

Next-generation facade panel with a polyurethane core offering enhanced thermal insulation performance

Panel elewacyjny nowej generacji z rdzeniem poliuretanowym o podwyższonej efektywności izolacyjnej



DOI: 10.15199/62.2026.7.4

A new generation facade panel with a polyurethane core offering improved thermal insulation parameters has been developed, available in thicknesses of 120, 150, 160, and 200 mm. The panel combines a low-thermal-conduction polyurethane core with mineral wool layers, resulting in reduced weight, increased stiffness, and maintained vapor permeability. These properties enable the use of thinner insulation solutions while meeting contemporary requirements for energy efficiency and optimized exterior wall construction.

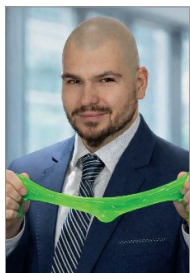
Keywords: polyurethane, facade panels, thermal conductivity, energy efficiency, mineral wool, chemical engineering, materials engineering

Opracowano panel elewacyjny nowej generacji z rdzeniem poliuretanowym, o podwyższonej efektywności izolacyjnej, dostępny w grubościach 120, 150, 160 i 200 mm, co umożliwia jego dostosowanie do zróżnicowanych wymagań projektowych i energetycznych. Konstrukcja panelu oparta jest na rdzeniu z poliuretanu o obniżonej przewodności cieplnej wynoszącej 0,025 W/(m·K), uzupełnionym warstwami zewnętrznymi i wewnętrznymi wykonanymi z wełny mineralnej, zapewniającymi odpowiednie właściwości użytkowe i eksploatacyjne. Uzyskano istotnie mniejszy ciężar właściwy w porównaniu z rozwiązaniami opartymi wyłącznie na wełnie mineralnej, przy jednoczesnym zwiększeniu sztywności całego układu. Dzięki temu możliwe było ograniczenie efektywnej grubości izolacji przy zachowaniu dobrych parametrów termoizolacyjnych. Opracowane rozwiązanie charakteryzuje się również zachowaną paroprzepuszczalnością, co ma istotne znaczenie dla trwałości przegrody oraz komfortu użytkowania budynku. Uzyskane właściwości wskazują, że proponowany panel stanowi efektywne rozwiązanie w kontekście nowoczesnych wymagań w zakresie energooszczędności i optymalizacji konstrukcji przegród zewnętrznych.

Słowa kluczowe: poliuretan, panele elewacyjne, przewodnictwo ciepłe, energooszczędność, wełna mineralna, inżynieria chemiczna, inżynieria materiałowa

Rosnące wymagania dotyczące efektywności energetycznej budynków powodują intensywny rozwój nowoczesnych materiałów izolacyjnych. Szczególne znaczenie mają wyroby łączące wysoką izolacyjność cieplną z niewielką masą oraz trwałością eksploatacyjną^{1–3}). Wśród najczęściej stosowanych materiałów znajdują się pianki poliuretanowe

PUR/PIR, polistyreny oraz wełny mineralne. Sztywne pianki poliuretanowe charakteryzują się bardzo niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła λ , wynoszącym zwykle 0,022–0,028 W/(m·K), dzięki czemu pozwalają ograniczyć grubość przegród budowlanych przy zachowaniu wysokiej izolacyjności^{4–6}). Wełna mineralna zapewnia natomiast



Dr hab. inż. Tomasz M. MAJKA (ORCID: 0000-0002-7913-0750) w roku 2008 ukończył studia I stopnia z zakresu chemii stosowanej w Instytucie Matematyczno-Przyrodniczym Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Tarnowie, a także studia I stopnia z zakresu przygotowania pedagogicznego w Studium Pedagogicznym tej samej uczelni. W 2010 r. ukończył studia II stopnia z zakresu technologii tworzyw sztucznych na Wydziale Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Krakowskiej. W 2015 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych na tym samym wydziale. Jest adiunktem w Katedrze Chemii i Technologii Polimerów PK. Specjalność – mechanika, budowa i obsługa maszyn do przetwarzania tworzyw sztucznych, analiza termiczna i palność materiałów polimerowych, metody łączenia i obróbki tworzyw sztucznych, przetwórstwo tworzyw sztucznych, inżynieria materiałowa oraz prawo patentowe.



