

Zwiększenie odporności ogniowej konstrukcji żelbetowych i stalowych za pomocą płyt ze skalnej wełny mineralnej

XIV
KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA
WARSZTAT PRACY
RZECZOZNAWCY BUDOWLANEGO

Mgr inż. Piotr Turkowski, mgr inż. Bogdan Wróblewski, Instytut Techniki Budowlanej

1. Wprowadzenie

Płyty z wełny mineralnej stosowane są w budownictwie przede wszystkim ze względu na wymagania w zakresie izolacyjności termicznej oraz akustycznej stropów i ścian. Stosowane grubości izolacji wynoszą kilkanaście centymetrów, co jednocześnie sprawia, że wełna mineralna zaczyna również stanowić bardzo dobrą izolację ogniochronną i pozwala na spełnienie przez zabezpieczone nią elementy i przegrody wymagań w klasie odporności ogniowej nawet REI 240.

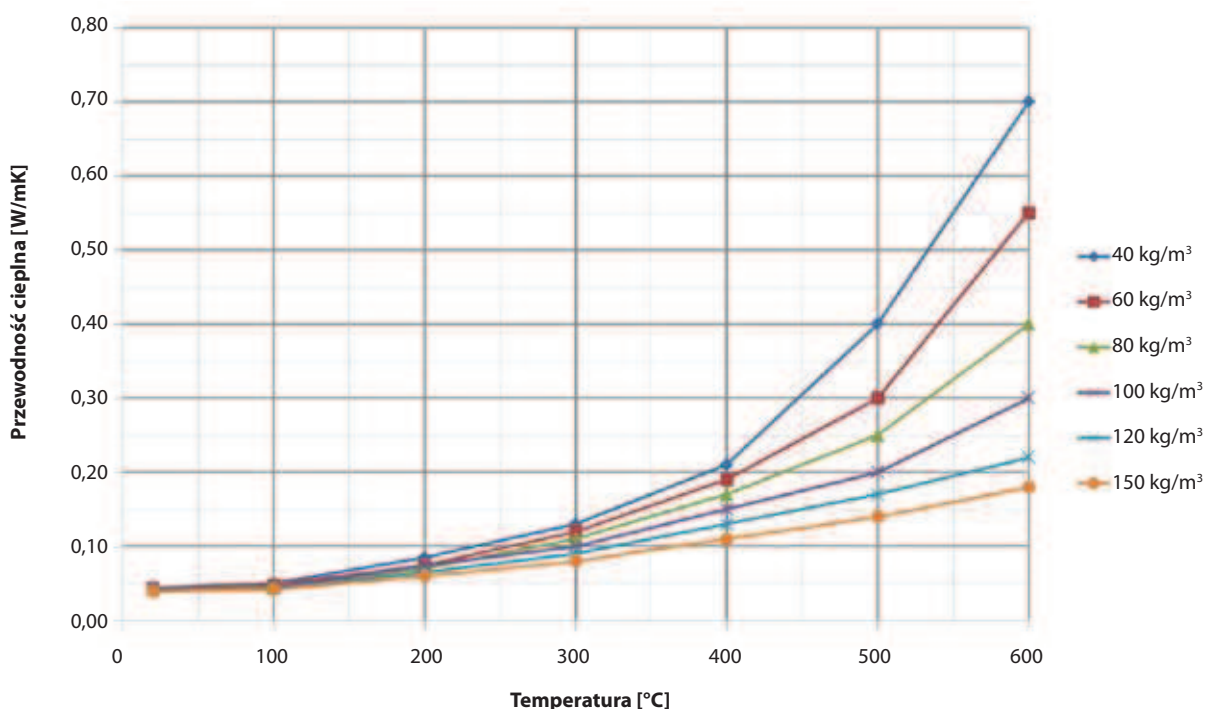
Na rynku dostępne są zarówno wełny, których skuteczność ogniochronna została zbadana wg norm PN-EN 13381-3 [1] oraz PN-EN 13381-4 [2], jak i takie, których pierwotnym przeznaczeniem nie była funkcja ogniochronna i takich badań nie przechodziły. Warto zauważyć, że te pierwsze, z reguły bada się przy grubościach izolacji od 2 cm do 10 cm. Jest to bardzo ważne, gdyż

klasyfikacje ogniowe i aprobaty techniczne są ważne tylko w tym zakresie grubości. Większa grubość powinna zapewniać wyższą izolacyjność, jednak towarzyszą jej również negatywne zjawiska, związane z większym ciężarem własnym, a co a tym idzie – możliwością przedczesnego odpadnięcia izolacji.

