

Straty przenikania ciepła w wodnych rurociągach ciepłowniczych – część II

Heat transfer losses in the district heating pipelines – part II

EWA KRĘCIELEWSKA

Wstęp

W pierwszej części artykułu [1] opisano straty przenikania ciepła w nowych wodnych rurociągach ciepłowniczych.

W wyniku dyskusji, która wywiązała się z jednym z moich branżowych kolegów, pragnę wyjaśnić pojęcie „temperatura obliczeniowa” i jednocześnie przeprosić Czytelników za użycie „skrótów myślowego”, który wzbudził pewne kontrowersje.

Pojęcie „temperatura obliczeniowa” zdefiniowane było w polskich normach [2], [3], [4].

Temperatura obliczeniowa to wg [2] – najwyższa stała temperatura elementu przyjęta do obliczeń wytrzymałościowych, wynikająca z najwyższej temperatury roboczej i warunków eksploatacji, bez uwzględnienia krótkotrwałego wzrostu nie większego niż 10°C, a wg [3] – najwyższa stała temperatura przepływającego czynnika bez uwzględniania dopuszczalnego krótkotrwałego jej wzrostu, który może wynosić 10°C ponad temperaturę obliczeniową, jeśli łączny czas trwania przekroczenia nie przewyższa 5 % czasu pracy rurociągu. W normie [4] pojęcie *temperatura obliczeniowa* odnosi się do maksymalnej temperatury roboczej nośnika ciepła.

W rurociągach tradycyjnych grubości izolacji oblicza się [4] lub przyjmuje [5] dla maksymalnej (obliczeniowej) temperatury czynnika grzejącego. W rurociągach preizolowanych przyjmuje się takie same grubości izolacji dla różnych wartości maksymalnej (obliczeniowej) temperatury przesyłanego nośnika ciepła (np. w warszawskim systemie ciepłowniczym (w.s.c.) wymiary rur preizolowanych – grubości pianki PUR są od 30 lat takie same bez względu na zmianę maksymalnej obliczeniowej temperatury wody sieciowej ze 150°C/ 80°C na 119°C/59°C [1]). Jeśli

jednostkowe straty ciepła zależą od grubości izolacji, to w przypadku rurociągów tradycyjnych będą zależały od temperatury obliczeniowej, a w przypadku rurociągów preizolowanych – nie.

Natomiast w obu przypadkach jednostkowe straty ciepła rosną wraz z temperaturą roboczą czynnika grzejącego.

Kolejny temat, który podlegał dyskusji to dobór średnic zewnętrznych osłon HDPE. Wymiary osłon z izolacją standard przyjęto na podstawie wymagań zawartych w opracowaniu WYTYCZNE WYKONANIA, MONTAŻU, ODBIORU I EKSPLOATACJI RUROCIĄGÓW PREIZOLOWANYCH W PŁASZCZU OSŁONOWYM HDPE (UKŁADANYCH BEZPOŚREDNIO W GRUNCIE), obowiązujących w warszawskim systemie ciepłowniczym. Wymiary rur PLUS przyjęto na podstawie katalogu produktu firmy LOGSTOR 2010/08.

Przy przygotowywaniu dla Państwa przykładu – instrukcji szacowania strat ciepła na podstawie niniejszego opracowania stwierdzono pomyłkę w tabeli PT1 *Współczynniki do wyznaczania jednostkowych strat ciepła NOWYCH PODWÓJNYCH RUROCIĄGÓW PREIZOLOWANYCH* [1].

Zweryfikowane współczynniki podano w tabeli 1.

Tabela 1. Zweryfikowane współczynniki do wyznaczania jednostkowych strat ciepła NOWYCH PODWÓJNYCH RUROCIĄGÓW PREIZOLOWANYCH

DN	g	h	i
15	-0,0016	0,5359	-17,25
20	-0,0020	0,6728	-21,66
25	-0,0021	0,7377	-23,74
32	-0,0023	0,8087	-26,03
40	-0,0030	1,0203	-32,84
50	-0,0027	0,9414	-30,30
65	-0,0034	1,1643	-37,47
80	-0,0040	1,3917	-44,79
100	-0,0039	1,3495	-43,44
125	-0,0034	1,1651	-37,50
150	-0,0044	1,5064	-48,49
200	-0,0050	1,7164	-55,25
250	-0,0043	1,4668	-47,21

Jednostkowe straty ciepła w rurociągach preizolowanych po starzeniu naturalnym

Zmiany własności izolacji porowatych w czasie zależą od temperatury nośnika ciepła. Jednostkowe straty ciepła oraz straty przesyłania ciepła rosną m. in. na skutek dyfuzji gazów. W miejsce gazów komórkowych – cyklopentanu i CO₂, do pianki PUR wnika z powietrza tlen i azot, które powodują pogorszenie własności izolacyjnych, to znaczy wzrost współczynnika przewodzenia ciepła pianki. Przyczyną dyfuzji jest różnica ciśnień cząstkowych gazów (tzw. poroforów, substancji gazotwórczych lub pianotwórczych służących do produkcji spienionych materiałów o komórkach zamkniętych) powstałych w trakcie produkcji izolacji. Zjawisko dyfuzji gazów i stopniowe pogarszanie się właściwości termoizolacyjnych izolacji mają istotne znaczenie z punktu widzenia kosztów eksploatacyjnych sieci ciepłowniczych i emisji zanieczyszczeń do środowiska. Zmiana współczynnika przewodzenia ciepła powoduje, że wraz z upływem czasu użytkowania sieci rosną straty ciepła przez przenikanie. W przypadku rur preizolowanych przenikanie tlenu przez rurę osłonową prowadzi również do:

- degradacji komórek izolacji,
- trwałego odkształcenia izolacji pod wpływem obciążenia,
- spadku wytrzymałości izolacji na ściskanie promieniowe,
- spadku wytrzymałości zespołu rurowego na ścinanie osiowe, przez co zmniejsza się przyczepność izolacji do rury przewodowej, a w konsekwencji pogorszeniu ulega mechaniczna integralność zespołu preizolowanego [6], [7], [8].