Dr inż. Artur BUKOWCZAN (ORCID: 0000-0001-9966-8219) w roku 2015 ukończył studia na Wydziale Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Krakowskiej. W 2022 r. uzyskał stopień doktora w dziedzinie inżynierii chemicznej na tym samym wydziale. Jest adiunktem w Katedrze Chemii i Technologii Polimerów PK. Specjalność – inżynieria chemiczna, chemia i modyfikacja polimerów (w tym poliuretanów), nanomateriały, synteza i właściwości ciekłokrystalicznych układów polimerowych.

* Adres do korespondencji:

Katedra Chemii i Technologii Polimerów, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel.: (12) 628-30-13, e-mail: tomasz.majka@pk.edu.pl

Table 1. Thermal conductivity coefficient measurement results for multilayer systems

Tabela 1. Wyniki pomiarów współczynnika przewodności cieplnej układów warstwowych

Skład panelu	Parametry (grubość poszczególnych warstw)	λ , W/(m·K)
Wełna miękka/ pianka PUR/wełna miękka	40 mm/80 mm/40 mm $H = 200$ mm, $m = 6,1$ kg	0,025
Wełna miękka/ pianka PUR/wełna twarda	40 mm/80 mm/50 mm $H = 200$ mm, $m = 7,60$ kg	0,0263
Wełna twarda/ pianka PUR/wełna twarda	50 mm/30 mm/80 mm $H = 160$ mm, $m = 5,63$ kg	0,0268
Wełna twarda/ pianka PUR/wełna twarda	50 mm/70 mm/80 mm $H = 160$ mm, $m = 6,71$ kg	0,0266

H – wysokość panelu, m – masa panelu

Table 2. Thermal conductivity measurements of a polyurethane panel before and after aging

Tabela 2. Wyniki pomiarów przewodności cieplnej płyty poliuretanowej przed i po starzeniu

Próbka	Współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K)			
	A	B	C	D
Wymiary, m/kg	0,0208/0,0872	0,0211/0,0876	0,0204/0,0818	0,0205/0,0874
Przed starzeniem	0,0209±0,0011	0,0198±0,0010	0,0199±0,0010	0,0211±0,0011
Po starzeniu	0,0258±0,0013	0,0256±0,0013	0,0259±0,0013	0,0261±0,0013

dobrą odporność ogniową oraz właściwości akustyczne. Połączenie obu materiałów w panelu warstwowym umożliwia uzyskanie korzystnych parametrów użytkowych przy jednoczesnym zmniejszeniu ciężaru elementu⁷⁻¹¹⁾.

Celem badań było opracowanie lekkiego panelu elewacyjnego z rdzeniem poliuretanowym i warstwami z wełny mineralnej oraz ocena jego właściwości termoizolacyjnych, odporności na rozwarstwianie, zachowania podczas oddziaływania ognia i przepuszczalności pary wodnej.

Część doświadczalna

Materiały

Do otrzymywania paneli zastosowano komercyjny układ poliuretanowy składający się z komponentu polioliowego ULTRAPOL RG 16/32/NA oraz komponentu izocyjanianowego PUREX B. Do budowy panelu zastosowano również wełnę mineralną zarówno miękką, jak i twardą. Grubość poszczególnych warstw komponentów była zróżnicowana w zależności od badanego systemu. Dane zostały przedstawione w tabeli 1. Poszczególne warstwy zostały sklejone za pomocą kleju poliuretanowego dwuskładnikowego Sika Force 7710.



Michał CZYŻ jest prezesem zarządu firmy Wido-Profil sp. z o.o. Studia ukończył na Wydziale Zarządzania i Marketingu AGH w Krakowie.

Metodyka badań

Komponenty ULTRAPOL RG 16/32/NA oraz PUREX B mieszano w stosunku masowym 100:150. Uzyskany rdzeń PUR łączono z warstwami wełny mineralnej (rys. 1).

Badania przewodności cieplnej wykonano metodą czujnika strumienia cieplnego, zgodnie z normą¹²⁾, za pomocą aparatu HFM 6200. Oceniono także wpływ starzenia termicznego na właściwości izolacyjne pianek PUR. Przeprowadzono badania odporności na rozwarstwianie, reakcji na ogień wg normy¹³⁾ oraz właściwości przy przenikaniu pary wodnej zgodnie z normą¹⁴⁾. W przypadku badania na rozwarstwianie dla badanego wyrobu nie ma opracowanych metod badania. Dlatego też badanie wykonano na zasadzie określenia najslabszego elementu lub określenia najslabszego połączenia elementów sąsiednich. Dla badań starzeniowych przyjęto następującą procedurę: kondycjonowanie próbek do stałej masy w temp. $23 \pm 3^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej $50 \pm 10\%$.