2. Właściwości wełny mineralnej skalnej

Z punktu widzenia odporności ogniowej najważniejsze parametry opisujące płyty z wełny mineralnej skalnej to:

- gęstość ρ [kg/m^3] – im wyższa, tym lepsze właściwości ogniochronne wełny; najlepsze wełny mają gęstość 150 kg/m^3 i więcej, z kolei wełny o gęstości poniżej 60 kg/m^3 mogą być nieskuteczne w klasach odporności ogniowej powyżej R 60;
- przewodność cieplna λ_p [W/mK] – im niższa wartość,



Rys. 1. Przewodność cieplna wełny mineralnej w zależności od temperatury i gęstości (źródło: opracowanie własne na podstawie danych producentów i badań archiwalnych Laboratorium Badań Ogniowych ITB)

tym lepiej, przy czym ważna jest nie tylko wartość określona w temperaturze 20°C, ale w całym zakresie temperatur pożarowych – od 20°C do 1200°C; przykładowe dane pokazano na rysunku 1; warto zauważyć, że im niższa gęstość wełny, tym szybszy wzrost przewodności cieplnej wraz ze wzrostem temperatury;

- przyczepność do podłoża – cecha możliwa do oceny jedynie jakościowo, w badaniach laboratoryjnych wg kryteriów podanych w PN-EN 13381-3 [1], w odniesieniu do podłoża betonowego i PN-EN 13381-4 [2] – w odniesieniu do podłoża stalowego; w odniesieniu do konstrukcji zespolonych, stropów betonowych na blasze trapezowej, słupów stalowych wypełnionych betonem, czy konstrukcji drewnianych niezbędna jest odrębna ocena, wg kolejnych części norm z serii PN-EN 13381;
- ekwiwalentna grubość betonu ε – wartość ustalana w badaniach skuteczności ogniochronnej wg PN-EN 13381-3 [1], która opisuje zależność między grubością wełny i grubością betonu, którą ta wełna zastępuje; wartość zależy od rodzaju elementu (belka, słup, ściana, strop) oraz długości ekspozycji pożarowej; przykładowe wartości podano w tabeli 1;
- ciepło właściwe c_v – ze względu na niską zawartość wilgoci przyjmuje się stałą niezależnie od temperatury i równą 800 J/kgK do 1200 J/kgK [3], [4].

Ze względu na niski iloczyn gęstości płyt z wełny mineralnej i jej ciepła właściwego, w podejściach inżynierskich przy obliczaniu temperatury zabezpieczonych elementów stalowych pomija się wpływ tych dwóch parametrów. Szczegóły opisano w punkcie 3.

3. Odporność ogniowa konstrukcji stalowych

Informacje o wymaganych grubościach izolacji, w celu zabezpieczenia elementów konstrukcji stalowych w danej klasie odporności ogniowej, zawarte są w aprobacie technicznej producenta danego systemu. W przypadkach nie objętych aprobatą lub w obliczeniach nośności ogniowej przy oddziaływaniu pożarów naturalnych wg PN-EN 1991-1-2 [5] można stosować reguły podane w PN-EN 1993-1-2 [6]. Eurokod ten podaje wzór (1)

do obliczania temperatury elementu stalowego z izolacją ogniochronną, o równomiernym rozkładzie temperatury w przekroju. Podobny wzór można znaleźć w normie PN-EN 1994-1-2 [7] do projektowania zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych.

