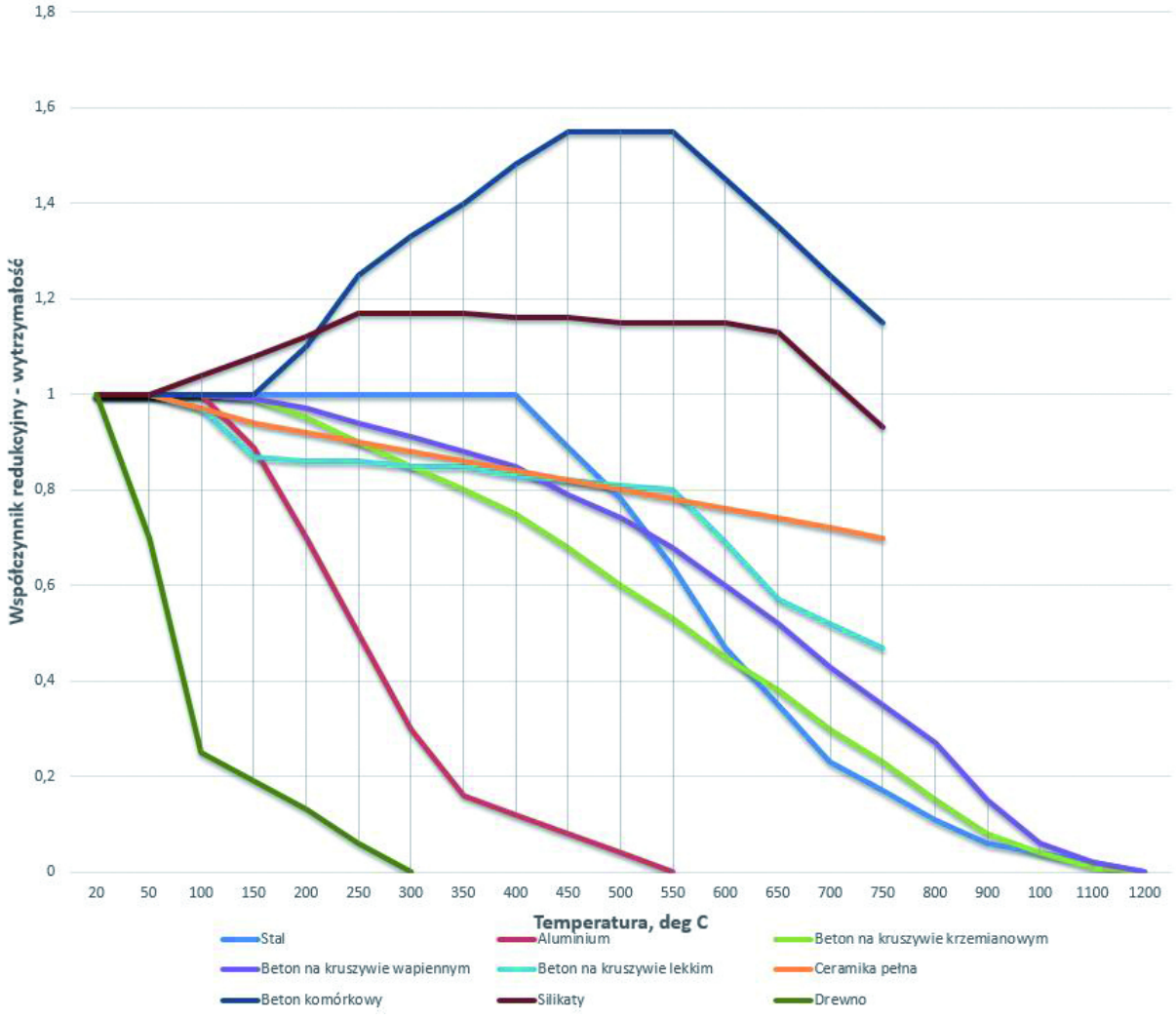
Systemy biernej ochrony przeciwpożarowej konstrukcji budynków

Spośród materiałów wykorzystywanych do konstruowania budynków, tylko nieliczne potrafią przeciwstawić się wysokiej temperaturze, która powstaje w trakcie pożaru i to wyłącznie w pewnym jej zakresie oraz przez określony czas.

