 \times 150 \text{ m}$ (z dwoma odgałęzieniami)	– DN32, DN40, DN50, DN 65, DN125 oraz DN150 z rur podwójnych są najniższe, – DN80 oraz DN100 z rur podwójnych są porównywalne do nakładów na budowę rurociągów z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard, – DN32, DN40, DN50 z rur giętkich z izolacją standard są porównywalne z nakładami na budowę rurociągów z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard.

We wszystkich analizowanych przypadkach nakłady inwestycyjne na budowę rurociągów preizolowanych:

- DN32, DN40, DN50, DN 125 oraz DN150 z rur preizolowanych podwójnych są najniższe,
- DN32, DN40, DN50 z rur giętkich z izolacją standard są porównywalne z nakładami na budowę rurociągów z rur preizolowanych tradycyjnych z izolacją standard.

Dla niektórych analizowanych przypadków – schematy (1 ÷ 5) najniższe nakłady inwestycyjne są na budowę rurociągów preizolowanych DN65, DN80 i DN100 z rur preizolowanych tradycyjnych standard.

4. Koszt przesyłania ciepła

Jednostkowy koszt przesyłania ciepła K_{qp} wyznaczany jest wg wzoru:

$$k_{qp} = \frac{I_0 + \sum_1^n f \cdot I_0 \cdot a_t + \sum_1^n K_{pt} \cdot a_t}{\sum_1^n Q_{odb_t} \cdot a_t} \quad (1)$$

gdzie:

- k_{qp} – jednostkowy koszt przesyłania ciepła, zł/GJ,
 - Q_{odb_t} – ilość ciepła dostarczona do odbiorców w roku, GJ/a,
 - I_0 – nakłady inwestycyjne zdyskontowane na rok „0”, zł/a,
 - f – współczynnik kosztów remontów (w przypadku sieci ciepłowniczych 0,02 ÷ 0,03),
 - a_t – współczynnik dyskontujący; $a_t = \frac{1}{(1+d)^t}$,
 - d – stopa dyskontowa (dla inwestycji związanych z budową sieci ciepłowniczych przyjmuje się 7 ÷ 8%),
 - n – czas eksploatacji, przyjęto 30 lat,
 - K_{pt} – koszt eksploatacyjny przesyłania ciepła, zł/a.
- Przyjmując stałe wartości $Q_{odb_t} = Q_{odb}$ oraz $K_{pt} = K_p$ równanie (1) można przekształcić do postaci:

$$k_{qp} = \frac{p \cdot I + K_p}{Q_{odb}} \quad (2)$$

gdzie p – współczynnik kosztów stałych:

$$p = \frac{1}{\sum_1^n a_t} + f \quad (3)$$

Dla stopy dyskonta $d = 0,08$, $f = 0,02$ oraz czasu eksploatacji $n = 30$ lat współczynnik $p = 0,1088$, a dla $d = 0,07$, $f = 0,02$ i $n = 30$ lat współczynnik $p = 0,1006$, zatem w analizie przyjęto współczynnik kosztów stałych $p = 0,1$.

Ponieważ dla analizowanych rodzajów sieci zmianie ulegają głównie nakłady inwestycyjne i straty ciepła, jako kryterium porównawcze przyjęto:

$$K_{qp} = p \cdot I + c_{qs} \cdot Q_{strat_q} + K_{pp} \quad (4)$$

gdzie:

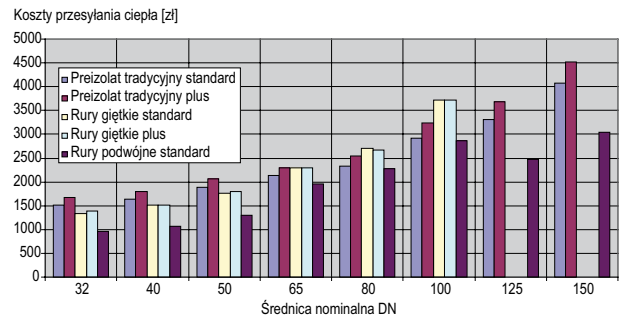
- c_{qs} – 36 zł/GJ; przyjęto na poziomie średniej ceny taryfowej wytwarzania i przesyłu ciepła ($U = 7000$ GJ/MW). Jest to maksymalna cena jaką można przyjmować do określenia kosztów strat przesyłania ciepła.
- Q_{strat_q} – straty ciepła w analizowanych schematach sieci ciepłowniczych, GJ/a,
- K_{pp} – koszty eksploatacyjne pozostałe, zł/a.

