

Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji w rurach preizolowanych po naturalnym i sztucznym starzeniu

Thermal conductivity coefficient of pur insulation material from pre-insulated pipes after real operation on district heating networks and after artificial ageing process in heat chamber

EWA KRĘCIELEWSKA, DAMIEN MENARD

Ze względu na żywotność pianki PUR rurociągi preizolowane projektowane są na 30 lat eksploatacji. Podczas pracy izolacja ulega procesowi naturalnego starzenia, zmieniają się jej podstawowe właściwości termiczne i mechaniczne. W wyniku starzenia się izolacji następuje wzrost (pogorszenie) współczynnika przewodzenia ciepła. Laboratorium Badawcze Heat-Tech Center (LB HTC) Dalkii Warszawa rozpoczęło projekt badawczy, którego celem jest określenie zmian wartości współczynnika przewodzenia w czasie, w rzeczywistych warunkach pracy sieci ciepłowniczej. Równolegle Laboratorium prowadzi badania izolacji z rur preizolowanych po procesie przyspieszonego starzenia zgodnie z normą EN253.

Publikacja przedstawia wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła izolacji z pianki PUR z rur preizolowanych starzonych w środowisku naturalnym i sztucznym.

Słowa kluczowe: współczynnik przewodzenia ciepła, rury preizolowane, starzenie naturalne, starzenie przyspieszone (sztuczne)

Preinsulated pipelines, because of foam polyurethane (PUR) lifetime, are designed for 30 years of operation. During operation insulation foam is subject to natural process of ageing, resulting in changing of its basic thermal and mechanical properties. As a result of ageing, an increase (worsening) of insulation thermal conductivity coefficient follows.

The Research Laboratory in Heat-Tech Center (LB HTC) from Dalkia Warsaw has started a research project, which aim is to determine actual values of thermal conductivity coefficient of pipe insulations, changing over time, under real operating conditions. Laboratory also performs in parallel studies on insulation of preinsulated pipes after artificial ageing process according to norm EN 253.

The publication presents the results of the tests of thermal conductivity of PUR foam insulation of the pre-insulated pipe ageing in natural and artificial environments.

Keywords: thermal conductivity coefficient, preinsulated pipes, natural process of ageing, artificial ageing

Wstęp

Jedną z przyczyn starzenia się izolacji poliuretanowych jest zjawisko dyfuzji gazów. W miejsce gazów komórkowych – cyklopentanu i CO_2 , do pianki PUR wnika z powietrza tlen i azot, które powodują pogorszenie właściwości 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.

Ponieważ okres szacowanej trwałości rurociągów preizolowanych pracujących

w warunkach różnej wartości temperatury czynnika przewiduje się na około 30 lat, zjawisko dyfuzji gazów (rys. 1) i stopniowe pogarszanie się właściwości termoizolacyjnych izolacji mają istotne znaczenie



Rys. 1
Dyfuzja gazów z i do pianki PUR [3]

Fig. 1 Diffusion of gases from and into the PUR foam [3]

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 [1, 2, 3].

Szybkość dyfuzji gazów w rurach preizolowanych zależy od:

mgr inż. Ewa Kręcielewska, dr inż. Damien Menard – Heat-Tech Center Dalkia Warszawa

- rodzaju poroforu, a konkretnie od wielkości molekuł gazu znajdujących się w zamkniętych komórkach izolacji. Molekuły CO_2 są stosunkowo małe, więc jego dyfuzja będzie dużo szybsza od dyfuzji cyklopentanu – gazu o dużo większych molekułach,
- temperatury nośnika ciepła – im wyższa, tym proces dyfuzji zachodzi szybciej,
- grubości płaszcza osłonowego – im cieńszy, tym dyfuzja będzie szybsza, co oznacza, że rury preizolowane o małych średnicach będą pogarszały swoje właściwości termoizolacyjne szybciej, niż rury o dużych średnicach, ponieważ zgodnie z normą EN 253 grubość ścianki rośnie wraz ze wzrostem średnicy nominalnej,
- od stosowanej metody produkcji rur preizolowanych.

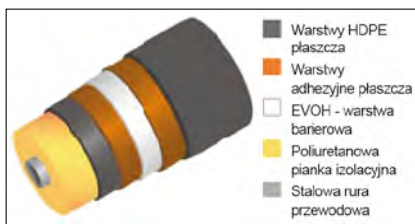
Rury preizolowane produkowane są trzema metodami. Metoda:

- TRADYCYJNA, najbardziej powszechna, polega na wtrysku pianki poliuretanowej do obszaru pomiędzy rurą przewodową i rurą osłonową. Stosowana jest przez wielu producentów przy produkcji rur preizolowanych DN20 ÷ DN1200. Osłonę izolacji stanowi rura polietylenowa z polietylenu o własnościach określonych w EN 253.

Rura osłonowa, na etapie produkcji, może zostać „doposażona” w dodatkową warstwę, tak zwaną barierę dyfuzyjną (np. rury trójwarstwowe prod. ZPU Jońca, rury pięciowarstwowe prod. RADPOL – rys. 2). W wyniku zastosowania warstwy barierowej z EVOH (Ethylene vinyl alcohol) przenikanie gazu z pianki, jak i tlenu do izolacji zostaje obniżone do wartości śladowych, co oznacza utrzymanie właściwości termicznych pianki na niezmiennym poziomie przez pełen okres eksploatacji systemu. W związku z brakiem degradacji tlenowej poliuretanu, nie ulega też pogorszeniu mechaniczna integralność systemu.