Wprowadzenie

Dla większości materiałów budowlanych temperatura +200°C oznacza redukcję parametrów wytrzymałościowych. Jedynie beton komórkowy i silikaty notują znaczące wzmocnienie wytrzymałości w przedziale temperatury od +250°C do +650°C (rys. 1).



Rys. 1. Wykres zależności współczynnika redukcyjnego – wytrzymałości od temperatury

Spośród wymienionych na rys. 1 tylko drewno jest materiałem palnym, a wszystkie pozostałe są niepalne, co jednak nie zawsze przekłada się na ich odporność na działanie temperatury pożarowej. Wbrew pozorom drewno, które pod względem reakcji na ogień zgodnie z [1] najczęściej ma klasę D, podczas spalania wytwarza mechanizm ochronny, w postaci warstwy zwęglonej działającej jak izolator. Bardzo spowalnia ona proces spalania wnętrza (średnio 0,8 mm/min) i w ten sposób zabezpiecza rdzeń przekroju, a w związku z

tym i całą konstrukcję nośną przed zniszczeniem (fot. 1), co w przypadku niepalnej stali (fot. 2), będącej dobrym przewodnikiem, nie występuje. Ogólnie odporność na działanie ognia materiałów konstrukcyjnych stosowanych w budownictwie związana jest bardziej z ich przewodnością cieplną niż z palnością i dlatego dobre przewodniki (aluminium czy stal) bardzo szybko tracą swoją nośność w podwyższonej temperaturze, co z kolei oznacza, że należy je izolować przed destrukcyjnym działaniem ognia. Konstrukcje wykonane z tego typu materiałów w sytuacji pożaru o ile wymagane jest przepisami [2] spełnienie kryteriów odporności ogniowej np. REI 60 dla stropu klasy odporności pożarowej budynku „B" lub „C" należy więc izolować ogniochronnie. W zależności od czasu, w jakim element ma pełnić swoją funkcję podczas pożaru (im dłuższy czas tym większa destrukcja elementu) oraz od scenariusza rozwoju pożaru, a więc tempa narastania temperatury i jej wartości maksymalnej (rys. 2) stosuje się we współczesnym budownictwie specjalnie zaprojektowane bierne izolacje ogniochronne. Umożliwiają one chronionym elementom zachować oczekiwane, wybrane kryteria odporności ogniowej, a więc nośność R, szczelność E i izolacyjność I [3, 4].

Wśród biernych izolacji ogniochronnych, które zabezpieczają konstrukcje można wyróżnić z uwagi na mechanizm ochrony dwa podstawowe typy: izolacje reaktywne aktywowane temperaturą (np. farba pęczniejąca) oraz izolacje niereaktywne (np. wełna mineralna). Obydwa typy zapewniają ochronę konstrukcji poprzez zapewnienie izolacji termicznej [5].

Inny podział odnosi się do sposobu aplikacji i w tym przypadku możemy wymienić: natryski, farby oraz płyty. Dodatkowo elementy konstrukcji można zabezpieczać indywidualnie (np. belkę stalowego podciągu, jedną z wyszczególnionych powyżej metod) lub też grupowo (np. rząd słupów, specjalnie wykonaną w tym celu ścianą o odporności ogniowej).

