

Własności cieplne izolacji ze sztywnych tworzyw porowatych – współczynnik przewodzenia ciepła oraz odporność termiczna

Thermal insulation properties of rigid, porous plastics - thermal conductivity coefficient and thermal resistance

EWA KRĘCIELEWSKA, KATARZYNA ABATORAB, ADAM SMYK

Informacje ogólne

Sztywne tworzywa porowate o strukturze zamknięto-komórkowej i o gęstości rdzenia powyżej 40 kg/m^3 stosowane są w ciepłownictwie jako izolacja w rurach preizolowanych (pianka poliuretanowa PUR) lub w formie otulin (pianka poliuretanowa PUR lub pianka poliizocyanurana PIR). Ich badaniami zajmuje się Laboratorium Badawcze OBRC SPEC S.A. w Warszawie.

Od 2003 roku Laboratorium ma akredytację Polskiego Centrum Akredytacji, zaś od 2008 roku znajduje się na liście referencyjnej europejskiego stowarzyszenia ciepłowników EuroHeat&Power. Laboratorium posiada nowoczesne i unikatowe wyposażenie, zaprojektowane i wykonane przez pracowników Ośrodka. Są to między innymi stanowiska badawcze:

- do wyznaczania współczynnika przewodzenia ciepła izolacji cylindrycznych,
- do badań wytrzymałości na ścinanie,
- do prowadzenia procesu starzenia:
 - przed badaniem współczynnika przewodzenia ciepła,
 - przed badaniem wytrzymałości na ścinanie.

Badania współczynnika przewodzenia ciepła izolacji cylindrycznych

Podstawą badania współczynnika przewodzenia ciepła rur preizolowanych jest norma PN-EN 253:2009 [1], zaś

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

otulin cylindrycznych norma PN-EN ISO 8497:1999 [2]. Badanie prowadzone jest na stanowisku SB-06 tzw. „aparacie rurowym” (fot. 1).

Laboratorium prowadzi badania współczynnika przewodzenia ciepła wyrobów nowych i zdemontowanych po eksploatacji w celach poznawczym lub sprawdzającym, a wkrótce rozpocznie badania nowych izolacji po przyspieszonym starzeniu.

Badania nowych izolacji

Wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła izolacji z pianki poliuretanowej (PUR) spienianej cyklopentanem z nowych rur preizolowanych, wykonane w przeciągu ostatnich lat w LB OBRC, przedstawiono na wykresie 1.

Wartość współczynnika przewodzenia ciepła izolacji o różnych gęstościach z rur preizolowanych **wyprodukowanych metodą tradycyjną** wynosi: $\lambda_{50 \text{ średnia}} = 0,0287 \text{ W/mK}$, $\lambda_{50 \text{ minimalna}} = 0,0265 \text{ W/mK}$, $\lambda_{50 \text{ maksymalna}} = 0,0311 \text{ W/mK}$.

Zgodnie z normą PN-EN 253:2009 [1] wartość ta powinna wynosić $\lambda_{50} \leq 0,029 \text{ W/mK}$. Z wykresu 1 wynika, że w 24 przypadkach wartość współczynni-

ka przewodzenia ciepła spełniała wymagania normy, z czego w 16 przypadkach mieściła się w przedziale $(0,029 \div 0,028) \text{ W/mK}$, w 4 przypadkach mieściła się w przedziale $(0,028 \div 0,027) \text{ W/mK}$, a w dwóch przypadkach była mniejsza niż $0,027 \text{ W/mK}$.

Wartości współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda_{50} \leq 0,028 \text{ W/mK}$ uzyskano dla izolacji o średniej gęstości pozornej $\rho_{sr} = 55 \div 70 \text{ kg/m}^3$. Niższe wartości ($\lambda_{50} \leq 0,027 \text{ W/mK}$) uzyskano dla izolacji drobno-komórkowej o średnim wymiarze komórki zamkniętych $d_{sr} < 0,1 \text{ mm}$.

