

tom 64  
**7•2021**  
lipiec

PL ISSN 0473-7733  
e-ISSN 2449-9501

cena 44 zł (w tym 8% VAT)

MIESIĘCZNIK

# ochrona przed korozją

**Corrosion  
Protection**



WYDAWNICTWO  
SIGMA-NOT

## PPG STEELGUARD™

Kompletna gama powłok pęczniejących  
firmy PPG dla doskonałej ochrony  
przeciwogniowej



## Novasell Sp. z o. o.

Opracowujemy innowacyjne technologie w obszarze **przeciwoogniowych zabezpieczeń konstrukcji stalowych.**

- ✓ Potencjał firmy to nowoczesne podejście do zagadnień zabezpieczeń przeciwpożarowych.
- ✓ Posiadamy interdyscyplinarny zespół naukowców i inżynierów wsparty nowoczesnym laboratorium.



- ✓ Jesteśmy wspierani przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju realizując projekt „Opracowanie innowacyjnego systemu do ochrony przeciwpożarowej konstrukcji stalowych”

## INNOWACYJNOŚĆ



## FUNKCJONALNOŚĆ



Dr inż. Łukasz Radosiński  
Dyrektor B+R  
Tel. +48 884 070 082  
lukasz.radosinski@novasell.pl



Stabłowicka 147  
54-066 Wrocław  
kontakt@novasell.pl



novasell.pl



**REDAKCJA/EDITORIAL OFFICE:**

ul. Chopina 6, pok 202, 44-100 Gliwice, tel./fax: 32 231 02 24  
e-mail: redakcja@ochronaprzedkorozja.pl  
www.ochronaprzedkorozja.pl

**ZESPÓŁ REDAKCYJNY/EDITORIAL STAFF:**

*Redaktor Naczelna:* dr hab. inż. Małgorzata Zubielewicz  
*Z-ca Red. Naczelnej:* mgr Małgorzata Śmieszek-Glanc  
*Redaktorzy tematyczni:* prof. dr hab. inż. Janusz Flis, prof. dr hab. inż. Danuta Kotnarowska, dr inż. Agnieszka Królikowska, dr hab. inż. Ginter Nawrat, dr inż. Wojciech Sokólski, prof. dr hab. inż. Adam Zybura  
*Redaktor językowy:* mgr Jacek Leszczyński – jęz. pol.  
*Redaktor językowy:* mgr Grzegorz Sosna – jęz. ang.  
*Redaktor statystyczny:* mgr inż. Anna Trams

**RADA NAUKOWA/SCIENTIFIC COUNCIL:**

prof. dr hab. inż. Witold Gnot, *Polska*  
prof. dr hab. Henryk Bala, *Polska*  
prof. Idalina Vieira Aoki, *Brazylia*  
dr inż. Adam Baryłka, *Polska*  
mgr inż. Magdalena Borek-Daruk, *Polska*  
prof. Pier Luigi Bonora, *Włochy*  
dr Henrikas Cesiulis, *Litwa*  
prof. dr. rer. nat. Ahmed Abd El-Aziz, *Egipt*  
prof. Lorenzo Fedrizzi, *Włochy*  
prof. João Salvador Fernandes, *Portugalia*  
prof. dr. Damien Féron, *Francja*  
prof. dr hab. inż. Janusz Flis, *Polska*  
dr Daniel de la Fuente, *Hiszpania*  
prof. Andréa Kalendová, *Czechy*  
prof. dr hab. inż. Jacek Kijeński, *Polska*  
prof. Niki Kouloumbi, *Grecja*  
dr Olga Kulikova, *Rosja*  
mgr inż. Józef Koziół, *Polska*  
dr inż. Agnieszka Królikowska, *Polska*  
dr inż. Andrzej Królikowski, *Polska*  
prof. Vesna B. Mišković-Stanković, *Serbia*  
prof. Roman Nowak, *Finlandia*  
dr hab. inż. Hanna Pokhmurska, *Niemcy*  
dr inż. Tomáš Prošek, *Czechy*  
dr Thadeus Schauer, *Niemcy*  
dr inż. Wojciech Sokólski, *Polska*  
prof. dr hab. inż. Maria Sozańska, *Polska*  
prof. dr hab. inż. Bogdan Szczygieł, *Polska*  
dr Judit Telegdi, *Węgry*  
prof. dr hab. inż. Tadeusz Wierchoń, *Polska*  
prof. dr hab. inż. Tadeusz Zakroczyński, *Polska*

Czasopismo „Ochrona przed Korozją” jest indeksowane w: Master Journal List: Emerging Sources Citation Index, Scopus, Baztech, Index Copernicus, Cambridge Scientific Abstracts (CSA, Proquest).

**Autor za publikację artykułu w czasopiśmie naukowym „Ochrona przed Korozją” otrzymuje 20 punktów zgodnie z komunikatem Ministra Edukacji i Nauki z dnia 9 lutego 2021 r. w sprawie wykażu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych.**

Wersja papierowa czasopisma jest wersją pierwotną (referencyjną).



Czasopismo wydawane we współpracy z Polskim Stowarzyszeniem Korozyjnym

Czasopismo jest na liście czasopism Europejskiej Federacji Korozyjnej (EFC)

WYDAWNICTWO SIGMA-NOT

WYDAWCA: Wydawnictwo Czasopism i Książek Technicznych SIGMA-NOT

Spółka z o.o., ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, tel.: 22 818 09 18; www.sigma-not.pl • Nakład (w tym wersja elektroniczna) do 500 egz.

**PRENUMERATA:** tel. 22 840 30 86, e-mail: prenumerata@sigma-not.pl  
Wskazówki dla Autorów: www.ochronaprzedkorozja.pl

**OGŁOSZENIA przyjmują:**

• Redakcja: tel./fax 32 231 10 22 4, e-mail: redakcja@ochronaprzedkorozja.pl  
• Ewa Sadowska: e-mail: ochronaprzedkorozja-reklama@sigma-not.pl  
• Dział Reklamy i Marketingu, Warszawa, tel./fax: 22 827 43 65, e-mail: reklama@sigma-not.pl  
Za treść reklam i ogłoszeń redakcja nie odpowiada.

**ARTYKUŁY NAUKOWE / RESEARCH ARTICLES**

*Kierunki rozwoju farb pęczniących do zabezpieczania konstrukcji stalowych i nowe związane z nimi oczekiwania*

*Trends in the development of intumescent paints for the protection of steel structures and new related with them expectations*

— M. Zubielewicz, E. Langer, A. Królikowska ..... 212

*Zabezpieczenia ogniochronne podłoża drewnianych*

*Fire protection of wooden substrate*

— M. Nowicka-Nowak ..... 221

**OCHRONA PRZED KOROZJĄ W PRAKTYCE / CORROSION PROTECTION IN PRACTICE**

*Metody kontroli formulacji i właściwości użytkowych ogniochronnych farb pęczniących*

— Ł. Radościński, R. Havriliv, A. Porębska, M. Rosiński ..... 226

*Trwałość systemów ogniochronnych. Deklaracje i rzeczywistość*

— I. Gajeka ..... 231

**WYWIAD / INTERVIEW**

*FireCORR 2021 Virtual Conference – inicjatywa PSK, międzynarodowa*

*wirtualna konferencja* ..... 234

**ARTYKUŁY PROMOCYJNE / SPONSORED CONTENT**

*Inżynieria pożarowa z uwzględnieniem powłok pęczniących*

— S. Gajeka ..... 236

**PRODUCENCI FARB POLECAJĄ**

*Powłoki malarskie firmy PPG* ..... 238

**NOWOŚCI**

*Platforma Coatino – edukacja i pomoc dla specjalistów z branży*

*farb i lakierów* ..... 240

*PFPNet – Hydrocarbon Passive Fire Protection Network* ..... 241

*Konferencje zaplanowane na III kwartał 2021 roku* ..... 241

**WYDAWNICTWA**

*Czasopisma związane z tematyką korozji (cz. 4)* ..... 242

**MATERIAŁY • URZĄDZENIA • TECHNOLOGIE**

*Wynalazki* ..... III okł.



We protect and beautify the world™

Przyjazne środowisku

ul. Łużycka 8A  
81-537 Gdynia  
tel. 58 774 99 00  
fax 58 774 99 01  
customers@ppg.com

**MAŁGORZATA ZUBIELEWICZ**

ORCID: 0000-0003-1487-2494

**EWA LANGER**

ORCID: 0000-0002-8193-1987

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, Centrum Farb i Tworzyw, Gliwice

**AGNIESZKA KRÓLIKOWSKA**

ORCID: 0000-0002-0378-0386

Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa

DOI: 10.15199/40.2021.7.1

# Kierunki rozwoju farb pęczniących do zabezpieczania konstrukcji stalowych i nowe związane z nimi oczekiwania

## Trends in the development of intumescent paints for the protection of steel structures and new related with them expectations

Opisano skład i mechanizm działania powłok pęczniących, a także wpływ warunków atmosferycznych na zdolność powłok do pęcznienia oraz metody poprawy ich właściwości ogniochronnych i antykorozyjnych. Współczesne powłoki pęczniące zapewniają skuteczną ochronę konstrukcji stalowych w przypadku pożaru, ale nadal wykazują ograniczenia pod względem odporności na warunki zewnętrzne. Pod wpływem czynników atmosferycznych zmniejszają się ogniochronne właściwości powłok na skutek wymywania się składników powodujących utworzenie się spęcznionej warstwy izolacyjnej. Rozwój w dziedzinie farb pęczniących obejmuje więc nie tylko poprawę izolacyjności i stabilności warstwy zwęglonej, ale również poprawę właściwości ochronnych powłok.

**Słowa kluczowe:** powłoki pęczniące, właściwości ogniochronne, trwałość, warunki korozyjne

*The composition and methods of protection of intumescent coatings are described, as well as the influence of atmospheric conditions on the swelling ability of the coatings and methods of improving their fire-retardant and anticorrosive properties. Modern intumescent co-*

*atings provide effective protection for steel structures during a fire, but still have limitations in terms of resistance to external conditions. Under the influence of atmospheric conditions, the fire-retardant properties of the coatings decrease as a result of the washing out of components causing the formation of a swollen char layer. Development in the field of intumescent paints, therefore, includes not only the improvement of the insulation and stability of the char layer, but also the improvement of the protective properties of coatings.*

**Keywords:** intumescent coatings, fire retardant properties, durability, corrosive atmosphere

### 1. Wstęp

Konstrukcja stalowa w temperaturze około 500°C traci około 50% swojej nośności, a w ekstremalnych przypadkach niezabezpieczona konstrukcja może się zawalić z powodu utraty właściwości mechanicznych. Od ponad 20 lat, aby uniknąć zawalenia się konstrukcji, stosuje się jako pasywną ochronę przeciwogniową powłoki pęczniące. Powłoka pęczniąca pęcznieje pod wpływem ognia

**dr hab. inż. Małgorzata Zubielewicz** pracuje w Laboratorium Badań i Technologii Farb i Lakierów Centrum Farb i Tworzyw w Gliwicach Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników. Zajmuje się głównie badaniami właściwości powłok ochronnych w zależności od środowiska i składu wyrobu lakierowego oraz opracowywaniem technologii zabezpieczeń przeciwkorozyjnych obiektów eksploatowanych w różnych środowiskach. Jest autorką/współautorką ponad 100 publikacji w krajowych i zagranicznych czasopiśmie naukowo-technicznych i ponad 150 referatów. Jest również redaktorem naczelnym miesięcznika „Ochrona przed Korozją” oraz członkiem Zarządu Federacji of Associations of Technicians for Industry of Paints in European Countries (FATIPEC).

E-mail: malgorzata.zubielewicz@impib.lukasiewicz.gov.pl

**dr inż. Ewa Langer** w roku 2005 ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Od 2005 r. pracuje w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytucie Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników w Toruniu, w Centrum Farb i Tworzyw w Gliwicach, w zakładzie technologii wyrobów lakierowych. W roku 2012 obroniła pracę doktorską na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Zainteresowania naukowe: powłoki samorozwarstwiające się, badania właściwości fizykochemicznych wyrobów lakierowych.

E-mail: ewa.langer@impib.lukasiewicz.gov.pl

**dr inż. Agnieszka Królikowska** jest absolwentką Wydziału Chemii Politechniki Warszawskiej w dziedzinie syntezy organicznej. Pracę doktorską obroniła na Politechnice Gdańskiej w zakresie badań antykorozyjnych powłok lakierowych metodą elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej. Przez wiele lat była kierownikiem pracowni powłok malarskich w Instytucie Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie, obecnie jest kierownikiem zespołu zabezpieczeń antykorozyjnych w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów. Prezes Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego.

E-mail: akrolikowska@ibdim.edu.pl

■ Otrzymano / Received: 14.05.2021. Przyjęto / Accepted: 21.06.2021

w sposób kontrolowany, tworząc węgloną warstwę ochronną o grubości nawet 100 razy większej niż pierwotna grubość powłoki, np. 10 cm w przypadku powłoki o grubości 1 mm [1]. Spęczniona, węglona warstwa działa jako bariera przed przenikaniem ciepła do powierzchni stali, ograniczając uszkodzenia konstrukcji i wydłużając czas ewakuacji podczas gaszenia pożaru, zapobiegając utracie życia i mienia.

Farby pęczniące mają zastosowanie zarówno do zabezpieczeń wewnętrznych, jak i zewnętrznych. Właściwości pęczniące zapewniają trzy podstawowe składniki:

- źródło węgla – podstawowy składnik konieczny do utworzenia spęcznionej warstwy węglowej,
- źródło kwasu – związki, które rozkładają się, dając produkty wymagane do modyfikacji pirolizy związków będących źródłem węgla,
- źródło gazów – związki porotwórcze (spieniające), które rozkładają się pod wpływem wysokiej temperatury i uwalniają niepalne gazy powodujące spęcznienie powłoki.

Pozostałe składniki farb pęczniących to: żywice, pigmenty i wypełniacze oraz środki pomocnicze.

Źródłem węgla są zazwyczaj wielofunkcyjne alkohole. Spalanie czystych alkoholi wielowodorotlenowych jest reakcją egzotermiczną, w wyniku której wytwarzają się tlenki węgla, para wodna i niepalna pozostałość. Najczęściej w recepturach farb pęczniących stosuje się pentaerytryt lub dipentaerytryt. Źródłem węgla mogą być też: skrobia, dekstryna, sorbitol, mannitol, żywice fenolowo-formaldehydowe, metylolomelamina, a także polimery zwęglające, takie jak poli(amid)6, nanokompozyt poli(amid)6/glinka, poli(uretan), poli(węglan).

Związki będące źródłem kwasu to: kwasy fosforowy, siarkowy lub borowy, sole amonowe, takie jak: fosforany, polifosforany, borany, poliborany lub siarczany, produkty reakcji mocznika z kwasem fosforowym, fosforan melaminy, produkty reakcji amoniaku z  $P_2O_5$ , związki fosforoorganiczne.

Środki spieniające to najczęściej melamina, a także dicyjanodiama, guanidyna, mocznik lub żywica mocznikowo-formaldehydowa.

Najczęściej stosowanym pigmentem w farbach pęczniących jest biel tytanowa, która oprócz swojej podstawowej roli pigmentu barwiącego oddziałuje również ze środkami powodującymi powstanie warstwy spęcznionej i poprawia właściwości ogniochronne powłoki [2,3].

Podczas pożaru w warstwie powłoki pęczniącej zachodzą zjawiska, które prowadzą do utworzenia w efekcie końcowym spęcznionej powłoki izolacyjnej [4–8].

Ogólnie można je przedstawić w następujący sposób. W temperaturze zależnej od rodzaju źródła kwasu i od innych składników (ok. 200–250°C) następuje rozkład związku stanowiącego źródło kwasu fosforowego, np. polifosforanu amonu. Uwolniony w czasie rozkładu kwas fosforowy reaguje, odszczepiając wodę, ze związkiem będącym źródłem węgla, np. pentaerytrytem (lub innym poliolem), w wyniku czego tworzy się ester. Woda natychmiast przechodzi w stan pary, która powoduje spienienie szkieletu węglowego. Spieniona warstwa następnie zwiększa swoją grubość (w temperaturze ok. 300°C) pod wpływem gazów pochodzących z rozkładu środka porotwórczego (np. melaminy). Stopiona powłoka zamyka gazy, co ma decydujący wpływ na rozmiary porów w spęcznionej warstwie, a tym samym na jej właściwości izolacyjne. Spieniona warstwa składa się z milionów zamkniętych, odpornych na oddziaływanie ognia komórek. W miarę wzrostu temperatury warstwa zestala się, tworząc gąbczastą, czarną masę organiczną, która spala się stopniowo, a w temperaturze powyżej 700°C tworzy białą porowatą warstwę ceramiczną, w której główny udział ma biel tytanowa stosowana do pigmentowania farb pęczniących.

Rozkład termiczny trzech podstawowych składników farb pęczniących musi następować w określonej kolejności. Katalizator dehydratacji (źródło kwasu) musi rozkładać się w temperaturze bliskiej temperaturze rozkładu środka porotwórczego. Jeśli temperatura rozkładu środka porotwórczego będzie wyższa od temperatury rozkładu katalizatora, to utworzy się węglona warstwa niespęczniona, nieposiadająca gąbczastej struktury, a tym samym niewykazująca niskiej przewodności cieplnej. Jeśli natomiast temperatura rozkładu środka porotwórczego będzie niższa, to gazy uwolnią się zanim utworzy się warstwa węglona.

W celu zwiększenia skuteczności działania farb pęczniących dodaje się do nich niewielką ilość związków, które modyfikują chemiczne lub fizyczne zachowanie się składników i otrzymanej powłoki oraz wykazują efekt synergiczny [9–12]. Do tego typu środków należą np.: związki boru (borany cynku,  $B_2O_3$ , borofosforan, borosiloksan) [9, 13,14], związki fosforu (fosfazen,  $ZrPO_4$ ), związki krzemu (krzemionka, silikon, silikalit) [9,10,15,16], glinokrzemian (mordenit), zeolit, montmorylonit) [9,10,15], tlenki metali ziem rzadkich ( $La_2O_3$ ,  $Nd_2O_3$ ) [17], tlenki metali ( $MnO_2$ ,  $ZnO$ ,  $Ni_2O_3$ ,  $Bi_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ) [18,19] i inne (nanorurki węglowe, silseskwoksany, warstwowe podwójne wodorotlenki, Cu, Pt, talk, sepiolit, sole cynku i niklu) [20–22].

Jako spoiwa do farb pęczniących stosowano dawniej chlorowane żywice, emulsję poliocetanu winylu, lateks oparty na octanie etyleno-winylovym lub kopolimerze akrylonitrylu z octanem winylu, polimer dibromostyrenowy, kopolimer chlorku winylu i chlorku winylidenu, żywice epoksydowe utwardzane aminoamidami, żywice fenolowe lub aminowe, poliuretany. Ze względu na rygorystyczne przepisy przyjęte w wielu krajach oraz wydzielanie dużych ilości dymu i toksycznych gazów, nie stosuje się spoiw opartych na chlorowcach, takich jak żywice chlorowane czy emulsje, zastępując je żywicami akrylowymi [2,23]. Obecnie zwykle używa się dwóch typów żywic, zarówno w farbach rozpuszczalnikowych, jak i wodnych: termoplastycznych akrylowych i termoutwardzalnych epoksydowych. Czasami stosuje się szkło wodne sodowe, fosfokrzemiany sodu, rozpuszczalne w wodzie żywice aminowe, azotan celulozy o jakości lakieru i modyfikowany kauczuk nitrylowo-fenolowy. Jednak wykazują one słabą odporność na wodę, szorowanie i warunki atmosferyczne środowiska [2,24].

Konwencjonalne powłoki zawierające polifosforan amonu, pentaerytryt i melaminę mają dobre właściwości pęczniące i opóźniające palenie, dlatego są szeroko stosowane do zapewnienia ochrony przeciwpożarowej stalowych elementów konstrukcyjnych. Wykazują jednak pewne ograniczenia techniczne, takie jak zła odporność na czynniki atmosferyczne, słaba stabilność farb i trudności w ich stosowaniu [25]. W związku z tym badania nad systemami pęczniącymi koncentrują się na poprawie tych trzech niedogodności, a zwłaszcza na poprawie właściwości powłok w warunkach wilgotnych.

## 2. Rozwój farb pęczniących

Właściwości ogniochronne powłok w największym stopniu zależą od tworzenia się warstwy spęcznionej, w związku z czym rozwój w dziedzinie farb pęczniących dotyczy głównie poprawy izolacyjności i stabilności warstwy. Badania nad ulepszeniem farb pęczniących koncentrują się również w dużym stopniu na poprawie właściwości ochronnych powłok, co zostanie omówione w punkcie 4. W tym punkcie zostaną przedstawione nowości w zakresie farb pęczniących pod kątem poprawy właściwości ogniochronnych powłok.

Obecnie jako składników farb pęczniących wspomagających tworzenie się warstwy węglowej używa się dodatkowo różnego rodzaju innych substancji niż podstawowe, podane w punkcie 2. Jednym z takich dodatków jest chitosan [26–28]. Powłoki zawiera-

jące chitozan wprowadzony razem z polifosforanem amonu są nakładane m.in. na włókna PET metodą warstwa-po-warstwie.

Wybór odpowiedniego dodatku do farb pęczniących może mieć istotny wpływ na ogniochronne właściwości powłoki. Takie wypełniacze jak grafit ekspandowany czy organicznie modyfikowane krzemiany znacznie zwiększają wytrzymałość mechaniczną i termiczną spęcznionej warstwy. W połączeniu z żywicami silikonowymi lub polisiloksanowymi o rozgałęzionej strukturze, które charakteryzują się doskonałą stabilnością termiczną, wykazują zdolność do wbudowywania się w strukturę zwęglonej warstwy [29–32]. Spowodowane jest to obecnością grup silanolowych, które reagują z grupami funkcyjnymi obecnymi w wypełniaczach.

Korzystny wpływ na właściwości ogniochronne mają podwójne warstwowe wodorotlenki (LDH – *Layered Double Hydroxide*)  $MgAlCO_3$ -LDH i  $CaAlCO_3$ -LDH [33]. Wzrasta odporność termiczna warstwy zwęglonej dzięki zwiększeniu jej grubości i poprawie struktury. Związki LDH chronią warstwę spienioną przed degradacją, ponieważ jony z LDH tworzą chelaty z materiałami węglowymi.

Synergiczny wpływ na właściwości pęczniące wywiera mieszanina wypełniaczy mineralnych – glinki i wollastonitu [34]. Powłoka z dodatkiem minerałów w ilości 5% wykazuje większą skuteczność i stabilność termiczną od powłoki bez tego typu dodatków. Końcowa temperatura stali po 1 godzinie ogrzewania próbki z minerałami w płomieniu palnika Bunsena wynosiła 113°C, a próbki kontrolnej 351°C. Warstwa zwęglona była bardziej zwarta, równomierna i twardsza. Powłoka zwiększyła swoją grubość 8,5-krotnie w porównaniu z powłoką bez dodatków, której grubość zwiększyła się 5,4 razy. Ponadto w czasie spalania uwalnia się mniej toksycznych gazów.

Do modyfikacji farb pęczniących użyto też płatków szklanych, wypełniacza który sprawdził się wielokrotnie w poprawie odporności na wnikanie wody w powłoki. Okazało się, że płatki szklane poprawiają również odporność ogniową powłoki (rosną właściwości antyutleniające). Poprawia się również struktura spienionej warstwy. Po 600 h zanurzenia w wodzie powłoka z płatkami szklanymi zachowuje swoje właściwości pęczniące w odróżnieniu do powłoki niemodyfikowanej [35].

Opracowano zestaw farb pęczniących, z których każda zawierała tanię modyfikowaną pięciotlenkiem fosforu lub kwasem fitynowym oraz ekspandowany grafit i polifosforan amonu. Stwierdzono, że wszystkie powłoki zapewniały dobrą ochronę przeciwpożarową, a temperatura podłoża stalowego po 30 min eksperymentu nie przekraczała 130°C [36].

Interesującym dodatkiem do farby, wprowadzanym jako środek zmniejszający palność, są skorupki jaj kurzych [37]. Dzięki połączeniu skorupki z pyłem krzemionkowym – produktem ubocznym w procesie produkcji żelazokrzemu – otrzymano poprawę właściwości ogniochronnych wodnej farby pęczniącej zawierającej wszystkie trzy podstawowe składniki powodujące pęcznienie: polifosforan amonu, melaminę i pentaerytryt. Powłoka wykazała lepszą stabilność termiczną, ekspansję spęcznienia, strukturę zwęglonej warstwy, a także większą przyczepność do podłoża, zachowaną podczas narażenia na ogień, niż tradycyjne powłoki pęczniące. Stwierdzono, że skorupki kurzych jaj mają duży potencjał jako przyjazne biowypełniacze do farb ogniochronnych.

Prowadzone są też badania pozwalające lepiej zrozumieć stosowane już powszechnie składniki farb ogniochronnych, takie jak np. tlenek tytanu. Stwierdzono, że w temperaturze ok. 600°C reaguje on z polifosforanem amonu (APP), tworząc pirofosforan tytanu, materiał ogniotrwały, który przyczynia się do stabilizacji powstającej piany w wyższych temperaturach, w których większość związków węgla utlenia się i spala [38].

Farby pęczniące, tak jak i inne rodzaje farb, reagują pozytywnie na nanododatki, w związku z czym wiele prac nad udoskonalaniem

właściwości farb pęczniących koncentruje się na tego typu dodatkach.

Dodanie 0,5% mas. wielościennych nanorurek węglowych do epoksydowej farby pęczniącej obniża temperaturę podłoża o 94°C (z 367 do 273°C) i zwiększa spęcznienie o 42,31% oraz poprawia strukturę warstwy spęcznionej, zmniejszając liczbę pęknięć [39]. W warstwie zwęglonej utworzonej w 950°C stwierdzono zwiększenie zawartości węgla do 51,90% mas. i obniżenie zawartości tlenu do około 25% mas., co poprawiło jej właściwości ogniochronne.

Irańscy naukowcy otrzymali nanokompozytowe powłoki ogniochronne, które są dużo bardziej wytrzymałe i odporne na ogień niż dostępne obecnie systemy z dodatkiem magnetycznych nanocząstek tlenku żelaza [40].

