

dr inż. Paweł Sulik*

mgr inż. Piotr Turkowski*

Zabezpieczenia ogniochronne taśm i mat z włókien węglowych klejonych do konstrukcji żelbetowych

Fire protection of CFRP strips and sheets glued on reinforced concrete structures

Streszczenie. W artykule przedstawiono informacje na temat doboru zabezpieczeń ogniochronnych żelbetowych elementów konstrukcyjnych wzmocnionych zewnętrznym zbrojeniem doklejonym – taśmami i matami z włókien węglowych. Wykorzystując procedurę badawczą, przeprowadzono badanie ogniowe, na podstawie którego dokonano oceny systemu zabezpieczeń ogniochronnych.

Słowa kluczowe: zabezpieczenia ogniochronne, wzmocnienia taśmami węglowymi, konstrukcje żelbetowe.

Abstract. This paper presents information how to design fire protection solutions on RC structural elements, with externally bonded reinforcement such as CFRP strips and sheets. Basing on the test's procedure, a fire test has been conducted, basing on which a fire protection system has been assessed. Test results and the assessment have been presented.

Keywords: fire protection, CFRP Carbon-fiber-reinforced polymer, reinforced concrete structures.

Taśmy węglowe (CFRP) to coraz częściej spotykany materiał wzmocniający żelbetowe elementy konstrukcyjne, takie jak stropy, ściany, belki i słupy (fotografia 1). Błędy projektowe, wykonawcze oraz zmiana sposobu użytkowania budynku, to najczęstsze przyczyny,



Fot. 1. Przykładowe wzmocnienia konstrukcji żelbetowych: a) – płyta oraz b) – belka, zbrojeniem doklejonym w postaci taśm z włókien węglowych

[Fot. archiwum Raydab Company]

* Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Badań Ogniowych

w przypadku których się je stosuje. Główną zaletą taśm węglowych jest niewielka masa i mała grubość, co nieznacznie wpływa na zwiększenie wymiarów wzmocnianych elementów. Najczęściej spotykany sposób montażu taśm za pomocą kleju, pomimo że niezwykle wygodny w warunkach budowy i ze statycznego punktu widzenia bardzo korzystny, ma swoje ograniczenia, związane z wysokim narażeniem na oddziaływanie temperatury w przypadku pożaru. Bardzo niska temperatura krytyczna kleju ($50 \pm 100^\circ\text{C}$) spajającego taśmę ze wzmocnianym elementem powoduje, iż brak zabezpieczenia ogniochronnego prowadzi do bardzo szybkiej utraty przyczepności taśm i spadku nośności wzmocnionych elementów, głównie zginanych.

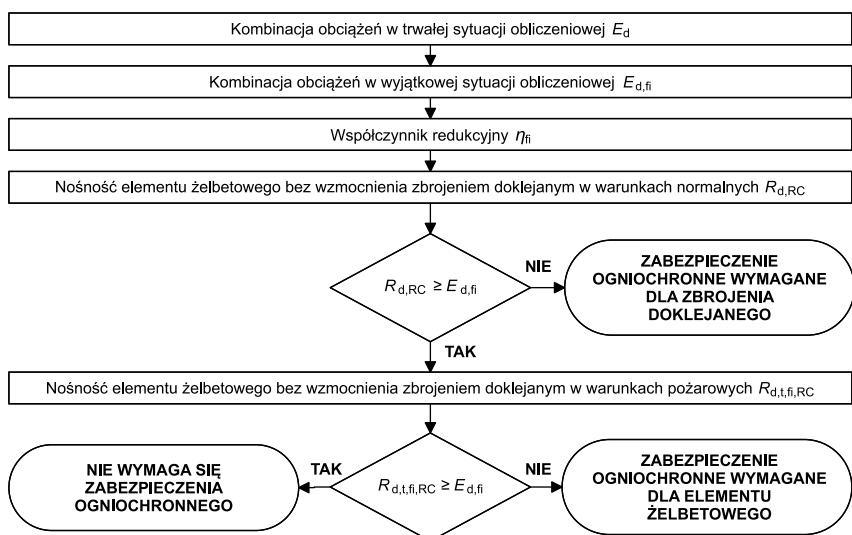
Projektowanie wg Eurokodów

Zasadność zabezpieczania ogniochronnego wzmocnień z włókien węglowych została omówiona w artykułach [1, 2]. Wykorzystując zasady ustalania obciążeń w wyjątkowej sytuacji projektowej zgodnie z PN-EN 1990:2004 [5] oraz zmienne, wraz z temperaturą, właściwości betonu i stali – termiczne i mechaniczne, podane w PN-EN 1992-1-2:2008 [6], dla zadanego okresu oddziaływania pożaru standardowego, zdefiniowanego w PN-EN 1991-1-2:2006 [7] moż-

na obliczyć pola temperatury w przekrojach elementów żelbetowych, a w dalszej kolejności ich nośność ogniową. Tok obliczeniowy przedstawiono na rysunku 1.