Niektórzy producenci, jako barierę dyfuzyjną stosują folię tworzywową lub aluminium pomiędzy izolacją i rurą osłonową, która wprowadzie chroni izolację przed dyfuzją gazów, ale jednocześnie w sposób istotny może pogorszyć jeden z najważniejszych parametrów wytrzymałościowych preizolowanego zespołu rurowego – wytrzymałość na ścinanie,

- CONTI – ciągła, polegająca na jednoczesnym formowaniu izolacji z barierą antydyfuzyjną i wytłaczaniu płaszcza osłonowego. Jest to bardzo trudna metoda produkcji, stosowana – według wiedzy autorów niniejszej publikacji,



Rys. 2

Rura preizolowana z 5-warstwowym płaszczem osłonowym (HDPE/ warstwa adhezyjna/ EVOH/ warstwa adhezyjna/ HDPE) [3]

Fig. 2 The pre-insulated pipe with five-layer HDPE/ adhesive layer/ EVOH/ adhesive layer HDPE [3]

- tylko przez dwóch producentów rur preizolowanych w Europie (firmy LOGSTOR oraz ISOPLUS). Ograniczenie stosowania rur preizolowanych wyprodukowanych tą metodą wynika z zakresu średnic (DN20 ÷ DN250),
- OPTI – półciągła, polegająca na formowaniu pianki na rurze stalowej, a następnie – po zdjęciu formy, nawinięciu na izolację płaszcza osłonowego lub folii aluminiowej (jako bariera dyfuzyjna) i płaszcza osłonowego (rys. 3). Produkowane są w zakresie średnic DN200 ÷ DN1200.



Rys. 3

Nawijanie płaszcza osłonowego z HDPE na warstwę dyfuzyjną nałożoną na izolację [4]

Fig. 3 Winding of the casing of HDPE on the diffusion layer [4]

Aktualny stan wiedzy [1]

Badania naukowe wykonane przez niezależny szwedzki instytut badawczy – Chal-

mers Technical University (ChTU) wykazały, że w przypadku stosowania cyklopentanu jako środka pniącego wartość współczynnika przewodzenia ciepła zależy od stosowanej metody produkcji rur [1].

W przypadku rur preizolowanych produkowanych metodą tradycyjną z izolacją spienianą CO_2 w ciągu pierwszych 5 lat współczynnik przewodzenia ciepła gwałtownie wzrasta i po około 6 latach osiąga graniczną wartość $\lambda_{50} = 0,0395 \text{ W/mK}$. Oznacza to przyrost o $\Delta\lambda_{50} = 28\%$.

W przypadku rur z pianką spienianą za pomocą cyklopentanu widoczna jest różnica pomiędzy rurami produkowanymi w tradycyjny sposób, a rurami produkowanymi metodą CONTI.

Dla rur z cyklopentanem produkowanych metodą tradycyjną w momencie produkcji wartość współczynnika przewodzenia ciepła pianki PUR wynosi około $\lambda_{50} = 0,028 \text{ W/mK}$. Następnie po 2 latach maleje do ok. $\lambda_{50} = 0,027 \text{ W/mK}$ i po 30 latach rośnie do wartości $\lambda_{50} = 0,0312 \text{ W/mK}$. Daje to przyrost o $\Delta\lambda_{50} = 13,4\%$.

Dla rur produkowanych metodą CONTI wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ zmienia się od początkowej wartości $\lambda_{50} = 0,027 \text{ W/mK}$ do $\lambda_{50} = 0,033 \text{ W/mK}$, co stanowi przyrost wartości o $\Delta\lambda_{50} = 22,4\%$.

Wyniki badań ChTU przedstawiono na rysunku 4.

Metodyka badań

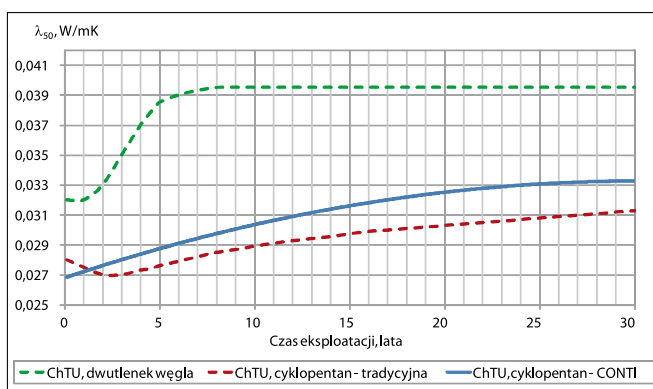
Wymiernym efektem starzenia się izolacji poliuretanowych jest zmiana współczynnika przewodzenia ciepła izolacji. Jego wartość zmienia się również w sposób istotny wraz z gęstością materiału izolacyjnego, zależy od zastosowanego systemu surowcowego – rodzaju i składu gazów w komórkach zamkniętych oraz od metody badania.

Badaniami współczynnika przewodzenia ciepła zajmuje się od kilkunastu lat LB HTC. Prowadzone są one na aparacie rurowym (rys. 5) zbudowanym zgodnie

Rys. 4

Zmiana współczynnika przewodzenia ciepła λ_{50} , W/mK w czasie (izolacja spieniana CO_2 i cyklopentanem – metody: TRADYCYJNA i CONTI)

Fig. 4 Change of the thermal conductivity coefficient λ_{50} , W/mK in time (polyurethane insulation foamed with CO_2 and cyclopentane (TRADITIONAL and CONTI method))



z EN ISO 8497. Od 2003 roku metoda badania jest akredytowana przez Polskie Centrum Akredytacji (PCA), co oznacza, że badania prowadzone są zgodnie z obowiązującymi wymaganiami, w tym przypadku z normą EN 253.