Fot. 1. Opalona drewniana konstrukcja nośna domku letniskowego po pożarze. Autor: archiwum ITB

Fot. 2. Zniszczona w trakcie pożaru, niezabezpieczona ogniochronnie stalowa konstrukcja nośna. Autor: archiwum ITB

Izolacje powłokowe

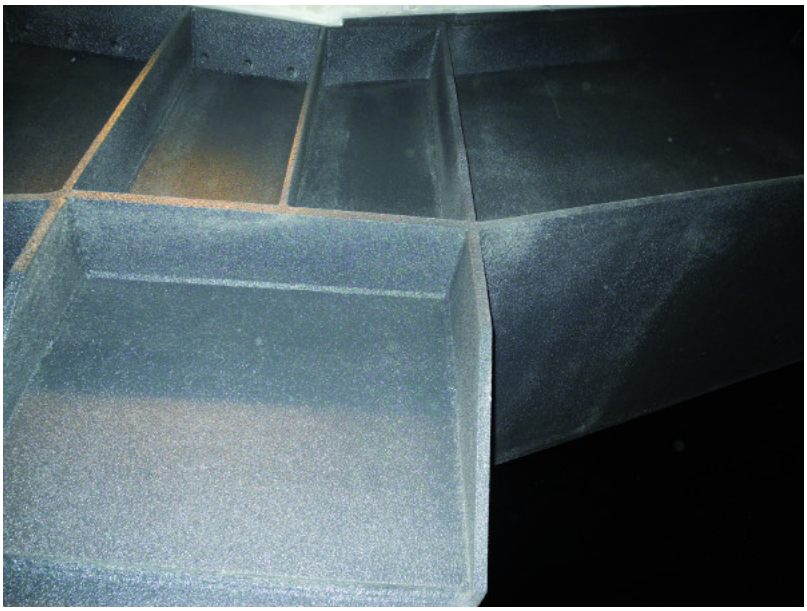
Jako izolacje powłokowe najczęściej stosuje się powłoki pęczniejące pod wpływem temperatury (farby) lub substancje opóźniające rozprzestrzenianie się ognia i dymu w przypadku materiałów palnych (impregnaty stosowane np. na drewno) [6]. Są to jedne z pierwszych i najstarszych zabezpieczeń ogniochronnych [7], które ciągle pozostają jedną z bardziej efektywnych metod zabezpieczania elementów przed ogniem, w szczególności w przypadku wyrobów z plastiku, stali, drewna, kabli elektrycznych, pianek czy polimerowych kompozytów. Tego typu zabezpieczenia nie przyczyniają się do zmiany chemicznej elementu tylko tworzą powłokę, która zmniejsza przepływ ciepła do chronionego elementu i hamuje jego degradację termiczną, opóźnia zapłon lub spowalnia spalanie [8]. Powłoki opóźniające rozprzestrzenianie ognia zazwyczaj występują w formie farb, lakierów lub impregnatów. Zupełnie inaczej reagują powłoki pęczniejące. Przy kontakcie z temperaturą pożarową (zazwyczaj > +200°C) „puchną" przybierając postać wielokomórkowej warstwy, izolującej element konstrukcyjny, która sukcesywnie ulega zwęgleniu, poczynając od warstw zewnętrznych. Nowoczesne technologie umożliwiają zwiększenie grubości warstwy pęczniejącej o ponad 50 razy, co znacznie poprawia skuteczność tego rozwiązania. Grubość warstwy pęczniejącej zazwyczaj waha się od 1 do 3 mm i mamy wtedy do czynienia z cienką powłoką lub może wynosić od 3 do 30 mm i wtedy mówimy o grubej powłoce lub mastyksie. Powłoka pęczniejąca zazwyczaj występuje jako

wodorozcieńczalna lub rozpuszczalnikowa zawiesina, która nanoszona jest na elementy metodami malarskimi. Najczęściej dostarczana jest w formie zestawu trzech produktów, w skład którego wchodzi warstwa gruntująca zapewniająca właściwą adhezję i często zwiększająca odporność na korozję (w przypadku konstrukcji stalowych), warstwa zasadnicza – pęczniejąca i warstwa wierzchnia, która zapewnia walory dekoracyjne (kolor), ale również chroni przed wpływem czynników zewnętrznych.