Tradycyjne farby na bazie polifosforanu amonu, pentaerytrytu i melaminy zmodyfikowano sadzą zawierającą fulereny, mikrosfery szklane i mikrosfery glinokrzemianowe [41]. Sadza zawierająca fulereny jest produktem pierwszego podprocesu produkcji fulerenów; zawiera mikrocząstki grafitu i nieoczyszczone fulereny o różnej strukturze (C60, C70 itp.). Sadza może się łatwo wbudować w matrycę węglową, tak samo jak fulereny, które sprawdzili się jako dodatki wzmacniające warstwę zwęgloną i chroniące ją przed zniszczeniem. Mikrosfery to mikroskopijne kulki ze szkła, glinokrzemianu itp., które zwykle mają średnicę od 1 do 1000 mikrometrów. Ponieważ mikrosfery są puste, ich przewodnictwo cieplne jest niskie, a dzięki temu mogą obniżyć przewodnictwo zwęglonej warstwy spęcznionej, zwiększając jej skuteczność i stabilność. W rezultacie takiej modyfikacji współczynnik pęcznienia wzrósł o 32–49%. Można to wytłumaczyć faktem, że mikrosfery są puste, a gdy tworzy się zwęglona warstwa uwalniają dodatkową ilość powietrza, co zwiększa objętość zwęglonej warstwy. Sadza zawierająca fulereny działa w inny sposób: cząsteczki węgla pomagają w budowaniu matrycy polimerowej zwęglonej warstwy, czyniąc ją bardziej trwałą i anizotropową. W badaniu przewodności cieplnej wszystkie zmodyfikowane farby dają lepsze wyniki niż farba wyjściowa; najlepszy wynik wykazała farba zawierająca 1% mas. sadzy zawierającej fulereny. Oznacza to, że cząsteczki węgla zawarte w zwęglonej warstwie zwiększają jej stabilność termiczną.

Wodorozcieńczalną powłokę akrylową zmodyfikowano 1,5%-dodatkiem nanokoncentratu zawierającego 30% nano-SiO<sub>2</sub> [42]. Wykazuje ona lepszą ogniochronność, odporność na działanie wody i lepsze właściwości mechaniczne w stosunku do farby bez dodatku. Uzyskano jednorodne rozproszenie cząstek nano-SiO<sub>2</sub> w powłoce, co umożliwia tworzenie nanoskalowej, trójwymiarowej, wzajemnie przenikającej się sieci w nanopowłoce, która wydłuża drogi penetracji mediów korozyjnych, co skutkuje zwiększeniem wodoodporności. Cząsteczki nano-SiO<sub>2</sub> mają wysoką stabilność termiczną w wysokiej temperaturze i mogą tworzyć sieć Si – O – Si, o wymiarach nano, wewnątrz powłok ochronnych, co poprawia właściwości przeciwutleniające w czasie pożaru.

Do modyfikacji powłok, tym razem epoksydowych, zastosowano kompozyty zawierające nanorurki haloizytowe (HNT) i porównano ich progi stabilności termicznej i ognioodporności dla niskich stężeń z systemem epoksydowym zawierającym grafit ekspandowany (EG), jako powłoką odniesienia o doskonałej ognioodporności [43]. Przy dodatku 3% mas., HNT wydawały się bardziej skuteczne, o czym świadczy zwiększona stabilność termiczna w porównaniu z kompozytem zawierającym EG przy identycznej ich zawartości, zapewne z powodu ograniczonej mobilności łańcuchów epoksydowych w dobrze utwardzonej sieci epoksydowej.

Powłokę pęczniącą zawierającą związki fosforu, azotu i boru zmodyfikowano nanotlenkiem glinu. Opracowano cztery receptury w celu określenia właściwości termoochronnych powłoki [44]. Testy wykazały, że powłoka zawierająca 1,0% mas. nanotlenku glinu jako wypełniacza nieorganicznego zapewnia lepszą ochronę



przeciwpożarową, morfologię zwęglenia i właściwości przeciwutleniające w porównaniu z powłoką niezawierającą nanotlenku glinu.

Prace nad dodatkiem nanomateriałów trwają od ponad dwudziestu lat i wydaje się, że jest to kierunek modyfikacji farb pęczniejących, który „nie powiedział jeszcze ostatniego słowa”.

### 3. Wpływ starzenia w warunkach atmosferycznych na powłoki pęczniejące

Współczesne powłoki pęczniejące zapewniają skuteczną ochronę konstrukcji stalowych w przypadku pożaru, ale nadal wykazują ograniczenia pod względem odporności na warunki zewnętrzne.

Powłoki pęczniejące nie są odporne na długotrwałe narażenie na warunki atmosferyczne, w tym na promieniowanie ultrafioletowe, wilgoć, temperaturę, czynniki korozyjne, takie jak woda morską czy kwaśne media oraz często występujące zanieczyszczenia chlorkowe. Dlatego, w szczególności dla powłok przeznaczonych do zastosowań zewnętrznych i czasowo zewnętrznych, należy uwzględniać wpływ tych wszystkich zagrożeń, gdyż powłoki mogą ulec zniszczeniu, w tym takim, które wpływają na ich zdolność do pęcznienia i ochrony przed ogniem.

Odporność powłok zależy od ich właściwości barierowych, przyczepności i korozyjności środowiska [45]. Badania metodą elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej wykazały, że po 3 miesiącach zanurzenia powłok w 5% NaCl wartość impedancji zmniejszyła się o ponad 90% w porównaniu do wartości przed zanurzeniem, wynoszącej  $4,37 \times 10^8 \Omega \text{cm}^2$  [46]. Oddziaływanie na powłoki pęczniejące wody, kwasów czy alkaliów może prowadzić do częściowego ubytku aktywnych kluczowych składników farby, a tym samym zmniejszenia jej skuteczności ogniochronnej w czasie eksploatacji [47,48].

Większą wrażliwością na wodę odznaczają się powłoki wodnych farb pęczniejących niż rozpuszczalnikowych [38]. W czasie zanurzenia w wodzie po ok. 39 minutach powłoka puchnie, mięknie i pęcherzeje, a jej właściwości pęczniejące znacznie maleją ze względu na wymywanie się składników powodujących utworzenie się warstwy zwęglonej. Dla porównania, powłoka pęczniejącej farby rozpuszczalnikowej nie pęcherzeje i nie traci właściwości pęczniejących po ponad 5 godzinach zanurzenia. Gorsze właściwości powłok otrzymanych z farb wodnych związane są głównie z właściwościami spoiw stosowanych w tych farbách, takich jak kopolimery octanu winylu (VA/wersanian winylu (VV) lub VA/polimery akrylowe. Homopolimer VA jest bardzo wrażliwy na wodę ze względu na łatwą hydrolizę grup octanowych, dlatego stosuje się jego kopolimery tworzące ochronę sferyczną dla wrażliwych grup octanowych. Poprawia to nieco ich odporność na wodę, ale wpływa negatywnie na rozkład termiczny i zmniejsza właściwości pęcznienia.

Brak odporności powłok pęczniejących na warunki atmosferyczne może wydawać się nieistotny, ponieważ wiele tego typu powłok jest przeznaczonych do suchych, wewnętrznych środowisk. Należy jednak zauważyć, że chociaż reaktywny (pęczniejący) system powłokowy może być przeznaczony tylko do użytku wewnętrznego, podczas budowy może być narażony przez pewien czas na działanie warunków zewnętrznych. W takim przypadku konieczne jest wprowadzenie specjalnych przepisów w celu tymczasowej ochrony odsłoniętych powłok reaktywnych lub takie zabezpieczenie powłoki reaktywnej, jakby miała być stosowana do zastosowań w warunkach zewnętrznych (kategorie „W” normy EN 16623) [38].

Zachowanie długotrwałych właściwości pęczniejących jest bardzo ważne w czasie całego okresu użytkowania konstrukcji. Do monitorowania trwałości powłok pęczniejących, które są narażone na różne środowiska – zewnętrzne, częściowo zewnętrzne, wewnętrzne – zwykle są stosowane normy takie jak: BS8202-2:1992, NORSOK M501, system 5A, ISO 20340, europejskie wytyczne dotyczące aprobaty technicznej (ETAG 18), część 2: Warunki typu X i badania środo-

wiskowe UL. Normy te obejmują różne testy, takie jak narażenie na temperaturę, badanie wymywania się składników, test zamrażania i rozmrażania, badania w komorach korozyjnych: wilgotnościowej, wilgotnościowej z dwutlenkiem siarki, solnej, badania odporności na UV, badania w cyklicznych i naturalnych warunkach korozyjnych.

Badania zachowania się powłok w warunkach atmosferycznych prowadzono zarówno pod kątem odporności na korozję, jak i zmniejszenia zdolności do pęcznienia [46,49]. Badania wykonywano w warunkach naturalnych i przyspieszonych. Roberts i współpr. [50] przeprowadzili 10-letnie badania w warunkach naturalnych ogniochronnej farby zawierającej różne żywice epoksydowe. Powłoki były narażone na wodę morską i wilgotne powietrze. Po 8 latach ekspozycji stwierdzono zniszczenie powłok do głębokości 10 mm, w odległości do 3 mm od krawędzi płyt. Po 10 latach powłoka na jednej z płyt całkowicie utraciła przyczepność, a po 10,5 roku część powłoki złuszczyła się na wszystkich badanych płytach.

Bilotta i współpr. [51] przeprowadzili badania skuteczności pęcznienia powłoki na elementach stalowych konstrukcji eksploatacyjnej 30 lat w porównaniu z elementami zabezpieczonymi nową powłoką pęczniejącą po usunięciu starej oraz powłoką pęczniejącą nałożoną na starą. Badane elementy służyły do zwiększenia sztywności konstrukcji, można było więc je wymienić i uzyskać próbki do badań. Stwierdzono, że po 30 latach od nałożenia powłoki konieczne jest ponowne zabezpieczenie elementów konstrukcyjnych farbą pęczniejącą. Zaobserwowano korelację między grubością powłoki a jej przyczepnością, zarówno w warunkach środowiska, jak i w wysokich temperaturach. Grubsze powłoki (ok 1000  $\mu\text{m}$ ) wykazały mniejszą przyczepność. Badania wykazały również możliwość nałożenia nowej powłoki pęczniejącej na istniejącą starą, pod warunkiem dobrej przyczepności wcześniej nałożonej powłoki, uzyskanej przy tym skuteczne zabezpieczenie ogniochronne.

Jimenez i in. [52] przebadali pęczniejącą powłokę epoksydową zawierającą polifosforan amonu (APP), melaminę i dwutlenek tytanu. Zagruntowane blachy stalowe pokryte powłoką pęczniejącą o grubości 1500  $\mu\text{m}$  poddano różnym warunkom przyspieszonego starzenia: 80% wilgotności powietrza w 70°C przez 2 miesiące i zanurzenie w wodzie destylowanej z i bez NaCl (5 g/l) w 20°C przez 1 miesiąc. Po starzeniu powłoki przetestowano w laboratoryjnych warunkach pożaru węglowodorowego. Zanurzenie w wodzie destylowanej w ciągu 1 miesiąca powoduje nieznaczne obniżenie właściwości ogniochronnych: APP przekształca się w kwas polifosforowy, który rozpuszcza się w wodzie. W przypadku powłok zanurzonych w wodzie z dodatkiem NaCl nie obserwuje się pęcznienia. Jony sodu i chlorkowe bardzo szybko migrują do matrycy. Sód reaguje z polifosforanami, zastępując jony amonowe i zapobiegając uwalnianiu się amoniaku podczas spalania, a tym samym pęcznieniu powłoki. Ponieważ powstały polifosforan sodu jest znacznie lepiej rozpuszczalny niż polifosforan amonu, szybko rozpuszcza się w matrycy i zmniejsza ilość fosforu.

Badania w różnych środowiskach symulujących warunki eksploatacji konstrukcji zabezpieczonych powłokami pęczniejącymi przeprowadził Maciulaitis i współpr. [49]. Właściwości ogniochronne badano po starzeniu próbek w laboratorium w warunkach cyklicznego zamrażania i rozmrażania (60 cykli; jeden 24-godzinny cykl obejmował: 6 h w  $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ ; 18 h w  $+20 \pm 2^\circ\text{C}$  przy wilgotności względnej  $45 \pm 5\%$ ) oraz po starzeniu przez 12 miesięcy w warunkach naturalnych, pod zadaniem. Wyniki porównano z obliczeniami teoretycznymi i powłokami niepoddanymi starzeniu. Farby pęczniejące (410–540  $\mu\text{m}$ ) nakładano na różne grunty antykorozyjne (40–50  $\mu\text{m}$ ), a na część próbek nałożono ponadto farby nawierzchniowe (40–50  $\mu\text{m}$ ). Stwierdzono, że w zależności od rodzaju farby pęczniejącej po roku starzenia w warunkach naturalnych zdolność do pęcznienia powłoki pęczniejącej bez nawierzchniowej zmniejszyła się o ok. 27,5–35%, a z różnymi powłokami nawierzchniowymi o ok. 16–24%. Starzenie próbek w warunkach naturalnych,

narażonych na zmiany temperatury i wilgotności, ma mniejszy wpływ na właściwości ogniochronne niż trwające 60 cykli starzenie w warunkach laboratoryjnych.

Skuteczność powłok pęczniących może pogarszać również środowisko kwaśne. Badania przeprowadzone w różnych okresach zanurzenia próbek w kwasie solnym wykazały ubytek pewnych składników odpowiedzialnych za proces pęcznienia. Podczas zanurzenia powłoki pęczniące w kwasie polifosforan amonu (APP), pentaerytryt (PER) i melamina (MEL) ulegają hydrolizie, rozpuszczaniu i reakcji chemicznej katalizowanej kwasem, co prowadzi do zmiany proporcji składników, a tym samym do pogorszenia zdolności do pęcznienia [53]. Warstwa spęczniona była cieńsza, a jej powierzchnia chropowata, z wyraźnymi pęknięciami i większymi porami, niż zwęglona warstwa utworzona w przypadku powłoki pęczniącej niepoddanej działaniu kwasu. Próbkki badane były bez powłoki nawierzchniowej, ale w praktyce na powłoki pęczniące nakłada się farbę nawierzchniową, a więc ich trwałość w warunkach eksploatacji będzie znacznie większa.

Ullah i współpr. [54], badając wpływ glinki kaolinowej na właściwości pęczniące powłoki stwierdzili, że po 90 dniach badań w komorze z lampami ksenonowymi, w zmiennych warunkach wilgotności/UV, grubość warstwy spęcznionej zmniejsza się kilkukrotnie w porównaniu z powłoką niestarzoną.

W praktyce na powłoki pęczniące nakłada się powłokę nawierzchniową, która powinna charakteryzować bardzo dobrymi właściwościami barierowymi, aby przeciwdziałać wymywaniu się składników powodujących tworzenie się spęcznionej warstwy termoizolacyjnej. Wpływ powłoki nawierzchniowej na właściwości powłoki pęczniącej badano w roztworze kwasu solnego, komorze UV i w warunkach naturalnych [55]. Wodna farba akrylowa zawierała standardowe składniki powodujące pęcznienie: polifosforan amonu, melaminę i pentaerytryt. Przy wyborze powłoki nawierzchniowej wzięto pod uwagę następujące właściwości: dobrą przyczepność, dobrą giętkość, wysoki połysk, doskonałą odporność na chemikalia, w tym kwasy, zasady, wodę, olej i rozpuszczalniki oraz na czynniki korozyjne. Powłoka nawierzchniowa nie może wywierać znaczącego wpływu na właściwości ogniochronne. Biorąc pod uwagę te czynniki do badań wytypowano dwie dwuskładnikowe farby poliuretanowe oparte na akrylanach. Na podstawie wyników badań stwierdzono korzystny wpływ powłoki poliuretanowej na odporność systemu powłokowego w warunkach korozyjnych. Po 48 h zanurzenia w kwasie solnym powłoka pęczniąca bez nawierzchniowej prawie całkowicie utraciła właściwości ogniochronne na skutek rozpuszczenia, hydrolizy katalizowanej kwasem i reakcji chemicznych z kwasem pewnych składników [53,55], natomiast właściwości powłoki pęczniącej z powłoką nawierzchniową nie uległy zmianie. Po 20 dniach przyspieszonego starzenia w komorze UV znacznie zmniejszyła się zdolność niezabezpieczonej powłoki do pęcznienia, natomiast powłoka zabezpieczona zachowała swoje właściwości ogniochronne po ponad 40 dniach narażenia na UV. Podobne wyniki uzyskano w warunkach naturalnych: powłoka pęczniąca bez nawierzchniowej utraciła właściwości ogniochronne po 1 roku ekspozycji, a z powłoką nawierzchniową nie wykazała żadnych zmian w warunkach pożaru.

#### 4. Poprawa odporności systemów pęczniących na czynniki atmosferyczne

Wiele badań prowadzi się w kierunku poprawy odporności powłok pęczniących na czynniki atmosferyczne, m.in. nad zastosowaniem nanowypełniaczy, w tym nanoglinek, modyfikacją powierzchni polifosforanu amonu i formułacjami z wypełniaczami szklistymi.

Dodatek nanorurek węglowych, oprócz poprawy właściwości ogniochronnych dzięki zmniejszeniu transferu ciepła i poprawy struktury warstwy zwęglonej, zwiększa również odporność powłok na warunki

atmosferyczne [39]. Badania przyspieszone w komorze z lampami ksenonowymi wykazały, że powłoki z dodatkiem 0,5% mas. nanorurek węglowych nie wykazują żadnych zmian po 90 dniach ekspozycji.

Wang i współpr. [48] badali wpływ dodatku ekspandowanego grafitu (EG) do farby akrylowej na właściwości powłoki pęczniącej. Stwierdzono, że powłoka zawierająca EG o grubości 74 mm wykazuje lepsze właściwości ogniochronne – wbudowany grafit działa jak włókno, poprawiając strukturę i odporność na odkształcenie warstwy zwęglonej – oraz poprawę odporności na wodę. Po 500 h zanurzenia w wodzie powłoka zachowuje swoje dobre właściwości pęczniące na skutek poprawy wodoodporności, co jest wynikiem równoległego ułożenia płatków grafitu, a tym samym zwiększenia barierowości powłoki.

Wykazano, że połączenie trójwodoru tlenku glinu (ATH) i  $\text{TiO}_2$  daje w efekcie nie tylko doskonałe właściwości ogniochronne i stabilność termiczną utworzonej warstwy, ale również odporność powłoki na wodę [5].

Płatki szklane zawierające  $\text{SiO}_2$ , CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$  dzięki swemu równoległemu ułożeniu w powłoce, obojętności chemicznej, małej przepuszczalności pary wodnej i odporności na ścieranie są bardzo dobrym wypełniaczem poprawiającym odporność powłok na warunki wilgotne [5,56]. Po ponad 600 h zanurzenia w wodzie nie stwierdzono zmniejszenia zdolności powłoki do pęcznienia, co przypisano zarówno utrudnieniu dyfuzji wody, jak i spowolnieniu migracji substancji powodujących pęcznienie, dzięki równoległemu ułożeniu płatków w powłoce. Płatki poprawiają również właściwości izolacyjne zwęglonej warstwy.

W wyniku realizacji projektu dotyczącego funkcjonalnych powłok pęczniących zawierających modyfikowane nanoglinki, pełniące nie tylko rolę wypełniaczy, ale także funkcjonalnych i aktywnych składników pęczniących, opracowano nowe powłokowe hybrydowe organiczno-nieorganiczne systemy pęczniące [25]. Dzięki zastosowaniu nanocząstek uzyskano większą trwałość systemu pęczniącego przez poprawę właściwości paroizolacyjnych i wodoszczelnych, co zapobiega wymywaniu składników wrażliwych na wodę. Ponadto otrzymane powłoki odznaczają się ulepszonymi właściwościami mechanicznymi – dzięki zastąpieniu strukturami nanokompozytowymi włókien wprowadzanych w celu wzmocnienia warstwy zwęglonej – zwiększoną izolacją termiczną, mniejszym wydzielaniem się dymu – dzięki wykorzystaniu lamelarnych struktur nanokompozytów jako bariery dla gazów działających jako środki tłumiące dym.

Uwodniony boran cynku  $2\text{ZnOx}3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$ , dodawany jako środek opóźniający palenie, jest również inhibitorem korozji. W połączeniu z innymi pigmentami antykorozyjnymi, takimi jak fosforan cynku i metaboran baru, uzyskuje się w wyniku synergii znacznie większą odporność powłok pęczniących na czynniki korozyjne. Związki boru są szeroko badane pod kątem ich coraz bardziej obiecującego zastosowania w farbach pęczniących. W przeglądzie ich zastosowania stwierdzono, że borany są inhibitorami żarzenia/tlenia się [57]. Powszechnie uważa się, że borany mogą tworzyć szklistą warstwę na powierzchni warstwy zwęglonej i hamować jej utlenianie. Stwierdzono również, że borany mogą usuwać wolne elektrony z miejsc aktywnych, w wyniku czego miejsca te nie są już zdolne do dalszej reakcji. Ponadto cząsteczka boranu może sferycznie ochraniać miejsca aktywne, tak że tlen nie jest w stanie ich atakować.

Poprawę odporności na warunki atmosferyczne można uzyskać również za pomocą spoiwa. Dodatek samosiecicującej emulsji akrylowo-silikonowej (SSA) do emulsji epoksydowej prowadzi do zwiększenia usieciowania, a tym samym do poprawy właściwości barierowych powłoki i spowolnienia przenikania wody [58]. Właściwości antykorozyjne powłoki wzrastają wraz ze wzrostem zawartości SSA. 14% dodatek SSA poprawia ponadto właściwości ogniochronne i strukturę warstwy spienionej. Poprawę właściwości ogniochronnych i barierowych uzyskano również w przypadku farby zawierającej żywice epoksydowe i silikonowe [59].



Bardzo dobrą odpornością na wodę odznacza się wodna farba oparta na kopolimerze akrylowo-styrenowym zawierająca dipentaerytryt o małej rozpuszczalności w wodzie wynoszącej 0,22% [38]. Spoiwo to topi się we właściwej dla farb pęczniejących temperaturze i ma dobre właściwości reologiczne pozwalające na „łapanie” wytwarzających się gazów w ramach tworzącej się piany, wbudowywanie się w nią, co wpływa na podwyższenie właściwości izolacyjnych.

### 5. Trwałość systemu ogniochronnego a rzeczywiste warunki eksploatacji

Systemy ogniochronne stosuje się nie tylko w warunkach wewnętrznych, ale również w warunkach zewnętrznych, przy różnych zagrożeniach korozyjnych. Wtedy powinny one spełniać podwójną rolę: ochrony przed ogniem i ochrony przed korozją. Czas ochrony ogniowej w przypadku określonego rodzaju pożaru jest znany dla określonych systemów. Nie ma jednak jednoznacznej odpowiedzi jak długo dany system będzie chronił antykorozyjnie i jak w tym czasie zmienia się jego właściwości ogniochronne. Próbę odpowiedzi na te pytania znajdziemy w normie amerykańskiej UL 2431 [60] i europejskiej PN-EN ISO 16623 [61].

W obydwóch normach wskazano jak w zależności od założonego środowiska eksploatacji należy badać systemy ogniochronne, aby uwzględnić wpływ tych środowisk na ich właściwości pęcznienia i ochrony ogniowej. W UL 2431 [60] uwzględniono narażenia mechaniczne i korozyjne w środowiskach obejmujących: erozję eoliczną, połączenie warunków mokrych, suchych i zamarzania, wilgotność, odporność na uderzenie, atmosferę przemysłową, mgłę solną, stabilność termiczną, światło ultrafioletowe i wibracje.

Odporność ogniową określa się, mierząc temperaturę rur stalowych, szerokich kołnierzy i płyt zabezpieczonych materiałami. Zdefiniowano dwa rodzaje narażenia na ogień: pożar o normalnym wzroście temperatury i pożar o szybkim wzroście temperatury. Pożar z normalnym wzrostem temperatury ma reprezentować w peł-

ni rozwinięty pożar wewnątrz budynku, pożar z szybkim wzrostem temperatury, to pożar węglowodorowy.

W normie opisano różne typy środowisk, ale nie podano jakiemu okresowi trwałości w danym środowisku odpowiada pozytywne przejście wymaganych badań. W tabeli 1 przedstawiono zamieszczony w normie podział środowisk na 5 kategorii, a w tabelach 2–4 badania jakie muszą być wykonane przy konkretnych narażeniach, które przypisano poszczególnym kategoriom korozyjnym.

Próbując przełożyć wyniki podanych wyżej badań na trwałość systemu w środowisku C5 wg PN-EN ISO 12944 [62] można przyjąć, że badania dla kategorii I – A i I – B odpowiadają okresowi długiemu trwałości, od 15 do 25 lat. Oczywiście nie ma jednoznacznego przełożenia z wymagań dotyczących rodzaju i trwania badań w jednej i drugiej normie. Można jednak przyjąć, że wymagania dotyczące badań w komorze solnej trwających 1440 h wg ISO 12944 i 2160 h wg UL 2431 oraz badań w komorze wilgotnościowej w ciągu 720 h wg ISO 12944 i 500 h w komorze UV wg UL 2431 są zbliżone. Dyskusyjne jest porównanie wymagań w zmiennych warunkach: cykle wg ISO 12944 – 1680 h: 72 h UV/wilgoć/72 mgła solna/24 h (-20°C) i cykle z UL 2431 – 1728 h: warunki mokre/-60°C. Należy jednak wziąć pod uwagę, że poprzednie wydanie normy ISO 12944-6:2001 nie uwzględniało w ogóle cykli zmiennych, a powyższe badania zapewniały trwałość powyżej 15 lat w środowisku C5-I.