Najniższe zaś wartości ($\lambda_{50} < 0,0250 \text{ W/mK}$) uzyskano dla izolacji z rur preizolowanych **wyprodukowanych metodą ciągłą (CONTI)** – badania numer 30 i 31 na wykresie 1.

Na podstawie badań przeprowadzonych w OBRC wynika, że niższe ($\lambda_{50} \leq 0,028 \text{ W/mK}$) wartości współczynników przewodzenia ciepła występowały przy gęstościach pozornych izolacji $\rho_{sr} < 70 \text{ kg/m}^3$, przy czym tylko w połowie przypadków wytrzymałość pianki na ściskanie odpowiadała wymaganiom normy PN-EN253: 2009, tzn. $\sigma_{10sr} \geq 0,3 \text{ MPa}$.



Fot. 1. Stanowisko badawcze SB-6 „aparacie rurowym”

Badania nowych izolacji po starzeniu

W styczniu 2011 roku uruchomiona została w OBRC komora grzejna (fot. 2), służąca do przyspieszonego starzenia rur preizolowanych. Przyspieszone starzenie wg PN-EN 253:2009 polega na wygrzewaniu zespołu rurowego w temperaturze $t = 90^{\circ}\text{C}$ przez 150 dni. Następnie na stanowisku SB-6 (fot.1) wyznaczana jest wartość współczynnika przewodzenia ciepła izolacji.

Wyznaczona wartość współczynnika przewodzenia ciepła izolacji po starzeniu

nych warunkach (komora grzejna) z wartościami uzyskanymi dla izolacji eksploatowanych w warunkach rzeczywistych,

- ocenę poprawności parametrów przyspieszonego starzenia zaproponowanych w normie PN-EN 253:2009.

Badania wytrzymałości na ścinanie w kierunku osiowym i stycznym

Podstawą badania jest norma PN-EN 253:2009 [1]. Badanie wykonywane jest

na stanowisku badawczym SB-17 (fot. 3, 4).

Laboratorium prowadzi badania wytrzymałości na ścinanie wyrobów nowych i po przyspieszonym starzeniu.

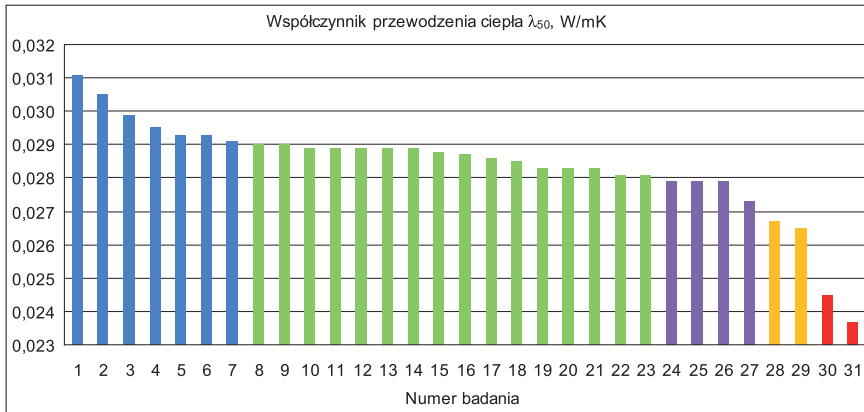
Zgodnie z normą PN-EN 253:2009 minimalna wytrzymałość na ścinanie preizolowanego zespołu rurowego wynosi:

- wytrzymałość na ścinanie styczne $\tau_{tan} = 0,20 \text{ MPa}$,
- wytrzymałość na ścinanie osiowe w temperaturze pokojowej $\tau_{ax 23^{\circ}\text{C}} = 0,12 \text{ MPa}$,
- wytrzymałość na ścinanie osiowe przy temperaturze rury przewodowej 140°C $\tau_{ax 140^{\circ}} = 0,08 \text{ MPa}$.