W sytuacji pożarowej redukcja obciążeń może być znaczna, np. w przypadku konstrukcji dachu, i może się okazać, iż wzmocnienie CFRP potrzebne jest jedynie w sytuacji normalnej, a pożarowej już nie. Należy wtedy sprawdzić, czy element żelbetowy pozbawiony dodatkowej nośności wymaga zabezpieczenia ogniochronnego z uwagi na temperaturę zbrojenia, np. metodą izotermii 500°C , czy nawet korzystając z danych tabelarycznych. Przykłady obliczeń podano w [3]. Taka sytuacja jest szczególnie korzystna, gdyż oznacza brak konieczności stosowania dodatkowej izolacji ogniochronnej, zazwyczaj znacznie zwiększającej wymiary wzmocnianego elementu, ale i obciążenia stałe. Najczęściej jednak spotykany scenariusz to taki, w którym wzmocnienie CFRP musi zachować swoje właściwości przez zadany czas oddziaływania pożaru wynikający z wymaganej klasy odporności ogniowej elementu – 60 min w przypadku klasy R 60, 120 min w przypadku R 120, itd.

Należy pamiętać, iż przy doborze zabezpieczenia ogniochronnego zbrojenia doklejonego w postaci taśm z włókien węglowych, za temperaturę kry-

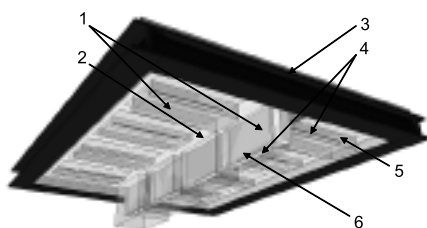


Rys. 1. Schemat blokowy ustalania elementów wymagających zabezpieczenia ogniochronnego

tyczną należy przyjąć temperaturę szklenia kleju wg deklaracji producenta – zwykle od 45 do 105 °C. Wartość tej temperatury zależy będzie nie tylko od kleju, ale również od warunków wiązania, na co należy zwrócić szczególną uwagę. Osiągnięcie wysokiej wartości temperatury szklenia zwykle wymaga szczególnych zabiegów, często wykorzystujących opatentowane technologie i urządzenia.

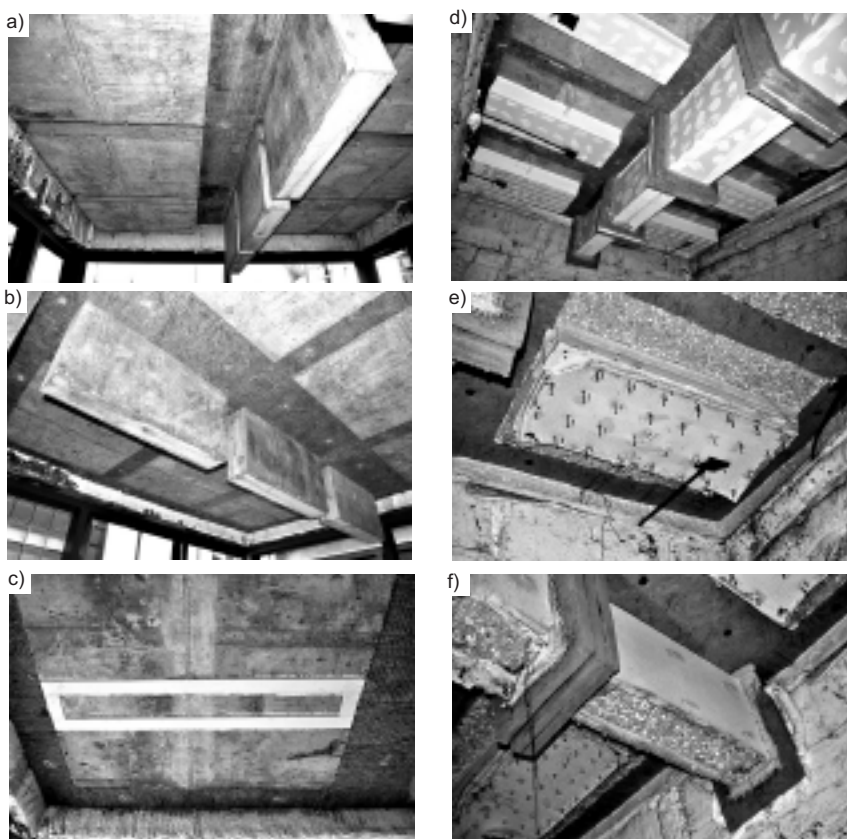
Badanie ogniowe

Na podstawie, opracowanej w Instytucie Techniki Budowlanej, Procedury badawczej PB LP-054/1/11-2012 [4] przeprowadzono badanie ogniowe skuteczności ogniochronnych płyt gipsowych do zabezpieczania taśm z włókien węglowych klejonych do konstrukcji żelbetowych przy oddziaływaniu pożaru standardowego. Element próbny (rysunek 2) składał się z ośmiu fragmentów stropowych i czterech fragmentów belkowych, wzajemnie odiz-