Rys. 5
Stanowisko badawcze SB-6 "aparatury rurowej"
Fig. 5 The test stand SB-6 "pipe apparatus"

Laboratorium prowadzi badania współczynnika przewodzenia ciepła wyrobów nowych i zdemontowanych po eksploatacji w celach: poznawczym lub sprawdzającym oraz badania izolacji po przyspieszonym starzeniu.

W publikacji przedstawiono wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła izolacji z pianki PUR z rur preizolowanych starzonych w warunkach naturalnych i sztucznych.

W 2006 roku uruchomiono w LB projekt dotyczący badań współczynnika przewodzenia ciepła izolacji z rur preizolowanych produkowanych metodą tradycyjną przez różnych producentów, które zdemontowane zostały z rurociągów preizolowanych DN50 i DN80 po różnych okresach eksploatacji.

W latach 2006-2008 prowadzono badania współczynnika przewodzenia ciepła izolacji z rur preizolowanych z pianki PUR spienianej dwutlenkiem węgla. Próbkę – od cinki rur preizolowanych – pobierane były z warszawskiego systemu ciepłowniczego.

Łącznie przebadano 8 próbek, eksploatowanych w okresie od 5 do 15 lat.

Od 2008 roku prowadzono w LB badania współczynnika przewodzenia ciepła izolacji z rur preizolowanych spienianych cyklopentanem. Dzięki współpracy z polskimi przedsiębiorstwami energetyki ciepłej do badań trafiło 16 próbek z odkrywek rurociągów preizolowanych z różnych miejsc w Polsce, eksploatowanych od 4 do 14 lat. Wyniki badań rur eksploatowanych ponad 11 lat odrzucono, ze względu na brak jednoznacznej informacji nt. zastosowanego rodzaju porofozu.

W styczniu 2011 roku uruchomiona została w LB komora grzejna (rys. 6), służąca do przyspieszonego starzenia rur preizolowanych. Wg EN 253 przyspie-

szone starzenie przed badaniem współczynnika przewodzenia ciepła polega na wygrzewaniu zespołu rurowego w temperaturze $t = 90^\circ\text{C}$ przez 150 dni.

W LB HTC badania współczynnika przewodzenia ciepła prowadzone są równoległe z badaniami pianki PUR – gęstości i wytrzymałości na ściskanie, wg EN 253, EN ISO 845 i EN 826.

Wyniki badań

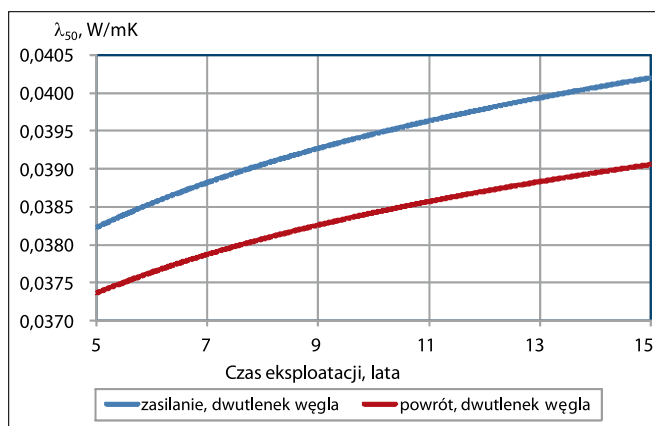
Wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła po naturalnym starzeniu [5], [6]

Na rysunku 7 przedstawiono wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ_{50} , W/mK izolacji spienianej CO_2 z rurociągów zasilającego i powrotnego – po starzeniu w warunkach naturalnych – w zależności od czasu eksploatacji.

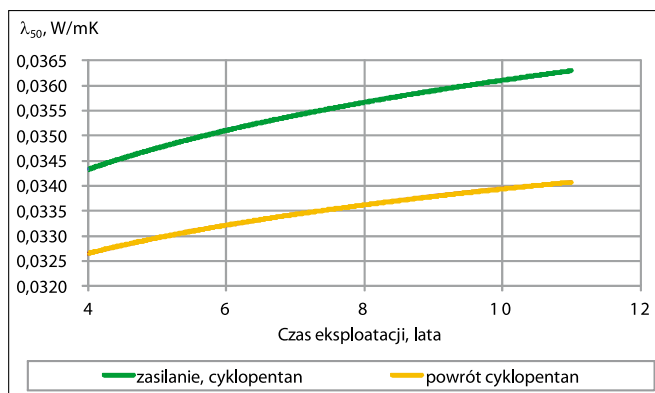


Rys. 6
Komora do badań starzeniowych
Fig. 6 The heating chamber for ageing of samples

Rys. 7
Zmiana współczynnika przewodzenia ciepła λ_{50} , W/mK izolacji spienianej CO_2 z rur preizolowanych po eksploatacji
Fig. 7. The thermal conductivity coefficient λ_{50} , W/mK, depending on the time of operation of pipelines system (supply, return) with the insulation foamed with CO_2



Rys. 8
Zmiana współczynnika przewodzenia ciepła λ_{50} , W/mK izolacji spienianej cyklopentanem z rur preizolowanych po eksploatacji
Fig. 8. The thermal conductivity coefficient λ_{50} , W/mK, depending on the time of operation of pipelines system (supply, return) with the insulation foamed with cyclopentan



Na rysunku 8 przedstawiono wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ_{50} , W/mK izolacji spienianej cyklopentanem z rurociągów zasilającego i powrotnego – po starzeniu w warunkach naturalnych – w zależności od czasu eksploatacji.

Na rysunku 9 porównano wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ_{50} , W/mK izolacji z rurociągów zasilającego i powrotnego spienianej cyklopentanem i CO_2 – po starzeniu w warunkach naturalnych – w zależności od czasu eksploatacji.