W Laboratorium Badawczym Stołecznego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej (SPEC), a później Veolia Warszawa, prowadzono od 2006 roku badania współczynnika przewodzenia ciepła rur preizolowanych po eksploatacji, z pianką PUR spienianą dwutlenkiem węgla oraz cyklo-

mgr inż. Ewa Kręcielewska – Kierownik
Działu Badań i Standardów Veolia Energia
Warszawa S.A.

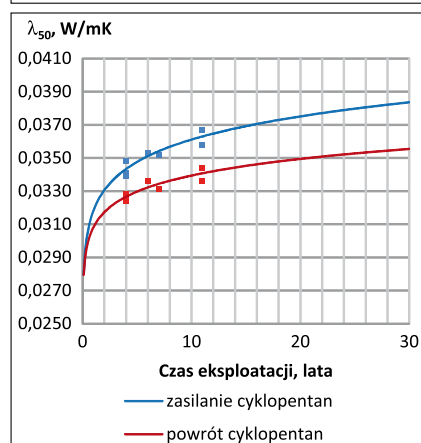
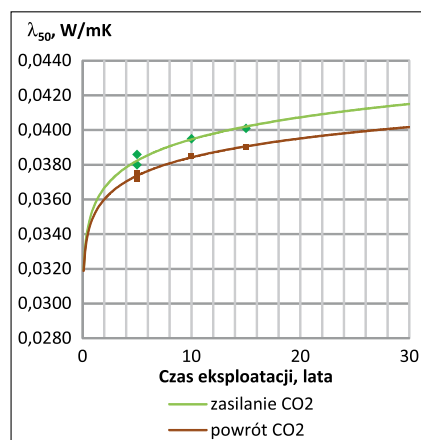
pentanem. Próbkę – odcinki rur preizolowanych – pobierane były z różnych systemów ciepłowniczych w Polsce.

Łącznie przebadano 25 próbek z odcinków rur preizolowanych:

- 8 próbek – z izolacją spienianą CO₂, z zasilania i powrotu, eksploatowanych w okresie od 5 do 15 lat,
- 14 próbek z izolacją spienianą cyklopentanem, z zasilania i powrotu, eksploatowanych w okresie od 4 do 11 lat.

W przypadku trzech próbek nie posiadano 100% pewności co do zastosowanego środka porotwórczego.

Na podstawie badań rur preizolowanych po eksploatacji [9], [10], [11], [12] prowadzonych metodą akredytowaną przez Polskie Centrum Akredytacji, na aparacie rurowym zbudowanym wg [13] oraz najlepiej dopasowanych linii trendu wyznaczono przebieg zmian współczynnika przewodzenia ciepła izolacji z pianki PUR w czasie, w zależności od rodzaju poroforu oraz temperatury zasilania i powrotu (rysunki 1 oraz 2).



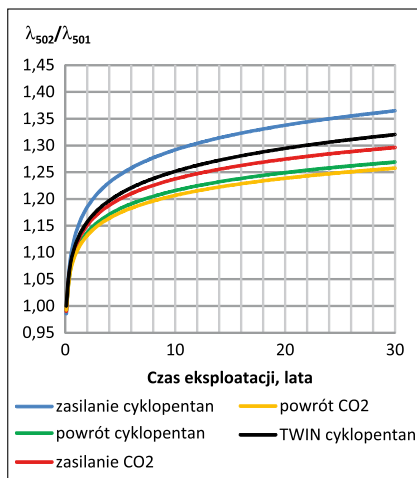
Rysunki 1, 2.
Zmiana współczynnika przewodzenia ciepła izolacji PUR

Stwierdzono, że współczynnik przewodzenia ciepła wzrasta:

- dla izolacji spienianej CO₂:

- po pierwszych 5 latach pracy o 19% (na zasilaniu) i o 17% (na powrocie),
- od 6 do 15 lat od 0,4 do 1% rocznie,
- a dla izolacji spienianej cyklopentanem:
- po pierwszych 4 latach pracy o 23% (na zasilaniu) i o 17% (na powrocie)
- od 5 do 11 lat o 1% rocznie.

Na rysunku 3 przedstawiono zależność $\lambda_{50,2}/\lambda_{50,1}$, gdzie $\lambda_{50,2}$ – współczynnik przewodzenia ciepła izolacji po eksploatacji, $\lambda_{50,1}$ – współczynnik przewodzenia ciepła izolacji nowej.



Rysunek 3.
Zależność $\lambda_{50,2}/\lambda_{50,1}$ dla rur preizolowanych z izolacją spienianą cyklopentanem i CO₂

Na podstawie badań prowadzonych w LB przyjęto:

- dla izolacji spienianej CO₂: $\lambda_{50,1} = 0,032 \text{ W/mK}$,
- dla izolacji spienianej cyklopentanem: $\lambda_{50,1} = 0,028 \text{ W/mK}$.

Na skutek zmiany współczynnika przewodzenia ciepła w czasie następuje wzrost jednostkowych strat ciepła:

$$q_{L_{\text{preizolowane po eksploatacji}}} = q_{L_{\text{preizolowane - nowa DN,t}}} \cdot w$$

gdzie:

t – temperatura, °C

$t = t_{cz}$ lub $t = t_{cp}$ – w przypadku rurociągów pojedynczych

$t = \frac{t_{cz} + t_{cp}}{2}$ – w przypadku rurociągów podwójnych

t_{cz} – temperatura zasilania, °C

t_{cp} – temperatura powrotu, °C

w – współczynnik starzenia się izolacji

$$w = g \cdot n^h$$

gdzie:

n – wiek rurociągu, lata

g, h – współczynniki – tabela PE1.