Rys. 2. Wizualizacja elementu próbnego z płytowym systemem zabezpieczenia ogniochronnego: 1 – system zabezpieczenia ogniochronnego; 2 – izolacja między elementami częściowymi; 3 – rama pieca; 4 – zbrojenie doklejane; 5 – mały płytowy element częściowy; 6 – krótki belkowy element częściowy [Rys. archiwum ITB]

lowanych od siebie, zabezpieczonych ogniochronnie systemem płyt gipsowych mocowanych na dyble i wkręty do betonu. Złącza płyt oraz wszystkie potencjalne miejsca nieszczelności uzupełniono gipsową masą szpach-



Fot. 2. Widok elementu próbnego: a) element żelbetowy bez izolacji; b) element żelbetowy z izolacją oddzielającą elementy częściowe; c) pierwsza warstwa właściwej izolacji ogniochronnej CFRP; d) element próbny bezpośrednio przed badaniem, z pełną izolacją ogniochronną CFRP na wszystkich elementach częściowych; e) widok izolacji ogniochronnej CFRP po badaniu, na jednym z częściowych elementów płytowych; f) jw. na jednym z elementów belkowych [Fot. archiwum ITB]

lową. Grubość izolacji wynosiła 25 – 150 mm (25 mm tej samej izolacji pozwala zabezpieczyć dowolny strop żelbetowy w klasie odporności ogniowej R 240). Rzeczywistą próbkę przed badaniem i po badaniu przedstawiono na fotografii 2.

Wyniki badania i ocena

Na podstawie wyników badania oraz analiz numerycznych opracowano tabele i zalecenia dotyczące zabezpieczenia ogniochronnego zbrojenia doklejanego w postaci taśm z włókien węglowych klejonych do stropów, ścian, belek i słupów żelbetowych, w zależności od czasu oddziaływania pożaru i temperatury krytycznej kleju. Rozpatrzone zarówno elementy konstrukcyjne o prostej geometrii, bez otworów, jak i złożone – w pobliżu przebieg i przejść instalacyjnych, połączeń elementów żelbetowych, czy ścian i kanałów wentylacyjnych.

Wybrane wyniki oceny prostych przypadków przedstawiono w tabe-

lach 1 ÷ 3 oraz na rysunku 3. W przypadku belek rozpatrzono również warianty, w których wysokość belki przekracza wartość minimalnego zakładu bocznego „b”. Można wówczas nie wykonywać izolacji ogniochronnej aż do stropu, a gdy jest ona mniejsza, należy wykonać fragment dodatkowej izolacji na stropie. W przypadkach

złożonych uwzględnia się dodatkowo odległość od wszelkiego typu przebić w elementach żelbetowych czy sąsiedztwo innych elementów, takich jak ściany, belki, słupy czy kanały wentylacyjne. Z uwagi na mnogość rozwiązań, w artykule przedstawiono wyłącznie najbardziej popularne rozwiązania.

Tabela 1. Wymagania dotyczące stropów i ścian żelbetowych

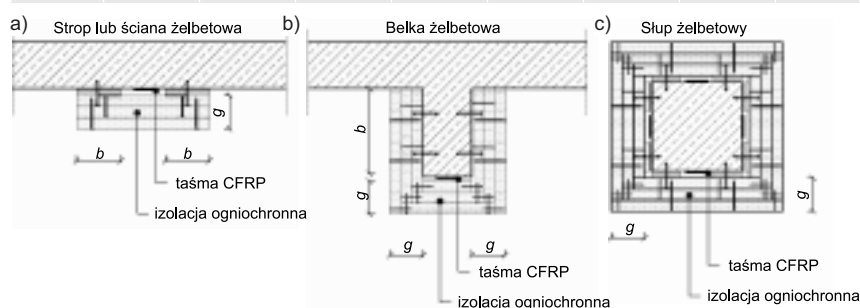
Czas [min]	Wymagana grubość „g” [mm]/szerokość zakładu bocznego „b” [mm] izolacji ogniochronnej na stropach i ścianach dla zadanej temperatury krytycznej kleju							
	30 ÷ 39 °C	40 ÷ 49 °C	50 ÷ 59 °C	60 ÷ 69 °C	70 ÷ 79 °C	80 ÷ 89 °C	90 ÷ 99 °C	≥100 °C
30	75/100	50/100	50/50	50/50	50/50	25/50	25/50	25/50
60	100/125	100/100	100/100	75/100	75/100	50/100	50/75	50/50
90	150/150	125/150	100/150	100/125	100/100	100/100	75/100	50/100
120	–	150/175	150/150	125/150	100/150	100/150	100/125	100/125
180	–	–	–	–	–	–	150/200	150/200
240	–	–	–	–	–	–	–	150/200

