

Współczynnik przewodzenia ciepła izolacji PUR eksploatowanych rurociągów preizolowanych

Thermal conductivity coefficient of PUR insulation material used for exploited preinsulated district heating networks.

EWA KRĘCIELEWSKA, KATARZYNA ABATORAB, ADAM SMYK

Rurociągi preizolowane, ze względu na żywotność pianki PUR, projektowane są na 30 lat. W czasie eksploatacji pianka izolacyjna ulega naturalnemu procesowi starzenia wskutek czego ulegają zmianie jej podstawowe właściwości cieplne i mechaniczne. Głównym czynnikiem oddziałującym destrukcyjnie na izolację jest temperatura rury stalowej, zależna od temperatury nośnika ciepła. Zawilgocenie pianki przyspiesza ten proces. W wyniku starzenia następuje wzrost (pogorszenie) współczynnika przewodzenia ciepła λ izolacji. Niestety, z powodu w ogóle braku lub nieopublikowania, niedostępne są dane na temat zmian tego współczynnika w czasie. Laboratoria badawcze prowadzą zazwyczaj badania wyrobów nowych lub poddanych przyspieszonemu sztuczemu starzeniu.

Rzeczywiste wartości współczynnika przewodzenia ciepła

W 2006 roku w OBRC został uruchomiony projekt badawczy, którego celem było określenie rzeczywistych zmian wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji PUR następujących w wyniku upływu czasu w rzeczywistych warunkach eksploatacji. Projektem objęte zostały izolacje z pianki PUR spienianej różnymi rodzajami porofoarów, pochodzące z rur preizolowanych eksploatowanych w sieciach ciepłowniczych na terenie kraju. Odcinki rur preizolowanych pobierane były z odkrywek dokonywanych po 4 do 16 lat eksploatacji, a następnie poddawane badaniom współczynnika przewodzenia ciepła wg metodyki opisanej w normach [1] oraz [2].

W latach 2006 ÷ 2008 prowadzono badania izolacji rur preizolowanych

z pianką PUR spienianą dwutlenkiem węgla, a od 2008 roku wykonywane są badania izolacji z pianki PUR spienianej cyklopentanem.

Izolacja PUR spieniana CO₂

Badaniami objęto rury preizolowane DN50 oraz DN80 wyprodukowane metodą tradycyjną przez FINPOL Rohr, eksploatowane od 5 do 15 lat na terenie Warszawy. Średnia gęstość izolacji z pianki PUR spienianej dwutlenkiem węgla CO₂ wynosiła $\rho_{sr} = 80 \text{ kg/m}^3$ ($71 \div 90 \text{ kg/m}^3$).

Wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła λ_{50} przedstawiono na wykresie 1.

Przyjmując, na podstawie doświadczeń OBRC, średnią wartość współczynnika przewodzenia ciepła nowych izolacji spienianych CO₂ równą $\lambda_{50} = 0,032 \text{ W/mK}$, stwierdzono, że po pierwszych 5 latach eksploatacji wzrasta ona o 19% (na zasilaniu) i o 17% (na powrocie), a następnie do 15 lat przeciętnie o 1% rocznie. Przyrost wartości współczynnika przewodzenia ciepła $\Delta\lambda_{50}$ izolacji eksploatowanej 5 ÷ 15 lat podano w tabeli 1.

Izolacja PUR spieniana cyklopentanem

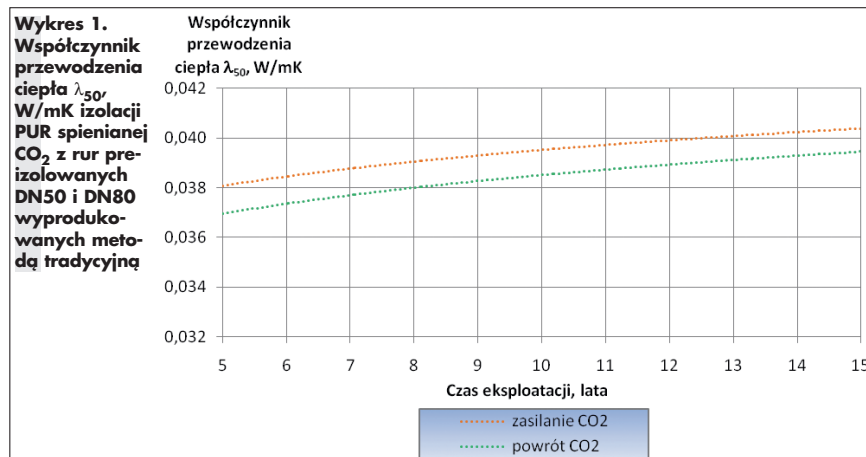
Dzięki uprzejmości Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej ze Starachowic, Beł-