Wartość K_{pp} w nieznacznym stopniu zależy od rodzaju rurociągów i jako w przybliżeniu stała, została pominięta w analizie.

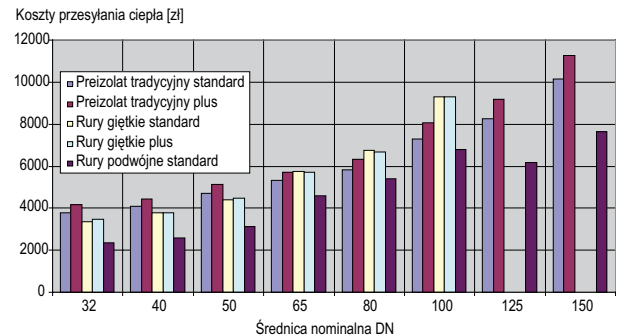
Tak więc wzór (4) można uprościć do postaci:

$$K_{qp} = p \cdot I + c_{qs} \cdot Q_{strat_q} \quad (5)$$

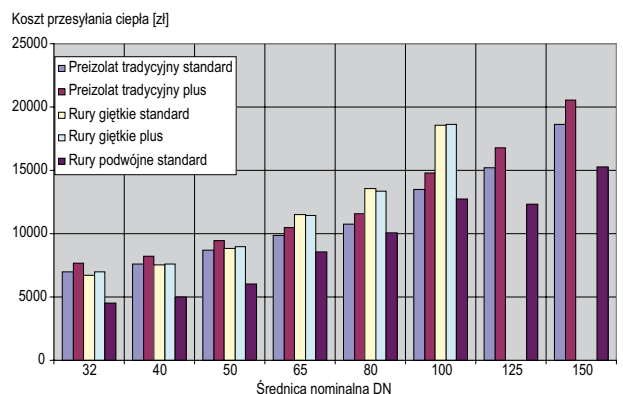
Na wykresach 4.1 ÷ 4.7 porównano koszty przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi wykonanymi w różnych technologiach.



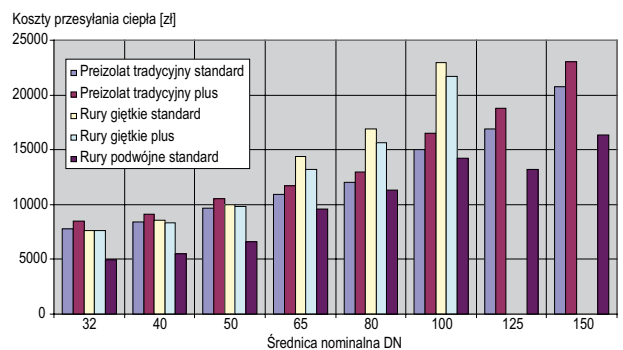
Wykres 4.1. Porównanie kosztów przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi wykonanymi w różnych technologiach wg schematu 1



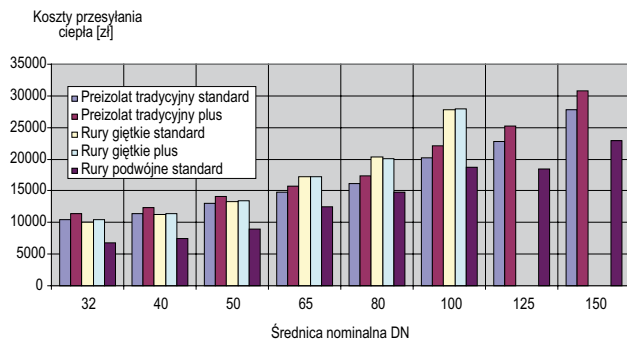
Wykres 4.2. Porównanie kosztów przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi wykonanymi w różnych technologiach wg schematu 2