**Tabela 1. Klasyfikacja materiałów ogniochronnych wg [60]**  
**Table 1. Fire resistive material classification categories acc. to [60]**

| Kategoria  | Zastosowanie, warunki  |
|------------|--|
| I – A      | Zewnętrzne, ciężkie, przemysłowe                             |
| I – B      | Zewnętrzne, ogólne zastosowanie                              |
| II – A – 1 | Wewnętrzne, zadaszone, kontrolowana temperatura i wilgotność |
| II – A – 2 | Wewnętrzne, zadaszone, szyby windowe                         |
| II – A – 3 | Wewnętrzne, niekontrolowana temperatura i wilgotność         |

**Tablica 2. Narażenia zewnętrzne wg [60]**  
**Table 2. Outdoor location exposures acc. to [60]**

| Narażenia   | Kategoria I – A  | Kategoria I – B   |
|---|--|---|
| Stabilność termiczna, UV/ wysoka wilgotność             | Zgodnie z ASTM D4587 <i>Standard Practice for Fluorescent UV – Condensation Exposures of Paint and Related Coatings</i> , 500 h (8 h UV w 70±2,8°C, 4 h kondensacji w 50±2,8°C)  | Zgodnie z ASTM D4587 <i>Standard Practice for Fluorescent UV – Condensation Exposures of Paint and Related Coatings</i> , 500 h (8 h UV w 70±2,8°C, 4 h kondensacji w 50±2,8°C)                 |
| Erozja eoliczna   | Zgodnie z ASTM E859 <i>Standard Test Method for Air Erosion of Sprayed Fire-Resistive Materials Applied to Structural Members</i> , szybkość 96,6 km/h   | Zgodnie z ASTM E859 <i>Standard Test Method for Air Erosion of Sprayed Fire-Resistive Materials Applied to Structural Members</i> , szybkość 96,6 km/h  |
| Rozpylona solanka                                       | Zgodnie z ASTM B117 <i>Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus</i> – min. 90 dni  | Zgodnie z ASTM B117 <i>Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus</i> – min. 90 dni   |
| Połączenie warunków: wilgoć/ zamarzanie/cykle suche     | Cykle odpowiadające opadom deszczu 0,005 mm/s przez 72 h, a po nich temperatura minus 60±2,8°C przez 72 h – 12 cykli   | Cykle odpowiadające opadom deszczu 0,005 mm/s przez 72 h, a po nich temperatura minus 60±2,8°C przez 72 h – 12 cykli  |
| Atmosfera przemysłowa: CO <sub>2</sub> /SO <sub>2</sub> | 30-dniowe narażenie na CO <sub>2</sub> /SO <sub>2</sub> w komorze zawierającej SO <sub>2</sub> w ilości równoważnej 1% objętości komory i taką samą ilość CO <sub>2</sub> – temp. 35 ± 1,7°C i mała ilość wody na dnie komory  | –   |
| Specyficzne narażenia chemiczne (opcjonalnie)           | Próbki można spryskać czystym rozpuszczalnikiem w temp. 21±2,8°C. Typowe rozpuszczalniki to aceton i toluen. Spryskiwanie należy wykonać pistoletem do malowania aż rozpuszczalnik nie będzie się wchłaniał w powłokę, a będzie z niej ściekać. Cykl składa się z: natryśnięcia rozpuszczalnikiem/6 h schnięcia/natryśnięcia rozpuszczalnikiem/18 h schnięcia. Należy wykonać 5 cykli. | –   |
| Uderzenie   | Spadek stalowej kuli o średnicy 50,8 mm z wysokości 6,1 m przez rurę o średnicy 76,2 mm  | Spadek stalowej kuli o średnicy 50,8 mm z wysokości 6,1 m przez rurę o średnicy 76,2 mm   |
| Wibracje  | Patrz tabela 4. 5-minutowe narażenie na częstotliwość w zakresie 10–60 Hz (przyrost co 2 Hz) plus 2 h ekspozycji przy maksymalnym rezonansie lub przy 60 Hz, jeżeli nie zaobserwowano rezonansu  | Patrz tabela 4. 5-minutowe narażenie na częstotliwość w zakresie 10–60 Hz (przyrost co 2 Hz) plus 2 h ekspozycji przy maksymalnym rezonansie lub przy 60 Hz, jeżeli nie zaobserwowano rezonansu |

Tabela 3. Narażenia wewnętrzne wg [60]

Table 3. Indoor location exposures acc. to [60]

| Narażenia                                      | Kategoria II – A-1  | Kategoria II – A-2  | Kategoria II – A-3   |
|--|---|---|--|
| Stabilność termiczna, UV/<br>wysoka wilgotność | 2000 h w temp. 49°C   | 2000 h w temp. 49°C   | Zgodnie z ASTM G154 <i>Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials</i> 2000 h, lampy UVA-351, temp. 49°C                        |
| UV   | –   | –   |  |
| Wysoka wilgotność                              | 10 dni w 97–100%,<br>temp. 35±1,7°C   | 180 dni w 97–100%,<br>temp. 35±1,7°C  | 180 dni w 97–100%, temp. 35±1,7°C  |
| Erozja eoliczna                                | Zgodnie z ASTM E859 <i>Standard Test Method for Air Erosion of Sprayed Fire-Resistive Materials Applied to Structural Members</i> ,<br>szybkość 20,1 km/h | Zgodnie z ASTM E859 <i>Standard Test Method for Air Erosion of Sprayed Fire-Resistive Materials Applied to Structural Members</i> ,<br>szybkość 46,6 km/h | Zgodnie z ASTM E859 <i>Standard Test Method for Air Erosion of Sprayed Fire-Resistive Materials Applied to Structural Members</i> ,<br>szybkość 20,1 km/h                                |
| Uderzenie                                      | Spadek stalowej kuli o średnicy 31,8 mm z wysokości 3,6 m przez rurę o średnicy 50,8 mm   | Spadek stalowej kuli o średnicy 31,8 mm z wysokości 3,6 m przez rurę o średnicy 50,8 mm   | Spadek stalowej kuli o średnicy 44,5 mm z wysokości 5,2 m przez rurę o średnicy 76,2 mm  |
| Wibracje                                       | Patrz tabela 4.<br>5-minutowe narażenie na częstotliwość 10–18 Hz (przyrost częstotliwości co 2 Hz) plus 1 h narażenia na 18 Hz                           | Patrz tabela 4.<br>5-minutowe narażenie na częstotliwość 10–40 Hz (przyrost częstotliwości co 2 Hz) plus 1,5 h narażenia na 40 Hz                         | Patrz tabela 4.<br>5-minutowe narażenie na częstotliwość 10–40 Hz (przyrost częstotliwości co 2 Hz) plus 2 h przy maksymalnym rezonansie lub przy 40 Hz jeżeli nie obserwowano rezonansu |

Tabela 4. Badanie wibracji wg [60]

Table 4. Vibration exposure acc. to [60]

| Częstotliwość wibracji, Hz | Przemieszczenie, mm | Amplituda, mm |
|----------------------------|---------------------|---------------|
| 10–18                      | 1,52±0,15           | 0,76±0,08     |
| 20–38                      | 1,0±0,1             | 0,51±0,05     |
| 40–60                      | 0,51±0,05           | 0,25±0,03     |

Tabela 5. Klasyfikacje trwałości wg [61]

Table 5. Durability classifications acc. to [61]

| Typ  | Opis ekspozycji   |
|------|---|
| X    | Przeznaczony do wszystkich warunków (wewnętrzne, częściowo zewnętrzne i zewnętrzne)   |
| W/Y  | Tymczasowo całkowicie zewnętrzna przez maksimum 6 miesięcy, a następnie częściowo zewnętrzna  |
| Y    | Przeznaczony do warunków wewnętrznych i częściowo zewnętrznych. Warunki częściowo zewnętrzne obejmują temperatury poniżej zera, ale brak opadów deszczu i ograniczone narażenie na UV. (UV nie jest oceniane) |
| W/Z1 | Tymczasowo całkowicie zewnętrzna przez maksimum 6 miesięcy, a następnie wewnętrzna o dużej wilgotności  |
| W/Z2 | Tymczasowo całkowicie zewnętrzna przez maksimum 6 miesięcy, a następnie wewnętrzna o kontrolowanej atmosferze   |
| Z1   | Przeznaczony do warunków wewnętrznych o dużej wilgotności (z wyjątkiem temperatur poniżej zera)   |
| Z2   | Przeznaczony do warunków o klasach wilgotności innych niż Z1 (z wyjątkiem temperatur poniżej zera) niniejsze warunki stosuje się dla klasy 5 wilgotności wewnętrznej, zgodnie z EN ISO 13788                  |

W normie europejskiej PN-EN ISO 16623 [61] podano trochę inne kategorie dotyczące trwałości niż w UL 2431 (tabela 5).

Trwałość dla danego systemu powłokowego, składającego się z gruntu, powłoki pęczniącej i powłoki nawierzchniowej, oznacza się metodami podanymi w tabeli 6, z uwzględnieniem warunków badań z tabel 7–9. W normie tej zamieszczono tylko narażenia na warunki mokro/sucho, UV i zmiany temperatury. W odróżnieniu od UL 2431 [60] nie obejmuje ona: narażeń mechanicznych, mgły solnej, atmosfery. Postanowienia, badania i metody oceny zamieszczone w normie europejskiej [61], lub w niej powołanych, opraco-

Tabela 6. Warunki badań powłokowych systemów ogniochronnych wg [61]

Table 6. Exposure conditions fire retardant coating systems acc. to [61]

| Typ  | Badania   |
|------|---|
| X    | Narażenie na UV i wodę zgodnie z EN ISO 16474-3:2013: lampy UV 340, cykl: 5 h sucho, temp. 50°C/1 h natrysk wodą, temp. 25 °C – 28 dni (112 ciągłych cykli), a następnie na warunki opisane w tabeli 7 (B.2. w normie)  |
| Y    | Warunki opisane w tabeli 7 (B.2. w normie)  |
| W/Y  | Narażenie na UV i wodę zgodnie z EN ISO 16474-3:2013: lampy UV 340, cykl: 5 h sucho, temp. 50°C/1 h natrysk wodą, temp. 25 °C – 5 dni (20 ciągłych cykli), a następnie na warunki opisane w tabelach 7 (B.2 w normie), 8 (B.3) lub 9 (B.4) w zależności od wymaganych końcowych warunków ekspozycji |
| W/Z1 | Narażenie na UV i wodę zgodnie z EN ISO 16474-3:2013: lampy UV 340, cykl: 5 h sucho, temp. 50°C/1 h natrysk wodą, temp. 25 °C – 5 dni (20 ciągłych cykli), a następnie na warunki opisane w tabelach 7 (B.2 w normie), 8 (B.3) lub 9 (B.4) w zależności od wymaganych końcowych warunków ekspozycji |
| W/Z2 | Narażenie na UV i wodę zgodnie z EN ISO 16474-3:2013: lampy UV 340, cykl: 5 h sucho, temp. 50°C/1 h natrysk wodą, temp. 25 °C – 5 dni (20 ciągłych cykli), a następnie na warunki opisane w tabelach 7 (B.2 w normie), 8 (B.3) lub 9 (B.4) w zależności od wymaganych końcowych warunków ekspozycji |
| Z1   | Warunki opisane w tabeli 8 (B.3. w normie)  |
| Z2   | Warunki opisane w tabeli 9 (B.4. w normie)  |

wano w oparciu o zakładany okres użytkowania powłoki – w warunkach zamierzonego zastosowania – wynoszący od 10 do 25 lat, czyli w okresie „średnim” (od 7 lat do 15 lat)/„długim” (od 15 lat do 25 lat) wg [62].

Po badaniach starzeniowych powłoki poddaje się testowi ogniowemu. System powłokowy spełnia wymagania pod względem trwałości w danych warunkach eksploatacji jeśli: i) średni czas do osiągnięcia temperatury stali 500°C nie powinien być krótszy niż 85% średniego czasu osiągniętego dla identycznych płytek lub kształtowników niepoddanych narażeniu, ii) żaden pojedynczy wynik nie powinien być mniejszy niż 80% średniego czasu do osiągnięcia temperatury 500°C, dla identycznych płytek lub kształtowników niepoddanych narażeniu.

Wydaje się, że norma UL 2431 [60] jest lepszym punktem wyjścia do powiązania trwałości systemów ogniochronnych w warunkach C4–C5 z ich właściwościami ogniochronnymi niż norma europejska PN-EN ISO 16623 [61], ponieważ obejmuje większą

Tabela 7. Zewnętrzne i częściowo zewnętrzne warunki ekspozycji wg [61]

Table 7. External and semi-external exposure conditions acc. to [61]

| Dzień        | Czas                          |                               |                               |                               |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|              | 6 h                           | 6 h                           | 6 h                           | 6 h                           |
| 1 + 2        | (20 ± 3) °C;<br>(95 ± 5) % RH | (70 ± 3) °C;<br>(20 ± 5) % RH | (20 ± 3) °C;<br>(95 ± 5) % RH | (70 ± 3) °C;<br>(20 ± 5) % RH |
| 3 + 4        | (20 ± 3) °C;<br>(95 ± 5) % RH | (30 ± 3) °C;<br>(40 ± 5) % RH | (40 ± 3) °C;<br>(95 ± 5) % RH | (30 ± 3) °C;<br>(40 ± 5) % RH |
| 5 + 6 + 7    | (-20 ± 3) °C                  | (40 ± 3) °C;<br>(95 ± 5) % RH | (-20 ± 3) °C                  | (40 ± 3) °C;<br>(95 ± 5) % RH |
| 8 + 9        | (20 ± 3) °C;<br>(95 ± 5) % RH | (70 ± 3) °C;<br>(20 ± 5) % RH | (20 ± 3) °C;<br>(95 ± 5) % RH | (70 ± 3) °C;<br>(20 ± 5) % RH |
| 10 + 11      | (20 ± 3) °C;<br>(95 ± 5) % RH | (30 ± 3) °C;<br>(40 ± 5) % RH | (40 ± 3) °C;<br>(95 ± 5) % RH | (30 ± 3) °C;<br>(40 ± 5) % RH |
| 12 + 13 + 14 | (-20 ± 3) °C                  | (40 ± 3) °C;<br>(95 ± 5) % RH | (-20 ± 3) °C                  | (40 ± 3) °C;<br>(95 ± 5) % RH |

Tabela 8. Warunki wewnętrzne o dużej wilgotności wg [61]

Table 8. Internal conditions with high humidity acc. to [61]

| Cykle | Czas                          |   |
|-------|-------------------------------|---|
|       | 8 h                           | 16 h                                    |
| 21    | (40 ± 3) °C;<br>(98 ± 2) % RH | (23 ± 3) °C, komora wyłączona i otwarta |

Tabela 9. Warunki wewnętrzne o kontrolowanym środowisku wg [61]

Table 9. Internal conditions with controlled environment acc. to [61]

| Cykle | Czas                          |                               |                              |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|       | 4 h                           | 16 h                          | 4 h                          |
| 21    | (23 ± 3) °C;<br>(80 ± 5) % RH | (40 ± 3) °C;<br>(50 ± 5) % RH | (5 ± 3) °C;<br>(50 ± 5) % RH |

liczbę narażeń, które występują w różnych środowiskach i mogą wpływać na pogorszenie się ogniochronnych właściwości powłok.

## 6. Podsumowanie

Współczesne powłoki pęczniące zapewniają skuteczną ochronę konstrukcji stalowych w warunkach pożaru, ale nadal nie wykazują dostatecznej odporności na warunki zewnętrzne. Pod wpływem czynników atmosferycznych zmniejsza się zdolność powłok do pęcznienia, pogarsza struktura, stabilność i izolacyjność zwęglonej warstwy. Dzieje się tak na skutek wymywania się składników powodujących utworzenie się warstwy izolacyjnej. Rozwój w dziedzinie farb pęczniących obejmuje więc nie tylko poprawę izolacyjności i stabilności warstwy zwęglonej, ale również poprawę właściwości ochronnych powłok.

Ważnym kierunkiem badań jest modyfikacja farb pęczniących pod kątem ich odporności na warunki atmosferyczne. Pozytywne rezultaty zarówno dla farb rozpuszczalnikowych, jak i wodnych uzyskano dzięki zastosowaniu np. nanocząstek, w tym nanogliniek, ekspandowanego grafitu, płatków szklanych, jak również spoiw o większych właściwościach barierowych.

Nie ma rozwiązań normatywnych wiążących jednoznacznie trwałość ogniochronnych systemów powłokowych z ich odpornością ogniową. Częściowe rozwiązania podane są w amerykańskiej normie UL 2431 i europejskiej PN-EN ISO 16623. Należałoby rozwiązać ten problem, wprowadzając do norm wymagania, na podstawie których można określić okres trwałości systemów powłokowych w zależności od kategorii korozyjności środowiska, w którym nie pogarszają się właściwości ogniochronne powłoki pęczniące.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Ravindra G. Puri, A. S. Khanna. 2017. "Intumescent coatings: A review on recent progress". *Journal of Coatings Technology and Research* 14 : 1–20.
- [2] Hongfei Li, Zhongwu Hua, Sheng Zhanga, Xiaoyu Gua, Huajin Wang, Peng Jiang, Qian Zhao. 2015. „Effects of Titanium Dioxide on the Flammability and Char Formation of Water-Based Coatings Containing Intumescent Flame Retardants”. *Progress in Organic Coatings* 78 : 318–324.
- [3] Duquesne Sophie, Bachelet Pierre, Bellayer Séverine., Bourbigot Serge, Mertens William. 2013. "Influence of Inorganic Fillers on the Fire Protection of Intumescent Coatings". *Journal of Fire Sciences* 31 : 258–275.
- [4] Jenny Alongi, Zhidong Hanb, Serge Bourbigot. 2015. "Intumescence: Tradition versus novelty. A comprehensive review". *Progress in Polymer Sciences* 51 : 28–73.
- [5] Thirumal Mariappan. 2016. "Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: A review". *Journal of Fire Sciences* 34 : 120–163.
- [6] [Małgorzata Zubielewicz. 2009. „Powłoki pęczniące do przeciwogniowego zabezpieczenia konstrukcji stalowych". *Ochrona przed Korozją* 52 : 234–237.
- [7] Rodrigo B. R.S. Oliveira, A. L. Moreno Junior, L. C. M. Vieira. 2017. "Intumescent paint as fire protection coating". *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais* 10 : 220–243.
- [8] "On-site and off-site application of intumescent fire and corrosion protection coatings for steel structures. Guidance on selection, specifications, and use, prepared for Institute of Corrosion". *ICorr/CED/CT06 Issue 1*, November 2017.
- [9] Jenny Alongi, Zhidong Hanb, Serge Bourbigot. 2015. "Intumescence: Tradition versus novelty. A comprehensive review". *Progress in Polymer Science* 51 : 28–73.
- [10] Bourbigot Serge, Le Bras M, Bréant P, Trémillon JM, Delobel R. 1996. "Zeolites: new synergistic agents for intumescent fire retardant thermoplastic formulations – criteria for the choice of the zeolite". *Fire Materials* 20 : 145–154.
- [11] Bourbigot Serge, Samyn F, Turf T, Duquesne S. 2010. "Nanomorphology and reaction to fire of polyurethane and polyamide nanocomposites containing flame retardants". *Polymer Degradation and Stability* 95 : 320–326.
- [12] Vannier A, Duquesne S, Bourbigot S, Castrovinci A, Camino G, Delobel R. 2008. "The use of POSS as synergist in intumescent recycled poly(ethylene terephthalate)". *Polymer Degradation and Stability* 93 : 818–826.
- [13] Fontaine G., Bourbigot S., Duquesne S. 2008. "Neutralized flame retardant phosphorus agent: facile synthesis, reaction to fire in PP and synergy with zinc borate". *Polymer Degradation and Stability* 93 : 68–76.
- [14] Anna P, Marosi G, Csontos I, Bourbigot S, Le Bras M, Delobel R. 2001. "Influence of modified rheology on the efficiency of intumescent flame retardant systems". *Polymer Degradation and Stability* 74 : 423–426.
- [15] Qian Y, Wei P, Jiang P, Zhao X, Yu H. 2011. "Synthesis of a novel hybrid synergistic flame retardant and its application in PP/IFR". *Polymer Degradation and Stability* 96 : 1134–1140.
- [16] Liu Y, Wang J.S., Deng C.L., Wang D.Y, Song YP, Wang Y.Z. 2010. "The synergistic flame-retardant effect of O-MMT on the intumescent flame-retardant PP/CA/APP systems". *Polymers for Advanced Technology* 21 : 789–796.
- [17] Ren Q., Wan C., Zhang Y., Li J. 2011. „An investigation into synergistic effects of rare earth oxides on intumescent flame retardancy of polypropylene/poly (octylene-co-ethylene) blends. *Polymers for Advanced Technology* 22 : 1414–1421.
- [18] Lin M., Li B., Li Q., Li S., Zhang S. 2011. "Synergistic effect of metal oxides on the flame retardancy and thermal degradation of novel intumescent flame-retardant thermoplastic polyurethanes". *Journal of Applied Polymer Science* 121 : 1951–1960.
- [19] Wang X., Wu L., Li J. 2011. „A study on the performance of intumescent flame-retarded polypropylene with nano-ZrO<sub>2</sub>". *Journal of Fire Sciences* 29 : 227–242.
- [20] Liu Y., Zhao J., Deng C.L., Chen L., Wang D.Y., Wang Y.Z. 2011. „Flame-retardant effect of sepiolite on an intumescent flame-retardant polypropylene system". *Industrial and Engineering Chemistry Research* 50 : 2047–2054.
- [21] Bourbigot S, Duquesne S, Fontaine G, Bellayer S, Turf T, Samyn F. 2008. „Characterization and reaction to fire of polymer nanocomposites with and without conventional flame retardants". *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 486 : 325–339 (1367–1381).



- [22] Du B, Fang Z. 2011. "Effects of carbon nanotubes on the thermal stability and flame retardancy of intumescent flame-retarded polypropylene". *Polymer Degradation and Stability* 96 : 1725–1731.
- [23] Dahm D.B. 1996. "Reformulation of fire retardant coatings". *Progress in Organic Coatings* 29 : 61–71.
- [24] Yakovlev G., Kodolov V. 2000. "Intumescent fireproof coating based on water glass". *International Journal of Polymeric Materials* 41 : 107–115.
- [25] "Smart fire-retardant coatings based on intumescent nanocomposites". Reporting HEFEST Grant agreement ID: 222263.
- [26] Yinchun Fang, Xinhua Liua, Xuchen Tao, Intumescent flame retardant and anti-dripping of PET fabrics through layer-by-layer assembly of chitosan and ammonium polyphosphate. 2019. *Progress in Organic Coatings* 134 : 162–168.
- [27] Rao T.N., Hussain I., Eun Lee J.E., Kumar A., Koo B.H. 2019. "Enhanced Thermal Properties of Zirconia Nanoparticles and Chitosan-Based Intumescent Flame Retardant Coatings". *Applied Science* 9 : 3464.
- [28] Rao T.N., Hussain I., Koo B.H. 2020. "Enhanced thermal properties of silica nanoparticles and chitosan bio-based intumescent flame retardant Polyurethane coatings". *Materials Today: Proceedings* 27 : 369–375.
- [29] Ying Dong, Guojian Wang, Jiayun Yang. 2014. "Influences of silicone emulsion on fire protection of waterborne intumescent fire-resistive coating". *Journal of Coatings Technology and Research* 11 : 231–237.
- [30] Gardelle B., Duquesne S., Rerat V., Bourbigot S. 2013. "Thermal Degradation and Fire Performance of Intumescent Silicone-Based Coatings". *Polymers for Advanced Technology* , 24 : 62–69.
- [31] Gardelle B., Duquesne S., Vandereecken P., Bourbigot S. 2013. "Characterization of the carbonization process of expandable graphite/silicone formulations in a simulated fire". *Polymer Degradation and Stability* 98 : 1052–1063.
- [32] Maria Zielecka, Anna Rabajczyk, Krzysztof Cygańczuk, Łukasz Pastuszka, Leszek Jurecki. 2020. „Silicone Resin-Based Intumescent Paints”. *Materials* 13 : 4785.
- [33] Xiaochun Hua, Xiaojun Zhu, Zhiqiang Sun. 2020. "Fireproof performance of the intumescent fire retardant coatings with layered double hydroxides additives". *Construction and Building Materials* 256 : 119445.
- [34] M. Zia-ul-Mustafa, Faiz Ahmada, Sami Ullah, Norlaili Amir, Qandeel Fatima Gillani. 2017. "Thermal and pyrolysis analysis of minerals reinforced intumescent fire retardant coating". *Progress in Organic Coatings* 102 : 201–216.
- [35] Guojian Wang, Jiayun Yang. 2011. "Influences of glass flakes on fire protection and water resistance of waterborne intumescent fire resistive coating for steel structure". *Progress in Organic Coatings* 70 : 150–156.
- [36] J. F. Marques, A. F. Baldissera, M. R. Silveira, A. C. Dornelles, C. A. Ferreira. 2021. Performance of phosphorylated tannin-based intumescent coatings in passive fire protection. *Journal of Coatings Technology and Research* 18 : 899–910.
- [37] Ming Chian Yew, N.H. Ramli Sulong. 2012. "Fire-resistive performance of intumescent flame-retardant coatings for steel". *Materials and Design* 34 : 719–724.
- [38] A. Fream, C. Baude, M. Secher. 2018. "New Water-based Binder for Durable Thin Film Intumescent Coatings". American Coatings CONFERENCE, April 9–11, Indianapolis, IN. CoatingsTech, Vol. 14, No. 7 July 2018.
- [39] Sami Ullah, Faiz Ahmad, A.M. Shariff, M. Rafi Raza, Patrick J. Masset. 2017. "The role of multi-wall carbon nanotubes in char strength of epoxy based intumescent fire retardant coating". *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 124 : 149–160.
- [40] Sherif Elbasuney, Hosam E. Mostafa. 2015. "Synthesis and surface modification of nanophosphorous-based flame retardant agent by continuous flow hydrothermal synthesis". *Particuology* 22 : 82–88.
- [41] Andrey Ustinov, Olga Zybyna, Leonid Tanklevsky, Vasily Lebedev, Andrey Andreev. 2018. "Intumescent coatings with improved properties for high-rise construction intumescent coatings with improved properties for high-rise construction". E3S Web of Conferences 33, 02039.
- [42] Zhenyu Wang, Enhou Ha, Wei Ke. 2006. An investigation into fire protection and water resistance of intumescent nano-coatings, *Surface and Coatings Technology* 201 : 1528–1535.
- [43] Henri Vahabi, Mohammad Reza Saeb, Krzysztof Formela, José-Marie Lopez Cuesta. 2018. "Flame retardant epoxy/halloysite nanotubes nanocomposite coatings: Exploring low-concentration threshold for flammability compared to expandable graphite as superior fire retardant". *Progress in Organic Coatings* 119 : 8–12.
- [44] Hammad-Aziz, Faiz-Ahmad, M-Zia-Ul-Mustafa. 2014. "Nano Filler Reinforced Intumescent Fire Retardant Coating for Protection of Structural Steel". 2014. Proceedings of the International Civil and Infrastructure Engineering Conference.
- [45] Hu J., Li X., Gao J., Zhao Q. 2009. "UV aging characterization of epoxy varnish coated steel upon exposure to artificial weathering environment". *Materials & Design* 30 : 1542–1547.
- [46] W. C. Puspitasari, Faiz Ahmad, Sami Ullah, M. Rafi Raza, P. Hussain Yusoff, Yasmin Azmi. 2018. "The Study of Corrosion Behaviour of Intumescent Fire Retardant Coating with Structural Steel Substrate". *International Journal of Electrochemical Science* 13 : 9916 – 9930.
- [47] Birgit Östman, Angelika Voss, Andrew Hughes, Per Jostein Hovde, Ondrej Grexa. 2001. "Durability of fire retardant treated wood products at humid and exterior conditions review of literature". *Fire Materials* 25 : 95–104.
- [48] Zhenyu Wang, Enhou Han, Wei Ke. 2007. "Influence of expandable graphite on fire resistance and water resistance of flame-retardant coatings". *Corrosion Science* 49 : 2237–2253.
- [49] R. Maciulaitis, M. Grigonis, J. Malaiskiene. 2018. "The impact of the aging of intumescent fire protective coatings on fire resistance". *Fire Safety Journal* 98 : 15–23.
- [50] T.A. Roberts, L.C. Shirvill, K. Waterton, I. Buckland. 2010. "Fire resistance of passive fire protection coatings after long-term weathering". *Process Safety and Environmental Protection* 88 : 1–19.
- [51] A. Bilotta, D. Silva, E. Nigro. 2016. "Tests on intumescent paints for fire protection of existing steel structures". *Construction and Building Materials* 121 : 410–422.
- [52] M. Jimenez, S. Bellayer, B. Revel, S. Duquesne, S. Bourbigot. 2013. "Comprehensive Study of the Influence of Different Aging Scenarios on the Fire Protective Behavior of an Epoxy Based Intumescent Coating". *Industrial & Engineering Chemistry Research* 52 : 729–743.
- [53] Ji Wang, Wen-hua Song, Miao Zhang, Zhen Chen. 2014. "Experimental Study of the Acid Corrosion Effects on an Intumescent Coating for Steel Elements". *Industrial & Engineering Chemistry Research* 53 : 11249–11258.
- [54] Sami Ullah, Faiz Ahmad, A.M. Shariff, M.A. Bustam. 2014. "Synergistic effects of kaolin clay on intumescent fire retardant coating composition for fire protection of structural steel substrate, *Polymer Degradation and Stability* 2014.08.017.
- [55] Ji Wang. 2016. "The protective effects and aging process of the topcoat of intumescent fire-retardant coatings applied to steel structures". *Journal of Coatings Technology and Research* 13 : 143–157.
- [56] Wang G., Yang J. 2011. "Influences of glass flakes on fire protection and water resistance of waterborne intumescent fire resistive coating for steel structure". *Progress in Organic Coatings* 70 : 150–156
- [57] Kelvin K. Shen. 2014. "Review of Recent Advances on the Use of Boron-based Flame Retardants" in *Polymer Green Flame Retardants*, Elsevier, 367–387.
- [58] Guojian Wang, Jiayun Yang. 2010. "Influences of binder on fire protection and anticorrosion properties of intumescent fire resistive coating for steel structure". *Surface & Coatings Technology* 204 : 1186–1192.
- [59] Andreza P. Cardoso, Stéphanie C. de Sá, Carlos H. M. Beraldo, Gelsa E. N. Hidalgo, Carlos A. Ferreira. 2020. „Intumescent coatings using epoxy, alkyd, acrylic, silicone, and silicone–epoxy hybrid resins for steel fire protection". *Journal of Coatings Technology and Research* 17:1471–1488.
- [60] UL 2431:2019 Standard for Safety – Durability of Fire Resistive Coatings and Materials.
- [61] PN-EN 16623:2015-03 *Farby i lakiery – Powłoki reaktywne do ochrony podłoża metalowych przed ogniem – Definicje, wymagania, właściwości i znakowanie.*
- [62] PN-EN ISO 12944-6:2018-03 *Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Część 6: Laboratoryjne metody badań właściwości.*