Średnia zawartość cyklopentanu % (v/v), wyznaczona metodą chromatografii gazowej w Instytucie Chemii Przemysłowej (IChP) w Warszawie, wynosiła w próbkach z rur eksploatowanych:

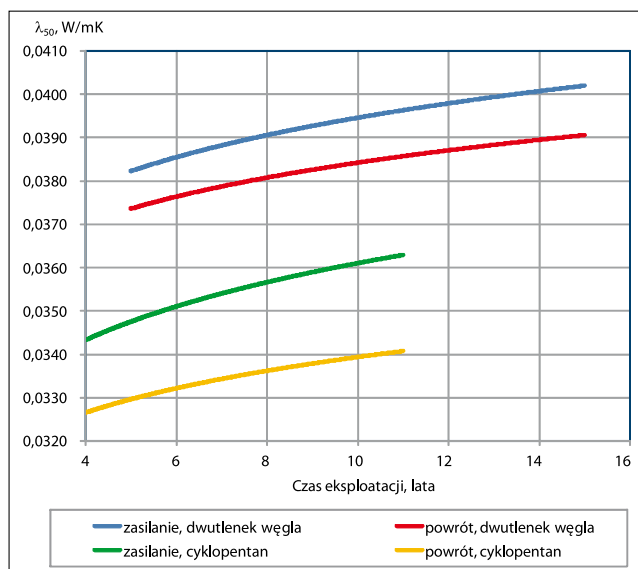
- do 10 lat – zasilanie: $6 \div 26$, powrót: $5 \div 35$,
- powyżej 10 lat – zasilanie: $1,6 \div 5$, powrót: $<1 \div 10$.

Na podstawie doświadczeń laboratorium przyjęto średnie wartości współczynników przewodzenia ciepła w rurach preizolowanych produkowanych metodą tradycyjną:

- $\lambda_{50} = 0,032$ W/mK dla nowych izolacji spienianych CO_2 ,
- $\lambda_{50} = 0,028$ W/mK dla nowych izolacji spienianych cyklopentanem.

Stwierdzono, że wzrasta ona dla izolacji spienianej CO_2 :

- 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.

Wzrost wartości współczynnika przewodzenia ciepła $\Delta\lambda_{50}$ dla obu typów izolacji przedstawiono na rys. 10

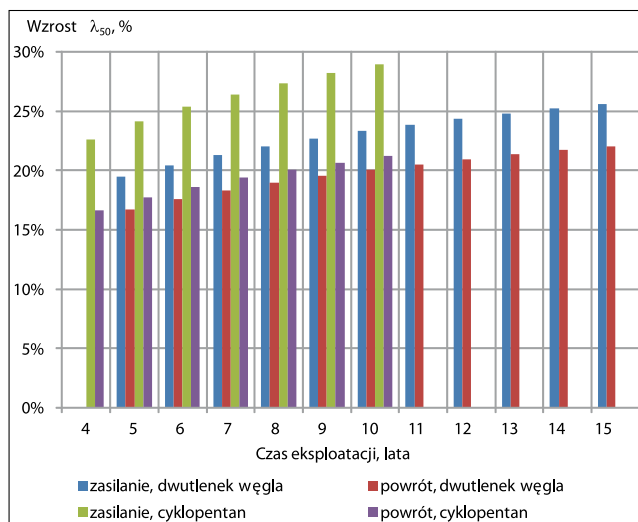
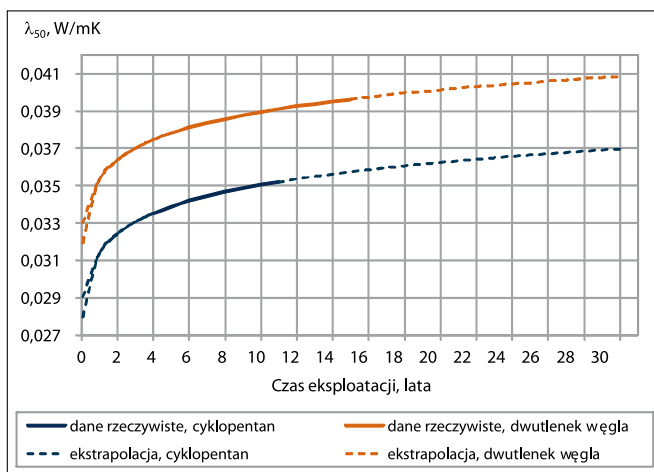
W wyniku przeprowadzonych badań można stwierdzić, że współczynnik przewodzenia ciepła izolacji spienianej CO₂ i cyklopentanem zmienia się w różny sposób.

Na rysunku 11 porównano przewidywaną zmianę wartości (średniej z zasilania i powrotu) współczynnika przewodzenia

Rys. 11

Zmiana współczynnika przewodzenia ciepła λ_{50} , W/mK (średnia wartość – zasilanie i powrót) izolacji z pianki PUR spienianej CO₂ i cyklopentanem

Fig. 11 Change the thermal conductivity coefficient λ_{50} , W/mK (average value – supply + return) of the insulation of PUR foam foamed with CO₂ and cyclopentane.



Rys. 9

Współczynnik przewodzenia ciepła λ_{50} , W/mK w zależności od czasu eksploatacji rurociągów preizolowanych zasilających i powrotnych z izolacją spienianą CO₂ oraz cyklopentanem

Fig. 9. The thermal conductivity coefficient λ_{50} , W/mK, depending on the time of operation of the pre-insulated pipelines system (supply, return) with the insulation foamed with CO₂ and cyclopentane.

nia ciepła izolacji spienianej CO₂ i cyklopentanem w czasie 30 lat eksploatacji. Wartości współczynnika przewodzenia ciepła w okresach do 4 lat i 12 ÷ 30 lat (cyklopentan) oraz do 5 lat i 16 ÷ 30 lat (CO₂) wyznaczono metodą ekstrapolacji.

