

Deformacja polistyrenu grafitowego – badania w warunkach laboratoryjnych

Dr inż. Paweł Krause, Politechnika Śląska

1. Wprowadzenie

Problematyka wykorzystania polistyrenu grafitowego w systemach ociepleń była podejmowana w zróżnicowanych opracowaniach naukowo-technicznych [1–14]. Znane są przypadki uszkodzenia izolacji cieplnych z dodatkami atermicznymi w systemach ETICS [8–13]. W wielu przypadkach dochodzi do zjawiska, które można zdefiniować jako tzw. przegrzewanie styropianu grafitowego. Przez to pojęcie należy rozumieć nagrzewanie się powierzchni polistyrenu do temperatury przekraczającej temperaturę jego mięknięcia. Konsekwencją tego zjawiska może być wystąpienie negatywnych skutków materiałowych, takich jak: deformacje, zmiany geometrii, nadtopienia oraz odspojenia i odpadanie izolacji termicznej od ścian zewnętrznych.

2. Polistyren z dodatkami atermicznymi

Poprawa stanu ochrony cieplnej budynków wymaga stosowania zróżnicowanych materiałów termoizolacyjnych. Jedną z najczęściej wykorzystywanych izolacji cieplnych jest polistyren spieniony, który w przeważającej objętości składa się z powietrza. Pozostałą część stanowi m.in. polistyren oraz ewentualne dodatki atermiczne. Powodują one redukcję współczynnika przewodzenia ciepła materiału. Dodatki te, stosowane najczęściej w ilości od 1 do 5%, mogą występować np. w postaci rozdrobnionego grafitu, aluminium lub sadzy o różnych właściwościach i pochodzeniu. Oprócz zróżnicowanych właściwości, w tym cieplnych, dodatki te równocześnie modyfikują wygląd polistyrenu spienionego. Stopień modyfikacji jest różny w zależności od rodzaju dodatku, jego ilości, kształtu i wielkości drobin. Barwa

polistyrenu z dodatkiem atermicznym grafitu lub aluminium zmienia się po spienieniu na szaroszary, częściowo połyskliwy. Przy zastosowaniu dodatku sadzy styropian po spienieniu przyjmuje kolor od ciemnoszarego do czarnego. Barwa polistyrenu jest charakterystyczna dla danego dodatku atermicznego, a jego odcień zależy dodatkowo od gęstości, do jakiej został spieniony materiał. Na jego odcień wpływa także wewnętrzna struktura pojedynczej perełki (czyli drobniejsza, tym odcień jaśniejszy). Dodatkowo na barwę może mieć także wpływ efekt brylancji, tj. pojawiania się świetlnych refleksów na powierzchniach fasetkowych, który jest związany z odbiciem światła od płaskich powierzchni wielościennych pęcherzyków powietrza w materiale [12]. Polistyren z dodatkami atermicznymi nosi potoczną nazwę „styropianu grafitowego”, „styropianu czarnego” bądź „styropianu szarego”. W praktyce inżynierskiej podane nazwy używane są najczęściej zamiennie.

3. Założenia badań laboratoryjnych

Oddziaływanie niekorzystnych warunków atmosferycznych na uszkodzenia niezabezpieczonych płyt styropianu grafitowego w systemach ociepleń związane są z przekroczeniem temperatury powierzchni materiału w stosunku do temperatury mięknięcia. Styropiany o ciemnej barwie w wybranych warunkach środowiska zewnętrznego narażone są na nadmierne nagrzewanie się ich powierzchni. W przypadku badań prowadzonych na obiektach rzeczywistych, których wyniki przedstawiono w pracach [8, 9] nie istnieje możliwość dowolnego ustalania warunków oddziaływania środowiska zewnętrznego w postaci wielkości natężenia promieniowania słonecznego i kąta jego padania na płaszczyznę pionową

Rys. 1 i 2. Symulator promieniowania słonecznego przed pomiarami i w ich trakcie



Rys. 3 i 4. Wykorzystane w badaniach – kamera termowizyjna Flir E95, Skaner 3D Z+F IMAGER 5016 (po lewej) oraz Z+F IMAGER 5010 (po prawej), ruchomy pyrometr