Właściwa powłoka pęczniejąca zazwyczaj składa się z kilku kluczowych komponentów, zapewniających jej zdolność do zwiększania i utrzymania swojej grubości pod wpływem temperatury [9]. Najczęściej do tego celu wykorzystuje się:

- nieorganiczne kwasy lub złożone związki, które pod wpływem temperatury z przedziału od +100°C do +250°C wytwarzają kwas mineralny
- wielowodorotlenkowe związki, np. takie, które w wyniku rozkładu tworzą większą objętość węgla niż w oryginalnym związku
- organiczne aminy lub amidy, które przy rozkładzie wytwarzają duże ilości gazu tworząc pianę
- chlorowcowane (fluorowcowane) materiały organiczne jako środek porotwórczy
- żywica syntetyczna jako spoiwo
- różnego rodzaju dodatki w formie rozpuszczalników, wypełniaczy mineralnych, kontrolerów lepkości, włókien, zagęszczaczy, barwników itp. [10].

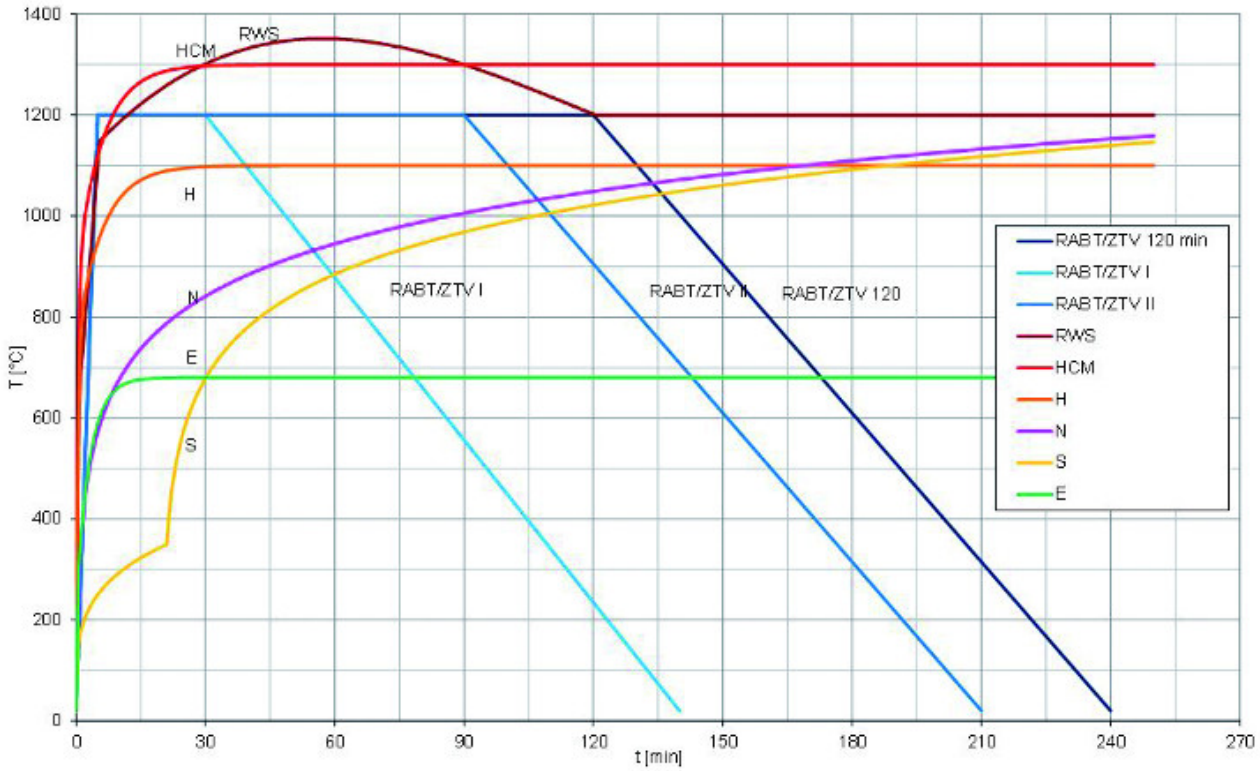
Typowy mechanizm zwiększania grubości powłoki pęczniejącej wygląda w ten sposób, że pod wpływem temperatury, po przekroczeniu pewnego progu, rozpoczyna się reakcja chemiczna, która powoduje pęcznienie powłoki. Woda powstała w wyniku reakcji rozkładu związków organicznych w obecności kwasu np. fosforowego ulega odparowaniu, a powstałe pęcherzyki formują „pianę” o właściwościach termoizolacyjnych. „Piana” ulega dalszemu spęcznieniu w wyniku wydzielania gazów ze środków pęczniejących. Wielkość powstałych pęcherzyków jest kontrolowana przez spoiwo wiążące „pianę” (np. żywica akrylowa lub epoksydowa) i nadaje jej odpowiednią sztywność. Obecność np. kwasu fosforowego zapobiega utlenieniu węglowego szkieletu i erozji powłoki pod wpływem wysokiej temperatury.
Skuteczność ogniochronnych powłok pęczniejących wynika z właściwości termoizolacyjnych, grubości warstwy zasadniczej oraz izolowanego elementu konstrukcyjnego. W przypadku konstrukcji stalowych istnieje pewna graniczna wartość współczynnika masywności (obwód do pola przekroju), której przekroczenie uniemożliwia zastosowanie farby.
Zaletą tego typu izolacji jest łatwość aplikacji, stosunkowo niewielka grubość, duża estetyka. Wadą, przede wszystkim mała odporność na uszkodzenia mechaniczne. Generalnie stosowanie farb pęczniejących umożliwia zabezpieczenie konstrukcji stalowej w klasach od R 15 do R 120, jak to miało miejsce na Stadionie Narodowym, gdzie zabezpieczono stalowe wzmocnienie schodów zewnętrznych (fot. 3).



