

# TRWAŁOŚĆ TERMOIZOLACYJNYCH WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW W WYSOKICH TEMPERATURACH

## *STABILITY OF THE THERMOINSULATION MATERIALS IN HIGH TEMPERATURES*

ARTUR MIROS

CENTRUM BADAWCZE MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH „IZOLACJA”  
INSTYTUT MECHANIZACJI BUDOWNICTWA I GÓRNICTWA SKALNEGO, ODDZIAŁ W  
KATOWICACH

### STRESZCZENIE

W niniejszej pracy omówiono przykłady materiałów termoizolacyjnych stosowanych do izolacji instalacji przemysłowych pod kątem zmian własności termoizolacyjnych w trakcie użytkowania. Zaprezentowano skalę zmian własności izolacyjnych materiałów pod wpływem wysokiej temperatury. Przedstawiono również wyniki pomiarów współczynnika przewodzenia ciepła wełny mineralnej (uzyskane w dwukomorowym aparacie rurowym), elastycznej pianki elastomerowej (zbadane w aparacie HFM), a także materiałów PUR, PIR i FP (uzyskane dzięki analizie procedur określania zmian własności cieplnych).

### ABSTRACT

The paper presents the thermal insulation materials used for insulation of industrial installation in the context of changes in the thermal insulation properties of the material during use. The aim of the work was to present the scale of the changes materials insulating properties under high temperature. The paper shows the results of the thermal conductivity measurements of mineral wool (obtained in a two-chamber pipe apparatus) and the results of elastomeric flexible foam (received in the HFM apparatus), as well as an analysis of procedures determining changes the thermal properties of PUR, PIR, FP materials.

### 13.1. Wstęp

Izolacje termiczne stosowane w przemyśle i w budownictwie ogólnym powinny charakteryzować się właściwościami, które zapewnią spełnienie szeregu stawianych przed nimi wymagań. Przede wszystkim są to cechy związane z izolacyjnością termiczną, bezpieczeństwem pożarowym, a także z ochroną instalacji przed uszkodzeniami mechanicznymi, czy też redukcją dźwięków i wibracji pochodzących z instalacji. Jednak jedną z najważniejszych cech jest trwałość i stabilność początkowych własności materiału izolacyjnego, w tym, a może przede wszystkim, własności związanych z izolacyjnością cieplną, bądź przewidywalność zmian tychże w czasie. Znajomość zmian cech materiału pozwala na odpowiednie zaprojektowanie izolacji instalacji oraz na określenie przewidywanych zmian w stratach ciepła, czyli – efektywności, opłacalności zastosowanej izolacji termicznej [1].

Każdy z materiałów wykorzystywanych jako izolacja termiczna w instalacjach przemysłowych ma określony przez producenta zakres stosowania, czyli graniczne temperatury, pomiędzy którymi dany wyrób może pracować, utrzymując względnie stałe własności użytkowe. Przekroczenie granicznej, a w szczególności maksymalnej temperatury stosowania, może spowodować trwałe uszkodzenie materiału i zmianę – przede wszystkim – parametrów cieplnych zaaplikowanej izolacji. Graniczne temperatury stosowania przedstawiono w tabeli 1 (zgodnie z PN-B 02421:2000 [2]). Jednakże wyniki badań maksymalnej temperatury stosowania, uzyskiwane zgodnie z PN-EN 14706:2013-04 [3] i wykonywane w laboratorium Centrum Badawczego Materiałów Budowlanych „IZOLACJA”, nie zawsze pokrywają się z przedstawionymi w poniższej tabeli wartościami normowymi. Dotyczy to przede wszystkim maksymalnej temperatury stosowania, a to badanie jest częścią wstępnych badań typu szeregu materiałów termoizolacyjnych. Dlatego, na podstawie wyników badań laboratoryjnych próbek pochodzących od polskich i europejskich producentów, przedstawiono szacunkowe wartości maksymalnych temperatur stosowania dla najpopularniejszych wyrobów izolacji przemysłowych (tabela 13.1). Oczywiście, różnice

między wartościami maksymalnych temperatur stosowania pomiędzy materiałami tego samego typu, ale pochodzącymi od różnych producentów, mogą się od siebie różnić, co również zaznaczono w poniższej tabeli.