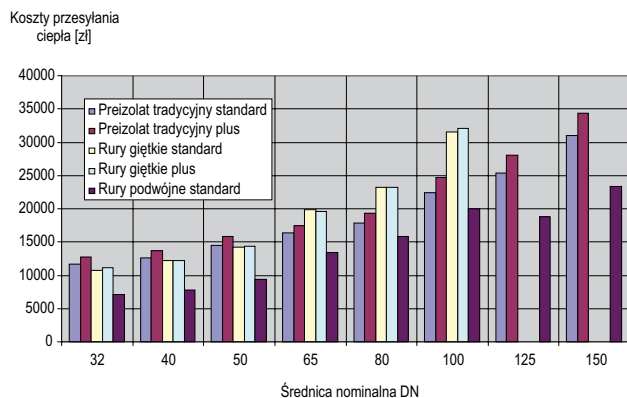
Wykres 4.3. Porównanie kosztów przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi wykonanymi w różnych technologiach wg schematu 3



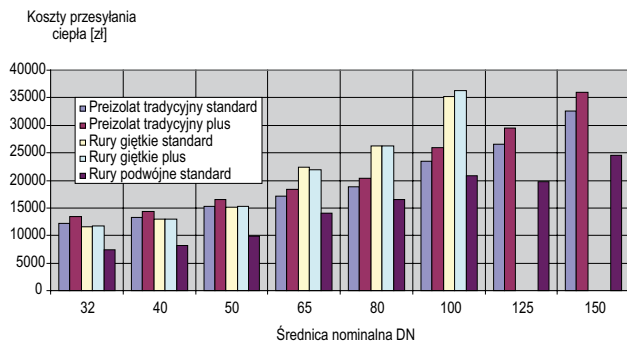
Wykres 4.4. Porównanie kosztów przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi wykonanymi w różnych technologiach wg schematu 4



Wykres 4.5. Porównanie kosztów przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi wykonanymi w różnych technologiach wg schematu 5



Wykres 4.6. Porównanie kosztów przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi wykonanymi w różnych technologiach wg schematu 6



Wykres 4.7. Porównanie kosztów przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi wykonanymi w różnych technologiach wg schematu 7

We wszystkich analizowanych przypadkach koszt przesyłania ciepła podwójnymi rurami preizolowanymi 2xDN32/160 ÷ 2xDN150/450 (o standardowej grubości izolacji) jest najniższy.

W przypadku pojedynczych rurociągów preizolowanych DN32 ÷ DN50 koszt przesyłania ciepła rurociągami giętkimi (standard i plus) jest porównywalny z kosztem przesyłania rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi standard. Biorąc jednakże pod uwagę aspekty pozaekonomiczne można stwierdzić, że w wielu przypadkach bardziej opłacalne jest stosowanie preizolowanych rur giętkich, niż tradycyjnych rur preizolowanych standard.

W przypadku pojedynczych rurociągów preizolowanych DN65 ÷ DN100 koszt przesyłania ciepła tradycyjnymi rurociągami preizolowanymi standard jest niższy, niż koszt przesyłania rurociągami giętkimi i tradycyjnymi rurociągami plus.