Fot. 3. Zabezpieczenie konstrukcji stalowej farbą pęczniejącą. Autor: archiwum ITB

Masy natryskowe

Masy natryskowe z uwagi na łatwość stosowania (można aplikować na dowolny kształt) i bardzo dobre właściwości izolacyjne używane są powszechnie zarówno na konstrukcje narażone na oddziaływanie standardowe ognia (rys. 2, N), jak i węglowodorowe (rys. 2, H, HCM; fot. 4) oraz tunelowe (rys. 2, RABT, RWS), gdzie mamy do czynienia z dużo wyższą temperaturą [11].



Rys. 2. Wykres zależności temperatury od czasu dla przyjętego scenariusza rozwoju pożaru

Na rynku masy natryskowe występują w postaci suchej mieszanki, w skład której wchodzi spoiwo (najczęściej cement lub gips), wypełniacz będący izolatorem (wermikulit, wełna mineralna w postaci włókien lub granulatu) oraz różnego rodzaju związki modyfikujące. Jak sama nazwa wskazuje, aplikuje się je poprzez natrysk (podobnie jak torkretowanie) przy czym występują dwie technologie. Bardziej popularna i ekonomiczna z uwagi na mniejsze straty w materiale jest tzw. technologia sucha, gdzie fabrycznie wyprodukowana sucha mieszanka jest transportowana i dopiero u wylotu dyszy pistoletu agregatu natryskowego jest mieszana z wodą lub ciekłym spoiwem. Druga metoda tzw. mokra polega na zarobieniu suchej mieszanki z wodą i, podobnie jak ma to miejsce w przypadku mechanicznych prac tynkarskich przy użyciu agregatów pompowo-natryskowych nanoszona jest na element. Grubości mas natryskowych wahają się od 10 do 100 mm, przy czym większe grubości uzyskiwane są w kilku warstwach. Właściwą przyczepność do podłoża uzyskuje się poprzez odpowiednie ich przygotowanie, stosowanie należytych podkładów, a w wybranych przypadkach siatek stalowych i/lub łączników stalowych, zgrzewanych lub klejonych do konstrukcji.