chatowa, Elbląga, Siedlec i Katowic, do OBRC trafiły odcinki rur preizolowanych DN50 oraz DN80 pobrane z odkrywek sieci ciepłowniczych dokonywanych po 4 do 14 latach eksploatacji. Rury wyprodukowane były metodą tradycyjną przez różnych producentów. Średnia gęstość izolacji z pianki PUR spienianej cyklopentanem wynosiła $\rho_{sr} = 85 \text{ kg/m}^3$ ($67 \div 103 \text{ kg/m}^3$), zaś wytrzymałość na ściskanie $\sigma_{10 sr} = 0,49 \text{ MPa}$ ($0,3 \div 0,7 \text{ MPa}$). Zawartość cyklopentanu, wyznaczana metodą chromatografii gazowej przez Instytut Chemii Przemysłowej w Warszawie, wynosiła:

- dla rur eksploatowanych do 10 lat: $6 \div 26 \%$ w izolacji na zasilaniu, $5 \div 35 \%$ – na powrocie,
- dla rur eksploatowanych ponad 10 lat: $1,6 \div 5 \%$ na zasilaniu, $< 1 \div 10 \%$ na powrocie.

Wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ_{50} , W/mK izolacji z rur preizolowanych eksploatowanych 4 ÷ 11 lat przedstawiono na wykresie 2., zaś wyniki badań eksploatowanych ponad 11 lat odrzucono, ze względu na brak jednoznacznej informacji nt. zastosowanego rodzaju porofoaru.

Przyjmując, na podstawie doświadczeń OBRC, średnią wartość współczynnika przewodzenia ciepła nowych izolacji spienianych cyklopentanem równą $\lambda_{50} = 0,028 \text{ W/mK}$, stwierdzono, że po pierw-



mgr inż. Ewa Kręcielewska,
mgr inż. Katarzyna Abatorab
– OBRC SPEC S.A.
dr inż. Adam Smyk
– OBRC SPEC S.A.; ITC PW

Tabela 1. Przyrost wartości współczynnika przewodzenia ciepła $\Delta\lambda_{50}$, % w zależności od czasu eksploatacji rurociągów preizolowanych z izolacją spienianą CO_2 i cyklopentanem

Czas eksploatacji, lata	Przyrost współczynnika przewodzenia ciepła $\Delta\lambda_{50}$, %			
	Izolacja spieniana CO_2		Izolacja spieniana cyklopentanem	
	zasilanie	powrót	zasilanie	powrót
4	19	17	23	17
5	20	18	24	18
6	21	18	25	19
7	22	19	26	19
8	23	20	27	20
9	23	20	28	21
10	24	21	29	21
11	24	21	30	22
13	25	21	-	-
14	25	22	-	-
15	26	22	-	-

szych 4 latach pracy wzrasta ona o 23% (na zasilaniu) i o 17% (na powrocie), a następnie do 11 lat przeciętnie o 1% rocznie. Przyrost wartości współczynnika przewodzenia ciepła $\Delta\lambda_{50}$ izolacji eksploatowanej 4 ÷ 11 lat podano w tabeli 1.

Porównanie zmian współczynnika przewodzenia ciepła izolacji spienianych CO_2 i cyklopentanem

Na wykresie 3 porównano wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ_{50} izolacji PUR spienianej cyklopentanem i CO_2 pochodzącej z rurociągów zasilającego i powrotnego uzyskane na podstawie badań laboratoryjnych próbek po eksploatacji.

Pianki spieniane cyklopentanem mają niższą wartość współczynnika przewodzenia ciepła niż izolacje spieniane dwutlenkiem węgla. Z uwagi na mniejsze jednostkowe straty ciepła ich zastosowanie w rurach preizolowanych jest korzystniejsze. Z tego względu również zmianie uległ zapis w normie EN 253 dotyczący wartości maksymalnej współczynnika przewodzenia ciepła z $\lambda_{50} = \text{maks } 0,029 \text{ W/mK}$ na $\lambda_{50} = \text{maks } 0,033 \text{ W/mK}$, który praktycznie narzucał stosowanie jako porofozu cyklopentanu.