Jako wartości początkowe (współczynniki przewodzenia ciepła nowych izolacji) przyjęto:

- w przypadku cyklopentanu $\lambda_{50} = 0,028$ W/mK (średnia z badań prowadzonych w laboratorium) oraz $\lambda_{50} = 0,029$ W/mK (wymagania normy EN 253:2009),
- w przypadku CO₂ $\lambda_{50} = 0,032$ W/mK (średnia z badań prowadzonych w laboratorium) oraz $\lambda_{50} = 0,033$ W/mK (wymagania normy EN 253:2003).

W czasie trwania projektu wprowadzono nową edycję normy EN253 (w 2009 roku), która zmianą zapisu dotyczącą maksymalnej wartości współczynnika przewodzenia ciepła (z $\lambda_{50} \leq 0,033$ W/mK na $\lambda_{50} \leq 0,029$ W/mK) narzuciła stosowanie cyklopentanu jako porofozu w piankach PUR stosowanych w rurach preizolowanych.

Wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła po sztucznym starzeniu

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła po przyspieszonym starzeniu izolacji spienianej cyklopentanem z rur preizolowanych wyprodukowanych metodą TRADYCYJNĄ przez różnych producentów. Po

Tabela 1. Wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła izolacji z rur preizolowanych po przyspieszonym starzeniu wg EN 253

Table 1. The results of the tests of the thermal conductivity coefficient of the pre-insulated pipe after artificial ageing by EN 253.

Numer próbki	λ_{50} , W/mK, przed starzeniem	λ_{50} , W/mK, po starzeniu	DN/ D _c *
1	0,0273	0,0311	50/125
2	0,0271		
3	0,0283		
4	0,0281	0,0302	50/140
5	0,0287		
6	0,0268		
7	0,0265	0,0288	50/125
8	0,0264		
9	0,0272		
10	0,0282	0,0300	50/125
11	0,0279	0,0291	50/125
średnia	0,0281	0,0297	-

* DN/ D_c – średnica nominalna rury przewodowej/ zewnętrzna średnica nominalna rury osłonowej

przyspieszonym starzeniu następuje wzrost współczynnika przewodzenia ciepła średnio o 5,7 %.

LB prowadzi również badania starzeniowe rur preizolowanych z barierą dyfuzyjną, wyprodukowanych metodą CONTI i TRADYCYJNA. Wyniki badań wypadają bardzo obiecująco, ale ze względu na zbyt małą liczbę próbek nie są reprezentatywne. Potwierdzają jednakże prawidłowy kierunek działań podjętych przez producentów:

Wyniki badań gęstości i wytrzymałości na ściskanie

Poniżej oraz na wykresach 12 i 13 przedstawiono wyniki badań gęstości pozornej ρ oraz wytrzymałości na ściskanie σ izolacji z rur preizolowanych:

po naturalnym starzeniu:

spienianej CO₂:

- $\rho_{sr} = 80 \text{ kg/m}^3$ ($71 \text{ kg/m}^3 \div 90 \text{ kg/m}^3$),

- $\sigma_{10sr} = 0,41 \text{ MPa}$ ($0,33 \text{ MPa} \div 0,48 \text{ MPa}$),

spienianej cyklopentanem:

- $\rho_{sr} = 85 \text{ kg/m}^3$ ($67 \text{ kg/m}^3 \div 103 \text{ kg/m}^3$),

- $\sigma_{10sr} = 0,49 \text{ MPa}$ ($0,32 \text{ MPa} \div 0,74 \text{ MPa}$),

przed sztucznym starzeniem:

spienianej cyklopentanem:

- $\rho_{sr} = 67 \text{ kg/m}^3$ ($59 \text{ kg/m}^3 \div 76 \text{ kg/m}^3$),

- $\sigma_{10sr} = 0,28 \text{ MPa}$ ($0,16 \text{ MPa} \div 0,34 \text{ MPa}$),

po sztucznym starzeniu:

spienianej cyklopentanem:

- $\rho_{sr} = 68 \text{ kg/m}^3$ ($66 \text{ kg/m}^3 \div 72 \text{ kg/m}^3$),

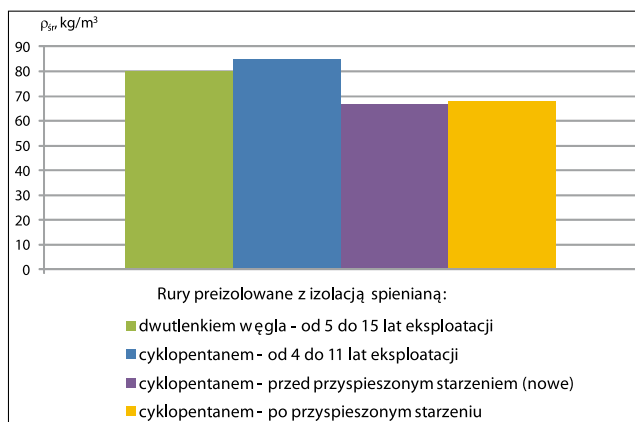
- $\sigma_{10sr} = 0,28 \text{ MPa}$ ($0,15 \text{ MPa} \div 0,38 \text{ MPa}$).