MARZENA NOWICKA-NOWAK

ORCID 0000-0002-1065-5049

Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, Centrum Farb i Tworzyw, Gliwice,

DOI: 10.15199/40.2021.7.2

# Zabezpieczenia ogniochronne podłoża drewnianych

## Fire protection of wooden substrate

*Od kilku lat w przemyśle drzewnym, wśród projektantów konstrukcji i elementów drewnianych, w tym także w meblarstwie, możemy obserwować nowe trendy silnie związane z ekologią. Klienci poszukują rozwiązań, które są nowoczesne, ekologiczne i zachowują naturalny wygląd drewna, jednocześnie zapewniając odpowiednią ochronę przeciwogniową malowanej powierzchni.*

*W ostatnim czasie coraz większą popularnością cieszą się lakiery wodorozcieńczalne do drewna, mające opinię najbardziej ekologicznych. W pracy podjęto badania nad otrzymaniem wodorozcieńczalnych wyrobów lakierowych, które z jednej strony umożliwiłyby doskonałą ochronę podłoża drewnianego, ale z drugiej zapewniłyby jego ochronę przeciwogniową.*

*Słowa kluczowe: powłoki lakierowe na drewno, lakiery wodorozcieńczalne, ochrona przeciwogniowa, wyroby trudnopalne*

*For several years now, in the wood industry, among designers of structures and wooden elements, including furniture, we have been observing new trends strongly related to ecology. Customers are looking for modern, environmentally friendly solutions that preserve the natural appearance of wood while providing appropriate fire protection to the painted surface.*

*Recently, water-based varnishes for wood, considered the most ecological, are becoming more and more popular. In this study, research has been undertaken to obtain waterborne varnish products, which on the one hand, would enable excellent protection of the wooden substrate, but on the other hand, would also ensure its fire protection.*

*Keywords: wood coatings, water-based varnishes, fireproof coatings*

### 1. Wprowadzenie

Pożar to niekontrolowany proces spalania zachodzący poza miejscem do tego przeznaczonym, przynoszący istotne straty materialne. Ogniovi towarzyszy szereg szkodliwych czynników takich jak: wysoka temperatura, dym, wybuchy, iskry czy toksyczne produkty spalania. Skutki pożaru mogą być bardzo szerokie. To przede wszystkim możliwe ofiary w ludziach, ale może nastąpić też uszkodzenie konstrukcji budowlanych, zniszczenie składowanych materiałów czy uszkodzenie urządzeń technologicznych. Stąd, mimo wielu lat rozwoju technologii przeciwogniowych, nadal prowadzone są prace w zakresie ochrony budynków i ich wyposażenia

przed skutkami pożarów. Ochrona przeciwpożarowa polega więc na realizacji przedsięwzięć mających na celu ochronę życia, zdrowia, mienia lub środowiska przed pożarem, klęską żywiołową lub innym miejscowym zagrożeniem [1-2].

#### 1.1 Ocena palności materiałów

Materiały budowlane i konstrukcyjne można podzielić na niepalne i palne. Wśród materiałów palnych wyróżniamy trzy stopnie, ze względu na ich zapalność: niezapalne (I stopień palności), trudno zapalne (II stopień palności) i łatwo zapalne (III stopień palności).

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [3] precyzuje wymagania stawiane elementom budynków i stosowanym w nich wyrobom budowlanym. W zakresie bezpieczeństwa pożarowego wymagania te odnoszą się przede wszystkim do reakcji na ogień wyrobów budowlanych, rozprzestrzeniania ognia i odporności ogniowej dla elementów budowlanych.

Wymagania europejskie stosują system euroklas, klasyfikujący materiały budowlane pod względem reakcji na ogień jako klasy: A1, A2, B, C, D, E, F wraz z kryteriami dodatkowymi uwzględniającymi wydzielanie dymu oraz występowanie płonących kropli.

Do poszczególnych wymagań przypisane są znormalizowane metody badań. W przypadku badań reakcji na ogień wyrobów budowlanych podstawę klasyfikacji stanowi norma [4].

W załączniku nr 3 do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [3] określono relacje pomiędzy dotychczasową klasyfikacją opisową (niepalny, niezapalny, trudno zapalny, łatwo zapalny, niekapiący, samogasnący, intensywnie dymiący).

#### 1.2 Badania palności

Metody badań umożliwiające określenie klasy reakcji na ogień wyrobów budowlanych, symulują warunki rozwoju pożaru w pomieszczeniu, który może się rozwinąć i ewentualnie osiągnąć rozgorzenie. Scenariusz ten obejmuje następujące sytuacje rozwoju pożaru:

– Pierwszy etap – zapoczątkowanie pożaru na skutek zapalenia się wyrobu od małego płomienia, na ograniczonej powierzchni wyrobu.

dr inż. Marzena Nowicka Nowak jest absolwentką Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej. Stopień doktora nauk technicznych uzyskała na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej. Jest wieloletnim pracownikiem naukowym Sieci Badawczej Łukasiewicz - Instytutu Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, Centrum Farb i Tworzyw w Gliwicach, zatrudniona w Grupie Badawczej Farb i Tworzyw na stanowisku Głównego Specjalisty. W swoim dorobku ma wiele prac badawczych, wykonanych ekspertyz i opinii, w tym sądowych z zakresu związanego z tematyką wyrobów lakierowych. Do zainteresowań zawodowych należą: technologia cynkowania zanurzeniowego, ochrona konstrukcji stalowych przed korozją, badania wyrobów lakierowych także ogniochronnych przeznaczonych na różne podłoża w tym stalowe, ocynkowane, czy drewniane.

■ Otrzymano / Received: 1.06.2021. Przyjęto / Accepted: 30.06.2021

**Tabela 1. Cechy palności stosowane w rozporządzeniu a klasy reakcji na ogień według [4]****Table 1. Flammability characteristics used in the Regulation and classes of reaction to fire according to [4]**

| Cechy palności stosowane w rozporządzeniu |                     | Klasy reakcji na ogień   |   |
|---|---------------------|--|---|
| Podstawowe                                | niepalne            | A1;<br>A2-s1, d0; A2-s2, d0; A2-s3, d0;  |   |
|   | palne               | niezapalne   | A2-s1, d1; A2-s2, d1; A2-s3, d1;<br>A2-s1, d2; A2-s2, d2; A2-s3, d2;<br>B-s1, d0; B-s2, d0; B-s3, d0;<br>B-s1, d1; B-s2, d1; B-s3, d1;<br>B-s1, d2; B-s2, d2; B-s3, d2; |
|   |                     | trudno zapalne   | C-s1, d0; C-s2, d0; C-s3, d0;<br>C-s1, d1; C-s2, d1; C-s3, d1;<br>C-s1, d2; C-s2, d2; C-s3, d2;<br>D-s1, d0; D-s1, d1; D-s1, d2;  |
|   |                     | łatwo zapalne  | D-s2, d0; D-s3, d0;<br>D-s2, d1; D-s3, d1;<br>D-s2, d2; D-s3, d2;<br>E-d2; E;   |
| Dodatkowe                                 | niekapiące          | A1;<br>A2-s1, d0; A2-s2, d0; A2-s3, d0;<br>B-s1, d0; B-s2, d0; B-s3, d0;<br>C-s1, d0; C-s2, d0; C-s3, d0;<br>D-s1, d0; D-s2, d0; D-s3, d0;           |   |
|   | samogasnące         | co najmniej E  |   |
|   | intensywnie dymiące | A2-s3, d0; A2-s3, d1; A2-s3, d2;<br>B-s3, d0; B-s3, d1; B-s3, d2;<br>C-s3, d0; C-s3, d1; C-s3, d2;<br>D-s3, d0; D-s3, d1; D-s3, d2;<br>E; E-d2;<br>F |   |

**Tabela 2. Cechy palności stosowane w rozporządzeniu a klasy reakcji na ogień według [4] (dla posadzek, w tym wykładzin podłogowych)****Table 2. Flammability characteristics used in the regulation and reaction to fire classes according to [4] (for floorings, including floor coverings)**

| Określenia dotyczące palności stosowane w rozporządzeniu | Klasy reakcji na ogień dla posadzek, w tym wykładzin podłogowych |
|--|--|
| Niepalne   | A1fl; A2fl-s1; A2fl-s2   |
| Trudno zapalne   | Bfl-s1; Bfl-s2; Cfl-s1; Cfl-s2                                   |
| Łatwo zapalne  | Dfl-s1; Dfl-s2; Efl; Ffl   |
| Intensywnie dymiące                                      | A2fl-s2; Bfl-s2; Cfl-s2; Dfl-s2; Efl; Ffl                        |

Objaśnienia:

\* Symbole s1, s2, s3 umieszczone przy euroklasach od A2 do D jest to klasyfikacja ze względu na wytwarzanie dymu, która wskazuje jak szybko i jak dużo dymu wydziela spalający się wyrób: s1 – mało, s2 – średnio, s3 – dużo.

\* Symbole d0, d1 lub d2 umieszczone przy euroklasach od A2 do E jest to klasyfikacja ze względu na wytwarzanie płonących kropli i cząstek, która wskazuje, czy i ile płonących kropli i cząstek wydziela spalający się wyrób: d0 – wcale, d1 – średnio, d2 – dużo.

Większość znormalizowanych metod badawczych, które znalazły zastosowanie w nowym systemie klasyfikacji wyrobów budowlanych to znane od wielu lat metody ISO. Metodą opracowaną specjalnie na potrzeby nowej klasyfikacji jest norma [5] dotycząca badania reakcji na ogień pojedynczego płonącego przedmiotu, tzw. SBI.

– Drugi etap – odpowiada scenariuszowi rozwoju pożaru w pomieszczeniu, w którym może powstać zjawisko rozgorzenia. Scenariusz ten odzwierciedla proces spalania pojedynczego płonącego przedmiotu w narożu pomieszczenia, który oddziałuje na przyległe powierzchnie. W przypadku posadzek pożar rozwija się w pomieszczeniu, w którym powstał, wytwarzając strumień ciepła, który przez otwarte drzwi oddziałuje na posadzki sąsiedniego pomieszczenia lub korytarza.

– Trzeci etap – symuluje warunki cieplno-przepływowe istniejące w pożarze po rozgorzeniu – wszystkie palne wyroby mają udział w zwiększaniu mocy pożaru [6].

W związku z powyższym badania reakcji na ogień wyrobów i materiałów wykonywane są z użyciem źródeł ognia charakterystycznych dla początkowych „etapów” fazy wzrostu pożaru. Celem tych metod jest ocena udziału wyrobów i materiałów we wczesnych stadiach pożaru pod względem takich czynników jak:

- zapalność,
- rozprzestrzenienie ognia,
- wydzielanie ciepła,
- wytwarzanie dymu.

Żadne zabezpieczenie materiałów palnych nie może zmienić ich w materiały niepalne, w związku z czym drewno i materiały drewnopochodne (np. sklejka, płyty wiórowe, płyty OSB, płyty MDF, płyty HDF surowe i uszlachetnione itp.) nie poddane procesowi uniepalnienia, nawet zabezpieczone środkami ogniochronnymi, pozostają nadal materiałami palnymi. Drewno i materiały drewnopochodne są sklasyfikowane jako materiały klasy „D” wg normy PN-EN 13501-1, czyli jako materiały łatwo zapalne, silnie rozprzestrzeniające ogień. Można jednak obniżyć stopień zapalności drewna, to jest przedłużyć czas potrzebny do zapalenia lub samozapalenia.

### 1.3 Przyczyny i przebieg procesów termicznego rozkładu drewna

W wysokiej temperaturze zachodzi termiczny rozkład drewna – w środowisku utleniającym jest to spalanie, natomiast w środowisku beztlenowym lub ubogim w tlen zachodzi piroliza.

Główną przyczyną zapłonu drewna i materiałów drewnopodobnych jest wydzielanie się gazów pod wpływem nagrzania. Mogą się one zapalać od płomienia zewnętrznego lub samorzutnie. Termiczny rozkład drewna zaczyna się przy 105°C, a długotrwałe działanie wysokiej temperatury powoduje zwęglenie się drewna i wydzielanie gazów palnych, takich jak wodór, metan, etan. Im wyższa temperatura tym większa jest intensywność rozkładu drewna oraz wydzielania się więcej gazów palnych. W temperaturze 110-115°C drewno żółknie, kiedy temperatura wzrasta do 150-200°C brązowieje i zaczyna się zwęglać, przy czym do 270°C proces rozkładu drewna przebiega z pochłanianiem ciepła z zewnątrz. Z chwilą osiągnięcia punktu zapłonu drewno przestaje pobierać ciepło i zaczyna go wydzielać. Dla większości gatunków drewna temperatura zapłonu, czyli temperatura, przy której drewno zapala się wynosi 250-300°C. Do tej temperatury termiczny rozkład drewna zachodzi stosunkowo wolno, jednak po zapaleniu temperatura szybko wzrasta do 500-550°C i drewno pali się już samorzutnie, bez dostarczania ciepła z zewnątrz. Temperatura samozapłonu drewna (bez udziału zewnętrznego płomienia lub iskry) wynosi od 310-450°C [7].

Właściwości cieplne drewna i palność drewna wyrażane są następującymi parametrami [8]:

- **temperatura zapłonu**, przy której ulatniające się z drewna palne gazy zapalają się od impulsu zewnętrznego i dalej palą się samorzutnie;
- **temperatura samozapłonu**, przy której następuje samorzutne zapalenie się gazów uwalnianych się z drewna;
- **szybkość palenia**, czyli ubytek masy spalanego w jednostce czasu, wyrażany w procentach masy początkowej;
- **ciepło spalania**, czyli ilość ciepła wyrażonego w kaloriach, wydzielająca się przy całkowitym spalaniu 1 g drewna.

Temperatura zapłonu i czas zapłonu drewna zależą od gatunku drewna (znaczenie ma gęstość drewna), jego wilgotności i warunków ogrzewania.

### 1.4 Stosowanie powierzchniowych środków ochrony drewna

Prawo budowlane nakazuje stosowanie w budownictwie materiałów budowlanych, które nie przyczyniają się do rozwoju pożaru. W przypadku drewna i materiałów drewnopochodnych, zgodnie



z przepisami, konieczne jest doprowadzenie do stopnia trudnozapalności lub niezapalności. Efekt taki możemy uzyskać przez stosowanie środków ochrony drewna i materiałów drewnopochodnych przed ogniem.

Działanie systemów ogniochronnych polega na [9]:

- tworzeniu powłok utrudniających dostęp tlenu do ogrzewanej powierzchni i ograniczeniu emisji palnych produktów z podłoża
- wydzielaniu niepalnych gazów (takich jak: para wodna, dwutlenek węgla, amoniak, dwutlenek siarki czy chlorowódor), rozcieńczających palne gazy, wydzielające się z ulegającego rozkładowi termicznemu materiału
- obniżaniu temperatury rozkładu, co powoduje zmniejszenie wydzielania się palnych gazów i smół przy równocześnie szybszym tworzeniu się ochronnej warstwy węgla drzewnego i wydzielaniu się pary wodnej
- powstaniu łańcuchowych reakcji wolnorodnikowych przez reakcję z rodnikami halogenowymi, prowadzących do powstawania bardziej stabilnych układów
- ukierunkowaniu procesu rozkładu w stronę karbonizacji.

Zadaniem powierzchniowych środków ogniochronnych obniżających stopień palności drewna i wyrobów drewnopochodnych jest opóźnianie momentu zapalenia się drewna, zmniejszanie szybkości powierzchniowego rozprzestrzeniania się płomienia oraz zmniejszanie intensywności spalania się materiałów łatwo zapalnych poprzez zwiększenie szybkości wytwarzania ochronnej warstwy węgla drzewnego [10].

W powierzchniowej ochronie drewna najlepiej sprawdzają się powłokowe systemy pęczniące, ale także powłoki ablacyjne i wyroby niepęczniące.

Wymagania jakie stawia się materiałom zabezpieczającym drewno przed ogniem to m.in. reakcja ogniochronna już w niskich temperaturach rzędu 180°C, odporność na wydzielające się gazy, a przy tym zapewnienie odpowiednich właściwości ochronno-dekoracyjnych. W większości przypadków wyroby lakierowe na drewno powinny być transparentne, mieć estetyczny wygląd, odpowiednią twardość, odporność na zarysowanie, odporność na wodę, inne ciecze, ale także powinny dać łatwo aplikować się na podłożu metodami stosowanymi w przemyśle lakierniczym.

W praktyce bardzo trudno jest opracować lakier ogniochronny o wysokiej skuteczności działania, łatwości aplikacji, o bardzo dobrych parametrach ochronnych. Lakiery tworzące powłoki o dobrych parametrach użytkowych wykazują zazwyczaj słabą skuteczność ogniochronną. Wyroby lakierowe ogniochronne, to najczęściej wyroby pęczniące, dość trudne w aplikacji, a dodatkowo ich parametry techniczne są często słabsze od parametrów typowych lakierów do drewna [11].

W niniejszej pracy podjęto badania nad otrzymaniem wodorocieńczalnych wyrobów lakierowych, które z jednej strony umożliwiłyby ochronę podłoża drewnianego przed działaniem ognia, ale z drugiej strony charakteryzowały się typowym dla tego typu wyrobów zużyciem podczas malowania i możliwie krótkim czasem schnięcia.

## 2. Część doświadczalna

### 2.1 Przygotowanie próbek do badań

Przedmiotem prac badawczych było opracowanie receptur wodorocieńczalnych lakierów przeznaczonych do zabezpieczania podłoża drewnopochodnego przed działaniem ognia. W celu otrzymania optymalnych właściwości ogniochronnych i mechanicznych wytwarzanych lakierów bardzo ważną rolę odgrywał dobór odpowiedniej kompozycji spoiwowej, środków pomocniczych i środków uniepalniających. Uwzględniając współczesne wymagania proekologiczne, zamieszczone w dyrektywie europejskiej o ograni-

czaniu emisji lotnych substancji organicznych [12] zostały podjęte prace nad wyrobami wodorocieńczalnymi.

Jako substancje uniepalniające do prób stosowano środki opóźniające zapalenie, hamujące rozprzestrzenianie się ognia i redukujące wydzielanie się szkodliwych gazów podczas spalania. Próby powadzone były ze związkami organicznymi zawierającymi m.in. fosfor (pochodne kwasu fosforowego – polifosforany amonowe), związkami wielowodorotlenowymi (pochodne erytrytu), ale także z uniepalniaczami nieorganicznymi: wodorotlenkami glinu i magnezu [13,14].

Próbki do badań stanowiły lakiery składające się z wodnej dyspersji akrylowej oznaczone jako LT i lakiery otrzymane na bazie modyfikowanego poliuretanu alifatycznego oznaczone 1K LT. Do lakierów dodawano mieszanki uniepalniające uzyskane na bazie retardantów mineralnych RM oraz mieszanki na bazie retardantów fosforanowych RF.

Stanowisko do przygotowywania past i lakierów było wyposażone w mieszalnik umożliwiający rozcieranie surowców sypkich w ośrodku wodnym oraz szkło laboratoryjne typowe do otrzymywania systemów powłokowych.

### 2.2 Metody badań

Do badań przygotowano wyroby na bazie wodnych dyspersji polimerowych używanych do produkcji wyrobów lakierowych przeznaczonych do ochrony podłoża drewnianych opartych na żywicach akrylowych i poliuretanowych. W badaniach właściwości ciekłych wyrobów i powłok lakierowych stosowano odpowiednie metody, zgodne z obowiązującymi normami:

- oznaczenie czasu wypływu [15],
- oznaczenie czasu schnięcia [16,17],
- oznaczenie twardości powłok [18].

Powłoki lakierów nakładano na płytki drewniane i z płyty OSB o wymiarach 100x200x15 mm i odpowiednio sezonowano przed badaniami.

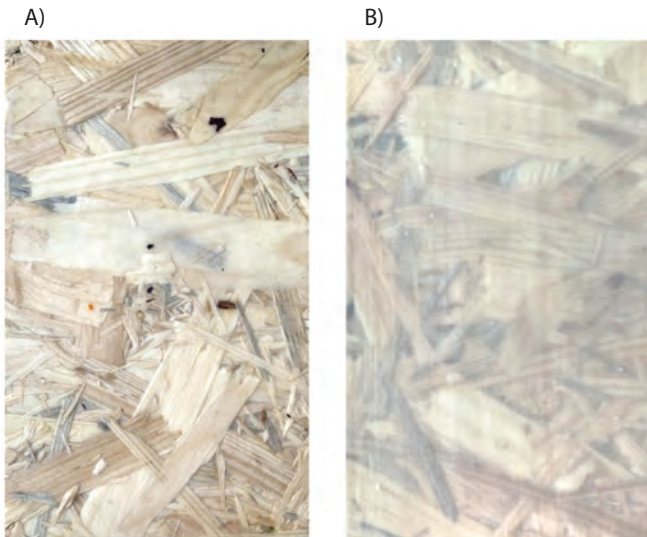
Metodykę oznaczania odporności na działanie otwartego ognia opracowano na podstawie normy dotyczącej badania reakcji na ogień [19] oraz wytycznych według normy UL 94 V-0 [20] dla powłok otrzymanych na podłożu z drewna sosnowego.

Warunki badania dobrano tak, aby jak najlepiej odpowiadały wymaganiom postawionym powłokom lakierowym tj. uzyskanie maksymalnie długiego czasu odporności na działanie ognia. Próbkę były poddawane działaniu kontrolowanego płomienia przez 10 sekund. Następnie płomień usuwano i sprawdzano, czy próbka uległa zapaleniu, następnie próbkę natychmiast poddawano kolejnemu 10 sekundowemu okresowi zapalenia. Badania prowadzono przez ustalony okres czasu, od 240 s do 480 s.

## 3. Omówienie wyników badań

W czasie przygotowywania mieszanek uniepalniających napotkano wiele trudności w próbach wprowadzenia dostępnych retardantów mineralnych do wyrobów lakierowych. Użyte środki są związkami nieorganicznymi, które tradycyjnie znajdują zastosowanie w uniepalnianiu tworzyw sztucznych. W pracy podjęto próby otrzymania past uniepalniających w sposób analogiczny do przygotowania past pigmentowych, jednak z uwagą na specyfikę użytych surowców próby te po wprowadzeniu do wyroby lakierowego nie pozwoliły na uzyskanie wyrobów o zadawalających właściwościach. Dodatek pasty na bazie retardantów mineralnych RM powodował wytrącanie się osadu i destrukcję spoiwa. Zastosowane wodorotlenki powodowały rozkład żywicy i wytrącanie się osadów zwartych i kłaczkowatych.

W związku z zaistniałymi trudnościami w zastosowaniu retardantów mineralnych do lakierów podjęto prace nad otrzymaniem wyrobów lakierowych z wykorzystaniem retardantów polifosfora-



Rys. 1. Wygląd powłok otrzymanych lakierów A) LT FR B) 1K LT FR  
Fig. 1. Appearance of the coatings of the varnishes obtained A) LT FR B) 1K LT FR

nowych z dodatkiem alkoholu wielowodorotlenowego jakim jest pentaerytryt. Lakiery zarówno akrylowe jak i poliuretanowe zmieszane z pastą na bazie retardantów fosforanowych RF były jednolite, dlatego sporządzono z nich powłoki lakierowe, które zostały przeznaczone do badania palności.