W większości badanych w OBRC przypadków, nowe rury preizolowane spełniają te wymagania. Zdarza się jednak, że izolacja „ześlizguje” się z rury przewodowej (fot. 5) lub „wysuwa” z rury osłonowej (fot. 6). Świadczy to o tym, że któraś z rur – przewodowa lub osłonowa była źle przygotowana (miała zbyt małą przyczepność) przed wstrzeleniem pianki PUR.

Dla zapewnienie odpowiedniej przyczepności pianki PUR do rury przewodowej stan powierzchni rury stalowej przed zaizolowaniem powinien odpowiadać stopniom czystości A, B lub C wg PN-EN ISO 8501-1:2008 [3], co z reguły sprządkuje się do tego, że powinna być piaskowana (niekoniecznie śrutowana). Rura osłonowa musi być natomiast poddana procesowi „koronowania”. Koronowanie to proces polegający na poddaniu powierzchni rury wyładowaniom elektrycznym w celu zmiany struktury materiału, zwiększenia napięcia powierzchniowego i w efekcie przyczepności. Tak przygotowana rura nie powinna być długo przechowywana przed wstrzeleniem pianki, ponieważ kurz na wewnętrznej powierzchni powoduje ponowną utratę przyczepności pianki do polietylenu.

Badanie wytrzymałości na ścinanie po starzeniu pozwala na potwierdzenie obli-



Wykres 1. Współczynnik przewodzenia ciepła λ_{50} nowych rur preizolowanych różnych producentów. Wartości wyznaczone przez OBRC SPEC S.A. w latach 2009 – 2011

ma odwzorować wartość współczynnika przewodzenia ciepła pianki w rurze preizolowanej, która pracowałaby w gruncie przez 30 lat przy temperaturze rury przewodowej $t_r = 120^{\circ}\text{C}$.

Badania izolacji po eksploatacji

Od 2006 roku OBRC prowadzi projekt mający na celu określenie wartości współczynnika przewodzenia ciepła izolacji pochodzących z rurociągów zasilających i powrotnych zdemontowanych po kilku/ kilkunastu latach eksploatacji na terenie Polski. Dzięki pomocy rodzimego SPEC-u oraz PEC-ów: Starachowice, Bełchatów, Elbląg, Siedlce i Katowice, które wykonały odkrywki oraz zdemontowały i dostarczyły do badań odcinki rur preizolowanych, sprawdzono współczynnik przewodzenia ciepła izolacji spienianej cyklopentanem.

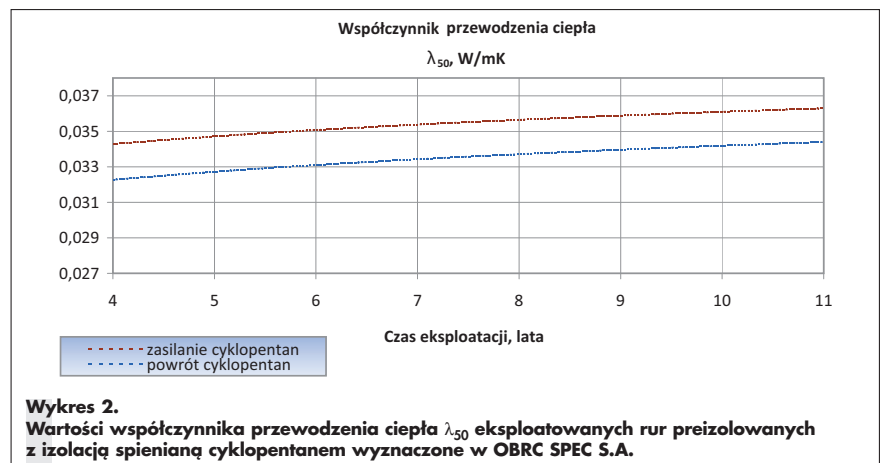
Na podstawie tych badań wyznaczona została zależność pomiędzy współczynnikiem przewodzenia ciepła, a czasem eksploatacji, co pokazano na wykresie 2.