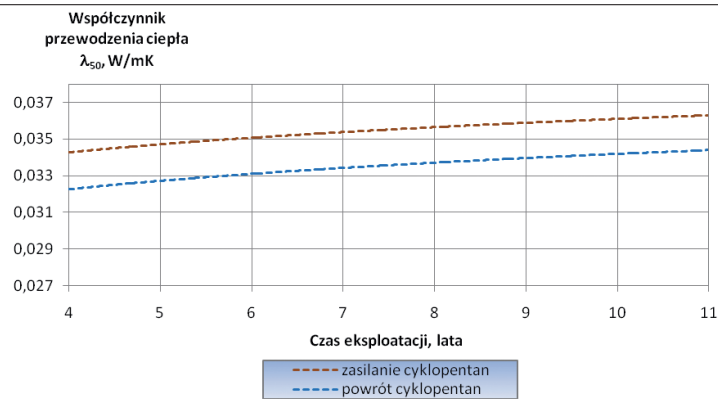
Na wykresie 4 przedstawiono uśrednioną, dla zasilania i powrotu, wartość współczynnika przewodzenia ciepła izolacji spienianej CO_2 i cyklopentanem eksploatowanej od 4 do 15 lat.

W pozostałym zakresie dane zostały ekstrapolowane funkcją logarytmiczną.

Jako wartości początkowe przyjęto:

- dla cyklopentanu $\lambda_{50} = 0,028 \text{ W/mK}$ (wg OBRC) oraz $\lambda_{50} = 0,029 \text{ W/mK}$ (wg PN-EN 253:2009),
- dla CO_2 $\lambda_{50} = 0,032 \text{ W/mK}$ (wg

Wykres 2. Współczynnik przewodzenia ciepła λ_{50} , W/mK izolacji PUR spienianej cyklopentanem z rur preizolowanych DN50 i DN80 wyprodukowanych metodą tradycyjną



OBRC) oraz $\lambda_{50} = 0,033 \text{ W/mK}$ (wg PN-EN 253:2005).

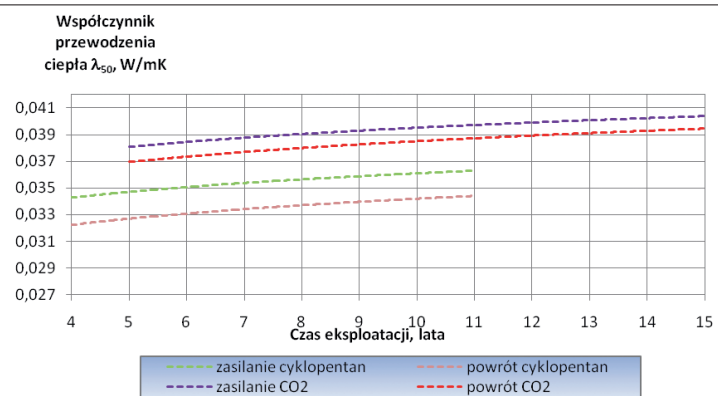
Wartości współczynnika przewodzenia ciepła w warunkach sztucznego starzenia

Jednym ze sposobów powodujących zmianę właściwości izolacji cieplnej rur preizolowanych do stanu takiego, jaki przewidywany jest po 30 latach pracy w ciągłej temperaturze 120°C , jest przeprowadzenie procesu przyspieszonego starzenia w warunkach laboratoryjnych.

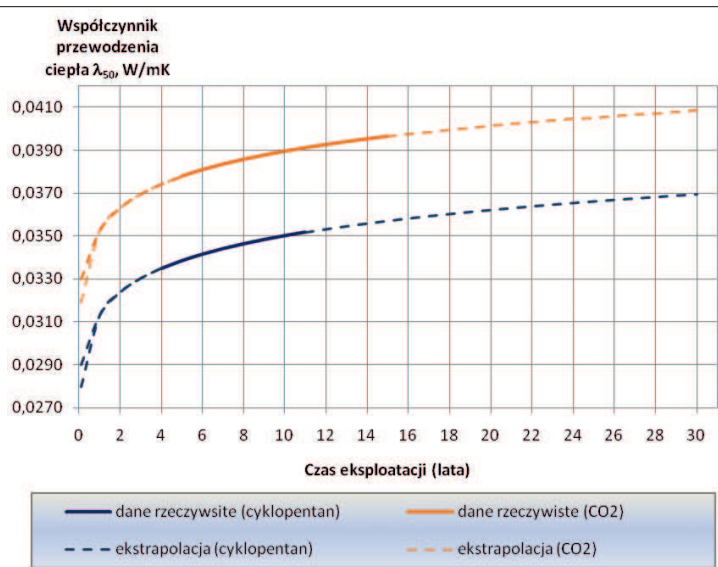
Proces ten polega na wygrzewaniu zespołu rurowego przez 150 dni w temperaturze $t = 90^\circ\text{C}$ i szczegółowo opisany jest w normie PN-EN 253:2009.