L.p	Wyrób do izolacji cieplnej	Minimalna temperatura stosowania [°C]	Maksymalna temperatura stosowania [°C]	Szacunkowe dane maksymalnej temperatury uzyskane z wyników pomiarów w laboratorium [°C]
1.	Styropian ekspandowany (EPS)	-180	80	80-90
2.	Styropian ekstrudowany (XPS)	-180	75	70-75
3.	Elastyczna pianka elastomerowa (FEF)	-200	175	90-105
4.	Pianka polietylenowa (PEF)	-80	150	90-120
5.	Pianka fenolowa (PF)	-200	120	110-120
6.	Pianka poliuretanowa (PUR)	-200	200	130-150
8.	Szkło piankowe (CG)	-265	430	350-400
9.	Wełna szklana	b/d	b/d	500-550
10.	Wełna kamienna	0	800	600-800

*Tab. 13.1. Graniczne temperatury stosowania poszczególnych materiałów zgodnie z PN-B 20105:2014-09 [1] oraz szacunkowe wartości maksymalnej temperatury stosowania opracowane na podstawie wyników uzyskanych w laboratorium Centrum Badawczego Materiałów Budowlanych „IZOLACJA”*

### **13.2. Podjęcie normowe do zmian izolacyjności termicznej**

Specyfikacje normowe dedykowane izolacjom przemysłowym (pakiet norm od PN-EN 14303 do PN-EN 14314) zawierają punkty dotyczące trwałości oporu cieplnego w funkcji starzenia (degradacji) oraz w funkcji wysokiej temperatury. Z całego zestawu standardów odnoszących się do izolacji przemysłowych tylko dwie specyfikacje dotyczące pianek poliuretanowych (poliizocyjanurowych) [4] oraz pianek fenolowych [5] zawierają informacje o zmianach współczynnika przewodzenia ciepła w czasie i podają odpowiednie procedury starzeniowe. Pozostałe specyfikacje wyrobów, począwszy od ekspandowanego (EPS) i ekstrudowanego (XPS) styropianu, po wełnę mineralną, zawierają zapis, że współczynnik przewodzenia ciepła poszczególnych wyrobów nie zmienia się w czasie w zakresie temperatur stosowania podczas ich użytkowania. Stwierdzenie to nie jest do końca prawdziwe, przynajmniej w odniesieniu do dwóch wyrobów.

Jak wspomniano powyżej, w dwóch przypadkach uwzględniono zmiany parametru cieplnego wyrobu pod wpływem starzenia, z uwzględnieniem wpływu temperatury. W odniesieniu do wyrobów poliuretanowych (PUR) i poliizocyjanurowych (PIR) [3] zaproponowano metody uwzględniające zmiany współczynnika przewodzenia ciepła spowodowane zmianami w składzie gazu w komórkach. Zgodnie z założeniem, metody mają obrazować zmianę izolacyjności wyrobu po 25 latach. Norma podaje dwa sposoby szacowania zmian współczynnika przewodzenia ciepła: procedurę stałych przyrostów oraz metodę przyspieszonego starzenia.

Pierwsza metoda, procedura stałych przyrostów (przeznaczona dla wyrobów spienianych węglowodorami lub fluorowęglowodorami), polega na tym, iż po określeniu współczynnika przewodzenia ciepła (parametr  $\lambda$  [W/(m·K)]) próbki pierwotnej, wycina się z niej rdzeń o grubości  $(21 \pm 1)$  mm i wykonuje pomiar współczynnika przewodzenia ciepła przed rozpoczęciem procesu starzenia termicznego. Następnie, po okresie wygrzewania w temperaturze  $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$  przez  $(21 \pm 1)$  dni, ponownie wykonuje się pomiar parametru  $\lambda$ . Jeżeli różnica pomiędzy wartościami współczynnika przewodzenia ciepła jest wyższa niż:

- 0,0075 W/(m·K) dla wyrobów spienianych HFC134a,
- 0,0060 W/(m·K) dla wyrobów spienianych HFC365mfc, HFC227ea lub HFC245fa,
- 0,0060 W/(m·K) dla wyrobów spienianych pentanem,

wówczas metoda stałych przyrostów powinna być zastąpiona metodą przyspieszonego starzenia. Gdy różnica pomiędzy wartościami współczynnika przewodzenia ciepła ( $\Delta\lambda$ ) nie jest większa od podanych powyżej poziomów, wówczas, w zależności od zakładanej temperatury stosowania, zwiększa się pierwotną wartość współczynnika ciepła mierzonej próbki od 0,0005 [W/(m·K)] do 0,010 [W/(m·K)]. Uwzględnia się przy tym pozostałe, istotne parametry, takie jak grubości wyrobu, występowanie powłoki gazoszczelnej i rodzaj gazu spieniającego.