Fot. 4. Zabezpieczenie konstrukcji masą natryskową o odporności ogniowej określonej krzywą węglowodorową. Autor: archiwum ITB

Fot. 5. Zabezpieczenie masą natryskową kratownicy stalowej. Autor: archiwum ITB

Powszechnie stosowane są dwie gęstości natrysków: lekkie wynoszące 250-400 kg/m^3 i ciężkie – 700-800 kg/m^3. Te pierwsze zazwyczaj bardzo dobrze radzą sobie z oddziaływaniami standardowymi, te drugie przeznaczone są do bardziej ekstremalnych warunków, jakie panują w zakładach chemicznych lub tunelach. Zaletą natrysków ogniochronnych jest bardzo łatwa aplikacja i bardzo dobra izolacyjność oraz prosty sposób naprawy. Do wad technologii należy zaliczyć: nierówną fakturę powierzchni, możliwość zabrudzenia sąsiednich elementów podczas aplikacji oraz nie zawsze wystarczającą odporność na działanie czynników atmosferycznych.

Stosowanie natrysków ogniochronnych może zabezpieczyć konstrukcję w klasach od R 15 do R 240, co pozwala na spełnienie wszystkich wymagań rozporządzenia [2]. Przykład aplikacji ogniochronnej masy natryskowej na kratownicę stalową przedstawiono na fot. 5, a na konstrukcję zespoloną betonowo-stalową na fot. 6.

Fot. 6. Zabezpieczenie masą natryskową konstrukcji zespolonej. Autor: archiwum ITB

Zabezpieczenia płytowe

Bardzo skutecznym, estetycznym i popularnym sposobem uzyskania odporności ogniowej jest stosowanie specjalnych płyt ogniochronnych. Najczęściej w tym celu wykorzystuje się różnego rodzaju płyty na spoiwie cementowym (fot. 7), gipsowym, cementowo-wapiennym itp. ze zbrojeniem w postaci włókien szklanych oraz różnego rodzaju wypełniaczami. Mogą to być także płyty gipsowo-kartonowe lub gipsowo-włóknowe oraz okładziny z wełny mineralnej, przy czym należy zauważyć, że te ostanie powinny mieć gęstość powyżej 100 kg/m^3.

Płyty na budowę dostarcza się w formie gotowych formatek i po przycięciu składa się z nich szczelne obudowy skrzynkowe lub konturowe, ewentualnie wykonuje okładziny. W tym celu wykorzystuje się łączniki mechaniczne (szpilki, wkręty, klamry) i/lub klejenie przy użyciu specjalnych klejów/ zapraw odpornych na działanie wysokiej temperatury. W zależności od rodzaju płyty stosuje się jedną określoną grubość, ewentualnie składa się płyty o mniejszych standardowych grubościach (np. płyta g-k GF 12,5 mm, która teoretycznie zabezpiecza na ok. 20 min) w większą całość. Płyty mają różną gęstość, od ok. 100 kg/m^3 np. z wełny mineralnej do 900 kg/m^3 – w przypadku silikatowo-cementowych.
Największą zaletą płyt ogniochronnych jest ich powtarzalność, wynikająca ze sposobu produkcji, czystość prowadzenia prac oraz zazwyczaj bardzo estetyczny wygląd konstrukcji po zabezpieczeniu. Największą wadą jest długi czas montażu. Należy jednak pamiętać, że część płyt może występować jako elementy samonośne, co jest wykorzystywane przy budowie kanałów do odprowadzania gazów pożarowych (fot. 8).

Fot. 7. Zabezpieczenie płytami na spoiwie cementowym podciągów konstrukcji żelbetowej. Autor: archiwum ITB

Fot. 8. Kanały do odprowadzania gazów pożarowych wykonane z płyt ogniochronnych – stadion Legii w Warszawie. Autor: archiwum ITB

Stosowanie płyt ogniochronnych może zabezpieczyć konstrukcję w klasach od R 15 do R 240, co pozwala na spełnienie w pełnym zakresie wymagań rozporządzenia [2]. Przykład zastosowania płyt na konstrukcji stalowej i żelbetowej przedstawiono na fot. 9 i 10.