Następnie rdzeń o zadanej grubości poddano badaniom starzenia w temp. 70°C i wilgotności względnej $50 \pm 10\%$. Po procesie starzenia panele były ponownie poddawane kondycjonowaniu do stałej masy.

Wyniki badań i ich omówienie

Otrzymane panele warstwowe charakteryzowały się współczynnikiem przewodzenia ciepła λ w zakresie $0,0254\text{--}0,0268$ W/(m·K), co potwierdza wysoką efektywność izolacyjną układu. Najkorzystniejsze parametry uzyskano dla układu wełna miękka/PUR/wełna miękka.

Badania odporności na rozwarstwianie (rys. 2) wykazały dużą trwałość połączenia pomiędzy rdzeniem PUR a warstwami wełny mineralnej. W większości przypadków uszkodzeniu ulegała sama struktura wełny mineralnej, a nie strefa połączenia.

W badaniach starzeniowych pianki PUR (tabela 2) stwierdzono wzrost współczynnika przewodzenia ciepła z zakresu $0,0198\text{--}0,0211$ W/(m·K) do $0,0256\text{--}0,0261$ W/(m·K) po 20 dniach kondycjonowania w temp. 70°C . Oznacza to pogorszenie właściwości termoizolacyjnych o ok. 25%, jednak materiał nadal zachowywał korzystne parametry użytkowe.

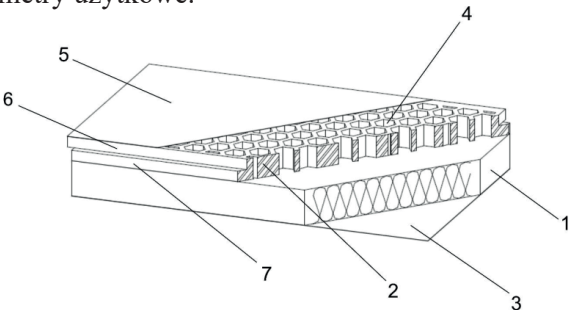


Fig. 1. Schematic structure of the sandwich panel: 1) outer layer, 2) polyurethane core layer, 3) outer veil, 4) openings in the insulation layer, 5) inner veil, 6) outer frame, 7) technical panel joint

Rys. 1. Schemat budowy panelu warstwowego; 1) zewnętrzna warstwa, 2) środkowa warstwa poliuretanowa, 3) welon zewnętrzny, 4) otwory w izolacji, 5) welon wewnętrzny, 6) zewnętrzna rama, 7) techniczne połączenie paneli

Table 3. Thermal conductivity measurements of the mineral wool layer

Tabela 3. Wyniki pomiarów przewodności cieplnej warstwy wełny mineralnej

Próbka	Współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K)			
	A	B	C	D
Wymiary, m/kg	0,0500/0,271	0,0480/0,270	0,0480/0,271	0,0470/0,275
Spód	0,0330±0,0016	0,0300±0,0016	0,0329±0,0016	0,0327±0,0016
Wymiary, m/kg	0,0500/0,391	0,0485/0,389	0,0492/0,389	0,0483/0,379
Wierzch	0,0341±0,0016	0,0333±0,0016	0,0340±0,0016	0,0340±0,0016



Fig. 2. Sample after delamination testing

Rys. 2. Próbkę po badaniu na rozwarstwianie

Dla warstw wełny mineralnej (tabela 3) wartości λ mieściły się w zakresie 0,0300–0,0341 W/(m·K). Wyniki wskazują na stabilność właściwości izolacyjnych oraz niewielkie różnice pomiędzy warstwą wierzchnią i spodem materiału.

Badania reakcji na ogień wykazały zgodność paneli z wymaganiami normy¹³. W trakcie prób nie zaobserwowano płonących kropli ani zapalenia papieru filtracyjnego. Istotny wpływ na właściwości dyfuzyjne miała orientacja montażu próbek (tabela 4). Dla wariantu montowanego „naskórką w dół” uzyskano większą przepuszczalność pary wodnej i niższy opór dyfuzyjny niż dla wariantu „naskórką w górę”. Wyniki te potwierdzają możliwość kształtowania właściwości paroprzepuszczalnych panelu poprzez odpowiedni sposób montażu.