Druga metoda, metoda przyspieszonego starzenia, polega na pomiarze zmiany współczynnika przewodzenia ciepła próbki poddanej oddziaływaniu temperatury  $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$  przez  $(175 \pm 5)$  dni (dla wyrobów szczelnych dyfuzyjnie). Jeżeli różnica pomiędzy wynikami przed oddziaływaniem temperatury i po nim jest mniejsza niż 0,001 [W/(m·K)], wówczas można zastosować zaproponowane w normie przyrosty bezpieczeństwa. Jeśli zaś wspomniana różnica jest większa, wówczas wykonuje się serię pomiarów dwóch próbek: jednej poddanej oddziaływaniu temperatury  $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$ , a drugiej klimatyzowanej w temperaturze pokojowej  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Dla każdej z nich określa się czas potrzebny do osiągnięcia przyrostu wartości od 0,0003 do 0,0004 [W/(m·K)]. Na tej podstawie wyznacza się czynnik przyspieszenia, który, zgodnie z ustaleniami normy, pozwala na dodanie odpowiedniego przyrostu bezpieczeństwa do wyniku pomiaru współczynnika przewodzenia ciepła zmierzonej próbki.

Zmiana współczynnika przewodzenia ciepła wyrobów PUR i PIR, zachodząca w miarę upływu czasu, związana jest z dyfuzją gazu (stosowanego do spieniania i występującego w zamknięto komórkowych próbkach) na zewnątrz oraz z dyfuzją powietrza do wewnątrz komórek. Najlepiej dyfundującym gazem stosowanym do spieniania tego typu wyrobów jest  $\text{CO}_2$ , który, z uwagi na wymiar cząsteczek, jest łatwiej zastępowany w komórkach przez powietrze niż inne gazy spieniające. Z uwagi na różnicę własności przewodności cieplnej obydwu gazów, parametry izolacyjne wyrobów spienianych  $\text{CO}_2$  pogarszają się najszybciej (tabela 13.2). Z drugiej strony, wyroby PUR i PIR z zamkniętą dyfuzyjnie powłoką i dodatkowo spieniane za pomocą wielkocząsteczkowych gazów, takich jak węglowodory (np. pentan), bądź fluorowęglowodory (HFC365mfc, HFC134a, HFC245fa, HFC227ea), można uznać za trwałe w czasie w zakresie temperatur stosowania.

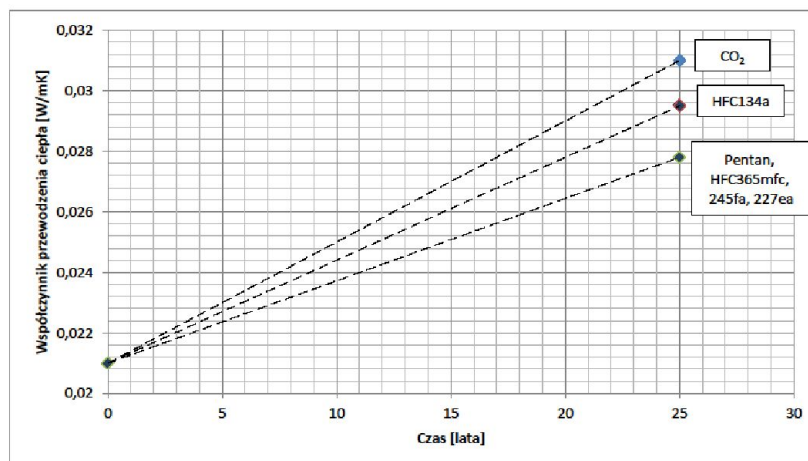
L.p.	Gaz	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/m·K]
1.	powietrze	0,02400
2.	$\text{CO}_2$	0,01640
3.	cyklopentan	0,01140
4.	<i>n</i> -pentan	0,01370
5.	<i>iso</i> -pentan	0,01280
6.	<i>iso</i> -butan	0,01480
7.	HFC365mfc	0,01060
8.	HFC134a	0,01240
9.	HFC227ea	0,01270
10.	HFC245fa	0,01250*