Wyniki badań prowadzonych podczas tego projektu pozwolą na:

- porównanie wartości współczynnika przewodzenia ciepła wyznaczonego po przyspieszonym starzeniu w sztucz-



Fot. 2. Komora grzejna do starzenia próbek przed badaniem współczynnika przewodzenia ciepła



Wykres 2. Wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ_{50} eksploатовanych rur preizolowanych z izolacją spienianą cyklopentanem wyznaczone w OBRC SPEC S.A.

zeniowej ciągłej temperatury pracy. Jeżeli wodna sieć ciepłownicza projektowana jest na minimum 30 lat pracy w temperaturze 120°C, to przyspieszone starzenie, zgodnie z zależnością Arrheniusa, prowadzone jest w temperaturze $t = 160^\circ\text{C}$ przez 3600 godzin lub w temperaturze 170°C przez 1450 godzin (wykres 3).

W OBRC starzenie rur preizolowanych przed badaniem wytrzymałości na ścinanie wykonywane jest na stanowisku badawczym SB-15 (fot. 7).

Przyjmuje się, że rurociąg może pracować przez minimum 30 lat przy ciągłej temperaturze rury przewodowej 120°C, gdy wytrzymałość na ścinanie po przyspieszonym starzeniu w temperaturze $t = 160^\circ\text{C}$ przez 3600 godzin lub w temperaturze 170°C przez 1450 godzin jest taka, jak przed starzeniem.

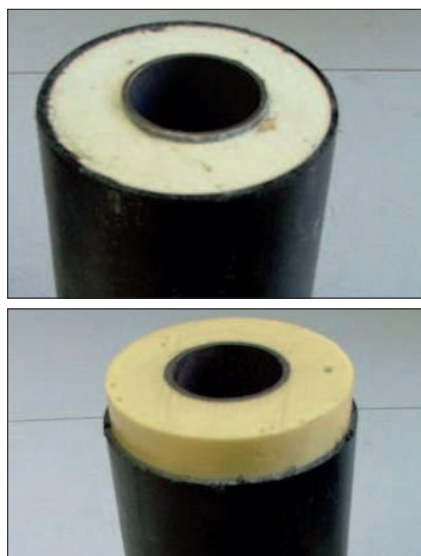


Fot. 3, 4
Stanowisko SB-17 do badań wytrzymałości na ścinanie

Odporność termiczna izolacji ze sztywnych tworzyw porowatych

Odporność termiczna to maksymalna temperatura stosowania wyrobu w sposób ciągły, w której będzie on spełniał swoje funkcje użytkowe. Na podstawie danych literaturowych, katalogów producentów systemów surowcowych oraz doświadczeń OBRC przyjmuje się, że odporność termiczna sztywnych pianek PUR, stosowanych w formie otulin oraz jako izolacja rur preizolowanych, wynosi $120^\circ\text{C} \div 140^\circ\text{C}$. W przypadku rurociągów preizolowanych izolacja z pianki PUR musi zachować swą odporność termiczną przez okres 30 lat, a zespół rurowy musi utrzymać odpowiednią wytrzymałość na ścinanie¹.

Odporność termiczna pianek PIR jest dużo wyższa niż pianek PUR i wynosi $160 \div 200^\circ\text{C}$. Jednak ze względu na złe wypienianie się w dużej objętości znajdującej one zastosowanie głównie jako otuliny.



Fot. 5, 6
Próbki po badaniu wytrzymałości na ścinanie

Odporność termiczna sztywnych tworzyw porowatych w warunkach laboratoryjnych wyznaczana jest wg metodyki określonej w normach: PN-C-89083:1992 [4], PN-EN 14706:2006 [5], PN-EN 14707:2006 [6] oraz PN-EN 253:2009 [1].