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p / V (\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{d_p c_a r_a (1 + \phi/3)} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t} \quad (1)$$

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p A_p / V \quad (2)$$

gdzie:

A_p/V – wskaźnik ekspozycji przekroju elementów stalowych chronionych przez materiał izolacji ogniochronnej [1/m],

c_a – zależne od temperatury ciepło właściwe stali [J/kgK],

c_p – niezależne od temperatury ciepło właściwe materiału izolacji ogniochronnej [J/kgK],

d_p – grubość warstwy materiału izolacji [m],

Δt – przedział czasu [s], $\Delta t \leq 30$ s,

$\theta_{a,t}$ – temperatura stali w czasie trwania pożaru t [°C],

$\theta_{g,t}$ – temperatura otaczających gazów w czasie trwania pożaru t [°C],

$\Delta\theta_{g,t}$ – przyrost temperatury otaczających gazów w przedziale czasu Δt [K],

λ_p – przewodność cieplna zabezpieczenia ogniochronnego [W/mK], ρ_a – gęstość masy stali (7850 kg/m³),

ρ_p – gęstość masy materiału izolacji ogniochronnej [kg/m³].

Przyjęcie $\phi = 0$ prowadzi do znacznego uproszczenia równania (1) i jest możliwe ze względu na jego niską wartość wynikającą, ze stosunkowo niskich gęstości wełen i niskiego ciepła właściwego.

Dzięki tej metodzie możliwe jest obliczenie temperatury elementu stalowego zabezpieczonego ogniochronnie wełną mineralną lub innym materiałem, w zadanym czasie trwania pożaru. Dysponując temperaturą krytyczną elementu stalowego, wymaganą grubość izolacji wyznacza się iteracyjnie, do momentu kiedy obliczona

Tabela 1. Ekwiwalentna grubość betonu wełny mineralnej skalnej (źródło: opracowanie własne na podstawie archiwalnych badań przeprowadzonych w Laboratorium Badań Ogniowych ITB)

Czas oddziaływania pożaru [min]	Ekwiwalentna grubość betonu ε [mm] dla izolacji z wełny mineralnej skalnej o gęstości 150 kg/m ³ , w zależności od jej grubości					
	mocowanej do ścian i stropów			mocowanej do belek i słupów		
	20 mm	50 mm	100 mm	20 mm	50 mm	100 mm
30	40	80	140	30	70	120
60	60	85	140	50	75	120
120	65	90	150	50	80	125
240	–	100	160	–	80	135

Tabela 2. Temperatura krytyczna elementów stalowych (źródło: [8])

Typ elementu	Temperatura krytyczna $\theta_{a,cr}$
Elementy rozciągane	540°C
Belki nagrzewane 4-stronnie, statycznie wyznaczalne, gdy zwichrzenie nie jest potencjalną formą zniszczenia	540°C
Belki nagrzewane 3-stronnie, statycznie wyznaczalne, gdy zwichrzenie nie jest potencjalną formą zniszczenia	570°C
Belki nagrzewane 4-stronnie statycznie niewyznaczalne, gdy zwichrzenie nie jest potencjalną formą zniszczenia	570°C
Belki nagrzewane 3-stronnie, statycznie niewyznaczalne, gdy zwichrzenie nie jest potencjalną formą zniszczenia	595°C
Słupy, belki narażone na zwichrzenie i słupy mimośrodowo ściskane	500°C
Wszystkie elementy o przekroju klasy 4	350°C

temperatura stali elementu zabezpieczonego $\theta_{a,t}$ będzie niższa lub równa aniżeli temperatura krytyczna $\theta_{a,cr}$. W tabeli 2 przedstawiono wartości temperatury krytycznej, które można przyjmować bez przeprowadzania dokładnych obliczeń.

Opisana wyżej metoda posłużyła do oceny odporności ogniowej konstrukcji stalowej w ponad czterdziestoletnim budynku biurowym. W pierwszym etapie wykonano prace identyfikacyjne naniesionej izolacji ogniochronnej, następnie badania materiałowe w celu określenia przydatności izolacji do dalszej eksploatacji, a na końcu analizę obliczeniową temperatury stali zabezpieczonych elementów. W pracy [9] przedstawiono szczegółowy opis całego procesu oceny, przy czym ocenę odporności ogniowej wykonano w oparciu o PN-EN 1993-1-2 [6] i wyżej przedstawione informacje. Więcej przykładów obliczeniowych oraz informacji w zakresie odporności ogniowej konstrukcji stalowych ustalonej na podstawie Eurokodu 3 znaleźć można w pracy [8].