Tabela 2. Wymagania dotyczące belek żelbetowych

Czas [min]	Wymagana grubość „g” [mm]/szerokość zakładu bocznego „b” [mm] izolacji ogniochronnej na belkach dla zadanej temperatury krytycznej kleju							
	30 ÷ 39 °C	40 ÷ 49 °C	50 ÷ 59 °C	60 ÷ 69 °C	70 ÷ 79 °C	80 ÷ 89 °C	90 ÷ 99 °C	≥100 °C
30	75/100	50/100	50/100	40/100	40/100	25/100	25/100	25/100
60	100/150	100/150	75/100	75/100	50/100	50/100	50/100	40/100
90	150/200	125/200	100/200	100/150	75/150	75/150	75/150	50/150
120	–	–	150/250	125/250	100/200	100/200	100/200	75/200
180	–	–	–	–	–	150/250	150/250	150/250
240	–	–	–	–	–	–	–	175/30

Tabela 3. Wymagania dotyczące słupów żelbetowych

Czas [min]	Wymagana grubość „g” [mm] izolacji ogniochronnej na słupach dla zadanej temperatury krytycznej kleju							
	30 ÷ 39 °C	40 ÷ 49 °C	50 ÷ 59 °C	60 ÷ 69 °C	70 ÷ 79 °C	80 ÷ 89 °C	90 ÷ 99 °C	≥100 °C
30	75	50	50	40	40	25	25	25
60	100	100	75	75	50	50	50	40
90	150	125	100	100	75	75	75	50
120	–	–	150	125	100	100	100	75
180	–	–	–	–	–	150	150	150
240	–	–	–	–	–	–	–	175



Rys. 3. Zabezpieczenie ogniochronne taśm z włókien węglowych klejonych do: a) stropu/ściany; b) belki; c) słupa [Rys. archiwum ITB]

Podsumowanie

Przeprowadzone w Zakładzie Badań Ogniowych Instytutu Techniki Budowlanej badanie i analizy numeryczne pozwoliły po raz pierwszy opracować katalog rozwiązań zabezpieczeń ogniochronnych wzmocnień w postaci taśm z włókien węglowych. Wyniki pokazują, iż wymagane grubości izolacji ogniochronnych są bardzo duże, rzędu 10 ÷ 15 cm. Uzyskane wyniki badań wskazują na konieczność prowadzenia prac rozwojowych pozwalających przede wszystkim na opracowanie kleju o wyższej temperaturze szklenia oraz bardziej efektywnych izolacji ogniochronnych, które przy mniejszych grubościach charakteryzowałyby się porównywalną skutecznością izolowania do współcześnie stosowanych materiałów. W celu poszerzenia wiedzy z omawianego tematu, Zakład Badań Ogniowych Instytutu Techniki Budowlanej prowadzi dalsze prace badawcze, w tym badania odporności ogniowej belek żelbetowych, wzmocnionych taśmami z włókien węglowych, wyłożonych w pełni i częściowo, z izolacją ogniochronną i bez.

Literatura

- [1] Turkowski P., Concrete structures with externally bonded reinforcement – structural fire design and fire protection, IRF2013: Recent advances in integrity-reliability-failure. Proceedings of the 4th International Conference, 23-27 June 2013, s. 145-146 and CD-ROM, Funchal, Portugal, 2013.
- [2] Turkowski P., Projektowanie zabezpieczeń ogniochronnych konstrukcji żelbetowych wzmocnionych zewnętrznym zbrojeniem doklejanym z uwagi na warunki pożarowe, Budownictwo i Architektura, Vol. 12 (1), s. 179 – 186, 2013.
- [3] Woźniak G., Turkowski P., Projektowanie konstrukcji z betonu z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 2, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2013.
- [4] Procedura badawcza PB LP-054/1/11-2012. Badania skuteczności ogniochronnej zabezpieczeń taśm stanowiących zewnętrzne doklejane zbrojenie elementów z betonu, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2012.
- [5] PN-EN 1990: 2004. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.
- [6] PN-EN 1992-1-2: 2008. Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
- [7] PN-EN 1991-1-2: 2006. Eurokod 1: Oddziaływanie na konstrukcje – Część 1-2: Oddziaływanie ogólne. Oddziaływanie na konstrukcje w warunkach pożaru.