Ocena przyłączy s.c. w zakresie przewidywanych kosztów przesyłania ciepła

Schemat odcinka s.c.	Opis odcinka s.c.	Porównanie nakładów inwestycyjnych
1	$L = 2 \times 20 \text{ m}$ (bez odgałęzień)	Koszt przesyłania ciepła jest najniższy w przypadku rur podwójnych. Koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi giętkimi: – DN32 ÷ DN50 jest mniejszy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi standard, – DN65 jest porównywalny z kosztem przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi plus i wyższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi standard, – DN80 ÷ DN100 jest wyższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi plus.
2	$L = 2 \times 50 \text{ m}$ (bez odgałęzień)	Koszt przesyłania ciepła jest najniższy w przypadku rur podwójnych. Koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi giętkimi: – DN32 ÷ DN50 jest niższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi standard. – DN65, DN80 ÷ DN100 jest porównywalny lub wyższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi plus.
3	$L = 2 \times 100 \text{ m}$ (bez odgałęzień)	Koszt przesyłania ciepła jest najniższy w przypadku rur podwójnych. Koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi giętkimi: – DN32 ÷ DN50 jest porównywalny lub niższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi standard, – DN65, DN80 ÷ DN100 jest wyższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi plus.
4	$L = 2 \times 100 \text{ m}$ (z jednym odgałęzieniem)	Koszt przesyłania ciepła jest najniższy w przypadku rur podwójnych. Koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi giętkimi: – DN32 ÷ DN50 jest porównywalny lub wyższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi standard, – DN65, DN80 ÷ DN100 jest wyższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi plus.
5	$L = 2 \times 150 \text{ m}$ (bez odgałęzień)	Koszt przesyłania ciepła jest najniższy w przypadku rur podwójnych. Koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi giętkimi: – DN32 ÷ DN50 jest porównywalny lub wyższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi standard, – DN65, DN80 ÷ DN100 jest wyższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi plus.
6	$L = 2 \times 150 \text{ m}$ (z jednym odgałęzieniem)	Koszt przesyłania ciepła jest najniższy w przypadku rur podwójnych. Koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi giętkimi: – DN32 ÷ DN50 jest porównywalny lub niższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi standard, – DN65, DN80 ÷ DN100 jest wyższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi plus.
7	$L = 2 \times 150 \text{ m}$ (z dwoma odgałęzieniami)	Koszt przesyłania ciepła jest najniższy w przypadku rur podwójnych. Koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi giętkimi: – DN32 ÷ DN50 jest porównywalny lub niższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi standard, – DN65, DN80 ÷ DN100 jest wyższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi plus.

5. Koszty strat przesyłania ciepła i wymagane nakłady na budowę rurociągów – podsumowanie

W tradycyjnych rurociągach preizolowanych DN350, DN450 oraz DN500 z izolacją standard występowały nadmierne straty ciepła spowodowane stosowaniem niewłaściwych średnic rury osłonowej. Stosowane aktualnie średnice płaszczy osłonowych pozwoliły na obniżenie tych strat. Średnice te wynoszą: dla rury preizolowanej DN350 $De = 500$ mm (zamiast 450 mm); DN450 $De = 630$ mm (zamiast 560 mm), dla rury preizolowanej DN500 $De = 710$ mm (zamiast 630 mm).

W trakcie eksploatacji rurociągów, na skutek dyfuzji gazów wypełniających komórki pianki PUR i starzenia się izolacji, następuje zmiana (wzrost) współczynnika przewodzenia ciepła izolacji, która pociąga za sobą podwyższenie jednostkowych strat ciepła (co w konsekwencji powoduje podwyższenie strat ciepła przez przenikanie).

Spowolnienie zmian współczynnika przewodzenia ciepła następuje dzięki stosowaniu w rurach preizolowanych bariery antydyfuzyjnej.

Zarówno w sezonie ogrzewczym, jak i w sezonie letnim, jednostkowe straty ciepła w rurociągach preizolowanych tradycyjnych standard są porównywalne ze stratami w rurociągach preizolowanych giętkich standard i wyższe, niż w rurociągach tradycyjnych i giętkich plus. Najniższymi jednostkowymi stratami ciepła charakteryzują się rury preizolowane podwójne.

W przypadku pojedynczych rurociągów preizolowanych DN65 ÷ DN150 koszt przesyłania ciepła tradycyjnymi rurociągami preizolowanymi standard jest niższy, niż koszt przesyłania rurociągami giętkimi (DN65 ÷ DN100) i tradycyjnymi rurociągami preizolowanymi plus (DN65 ÷ 150).

W przypadku pojedynczych rurociągów preizolowanych DN32 ÷ DN50 koszt przesyłania ciepła rurociągami giętkimi (standard i plus) jest porównywalny z kosztem przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi tradycyjnymi standard.

Straty ciepła przez przenikanie i koszt strat ciepła przez przenikanie są:

- najniższe w przypadku rur preizolowanych podwójnych.
- porównywane dla rur preizolowanych tradycyjnych i giętkich standard,
- porównywane dla rur preizolowanych tradycyjnych i giętkich plus,
- wyższe dla rur preizolowanych standard, niż dla rur preizolowanych plus.