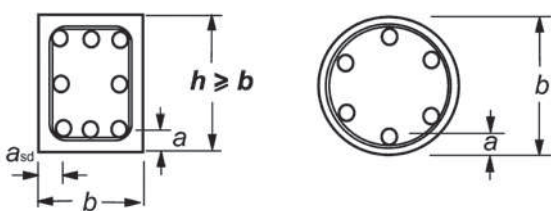
4. Odporność ogniowa konstrukcji żelbetowych

Konstrukcje betonowe, ze względu na warunki pożarowe, projektuje się lub ocenia głównie wg PN-EN 1992-1-2 [10]. W normie tej podano kilka metod oceny, spośród których najpopularniejszą i najłatwiejszą jest metoda danych tabelarycznych, w której bazując na geometrii elementu i stopniu wyężenia, możliwe jest ustalenie jego klasy odporności ogniowej. Komentarze z przykładami do tej i pozostałych metod podano w pracy [11]. Ważną cechą geometryczną jest odległość osiowa zbrojenia a od powierzchni nagrzewanej, która najczęściej

wynosi tyle co suma otuliny zbrojenia i połowa jego średnicy (por. rys. 2). Otulina wymagana przy projektowaniu na warunki normalne zależy od klasy ekspozycji i klasy konstrukcji, ustalonej wg PN-EN 1991-1-1 [12] i wynosi zwykle to ok. 25 mm. Zgodnie z PN-EN 1992-1-2 [10] ściany, stropy, belki czy słupy żelbetowe o takiej konstrukcji mogą uzyskać klasyfikację do R 120 włącznie.

W celu podwyższenia klasyfikacji do R 240 wymagane jest znaczące zwiększenie odległości osiowej zbrojenia (nawet do 75 mm) lub zastosowanie izolacji ogniochronnych. Wymaganą grubość izolacji ogniochronnej ustala się w oparciu o wartość ekwiwalentnej grubości betonu materiału ogniochronnego (patrz p. 2). Przy braku mających 50 mm otuliny w belce żelbetowej, stosując izolację z wełny mineralnej skalnej o gęstości 150 kg/m³ w klasie odporności ogniowej R 120, zgodnie z tabelą 1 należy zastosować izolację o grubości 20 mm. Możliwe jest również zastosowanie tej izolacji o grubości 100 mm, jednak nie większej, ze względu na brak informacji o przyczepności tego systemu. Istotną będzie również liczba warstw, w jakiej dana grubość jest aplikowana – musi być ona zgodna z informacjami podanymi w aprobacie technicznej zabezpieczenia ogniochronnego.

Zdarza się jednak, że inne kryteria decydują o grubości izolacji, np. izolacyjność termiczna, znacząco przekraczając grubości dopuszczone w aprobacie. W takich przypadkach należy zadbać o to, by podzielić izolację



Rys. 2. Zasady ustalania odległości osiowej zbrojenia przy zbrojeniu w jednej warstwie (źródło: PN-EN 1992-1-2 [10])



Rys. 3. Izolacja z wełny mineralnej w garażu podziemnym (źródło: materiały firmy PAROC, www.paroc.pl)

na dwie części. Pierwszą – ogniochronną, która będzie zastosowana w dopuszczalnej grubości i zamocowana w sposób uniemożliwiający jej odpadnięcie przez wymagany czas trwania pożaru oraz drugą część – nie wymaganą ze względu na odporność ogniową konstrukcji i której mocowanie albo nie obciąży części pierwszej izolacji albo jest zaprojektowane w taki sposób, by w sytuacji pożarowej odpadło.

Rozwiązanie takie zaproponowano w kilku opiniach Zakładu Badań Ogniowych ITB, w odniesieniu do stropów w garażach podziemnych, gdzie ze względu na akustykę i fizykę budowli obiektu mocowano płyty z wełny mineralnej skalnej o grubości 20 cm, jednocześnie zapewniając spełnienie przez te stropy wymagań w klasie odporności ogniowej REI 240 (patrz rys. 3).