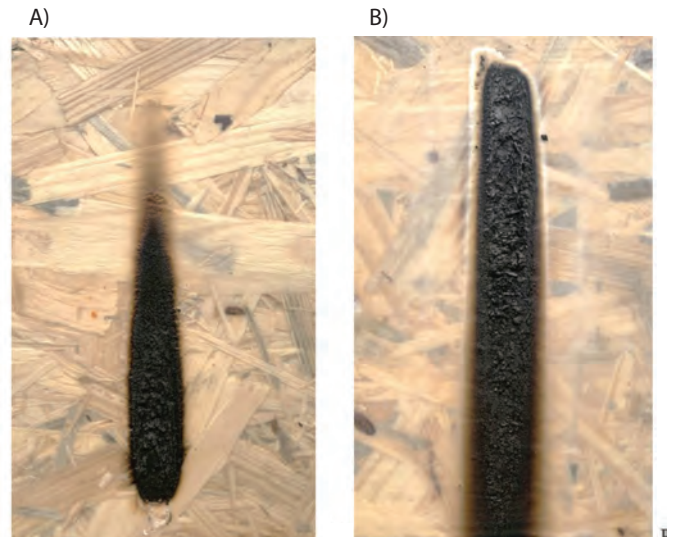
Otrzymane lakiery dawały powłoki transparentne lub lekko satynowe, mleczne (Rys. 1).

Badane powłoki lakierów akrylowych i poliuretanowych bez dodatku retardantów i z dodatkiem retardantów polifosforanowych RF charakteryzowały się bardzo dobrą przyczepnością do podłoża drewnianego i z płyty typu OSB. Lakiery miały bardzo krótkie czasy schnięcia (Tabela 3).

Teoretyczne zużycie dla pojedynczej warstwy wyrobów wodorozcieńczalnych naniesionej na drewno i płytę typu OSB wynosiło 150-300 g/m<sup>2</sup>.

Oporność badanych powłok na ciągłe i nieprzerwane działanie otwartego ognia była w zakresie od 15 do 480 s. W badaniach nie stwierdzono dymienia i kapania płonących kropli czy cząstek materiału oddzielającego się od próbki w trakcie badania ogniowego (Tabela 4).

Powłoki otrzymanych lakierów wodorozcieńczalnych zarówno akrylowych jak i poliuretanowych z dodatkiem pasty na bazie retardantów fosforanowych charakteryzowały się bardzo dobrą od-



Rys. 2. Wygląd powłok po 480 s działania otwartego ognia na powłoki A) LT FR B) 1K LT FR

Fig. 2. Appearance of coatings after 480 s of exposure to open flame A) LT FR B) 1K LT FR

pornością na bezpośrednie działanie otwartego ognia. Powłoki nie ulegały zapaleniu, mięknieniu, dodatkowo chroniły podłoże przed nagrzewaniem. Wygląd powłok po badaniu palności przedstawiono na rys. 2.

Zastosowany układ środków uniepalniających pozwolił na otrzymanie transparentnych powłok lakierowych zarówno w lakierach akrylowych jak i poliuretanowych, odznaczających się bardzo dobrymi właściwościami w zakresie ochrony wyrobów drewnopochodnych i drewnianych przed działaniem ognia.

#### 4. Podsumowanie

Główną przyczyną palenia się drewna i materiałów drewnopodobnych jest wydzielanie się gazów pod wpływem nagrzania. Mogą się one zapalać od płomienia zewnętrznego lub samorzutnie.

Zadaniem powierzchniowych środków ogniochronnych obniżających stopień palności drewna i wyrobów drewnopochodnych jest:

- opóźnianie momentu zapalenia się materiału,
- redukcja szybkości powierzchniowego rozprzestrzeniania się płomieni,
- redukcja intensywności spalania się materiałów łatwo zapalnych.

W pracy udało się otrzymać ekologiczne, wodorozcieńczalne, transparentne wyroby lakierowe do ochrony podłoża drewnianych i drewnopochodnych przed działaniem ognia. Wyroby w warunkach

Tabela 3. Właściwości fizyko-mechaniczne lakierów trudnopalnych  
Table 3. Physical and mechanical properties of fireproof varnishes

| Wyrób lakierowy | Lepkość [s] | Twardość 7 dni | Stopień                                   | Czas wysychania              |
|-----------------|-------------|----------------|---|------------------------------|
| LT              | 25          | 135            | I stopień<br>IV stopień<br>VI/VII stopień | 17 min<br>40 min<br>24 godz. |
| 1K LT           | 28          | 195            | I stopień<br>IV stopień<br>VI/VII stopień | 18 min<br>35 min<br>24 godz. |
| LT FR           | 31          | 115            | I stopień<br>IV stopień<br>VI/VII stopień | 25 min<br>45 min<br>24 godz. |
| 1K LT FR        | 35          | 145            | I stopień<br>IV stopień<br>VI/VII stopień | 25 min<br>40 min<br>24 godz. |

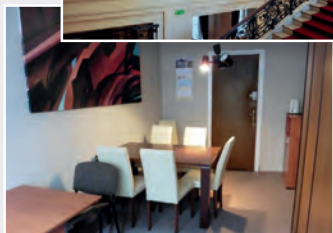
Tabela 4. Właściwości ogniochronne powłok lakierów trudnopalnych  
Table 4. Fire behaviour of coatings

| Wyrób lakierowy | Czas palenia [s] | Opis  |
|-----------------|------------------|---|
| LT              | 15               | Powłoka ulega zapaleniu   |
| 1K LT           | 10               | Powłoka ulega zapaleniu   |
| LT FR           | 480              | Powłoka nie ulega zapaleniu, powstaje zwęglona, szklista powierzchnia, brak dymu, brak spadających kropli |
| 1K LT FR        | 480              | Powłoka nie ulega zapaleniu, powstaje zwęglona, szklista powierzchnia, brak dymu, brak spadających kropli |

laboratoryjnych prób ogniowych odznaczały się długim czasem odporności na bezpośrednie działanie ognia, nie dymiły podczas palenia i nie odnotowano kapiących kropli materiału, które mogą doprowadzić do rozprzestrzeniania ognia w warunkach pożaru.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Witczak Damian. 2015. „Pojęcie pożaru w świetle obowiązujących przepisów prawnych, nauki prawa i orzecznictwa”. Zeszyty Naukowe SGSP 53 (1) : 127-144.
- [2] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej. Dz.U.2021.869
- [3] Rozporządzenie ministra infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. Nr 75, poz. 690, z późn. Zmianami
- [4] PN-EN 13501-1+A1:2010 „Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków – Część 1: Klasyfikacja na podstawie badań reakcji na ogień”
- [5] PN-EN 13823:2020-11 „Badania reakcji na ogień wyrobów budowlanych - Wyroby budowlane, z wyłączeniem podłogowych, poddane oddziaływaniu termicznemu pojedynczego płonącego przedmiotu”
- [6] Lowden Laura Anne, Hull Terence Richard. 2013. „Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction”. Fire Science Reviews 2:4 1-19
- [7] Kim Hee-Soo, Kim Sumin, Kim Hyun Joong, Yang Han Seung. 2006. „Thermal properties of bio-flour-filled polyolefin composites with different compatibilizing agent type and content”. Thermochim Acta 451:181-188
- [8] Zachar Martin, Majlingová Andrea, Šišulák Stanislav, Baksa Ján. 2017. „Comparison of the activation energy required for spontaneous ignition and flash point of the norway spruce wood and thermowood specimens”. Acta Facultatis Xylogiae Zvolen, 59(2) : 79-90
- [9] Nowicka-Nowak Marzena. 2007. „Powłokowe systemy ogniochronne”. Chemik, 60, (9) : 430-434
- [10] Nagrodzka Monika, Małozieć Daniel. 2011. „Impregnacja drewna środkami ognioochronnymi”. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, 3 : 69-75
- [11] Ma Zhiling, Wang Jiangjiang, Chen Shu, Li Xiaoying, Ma Haiyun. 2012. „Synthesis and characterization of water borne intumescent fire retardant varnish based on phosphate resin acid cold cured amino resin”. Progress in Organic Coatings 74 : 608- 614
- [12] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola)
- [13] Puri Ravindra, Khanna A. S. 2017. „Intumescent coatings: A review on recent progres”. Journal of Coatings Technology and Research vol. 14 : 1-20
- [14] Weil Edward D. 2011. „Fire-Protective and Flame-Retardant Coatings – A State-of-the-Art Review”. Journal of Fire Sciences, vol. 29 : 259-296
- [15] PN-EN ISO 2431:2019 „Farby i lakiery. Oznaczenie czasu wypływu za pomocą kubków wypływowych”
- [16] PN-EN ISO 1517 „Farby i lakiery. Badanie schnięcia powierzchniowego - Metoda schnięcia powierzchniowego”
- [17] PN-C-81514:1979 „Wyroby lakierowe. Sposoby otrzymywania powłok do badań”
- [18] PN-EN ISO 1522:2008 „Farby i lakiery - Badanie metodą tłumienia wahała”
- [19] PN-EN ISO 11925-2:2020 Badania reakcji na ogień. Zapalność materiałów poddawanych bezpośredniemu działaniu płomienia. Część 2: Badania przy działaniu pojedynczego płomienia
- [20] UL 94 V-0 Palność Wertykalna (The Standard for Safety of Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances testing)



## Warszawski Dom Technika

Klimatyczne wnętrza w samym sercu Warszawy



*Nie ma na co czekać,  
rezerwuj już teraz!*

### WYNAJEM SAL

tel. 729 052 512

### WYNAJEM POWIERZCHNI BIUROWEJ

tel. 729 052 516

6 klimatyzowanych, w pełni wyposażonych sal mogących pomieścić od 15 do 400 osób. Doświadczony zespół pomoże, doradzi, zorganizuje, każde wydarzenie w reżimie sanitarnym.

[www.wdtnot.pl](http://www.wdtnot.pl)



We protect and  
beautify the world™

**Ekonomiczne**

ul. Łużycka 8A  
81-537 Gdynia  
tel. 58 774 99 00  
fax 58 774 99 01  
[customers@ppg.com](mailto:customers@ppg.com)



ŁUKASZ RADOSIŃSKI  
 ROMAN HAVRILIV  
 ALEKSANDRA PORĘBSKA  
 MACIEJ ROSIŃSKI

Novasell sp. z o. o., Wrocław

# Metody kontroli formulacji i właściwości użytkowych ogniochronnych farb pęczniejących

## 1. Wstęp

W pożarze rozwinięty konstrukcja stalowa już po kilku minutach traci nośność ogniową R, tzn. zdolność konstrukcji do przeniesienia obciążenia bez utraty właściwości nośnych. Utrzymanie wymaganej nośności stali w przypadku powstania pożaru możemy uzyskać przez zabezpieczenie jej farbami pęczniejącymi, płytami ogniochronnymi bądź też metodą natryskową.

Badanie parametrów materiałów izolacyjnych, w szczególności nośności ogniowej, odbywa się przez spalenie elementów chronionych wraz z izolacją w specjalnych piecach do badań ogniowych [1]. Metodyka badania jest opisana w normach PN-EN 13381-8:2013-09. W przypadku pożaru, którego głównym źródłem paliwa jest celuloza, zakłada się przyrost temperatury otoczenia zgodnie z określoną krzywą, tzw. krzywą celulozową (rys. 1). Jak wynika z rysunku przyrost temperatury jest szybki i temperatura 800°C jest osiągnięta już po 20 minutach. W pełni obciążona belka przy czterostronnym oddziaływaniu ognia traci swoje właściwości nośne (w zależności od stopnia wyętwienia elementu) już przy ok. 550°C, tzn. po ok. 15 minutach, zaś przy trójstronnym przy 620°C. Celem projektanta jest więc takie dobranie systemu zabezpieczenia przeciwpożarowego, aby zwłaszcza elementy nośne zachowały swoje właściwości podczas ewakuacji.

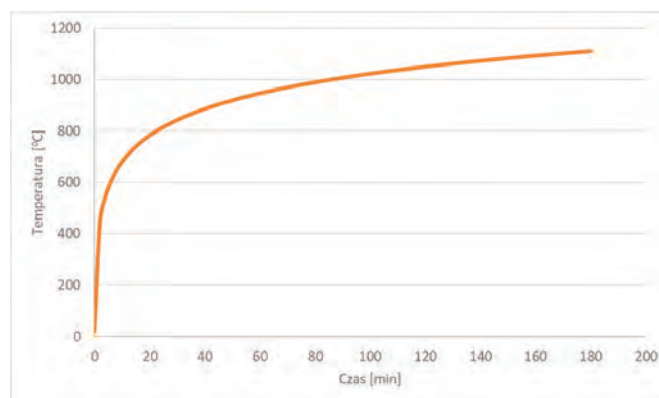
Systemy biernego zabezpieczenia ogniochronnego oprócz zapewnienia termoizolacyjności na wypadek pożaru, muszą również zapewnić ochronę przed ciągłym narażeniem na warunki środowiskowe, tzn. wilgoć, zasolenie, promieniowanie UV. W przypadku samego elementu stalowego najgroźniejszym zjawiskiem jest korozja, która powodowana jest wilgocią, a katalizowana zasoleniem.

## 2. Budowa chemiczna i mechanizm działania farby

Farby ogniochronne dzielimy zasadniczo na dwie podstawowe grupy ze względu na sposób schnięcia:

- fizyczne poprzez odparowanie rozpuszczalnika,
- chemiczne przez chemiczne sieciowanie składnika polimerowego.

Powłoka farby schnącej fizycznie powstaje przez odparowanie rozpuszczalnika i koagulację żywicy. W zależności od typu rozpuszczalnika, tzn. wody bądź rozpuszczalnika organicznego, proces schnięcia przebiega w odmiennych warunkach. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem są farby, w których stosuje się rozpuszczalniki organiczne. Do najczęściej stosowanych rozpuszczalników należą węglowodory (toluen, ksylen), alkohole, ketony (aceton) i estry (octan butylu). Podstawową zaletą farb organorozpuszczalnych jest czas schnięcia zasadniczo niezależny od warunków środowiskowych. Ze względu na zdecydowanie niższe ciepło parowania niż woda, spowodowane mniejszą polarnością, oraz nierównowagowy

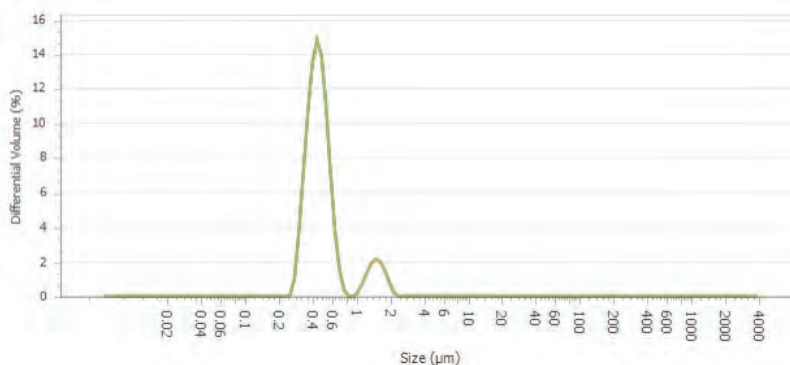
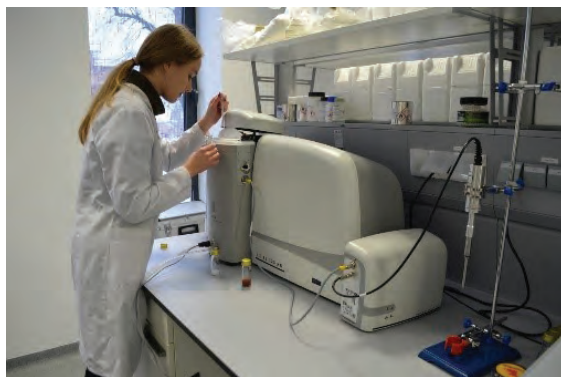


Rys. 1. Krzywa celulozowa rozwoju pożaru zgodnie z normą PN-EN 13381-8:2013-09

charakter wymiany pomiędzy błoną a środowiskiem zewnętrznym (zerowy stężenie rozpuszczalnika w atmosferze) odparowanie rozpuszczalnika organicznego jest zdecydowanie szybsze niż w przypadku farb wodorozcieńczalnych. Farby schnące chemicznie stosuje się przede wszystkim jako farby podkładowe (epoksydowe) i nawierzchniowe (poliuretanowe).

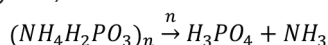
Do najczęściej stosowanych farb nawierzchniowych należą dwuskładnikowe farby poliuretanowe również utwardzane chemicznie. Głównym składnikiem są żywice poliestrowe, polieteryowe lub epoksydowe, gdzie utwardzaczem są izocyjaniary aromatyczne lub alifatyczne. Reakcja bazy z utwardzaczem doprowadza do powstania poliuretanu. Powłoki poliuretanowe mają podobną trwałość jak powłoki epoksydowe, a stosowanie utwardzaczy alifatycznych prowadzi do zwiększonej odporności na promieniowanie UV i inne czynniki atmosferyczne.

Najczęściej wykorzystywanym systemem biernego zabezpieczenia przeciwpożarowego w przypadku zabezpieczenia konstrukcji stalowej przed działaniem pożaru celulozowego są jednoskładnikowe farby pęczniejące. W wyniku dostarczenia ciepła do powłoki ulegają spęcznieniu, tworząc porowatą strukturę węglową o małej przewodności cieplnej, izolującą termicznie powierzchnię. Ze względu na swoją funkcjonalność farby pęczniejące zawierają zdecydowanie więcej składników niż np. farby antykorozyjne. Do głównych składników należą: substancja błonotwórcza (w przypadku pożaru celulozowego najczęściej żywica akrylowa), rozpuszczalnik, źródła węgla – najczęściej poliole (pentaerytrytol, dipentaerytrytol, PVA), cukry (skrobia), katalizator – sole kwasu fosforowego lub polimery tego kwasu, źródło niepalnych gazów porotwórczych – np. melamina oraz dodatki poprawiających spoiwość, właściwości reologiczne farby, estetyczne (środki tiksotropujące, środki usztywniające strukturę, biel tytanowa).

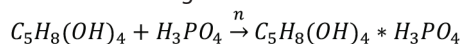


Rys. 2. Po lewej – analizator wielkości cząstek Beckman Coulter LS 13 320 przy pracy w laboratorium Novasell; po prawej – wynik analizy DF dla nanocząstek tlenku krzemu; maksimum wokół 1,5  $\mu\text{m}$  wskazuje na obecność aglomeratów wymagających dalszej obróbki

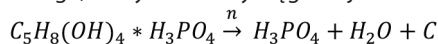
Prześledźmy przebieg tego procesu na przykładzie pentaerytrytolu, polifosforanu amonu, melaminy i bieli tytanowej ( $\text{TiO}_2$ ) [1,2]. Wraz z rozwojem akcji pożarowej temperatura na zewnątrz powłoki rośnie. Gdy temperatura przekroczy  $215^\circ\text{C}$  następuje rozkład polifosforanu amonu do kwasu fosforowego i amoniaku według poniższego schematu (dla prostoty zapisu pomijamy współczynniki stechiometryczne):



Amoniak odgazowuje, biorąc udział w procesie spęczenia struktury. Następnie następuje estryfikacja pentaerytrytolu z udziałem kwasu fosforowego:



Reakcja ta może być katalizowana amidami lub aminami. Również w tej temperaturze następuje częściowe upłynnienie substancji błonotwórczej ułatwiające wzrost struktury. W temperaturze od ok.  $280^\circ\text{C}$  do  $350^\circ\text{C}$  następuje dekompozycja powstałego estru do kwasu fosforowego, wody i struktury węglowej:



Wydzielona woda przechodzi w stan gazu, stając się kolejnym przyczynkiem wzrostu struktury i jednocześnie odbierając ciepło. Z kolei przy  $300^\circ\text{C}$  melamina pirolizuje i w rezultacie wbudowuje się w strukturę, wydzielając przy tym amoniak i azot, które pomagają w tworzeniu wolnych przestrzeni pomiędzy węglowym szkieletem. W efekcie w zależności od grubości powłoki, która może dochodzić do kilku centymetrów, powstaje wysoce porowata struktura o niskiej przewodności cieplnej rzędu dziesiątych części  $\text{W/mK}$ . Przy ok.  $500^\circ\text{C}$  proces spęczenia spowalnia w wyniku pirolizy materiału i tworzenia mostków winylowych, które usztywniają strukturę będącą mieszaniną węgla, fosforu, azotu i bieli tytanowej. Wraz ze wzrostem temperatury następuje wypalenie struktury w obecności tlenu. Po przekroczeniu ok.  $700^\circ\text{C}$  biel tytanowa krystalizuje i tworzy porowatą warstwę stopniowo wymieniającą i kurczącą się powłokę węglową. Ponieważ węglowa warstwa porowata kurczy się, a struktura bieli ma większą przewodność cieplną niż oryginalna struktura izolacyjność powłoki spada.

### 3. Czynniki wpływające na jakość powłoki

Składniki i mechanizm ich reakcji przedstawiony powyżej odpowiada za właściwości termoizolacyjne powłoki. Jej skuteczność zależy od takich czynników jak:

- proporcje, formułacje i jakość odpowiednich składników,
- warunki środowiskowe podczas procesu aplikacji, schnięcia i transportu pokrytych elementów,

- poprawna aplikacja systemu ze szczególnym uwzględnieniem grubości nałożonej powłoki.

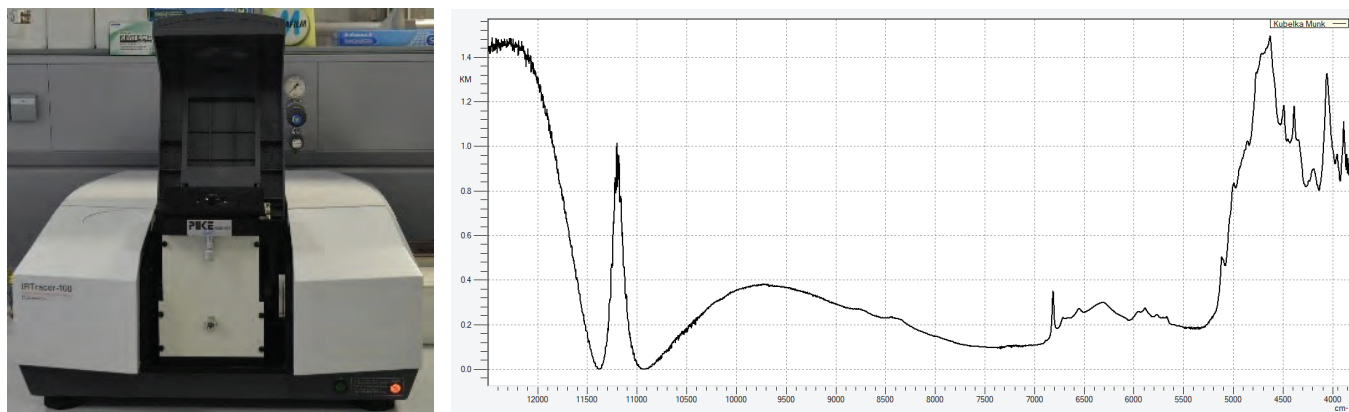
Równie ważna jest szczelność powłoki nawierzchniowej i ochrona przed wilgocią. Powodem jest wymywanie się z powłoki polioli, melaminy i APP – np. rozpuszczalność pentaerytrytolu w wodzie zrasta trzykrotnie w zakresie temperatur  $20\text{--}50^\circ\text{C}$  [3]. Ponadto melamina i APP reagują w środowisku, tworząc amoniak i polifosforan melaminy.

Z powyższej analizy wynika, że funkcjonalność powłoki krytycznie zależy od jakości i proporcji użytych składników zarówno na etapie formułacji i produkcji, jak i końcowych warunków użytkowania. W związku z tym współczesny przemysł farbiarski używa zaawansowanych metod analitycznych pozwalających ocenić takie parametry fizyko-chemiczne wypełniaczy jak: stopień rozdrobnienia, morfologię kształtu, skład chemiczny.

Do najczęściej stosowanych metod pomiaru wielkości i rozkładu wielkości cząstek należy analiza za pomocą dyfrakcji laserowej (rys. 2). Pomiar polega na analizie światła go na zawiesinie badanych drobin substancji. Światło ulega rozproszeniu, a kąt rozproszenia zależy bezpośrednio od rozmiaru analizowanych cząstek. Przejscyjny pomiar umożliwiają detektory umiejscowione pod różnymi kątami.

Często metoda ta jest wspomagana technologią PIDS (*Polarization Intensity Differential Scattering*), czyli rozpraszania światła przy zmiennej polaryzacji, co pozwala na wysoką rozdzielczość pracy urządzenia. Przykładem urządzenia wykorzystującego ta metodą jest np. Beckman Coulter Ls 13 320 (rys. 2). W metodzie PIDS badana próbka oświetlana jest 3 długościami fali światła: 475 nm, 613 nm i 900 nm. Światło to jest spolaryzowane zarówno w pionie, jak i w poziomie, ponieważ cząstki mniejsze od  $1\mu\text{m}$  różnią się intensywnością rozproszenia światła w zależności od polaryzacji. Rozproszone światło mierzone jest za pomocą analizatora pod sześcioma kątami, w zakresie  $60^\circ\text{--}135^\circ$  (detektory wysokokątowe). Cząstki o większym rozmiarze nie zakłócają pomiaru PIDS. Dzięki temu uzyskujemy szeroki zakres pomiarowy od ok.  $10\text{ nm}$  do aż  $3500\mu\text{m}$ .

W opisywanym urządzeniu analiza wielkości cząstek opiera się na zebraniu informacji ze 132 detektorów rozstawionych w zakresie od  $0,01^\circ$  do  $135^\circ$  oraz przetworzeniu ich za pomocą analizy matematycznej. Wynik daje nam procentowy rozkład wielkości cząstek w określonych klasach wielkości. Wyniki otrzymuje się w formie rozkładu wielkości zmierzonych cząstek aproksymowanych do wartości średnich otrzymanych z analizy danych z detektorów. Z wykresów można odczytać procentowy rozkład zawartości danych wielkości cząstek w próbce oraz wielkości charakterystyczne dla rozkładów takie jak odchylenie standardowe i współczynnik zmienności, medianę, modę i percentyle objętościowe. Najczęściej podawane dla dyfrakcji laserowej są wartości  $D_{10}$ ,  $D_{50}$  i  $D_{90}$ .



Rys. 3. Po lewej – spektrofotometr FTIR Shimadzu IRTracer-100 z przystawką UplIR; po prawej – przykładowy wynik analizy FTIR w widmie absorpcji

W przypadku analizy chemicznej bardzo pomocne są analizy spektrofotometryczne. Spektroskopia FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) umożliwia określenie charakterystycznych drgań dla grup występujących w danym związku (rys. 3). Ponieważ widmo FTIR jest widmem charakterystycznym dla danej substancji, analiza spektrofotometryczna w podczerwieni najczęściej wykorzystywana jest do badań jakościowych. Poza rozróżnianiem czystych substancji za pomocą analizy FTIR można badać obecność dodatkowych substancji, a także ich oddziaływania z poszczególnymi grupami związku pierwotnego. Zmiany w widmie (obecność dodatkowych pików) świadczą o obecności innych grup funkcyjnych (obecność innego związku) natomiast przesunięcia w kierunku innych długości fali niż dla widma próbki pierwotnej świadczą o oddziaływaniu danej grupy z inną grupą substancji dodanej. Głównymi zaletami metody FTIR w stosunku do innych technik są: duża selektywność osiągnięta dzięki pomiarom o dużej rozdzielczości, jak też możliwość jednoczesnego pomiaru zawartości wielu substancji. Zaletą jest też wysoka czułość umożliwiająca pomiary składników o bardzo małych zawartościach. Przykładami zastosowania jest analiza cząstek, analiza błędów w produkcie gotowym, analiza powłok na powierzchniach metalowych, badania monokryształów i wiele innych. Typowa spektroskopia laboratoryjna FTIR polega na zastosowaniu szerokopasmowego źródła promieniowania z zakresu podczerwieni. Promieniowanie to jest modulowane z wykorzystaniem interferometru, a następnie przepuszczane przez kuwetę zawierającą badane substancje i odbierane na detektorze.