We wszystkich analizowanych przypadkach nakłady inwestycyjne są najniższe na budowę rurociągów preizolowanych DN32, DN40, DN50, DN 125 oraz DN150 z rur podwójnych,

Nakłady inwestycyjne na budowę rurociągów preizolowanych DN32, DN40, DN50 z rur giętkich standard są porównywalne z nakładami na budowę rurociągów preizolowanych z rur preizolowanych tradycyjnych standard. Dla niektórych analizowanych schematów ($1 \div 5$) nakłady inwestycyjne są najniższe na budowę rurociągów preizolowanych DN65, DN80 i DN100 z rur preizolowanych tradycyjnych standard.

Należy pamiętać o fakcie, że technologia produkcji rur podwójnych jest trudniejsza, niż rur preizolowanych tradycyjnych i nie każdy wytwórca, potrafi jej sprostać (fot. 5).

W systemach ciepłowniczych, które charakteryzują się innym składem wody sieciowej, niż zalecany w normie [7] oraz zawartością jonów chlorkowych i siarczanowych



Fot. 5. Nieprawidłowe wykonanie podwójnej rury preizolowanej

powyżej 30 mg/l, rura przewodowa w giętkiej rurze preizolowanej powinna być wykonana ze stali nierdzewnej austenitycznej z molibdenem i tytanem, np. X6CrNiMo-Ti17-12-2 (1.4571) wg [8].

6. Wnioski

We wszystkich analizowanych przypadkach koszt przesyłania ciepła podwójnymi rurami preizolowanymi jest niższy, niż koszt przesyłania ciepła rurociągami preizolowanymi pojedynczymi. **Z tego względu w zakresie średnic nominalnych DN32 ÷ DN150 stosowanie rur preizolowanych podwójnych zamiast rur preizolowanych pojedynczych jest ekonomicznie uzasadnione.**

Ograniczenie stosowania preizolowanych rur podwójnych wynika z następujących przyczyn:

- utrudnione jest wykonanie preizolowanych kształtek (odgałęzień i łuków),
- utrudnione jest spawanie rur przewodowych w czasie montażu rurociągu,
- utrudnione jest postępowanie w czasie awarii jednej z rur przewodowych,
- jedna z podstawowych zasad układania sieci ciepłowniczej zaleca, by przy pionowym ułożeniu pojedynczych rurociągów ciepłowniczych (jeden przewód nad drugim) rurociąg zasilający umieszczony był na górze. W przypadku podwójnych rur preizolowanych efekt ekonomiczny jest uzyskany przy umieszczeniu rury zasilającej na dole (mniejsze straty ciepła uzyskiwane są dzięki podgrzewaniu powrotu zasilaniem).

Ułożenie rurociągu z preizolowanych rur giętkich, z maksymalnie zredukowaną liczbą połączeń wykonywanych na placu budowy daje w efekcie mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia w przyszłości awarii, gdyż złącza preizolowane są najbardziej newralgicznymi punktami rurociągów preizolowanych. Z tego względu zasadne jest stosowanie giętkich rur preizolowanych, które pozwalają na możliwość układania długich odcinków rurociągów bez konieczności wykonywania połączeń na budowie. Zasadność stosowania giętkich rur preizolowanych wynika również z takich cech tego systemu, jak:

- zdolność samokompensacji wydłużeń termicznych bez konieczności stosowania kształtek kompensacyjnych, kompensatorów, podpór stałych, poduszek kompensacyjnych,
- szybki i prosty montaż w niemal każdych warunkach terenowych i atmosferycznych,
- możliwość zmiany trasy rurociągu,
- skrócenie, w stosunku do rurociągów tradycyjnych,
- czasu prac montażowych.

Biorąc pod uwagę informacje podane w p. 5.5. oraz 6.3. można stwierdzić, że w przypadku pojedynczych rurociągów preizolowanych DN32 ÷ DN50 wskazane jest stosowanie rur giętkich.

Wskazanie lepszego ekonomicznie rozwiązania w przypadku rurociągów preizolowanych tradycyjnych DN > 150 (standard lub plus) wymaga przeprowadzenia analizy kosztów przesyłania ciepła, którą można wykonać na przykładzie konkretnej zaplanowanej inwestycji.