5. Podsumowanie

Wełna mineralna, choć najczęściej stosowana ze względu na izolacyjność termiczną pomieszczeń i budynków, stanowi również znakomitą ochronę przeciwpożarową. Podane w pracy metody ustalania wpływu płyt z wełny mineralnej skalnej na odporność ogniową konstrukcji stalowych i żelbetowych pozwalają bardzo szybko ocenić odporność ogniową elementów, przy czym należy pamiętać, iż nie uwzględniają one efektów związanych z odspojeniem izolacji. Przyczepność izolacji należy sprawdzać w badaniach odporności ogniowej i uwzględniać ręcznie poprzez odpowiednie ograniczenie czasu ekspozycji pożarowej przy danej grubości zabezpieczenia.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 13381-3:2015-06. Metody badań w celu ustalania wpływu zabezpieczeń na odporność ogniową elementów konstrukcyjnych. Część 3. Bierne zabezpieczenia elementów betonowych
- [2] PN-EN 13381-4:2013-09. Metody badań w celu ustalania wpływu zabezpieczeń na odporność ogniową elementów konstrukcyjnych. Część 4. Bierne zabezpieczenia elementów stalowych
- [3] PN-EN ISO 10456:2009. Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabele wartości obliczeniowe i procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych
- [4] ECCS Technical Note 89. Fire Resistance of Steel Structures [online]. Wyd. 1. ECCS. Bruksela, Belgia, 1995 [dostęp: 22 lutego 2016 r.]. Dostępny w Internecie: <https://www.steelconstruct.com/>
- [5] PN-EN 1991-1-2:2006. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne – Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach
- [6] PN-EN 1993-1-2:2007. Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2: Reguły ogólne. Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe
- [7] PN-EN 1994-1-2:2008. Eurokod 4: Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych. Część 1-2: Reguły ogólne – Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe
- [8] Turkowski, P., Sulik, P., Projektowanie konstrukcji stalowych z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 3. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2015
- [9] Warsicka D., Turkowski P., Sulik P, Ocena trwałości i skuteczności ogniochronnej nieznanymi pasywnymi izolacji ogniowych konstrukcji stalowych po upływie czasu, Izolacje, 2015, R.20, nr 11, s. 42-47
- [10] PN-EN 1992-1-2:2008. Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-2: Reguły ogólne – Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
- [11] Woźniak G., Turkowski P., Projektowanie konstrukcji z betonu z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 2. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2013
- [12] PN-EN 1992-1-1:2008. Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków

ZAMÓWIENIE PRENUMERATY Przeglądu Budowlanego na rok 2017

Wybieram: (proszę zakreślić)	ZWYKŁA	ULGOWA (dla indywidualnych członków PZITB, PIIB i studentów)
ROZCZNA	<input type="checkbox"/> 252,00 zł*	<input type="checkbox"/> 126,00 zł*
ELEKTRONICZNA	<input type="checkbox"/> 75,00 zł*	

Zamówienia można składać **osobiście** lub **pocztą** – ul. Świętokrzyska 14 A, 00-050 Warszawa, **telefonicznie** 22 826-67-00 lub **e-mailem** reklama@przegladbudowlany.pl *
Ceny brutto (zawierają 5% VAT)

1. Imię i nazwisko/nazwa firmy

Prenumeratorzy otrzymają zamówione egzemplarze po dokonaniu wpłaty na konto:

2. Nr telefonu kontaktowego

3. NIP (firmy)

PZITB ZARZĄD GŁÓWNY WYDAWNICTWO „PRZEGLĄD BUDOWLANY”
ul. Świętokrzyska 14 A, 00-050 Warszawa
Bank Millennium SA
90 1160 2202 0000 0000 5515 6488

4. Adres wysyłkowy

Upoważniamy Państwa do wystawienia faktury VAT bez podpisu odbiorcy.

Podpis

5. Okres prenumeraty

6. Opłata w kwocie (zł)

została przekazana w dniu

Członkowie PZITB i PIIB prenumeratę na rok 2017 mogą zamówić **bezpłatnie** przez Okręgowe Izby Inżynierów Budownictwa.