

dr inż. Paweł Sulik¹⁾

ORCID: 0000-0001-8050-8194

Wpływ gęstości wełny mineralnej na izolacyjność w warunkach pożarowych

Influence of mineral wool density on its insulation in fire conditions

DOI: 10.15199/33.2022.07.02

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych wpływu dziesięciu typów skalnej wełny mineralnej o różnej gęstości na zdolność izolowania oddziaływań termicznych wywołanych pożarem. Gęstość badanej wełny mineralnej wynosiła 28 – 170 kg/m³, a grubość 50, 100, 150 i 200 mm. Badania potwierdziły, że istnieje zależność pomiędzy zdolnością do izolowania przed temperaturą pożarową a gęstością wełny mineralnej, przy czym zaobserwowano, że w wielu przypadkach wystarczy zastosowanie wełny mineralnej o małej gęstości i odpowiedniej grubości, aby uzyskać oczekiwany poziom bezpieczeństwa pożarowego przegrody.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe; skalna wełna mineralna; gęstość, grubość.

Abstract. The paper presents the results of laboratory tests for 10 types of rock mineral wool with different density in the field of fire temperature insulation. The results include densities from 28 to 170 kg/m³, and thicknesses of mineral wool of 50, 100, 150 and 200 mm. The tests confirmed the dependence of the density of mineral wool on the effectiveness of insulating fire temperatures, and it has been observed that in many cases it is enough to use mineral wool with a lower density and proper layer thickness to obtain the expected fire safety level of the partition.

Keywords: fire safety; rock mineral wool; density, thickness.

W ełna mineralna, obok styropianu i różnego rodzaju materiałów bazujących na syntetycznych piankach oraz włóknach naturalnych, należy do najpopularniejszych materiałów stosowanych do termoizolacji elementów zewnętrznych budynków (ściany, dachy) [1] oraz wybranych instalacji technicznych lub przemysłowych [2]. W odróżnieniu od innych materiałów termoizolacyjnych, wełna mineralna jest niepalna, co powoduje, że znajduje zastosowanie również w rozwiązaniach poprawiających bezpieczeństwo pożarowe elementów budowlanych. Zazwyczaj wykorzystuje się wówczas skalną wełnę mineralną o dużej gęstości, rzędu 150 – 200 kg/m³, ale warto również docenić właściwości wełny mineralnej o gęstości od ~30 do ~140 kg/m³ stosowanej w rozwiązaniach ogólnobudowlanych do izolowania oddziaływań pożarowych. Należy sobie zdawać sprawę, że gęstość nie jest jedynym parametrem decydującym o właściwościach izolacyjnych wełny mineralnej. Istotna jest bowiem jej budowa, w tym układ włókien, zawartość i rodzaj poszczególnych składników [3], stosowanie różnego rodzaju membran itp. Wymienione parametry, w odróżnieniu do gęstości, trud-

no jednoznacznie zweryfikować na budowie, poza obecnością lub brakiem membrany, dlatego też prosta do weryfikacji gęstość wydaje się dobrym parametrem identyfikacyjnym.

Kryterium izolacyjności ogniowej przyjmuje 180°C jako graniczną wartość przyrostu temperatury w dowolnym punkcie danej przegrody od strony nie nagrzewanej, przy czym przyrost średniej temperatury z kilku określonych punktów nie może przekroczyć 140°C.

W artykule przedstawiono korelację gęstości skalnej wełny mineralnej oraz jej parametrów izolujących temperatury pożarowe, w zakresie spełnienia kryterium izolacyjności termicznej.

Badania laboratoryjne

Badaniom poddano 10 typów skalnej wełny mineralnej o zróżnicowanej gęstości, różnych producentów. W tabeli przedstawiono oznaczenia poszczególnych próbek oraz ich gęstość deklarowaną przez producenta. W celu weryfikacji gęstości, w laboratorium zmierzono masę próbek i na tej podstawie wyliczono gęstość konkretnych typów wełny mineralnej. W żadnym przypadku różnica po-

między gęstością deklarowaną a zmierzoną nie przekroczyła 10%.

Podstawą badań była krzywa standardowa temperatura-czas [4], do której odnoszą się również warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie w § 216 dotyczącym klasy odporności ogniowej [5]. Takie podejście pozwoliło na wykorzystanie wyników badań w praktyce inżynierskiej. Było to o tyle istotne, że jak wykazały badania przeprowadzone w innych ośrodkach naukowych, sposób nagrzewania wełny mineralnej odgrywa istotną rolę i ma zasadniczy wpływ na uzyskiwane wyniki [6].