Fot. 9. Zabezpieczenie płytami ogniochronnymi stalowej konstrukcji nośnej – hol główny MTP w Poznaniu. Autor: archiwum ITB

Fot. 10. Zabezpieczenie płytami ogniochronnymi żelbetowej konstrukcji nośnej – Sky Tower we Wrocławiu. Autor: archiwum ITB

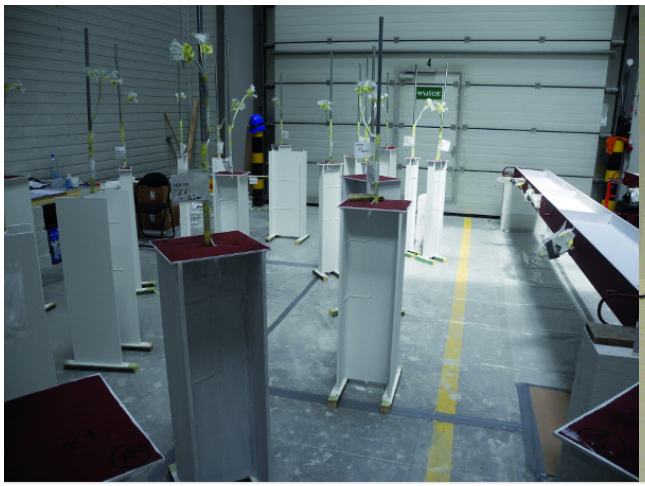
Wprowadzanie na rynek biernych izolacji ogniochronnych

Dla biernych izolacji ogniochronnych ustanowiono dokumenty odniesienia, na podstawie których można je badać i wprowadzać na rynek. Są to wytyczne do europejskich aprobat technicznych (z ang. ETAG), w których opisano wszelkie niezbędne wymagania, badania, odwołując się do konkretnych norm badawczych, oraz metody oceny. W ETAG odniesiono się do obowiązujących wymagań podstawowych w kontekście zamierzonego zastosowania, uwzględniając nie tylko najistotniejszy parametr, jakim jest odporność ogniowa, ale i inne istotne cechy np. ekspozycję, od której zależy sposób badania i narażenia na wpływy środowiskowe. Z uwagi na obszerność zagadnienia, wymagania dla biernych zabezpieczeń ogniowych zawarto w czterech zeszytach – jednym ogólnym i trzech przeznaczonych dla konkretnych rozwiązań:

- ETAG 018-1 – Fire protective products. Part 1: General (dokument ogólny)
- ETAG 018-2 – Fire protective products. Part 2: Reactive coating for fire protection of steel elements (farby pęczniejące)
- ETAG 018-3 – Fire protective products. Part 3: Renderings and rendering kits intended for fire resistance applications (natryski ogniochronne)
- ETAG 018-4 – Fire protective products. Part 4: Fire protective board, slab and mat products and kits (płyty ogniochronne).

W wymienionych dokumentach ETAG jest przywołany szereg norm badawczych, wśród których najważniejsze są te przeznaczone do weryfikacji odporności ogniowej. Nie wchodząc w szczegóły badawcze, dla każdego typu elementu istnieją oddzielne arkusze normy EN 13381, wśród których można wyszczególnić:

- EN 13381-1 – membrany poziome
- EN 13381-2 – membrany pionowe
- EN 13381-3 – beton (ekwiwalentna grubość betonu)
- EN 13381-4 – stal, materiały pasywne (natryski, płyty)
- EN 13381-5 – stropy betonowe na blachach stalowych
- EN 13381-6 – słupy stalowe wypełnione betonem
- EN 13381-7 – drewno
- EN 13381-8 – stal, materiały reaktywne (farby itp.), fot. 11 i 12
- EN 13381-9 – stal, elementy z otworami w środniku.