\*w 25°C

Tab. 13.2. Współczynnik przewodzenia ciepła powietrza oraz gazów służących do spieniania pianek poliuretanowych (w temperaturze 10°C) [5]

Na rysunku 13.1 przedstawiono szacunkową, normową (zgodnie z procedurą stałych przyrostów) zmianę współczynnika przewodzenia ciepła w czasie, w zależności od zastosowanego środka spieniającego, dla próbek pracujących w temperaturze 120°C, mających grubość do 80 mm i bez powłok gazoszczelnych. Założono, że początkowa wartość współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  wynosi 0,0210 [W/(m·K)]. Zmiany, które zachodzą podczas 25 lat pracy izolacji termicznej, związanej z dyfuzją gazu

spieniającego z komórek wyrobu, powodują obniżenie izolacyjności wyrobu z pianki poliuretanowej nawet o 40% i więcej.



Rys. 13.1. Szacunkowa zmiana współczynnika przewodzenia ciepła w czasie, w zależności od zastosowanego środka spieniającego, dla próbek o grubości do 80 mm i bez powłok gazoszczelnych pracujących w temperaturze 120°C. Początkowa, założona wartość współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,0210$  [W/m·K].

Drugim wyrobem przeznaczonym do izolacji przemysłowych, dla którego opracowano procedurę uwzględniającą wpływ zmiany współczynnika przewodzenia ciepła w czasie, szczególnie pod wpływem temperatury, jest pianka fenolowa (PF) [5]. Metoda ta, w porównaniu z opisaną wyżej procedurą badania wyrobów PUR i RIP, jest znacznie mniej skomplikowana i znacząco różni się od tej przedstawionej w PE-EN 13166+A1:2015-03 [8], odnoszącej się do wyrobów stosowanych w budownictwie ogólnym. Wystarczy określić współczynnik przewodzenia ciepła próbki poddanej starzeniu w temperaturze  $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$  przez  $(175 \pm 5)$  dni, bądź w temperaturze  $(110 \pm 2)^\circ\text{C}$  przez  $(14 \pm 1)$  dni. Otrzymany wynik należy zwiększyć o podane przyrosty, w zależności od rodzaju czynnika spieniającego i rodzaju gazoszczelności okładziny. Wartości przyrostów podane w specyfikacji normowej wahają się od 0,001 [W/(m·K)] do 0,002 [W/(m·K)]. Stanowi to istotną informację, że tego typu wyroby z pianki fenolowej są znacznie bardziej odporne na starzenie termiczne niż wyroby z pianki poliuretanowej.

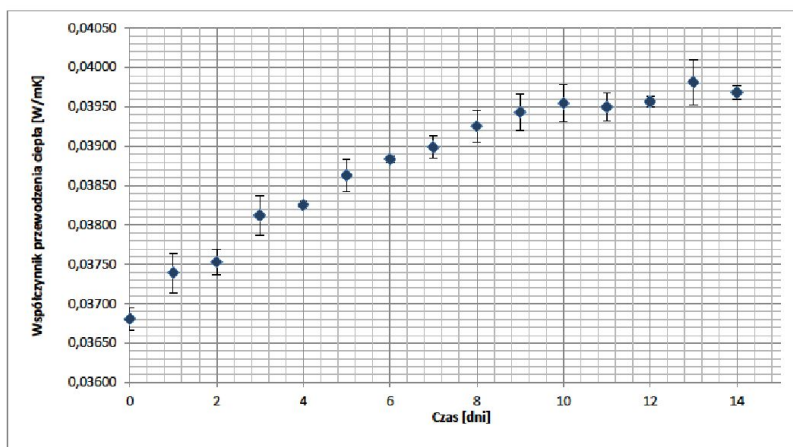
Co ciekawe, w przypadku określania „efektu starzeniowego” obydwu wyrobów (PUR, PIR oraz PF) odniesiono się do współczynnika przewodzenia ciepła w  $10^\circ\text{C}$  (jak dla budownictwa ogólnego). Nie zawarto informacji o tym, jak zmienia się wartość przewodzenia cieplnego w innych, wyższych temperaturach, mimo iż niezbędnym wymaganiami, dotyczącym określania własności cieplnych wyrobu, jest przedstawienie krzywej zależności lambdy od temperatury w całym zakresie stosowania [9,10].