Weryfikację doświadczalną zachowania wełny mineralnej przeprowadzono w układzie pionowym, na ścianach badawczych wykonanych z autoklawizowanego betonu komórkowego o grubości 24 cm i gęstości 600 kg/m³, murowanych na cienkowarstwowej, cementowej zaprawie klejowej. W ścianie wykonano specjalne otwory o wymiarach 50 × 50 cm, w których zamontowano wełnę mineralną w układzie warstwowym. Od strony działania ognia wełna mineralna była osłonięta ocynkowaną blachą stalową, grubości 0,5 mm, a więc

Oznaczenia i deklarowana gęstość wełny mineralnej poddanej badaniom ogniowym

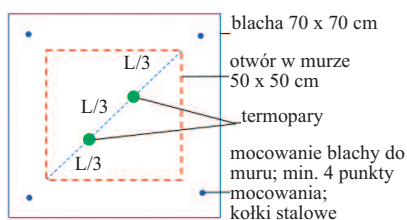
Symbol and declared densities of mineral wool subjected to fire tests

Symbol	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10
Gęstość [kg/m ³]	28	38	45	65	80	83	110	115	140	170

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej; p.sulik@itb.pl

dobrym przewodnikiem, natomiast od strony nienagrzewanej otwór osłonięto płytą gipsowo-kartonową typu F grubości 12,5 mm. Obie osłony miały wymiar 70 × 70 cm i były przymocowane do ściany badawczej stalowymi łącznikami mechanicznymi. Grubość poszczególnych warstw wełny mineralnej była jednakowa i wynosiła 50 mm, a całkowita grubość poddanych badaniu układów 200 mm, co odpowiadało czterem warstwom.

W celu pomiaru przyrostu temperatury zamocowano pomiędzy poszczególnymi warstwami wełny mineralnej oraz na stalowej blasze od strony wełny mineralnej i płycie gipsowo-kartonowej od strony nienagrzewanej po dwie termopary typu K zgodne z normą [4]. Mierzyły one przyrost temperatury, gdzie 0 oznaczało temperaturę wyjściową próbki, tj. ~20°C (rysunek 1, fotografia 1). Nagrzewanie prowadzono przez ok. 150 min.



Rys. 1. Rozmieszczenie termoelementów w próbce badawczej

Fig. 1. Arrangement of thermocouples in the test sample



Fot. 1. Fazy montażu elementu wybranego typu wełny mineralnej

Photo 1. Phases of assembly of the element of the selected type of mineral wool

Analiza wyników badań

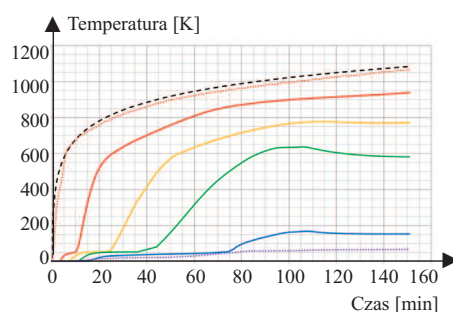
Widok wybranej wełny mineralnej po badaniu przedstawiono na fotografii 2, wyniki przebiegu nagrzewania próbki na rysunku 2, natomiast zależność przyrostu temperatury w czasie od grubości i gęstości próbek na rysunkach 3 – 6. Zaprezentowana na rysunku 2 zależność temperatura-czas, odpowiadająca pełne-



Fot. 2. Widok wybranej wełny mineralnej po badaniu ogniowym, w kolejności od strony nienagrzewanej

Photo 2. View of the selected mineral wool after the fire test, in order from the unheated side

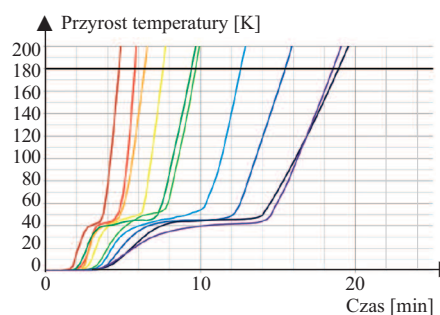
mu czasowi trwania badania, pokazuje, że przyrost temperatury w czasie na osłaniającej wełnę mineralną stalowej blasze jest zbliżony z przebiegiem krzywej standardowej. W przypadku pomiarów temperatury na poszczególnych warstwach stwierdzono wyraźne różnice wskazujące na większą izolacyjność wraz ze wzrostem grubości izolacji termicznej. Identyczna zależność została zaobserwowana we wszystkich