Odporność termiczna otulin

Metoda badań wg PN-C-89083:1992 [4] polega na wygrzewaniu próbek o określonych wymiarach w komorze grzejnej w określonym czasie, a następnie sprawdzaniu zmiany wymiarów we wszystkich kierunkach (długość, szerokość, grubość). Metoda ta nie jest precyzyjna i wymaga umiejętności właściwej interpretacji wyników pomiarów. Z tego względu OBRC dodatkowo po każdym wygrzewaniu sprawdza zmianę wytrzymałości na ściskanie oraz gęstość próbek.

Na podstawie obserwacji zmian wymiarów próbek i wytrzymałości na ściskanie po wygrzewaniu w kolejnych wartościach temperatury określa się odporność termiczną pianki oraz dopuszczalną temperaturę szczytową, w której izolacja może pracować w krótkim czasie.

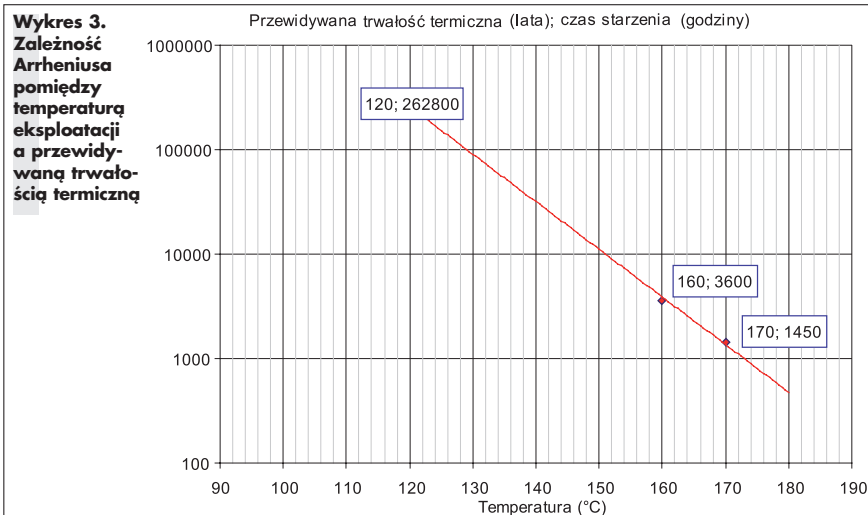
Na podstawie wyników badań prowadzonych od ponad 20 lat w OBRC przyjmuje się²:

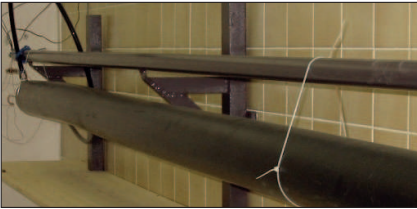
- minimalną wytrzymałość na ściskanie dla otulin $\sigma_{10, sr} = 0,18 \text{ MPa}$. Ze względu na warunki eksploatacji wartość ta jest niższa niż dla izolacji z rur preizolowanych ($\sigma_{10, sr} \geq 0,3 \text{ MPa}$).
- maksymalną dopuszczalną zmianę wymiarów przy temperaturze pracy ciągłej $\Delta x = 1\%$.

Przykładowe zmiany wytrzymałości

¹ Zygmunt Wirpsza "Poliuretany – Chemia, technologia, zastosowanie" Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, 1991 rok

² PN-EN 253:2009 p.1. Zakres normy: "Norma ta dotyczy wyłącznie izolowanych zespołów rurowych, przeznaczonych do pracy ciągłej z gorącą wodą w temperaturze do 120°C"





Fot. 7
Stanowisko SB-15 do starzenia próbek przed badaniem wytrzymałości na ścinanie

na ściskanie oraz wymiarów liniowych próbek wyciętych z otuliny poliuretanowej i z otuliny poliizocyanuranowej przedstawiono na wykresach 4 ÷ 7.