Stwierdzono, że w przeciągu ostatnich lat występuje tendencja do obniżania gęstości pianki PUR w rurach preizolowanych – czego efektem jest obniżenie wytrzymałości na ściskanie (11 z 17 zbadanych próbek (przed i po sztucznym starzeniu) charakteryzowało się za małą wytrzymałością na ściskanie: $\sigma_{10sr} < 0,3 \text{ MPa}$).

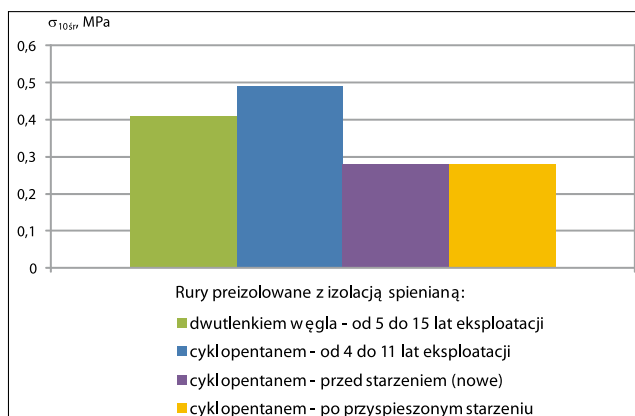
Dyskusja – współczynnik przewodzenia ciepła

Pierwsza seria badań wykonywanych w Polsce prowadzona była na próbkach zdemontowanych z rurociągów ciepłowniczych po kilku/ kilkunastu latach eksploatacji. W przypadku jednostki szwedzkiej badania prowadzono na próbkach prawdopodobnie poddanych procesowi przyspieszonego starzenia w warunkach laboratoryjnych (w materiale źródłowym brak jest opisu zastosowanej metody).

Rys. 12
Średnia gęstość pozorna rdzenia $\rho_{sr} \text{ kg/m}^3$
Fig. 12 Average density $\rho_r \text{ kg/m}^3$



Rys. 13
Średnia wytrzymałość na ściskanie w kierunku promieniowym $\sigma_{10sr} \text{ MPa}$
Fig. 13 Average compressive strength $\sigma_{10r} \text{ MPa}$



Na rysunkach 14, 15, 16 i 17 przedstawiono współczynniki przewodzenia ciepła izolacji spienianej CO₂ i cyklopentanem po naturalnym starzeniu (NS) i po przyspieszonym starzeniu (PS) z rur preizolowanych wyprodukowanych metodą tradycyjną.

W przedziale 5 ÷ 15 lat wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła izolacji spienianej CO₂ po eksploatacji – naturalnym starzeniu (NS) i po przyspieszonym starzeniu (PS) są zbliżone i różnią się od – 1,9% do +0,3% (rysunek 14).

Rysunek 15 przedstawia zmianę współczynnika przewodzenia ciepła izolacji spienianej CO₂ w ciągu 30 lat. W przypadku LB HTC wyniki badań w przedzia-

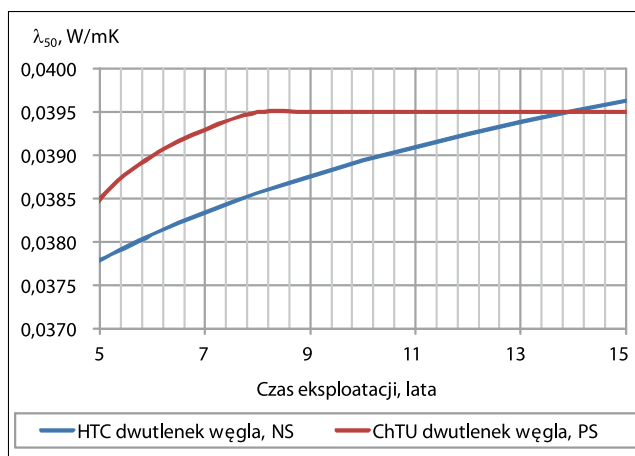
łach do 5 lat i 16 ÷ 30 lat wyznaczone były metodą ekstrapolacji.

W przedziale 4 do 11 lat współczynniki przewodzenia ciepła izolacji spienianej cyklopentanem po naturalnym starzeniu (NS) i po przyspieszonym starzeniu (PS) różnią się znacznie – od 20,9% do 22,7% (rys. 16).

Rysunek 17 przedstawia zmianę współczynnika przewodzenia ciepła izolacji spienianej cyklopentanem w ciągu 30 lat. W przypadku HTC wyniki badań w przedziałach do 4 i 12 ÷ 30 lat wyznaczone były metodą ekstrapolacji.

Druga seria badań wykonywanych w Polsce prowadzona była na próbkach po przyspieszonym (sztucznym) starzeniu wg EN 253 w komorze grzejnej.

Rys. 14
Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji spienianej CO₂ po przyspieszonym starzeniu (PS) i po naturalnym starzeniu (NS).
Fig. 14 Thermal conductivity coefficient of the insulation foamed with CO₂ after artificial (AA) and natural ageing (NA).