Opracowanie skutecznych powłok pęczniących stawia przed inżynierami i naukowcami szereg problemów, które wiążą się z opracowaniem efektywnej technologii wytwarzania farb w warunkach przemysłowych. Głównymi etapami technologicznymi przemysłowej produkcji farby jest proces mieszania różnych składników w odpowiednich proporcjach i sekwencjach dozowania, który jest zasadniczo połączony z procesem mieszania i dezagregacji cząstek stałych.

Mieszanie i dyspergowanie to jedne z najbardziej energochłonnych i kosztownych operacji przemysłowych przy przygotowywaniu farb skomplikowane technologicznie. Dlatego racjonalne projektowanie tych procesów ma znaczący wpływ zarówno na koszt produktu jako całości, jak i jego jakości. Z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia najbardziej celowe jest połączenie tych dwóch procesów w jednym etapie technologicznym lub w jednym aparacie. Do tych celów najlepiej nadają się disolwery – urządzenia z szybkoobrotowymi mieszadłami mechanicznymi, które zapewniają wysokie naprężenia styczne (naprężenia ścinające), co pozwala na otrzymanie produktów o określonych właściwościach fizycznych, fizykochemicznych.

Do chwili obecnej nie ma jednej metody teoretycznego obliczenia disolwerów, która mogłaby skutecznie łączyć parametry konstrukcyjne mieszalnika, właściwości fizyczne składników oraz główne cechy mieszania – wydajność i intensywność procesu. W praktyce inżynierskiej obliczenia urządzeń mieszających sprowadzają się głównie do określenia mocy potrzebnej do mieszania na podstawie równań kryterialnych podobieństwa hydrodynamicznego lub ogólnych zaleceń dotyczących stosunku geometrii tarczy do wielkości urządzenia:

$$K_N = f(Re_m, Fr_m, G_1, G_2, \dots)$$

- $K_N$  – kryterium mocy
- $Re_m$  – zmodyfikowany kryterium Reynoldsa
- $Fr_m$  – zmodyfikowane kryterium Frouda
- $G_1$  i  $G_2$  – simpleksy geometryczne

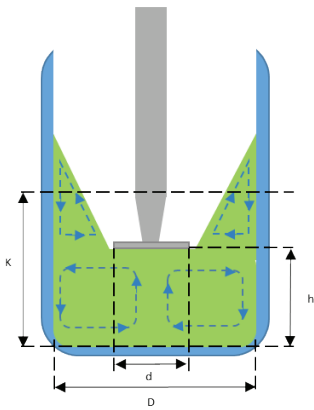
Jednak obliczona moc przy użyciu kryterium mocy determinuje jedynie wybór napędu mieszadła, ale nie pozwala szczegółowo przewidzieć wydajności i intensywności mieszania składników, od których zależy jakość gotowego produktu; nie pozwala na oszacowanie pola prędkości i rozproszenia energii kinetycznej w objętości urządzenia.

W przypadku przygotowania farby zadanie mieszania dodatkowo komplikuje fakt, że jeden lub więcej składników mogą być cieczami o dużej lepkości (cieczce nienewtonowskie), co wymaga zupełnie innego podejścia do obliczeń. Wynika to przede wszystkim ze zmiany właściwości reologicznych składników w warunkach lepkiego ścinania przy stałym stężeniu mieszanych faz.

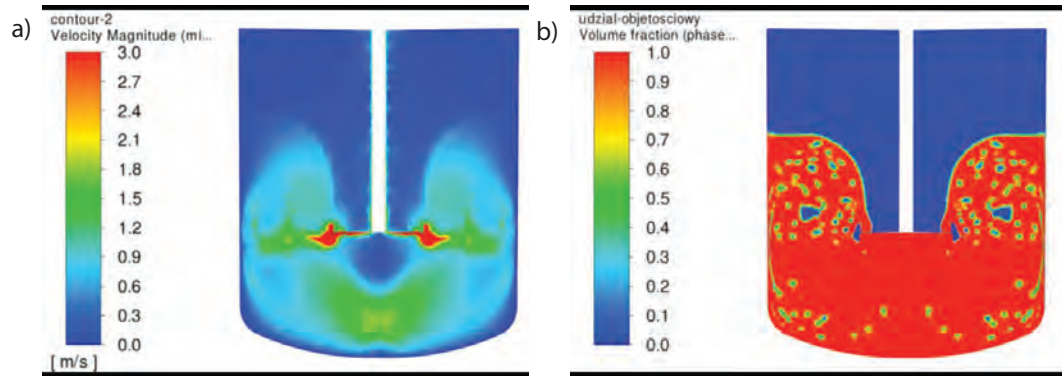
Brak wiarygodnych metod inżynierskich do obliczania i prognozowania parametrów technologicznych mieszania spowodował powstanie niezwykle dużej liczby niedoskonałych podejść teoretycznych, które w większości mogą być stosowane w wąskim obszarze i są oparte na obliczeniach empirycznych lub pół-empirycznych. Można przyjąć, że istniejące techniki są bardziej odpowiednie do przybliżonej ogólnej analizy procesu niż do dokładnego określenia hydrodynamicznych cech mieszania w objętości aparatu.

Wprowadzenie do praktyki inżynierskiej metod zautomatyzowanego projektowania i modelowania pozwala na przejście od tradycyjnych metod obliczeń inżynierskich procesów mieszania do ich modelowania. Biorąc pod uwagę fakt, że proces mieszania można uznać za turbulentny przepływ płynu, najpopularniejszym podejściem są metody hydrodynamiki obliczeniowej CFD (*Computational Fluid Dynamics*). W podejściu tym równania opisujące przepływ płynu (w tym równanie Naviera-Stokesa) rozwiązywane są numerycznie. Za pomocą programów CFD można w krótkim





Rys. 4. Model mieszalnika użyty w obliczeniach CFD celem optymalizacji pracy; d – średnica tarczy, D – średnica mieszalnika, h – wysokość tarczy nad dnem, K – wysokość wsadu.



Rys. 5. a) wynik obliczeń CFD przy pomocy programu Ansys Fluent dla mieszalnika laboratoryjnego o objętości roboczej 5 l w polu prędkości, b) wynik obliczeń CFD przy pomocy programu Ansys Fluent dla mieszalnika laboratoryjnego o objętości roboczej 5 l w polu udziału objętościowego, wyraźnie widoczny efekt obwarzanka.

czasie przedstawić wyniki symulacji w postaci danych opisujących właściwości gotowego produktu (gęstość, lepkość), ocenić sprawność konstrukcji mieszalnika (rys. 4) oraz ocenić hydrodynamikę mieszania (rys. 5).

Przykładowo na rys. 5 b przedstawiono wyniki mieszania składników farby, których hydrodynamika odpowiada dobrze znanemu efektowi hydrodynamicznemu Doughnata (efekt obwarzanka), a na rys. 5 a wyniki modelowania w postaci pola prędkości odpowiadającego temu efektowi.

Zastosowanie technik modelowania CFD jest szczególnie efektywne w przypadku możliwości walidacji wyników modelowania na modelach laboratoryjnych. Walidacja opracowanych modeli CFD pozwala uniknąć problemów skalowania przy przejściu z instalacji laboratoryjnych na urządzenia o skali przemysłowej z pominięciem etapów badań pilotażowych i półprzemysłowych. Powołano również na optymalizację procesów mieszania a tym samym zwiększenie efektywności działania i trwałości powłok pęczniących. Takie podejście pozwala na znaczne przyspieszenie i pogłębienie procesu tworzenia nowego produktu oraz zwiększenie wydajności projektowanych urządzeń, a także umożliwia przewidywanie trybów mieszania oraz dobór różnych typów urządzeń mieszających i ich kombinacji.

#### 4. Podsumowanie

Zwracamy szczególną uwagę na to, że biorąc pod uwagę złożoną oraz krytyczną funkcjonalność farb pęczniących konieczna jest kontrola składu oraz jakości jej komponentów. Proces produkcji

farb ognioochronnych wymaga użycia nowoczesnych metod analitycznych oraz obliczeniowych, które pomagają w określeniu najważniejszych cech fizykochemicznych poszczególnych składników. Z uwagi na skomplikowany charakter działania farb pęczniących niezbędna jest również kontrola tychże parametrów również na etapie użytkowania, zwłaszcza w długich okresach czasu przy narażeniu na działanie warunków środowiskowych.

#### Podziękowania

Artykuł powstał w związku z realizacją projektu POIR.01.01.01-00-0218/19 pt. „Opracowanie innowacyjnego systemu do ochrony przeciwpożarowej konstrukcji stalowych”, który jest współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020. Projekt realizowany w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju: Szybka Ścieżka.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Smardz Piotr. „Wyznaczanie odporności ogniowej elementów konstrukcji wg Eurokodów Czynniki wpływające na zachowanie się elementów konstrukcyjnych w warunkach pożaru”. 2019. <https://www.inbepo.pl/wp-content/uploads/2019/08/ArtykułOP-Eurokody.pdf>
- [2] Oliveira R.B.R.S., Moreno Jr, A.L., Vieira L. C. M. 2017. „Intumescent paint as fire protection coating”. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais* 10 (1) : 220–231. <https://doi.org/10.1590/s1983-41952017000100010>
- [3] Zubielewicz Małgorzata. 2009. „Powłoki pęczniące do przeciwogniowego zabezpieczenia konstrukcji stalowych”. *Ochrona przed Korozją* 52 (6) : 234–237.



Rzeczpospolita  
Polska

Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



W PRENUMERACIE

**2021**

TANIEJ

**Sprawdź to!**

[www.sigma-not.pl](http://www.sigma-not.pl)



### WARIANTY PRENUMERATY

- **PAPIEROWA** – czasopismo tylko w wersji papierowej (z opłatą za dostarczenie przesyłki),
- **CYFROWA** – czasopismo wyłącznie w wersji cyfrowej dostępne na Portalu Informacji Technicznej [www.sigma-not.pl](http://www.sigma-not.pl), prenumerator otrzyma indywidualny kod dostępu do zaprenumerowanego tytułu,
- **PLUS** – czasopismo w wersji **papierowej** (bez opłaty za dostarczanie prasy) oraz **cyfrowej**, a także dostęp do **archiwum** zaprenumerowanego tytułu na Portalu Informacji Technicznej [www.sigma-not.pl](http://www.sigma-not.pl) wraz z indywidualnym kodem dostępu.



więcej informacji: 22 840 30 86, [prenumerata@sigma-not.pl](mailto:prenumerata@sigma-not.pl)

IWONA GAJECKA

PPG Protective&Marine Coatings

## Trwałość systemów ogniochronnych. Deklaracje i rzeczywistość

**Właściwy dobór, aplikacja, montaż systemów ogniochronnych zgodnie z instrukcjami producentów są niezbędne, aby osiągnąć zamierzone parametry eksploatacyjne. Odpowiedzialność za zapewnienie, że parametry obiektu zabezpieczonego systemami pasywnej ochrony przed ogniem są zgodne z wymogami, spoczywa nie tylko na producencie, który kontroluje jakość materiału do momentu dostarczenia produktu na miejsce jego zastosowania, ale również na wielu innych interesariuszach zaangażowanych w koncepcję i realizację zabezpieczenia. Ta świadomość budowana była przez lata. Obecnie rynek wykazuje coraz większą dojrzałość i zrozumienie pasywnej ochrony ppoż., a w ślad za tym rozwija się dyskusja dotycząca trwałości zabezpieczeń.**

### 1. Zapisy dokumentów

Analizując zapisy Europejskich Dokumentów Oceny (EAD), specyfikujących wymagania, których spełnienie jest warunkiem koniecznym do uzyskania Europejskiej Oceny Technicznej (ETA) dla systemów pasywnej ochrony przed ogniem, okazuje się, że zapisy dotyczące możliwości weryfikacji ewentualnego deklarowanego okresu trwałości wskazują na nieco inne podejście do płyt, natrysków czy farb reaktywnych (pęczniejących).

Wydaje się, że najtrudniejsze zadanie stoi przed producentami systemów powłok pęczniejących, którzy aby zadeklarować 25 lat trwałości muszą dysponować stosowną dokumentacją potwierdzającą eksploatację systemu przez okres 25 lat.

#### **Płyty, płytki, panele i maty (Europejski Dokument Oceny EAD 350142-00-1106, dawniej ETAG 018-4)**

Biorąc pod uwagę, że nie wszystkie produkty i zestawy na rynku są przeznaczone do długiego okresu użytkowania, wytyczne tego EAD różnią ewentualną weryfikację:

- dla okresu użytkowania 25 lat,
- dla okresu użytkowania 10 lat.

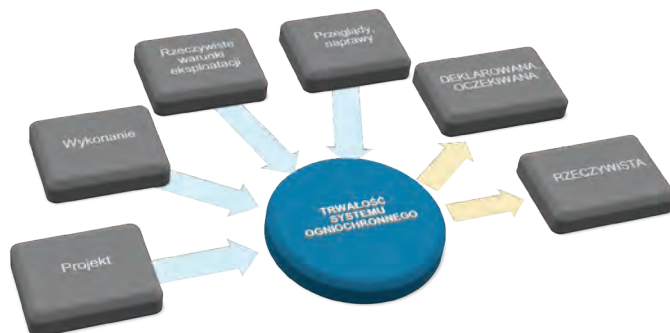
#### **Systemy natryskowe (powłoki inertne), oparte na cementach (Europejski Dokument Oceny EAD 350140-00-1106, dawniej ETAG 018-3)**

- możliwe badania starzeniowe potwierdzające trwałość 25 lat,
- możliwe określenie trwałości 10-letniej w procedurze uproszczonej (tylko jeśli producent deklaruje ekspozycję wewnętrzną Z<sub>2</sub>) lub na podstawie ewidencji i inwentaryzacji zabezpieczeń 10-letnich wykonanych przy użyciu danego systemu.

#### **Systemy farb reaktywnych (Europejski Dokument Oceny EAD-350402-00-1106, dawniej ETAG 018-2 oraz norma PN-EN 16623)**

- niezbędna weryfikacja dla trwałości 10 lat w normowych badaniach starzeniowych,
- możliwe potwierdzenie trwałości 25 lat, tylko jeśli producent dysponuje stosowną dokumentacją potwierdzającą eksploatację systemu przez okres 25 lat.

Na potrzeby tego opracowania, dalsze rozważania zostaną ograniczone do malarskich systemów ogniochronnych, posiłkując się:



- Europejskim Dokumentem Oceny EAD 350402-00-1106, EOTA Europejska Organizacja ds. Oceny Technicznej.
- Europejskim Przewodnikiem dla Przemysłu, Najlepszych Praktyk Aplikacji Powłok Pęczniejących do Konstrukcji Stalowych, EAPFP (Europejskie Stowarzyszenie dla Pasywnej Ochrony przed Ogniem).
- PN EN ISO 12944 -1 w odniesieniu do EAD 350402-00-1106.
- Rozporządzeniem MSWiA w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów, z dn. 7 czerwca 2010, w którym nie uwzględniono pasywnej ochrony ppoż.

### 2. Trwałość systemu ogniochronnego a projekt

Minimalna zawartość projektu ogniochronnego zabezpieczenia konstrukcji to dobór systemu, a nie tylko powłoki funkcyjnej.

PROJEKT TECHNICZNY (wykonawczy) z punktu widzenia ochrony konstrukcji przed ogniem powinien precyzować:

- klasę odporności ogniowej elementów konstrukcyjnych i zakres zabezpieczenia ogniochronnego,
- temperaturę krytyczną dla konstrukcji lub elementów konstrukcji w oparciu o PN-EN 1993-1-2 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1–2 Reguły ogólne – obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe,
- kategorię korozyjności środowiska eksploatacji podaną zgodnie z klasyfikacją normy PN-EN ISO 12944-2,
- środowisko eksploatacji wg EAD-350402-00-1106,
- zestawienie tabelaryczne elementów konstrukcyjnych przewidzianych do zabezpieczenia, wytyczne dotyczące aplikacji systemu.

### 3. Trwałość systemu ogniochronnego a wykonanie

Jednym z podstawowych wymagań jest jakość wyrobów dostarczanych przez producenta. Zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego nr 305/2011 obowiązują bardzo rygorystyczne przepisy w zakresie zarządzania jakością produkcji. Dotyczy to zarówno surowców, jak i całej produkcji, która może odbywać się w fabrykach, w których ocena i weryfikacja stałości właściwości użytkowych oraz stała kontrola produkcji przeprowadzana jest przez notyfikowane jednostki certyfikujące.

Wyroby ogniochronne, jako zapewniające bezpieczeństwo pożarowe podlegają najbardziej wnikliwej kontroli produkcji. Kolejny etap to prawidłowe wykonanie systemu.





Fot. 1. Zbyt wysoka wilgotność podczas nakładania i utwardzania powłoki pęczniającej



Fot. 2. Zbyt krótki czas przemalowania farbą nawierzchniową

Jak pokazano to w pkt. 4.2, w systemie powłok reaktywnych występują trzy rodzaje farb, z których tylko reaktywna posiada właściwości ogniochronne, natomiast powłoki przeciwkorozyjna i nawierzchniowa tych właściwości nie posiadają. System może być oparty na reaktywnych farbach wodnych (przeważnie do zabezpieczania elementów wewnątrz pomieszczeń lub o ograniczonej ekspozycji na warunki zewnętrzne czyli Z<sub>2</sub>, Z1, Y) lub rozpuszczalnikowych, możliwych do stosowania również w ekspozycji zewnętrznej X zgodnie z przeprowadzonymi przez producenta badaniami.

Przygotowanie powierzchni pod system ogniochronny musi być wyjątkowo staranne, aby nie dopuścić do korozji podpowłokowej. Niezbędna jest obróbka krawędzi, usunięcie wad powierzchni i spoin do stopnia P3 wg PN-EN ISO 8501-3, a następnie przygotowanie do stopnia Sa 2½ wg PN-EN ISO 8501-1 z profilem powierzchni pośrednim wg PN-EN ISO 8503-2. Możliwie w jak najkrótszym czasie po odbiorze przygotowania powierzchni należy nałożyć farbę przeciwkorozyjną.

W trakcie nakładania wszystkich farb systemu, ale szczególnie farby reaktywnej (fot. 1), muszą być kontrolowane warunki atmosferyczne i przestrzegane ich dopuszczalne wartości podane przez producenta farby w informacjach technologicznych. Dotyczy to zarówno czasu pomiędzy nakładaniem poszczególnych warstw, jak i czasu ich schnięcia czy utwardzenia. Powłoki reaktywne schnące fizycznie, których spoiwem jest żywica akrylowa, są szczególnie czułe na podwyższoną wilgotność powietrza przed ich całkowitym wyschnięciem.

Specyfikowanej grubości warstwy ogniochronnej na ogół nie osiąga się w jednym wymalowaniu, należy zatem ściśle przestrzegać czasów pomiędzy nakładaniem kolejnych jej warstw. Jest on różny w zależności od temperatury otoczenia. Farby jednoskładnikowe, oparte na spoiwie akrylowym, wymagają dość długiego czasu do odparowania całego rozpuszczalnika. Przedwczesne nakładanie kolejnej warstwy farby może doprowadzić do jego retencji w powłoce (fot. 2), co później skutkuje ogromną wrażliwością powłoki na wilgoć, do jej delaminacji włącznie.

Dobór odpowiedniej powłoki nawierzchniowej ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia nieograniczania procesu pęcznienia powłoki ogniochronnej.

#### 4. Trwałość systemu ogniochronnego a rzeczywiste warunki eksploatacji

Zgodnie z normą PN-EN 16623 system powinien być poddany badaniu odporności na oddziaływanie różnych warunków środowiska:

- X – do zastosowań wewnątrz i na zewnątrz pomieszczeń,

- Y – do zastosowań w pomieszczeniach z częściową ekspozycją na warunki zewnętrzne (temperatury poniżej zera, ale bez bezpośredniego oddziaływania promieni słonecznych i opadów),
- Z1 – do zastosowań wewnętrznych (temperatury dodatnie, duża wilgotność powietrza (klasa 5 wg PN-EN ISO13788),
- Z2 – do zastosowań wewnętrznych (temperatury dodatnie, wilgotność inna niż w Z1).

W normie oprócz wyżej wymienionych wskazano jeszcze trzy dodatkowe warunki ekspozycji, a mianowicie:

- W/Y – w okresie 6 miesięcy warunki na zewnątrz pomieszczeń, pozostały okres eksploatacji jak „Y”,
- W/Z1 - czasowo pełna zewnętrzna ekspozycja, maksimum przez 6 miesięcy, a pozostały czas jak w Z1,
- W/Z2 – czasowo pełna zewnętrzna ekspozycja, maksimum przez 6 miesięcy, a pozostały czas jak w Z2.

Trwałość oznacza się przez porównanie „skuteczności izolowania przed ogniem” wyjściowych próbek niepoddanych ekspozycji z równoważnymi próbkami poddanymi narażeniu na odpowiednie warunki środowiska podane (PN EN 16623: 2015). Porównaniu podlega czas do osiągnięcia temperatury 500°C przez porównywane płyty stalowe pokryte tym samym systemem – jedna po „starzeniu”, druga bez „starzenia”. Norma badawcza wskazuje metodę pozwalającą na symulację ekspozycji 10-letniej. Jak mają się do tego źródła wiedzy technicznej?

EAPFP Best Practice Guide – Europejski Przewodnik dla Przemysłu, Najlepszych Praktyk Aplikacji Powłok Pęczniących do Konstrukcji Stalowych, EAPFP (Europejskie Stowarzyszenie dla Pasywnej Ochrony przed Ogniem – źródło wiedzy technicznej):

##### 11.1 Konserwacja

„... „okres życia do pierwszej konserwacji” zależy od środowiska pracy i właściwości wybranego systemu powłokowego”

W większości przypadków prawidłowo nałożone pęczniące systemy powłokowe, narażone na C1 według PN EN ISO12944-2 (wewnątrz ogrzewanych lub klimatyzowanych budynków z niską wilgotnością, np. biura, szkoły, sklepy, hotele) nie powinny wymagać żadnych prac konserwacyjnych w całym okresie eksploatacji z wyjątkiem tych dla celów dekoracyjnych lub naprawy, jeśli wystąpiły uszkodzenia mechaniczne. W przypadku wszystkich innych kategorii korozyjności określonych w EN ISO 12944-2, właściciel powinien ustalać harmonogramy okresowych przeglądów i konserwacji. Zawsze należy zasięgnąć informacji u producenta powłoki na temat okresu do pierwszej konserwacji.

W przewodniku pojawia się odwołanie do EN ISO 12944-2. Jak porównywać ekspozycję wg EAD do kategorii korozyjności PN EN ISO 12944-2?

Tabela 1. Klasyfikacja środowiska wg ISO 12944 i EAD 350402-00-1106

| Specyfikowana<br>Kategoria<br>Korozyjności<br>ISO 12944-2 |                        | C1              |                 | C2         |                 | C3         |                 | C4         |  |
|---|------------------------|-----------------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|--|
|   |                        | Wewnętrzna<br>a | Wewnętrzna<br>a | Zewnętrzna | Wewnętrzna<br>a | Zewnętrzna | Wewnętrzna<br>a | Zewnętrzna |  |
| Z <sub>2</sub>  | Wewnętrzna             | +               | -               | -          | -               | -          | -               | -          |  |
| Z <sub>1</sub>  | Wewnętrzna             | +               | +               | -          | +               | -          | -               | -          |  |
| Y   | Wewnętrzna             | +               | +               | -          | +               | -          | +               | -          |  |
|   | Ograniczona ekspozycja | +               | +               | -          | +               | -          | +               | -          |  |
| X   | Wewnętrzna             | +               | +               | +          | +               | +          | +               | +          |  |
|   | Ograniczona ekspozycja | +               | +               | +          | +               | +          | +               | +          |  |

Tabelę 1 przygotowano wyłącznie na potrzeby tego opracowania w celach poglądowych – nie może być ona stosowana jako wykładnia wiedzy technicznej.

Niejednokrotnie w projektach specyfikowana jest kategoria korozyjności środowiska. Odpowiednia interpretacja i umiejętność odniesienia tej kategorii do warunków ekspozycji środowiska w EAD jest niezbędna do prawidłowego doboru systemu w kontekście oczekiwanej trwałości.

Kolejnym trudnym do rozwiązania w praktyce problemem jest określenie etapu w procesie technologicznym montażu konstrukcji, kiedy występują optymalne warunki nałożenia systemu ogniochronnego. Wiadomo, że bezpieczne warunki osiąga się w wytwórniach konstrukcji stalowych. Ale nałożenie całego systemu ogniochronnego wiąże się z szeregiem, nie zawsze możliwych do uniknięcia problemów. Pierwszy z nich to uszkodzenia powłok w trakcie transportu, montażu konstrukcji i niestaranne wykonanie poprawek. Elementy pomalowane „na gotowo”, przeznaczone do spawania, w miejscach przeznaczonych na styk powinny być zabezpieczone jedynie gruntem do czasowej ochrony. Wynika to z uwagi na jakość spoiny, ale przede wszystkim z szerokości strefy przemian strukturalnych wywołanych spawaniem. Rozkład temperatur zależy od wielu czynników: grubości blachy, rodzaju spoiny, metody spawania, mocy źródła ciepła, szybkości jego przesuwu. Już począwszy od temperatury 200°C inicjują się reakcje chemiczne w powłoce farby reaktywnej zmierzające do wytworzenia spęczniałej struktury. Taka powłoka będzie wymagała całkowitego usunięcia i nałożenia w tych miejscach pełnego systemu ogniochronnego. Nałożenie w wytwórni jedynie powłoki przeciwkorozyjnej, a reaktywnej i nawierzchniowej po zmontowaniu konstrukcji i przeciwkorozyjnym zabezpieczeniu miejsc styku, wiąże się z koniecznością osłonięcia konstrukcji i klimatyzowania tej przestrzeni, dla ochrony przed opadami i kondensacją wilgoci. **System farb ogniochronnych jest systemem powłok malarskich wymagającym szczególnej staranności na każdym etapie wykonawstwa.**

Problematiczną i w zasadzie do dziś nierozwiązaną kwestią, jest renowacja powłok reaktywnych. W EAD-350402-00-1106 trwałość systemu przebadanego zgodnie z jego wymaganiami określono na 10 lat. Niektórzy producenci farb uważają, że trwałość jest znacznie dłuższa i przyjmują ją do czasu ciągłości powłoki nawierzchniowej

i braku śladów korozji podpowłokowej. Użycie odpowiedniego do środowiska gruntu antykorozyjnego i farby nawierzchniowej ma kluczowe znaczenie dla zwiększenia trwałości powłokowego systemu ogniochronnego. System z powłoką pęczniejącą musi być chroniony przed ciągłym oddziaływaniem ekstremalnych warunków, takich jak bieżąca lub stojąca woda, mikroklimat z kondensacją wilgoci, oddziaływanie chemiczne itp.