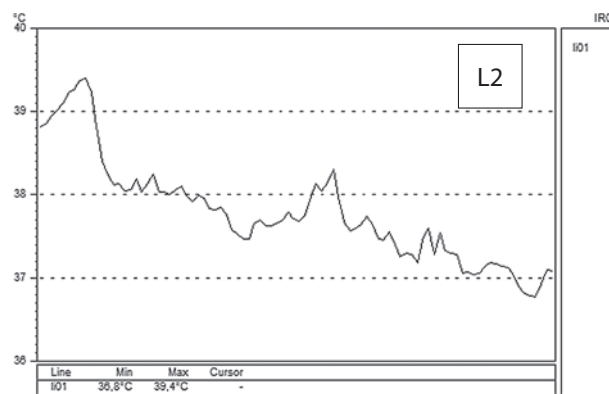
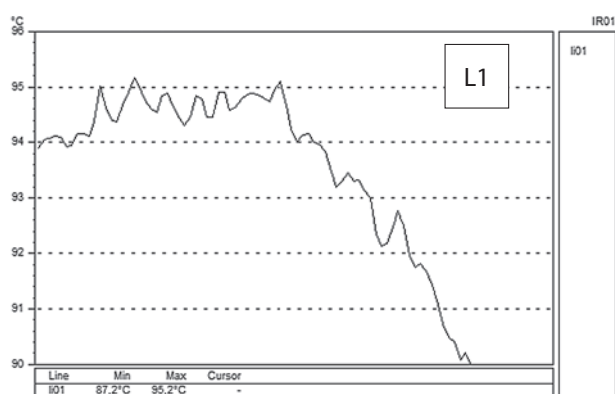
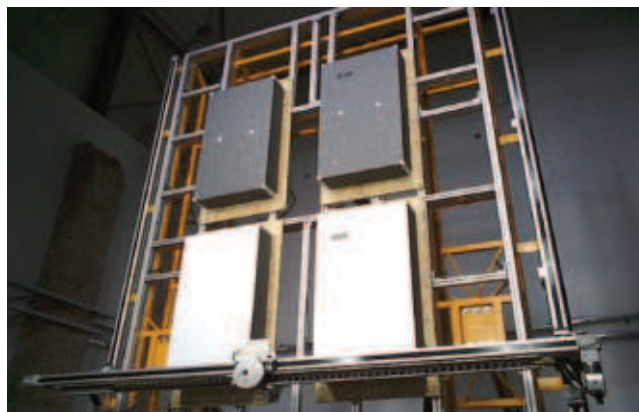
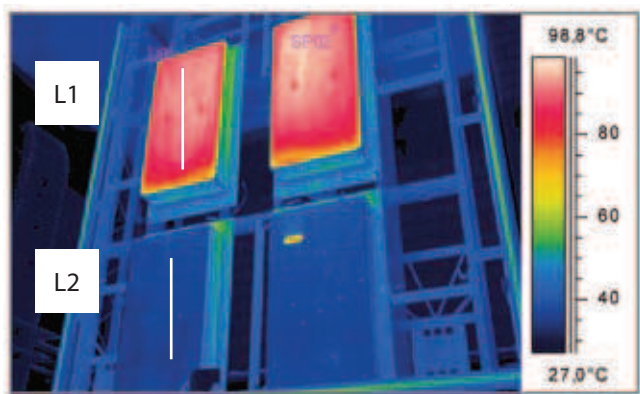
Rys. 5, 6 i 7. Przykładowe rozkłady natężenia promieniowania słonecznego na powierzchni obejmującej badane próbki – zróżnicowana siatka pomiarowa natężenia i odmienny kąt padania promieniowania

termoizolacji. W celu określenia wpływu wybranych czynników atmosferycznych na temperaturę powierzchni polistyrenu z dodatkami atermicznymi przeprowadzono badania laboratoryjne. W obiekcie zainstalowany jest stacjonarny symulator promieniowania słonecznego (tzw. sztuczne słońce), które na potrzeby badań wykorzystano do obciążenia badanych płyt styropianowych. Symulator promieniowania słonecznego jest złożonym systemem urządzeń pozwalającym w warunkach laboratoryjnych wytworzyć promieniowanie, które wiernie odzwierciedla rzeczywistą emisję promieniowania słonecznego. Symulator składa się z pola lamp, sztucznego nieba, układu wentylacyjnego, termostatu, czujników temperatury oraz urządzeń do generowania danych. Lampy zainstalowane w symulatorze emitują światło o widmie zbliżonym do światła naturalnego, co pozwala na odtworzenie w warunkach laboratoryjnych warunków promieniowania słonecznego zbliżonych do rzeczywistych. Aby uniknąć błędów wynikających z nagrzewania się lamp, zastosowano tzw. sztuczne niebo. Konstrukcja urządzenia pozwala precyzyjnie ustawić względem siebie badany obiekt oraz pole lamp, zapewniając regulację kąta padania promieniowania od 0° do 90°. Opisany