Tabela PE1. Współczynniki do określania jednostkowych strat ciepła rurociągów preizolowanych po starzeniu naturalnym (po eksploatacji)

DN	Środek spieniający	Rurociąg	g	h
dowolna	cyklopentan	zasilający	1,1353	0,0551
dowolna	cyklopentan	powrotny	1,1018	0,0421
dowolna	CO ₂	zasilający	1,1115	0,0495
dowolna	CO ₂	powrotny	1,0977	0,0405
dowolna	cyklopentan	TWIN	1,1186	0,0487

Jednostkowe straty ciepła w rurociągach tradycyjnych po eksploatacji

W 2014 i 2015 roku, w ramach Projektu Niezawodna Sieć Ciepłownicza przebadano w LB Veolia Energia Warszawa 195 próbek izolacji włóknistej po naturalnym starzeniu [14], [15] zdemontowanych z rurociągów w.s.c.

Ze względów na rodzaj materiału i układ włókien próbki podzielono na trzy grupy:

- próbki z waty szklanej: 65 próbek,
- próbki z wełny mineralnej z równoległym do powierzchni podłoża układem włókien: 65 próbek,
- próbki z wełny mineralnej z prostopadłym do powierzchni podłoża układem włókien, tzw. maty lamelowe: 62 próbki.

Próbki charakteryzowały się różnym czasem eksploatacji

- wata szklana: 26 ÷ 50 lat,
- wełna mineralna: 21 ÷ 44 lata,
- maty lamelowe: 21 ÷ 34 lata.

Próbki pobrane były z rurociągów DN200 ÷ DN1000, zasilających i powrotnych.

Stan techniczny próbek izolacji włóknistej można określić jako bardzo zróżnicowany (fot. 1 ÷ 5).



Fot. 1
Wata szklana, zasilanie, 50 lat eksploatacji

Próbki poddane były m.in. badaniom:

- gęstości pozornej,
- współczynnika przewodzenia ciepła.

Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji badany był na aparacie płytowym wg 8301 [16]. Celem badania było znalezienie zależności $\lambda_{40,2}/\lambda_{40,1}$, gdzie $\lambda_{40,2}$



Fot. 2
Wełna mineralna, zasilanie, 44 lata eksploatacji



Fot. 3, 4
Wełna mineralna, 22 lata eksploatacji, zasilanie i powrót



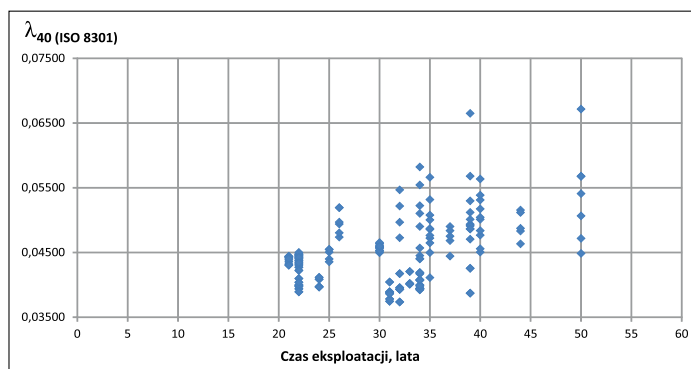
Fot. 5
Mata lamelowa, zasilanie, 30 lat eksploatacji

– współczynnik przewodzenia ciepła po naturalnym starzeniu, λ_{40_1} – współczynnik przewodzenia ciepła nowej izolacji. Jako wartość λ_{40_1} przyjęto najniższą wartość ze zbioru danych dla każdego rodzaju izolacji.

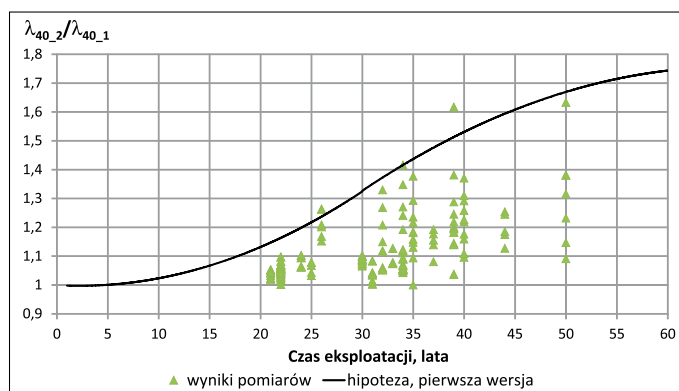
Wyniki pomiarów współczynnika przewodzenia ciepła oraz zależności $\lambda_{40_2}/\lambda_{40_1}$ dla wszystkich badanych wyrobów przedstawiono na rysunkach 4 oraz 5.

Próbki – odpowiednio w każdej grupie materiałowej podzielono na dwie grupy – mniej i bardziej zniszczone. Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono zależność $\lambda_{40_2}/\lambda_{40_1}$, gdzie λ_{40_2} – współczynnik przewodzenia ciepła po eksploatacji, λ_{40_1} – współczynnik przewodzenia ciepła izolacji nowej – dla izolacji włóknistych pracujących w suchych