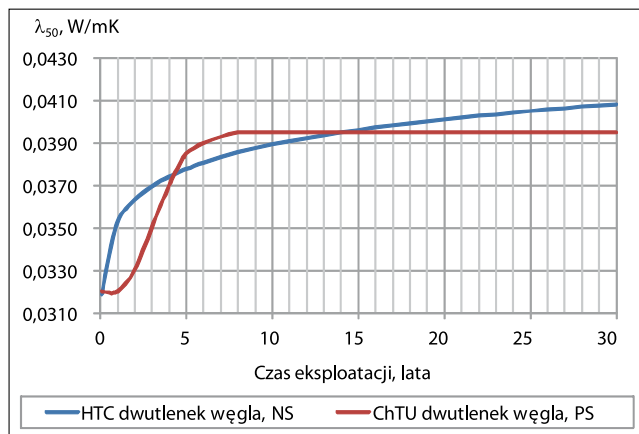
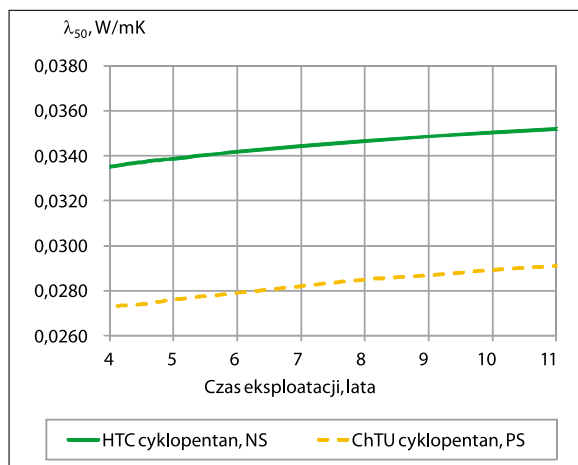


Fig. 15
Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji spienianej CO₂ po przyspieszonym starzeniu (PS) i po naturalnym starzeniu (NS).

Fig. 15 Thermal conductivity coefficient of the insulation foamed with CO₂ after artificial (AA) and natural ageing (NA).



Rys. 16
Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji spienianej cyklopentanem po przyspieszonym starzeniu (PS) i po naturalnym starzeniu (NS).

Fig. 16 Thermal conductivity coefficient of the insulation foamed with cyclopentane after artificial (AA) and natural ageing (NA).

Rysunek 18 porównuje wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła izolacji spienianej cyklopentanem po przyspieszonym starzeniu (PS) w LB HTC oraz ChTU i (przewidywany) po naturalnym starzeniu (NS) po 30 latach eksploatacji (LB HTC).

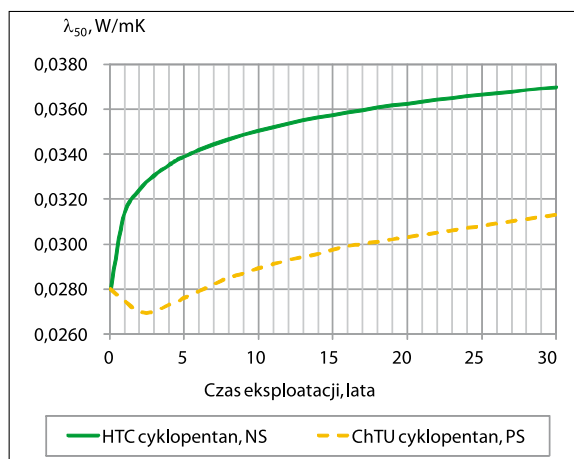
Z rysunku 18 wynika, że współczynnik przewodzenia ciepła izolacji spienianej cyklopentanem po przyspieszonym starzeniu i (przewidywany) po naturalnym starzeniu po 30 latach eksploatacji są zupełnie inne.

Dyskusja – gęstość i wytrzymałość na ściskanie

Gęstość pozorna izolacji zależy od zastosowanego systemu surowcowego, metody i warunków produkcji. Wraz z gęstością zmieniają się przewodność cieplna oraz wytrzymałość na ściskanie pianki PUR. Im mniejsza jest gęstość, tym mniejszy (lepszy) jest współczynnik przewodzenia ciepła, ale niższa (gorsza) jest wytrzymałość na ściskanie. Gęstość pianki PUR musi być tak dobrana, aby zapewnić jednocześnie zachowanie wymaganych w normie EN 253 parametrów ($\lambda_{50} \leq 0,029$ W/mK i $\sigma_{10} = \min 0,3$ MPa). Wytrzymałość izolacji na ściskanie promie-

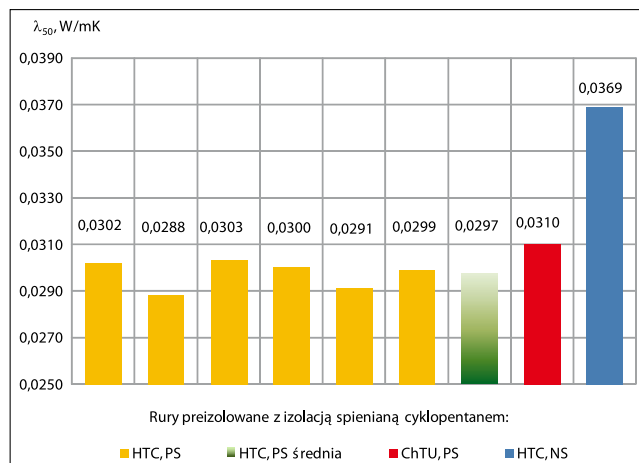
Rys. 17
Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji spienianej cyklopentanem po przyspieszonym starzeniu (PS) i po naturalnym starzeniu (NS).

Fig. 17 Thermal conductivity coefficient of the insulation foamed with cyclopentane after artificial (AA) and natural ageing (NA).



Rys. 18.
Wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła izolacji spienianej cyklopentanem po przyspieszonym starzeniu (PS) i po naturalnym starzeniu (NS) po 30 latach eksploatacji.

Fig. 18 The anticipated thermal conductivity coefficients of the insulations foamed with cyclopentane after artificial (AA) and natural ageing (NA) after 30 years operation.



niowe poniżej 0,3 MPa zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia awarii rurociągu preizolowanego, skraca przewidywany okres jego pracy i powoduje wzrost kosztów eksploatacyjnych sieci ciepłowniczej.