Powyższe informacje są ściśle związane z regularnymi kontrolami, optymalnie, minimum raz w roku, szczególnie tam, gdzie istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń mechanicznych.

Podczas kontroli należy zwrócić szczególną uwagę na ewentualne obszary:

1. uszkodzeń mechanicznych (szczególnie obszar na wysokość do 2 m od posadzki);
2. na które oddziałują środki czystości (detergenty);
3. ze śladami ciągłego lub powtarzającego się zalewania, zamakania powłok;

4. z ewentualnymi ogniskami korozji lub delaminacji;
5. objęte atakiem biologicznym (pleśń, grzyby).

Jeżeli wystąpią uszkodzenia mechaniczne systemu, niezwłoczne przystąpienie do napraw zgodnie z wytycznymi producenta ma kluczowe znaczenie dla zmaksymalizowania trwałości.

Renowacja częściowa jest konieczna wtedy, kiedy wada lub uszkodzenie wystąpiło miejscowo, na fragmentach konstrukcji. W zależności od rodzaju i skali uszkodzenia, naprawie mogą podlegać poszczególne warstwy systemu lub konieczne może się okazać całkowite usunięcie z tego rejonu wszystkich powłok systemu ogniochronnego i po oczyszczeniu powierzchni powtórne nałożenie poszczególnych farb w wymaganej grubości. Szczegółowe wytyczne w tym zakresie producentów farb ogniochronnych znajdują się w wymaganiach technologicznych. Przytoczone powyżej informacje i uwagi technologiczne wskazują jak ogromną odpowiedzialność spoczywa na wykonawcy robót, ale również na kierowniku budowy i inspektorze nadzoru budowlanego. Celowym wydaje się, żeby inwestor zapewnił sobie dodatkowy nadzór nad wykonawstwem powłok ogniochronnych przez inspektora posiadającego certyfikat potwierdzający kompetencje.

Każda konstrukcja zabezpieczona systemem ogniochronnym z udziałem powłoki reaktywnej powinna być zaopatrzona w tabliczkę informującą o rodzajach zastosowanych farb, ich producencie, wykonawcy robót i dacie zakończenia prac oraz nazwisko inspektora nadzoru budowlanego. Stosowne szczegółowe zapisy powinny być zamieszczone w dzienniku budowy.

#### Jak przewidzieć trwałość systemu?

Ważne przesłanie:

Właściciel obiektu (Inspektor nadzoru) powinien ustalać harmonogramy okresowych przeglądów i konserwacji. Niestety Rozporządzenie MSWiA w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków (...) z dn. 7.06.2010 nie obejmuje systemów pasywnej ochrony. W par. 2 rozporządzenia, znajduje się definicja urządzeń przeciwpożarowych, ale nie ma na niej pasywnych zabezpieczeń ogniochronnych, a zatem konieczność okresowych przeglądów nie jest uregulowana, choć jakże ważna z punktu widzenia trwałości.



**POLSKIE  
STOWARZYSZENIE  
KOROZYJNE**

## FireCORR 2021 Virtual Conference – inicjatywa PSK, międzynarodowa wirtualna konferencja

rozmawiamy z Prezes Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego,  
Panią Agnieszka Królikowską



### Ochrona przed Korozją:

Konferencja FireCorr to wspólne przedsięwzięcie Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego i AMPP (The Association for Materials Protection and Performance) powstało z połączenia NACE i SSPC).

Skąd pomysł na temat tego wydarzenia?

### Agnieszka Królikowska:

– Zabezpieczenia ogniochronne są ważnym elementem na wielu nowobudowanych elementach infrastruktury a równocześnie stanowią duże wyzwanie techniczne zarówno dla projektanta jak i dla wykonawcy oraz inspektora nadzoru.

Tak jak dla „zwykłych” farb antykorozyjnych i powłok z nich wykonanych pewna wiedza jest już standardem, uzyskanym między innymi na kursach Instytutu Badawczego Dróg i Mostów prowadzonych od przeszło 20 lat, tak wiedza dotycząca zabezpieczeń ogniochronnych jest wciąż dla wielu osób odległa, szczególnie wiedza praktyczna. Mało jest też rozwiązań normalizacyjnych, szczególnie europejskich w tej dziedzinie.

Tym razem chcemy też przedstawić powiązanie właściwości ogniochronnych powłok z właściwościami antykorozyjnymi.

W programie konferencji przewidujemy też dyskusję Okrągłego Stołu o rozwiązaniach amerykańskich i europejskich. Cieszymy się bardzo, że Instytut Techniki Budowlanej włączył się też do tej konferencji.

**OpK:** Jak doszło do współpracy z AMPP?

**A.K.:** Zaczęło się od rozmów o współpracy z NACE, której kursy inspektorskie chcemy wdrożyć w Polsce. Jako formę współpracy rozważaliśmy też wspólne organizowanie międzynarodowych konferencji tematycznych. Do współpracy skłoniło nas praktyczne podejście NACE do zagadnień technicznych, w tym zabezpieczeń ogniochronnych i antykorozyjnych. Takie samo podejście reprezentowało SSPC. Połączenie NACE i SSPC w AMPP, mam nadzieję, uatrakcyjni jeszcze naszą współpracę.

**OpK:** Jakie korzyści przyniesie ta współpraca?

**A.K.:** O korzyściach będzie można mówić po zakończeniu konferencji. Zależy to wszystko od zainteresowania nią polskich i międzynarodowych uczestników. Mamy nadzieję, że formuła „on-line” pozwoli na szerokie uczestnictwo osób ze wszystkich kontynentów.

Zależy nam głównie na polskich uczestnikach. Chcielibyśmy bardzo, żeby zobaczyli amerykańskie techniczne, praktyczne podejście do zagadnienia, normy pisane „przez ludzi dla ludzi”, bezpośrednio i bardzo twórczą wymianę myśli i dyskusje.

**OpK:** Jaką tematykę podejmuje konferencja?

**A.K.:** Główne tematy to:

- Rozwój materiałów w obszarze PFP
- Trwałość systemów PFP
- Systemy powłokowe
- Standardy i implementacja

Ważnym elementem konferencji jest planowana dyskusja „okrągłego stołu”, zderzenie amerykańskiego i europejskiego podejścia do powłokowych systemów ogniochronnych i ich właściwości antykorozyjnych jednocześnie. Dyskusji będzie prawdopodobnie przewodniczył prof. Wojciech Węgrzyński, ekspert Zakładu Badań Ogniochłonnych ITB.

Mamy nadzieję poznać najnowsze trendy pasywnej ochrony przeciwpożarowej (PFP) w połączeniu z problematyką korozji, które prezentować będą delegaci z całego świata dzieląc się najlepszymi praktykami i spostrzeżeniami rynkowymi.

**OpK:** Jaki jest wkład PSK i uczestników z Polski w merytoryczne przygotowanie konferencji?



**A.K.:** Całą konferencję organizujemy wspólnie. Obowiązki rozkładają się jak na razie po równo, ale z dumą mogę dodać, że w Komitecie Technicznym 3 z 5 osób to członkowie PSK. Można więc pozwolić sobie na stwierdzenie, że nieco zdominowaliśmy AMPP.

**OpK:** Do kiedy można się zarejestrować i jaki jest koszt?

**A.K.:** Termin zgłaszania abstraktów jest do końca lipca. Rejestracja na konferencję trwa praktycznie do samego końca – to jedna z wielu zalet wirtualnej formy tej konferencji. Poniżej podane są ceny ze zniżkami dla członków AMPP i PSK.

| Cena rejestracji     | dla członków | dla pozostałych osób |
|----------------------|--------------|----------------------|
| wczesna do 30.09.202 | 250 \$       | 300 \$               |
| Regularna            | 300 \$       | 350 \$               |
| Studencka            | 50 \$        | 50 \$                |

Zapraszamy również Wystawców i oczywiście czekamy na Sponsorów naszego wydarzenia, dla których przygotowana jest szeroka gama propozycji. Tu znów pomaga nam wirtualna forma tego wydarzenia. Oprócz bowiem standardowych benefitów dla sponsora, takich jak darmowy udział w wydarzeniu czy promowanie stoiska, sponsorom możemy zaoferować banery na platformie wirtualnej, system przekazywania treści uczestnikom, profilowane docieranie do klienta, wirtualne pokoje spotkań i wiele innych ciekawych rozwiązań, które daje nam technologia. Brałam już udział w dwóch międzynarodowych konferencjach on-line i chyba nigdy przedtem nie skorzystałam tyle, rozmawiając z wystawcami i oglądając wszystko na ekranie.

Plusem tej konferencji jest również to, że dla wszystkich uczestników możliwe będzie pobranie prezentacji i spokojne przeanalizowanie jej w dowolnym czasie. Umożliwi to zapoznanie się ze wszystkimi prezentacjami, nawet jeśli będą się one odbywać w tym samym czasie.

**OpK:** Czy będzie to wydarzenie cykliczne? Czy PSK przewiduje dalszą współpracę z AMPP?

**A.K.:** Gorąco wierzymy w to, że FireCORR na stałe zagości w kalendarzu imprez branżowych. Celujemy wysoko, nie ukrywam, że marzy nam się dorównanie skalą do wydarzeń największych, chociażby EuroCORRu. Mamy nadzieję, że jest to początek szerszej współpracy. Liczymy na dalsze konferencje tematyczne, kursy inspektorskie i eksperckie, może również kursy dla różnego typu wykonawców, seminaria tematyczne, częstsze publikacje w znakomitych czasopismach związanych z AMPP jak *Materials Performance*, czy wywodzące się z SSPC *Journal of Protective Coatings & Linings*.

Mam nadzieję, że będzie to też początkiem wielu osobistych kontaktów między naszymi członkami i członkami AMPP i że również wielu naszych członków stanie się też członkami AMPP, z wieloma korzyściami z tego wynikającymi. Według mnie jest to szansa na przepływ wiedzy technicznej i wymianę doświadczeń.

A już w listopadzie 16-17.11.2021 zapraszamy gorąco na konferencję. Szersze informacje znajdują Państwo na stronach: <https://www.nace.org/events/firecorr> oraz [www.psk.org.pl](http://www.psk.org.pl)

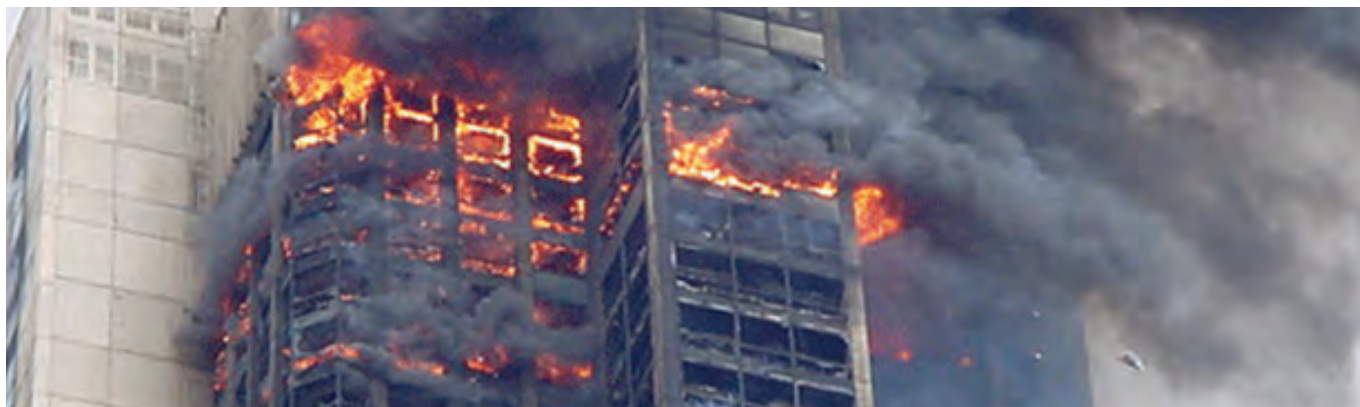
**OpK:** Dziękujemy za rozmowę oraz życzymy w imieniu swoim i Czytelników sukcesu Konferencji oraz rozwoju Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego.



## Fire Safety Strategy Starts Here

### FireCORR 2021 Virtual Conference

November 16-17, 2021



## Inżynieria pożarowa z uwzględnieniem powłok pęczniejących

**W dobie wzrostu cen surowców i materiałów budowlanych ekonomiczny aspekt zabezpieczeń ogniochronnych jest jak najbardziej aktualny. Inżynieria pożarowa dla elementów konstrukcyjnych często postrzegana jest jedynie jako proces optymalizacji kosztów zabezpieczenia, jednak warto pamiętać że zastosowanie tego procesu przy doborze odpowiedniego zabezpieczenia ogniochronnego daje pewność odpowiednio wyspecyfikowanego systemu, który spełni swoje zadanie w przypadku pożaru. Powinno się postrzegać współpracę między projektantem konstrukcji i specjalistą od pasywnych zabezpieczeń ogniochronnych jako dbałość o bezpieczeństwo, a nie jedynie oszczędność kosztów materiału.**

### Inżynieria pożarowa dla elementów konstrukcyjnych

Konstruktorzy często są nieobecni przy tworzeniu optymalnej specyfikacji zabezpieczenia ogniochronnego konstrukcji stalowych lub nie posiadają wystarczająco dogłębnych informacji by rzetelnie zoptymalizować konstrukcję. Tradycyjne podejście konstrukcyjne to optymalizacja konstrukcji dla obciążeń w warunkach normalnych (tj. obciążeń wiatrem, sejsmicznych, itp.) oraz próby zabezpieczenia konstrukcji „zoptymalizowanej”. To archaiczne podejście prowadzi często do niemożności zabezpieczenia danego profilu lub związanych z tym ogromnych nakładów finansowych.

Często nadrzędną zasadą optymalizacji kosztów jest obniżenie ciężaru konstrukcji stalowych, a co za tym idzie, zwiększenie wykorzystania nośności elementu stalowego. Na tym etapie niestety, często koszty pasywnego zabezpieczenia ogniochronnego nie są brane pod uwagę.

Zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie PN-EN 13501-2, PN-EN 1993-1-2 oraz w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dn.12.04.2002 r. (Dz. U. 2002 nr 75 poz. 69) wraz z późn. zm., klasyfikację w zakresie odporności ogniowej elementów stalowych na oddziaływanie pożaru celulozowego ustala się na podstawie badań i obliczeń przy założeniu wzrostu temperatury w przebiegu czasu określanego jako krzywa standardowa. Norma PN-EN 1991-1-2 wprowadza i definiuje naturalne modele pożaru

(lokalnego lub strefowego), w którym warunki nagrzewania określa się indywidualnie na podstawie analizy parametrów chemicznych i fizycznych procesu spalania, jednakże takie analizy wykraczają poza zakres europejskich czy krajowych ocen technicznych i wymagają indywidualnego projektu aby mogły być zastosowane przy specyfikacji zabezpieczenia ogniochronnego systemami powłok ogniochronnych zbadanymi zgodnie z EN 13381-8.

Inżynieria pożarowa dla elementów konstrukcyjnych powinna stanowić jeden z podstawowych filarów projektowania i optymalizacji konstrukcji. Choć jest to powszechnie dostępne rozwiązanie, niewielu projektantów decyduje się na wyłączenie z zakresu zabezpieczenia profili stalowych, które bez zastosowania np. powłoki ogniochronnej posiadają odpowiednią odporność ogniową R dla obliczonej temperatury krytycznej (zgodnie z ISO 834). Wciąż w wielu projektach technicznych brakuje informacji o temperaturze krytycznej, która powinna być obliczona dla danego elementu i danego układu statycznego zgodnie z wytycznymi EC 3.

Z powodu złożoności tematyki i wymaganej wiedzy nie tylko związanej z pasywnymi zabezpieczeniami ogniochronnymi, ale także tej o konstrukcjach i wytyżeniach, jedynym pewnym rozwiązaniem jest współpraca projektanta konstrukcji stalowej z wykwalifikowanym w inżynierii pożarowej przedstawicielem producenta powłok pęczniejących. W PPG Coatings służymy pomocą klientom i projektantom.



## Ograniczenia w zastosowaniu metod inżynierii pożarowej

Nie ma możliwości stworzenia projektu inżynierii pożarowej dla konstrukcji bez znajomości Eurokodów oraz odpowiednich norm i wytycznych europejskich. Niestety, nawet jeśli projektant posiada wiedzę z zakresu inżynierii pożarowej, do napisania rzetelnego projektu często konieczna jest także wiedza dotycząca sposobów badania i wdrażania do obrotu powłok pęczniących.

Dla wielu autorów specyfikacji zabezpieczenia ogniochronnego kuszące jest wykorzystanie w sposób bezpośredni wytrzymałości konstrukcji  $\mu_0$ , lecz bez niezbędnego przygotowania zawodowego, nie uwzględniając sytuacji w jakiej  $\mu_0$  zostało określone, może prowadzić to do błędnych wyliczeń. Konieczna zatem jest znajomość zapisów Eurokodu, który ogranicza uproszczone zastosowanie wzoru 4.22: *Z wyjątkiem przypadków, gdy stosuje się kryteria odkształceniowe lub gdy należy uwzględnić zjawiska niestateczności, temperaturę krytyczną w czasie trwania pożaru  $t$  elementu o równomiernym rozkładzie temperatury i wykonanego ze stali węglowej określonej w 1.1.2 (6) można – dla określonego wskaźnika wykorzystania nośności  $\mu_0$  w czasie  $t = 0$  – wyznaczać według wzoru*. [źródło: PN-EN 1993-1-2:2007 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych -- Część 1-2: Reguły ogólne -- Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe] Zastosowanie uproszczonej metody obliczeniowej w wielu przypadkach może skutkować obliczeniem błędnej temperatury krytycznej (w większości przypadków – zbyt wysokiej), a co za tym idzie niezabezpieczeniem konstrukcji stalowej wystarczającą grubością powłoki ochronnej.

## Prawidłowe rozwiązania montażowe

Dwa najbardziej podstawowe warunki muszą zostać spełnione żeby powłoka ogniochronna mogła spełnić swoje zadanie w przypadku pożaru:

1. Niedopuszczalna jest delaminacja powłoki w warunkach normalnych, jak i konieczna jest odpowiednia przyczepność spęczniałej otuliny w warunkach pożaru
2. Niezbędne jest zapewnienie minimalnej przestrzeni pozwalającej na spęcznienie powłoki ogniochronnej (w zależności od składu chemicznego powłoki i zaaplikowanej grubości, krotność pęcznienia będzie się różnić. Przyjmuje się, że akrylowe powłoki pęczniące zaczynają pęcznić w ok. 200°C i pęcznią ok. 50 razy. Dokładne informacje na ten temat można uzyskać u producenta).



Stalowy słup dwuteowy zabezpieczony powłoką pęczniącą po badaniu odporności ogniowej



Aplikacja powłoki pęczniącej PPG STEELGUARD

Dla kwestii przyczepności największe znaczenie ma dobór odpowiedniego podkładu i jego grubości, aplikacja zgodna z wytycznymi oraz dotrzymanie maksymalnej dopuszczalnej grubości powłoki pęczniącej. Jeśli chodzi o możliwość spęcznienia, większość powłok pęczniących nie ma wystarczającego ciśnienia pęcznienia, żeby spienić się po bezpośrednim przykręceniu do nich np. płyt warstwowych. Projektanci często zapominają o pozostawieniu odpowiedniej przestrzeni dla powłoki na spęcznienie, a warstwa, która nie spęcznieje nie ma właściwości ogniochronnych. Ważne jest także potwierdzenie z projektantem i producentem systemu ogniochronnego możliwości montażu wtórnych elementów mocujących, takie jak zamocowania sufitów podwieszonych, korytek kablowych itp. i możliwej konieczności wykonania dla nich dodatkowego zabezpieczenia ogniochronnego

Na powstanie prawidłowej specyfikacji pasywnego zabezpieczenia ogniochronnego złożyć się musi znajomość norm i rozporządzeń, sposobu działania powłok pęczniących i dbanie o szczegóły.

PPG Coatings wraz wyrobem do zabezpieczeń ogniochronnych w pożarach celulozowych PPG STEELGUARD obecne jest na polskim rynku od ponad 20 lat. Zapraszamy Państwa do kontaktu, chętnie podzielimy się naszym doświadczeniem i podejmiemy współpracę nad odpowiednio zoptymalizowanym projektem inżynierii pożarowej dla konstrukcji stalowej.

Prosimy o kontakt mailowy na adres: [customers@ppg.com](mailto:customers@ppg.com)

*mgr inż. Sara Gajeka*

*CPFP Engineering Specialist w PPG Coatings*





We protect and beautify the world™

ul. Łużycka 8A, 81-537 Gdynia  
tel. 58 774 99 00, fax 58 774 99 01  
e-mail: customers@ppg.com  
www.ppgpmc.com

## Powłoki malarskie firmy PPG

**PPG Coatings oferuje powłoki malarskie oparte na dwóch znakach towarowych: Sigma Coatings oraz Ameron.**

**SigmaCover** to specjalistyczna grupa farb epoksydowych zapewniających ochronę przed korozją konstrukcji stalowych w warunkach atmosferycznych dużej korozyjności. Farby przeznaczone są zarówno na nowe konstrukcje, jak i do robót konserwacyjnych na wiele podłoży. Główne zalety to łatwość aplikacji, możliwość utwardzania w niskich temperaturach oraz nieograniczony czas przemalowania.

**SigmaFast** grupa wyrobów epoksydowych i poliuretanowych opracowana specjalnie dla podniesienia wydajności produkcji przez zwiększenie szybkości schnięcia w celu sprostania wymaganiom przemysłu, zarówno co do trwałości powłok jak i kolorystyki. Najnowszej generacji farba, SIGMAFAST 210 HS, przebadana wg ISO 12944-6, jako jednopowłokowy system antykorozyjny w środowiskach do C4 H wg ISO 12944.

**SigmaDur** tworzą poliuretanowe powłoki ochronne o doskonałej trwałości koloru i połysku. W połączeniu z walorami estetycznymi wykazują wysoką odporność na warunki atmosferyczne, zanieczyszczenia chemiczne oraz oddziaływanie wody i produktów rafinacji ropy naftowej, jednocześnie spełniając i przekraczając wymagania najwyższych międzynarodowych standardów takich jak NORSOK M 501, ACQPA.

**SigmaGuard, Novaguard, Phenguard** to specjalistyczna grupa wyrobów epoksydowych i nowolakowo-epoksydowych zapewniających znakomitą ochronę przed korozją konstrukcji stalowych wewnętrznych powierzchni zbiorników przeznaczonych do magazynowania paliw i agresywnych chemikaliów. W tej grupie oferowany jest również wyrób dedykowany i certyfikowany dla zbiorników wody pitnej – SigmaGuard CSF 585.

Ponadto oferujemy rozwiązania dopasowane do potrzeb, jak m.in.:

- **SigmaZinc** – cynkowe i wysokocynkowe podkłady epoksydowe i etylo-krzemianowe wydłużające ochronę przed korozją w najtrudniejszych warunkach atmosferycznych.
- **SigmaShield** – wyroby kwalifikowane i aprobowane do ochrony konstrukcji eksploatowanych w najtrudniejszych warunkach spotykanych w przemyśle górnictwym, petrochemicznym, off-shore itd.
- **Sigma AquaCover** – wodorocieńczalne rozwiązania w odpowiedzi na rosnące wymagania ochrony środowiska.

- **SigmaLine** – czołowe na świecie, unikalne farby do zabezpieczania wewnętrznych i zewnętrznych powierzchni rurociągów przesyłowych gazu, olejów, wody pitnej itd.

- **SigmaTherm** – powłoki odporne na wysokie temperatury zapewniające doskonałą ochronę w warunkach atmosferycznych i pod izolacją; w grupie tych farb oferujemy powłoki **PPG Hi-Temp odporne do temperatury 650°C**, zapewniające możliwość nakładania bez wyłączania pracujących instalacji na podłoże o temperaturze do 316°C, odporne na szoki termiczne i cykliczne zmiany temperatur, odporne na warunki kriogeniczne, umożliwiające uzyskanie powłoki nawierzchniowej o szerokiej gamie kolorystycznej.

- **PSX 700** – unikalny wyrób wykorzystujący opatentowaną technologię, zapewniający doskonałą przyczepność, twardość oraz korozyjną i chemiczną odporność wyrobu epoksydowo-siloksanowego.

**STEELGUARD™** – kompletna gama ogniochronnych pęczniejących systemów powłokowych **do ochrony konstrukcji stalowych przed skutkami pożarów celulozowych** w zakresie odporności ogniowej R15 do R120 przy zróżnicowanym narażeniu na warunki klimatyczne. Dostępne wersje wodorocieńczalne i rozpuszczalnikowe do aplikacji w wytwórni i na budowie. Systemy posiadają Europejskie Oceny Techniczne ETA.

**PPG PITT-CHAR® NX** – najcieńszy, najlżejszy, najtrwalszy, najbardziej bezpieczny i najszybszy bezrozpuszczalnikowy wyrób epoksydowy do zabezpieczeń ogniochronnych w **pożarach węglowodorowych typu pożary rozlewowe „Pool fire” i strumieniowe „Jet fire”**. Wyjątkowo elastyczna powłoka odporna na pęknięcie i falę uderzeniową przebadana w najtrudniejszych warunkach atmosferycznych instalacji petrochemicznych, offshore i przemysłowych. Cechuje go wysoka odporność chemiczna.

**Nu Kład** – gama farb przeznaczona do zabezpieczenia podłoży i posadzek betonowych narażonych na ruch pieszki oraz ruch kołowy o różnej sile natężenia.

**Amercoat i Amerlock** – produkty linii **AMERON** – szeroka gama specjalistycznych dwuskładnikowych wyrobów epoksydowych, poliuretanowych, etylo-krzemianowych itp. zapewniających ochronę przed korozją konstrukcji stalowych w warunkach atmosferycznych, w zanurzeniu w wodzie, w narażeniu na ciekłe chemikalia itd.