Od stycznia 2011 roku OBRC wykonuje badania **współczynnika przewodzenia ciepła izolacji po starzeniu**. Najpierw zespół rurowy wygrzewany jest w komorze grzejnej (fot.1), a następnie na aparacie rurowym (fot.2) wyznaczana jest wartość współczynnika przewodzenia ciepła izolacji tak starzonego wyrobu. Uzyskany wynik ma odwzorować wartość współczynnika przewodzenia ciepła pianki z zespołu rurowego, który pracowałby

Wykres 3. Porównanie współczynników przewodzenia ciepła λ_{50} , W/mK izolacji PUR spienianej cyklopentanem i CO_2 z rur preizolowanych DN50 i DN80 wyprodukowanych metodą tradycyjną



Wykres 4. Ekstrapolacja danych eksperymentalnych w przedziale czasowym 0 ÷ 30 lat



w gruncie przez 30 lat przy temperaturze czynnika 120°C.

Komora grzejna jest nowym urządzeniem pracującym w OBRC i w związku z tym jeszcze nie dysponujemy dostateczną liczbą wyników badań, by móc wykrzystać je do porównań. Natomiast dostępne są wartości współczynnika przewodzenia ciepła przewidywane na podstawie badań starzeniowych prowadzonych w innych laboratoriach.

Na wykresie 5 dokonano porównania danych zaczerpniętych z [3] z wynikami badań uzyskanymi w OBRC, przy czym OBRC nie analizowało zjawisk i zachowania się pianek podczas pierwszych lat eksploatacji rurociągów preizolowanych. Zaznaczyć należy, że w materiałach źródłowych [3] nie podano czasu ani temperatury realizacji procesu przyspieszonego starzenia, jak również gęstości pozornej izolacji z pianki PUR.

W przedziale $5 \div 30$ lat wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji spienianej CO₂ kształtują się na podobnym poziomie. Maksymalna różnica między nimi wynosi 0,001 W/mK.

gorzej wypada porównanie wartości λ izolacji spienianej cyklopentanem. Wartości λ izolacji poddanych przyspieszonemu starzeniu znacznie odbiegają od izolacji z rur preizolowanych eksploatowanych powyżej 4 lat w rzeczywistych warunkach.

Różnica między nimi wynosi około 0,006 W/mK. W przypadku, gdy pod uwagę weźmiemy współczynnik przewodzenia ciepła izolacji z rurociągu zasilającego różnica ta jest jeszcze większa i wynosi około 0,007 W/mK. Jedną z przyczyn może być różna gęstość pozorna izolacji z pianki PUR.

Podsumowanie i wnioski

- Od 2006 roku OBRC prowadzi projekt badawczy, którego celem jest określenie rzeczywistych wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji PUR zmieniających się w czasie, w rzeczywistych warunkach eks-



Fot. 1. Komora grzejna do przyspieszonego starzenia zespołu rurowego (150 dni w temperaturze $t = 90^\circ\text{C}$)