### **13.3. Pozanormowe zmiany izolacyjności termicznej**

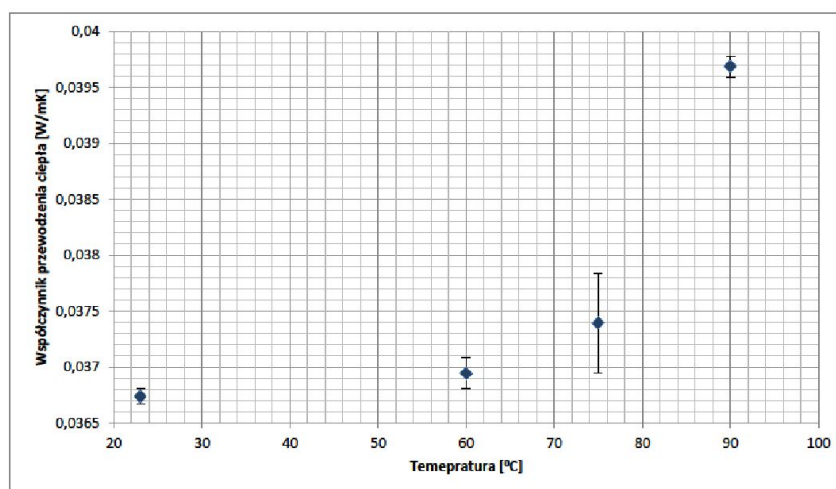
Powyżej rozważano dwa rodzaje sztywnych pianek, które mogą być stosowane w izolacjach przemysłowych. Kolejne wyroby, które zgodnie z nazewnictwem normowym mogą być stosowane do izolowania instalacji przemysłowych, to pianki polietylenowe (PEF – *flexible polyethylene foam*) [11] oraz elastyczne pianki elastomerowe (FEF – *flexible elastomeric foam*) [12]. Podobnie jak pozostałe materiały używane do izolacji przemysłowych, prócz wspomnianych powyżej pianek PUR i PIR oraz fenolowej (PF), pianki polietylenowe i elastomerowe są określane w odpowiednich normach wyrobu jako niezmiennające parametrów izolacyjności pod wpływem temperatury (w zakresie temperatur stosowania wyrobów).

Komórki wyrobów z polietylenu oraz pianek elastomerowych zawierają gaz. Pod wpływem wzrostu temperatury wzrasta też w komórkach ciśnienie, powodując zwiększenie ich objętości i równocześnie zmniejszenie gazoszczelności ich ścian. Automatycznie wzrasta możliwość dyfuzji gazu na zewnątrz komórki, do otoczenia i dyfuzji powietrza do wnętrza komórek. Im dłuższe oddziaływanie wysokiej temperatury, tym większa dyfuzja, a tym samym – tym większy spadek własności izolacyjnych. Poniżej

przedstawiono wyniki pomiarów próbek FEF, po różnych okresach oddziaływania wysokiej temperatury (90°C) – rysunek 2, oraz poddanych działaniu różnych temperatur (23°C, 60°C, 75°C, 90°C) – rysunek 3. Badania wykonano na trzech próbkach o grubości ok. 20 mm i gęstości (65-68) kg/m<sup>3</sup>. Próbki do pomiarów były wstępnie klimatyzowane w temperaturze (23 ± 2)°C i wilgotności względnej (50 ± 5)%. Pomiarów wykonano w aparacie FOX 300 firmy LaserComp do pomiaru współczynnika przewodzenia ciepła z czujnikami gęstości strumienia ciepła, zgodnie z wymaganiami PN-EN 12667:2002 [13].



Rys. 13.2. Wpływ oddziaływania temperatury 90°C na wartość współczynnika przewodzenia ciepła w 10°C ( $\lambda_{10}$ ) próbek elastycznej pianki elastomerowej (FEF)



Rys. 13.3. Wpływ oddziaływania różnych temperatur na wartość współczynnika przewodzenia ciepła w 10°C ( $\lambda_{10}$ ) próbek elastycznej pianki elastomerowej (FEF)