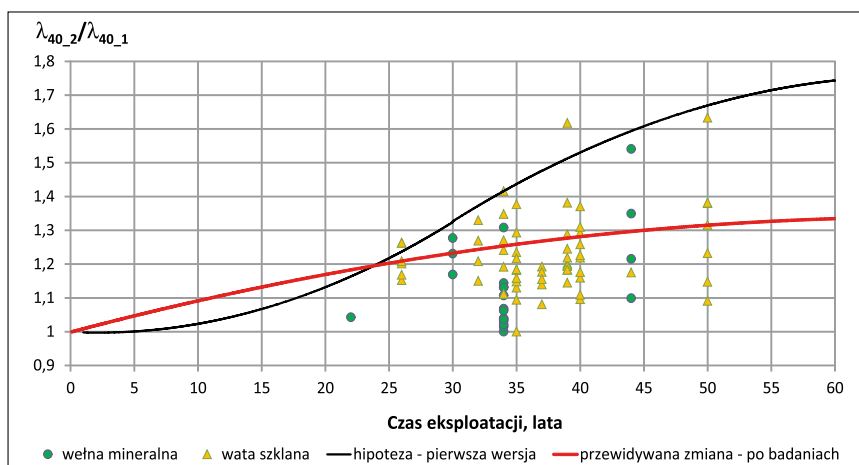
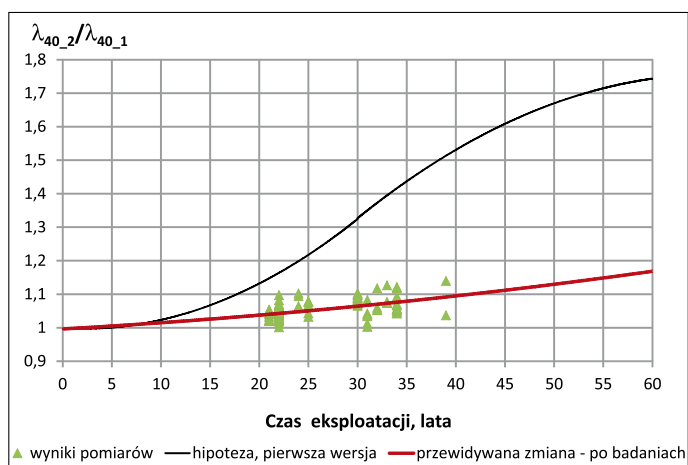
Rysunek 4.
Wyniki pomiarów współczynnika przewodzenia ciepła na aparacie płytowym



Rysunek 5.
Zależność λ_2/λ_1 dla wszystkich badanych próbek (linią ciągłą zaznaczono hipotetyczną zmianę λ_2/λ_1 w czasie, wyznaczoną na podstawie wcześniejszych badań terenowych prowadzonych w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Ciepłownictwa przy SPEC)



Rysunek 6.
Zależność λ_2/λ_1 dla badanych próbek mniej zniszczonych (linią ciągłą czarną zaznaczono hipotetyczną zmianę λ_2/λ_1 w czasie, wyznaczoną na podstawie wcześniejszych badań terenowych, linią czerwoną zaznaczono przewidywaną zmianę zależności λ_2/λ_1 jako linię trendu z wyników przeprowadzonych badań)



Rysunek 7.
Zależność λ_2/λ_1 dla badanych próbek bardziej zniszczonych (linią ciągłą czarną zaznaczono hipotetyczną zmianę λ_2/λ_1 w czasie, wyznaczoną na podstawie wcześniejszych badań terenowych, linią czerwoną zaznaczono przewidywaną zmianę zależności λ_2/λ_1 jako linię trendu z wyników przeprowadzonych badań)

warunkach (mniej zniszczone) i w kanałach ciepłowniczych zalewanych wodą (bardziej zniszczone).

Na skutek zmiany współczynnika przewodzenia ciepła następuje wzrost jednostkowych strat ciepła w czasie:

$$q_{L_tradycyjne_po_eksploatacji} = q_{L_tradycyjne - nowa_DN,t_c} \cdot w$$

gdzie:

w – współczynnik starzenia się izolacji

$$w = i \cdot n^2 + j \cdot n + k$$

gdzie:

n – wiek rurociągu, lata

i, j, k – współczynniki – tabela TE1

Tabela TE1. Współczynniki do określania jednostkowych strat ciepła rurociągów tradycyjnych po eksploatacji

Warunki pracy	DN	i	j	k
Kanał zalewany	dowolna	-0,000073	0,010000	0,998476
Warunki suche	dowolna	0,000020	0,001663	0,996253

Straty przenikania ciepła

Straty przenikania ciepła (straty mocy ciepła) $\dot{Q}$ można wyrazić wzorami:

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

gdzie:

$\dot{Q}$ – straty przenikania ciepła, W

q_L – liniowa gęstość strumienia ciepła (jednostkowe straty ciepła), W/m

$$q_L = f(\text{technologia_budowy, DN, wiek, temperatura_robocza_nosnika_ciepła})$$

L – długość rurociągu, m

lub

$$\dot{Q} = 10^{-5} \cdot 8,64 \cdot L \cdot (D_s \cdot q_{Ls} + (365 - D_s) \cdot q_{Ll})$$

gdzie:

$\dot{Q}$ – straty przenikania ciepła, GJ/rok

L – długość odcinka sieci ciepłowniczej, m

D_s – długość sezonu grzewczego, dni

q_{Ls} – jednostkowe straty ciepła w sezonie grzewczym, W/m

q_{Ll} – jednostkowe straty ciepła poza sezonem grzewczym, W/m

Szacowanie jednostkowych strat ciepła oraz strat przenikania ciepła

W dwóch przykładach oszacowano wielkość strat ciepła dla rurociągów tradycyjnych i preizolowanych, nowych i po eksploatacji. Rurociągi tradycyjne pracują w różnych warunkach – kanał ciepłowniczy suchy i zalewany.

Przykład 1.

W tym przykładzie oszacowano straty ciepła w rurociągach kanałowych i preizolowanych – standard i porównano je z wielkościami strat oszacowanych w [17]. Założenia dot. temperatury wody sieciowej, długości sezonu grzewczego oraz długości i DN rurociągów przyjęto, jak w [17].