--- N; — W7 Steel Out; — W7 50 mm;
— W7 100 mm; — W7 150 mm;
— W7 DF Out 240 + 12,5 mm

Rys. 2. Przebieg nagrzewania wybranej wełny mineralnej

Fig. 2. The heating process for a selected mineral wool



— W1; — W2; — W3; — W4; — W5;
— W6; — W7; — W8; — W9; — W10;
— T 180 K

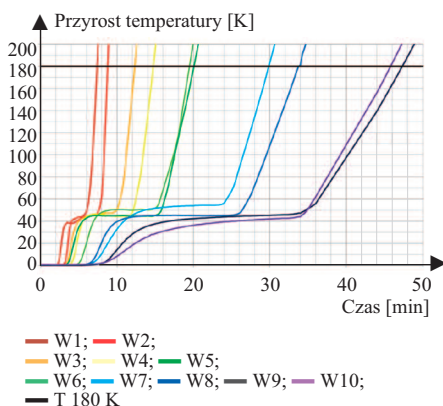
Rys. 3. Zależność przyrostu temperatury od czasu w przypadku poszczególnych typów wełny mineralnej grubości 50 mm

Fig. 3. Time dependence of temperature increase for individual types of mineral wool with a thickness of 50 mm

dziesięciu przebadanych przypadkach. Ponadto w zdecydowanej większości przypadków stwierdzono, że wraz ze wzrostem gęstości wełny mineralnej oraz grubości warstwy zwiększyła się izolacyjność przegrody. W przypadku warstwy wełny mineralnej o grubości 50 mm (rysunek 3) zaobserwowano, że w okolicach przyrostu temperatury

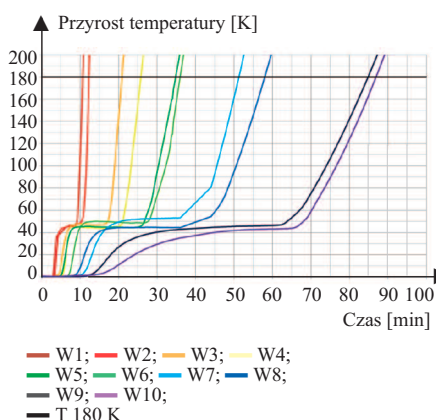
o 40 – 50 K występowała półka, tym dłuższa, im większa była gęstość wełny mineralnej. W przypadku próbek W1-W3, była ona dosyć krótka i trwała ok. 1 min, natomiast próbek W8, a przede wszystkim W9-W10 przekraczała ona 5 min, a zaraz po jej opuszczeniu, temperatura gwałtownie wzrastała. W przypadku przyrostu temperatury o 180 K we wszystkich przypadkach nie osiągnięto nawet 20 min, przy czym próbka W1 o gęstości 28 kg/m³ spełniała kryterium izolacyjności ogniowej przed upływem 5 min, natomiast próbka W9 o gęstości 140 kg/m³ osiągnęła temperaturę graniczną w 19 minucie badania.

Nieco inaczej wygląda sytuacja wełny mineralnej o grubości 100 mm (rysunek 4). Co do zasady wszystkie opisane wcześniej zjawiska wystąpiły w tym wariantcie, ale wydłużyły się półki, w których utrzymywał się przyrost temperatury 40 – 60 K. W przypadku największej gęstości wełny mineralnej (próbki W9-W10) półka trwała prawie 20 min. Warto zauważyć, że próbki wełen W7-W10, a więc o gęstości >110 kg/m³, uzyskały temperaturę graniczną po przekroczeniu 30 min standardowego oddziaływania pożaru, przy czym próbki W9-W10 osiągnęły wynik ponad 45 min.