Można zakładać, że wszystkie wyroby zamknięto komórkowe, w których komórkach znajduje się gaz, będą zachowywały się podobnie – tak jak produkty w powyższych przykładach. Jednak w przypadku ekspandowanego styropianu (EPS), jednego z najpopularniejszych materiałów w budownictwie ogólnym, a w izolacjach instalacji przemysłowych używanego bardzo rzadko z uwagi na niską maksymalną temperaturę stosowania, nie zaobserwowano mierzalnej dyfuzji gazów do otoczenia. Prawdopodobnie jest to

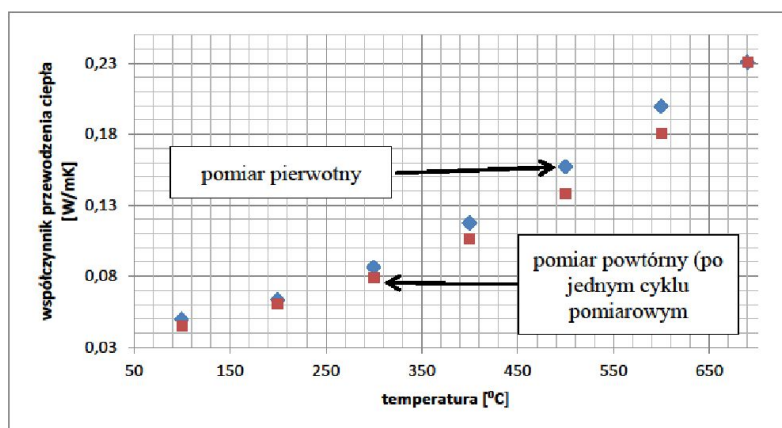
spowodowane dużą masą cząsteczkową gazu w komórkach (przeważnie jest to pentan) i trudniejszą jego migracją poprzez ścianki komórek polistyrenu [14].

Jak widać w powyższych przykładach, pogorszenie współczynnika przewodzenia ciepła materiałów stosowanych do izolacji przemysłowych pod wpływem oddziaływania wysokiej temperatury, jest efektem niepożądanym, jednak naturalnym. Dlatego tym ciekawszy staje się przypadek wyrobów z wełny mineralnej.

Wyroby z tego materiału, stosowanego w izolacjach przemysłowych, produkowane są na bazie nieorganicznych surowców. W przypadku wełny szklanej głównymi surowcami są piasek, szkło, skałki, dolomit i boraks. Wełna skalna wytwarzana jest z włókien mineralnych pochodzących z kamienia bazaltowego, wapiennego i gabra. W celu wzmocnienia struktury przestrzennej wyrobu, w trakcie produkcji, na etapie rozwłókniania, dodawane jest lepiszcze – substancja organiczna, najczęściej żywica fenyloowo-formaldehadowa wraz ze środkami hydrofobowymi. Polimeryzuje ona w procesie utwardzania, powodując stabilizowanie się całej struktury wyrobu. W zależności od producenta i typu wyrobu, ilość dodawanego lepiszcza może się wahać do kilku procent.

Zgodnie z zaleceniami normowymi, producenci powinni deklarować własności termiczne, przedstawiając zależność współczynnika przewodzenia ciepła od temperatury (w postaci albo krzywej, albo tabeli) w całym zakresie stosowania [10]. Na podstawie badania jednej próbki, która testowana jest w różnych, przeważnie coraz wyższych temperaturach, wymagana zależność jest otrzymywana [8]. Jednakże kolejne wykonanie badań tej samej próbki – w tych samych warunkach, w tych samych punktach temperaturowych – nie pozwala ponownie uzyskać tych samych wyników pomiaru.

Na rysunku 13.4 przedstawiono wyniki pomiarów dla tej samej próbki maty z wełny skalnej o grubości 100 mm, stosowanej do izolowania rurociągów. Pomiary zostały wykonane w Centrum Badawczym Materiałów Budowlanych „IZOLACJA”, IMBiGS Oddział Katowice. Użyto dwukomorowego aparatu do pomiarów współczynnika przewodzenia ciepła firmy Quade Measurements, o możliwym zakresie temperaturowym od  $T_{mean} = -40^{\circ}\text{C}$  do  $T_{mean} = 600^{\circ}\text{C}$ . Próbkę montowano na rdzeń grzewczy o średnicy 194 mm. Wyniki uzyskano dla różnic temperatur od  $\Delta T = 20\text{K}$  do  $\Delta T = 80\text{K}$  (różnicowano  $\Delta T$  z uwagi na średnią temperaturę pomiaru  $T_{mean}$ ), zgodnie z PN-EN 8497:1999 [15] dla średnich temperatur  $T_{mean} = 100^{\circ}\text{C}$ ,  $200^{\circ}\text{C}$ ,  $300^{\circ}\text{C}$ ,  $400^{\circ}\text{C}$ ,  $500^{\circ}\text{C}$ ,  $600^{\circ}\text{C}$  i  $690^{\circ}\text{C}$ . Uzyskanie wyniku pomiaru w jednym punkcie temperaturowym trwało minimum dwanaście godzin.