symulator zapewnia ustawienie nachylenia lamp emitujących promieniowanie względem badanej powierzchni, dzięki czemu możliwe jest odtworzenie rzeczywistej „wędrówki” słońca na widnokregu. W stole roboczym zainstalowane są urządzenia pomiarowe, dzięki którym można zmierzyć m.in. natężenie promieniowania słonecznego, prędkość przepływu powietrza oraz temperaturę otoczenia.

4. Wyniki badań

Badania wpływu promieniowania słonecznego na rozkład temperatury na powierzchni polistyrenu EPS realizowano dla natężenia promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę pionową wynoszącego od 640 do 1100 W/m². Badaniom poddano polistyreny grafitowe (dwa rodzaje), polistyreny białe oraz polistyren grafitowy z zewnętrzną warstwą wykonaną z białego EPS (rys. 8 i 9). Temperatura powietrza wewnątrz pomieszczenia laboratoryjnego wahała się w zależności od czasu trwania pomiarów od 27°C do 31°C. W trakcie prowadzenia pomiarów prędkość wiatru wynosiła 0 m/s. Wykorzystując technikę termograficzną,



Rys. 8, 9, 10 i 11. Wybrane wyniki pomiarów termograficznych dla natężenia promieniowania na poziomie około 1000 W/m^2 wraz z rozkładem temperatury wzdłuż linii na powierzchni polistyrenu grafitowego i polistyrenu grafitowego z zewnętrzną warstwą białego EPS

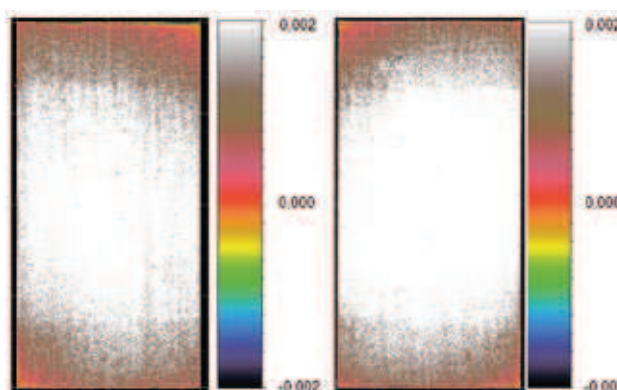
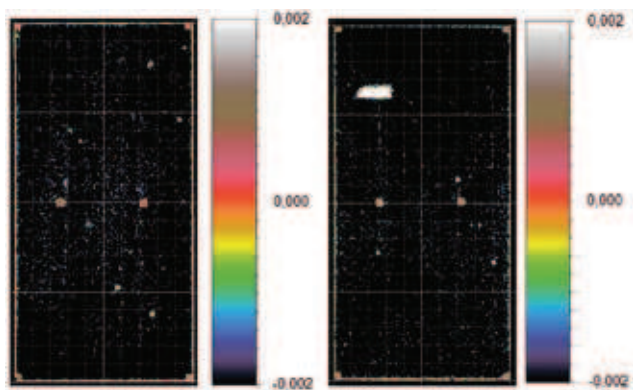
określono wartości temperatury na powierzchni badanych próbek w trakcie prowadzenia pomiarów. Wybrane wyniki przeprowadzonych pomiarów zestawiono w tabeli 1. Czas ekspozycji promieniowania słonecznego dla każdego

z natężeń promieniowania słonecznego nie przekraczał 30 minut. Na szczególną uwagę zasługuje różnica temperatury na powierzchni polistyrenów białych ($\Delta T \approx 1 \text{ K}$) i grafitowych ($\Delta T > 14 \text{ K}$) dla kolejnych najmniejszych natężeń promieniowania (tabela 1).