Fot. 11. Przygotowanie elementów stalowych do badania skuteczności zabezpieczenia ogniochronnego farbą pęczniejącą. Autor: archiwum ITB

Fot. 12. Widok farby pęczniejącej na elementach stalowych po badaniu odporności ogniowej. Autor: archiwum ITB

Wybierając na budowie wyrób do zabezpieczenia ogniochronnego należy dokładnie sprawdzić nie tylko deklarację stałości właściwości użytkowych, ale i certyfikat, klasyfikację ogniową oraz, o ile jest to możliwe, raporty z badań, w szczególności ogniowych, w których precyzyjnie opisano wszystkie niezbędne informacje, badane układy i zestawy. Pozwoli to na uniknięcie błędów i niewłaściwe stosowanie na zasadzie analogii np. skoro do konstrukcji stalowych to znaczy, że do wszystkich, co zazwyczaj nie jest prawdą.

Podsumowanie

Bierne izolacje ogniochronnie są powszechnie stosowane we współczesnym budownictwie do zabezpieczania elementów przed destrukcyjnym działaniem temperatury pożarowej. Przy obecnych założeniach zawartych w warunkach technicznych [4], gdy pomimo zastosowania czynnych zabezpieczeń przeciwpożarowych (np. w postaci tryskaczy) przyjmuje się, że konstrukcja budynku mimo wszystko ma „bronić się” sama, ich stosowanie w wielu przypadkach jest niezbędne. Taka sytuacja wpływa na rozwój technologii zabezpieczania konstrukcji. Największą zaletą tej metody ochrony dla właściciela lub użytkownika budynku, oprócz podstawowej funkcji izolacyjnej, zapewniającej przez określony czas bezpieczeństwo konstrukcji, jest niski koszt ich utrzymania, w odróżnieniu od czynnych zabezpieczeń przeciwpożarowych, które wymagają sukcesywnych przeglądów, często wymiany zużywających się elementów itp. Bierne zabezpieczenia ogniochronne to bardzo często proste wyprawy, np. tynk cementowo-wapienny lub wapienny, obrzutka betonowa, które stosuje się w przypadku ścian, a także bardziej zaawansowane i skuteczniejsze w działaniu natryski, specjalistyczne płyty czy farby i lakiery, głównie tworzone do zapewnienia niezbędnej izolacji ochranianemu elementowi w sytuacji pożarowej.

dr inż. Paweł Sulik
Instytut Techniki Budowlanej,
Zakład Badań Ogniowych

Literatura

1. PN-EN 13501-1:2008 A1:2010 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków – Część 1: Klasyfikacja na podstawie wyników badań reakcji na ogień.
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (z późniejszymi zmianami).
3. PN-EN 13501-2+A1:2010 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków – Część 2: Klasyfikacja na podstawie badań odporności ogniowej, z wyłączeniem instalacji wentylacyjnych.
4. Sędłak B., Sulik P. (2015), Odporność ogniowa pionowych elementów przeszklonych, Szkło i Ceramika, R. 66 (nr 5).
5. Mather P. (2006), Saving lives with coatings, Eur Coating J, 48, 50-52.
6. Verburg GB, Rayner ET, Yeadon DA, et al. (1964), Water-resistant, oil-based, intumescing fire-retandant coating, I. Developmental formulations, J Am Oil Chem Soc, 41, 670-674.
7. Tramm H., Clar C., Kuhnel P., et al. (1938), Fire proofing of wood, Patent 2106938, USA.
8. Jimenez M., Duquense S., Bourbigot S. (2006), Multiscale experimental approach for developing high-performance intumescent coatings, Ind Eng Chem Res, 45, 4500-4508.
9. Vandersall H. L. (1971), Intumescent coating systems, their development and chemistry, J. Fire Flammability, 2:97-140.
10. Mariappan T. (2016), Recent developments of intumescent fire protection coating for structural steel: A review, Journal of Fire Sciences, vol. 34(2), 120-163.
11. Sulik P., Turkowski P. (2015), Wymagania dotyczące odporności ogniowej konstrukcji tuneli w kontekście nowelizacji przepisów, Materiały Budowlane, nr 7, s. 62-63.