Rys. 13.4. Zależność pomiędzy współczynnikiem przewodzenia ciepła a temperaturą próbki maty z wełny skalnej dla próbki zmierzonej pierwotnie (cały cykl pomiarowy) oraz tej samej próbki zmierzonej ponownie (po jednym cyklu pomiarowym)

Różnica w przedstawionych zależnościach generalnie dotyczy obszaru temperatury pomiędzy  $200^{\circ}\text{C}$  a  $500^{\circ}\text{C}$  i ewidentnie ukazuje obniżenie współczynnika przewodzenia ciepła próbki, która została przebadana drugi raz. Zmniejszenie wartości współczynnika przewodzenia ciepła spowodowane było wpływem

wysokiej temperatury na lepiszcze, a dokładnie na substancje organiczne występujące w próbce. Wysoka temperatura, która oddziałuje na lepiszcze i środki hydrofobowe w próbce, a szczególnie temperatura powyżej 200°C, powoduje wypalanie, degradację części organicznych w materiale. W wyniku wypalania najprawdopodobniej zwiększa się porowatość, a z tego powodu maleje współczynnik przewodzenia ciepła materiału. Dlatego obserwowana wartość współczynnika przewodzenia ciepła w temperaturze 600°C – dla próbek pierwotnej i powtórnie badanej – jest praktycznie taka sama. Obecne w pierwotnej próbce części organiczne zostały wypalone w trakcie całościowego pomiaru i końcowy wynik to wartość współczynnika przewodzenia ciepła materiału niezawierającego substancji organicznych. Próbkę ponownie badana od najniższej temperatury pomiarowej nie posiadała już praktycznie substancji organicznych.

Powyższy przykład obrazuje zupełnie odmienny przypadek zmiany współczynnika przewodzenia ciepła pod wpływem oddziaływania wysokiej temperatury niż opisane wcześniej zachowania próbek wyrobów zamknięto komórkowych. Z jednej strony można uznać to za zaletę wyrobów zawierających lepiszcze. Dzięki tej cesze wyroby tego typu poprawiają swoje własności termiczne po aplikacji na instalacji przemysłowej o wysokiej temperaturze pracy. Jednak z drugiej strony funkcją lepiszcza jest poprawienie własności mechanicznych, a substancji hydrofobizujących włókna – zwiększenie odporności na ewentualne zawilgocenie wyrobu. Przykładem, który obrazuje konieczność posiadania dobrych własności mechanicznych, jest zastosowanie izolacji z wełny mineralnej na elementach drgających, rotujących, ruchomych. W tych przypadkach, z uwagi na zwiększoną możliwość nawet minimalnych, ale permanentnych przesunięć i tarć o powierzchnię izolowanej instalacji, rośnie ryzyko uszkodzeń włókien, szczególnie tych, które znajdują się w bezpośrednim kontakcie z powierzchnią grzejną. Efektem tego jest łamanie włókien, kruszenie izolacji, czy też całkowite rozkruszenie do drobnoziarnistego pyłu, co z kolei powoduje powstanie mostków termicznych lub wręcz całościowe uszkodzenie izolacji instalacji przemysłowej.

#### **13. 4. Podsumowanie**

Zdaniem autora, w niniejszym artykule przedstawiono ciekawsze przypadki zmiany parametrów izolacyjnych pod wpływem oddziaływania wysokiej temperatury, wybrane z szeregu produktów do izolacji cieplnej instalacji przemysłowych. Materiały organiczne zamknięto komórkowe, takie jak sztywne pianki poliuretanowe (PUR), poliizocyanurowe (PIR), fenolowe (FP), czy też elastyczne pianki elastomerowe (FEF) jednoznacznie wykazują tendencję do pogarszania swoich własności termicznych. Proces ten jest rozłożony w czasie i zależy od szybkości dyfuzji gazu z komórek. Szybkość tego zjawiska jest uwarunkowana temperaturą oddziałującą na materiał izolacyjny i rodzajem gazu, a w zasadzie – wielkością cząsteczek gazu komórkowego i samą strukturą (dokładnie gazoszczelnością) komórki.