Dane ogólne:

Liczba dni sezonu grzewczego D_s : 232

Średnia temperatura wody w sezonie grzewczym:

$$t_{1_zasilanie_sezon} = 78,5^\circ\text{C}$$

$$t_{2_powrot_sezon} = 42^\circ\text{C}$$

Średnia temperatura wody poza sezonem grzewczym:

$$t_{1_zasilanie_sezon} = 70^\circ\text{C}$$

$$t_{2_powrot_sezon} = 40^\circ\text{C}$$

Dane szczegółowe:

Długość odcinka sieci: L=500 m

Średnica nominalna: DN 300, DN200 – tylko rurociąg preizolowany standard

Czas pracy odcinków sieci: nowe, 23 lata

Straty ciepła [17]:

Jednostkowe straty ciepła w sezonie grzewczym rurociąg kanałowy DN300 nowy:

$$q_{Ls} = 126,53; 1,75 = 72,3 \text{ W/m}$$

Jednostkowe straty poza sezonem grzewczym rurociąg kanałowy DN300 nowy:

$$q_{Ll} = 107,69; 1,75 = 61,5 \text{ W/m}$$

Straty przenikania ciepła rurociąg kanałowy DN300 nowy:

$$\dot{Q} = 1078 \text{ GJ/rok}$$

Jednostkowe straty ciepła w sezonie grzewczym rurociąg kanałowy DN300 po 23 letniej eksploatacji:

$$q_{Ls} = 126,53 \text{ W/m}$$

Jednostkowe straty poza sezonem grzewczym rurociąg kanałowy DN300 po 23 letniej eksploatacji:

$$q_{Ll} = 107,69 \text{ W/m}$$

Straty przenikania ciepła rurociąg kanałowy DN300 po 23 letniej eksploatacji:

$$\dot{Q} = 1886,67 \text{ GJ/rok}$$

Jednostkowe straty ciepła w sezonie grzewczym rurociąg preizolowany DN200 nowy:

$$q_{Ls} = 44,41 \text{ W/m}$$

Jednostkowe straty poza sezonem grzewczym rurociąg preizolowany DN200 nowy:

$$q_{Ll} = 39,95 \text{ W/m}$$

Straty przenikania ciepła rurociąg preizolowany DN200 nowy:

$$\dot{Q} = 674,63 \text{ GJ/rok}$$

Obliczanie strat ciepła – rurociągi nowe:

$$q_{L_tradycyjne_nowa_DN,t_c} = a \cdot t_c^2 + b \cdot t_c + c \quad [1]$$

DN300	zasilanie			powrot		
	a	b	c	a	b	c
Tabela TK1 GRUPA I [1]	0,0013	0,5424	-14,37	-0,0044	1,6276	-41,91
Tabela TK2 GRUPA II [1]	0,0016	0,5383	-13,25	-0,0038	1,5428	-38,02
Tabela TK3 GRUPA III [1]	0,0016	0,4948	-13,67	-0,0042	1,3892	-34,66

$$q_{L_preizolowane_nowa_DN,t_c} = d \cdot t_c^2 + e \cdot t_c + f \quad [1]$$

DN300	zasilanie			powrót		
	d	e	f	d	e	f
Tabela PS1 [1]	-0,0019	1,0436	-35,49	-0,0198	2,6717	-64,92

DN200	zasilanie			powrót		
	d	e	f	d	e	f
Tabela PS1 [1]	-0,0017	0,9321	-31,67	-0,0179	2,3967	-58,21

$$\dot{Q} = 10^{-5} \cdot 8,64 \cdot L \cdot (D_s \cdot q_{Ls} + (365 - D_s) \cdot q_{Li})$$

Straty ciepła – rurociągi nowe (tabela P1.1)

Technologia budowy	Kanał 150/70	Kanał 130/70	Kanał 120/60	Kanał [17]	Preizolat cyklopentan	Preizolat cyklopentan	Preizolat cyklopentan [17]
Średnica nominalna	DN300	DN300	DN300	DN300	DN300	DN200	DN200
wiek	nowa	nowa	nowa	nowa	nowa	nowa	nowa
Straty ciepła							
q zasilanie sezon, W/m	36,2	38,9	35,0	-	34,7	31,0	-
q powrót sezon, W/m	25,1	26,3	21,5	-	17,0	15,0	-
q zasilanie lato, W/m	30,0	32,3	28,8	-	28,3	19,6	-
q powrót lato, W/m	16,2	17,6	14,2	-	10,3	15,0	-
q sezon, W/m	61,3	65,2	56,5	72,3	51,8	46,0	44,41
q lato, W/m	46,1	49,9	43,0	61,5	38,5	34,6	39,95
Q̇, GJ (rysunek P1.1)	879,2	939,6	813,7	1078,0	740,1	660,3	674,6
ΔQ̇, GJ/rok	198,9	138,4	264,3	138,4	-	14,3	14,3

Obliczanie strat ciepła – rurociągi po n – letniej eksploatacji:

Rurociągi kanałowe:

$$q_{L_tradycyjne_po_eksploatacji} = q_{L_tradycyjne_nowa_DN,t_c} \cdot w$$

$$w = i \cdot n^2 + j \cdot n + k$$

Warunki pracy	DN	i	j	k
Kanał zalewany	dowolna	-0,000073	0,010000	0,998476
Kanał suchy	dowolna	0,000020	0,001663	0,996253

n=23

w	Stan kanału
1,1899	zalewany
1,0451	suchy

Rurociągi preizolowane:

$$q_{L_preizolowane_po_eksploatacji} = q_{L_preizolowane_nowa_DN,t} \cdot w$$

$$w = g \cdot n^h$$

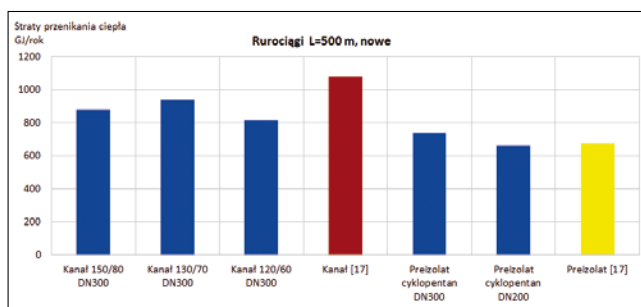
DN	Środek spieniający	Rurociąg	g	h
dowolna	cyklopentan	zasilający	1,1353	0,0551
dowolna	cyklopentan	powrotny	1,1018	0,0421
dowolna	cyklopentan	TWIN	1,1186	0,0487

n=23

w	Środek porotwórczy/ przeznaczenie/przeznaczenie rurociągu
1,3494	Cyklopentan/ Zasilanie
1,2573	Cyklopentan/ Powrót