Wykresy 4 i 5 potwierdzają, że otuliny z pianki PIR z danego systemu surowcowego mogą być stosowane do izolowania rurociągów ciepłowniczych przesyłających nośnik ciepła o maksymalnej temperaturze $t_r = 150^\circ\text{C}$ z możliwością krótkotrwałych przekroczeń do 160°C , natomiast wykresy 6 i 7 potwierdzają, że otuliny z pianki PUR z danego systemu surowcowego mogą być stosowane do izolowania rurociągów, w których maksymalna temperatura czynnika wynosi $t_r = 120^\circ\text{C}$ z możliwością krótkotrwałych przekroczeń do 130°C .

Odporność termiczna izolacji w rurach preizolowanych

Odporność termiczna izolacji w rurach preizolowanych wyznaczana jest wg metodyki opisanej w PN-EN 253:2009. Charakteryzuje ją obliczeniowa ciągła temperatura pracy (CCOT), czyli temperatura, dla której trwałość termiczna wynosi 30 lat.

CCOT wyznaczana jest na podstawie obserwacji zmian wytrzymałości na ścinanie styczne po wygrzewaniu zespołu rurowego w określonych warunkach.

Zdaniem OBRC metodyka badań CCOT opisana w PN-EN253, załącznik C nie jest właściwa i jest jednym z problemów obecnie rozważanych w Komisji Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN. Zastrzeżenie budzi przede wszystkim sposób ścinania próbek oraz graniczna wartość wytrzymałości na ścinanie styczne $\tau_{tan} = \min 0,13 \text{ MPa}$. **Na uwagę zasługuje również fakt, że wyznaczone wartości CCOT wykraczające poza temperaturę 120°C^3 nie zostały dotychczas potwierdzone badaniami przyspieszonego starzenia (w zmienionej temperaturze i/lub czasie, odpowiednich dla wyznaczonej CCOT) oraz wytrzymałości na ści-**

kanie po starzeniu. Dopiero taka weryfikacja potwierdziłaby możliwość pracy rurociągu preizolowanego przez 30 lat we wskazanej temperaturze CCOT.

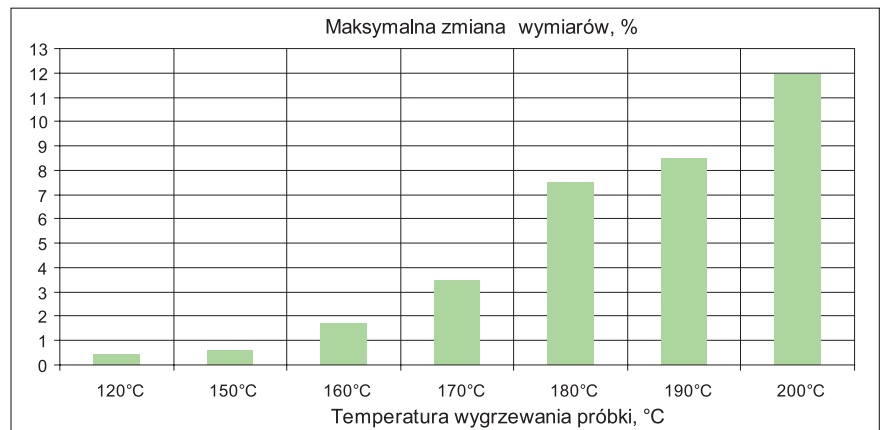
OBRC nie wykonuje badań CCOT, mimo, iż Laboratorium Badawcze posiada stosowne wyposażenie techniczne, tj. stanowiska badawcze do prób starzeniowych oraz wytrzymałości na ścinanie styczne i osiowe oraz akredytację PCA na te metody badawcze.