Stwierdzone nie zachowanie właściwej wytrzymałości na ściskanie izolacji w badanych odcinkach rur preizolowanych wynika, zdaniem autorów niniejszej publikacji, z niewłaściwych lub braku zapisów w normie EN 253 edycja 2009.

W normie EN 259:2009:

- usunięto zapis dotyczący minimalnej gęstości izolacji (taki zapis istniał od 1994 roku),
- brakuje spójności pomiędzy zapisami dotyczącymi badań gęstości, wytrzymałości na ściskanie i współczynnika przewodzenia ciepła, tzn. przy badaniu współczynnika przewodzenia ciepła wymagane jest podawanie gęstości izolacji, natomiast nie wymagane jest podawanie wytrzymałości na ściskanie.

Perspektywy

Dla możliwości poszerzenia wiedzy na temat wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji po starzeniu w warunkach naturalnych, konieczne jest kontynu-

owanie badań pianki PUR z eksploatacyjnych rurociągów preizolowanych.

Zdaniem HTC należy kontynuować badania izolacji z rur preizolowanych (wyprodukowanych metodą tradycyjną i CONTI, z warstwą antydyfuzyjną i bez tej warstwy) po przyspieszonym starzeniu.

Wnioski

1. Podczas eksploatacji rurociągów ciepłowniczych preizolowanych z upływem czasu pogarszają się właściwości termoizolacyjne pianki PUR.
2. Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji spienianej CO₂, zbadany dla 8 próbek pobranych z rur preizolowanych eksploatowanych w różnych okresach w naturalnych warunkach, jest zbliżony do współczynnika przewodzenia ciepła po starzeniu przyspieszonym.
3. Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji spienianej cyklopentanem, zbadany dla 14 próbek pobranych z rur preizolowanych eksploatowanych w różnych okresach w naturalnych warunkach, jest wyższy niż współczynnik przewodzenia ciepła po starzeniu przyspieszonym.
4. Wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła izolacji z rur preizolowanych po przyspieszonym starzeniu, wykonanych w różnych laboratoriach, są podobne.

5. Różnica wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji po przyspieszonym starzeniu i po starzeniu w rzeczywistych warunkach pracy może oznaczać konieczność weryfikacji parametrów przyspieszonego starzenia określonych w normie EN 253.
6. Dla możliwości poszerzenia wiedzy na temat wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji spienianej cyklopentanem po starzeniu w warunkach naturalnych konieczne jest kontynuowanie badań pianki PUR z eksploatacyjnych odcinków rurociągów preizolowanych.
7. W celu zachowania właściwych parametrów izolacji, zaleca się rozważenie przez CEN zmiany normy EN 253:
 - wprowadzenie w zakresie badań typu współczynnika przewodzenia ciepła, wymogu badania, obok gęstości rdzenia, wytrzymałości na ściskanie,
 - ponownego wprowadzenia zapisu dotyczącego minimalnej gęstości pianki PUR.

Podziękowania

Dziękujemy:

- Przedsiębiorstwu Ciepłowniczym z Polski: Starachowice, Bełchatów, Elbląg, Siedlce, Katowice i Warszawa za wskazanie miejsc poboru, prowa-

dzenie odkrywek i dostarczanie próbek do badań,

- Producentom rur preizolowanych (Fimpol, LOGSTOR, ISOPLUS, ZPU Jońca, Star Pipe) za współpracę i dostarczanie wyrobów do badań,
- Grupie Veolia za finansowanie badań prowadzonych w ramach Projektu „Nieawodna Sieć Ciepłownicza”.

LITERATURA

- [1] I. Iwko, Zjawisko dyfuzji gazów w rurociągach preizolowanych w zależności od stosowanych środków pieniących i sposobu produkcji, Instal 12/2002, s. 6-9
- [2] I. Iwko, Bariera antydyfuzyjna – System rur Axial Conti Logstor – aspekty techniczne i ekonomiczne, prezentacja LOGSTOR, 2013
- [3] A. Pożarowski, B. Sady, Rury nowej generacji dla ciepłownictwa, prezentacja RADPOL XVII Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje 2013
- [4] E. Kręcielewska, Rury preizolowane – rodzaje i zastosowanie, prezentacja HTC, Warszawa 2012
- [5] 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
- [6] E. Kręcielewska, K. Abatorab, A. Smyk, Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji PUR eksploatowanych rurociągów preizolowanych, Instal 9/2011, s. 12-14
- [7] EN 253 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 płaszcza osłonnego z polietylenu
- [8] EN ISO 8497 Izolacja cieplna – Określanie właściwości w zakresie przepływu ciepła w stanie ustalonym przez izolację cieplną przewodów rurowych
- [9] EN ISO 845 Tworzywa sztuczne porowate i gumy – Oznaczanie gęstości pozornej
- [10] EN 826 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Określanie zachowania przy ściskaniu



kompleksowa obsługa serwisowa sieci ciepłowniczych

Maszynowe izolowanie złączy za pomocą agregatu spieniającego
Montaż oraz nadzór systemów alarmowych
Hermetyzacja złączy rur preizolowanych
Spawanie ekstruderem
Wcinki "na gorąco"

SERWIS WYROBÓW PREIZOLOWANYCH TOMASZ FILIPIAK

G. Narutowicza 41/25, 90-125 Łódź
Biuro Handlowe: ul. A. Niemojewskiego 12, 91-849 Łódź

tel. kom.: + 48 601 249 580
fax: 0048 42 613 12 55



www.serwispreizolacji.pl

e-mail: biuro@serwispreizolacji.pl e-mail: tfiliplik@serwispreizolacji.pl