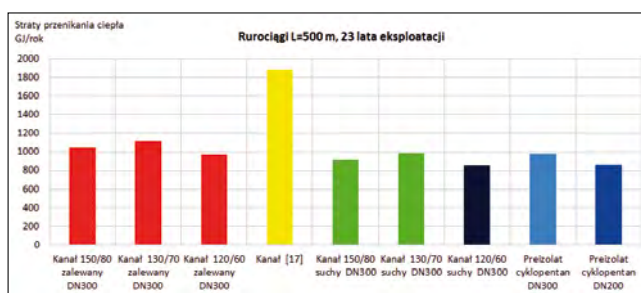
Straty ciepła – rurociągi po 23 letniej eksploatacji (tabela P1.2)

Technologia budowy/ stan kanału	Kanał 150/70 zalewany	Kanał 130/70 zalewany	Kanał 120/60 zalewany	Kanał [17]	Kanał 150/70 suchy	Kanał 130/70 suchy	Kanał 120/60 suchy	Preizolat cyklopentan	Preizolat cyklopentan
Średnica nominalna	DN 300	DN 300	DN 300	DN 300	DN 300	DN 300	DN 300	DN 300	DN 200
Straty ciepła									
wiek	23	23	23	23	23	23	23	23	23
q zasilanie sezon, W/m	37,9	43,1	40,6	46,2	36,6	41,7	46,9	-	41,9
q powrót sezon, W/m	29,8	27,5	31,3	22,5	25,6	21,4	-	18,9	26,2
q zasilanie lato, W/m	35,7	33,7	38,4	30,1	34,3	38,1	-	26,5	31,3
q powrót lato, W/m	19,2	18,4	21,0	14,8	16,9	12,9	-	18,9	16,9
q sezon, W/m	72,9	68,1	77,5	59,1	67,3	68,3	126,5	60,0	64,0
q lato, W/m	54,9	52,1	59,4	44,9	51,2	51,0	107,7	45,1	48,2
Q̇, GJ (rysunek P1.2)	1046,1	982,0	1118,0	850,4	968,2	977,6	1886,6	860,5	918,8
ΔQ̇, GJ/rok	840,5	-	768,6	-	918,3	-	768,6	-	-



Rysunek P1.1.

Straty ciepła przez przenikanie na nowym odcinku sieci ciepłowniczej



Rysunek P1.2.

Straty przenikania ciepła na odcinku sieci ciepłowniczej po 23 latach eksploatacji

Przykład 2.

W tym przykładzie porównano straty ciepła w rurociągach kanałowych i preizolowanych standard i Twinn.

Dane ogólne:

Liczba dni sezonu grzewczego D_s : 200

Średnia temperatura wody w sezonie grzewczym:

$$t_{1_zasilanie_sezon} = 82,03^\circ\text{C}$$

$$t_{2_powrot_sezon} = 47,16^\circ\text{C}$$

Średnia temperatura wody poza sezonem grzewczym:

$$t_{1_zasilanie_sezon} = 69,53^\circ\text{C}$$

$$t_{2_powrot_sezon} = 47,66^\circ\text{C}$$

Dane szczegółowe:

Długość odcinka sieci: L=500 m

Średnica nominalna: DN 50

Czas pracy odcinków sieci: nowe, 30 lat

Obliczanie strat ciepła – rurociągi nowe:

$$q_{L_tradycyjne_nowa_DN,t_c} = a \cdot t_c^2 + b \cdot t_c + c \quad [1]$$

DN50	zasilanie			powrót		
	a	b	c	a	b	c
Tabela TK1 GRUPA I [1]	0,0006	0,2321	-3,36	-0,0016	0,6074	-11,36
Tabela TK2 GRUPA II [1]	0,0007	0,2433	-3,29	-0,0015	0,6010	-10,99
Tabela TK3 GRUPA III [1]	0,0008	0,2308	-3,68	-0,0017	0,6417	-12,28

$$q_{L_preizolowane_nowa_DN,t_c} = d \cdot t_c^2 + e \cdot t_c + f \quad [1]$$

DN50	zasilanie			powrót		
	d	e	f	d	e	f
Tabela PS1 [1]	-0,0009	0,4884	-16,65	-0,0091	1,2390	-30,14

$$q_{L_preizolowane_nowa_podwójna_DN,t} = g \cdot t^2 + h \cdot t + i \quad [1]$$

DN 50	g	h	i
Tabela 1	-0,0027	0,9414	-30,30

$$\dot{Q} = 10^{-5} \cdot 8,64 \cdot L \cdot (D_s \cdot q_{Ls} + (365 - D_s) \cdot q_{Lt})$$

Straty ciepła – rurociągi nowe (tabela P2.1)

Technologia budowy	Kanał 150/70	Kanał 130/70	Kanał 120/60	Preizolat cyklopentan	Preizolat Twinn
Średnica nominalna	DN50	DN50	DN50	DN50	DN50
wiek	nowa	nowa	nowa	nowa	nowa
Straty ciepła					
q zasilanie sezon, W/m	19,7	21,4	20,6	17,4	-
q powrót sezon, W/m	13,7	14,0	14,2	8,1	-
q zasilanie lato, W/m	15,7	17,0	16,2	13,0	-
q powrót lato, W/m	14,0	14,2	14,4	8,2	-
q sezon, W/m	33,4	35,4	34,8	25,4	19,2
q lato, W/m	29,6	31,3	30,7	21,2	15,6
Q̇, GJ (rysunek P2.1)	500,2	528,6	519,7	370,6	277,4

Obliczanie strat ciepła – rurociągi po n – letniej eksploatacji:

Rurociągi kanałowe:

$$q_{L_tradycyjne_po_eksploatacji} = q_{L_tradycyjne_nowa_DN,t_c} \cdot w$$

$$w = i \cdot n^2 + j \cdot n + k$$

Warunki pracy	DN	i	j	k
Kanał zalewany	dowolna	-0,000073	0,010000	0,998476
Kanał suchy	dowolna	0,000020	0,001663	0,996253

n=30

w	Stan kanału
1,2328	zalewany
1,0641	suchy

Rurociągi preizolowane:

$$q_{L_preizolowane_po_eksploatacji} = q_{L_preizolowane_nowa_DN,t} \cdot w$$

$$w = g \cdot n^h$$

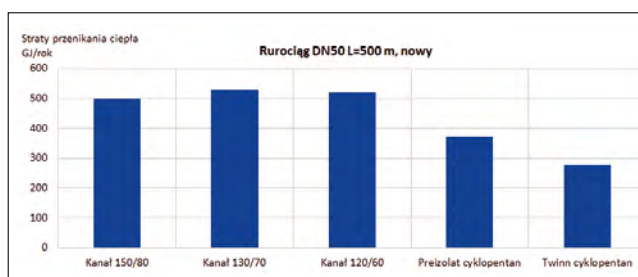
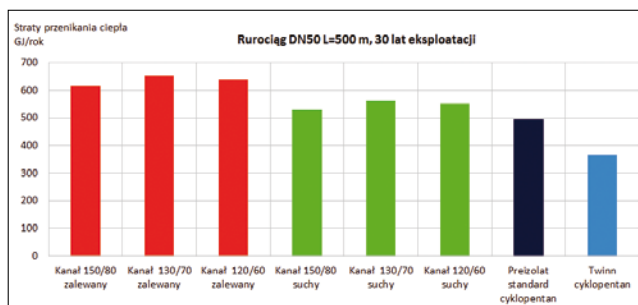
DN	Środek spieniający	Rurociąg	g	h
dowolna	cyklopentan	zasilający	1,1353	0,0551
dowolna	cyklopentan	powrotny	1,1018	0,0421
dowolna	cyklopentan	TWIN	1,1186	0,0487

n=30

w	Środek porotwórczy/ przeznaczenie/ przeznaczenie rurociągu
1,3693	Cyklopentan/ Zasilanie
1,2714	Cyklopentan/ Powrót
1,3201	Cyklopentan/ Twinn

Straty ciepła – rurociągi po 30 letniej eksploatacji (tabela P2.2)

Technologia budowy/ stan kanału	Kanał 150/70 zalewany	Kanał 130/70 zalewany	Kanał 120/60 zalewany	Kanał 150/70 suchy	Kanał 130/70 suchy	Kanał 120/60 suchy	Preizolat cyklopentan	Preizolat Twinn
Średnica nominalna	DN50	DN50	DN50	DN50	DN50	DN50	DN50	DN50
wiek	30	30	30	30	30	30	30	30
Straty ciepła								
q zasilanie sezon, W/m	24,3	26,4	25,4	21,0	22,7	22,0	23,8	-
q powrót sezon, W/m	16,9	17,3	17,5	14,6	14,9	15,1	10,2	-
q zasilanie lato, W/m	19,3	21,0	20,0	16,7	18,1	17,3	17,7	-
q powrót lato, W/m	17,2	17,6	17,8	14,8	15,2	15,4	10,5	-
q sezon, W/m	41,2	43,6	42,9	35,6	37,7	37,1	34,0	25,4
q lato, W/m	36,5	38,5	37,8	31,5	33,3	32,6	28,2	20,6
Q̇, GJ (rysunek P2.2)	616,6	651,7	640,6	532,3	562,5	553,0	495,0	366,2

**Rysunek P2.1.****Straty ciepła przez przenikanie na nowym odcinku sieci ciepłowniczej DN50 L=500 mb****Rysunek P2.2.****Straty przenikania ciepła na odcinku sieci ciepłowniczej DN50 L=500 m po 30 latach eksploatacji**

Podsumowanie i wnioski

1. Straty przesyłania ciepła są sumą strat przenikania ciepła przez izolację rurociągów i urządzeń oraz strat ciepła w ubytkach wody sieciowej, mogą być powiększone przez straty od powierzchni nieizolowanych oraz przez elementy budowlane.
2. Wielkość strat przenikania ciepła zależy od jakości i stanu technicznego izolacji, rodzaju i parametrów transportowanego nośnika ciepła oraz rozległości, zastosowanych technologii wykonania i sposobu eksploatacji sieci.
3. Straty przenikania ciepła zależą od jednostkowych strat ciepła, które rosną wraz z roboczą temperaturą czynnika grzejącego.
4. Jednostkowe straty ciepła nowych rurociągów tradycyjnych zależą od:
 - obliczeniowej temperatury nośnika ciepła i grubości izolacji,
 - temperatury otoczenia rurociągu (temperatura powietrza),
 - wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji,
 - sposobu montażu izolacji (z konstrukcją wsporczą lub bez).
5. Jednostkowe straty ciepła nowych rurociągów preizolowanych z izolacją porowatą układanych bezpośrednio w gruncie zależą od:
 - rodzaju porofoara 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 (grunt suchy lub wilgotny,
 - temperatury nośnika ciepła.
6. Na skutek starzenia się izolacji porowatej (wymiany gazów w komórkach zamkniętych) następuje wzrost współczynnika przewodzenia ciepła – szybki – około 20 % (bez względu na rodzaj środka porotwórczego) w początkowym okresie eksploatacji rurociągów preizolowanych.
7. Wzrost współczynnika przewodzenia ciepła izolacji porowatych w rurociągach preizolowanych eksploatowanych powyżej 5 ÷ 6 lat nie przekracza 1% rocznie (bez względu na rodzaj środka porotwórczego).
8. Jednostkowe straty ciepła w rurociągach preizolowanych po eksploatacji rosną proporcjonalnie do zależności λ_2/λ_1 (gdzie λ_2 – współczynnik prze-

wodzenia ciepła izolacji po eksploatacji, λ_1 – współczynnik przewodzenia ciepła izolacji nowej) i zależą od rodzaju środka porotwórczego i temperatury nośnika ciepła, a w przypadku rurociągów podwójnych od średniej temperatury zasilania i powrotu.