Z grupy materiałów nieorganicznych, takich jak szkło piankowe, areożele, włókna ceramiczne, krzemian wapnia wybrano wełnę mineralną i przykład zmiany współczynnika przewodzenia ciepła pod wpływem wysokiej temperatury. W przeciwieństwie do wcześniejszych produktów, ulega on zmniejszeniu, poprawiając własności termoizolacyjne zaaplikowanego tworzywa. Główną przyczyną tego stanu jest usunięcie w wyniku wysokiej temperatury części organicznych z materiału. Zmiana ta najczęściej odbywa się kosztem obniżenia parametrów mechanicznych wyrobu, co w wielu przypadkach wymaga użycia innego mocowania, stosowania warstw ochraniających wpływ zbyt wysokiej temperatury albo – w ostateczności – innego materiału izolacyjnego.

#### **LITERATURA:**

- [1] J. Górzyński, *Przemysłowe izolacje cieplne*, Wydawnictwo Sorus, Poznań 1996.
- [2] PN-B 20105:2014-09 *Izolacja cieplna wyposażenia budynków i instalacji przemysłowych – Wymagania dotyczące projektowania, wykonania i odbioru robót.*
- [3] PN-EN 14706:2013-04 *Wyroby do izolacji cieplnej wyposażenia budowli i instalacji przemysłowych – Określanie maksymalnej temperatury stosowania.*
- [4] PN-EN 14308+A1:2013-07 *Wyroby do izolacji cieplnej wyposażenia budynków i instalacji przemysłowych – Wyroby ze sztywnej pianki poliuretanowej (PUR) i pianki poliizocyanurowej (PIR) produkowane fabrycznie – Specyfikacja.*
- [5] PN-EN 14314+A1:2013-07 *Wyroby do izolacji cieplnej wyposażenia budynków i instalacji przemysłowych – Wyroby z pianki fenolowej (PF) produkowane fabrycznie – Specyfikacja.*
- [6] S. N. Singh, *Blowing Agents for Polyurethane Foams*, vol. 12, iSmithers Rapra Publishing, 2001.

- [7] PN-EN 13165+A1:2015:03 *Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie. Wyroby ze sztywnej pianki poliuretanowej (PU) produkowane fabrycznie. Specyfikacja.*
- [8] PN-EN 13166+A1:2015-03 *Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby z pianki fenolowej (PF) produkowane fabrycznie – Specyfikacja.*
- [9] A. Miros, G. Swótek, *Problemy pomiaru wartości współczynnika przewodzenia ciepła w wysokich temperaturach*, „Izolacje” 2012, nr 10, s. 32-34.
- [10] PN-EN ISO 13787:2005 *Wyroby do izolacji cieplnej wyposażenia budynków i instalacji przemysłowych – Określanie deklarowanego współczynnika przewodzenia ciepła.*
- [11] PN-EN 14313+A1:2013-07 *Wyroby do izolacji cieplnej wyposażenia budynków i instalacji przemysłowych – Wyroby z pianki polietylenowej (PEF) produkowane fabrycznie – Specyfikacja.*
- [12] PN-EN 14304+A1:2013-07 *Wyroby do izolacji cieplnej wyposażenia budynków i instalacji przemysłowych – Wyroby z elastycznej pianki elastomerycznej (FEF) produkowane fabrycznie – Specyfikacja.*
- [13] PE-EN 12667:2001 *Właściwości cieplne materiałów i wyrobów budowlanych – Określanie oporu cieplnego metodami osłoniętej płyty grzejnej i czujnika strumienia cieplnego – Wyroby o dużym i średnim oporze cieplnym.*
- [14] A. A. Abdou, I. M. Budaiwi, *Comparison of Thermal Conductivity Measurements of Building Insulation Materials under Various Operating Temperatures*, “Journal of Building Physics” 2005; 29, no.2, p. 171-184.
- [15] PN-EN 8497:1999 *Izolacja cieplna – Określanie właściwości w zakresie przepływu ciepła w stanie ustalonym przez izolacje cieplne przewodów rurowych.*