Tabela 1. Maksymalna temperatura na powierzchni polistyrenów w zależności od natężenia promieniowania „sztucznego słońca”

$I_s \text{ [W/m}^2\text{]}$	$T_{\text{MAX}} \text{ [}^\circ\text{C]}$			
	GRAF	GRAF-A	BIĄŁY	BIĄŁY-GRAF
640	72,3	71,7	31,0	38,0
950	89,4	85,8	32,0	39,1
1008	95,3	94,8	36,6	43,8
1104	101,9	97,4	37,6	44,8

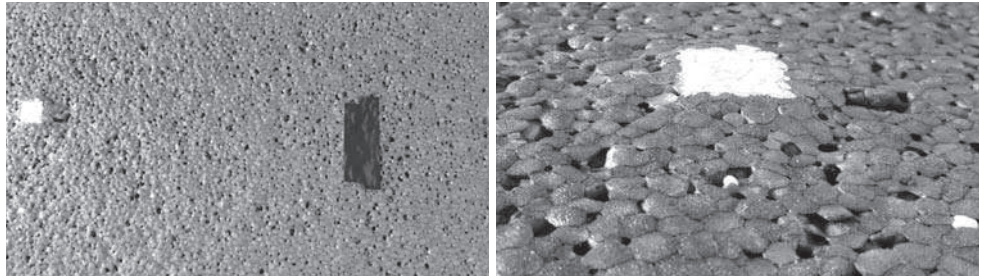
Badania wpływu symulowanego promieniowania słonecznego na uszkodzenia polistyrenów spowodowane oddziaływaniem wysokiej temperatury realizowano w postaci badań makroskopowych oraz skanowania laserowego 3D (rys. 13 i 14). Dla przyjętych wartości natężenia promieniowania nie zaobserwowano uszkodzeń powierzchniowych styropianu EPS białego i styropianu grafitowego z warstwą białego EPS. W przypadku polistyrenu grafitowego stwierdzono



Rys. 12 i 13. Przykładowa barwna mapa odkształceń płyt białych (lewa strona) i płyt szarych (prawa strona), uzyskana z odczytów skanera 3D; po prawej stronie umieszczono skalę barw [m]

Rys. 14 i 15.

Nadtopienia i odkształcenia na powierzchni płyt polistyrenów grafitowych



zróżnicowane uszkodzenia mające związek z oddziaływaniem promieniowania zarówno na zewnętrzną powierzchnię izolacji termicznej (narażoną na promieniowanie), jak i na geometrię płyt termoizolacyjnych. Natężenie promieniowania słonecznego wynoszące w warunkach laboratoryjnych ok. 1000 W/m² spowodowało rozpoczęcie procesu destrukcji powierzchni styropianu grafitowego. Badania makroskopowe pozwoliły na zaobserwowanie niewielkich punktowych nadtopień granulek polistyrenowych. Świadczy to o przekroczeniu temperatury mięknięcia materiału – rysunki 12 i 13. Po przekroczeniu wartości natężenia promieniowania powyżej 1000 W/m² rozpoczęły się dynamiczne procesy destrukcyjne zewnętrznej powierzchni styropianu grafitowego. W ostatniej fazie oddziaływania natężenia promieniowania na poziomie ok. 1100 W/m² doszło do znacznych uszkodzeń polistyrenu (rys. 14 i 15). Po zakończeniu badań i wykonaniu pomiarów geometrii stwierdzono liczne nadtopienia i deformacje polistyrenu grafitowego. W innych fragmentach stwierdzono stopione i zlepione ze sobą granulki polistyrenu o nieregularnych kształtach, z dużą ilością pustych przestrzeni wypełnionych powietrzem. Różnice grubości płyty pomiędzy fragmentem polistyrenu pomalowanym na biało specjalną farbą (punkty referencyjne) a otaczającą powierzchnią przekraczały 10 mm. Dodatkowo styropian uległ kilkumilimetrowemu wygięciu, co jest widoczne po przyłożeniu łaty 2 m. Stało się tak pomimo mocowania pasmowo-punktowego zaprawy klejącej o niewielkiej grubości do podłoża imitującego ścianę zewnętrzną.