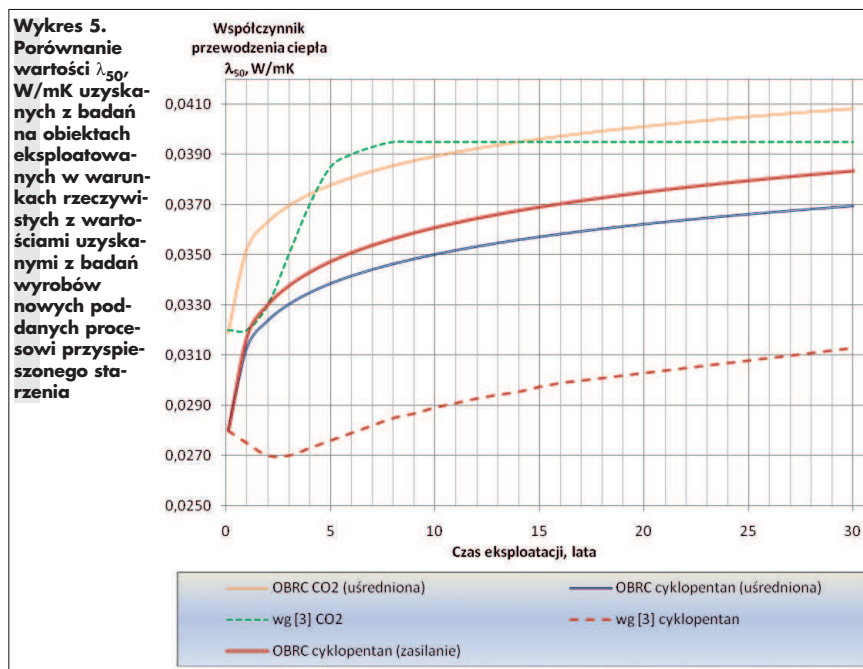
Fot. 2. Stanowisko SB-6 „aparat rurowy” przeznaczone do badań izolacji cylindrycznych

ploatacji. W ramach projektu OBRC przeprowadziło badania zespołów rurowych z izolacją PUR spienianą CO₂ oraz cyklopentanem, które były eksploatowane w warunkach rzeczywistych przez $4 \div 15$ lat w systemach ciepłowniczych na terenie całej Polski.

- Badania na obiektach eksploatowanych potwierdziły, że izolacje spieniane cyklopentanem mają niższą wartość współczynnika przewodzenia ciepła, więc charakteryzują się mniejszymi jednostkowymi stratami ciepła, a zatem ich zastosowanie w rurach preizolowanych jest korzystniejsze niż izolacji spienia-

CO₂ oraz cyklopentanem zachowują się podobnie w miarę upływu czasu. Przewidywana wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ_{50} po 30 latach w obu przypadkach jest gorsza o przeszło 30%.

- Ze względu na wyższą temperaturę czynnika roboczego proces naturalnego starzenia się pianki PUR zachodzi szybciej w rurociągach zasilających, niż w powrotnych. Zjawisko to jest szczególnie widoczne w pierwszym okresie eksploatacji.
- Wyniki badań wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji pracującej w rzeczywistych warunkach przez kilka/kilkanaście lat pozwolą na:
 - porównanie jej z wartościami współczynnika przewodzenia ciepła izolacji po przyspieszonym starzeniu,
 - ocenę poprawności parametrów przyspieszonego starzenia zaproponowanych w normie PN-EN 253:2009.
- Dla weryfikacji danych zasadne byłoby prowadzenie dalszych badań na próbkach z izolacją spienianą cyklopentanem - zdemontowanych z pracujących rurociągów.



nych dwutlenkiem węgla. Jednocześnie wymagania normy PN-EN 253:2009 dotyczące maksymalnej dopuszczalnej wartości $\lambda_{50} = \text{maks } 0,029 \text{ W/mK}$, praktycznie narzuca stosowanie jako poroforu cyklopentanu.

- Znajomość wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji rur preizolowanych po ich wieloletniej eksploatacji ułatwia oszacowanie strat przesyłania ciepła, jak również przewidywanie ich zmian w przyszłości.
- W czasie eksploatacji rurociągów preizolowanych, izolacje spieniane

LITERATURA

- [1] PN-EN 253: 2005 oraz PN-EN 253:2009 Sieci ciepłownicze – System preizolowanych zespolonych rur do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie – Zespół rurowy ze stalowej rury przewodowej, izolacji cieplnej z poliuretanu i płaszcza osłownego z polietylenu.
- [2] PN-EN ISO 8497:1999 Izolacja cieplna – Określanie właściwości w zakresie przepływu ciepła w stanie ustalonym przez izolację cieplną przewodów rurowych.
- [3] I. Iwko: Zjawisko dyfuzji gazów w rurociągach preizolowanych w zależności od stosowanych środków pniących i sposobu produkcji; ALSTOM Power FlowSystems Sp. z o.o. (obecnie LOGSTOR), INSTAL 12.2002.