# FARBY PRZEMYSŁOWE

[www.grejspol.com.pl](http://www.grejspol.com.pl) [www.grejspol.pl](http://www.grejspol.pl)

# GREJSPOL

## GRUPA FIRM GREJSPOL

### GREJSPOL GLIWICE

44-103 Gliwice,  
ul. Sikorskiego 101B  
Tel.: +48 (32) 332 10 66  
Tel. kom. +48 507 021 710  
gliwice@grejspol.pl

### GREJSPOL KRAK

31-589 Kraków, ul. Sikorki 31  
Tel.: +48 (12) 684 25 08  
Tel. kom. +48 508 189 144  
krakow@grejspol.pl

### GREJSPOL KRAK

37-100 Łańcut, Wola Dalsza 530  
woj. podkarpackie  
Tel. kom. +48 501 568 989  
i.babiarz@grejspol.pl

### AUTORYZOWANY DYSTRYBUTOR FIRM:



We protect and  
beautify the world™



SIGMA  
COATINGS  
A PPG Brand



Avenarius  
Agro

### ZABEZPIECZENIA OGNIOCHRONNE:



STEELGUARD™



FONTEFIRE  
ST 61



**Każdy kolor wg palety: RAL, NCS i innych, na życzenie w 10 minut.**

Świadczymy pełen zakres usług doradztwa technicznego, doboru i projektowania systemów antykorozyjnych oraz zabezpieczenia kompleksowych dostaw materiałów malarskich.

**Napełniamy w pojemniki „spray” farby, niezbędne do szybkich napraw powłok na budowie.**

## 0 farbach ogniochronnych publikowaliśmy:



### Nr 9/2020

#### ARTYKUŁ NAUKOWY

Problemy wykonawcze w zabezpieczeniach ogniochronnych — L. Komorowski, I. Kunce, D. Wojda, A. Królikowska, s. 290-295.



### Nr 1/2020

#### ARTYKUŁ PROMOCYJNY

Nowa, antykorozyjna ogniochronna farba firmy Malchem na konstrukcje stalowe s. 27-27.



### Nr 9/2011

#### ARTYKUŁ NAUKOWY

Procedury i badania określone przez Komisję Europejską i CEN wymagane przed wdrożeniem do obrotu i stosowania wyrobów ogniochronnych na konstrukcje stalowe — Ś. Rąstocký, s. 547-551



### Nr 12/2015

#### OD REDAKCJI

Systemy ogniochronne – ochrona życia i mienia — I. Gajecka s. 442.

#### OCHRONA PRZED KOROZJĄ W PRAKTYCE

Pasywne powłoki ogniochronne: mechanizmy działania i procesy fizykochemiczne w trakcie pożaru — A. Głębowicz, s. 456-459.

Newralgiczne czynniki towarzyszące aplikacji systemów farb pęczniejących — I. Gajecka s. 460-464.

#### Z PRASY TECHNICZNEJ

Farby ogniochronne, s. 468.



### Nr 6/2009

#### ARTYKUŁ NAUKOWY

Powłoki pęczniące do przeciwogniowego zabezpieczenia konstrukcji stalowych — M. Zubielewicz, s. 234-237.

Metody badań odporności na ogień powłok i konstrukcji w przemyśle okrętowym. Podstawy prawne i wymagania — G. Szydłowska-Herbut, s. 238-240.



We protect and  
beautify the world™

**Innowacyjne rozwiązania  
techniczne**

ul. Łużycka 8A  
81-537 Gdynia  
tel. 58 774 99 00  
fax 58 774 99 01  
customers@ppg.com

## Platforma Coatino – edukacja i pomoc dla specjalistów z branży farb i lakierów

Coatino jest interaktywną, łatwą w nawigacji, dobrze zorganizowaną platformą szerokiej fachowej wiedzy prowadzoną przez firmę Evonik z siedzibą w Niemczech. Platforma przeznaczona jest dla osób pracujących w przemyśle farb i lakierów, studentów lub osób zainteresowanych tematyką produkcji różnego rodzaju wyrobów lakierowych. Na stronie można znaleźć informacje na temat wyrobów lakierowych oraz specjalistycznych dodatków do farb. Swoją wiedzę mogą tu poszerzać osoby, które zaczynają poznawać tą tematykę, jak również eksperci w zakresie formułacji różnego typu wyrobów lakierowych. Platforma jest ogólnodostępna, nie jest płatna.

Aby zalogować się na platformę potrzebne jest podanie danych organizacji, która będzie z niej korzystała, podanie służbowego adresu e-mail oraz hasła. Aby wybrać indywidualny zakres tematyczny należy utworzyć profil użytkownika; w tym celu należy odpowiedzieć na 7 pytań dotyczących zakresu tematycznego, który interesuje daną osobę, np. farby dla budownictwa, antykorozyjne, pigmenty itd. Platforma umożliwia także określenie indywidualnego kursu tematycznego w zależności od potrzeby zgłębienia konkretnej wiedzy.

Platforma podzielona jest na katalogi i podkatalogi.

Katalog „aplikacja i użytkownicy końcowi” zawiera informację na temat różnego rodzaju powłok, np. wyroby lakierowe dla budownictwa, wyroby na posadzki, wyroby do zastosowania w przemyśle i transporcie, pasty pigmentowe, farby drukarskie, wyroby na drewno itd.

Katalog „efekty i grupy produktów” pozwala na wybór danego środka pomocniczego na podstawie określenia jego efektu w produkcji, np. czy ma polepszyć adhezję, zapobiec osiadananiu części stałych, wzmocnić barwę. W tym celu należy określić: w jakim wyrobie dodatek ma być stosowany, np. w lakierze na drewno, z użyciem jakiego rodzaju żywicy, w jakim układzie – jedno- czy dwuskładnikowym, dla jakiego rodzaju wyrobu końcowego – czy jest to np. podkład czy powłoka nawierzchniowa, jaka jest metoda nakładania

wyrobu końcowego, czy wyrób końcowy będzie zawierał rozpuszczalniki, jaka jest zawartość części lotnych w gotowym wyrobie, w jakim momencie należy dodawać środek pomocniczy, jakie ma spełniać wymagania prawne.

Katalog „wprowadzenie produktu” zawiera informację techniczną na temat konkretnego środka pomocniczego, przedstawia parametry fizyko-chemiczne produktu, proces jego produkcji, wyniki testów aplikacyjnych, określa jak stosować dodatek w konkretnej formułacji, a także zawiera artykuły na jego temat.

Katalog „zajęcia (jak wykonać)” przedstawia informację dotyczącą wykonania badań właściwości fizyko-chemicznych gotowego wyrobu lakierowego, np. jak oznaczyć przyczepność powłoki, grubość powłoki etc.

Katalog „sprawdzenie wiedzy” umożliwia sprawdzenie wiedzy na temat efektywności działania poszczególnych środków pomocniczych, np. odpieniaczy, w wyrobie gotowym na podstawie zestawu pytań o jego określone charakterystyczne właściwości.

Katalog „eksperti” zawiera artykuły branżowe i nagrania z seminariów tematycznych z udziałem ekspertów z danego zakresu wyrobów lakierowych.

Katalog „wydarzenia na żywo” zawiera nagrania tematycznych webinarów z udziałem ekspertów.

Katalog „zrównoważony rozwój” pozwala na zapoznanie się z wpływem oddziaływania na środowisko podczas poszczególnych etapów procesu produkcyjnego różnych środków pomocniczych (substancji chemicznych) oraz klasyfikacją REACH.

Katalog „wydarzenia” zawiera informację na temat planowanych konferencji, spotkań lub webinarów tematycznych.

Tak pokrótce przedstawia się tematyka platformy Coatino. Platforma zawiera szeroki zakres wiedzy, a osoby zainteresowane tematyką środków pomocniczych i wyrobów do różnych zastosowań na pewno znajdą tu wiele cennych informacji.

Więcej informacji: <https://www.coatino.com/>

Opracowanie: Aleksandra Krzanowska

### Kolejne wydania tematyczne „Ochrony przed Korozją”:

#### nr 8/2021 Ochrona katodowa

reklamy przyjmujemy do 30.07.2021

#### nr 9/2021 Farby antykorozyjne

artykuły przyjmujemy do 6.08.2021 • reklamy do 27.08.2021

#### nr 10/2021 Powłoki metalowe

artykuły przyjmujemy do 10.09.2021 • reklamy do 30.09.2021

#### nr 11/2021 Galwanotechnika

artykuły przyjmujemy do 8.10.2021 • reklamy do 29.10.2021

Zapraszamy do współpracy.



## PFPNet – Hydrocarbon Passive Fire Protection Network

PFPnet jest niezależną, utrzymującą się ze składek organizacją, której celem jest zwiększenie standardów w wykorzystaniu pasywnego zabezpieczenia przeciwpożarowego w przemyśle, w którym obecne są węglowodory. Pasywna ochrona przeciwpożarowa (nazwana również bierną ochroną przeciwpożarową) polega na oddzieleniu przegrodą pożarową źródła ognia od pozostałych stref narażenia. Zapobiegając rozprzestrzenianiu się ognia w budynku lub na instalacji, chroni życie ludzi i ogranicza straty. Podstawowym czynnikiem mającym wpływ na bezpieczeństwo pożarowe w budynku lub na instalacji jest odporność ogniowa jego elementów. Elementy budynku lub instalacji muszą być wykonane i zaprojektowane tak, aby przez określony przepisami czas zapewnić nośność konstrukcji, szczelność przegrody lub izolację od nadmiernej temperatury.

PFPnet jest utworzoną przez przemysł organizacją non-profit, której działalność skupia się głównie na promowaniu materiałów i systemów ogniochronnych poprzez edukację, szkolenia, gromadzenie aktualnej wiedzy, rozpoznawanie kluczowych tematów, wyjaśnianie niejasności, dostarczanie informacji dla członków stowarzyszenia i przemysłu. Stowarzyszenie skupia się na potrzebach użytkowników pasywnego zabezpieczenia przeciwpożarowego.

Celem sieci PFPnet jest zapewnienie jak najlepszej informacji osobom oraz firmom odpowiedzialnym za wytwarzanie, instalowanie, inspekcje, utrzymanie i zakup pasywnej ochrony przeciwpożarowej, aby uniknąć potencjalnie niebezpiecznych i kosztownych błędów. Można to osiągnąć dzięki wspólnemu wysiłkowi przemysłu, aby zidentyfikować i rozwinąć najlepsze praktyki oraz nawigację poprzez liczne regulacje, zagadnienia techniczne i obejścia, które istnieją w przemyśle, a mogą być mylące i sprzeczne.

Sieć PFPnet działa poprzez podkomisje techniczne. Rezultaty prac każdej podkomisji technicznej ostatecznie stworzą część struktury kompetencji sieci PFP.

Członkiem sieci PFPnet można zostać, wpłacając składki. Udział w sieci PFP przewidziany jest dla firm i handlowców. Po przystąpieniu firmy do sieci dowolna liczba osób z danej organizacji może być do niej włączona. Koszt członkostwa to 6000 funtów rocznie dla firm i 500 funtów dla pojedynczego handlowca. Opłata wykorzystywana jest na realizację programu pracy i zarządzanie siecią PFPnet.

Więcej informacji: <https://www.pfpnet.com/>

Opracowanie: Aleksandra Krzanowska

## Konferencje zaplanowane na III kwartał 2021 roku

Poprzedni rok upłynął pod znakiem spotkań on-line. Na drugą połowę 2021 roku zaplanowanych jest już kilka konferencji, na których będzie okazja do tradycyjnych spotkań. Są to m. in:

### VII Międzynarodowe Symposium Cynkowe



1-3.09.2021

miejsce: Zamek w Uniejowie

Organizatorzy: STOCKMEIER Chemia Sp. z o.o. i S.S.K., REMIX S.A., Nederman MikroPul Poland Sp. z o.o.

Kontakt: Jacek Sipa, tel. 604 944 615, e-mail: [j.sipa@stockmeier.pl](mailto:j.sipa@stockmeier.pl)

XIV Konferencja Naukowo-Techniczna  
Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego

**Współczesne  
technologie  
przeciwkorozyjne**

20–22 października 2021 r.  
Hotel ANDERS, Stare Jablonki

Organizator: Polskie Stowarzyszenie Korozyjne

Zapisy wyłącznie na stronie: <https://psk.org.pl/konferencje-psk2/konferencja-psk-stare-jablonki-2021-liczba-osob-ograniczona>



We protect and  
beautify the world™

**Doskonałe powłoki  
antykorozyjne i ogniochronne**

ul. Łużycka 8A  
81-537 Gdynia  
tel. 58 774 99 00  
fax 58 774 99 01  
[customers@ppg.com](mailto:customers@ppg.com)

## Czasopisma związane z tematyką korozji (cz. 4).



Tytuł: **Corrosion Management**  
 Wydawca: **Institute of Corrosion, Wielka Brytania**  
 ISSN: **1355-5243**  
 Częstotliwość: **dwumiesięcznik**

Czasopismo Instytutu Korozji (Northampton, Wielka Brytania) – wiodący magazyn dotyczący monitorowania i zabezpieczenia przed korozją, dostarczany do czytelników z całego świata.

Magazyn podzielony jest na 3 części.

Część pierwsza zawiera informacje na temat prac Instytutu Korozji w Northampton, opisuje działalność biznesową Instytutu oraz jego aktualne osiągnięcia.

Druga część zawiera artykuły techniczne dotyczące zagadnień związanych z korozją i rozwiązaniami technologicznymi w tym zakresie.

Część trzecia dotyczy informacji związanych z przemysłem, najnowszych rozwiązań technologicznych oraz produktów do zabezpieczeń antykorozyjnych.

Czasopismo omawia m.in. stosowane technologie antykorozyjne do zabezpieczania instalacji przesyłu ropy i gazu, instalacji podwodnych, zabezpieczania konstrukcji mostów i dróg. Przedstawia wykorzystanie metody lean manufacturing w procesie wykonywania zabezpieczenia antykorozyjnego oraz wiele innych tematów z zakresu ochrony przed korozją. Każde wydanie ma określony temat wiodący.

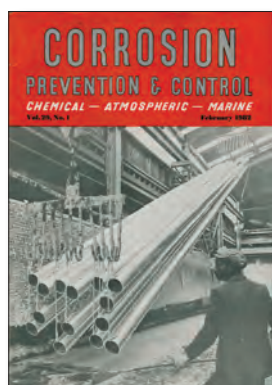
Aby mieć dostęp do magazynu należy się zarejestrować na stronie Instytutu Korozji i wykupić członkostwo. Opłata rejestracyjna to 15 £ za członkostwo plus 83 £ rocznie za prenumeratę.

Przykładowe wydanie (jedno wydanie poprzedzające aktualnie wydany numer) oraz pojedyncze artykuły można pobrać ze strony : <https://www.icorr.org/publications/>



Tytuł: **Korróziós Figyelő**  
 Wydawca: **VEKOR Kft**  
 ISSN: **0133-2546**  
 Częstotliwość: **kwartalnik**

Jedyną na Węgrzech czasopismo naukowe o tematyce korozyjnej było wydawane od 1961 roku. Podejmowało głównie tematykę ochrony elektrochemicznej ale także innych zagadnień ochrony przed korozją. Wydawane w formie papierowej, następnie w dwóch wersjach: tradycyjnej drukowanej i elektronicznej ([www.vekor.hu](http://www.vekor.hu)). Wszystkie abstrakty artykułów publikowano w języku angielskim, a artykuły obcojęzyczne – w języku oryginału i węgierskim. W 2010 roku czasopismo obchodziło 50-lecie wydawania. Związany z tym jubileuszem obszerniejszy tekst opublikowano w „Ochronie przed Korozją” nr 8/2010. Ostatnie dostępne wydanie pochodzi z 2014 roku.



Tytuł: **Corrosion Prevention & Control**  
 Wydawca: **Scientific Surveys Ltd.**  
 ISSN: **0010-9371**  
 Częstotliwość: **kwartalnik**

Czasopismo naukowe wydawane w latach 1954-2005. Omawiane zagadnienia dotyczyły dziedzin takich jak: inżynieria chemiczna, chemia, metalurgia. W czasopiśmie publikowali autorzy z jednostek naukowych, badawczych, przedsiębiorstw z branży metalurgicznej, a publikacje dotyczyły szerokiego zakresu związanego z korozją.

## Wynalazki

### Biuletyn Urzędu Patentowego Nr 9/2021

**Sposób otrzymywania żywic epoksydowych o zmniejszonej emisji dymu oraz dwuskładnikowa kompozycja uniepalniająca do otrzymywania żywic epoksydowych o zmniejszonej emisji dymu**

Twórcy: Celiński Maciej Adrian; Sałasińska Kamila · Firma: Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa · Zgłoszenie 431669, s. 26

**Biodegradowalna kompozycja polimerowa**

Twórcy: Sasimowski Emil; Majewski Łukasz · Firma: Politechnika Lubelska, Lublin · Zgłoszenie 435847, s. 26

**Kompozycja atramentowa, dokument zabezpieczony i/lub wartościowy, element spersonalizowany oraz sposób wytwarzania kompozycji atramentowej**

Twórcy: Biernacki Ariel; Wójcik Paweł; Karpiński Arkadiusz; Wojciechowska Agata · Firma: Polska Wytwórnia Papierów Wartościowych Spółka Akcyjna, Warszawa · Zgłoszenie 434350, s. 26-27

**Nanokrystaliczny półtwardy magnetycznie stop żelaza**

Twórcy: Pietrusiewicz Paweł; Nabiałek Marcin; Wysłocki Jerzy; Jeż Bartłomiej · Firma: Politechnika Częstochowska, Częstochowa · Zgłoszenie 435343, s. 28-29

**Stop żelaza**

Twórcy: Pietrusiewicz Paweł; Nabiałek Marcin; Wysłocki Jerzy; Jeż Bartłomiej · Firma: Politechnika

Częstochowska, Częstochowa · Zgł. 435345, s. 29

**Nanokrystaliczny stop żelaza**

Twórcy: Nabiałek Marcin; Wysłocki Jerzy; Jeż Bartłomiej; Błoch Katarzyna · Firma: Politechnika Częstochowska, Częstochowa · Zgł. 435346, s. 29

**Masywny amorficzny stop żelaza**

Twórcy: Nabiałek Marcin; Wysłocki Jerzy; Jeż Bartłomiej; Błoch Katarzyna · Firma: Politechnika Częstochowska, Częstochowa · Zgł. 435347, s. 29

**Sposób nanoszenia metodą magnetronową na podłoża ultracienkich powłok funkcyjnych o zwiększonej odporności fizycznej i chemicznej oraz podłoża z powłokami funkcyjnymi otrzymane tym sposobem**

Twórcy: Ząbek Przemysław; Bonowicz Aleksandra; Doros Wiesław · Firma: D.A.VAC sp.z o.o., Rogoźnica · Zgłoszenie 431678, s. 29

### Biuletyn Urzędu Patentowego Nr 10/2021

**Sposób selektywnego łączenia polimerów silikonowych z powierzchniowymi krzemionkowymi, w obecności termicznie wrażliwych warstw**

Twórcy: Malecha Karol; Nawrot Witold · Firma: Politechnika Wrocławska, Wrocław · Zgłoszenie 431799, s. 13

**Sposób wytwarzania nanocząstek tlenku cynku**

Twórcy: Pulit-Prociak Jolanta; Staroń Anita; Banach Marcin · Firma: Politechnika Krakowska

im. Tadeusza Kościuszki, Kraków · Zgłoszenie 431747, s. 16

**Sposób wytwarzania transparentnych elektroprowadzących cienkich warstw na podłożu szklanym**

Twórcy: Środa Marcin; Dulian Piotr; Żukowski Witold · Firma: Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Kraków; Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Kraków · Zgłoszenie 431802, s. 16

**Sposób wytwarzania dyspersji wodnej zawierającej nanorurki węglowe i kopolimery akryloamidu i dyspersja zawierająca nanorurki węglowe i kopolimery akryloamidu**

Twórcy: Schmidt Beata; Kowalczyk Krzysztof; Wilpiszewska Katarzyna; Janik Jolanta · Firma: Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin · Zgłoszenie 431746, s. 18

**Hybrydowy nanokompozyt polimerowy i sposób jego otrzymywania**

Twórcy: Zarzycka Iwona; Szyszkowska Agnieszka; Czerniecka-Kubicka Anna · Firma: Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Rzeszów; Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów · Zgł. 431772, s. 18-19

**Wodorozcieńczalna farba termochronna do podłoża stalowych i sposób wytwarzania wodorozcieńczalnej farby termochronnej do podłoża stalowych**

Twórcy: Schmidt Beata; Kowalczyk Krzysztof; Wilpiszewska Katarzyna; Łopiński Jakub; Janik Jolanta · Firma: Zachodniopo-

morski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin · Zgłoszenie 431745, s. 19

**Sposób wytwarzania powłokowych barier cieplnych**

Twórcy: Pędrak Paweł; Góral Marek; Kubaszek Tadeusz · Firma: Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Rzeszów · Zgł. 431755, s. 21

### Biuletyn Urzędu Patentowego Nr 11/2021

**Sposób i urządzenie do powlekania pojemnika metalowego**

Twórcy: Wodka Dawid; Zajac Łukasz · Firma: CAN-PACK SA, Kraków · Zgł. 431925, s. 20

**Sposób otrzymywania powłok polimocznikowych**

Twórcy: Klonowski Bartosz; Popiół Maciej; Przekop Robert Edward; Sztorch Bogna Marta; Dobrosielska Marta; Pakuła Daria Joanna; Brząkański Dariusz · Firma: TEKŁON sp.z o.o., Poznań · Zgłoszenie 431947, s. 21

**Sposób otrzymywania powłok polimocznikowych**

Twórcy: Klonowski Bartosz; Popiół Maciej; Przekop Robert Edward; Sztorch Bogna Marta; Dobrosielska Marta; Pakuła Daria Joanna; Brząkański Dariusz · Firma: TEKŁON sp.z o.o., Poznań · Zgłoszenie 431948, s. 21

**Sposób otrzymywania powłok polimocznikowych**

Twórcy: Klonowski Bartosz; Popiół Maciej; Przekop Robert Edward; Sztorch Bogna Marta; Dobrosielska Marta; Pakuła Daria Joanna; Brząkański Dariusz · Firma: TEKŁON sp.z o.o., Poznań · Zgłoszenie 431949, s. 21



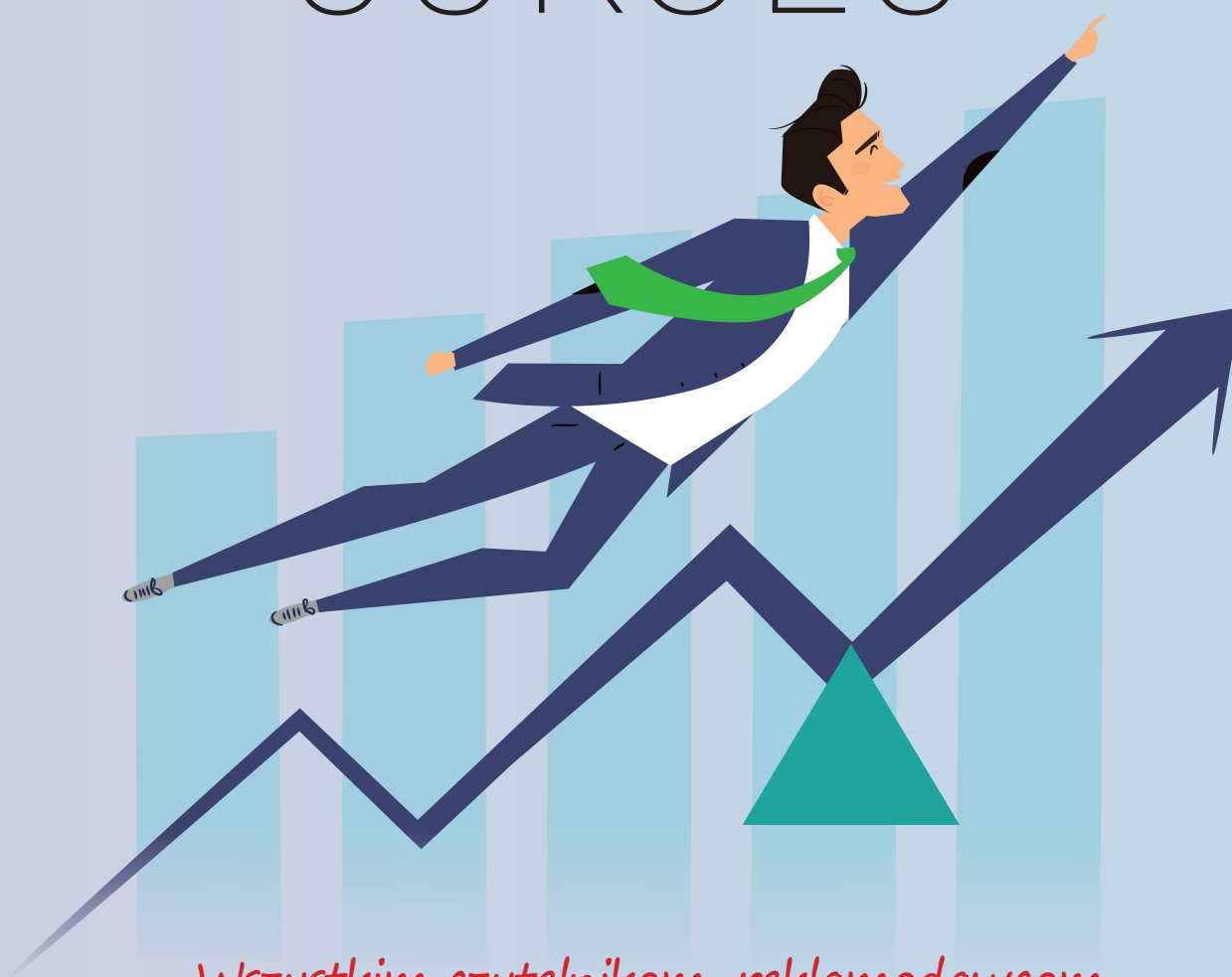
We protect and  
beautify the world™

**Piękno, trwałość,  
bezpieczeństwo**

ul. Łużycka 8A  
81-537 Gdynia  
tel. 58 774 99 00  
fax 58 774 99 01  
customers@ppg.com



POŁĄCZENIE sił to POCZĄTEK,  
POZOSTANIE razem to POSTĘP,  
WSPÓLNA praca to  
**SUKCES**



*Wszystkim czytelnikom, reklamodawcom  
oraz autorom współtworzącym  
nasze wydania  
**DZIĘKUJEMY** za to,  
że jesteście z **NAMI***