Podsumowanie

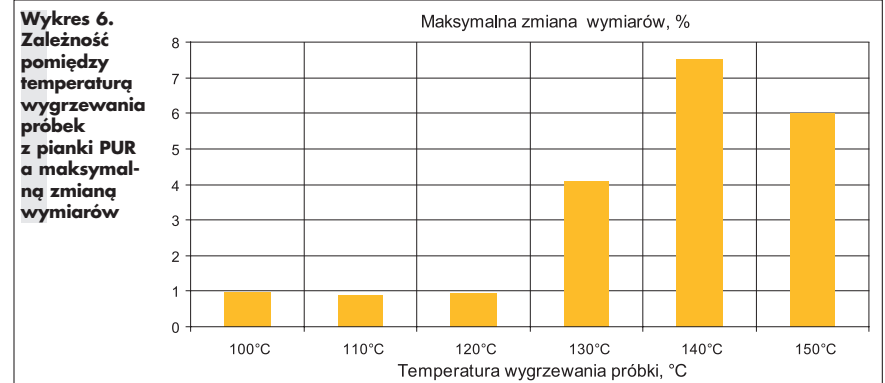
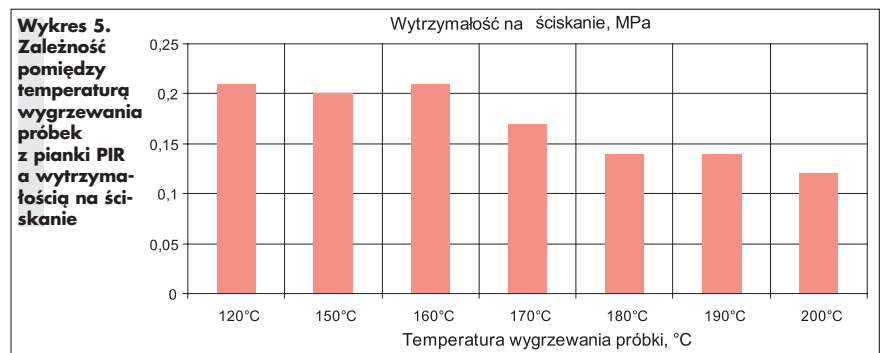
1. Sztywna pianka PUR stanowiąca izo-

mechaniczne – zapewniające odpowiednią wytrzymałość na ściskanie.

W przypadku, gdy jest to izolacja w rurze preizolowanej ma być również odporna na pęcznienie oraz zapewniać odpowiednią wytrzymałość zespołu rurowego na ścinanie. Jednoczesne spełnienie wszystkich wymagań opisanych w normie PN-EN 253:2009 jest możliwe przy zapewnieniu odpowiedniej struktury i gęstości pianki. Struktura pianki musi być jednorodna, w rurach preizolowanych DN 32 ÷ DN 65 produkowanych metodą tradycyjną zalecane jest, by długości sztang nie przekraczały 6 m. Na podstawie wyini-



Wykres 4.
Zależność między temperaturą wygrzewania próbek z pianki PIR a maksymalną zmianą wymiarów

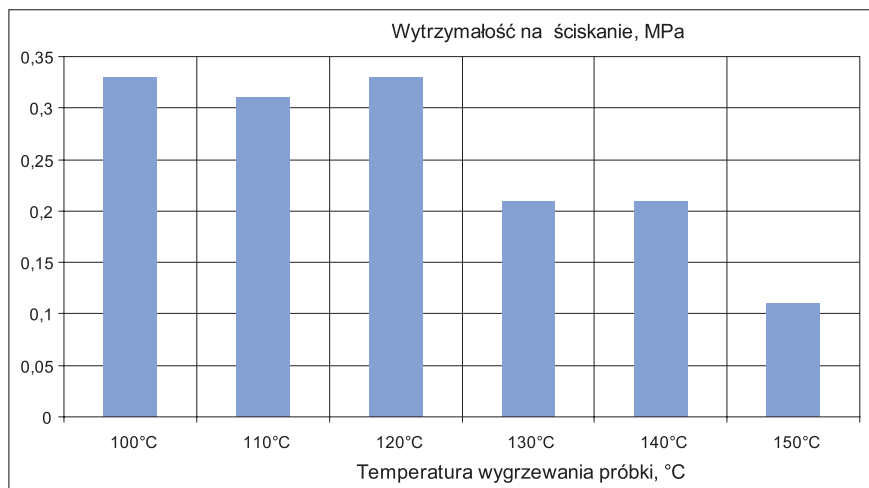


lację termiczną powinna mieć odpowiednie własności:

– cieplne – gwarantujące odporność termiczną i minimalizujące straty ciepła,

ków badań prowadzonych w OBRC można przyjąć, że gęstość pozorna izolacji powinna być zbliżona do wartości $\rho_{\min} \cong 70 \text{ kg/m}^3$. Taka gęstość praktycznie gwarantuje

³Ewa Kręcielewska, Alicja Bachańska „Izolacje ciepłe w systemach ciepłowniczych i instalacjach wewnętrznych – ich wpływ na ograniczanie strat ciepła” – Spotkanie Producentów i Użytkowników Systemów Poliuretanowych w Brzegu Dolnym oraz Spotkanie Ciepłowników w Mierkach, 2003 rok



Wykres 7. Zależność pomiędzy temperaturą wygrzewania próbek z pianki PUR z otuliny a wytrzymałością na ściskanie

zachowanie parametrów wytrzymałościowych, ale tylko niekiedy pozwala na uzyskanie wartości współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda_{50} \leq 0,028$ W/mK. Trzeba pamiętać o tym przy formułowaniu specyfikacji przetargowych.

2. Straty ciepła w każdym systemie ciepłowniczym zależą m.in. od temperatury nośnika ciepła. Obniżenie temperatury czynnika grzewczego powoduje nie tylko zmniejszenie tych strat, ale podwyższa trwałość termiczną izolacji z pianki PUR i w efekcie wydłuża żywotność eksploatowanych rurociągów.

Z tego względu tylko w niewielu systemach ciepłowniczych w Polsce temperatura pracy wodnych rurociągów zasilających przekracza 140°C szczytowo a nie w sposób ciągły.

3. Odporność termiczna izolacji poliuretanowych wynosi 120°C ÷ 140°C. Zatem wartości obliczeniowej ciągłej temperatury pracy CCOT na poziomie 150°C ÷ 160°C są znacznie zawyżone, nieprzydatne dla eksploatatorów sieci preizolowanych. Należy je rozpatrywać głównie w kontekście celów marketingowych.

4. Odporność termiczna, dopuszczalna temperatura szczytowa oraz ciągła temperatura pracy powinny być określone przez producentów systemów surowcowych, a wyniki badań laboratoryjnych potwierdzające własności izolacji piankowej nie powinny przekraczać podanych wartości granicznych.

NORMY POWOŁANE

- [1] PN-EN 253: 2009 *Sieci ciepłownicze – System preizolowanych zespolonych rur do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie – Zespół ze stalowej rury przewodowej, izolacji cieplnej z poliuretanu i płaszcza osłonowego 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] PN-EN ISO 8501-1:2008 *Przygotowanie podłoża stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów – Wzrokowa ocena czystości powierzchni – Część 1: Stopnie skorodowania i stopnie przygotowania niepokrytych podłoży stalowych oraz podłoży stalowych po całkowitym usunięciu wcześniej nałożonych powłok*
- [4] PN-C-89083:1992 *Szytywne tworzywa porowate – Badanie stabilności wymiarów*
- [5] PN-EN 14706:2006 *Wyroby do izolacji cieplnej wyposażenia budowli i instalacji przemysłowych – Określenie maksymalnej temperatury stosowania*
- [6] PN-EN 14707:2006 *Wyroby do izolacji cieplnej wyposażenia budowli i instalacji przemysłowych – Określenie maksymalnej temperatury stosowania otulin.*

CEGA® oferuje materiały dla ciepłownictwa

CEGA Sp. z o.o.
ul. Kasprzaka 25
01-224 Warszawa
tel.: (+48) 22 631 08 04
tel.: (+48) 22 631 08 07
fax: (+48) 22 631 08 10

www.cega.pl

- mufy
- taśmy
- opaski
- end-capy
- zestawy do prób ciśnieniowych
- kurki kulowe