Podsumowanie

Opracowany panel elewacyjny z rdzeniem poliuretanowym oraz warstwami z wełny mineralnej charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami termoizolacyjnymi przy jednoczesnym ograniczeniu masy elementu. Połączenie materiałów zapewnia odpowiednią sztywność, odporność

na rozwarstwianie i korzystne właściwości ogniowe. Badania potwierdziły, że zastosowanie rdzenia PUR pozwala ograniczyć grubość przegrody przy zachowaniu wysokiej izolacyjności cieplnej. Pomimo pogorszenia parametrów po procesie starzenia materiał zachowuje właściwości umożliwiające jego zastosowanie w budownictwie energooszczędnym. Opracowane rozwiązanie może znaleźć zastosowanie w nowoczesnych systemach elewacyjnych oraz obiektach o podwyższonych wymaganiach energetycznych.

Badania zostały zrealizowane w ramach projektu współfinansowanego z Małopolskiego Regionalnego Programu Operacyjnego, lata 2014–2020, Oś priorytetowa I: Gospodarka Wiedzy, Działanie 1.2: Badania i innowacje w przedsiębiorstwach, Poddziałanie 1.2.1: Projekty badawczo-rozwojowe przedsiębiorstw. RPMP.01.02.01-12-0422/17 – Opracowanie konstrukcji panelu elewacyjnego z uwzględnieniem wymogów termicznych.

Otrzymano: 09-06-2026

Zrecenzowano: 17-06-2026

Zaakceptowano: 19-06-2026

Opublikowano: 17-07-2026

LITERATURA

- [1] M. Alam, H. Singh, M.C. Limbachiya, *Energy Build.* 2011, **43**, nr 12, 3592.
- [2] R. Baetens, B.P. Jelle, A. Gustavsen, *Energy Build.* 2010, **42**, nr 2, 147.
- [3] L.F. Cabeza, A. Castell, C. Barreneche, A. de Gracia, A.I. Fernández, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2011, **15**, nr 3, 1675.
- [4] S.E. Kalnæs, B.P. Jelle, *Energy Build.* 2015, **94**, 150.
- [5] F. Pacheco-Torgal, S. Jalali, A. Fucic, *Eco-efficient construction and building materials*, Woodhead Publishing, Cambridge 2014.
- [6] F. Asdrubali, F. D'Alessandro, S. Schiavoni, *Sustain. Mater. Technol.* 2015, **4**, 1.
- [7] S. Schiavoni, F. D'Alessandro, F. Bianchi, F. Asdrubali, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, **62**, 988.
- [8] B.P. Jelle, *Energy Build.* 2011, **43**, nr 10, 2549.
- [9] European Association of Panels and Profiles Manufacturers: Sandwich Panels Handbook. EUROPAN, Bruksela 2023, <https://www.europanel.pl>.
- [10] EN 14509:2013, *Self-supporting double skin metal faced insulating panels. Factory made products. Specifications.*
- [11] Z. Wang, C. Wang, Y. Gao, Z. Li, Y. Shang, H. Li, *Polymers* 2023, nr 15, 3818.
- [12] EN 12667:2002, *Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Products of high and medium thermal resistance.*
- [13] PN-EN ISO 11925:2020, *Badania reakcji na ogień. Zapalność wyrobów poddawanych bezpośredniemu działaniu płomienia. Cz. 2. Badania przy działaniu pojedynczego płomienia.*
- [14] PN-EN 12086:201307, *Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie. Określanie właściwości przenikania pary wodnej.*

Table 4. Results of water vapor permeability testing

Tabela 4. Wyniki badania właściwości przy przenikaniu pary wodnej

Parametr	Montowane naskórką w górę				Montowane naskórką w dół			
	1	2	3	Średnia	1	2	3	Średnia
Powierzchnia badanych próbek, m ²	0,01972	0,01982	0,01968	0,0197	0,01965	0,01981	0,01970	0,0197
Grubość badanych próbek, m	0,0572	0,0578	0,0602	0,0584	0,0610	0,0603	0,0581	0,0598
Gęstość strumienia pary wodnej, mg/(m ² ·h)	4,110	4,056	4,068	4,078	8,204	7,704	8,506	8,138
Przepuszczalność pary wodnej, mg/(m ² ·h·Pa)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,17	0,16	0,18	0,17
Współczynnik przepuszczania pary wodnej, mg/(m·h·Pa)	5,1·10 ⁻³	5,2·10 ⁻³	5,4·10 ⁻³	5,2·10 ⁻³	10,0·10 ⁻³	9,6·10 ⁻³	10,0·10 ⁻³	9,9·10 ⁻³
Współczynnik oporu dyfuzyjnego pary wodnej	141	138	133	137	72	75	72	73
Grubość warstwy powietrza równoważna dyfuzji pary wodnej, m	8,07	7,98	8,01	8,02	4,39	4,52	4,18	4,36