Rys. 4. Zależność przyrostu temperatury od czasu w przypadku poszczególnych typów wełny mineralnej grubości 100 mm
Fig. 4. Time dependence of temperature increase for individual types of mineral wool with a thickness of 100 mm

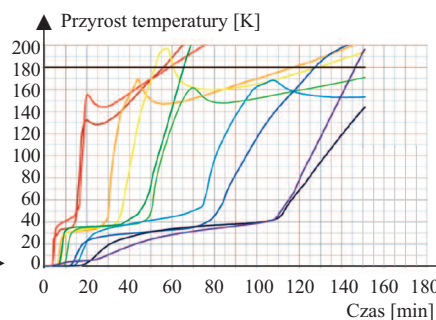
Jeszcze lepiej zachowały się próbki o gęstości 150 mm (rysunek 5). W tym przypadku granicę 30 min uzyskała wełna o gęstości >80 kg/m³, granicę 45 min – o gęstości >110 kg/m³, a 75 min przekroczyła wełna o gęstości >140 kg/m³. Długość trwania półki w okolicy przy-



Rys. 5. Zależność przyrostu temperatury od czasu w przypadku poszczególnych typów wełny mineralnej grubości 150 mm
Fig. 5. Time dependence of temperature increase for individual types of mineral wool with a thickness of 150 mm

rostu temperatury 40 – 60 K również uległa wydłużeniu i osiągnęła w przypadku najcięższej wełny przeszło 30 min.

Każda badana wełna grubości 200 mm (rysunek 6) uzyskuje czas ponad 45 min do osiągnięcia krytycznego przyrostu temperatury stanowiącego kryterium izolacyjności termicznej, a 60 min osiągnęła wełna o gęstości większej od 45 kg/m³, przy czym lokalne przekroczenie zaobserwowano w przypadku wełny W4.



Rys. 6. Zależność przyrostu temperatury od czasu w przypadku poszczególnych typów wełny mineralnej grubości 200 mm
Fig. 6. Time dependence of temperature increase for individual types of mineral wool with a thickness of 200 mm

Wełna o gęstości >80 kg/m³ osiągnęła granicę kryterium po ponad 120 min badania, przy czym niewielka anomalia wystąpiła w przypadku wełny W6, o gęstości 83 kg/m³, która w czasie od 70 do 150 min wykazała przyrost temperatury 200 – 250 K.

Podsumowanie

Ogólnobudowlana skalna wełna mineralna może być z powodzeniem stosowana do zapewnienia izolacyjności ogniowej elementów budowlanych. Dotyczy to przede wszystkim wełny grubości od 100 mm w przypadku gęstości >110 kg/m³ oraz grubości co najmniej 200 mm w przypadku gęstości >45 kg/m³. Wełna o gęstości mniejszej niż 45 kg/m³ nie jest w mojej ocenie skutecznie działającą izolacją w przypadku pożaru, podobnie jak wełna grubości 50 mm i mniejszej. Oczywiście w niektórych rozwiązaniach może stanowić wystarczającą barierę, ale bez badań ogniowych, które to potwierdzą, wskazana jest ostrożność. Badania potwierdziły, że zdolność izolowania od oddziaływań termicznych wywołanych pożarem zwiększa się wraz ze wzrostem gęstości skalnej wełny mineralnej oraz, co jest logiczne, wraz ze wzrostem jej grubości. Wynika z tego, że można znaleźć konsensus pomiędzy izolacyjnością termiczną przegrody w warunkach normalnych, kiedy zbyt duża gęstość wełny mineralnej nie jest wskazana ze względu na pogarszający się współczynnik przewodzenia ciepła λ, a jej skutecznością izolowania od oddziaływania pożaru i tak dobrać izolację ze skalnej wełny mineralnej, aby była skuteczna w całym zakresie temperatury, na jaki może być narażona przegroda budowlana podczas eksploatacji.

Literatura

- [1] Alsabry A, Mrówczyńska M, Bazan-Krzywożńska A, Skiba M. Potencjał termomodernizacji osiedli z wielkiej płyty na przykładzie budynków mieszkalnych w Zielonej Górze. Materiały Budowlane. 2016; 8. doi: 0.15199/33.2016.08.23.
- [2] Miros A. Wymagania izolacyjności cieplnej w instalacjach technicznych i przemysłowych. „Izolacje”. 2020; 9.
- [3] Paudel D, Rinta-Paavola A, Mattila HP, Hostikka S. Multiphysics Modelling of Stone Wool Fire Resistance, Fire Technology. 2020. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01050-5>.
- [4] PN-EN 1363-1: 2020-07 Badania odporności ogniowej – Część 1: Wymagania ogólne.
- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 75, poz. 690 z późn. zm.).
- [6] Andres B, Livkiss K, Hidalgo JP, Van Hees P, Bisby L, Johansson N, Bhargava A. Response of stone wool-insulated building barriers under severe heating exposures. J Fire Sci. 2018; 4: 315 – 341.

Przyjęto do druku: 21.06.2022 r.