W artykule ze względu na brak danych od producentów nie wyznaczono kosztów przesyłania ciepła rurami podwójnymi 2xDN200 oraz 2xDN250. Wskazanie lepszego ekonomicznie rozwiązania w przypadku rurociągów preizolowanych tradycyjnych (standard lub plus) oraz rur podwójnych DN200 i DN250 wymaga przeprowadzenia analizy kosztów, którą można wykonać na przykładzie konkretnej zaplanowanej inwestycji.

LITERATURA

- [1] *Wytyczne wykonania, montażu, odbioru i eksploatacji rurociągów preizolowanych w płaszczu osłonowym HDPE (układanych bezpośrednio w gruncie)*, opracowanie OBRC SPEC SA, edycja listopad 2010
- [2] Załącznik D PN-EN 13941:2009 *Projektowanie i budowa sieci ciepłowniczych z systemu preizolowanych rur zespolonych*
- [3] Annex B EN 15698-1:2009 *District heating pipes – Preinsulated bonded TWIN pipe systems for directly buried hot water networks – Part 1: TWIN pipe assembly of steel service pipe, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene*
- [4] Iwko L., *Obliczenia strat ciepła podziemnych preizolowanych sieci ciepłowniczych*, Instal 9/2009
- [5] Petter Wallenten *Steady – State Heat Loss from Insulated Pipes* Lund Institute of Technology Sweden 1991 r.
- [6] *Podręcznik ciepłownictwa – system rur preizolowanych*, EuH&P 1998
- [7] PN-C-04601: 1985 *Woda dla celów energetycznych – Wymagania i badania jakości wody dla kotłów wodnych i zamkniętych obiektów ciepłowniczych*
- [8] PN-EN 1088-1:2007 *Stale odporne na korozję – Część 1: Gatunki stali odporne na korozję*



STUDIA PODYPLOMOWE

KLIMATYZACJA I CHŁODNICTWO

Czas trwania: 2 semestry (220 godzin) od października 2011 do czerwca 2012 r.

Studium adresowane jest głównie do kadry inżynierskiej zatrudnionej w jednostkach projektowych, wykonawczych i eksploatacyjnych w dziedzinie klimatyzacji i chłodnictwa. Studium pozwala na uzupełnienie oraz rozszerzenie wiedzy teoretycznej i praktycznej potrzebnej na etapach projektowania, wykonania i eksploatacji instalacji klimatyzacyjnych i chłodniczych. Słuchaczom Studium przekazywane są, m. in. informacje o najnowszych rozwiązaniach wymienionej instalacji, a także uwagi jak uniknąć najczęściej popełnianych błędów przy projektowaniu i wykonawstwie tych instalacji. Omawiane są również prawne i praktyczne aspekty procesu inwestycyjnego w zakresie wykonania instalacji.

Przewidziane są prezentacje firm, które są liderami w dziedzinie klimatyzacji i chłodnictwa.

Program Studium zawiera także pełny kurs szkolenia (50 godzin) dla osób ubiegających się o uprawnienia do sporządzania **Świadectwa Charakterystyki Energetycznej Budynku**, zakończony Zaświadczeniem o ukończeniu szkolenia. Tematyka kursu pozwala na ocenę instalacji pod względem energetycznym, a uzyskane Zaświadczenie umożliwia przystąpienie do egzaminu państwowego dotyczącego Świadectw.

Zasady naboru i przebiegu Studium:

- według kolejności zgłoszeń,
- liczba miejsc ograniczona,
- **zgłoszenia do 25 września**,
zajęcia odbywają się w piątki, soboty, niedziele (10 zjazdów),
- opłata 5900 złotych,
- wymagane dokumenty: karta zgłoszenia, odpis dyplomu.

Organizator:

Wydział Inżynierii Środowiska,
Zakład Klimatyzacji i Ogrzewnictwa Politechniki Warszawskiej

Kierownik Studium:

dr inż. Leszek Targowski

Sekretarz Studium:

Maria Golebska, pok 302
Gmach Wydziału Inżynierii Środowiska PW

Adres:

00-653 Warszawa, ul. Nowowiejska 20
tel. (0-22) 234-78-87, (0-22) 621-36-09,
tel./fax (0-22) 825-29-92
e-mail: maria.golebska@is.pw.edu.pl