9. Własności cieplne i mechaniczne (współczynnik przewodzenia ciepła, gęstość, geometria, struktura) izolacji włóknistych po eksploatacji zależą od warunków otoczenia rurociągu (warunki suche, zalewany kanał).
10. W przypadku izolacji pracującej w suchych warunkach zmiany własności cieplnych i mechanicznych są niewielkie.
11. W przypadku izolacji włóknistych pracujących na rurociągach w suchych warunkach nie stwierdzono wpływu temperatury czynnika na proces starzenia się materiału (temperatura nośnika ciepła w obu rurociągach – zasilającym i powrotnym jest o co najmniej kilkadziesiąt stopni niższa, niż odporność termiczna izolacji).
12. Izolacja pracująca na rurociągach w zalewanych kanałach ciepłowniczych ulega stopniowej degradacji struktury, proces degradacji jest bardziej wyraźny w przypadku waty szklanej.
13. Jednostkowe straty ciepła w rurociągach tradycyjnych po eksploatacji rosną proporcjonalnie do zależności λ_2/λ_1 i zależą od warunków pracy izolacji.
14. Wyniki szacowań strat ciepła zależą od przyjętych założeń i metodyki obliczeń.
15. Metodyka szacowania strat ciepła przyjęta przez NFOŚiGW pozwala na uzyskanie większych oszczędności wynikających z wymiany rurociągów kanałowych na preizolowane (przykład 1). O ile w przypadku strat przenikania ciepła minimalna różnica pomiędzy stratami wyznaczonymi wg instrukcji NFOŚ i wg metodyki opisanej w niniejszej pracy wynosi:
 - dla nowych rurociągów kanałowych DN300 ok. 12 % (tab. P1.1, rys. P1.1)
 - dla nowych rurociągów preizolowanych DN200 ok. 2% (tabela P1.1, rysunek P1.2)
 - o tyle dla rurociągów kanałowych po 23 letniej eksploatacji już ponad 40% (tabela P1.2, rysunek P1.2). Wynika to z różnych współczynników (wskaźników) starzenia się izolacji włóknistej przyjętych w obu pracach. Straty ciepła w rurociągach kanałowych oszacowane na podstawie wskaźników pogorszenia izolacji w dokumencie

NFOŚiGW są zbliżone do strat ciepła dla rurociągów zaizolowanych częściowo lub niezaizolowanych wcale.

16. Straty ciepła w nowych rurociągach kanałowych są z reguły wyższe, niż w nowych rurociągach preizolowanych (co jest związane z przyjętą grubością izolacji na rurociągu kanałowym i niższym współczynnikiem przewodzenia ciepła izolacji porowatych).
17. Straty ciepła po eksploatacji w rurociągach kanałowych nie muszą być wyższe, niż straty ciepła w pojedynczych rurociągach preizolowanych z izolacją standard w osłonie bez bariery dyfuzyjnej.

LITERATURA

- [1] E. Kręcielewska, *Straty przenikania ciepła w wodnych rurociągach ciepłowniczych – część I*, INSTAL 9/2019, s. 20 ÷ 26
- [2] PN-H-02650:1989 *Armatura i rurociągi – Ciśnienia i temperatury*
- [3] PN-M-34033:1979 *Rurociągi pary i wody – Obliczanie grubości ścianek rur*
- [4] PN-B-02421:1985 *Ogrzewnictwo i ciepłownictwo – Izolacja cieplna rurociągów, armatury i urządzeń – Wymagania i badania*
- [5] PN-B-02421:2000 *Ogrzewnictwo i ciepłownictwo – Izolacja cieplna rurociągów, armatury i urządzeń – Wymagania i badania odbiorcze*
- [6] I. Iwko, *Zjawisko dyfuzji gazów w rurociągach preizolowanych w zależności od stosowanych środków pieniężnych i sposobu produkcji*, INSTAL 12 (2002), s. 6 ÷ 9
- [7] I. Iwko, *Bariera antydyfuzyjna – System rur Axial Conti Logstor – aspekty techniczne i ekonomiczne*, prezentacja LOGSTOR, 2013
- [8] A. Pożarowski, B. Sady, *Rury nowej generacji dla ciepłownictwa*, prezentacja RADPOL XVII Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje 2013
- [9] E. Kręcielewska, K. Abatorab, A. Smyk, *Właściwości cieplne izolacji ze sztywnych tworzyw porowatych – współczynnik przewodzenia ciepła oraz odporność termiczna*, INSTAL 7-8 (2011), s. 4 ÷ 8
- [10] E. Kręcielewska, K. Abatorab, A. Smyk, *Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji PUR eksploatowanych rurociągów preizolowanych*, Instal 9 (2011), s. 12 ÷ 14
- [11] E. Kręcielewska, D. Menard, *Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji w rurach preizolowanych po naturalnym i sztucznym starzeniu*, Instal 11 (2014), s. 14 ÷ 20
- [12] E. Kręcielewska, D. Menard, *Thermal conductivity coefficient of PUR insulation material from preinsulated pipes after real operation on district heating networks and after artificial ageing process in heat chamber*, Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2/2015, s. 46 ÷ 52
- [13] PN-EN ISO 8497:1999 *Izolacja cieplna – Określanie właściwości w zakresie przepływu ciepła w stanie ustalonym przez izolacje cieplne przewodów rurowych*
- [14] T. Żarnowski, T. Wiśniewski, *Starzenie się izolacji włóknistych stosowanych w ciepłownictwie i energetyce*, Instal 12/2014, str. 21-27.
- [15] T. Żarnowski, E. Kręcielewska, *Investigation of thermal conductivity coefficient in fibrous thermal insulation after operations*, Instal 5/2016, s. 7-11
- [16] PN-ISO 8301:1998 *Izolacja cieplna – Określanie oporu cieplnego i właściwości z nim związane w stanie ustalonym – Aparat płytowy z czujnikami gęstości strumienia cieplnego*
- [17] NFOŚiGW *Szacowanie strat ciepła w wyniku realizacji Projektu, Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko 2007 ÷ 2013*