5. Podsumowanie

Niekorzystne warunki otoczenia, tj. brak wiatru, silne nasłonecznienie, wysoka temperatura powietrza sprzyjają procesom destrukcyjnym, powodując tym samym zmiany geometryczne i deformacje elementów wykonanych ze styropianów grafitowych. Na podstawie wykonanych badań można stwierdzić wysoką wrażliwość zachowania badanych płyt EPS z dodatkami atermicznymi na oddziaływanie symulowanego promieniowania słonecznego. Wielkość i charakter zmian temperatury na powierzchni zewnętrznej styropianów jest uzależniony od obszaru oddziaływania, czasu ekspozycji, zaś charakter odkształceń zależy dodatkowo od sposobu mocowania płyt termoizolacji do podłoża. Badania wykazały znacząco zwiększone wartości temperatury na nasłonecznionych powierzchniach płyt szarych

w stosunku do płyt styropianowych o powierzchni białej. Polistyren biały w płycie zespolonej zapobiega nadmiernemu wzrostowi temperatury na powierzchni zewnętrznej płyty w warunkach nasłonecznienia w stosunku do analogicznej płyty styropianu szarego. Płyty zespolone wykazują w warunkach oddziaływania promieniowania słonecznego temperatury na powierzchni zewnętrznej zbliżone do płyt wykonanych w całości z polistyrenu białego. Skład chemiczny styropianów grafitowych może wpływać na intensywność procesów destrukcyjnych, spowodowanych oddziaływaniem promieniowania. W celu ewentualnego określenia wytycznych wykonawczych, dotyczących warunków bezpiecznego prowadzenia prac związanych z ociepleniem ścian przy wykorzystaniu polistyrenu grafitowego, konieczne byłoby poszerzenie zakresu prowadzonych badań laboratoryjnych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Faravelli T., Pincioli M., Pisano F., Bozzano G., Dente M., Ranzi E., Thermal degradation of polystyrene, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, tom 60, 1/2001
- [2] Jędrzejewski A., Uwaga czarny styropian, *Tynki* 6/2012
- [3] Jędrzejewski A., Uwaga czarny styropian (2), *Tynki* 1/2013
- [4] Kondrot-Buchta A., Badania eksperymentalne efektu redukcji przewodności cieplnej w spienionych polistyrenach. Rozprawa doktorska, WAT, Warszawa, 2014
- [5] Kondrot-Buchta A., Zmywaczyk J., Koniorczyk P., Badania eksperymentalne temperatury powierzchni płyt styropianowych nagrzewanych lampą kwarcową, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* 1/46/2015
- [6] Kondrot-Buchta A., Zmywaczyk J., Koniorczyk P., Eksperymentalne badania temperatury powierzchni płyt styropianowych poddanych ekspozycji promieniowania słonecznego, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* 2/46/2015
- [7] Kondrot-Buchta A., Zmywaczyk J., Preiskorn M., Koniorczyk P., Numeryczne obliczenia odkształceń termicznych płyt styropianowych, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* 3/46/2015
- [8] Krause P., Ocena stanu technicznego izolacji termicznych na modernizowanych elewacjach. Wpływ tynków na trwałość przegród, technologie wzmacniania i naprawy, 12 Dni Oszczędzania Energii, Wrocław, 2018
- [9] Krause P., Uszkodzenia styropianu grafitowego w systemach ociepleń ETICS, *Izolacje* 4/2019, str. 28–32
- [10] Krause P., Wpływ natężenia promieniowania słonecznego na rozkład temperatury powierzchni polistyrenu grafitowego, *Izolacje* 6/2019, str. 28–32
- [11] Krause P., Wybrane problemy stosowania styropianu grafitowego w systemach ociepleń ETICS. Innowacyjne i współczesne rozwiązania w budownictwie. *Budownictwo ogólne, XXXIV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji*, tom 4, Szczyrk, 5–8 marca 2019
- [12] Krause P., Wojewódka D., Kożuch K., Kosobucki Ł., Destrukcyjność polistyrenu spienionego z dodatkami atermicznymi, *Materiały Budowlane* 5/2019
- [13] Krause P., Steidl T., Uszkodzenia i naprawy przegród budowlanych w aspekcie izolacyjności termicznej, PWN, Warszawa, 2017
- [14] Kussauer R., Ruprecht M., Die häufigsten Mängel bei Beschichtungen und Wärmedämm-Verbundsystemen: Erkennen, Vermeiden, Beheben, Rudolf Müller, Köln, 2014